ISSN 1225-441x

제39권 제2(s)호

# 2020년도 추계 공동학술대회
# 한국음향학회·한국음악지각인지학회

## 한국음향학회 정기총회 및
## 제35회 수중음향학 학술발표회 논문집

주제 : 音·響·樂 소리와 음악의 어울림

**일시 : 2020년 11월 4일(수) ~ 6일(금)**

**장소 : 세종대학교(온라인 학술대회)**

- **주최/주관** : 사단법인 한국음향학회
- **협찬** : LIG넥스원,LG디스플레이,STX엔진, 다쏘시스템,래드손,부전전자, 삼우에이엔씨, 소나테크,온품,임산업, 한화시스템,현대자동차

사단법인 한국음향학회
The Acoustical Society of Korea

한국음악지각인지학회
Korean Society for Music Perception and Cognition

한화시스템



차기 구축함 전투체계
- KDDX -

시간이 흐르고, 세상이 변해도
변함없습니다

대한민국 영해를 지키고자 한
**한화시스템**의 사명

첨단 스마트 기술이 집약된
차기 구축함 전투체계

또 한 번 세계 최고의 수준으로
드넓은 바다를 시스템합니다

**Smart & Dependable Partner**
**한화시스템**

# 스마트 전투체계,
# 바다를 시스템하다



# 인 사 말

존경하는 한국음향학회 회원 여러분!

코로나 19의 장기화로 국민 모두가 전례없는 힘든 시간을 보내고 있습니다.
빅데이터와 인공지능 기술이 적용되는 4차 산업 혁명시기에 전염병으로 국내는 물론 국가간 상호 교류도 제한되는 초유의 사태를 경험하고 있습니다. 이러한 어려움에도 불구하고 창립 39주년을 맞이한 한국음향학회는 국내 굴지의 학술단체로서의 위상을 굳건히 하고 있으며 SCOPUS 등재지로서 국제적으로도 음향학 분야에서 권위를 인정받는 학회지로 성장하고 있습니다. 이는 회원 여러분께서 음향학에 대한 학문적 열정을 가지고 적극적으로 학회 활동에 참여해주신 덕분이라고 생각하며 회원 여러분에게 경의를 표합니다.

이번 추계학술대회는 音·響·樂(소리와 음악의 어울림) 이란 주제로 한국음악지각인지학회와 공동으로 주최되는 학술대회로서 한국음향학회에서는 처음으로 시도되는 온라인 학술대회입니다. 음향학은 융합학문으로서 온라인 학술대회 개최는 어울림을 통하여 어려움을 극복하고자 하는 한국음향학회 회원 여러분의 의지의 표현이자 도전이라고 생각하며 네트워크 시대를 살아가는 우리들에게 새로운 학술대회의 대안을 제시하리라 생각합니다.

본 온라인 추계 학술대회에서는 인공청각기능 : 소리에서 의미로의 음향학 강의와 수중음향, 음성/음향신호처리, 건축음향, 구조음향 및 진동, 공력 음향 및 환경음향, 소음, 초음파/광음향/물리음향, 음악음향/음악심리/음향컨텐츠, 생체음향/심리음향, 음향 계측 및 전기음향과 현대 자동차의 기획세션 등 음향학 각 분야의 최신 동향과 연구 결과를 파악할 수 있는 특별세션 등으로 프로그램을 구성하여 학계 및 산업계의 전문가 및 관심을 가지는 모든 분들이 참여하여 실질적인 정보를 나누는 유익한 학술 교류의 장이 될 수 있기를 바랍니다.

끝으로 이번 학술대회의 성공적인 개최를 물심양면으로 후원해주신 회원님들과 음향관련 산업체, 그리고 행사 준비를 위해 열과 성을 다해 주신 학술준비위원 여러분들께 깊은 감사의 인사를 드립니다.

**2020년도 공동 학술대회**
**공동 대회장 홍 우 영**
**한국음향학회 회장**

# 초대의 말씀

안녕하세요, 한국음악지각인지학회 회원 여러분!

1998년 음악지각인지연구회로 출발한 한국음악지각인지학회는 올해로 설립 22주년을 맞이하였습니다. 그동안 매년 상반기, 하반기 학술대회를 개최해왔고 국제음악지각인지학회(ICMPC)와도 공동학술대회를 개최하는 등 전임 회장단과 및 이사회 여러분, 그리고 무엇보다도 회원 여러분들의 적극적인 노력으로 국내 음악지각인지 연구의 활성화를 이룰 수 있었습니다.

전례 없던 COVID-19의 영향으로 아쉽게도 지난 상반기 학술대회는 개최하지 못했지만, 2020년 하반기 학술대회는 한국음향학회와 함께 공동으로 개최하게 됨으로써 더욱 뜻깊은 학술대회가 될 것이라 기대하고 있습니다. COVID-19의 여파로 비록 온라인으로 진행되기는 하지만 "음·향·악"이라는 주제 아래 "소리와 음악의 어울림"과 관련된 다수의 흥미로운 논문들이 발표될 예정입니다. 또한 기조강연으로 한국음악지각인지학회 전임 회장이셨던 카이스트 이경면 교수님을 초빙하여 음악지각 및 인지 연구의 저변 확대를 기대하고 있습니다. 한국음악지각인지학회 회원 여러분들께서도 음향학이라는 학문 분야에서 어떠한 연구들이 수행되고 있으며, 음악지각인지와의 접점은 무엇인지를 탐색하고 발견하는 계기가 되었으면 하는 바램입니다.

마지막으로 이번 공동학술대회의 성공적인 개최를 위해 물심양면으로 후원해 주신 회원님들과 학술준비위원 여러분들께 깊은 감사의 인사를 드립니다.

**2020년도 공동 학술대회**
**공동 대회장 이 교 구**
**한국음악지각인지학회 회장**

# 조 직 위 원 회

| | |
|---|---|
| **위 원 장** | 박영철 |
| **조직위원(학술)** | 이강덕, 신성룡, 이교구, 임성빈 |
| **조직위원(기획/총무)** | 이정한, 홍지영 |
| **조직위원(대외협력)** | 신성환, 조완호 |
| **조직위원(음향제작)** | 장규식 |
| **학술위원** | 김정중, 임우승, 정정호, 이병권, 정광민, 정철웅, 설한신, 신성환, 팽동국, 장진호, 김성일, 김시문, 이근화, 최지웅, 유회종, 구명완, 김우일, 유하진, 이신렬, 두세진, 조완호, 장규식, 윤오성, 정주현, 김형국, 이석진, 임성빈, 이기승, 박관호, 홍우영, 박용화, 신성룡 |

# 이 사 회(2020년)

| | |
|---|---|
| **회 장** | 홍우영(세종대학교) |
| **수석부회장** | 박영철(연세대학교) |
| **부 회 장** | 김재헌(현대자동차), 두세진(동아방송대학교), 김성일(국방과학연구소), 오양기(목포대학교), 유회종(서울호서예술전문학교) |
| **기획총무위원회** | 이정한(현대자동차), 임창우(한화파워시스템), 홍지영(한국철도기술연구원) |
| **편집위원회** | 육동석(고려대학교), 변성훈(한국해양과학기술원), 정철웅(부산대학교), 유양모(서강대학교) |
| **학술위원회** | 이강덕(현대자동차), 신성룡(현대자동차), 이교구(서울대학교), 임성빈(숭실대학교) |
| **대외협력위원회** | 신성환(국민대학교), 조완호(한국표준과학연구원) |
| **홍보/회원관리위원회** | 백경민(한국표준과학연구원) |
| **음향자격검정위원회** | 문건창(대림대학교), 오세진(충북보건과학대학교) |
| **지역위원회** | 김진영(전남대학교), 박규칠(부경대학교) |
| **건축음향분과** | 김정중(환경음향연구소), 임우승(아키사운드), 정대업(전북대학교) |
| **소음진동분과** | 정철웅(부산대학교), 설한신(선박해양플랜트연구소) |
| **수중음향분과** | 김시문(선박해양플랜트연구소), 이근화(세종대학교), 최지웅(한양대학교) |
| **초음파 및 의학음향분과** | 팽동국(제주대학교), 장진호(대구경북과학기술원) |
| **음성분과** | 구명완(서강대학교), 유하진(서울시립대학교), 김우일(인천대학교) |
| **융합음향분과** | 김형국(광운대학교), 이기승(건국대학교), 엄원석(연세대학교) |
| **오디오분과** | 이신렬(소니캐스트) |
| **음향제작분과** | 장규식(VR사운드), 유오성(한국영상대학교) |
| **무대음향** | 정주현(경기문화전당) |
| **감 사** | 김재수(한국해양대학교), 정인수(현대자동차) |
| **협동부회장** | 박관호(엘지디스플레이), 이상혁(데스코), 유철재(래드손), 최배진(에스알테크), 박승수(소나테크), 박천권(뮐러비비엠코리아), 김명학(다쏘시스템코리아), 조만희(삼우에이엔씨), 이홍(사운드솔루션), 김성일(국방과학연구소), 오원천(LIG넥스원), 박도현(한화시스템) |

# 프 로 그 램

## 11월 4일(수)

### ◆ 음향학 강의

zoom 실시간 온라인 교육

15:00~18:00 인공청각지능: 소리에서 의미로
이교구(서울대학교)

## 11월 5일(목)

### ◆ 기조강연

zoom 실시간 강연

09:00~10:00 음향학과 기계학습: 최근 동향 및 미래 방향
성우제(서울대학교)

좌장: 홍우영(한국음향학회장)

### ◆ 학술논문발표

온라인 학술대회

9:00~17:00 각 분과별 학술발표

### ◆ 개회식 및 정기총회

zoom 실시간 중계

17:30~17:45 개회
학회장 인사
2020년도 보고 및 안건 심의
2021년도 임원선출 및 시상

진행: 이정한(기획총무위원장)

## 11월 6일(금)

### ◆ 기조강연

zoom 실시간 강연

09:00~10:00 음악 신경과학
이경면(한국과학기술원)

좌장: 이교구(한국음악지각인지학회장)

### ◆ 학술논문발표

온라인 학술대회

9:00~17:00 각 분과별 학술발표

### ◆ 폐회식

zoom 실시간 중계

12:00~12:30 추계학술대회
우수발표상 및 경연 수상자 시상
폐회

진행: 이강덕(학술위원장)

# 분야별 발표일정표

| 날짜 | 시간 | 구분 | 세션명 | 세션형식 |
|---|---|---|---|---|
| 11/4 (수) | 15:00~18:00 | 음향학 강의 | 인공청각지능: 소리에서 의미로 (서울대학교 이교구 교수) | zoom 실시간 온라인 교육 |
| 11/5 (목) | 09:00~10:00 | 기조강연1 | 음향학과 기계학습: 최근 동향 및 미래 방향 (서울대학교 성우제 교수) | zoom 실시간 강연 |
| 11/6 (금) | 09:00~10:00 | 기조강연2 | 음악 신경과학 (한국과학기술원 이경면 교수) | zoom 실시간 강연 |
| 11/5 (목) ~ 11/6 (금) | 09:00~17:00 | O1 | 건축음향 (5편) | 구두발표 |
| | | O2 | 구조음향 및 진동 (3편) | |
| | | O3 | 소음: 영향 및 제어 (3편) | |
| | | O4 | 공력음향 및 환경음향 (7편) | |
| | | O5 | 음성 (3편) | |
| | | O6 | 음향계측 및 전기음향 (5편) | |
| | | O7 | 초음파음향/광음향/물리음향 (4편) | |
| | | O8 | 생체음향 (4편) | |
| | | O9 | 수중음향 (5편) | |
| | | O10 | 음악음향/음향심리/음향컨텐츠 (4편) | |
| | | O11 | 음향신호처리 (4편) | |
| | | O12 | 음악지각인지 특별세션-1 | |
| | | P1 | 건축음향 (12편) | 포스터발표 |
| | | P2 | 음성 (2편), 음향계측 및 전기음향 (2편), 초음파음향/광음향/물리음향 (3편), 생체음향 (2편) | |
| | | P3 | 수중음향 (6편) | |
| | | P4 | 음악음향/음향심리/음향컨텐츠 (3편), 음향신호처리 (5편) | |
| | | P5 | 음악지각인지 특별세션-2 | |
| | | S1 | 기획세션: 음향인식 (3편) | 구두발표 (1편), 포스터발표 (2편) |
| | | S2 | 기획세션: 은밀수중통신 (8편) | 구두발표 |
| | | S3 | 기획세션: 압축센싱 소나신호처리 (8편) | |
| | | S4 | 기획세션: 해양환경/재해 모니터링을 위한 수중음향 (6편) | |
| | | S5 | 학생 녹음, 믹싱 디자인 경연: 행사 개요 및 본선 진출자 발표 | |
| | | S6 | 학생 녹음, 믹싱 디자인 경연: 본선 진출자들의 작품 제작기 발표 | |
| | | S7 | 기획세션: 현대자동차 그룹 학술대회 (20편) | |

| 날짜 | 시간 | 행사 | 세션형식 |
|---|---|---|---|
| 11/5 (목) | 17:30 | 개회식 (세종대학교) | zoom 실시간 중계 |
| | 17:45 | 총 회 (세종대학교) | zoom 실시간 중계 |
| 11/6 (금) | 12:00 | 폐회식 (세종대학교)<br>*폐회식 때 우수 논문상 및 경연 수상자 발표, 별도의 시상식은 없습니다. | zoom 실시간 중계 |

*세션은 5일(목) ~ 6일(금) 2일동안 시간상관없이 입장이 가능합니다. 다만 질의응답을 위한 실시간 댓글기능은 9시 ~ 17시 시간을 준수하여야 합니다.

*현대자동차 기획세션 발표논문은 보안상의 이유로 비공개입니다.

# 학술발표 논문(시간별)

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 11/4(수) 15:00~18:00 | 음향학 강의 | | | 인공청각지능: 소리에서 의미로 – 이교구(서울대학교) | | |
| 11/5(목) 09:00~10:00 | 기조강연1 | | | 음향학과 기계학습: 최근 동향 및 미래 방향 – 성우제(서울대학교) | | |
| 11/6(금) 09:00~10:00 | 기조강연2 | | | 음악 신경과학 – 이경면(한국과학기술원) | | |
| 시간 / 세션명 | 건축음향<br>좌장: 정정호(방재시험연구원) | 구조음향 및 진동<br>좌장: 신성환(국민대학교) | 소음: 영향 및 제어<br>좌장: 설한신(선박해양플랜트연구소) | 공력음향 및 환경음향<br>좌장: 정철웅(부산대학교) | 음성<br>좌장: 김우일(인천대학교) | 음향계측 및 전기음향<br>좌장: 이신렬[(주)소니캐스트] |
| 11/5(목)~6(금) 09:00~17:00 | **O1.1 다목적 홀에서 잔향시간 가변 방식 및 개선 연구**<br>정광민(환경에스엔텍), 조현민, 김신태(서울시립대학교)<br>**O1.2 아파트 승강기 진동 전달 특성과 측정 위치의 타당성**<br>강민우, 장유경, 오양기(목포대학교)<br>**O1.3 CATT ACOUSTICS를 활용한 실내 소음저감 설계안 검토**<br>장유경, 강민우, 오양기(목포대학교)<br>**O1.4 개방형 축식 모형 실험의 콘서트홀 건축음향 설계 적용**<br>임재선, 오양기(목포대학교)<br>**O1.5 소규모 다목적공연장의 원음공연 음향성능 향상을 위한 리모델링 설계**<br>오양기(목포대학교) | **O2.1 소형 모터의 이상소음 검출법**<br>차수호, 신성환, 정희태(국민대학교)<br>**O2.2 배관용 소음기의 흡음재 충전치에 따른 음향성능 연구**<br>이용범, 이철원, 양해상, 박진성, 성우제(서울대학교)<br>**O2.3 골도 진동자 고정을 위한 기계적 커플러의 특성 평가**<br>조완호(한국표준과학연구원) | **O3.1 Eulerian-Lagrangian 단방향연성 해석을 통한 고스큐 Propeller 날개끝 와류공동 및 공동 소음에 대한 수치적 연구**<br>구가람, 정철웅(부산대학교), 설한신(선박해양플랜트연구소), 박일룡(동의대학교)<br>**O3.2 압축성/비압축성 유동 해석에 따른 수중 프로펠러 날개 끝 와류공동과 공동소음에 대한 수치 비교 연구**<br>허준범, 조정훈, 구가람, 정철웅(부산대학교), 설한신(선박해양플랜트연구소)<br>**O3.3 DDES 기법과 사중극자-보정 FW-H 방정식을 이용한 잠수함 추진기 공동소음에 대한 수치적 고찰**<br>조정훈, 구가람, 정철웅(부산대학교), 설한신(선박해양플랜트연구소) | **O4.1 고압가스 배관내 밸브유동소음에 미치는 다공평판의 영향에 대한 수치적 고찰**<br>김규남, 구가람, 정철웅(부산대학교), 김극수, 강웅(한국표준과학연구원)<br>**O4.2 고속열차의 개폐지 및 터널 주행시 열차 표면압력섭동의 비교분석**<br>이송준, 정철웅(부산대학교), 김제환, 김병희(현대로템)<br>**O4.3 날개 익형 최적 설계를 통한 냉장고 내부 냉기순환용 저소음·고성능 후향 원심팬 개발**<br>정민승, 최진호, 정철웅(부산대학교), 김태훈, 구준효(LG 전자)<br>**O4.4 식기세척기 다익 원심팬의 공력소음과 유동성능에 미치는 스크롤 형상 영향에 대한 수치적 연구**<br>김건우, 유서윤, 정철웅(부산대학교), 김영수, 강기중, 백인우(LG 전자)<br>**O4.5 차량 사이드미러 미세틈새 유동에 의한 휘슬음의 수치적 고찰**<br>이권기, 이송준, 이상현, 정철웅(부산대학교), 임성남, 신성탕(현대자동차)<br>**O4.6 2차원 익렬의 공력 특성을 이용한 고성능/저소음 축류팬 개발**<br>유서윤, 정철웅(부산대학교), 김종욱, 박병일(LG 전자)<br>**O4.7 자동차 바람소리 실내전달음에 대한 창문 고무 실 차음성능의 수치적/실험적 평가**<br>이상현, 이송준, 정철웅(부산대학교), 권혜린, 서창민(DRB 동일) | **O5.1 Classifier-GE2E 기반의 멀티 헤드 어텐션을 활용한 화자 검증 시스템**<br>배아라, 김우일(인천대학교)<br>**O5.2 사전훈련모델을 이용한 한국어 문장 감성 분석 연구**<br>김현정, 천제윤, 구명완(서강대학교)<br>**O5.3 Transformer model을 이용한 영어 발음변환기 연구**<br>천제윤, 이정필, 구명완(서강대학교) | **O6.1 앰비소닉 프로세싱을 이용한 3D마이크 소스 활용의 실제**<br>이무제[플랫톤즈㈜]<br>**O6.2 이어폰 목표 주파수 개발**<br>이신렬[㈜소니캐스트]<br>**O6.3 능동소음제거 무선 이어폰 개발**<br>이신렬[㈜소니캐스트]<br>**O6.4 다양한 흡음률 측정법의 비교를 위한 측정시스템 제작**<br>두세진[㈜테코론]<br>**O6.5 표준 네트워크기반 신호&전력전송 음향시스템의 방향성**<br>이제국[㈜소프트기어] |
| 구분 / 세션명 | 초음파음향/광음향/물리음향<br>좌장: 명동국(제주대학교) | 생체음향<br>좌장: 장진호(DGIST) | 수중음향<br>좌장: 이근화(세종대학교) | 음악음향/음향심리/음향컨텐츠<br>좌장: 유희종(서울호서예술전문학교) | 음향신호처리<br>좌장: 이석진(경북대학교) | 음악지각인지 특별세션-1<br>좌장: 이경면(한국과학기술원) |
| 11/5(목)~6(금) 09:00~17:00 | **O7.1 소노루미네센스를 이용한 액체정합층의 감력 초음파에너지 전달특성 평가**<br>김해운, 손진영(부경대학교), 김정순(동명대학교), 김무준(부경대학교)<br>**O7.2 초음파 유도 마이크로버블을 이용한 치료 깊이 증가를 위한 초음파 보조 광열치료 기술**<br>김진우, 김혜민, 장진호(DGIST)<br>**O7.3 고해상도 광 음향 현미경 영상을 위한 저잡음·광대역 수신 시스템 구현**<br>한원국(DGIST), 문주영(피아이), 장진호(DGIST)<br>**O7.4 초음파 및 광음향 영상을 위한 상전이 물방울 조영제의 기화 및 재응집 기저 연구**<br>유제석(DGIST) | **O8.1 체내 삽입형 의료 보형물 두께 측정을 위한 초음파 변환자 개발 및 측정 기술 연구**<br>윤상연, 이문환, 류하민, 장진호, 황재윤(DGIST)<br>**O8.2 유방암 진단을 위한 멀티 스케일 채널 어텐션 모듈 기반의 딥러닝 네트워크**<br>이해윤, 황재윤(DGIST)<br>**O8.3 강인한 방향 용적 추정을 위한 자세 정보를 고려하는 지능형 웨어러블 방광 모니터링 시스템**<br>이문환, 류하민, 황재윤(DGIST)<br>**O8.4 얼굴 피부 탄력도 정량 측정을 위한 고주파 초음파 변환자**<br>장서연, 박진형(성균관대학교) | **O9.1 음향컬러를 이용한 수중 셀 표적의 음향 신란 특성 관찰**<br>추연성, 변성훈(선박해양플랜트연구소), 이근화, 추영민, 최기웅(세종대학교)<br>**O9.2 해저면 근처 구/실린더형 표적의 산란 음장 모의**<br>최기웅, 이근화(세종대학교), 추연성, 변성훈(선박해양플랜트연구소), 양해상(서울대학교), 추영민(세종대학교)<br>**O9.3 해양환경 정보의 수중소음에 대한 영향성 분석**<br>김용국, 국영민, 김동관, 김규철, 윤상기, 최창호(LIG넥스원)<br>**O9.4 입의의 운동을 하는 합성개구소나의 수신 신호 모의 MATLAB 프로그램 개발**<br>김시문, 변성훈(선박해양플랜트연구소)<br>**O9.5 Method of Momements 기법을 이용한 합성개구소나 신호 압축**<br>백경민, 김완구(한국표준과학연구원), 유정수(울산대학교) | **O10.1 실감음향디자인을 적용한 실감콘텐츠사례**<br>유희종(서울호서예술전문학교), 이수용(동아예술방송대학교), 윤영선(파블로항공)<br>**O10.2 HOA (High Order Ambisonics)마이크를 사용한 공연장 360도 임펄스 응답 측정방법 및 활용**<br>이수용, 이재학(사운드코리아이엔지)<br>**O10.3 라이브 공연에 필요한 입체음향 믹싱 최적화를 위한 스피커 배치 연구**<br>문건창(대림대학교)<br>**O10.4 추상적 동적객체를 위한 공간 사운드 디자인 사례**<br>장규식(VR 사운드) | **O11.1 노치 필터를 이용한 데이터 증강 기법과 아틀 활용한 실내 활동 모니터링 기법 개발**<br>김민한, 이석진(경북대학교)<br>**O11.2 짱군-교사 모델과 학습률 교란을 이용한 악지도 음향 이벤트 검출**<br>이석진, 김민한, 신승현(경북대학교), 정영호(한국전자통신연구원)<br>**O11.3 농동 소나 시스템을 위한 학습된 주파수 기저를 이용한 비음수 행렬 분해 기반의 잔향 제거 기법**<br>이석진(경북대학교), 임준석(세종대학교), 김성일(국방과학연구소)<br>**O11.4 딥러닝 기반 차량환경 내 음향 반향 제거 알고리즘의 성능향상**<br>신승민, 변준, 박영철(연세대학교), 박성욱(강릉원주대학교) | **O12.1 뇌전도 하이퍼스캐닝 기법을 통한 음악 세션 중 장애 아동의 뇌 동기화**<br>강규림(University of Toronto), Silvia Orlandi(Holland Bloorview Kids Rehabilitation Hospital), Nicole Lorenzen(University of Guelph), Tom Chau(Holland Bloorview Kids Rehabilitation Hospital), Michael Thaut(University of Toronto)<br>**O12.2 클래식 피아노 음악에서 감정 표현 변화에 따른 연주 특징 분석**<br>김유진(한국과학기술원), 박정미(서울대학교), 정다샘(SK Telecom), 권태균, 남주한(한국과학기술원)<br>**O12.3 양손 차이를 중심으로 한 피아노 연주 숙련도에 따른 정량적 분석**<br>김사라, 박정미, 유승연(서울대학교), 남주한(한국과학기술원), 이교구(서울대학교) |

# 학술발표 논문(시간별)

| 시간 \ 세션명 | 포스터 | 발표 | |
|---|---|---|---|
| 11/5(목)~6(금) 09:00~17:00 | **건축음향**<br>**좌장: 한찬훈(충북대학교)**<br><br>**P1.1 청감실험을 위한 바닥충격음 음원 아카이브 구축 필요성**<br>박상희, 신혜경, 김경우(한국건설기술연구원)<br><br>**P1.2 청주시소음지도제작을위한 도로변 소음도 조사**<br>채세원, 한찬훈(충북대학교)<br><br>**P1.3 설문조사에 의한 노인교실의 주관적 음성명료도 조사**<br>최재성, 박찬제, 한찬훈(충북대학교)<br><br>**P1.4 초등학교 저학년 교실의 교구배치에 따른 음향성능 비교 분석**<br>황인혁, 박찬제, 한찬훈(충북대학교)<br><br>**P1.5 청감시험에 의한 노인교실의 음향성능 실태조사**<br>김보경, 박찬제, 한찬훈(충북대학교)<br><br>**P1.6 노인교실의 물리적 음향성능 실태조사**<br>문주형, 박찬제, 한찬훈(충북대학교)<br><br>**P1.7 주거단지 방음벽의 차음성능 비교조사**<br>박현철, 한찬훈(충북대학교)<br><br>**P1.8 초등학교 저학년 교실의 물리적 음향성능 조사**<br>신은주, 박찬제, 한찬훈(충북대학교)<br><br>**P1.9 청감시험에 의한 초등학교 저학년 교실의 음향성능 조사**<br>이승호, 박찬제, 한찬훈(충북대학교)<br><br>**P1.10 설문조사를 통한 초등학교 저학년 교실의 주관적 음성명료도 조사**<br>이재석, 박찬제, 한찬훈(충북대학교)<br><br>**P1.11 비상방송설비용 스피커의 지향특성**<br>정정호(방재시험연구원)<br><br>**P1.12 오픈 플랜 오피스에서 근무환경과 스피치 사운드의 주관적 반응과의 관계**<br>이승미, 송한솔, 김정훈, 김수홍, 류종관(전남대학교)<br><br>**음성, 음향계측 및 전기음향, 초음파/광음향/플라즈마, 생체음향**<br>**좌장: 황제윤(DGIST)**<br><br>**음성**<br><br>**P2.1 LSTM과 CNN의 긴급 상황 인지 성능 비교**<br>최준규, 김보배, 송금자, 김지혜, 임정빈(숭실대학교)<br><br>**P2.2 낮은 SNR 환경에서 마스크기반 음성향상을 위한 손실함수 조합에 관한 연구**<br>정제희, 김우일(인천대학교)<br><br>**음향계측 및 전기음향**<br><br>**P2.3 입력크기에 따른 건청인과 감각신경난청인 사이의 음량변화연구**<br>오세진(충북보건과학대학교)<br><br>**P2.4 감각신경성 난청의 심리음향학적 음량특성**<br>오세진(충북보건과학대학교)<br><br>**초음파음향/광음향/플라즈마**<br><br>**P2.5 ESWL에 의해 생성된 Cavitation의 음향학 및 광학 신호 연구**<br>송현제, 송태경(서강대학교), 최민주(제주대학교)<br><br>**P2.6 수력기전식 상용 ESWL 장치의 비교 성능 시험**<br>권오민, 최민주(제주대학교)<br><br>**P2.7 안드로이드 기반의 모바일 초음파 영상 시스템**<br>김보석, 김미지, 박연성, 서성호(인제대학교),<br>김경민, 임해균, 김형함(포항공과대학교), 윤창헌(인제대학교)<br><br>**생체음향**<br><br>**P2.8 기계 순환 자원 시스템을 위한 엄점 교차 기법 기반 초음파 혈류계 시스템**<br>류하민, 이문환, 윤상연(DGIST), 김희찬(서울대학교),<br>황제윤(DGIST)<br><br>**P2.9 3차원 의료 초음파 영상 복원을 위한 문맥을 고려하는 3차원 분할을 위한 딥러닝 네트워크**<br>이경수, 이문환, 황제윤(DGIST)<br><br>**수중음향**<br>**좌장: 노용래(경북대학교)**<br><br>**P3.1 파이프계 기포 유동에서 발생하는 소음 측정**<br>표성태, 이근화(세종대학교) | **P3.2 측정된 채널 정보를 이용한 시뮬레이터 설계**<br>이주형, 안정하, 라형인, 김기만(한국해양대학교),<br>한정우(한국항공우주연구원)<br><br>**P3.3 광대역화를 위한 심벌 트렌스듀서의 배열 패턴 설계**<br>김동현, 오창민, 심하영, 강순관, 노용래(경북대학교)<br><br>**P3.4 Sub-band 구조의 수중음향통신 송수신 구조**<br>정현우, 신지은, 정지원(한국해양대학교), 김완진(국방과학연구소)<br><br>**P3.5 기계학습을 이용한 잔향수조 수중유체소음 예측**<br>이혜선, 홍우영(세종대학교), 김국현(동명대학교), 이근화(세종대학교)<br><br>**P3.6 제주 연해에서 조석에 따른 주변 소음 변화**<br>정인용, 민수홍, 팽동국(제주대학교)<br><br>**음악음향/음향심리/음향컨텐츠, 음향신호처리**<br>**좌장: 김형국(광운대학교)**<br><br>**음악음향/음향심리/음향컨텐츠**<br><br>**P4.1 코드 진행을 통한 멀티트랙 환경의 자동 음악 생성**<br>황서림, 박영철(연세대학교)<br><br>**P4.2 바이노럴 비트의 물리적 세기와 주관적인 인식의 비교**<br>김성찬, 최민주(제주대학교)<br><br>**P4.3 가상악기 음원의 수평 공간음향재생에 관한 비교 연구**<br>고태현(상명대학교)<br><br>**음향신호처리**<br><br>**P4.4 온라인 화상 회의 시스템에 적용 가능한 음향 반향 제거기의 실시간 구현**<br>최선호, 박영철(연세대학교)<br><br>**P4.5 Gabor CNN 및 주목 메커니즘 기반의 음성감정인식**<br>이기용, 김형국(광운대학교)<br><br>**P4.6 실내 위험 상황 인식을 위한 병렬 CNN 기반의 사운드 이벤트 검출**<br>신승수, 김민수, 김형국(광운대학교)<br><br>**P4.7 이벤트기반 후처리를 통한 음향 이벤트 검출 성능 향상 연구**<br>신승현, 이석진(경북대학교) | **P4.8 합성곱 신경망 기반 실시간 실내 환경음 인지 시스템 개발**<br>이대호, 김민한, 이석진(경북대학교)<br><br>**음악지각인지 특별세션-2**<br>**좌장: 남주한(한국과학기술원)**<br><br>**P5.1 사운드의 사회 위상학**<br>박상준(가톨릭대학교), 박지수(세종사이버대학교), 이상빈(작곡가)<br><br>**P5.2 노래 부르기가 만성 폐쇄성 폐질환환자(COPD)에 미치는 영향: 체계적 고찰 및 메타분석**<br>김성애(숙명여자대학교)<br><br>**P5.3 언어 능력 향상을 위한 리듬 프로그램 리뷰**<br>오은지(서울대학교), 이정면(한국과학기술원)<br><br>**P5.4 음악인지유형에 따른 정서반응**<br>최진희(이화뮤직웰니스연구센터), 정현주(이화여자대학교)<br><br>**P5.5 소리와 음악을 시각화하는 새로운 방법의 개발**<br>노준탁, 우한결, 이재혁, 이혜준, 장지호, 추장우, 이기준(DGIST)<br><br>**P5.6 악기간 미세 시간 차이가 그루브 경험에 미치는 영향**<br>박석범, 이정면(한국과학기술원)<br><br>**P5.7 중증 치매환자대상 음악중재연구 분석**<br>한승아(이화여자대학교)<br><br>**P5.8 뇌파를 이용한 합성곱 신경망 기반의 음악 선호도 분류**<br>함주성, 이교구(서울대학교)<br><br>**P5.9 소리의 음고가 등시에 제시되는 시각적 대상의 넓기 지각에 미치는 영향**<br>홍유정, 최아현, 이채은, 윤수민, 조우재, 이교구(서울대학교)<br><br>**기획세션: 음향인식**<br>**좌장: 박용희(한국과학기술원)**<br><br>**S1.2 대조적 자가지도 사전학습을 이용한 음향 상황 식별**<br>심혜진, 정지원, 김주호, 유하진(서울시립대학교)<br><br>**S1.3 잡음 종류와 SNR에 따른 딥러닝의 도시 환경음 분류 성능**<br>오원근(순천대학교) |

# 학술발표 논문(시간별)

| 구분 \ 세션명 | 기획세션: 음향인식<br>좌장: 박용화(한국과학기술원) | 기획세션: 은밀수중통신<br>좌장: 정지원(한국해양대학교) | 기획세션: 압축센싱 소나신호처리<br>좌장: 김성일(국방과학연구소) | 기획세션: 해양환경/재해 모니터링을 위한 수중음향<br>좌장: 최지웅(한양대학교) | 학생 녹음,믹싱,디자인 경연:<br>행사 개요 및 본선 진출자 발표<br>좌장: 장규식(VR사운드) | 학생 녹음,믹싱,디자인 경연:<br>본선 진출자들의 작품제작기 발표<br>좌장: 장규식(VR사운드) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 11/5(목)~6(금)<br>09:00~17:00 | **S1.1 딥러닝 기반의 가청 인식 카메라**<br>이경태, 남현욱, 박용화(한국과학기술원) | **S2.1 다중 밴드 체프 대역 확산 기법을 사용한 수중음향통신**<br>이주형, 안정하, 라형인,<br>김기반(한국해양대학교), 김인수(국방과학연구소)<br>**S2.2 오토인코더와 데이터 증식을 활용한 고레소리 모방 은밀통신 기법**<br>이인성, 권도일, 김덕경(인하대학교)<br>**S2.3 대역 확산 부 대역 수중음향통신 기법**<br>정현우, 신지은, 정지원(한국해양대학교),<br>김인수(국방과학연구소)<br>**S2.4 Chip 수에 따른 대역확산 기반 수중은밀통신 성능 분석**<br>신지은, 정현우, 정지원(한국해양대학교),<br>김인수(국방과학연구소)<br>**S2.5 해수면 거칠기 스펙트럼에 따른 고주파 양상태 해수면 음파산란 연구**<br>김용빈, 최강훈(한양대학교),<br>김시문(선박해양플랜트연구소),<br>이상국(국방과학연구소), 최지웅(한양대학교)<br>**S2.6 시공간적 해양환경에서의 통계적 음향채널 모델링 연구**<br>최강훈(한양대학교),<br>조용호, 고학림(호서대학교),<br>이상국(국방과학연구소), 최지웅(한양대학교)<br>**S2.7 장거리 심해 환경에서의 옵션 기반 블라인드 디컨볼루션**<br>김동현, 김재수(한국해양대학교),<br>한주영(국방과학연구소)<br>**S2.8 수중음향통신 채널의 도플러 확산 모델링**<br>안정하, 이주형, 라형인,<br>김기반(한국해양대학교), 김완진(국방과학연구소) | **S3.1 희소성 음향 통신 채널 추정 견실화를 위한 Huber-RLS 알고리즘**<br>임준석(세종대학교), 김성일(국방과학연구소)<br>**S3.2 블록 희소성을 이용한 다중 주파수 무격자 빔형성**<br>박민석, 성우제(서울대학교),<br>추영민(세종대학교),<br>김원기(국방과학기술연구원)<br>**S3.3 콘볼루션 특징을 이용한 측면주사소나 영상 압축 복원**<br>이보경, 강일범, 이준엽, 구본화(고려대학교),<br>김완진(국방과학연구소), 고한석(고려대학교)<br>**S3.4 Domain adaptation 기반 측면주사소나 영상 잡음제거**<br>강일범, 이준엽, 이보경, 구본화(고려대학교),<br>김완진(국방과학연구소), 고한석(고려대학교)<br>**S3.5 압축 센싱 기반 고해상도 음향 채널 추정**<br>추영민(세종대학교), 김원기(국방과학연구소),<br>성우제(서울대학교)<br>**S3.6 희소 베이지안 학습법을 이용한 실해상데이터 주파수 분석**<br>신명인, 추영민, 최기웅(세종대학교),<br>김성일(국방과학연구소), 홍우영(세종대학교)<br>**S3.7 실해상데이터를 이용한 고속 압축센싱기반 도래각 추정 알고리즘 연구**<br>백지웅, 홍우영(세종대학교),<br>김성일(국방과학연구소), 이준호(세종대학교)<br>**S3.8 CW 및 LFM 신호를 이용한 압축센싱 거리 – 도플러추정**<br>이근화(세종대학교), 박민석(서울대학교),<br>임준석(세종대학교), 김성일(국방과학연구소) | **S4.1 T 파 신호 분석 및 우리나라 동해로의 전파 양상 연구**<br>고명권(한양대학교), 류현경(대우조선해양),<br>신성원(한양대학교), 박순천(기상청), 최지웅(한양대학교)<br>**S4.2 동시베리아해 수중소음 측정**<br>한동균(극지연구소), 주종민(국가미세먼지정보센터),<br>손우주, 조경호(극지연구소), 최지웅(한양대학교), 강성호,<br>나형승(극지연구소)<br>**S4.3 사이드스캔소나 시뮬레이터를 이용한 저층 침적 HNS 탐지 기법 연구**<br>서힘찬, 최지웅(한양대학교), 황호진,<br>이분진(선박해양플랜트연구소)<br>**S4.4 강우형태에 따른 수중 강우소음 측정 및 분석**<br>이대혁, 김동욱, 황인성, 최지웅(한양대학교)<br>**S4.5 음향을 이용한 향고래(Physeter macrocephalus)의 잔장 측정**<br>윤영글, 최강훈(한양대학교), 한동균(극지연구소),<br>손호선(고래연구센터), 최지웅(한양대학교)<br>**S4.6 동해 포함 연근해역 잔향음 패턴 및 자음창 모델**<br>이근화(세종대학교), 김성일(국방과학연구소),<br>성우제(서울대학교) | **학생 녹음,믹싱,디자인 경연:**<br>**본선진출자 발표, 감상 및 심사, 음향제작분과 주관** | **학생 녹음,믹싱,디자인 경연:**<br>**본선진출자 발표, 감상 및 심사, 음향제작분과 주관** |
| 11/5(목)<br>17:30 | 개회식 | | | 세종대학교 | | |
| 11/5(목)<br>17:45 | 총회 | | | 세종대학교 | | |
| 11/6(금)<br>12:00 | 폐회식 | | | 세종대학교 | | |

# 학술발표 논문(시간별)

## 11월 5일(목)

| 시간 \ 세션명 | 기획세션: 현대자동차그룹 학술대회<br>현대자동차 남양연구소 설계1동 1층 프레젠테이션룸 |
|---|---|
| 09:00~09:20 | **로드노이즈 성능 타겟케스케이딩을 위한 사시시스템 성능 최적화**<br>김종규, 이영찬(현대자동차) |
| 09:20~09:40 | **타이어 시스템 성능을 활용한 로드노이즈 분석 및 개발**<br>박상영, 정재훈(현대자동차) |
| 09:40~10:00 | **로드노이즈 가진원인 휠 모드의 SUB 시스템 단위 평가법 개발 및 구성 시스템 영향도 연구**<br>신동엽, 정판기, 윤동주, 왕성준, 최승우, 김병훈(현대자동차) |
| 10:00~10:20 | **딥러닝 모델을 이용한 타이어 패턴 노이즈 예측 기술 개발 및 금형 직접 설계 검증**<br>윤영삼, 장동진, 염기호, 김성대(현대자동차), 이상권, 이화진(인하대학교), 황성옥(빅셀타이어) |
| 10:20~10:40 | 휴식 |
| 10:40~11:00 | **딥러닝을 활용한 시계열 주행데이터 기반 NVH 시스템 모델링 및 성능 예측**<br>송대헌(현대자동차), 목지수, 이종현, 최혁준, 윤성로(서울대학교) |
| 11:00~11:20 | **딥러닝을 이용한 차량 NVH 성능 예측 및 기여도 분석 모델 개발**<br>하창용(현대자동차), 윤성로, 이장호, 최현수(서울대학교) |
| 11:20~11:40 | **차량 소음 분석을 위한 AI 알고리즘 및 NVH 활용 방안 연구**<br>장경진(현대자동차) |
| 11:40~12:00 | **가속감 및 변속감 향상을 위한 ASD 기술 개발**<br>김성현, 양재식, 김성열(현대자동차) |
| 12:00~13:00 | 점심시간 |
| 13:00~13:20 | **전기차 NVH 성능 향상을 위한 친환경 3D부직포 경량 흡음재 연구**<br>김지완, 박지섭, 하지윤, 박준욱, 왕성준, 조세현(현대자동차) |
| 13:20~13:40 | **환경차 적합 대시 인슐레이터 적합설계를 위한 연구**<br>유종덕, 정호기, 오세훈(현대자동차) |
| 13:40~14:00 | **아웃사이드 미러 플딩갭 휘슬 개선을 위한 내부 구조 연구**<br>임성남, 신성룡(현대자동차), 정철웅, 이권기, 이송준(부산대학교) |
| 14:00~14:20 | **샤크 안테나 기인 바람소리 메커니즘 분석 및 설계 가이드 수립**<br>이성원, 박언준, 신성룡, 이동건, 이주영(현대자동차) |
| 14:20~14:40 | 휴식 |
| 14:40~15:00 | **대형버스 조향현가계 소음 저감을 위한 모델 기반 가청화기술 개발**<br>장용석, 박종찬, 이태훈(현대자동차) |
| 15:00~15:20 | **NVH 시스템 버추얼개발을 위한 부품레벨의 해석 신뢰성 향상연구**<br>서성훈, 안영은, 한일(현대자동차) |
| 15:20~15:40 | **N브랜드 차량 ESG 사운드 강건개발**<br>김재권, 이한규, 임성남, 정형도(현대자동차), 조영석(대동모벨시스템) |
| 15:00~16:00 | **NVH 민감도 분석을 통한 클로저 시스템 개발**<br>변민형, 박병성, 조정현, 임용혁, 이종원(현대자동차) |

## 11월 6일(금)

| 시간 \ 세션명 | 기획세션: 현대자동차그룹 학술대회<br>현대자동차 남양연구소 설계1동 1층 프레젠테이션룸 |
|---|---|
| 09:00~09:20 | **바이패스 타입 Self-Switchable 엔진마운트 개발**<br>김승원, 심현진(현대자동차), 이병곤(평화산업) |
| 09:20~09:40 | **탄성축 기법을 활용한 후륜 구동 디젤 차량의 시동 진동 개선**<br>심현진, 최재혁, 박상영, 최정훈(현대자동차) |
| 09:40~10:00 | **HEV 정차발진 시동 시 속 진동 개선 방안 연구**<br>방정환, 하창용, 서재준(현대자동차) |
| 10:00~10:20 | **노면 가진 기인 스티어링 휠 진동 개선을 위한 시스템 분석**<br>한은준, 위영진, 임차섭(현대자동차) |

# 목 차

## *11월 5일(목)*

### ■ 기조강연1

**음향학과 기계학습: 최근 동향 및 미래 방향**

성우제(서울대학교) ····· 1

## *11월 6일(금)*

### ■ 기조강연2

**음악 신경과학**

이경면(한국과학기술원) ····· 2

## *11월 5일(목) ~ 6일(금)*

### ■ 건축음향

**다목적 홀에서 잔향시간 가변 방식 및 개선 연구**

정광민(환경에스엔텍), 조현민, 김신태(서울시립대학교) ····· 3

**아파트 승강기 진동 전달 특성과 측정 위치의 타당성**

강민우, 장유경, 오양기(목포대학교) ····· 4

**CATT ACOUSTICS를 활용한 실내 소음저감 설계안 검토**

장유경, 강민우, 오양기(목포대학교) ····· 5

**개방형 축척 모형 실험의 콘서트홀 건축음향 설계 적용**

임재선, 오양기(목포대학교) ····· 6

**소규모 다목적공연장의 원음공연 음향성능 향상을 위한 리모델링 설계**

오양기(목포대학교) ····· 7

## ■ 구조음향 및 진동

**소형 모터의 이상소음 검출법**

차수호, 신성환, 정희태(국민대학교) ····· 8

**배관용 소음기의 흡음재 물성치에 따른 음향성능 연구**

이용범, 이철원, 양해상, 박건성, 성우제(서울대학교) ····· 9

**골도 진동자 교정을 위한 기계적 커플러의 특성 평가**

조완호(한국표준과학연구원) ····· 10

## ■ 소음: 영향 및 제어

**Eulerian-Lagrangian 단방향연성 해석을 통한 고스큐 Propeller 날개끝 와류공동 및 공동 소음에 대한 수치적 연구**

구가람, 정철웅(부산대학교), 설한신(선박해양플랜트연구소), 박일룡(동의대학교) ····· 11

**압축성/비압축성 유동 해석에 따른 수중 프로펠러 날개 끝 와류공동과 공동소음에 대한 수치 비교 연구**

하준범, 조정훈, 구가람, 정철웅(부산대학교), 설한신(선박해양플랜트연구소) ····· 13

**DDES 기법과 사중극자-보정 FW-H 방정식을 이용한 잠수함 추진기 공동소음에 대한 수치적 고찰**

조정훈, 구가람, 정철웅(부산대학교), 설한신(선박해양플랜트연구소) ····· 15

## ■ 공력음향 및 환경음향

**고압가스 배관내 밸브유동소음에 미치는 다공평 판의 영향에 대한 수치적 고찰**

김규남, 구가람, 정철웅(부산대학교), 김극수, 강웅(한국표준과학연구원) ····· 17

**고속열차의 개활지 및 터널 주행시 열차 표면압력섭동의 비교분석**

이송준, 정철웅(부산대학교), 김재환, 김병희(현대로템) ····· 19

**날개 익형 최적 설계를 통한 냉장고 내부 냉기순환용 저소음·고성능 후향 원심팬 개발**

정민승, 최진호, 정철웅(부산대학교), 김태훈, 구준효(LG 전자) ····· 21

**식기세척기 다익 원심팬의 공력소음과 유동성능에 미치는 스크롤 형상 영향에 대한 수치적 연구**

김건우, 유서윤, 정철웅(부산대학교), 김영수, 강기중, 백인우(LG 전자) ····· 23

**차량 사이드미러 미세틈새 유동에 의한 휘슬음의 수치적 고찰**

이권기, 이송준, 이상헌, 정철웅(부산대학교), 임성남, 신성룡(현대자동차) ····· 25

**2차원 익렬의 공력 특성을 이용한 고성능/저소음 축류팬 개발**

유서윤, 정철웅(부산대학교), 김종욱, 박병일(LG 전자) ····· 26

**자동차 바람소리 실내전달음에 대한 창문 고무 실 차음성능의 수치적/실험적 평가**

이상헌, 이송준, 정철웅(부산대학교), 권혜린, 서창만(DRB 동일) ····· 28

■ 음성

**Classifier-GE2E 기반의 멀티 헤드 어텐션을 활용한 화자 검증 시스템**

배아라, 김우일(인천대학교) ····· 30

**사전훈련모델을 이용한 한국어 문장 감성 분석 연구**

김현정, 천재윤, 구명완(서강대학교) ····· 31

**Transformer model을 이용한 영어 발음변환기 연구**

천재윤, 이정필, 구명완(서강대학교) ····· 32

■ 음향계측 및 전기음향

**앰비소닉 프로세싱을 이용한 3D마이크 소스 활용의 실제**

이무제[플랫톤즈㈜] ····· 34

**이어폰 목표 주파수 개발**

이신렬[㈜소니캐스트] ····· 35

**능동소음제거 무선 이어폰 개발**

이신렬[㈜소니캐스트] ····· 36

**다양한 흡음률 측정법의 비교를 위한 측정시스템 제작**

두세진[㈜데코톤] ····· 37

표준 네트워크기반 신호&전력전송 음향시스템의 방향성
이제국[㈜소프트기어] ····· 38

## ■ 초음파음향/광음향/물리음향

소노루미네센스를 이용한 액체정합층의 강력 초음파에너지 전달특성 평가
김해운, 손진영(부경대학교), 김정순(동명대학교), 김무준(부경대학교) ····· 39

초음파 유도 마이크로버블을 이용한 치료 깊이 증가를 위한 초음파 보조 광열치료 기술
김진우, 김혜민, 장진호(DGIST) ····· 40

고해상도 광 음향 현미경 영상을 위한 저잡음·광대역 수신 시스템 구현
한원국(DGIST), 문주영(피아이), 장진호(DGIST) ····· 41

초음파 및 광음향 영상을 위한 상전이 물방울 조영제의 기화 및 재응결 기저 연구
유재석(DGIST) ····· 43

## ■ 생체음향

체내 삽입형 의료 보철물 두께 측정을 위한 초음파 변환자 개발 및 측정 기술 연구
윤상연, 이문환, 류하민, 장진호, 황재윤(DGIST) ····· 44

유방암 진단을 위한 멀티 스케일 채널 어텐션 모듈 기반의 딥러닝 네트워크
이해윤, 황재윤(DGIST) ····· 46

강인한 방광 용적 추정을 위한 자세 정보를 고려하는 지능형 웨어러블 방광 모니터링 시스템
이문환, 류하민, 황재윤(DGIST) ····· 47

얼굴 피부 탄력도 정량 측정을 위한 고주파 초음파 변환자
장서연, 박진형(성균관대학교) ····· 49

## ■ 수중음향

음향컬러를 이용한 수중 쉘 표적의 음향 산란 특성 관찰
추연성, 변성훈(선박해양플랜트연구소), 이근화, 추영민, 최기웅(세종대학교) ····· 51

**해저면 근처 구/실린더형 표적의 산란 음장 모의**
최기웅, 이근회(세종대학교), 추연성, 변성훈(선박해양플랜트연구소), 양해상(서울대학교),
추영민(세종대학교) ····· 53

**해양환경 정보의 수중소음에 대한 영향성 분석**
김용국, 국영민, 김동관, 김규철, 윤상기, 최창호(LIG넥스원) ····· 54

**임의의 운동을 하는 합성개구소나의 수신 신호 모의 MATLAB 프로그램 개발**
김시문, 변성훈(선박해양플랜트연구소) ····· 55

**Method of Momements 기법을 이용한 합성개구소나 신호 압축**
백경민, 김완구(한국표준과학연구원), 유정수(울산대학교) ····· 56

## ■ 음악음향/음향심리/음향컨텐츠

**실감음향디자인을 적용한 실감콘텐츠사례**
유회종(서울호서예술전문학교), 이수용(동아예술방송대학교), 윤영선(파블로항공) ····· 57

**HOA (High Order Ambisonics)마이크를 사용한 공연장 360도 임펄스 응답 측정방법 및 활용**
이수용, 이재학(사운드코리아이엔지) ····· 58

**라이브 공연에 필요한 입체음향 믹싱 최적화를 위한 스피커 배치 연구**
문건창(대림대학교) ····· 59

**추상적 동적객체를 위한 공간 사운드 디자인 사례**
장규식(VR 사운드) ····· 60

## ■ 음향신호처리

**노치 필터를 이용한 데이터 증강 기법과 이를 활용한 실내 활동 모니터링 기법 개발**
김민한, 이석진(경북대학교) ····· 61

**평균-교사 모델과 학습률 교란을 이용한 약지도 음향 이벤트 검출**
이석진, 김민한, 신승현(경북대학교), 정영호(한국전자통신연구원) ····· 63

**능동 소나 시스템을 위한 학습된 주파수 기저를 이용한 비음수 행렬 분해 기반의 잔향 제거 기법**
이석진(경북대학교),임준석(세종대학교), 김성일(국방과학연구소) ····· 65

딥러닝 기반 차량환경 내 음향 반향 제거 알고리즘의 성능향상
신승민, 변준, 박영철(연세대학교), 박성욱(강릉원주대학교) ····· 67

## ■ 음악지각인지 특별세션-1

뇌전도 하이퍼스캐닝 기법을 통한 음악 세션 중 장애 아동의 뇌 동기화
강규림(University of Toronto), Silvia Orlandi(Holland Bloorview Kids Rehabilitation Hospital), Nicole Lorenzen(University of Guelph), Tom Chau(Holland Bloorview Kids Rehabilitation Hospital), Michael Thaut(University of Toronto) ····· 68

클래식 피아노 음악에서 감정 표현 변화에 따른 연주 특징 분석
김유진(한국과학기술원), 박정미(서울대학교), 정다샘(SK Telecom), 권태균, 남주한(한국과학기술원) ····· 71

양손 차이를 중심으로 한 피아노 연주 숙련도에 따른 정량적 분석
김사라, 박정미, 유승연(서울대학교), 남주한(한국과학기술원), 이교구(서울대학교) ····· 73

## ■ 포스터 발표

- **건축음향**

청감실험을 위한 바닥충격음 음원 아카이브 구축 필요성
박상희, 신혜경, 김경우(한국건설기술연구원) ····· 76

청주시소음지도제작을위한 도로변 소음도 조사
채세원, 한찬훈(충북대학교) ····· 77

설문조사에 의한 노인교실의 주관적 음성명료도 조사
최재성, 박찬재, 한찬훈(충북대학교) ····· 79

초등학교 저학년 교실의 교구배치에 따른 음향성능 비교 분석
황인혁, 박찬재, 한찬훈(충북대학교) ····· 80

청감시험에 의한 노인교실의 음향성능 실태조사
김보경, 박찬재, 한찬훈(충북대학교) ····· 82

노인교실의 물리적 음향성능 실태조사
문주형, 박찬재, 한찬훈(충북대학교) ····· 83

주거단지 방음벽의 차음성능 비교조사
박현철, 한찬훈(충북대학교) ····· 84

초등학교 저학년 교실의 물리적 음향성능 조사
신은주, 박찬재, 한찬훈(충북대학교) ····· 86

청감시험에 의한 초등학교 저학년 교실의 음향성능 조사
이승호, 박찬재, 한찬훈(충북대학교) ····· 88

설문조사를 통한 초등학교 저학년 교실의 주관적 음성명료도 조사
이재석, 박찬재, 한찬훈(충북대학교) ····· 90

비상방송설비용 스피커의 지향특성
정정호(방재시험연구원) ····· 91

오픈 플랜 오피스에서 근무환경과 스피치 사운드의 주관적 반응과의 관계
이송미, 송한솔, 김정훈, 김수홍, 류종관(전남대학교) ····· 92

〈음성, 음향계측 및 전기음향, 초음파/광음향/물리음향, 생체음향〉

• 음성

LSTM과 CNN의 긴급 상황 인지 성능 비교
최준규, 김보배, 송금자, 김지혜, 임성빈(숭실대학교) ····· 94

낮은 SNR 환경에서 마스크기반 음성향상을 위한 손실함수 조합에 관한 연구
정재희, 김우일(인천대학교) ····· 96

• 음향계측 및 전기음향

입력크기에 따른 건청인과 감각신경난청인 사이의 음량변화연구
오세진(충북보건과학대학교) ····· 97

감각신경성 난청의 심리음향학적 음량특성
오세진(충북보건과학대학교) ····· 98

• 초음파음향/광음향/물리음향

ESWL에 의해 생성된 Cavitation의 음향학 및 광학 신호 연구
송현재, 송태경(서강대학교), 최민주(제주대학교) ····· 99

수력기전식 상용 ESWL 장치의 비교 성능 시험
권오빈, 최민주(제주대학교) ····· 100

안드로이드 기반의 모바일 초음파 영상 시스템
김보석, 김미지, 박연성, 서성호(인제대학교), 김경민, 임해균, 김형함(포항공과대학교),
윤창한(인제대학교) ····· 101

• 생체음향

기계 순환 지원 시스템을 위한 영점 교차 기법 기반 초음파 혈류계 시스템
류하민, 이문환, 윤상연(DGIST), 김희찬(서울대학교), 황재윤(DGIST) ····· 102

3차원 의료 초음파 영상 복원을 위한 문맥을 고려하는 3차원 분할을 위한 딥러닝 네트워크
이경수, 이문환, 황재윤(DGIST) ····· 104

• 수중음향

파이프계 기포 유동에서 발생하는 소음 측정
표성태, 이근화(세종대학교) ····· 106

측정된 채널 정보를 이용한 시뮬레이터 설계
이주형, 안정하, 라형인, 김기만(한국해양대학교), 한정우(한국항공우주연구원) ····· 107

광대역화를 위한 심벌 트랜스듀서의 배열 패턴 설계
김동현, 오창민, 심하영, 강순관, 노용래(경북대학교) ····· 108

Sub-band 구조의 수중음향통신 송수신 구조
정현우, 신지은, 정지원(한국해양대학교), 김완진(국방과학연구소) ····· 109

기계학습을 이용한 잔향수조 수중유체소음 예측
이혜선, 홍우영(세종대학교), 김국현(동명대학교), 이근화(세종대학교) ····· 110

**제주 연해에서 조석에 따른 주변 소음 변화**
정인용, 민수홍, 팽동국(제주대학교) ····· 111

**〈음악음향/음향심리/음향컨텐츠, 음향신호처리〉**

• **음악음향/음향심리/음향컨텐츠**

**코드 진행을 통한 멀티트랙 환경의 자동 음악 생성**
황서림, 박영철(연세대학교) ····· 112

**바이노럴 비트의 물리적 세기와 주관적인 인식의 비교**
김성찬, 최민주(제주대학교) ····· 113

**가상악기 음원의 수평 공간음향재생에 관한 비교 연구**
고태현(상명대학교) ····· 115

• **음향신호처리**

**온라인 화상 회의 시스템에 적용 가능한 음향 반향 제거기의 실시간 구현**
최선호, 박영철(연세대학교) ····· 116

**Gabor CNN 및 주목 메커니즘 기반의 음성감정인식**
이기용, 김형국(광운대학교) ····· 117

**실내 위험 상황 인식을 위한 병렬 CNN 기반의 사운드 이벤트 검출**
신승수, 김민수, 김형국(광운대학교) ····· 118

**이벤트기반 후처리를 통한 음향 이벤트 검출 성능 향상 연구**
신승현, 이석진(경북대학교) ····· 119

**합성곱 신경망 기반 실시간 실내 환경음 인지 시스템 개발**
이대호, 김민한, 이석진(경북대학교) ····· 121

• **음악지각인지 특별세션-2**

**사운드의 사회 위상학**
박상준(가톨릭대학교), 박지수(세종사이버대학교), 이상빈(작곡가) ····· 124

**노래 부르기가 만성 폐쇄성 폐질환환자(COPD)에 미치는 영향: 체계적 고찰 및 메타분석**
김성애(숙명여자대학교) ····· 126

**언어 능력 향상을 위한 리듬 프로그램 리뷰**
오은지(서울대학교), 이경면(한국과학기술원) ····· 128

**음악인지유형에 따른 정서반응**
최진희(이화뮤직웰니스연구센터), 정현주(이화여자대학교) ····· 130

**소리와 음악을 시각화하는 새로운 방법의 개발**
노준탁, 우한결, 이재혁, 이혜준, 장지호, 추장우, 이기준(DGIST) ····· 133

**악기간 미세 시간 차이가 그루브 경험에 미치는 영향**
박석범, 이경면(한국과학기술원) ····· 135

**중증 치매환자대상 음악중재연구 분석**
한승아(이화여자대학교) ····· 137

**뇌파를 이용한 합성곱 신경망 기반의 음악 선호도 분류**
함주성, 이교구(서울대학교) ····· 139

**소리의 음고가 동시에 제시되는 시각적 대상의 밝기 지각에 미치는 영향**
홍유정, 최아현, 이채은, 윤수민, 조우재, 이교구(서울대학교) ····· 141

• **기획세션: 음향인식**

**대조적 자가지도 사전학습을 이용한 음향 상황 식별**
심혜진, 정지원, 김주호, 유하진(서울시립대학교) ····· 143

**잡음 종류와 SNR에 따른 딥러닝의 도시 환경음 분류 성능**
오원근(순천대학교) ····· 144

■ **기획세션: 음향인식**

**딥러닝 기반의 기침 인식 카메라**
이경태, 남현욱, 박용화(한국과학기술원) ····· 145

## ■ 기획세션: 은밀수중통신


**다중 밴드 처프 대역 확산 기법을 사용한 수중음향통신**

이주형, 안정하, 라형인, 김기만(한국해양대학교), 김인수(국방과학연구소) ····· 146

**오토인코더와 데이터 증식을 활용한 고래소리 모방 은밀통신 기법**

이인성, 권도일, 김덕경(인하대학교) ····· 147

**대역 확산 부 대역 수중음향통신 기법**

정현우, 신지은, 정지원(한국해양대학교), 김인수(국방과학연구소) ····· 149

**Chip 수에 따른 대역확산 기반 수중은밀통신 성능 분석**

신지은, 정현우, 정지원(한국해양대학교), 김인수(국방과학연구소) ····· 150

**해수면 거칠기 스펙트럼에 따른 고주파 양상태 해수면 음파산란 연구**

김용빈, 최강훈(한양대학교), 김시문(선박해양플랜트연구소), 이상국(국방과학연구소),
최지웅(한양대학교) ····· 151

**시공간적 해양환경에서의 통계적 음향채널 모델링 연구**

최강훈(한양대학교), 조용호, 고학림(호서대학교), 이상국(국방과학연구소), 최지웅(한양대학교) ····· 152

**장거리 심해 환경에서의 음선 기반 블라인드 디컨볼루션**

김동현, 김재수(한국해양대학교), 한주영(국방과학연구소) ····· 153

**수중음향통신 채널의 도플러 확산 모델링**

안정하, 이주형, 라형인, 김기만(한국해양대학교), 김완진(국방과학연구소) ····· 154


## ■ 기획세션: 압축센싱 소나신호처리


**희소성 음향 통신 채널 추정 견실화를 위한 l1놈–RLS 알고리즘**

임준석(세종대학교), 김성일(국방과학연구소) ····· 155

**블록 희소성을 이용한 다중 주파수 무격자 빔형성**

박민석, 성우제(서울대학교), 추영민(세종대학교), 김원기(국방과학기술연구원) ····· 157

**콘볼루션 측정을 이용한 측면주사소나 영상 압축 복원**

이보경, 강일범, 이준엽, 구본화(고려대학교), 김완진(국방과학연구소), 고한석(고려대학교) ····· 158

**Domain adaptation 기반 측면주사소나 영상 잡음제거**
강일범, 이준엽, 이보경, 구본화(고려대학교), 김완진(국방과학연구소), 고한석(고려대학교) ····· 159

**압축 센싱 기반 고해상도 음향 채널 추정**
추영민(세종대학교), 김원기(국방과학연구소), 성우제(서울대학교) ····· 160

**희소 베이지안 학습법을 이용한 실해상데이터 주파수 분석**
신명인, 추영민, 최기융(세종대학교), 김성일(국방과학연구소), 홍우영(세종대학교) ····· 161

**실해상데이터를 이용한 고속 압축센싱기반 도래각 추정 알고리즘 연구**
백지웅, 홍우영(세종대학교), 김성일(국방과학연구소), 이준호(세종대학교) ····· 162

**CW 및 LFM 신호를 이용한 압축센싱 거리 – 도플러추정**
이근화(세종대학교), 박민석(서울대학교), 임준석(세종대학교), 김성일(국방과학연구소) ····· 163

**■ 기획세션: 해양환경/재해 모니터링을 위한 수중음향**

**T 파 신호 분석 및 우리나라 동해로의 전파 양상 연구**
고명권(한양대학교), 류현정(대우조선해양), 신성원(한양대학교), 박순천(기상청), 최지웅(한양대학교) ··· 164

**동시베리아해 수중소음 측정**
한동균(극지연구소), 주종민(국가미세먼지정보센터), 손우주, 조경호(극지연구소), 최지웅(한양대학교),
강성호, 나형술(극지연구소) ····· 165

**사이드스캔소나 시뮬레이터를 이용한 저층 침적 HNS 탐지 기법 연구**
서힘찬, 최지웅(한양대학교), 황호진, 이문진(선박해양플랜트연구소) ····· 166

**강우형태에 따른 수중 강우소음 측정 및 분석**
이대혁, 김동욱, 황인성, 최지웅(한양대학교) ····· 167

**음향을 이용한 향고래(*Physeter macrocephalus*)의 전장 측정**
윤영글, 최강훈(한양대학교), 한동균(극지연구소), 손호선(고래연구센터), 최지웅(한양대학교) ····· 168

**동해 포항 연근해역 잔향음 패턴 및 지음향 모델**
이근화(세종대학교), 김성일(국방과학연구소), 성우제(서울대학교) ····· 169

## ■ 기획세션: 현대자동차그룹 학술대회


**로드노이즈 성능 타겟케스케이딩을 위한 샤시시스템 성능 최적화**

김종규, 이영찬(현대자동차) ····· 170

**타이어 시스템 성능을 활용한 로드노이즈 분석 및 개발**

박상영, 정재훈(현대자동차) ····· 174

**로드노이즈 가진원인 휠 모드의 SUB 시스템 단위 평가법 개발 및 구성 시스템 영향도 연구**

신동엽, 정판기, 윤동주, 왕성준, 최승우, 김병훈(현대자동차) ····· 175

**딥러닝 모델을 이용한 타이어 패턴 노이즈 예측 기술 개발 및 금형 직접 설계 검증**

윤영삼, 장동진, 염기호, 김성대(현대자동차), 이상권, 이화진(인하대학교), 황성옥(넥센타이어) ····· 176

**딥러닝을 활용한 시계열 주행데이터 기반 NVH 시스템 모델링 및 성능 예측**

송대헌(현대자동차), 목지수, 이종현, 최혁준, 윤성로(서울대학교) ····· 180

**딥러닝을 이용한 차량 NVH 성능 예측 및 기여도 분석 모델 개발**

하창용(현대자동차), 윤성로, 이장호, 최현수(서울대학교) ····· 181

**차량 소음 분석을 위한 AI 알고리즘 및 NVH 활용 방안 연구**

장경진(현대자동차) ····· 182

**가속감 및 변속감 향상을 위한 ASD 기술 개발**

김성현, 양재식, 김성열(현대자동차) ····· 184

**전기차 NVH 성능 향상을 위한 친환경 3D부직포 경량 흡음재 연구**

김지완, 박지섭, 하지윤, 박준욱, 왕성준, 조세현(현대자동차) ····· 186

**환경차 적합 대시 인슐레이터 적합설계를 위한 연구**

유종덕, 정호기, 오세훈(현대자동차) ····· 187

**아웃사이드 미러 폴딩갭 휘슬 개선을 위한 내부 구조 연구**

임성남, 신성룡(현대자동차), 정철웅, 이권기, 이송준(부산대학교) ····· 188

**샤크 안테나 기인 바람소리 메커니즘 분석 및 설계 가이드 수립**

이성원, 박언준, 신성룡, 이동건, 이주영(현대자동차) ····· 191

**대형버스 조향현가계 소음 저감을 위한 모델 기반 가청화기술 개발**
장용석, 박종찬, 이태훈(현대자동차) ····· 192

**NVH 시스템 버추얼개발을 위한 부품레벨의 해석 신뢰성 향상연구**
서성훈, 안영은, 한얼(현대자동차) ····· 193

**N브랜드 차량 ESG 사운드 강건개발**
김재권, 이한규, 임성남, 정형도(현대자동차), 조영석(대동모벨시스템) ····· 195

**NVH 민감도 분석을 통한 클로저 시스템 개발**
변민형, 박병성, 조정헌, 임용혁, 이종원(현대자동차) ····· 198

**바이패스 타입 Self-Switchable 엔진마운트 개발**
김승원, 심현진(현대자동차), 이병곤(평화산업) ····· 202

**탄성축 기법을 활용한 후륜 구동 디젤 차량의 시동 진동 개선**
심현진, 최재혁, 박상영, 최정훈(현대자동차) ····· 205

**HEV 정지발진 시동 시 쇽 진동 개선 방안 연구**
방정환, 하창용, 서재준(현대자동차) ····· 206

**노면 가진 기인 스티어링 휠 진동 개선을 위한 시스템 분석**
한은준, 위영진, 임차섭(현대자동차) ····· 207

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 기 조 강 연 1

>> 음향학과 기계학습: 최근 동향 및 미래 방향

성우제(서울대학교)

# 음향학과 기계학습: 최근 동향 및 미래 방향

성우제 [1]
[1] 서울대학교

# Acoustics and Machine Learning: Recent Trends and Future Directions

Woojae SEONG[1]
[1]Seoul National University

## 요약

전통적인 음향학은 높은 수준의 물리 모델을 개발하고 이를 이용하여 환경이나 표적과 같은 관심 대상의 정보를 추출하는데 주력하였다. 특히 음향 데이터를 활용하여 간접적으로 관심 대상에 대한 정보를 획득하는 과정에서 데이터의 오염이나 누락, 잔향 등으로 인한 수많은 난관이 존재하는데 이를 적절한 음향신호처리를 통해 극복해왔다. 다만 폭발적으로 늘어나는 데이터의 양에 따른 인적 자원 소요의 증대와 인간의 인지 능력을 벗어난 패턴이 존재 가능함은 아직까지도 큰 고민거리임은 분명하다.

한편, 오늘날 널리 알려진 기계학습은 일찍이 학계에서 인공지능 개발을 위해 활용되어 왔지만 최근 들어 빅데이터로부터 신뢰성 있는 학습이 가능해지고 그래픽처리장치를 활용한 고속 병렬 계산의 등장, 그리고 최적의 해를 찾을 수 있는 다양한 기계학습 기법의 개발로 인해 지금의 눈부신 성공을 누리게 되었다. 이러한 기계학습 기술은 음향학의 다양한 분야에서 적용되고 있는데, 특히 음향신호처리와 음성인식 분야의 발전과 더불어 음향 데이터를 활용하는 전통적인 음향학의 분야에서도 주목할 만한 결과를 선보이고 있다. 본 강연에서는 음향학에서의 기계학습의 최근 발전과 변화를 몇 개의 예시를 통해 살펴보며 미래 전망에 대한 생각을 나누고자 한다.

성우제: wseong@snu.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 기 조 강 연 2

>> 음악 신경과학

이경면(한국과학기술원)

# 음악 신경과학

이경면 [1]
[1] 한국과학기술원

# NEUROSCIENCE OF MUSIC

Kyung Myun LEE[1],
[1]KAIST

**중심어:** 음악신경과학, 뇌파, 뇌영상, 음악, 지각, 인지

## 요약

우리는 아름다운 음악에 감동을 받고, 음악을 들으며 고단한 하루의 피로를 풀기도 한다. 이렇게 음악을 듣고, 즐기며, 향유하는 인간을 과학적으로 탐구하는 학문이 바로 '음악의 지각(perception)과 인지(cognition)' 분야이다. 19 세기 Herman von Helmholtz 와 Wilhelm Wundt 이후, 소리를 듣고 이해하는 인간에 대한 연구는 주로 심리학의 행동 실험 방법, 즉 소리 자극을 들려주고 이에 대한 행동 반응을 측정하는 방법 위주로 연구되어 왔다. 하지만 20 세기 이후 신경과학의 눈부신 발전과 함께 음악의 지각과 인지 과정은 뇌과학적 방법을 사용해 연구되기 시작했다. 본 발표에서는 '음악 신경과학'이 어떤 분야인지 설명하고, 뇌파(Electrophysiology)와 뇌영상(Brain Imaging) 장비를 사용한 최근의 음악 신경과학 연구들을 소개함으로써, 음악하는 인간에 대한 질문들, 즉 음악의 기본 요소인 음고(pitch)와 리듬(rhythm)은 귀에서부터 뇌까지 어떻게 처리되는가? 음악에 감동받은 인간의 뇌에서는 어떤 일이 일어나는가? 전문 음악가와 일반인의 뇌는 어떻게 다른가? 등에 대한 뇌과학적 답을 제시하고, 이러한 답이 AI 시대의 음악성에 대해 의미하는 바를 논의하고자 한다.

이경면: kmlee2@kaist.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 건축음향

# 다목적 홀에서 잔향시간 가변 방식 및 개선 연구

정광민[1], 조현민[2] , 김신태[2]
[1] 환경에스엔텍, [2]서울시립대학교

# A study on the reverberation time variable method and improvement in multipurpose hall

Kwang-Min JEOUNG[1], Hyun-Min CHO[2] , and Sin–Tae KIM[2]

[1]Hwan Kyung S.N Tech, [2]University of Seoul

**중심어:** 가변음향, 잔향시간, 흡음률

## 요약

최근 잔향시간을 가변 하는 방법으로 건축음향적인 방법 과 전기음향적인 방법으로 계획 되고 있으며, 전기적 잔향가변시스템은 마이크로폰을 통해 수음 한 소리를 전자프로세스를 거쳐 잔향을 생성하고, 스피커를 통해 잔향을 부과하는 방식이다. 그리고 건축적 잔향가변시스템은 주로 전동 흡음커튼을 사용하여 상하 이동하여 흡음과 반사를 가변하는 방식, 이동식 흡음 및 반사 판넬을 사용하여 흡음면과 반사면을 변경하는 방식, 천정 반사판의 상하위치를 조정하여 실의 체적을 변화 시켜 잔향시간을 가변하는 방식이 주로 사용되고 있으며, 중심주파수 500Hz에서 0.2 ~ 0.4초 정도의 가변성능의 분포를 보이고 있다. 그리고 흡음특성을 살펴보면 흡음커튼의 경우 저음에 대한 가변 폭이 적고 상대적으로 고음역에서의 흡음특성이 우수하여 음의 밸런스가 좋지 않은 것으로 조사되었다. 따라서 중저음에서 가변성능을 개선한 특허기술을 기반으로한 개발잔향가변시스템의 흡음률 데이터를 기존 다목적홀의 사례에 적용하여 잔향가변설계를 시행할 경우 확보 가능한 주파수별 잔향시간 가변폭을 검토하였으며, 검토결과 주파수 대역별로는 125Hz 대역에서 0.34초, 250Hz대역에서 0.89초, 500Hz 대역에서 0.63초 등으로 중저음대 음역에서 상대적으로 큰 잔향시간 가변폭을 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 1000Hz, 2000Hz 에서는 가변폭이 0.27, 0.28 로 1000Hz이상에서는 기존 방식보다 떨어지는 것으로 나타났으며, 이를 개선하기 위해 부분적으로 흡음커튼을 사용한 결과 250Hz 대역에서 0.41초, 250Hz대역에서 0.97초, 500Hz 대역에서 0.80초, 1000Hz 대역에서 0.44초 2000Hz 대역에서 0.4초로 향상되어 전 주파수 대역에서 유효한 가변폭을 나타나는 것으로 예측 되었다.

## 참고문헌

1. Auditorio 400 at the 'Museo Reina Sofia' in Madrid : Use of variable systems for acoustic improvements , Building Acoustics , 2016

2. Sound absorption of textile curtains - theoretical models and validations by experiments and simulations , textile Research Journal , 2018

정광민: jaungs@hanmail.net

# 아파트 승강기 진동 전달 특성과 측정 위치의 타당성

강민우[1], 장유경[1] , 오양기[1]
[1] 목포대학교

# Vibration Transmission Characteristics of Apartment Elevator and Measurement Location

Min-woo KANG[1], Yu-Kyeong JANG[1], Yang-Ki OH[1]
[1]Mokpo National University

**중심어:** 아파트, 승강기, 진동, 측정방법

## 요약

승강기 소음은 대체로 소음레벨이 낮다. 조사 결과 낮게는 25dBA 수준에서 높게는 45dBA 수준까지 분포하고 있으며 평균적으로 35dBA 수준임을 확인 하였다. 이렇게 낮은 레벨의 승강기 소음을 정확하게 측정하기는 쉽지 않다. 특히 사람이 거주하고 있는 실제 아파트에서는 외부 환경 및 소음의 영향으로 인해 측정이 불가능한 경우도 많다. 이러한 점에 주목하여 앞선 연구에서 진동 측정을 통해 소음레벨을 평가하는 방법에 대해 검증한 바 있다. 본 연구에서는 승강기 진동 측정 시 벽면진동의 전달 특성을 면밀히 파악하고 측정 지점에 대한 타당성을 검증 하고자 하였다. 측정은 승강기가 기계실이 있는 MR구조로 승강로와 세대가 인접해 있는 세대에서 진행 하였다. 인접한 벽면의 35지점 그리드 측정을 통해 진동 전달 특성을 파악하고자 하였다. 세대는 인접실이 거실인 경우와 침실인 경우로 설정 하였다. 층 수 는 최하층, 중간층, 최상층 3개 층에서 진동 전달 특성을 파악하였으며, 측정 결과를 바탕으로 분석을 통해 인접실의 종류에 따라 또는 측정 층에 따라 변화 하는 경향을 파악하고자 하였다. 추가로 진동측정에 타당한 지점 선정을 위해 분석을 진행하였으며, 진동측정에 적합한 지점의 선정을 제안 하고자 하였다.

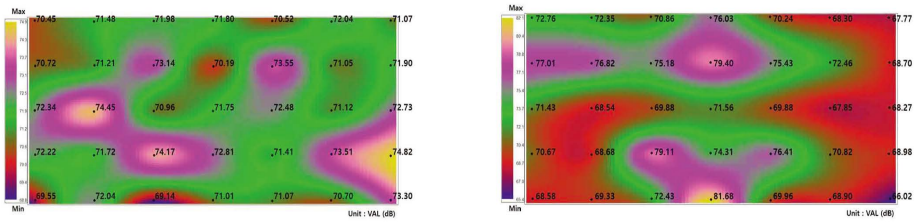



그림1. 벽변 진동 전달 특성 분포 (좌:침실, 우:거실)

본 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비지원(20RERP-B082204-07)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. ISO 16032 : 2004 Acoustics – Measurement of sound pressure level from service equipment in buildings – Engineering method
2. Kang, Min-Woo, Jang, Yu-Kyeong, Oh, Yang-Ki. Analysis of Noise Level and Measurement Method for Elevator in Apartment Houses. Journal of KIAEBS Vol.13, No.6, December pp.491-502. ISSN:1976-6483

drminuby@naver.com

# CATT ACOUSTICS를 활용한 실내 소음저감 설계안 검토

장유경[1], 강민우[1] , 오양기[1]
[1]목포대학교 건축학과

# A Study on the Indoor Noise Reduction design using CATT Acoustics

Yu-Kyeong Jang[1], Min-Woo Kang[1], and Yang-Ki Oh[1]
[1]Mokpo National University

**중심어:** 공동주택, 실내설비기기, 소음저감

## 요약

공동주택에서 발생하는 소음은 다양하다. 그 중 내 집에서 필요에 의해 사용되는 실내설비기기에서 발생하는 소음도 거주민에게 불편함을 주고 있다. 우리나라 공동주택의 평면 형태는 다양해지고 있지만 평면에서 공통적으로 나타나는 형태는 거실과 주방, 식당이 연결되어 있는 L+DK형태이다. 이러한 평면형은 거주자의 동선에 편리함을 주지만 실내설비기기에서 발생하는 소음 및 각종 실내 소음에 취약하다. 이는 내 집에서 발생하는 소음이라 큰 문제가 없어 보이지만 수면 시간이나, 휴식이 필요할 때 불편함을 준다. 위와 같은 실내 소음을 저감하기 위해 본 연구에서는 실제 거주민이 거주하는 공동주택에서 대표적으로 사용되고 있는 설비 대표 설비기기인 냉장고, 세탁기, 레인지후드 3개의 기기에 대해 측정 및 실험을 통해 데이터를 수집 하였다. 도출된 설계안의 소음 저감에 대해 검증 방법으로는 실내음향 시뮬레이션을 활용 하였다. 소음원은 실제로 측정한 음원을 사용 하였으며, 수음점은 거실과 안방, 각 음원 앞 총 3지점으로 선정하였다. 이와 같은 음향 시뮬레이션을 통한 검증으로 소음 저감에 적합한 설계안을 도출 하고자 하였다.

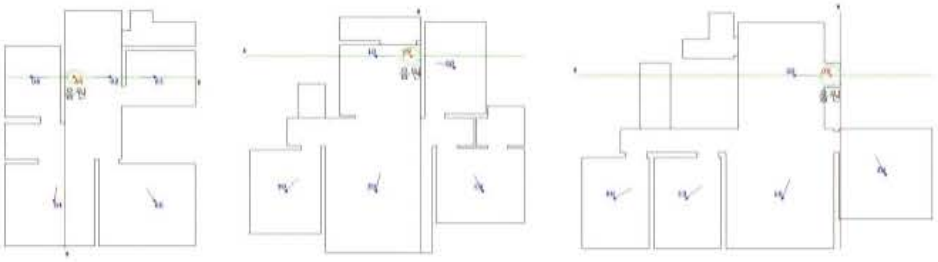


그림1. 기존 공동주택 평면의 시뮬레이션 및 음원과 수음점 위치

본 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비지원(20RERP-B082204-07)에 의해 수행되었습니다.

오양기: oh@mokpo.ac.kr

# 개방형 축척 모형 실험의 콘서트홀 건축음향 설계적용

임재선[1], 오양기[1]
[1]국립목포대학교

# APPLICATION OF OPEN TYPE SCALE MODEL TEST TO THE ARCHITECTURAL ACOUSTIC DESIGN FOR CONCERTHALL

Jae-sun Lim[1], Yang-ki Oh[1]
[1] Mokpo National University,

**중심어: 콘서트홀, 축척모형실험**

## 요약

콘서트홀의 설계 시 실내의 음향특성을 예측, 분석하여 건축음향 성능의 완성도를 확보하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션과 함께 축척 모형실험이 활용되고 있다. 컴퓨터 시뮬레이션은 비교적 빠른 시간에 모델링이 가능하여 시간적 비용적 장점이 있다. 또한, 모델의 수정이 용이하여 변화에 따른 특성을 검토하기에 적합하다. 하지만 음선을 추적하는 형태의 방법을 이용하기 때문에 실제 파동의 특성 검토가 어려우며 곡면의 모델링이 불가능한 단점이 있다. 반면 축척 모형 실험은 실제공간과 유사한 형태로 모형을 제작한 후 실험을 하므로 소리의 회절 및 확산 특성을 검토할 수 있는 장점이 있다. 하지만 밀폐형 1/10 축척모형의 경우 약3개월 가량의 제작기간과 높은 비용이 소요되며 모형의 형태 및 마감재 변경이 어려워 설계 단계에서 반영하기 어려운 문제가 있다.

본 연구에서는 초기반사음을 발생시키는 유효 반사벽체를 1/10 축척 모형으로 제작하여 무향실 내부에서 실험함으로써 기존의 밀폐형 축척 모형실험의 단점이었던 긴 제작기간과 높은 제작비용을 개선하여 필요한 정보를 확보할 수 있도록 연구하였다. 이를 통하여 보다 효율적인 시간과 비용을 투입하여 콘서트홀 설계의 완성도를 향상 시키는 방법을 제안하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 참고문헌

1. Eroz, F., 'Use of Scale Modeling for Acoustical Measurements; Comparison of Concert Halls, Scale Models and Computer Modeling'(2012)
2. Barron, M., 'Auditorium Acoustics and Architectural Design', Spon Press, London, UK,(2009)

책임저자의 성명 및 email주소 기입(예: 임재선: slim@genuin.co.kr)

# 소규모 다목적공연장의 원음공연 음향성능 향상을 위한 리모델링 설계

오양기[1]
[1] 목포대학교

# REMODELLING DESIGN OF A SMALL MULTI PURPOSE HALL FOR A BETTER NATURAL ACOUSTIC PERFORMANCE

Yang-Ki OH[1]
[1]Mokpo National University

**중심어:** 다목적공연장, 원음공연, 음향성능, 리모델링, 음향설계

## 요약

30여년 전에 설립된 소규모 다목적공연장을 대상으로 클래식콘서트 등 원음공연시 음향성능을 향상시키기 위한 리모델링 설계를 수행하였다. 이 공연장은 원형의 프로세니엄 아치가 무대 중간에 설치되어 있고 프로세니엄 아치 전면의 원형무대에는 연주자를 위한 무대반사판이 없어 연주자들의 모니터링 및 협연 컨디션 조절이 매우 힘들다. 이를 개선하기 위하여 프로세니엄 아치 전면의 반원형 무대 돌출부의 상부에 그와 같은 형태의 무대천장반사판을 설치하여 연주자들의 모니터링 및 프로세니엄 아치 내부 연주자들의 악기음이 객석으로 반사될 수 있도록 하였다.

설립 당시 비현실적인 공연의 다양성을 지나치게 추구한 나머지 규모에 어울리지 않게 오케스트라 피트가 있고 (초기수평반사음의 확보에 매우 중요한) 객석 전면의 측벽이 오픈되어 있다. 수평반사음이 전혀 없는 상황이어서 오케스트라 피트 및 측면의 오픈 무대의 비활용을 전제로 전면부위 객석위치의 측벽을 신설하였다. 약간 볼록한 형태로 표면에 수직방향의 미세확산면을 객석에 초기 측면반사음을 추가하였다.

현재의 소극장은 객석이 90도로 벌어진 부채꼴형의 평면을 갖고 있어 측벽에서의 수평반사음이 전혀 없는 상황이다. 측벽에서의 수평반사음을 만들어내기 위해 양쪽 측벽 상부에 각각 2열의 측벽확산반사체를 설치하였다.

매시 천장으로 공연장 공간과 천장 상부 공간이 분리되어 있어 용적이 작은 편임. 따라서 울림이 매우 부족하다. 따라서 매시 천장을 철거하고 천장 상하부 공간을 연결하여 용적을 20% 정도 확장함으로써 추가 잔향을 확보하였다. 철거한 메시 천장의 무대측 상부에 객석반사판을 설치하여 객석에서의 소리크기 보강. 이 천장반사판에 의해 천장 상하부의 공간이 음향적으로 단절되지 않도록 형태와 크기, 위치 등을 조절하여야 한다는 점이 중요한 요인이다.

## 참고문헌

1. L.L. Beranek, *Acoustics*, McGraw Hill, New York (1954)

하강렬: oh@mokpo.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 구조음향 및 진동

# 소형 모터의 이상소음 검출법

차수호[1], 신성환[1] , 정희태[1]
[1] 국민대학교

# ABNORMAL SOUND DETECTION OF SMALL MOTOR

Su-Ho CHA[1], Sung-Hwan SHIN[1], Hee-Tae JEONG[1]
[1]Kookmin University

**중심어:** 모터, 감성품질, 이상소음, 변동성

## 요약

최근 자동차 분야에서 감성적인 부분에 대한 기대감이 커지면서 감성품질 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 자동차의 안전장치 및 편의장치 등을 작동하기 위해 주로 소형 모터를 이용하는데, 모터에서 이상소음 (이음)이 발생할 경우 감성품질을 저해하는 요소로 지적되어서 그 해결 방안이 요구되는 실정이다. 이를 위해서 본 연구에서는 차량용 소형 모터 44개 (동일 유형)에 대하여 소음, 전류신호를 측정하였고, 측정된 소음신호를 이용하여 전문가 대상 주관적 청음 실험을 통하여 각 모터샘플의 '이음-정상' 수준을 정량화 하였다. 이음의 객관적 원인 분석을 위해 이음샘플 소음신호의 시간-주파수 분포를 살펴본 결과, 3.5Hz의 변동성 (진폭변조와 주파수변조) 특징이 그림1과 같이 나타났다. 3.5Hz는 모터 회전수와 기어 감속비를 이용하여 Lead Screw (동력 전달을 위한 시스템과의 연결부)의 회전성분임을 파악하였다. 즉, Lead Screw의 변동이 이음 발생에 영향을 준다고 볼 수 있다. 이러한 변동은 공학적으로 토크 변동으로 볼 수 있으므로, 토크와 양의 상관관계인 전류[1]의 시간파형을 살펴보았다. 그 결과 3.5Hz에서 Anti-symmetric 형태로 변동하는 특징이 그림2(a)와 같이 나타났다. 이 특징을 정량화하기 위해 전류신호의 고해상도 FFT 분석 (주파수 해상도: 0.5Hz)을 수행하였고, 3.5Hz에서의 레벨 기준을 이용하여 '이음-정상' 샘플을 분류한 결과 82%의 판별율을 가지는 이음 판별인자로 추출하였다. 이 인자는 모터 이음 저감을 위한 연구개발의 가이드라인으로 사용가능할 것으로 보이며, 생산라인에서 이음검출 자동화를 위한 알고리즘으로 사용된다면 객관적/정량적 품질관리에 도움을 줄 것으로 기대된다.

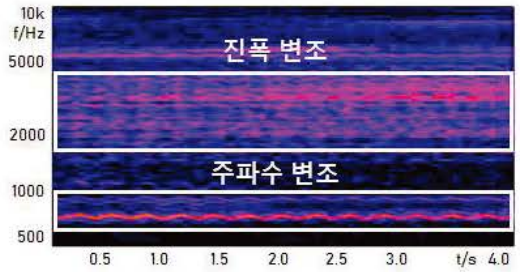



그림1. 이음샘플 소음신호의 시간-주파수 분포

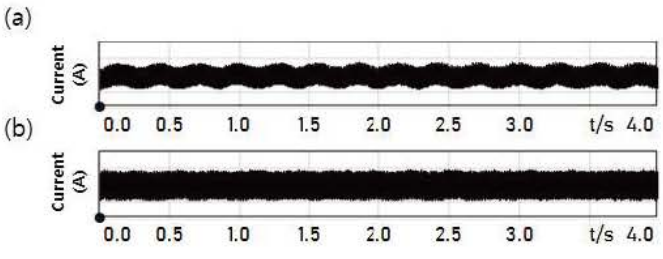



그림2. 전류신호의 시간파형 비교 (a) 이음샘플, (b) 정상샘플

## 참고문헌

1. H.A. Toliyat, *Handbook of Electric Motors*, CRC Press (2004)

신성환: soulshin@kookmin.ac.kr

이 성과물은 산업통상자원부 '산업전문인력역량강화사업'의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 연구임. (2020년 미래형자동차 R&D 전문인력 양성사업, 과제번호: N0002428)

# 배관용 소음기의 흡음재 물성치에 따른 음향성능 연구

이용범[1], 이철원[1], 양해상[1], 박성건[2], 성우제[1]
[1]서울대학교, [2]대우조선해양

# A STUDY ON ACOUSTIC PERFORMANCE ACCORDING TO THE ACOUSTIC ABSORBENT PROPERTIES OF PIPE SILENCER

Yongbeom LEE[1], Chul-Won LEE[1] , Haesang YANG[1], Sung-Gun Park[2] and Woojae SEONG[1]
[1]Seoul National University, [2]Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering

**중심어:** 음향성능(Acoustic performance), 흡음재(Acoustic absorbent), Delany-Bazley-Miki model

## 요약

함정의 고성능화에 따른 탑재장비의 대형화로 많은 냉각계통이 필요해졌다. 이에 따라 함내 소음 및 수중방사소음이 증가하게 되고, 이런 배관소음을 줄이기 위해 소음기를 주로 사용한다. 소음기 성능을 향상시키기 위해 일반적으로 소음기 크기를 키우는 방법이 있지만, 함정 경량화 및 협소한 공간문제로 크기 대비 성능이 우수한 흡음형 소음기를 사용하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 흡음형 소음기의 성능을 수치해석 방법을 이용하여 예측하였고, 이를 위해 단일확장형 소음기의 성능을 실험 및 수치해석 방법을 이용하여 검증하였다. 결과는 소음기 자체 성능을 나타내는 지표인 투과손실(Transmission loss)을 이용하여 나타내었다.[1] 실험은 투과되는 배관의 임피던스를 바꾸는 Two load 방법을 사용하였다.[2] 수치해석 방법은 흡음재의 흐름 저항성(flow resistivity)을 이용하는 Delany-Bazley-Miki model를 적용하여 범용 유한요소해석 프로그램을 사용하였다. 결과적으로 단순확장형 소음기에서 실험 및 수치해석 결과의 일치성을 확인하였고, 흡음형 소음기는 흡음재의 두께가 증가할수록, 흡음재의 흐름 저항성(flow resistivity)이 클수록 대체적으로 투과손실이 크게 나타나는 것을 확인하였다.

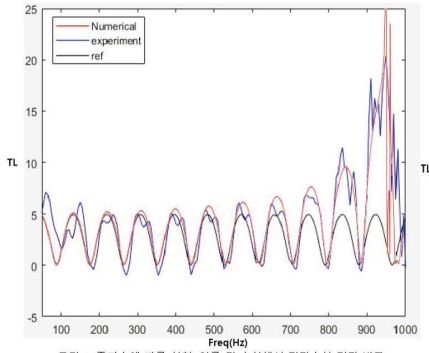


그림 1. 주파수에 따른 실험, 이론 및 수치해석 전달손실 결과 비교

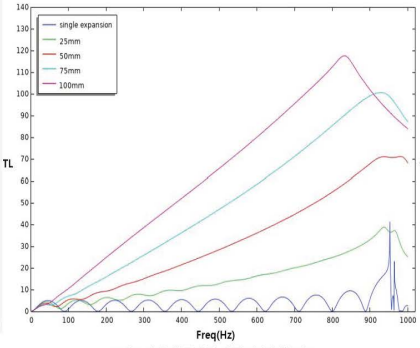


그림 2. 흡음재 두께에 따른 전달손실 비교

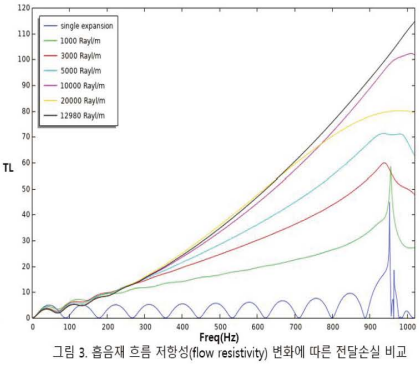


그림 3. 흡음재 흐름 저항성(flow resistivity) 변화에 따른 전달손실 비교

## 참고문헌

1. M.L.Munjal, M, *Acoustics of ducts and mufflers* , John Wiley & Sons, New York (2014)
2. Z.Tao and A.F.Seybert, "A Review of Current Techniques for Measuring Muffler Transmission Loss," *SAE transactions*, pp.2096-2100 (2003)

성우제: wseong@snu.ac.kr

# 골도 진동자 교정을 위한 기계적 커플러의 특성 평가

조완호
한국표준과학연구원

# CHARACTERIZATION OF THE MECHANICAL COUPLER FOR THE CALIBRATION OF BONE VIBRATOR

Wan-Ho CHO
Korea Research Institute of Standards and Science

**중심어:** 골도 진동자, 기계적 커플러, 측정 표준, 소급성

## 요약

청력 검사에 사용되는 오디오미터는 청각계에 정해진 자극을 전달하는 것을 목적으로 하며[1], 자극의 양은 국제 표준으로 규정되어 있다 [2, 3]. 이러한 자극의 양을 정확히 측정하기 위하여, 인간의 청각계를 모사한 인공귀가 사용되며, 골도의 경우에도 골도 진동자로 가진 하는 유양돌기의 기계적 임피던스를 모사한 기계적 커플러를 사용한다[4]. 이러한 기계적 커플러는 힘 변환기의 일종으로 진동 측정 표준과 질량에서 소급을 받게 된다 (그림 1, [5 6]). 본 연구에서는 그림 2 와 같이 기계적 커플러를 교정하기 위한 시스템을 구축하여 소급성이 확보된 교정을 수행하였고 이에 대한 불확도를 평가하였다 (그림 3).

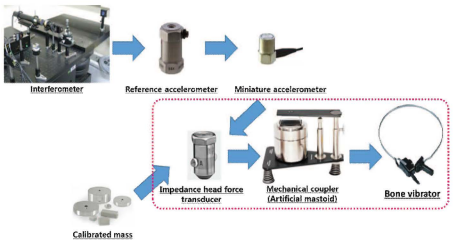



그림 1. 골도 진동자의 소급체계 [5].

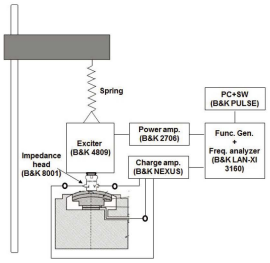



그림 2. 기계적 커플러 교정 시스템 구성 [6].

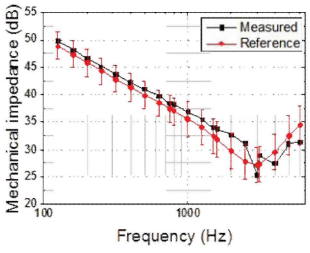



그림 3. 기계적 커플러 교정 결과의 예.

## 참고문헌

1. ISO 8253-1, Acoustics – Audiometric test methods – Part1: Pure-tone air and bone conduction audiometry, 2010.
2. ISO 389-1, Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment – Part 1: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tomes and supra-aural earphones, 2017.
3. ISO 389-3, Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment – Part 3: Reference equivalent threshold vibratory force levels for pure tones and bone vibrators, 2016.
4. IEC 60318-6, Electroacoustics – Simulators of human head and ear – Part 6: Mechanical coupler for the measurement of bone vibrators, 2007.
5. W.-H. Cho, Calibration and uncertainty evaluation of the devices for audiometry, Proc. of the Internoise 2020, August, 2020.
6. D. Scott, L. Dickinson, and T. Bell, “Traceable calibration of impedance heads and artificial mastoids,” Meas. Sci. Technol., 26, 125013, 2015.

조완호: chowanho@kriss.re.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 소음: 영향 및 제어

# Eulerian-Lagrangian 단방향연성 해석을 통한 고스큐 Propeller 날개 끝 와류공동 및 공동 소음에 대한 수치적 연구

구가람 [1], 정철웅 [1], 설한신 [2], 박일룡 [3]
[1] 부산대학교 기계공학부, [2] 한국해양과학기술원부설 선박해양플랜트연구소, [3] 동의대학교 조선해양공학과

# NUMERICAL INVESTIGATION ON TIP VORTEX CAVITATION AND CAVITATION NOISE OF HIGH-SKEW UNDERWATER PROPELLERS USING EULERIAN-LAGRANGIAN ONE-WAY COUPLING METHOD

Garam KU[1], Cheolung CHEONG[1], Hanshin SEOL[1], and Ilryong PARK[3]
[1]School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea
[2] Advanced Ship Research Division, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering
[3] Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Dong-Eui University, Busan, Korea

**중심어:** 공동소음, 수중추진기소음, 기포동역학, 고스큐 추진기

## 요약

수중 추진기에서 형성된 공동은 소멸 시 형성되는 제트 유동으로 인해 추진기 표면을 부식시키며 큰 소음을 동반한다. 따라서 공동 성능은 추진기 수명과 성능을 좌우하는 중요한 요소이며, 추진기의 공동 초생 속력을 정확하게 예측하는 것은 수중 추진기 설계의 핵심기술이다. 일반적으로 수중 추진기에서 가장 먼저 발생하는 공동 현상은 날개 끝 와류 공동(Tip vortex cavitation)이며, 1 kHz 이상의 넓은 주파수 대역에서 큰 소음을 유발하는 것으로 알려져 있다. 그러므로 날개 끝 와류 공동을 예측하는 기술은 추진기 프로펠러의 공동 성능을 설계 단계에서 고려하기 위한 핵심 기술이며, NACA66$_2$-415, NACA16-020 과 같은 단순 날개 형상에서부터 실제 프로펠러에 이르기까지 다양한 대상에 대해 관련 연구가 진행되고 있다[1-4]. 본 연구에서는 NACA16-020 을 대상으로 정립한 날개 끝 와류공동 예측 기술[1]을 기반으로 프로펠러에서의 날개 끝 와류 공동을 예측하기 위한 방법론을 제시하였으며, 관련 성능 지표로써 공동 소음을 활용하였다. 전체적인 공동 소음 예측 절차는 다음과 같다. 먼저, Eulerian 접근법에 해당하는 Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) 해석을 수행하여 기포가 분포할 유동장을 생성한다. 유동장 내 날개 끝 와류핵의 궤적을 산출하고, 와류핵을 중심으로 와류모델링을 수행함으로써 RANS 해석에서 수치적으로 소산된 와류구조를 재생한다. 마지막으로 와류가 재생된 유동장에 초기 공동핵(Nuclei)들을 분포시켜 Lagrangian 접근법에 해당하는 기포동역학 해석을 수행함으로써 공동핵의 성장 및 소멸을 모사하고 이러한 기포의 시간과 공간상에서 부피의 변화량에 대한 정보를 입력값으로 공동 소음을 예측한다. 예측한 공동 소음 스펙트럼을 측정값과 비교하여 제시한 수치해석방법의 유효성을 검증하였다.

정철웅: ccheong@pusan.ac.kr

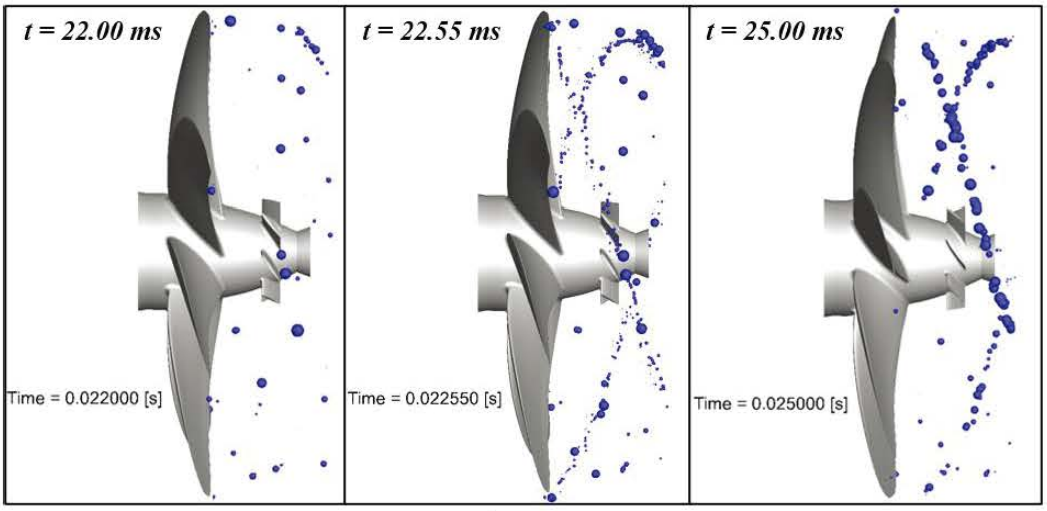



그림 1. Bubble flow field

## 참 고 문 헌

1. G. Ku, C. Cheong, and H. Seol, "Numerical investigation of tip-vortex cavitation noise of an elliptic wing using coupled Eulerian-Lagrangian approaches", *Appl. Sci.*, 10(17), 5897, pp.1-30 (2020)

2. I. Park, J. Kim, H. Seol, K. Kim, and J. Ahn, "Numerical analysis of tip vortex and cavitation of elliptic hydrofoil with NACA $66_2$-415 cross section", *J. Ocean Eng. Technol.*, 32, pp.244-252 (2018)

3. S. Kim, C. Cheong, and W. -G. Park, "Numerical investigation into effects of viscous flux vectors on hydrofoil cavitation flow and its radiated flow noise", *Appl. Sci.*, 8(2), 289, pp.1-26 (2018)

4. M. Ha, C. Cheong, H. Seol, B. -G. Paik, M. -J. Kim, and Y. -R. Jung, "Development of Efficient and Accurate Parallel Computation Algorithm Using Moving Overset Grids on Background Multi-Domains for Complex Two-Phase Flows", *Appl. Sci.*, 8(10), 1937, pp.1-25 (2018)

정철웅: ccheong@pusan.ac.kr

# 압축성/비압축성 유동 해석에 따른 수중 프로펠러 날개 끝 와류공동과 공동소음에 대한 수치 비교 연구

하준범 [1], 조정훈 [1], 구가람 [1], 정철웅 [1], 설한신 [2]
[1] 부산대학교 기계공학부, [2] 한국해양과학기술원부설 선박해양플랜트연구소

# NUMERICAL COMPARATIVE STUDY ON TIP VORTEX CAVITATION AND CAVITATION NOISE OF UNDERWATER PROPELLER WITH COMPRESSIBLE AND INCOMPRESSIBLE FLOW SOLVERS

Junbeom HA[1], Junghoon CHO[1], Garam KU[1], Cheolung CHEONG[1], and Hanshin SEOL[2]
[1]School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea
[2] Advanced Ship Research Division, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering

**중심어:** 와류공동, 공동소음, FW-H(Ffowcs Williams and Hawkings) 음향상사법, 추진기 프로펠러

## 요약

최근 급격한 경제성장으로 인해 선박을 이용한 해상 물동량이 크게 증가하고 있으며, 이에 따라 선박의 추진기에서 수중으로 방사되는 소음이 해양 생태계 오염의 주요 요인으로 다뤄지고 있다. 이미 미국, 유럽 등의 선진국은 수중 방사소음의 심각성을 인지하고 이를 규제하기 위한 방안들을 제시하고 있으며, 프로펠러 설계 단계에서부터 저소음 프로펠러 설계 기술이 적용되고 있다. 특히, 프로펠러에서 공동이 발생할 경우 소음이 급격하게 증가하므로, 공동 발생정도를 프로펠러의 공동 성능으로써 채택하여, 육안 관측과 음향 관측을 병행하고 있으며, 일반적으로 프로펠러에서 가장 먼저 발생한다고 알려진 날개 끝 와류 공동을 주요 관측 대상으로 삼고 있다. 따라서, 본 연구에서는 수중 프로펠러에서 발생하는 날개 끝 와류공동을 대상으로 유동해석을 수행하였으며, 유동해석 결과를 기반으로 Lighthill 의 음향상사법을 적용하여 공동소음을 예측하였다. 균일혼상류 기반의 비압축성 해석은 다양한 선행 연구들로부터 유동해석 관점에서 그 유효성이 입증된 바 있으며[1-3] 본 연구에서는 압축성 해석을 수행하여, 유동해석과 소음해석 관점에서 압축성과 비압축성 가정의 유효성을 비교하였다. 유동해석은 Reynolds averaged Navier-Stokes 해석 기법을 적용하였으며, 난류 모델은 DES SST k-omega 모델을 적용하였다. 공동 소음 예측을 위해 유동장 내 투과성 적분면(Permeable surface)을 선정하였으며, 사중극-보정 Ffowcs Williams and Hawkings (FW-H) 방정식을 적용하여 공동소음을 예측하였다[4].

## 참고문헌

1. J. H. Cho, "Numerical investigation of tip vortex cavitation noise of submarine propellers using DDES technique and quadrupole corrected Ffowcs Williams and Hawkings equation," MA diss., Pusan National University (2020)
2. S. Kim, C. Cheong and W.-G.Park, “Numerical Investigation into effects of viscous flux vectors on hydrofoil

정철웅: ccheong@pusan.ac.kr

cavitation flow and its radiated flow noise," Applied Sciences, 8, 289 (2018)
3. M. Ha, C. Cheong, H. Seol, B.-G. Paik, M.-J. Kim and Y.-R. Jung, "Development of efficient and accurate parallel computation algorithm using moving overset grids on background multi-domains for complex two-phase flows", Applied Sciences, 10, 1937 (2018)
4. G. Ku, S. Ryu and C. Cheong, "Numerical investigation into the flow noise of a submersible airfoil cavity using quadrupole corrected Ffowcs Williams and Hawkings equation," The Journal of the Acoustic Society of Korea, 37-5, 263-270 (2018)

정철웅: ccheong@pusan.ac.kr

# DDES 기법과 사중극자-보정 FW-H 방정식을 이용한 잠수함 추진기 공동 소음에 대한 수치적 고찰

조정훈[1], 구가람[1], 정철웅[1], 설한신[2]

[1] 부산대학교 기계공학부, [2]한국해양과학기술원부설 선박해양플랜트연구소

# NUMERICAL INVESTIGATION ON CAVITATION NOISE OF SUBMARINE PROPELLERS USING DDES TECHNIQUE AND QUADRUPOLE-CORRECTED FW-H EQUATION

Junghoon CHO[1], Garam KU[1], Cheolung CHEONG[1], and Hanshin SEOL[2]

[1]School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

[2] Advanced Ship Research Division, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering

**중심어:** 수중 추진기 공동 소음, 고스큐 추진기, DDES(Delayed Detached Eddy Simulation), 적응격자세밀화기법

## 요약

최근 해상물동량 증가로 인해 수중방사소음에 의한 해양생태계 피해가 다수 보고되고 있으며, 국제해사기구는 민간선박에 의한 수중방사소음 수준을 규제하고자 국제적인 제도장치를 마련하고 있다. 또한 잠수함 추진기 소음은 1950 년대 초반부터 지속적으로 군사적 전술능력 관점에서 중요한 이슈로 인식되어, 추진기 방사소음에 대한 많은 연구가 진행되고 있다[1-6].

본 논문은 고정밀 전산유체역학 기법인 Delayed Detached Eddy Simulation(DDES) 방법과 Ffowcs Williams and Hawkings(FW-H) 방정식 기반의 음향상사법을 이용하여, 고스큐 프로펠러에서 발생하는 공동소음을 예측하였다. 전체적인 해석절차는 크게 3 단계로 구분된다. 첫째로 대형 캐비테이션터널(Large cavitation tunnel, LCT) 관측부를 대상으로 터널 관측부 벽면에 발달하는 경계층 유동을 벽면 속도분포 관점에서 모형시험 결과와 비교 검증하였다. 둘째로 DARPA SUBOFF 잠수함을 대상으로 잠수함 선체에 작용하는 저항과 잠수함 후미 부가물에 의해 생성된 공칭반류 유동장을 모형시험 결과와 비교하였으며, 잠수함 선체 저항은 5% 오차 내로 예측되었고, 공칭반류의 유동장 분포는 시험결과와 유사함을 확인하였다. 마지막으로, 터널 관측부와 DARPA SUBOFF 잠수함 선체, 그리고 고스큐 추진기를 대상으로 공동 유동장과 공동소음을 예측하였다. 대상 수중 추진기는 스큐각이 17 도와 38 도인 2 가지 추진기를 사용하였다. 공동 유동장을 모사하기 위하여 균질 혼합모델을 적용한 DDES 기법과 Schnerr-Sauer 의 공동모델을 적용하여 추진기에 의한 공동현상을 모사하였으며, 날개 끝 와류 공동을 보다 정확하게 모사하기 위하여 날개 끝에서부터 와류 궤적을 따라 적응격자세밀화 기법을 적용하였다. 공동소음 예측방법은 복합 전산공력음향예측 기법인 사중극자-보정 FW-H 음향상사법을 적용하였으며, 유동장 내 추진기를 포함하는 투과성 적분면(Permeable surface)을 정의하여 소음원 영역을 정의하였다. 일반적으로 날개 끝 와류 공동이 발생할 경우, 1kHz 이상의

정철웅: ccheong@pusan.ac.kr

광대역 영역에서 소음이 증가하는 것으로 알려져 있으며, 본 연구의 소음 해석 결과로부터 1kHz 이상의 광대역 소음이 모형시험 결과와 잘 일치하는 것을 확인하였다. 또한 스큐각에 의한 공동소음 저감효과를 확인하였으며, 모형시험의 공동소음 계측결과와 동일한 경향을 나타냄을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

1. S. Kim, C. Cheong, and W. G. Park, "Numerical investigation on cavitation flow of hydrofoil and its flow noise with emphasis on turbulence models," *AIP Adv.*, 7, 1-15 (2017).

2. S. Kim, C. Cheong, and W. G. Park, "Numerical Investigation into Effects of Viscous Flux Vectors on Hydrofoil Cavitation Flow and Its Radiated Flow Noise," *Appl. Sci*, 8(2), 289, (2018).

3. G. Ku, C. Cheong, and H. S. Seol, "Numerical investigation of tip-vortex cavitation noise of an elliptic wing using coupled Eulerian-Lagrangian approaches," *Appl. Sci* 10, 5897, (2020).

4. I. R. Park, J. I. Kim, H. S. Seol, K. S. Kim, and J. W. Ahn, "Numerical Analysis of Tip Vortex and Cavitation of Elliptic Hydrofoil with NACA 66 2-415 Cross Section. *J. Ocean Eng. Technol.*," 32(4), 244-252 (2018).

5. N. Yilmaz, M. Atlar, and M. Khorasanchi, "An improved Mesh Adaption and Refinement approach to Cavitation Simulation (MARCS) of propellers," *Ocean Eng.*, 171, 139-150, (2019).

6. G. Ku, S. Y. Ryu, C. Cheong, "Numerical investigation into cavitation flow noise of hydrofoil using quadrupole-corrected Ffowcs Williams and Hawkings equation," *J. Acoust. Soc. Kr.*, 37(5), 263-270, (2018).

정철웅: ccheong@pusan.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 공력음향 및 환경음향

# 고압가스 배관내 밸브유동소음에 미치는 다공성 판의 영향에 대한 수치적고찰

김규남 [1], 구가람 [1], 정철웅 [1†], 김극수 [2], 강웅 [3]
[1] 부산대학교 기계공학부, [2] 대우조선해양 선박해양연구소, [3] 한국표준과학연구원 열유체표준센터

# Numerical investigation into effects of perforated plates on valve flow noise in pipe conveying high-pressure gas

Gyunam KIM[1], Garam. Ku[1], Cheolung CHEONG[1]†
[1]Pusan National University

**중심어:** AIV, Perforated Plate, Acoustic Power, High pressure gas, Flow noise

## 요 약

고압가스 배관은 해양플랜트 및 각종 설비에서 일반적으로 많이 사용되는 배관으로 고압가스의 압력을 낮추기 위해 감압밸브를 사용한다. 감압밸브를 지나는 유동은 이러한 급격한 압력변화를 원인으로 강한 난류가 발생하고 이러한 난류는 유동소음을 발생시킨다. 이러한 난류섭동과 유동소음은 각각 배관의 FIV(Flow induced Vibration)과 AIV(Acoustic Induced Vibration)를 발생시키며 심하면 배관 파손을 유발한다. 선행연구[1-3]를 통하여 이러한 배관 진동의 직접적 원인이 되는 배관 내부 벽면 압력장을 비압축성/압축성 압력장으로 분리하고 각각의 음향파워를 예측하는 방법을 제시하였다. 본 논문에서는 이러한 고압가스 배관의 밸브 유동으로 인하여 발생한 음향장이 하류방향으로 전파해 갈 때 이를 정량적으로 평가할 수 있는 수치적 방법론을 제시하고, 이를 이용하여 밸브 유동 소음 저감을 위한 다공판의 영향을 정량적으로 분석하였다. 먼저, 고정확도의 비정상 압축성 대와류모사 기법을 이용하여 고압가스 배관의 밸브 유동과 이로 인하 유동소음을 예측하였다. 다음으로 배관내에서 평균 유동장과 중첩되어 전파해가는 음향장의 음향파워를 평가할 수 있는 지표를 기반으로 배관내 밸브 유동에 의하여 하류방향으로 전파해가는 음향파의 음향파워를 분석하였다. Fig.1 에서 밸브 출구로부터 배관의 하류방향을 따라 예측한 압력과 음향파워 분포를 나타내었다. 분석결과를 바탕으로 밸브 유동 소음을 저감하기 위하여 Fig.2 와 같이 다공평판과 단일구멍평판을 설계하여 밸브 후류에 설치하고 동일한 수치해석 방법을 이용하여 배관 하류방향으로 전파해가는 음향파워를 예측하였다. 분석방법을 기반으로 밸브 유동소음 저감을 위한 다공성 판을 Fig.2 과 같이 설계하였으며, 해당 다공성 판을 통해 음향파워를 감소함을 확인하였다. 예측 결과를 기존 배관 밸브 유동 결과와 비교하여 음향파워가 감소함을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 본 연구에서 제시한 수치방법론은 고압가스 배관의 밸브 유동소음을 설계단계에서 평가하기 위하여 활용할 수 있을 뿐만 아니라 기존 시스템에서 발생하는 밸브 유동소음을 효율적으로 저감할 수 있는 방법 개발에도 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

정철웅 : ccheong@pusan.ac.kr

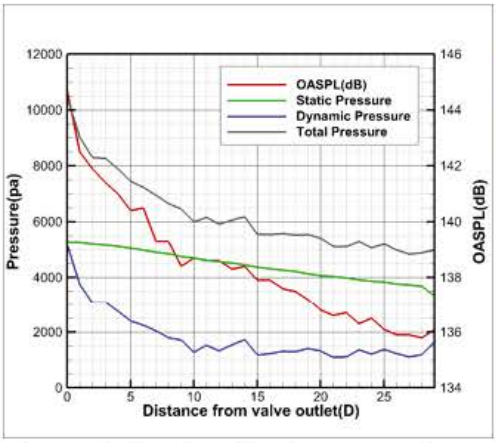



Fig. 1 Variation of predicted pressure and acoustic power along downstream direction of piping system

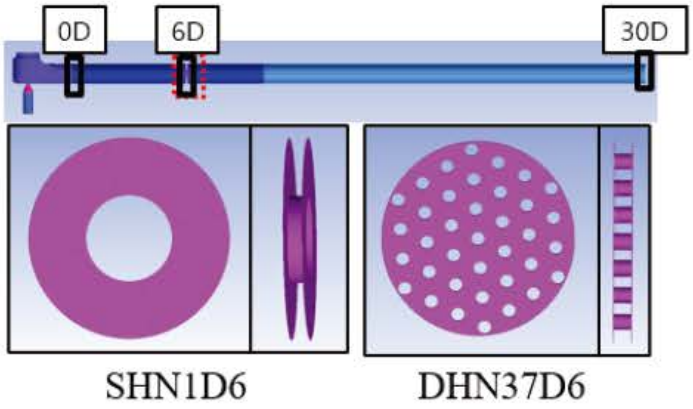



Fig. 2 Geometry of target valve and piping system, and single-hole/perforated plates designed to suppress valve flow noise

## 참고문헌

1. G. Ku, S. Lee, K. Kim, C. Cheong, "Numerical investigation into flow noise source of a convergent-divergent nozzle in high pressure pipe system using wavenumber-frequency analysis," The Journal of the Acoustical Society of Korea, 36(5), pp. 314-320 (2017)

2. K. Kim, G. Ku, S. Lee, S. Park, and C. Cheong, "Wavenumber-Frequency Analysis of Internal Aerodynamic Noise in Constriction-Expansion Pipe", Applied Science 7(11), 1137 (2017)

3. G. Ku, S. Lee, C. Cheong, W. Kang and K. Kim, "Development of High-Fidelity Numerical Methodology Based on Wavenumber-Frequency Transform for Quantifying Internal Aerodynamic Noise in Critical Nozzle," Applied Sciences 9, 2885 (2019)

정철웅 : ccheong@pusan.ac.kr

# 고속열차의 개활지 및 터널 주행 시 열차 표면압력섭동의 비교 분석

이송준[1], 정철웅[1], 김재환[2], 김병희[2]
[1] 부산대학교, [2] 현대로템

# COMPARATIVE ANALYSIS OF SURFACE PRESSURE FLUCTUATIONS OF HIGH-SPEED TRAIN RUNNING IN OPEN-FIELD AND TUNNEL

Songjune LEE[1], Cheolung CHEONG[1], Jaehwan KIM[1], and Byung-hee KIM[2]
[1]Pusan National University, [2]Hyundai Rotem

**중심어:** 고속열차, 객차내부소음, 공력소음, 파수-주파수 분석, 대와류모사

## 요약

고속열차는 속도가 대략 300km/h ~ 350km/h 을 넘어서면 휠/레일 접촉에 의한 구름소음보다 차체와 차체 주위를 흐르는 유동의 상호작용에 의한 공력소음의 영향이 커진다고 알려져 있다[1]. 전세계적으로 최고 속도를 향상시킨 고속열차를 경쟁적으로 개발하고 있어 시험 열차의 최고 속도는 400km/h 을 넘기고 있으나 상업용 고속열차의 속도는 약 300km/h 수준이다. 이는 시험열차와는 달리 상업용 고속열차는 안정성 뿐만 아니라 승객의 편의성 및 정숙성이 요구되고 있기 때문이다. 이러한 이유로 고속열차의 공력소음의 저감에 대한 요구와 관련 연구의 필요성이 높아지고 있다[2].

고속열차의 공력소음의 예측 및 저감에 대한 연구는 주로 주요 소음원이라 알려진 열차의 전두부, 판토그라프, 대차 그리고 차간 공간 등 특정 부위를 대상으로 외부 방사소음에 초점을 맞춘 연구가 주로 수행 되었지만, 최근에는 외부 공력소음에 의한 내부 소음 예측 및 저감을 위한 연구들도 수행되고 있다[3].

관련 연구에 따르면, 고속열차의 내부소음의 경우 개활지 주행시에 비해 터널을 주행할 때 내부소음이 약 5~7dB 높다고 알려져 있다[4]. 경부 고속철도의 경우 총 연장 대비 터널이 차지하는 구간이 약 46%를 차지하는 것을 고려할 때[5], 고속열차의 터널 주행 시 소음 저감을 위한 연구의 중요성은 높아지고 있다.

본 연구의 목적은 고속열차 실내소음의 정확한 예측을 위한 수치 방법론 개발의 일환으로, 고속열차의 터널 주행 시 공력소음의 특성을 고찰하기 위하여 고속열차의 개활지 및 터널 주행 시의 열차의 표면 압력 섭동을 비교 분석하였다. 첫 번째로, EMU320 고속열차를 대상으로 실제 크기로 모델링 하여 개활지와 터널의 두 가지 주행 환경에 따라 계산 영역을 구성하고 LES(Large Eddy Simulation)기법을 이용하여 음향장을 포함한 열차의 외부 유동해석을 수행하여 열차의 표면압력섭동 값을 획득하였다. 두 번째로, 파수-주파수 분석을 이용하여 열차의 표면압력섭동을 비압축성압력섭동과 압축성압력섭동으로 분리하였다. 마지막으로 분리한 각각의 압력섭동을 적분하여 그 크기를 비교분석 하였다. 그 결과를 그림 1 에 나타내었으며, 비압축성압력섭동은 터널 주행 시 개활지 주행시에 비해 큰 변화가 없었지만, 압축성압력섭동은 개활지 주행시에 비해 터널 주행시에 약 4~7dB 높음을 확인하였다. 이는 열차 내부소음에 압축성 압력장이 보다 큰 영향을 준다는 것을 간접적으로 나타내는 것으로 고속열차 내부소음저감을 위한 중요한 설계 가이드로 판단된다.

향후 획득한 표면압력장을 입력값으로 열차 내부 음장을 예측하고 비교분석함으로써 저소음 설계기술 개발에 일조할 수 있을 것으로 사료된다.

정철웅: ccheong.@pusan.ac.kr)

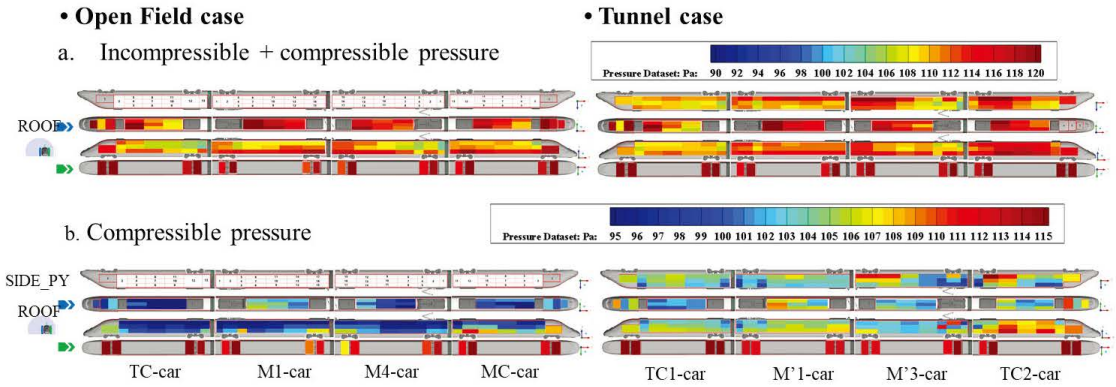



그림 1. Averaged PDS levels of total and compressible surface pressure fluctuations between in open field and in tunnel.

## 후 기

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020R1F1A1066701)

## 참고문헌

1. J. Zhu, "Aerodynamic noise of high-speed train bogie," Ph. D. Thesis, Engineering and the Environment, University of Southampton (2015)

2. H. Noh, S. Choi, S. Kim and S. Hong, "A study on interior noise characteristics of high-speed trains," *Journal of the Korean Society for Railway*, 16(1), pp. 14-19 (2013)

3. S. Lee, C. Cheong, J. Kim and B.-h. Kim, "Numerical Analysis and Characterization of Surface Pressure Fluctuations of High-Speed Trains Using Wavenumber–Frequency Analysis", *Applied Sciences*, 9(22), pp. 1-14 (2019)

4. S. Choi, C. Lee, J. Kim and J. Cho, "Interior noise of a Korean high-speed train in tunnels", Proceedings of ACOUSTICS 2004, Gold Coast, Australia (2004)

5. D. Shin, "Recent experience of and prospects for high-speed rail in Korea: Implications of a transport system and regional development from a global perspective", Working paper 2005-02, Institute of Urban and Regional Development, University of California, Berkeley (2005)

정철웅: ccheong.@pusan.ac.kr)

# 날개 익형 최적 설계를 통한 냉장고 내부 냉기순환용 저소음·고성능 후향 원심팬 개발

정민승 [1], 최진호 [1], 정철웅 [1,†], 김태훈 [2], 구준효 [2]
[1] 부산대학교, [2]LG 전자

# DEVELOPMENT OF LOW-NOISE/HIGH-PERFORMANCE BACKWARD CENTRIFUGAL FAN FOR CIRCULATING COLD-AIR INSIDE A REFRIGERATOR THROUGH OPTIMAL DESIGN OF BLADE AIRFOIL

Minseung JUNG[1], Jinho CHOI[1], Cheolung CHEONG[1,†] , Taehoon KIM[2] , and Junhyo GOO[2]
[1]Pusan National University, [2]LG Electronics

**중심어:** 냉장고 냉동실 후향 원심팬, 반응표면법, 깃 입·출구각, 저소음설계

## 요약

현대인의 생활수준이 향상됨에 따라 조용하고 편안한 주거환경을 조성하는 것에 많은 관심을 가지고 있다. 이러한 사회적 변화에 따라 제조업계에서는 가전제품의 소음에 대한 다양한 연구를 수행하고 있다. 특히, 냉장고의 경우 24 시간 동안 가동되는 가전제품으로써, 성능뿐 아니라 소음까지 구매의사를 결정하는 중요한 지표로 고려되고 있다. 본 논문에서는 냉장고의 냉동실 내부의 냉기순환용 후향익형 원심팬을 대상으로 유동 소음 저감을 목표로 한다. 이러한 원심팬의 유동 소음 문제는 날개 형상의 최적 설계[1-5]를 통해서 개선이 가능하다는 것을 선행 연구에서 확인한 바 있다. 본 연구에서는 선행연구를 바탕으로 냉장고 고내 냉풍유동의 순환을 담당하는 기존 원심팬을 대상으로 익형의 최적 설계를 통해 유량성능과 소음을 저감하고자 한다.

먼저 고정밀 유동장 분석을 위해 가상 팬-성능 시험기(Virtual Fan-Performance Tester) 계산 영역을 구축하고 비정상 RANS(Reynolds Averaged Navier-Stokes) 방정식을 CFD 기법을 이용하여 수치 해석을 수행하였다. 다음으로 예측한 유동장을 입력값으로 FW-H (Ffowcs Wiliams-Hawkings)방정식을 사용하여 소음을 예측하였다. 본 연구에서 사용한 수치 기법 및 해석 영역의 유효성을 검증하기 위해 실험을 통해 측정한 대상 팬 시스템의 소음 및 유량 성능과 비교 검증을 실시하였다. 검증된 수치해석 기법을 이용하여 날개 익형의 입·출구각[6]을 변수로 최적설계를 진행하였다. 도출한 날개 익형을 반영한 팬을 대상으로 추가적으로 수치해석을 진행하고 그 결과 개선된 유량 및 소음 성능을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 시제품을 제작하고 유량과 소음 실험을 통해 동일 유량에서 소음이 저감된 결과를 도출하였다.

†정철웅 : (ccheong@pusan.ac.kr)부산대학교 기계공학부 교수

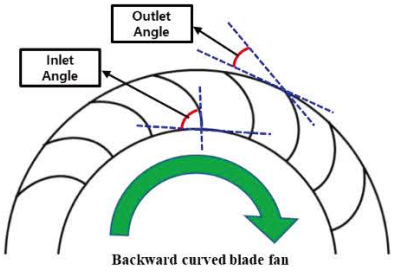



Fig. 1. Definition of Blade Inlet & Outlet Angle

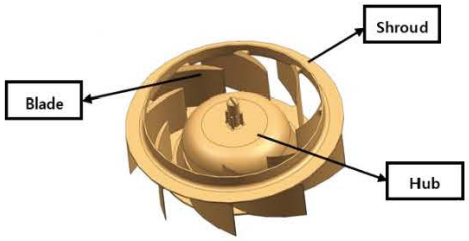



Fig. 2. Target Backward Curved Centrifugal Fan

## 참고문헌

1. S. Heo, C. Cheong, T-H. Kim, "Development of low-noise centrifugal fans for a refrigerator using inclined S-shaped trailing edge", *International Journal of Refrigeration*, 34(8), pp. 2076-2091(2011)

2. D. Shin, S. Y. Ryu, C. Cheong, T. H. Kim, and J. Jung, "Development of high-performance/low-noise centrifugal fan circulating cold air inside a household refrigerator by reduction of vortex flow", *Trans. Korean Soc. Noise Vib.* Eng. 26, pp. 428-435 (2016)

3. J. Kim. S.-Y. Ryu. C. Cheong, D. Jang, M. An, "Development of high performance and low noise compact centrifugal fan for cooling automotive seats," *The Journal of the Acoustical Society of Korea,* 37, pp. 396-403 (2018)

4. D. Shin, S. Heo, C. Cheong, T-H. Kim, and J. Jung, "Performance/Noise Optimization of Centrifugal Fan Using Response Surface Method," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A,* 41, pp. 165-172 (2017)

5. K. Kim, S. -Y. Ryu, C. Cheong, S. Seo, C. Jang, "Optimal design of impeller in fan motor unit of cordless vacuum cleaner for improving flow performance and reducing aerodynamic noise," *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, 39, pp. 379-389 (2020)

6. J. Choi, S. Y. Ryu, C. Cheong, M. K. Kim, and K. Lee, "Blade shape optimization of centrifugal fan for improving performance and reducing aerodynamic noise of clothes dryer" *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, 38(3), pp. 321-327 (2019)

†정철웅 : (ccheong@pusan.ac.kr)부산대학교 기계공학부 교수

# 차량 사이드미러 미세틈새 유동에 의한 휘슬음의 수치적 고찰

이권기 [1], 이송준 [1], 이상헌 [1], 정철웅 [1], 임성남 [2], 신성룡 [2]
[1] 부산대학교, [2] 현대자동차

# NUMERICAL STUDY ON WHISTLE SOUND BY NARROW GAP FLOW THROUGH AUTOMOBILE SIDE-MIRROR

Kwon-Gi LEE[1], Song-June LEE[1], Sang-Heon LEE[1], Cheol-Ung CHEONG[1], Sung-Nam RIM[2], and Seong-Ryong SHIN[2],
[1]Pusan National University, [2]Hyndai Motor Company

**중심어:** 사이드미러, 미세틈새, 휘슬음, 공력소음, 대와류모사

## 요약

화석연료를 이용하던 전통적인 자동차시장에서 전기자동차의 생산 및 판매가 급증하는 추세이다. 때문에 기존 차량의 주된 소음원 중 하나인 엔진 기인 소음이 감소하고 차량 주변을 흐르는 유동에 의한 공력소음이 상대적으로 부각되고 있다. 차량 형상에서의 불연속성으로 인해 사이드미러는 공력소음 측면에서 주된 원인 중 하나로 고려된다. 차량이 공회전상태일 경우, 파손을 방지하기 위해 사이드미러를 접을 수 있도록 폴딩갭으로 불리는 1mm 가량의 미세한 틈새가 존재한다. 특정 운전조건에서 미세틈새 내부의 유동에 의해 휘슬음으로 불리는 고주파의 소음이 발생하는 경우가 보고되고 있으며, 이러한 휘슬음의 발생 메커니즘은 수치적 및 실험적으로 규명하기 어려운 난제로 여겨지고 명확한 선행연구가 부족하다[1]. 본 연구에서는 수치적 접근을 통해 미세틈새 휘슬음의 발생 메커니즘을 고찰하고자 한다.

차량 사이드미러 미세틈새를 특징적인 형상을 선택하여 단순화한 후, 풍동실험을 통해 휘슬음이 발생함을 계측하였다. 수치해석에 적용될 유속조건을 실험적으로 선정하였다. 수치해석을 위한 해석영역을 Fig.1 과 같이 구성하였다. 압축성 Large Eddy Simulation(LES) 기법을 사용하여 미세틈새 내외부의 소음원이 되는 유동장과 이로 인한 음향장을 동시에 계산하였다. 실험을 통해 계측된 음압 스펙트럼과 수치적으로 계산된 음압 스펙트럼을 비교하여 수치해석을 검증하였다. 해석 결과를 바탕으로 휘슬음의 발생 메커니즘을 고찰하였다.

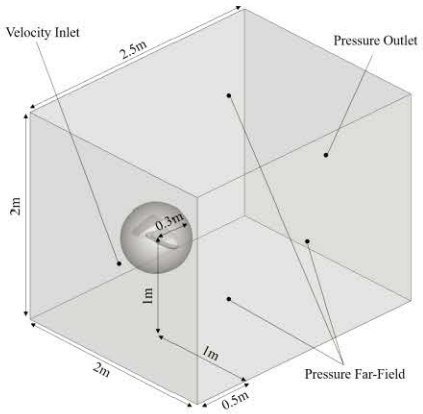



Fig.1 Computational Domain and Boundary Conditions

## 참고문헌

1. 이강덕, "자동차 윈드노이즈의 난제," *한국소음진동공학회 학술대회논문집*, pp.54-55 (2010)

정철웅 : ccheong@pusan.ac.kr

# 2 차원 익렬의 공력 특성을 이용한 고성능/저소음 축류팬 개발

유서윤 [1], 정철웅 [1] , 김종욱 [2], 박병일 [2]
[1] 부산대학교, [2]LG 전자

# DEVELOPMENT OF HIGH-PERFORMANCE/LOW-NOISE AXIAL-FLOW FANS USING AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF TWO-DIMENSIONAL CASCADE OF AIRFOILS

Seo-Yoon Ryu[1], Cheolung Cheong[1], Jong-Uk Kim[2] , Byeong Il Park[2], Se Min Park[2], and SaiKee Oh[2]
[1]Pusan National University, [2]LG electronics

**중심어:** 팬소음(Fan noise), 축류팬(axial-flow fan), 팁 와류(Tip vortex), 공력소음(aerodynamic noise)

## 요약

일반적으로 축류팬은 회전축을 중심으로 일정한 속도로 회전하며 회전축과 평행한 방향으로 유체를 수송시키는 용도로 사용된다. 축류팬이 회전함에 따라 날개 주변 유동장에서는 원주 방향의 유동과 축 방향의 유동이 발생하게 된다. 이러한 두 방향의 유동 사이에서 공기 역학적인 에너지 전달이 발생하며 그에 따른 결과로 축류팬의 유량과 효율 특성이 결정된다. 본 연구에서는 대상 축류팬의 일정한 반경에서 원주 방향의 익형 형상에 따른 유동 특성을 수치적으로 분석하여 고성능/저소음 축류팬을 개발하고자 하였다. 먼저, 3 차원 유동구조와 유동소음을 분석하기 위해 비정상 Reynolds-Averaged Navier-Stokes 방정식과 Ffowcs Williams & Hawkings 방정식을 각각 유동장과 음향장의 지배방정식으로 하여 수치해석 하였으며, 실험결과와의 비교를 통해 수치기법의 유효성을 검증하였다. 수치해석 결과를 통해 날개 끝단(tip)에서 복잡한 3 차원 와류 구조가 발생하며 이러한 와류 구조는 끝단의 익형 형상보다 날개 끝단을 감싸는 하우징과 날개 간의 상호작용에 의한 영향이 지배적임을 확인하였다[1, 2]. 따라서 이러한 3 차원 유동구조의 영향을 덜 받는 날개의 스팬 중간 구간에서의 일정한 반경의 원주 방향 익형 주위의 축과 원주 방향의 유동으로 인해 발생하는 유동 특성을 확인하기 위해 2 차원 익렬(a cascade of airfoils)을 사용하여 수치 해석을 실시하였다. 2 차원 익렬을 이용한 수치 해석 방법은 익형의 단일 성능 뿐만 아니라 다수의 익형의 정렬에 따른 부하 등 익형의 공력 성능 분석에 다양하게 활용되는 방법이다[3]. 기존 팬 익렬해석을 기반으로 익렬 익형의 최적설계를 수행하였다. 최적 설계한 익렬 익형을 반영하여 3 차원 팬 설계를 진행하고, 유동/소음에 대한 수치해석과 실험을 통해 성능이 개선됨을 확인하였다.

## 참고문헌

정철웅 : ccheong@pusan.ac.kr

1. Park S. M., Ryu S., Cheong C., Kim J. W., Park B. I., Ahn Y.-C. and Oh S. K., "Optimization of the Orifice Shape of Cooling Fan Units for High Flow Rate and Low-Level Noise in Outdoor Air Conditioning", *Applied Sciences*, 9(5207), pp. 1-17 (2019)
2. Park, K., Choi, H., Choi, S., and Sa, Y., "Effect of a casing fence on the tip-leakage flow of an axial flow fan", *Int. J. Heat. Fluid.*, 77, pp. 157-170 (2019)
3. Cebrián, D., J. Ortega-Casanova, and R. Fernandez-Feria., "Lift and drag characteristics of a cascade of flat plates in a configuration of interest for a tidal current energy converter: Numerical simulations analysis", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5.4: 043114 (2013)

정철웅 : ccheong@pusan.ac.kr

# 자동차 바람소리 실내전달음에 대한 창문 고무 실 차음성능의 수치적/실험적 평가

이상헌 [1], 이송준 [1], 정철웅 [1], 권혜린 [2] 서창만 [2]
[1] 부산대학교, [2] DRB 동일

# NUMERICAL AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF SOUND INSULATION PERFORMANCE OF WINDOW RUBBER SEAL ON INTERIOR TRANSMITTED SOUND OF VEHICLE WIND NOISE

Sangheon LEE[1], Songjune LEE[1], Cheolung CHEONG[1], Hyerin KWON[2] and Changman SEO[2]
[1]Pusan National University, [2]DRB Holding co.,Ltd.

**중심어:** 자동차 바람소리, 고무실 차음성능, 전산공력음향학, 진동음향학

## 요약

전기차의 상용화로 기존의 내연기관에 의해 발생하던 소음이 저감되면서 차량 주위의 바람소리가 차량 객실의 주 소음원으로 급부상하였다. 중고속으로 차량 주행 시, 차량 내부의 소음은 외부 유동의 난류섭동과 이로 인한 음향파의 압력 섭동을 원인으로 발생한다. 즉, 바람소리의 차량내부 전파는 외부 난류 유동과 이로 인한 음향파 압력장의 형성, 이러한 압력장을 가진원으로 하는 창문 진동, 마지막으로 창문진동으로 인한 실내 음향장 형성이라는 물리적 과정을 거치게 된다. 차량 창문 고무 실(rubbe seal)은 차량 외부의 먼지와 수분의 내부 유입을 막아줄 뿐만 아니라, 위에서 기술한 두번째 단계에서 창문의 가장자리에서 창문의 움직임을 구속하여 내부 소음 전달에 간접적으로 영향을 준다. 따라서, 설계단계에서 이러한 고무실의 바람소리 내부전달음과 관련된 성능을 평가할 수 있는 기술의 개발이 관련 제조사들에게는 매우 시급한 실정이다.

따라서, 많은 자동차 제조 회사들이 이러한 차음 성능 평가 기술 개발을 위한 연구를 진행하고 있다. 우선, 현대 자동차에서는 간략화된 차량 모델(Hyundai Simplified Model,HSM)에 대하여 무향풍동 실험을 진행 하였고, 세계 유수의 유동해석 소프트웨어 회사에 해석 신뢰성 검증을 위한 실험 결과를 제공 하였다.[1] 이러한 실험 결과를 바탕으로 차량주위의 압력장에 대하여 압축성 성분과 비압축 성분을 파수 주파수 분석을 통하여 수치적으로 분리하여, 고속으로 운행하는 운송체에 대한 내부 소음을 예측한 연구가 진행하였다.[2,3] 하지만 아직 바람소리의 내부 전파에 대한 고무실의 영향은 아직 미흡한 상태이며, 단순화 된 모델이 아닌 상용모델에 대한 내부 소음예측을 위해선 고무실을 고려한 해석법이 필요한 실정이다.

본 논문에서는 이러한 바람소리의 내부전파에 대한 창문 고무실의 영향을 실험적으로 평가할 수 있는 실험시설과 방법을 개발하고 이를 기초로 고무실 설계단계에서 활용할 수 있는 수치적 방법을 개발하였으며, 계산결과와 실험결과의 비교를 통하여 그 유효성을 검증하였다. 먼저, 실험적 평가를 위해 고무실이 결합된 창문과 차량 도어, 단순화된 차량실내로 구성된 실험 지그를 제작하였다. 외부유동장을 모사하기 위하여 창문 표면 주위로 제트 유동을 분사하여

정철웅 : ccheong@pusan.ac.kr

창문 표면 압력장 형성하고 동시에 유동에 의한 소음을 내부 및 외부에서 측정하여 차음성능에 대한 고무실의 성능을 삽입손실을 계산하여 평가하였다. 다음으로 이러한 실험을 모사할 수 있는 수치해석 기법을 개발하였다. 먼저 창문의 진동모델을 개발하기 위하여 주파수 응답을 모사하고 실험과의 비교를 통하여 필요한 진동 인자를 결정하였다. 고무실의 비선형 동적 특성을 고려한 창문의 진동 해석을 위하여 고무실을 비선형 스프링으로 모델링하였으며 창문의 충격가진 실험을 통한 주파수 응답과 전달함수 측정결과와의 비교를 통하여 검증하였다. 제트 유동에 의한 창문 표면 압력은 격자 볼츠만 방법(Lattice Boltzmann method)을 이용하여 계산된 결과를 사용하였으며, 창문 표면의 압력장을 가진력으로 창문의 진동을 해석하였다. 이러한 진동결과를 입력값으로 내부 소음해석을 해석하였다. 음향 해석의 경계조건을 위하여 지그 내부 벽면의 잔향시간을 측정하고 흡음율을 계산하여 음향 임피던스 값을 적용하였다. 마지막으로, 지그 내외부의 압력스펙트럼을 이용하여 삽입손실을 계산하고 측정결과와의 비교를 통하여 그 유효성을 검증하였다. 설계도구로서의 유효성을 강조하기 위하여 고무실의 설계 강성이 내부 소음에 주는 영향에 대하여 추가적인 분석을 진행하였다.

## 참고문헌

1. M. Cho, H.G. Kim, C. Oh, K.D. Ih, A. Khondge, F. Mendonca, J. LI, E. Choi, B. Ganty, and R. Hallez, "Benchmark study of numerical solvers for the prediction of interior noise transmission excited by A-pillar vortex," INTER-NOISE 2014 (2014)

2. W.F. Zhu, X.H. Jiang, X. Chen and P.J. Lin, "Automotive window seal design considering external aerodynamic load and surrogate constraint modeling," International Journal of automotive technology, 17(5), pp.853-864 (2016)

3. S. Lee, C. Cheong, J. Kim and B.Kim, "Wavenumber-frequency analysis of surface pressure fluctuation for prediction of interior noise of high speed train due to wind noise," Transaction of Korea Society of Noise and Vibration Engineering, 29(1), pp.141-148 (2019)

정철웅 : ccheong@pusan.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 음성

# Classifier-GE2E 기반의 멀티 헤드 어텐션을 활용한 화자 검증 시스템

배아라, 김우일
인천대학교 컴퓨터공학부

# Speaker Verification System with Classifier-GE2E loss-based Multi-head attention

Ara BAE, Wooil KIM
Incheon National University

**중심어:** Speaker verification, Speaker embedding, Self-attention, classifier-GE2E

## 요약

기계 번역에서 입력 시퀀스와 출력 시퀀스 사이 연관성을 계산하여 각 단어와 매칭되는 부분에 더 높은 가중치를 두어 집중해서 보는 어텐션 기법을 소개하였다. 이후 입출력 시퀀스를 각각 처리하는 인코더-디코더 구조를 어텐션 레이어로 모두 대체한 transfer 모델은 기존의 방식과 비교하여 높은 성능 향상을 가져왔으며 어텐션 기법은 컴퓨터 비전, 음성인식 그리고 화자 인식 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.

최근의 화자 검증 시스템의 구조는 log mel filter bank 혹은 MFCC 등의 음향 특징을 사용하여 신경망으로부터 프레임 레벨의 특징으로 매핑한다. 이후 프레임 레벨 특징들을 모아 다양한 풀링 방법을 사용하여 발화 레벨의 특징을 생성한다. 생성된 발화 레벨 특징을 fully-connected DNN 에 넣어 화자 label 분류로 훈련하거나 같은 화자가 발화한 음성과 다른 화자들의 발화의 여러 metric 으로 유사도를 정의하여 같은 화자 거리가 가까워지도록 훈련한다. 본 논문에서는 멀티 헤드 어텐션[1, 2]을 적용한 화자 특징 추출기를 훈련하는 GE2E loss[3]의 성능을 개선한다.

같은 화자의 모든 발화로 만든 centroid 와 거리를 가깝도록 훈련 목표를 정의하는 center loss 와 다른 화자의 발화와 구분하면서 각 화자의 아이덴티티를 가질 수 있도록 화자 label 분류 모델을 추가로 적용하는 class loss 를 접목하였다. GE2E loss 만 사용하여 훈련한 baseline 의 성능은 8.84% EER 을 보였으며 center loss 를 추가한 center-GE2E 는 5.84%로 EER 이 3% 감소하였다. 또한 class loss 를 접목한 classifier-GE2E 가 5.31%로 baseline 보다 3.53%, center-GE2E 보다 0.53% EER 이 감소하면서 가장 좋은 성능을 보였다.

## 참고문헌

1. Y. Zhu, T. Ko, D. Snyder, B. Mak, and D. Povey, "Self-Attentive Speaker Embeddings for Text-Independent Speaker Verification," in *Interspeech 2018*, pp.4305-4309, (2018)

2. M. India, P. Safari, and J. Hernando, "Self Multi-Head Attention for Speaker Recognition," in *Interspeech 2019*, pp.3573-3577, (2019).

3. L. Wan, Q. Wang, A. Papir, and I. L. Moreno, "Generalized End-to-End Loss for Speaker Verification," in *2018 ICASSP*, (2018)

김우일: wikim@inu.ac.kr

# 사전훈련모델을 이용한 한국어 문장 감성 분석 연구

김현정, 천재윤, 구명완
서강대학교

# KOREAN SENTIMENT ANALYSIS USING PRE-TRAINED LANGUAGE MODEL

Hyun-Jung KIM, Jae-Yoon CHUN, and Myoung-Wan KOO
Sogang University

**중심어:** 사전훈련모델, 감정 분석, 도메인 어댑테이션

## 요약

본 연구는 자연어 처리에서 감성 분석 태스크와 관련하여, 언어 모델의 선택과 모델 구조 설계에 따른 문장의 긍부정 분류 모델의 성능 차이를 분석하였다. 또한, 라벨링 된 데이터가 부족할 때의 한계를 극복하기 위한 방법으로 도메인 어댑테이션을 적용한 연구를 진행하였다.

우선, 네 가지의 사전 학습된 언어 모델을 선택하여 감성 분석 태스크에서 각 모델의 성능에 대한 비교 및 분석을 하였다. 또한, 언어 모델의 출력값을 각각 세 가지의 인공 신경망 모델에 입력하여 학습한 모델들과 Fully Connected Layer 만을 사용한 모델의 성능을 비교하였다. 그리고 학습률과 같은 여러 하이퍼 파라미터 값의 변화에 따른 모델 성능 변화를 관찰하였다. 그 결과, 적절한 모델 및 하이퍼 파라미터의 선택만으로도 베이스라인 모델의 정확도보다 최대 15% 정도의 더 높은 정확도를 가질 수 있음을 확인하였다.

또한 [1]에서 제시한 도메인 어댑테이션 방법론을 실험하였는데, 라벨링 된 다른 도메인 데이터만으로 학습시킨 모델의 분류 정확도가 소량의 라벨링 된 타겟 데이터를 추가로 학습시킨 모델의 분류 정확도보다 2.4% 정도 낮음을 확인함으로써 라벨링 된 타겟 도메인 데이터가 없을 시 해당 방법론이 효과적임을 보였다. 이 결과는 도메인 분류기를 학습시켜 소스 도메인과 유사한 타겟 도메인의 학습 데이터를 선별해내고, 도메인에 대한 민감성을 낮추는 방식으로 긍부정 분류기를 학습함으로써 얻어내었다.

이러한 결과들을 바탕으로 향후 한국어 음성인식 시스템의 결과를 활용한 감정 분석 연구를 수행하여 본 연구의 활용성을 확대하고자 한다.

본 논문은 과학기술정보통신부 및 정보통신산업진흥원의 '고성능 컴퓨팅 지원' 사업으로부터 지원받아 수행하였음

## 참고문헌

1. Yaroslav Ganin, Evgeniya Ustinova, Hana Ajakan, Pascal Germain, Hugo Larochelle, François Laviolette, Mario Marchand, and Victor Lempitsky, "Domain-Adversarial Training of Neural Networks", Journal of Machine Learning Research, 17:1–35 (2016)

김현정: koo5590@sogang.ac.kr

# Transformer model을 이용한 영어 발음 변환기 연구

천재윤, 이정필, 구명완
서강대학교

# AN ENGLISH GRAPHEME-TO-PHONEME CONVERSION USING TRANSFORMER MODEL

Jaeyoon CHUN, Jeong-Pil LEE, and Myoung-Wan KOO

Sogang University

**중심어:** G2P, 영어 발음변환기, Transformer model, BERT

## 요약

최근 DNN 연구가 활발히 진행되면서 DNN 기반 음성합성 기술이 고음질의 자연스러운 음성을 생성하고 있다. 그러나, DNN 을 통한 음성합성 기술은 많은 입력 데이터 및 계산량을 필요로 하며, 희소한 발음의 경우 제대로 합성하지 못하는 문제점이 있다. 이러한 경우 별도의 발음변환기(G2P)를 두어 입력 텍스트를 발음열로 변환하여 사용하기도 한다. 본 연구에서는 음성합성기의 다국어 지원을 위하여 영어 발음변환기를 연구하였다.

학습 데이터 셋으로는 공개된 LibiriSpeech[1] 코퍼스를 이용하였다. 다만 LibriSpeech 코퍼스에 발음전사 정보가 존재하지 않아 Montreal Forced Aligner[2]를 사용하여 코퍼스의 전사 텍스트로부터 time-aligned 정보를 생성하고 발음사전을 사용하여 단어 및 음소 단위로 변환하였다. 자연스러운 발음 생성을 위해 문장수준으로 입출력을 설계하고 어절 간의 발음 변이 현상을 학습하도록 하였다.

Transformer 를 이용한 영어 발음변환기를 구현하기 위하여 기본 Transformer Model[3]에 세 가지 방법의 토큰 임베딩을 사용하여 성능을 비교하였다. 토큰 임베딩을 정규분포로 초기화하여 처음부터 학습하는 방법을 baseline 으로 두고 사전 훈련된 GloVe[4] 벡터를 사용하여 임베딩하는 방법과 사전 훈련 모델 BERT[5]의 출력값을 인코더의 토큰 임베팅의 입력값으로 사용한 모델의 성능을 확인하였다. 특히 [6]에서 주장한 바처럼 BERT 의 4 개의 레이어만 학습하도록 하여 마지막 레이어의 출력값을 문장의 representation 으로 썼을 때 성능이 우수하였다.

## 참고문헌

1.LibriSpeech ASR Courpus, http://www.openslr.org/12

2.Montreal Forced Aligner, https://montreal-forced-aligner.readthedocs.io/en/latest/index.html

3. VASWANI, Ashish, et.al, "Attention is all you need", In: Advances in neural information processing systems. p. 5998-6008(2017)

4. Jeffrey Pennington, Richard Socher, and Christopher D. Manning, "GloVe: Global Vectors for Word Representation", (2014)

5. Jacob Devlin, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, and Kristina Toutanova, "BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding", In Proceedings of the Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, pages 4171–4186, (2019)

6. Jaejun Lee, Raphael Tang, and Jimmy Lin., "What would elsa do? freezing layers during transformer

천재윤: o0ococ@u.sogang.ac.kr

fine-tuning". arXiv preprint arXiv:1911.03090.(2019)

본 연구는 산업통상자원부의 산업기술혁신사업으로부터 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 10080667, 음원 다양화를 통하여 로봇의 감정 및 개성을 표현할 수 있는 대화음성합성 원천기술 개발)

천재윤: o0ococ@u.sogang.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 음향계측 및 전기음향

# 앰비소닉 프로세싱을 이용한 3D 마이크 소스 활용의 실제

이무제
플랫톤즈(주)

# Actual use of 3D microphone source using ambisonic processing

Moo Je LEE
Flat Tones Corp.

**중심어:** Ambisonics, 3D Microphone, Microphone Array

## 요약

현장음을 생생하게 담아낼 수 있는 현존하는 다양한 서라운드 및 3D 마이크로폰을 분석하고 실제로 7.1 혹은 9.1ch 등의 다채널 오디오 작업 및 헤드폰/이어폰 청취를 위한 바이노럴라이즈까지 포함하는 워크플로우를 설명한다. 또한 실제 3D 마이크로폰을 이용한 작업 사례를 소개하며 현재 기술의 한계점을 논하고 앞으로 필요한 것들, 대안에 대해 다룰 것이다.

Ambisonics 마이크로폰 소스는 물론, ORTF 의 3D 배치를 비롯하여 현존하는 다양한 마이크로폰 테크닉을 범용 플러그인을 통해 Ambisonics 로 인코딩하여 각종 툴을 이용해 우리가 들을 수 있는 포맷으로 디코딩하는 방법까지를 주제로 한다.

## 참고문헌

1. G. Ballou, *Elecrtoacoustic Devices*, Focal Press, Oxford (2009)
2. J. Eargle, *The Microphone Book*, Focal Press, Oxford (2005)

이무제: admin@flatones.net)

# 이어폰 목표 주파수 개발

이신렬
(주) 소니캐스트

# DEVELOPMENT OF AN EARPHONE TARGET FREQUENCY RESPONSE

Sinlyul LEE
Sonicast. Co., Ltd.

**중심어:** Earphone Target, Harman Target, Free-field Target, Diffuse-field Target, SL target, DL target

## 요약

스마트 폰 및 개인형 멀티미디어기기가 널리 보급됨에 따라 개인용 오디오 기기가 크게 증가되고 있으며, 이동이 간편한 이어폰이 가장 널리 사용되고 있다. 이어폰은 유형에 따라 오픈형과 커널형으로 구분되며, 오픈형은 외이도를 막지 않아 안전성이 확보되고 답답함이 적어 피로감이 줄어드는 장점이 있지만, 누음으로 인해 저 주파수 음이 크게 감쇄되어 풀 레인지 재생이 어려운 단점을 가진다. 반면 커널형은 외이도를 실리콘 이어 팁으로 완벽하게 막아 누음이 발생되지 않아 풀 레인지 재생이 가능하지만, 외이도를 막아 골전도 저 주파수 음이 증폭되어 답답함이 증가되는 단점을 가진다.

본 논문에서는 기존의 이어폰 음향 재생 목표주파수인 Free-field target 과 Diffuse-field target 의 장, 단점에 대해 알아보고, 현재 산업계에서 널리 통용되고 있는 Harman Target 의 장 단점에 대해서도 함께 알아본다. 그리고 녹음 엔지니어 및 악기 연주자들이 선호하는 이어폰 Target 및 이어폰 음향 애호가들이 선호하는 이어폰 Target 에 대해서도 함께 알아보고자 한다.

## 참고문헌

1. Møller, H. et al, "Design Criteria for Headphones" J. Audio Eng. Soc., Vol. 43, No. 4 – April 1995.

2. Measuring HRTFs of B&K 4128C, GRAS KEMAR 45BM, and Head Acoustics HMS II-3 Head and Torso Simulators (Technical University of Denmark)

3. IEC 60268-7 – Sound System Equipment. Part 7: Headphones, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland

4. G. Theile, "On the standardization of the frequency response of high-quality studio headphones," J. Audio Eng. Soc., 34, 956–969 (1986).

5. Olive et al, "The Relationship between Perception and Measurement of Headphone Sound Quality", AES 133 convention, 2012

이신렬: sinlyul@gmail.com

# 능동소음제거 무선 이어폰 개발

이신렬
(주) 소니캐스트

# DEVELOPMENT OF an Active Noise Cancelling Wireless Earphone

Sinlyul LEE
Sonicast. Co., Ltd.

**중심어:** TWS, ANC, Feed-back, Feed-forward, Hybrid, Ambience mode, Occlusion effect

## 요약

스마트폰 사용자의 증가와 스마트폰에서 3.5mm 유선 이어폰 단자가 점차 사라지고, USB-C 타입 디지털 단자만이 지원됨에 따라 블루투스 무선 통신 기술을 이용한 무선 이어폰 수요가 크게 증가하고 있다. 초기 무선 이어폰의 경우 고 음질 음향 재생 위주의 제품들이 주를 이루다, 무선 이어폰을 통한 통화 수요가 증가함에 따라 마이크로폰 어레이를 이용한 빔 포밍(Beam forming) 기술, 내 외장 마이크로폰 적용 기술, 골 전도(Bone conduction) 마이크로폰 적용 등과 같은 소음 공간에서 주변 소음을 줄여주는 다양한 기술들이 적용되고 있다. 최근 들어 Feed-forward, Feed-back, Hybrid 타입 능동소음제거(active noise cancellation) 기술을 이용한 무선 이어폰 제품들이 시장의 큰 부분을 차지하고 있어 능동소음제거 무선 이어폰 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 무선 이어폰 유형, 능동소음제거 알고리즘 유형에 따른 능동소음제거 무선 이어폰 튜닝 기법에 대해 알아보고, 사용자 편이성을 증가시키기 위해 커널(Canal) 형 이어폰에서 외이도 막힘 음 효과(Occlusion effect)를 저감 시키기 위한 기술 및 주변 음 청취를 위한 앰비언스 모드(Ambience mode) 튜닝 기술에 대해서도 함께 알아보고자 한다.

## 참고문헌

1. Philipp Hack, “Acoustic Design for ANC” (2019)
2. “RTL8773B ANC Standard Operation Procedures, SOP” (2019)

이신렬:sinlyul@gmail.com

# 다양한 흡음률 측정법의 비교를 위한 측정시스템 제작

두세진
(주)데코톤

# IMPLEMENTATION OF A MEASURING SYSTEM FOR COMPARISON OF VARIOUS SOUND ABSORPTION COEFFICIENT TESTING METHODS

Sejin DOO
Decoton Inc.

**중심어:** 흡음률 측정, 관내법, 전달함수, ISO10534, ISO13472

## 요약

건축 마감재료의 흡음률 측정에 대한 표준으로는 잔향실을 사용하는 ISO354, 원통관 내에서 정재파를 이용하는 ISO10534-1, 원통관 내에서 전달함수 방법으로 측정하는 ISO10534-2 (혹은 미국표준으로 ASTM E1050), 그리고 도로포장재의 흡음률을 현장에서 측정하는 ISO13472가 있다.

수직입사에 대한 흡음률 측정이라는 한계를 가지고 있는 관내법이지만 잔향실을 이용하여 측정하는 것보다 시료준비 부담, 시험시간, 비용 등에서의 우월성 때문에 현장에서 많이 활용되고 있다. 측정방법에 있어서는 2마이크 방법 이외에 측정의 정확도와 편의성 개선을 위해 3개의 마이크, 혹은 하나의 마이크를 사용하는 관내 측정법도 제안되고 있다. 본 연구에서는 마이크를 연속적으로 이동할 수 있는 흡음률 측정 장치를 제작함으로써 흡음률 측정 국제표준 방법과 그 외 여러 방법들을 비교해 본다. 기존 방법들이 가지는 주파수 측정범위의 한계, 잡음의 영향, 관내 측정 마이크 위치에 따른 측정편차 발생 등 문제점에 대해 논하고 개선방향에 대해 토의한다. 대표적인 다공질성 흡음재를 이용한 흡음률 측정 데이터를 사용하여 실험결과를 논한다.

## 참고문헌

1. ISO 10534-2:1998, "Acoustics — Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes — Part 2: Transfer-function method"
2. Mathew G. Pelletier, Greg A. Holt, John D. Wanjura, "Simplified Three-Microphone Acoustic Test Method," *Instruments*, 1(1), pp.4-24 (2017)

두세진: akustica@naver.com

# 표준 네트워크기반 신호&전력전송 음향시스템 발전방향

이제국
[1] ㈜소프트기어 / 다나코이드 코리아

# Development direction of standard iP technology convergence DANTE/PoE-based audio system

Je Kook Lee
SOFTGEAR CO. LTD. / DANACOID KOREA

**중심어:** 네트워크 오디오, DANTE, PoE(Power over Ethernet)스위치, PoE 앰프, IP 스피커, DSP , AV over IP

## 요약

오늘날 급속도로 발전하고있는 표준 네트워크기반 데이터전송 기술을 토대로 음성,영상 신호 및 제어신호를 iT 기술과 융합하여 활용되는 수요들이 늘어나고 있으며 기존 또는 신생 음향영상 제조,공급 업체들은 이러한 소비자요구의 흐름에 대응하기 위한 AV over IP 기반의 제품과 솔루션 개발 및 출시에 사업전략의 구심점을 옮겨가고 있다.
네트워크기반의 하드웨어 및 전송규격의 등장과 더불어 설비의 운영방식 또한 사용자의 요구 및 운영환경에 최적화한 소프트웨어 기반의 맞춤형 GUI 운영환경을 구현할 수 있다. 사실상 사용자요구와 경험이 중심이 되는 소비자 주도형 솔루션으로 시장의 흐름이 변하고 있다. 이러한 변화는 사용자에게 기존방식 대비 월등한 장점과 편리성을 제공하게 되지만 관련산업을 주도하며 정체되어 있는 음향영상 제조사 및 SI서비스 업체들의 주도권 확보 및 생존을 위해 중대한 변수로 작용할 것이다. 가속화중인 기술과 수요변화에 대응하기 위한 제조개발 및 구축 서비스분야 전문인력 양성,확보 또한 매우 중요한 이슈로 부각되고 있다.

표준 네트워크 iP오디오 신호규격중 DANTE(Digital Audio Network Through Ethernet) 전송방식은 상당수의 전문용, 상업용 ,PA 음향기기 제조사들이 채택하여 표준화를 주도하고 있는 iP오디오 전송규격이다. 단테전송규격이 적용된 다양한 음향기기로 조합된 방송시스템은 랜케이블로만 연결 된다. 조합된 네트워크기반 음향장치들은 PoE(Power over Ethernet)전력으로 동작 되도록 제작되어 별도의 전력공급을 위한 케이블 연결도 불필요하다.
이와같은 iP기반 솔루션은 물리적인 설치 공간 및 케이블 구성을 최소화하며 원격 점검이 가능하고 비전문 운영인력이 활용하기 용이한 교육,의료,기업,건물PA 방송 시스템으로 활용범위가 확장되고 있다.




이제국 : soft-gear@naver.com)

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 초음파음향/광음향/물리음향

# 소노루미네센스를 이용한 액체정합층의 강력 초음파에너지 전달특성 평가

김해운[1], 손진영[1] , 김정순[2], 김무준[1]
[1] 부경대학교, [2]동명대학교

# Evaluation of high power ultrasonic energy transmission characteristics of a liquid matching layer by using sonoluminescence

Haeun Kim[1], Jinyoung Son[1], Jungsoon KIM[2], and Moojoon KIM[1]
[1]Pukyong National University, [2]Tongmyong University

**중심어:** 초음파전달, 소노루미네센스, 음향정합, 루미놀, PMT

## 요약

음파의 비선형 효과를 사용한 비접촉 분산 및 교반은 다양한 산업분야에서 주목을 받고 있다. 초음파 분산의 경우, 초음파의 방사면이 시료에 직접 닿는 것을 피하기 위해서는 액체시료는 비이커 등 유리용기에 의해 분리되어 물과 같은 음향전달 매질에 의해 초음파 에너지를 받아야 한다. 본 연구에서는 초음파 분산시스템에 있어서 효율적인 초음파에너지 전달을 위하여 프로필렌 글리콜 용액을 정합유체로 사용하였으며 프로필렌 글리콜의 농도를 조절하므로써 정합유체의 음향임피던스를 제어하였다. 프로필렌 글리콜의 음향정합효과를 조사하기 위하여 그림 1에 나타낸 것과 같이 란주반형 초음파 트랜스듀서가 장착된 투명한 아크릴 용기에 프로필렌 글리콜 용액을 채우고 유리용기에 루미놀 용액을 채워 초음파에너지에 의한 루미놀의 발광 강도(그림 2)를 광전증폭관(Photo Multiplier Tube : PMT)을 사용하여 측정하였다. 그 결과 프로필렌 글리콜의 농도에 따라 정합효과가 변하는 것을 확인하였다.

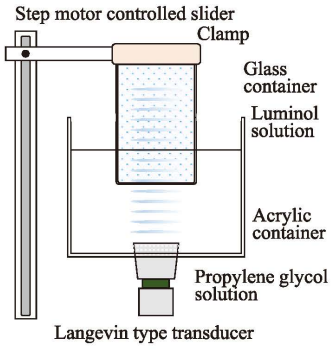



그림 1 실험 장치

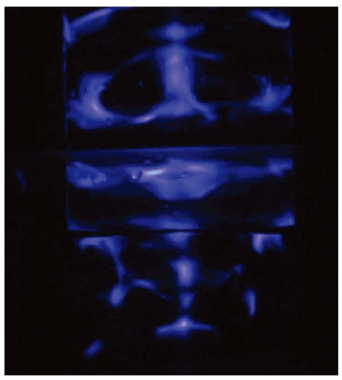


그림 2 초음파에 의한 루미놀 용액의 발광

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1F1A1062399).

김무준: kimmj@pknu.ac.kr

# 초음파 유도 마이크로버블을 이용한 치료 깊이 증가를 위한 초음파 보조 광열치료 기술

김진우[1], 김혜민[1], 장진호[1]
[1] 대구경북과학기술원

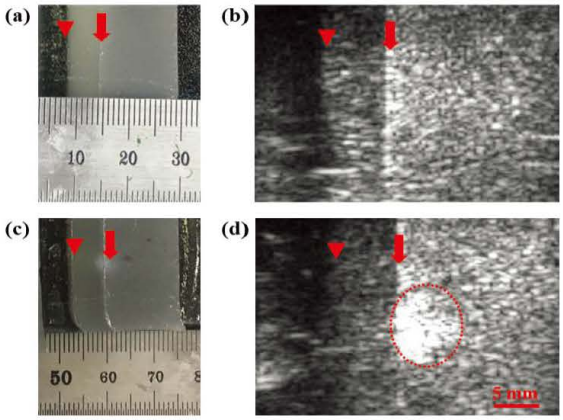
# ULTRASOUND-ASSISTED PHOTOTHERMAL THERAPY FOR INCREASING TREATMENT DEPTH

Jinwoo Kim[1], Haemin Kim[1], and Jin Ho Chang[1]
[1] Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology

**중심어:** 광열 치료, 초음파 유도 마이크로버블, 광 에너지 치료 깊이

## 요약

광열치료(Photothermal Therapy)는 병변에 조사된 빛에 의해 발생되는 열을 이용하여 선택적으로 병변을 괴사시키는 최소 침습적 치료 방법이다 [1]. 하지만 생체 조직 내에서 조사된 빛이 광학 산란으로 인하여 침투 깊이에 제한을 받아 심부 조직 병변에 도달하는데 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 우리는 이전에 초음파 에너지에 의해 발생되는 마이크로 수준의 버블을 생성하였고, 미(Mie) 산란 매체 역할을 하는 마이크로 버블을 빛의 조사 경로에 생성하여 조사된 빛의 디포커싱(defocusing) 현상을 완화시키고, 광 투과 깊이를 증가시키는 것을 실험적으로 증명하였다 [2]. 본 연구에서는 초음파 에너지에 의해 유도된 마이크로 버블이 광열치료의 치료 깊이를 증가시킬 수 있음을 확인하였으며, 이러한 기술이 광열치료의 주요 한계를 극복할 수 있음을 증명하였다.




## 참고문헌

1. H. Kim, J. Kang, and J. H. Chang, "Thermal therapeutic method for selective treatment of deep-lying tissue by combining laser and high-intensity focused ultrasound energy," Opt.Lett. 39(9), 2806-2809 (2014).
2. Haemin Kim and Jin Ho Chang, "Increased light penetration due to ultrasound-induced air bubbles in optical scattering media". Sci Rep 7. 16105 (2017)

장진호: jhchang@dgist.ac.kr

# 고해상도 광 음향 현미경 영상을 위한 저잡음 · 광대역 수신 시스템 구현

한원국[1], 문주영[2], 장진호[1]
[1] 대구경북과학기술원, [2](주)피아이

# A Stand-alone Imaging System for Low-Noise, Photoacoustic Microscopy Imaging

Won Kook Han[1], Ju-Young Moon[1], and Jin Ho Chang[1]
[1]Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology, [2]PIE

**중심어:** Photoacoustic Microscopy(광 음향 현미경), Analog Front-end receiver(아날로그 전단부 수신기), Low-Noise Wideband Receiver(저잡음·광대역 수신기)

## 요약

광음향 현미경 영상은 레이저 빔을 집속하여 공간 분해능을 높여 현미경과 같은 높은 해상도의 해부학적, 기능적 정보를 제공하는 현미경 영상이다. 고해상도 영상을 얻기 위해서는 두 가지 관점의 한계를 극복해야 한다. 높은 해상도를 갖는 영상을 얻기 위해 레이저 빔을 집속할 수 있는 대물렌즈를 사용하여 높은 공간 분해능을 갖는 영상을 얻는다. 이를 위해 집속 레이저를 병변에 전달하기 위해 초음파 변환기 주변의 광 반사 미러를 배치하거나 투명한 초음파 변환기를 사용하게 된다. 미러에 반사되거나 초음파 변환기를 통과되는 경우 레이저 빔의 감도가 감소되어 해상도와 신호대잡음비(SNR)가 낮아진다.다른 관점에서는 레이저를 집속하지 않고 고주파수 초음파 변환기를 사용하여 고해상도 영상을 획득하는 방법이 있는데, 고주파수 초음파 변환기가 가지는 작은 구경에 따른 낮은 민감도와 높은 에너지 감쇠가 발생된다. 이는 광음향 현미경 영상의 본질적인 한계점이므로 수신 시스템을 통하여 그 한계점을 극복하여야 한다. 본 논문은 고해상도 광음향 현미경 영상을 위하여 광음향 현미경 영상의 본질적인 한계인 낮은 민감도와 높은 감쇠 및 시스템 SNR 을 개선하는 할 수 있는 저잡음 · 광대역 수신 시스템 개발과 특성 평가 결과에 관한 것이다. 저잡음 · 광대역 수신 시스템은 100MHz 이상의 동작 주파수 대역에서 최대 72dB 의 증폭 이득과 48dB 의 가변 이득 범위를 만족하며 ±1dB 의 증폭 이득 평탄도 성능을 가지며, 125MHz 작동 주파수에서 최대 증폭 이득은 42dB 이다.

장진호: jhchang@dgist.ac.kr

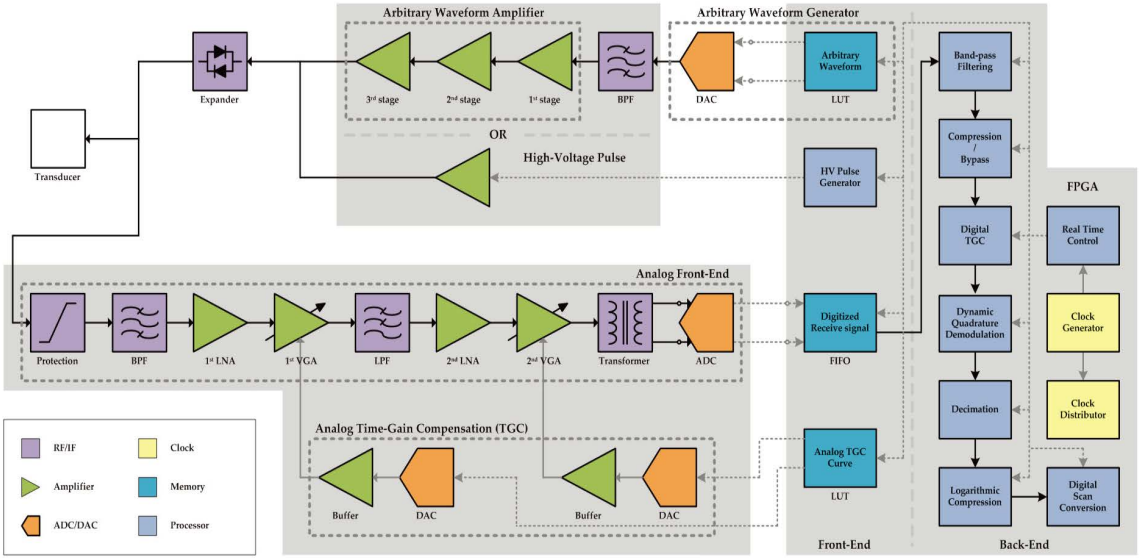



그림 1. 초음파 수신 시스템 블록다이어그램

장진호: jhchang@dgist.ac.kr

# 초음파 및 광음향 영상을 위한 상전이 물방울 조영제의 기화 및 재응결 기저 연구

유재석 [1]
[1] 대구경북과학기술원

# STUDY ON UNDERLYING PHYSICS OF VAPORIZATION AND RECONDENSATION OF AN OPTICALLY TRIGGERED PHASE TRANSITION DROPLET FOR ULTRASOUND AND PHOTOACOUSTIC IMAGING

Jaesok YU[1]
[1]Daegu-Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST)

**중심어:** 초음파, 광음향, 상전이, 기화, 재응결

## 요약

광음향 영상을 위한 조영제인 광활성 상전이 물방울 (optically triggered phase-transition droplet)은 분자 영상과 약물전달을 위한 세라노스틱 (Theranostic) 플랫폼으로 그 잠재성이 매우 높게 평가되어 활발한 연구가 행해지고 있다. 상전이 물방울은 강한 광음향 신호를 생성하기 위해서 기존의 광음향 영상에서 주로 사용되는 효율이 낮은 메커니즘인 열팽창 기반의 광음향 효과 대신, 효율이 상대적으로 높은 기화 기반의 광음향 효과를 이용한다. 또한 빛에 의해 활성화된 물방울은 가스 버블을 형성하여 초음파의 조영제로도 사용할 수 있어 광음향과 초음파 영상을 위한 다중 조영제로도 활용이 가능하다. 하지만 기화 기반 광음향 효과의 물리적 기저는 명확하게 연구되지 않아 그 메커니즘에 대한 이해도는 제한되어 있는 상태이다. 본 연구에서는 상전이 기화의 순간을 초고속 카메라를 이용하여 촬영하고 동시에 생성된 광음향 신호를 취득하여, 광음향 신호의 특성과 주변 온도, 물방울의 크기와의 관계 그리고 조건에 따른 기화 및 재응결 현상과의 관계에 대해서 분석하였다. [1]

물방울이 기화하는 과정에서 표면의 팽창 속도 및 가속도에 의해서 광음향 신호의 크기를 결정하게 된다. 또한, 물방울 크기에 따른 라플라스(Laplace) 압력에 의해 끓는점이 상대적으로 변화하여, 높은 끓는점을 가지는 작은 물방울은 기화한 후에 재응결을 하게 되지만, 낮은 끓는점을 가지는 큰 물방울은 기화를 하고 재응결을 하지 않는다. 이러한 상전이 현상들과 연관된 파라미터들의 관계를 이해하면 최적의 광음향 및 초음파 조영제를 설계할 수 있을 것으로 기대된다.

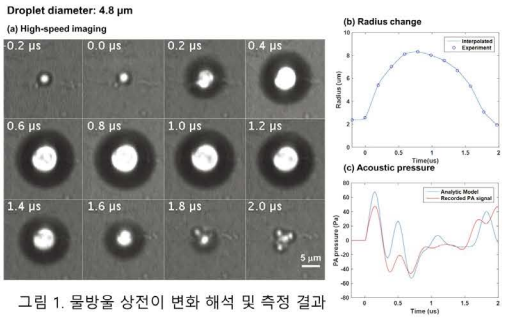



그림 1. 물방울 상전이 변화 해석 및 측정 결과

## 참고문헌

1. J. Yu, X. Chen, FS. Villanueva, and K. Kim, "Vaporization and recondensation dynamics of indocyanine green-loaded perfluoropentane droplets irradiated by a short pulse laser" *Appl. Phys. Lett.,* 109, 243701 (2016)

유재석: jaesok.yu@dgist.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 생체음향

# 체내 삽입형 의료 보철물 두께 측정을 위한 초음파 변환자 개발 및 측정 기술 연구

윤상연[1], 이문환[1], 류하민[1], 장진호[1], 황재윤[1]
[1] 대구경북과학기술원 정보통신융합전공

# DEVELOPMENT OF ULTRASOUND TRANSDUCER AND MEASUREMENT METHODS FOR MEASURING THICKNESS OF IMPLANTABLE MEDICAL PROSTHESIS

Sangyeon YOUN[1], Moonhwan LEE[1], Hah Min LEW[1], Jin Ho CHANG[1], and Jae Youn HWANG[1]
[1]Department of Information and Communication Engineering, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology

**중심어:** 초음파 변환자, 인공관절 치환술, 부호화 펄스 인가

## 요약

현대 의료기술의 고도화에 따라 기대 수명이 높아지고 있으며, 이에 따른 퇴행성 관절염의 발생 빈도 또한 높아지고 있다. 퇴행성 관절염 치료를 위한 관절을 고분자 및 세라믹 물질과 같은 인공 화합물로 치환하는 인공 관철 치환술의 수술 빈도와 수술 후 인공 관절은 치환된 의료기구의 마찰로 인한 마모, 삽입부 주위의 골절, 감염 및 보철물의 느슨해짐 등의 복합적인 원인으로 인한 재수술 빈도 또한 함께 증가하고 있다 [1-3]. 재수술 시행 여부는 방사선 촬영뿐만 아니라 침습적으로 환부를 절개하여 진단하는 방식이 사용되어 환자의 경제적, 물리적 피해를 줄이기 위해서 인공 관절의 상태를 비침습적으로 점검 할 수 있는 시스템이 필요하다 [2].

본 연구에서는 인공 관절 치환술 시 삽입되는 라이너의 잔존 두께 측정과 비구컵과의 결합 상태를 판별 할 수 있는 생체 삽입형 보철물 두께 측정 시스템 개발을 위한 생체 삽입형 초음파 변환자의 개발, 잔존 두께측정 알고리즘 및 최적화된 초음파 운용 방법에 대한 연구를 진행하였다. 세부적으로, 비슷한 민감도와 대역폭을 갖는 8MHz 와 20MHz의 중심주파수를 갖는 초음파 변환자를 제작하여 상용 폴리에틸렌 재질의 인공 고관절 라이너의 다양한 두께를 측정함으로써 신호대잡음비와 축방향 해상도를 비교 분석을 진행했으며, 단극, 쌍극, 부호화된 펄스를 인가하여 반향신호를 분석하여 체내 초음파 운용 방식 최적화 연구를 진행하였다.

## 참고문헌

1.Kurtz, Steven, et al. "Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030." *Jbjs* 89.4 pp.780-785 (2007)

2. Encinas-Ullán, Carlos A., Primitivo Gómez-Cardero, and E. Carlos Rodríguez-Merchán. "Revision Total Knee Arthroplasty." *Comprehensive Treatment of Knee Osteoarthritis*. Springer, Cham, pp. 183-194 (2020)

3. Bansal, Ankit, Omar N. Khatib, and Joseph D. Zuckerman. "Revision total joint arthroplasty: the epidemiology of 63,140 cases in New York State." *The Journal of Arthroplasty* 29.1 pp.23-27 (2014)

황재윤: jyhwang@dgist.ac.kr

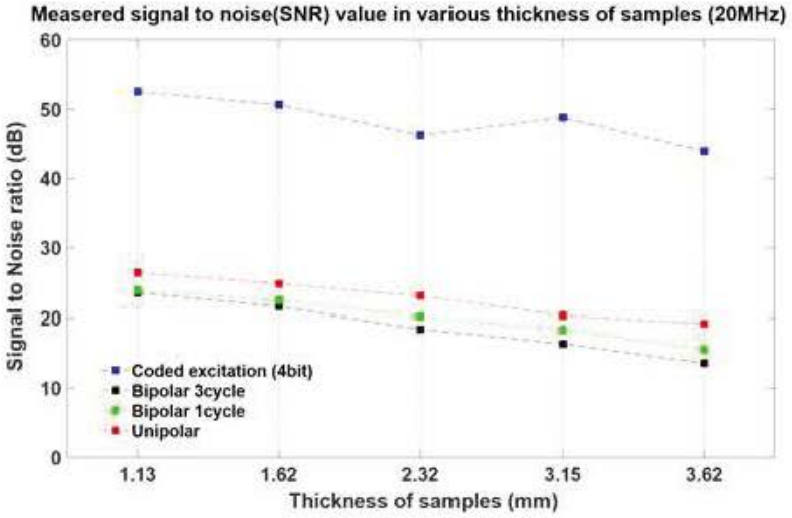



그림 1. 20MHz 중심주파수를 갖는 초음파 변환자에 초음파 인가 방법에 따른 두께별 신호대잡음비 측정 결과

황재윤: jyhwang@dgist.ac.kr

# 유방암 진단을 위한 멀티 스케일 채널 어텐션 모듈 기반의 딥러닝 네트워크

이해윤 [1], 황재윤 [1]
[1] 대구경북과학기술원

# Deep Learning Network based on Multi-scale Channel Attention Module for Breast Cancer Segmentation

Haeyun Lee[1], Jae Youn Hwang[1]
[1]Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology

**중심어: 유방초음파 영상, 딥러닝**

## 요약

유방암은 여성의 주요 사망 원인 중 하나이며, 8% 이상의 여성들이 유방암에 걸릴 수 있다고 예측되고 있다[1]. 유방암에 의한 사망률을 낮추기 위해서는 조기 진단을 통한 효과적인 치료가 상당히 중요하다[2]. 유방 초음파는 유방암을 진단할 때 주로 사용되어 왔지만 영상의 복잡성 때문에 정확한 분석을 위해서는 경험이 많은 영상의학과의사에게 의존하는 경향이 있다. CAD 는 유방초음파 검사 시 의사들에게 도움을 줄 수 있어 좋은 성능을 얻기 위한 CAD 연구가 진행되어 왔다. 본 연구에서는 유방초음파 영상에서 부종을 좀 더 정확히 검출하기 위해 새로운 Multi-scale Grid Channel Attention Module 과 이 module 을 기반으로 하는 딥러닝 네트워크를 제안한다. 공개된 유방초음파 영상 데이터셋[3]을 이용하여 제안한 딥러닝 네트워크의 성능평가를 진행하여 0.7658 의 F1 score 와 0.9606 의 AUROC 성능을 보이며 다른 방법들에 비해 높은 성능을 내는 것을 보였다.

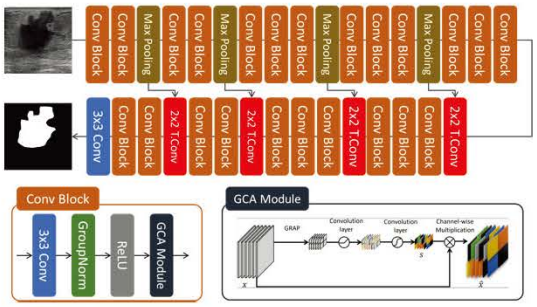



그림 1. 제안한 딥러닝 네트워크 구조

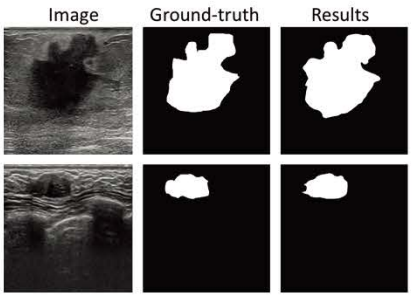



그림 2. 유방암 검출 결과

## 참고문헌

1. H.Cheng, J. Shan, W. Ju, Y. Guo, and L. Zhang, "Automated breast cancer detection and classification using ultrasound images: A survey," Pattern Recognition, Vol 43, No. 1, pp. 299-317, 2010
2. H. Cheng, X. Shi, R. Min, L. Hu, X. Cai, H. Du, "Approaches for automated detection and classification of masses in mammograms," Pattern Recognition, Vol 39, No. 4, pp. 646–668, 2006
3. Yap, M. H., Pons, G., Martí, J., Ganau, S., Sentís, M., Zwiggelaar, R., ... & Martí, R., "Automated breast ultrasound lesions detection using convolutional neural networks.," *IEEE journal of biomedical and health informatics*, Vol. 22, No. 4, pp. 1218-1226. 2018

황재윤: jyhwang@dgist.ac.kr

# 강인한 방광 용적 추정을 위한 자세 정보를 고려하는 지능형 웨어러블 방광 모니터링 시스템

이문환 [1], 류하민 [1], 황재윤 [1]
[1] 대구경북과학기술원

# Intelligent Wearable Bladder Monitoring System Considering Posture Information for Robust Bladder Volume Estimation

Moon Hwan Lee[1], Hah Min Lew[1], and Jae Yoon Hwang[1]
[1]Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology

**중심어:** 초음파 영상, 딥러닝, 방광

## 요약

배뇨는 신체의 노폐물을 배출하는 중요한 행동이다. 이를 자의로 조절할 수 없는 배뇨 장애는 일상 생활에 불편을 주며 심하게는 심리적 피해(우울증)는 물론 신체적 피해(요로감염)까지 초래할 수 있다.[1] 방광 용적을 미리 알면 최악의 경우를 방지할 수 있지만 기존에는 의료진에 의해 도뇨관, 초음파 스캐너 등을 이용한 주기적인 검진을 통해서 모니터링되고 있다.[2] 이는 의료진에게 과도한 업무를 제공하는 요인 중 하나이다. 따라서 의료진으로부터 독립적으로 이루어지는 항시적인 방광 용적 모니터링 및 적절한 소변 시기의 알림을 위해 초음파 영상에 기초한 다양한 시스템이 개발, 연구되었다.[3],[4] 그러나 사용자의 다양한 자세에 의한 방광의 형태 변형은 이전 연구에서 충분히 고려되지 않았다. 또한 딥러닝을 이용한 방광 용적 추정 방법은 연구자가 아는 한도 내에서는 연구되지 않았다.

본 연구에서는 지능형 웨어러블 방광 모니터링 시스템을 제안하며 이 중에서 특히 방광 용적을 강인하게 추정할 수 있는 딥러닝 기반 회귀 분석 알고리즘을 제안한다. 더불어 사용자의 자세가 방광 용적 추정에 미치는 영향에 대해 논했다. 사용자 자세가 방광 용적 추정 알고리즘의 정확도에 끼치는 영향을 확인하기 위해 자세 데이터 포함 여부 외에는 동일한 딥러닝 기반 알고리즘을 자세 정보의 포함, 미포함 두 경우에 대해 트레이닝하고 비교했다. 그 결과, CNN 기반 특징 추출 방법을 기반으로 한 두 알고리즘 모두 낮은 에러율을 보였으며 주목할 만한 것은 자세 데이터로 최적화된 알고리즘은 자세 데이터가 없는 것보다 각각 12%, 40% 낮은 2.52 의 MSE(평균 제곱 오차)와 8.41 의 MAPE(평균 절대 백분율 오차)를 제공했다는 것이다. 이 결과는 자세 데이터가 방광 용적이 적을 때 추정 정확도 향상에 유용함을 입증하였으며 딥러닝 기반 알고리즘이 지능형 웨어러블 방광 모니터링 시스템을 위한 유망한 분석 알고리즘이 될 수 있음을 보여주었다.

황재윤: jyhwang@dgist.ac.kr

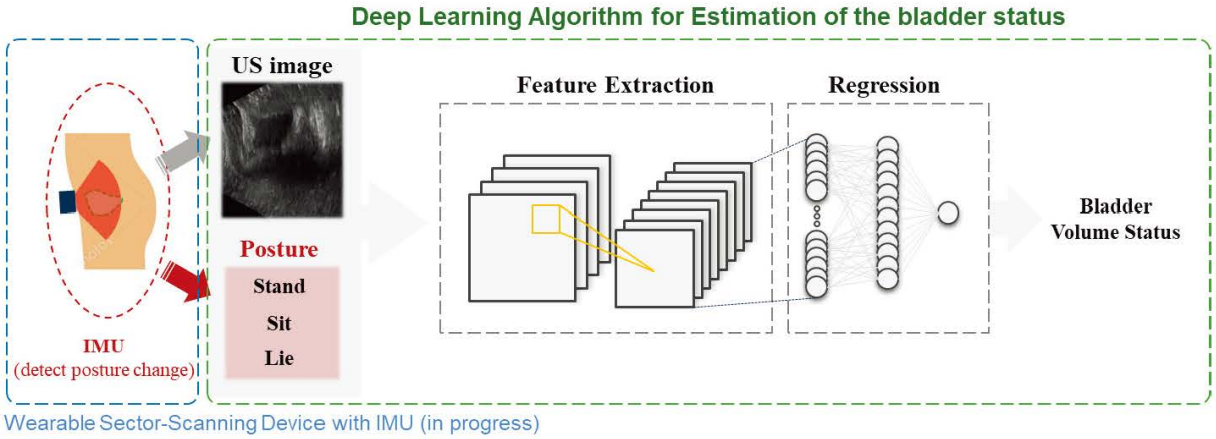



그림 1. 방광 부피 추정을 위한 딥러닝 기반 회귀 분석 알고리즘

## 참 고 문 헌

1. Shaikh N, Abedin S, Docimo SG. Can ultrasonography or uroflowmetry predict which children with voiding dysfunction will have recurrent urinary tract infections? J Urol. 2005 Oct;174(4 Pt 2):1620-2; discussion 1622. doi: 10.1097/01.ju.0000179367.55669.0b. PMID: 16148667.

2. Palese, A., Buchini, S., Deroma, L. and Barbone, F. (2010), The effectiveness of the ultrasound bladder scanner in reducing urinary tract infections: a meta - analysis. Journal of Clinical Nursing, 19: 2970-2979.

3. Kristiansen, N.K., Djurhuus, J.C. & Nygaard, H. Design and evaluation of an ultrasound-based bladder volume monitor. Med. Biol. Eng. Comput. 42, 762–769 (2004). https://doi.org/10.1007/BF02345209

4. H. Niu et al., "Design of an Ultrasound Bladder Volume Measurement and Alarm System," 2011 5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, Wuhan, 2011, pp. 1-4, doi: 10.1109/icbbe.2011.5781498.

황재윤: jyhwang@dgist.ac.kr

# 얼굴 피부 탄력도 정량 측정을 위한 고주파 초음파 변환자

장서연 [1], 박진형 [1]
[1] 성균관대학교

# HIGH FREQUENCY ULTRASOUND TRANSDUCER FOR QUANTIFIED FACIAL SKIN ELASTOGRAPHY

Seoyun Chang[1], Jinhyoung PARK[1]
[1]Sungkyunkwan University

**중심어:** 초음파 변환자, 정량 피부 탄력 측정

## 요약

피부의 기계적 특성은 피부 질환을 진단하거나 피부의 건강상태를 모니터링하는데 있어 중요한 지표로 알려져 있다. 이를 비 침습적으로 측정하기 위해 피부의 외부에서 기계적인 자극을 가하고 그 자극으로 인한 피부의 변형을 측정함으로써 기계적 특성을 측정하는 방법을 사용해 왔다 [1]. 정량적인 기계적 특성을 획득하기 위해 가장 잘 알려진 방법은 외부 자극으로 인해 발생하는 피부내 횡파 속도를 초음파 영상 기법을 통해 측정하는 방법이다 [2]. 횡파를 생성하는 방법으로 피부 흡입기, 저주파 진동 소자, 수동 압박 및 집속 초음파 변환자의 초음파 방사력 등이 사용되는데, 이는 외부자극을 생성하는 장치를 동반한다는 단점을 가지고 있다. 외부 자극원 외에 인체 내 수동 진동원으로 혈관의 맥박을 사용하여 횡파 속도를 측정하는 방법이 소개되었으나, 이는 다소 큰 혈관으로부터 떨어져 있는 얼굴 주변의 피부에서 사용하기에는 어려움이 있다 [3]. 따라서, 본 연구에서는 성대의 떨림을 이용하여 얼굴 주변 피부의 진동을 발생시켜 피부의 탄력도를 측정하는 고주파 초음파 변환자와, 하드웨어 및 신호 처리 방법을 제시하고자 한다. 목소리에 의해 발생되는 떨림은 성대에서 시작하여 전달파를 생성하고, 이에 의해 생성된 횡파의 속도를 측정하고자 하며 그 결과를 초음파 방사력에 의해 발생되는 횡파의 속도와 비교하여, 성대 떨림 기반 횡파 속도 측정 방법을 검증하고자 한다. 이를 위해, 그림 1 에서 보는 바와 같이 10 MHz 집속 초음파 변환자를 위치시켜 초음파 방사력을 생성하고, 사방에 각각 40 MHz 고주파 초음파를 위치시켜 피부의 진동을 감지하는 초음파 변환자를 개발하고자 한다. 5kPa 과 15kPa 의 다른 단단함을 가지는 초음파 연조직 팬텀을 제작하여 성대의 떨림을 이용한 탄성도 측정법과 초음파 방사력을 이용한 방법 간의 성능을 비교하였으며, 그 결과 둘 사이의 유사한 성능을 확인할 수 있었다. 본 방법을 통해 외부 자극 없이 측정 가능한 전달파를 생성함으로써 얼굴 주변의 피부에서의 피부 탄력 측정이 가능해졌다.

## 참고문헌

1. Sigrist RMS, Liau J, Kaffas AE, Chammas MC, Willmann JK, "Ultrasound Elastography: Review of Techniques and Clinical Applications", Theranostics (2017)

2. Chen, Shigao et al. "Shearwave dispersion ultrasound vibrometry (SDUV) for measuring tissue elasticity and viscosity." IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control vol. 56,1 (2009)

3. Nagaoka R., Kobayashi K., Saijo Y, "Measurement of Skin Elasticity Using High Frequency Ultrasound Elastography with Intrinsic Deformation Induced by Arterial Pulsation," In: Sasaki K., Suzuki O., Takahashi N. (eds) Interface Oral Health Science 2014 (2015)

박진형: jin.park@skku.edu

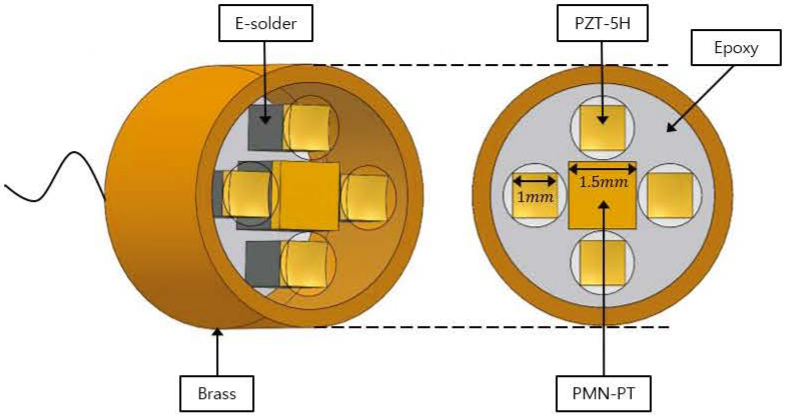



그림 1. 얼굴 피부 탄력도 측정을 위한 초음파 변환자 디자인

박진형: jin.park@skku.edu

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 수중음향

# 음향컬러를 이용한 수중 쉘 표적의 음향 산란 특성 관찰

추연성[1,2], 변성훈[2], 이근화[3], 추영민[3], 최기융[3]
[1] 과학기술연합대학원대학교(UST), [2]선박해양플랜트연구소(KRISO), [3]세종대학교

# CHARACTERIZATION OF ACOUSTIC SCATTERING OF UNDERWATER SHELL TARGETS USING THE ACOUSTIC COLOR PLOT

Yeon-Seong CHOO[1,2], Sung-Hoon BYUN[2], Keunhwa LEE[3], Youngmin CHOO[3], and Ki-Young CHOI[3]
[1]University of Science and Technology(UST), [2]Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering(KRISO), and [3]Sejong University

**중심어:** 음향컬러(Acoustic color plot), 쉘 구 표적, 표적 음향 산란, 표적 식별

## 요약

수중의 표적은 입사된 음파로 인해 표적 주변에 산란장을 형성한다. 실린더와 같이 길이 방향으로 형상이 달라지는 표적은 입사파와 측정 위치 사이의 각도에 따라 산란장이 더 큰 변화를 나타낸다. 이러한 산란장을 표현하는 방법으로 음향컬러(Acoustic color plot)을 이용한다.[1,2] 음향컬러의 x축은 주파수, y축은 입사파와 수신 위치 사이의 각도 또는 broadside로부터 회전된 표적의 각도를 나타낸다.

수중에서 표적 주변의 산란장을 관찰하여 표적을 식별하는 연구가 Fischell에 의해 수행되었으나 밴드폭이 2kHz인 신호를 이용하여 방향에 따른 산란 크기만을 비교하였다.[3,4]

본 연구에서는 수조에서 알루미늄 쉘 구와 알루미늄 쉘 실린더의 음향 산란을 8채널의 배열을 이용하여 측정하고 음향컬러로 나타내어 주파수와 측정각도에 따른 특성을 관찰하였다. 사용된 신호는 1-50 kHz의 LFM(Linear frequency modulation)신호 이며, 그림 1, 그림 2와 같이 설치되어 표적에 입사되는 신호와 산란되는 신호를 계측하였다. 쉘 구는 외반경 20.5 cm, 두께 2 cm의 알루미늄으로 제작되어, 내부는 공기로 채워져 있다. 쉘 실린더는 길이 150 cm, 외반경 31 cm, 두께 1.1 cm의 알루미늄으로 제작되어 공기로 채워져 있다.

수조 실험을 통해 계측된 음향컬러는 그림 3, 그림 4와 같이 계측되었다. 그림 3은 8채널의 배열로 계측된 쉘 구의 음향컬러이고 그림 4는 실린더를 broadside(0°)에서 end-cap(90°)으로 회전하며 측정한 음향컬러이다. 음향컬러에서 계측 각도에 따라 주파수 특성이 달라지는 것을 관찰하였으며, 알루미늄 쉘 구와 쉘 실린더의 식별에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 선박해양플랜트연구소의 주요사업 "중저주파 대역의 이동 배열 센서를 이용하는 합성개구소나 핵심 기술 개발"과 "심해공학수조 기반 표준 해양구조물 성능평가 기술 개발"로 수행된 연구결과입니다(PES3570, PES3480).

추연성: chooys@kriso.re.kr

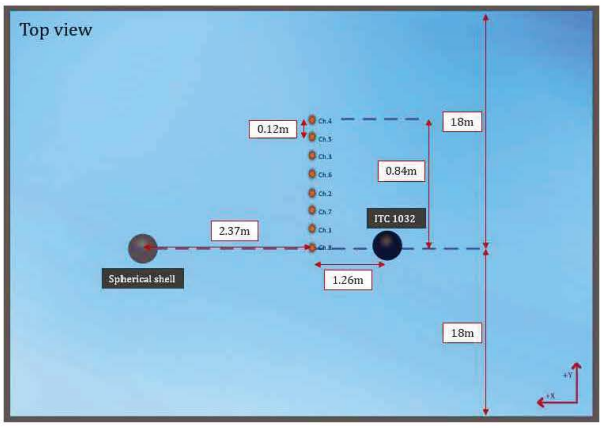



Fig. 1. Top view arrangement of the water tank experiment

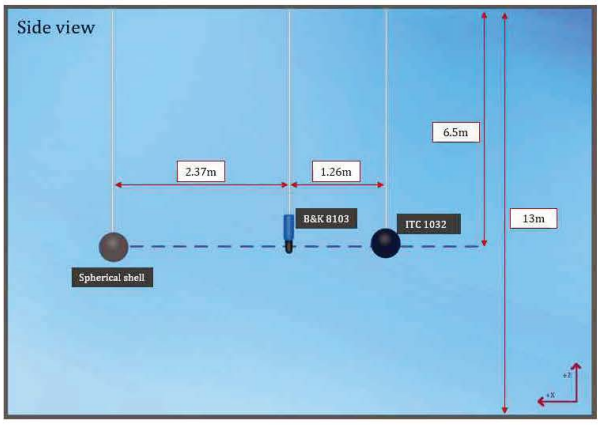



Fig. 2. Side view arrangement of the water tank experiment

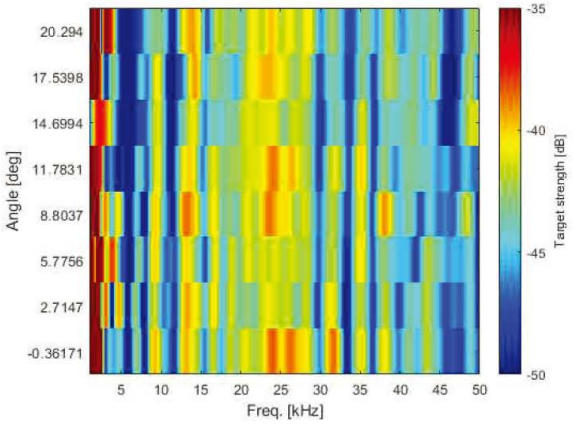



Fig. 3. Acoustic color plot of aluminum spherical shell in water tank

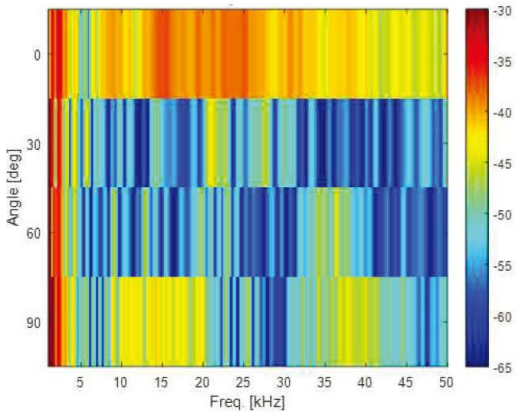



Fig. 4. Acoustic color plot of aluminum cylindrical shell in water tank

## 참고문헌

1.S.Kargl,*Acoustic Response of Underwater Munitions near a Sediment Interface: Measurement Model Comparisons and Classification Schemes*, WASHINGTON UIV SEATTLE APPLIED PHYSICS LAB (2015)

2. A.L.Espana, K.L.Williams, D.S.Plotnick, and P.L.Marston, "Acoustic scattering from a water-filled cylindrical shell: Measurements, modeling, and interpretation," *J. Acoust. Soc. Am.*, 136, pp.109-121 (2014)

3.E.M.Fischell, and H.Schmidt, "Classification of underwater targets from autonomous underwater vehicle sampled bistatic acoustic scattered fields," *J. Acoust. Soc. Am.*, 138, pp.3773-3784 (2015)

4.E.M.Fischell, and H.Schmidt, "Environmental effects on seabed object bistatic scattering classification," *J. Acoust. Soc. Am.*, 141, pp.28-37 (2017)

추연성: chooys@kriso.re.kr

# 해저면 근처 구/실린더형 표적의 산란 음장 모의

최기융 [1], 이근화 [1], 추연성 [2,3], 변성훈 [2], 양해상 [4], 추영민 [1]
[1] 세종대학교, [2] 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소, [3] 과학기술연합대학원대학교, [4] 서울대학교

# MODELING OF ACOUSTIC SCATTERING FROM SPHERICAL AND CYLINDRICAL TARGETS NEAR THE SEABED

Giyung CHOI[1], Keunhwa LEE[1], Yeonseong CHOO[2,3], Sunghoon BYUN[2], Haesang YANG[4] and Youngmin CHOO[1]

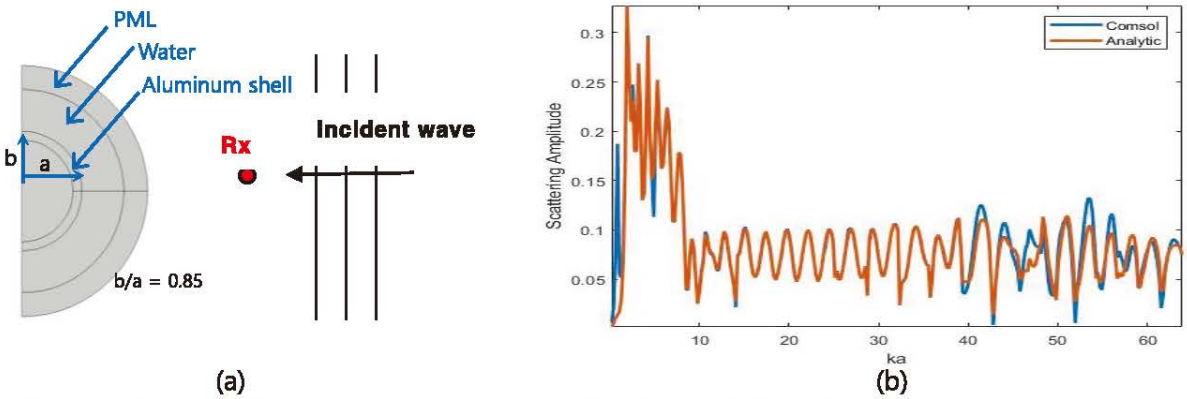
[1]Sejong University, [2]Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, [3]Korea University of Science and Technology, [4]Seoul National University

**중심어:** 해저면 표적, 산란 음장 모의, 음선 이론, 2 차원 축대칭

## 요약

본 연구에서는 대표적인 형태의 표적인 구/실린더 탄성체의 해저면에 의한 다중 경로 효과를 포함한 산란 음장을 모의하였다. 모의 방법으로는 자유공간에서 산란 음장을 모의 후 음선 이론(Ray theory)을 통해 해저면의 영향을 더하는 방법을 사용하였으며, 이는 과거 Kargl 과 Williams 의 연구를 통해 검증된 바 있다[1]. 자유공간에서의 산란 음장은 상용 수치 해석 소프트웨어인 'COMSOL Multiphysics'를 통해 계산하였으나 실물 크기(full-scale)와 같은 3 차원 공간에서의 해석은 계산량 문제로 제한되었다. 따라서 표적이 축대칭 형상임을 활용하여 2 차원으로 축소 계산할 수 있는 모의 기법을 사용하였고 이는 Zampolli 에 의해 검증되었다[2].

자유공간에서 구형 탄성체의 산란 음장은 해석해를 기반으로 정확하게 계산될 수 있는데, 이를 COMSOL 을 통한 모의 결과와 비교한 결과는 그림 1 과 같으며, 두 결과가 대부분 일치함을 알 수 있다. 따라서 2 차원 축대칭 모의 기법을 통해 자유공간에서 실린더형 탄성체에 의한 산란 음장 모의에도 적용 가능할 것으로 생각되며, 이 결과를 음선 이론과 결합하면 해저면 근처 실린더 형상을 가지는 표적에 의한 산란 음장을 모의할 수 있을 것으로 판단된다.




(a) (b)

그림. 1. (a) Comsol 모의 형상, (b) Comsol 결과 및 해석해 결과 비교

## 참고문헌

1. S.G. Kargl, K.L.Williams, and Eric. I. Thorsos "*Synthetic Aperture Sonar Imaging of Simple Finite Targets*", IEEE J. Ocean, 37, pp.516-532 (2012)
2. M. Zampolli, "A computationally efficient finite element model with perfectly matched layers applied to scattering from axially symmetric objects" *J. Acoust. Soc. Am.*, 122, pp.1472-1485 (2007)

추영민: ychoo@sejong.ac.kr

# 해양환경 정보의 수중소음에 대한 영향성 분석

김용국, 국영민, 김동관, 김규철, 윤상기, 최창호
LIG넥스원

# A STUDY ON THE INFLUENCE OF MARINE ENVIRONMENTAL INFORMATION ON UNDERWATER NOISE

Yong Guk Kim, Young Min Kook, Dong Gwan Kim, Kyucheol Kim, Sang Ki Youn, and Chang-Ho Choi
LIG Nex1

**중심어:** 해양환경, 수중소음

## 요 약

본 연구에서는 선박 통행량 및 해양 기상(파고 및 풍속) 정보 등 해양환경 정보의 수중소음에 대한 영향성을 분석하였다. 소나 시스템의 탐지 성능에 영향을 끼치는 환경 요소로써 전달손실 및 주변소음 성분이 있다. 특히 연안에서 운용되는 소나 시스템의 경우 선박 통행에 의한 소음 및 해양 기상에 의해 발생하는 소음이 성능에 영향을 끼치는 주된 요인이다. [1] 본 연구에서는 약 100일 간 동해 연안에서 하이드로폰 배열을 이용하여 획득한 수중소음 측정 데이터와 인근 선박 통행량[2] 및 해양기상정보[3] 데이터를 이용하여 수중소음에 대한 영향성을 분석하였다. 일일 파고 및 풍속 관측 정보는 그림 1, 일일 해상 선박 통행량 및 수중소음 측정 결과는 그림 2와 같다. 분석 결과 수중 주변 소음은 선박의 통행량의 변화에 따라 높은 연관성을 보였으며, 선박 통행량이 현저히 적은 날의 경우에 특정 주파수 대역에 있어서 풍속과 파고 등 해양 기상 요소에 있어서도 영향성이 있음을 관찰하였으며, 이는 기존 연구결과 등과 일부 부합함을 확인할 수 있었다. ($f_n < f_{n+1}, n=1,2,\cdots,5$) 별 수중소음

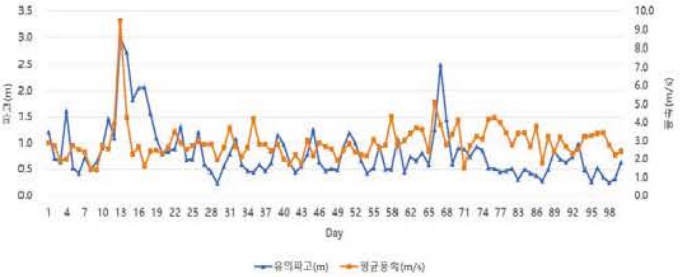



그림 1. 일일 파고 및 풍속 관측 정보

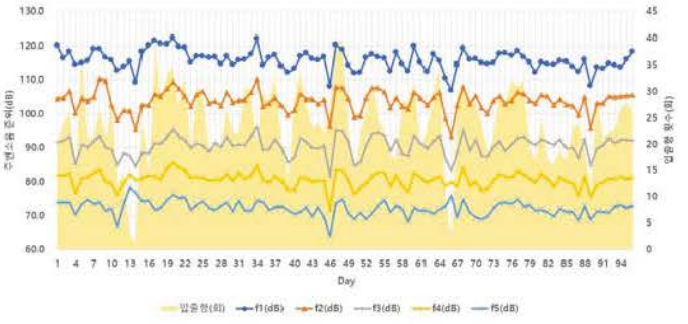



그림 2. 일일 해상 선박 통행량 및 분석 주파수 대역

## 참고문헌

1. R.P. Hodges, *Underwater Acoustics: Analysis, Design and Performance of Sonar*, Wiley, UK (2010)
2. 해양수산부, 해운항만물류정보시스템(PORT-MIS) (https://new.portmis.go.kr/)
3. 기상청, 기상자료개방포털 (https://data.kma.go.kr/)

김용국:yongguk.kim@lignex1.com

# 임의의 운동을 하는 합성개구소나의 수신 신호 모의 MATLAB 프로그램 개발

김시문[1], 변성훈[1]
[1]한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소

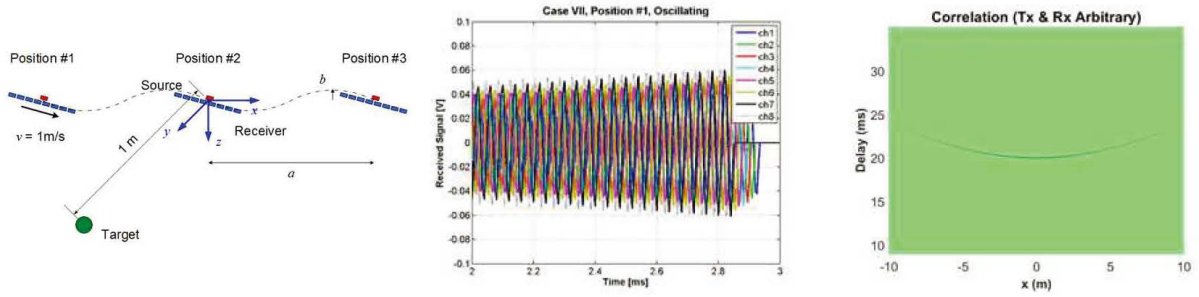
# DEVELOPMENT OF MATLAB PROGRAM FOR THE SIMULATION OF RECEIVED SIGNALS OF A SYNTHETIC APERTURE SONAR WITH ARBITRARY MOTION

Sea-Moon KIM[1] and Sung-Hoon BYUN[1]
[1]Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering

**중심어:** 합성개구소나, 신호모의, 임의의 운동, 송수신 빔패턴, 표적 산란패턴, MATLAB

## 요약

합성개구소나는 고해상도 영상 생성이 가능하여 해저면의 표적을 탐지·식별하는데 널리 사용되고 있다[1]. 합성개구소나 영상의 해상도는 센서의 위치 오차에 의해 큰 영향을 받기 때문에 센서의 정확한 운동을 추정하는 것이 매우 중요하다. 그러나 조류가 강한 국내 연안의 경우 배열센서의 직선운동을 구현하는 것은 매우 어려우며 운동을 정확하게 추정하는 것도 쉽지 않다. 이와 같은 환경에서 합성개구소나의 신호처리 알고리듬 개발을 위해 센서가 임의의 운동을 하는 경우에 배열센서의 수신 신호를 모의하는 MATLAB 프로그램을 개발하였다. 이때 송수신 센서가 임의의 형상의 지향각 특성을 지닌 경우와 표적의 산란 특성이 입사각과 산란각에 따라 변화하는 경우에도 모의가 가능하도록 하였다.




(a) 임의의 운동을 하는 센서

(b) 임의의 운동을 하는 센서에 의한 수신 신호 모의

(c) 센서의 지향각 특성에 의한 합성개구소나 수신 신호 모의

그림 1. 임의의 운동을 하는 합성개구소나 수신 신호 모의

## 참고문헌

1. R. E. Hansen, Introduction to Synthetic Aperture Sonar. Sonar Systems. N. Kolev, InTech (2011).

본 연구는 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 "중주파수 대역의 이동 배열 센서를 이용하는 합성개구소나 핵심 기술 개발"에 의해 수행되었습니다(PES3570).

김시문: smkim@kriso.re.kr

# Method of Momements 기법을 이용한 합성개구소나 신호 압축

백경민[1], 김완구[1], 유정수[2]
[1] 한국표준과학연구원, [2]울산대학교

# SIGNAL COMPRESSION OF SYNTHETIC APERTURE SONAR USING METHOD OF MOMENTS

Kyungmin BAIK[1], Wan-gu KIM[1], Jungsoo RYUE[2]
[1]Korea Research Institute of Standards and Science, [2]University of Ulsan

**중심어:** 합성개구소나, 수중음향, 신호압축, MoM

## 요약

합성개구소나(SAS: Synthetic Aperture Sonar)와 같은 어레이를 이용한 이미징 소나 기술에는 여러 가지 알고리즘이 존재하지만 공통적으로 Range 방향에 대한 압축 (Range compression) 기술로서는 matched filter를 이용한다. 이를 위해 송신 신호가 필요하지만 센서 특성에 따라 송신 응답이 다르고 방사되는 송신 신호는 매질 및 환경에 따라 변동이 심하기 때문에 별도의 측정(replica)이 필요하다. 따라서 별도로 측정된 송신 신호의 정확한 정보가 없을 경우 수신된 신호만으로 matched filter를 적용한 Range compression과 유사한 결과를 얻을 수 있는 기법으로서 본 연구가 수행이 되었다. 이를 위해 source term을 포함한 파동방정식에 Method of Moments 기법을 적용하였다. 자유공간에서의 Green's function을 미소 픽셀 공간에서 적분함으로써 얻어지는 impedance matrix를 구성하고 각 픽셀 공간에서의 응답을 step function 형태의 weighting을 부여하여 측정 신호와 impedance matrix, 그리고 응답 벡터로 하나의 선형 행렬 방정식을 얻게 되고, 이를 통해 응답 벡터를 역행렬을 통해 추산하였다. 이를 1차원 예제에 적용을 함으로써 얻은 추산된 응답은 측정 신호에 matched filter를 적용한 것과 유사한 형태를 보였고, 단일 주파수 입력 신호 및 주파수 변조 입력 신호에서도 비슷한 결과를 도출하였다. 도출된 응답은 Range 방향에 대한 해상도와 주파수 대역폭 조건을 만족하였고 낮은 SNR에서도 비교적 강건한 결과를 보여주었다. 본 기법은 추후 2차원 신호 및 SAS 이미징에도 적용가능할 것으로 기대된다.

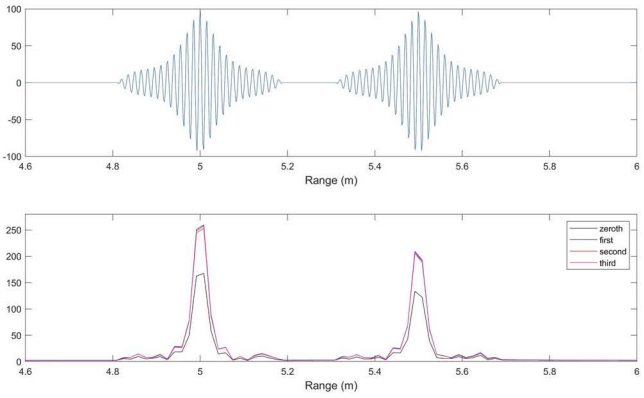



그림 1. 주파수 변조측정신호 (위) 및 MoM을 통한 Range Compression 신호 (아래)

백경민: kbaik@kriss.re.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 음악음향/음향심리/음향컨텐츠

# 실감음향디자인을 적용한 미디어콘텐츠사례

유회종[1], 이수용[1] , 윤영선[2]
[1] 서울호서예전,동아방송예술대, 파블로항공[2]

# IMMERSIVE SOUND DESIGN FOR MEDIA CONVERGENCE CONTENTS

Whoi-Jong YOO[1], Soo-Yong LEE[1], and Young-Sun Yoon[2]
[1]Ho-seo Arts College, and Dong-a Arts College [2]Pablo AIR

**중심어: 디지털트윈, 실감음향, 현장체험형실감콘텐츠,**

## 요 약

디지털트윈시대의 C(콘텐츠)+P(플랫폼)+N(네트워크)+D(디바이스)가 핵심구성요소이다. 본 내용은 CPND기술에 군집드론액션비행기술과 실감음향기술을 융합하여 "현장체감형실감콘텐츠"를 구현한 사례 발표이다.

- 영화의 스토리를 기반으로 듀얼 스크린기법과 실감음향기술로 관객을 영화현장 속으로 몰입시키고 영화 속 영상과 실제 드론액션 융합기술로 폭탄투하가 실제로 현장에 이루어지는 등 현장체감형 콘텐츠의 사운드디자인구성과 기획을 소개하고, 2020년11월17일 시연 후 ASK21춘계에서 후편이 소개된다.



그림1.드론액션



그림2. 복효 및 실감체험

## 참고문헌

1. "실감음향기법이 콘텐츠감성도에 미치는 영향", 2019한국음향학회 추계학술대회논문, 이수용.유회종

책임저자:유회종 hunteryoo@empal.com,1

# HOA(High Order Ambisonics)마이크를 사용한 공연장 360도 임펄스응답 측정방법 및 활용

이수용[1], 이재학[2]
[1] (주)사운드코리아이엔지

# Measurement and Application of 360 Degree Impulse Response in a Performance Hall Using High Order Ambisonics(HOA) Microphones

Su-Yong Lee[1], Jae-Hak Lee[2]
[1]SOUNDKOREAENG

**중심어:** 고차원 앰비소닉스, 실감음향, 입체음향, 음장가변시스템

## 요약

앰비소닉스(ambisonics) 마이크로폰은 실감음향의 제작 전송 및 재현에 보편적으로 사용되고 있으며 최근들어 1차 앰비소닉스(사진1) 뿐 아니라 사진2와 같이 고차 앰비소닉스(HOA(high order ambisonics))방식의 마이크로폰도 점차 보급되고 있다. 공간 음장감을 재현하는데 사용되는 임펄스 응답 신호는 대개 무지향성 마이크로폰에 의해서 측정 기록되어지는데, 고차 앰비소닉스 마이크를 사용해 공간의 음장을 취득한다면 잔향가변시스템과 같은 공간 내 실감음향 구현장치 뿐 아니라 가상현실, 증강현실의 재현에도 폭넓게 활용될 수 있을 것이라 예상된다. 본 발표에서는 고차 앰비소닉스 마이크로폰을 사용한 공연장 임펄스 응답 측정방법과 활용 사례들을 소개한다.



사진1) 1차 앰비소닉스 마이크



사진2) 고차 앰비소닉스 마이크

책임저자: 이수용 (lsyway@gmail.com)

# 라이브 공연에 필요한 입체음향 최적화를 위한 스피커 배치 연구

문건창 [1],
[1] 대림대학교

# A study on speaker layout for optimizing stereoscopic sound in live performance

Gun-Chang MOON[1],
[1]Daelim University,

**중심어:** 입체음향, 라이브 사운드, 스피커 배치

## 요약

최근 예술공연의 다양성과 시그널프로세싱 기술발전으로 인해 입체음향 솔루션들이 라이브 사운드 현장에 적용되고 있다. 본 연구에서는 라이브 입체음향솔루션의 한계점과 개선점을 파악하여, 라이브 사운드에서 최적의 입체음향 믹싱을 위해 필요한 스피커 배치에 대하여 알아보고자 한다. 헤드폰 믹싱이 아닌 라이브 사운드에서는 기존의 스윗 스팟 존 일부를 제외하고는 대부분의 객석에서 정상적인 스테레오 이미지를 느끼기에 한계가 있어 듀얼 모노 사운드로 대체해 왔다. 이에 대한 한계점을 극복하기 위하여, 최근 많은 스피커 제조사에서 라이브를 위한 입체음향 솔루션을 제공하고 있다. 대부분이 스피커의 위치기반의 솔루션으로 레벨과 딜레이 차이를 이용하여 프로세싱 하는 것이 대부분이다. 하지만 객체지향(Object Base) 솔루션의 약점은 많은 스피커 배치로 인한 커버리지 중첩과 저음에 대한 패턴 컨트롤의 어려움이다.

본 논문에서는 두 가지 제조사의 라이브 입체음향 솔루션을 분석하고, 이를 최적화 하여, 국내 제조사에도 라이브 입체음향 솔루션을 개발할 수 있도록 가이드 라인과 기술적 근거를 제시하고자 한다. 적용되고 있는 입체음향 시스템 구성에 있어 서브우퍼에 대한 스피커 배치는 기존의 방식과 큰 차이점을 보이고 있지 않고 있으며, 한 단계 진보한 입체음향 솔루션을 위해서는 서브우퍼 로컬라이제이션을 얼마나 효과적으로 할 수 있는 지에 대한 고민에 도달한다. 본 연구와 실험을 통해 최적의 라이브 입체음향 솔루션의 이상적 해결책과 현실적 해결책을 제시하고자 한다.




그림 1. L-Acoustic L-ISA 시스템(왼쪽), d&b audiotechnik Soundscape(오른쪽)

## 참고문헌

1. ISO 12913-1:2014, "Acoustic-Soundacape-Part 1:Definition and conceptual framework", First edition 2014-09-01
2. L-Acoustic, https://www.l-isa-immersive.com/,2020.

문건창: gunsacoustic@daelim.ac.kr

# 추상적 동적객체를 위한 공간 사운드 디자인

장규식
VR 사운드, 상명대학교 문화기술대학원

# A Case of Spatial Sound Design for Abstract Dynamic Objects

Kyusik Chang
VR Sound, Sangmyung University

**중심어:** 공간음향, 사운드 디자인, VR 사운드, Spatial, 앰비소닉스

## 요약

본 연구는 유니티(Unity) 게임엔진 기반의 상호작용형 VR 영상의 공간 사운드 디자인 주요 과정을 요약합니다.

작품명 "내가 만든 글자, 달의 이행"부분의 캐릭터의 탄생과정을 은유화하고, 추상적 객체들로 이루어진 시각적 공간을 청각적 요소로 채우기 위해 효과음적 사운드 스케이프를 구성하는 작업을 수행하였다.

틸트 브러시 기반으로 만들어진 각 객체들(그림 1)은 선형적 이동 공간안에 배치되어 있고, 사용자는 이동 중 360 공간을 바라보며 이동 변화에 따라 청각적 경험을 달리하며 체험한다.

공간의 동선은 진입, 부적, 도깨비불, 글자나무(그림 2), 동굴입구, 동굴 안, 동굴 밖, 태양 시계 공간을 선형적으로 지나게 된다. 틸트 브러시 객체들과의 좌표 구성이 달라 한정된 기한안에 상호작용형 공간 사운드 재생을 위해 채널기반과 제한된 객체기반 기술이 혼용되었다.

사운드 디자인 과정에서는 추상적 시각객체들과의 동질성을 유추할 수 있는 가상악기 및 효과음 음원들을 공간 진행 단계별로 구성, 시점의 공간 이동 단계별로 공간에 부여된 시각적 주제를 표현할 수 있는 의인화된 청각적 효과음으로 표현하려 하였다. HMD 재생에서의 최종출력의 라우드니스는 권고안에 따른 -18LUFS 의 기준에 따랐다.[1,2]

본 연구는 경기콘텐츠진흥원 2019 년 VRAR 어워드지원사업의 제작지원작 "내가 만든 글자", 스튜디오 진자의 지원으로 이루어졌습니다.

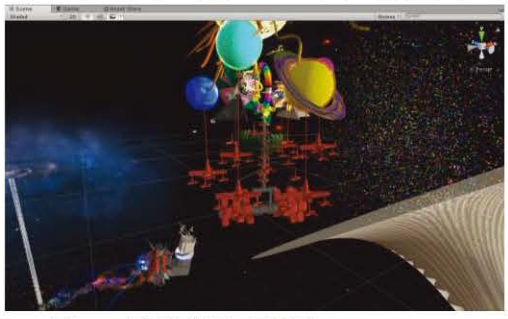


그림 1 전체 이동 공간의 Scene view



그림 2 틸트브러시로 제작된 동적개체군, 글자나무공간

## 참고문헌

1. 장규식, "게임오디오 API 의 VR Sound Localization 조사", 한국음향학회 춘계학술대회, 2018
2. 장규식, "VR 사운드 디자인을 위한 제작 가이드라인 연구, 한국음향학회 추계학술대회, 2019

장규식:vr360sound@gmail.com)

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 음향신호처리

# 노치 필터를 이용한 데이터 증강 기법과 이를 활용한 실내 활동 모니터링 기법 개발

김민한 [1], 이석진 [1]
[1] 경북대학교 전자전기공학부

# A study on the data augmentation method by notch filter and its application to monitoring of domestic activity algorithm

Minhan KIM[1], Seokjin LEE[1]
[1]Kyungpook National University School of Electronic and Electrical Engineering

**중심어:** 음향환경인지, 데이터 증강, 기계학습

## 요약

실내 활동 모니터링은 음향 환경 인지 분야의 일종으로, 실내에서 발생하는 소리를 바탕으로 사건 또는 사람의 행동을 인식하는 것을 목표로 한다. 최근 이 분야에서 인식을 위해서 주로 사용되는 기법은 기계학습이 활용되고 있는데, 기계학습은 학습된 모델의 최적화를 위해서 학습 과정에서 많은 수의 데이터가 필요하다. 하지만 단순히 데이터의 수가 많은 것뿐만 아니라, 실제로 인식할 대상이 가지는 특징을 모델이 학습하기 위해서는 학습에 사용되는 데이터와 인식할 대상이 연관된 데이터가 필요하다. 이런 양질의 데이터를 대량으로 수집하는 것은 상당한 시간과 인력을 필요로 하기 때문에 충분한 데이터 수를 확보하는 것이 항상 가능한 것은 아니다.

본 연구에서는 이런 기계학습의 데이터와 관련해서 가지는 단점을 보완하기 위해서 노치 필터를 이용한 데이터 증강 기법을 사용했다. 기존 데이터 증강 기법은 이미지 처리에서 높은 성능을 가지는 기법을 음향 신호에 적용하는 경우가 많았다. 그 예로 단순히 하나의 음원을 몇 개의 조각으로 나누어 섞어서 이어주는 (Mix & Shuffle) 등의 방법이 사용되기도 했다. 본 연구에서는 음향 신호 처리에서 사용되는 노치필터를 이용한 데이터 증강 기법을 학습 데이터에 적용하여 성능을 향상시키고자 하였다. 특히 노치필터를 이용한 데이터 증강을 통해 얻은 데이터는 학습 모델이 다른 주파수 응답 특성을 가지는 마이크를 통해 녹음된 신호를 판별할 때에 이점을 가질 수 있다.

본 연구의 결과를 검증하기 위해서 DCASE(Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events) Task5[1]의 데이터셋을 사용해서 실험을 진행했다. 특히, 주파수 응답 특성이 다른 마이크를 통해 녹음된 신호를 재현하기 위해서 테스트 데이터셋의 일부를 1kHz 의 cutoff frequency 를 가지는 고역 통과 필터(High pass filter)를 통과시켜 실험을 진행했다. 본 실험에서는 Mel-spectrogram 을 이용하여 특징을 추출하였으며, 320 의 hop-size 를 가지는 1024 샘플 길이의 윈도우를 이용하여 40 개의 mel band 에 대한 값을 추출하였다. 그리고 데이터 증강은 특징 추출 이전의 음원 파일에 적용했고, 사용한 노치 필터는 중심 주파수 500Hz, Q 값 1.0 을 가지는 필터를 사용했다.

이석진 : sjlee6@knu.ac.kr

신경망 구조는 T. Inoue et al. [2]의 CNN(Convolutional Neural Network) 구조와 동일하게 구성하였으며, 그 구조는 표 1 과 같다. 모델 학습 과정에서는 ADAM optimizer 를 사용했고, learning rate 은 0.0001, 그리고 batch size 는 256 으로 설정하였다. 성능 평가 지수로는 F1-score 를 사용하였다.

| Layer | Output size |
|---|---|
| Input | 40 × 501 × 1 |
| Conv(7 × 1, 64) + BN + ReLU | 40 × 501 × 64 |
| Max pooling(4 × 1) + Dropout(0.2) | 10 × 501 × 64 |
| Conv(10 × 1, 128) + BN + ReLU | 1 × 501 × 128 |
| Conv(1 × 7, 256) + BN + ReLU | 1 × 501 × 256 |
| Global max pooling + Dropout(0.5) | 256 |
| Dense | 128 |
| Softmax output | 9 |

**표 1 CNN 구조**

본 연구에서 개발한 노치필터를 이용한 데이터 증강 기법을 기계학습에 적용한 결과, 데이터 증강 이전의 데이터에 비해 그림 1 과 같은 성능 향상을 얻을 수 있었다. 데이터 증강 이전의 학습된 모델 대비 weighted, macro, micro F1-score 가 0.04 오른 것으로 보아 유의미한 성능 향상을 얻었다고 판단된다.

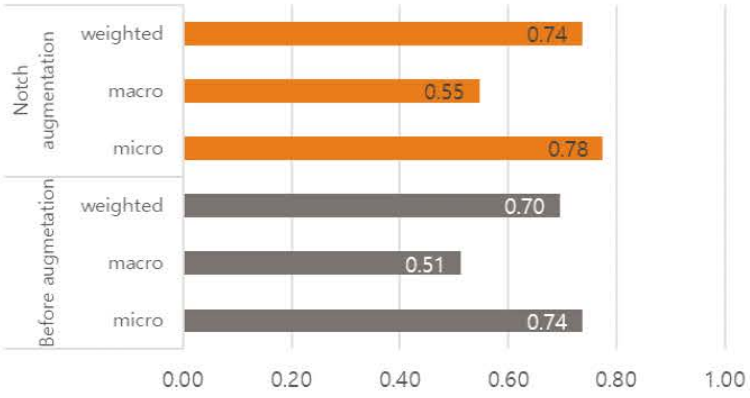



**그림 1 실험 결과 (F1-score)**

본 논문에서는 기계학습 기반의 실내 활동 모니터링 시스템의 성능향상 기법에 대한 연구를 진행하였으며, 특히 시스템이 실제 환경에서 높은 성능을 낼 수 있도록 노치 필터를 이용한 데이터 증강 기법을 고안하였다. 고안된 기법의 성능을 검증하기 위해 기존의 CNN 기반 알고리즘에 제안된 데이터 증강 기법을 적용하였으며, 유의미한 성능 향상이 있음을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

1. http://dcase.community/challenge2018/task-monitoring-domestic-activities-results(accessed March 29, 2019)

2. Tadanobu Inoue, "DOMESTIC ACTIVITIES CLASSIFICATION BASED ON CNN USING SHUFFLING AND MIXING DATA AUGMENTATION" Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events 2018 (2018)

이석진 : sjlee6@knu.ac.kr

# 평균-교사 모델과 학습률 교란을 이용한 약지도 음향 이벤트 검출

이석진 [1], 김민한 [1], 신승현 [1], 정영호 [2]
[1] 경북대학교, [2] 한국전자통신연구원

# WEAKLY-SUPERVISED SOUND EVENT DETECTION USING MEAN-TEACHER MODEL AND LEARNING RATE PERTURBATION

Seokjin Lee[1], Minhan KIM[1], Seung-Hyeon SHIN[1], and Youngho Jeong[2]
[1]Kyungpook National University, [2]Electronics and Telecommunications Research Institute

**중심어:** 음향 이벤트 검출, 약지도 학습, 평균-교사 모델

## 요약

음향 이벤트 검출(sound event detection)은 음향 장면 인식(acoustic scene classification)과 함께 기계 학습을 이용한 음향 신호처리 분야에서 최근 활발히 연구되고 있는 분야이다. 비교적 긴 구간의 음향 신호를 분류하는 음향 장면 인식과 달리, 음향 이벤트 검출은 상대적으로 짧은 음향 이벤트의 종류 및 시작, 종료 시점을 함께 검출하는 것을 목적으로 한다[1]. 여느 기계학습 기반 시스템과 마찬가지로 음향 이벤트 검출 모델을 성공적으로 학습시키기 위해서는 많은 학습 데이터가 필요한데, 음향 장면 인식 문제와 달리 음향 이벤트 검출은 이벤트의 시작/종료 시점에 대한 정보를 함께 필요로 하는 문제가 있다.

이러한 약점을 보완하기 위해서, 최근의 음향 이벤트 검출 문제는 학습 데이터의 일부 혹은 전체 정보가 누락되어 있는 약지도 문제를 포함하고 있다. 음향 이벤트 검출에 대한 주요 챌린지 중 하나인 DCASE (Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events) 에서는 이러한 약지도 음향 이벤트 검출 문제를 매년 다루고 있으며, 해당 챌린지의 학습데이터는 다음과 같은 3 가지 종류의 데이터로 구성되어 있다: 음향 이벤트의 종류, 시작/종료 시점 데이터가 모두 기록되어 있는 "강하게 레이블된 데이터(Strongly-labeled data)", 음향 이벤트의 종류만 기록되어 있고 시간에 대한 데이터는 기록되어 있지 않은 "약하게 레이블된 데이터(Weakly-labeled data)", 그리고 아무런 기록없이 오디오 클립만 존재하는 "레이블되지 않은 데이터(Unlabeled data)" 이다[2].

이러한 약지도 음향 이벤트 검출 문제를 성공적으로 다루고 있는 최근의 기법들은 그림 1 과 같은 평균-교사 모델을 차용하고 있다. 평균-교사 모델은 학생 모듈과 교사 모듈로 구성되어 있는데, 학습 중에는 학생 모듈의 모델 계수만 학습이 되고 교사 모듈의 모델 계수는 고정되어 있다. 교사 모듈의 계수는 각 에포크 학습이 종료되었을 때, 다음과 같이 학생 모듈 계수의 가중

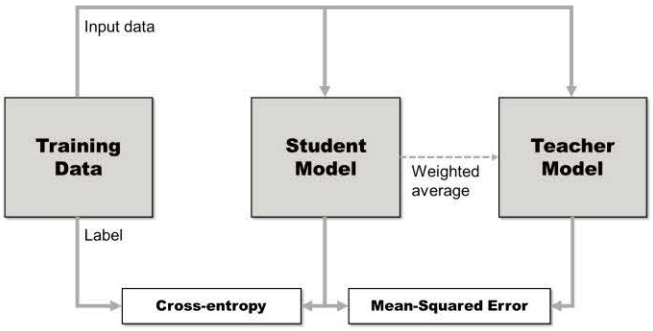



그림 1. 평균-교사 모델 블록도

이석진: sjlee6@knu.ac.kr

평균으로 갱신된다[3].

$$\theta_{teacher} \leftarrow \alpha\theta_{teacher} + (1-\alpha)\theta_{student} \quad (1)$$

본 논문에서는, 평균-교사 모델의 교사 모듈이 학생 모듈의 앙상블 평균을 취하는 것과 유사한 역할을 하며, 특히 학습 초기에는 학생 모듈의 성능이 매우 좋지 않음에도 불구하고 학습이 진행되면 모델 전체의 성능이 크게 향상되는 것에 주목하였다. 이는 교사 모델에 의해 평균값을 취하게 되면서 학생 모듈 학습의 임의성(randomness)이 줄어드는 것이라고 볼 수 있다. 본 논문에서는 이러한 평균-교사 모델의 장점을 극대화하기 위하여, 학습 성능이 어느 정도 수렴한 이후 학습률(learning rate)에 랜덤한 값을 곱함으로써 학생 모듈의 다양성을 증가시키고자 하였다. 이는 학생 모듈의 다양성을 증가시키는 반면 학습 결과의 불안정성도 야기할 수 있겠지만, 이러한 불안정성은 교사 모델의 평균값 연산 과정에 의해 줄어드는 것을 기대할 수 있다.

본 연구에서 도출된 아이디어를 검증하기 위하여 DCASE2020 task4 의 시스템을 이용한 실험을 진행하였다. 학습 데이터와 신경망 구조, 알고리즘 파라미터, 그리고 평가 지표는 DCASE2020 task4 와 동일하게 진행되었으며[2], 전체 학습은 200 에포크동안 진행되었다. 75 에포크 이후에는 학습률을 교란시키기 위하여 평균이 1 이고 분산이 0.1 인 가우시안 잡음을 학습률에 곱하였다. 실험 결과는 표 1 에 도시된 바와 같다.

표 1. 성능 평가 결과

| | Micro-averaged Event-based F1 | Macro-averaged Event-based F1 | Micro-averaged Segment-based F1 | Macro-averaged Segment-based F1 |
|---|---|---|---|---|
| Baseline | 34.41 | 32.31 | 72.06 | 66.55 |
| Proposed | 38.45 | 35.37 | 74.01 | 68.04 |

성능 평가 결과, 기존의 고정된 학습률 대비 2~4% 의 성능 향상이 있음을 확인할 수 있으며, segment-based F1-score 에 비해 event-based F1-score 의 성능 향상이 더 두드러진 것을 확인할 수 있다.

## 감사의 글

이 논문은 2020 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-00050, 신체기능의 이상이나 저하를 극복하기 위한 휴먼 청각 및 근력 증강 원천 기술 개발)

## 참고문헌

1. S. Lee and H.-S. Park, "Feature extraction based on the non-negative matrix factorization of convolutional neural networks for monitoring domestic activity with acoustic signals," *IEEE Access*, **8**, pp. 122384-122395 (2020)

2. N. Turpault, R. Serizel, A. P. Shah, and J. Salamon, "Sound event detection in domestic environments with weakly labeled data and soundscape synthesis," *in Workshop on DCASE 2019* (2019).

3. S. Lee, M. Kim, and Y. Jeong, "A study on the waveform-based end-to-end deep convolutional neural network for weakly supervised sound event detection," *J. Acoust. Soc. Kor.*, 39, pp. 24-31 (2020).

이석진: sjlee6@knu.ac.kr

# 능동 소나 시스템을 위한 학습된 주파수 기저를 이용한 비음수 행렬 분해 기반의 잔향 제거 기법

이석진 [1], 임준석 [2], 김성일 [3]
[1] 경북대학교, [2] 세종대학교, [3] 국방과학연구소

# Reverberation Suppression Method for Active Sonar System based on the Non-negative Matrix Factorization with Learned Frequency Basis

Seokjin Lee[1], Jun-Seok LIM[2], and Seongil KIM[3]
[1]Kyungpook National University, [2]Sejong University, [3]Agency for Defense Development

**중심어:** 능동 소나, 잔향 제거, 비음수 행렬 분해

## 요약

음악 및 음성 신호 등 다양한 음향신호를 분석하는 방법으로, 최근 널리 사용되고 있는 방법 중 하나로 비음수 행렬 분해(Nonnegative Matrix Factorization) 기법이 있다. 비음수 행렬 분해 기법은 비음수 행렬 하나를 두 비음수 행렬의 곱으로 분해하는 기법으로, 주성분 분석(principal component analysis) 등의 기존 기법과 달리 덧셈으로만 조합될 수 있는 성분들로 분석할 수 있다는 특이점이 있다. 이러한 비음수 행렬 분해의 특성은 신호 내에 내재된 특성을 기존과 다른 관점으로 분해할 수 있게 해주며, 예를 들어 인물의 얼굴 사진을 분석하는 경우 눈썹, 눈, 입술과 같이 의미있는 부분들로 분석할 수 있는 장점이 있다[1]. 이러한 비음수 행렬 분해 기법은 2000 년대 초반 음악 신호 분석 기법에 사용되기 시작하여, 음성 신호의 잡음 제거 등 음향 신호 분석 및 음원 분리 문제 등에 폭넓게 사용되고 있다. 특히, 최근에는 지속파(continuous wave) 능동 소나의 잔향 신호를 제거하여 표적 신호 탐지를 용이하게 하는 알고리즘이 고안된 바 있으며[2], 선형 주파수 변조(linear frequency modulation) 신호에 대해서 확장된 시스템이 연구된 바 있다[3].

기존에 고안된 비음수 행렬 분해 기법 기반의 알고리즘이 시뮬레이션 환경에서 성공적으로 적용된 바 있으며, 실제 측정된 잔향환경에서도 효과적으로 적용될 수 있는 가능성을 보여주었다. 그럼에도 불구하고, 일부 측정된 잔향 환경에서는 안정적으로 동작하지 않거나, 파라미터에 민감한 성능을 보여주기도 하였다. 기 고안된 알고리즘은 그림 1 과 같이 입력신호의 스펙트로그램(V)을 주파수기저(W)와 시간기저(H)로 분해하며, 각 기저는 표적 반향 그룹($W_P$, $H_P$)와 잔향 그룹($W_R$, $H_R$)으로 나누어 추정된다. 이 과정에서 표적 반향 그룹의 주파수기저($W_P$)는 송신 핑 신호의 도플러 이동 레플리카로 초기화 및 고정되며, 잔향 그룹의 주파수기저($W_R$)는 랜덤값으로 초기화된다. 본 연구에서는 기 고안된 알고리즘의 성능을 개선하기 위하여, 잔향 그룹의 주파수기저를 측정된 잔향 신호의 주파수기저로 초기화하는 방법을 시도하였다.

이석진: sjlee6@knu.ac.kr

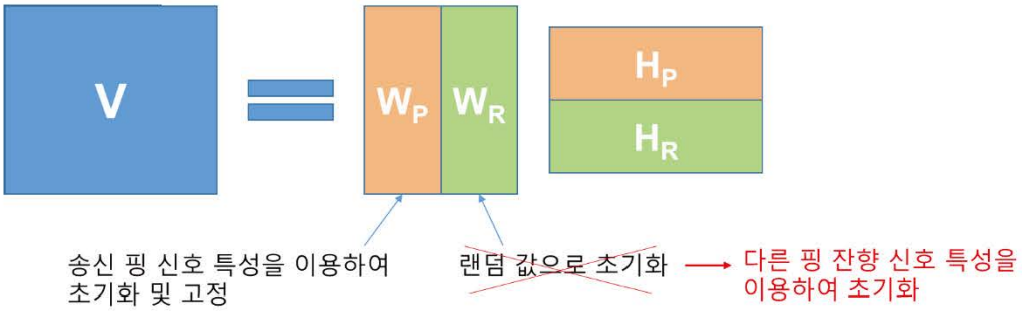



그림 1. 비음수 행렬 분해 기반의 잔향 제거 기법 및 개선된 알고리즘

제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여, 해역에서 실제 측정된 잔향데이터를 이용하여 모의실험을 진행하였다. 알고리즘의 실제 적용 가능성을 살펴보기 위하여, 잔향 신호의 주파수 기저를 초기화할 때에는 실험 초기의 특정 핑 하나에 대한 잔향 신호를 이용하였고, 해당 핑 신호는 성능 평가에는 사용하지 않았다. 그림 2 는 처리 전/후의 스펙트로그램을 도시하고 있으며, 적색 화살표로 표기된 부분이 모의된 표적 반향음, 나머지 부분은 실측 잔향 신호음을 나타낸다. 그림 2(a)와 같은 모의된 입력 신호를 기존에 고안된 방법으로 처리하였을 때 그림 2(b)와 같은 결과를 얻을 수 있는데, 잔향 신호가 효과적으로 제거되지 않고 여전히 강하게 남아있음을 확인할 수 있다. 동일한 입력 신호를 제안하는 알고리즘으로 처리한 경우 그림 2(c)와 같은 결과를 얻을 수 있고, 기존 알고리즘의 결과와 비교하였을 때 잔향이 효과적으로 잘 제거되는 것을 확인할 수 있다.

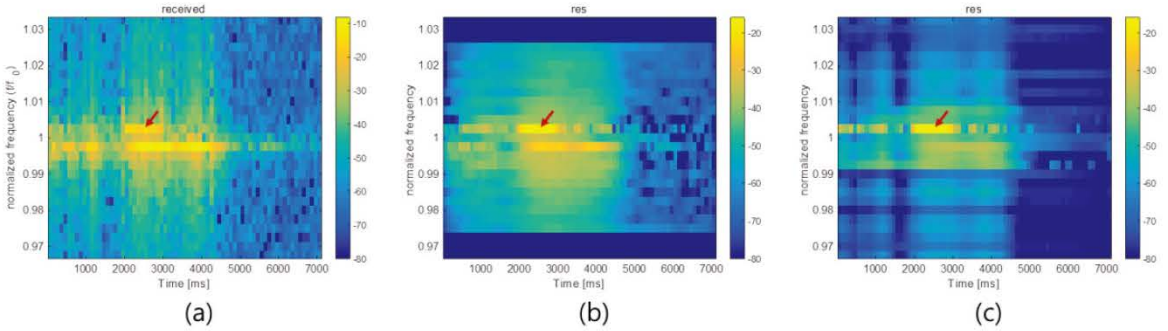



그림 2. 실측 잔향을 이용한 모의실험 결과.
(a) 입력 신호, (b) 기존 알고리즘 및 (c) 제안된 알고리즘의 처리 후 결과

## 참고문헌

1. D. D. Lee and H. S. Seung, "Learning the parts of objects by non-negative matrix factorization," *Nature*, 401, pp. 788-791 (1999).

2. S. Lee and J. Lim, "Reverberation suppression using non-negative matrix factorization to detect low-Doppler target with continuous wave active sonar," *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, **2019**, pp. 1-11 (2019).

3. G. Kim, K. Lee, and S. Lee, "Linear frequency modulated reverberation suppression using non-negative matrix factorization methods, dechirping transformation and modulo operation," *IEEE Access*, 8, pp. 110720-110737 (2020).

이석진: sjlee6@knu.ac.kr

# 딥러닝 기반 차량환경 내 음향 반향 제거 알고리즘의 성능향상

신승민[1], 변준[1] , 박영철[1], 박성욱[2]
[1] 연세대학교 [2]강릉원주대학교

# PERFORMANCE IMPROVEMENT OF DEEP LEARNING-BASED ACOUSTIC ECHO CANCELLATION ALGORITHM IN VEHICLE ENVIRONMENT

Seungmin SHIN[1], Joon BYUN[1], Youngcheol PARK[1] , and Sungwook Park[2]
[1]Yonsei University, [2] Gangneung-Wondju National University

**중심어:** 음향 반향 제거기, 동시 통화, 심층 신경망, BLSTM, TDR

## 요약

본 논문은 양방향 LSTM (Long Short Time Memory)을 사용한 차량 내 동시 통화 환경에서 음향 반향 제거 알고리즘을 제안한다. 기존의 적응형 필터와 다르게 심층신경망을 사용하였기 때문에 음향 반향 알고리즘을 음성 분리의 문제로 도식화하였다. 차량 내 동시 통화 환경에서의 음향 반향 제거 알고리즘의 목적은 차량 내의 스피커 신호와 근거리 화자의 신호를 분리하여 후자만 원단으로 전송하는 것이다. 따라서 제안 알고리즘은 심층신경망을 사용하여 마이크 신호에 섞여 있는 반향 신호, 배경 잡음, 근거리 화자 신호를 분리하여 근거리 화자의 신호만을 원단으로 전송하는 방식으로 동작한다. 차량 내부의 동시 통화 환경을 구축하기 위해 Swept Sine 신호를 사용하여 실제 차량 내부의 음향 경로를 측정했으며, 학습 타겟 신호로 근단 신호의 IRM (ideal Ratio Mask)를 사용하였다. 음향 반향 제거기의 성능 향상을 위해 TDR (Time-Domain Reconstruction)[2] 등을 이용하여 손실함수를 설계했으며, 성능을 비교 분석하였다.

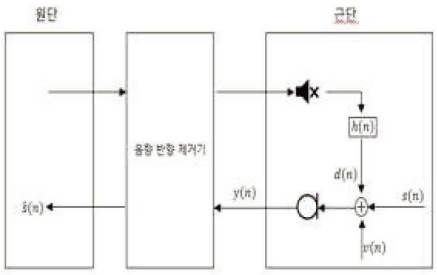



그림 1. Diagram of acoustic echo scenario

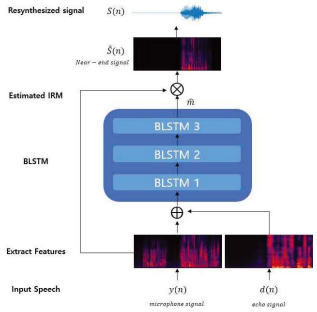



Figure 2. Proposed diagram of the DNN network

## 참고문헌

1. Hao Zhang, "Deep Learning for Acoustic Echo Cancellation in Noisy and Double-Talk Scenarios" Interspeech 2-6 September 2018, Hyderabad (2018)
2. Yuxuan Wang, “A DEEP NEURAL NETWORK FOR TIME-DOMAIN SIGNAL RECONSTRUCTION” IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (2015)

박영철: young00@yonsei.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 음악지각인지 특별세션-I

# 뇌전도 하이퍼스캐닝 기법을 통한 음악 세션 중 장애 아동의 뇌 동기화

강규림 [1,2], Silvia Olrandi[2], Nicole Lorenzen[3], Tom Chau[2,4], Michael H Thaut[1]

[1] Music and Health Science Research Collaboratory (MaHRC), University of Toronto, [2] Holland Bloorview Kids Rehabilitation Hospital, [3] Biomedical Engineering, University of Guelph, [4] Institute of Biomaterials and Biomedical Engineering (IBBME), University of Toronto

# INTERBRAIN SYNCHRONIZATION FOR CHILDREN WITH DISABILITIES DURING MUSIC SESSIONS USING ELECTROENCEPHALOGRAPHY (EEG) METHODS

Kyurim KANG[1], Silvia ORLANDI[2] , Nicole LORENZEN[3], Tom CHAU[2,4] , and Michael H THAUT[1]

[1] Music and Health Science Research Collaboratory (MaHRC), Faculty of Music, University of Toronto,

[2] Bloorview Research Institute, Holland Bloorview Kids Rehabilitation Hospital,

[3] Institute of Biomaterials and Biomedical Engineering (IBBME), University of Toronto,

[4] Biomedical Engineering, University of Guelph

**중심어:** 하이퍼스캐닝, 음악, EEG, 뇌 동기화, 상호작용

## 요약

음악은 우리 사회에서 밀접한 관련이 있으며, 뇌영상촬영 기술이 발전함으로써 음악이 우리 뇌에 끼치는 영향에 대한 많은 신경학적 연구가 이루어져 왔다. [1] 최근에는 두 사람 이상의 뇌전도를 동시에 측정하는 하이퍼스캐닝 기법 [2]을 적용하여 기타 듀엣 [3], [4] 색소폰 콰르텟 [5], [6] 과 같은 음악 활동 중 연주가들 간의 뇌 동기화를 밝혀냈다. 이 연구들을 통해, 서로 감정교류를 많이 할 수록 뇌 동기화도 증가한다는 흥미로운 사실들이 발견됐다. 이러한 발견을 바탕으로 본 연구는, 하이퍼스캐닝 기법을 통해 측정되는 상호간의 뇌 동기화를 음악 치료 환경에 도입하여, 장애아동과 치료사간의 상호작용을 보다 객관적으로 평가할 수 있는 새로운 도구로서의 사용을 제안하기 위하여 진행되었다. 참여자 (아동 n = 7, 부모 n = 7, 음악치료사 n =3) 사이의 뇌동기화 (아동-부모, 아동-치료사)를 알아보기 위해 모든 참여자의 뇌전도는 음악치료사가 기타 연주와 함께 노래를 부르는 동안 동시에 측정되었다. 이 때, 부모는 분리된 공간에서 모니터를 통해 아동을 관찰하였다 (그림 1). 이 실험을 통해, 음악 세션동안 뇌간 동기화가 나타나는 것을 발견했으며, 더욱 흥미로운 점은 직접적인 상호작용이 아닌 관찰만으로도 아동-부모간의 뇌간 동기화가 보다 직접적인 상호작용을 한 아동-치료사보다 유의미한

뇌간 동기화를 보였다. 이 결과는, 아동과 치료사는 치료적 관계인 반면에, 세션 이외의 공간에서도 계속하여 상호 작용을 해왔던 아동-부모간의 내재적인 공감 능력의 영향이라 볼 수 있다. 특히, 아동-부모간의 뇌 동기화는 감정과 공감 부분을 담당하는 전두엽 영역 [7], [8] (그림 2)과 리듬 청각 자극에 대한 선택적 집중 및 동기부여와 관련된 낮은 주파수 (예: delta [0-4 Hz], theta [5-8 Hz]) [9] 에서 활발히 나타난 반면, 아동-치료사간의 뇌 동기화는 낮은 주파수 외에 다양한 인지 과정과 관련된 alpha [8-15 Hz] [10] 에서도 나타났다. 아동-부모와 아동-치료사간의 다른 뇌 패턴은 아동에 대한 부모와 치료사의 다른 감정적 접근 방식 및 아동이 부모와 치료사에게 느끼는 감정적 교류의 방식 차이로서 해석될 수 있다. 본 연구는 하이퍼스캐닝 기법을 통한 장애아동과 부모 및 치료사간의 뇌 동기화를 발견한 첫 연구로서, 장애 아동들의 상호작용 중 감정 처리를 더욱 잘 이해할 수 있는 객관적인 평가 도구로서 도움을 줄 수 있을 것이다.

# 참고문헌


[1] I. Peretz and R. J. Zatorre, "Brain organization for music processing," *Annu Rev Psychol*, vol. 56, pp. 89–114, 2005.

[2] P. Montague, "Hyperscanning: Simultaneous fMRI during Linked Social Interactions," *NeuroImage*, vol. 16, no. 4, pp. 1159–1164, Aug. 2002, doi: 10.1006/nimg.2002.1150.

[3] U. Lindenberger, S.-C. Li, W. Gruber, and V. Müller, "Brains swinging in concert: cortical phase synchronization while playing guitar," *BMC Neurosci.*, vol. 10, no. 1, p. 22, 2009.

[4] V. Müller and U. Lindenberger, "Dynamic Orchestration of Brains and Instruments During Free Guitar Improvisation," *Front. Integr. Neurosci.*, vol. 13, 2019, doi: 10.3389/fnint.2019.00050.

[5] C. Babiloni *et al.*, "Simultaneous recording of electroencephalographic data in musicians playing in ensemble," *Cortex*, vol. 47, no. 9, pp. 1082–1090, Oct. 2011, doi: 10.1016/j.cortex.2011.05.006.

[6] C. Babiloni *et al.*, "Brains 'in concert': Frontal oscillatory alpha rhythms and empathy in professional musicians," *NeuroImage*, vol. 60, no. 1, pp. 105–116, Mar. 2012, doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.12.008.

[7] B. M. Bettcher *et al.*, "Neuroanatomical substrates of executive functions: Beyond prefrontal structures," *Neuropsychologia*, vol. 85, pp. 100–109, May 2016, doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2016.03.001.

[8] J. Decety and K. J. Yoder, "Empathy and motivation for justice: Cognitive empathy and concern, but not emotional empathy, predict sensitivity to injustice for others," *Soc. Neurosci.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, Jan. 2016, doi: 10.1080/17470919.2015.1029593.

[9] P. Lakatos, G. Karmos, A. D. Mehta, I. Ulbert, and C. E. Schroeder, "Entrainment of Neuronal Oscillations as a Mechanism of Attentional Selection," *Science*, vol. 320, no. 5872, pp. 110–113, Apr. 2008, doi: 10.1126/science.1154735.

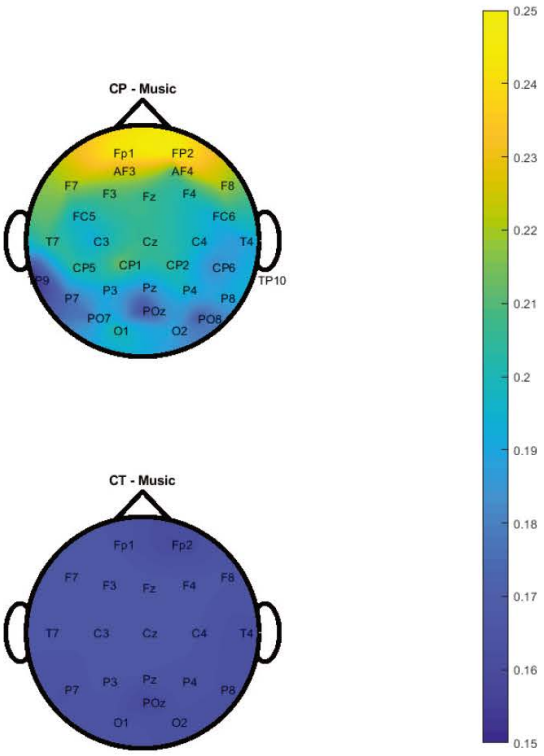
[10] I. V. Talalay, A. V. Kurgansky, and R. I. Machinskaya, "Alpha-band functional connectivity during cued versus implicit modality-specific anticipatory attention: EEG-source coherence analysis," *Psychophysiology*, vol. 55, no. 12, p. e13269, 2018.


강규림: Kyurim.kang@mail.utoronto.ca

[그림 1] 실험 세팅



[그림 2] 아동-부모 (CP) 와 아동-치료사 (CT)간의 뇌 동기화




강규림: Kyurim.kang@mail.utoronto.ca

# 클래식 피아노 음악에서 감정 표현 변화에 따른 연주 특징 분석

김유진 [1], 박정미 [2], 정다샘 [3], 권태균 [1], 남주한 [1]
[1] 한국과학기술원(KAIST), [2] 서울대학교, [3] SK Telecom

# ANALYSIS OF PERFORMANCE FEATURES ACCORDING TO EMOTIONAL EXPRESSIONS IN CLASSICAL PIANO MUSIC

Yoojin KIM[1], Jeongmi PARK[2], Dasaem JEONG[3], Taegyun KWON[1], and Juhan NAM[2]
[1] KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology), [2] Seoul National University, [3] SK Telecom

**중심어:** Performance Expression, Emotion, Music Cognition, Machine Learning

## 요약

The characteristics of classical music can be compared with that of modern music in three aspects: composer, performer, and listener. Unlike modern music, composers of classical music compose their piece note by note, with detailed description of how to perform them. Therefore, performers have very little opportunity for solo improvisation, which is compared to modern music like jazz. At the same time, the number of classical music pieces is limited, allowing listeners to compare different versions of various performers. Therefore, performers interpret the piece in their own way and express their emotional colors in the performance, so that they can incorporate their own characteristics into the performance and distinguish themselves from other performers. Thus, one of the important issues in analyzing classical music performance is to reveal characteristics the performer uses to express emotion. Earlier studies have shown some instrumental characteristic for emotion expression [1] and musical characteristics which affect listener's emotion perception in classical pieces [2, 3, 4, 5]. However, previous studies have limitations in experimenting with simple monotonic melodies composed by themselves [1, 3, 5], and dependence on human listening test. In this research, we focused on computational approach for analysis of performer-intended performance characteristics to express emotion in classical piano music piece.

For our research, we collected and used classical piano performance data with emotion labels by 22 performers. Data is composed of classical piano pieces of 22 composers, from Baroque to 20th modern music. Emotion labels are divided into total five categories: original emotion which composer intended, and four emotions that each of them represents each quadrant of the arousal-valence plane. The basic performance features were extracted using music scores and MIDI performance data: beat tempo, note velocity, note duration, pedal elongated note duration, and onset deviation. After extracting basic features, comparative features like feature value over original, self-difference features are extracted. With each feature, statistical values were used to compress each basic and comparative feature vectors into one value.

Extracted features were used to analyze the relationship among features and their importance

김유진: luciaicul@kaist.ac.kr

in expression of emotion in performance. Statistical methods and machine learning methods such as ANOVA test, extra tree classifier were used in this process. We defined final significant feature set for emotion classification: mostly features about velocity, beat tempo, and note duration. Using machine learning classifier such as support vector machine and multi-layer perceptron, the emotional class of each data was classified and verified with a high accuracy of about 87%. Also, similar methodologies were used to distinguish features that were significant in expressing specific emotions. Finally, we tried performance section classification according to piece's composed era so that characteristics according to the times can be detected.

This research classified the performance by analyzing the factors of 'emotion' that are highlighted at a particular performance characteristic. The results found data characteristics that show specific emotions throughout performance and established consistency in the way performers express emotion in classical music performance.

# 참고문헌

1. Akkermans, Jessica, et al. "Decoding Emotions in Expressive Music Performance: A Multi-lab Replication and Extension Study," *Cognition and Emotion*, 33.6, pp.1099-1118 (2019)

2. Cancino-Chacón, Carlos, et al. "On the Characterization of Expressive Performance in Classical Music: First Results of the Con Expressione Game," *arXiv preprint arXiv:2008.02194* (2020)

3. Gabrielsson, Alf, and Patrik N. Juslin. "Emotional Expression in Music Performance: Between the Performer's Intention and the Listener's Experience," *Psychology of music* 24.1, pp.68-91 (1996)

4. Eerola, Tuomas, Anders Friberg, and Roberto Bresin, "Emotional Expression in Music: Contribution, Linearity, and Additivity of Primary Musical Cues," *Frontiers in psychology* 4 (2013)

5. Quinto, Lena, William Forde Thompson, and Alan Taylor. "The Contributions of Compositional Structure and Performance Expression to the Communication of Emotion in Music," *Psychology of music* 42.4, pp.503-524 (2014)

김유진: luciaicul@kaist.ac.kr

# 양손 차이를 중심으로 한 피아노 연주 숙련도에 따른 정량적 분석

김사라 [1], 박정미 [2], 유승연 [1], 남주한 [3], 이교구 [1]
[1] 음악오디오 연구실, 서울대학교 융합과학기술대학원,
[2] 서울대학교 융합과학부
[3] 음악오디오컴퓨팅 연구실, KAIST

**Quantitative Analysis of Piano Performance Proficiency Focusing on Difference Between Hands**

Sarah Kim[1], Jeong Mi Park[2], Seungyeon Rhyu[1], Juhan Nam[3], Kyogu Lee[1*]
[1] Music and Audio Research Group, Seoul National University
[2] Department of Transdisciplinary Studies, Seoul National University
[3] Music and Audio Computing Lab, Graduate School of Culture Technology, KAIST

**중심어:** 정량적 연주 평가, 피아노 연주의 양손 차이, 피아노 연주 분석

## 요약

피아노 연주에 대한 정량적 평가는 음악교육, 컴퓨터 음악 연주 렌더링 등 여러 분야에서 큰 주목을 받고 있다. 이전의 음악 연주 평가 연구들에서는 오디오 또는 MIDI (Music Instrument Digital Interface) 형식에서 추출된 다양한 특성 (feature)을 활용했지만, 대부분의 이러한 선행 연구들은 수준 높은 피아노 연주에서 중요한 측면이 될 수 있는 양손의 차이 [1]에 대해 초점을 맞추지 않았다. 따라서 본 연구에서는 피아노 연주 숙련도에 따른 정량적 평가를 위한 주요 요소로서 연주 특성의 양손 간 차이에 초점을 두어 연주 숙련도 그룹에 따라 피아노 연주를 정량 분석하였다. 먼저, 본 연구를 위하여 연주 숙련도 그룹을 전문가 (experts) 및 초보자 (novice) 로 나누고 이들에 대한 피아노 연주 데이터를 새로 수집하였다. 각 그룹에 대해 34 명씩 총 68 명의 연주자를 모집하였고, 연주 참가자들은 모두 같은 환경의 녹음실에서 *"Yamaha Disklavier"* 를 사용하여 2 개의 피아노 연습곡 (Hanon No. 1 및 C-Major scale)을 연주하였다. 피아노 연주는 모두 MIDI 형식으로 녹음되었으며, 녹음된 MIDI 데이터로부터 선행 연구에서 사용되어 온 기존 연주 특성들이 기본적인 양손 특성 (Basic features)과 오른손 및 왼손 차이 특성 (Difference Between Hands (DBH) features)으로 나누어 추출되었다. 본 연구에서는 이 두 가지 특성에 대하여 두 숙련도 그룹의 연주적 차이를 통계적 방법 및 분류 모델을 통해 정량 분석하였다. 통계 분석 방법으로는 Two-way Mixed ANOVA 및 independent t-test 를 사용하였고, 분류 실험 방법으로는 주성분 분석 (Principal Component Analysis (PCA)) 및 Support Vector Machine (SVM) 을 사용하였다.

본 연구에서 추출된 특성들은 다음과 같다: Basic features 와 DBH features 모두 시간적 요소 *(Temporal attributes)*와 다이나믹 요소 (*Dynamics attributes*)에 대해 각각 추출되었다. 먼저 Basic features 로는 시간적 특성 3 가지 (rDuration, rIOI, Articulation) 및 다이나믹 특성 1 가지 (Velocity)가 양손 (BH), 오른손 (RH), 왼손 (LH)에 대해 각각 추출되었다. DBH features 로는 시간적 특성 3 가지 (DBH Duration, DBH Attack Deviation, DBH Articulation) 및 다이나믹 특성 1 가지 (DBH Velocity)가 추출되었으며, 양손 간 차이는

김사라: ksarah1984@snu.ac.kr

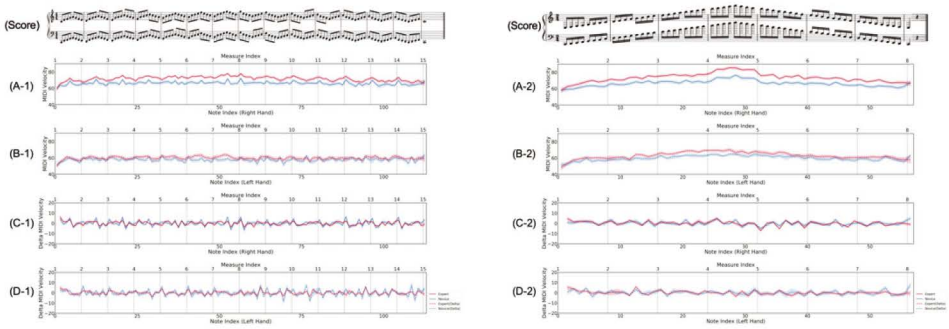



Figure 1. Hanon 및 C-Major scale 에 대해 악보와 정렬된 연주 Velocity. 왼쪽의 윗부분 악보는 Hanon, 오른쪽의 윗부분 악보는 C-Major scale 이다. (A)는 오른손의 Velocity, (B)은 왼손의 Velocity, (C)는 오른손의 Velocity Delta, (D)는 왼손의 Velocity Delta 이다.

오른손 특성에서 왼손 특성을 빼는 단순한 방식으로 계산되었다. 본 연구에서 추출된 모든 특성은 총 4 개의 통계값 (평균값 (mean), 표준편차 (standard deviation(STD)), 평균 델타 (mean delta), 표준편차 델타 (STD delta))으로 각각 나뉘어 추출되었다. 위 특성들을 추출하기 위하여 수집된 연주와 해당 악보를 일대일로 정렬하였으며, 이를 위해 최신 알고리즘 [2]을 사용하였다.

위에서 추출된 특성들에 대한 통계 분석 및 분류 실험을 시행한 결과, 두 숙련도 그룹이 양손 간 차이에 대해 유의미한 차이를 나타내었으며 DBH features 가 정량적인 피아노 연주 평가에 중요한 영향을 끼칠 수 있음을 보였다. 먼저 통계적으로, 시간적 및 다이나믹 요소 모두에서 전문가 그룹에서 초보자 그룹보다 양손 간 차이가 유의미하게 더 큰 것으로 나타났다. 시간적 요소에서는 전문가 그룹에서 왼손보다 오른손이 키를 더 길고 빠르게 누르는 경향이 있었지만, 초보자 그룹은 이러한 경향을 보이지 않았다. 다이나믹 요소에서는 전문가 그룹과 초보자 그룹 모두에서 오른손이 왼손보다 피아노 키를 크게 누르는 경향이 있었지만, 그 양손 간 차이가 전문가 그룹에서 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 경향은 특히 다이나믹 특성의 델타 특성 (Delta features)에서 분명하게 나타났다 [Figure 1]. 전문가들의 경우, 오른손의 다이나믹은 멜로디 인토네이션 (intonation)에 따라 매끄럽게 변경되고 왼손은 오른손보다 움직임이 적었다. 그에 비해 초보자들의 경우, 오른손 다이나믹이 멜로디와 상관없이 불규칙적하게 변화하였으며 왼손 또한 전문가 그룹과 크게 다른 결과를 보였다. 본 연구의 분류 실험에서 또한 DBH features 가 분류 성능에 긍정적인 영향을 끼침을 보였다. 다양한 조건에서 분류 실험을 진행한 결과, 결과적으로 Basic features 와 DBH features 를 함께 사용하여 분류를 시행한 경우가 Basic features 만 사용한 경우보다 더 높은 분류 성능 (*F1 score*)을 보였다 [표 1]. 위 실험을 통하여, 연주 숙련도 분류에 있어서 피아노 연주에서 각개 음 기반의 양손 특성 (Basic features)만을 사용하는 것 보다 양손 간 직접적인 특성 차이 (DBH features)를 함께 사용하는 것이 연주 숙련도 분류에 더 효과적임을 입증하였다.

결론적으로, 본 연구에서의 통계적 분석 및 분류 결과를 통하여 양손 간 직접적인 특성 차이가 정량적인 연주 평가에서 중요한 요소가 될 수 있음이 시사되었다. 또한, 양손 간 특성 차이는 추후 피아노 연주 정량 평가 방법론으로서 인공지능 기반의 자동 평가 시스템을 구축하고 발전시키는 데 있어서도 주요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

표 1. 타입 별 기능들의 linear SVM F-score 결과

| Condition | 95% Explained Variance | | | 99% Explained Variance | | | Best Classification Score | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Features Set | Basic+DBH | Basic | DBH | Basic+DBH | Basic | DBH | Basic+DBH | Basic | DBH |
| # of PCA Components | 17 | 13 | 10 | 26 | 20 | 13 | 20 | 9 | 13 |
| Mean *F1* | **0.8687** | 0.8334 | 0.8502 | **0.9137** | 0.8813 | 0.8748 | **0.9361** | 0.9014 | 0.8748 |
| Std *F1* | 0.0794 | 0.1044 | 0.0666 | 0.0679 | 0.0911 | 0.1192 | 0.0626 | 0.0746 | 0.1192 |

김사라: ksarah1984@snu.ac.kr

# 참고문헌

1. Gát, József. The technique of piano playing. 3rd edn. Collet's Holding. Budapest (1965)
2. Jeong, D., et.al. "Score and performance features for rendering expressive music performances." *Proc. of Music Encoding Conf.* (2019)

김사라: ksarah1984@snu.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 포스터 발표

# 청감실험을 위한 바닥충격음 음원 아카이브 구축 필요성

박상희[1], 신혜경[1], 김경우[1]
[1] 한국건설기술연구원

# A NEED FOR AN ARCHIVE OF FLOOR IMPACT NOISE FOR LABORATORY EXPERIMENTS ON NOISE PERCEPTION

Sang Hee PARK[1], Hye Kyung SHIN[1], Kyoung Woo KIM[1]
[1] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**중심어:** 바닥충격음, 주관적반응 평가, 청감실험, 음원 아카이브

## 요약

연구의 재현성(replicability) 확보는 연구의 신뢰성(reliability) 확보를 위해 중요한 변인이다. 과학적 연구의 궁극적 목표는 "연구를 통해 얻은 결과에 대한 일반적인 적용가능성(general applicability)을 확보하는 것[1]"인 만큼, 하나의 연구를 통해 도출된 결과가 다른 연구에 의해 일관성이 있다는 것이 밝혀지면, 해당 발견에 대한 주장이 보다 신뢰를 얻을 가능성이 높아지게 된다[2]. 본 연구는 공동주택 바닥충격음에 대한 주관적 반응을 조사함에 있어서 재현성을 확보할 수 있는, 더 나아가 보다 높은 신뢰도를 확보할 수 있는 연구방법을 고찰한 것이다. 일반적으로 바닥충격음 청감실험 수행 시 사용되는 소음원은 경량(태핑머신) 및 중량충격음(뱅머신, 고무공), 그리고 실충격음(발소리 등)이 있다. 연구자는 실험에 사용하고자 하는 소음원을 실제 공동주택 현장에서 녹음해온 뒤, 이를 실험실에서 라우드스피커, 헤드폰, 우퍼 등을 사용해 피험자에게 제시한다. 이때, 소음도 증가에 따른 반응 변화를 관찰할 수 있는 용량-반응 관계(dose–response relationship)를 분석하고자 한다면, 동일한 음원에 대해 소음도를 일정하게 증폭시키는 후처리 작업이 수행되어야 한다. 본 연구는, 연구 간 재현성 확보를 위해 동일한 음원을 연구자 간 공유할 수 있도록 바닥충격음 음원 아카이브 구축을 제안한다. 이를 통해 관련 연구자들이 녹음 및 음원 후처리에 소요되는 시간과 비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 해당 소음에 대한 개개인의 반응에 유의미한 영향을 미치는 음향적·비음향적 요인에 대해 보다 폭넓은 분석을 가능하게 할 것이라 사료된다.

본 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비지원(20RERP-B082204-07)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. J. Leppink, P. Pérez-Fuster, We need more replication research – A case for test-retest reliability, *Perspect. Med. Educ.*, **6**, pp.158–164 (2017)
2. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Reproducibility and replicability in science*, National Academies Press (2019)

박상희: sangheepark@kict.re.kr

# 청주시 소음지도제작을 위한 도로변 소음도 조사

채세원[1] 한찬훈[1]
[1]충북대학교

# SURVEY ON THE ROADSIDE NOISES FOR NOISE MAPPING IN CHEONGJU CITY

Se-Won CHAE[1], Chan-Hoon HAAN[1]
[1]Chungbuk National University

**중심어:** 도로교통소음, 소음지도, 평균소음도, 차량속도

## 요 약

환경부고시 제2019-190호에 따르면 소음지도의 작성방법은 단순히 용도지역별로 주간(06:00~22:00)과 야간 (22:00~06:00) 으로 구분하고 있다. 그러나 실제로 청주시 가경터미널 인근의 소음지도를 제작·분석한 결과, 같은 주간이라도 자동차의 주행속도, 통행량에 의해 시간대별로 차이가 있음을 발견하였다. 실제로 가경터미널 주변의 도로소음을 non-peak time, peak time, night time으로 분류하였을 때, 자동차의 주행속도가 빠른 non peak time의 소음도가 예상보다 큰 것으로 판단되었다. 소음지도를 작성한 결과, 소음은 용도지역이나 시간대의 영향보다는 대로변의 차지비율이나, 차량속도, 차종에 더 많은 영향을 받는 것으로 관측되었다. (그림 1,2,3)

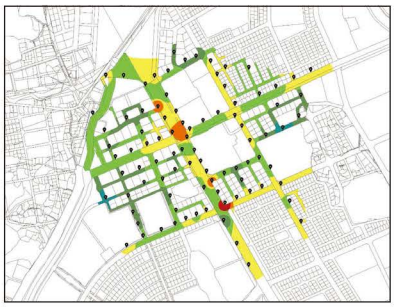
그림1. 오후3시~4시의 소음지도



그림2. 오후 7시~8시의 소음지도



그림3. 오전 1시~3시의 소음지도



이후 도로단으로부터 1m 지점을 기본 수음점으로 하여 차량 흐름이 원활한 연속류(Uninterrupted flow)를 대상으로 속도-소음 간의 관계를 분석한 결과, 시간대나 용도지역과는 상관없이 차량속도와 차종이 도로교통소음을 유발하는 가장 영향력이 큰 인자임을 알 수 있었다(그림1, 그림2). 차량의 속도에 절대적으로 소음은 비례하였고, 오토바이, 대형차, 소형차 순으로 소음의 크기가 큰 것을 관측할 수 있었다. 따라서 현재 단순히 용도지역별로 낮(daytime)과 밤(nighttime)으로 구분된 국내의 측정기준은 향후 더 섬세한 법적 개선이 필요한 것으로 보인다.

채세원: tpdnjs529@naver.com

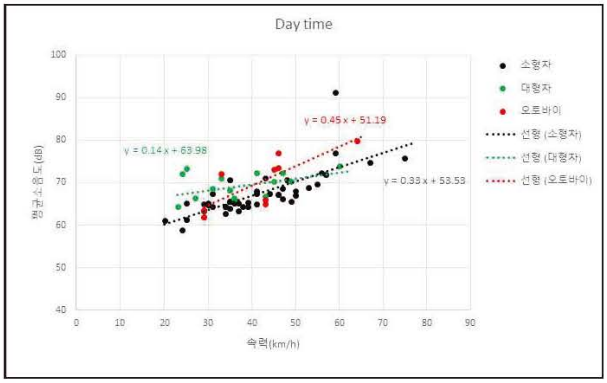



그림4. Day time의 속력-소음 상관관계그래프

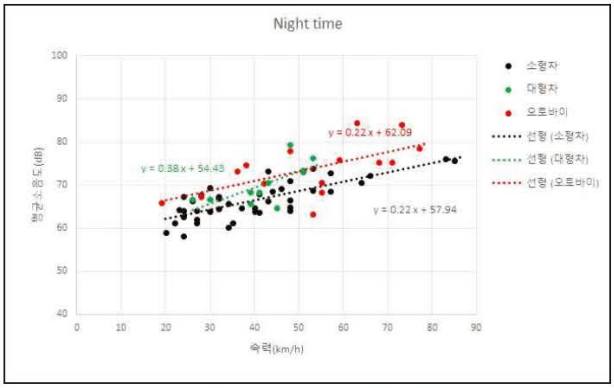



그림5. night time의 속력-소음 상관관계그래프

## 참고문헌

1. 김선형, 박상원, 백용규 차량 교통량 및 통행속도에 따른 도로소음 영향 비교 연구, 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 2019
2. 국가소음정보시스템
3. 일본 환경성 고시 64호 [도로교통방침]

채세원: tpdnjs529@naver.com

# 설문조사에 의한 노인교실의 주관적 음성명료도 조사

최재성[1], 박찬재[1], 한찬훈[1]
[1]충북대학교

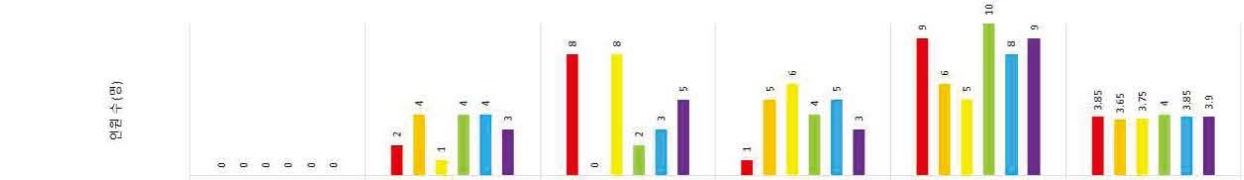
# QUESTIONNAIRE SURVEY ON THE SUBJECTIVE SOUND DEFINITION OF CLASSROOMS FOR ELDERLY PEOPLE

Je-Seong CHOI[1], Chan-Jae PARK[1], Chan-Hoon HAAN[1]
[1]Chungbuk National University

**중심어 :** 노인교육시설, 청력비완전자, 설문조사, 주관적 음향평가, 청취환경 만족도

## 요약

본 연구는 충청북도 청주에 위치한 A교육원 강의실에서 교육을 진행하고 있는 65세부터 82세까지 평균 71세의 노인 20명을 대상으로 응답자의 기초정보와 수강중인 교과목의 정보, 수업전달의 형태 그리고 만족도 조사로 설문조사가 진행되었다. 5점 척도를 기준으로 음량, 명료도, 잔향, 이해도, 소음 5가지 구체적인 인자와 교실 내 전체적인 청취환경에 대한 만족도를 조사하여 주관적인 음성명료도를 확인하였다.




| | 1번 : 불만족 | 2번 : 조금 불만족 | 3번 : 보통 | 4번 : 조금 만족 | 5번 : 만족 | 평균 : 5점 中 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 음량 : 교사 목소리의 크기 | 0 | 2 | 8 | 1 | 9 | 3.85 |
| 명료도 : 교사 목소리의 깨끗함 | 0 | 4 | 0 | 5 | 6 | 3.65 |
| 잔향 : 강의실의 울림 | 0 | 1 | 8 | 6 | 5 | 3.75 |
| 이해도 : 수업내용의 이해 | 0 | 4 | 2 | 4 | 10 | 4 |
| 소음 : 강의실 외부 소음 | 0 | 4 | 3 | 5 | 8 | 3.85 |
| 전체적인 청취환경 만족도 | 0 | 3 | 5 | 3 | 9 | 3.9 |

Figure 1. 교실 내 주관적 음향 평가 설문조사 응답 내용

교사의 목소리가 크게 들리는지(음량), 교사의 목소리가 깨끗하게 들리는지(명료도), 강의실의 울림이 있는지(잔향), 수업내용의 이해는 잘 되는지(이해도), 강의실 외부의 소음은 작은지(소음), 의 질문을 통해 응답자들의 주관적인 느낌과 전체 청취환경만족도는 Figure 1. 표의 칸(열)은 설문내용, 줄(행)은 응답결과(명)로 정리된다. 가장 우측은 5점 척도에 대한 평균점수를 의미한다. 동시에 진행된 물리적 음향실험의 객관적인 실험값들과 비교했을 때 같은 추이의 긍정적인 결과가 확인된다. 또한 Regression을 통하여 음량-명료도, 명료도-이해도, 음량-이해도, 명료도-잔향 인자들은 상관관계가 있으며 나열된 순서에 따라 관계 기여도가 크다.

## 참고문헌

1. Sung-Eun LEE "Factors Affecting Cognitive Function in Older Persons With Hearing Impairment" pp.263-272(2016)
2. Chan-Jae PARK "Establishment of the Acoustical Performance Criteria for Middle and High School Classrooms in Korea" (2014)

최재성 : leetjd1213@naver.com

# 초등학교 저학년 교실의 교구배치에 따른 음향성능 비교 분석

황인혁[1], 박찬재[1], 한찬훈[1]
[1]충북대학교

# Comparative Analysis on the Acoustic Characteristics of the Lower Grade Elementary School Classroom Depending on the Desk Layout

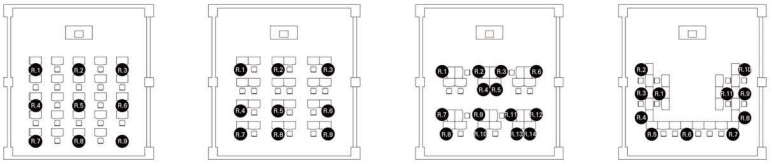
In-Hyuck HWANG[1], Chan-Jae PARK[1], and Chan-Hoon HAAN[1]
[1]Chungbuk National University

**중심어:** 초등학교 저학년 교실, 청력비완전자, 교구배치, 실내음향성능

## 요약

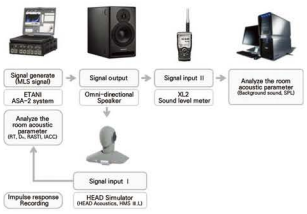
학교의 교실은 교사의 음성, 시청각자료에 의한 정보의 전달을 하는 곳으로, 음향성능의 확보를 위한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 그러나 청력비완전자에 속하는 초등학교 저학년을 위한 교실에 대한 실내음향성능의 연구와 다양한 교구배치를 통해 수업을 진행하는 저학년의 특성에 맞는 연구는 부족한 것이 현실이다. 본 연구에서는 초등학교 저학년 교실의 교구배치에 따른 음향성능을 비교함에 목적이 있다.

본 연구의 음향성능 분석을 위해 국내 2개의 초등학교에서 3개의 교실을 선정하여 실험을 진행하였다. 초등학교 교사들에게 자주 사용하고 있는 교구배치 [그림.1]에 대해 조사를 하였고 각 교구배치별 음향인자(배경소음, 음압레벨, 신호대잡음비, 음성명료도, 잔향시간, 음성전달지수, 양이간상호상관도)를 [그림.2]의 장비[1]를 통해 측정하였다.



1인 일자형 배치　2인 일자형 배치　4인 모둠형 배치　세미나형 배치

**[그림.1] 선정된 교구배치**




**[그림.2]** 교구배치에 따른 물리적 음향성능 측정 장비 개념도

배경소음은 국외를 기준으로 35dB(A)이하, 잔향시간은 미국음향학회[2]를 기준 0.6초, 신호대잡음비는 15dB(A)이상, 음성명료도는 55%이상, 음성전달지수는 0.6이상[3]이어야 좋은 음황경이라는 것을 알 수 있다. 학교별로 각 인자들을 살펴본다면 도로변에 위치하고 학기 중에 측정하게 되면 배경소음이 높다는 것을 알 수 있다. 그러나 교실 내 천정에 시공되어 있는 타공판, 교실 양 벽면에 책장의 배치로 인해 다른 음향인자들의 성능이 배경소음<표1>이 낮게 나온 학교보다 좋게 나왔다. 그리고 교구배치별로 살펴봤을 때 음압레벨, 신호대잡음비, 음성명료도, 잔향시간,

황인혁 : seoul_hih@naver.com

음성전달지수는 큰 차이를 보이고 있지 않는다. 그러나 양이간상호상도는 음원을 향해 바라보거나 거리가 가까우면 좋다는 것을 1인 일자형 배치를 통해 알 수 있고 이와 달리 측면으로 음원을 바라보고 있는 수음점이 많은 세미나형 배치가 비교적 낮게 나온 것을 알 수 있다.

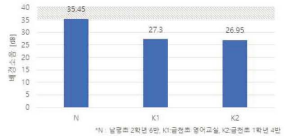



**표.1** 각 학교의 평균 배경소음

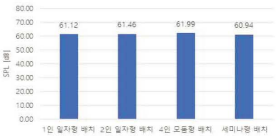



**표.2** 교구배치에 따른 평균 음압레벨(SPL)




**표.3** 교구배치에 따른 평균 신호대잡음비(SNR)

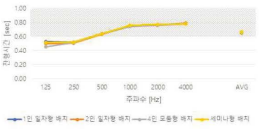


**표.4** 교구배치에 따른 평균 잔향시간(T30)

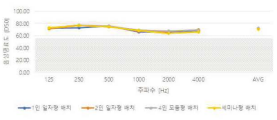


**표.5** 교구배치에 따른 평균 음성명료도(D50)

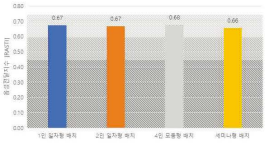


**표.6** 교구배치에 따른 평균 음성전달지수

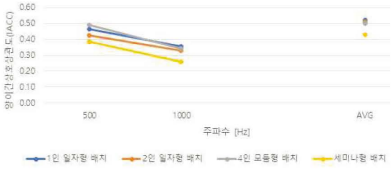



**표.7** 교구배치에 따른 양이간상호상관도

각 교구배치별로 비교하였을 때 음압레벨, 신호대잡음비, 음성명료도, 잔향시간, 음성전달지수는 큰 차이가 없다. 그리고 양이간상호상관도를 통해서 다른 교구 배치에 비해 모든 수음점에서 1인 일자형 배치가 가장 양호하다는 것을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. KS F 2864, “실내 공간의 잔향시간과 음향변수 측정 방법”, 2002

2. Acoustical Society of America, “Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements and Guidelines for Schools.”, ANSI.ASA 12.60 (2010)

3. 박찬재, 류다정, 경주영, 한찬훈, “국내 학교 교실의 실내음향성능 실태조사” 한국음향학회지 제 33권 제 5호 pp. 316-325 (2014)

황인혁 : seoul_hih@naver.com

# 청감시험에 의한 노인교실의 음향성능 실태조사

김보경[1], 박찬재[1] , 한찬훈[1]
[1]충북대학교

# INVESTIGATION OF THE ACOUSTIC PERFORMANCE OF CLASSROOMS FOR ELDERLY PEOPLE USING SPEECH INTELLIGIBILITY TEST

Bo-Gyeong KIM[1], Chan-Jae PARK[1], Chan-Hoon HAAN[1]
[1]Chungbuk National University

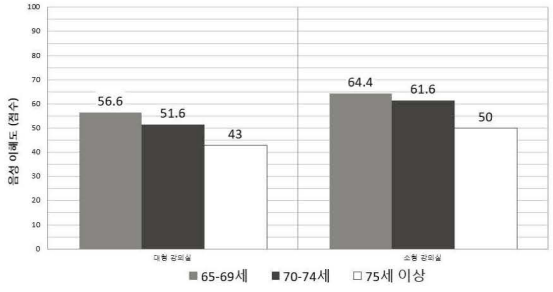
**중심어:** 고령자, 청력비완전자, 노인 교육시설, 주관적 음향성능, SI test

## 요약

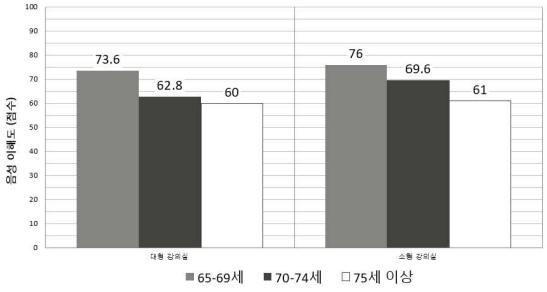
고령 인구의 증가로 노인 교육의 기회는 증가되었으나, 현재 노인 교육시설은 고령자의 청력 노화를 고려한 건축공간이 아니다. 이에 본 연구에서는 주관적 음향성능 평가 지표 중 하나인 SI test를 통해 고령자(청력 비완전자)의 현 교육공간에 대한 청취환경 실태를 조사하고자 한다.

연구 대상 시설은 청주시에 위치한 평생교육원으로, 해당 교육공간을 이용 중인 만 65세 이상 노인 19명과 건강한 청력을 지닌 20대 청년(이하 건청인) 19명을 대상으로 실험을 진행하였다(외인성 난청자 및 노인성 난청자 중 보청기 미착용자 제외). 실험은 평생교육원의 주 강의실인 대형 강의실 1곳과 소형 강의실 2곳에서 이루어졌으며, 음원은 수업 시 교사의 음성 출력 위치인 칠판 중앙부의 바닥에서 1.5m 높이에 70dB로 출력되도록 설치했다.

실험 결과, 외부 소음이 없다고 가정하였을 때 현 교육공간 내 청취 환경은 전 좌석 유사하며, 노인의 음성이해도에 미치는 영향은 '좌석의 위치'보다 '연령'이 큰 것으로 나타났다. 또한 노인교실에서 고령층을 타깃으로 할수록 작은 규모의 공간 설계가 음성 이해도에 긍정적인 결과를 보였다[그림 1,2]. 따라서 고령자들이 보다 나은 환경에서 교육 받기 위해서는 이를 고려한 적정 공간 규모의 건축적 가이드라인이 필요할 것이라 사료된다.




▲ 그림 1. 공간 규모에 따른 음성 이해도 (음절)




▲ 그림 2. 공간 규모에 따른 음성 이해도 (단어)

## 참고문헌

1. 보건복지부, "제3차 저출산·고령사회기본계획(2016-2020)"
2. 박찬재, 조성민, 한찬훈, "교실에서 신호대잡음비 변이가 한국어 음성명료도에 미치는 영향", 음향학회지 제38권 제6호 pp. 654-658 (2019)

김보경 : qhrud_97@naver.com

# 노인교실의 물리적 음향성능 실태조사

문주형[1] , 박찬재[1], 한찬훈[1]
[1]충북대학교

# INVESTIGATION OF THE PHYSICAL ACOUSTIC PERFORMANCE OF CLASSROOMS FOR ELDERLY PEOPLE

Ju-Hyeong MUN[1], Chan-Jae PARK[1], Chan-Hoon HAAN[1]
[1]Chungbuk National University

**중심어:** 노인청력, 청력비완전자, 노인교실, 교육환경, 물리적 음향성능

## 요약

2014년 실시한 노인실태조사에 의하면 노인 전체의 25%가 청력에 불편함을 느끼지만[1] 노인교실에 적용되는 음향설계기준치는 제시되어 있지 않으며 연구 또한 부족하다. 따라서 청주시내 A평생교육원을 실험대상으로 선정, 교실 체적별로 201호, 301호의 물리적 음향성능을 측정하였다.

배경소음(Background noise level), 음압레벨(dB), 신호대잡음비(SNR), 잔향시간(T30), 음성명료도($D_{50}$), 음성전달지수(RASTI) 이렇게 6가지 물리적 음향성능 인자로 측정하였으며 음원 및 수음점의 위치는 그림1에 나타내었다.

측정결과 301호의 잔향시간을 제외하면 모두 기준[2]을 만족하였으며 결과값은 표1에 나타내었다. 또한 R2 수음점의 평균값이 다른 수음점의 평균값보다 음압레벨이 6.7%, 음성전달지수가 13.15%, 신호대잡음비가 12.75% 더 높은 값을 보였으며 301호보다 체적이 2배 작은 201호가 301호에 비해 음압레벨이 5.8%, 음성전달지수가 4.2%, 신호대잡음비가 4.3% 더 높았다.

A평생교육원의 경우 청력비완전자인 노인에게 적합한 교육환경을 제공한 것을 확인할 수 있으며 같은 시공 및 마감특성 가진 교실이라도 음원과의 거리가 가깝고 일직선에 위치할수록, 교실의 체적이 작을수록 교육환경이 좋다는 것을 의미한다.

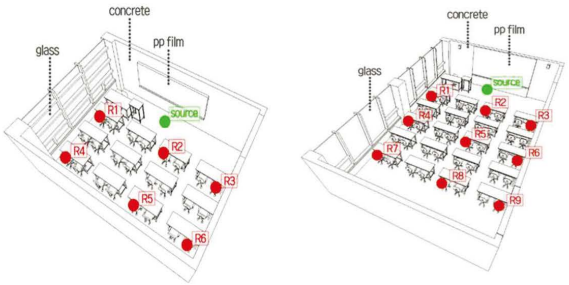



그림2. 201호(좌), 301호(우)의 음원 및 수음점의 위치

표1. 물리적음향성능 측정 값

| 측정인자 | 기준 | 201호 | 301호 |
|---|---|---|---|
| **배경소음** | 미국기준:35dB이하 | 30.34dB | 29.28dB |
| **음압레벨** | 일반대화소리: 60dB | 61.74dB | 57.53dB |
| **잔향시간** | 미국기준: 0.6초이하 | 0.52초 | 0.57초 |
| **음성전달지수** | 0.6 이상 준수 | 0.75 | 0.7 |
| **신호대잡음비** | 15dB이상 준수 | 31.27dB | 28.42dB |
| **음성명료도** | 55%이상 준수 | 0.75% | 0.74% |

## 참고문헌

1. 이성은. 청력저하 노인의 인지기능에 영향을 미치는 요인, pp1 (2016)
2. 박찬재. 한국 중고등학교 교실의 실내음향성능 기준 설정, pp12 (2014)

문주형 : wn5140@naver.com

# 주거단지 방음벽의 차음성능 비교조사

박현철[1], 한찬훈[1]
[1] 충북대학교

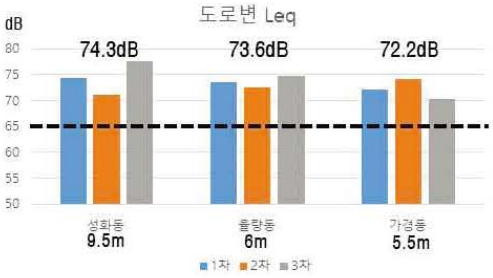
# COMPARATIVE ANALYSIS ON THE SOUND ISOLATION PERFORMANCES OF NOISE BARRIER IN HOUSING COMPLEX

Hyun-Cheol PARK[1], Chan-Hoon HAAN[1]
Chungbuk National University[1]

**중심어:** 소음, 방음벽, 방음성능, 삽입손실

## 요약

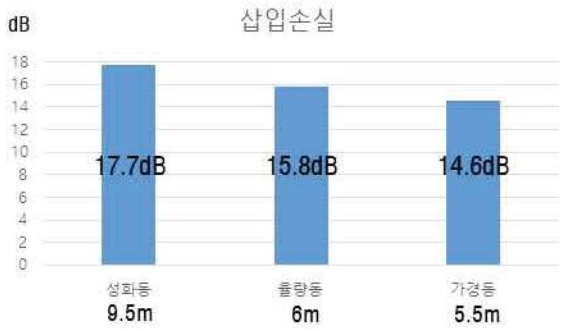
근래에 들어 인간생활 편의를 위해 만들어낸 자동차와 같은 생활의 부산물로 우리 주변에서 일상생활을 저해하는 요인으로 소음공해는 심각한 사회 문제로 대두되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 설치한 방음벽의 성능을 비교하여 어떠한 원인에 의하여 성능의 차이가 발생하는지 알아보기 위하여 조사하였다.

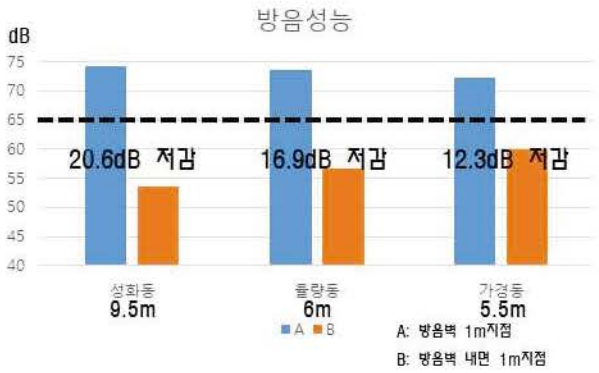



대상지 선정에 있어 서로 다른 재질로 만들어진 방음벽을 선정한다. 본 연구에서 선정된 방음벽은 성화동 소재의 A아파트의 투명 반사형 방음벽, 율량동 소재의 B아파트의 알루미늄과 투명판의 혼합형 방음벽, 가경동 소재의 C아파트의 식생과 적색벽돌로 만들어진 방음벽을 선정하였다.

실험방법으로는 선정된 대상지의 방음벽이 환경정책기본법 시행령에 의거 방음벽의 성능이 적합한지 확인하고, 삽입손실을 측정한다. 삽입손실의 측정방법으로는 '음향-방음벽 삽입손실의 현장결정(KS I ISO 10847)'의 기준에 의거하여 측정한다. 바람, 온도, 구름층등 기준에 알맞은 조건에서 측정을 실시하며, 삽입손실의 측정방법으로 방음벽이 설치되기 이전에 측정하는 직접법과 방음벽이 설치된 후에 측정하는 간접법이 있는데, 이번 연구에서는 이미 설치되어 있는 방음벽의 삽입손실을 측정하기에 간접법을 채택하여 측정하였다.

박현철 : p960401@naver.com




대상지 방음벽의 성능비교는 삽입손실과 방음벽에 의하여 소음이 얼마나 저감되었는지에 의하여 비교를 하였다. 성화동 소재의 A아파트의 삽입손실은 17.7dB, 율량동 소재의 B아파트의 삽입손실은 15.8dB, 가경동 소재의 C아파트의 삽입손실은 14.6dB의 값이 측정되었다.

성화동 A아파트의 삽입손실 값이 가장 크게 측정되었으며 방음성능 또한 성화동 소재의 A아파트가 20.6dB의 저감량을 보여주어 방음벽의 성능이 가장 우수한 것으로 측정 되었다.

이 연구를 통하여 방음벽은 재질에 의한 성능차이가 분명히 존재함을 알 수 있는 실험결과였으며, C아파트의 벽돌을 이용한 재래식 방음벽보다 기성재를 사용한 A아파트의 방음벽이 가장 우수함을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1.환경부, "환경정책기본법 시행령", 법제처, (2020)
2.한찬훈 외 2명, "방음벽 상부구조물의 형상에 따른 삽입손실 비교", 충북대학교 건설기술연구소, p.3 (2020)
3.환경부 국립환경과학원, "음향-방음벽 삽입손실의 현장결정(KS I ISO 10847)", 산업표준심의회, pp.11-12 (2020개정)
4.송길, "현장측정을 통한 방음벽 성능평가 연구", 연세대학교 석사 학위논문, p.8 (2004)

박현철 : p960401@naver.com

# 초등학교 저학년 교실의 물리적 음향성능 조사

신은주[1], 박찬재[1], 한찬훈[1]
[1]충북대학교

# INVESTIGATION OF THE PHYSICAL ACOUSTIC PERFORMANCE OF LOWER GRADE CLASSROOM IN ELEMENTARY SCHOOL

Eun-Ju SHIN[1], Chan-Jae PARK[1], Chan-Hoon HAAN[1]
[1]Chungbuk National University

**중심어:** 청력비완전자, 어린이 청력, 교실, 실내음향성능, 음환경 실태조사

## 요약

현재 청력 비완전자인 초등학교 저학년 학생들을 위한 교실에 대한 실내음향성능 실태 조사가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 초등학교 저학년 교실의 음향환경 실태를 조사하기 위하여 국내 초등학교 2곳과 기존에 연구가 진행된 국내 초등학교 3곳을 준공 연도별로 선정하여 실험을 진행하였다. 각 학교 교실의 음환경 분석에 사용한 음향지표는 빈교실의 배경소음, 신호대잡음비, 잔향시간, 음성명료도, 음성전달지수, 음압레벨 등이 있다. 연구결과 배경소음의 경우 도로변에 위치하며 학기 중에 실험했던 학교에서 국외 기준인 35dB(A)를 초과하는 것으로 나타났다. 특히 일부 학교에서 신호대잡음비는 외부 창가 열에서 기준을 초과하는 것으로 나타나 배경소음에 의해 학생들이 정확한 학습정보를 전달받기 어려울 수 있음을 알 수 있었다. 잔향시간의 경우 일부 교실에서 국내 기준인 0.8초를 초과하는 것으로 나타났으며 모든 학교의 교실에서 음성명료도 및 음성전달지수는 높게 측정되어 음성전달에 용이한 공간으로 평가되었다. 각 학교별로 비교하였을 시 준공 연도에 따라 모든 측정값에서 명확한 차이가 나타났으며 최근에 준공된 학교의 교실이 실내 마감 재료 및 흡음 성능이 더 뛰어나 신설 학교의 교실이 음성전달이 주목적인 초등학교 저학년 교실에 더욱 적합함을 알 수 있었다. 하단의 그림1, 2는 각 학교별로 비교한 실내음향인자 중 잔향시간과 음성전달지수를 비교한 그래프이다.

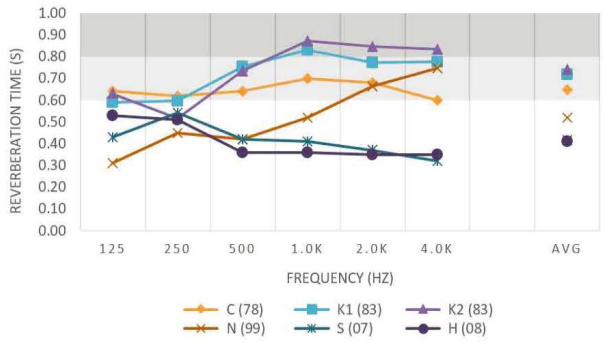



그림1. 학교별 잔향시간 측정값 비교

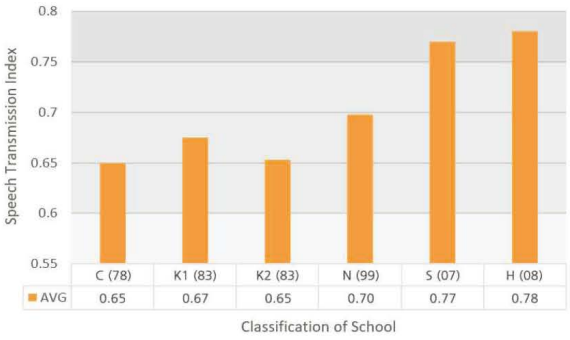



그림2. 학교별 STI 측정값 비교

신은주:x_xwh@naver.com

## 참고문헌

1. 박찬재, 류다정, 경주영, 한찬훈, "국내 학교 교실의 실내음향성능 실태조사", 한국음향학회지 33권 5호 p.316-325 (2014)
2. 한찬훈, 문규천, "초등학교 교실의 음환경 평가에 관한 실험적 연구" (2014)
3. 박찬재, "한국 중고등학교 교실의 실내음향성능 기준 설정", 충북대학교 대학원 건축공학과 박사학위논문 (2014)
4. 류다정, "국내 교실의 음환경 기준에 따른 가이드라인 설정 방안", 충북대학교 대학원 건축공학과 석사학위논문 (2015)

신은주:x_xwh@naver.com

# 청감시험에 의한 초등학교 저학년 교실의 음향성능 조사

이승호[1], 박찬재[1] , 한찬훈[1]
[1] 충북대학교

# INVESTIGATION OF THE ACOUSTIC PERFORMANCE OF LOWER GRADES CLASSROOMS IN ELEMENTARY SCHOOL USING SPEECH INTELLIGIBILITY TESTS

Seung-Ho LEE[1], Chan-Jae PARK[1], and Chan-Heon HAAN[1]
[1]Chungbuk National University

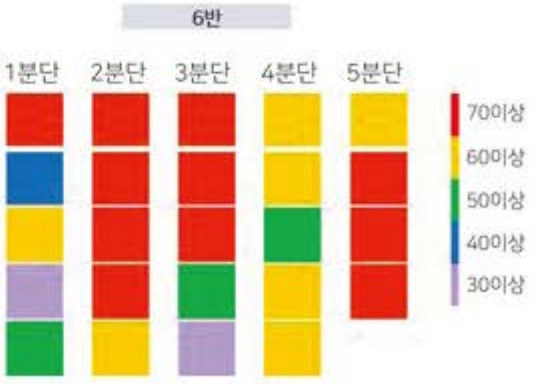
**핵심어:** 음성명료도 평가, 초등학교 저학년, 청력비완전자, 단음절 낱말, 주관적 음향성능

## 요약

미국과 영국은 체적 또는 규모별 및 용도별 교실음향설계기준을 갖췄다. 하지만 이는 영어에 대한 기준이며, 한국어에 대한 기준은 중·고등학교 교실의 기준뿐이다. 앞으로 초등학교 교육환경을 개선하기 위해서는 한국어에 대한 초등학교 교실음향설계기준이 요구될 것이다. 초등학생 중에서도 교실의 음향적 환경에 가장 큰 영향을 받는 학년은 청력비완전자에 해당하는 저학년 학생이다. 초등학교의 교실음향설계기준을 만들기 이전에 현재 우리나라 초등학교 교실의 음향성능실태를 파악할 필요가 있다. 이를 위해 초등학교 저학년용 단음절 낱말로 구성된 청감시험(음성명료도 평가)을 진행하였다.

실험 장소는 청주시의 N초등학교이며, 청감시험은 냉난방시설을 끄고 창문을 닫은 상태의 교실에서 진행했다. 초등학교 저학년용 단음절 낱말 음원을 스피커로 출력하여 실험을 진행하였다. 단음절 낱말목록은 '한국어에 적합한 명료도 시험기준의 설정 및 그 평가에 관한 연구(2) '를 참고하여 1차 목록을 만든 뒤, 현직 초등학교 교사의 자문을 구하여 초등학교 저학년을 위한 단음절 낱말목록을 완성하였다. 그리고 '한국의 공동이용을 위한 음성언어자원의 구축 및 보급현황'에서 얻은 음원을 편집하여 청감시험을 위한 음원을 완성하였다.

그림 1. 자리에 따른 점수분포(6반)




실험결과는 다음과 같다. 남학생의 평균점수는 59.3점, 여학생의 평균점수는 65.8점으로 여학생의 평균점수가 더 높았으며, 이는 초등학생의 언어능력 발달에 관한 연구결과를 바탕으로 하는 성별에 따른 언어능력 발달 속도 차이로 인한 결과로 판단된다. 그리고 자리에 따른 점수 차이를 보였다. 그림 1을 보면, 교탁과 가까울수록 점수가 높았으며, 같은 거리여도 창가 쪽 자리가 복도 쪽 자리보다 점수대가 대체로 낮은 경향을 보였다. 이는 해당 교실의 자리에 따른 음향성능의 차이로 인한 결과로 판단된다. 가청주파수에 해당하는 500Hz와 1kHz를 기준으로 평균 음성명료도(D50)값을 측정하였을 때 1분단과 5분단의 맨 앞자리는 각각

이승호: lsh1216_@naver.com

0.896, 0.851로 측정되어서 오히려 1분단 맨 앞자리에서 더 높은 점수를 보여준 근거가 되었다. 하지만 복도 쪽 자리가 창가 쪽 자리보다 점수가 높으며 가장 큰 점수 차이를 보여준 1분단과 5분단의 네 번째 자리에서의 음성명료도 값은 각각 0.84, 0.867로 측정되었다. 이외에도 학교가 대로변에 위치해있기 때문에 창가 쪽 자리는 외부소음으로 인한 점수 저하가 나타났다고 판단된다.

## 참고문헌

1. Park, C., *Establishment of the Acoustical Performance Criteria for Middle and High School Classrooms in Korea*, Chungbuk National University architectural engineering doctoral dissertation, pp.100-103 (2014)
2. Yoon, C., Kim, S., Oh, Y. . *A study on the Standardization of Articulation Testing Method and Its evalution suitable for Korean Language(2)*, Architectural Institude of Korea, 5-1, 21, 95 (1989)
3. Lee, Y., Kim, B., Kim, Y., Choi, D., Park, J., *The Construction and Distribution of Speech Language Resources for the Common Use of Korea*, Korean Language Information Science, 10, 1, pp.81-85 (2008)
4. Lee, J., Hyeon, J., Kim, M., Ryu, D., *A Study on the Development of Language Proficiency in Elementary School Students*, Korean Educational Development Intsitute, pp 21, 35, 54, 94, 100, 111-114, 117 (2001)

이승호: lsh1216_@naver.com

# 설문조사를 통한 저학년 교실의 주관적 음성명료도 조사

이재석[1], 박찬재[1], 한찬훈[1]

[1] 충북대학교

# Questionnaire Survey on the Subjective Sound Definition in Lower Grade Elementary School Classroom

Jae-Seok LEE[1], Chan-Jae PARK[1], Chan-Hoon HAAN[1]

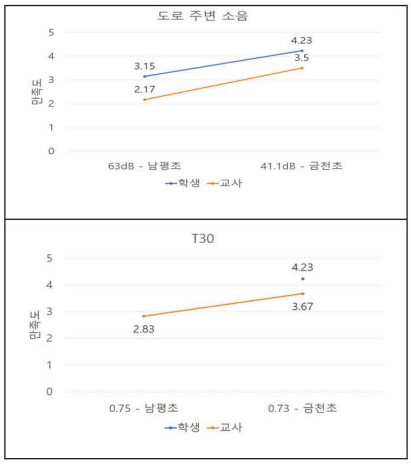
[1]Chungbuk National University

**중심어:** 청력비완전자, 저학년, 초등학교, 교실, 설문조사, 주관적 음향성능

## 요약

초등학교 교실의 경우 교육을 받는 사람과 음성 전달자의 역할을 하는 교육자가 추구하는 편의와 의사가 최대한 반영이 되어야 하는 공간이라고 말할 수 있다. 또한, 확실한 교육 내용과 음성 전달자가 원하는 수준의 정보를 전달하기 위해서는 일정 수준 이상의 음향성능을 발휘할 수 있는 공간을 창출 해내야 한다. 하지만 여기에는 모순이 발생하는데 사용자가 만족할만한 성능을 가진 공간을 제공한다면서 실제 사용자들의 만족도는 제대로 조사한 사례는 많지 않았다. 따라서 본 연구에서는 현재 국내 교실을 사용하는 학생과 교사를 대상으로 설문조사를 진행하고 결과를 종합하여 음향성능의 실태를 조사하는 것을 목적으로 한다.

실험 대상은 청력 비완전자에 속하는 7~8세의 학생과 교사를 대상으로 하며 설문 내용은 대상에 따라 다르게 구성한다. 학생의 경우 성인에 비하여 낮은 집중력과 이해력을 가지고 있다는 점을 고려하여 필수적인 항목과 이해가 쉬운 내용으로 간단하게 구성한다. 반면, 교사를 대상으로는 다양한 항목을 조사할 수 있도록 설문을 구성한다. 설문지 구성 이후 대상지를 선정하고 교실의 음압레벨, 배경소음, 잔향 시간, 음성 명료도, 음성 전달 지수, 도로 소음을 측정하고 나온 결과와 종합된 설문조사 결과와 비교를 한다. 이를 통해 현재 학생들이 사용하고 있는 교실의 객관적인 음향성능이 수치를 통해 어느 정도인지 파악하고 이에 따라서 교실을 사용하는 학생과 교사가 느끼는 정도를 알아본다.




두 곳의 학교에서 수업을 듣는 학생과 교사를 대상으로 진행된 설문조사의 결과 만족도에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 도로 주변에서 발생하는 소음과 잔향시간으로 보인다.

## 참고문헌

1. Jeong, H, A, “A Study on the Establishment of Demand Factor by Regression Analysis Theory in the General Hospitals”, pp.31-32 (2005)

2. Kang, S, H, “Definition Scale” pp.1-2(2013)

이재석: doryoung0909@naver.com

# 비상방송설비용 스피커의 지향특성

정정호[1]
[1] 한국화재보험협회 부설 방재시험연구원

# DIRECTIVITY CHARACTERISTICS OF SPEAKERS FOR EMERGENCY BORADCASTING SYSTEM

Jeong-Ho Jeong[1]
[1]Fire Insurers Laboratories of Korea

**중심어:** 지향특성, 스피커, 비상방송설비

## 요약

비상방송설비 설비는 화재 또는 재난 발생시 관련 정보를 시설내 거주자에게 제공하여 신속하고 효율적인 피난을 유도하기 위해 국가화재안전기준(NFSC 202)에 따라 설치하여야 한다. 국가화재안전기준에는 비상방송용스피커의 출력과 신호 전압에 대한 내용과 설치 간격에 대해서만 규정되어 있다. 실제 비상방송용 스피커가 설치되는 공간의 음향, 소음 특성을 고려한 개선 방안에 대한 연구[1,2]가 수행되고 있다. 실제 비상방송설비에서 방송되는 음성과 경보음을 정확하게 피난자에게 전달하기 위해서는 음성명료도 또는 음성전달지수 등의 지표를 활용한 성능기준 수립이 필요하다. 이와 같은 음성명료도 관련 지표는 건축음향과 전기음향 예측 방법을 활용하여 예측, 개선이 가능하다. 비상방송설비의 음성명료도 지표 예측을 위해서는 실제 공간의 구성과 함께 비상방송용 스피커의 특성 입력이 중요하다. 비상방송용 스피커의 특성으로는 주파수 특성, 출력과 함께 지향특성이 있지만 스피커의 지향특성에 대한 정보를 찾아서 건축음향 예측에 반영하기에는 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 그림 1과 같이 측정장비를 구성하여 비상방송용 스피커의 지향특성을 측정하였다. 원형으로 비상방송용 스피커의 각도(Azimuth)별 지향성 측정결과 그림 2, 3에서와 같이 수평방향으로는 125 Hz 이상 대역에서는 원형에 가깝게 나타났으나, 각도(Azimuth)가 변화됨에 따라 지향특성은 변화되는 것으로 확인되었다. 향후 스피커 지향성 변화에 따른 음성명료도 분포 변화 등에 대한 검토가 필요하다.

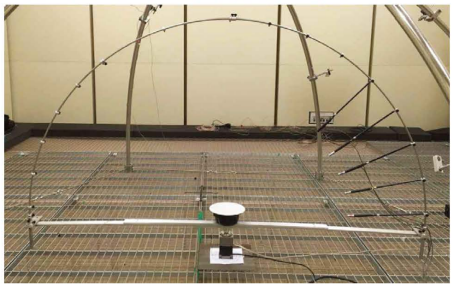


그림 1 스피커 지향성 측정 설정

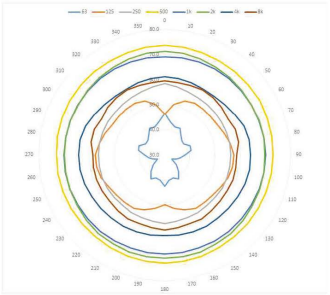


그림 2 30도 지향특성

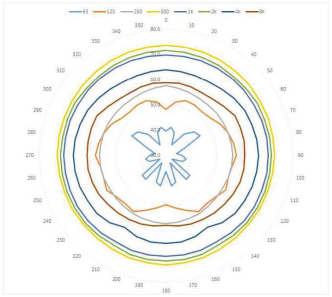


그림 3 60도 지향특성

## 참고문헌

1. J.H. Jeong, "Prediction and Reduction of Alarm Sound Propagated through Elevator Shaft", *Fire Science and Engineering*, 33(4), pp.89-96 (2019)
2. J.H. Jeong, "Alarm Sound Propagation Characteristics of Gas Extinguishing System Installed in Computer Server Room," *J. Korean. Soc.Hazard Mitig.*, 20(4), pp.145-152 (2020)

정정호 jhjeong92@gmail.com

# 오픈 플랜 오피스에서 근무환경과 스피치 사운드의 주관적 반응과의 관계

이송미[1], 송한솔[1] , 김정훈[1], 김수홍[1], 류종관[1]

[1] 전남대학교

# RELATIONSHIP BETWEEN SUBJECTIVE RESPONSE OF SPEECH SOUND AND WORKING ENVIRONMENT IN OPEN PLAN OFFICE

Songmi LEE[1], Hansol SONG[1], Jeonghun KIM[1] , Suhong KIM[1] and Jongkwan RYU[1]

[1] ChonnamNational University

**중심어:** 오픈 플랜 오피스, 스피치 프라이버시 만족도, 오피스 근무환경

## 요약

오픈 플랜 오피스의 실내 환경 만족도 중에서 스피치 사운드의 불만족도가 가장 높은 것으로 나타났다[1]. 또한 사무공간의 융통성과 가구와 같은 요소의 통제는 직무 만족도와 업무 성과에 영향을 미치는 것으로 나타났다[2]. 본 연구는 설문조사를 통해 현재 자신이 근무하고 있는 오피스 환경의 현황에 대해 조사하였으며, 분석을 통해 스피치 사운드에 대한 주관적 반응에 영향을 미치는 물리적인 요소를 조사였다. 설문지는 온라인으로 배포 하였으며, 총 256명이 참가하였다. 설문지 항목은 총 8개의 근무환경 (동일 층 인원수, 좌석유형, 레이아웃 유형, 스크린 위치, 스크린 높이, 회의실 사용, 주변 동료의 전화사용)과 스피치 사운드에 대한 주관적 반응 (스피치 프라이버시 만족도, 스피치 사운드가 들리는 정도, 스피치 사운드로 인한 업무 방해도)으로 구성되었으며, 일부 항목은 5점 척도를 사용하였다[3]. 분석은 집단 분석과 상관성 분석을 하였으며, 변수별 집단 간의 표본 수가 너무 작은 것은 제외하고 분석하였다. 한편, 레이아웃 유형의 경우, 대향형 (53%)이 가장 많이 사용하는 것으로 나타났으며, 대향형을 사용하는 응답자에 한에 스크린 (칸막이, 패널)의 위치와 높이를 분석하였다. 그 결과, 스피치 프라이버시 만족도와 스피치 사운드가 들리는 정도는 좌석 유형과, 회의실 사용, 전화사용에서 유의한 차이가 나타났다. 또한, 스피치 사운드로 인한 업무 방해도는 같은 층, 같은 공간의 인원수, 좌석 유형, 스크린 위치, 회의실 사용, 전화사용에서 집단 간의 유의한 차이가 나타났다.

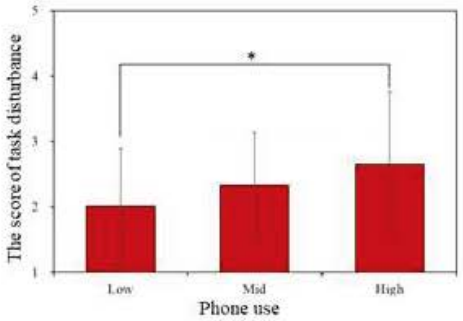



그림 1 전화사용에 따른 스피치 사운드에 의한 업무 방해도 점수 ($p<0.000$)

| | | Satisfaction with speech privacy | Overheaing of speech cound | Task disturbance by speech sound |
|---|---|---|---|---|
| Space environment | A unmber of the same floor | 0.00 | -0.03 | -0.12 |
| | Seat type | -0.04 | -0.09 | -0.19** |
| | Layout type | 0.06 | -0.10 | -0.14* |
| | Screen position | 0.19* | -0.11 | -0.28** |
| | Screen height | -0.14 | -0.05 | -0.02 |
| Speech source | Conference room use | -0.19** | 0.26** | 0.21** |
| | Phone use | -0.13* | 0.27** | 0.26** |

표 1 근무 환경 (공간 환경, 스피치 음원)과 주관적 반응과의 상관관계 (**: $p<0.01$, *: $p<0.05$)

류종관: jkryu@jnu.ac.kr, 전남대학교 건축학부

# 참고문헌

1. J. S. Kim & R. De Dear, Workspace satisfaction: The privacy-communication trade-off in open-plan offices. Journal of Environmental Psychology, 36, 18-26. (2013)

2. S. Y. Lee & J. L. Brand, Effects of control over office workspace on perceptions of the work environment and work outcomes. Journal of environmental psychology, 25(3), 323-333. (2005)

3. 김경호, & 전진용, 표준 소음평가방법을 활용한 교통소음의 주관적 반응 분석. 한국소음진동공학회 학술대회논문집, 605-610. (2003)

류종관: jkryu@jnu.ac.kr, 전남대학교 건축학부

# LSTM 과 CNN 의 긴급 상황 인지 성능 비교

최준규 [1], 김보배 [1], 송금자 [1], 김지혜 [1], 임성빈 [1]
[1] 숭실대학교

# COMPARISON OF LSTM AND CNN IN EMERGENCY SITUATION COGNITIVE PERFORMANCE

Jungyu Choi[1], Bobae Kim[1], Jinzi Song[1], Zhihui Jin[1], and Sungbin Im[1]
[1]Soongsil University

**중심어: MFCC, LSTM, CNN, 상황인지**

## 요약

어느 곳을 가도 CCTV 가 설치되어 있지만 여전히 폭력, 범죄 등의 사건은 완벽히 예방되지 않는다. 최근 기사를 보면 CCTV 의 사각지대에서 사건이 발생하거나 시야를 방해하는 장애물이 있을 시 예방도 하지 못할 뿐 아니라 제대로 된 증거자료 또한 얻지 못하기도 한다. 따라서 CCTV 의 영상 녹화만으로는 제대로 역할 수행하기에 부족하여 음향 데이터를 통한 긴급 상황 인지가 필요하다. 본 논문은 긴급 상황 중 가장 인명에 위협이 될 수 있는 폭력 상황을 발화자의 음성 분석 및 주변 환경 음향 분석을 기반으로, 안전한 사회 구축을 위해 감시 시스템에 실시간으로 적용할 수 있는 발화자 의도 파악, 상황 인지를 수행하는 LSTM, CNN 모델을 개발하고 두 모델의 성능을 비교한다.

그림 1 과 그림 2 는 각각 LSTM, CNN 기법을 사용해 긴급상황을 탐지하는 과정을 나타낸 플로우차트다. 폭력 상황과 일반적인 상황의 입력 데이터를 MFCC 로 변환하여 학습시켰고, 모델의 출력에서 Detection 정확도를 높이기 위해 Detector 를 추가했다. 폭력 상황의 경우 주변 상황의 소리도 중요하지만 사람의 소리를 통해 가장 잘 탐지할 수 있으므로 VAD 를 통해 음성 에너지가 큰 부분의 데이터를 위주로 MFCC 로 변환하여 학습시켰다[1]. 마지막에 Detector 를 추가해야 하는 이유는 모델의 학습이 아무리 잘 되었다고 해도 마지막에 판단을 어떻게 하느냐에 따라 최종 정확도에 큰 영향을 미치기 때문이다. 긴급 상황 중에서도 폭력 상황의 경우, 상황이 일어나기 전후에 변화가 있다. 상황 발생 전에는 감정이 격앙되거나 주변 물건들이 떨어지는 등의 새로운 사건이 생기고, 상황이 끝난 후에는 다시 예전의 상태로 돌아간다. 따라서 긴급 상황 전후의 상태는 긴급 상황 예측과 관계가 있음을 보여준다.[2] 따라서 Detector 는 가우시안 스무딩, 이동 평균을 사용하여 모델의 출력이 설정한 임계값을 초과하면 폭력 상황이라고 결론을 내린다.

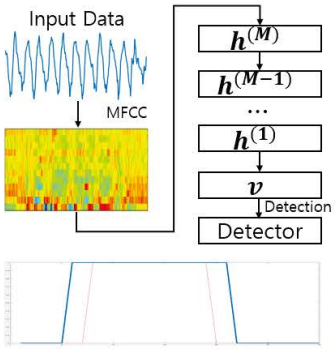



그림 1. Flowchart using LSTM for emergency detection

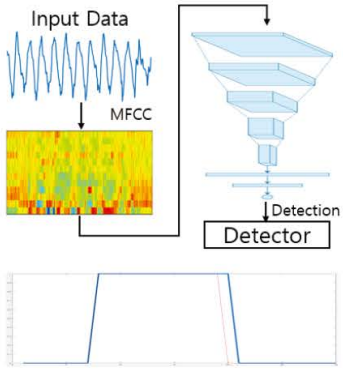



그림 2. Flowchart using CNN for emergency detection

임성빈 : sbi@ssu.ac.kr

실험 결과, 두 모델은 폭력 상황의 유무를 구분 짓는 것은 98%까지의 정확도를 보여주었다. 하지만 폭력 상황과 일반 상황이 섞여 있을 경우 폭력 상황이 일어나는 구간만 정확히 탐지하기에는 현재 학습시킨 모델로는 무리가 있었다. 이 부분은 향후 MFCC 이외에 Formant, Zero-cross rate, Power Spectral Density 등 추가적인 Feature 를 사용하는 연구를 할 것이다. 그리고 이에 따라 달라진 출력에 맞게 Detector 를 보완할 것이다.

## 참고문헌

1. A. Pramod Reddy · V. Vijayarajan, "Audio compression with multi-algorithm fusion and its impact in speech emotion recognition," *International Journal of Speech Technology 23*, page:277-285(2020)

2. MUSTAQEEM, MUHAMMAD SAJJAD, AND SOONIL KWON, "Clustering-Based Speech Emotion Recognition by Incorporating Learned Features and Deep BiLSTM," *IEEE Access (Volume: 8)*, page:79864-79875(2020)

임성빈 : sbi@ssu.ac.kr

# 낮은 SNR 환경에서 마스크기반 음성향상을 위한 손실함수 조합에 관한 연구

정재희, 김우일
인천대학교

# A STUDY ON LOSS COMBINATION FOR MASK-BASED SPEECH ENHANCEMENT IN LOW SNR CONDITIONS

Jaehee Jung, and Wooil Kim
Incheon National University

**중심어:** 마스크기반 음성향상, 낮은 SNR(Signal-to-Noise Ratio), 손실함수, 심층신경망

## 요약

최근 잡음환경에서의 음성향상을 위해 심층 신경망을 사용하여 마스크를 추정하기 위한 연구가 많이 진행되고 있으나, 낮은 SNR(Signal-to-Noise Ratio)조건에서 음성향상시스템의 성능은 아직 좋지 않다. 본 연구에서는 낮은 SNR 환경에서 단일 채널 음성 향상시스템의 성능향상을 위해 손실(Loss) 함수를 조합하여 사용하는 방법을 제안한다. 마스크 추정을 위한 모델 훈련을 위해 VoiceFilter[1]의 모델을 사용하였으며 Time-Frequency Domain 에서 훈련을 진행하였다. VoiceFilter 에서 사용한 MSE(Mean Squared Error)는 훈련 시에 잡음음성과 마스크를 곱해 나온 향상된 스펙트럼과 깨끗한 음성의 스펙트럼의 차이를 계산한다. MSE 에서 음성이 사라지는 것을 방지하고 남아있는 잡음을 고려하기 위해 사용된 Component Loss[2]는 깨끗한 음성의 스펙트럼과 마스크를 곱해 나온 여과된 깨끗한 스펙트럼과 깨끗한 스펙트럼 차이와 잡음 스펙트럼에 마스크를 곱해 나온 여과된 잡음 스펙트럼의 값을 더해 계산한다. 본 연구에서는 특히 음성부분에 남아있는 잡음을 최대한 제거하기 위해 향상된 스펙트럼과 여과된 깨끗한 스펙트럼의 차이를 계산하는 손실함수를 Component Loss 에 추가하는 것을 제안한다. 제안한 방법으로 MSE, Component Loss 를 사용한 모델을 SDR(Signal-to-Distortion Ratio), PESQ(Perceptual Evaluation of Speech Quality), STOI(Short-Time Objective Intelligibility) 로 비교평가를 한 결과 성능이 향상되었다. 성능을 더 높이기 위해 후처리 방법으로 Spectrogram Inpainting 기법[3]를 적용하였다.

## 참고문헌

1. Wang, Quan, et al. "Voicefilter: Targeted voice separation by speaker-conditioned spectrogram masking." arXiv preprint arXiv:1810.04826 (2018)

2. Xu, Ziyi, Samy Elshamy, and Tim Fingscheidt. "Using Separate Losses for Speech and Noise in Mask-Based Speech Enhancement." ICASSP 2020-2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE (2020)

3. Hao, Xiang, et al. "Masking and Inpainting: A Two-Stage Speech Enhancement Approach for Low SNR and Non-Stationary Noise." ICASSP 2020-2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE (2020)

정재희 : wjdwogml5890@inu.ac.kr

# 입력크기에 따른 건청인과 감각신경성난청인 사이의 음량변화연구

오세진[1]
[1]충북보건과학대학교

# STUDYING THE LOUDNESS CHANGE BETWEEN NORMAL AND SENSIONEURAL HEARING LOSS AS A FUNCTION OF INPUT LEVEL

Sei-Jin Oh[1]
[1]ChungBuk Health and Science University

**중심어:** 음량, 감각신경성 난청, 누가현상

## 요약

청력손실이 없는 건청인은 0dB SPL의 소리부터 들을 수가 있으며, 소리의 지각수준(Perceived Level)이 소리의 크기에 선형적으로 비례하게 된다. 그러나 사람의 나이가 많이 증가하면 여러 형태의 노화현상이 일어나는데, 그 중의 한 가지가 바로 청력감소로 인한 난청이다. 다시 말하면, 사람이 소리를 들을 수 있는 가장 작은 소리의 크기(청력역치)가 0dB SPL에서 크게 증가하게 된다. 본 연구에서는 청각에 난청이 발생하였을 때에 청력역치 이상의 크기를 갖는 소리들이 어떤 크기로 난청인에게 들리는 지에 대하여 한 연구결과를 이용하여 세밀하게 조사하였다[1]. 예를 들면, 난청인의 청력역치에 비하여 소리가 클수록 건청인이 듣는 소리의 크기와 유사하게 듣는 것으로 알려져 있다. 이를 위하여 대표적인 노인성 난청인 가운데 누가현상(recruitment)이 발생하는 감각신경성 난청으로서 청력역치를 50dB HL과 60dB HL로 가정하였다.

본 연구의 결과를 살펴보면, 소리가 클수록 난청의 유무에 관계없이 심리음향학적으로 음량이 유사해지는데, 건청인과 난청인 사이의 음량차이가 3dB SPL의 음압레벨차이에 해당하는 정도로 지각되는 소리의 크기는 50dB HL과 60dB HL 모두에서 청력역치보다 20dB SPL이 높은 음압레벨로 조사되었다. 이는 소리의 크기가 청력역치로부터 20dB SPL이 높아지면 건청인과 매우 유사한 크기로 듣게 된다는 것을 의미한다. 반면에, 소리의 크기에서 건청인과 심리음향학적으로 명확하게 차이를 느끼게 되는 5dB SPL의 차이는 청력역치보다 약 15dB SPL 정도 높은 음압레벨에서 나타났다. 따라서 청력역치보다 15dB SPL이 높은 음압레벨까지 난청인과 건청인이 느끼는 음량 사이에는 차이가 발생하는데, 소리가 작을수록 그 차이는 더욱 커진다. 이는 청력역치와 청력역치보다 약 10dB SPL 정도 높은 음압레벨 사이에서 누가현상이 주로 발생한다는 것을 의미하기도 한다. 특히, 청력역치 근처에서는 음압레벨이 1dB SPL만 변하여도 감각신경성 난청인이 지각하는 소리의 크기가 지수함수적으로 크게 달라진다.

## 참고문헌

1. *Refined Audiometries Laboratory*, Dbmcclain, Dec. 9. 2016

오세진: seijin@chsu.ac.kr

# 감각신경성 난청의 심리음향학적 음량특성

오세진[1]
[1]충북보건과학대학교

# PSYCHOACOUSTICAL LOUDNESS PROPERTIES OF SENSIONEURAL HEARING LOSS

Sei-Jin Oh[1]
[1]ChungBuk Health and Science University

**중심어:** 감각신경성 난청, 쾌적수준, 불쾌수준, 역동범위

## 요약

사람은 20대를 지나 나이가 증가하면서 청력이 점차 감소한다. 이처럼 노화로 인한 청력의 감소는 대체로 고음에 대한 청력부터 감소하여 말소리에 대한 명료도와 더불어 심리음향학적 소리의 크기를 말하는 음량에 관련된 특성들이 변하게 된다. 예를 들면, 가장 일반적인 난청유형의 하나인 감각신경성 난청인들의 청력역치에 따라서 쾌적수준과 불쾌수준 그리고 청력의 역동범위가 달라진다.

본 연구에서는 감각신경성 난청인의 청력역치에 따른 쾌적수준, 불쾌수준과 청력의 역동범위에 대한 특성을 조사하였다. 이를 위하여 1988년에 발표된 두 개의 논문에 실린 데이터들을 다시 선형회귀방식으로 분석하였다[1-2]. 그 결과로서, 감각신경성 난청인들의 청력역치에 따른 쾌적수준, 불쾌수준과 역동범위를 다음과 같이 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

-. 감각신경성 난청인이 심리음향학적으로 말소리를 편안하게 들을 수 있는 쾌적수준이 어느 정도인 지를 청력손실의 정도에 따라 실질적으로 예상할 수 있다. 청력손실이 없는 건청인(청력손실 = 0dB HL)의 쾌적수준은 약 65dB SPL로 알려져 있다. 그러나 청력손실에 따른 쾌적수준들의 본 선형회귀분석 결과를 이용하여 역으로 추정한 건청인의 쾌적수준은 76dB SPL이었다. 이는 실제적인 건청인의 쾌적수준보다 두 배의 크기에 해당하는 약 10dB 정도 높은 수준이다. 따라서 감각신경성 난청인은 건청인의 수준이 아닌 좀 더 큰 소리에서 심리음향학적으로 편안함을 느낀다고 할 수 있다.

• 말소리의 크기가 감각신경성 난청인의 쾌적수준에 도달하도록 보청기의 이득을 어느 정도 제공해야 할지를 청력손실의 정도에 따라 예상할 수 있다.

• 감각신경성 난청인의 청력역치에 따른 불쾌수준과 쾌적수준에 대한 선형회귀분석 결과를 이용하여 잔존청력의 역동범위가 어느 정도인지 예상할 수 있으며, 이를 보청기의 비선형 적합에 활용할 수도 있다.

## 참고문헌

1. D.M. Schwartz, P.E. Lyregaard, P. Lundh, "Hearing Aid Selection for severe-to-profound hearing loss," The Hear J, 41(2), pp. 13-17 (1988)

2. D. Pascoe, "Clinical measurement of the auditory dynamic range and their relation to formula for hearing aid gain. In hearing aid fitting: Theoretical and practical viewl," Proceeding of the 13th Danavox Symposium, Jensen J. (ed), pp. 129-152. Copenhagen, Danavox (1988)

오세진: seijin@chsu.ac.kr

# ESWL 에 의해 생성된 Cavitation 의 음향학 및 광학 신호 연구

송현재 [1], 송태경 [1], 최민주 [2]
[1] 서강대학교, [2] 제주대학교

# A Study on the Acoustic and Optical Cavitation Signal Generated by ESWL

Hyunjae Song[1], Tai-Kyung Song[2], and Min Joo Choi[2]
[1]Sogang University, [2]Jeju National University

**중심어: ESWL, Shockwave, Cavitation, PMT, PCD,**

## 요약

결석 치료에 사용되는 ESWL 충격파는 강력한 Cavitation 현상을 발생시킨다.[1] 충격파에 의해 발생한 Cavitation 현상에 의해 역학파와 빛이 방출되며 각각의 현상을 독립적으로 측정하여 Cavitation 의 유무 또는 강도를 판단하였지만 아직 동시에 측정되어 보고된 바 없다. 본 연구에서는, Optical hydrophone, PMT 그리고 Passive Cavitation Detector(PCD)를 이용하여 역학파와 빛을 동시에 측정하여 두 신호간 연관성을 관찰했다.

그림 1 은 ESWL 의 출력은 15.4 kV 이며 반복주기는 2 초일 때 세 가지 신호를 동시에 100 회 측정하여 누적한 결과이다. 세 신호 모두 167 us 근처에서 첫번째 Cavitation 신호가 측정되었고 635 us 이후에 두번째 Cavitation 신호가 측정되었다. 측정된 두번째 Cavitation 에서 두 개의 구역에 나눠 파형이 측정되었다. (a)와 (b)에서는 두번째 Cavitation 중 첫번째의 신호가 상대적으로 큰데 (c)에서는 유사하다.

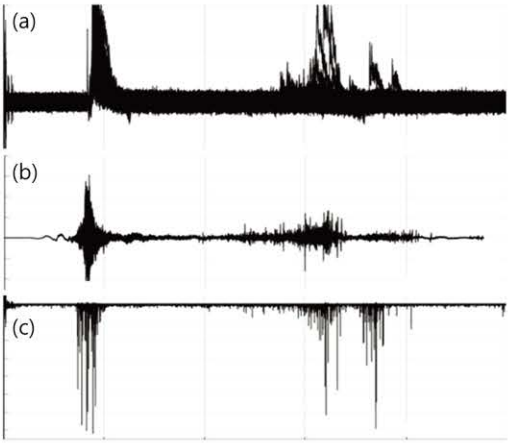


그림1. (a) Optical hydrophone , (b) PCD, 그리고 (c) PMT 측정 결과, 각각 반복주기 2초 간격으로 100회 측정 데이터를 누적

본 논문에서는 세 가지 측정 장비를 동시에 사용하여 Cavitation 신호의 음향학적, 광학적 측정을 하였다. 선행 연구의 결과들과 마찬가지로 음향적, 광학적 신호 간 유사성이 보이며 Cavitation 이 발생되는 시점에 두 가지 신호가 동시에 측정되었다.[2] 다른 논문에서 하지 않은 PCD 를 통한 동시 측정 결과를 통해 Passive Cavitation Image(PCI)의 가능성을 보여주었다. 후속 연구를 통해 PCI 를 구성하여 Bubble 별 Cavitation 음압과 방출 빛 세기 간 연구가 필요하다.

**Acknowledgement**

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (Grant No.2017R1A2B3007907)

## 참고문헌

1. M.J.Choi, "The influence of fluid properties and pulse amplitude on bubble dynamics in the field of a shock wave lithotripter, *Physics in Medicine and Biology*, 38(11), pp.1561-1573 (1993)

2. G.S.Kang, "The influence of fluid properties and pulse amplitude on bubble dynamics in the field of a shock wave lithotripter, *J.Acoustics.Soc.Am.*,Vol.135,No.3, pp.1139-1148 (2014)

최민주: mjchoi@jejunu.ac.kr

# 수력기전식 상용 ESWL 장치의 비교 성능 시험

권오빈[1], 최민주[1,2]
[1] 제주대학교

# Comparison performance test of Hydroelectric type commercial ESWL device

Obbin KWON[1], and Min Joo CHOI[1]
[1]Jeju National University

**주제어: 체외충격파쇄석기, 성능평가, 음향출력**

## 요약

요로결석의 유병율은 약 12%정도로 매우 흔한 질환으로 보고되고 있다[1]. 미국비뇨과학회 지침서에는 체외충격파쇄석술(ESWL; Extracorporeal shock wave lithotripsy)을 권장하고 있다. 체외충격파쇄석술의 성공률은 72~83 %로 보고되고 있다. 본 연구에서는 국산 상용 ESWL 장비의 외산 제품과의 비교 성능 시험을 진행하였다.

성능 시험의 주요 내용은 IEC61486 및 ESWL 식품의약안전처 민간 안내 가이드라인을 따라, 광학하이드로폰(FOPH2000, RP acoustic, Germany) 및 xyz positioner를 이용하여 충격파 발생 장치(Rifle, HNT, Korea)의 충격파 음압의 공간적 분포를 측정하였다. 국외 제품(sonolith i-move, Edap TMS, France)의 성능은 국외 제품 제조사 User Manual의 값을 사용하였다[2].

Table 1. Comparative performance result

| | Input voltage(kV) | setting(%) | FL(Fz=160) | FW(x) | FD | FV | P+ (MPa) | E(mJ)(R=3) | E(mJ)(R=6) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sonolith i-move | 15.5 | 1% | +7 | 2.62 | 21.3 | 46.8 | 107 | 6.73 | 12.36 |
| | (20.3) | 73% | +16 | 3.09 | 29.9 | 107.5 | 135 | 17.34 | 31.45 |
| | 22 | 100% | +17 | 3.5 | 34.7 | 164.4 | 144 | 21.85 | 40.91 |
| | Input voltage(kV) | setting(level) | FL(Fz=140) | FW(x) | FD | FV | P+ (MPa) | E(mJ)(R=3) | E(mJ)(R=6) |
| Rifle (N=30) | 12 | 3 | 0 | 12.06 | 31.2 | 2376.2 | 21.56 | 4.33 | 17.33 |
| | 14 | 5 | +2.8 | 15.19 | 41.8 | 5047.6 | 25.46 | 8.06 | 32.22 |
| | 18.5 | 9 | +4 | 17.66 | 50.7 | 8279.8 | 28.94 | 8.57 | 34.29 |

두 장비의 출력 setting에 대한 표현방식이 다르기 때문에, 하이드로폰 측정 시 펄스반복주기가 0.2 Hz으로 고정이 될 수 있는 조건과 최대 출력에서 하이드로폰의 손상이 적은 조건을 고려하였다. 측정된 국산 상용 장비(Rifle)의 결과 국외장비에 비해, -6dB 영역에서 폭(FW) 기준으로 5배, 깊이(FD) 기준 0.3배 넓게 나타났다. 그럼에도 불구하고, 제일 많이 사용되는 setting(i-move 73%, Rifle lv5)에서 반경 6 mm 기준 에너지는 97%로 유사하게 나타났다. 비교 장비의 성능은 범위는 넓게 나타났으나, 압력 값은 국외 장비의 비해 5분의1일 수준이며, 정확성이 떨어지는 것으로 보인다. 추후 임상 연구를 진행 시, 성능을 고려한 평가가 요구된다.

## 참고문헌

1. Wulfsohn MA (1980) Pyelocaliceal diverticula. J Urol 123:1-8
2. EDAP TMS, "System user manual Sonolith i-move," version: TMS 231 020 F, 2016

최민주 : mjchoi@jejunu.ac.kr

# 안드로이드 기반의 모바일 초음파 영상 시스템

김보석[1], 김미지[1] , 박연성[1], 서성호[1], 김경민[2], 임해균[2], 김형함[2], 윤창한[1]
[1] 인제대학교, [2]포항공과대학교

# ANDROID-BASED MOBILE ULTRASOUND IMAGING SYSTEM

**Bo-Seok KIM[1], Mi-Ji KIM[1], Yeon-Seong PARK[1], Seong-Ho SEO[1],**
**Kyung-Min KIM[2], Hae-Gyun LIM[2], Hyung-Ham KIM[2], Chang-Han YOON[1]**
[1]Inje University, [2]Pohang University of Science and Technology

**중심어:** 모바일 초음파 시스템, 안드로이드 운영체제, 애플리케이션, USB 통신, USB 3.2 Gen1

## 요약

최근 전염성이 강한 바이러스의 출연으로 환자를 병원 내 검사실까지 이동시킬 시 발생할 수 있는 N차 간염의 위험성을 줄이기 위해 현장에서 신속하게 진단할 수 있는 휴대용 진단장비에 대한 수요가 늘어나고 있으며 초음파 진단 장비 또한 소형화된 휴대용 시스템으로 제공되기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 스마트폰, 태블릿 등의 모바일 기기들과 연결해 초음파 영상을 실시간으로 확인할 수 있는 안드로이드 기반의 모바일 초음파 영상 시스템을 제안한다. 소형화된 휴대용 모바일 초음파 영상 시스템을 구현하기 위해 초음파 신호 전처리 및 중간신호 처리부를 포함하는 크기 106mm x 228mm x 4.4mm(길이 x 폭 x 높이)의 시스템 보드를 설계하였다. 또한, 휴대가 간편한 모바일 기기 중에서도 표준화된 USB 통신을 지원하는 안드로이드 운영체제 기반의 모바일 기기를 사용하여 시스템과 연결만 하면 사용 가능한 애플리케이션 기반 인터페이스를 구현하였다. 범용 통신규격인 USB 3.2 Gen1 기반으로 설계된 시스템은 초당 60프레임의 B모드 영상을 실시간으로 제공한다. 최근 모바일 기기들의 코어 프로세서와 범용통신의 성능향상을 통해 데이터 프로세싱과 여러 모드들을 애플리케이션 기반 인터페이스를 통해 제공하는 것이 가능하다는 것을 확인하였으며, 안드로이드 운영체제상에서 지원하는 인공신경망 라이브러리 등을 적용해 새로운 영상처리 모드 구현 및 영상진단 성능 향상을 기대해 볼 수 있다.

## 참고문헌

1. L.L. Beranek, *Acoustics*, McGraw Hill, New York (1954)

2. C. Yoon, B. J. Kang, H. Kim, and K. Kirk Shung, "Development of a low complexity, cost effective digital beamformer architecture for high-frequency ultrasound imaging," IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr., vol. 64, no. 6, pp. 1002-1008, 2017

3. Sunmi Yeo, Min Kim, Jin Hyun Kim, Chang Hyeon Lim, Sang-bum Kye, Tai-kyong Song, "Smart Phone-based Ultrasound Imaging System for Point-of-Care Diagnostic Applications - Prototype Implementation and Evaluation" JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING, 38(1), 15-23

윤창한 : yoonch80@gmail.com

# *기계 순환 지원 시스템을 위한 영점 교차 기법 기반 초음파 혈류계 시스템

류하민 [1], 이문환 [1], 윤상연 [1], 김희찬 [2], 황재윤 [1*]
[1] 대구경북과학기술원 정보통신융합전공, [2] 서울대학교 대학원 협동과정 바이오엔지니어링 전공

# Ultrasonic Blood Flowmeter with a Novel Zero-crossing Method for a Mechanical Circulatory Support System

Hah Min LEW[1], Moon Hwan LEE[1], Sangyeon YOUN[1], Hee Chan KIM[2], and Jae Youn HWANG[1*]
[1]Department of Information and Communication Engineering, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology,
[2]Interdisciplinary Program in Bioengineering, Graduate School, Seoul National University

**중심어:** 초음파 혈류계, 기계 순환 지원 시스템, 초음파 트랜스듀서, 영점 교차 기법, 통과 시간 측정

## 요약

기계 순환 지원 시스템 (MCSS)은 1960 년대 초부터 클리닉에서 널리 사용되었다. 그러나 많은 임상 관찰 연구 결과에 따르면 MCSS 의 오작동으로 인한 혈류의 정체와 재순환이 인체에 부정적인 영향을 주는 것으로 밝혀졌다[1]. 혈류량 측정은 이러한 문제를 해결하는데 필수적이다. 혈류량 측정의 경우, 통과 시간 측정 초음파 혈류계가 도플러 또는 상호 상관 기법 기반의 초음파 혈류계와 같은 다른 유형의 초음파 혈류계보다 우수한 성능을 보인다는 것이 보고되었다[2]. 그러나 혈류량의 정확한 측정을 위해서는 혈중 음속에 대한 정보를 추정해야 한다. 음속은 개인 또는 온도에 따라 민감하게 달라지므로 혈류량의 정확한 측정을 위해서는 음속에 덜 의존하는 고급 신호 처리 기술을 사용하는 강력한 통과 시간 측정 초음파 혈류계의 개발이 필요하다. 이 연구에서 우리는 MCSS 에 대한 음속 정보없이 보다 정확한 혈류량을 제공하는 새로운 영점 교차 기법 기반 펄스 도착 시간 측정 기술(Z-EPA)을 고안하고, 이를 이용한 통과 시간 측정 초음파 혈류계 시스템을 개발하였다. 개발 알고리즘(Z-EPA)과 기존 상호 상관 기법 기반(CC-MA)의 혈류량 측정값을 비교한 결과는 음속 정보 없이 개발 알고리즘이 더 정확하게 혈류량을 측정할 수 있음을 보여준다.

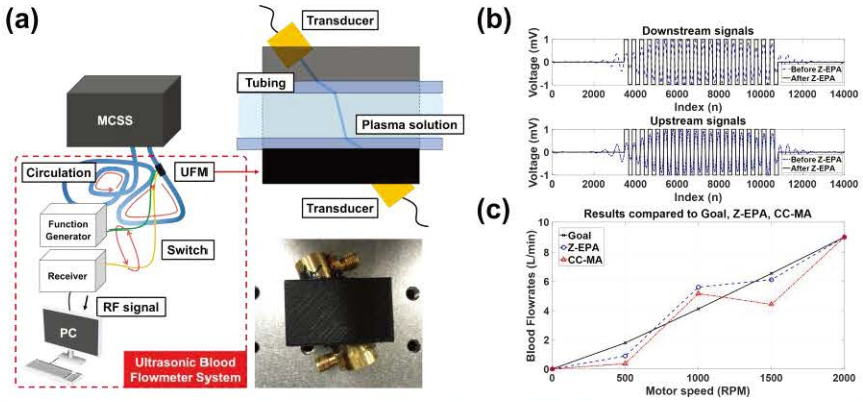



**그림 1. (a) 초음파 혈류계 시스템 개념도, (b) 개발 알고리즘 결과, (c) 기존 상호 상관 기법 및 개발 알고리즘 결과 비교**

황재윤: jyhwang@dgist.ac.kr

## 참 고 문 헌

1. Kiris, C., et al. "Computational approach for probing the flow through artificial heart devices." Journal of biomechanical engineering 119.4 (1997): 452-460

2. Chen, Xuying, et al. "Highly Accurate Airflow Volumetric Flowmeters via pMUTs Arrays Based on Transit Time." Journal of Microelectromechanical Systems (2019)

황재윤: jyhwang@dgist.ac.kr

# 3 차원 의료 초음파 영상 복원을 위한 문맥을 고려하는 3 차원 분할 딥러닝 네트워크

이경수 [1], 이문환 [1], 황재윤 [1]
[1] 대구경북과학기술원

# Context-aware 3D segmentation deep learning network for 3D Reconstruction of Medical Ultrasound Images

Kyungsu Lee[1], Moonhwan Lee[1] and Jae Youn Hwang[1]
[1] Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology

**중심어:** 의료초음파, 딥러닝, 외과질환

## 요약

최근, 초음파 영상은 비슷한 기술인 CT 나 MRI 에 비해 비교적 저렴한 비용과 촬영의 편의성으로 인해 의료 영상 분야에서 많이 활용되고 있다. 또한, 초음파 의료 영상은 연속적인 촬영 기법을 활용하여, 의료 영상과 관련된 정보를 많이 포함하고 있어, 3 차원 복원 기술이나, 2차원 비디오 촬영 영상 등 의료 영상학의 여러 분야에 활용되고 있다[1]. 이러한 초음파 이미지 내에서, 질병이나 종양(tummor) 및 암(cancer)을 진단하는데 블러링(blurring), 디노이징(denoising)등과 같은 고전적인 이미지 처리 기법들을 활용하고, active contour 같은 기법[2]들을 종양의 위치를 예측하는데 활용하고 있다. 그러나, 이러한 기법들을 통해 질병의 위치를 예측하고, 진단하는 것은 정확도가 매우 부정확할 뿐 아니라, 계산 속도도 느려 실시간 진단 기법에 활용되기는 많은 어려움들이 있다 [3].

최근, 딥러닝 기반 이미지 분석 기법이 꾸준히 발전하고 있으며, 그 중, 딥러닝 기반 이미지 분할(segmentation) 기법이, 여러 모델들이 개발됨에 따라 그 성능이 크게 향상되었다. 그 중, FCN [4]이나, U-Net [5]과 같은 딥러닝 기반 이미지 분할 모델들이 등장함에 따라 분류 문제를 해결하는 성능이 효과적으로 개선되었으며, 이러한 기술들은 여러 분야에 활용되고 있다. 특히 의료 영상학 분야에서는, 기존에 연구된 고전적인 이미지 처리 기법들과 더불어, 딥러닝 기반 의미론적 분할 기법(semantic segmentation)이 질병의 진단 및 예측에 활용되고 있으며, 상당히 좋은 정확도를 내고 있다.

그러나, 기존의 딥러닝 기반의 연구 방법들은 3 차원 영상이나, 연속적인 프레임을 가진 비디오와 같은 영상 등에 적용될 때, 연속성을 고려하지 않는다는 문제점이 존재한다. 이는, 연속성이 존재하는 여러 프레임들을 하나의 객체로 보는 것이 아니라, 단순히 여러 프레임을 개별적인 2 차원 이미지로 보기 때문에 발생하게 된다. 개별의 이미지들은 잘 구성된 딥러닝 모델을 통해 개별적으로 의미론적으로 분할이 이뤄지는데, 이는 연속성이 고려된 분할이 아닌, 각각의 이미지들을 따로 예측한 것이며, 3D 복원 모델이나, 분할된 비디오와 같은 산출되는 결과는 이 예측 이미지들을 재 구성한 것에 지나치지 않는다. 이러한 개별적인 분할은 이미지 간의 유사성을 떨어뜨려 다음과 같은 문제점을 야기할 수 있다. 3 차원 복원 영상에서, 연속적인

황재윤 : jyhwang@dgist.ac.kr

프레임 간에는 모양이나 위치 등 오브젝트의 특성에 유사도가 필수적으로 존재해야 하지만, 개별론 적인 분할은 이러한 특성의 유사성이 존재하지 않게 되어, 단순히 한 두 프레임만 지났을 뿐인데, 검출하고자 하는 오브젝트의 특성이 매우 달라지게 된다. 이러한 문제점들은 오차 범위가 매우 작아야 하는 의료 분야에서 커다란 문제를 야기할 수 있으며, 정확도를 향상시키는 데에 커다란 장애물이 된다.

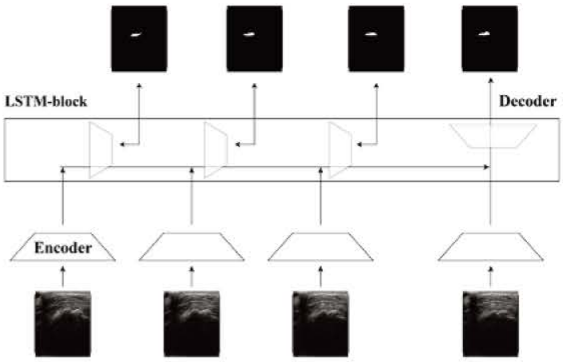



**그림 1. LSTM 기반 네트워크 구조**

이에 본 연구에서는, 연속적인 프레임을 포함하는 초음파 3D 복원 영상에 대해, 프레임들 간의 연속성을 고려하는 딥러닝 모델을 제안한다. 이 모델에는 기존 딥러닝 기반 언어(language) 분석에 사용되는 Long-Short Term Memory (LSTM) [6]을 기반으로하는 네트워크 구조가 적용되었으며, 이는 연속적인 프레임 간의 연속성을 고려하여 분할 (segmentation) 예측을 수행하여, 기존의 방법과는 달리 연속성을 보존한다는 특징이 있다. 제안하는 네트워크는 크게 프레임들간의 특징들을 추출할 수 있는 encoder 여러 개와 이미지 영상내 특징 점들을 재구성할 수 있는 decoder 및 decoder 를 포함하는 LSTM 블록으로 구성된다.

실험 결과를 보면, 제안하는 네트워크의 경우 다른 딥러닝 기반 분할 모델보다 11.4% 더 높은 결과를 보여줌을 확인할 수 있다. 유사도 또한, 차선으로 성능이 좋은 모델인 U-Net 보다도 15.8% 더 높은 것을 확인할 수 있었다.

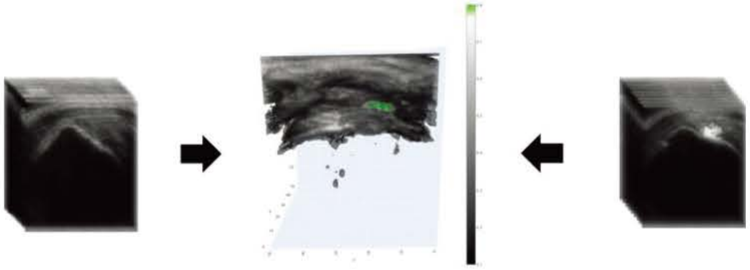


**그림 2. 3D 초음파 이미지 내에서 rotator-cuff tear 위치 예측한 결과 및 3 차원 복원한 이미지**

## 참고문헌

1. Nelson, Thomas R., and T. Todd Elvins. "Visualization of 3D ultrasound data." IEEE Computer Graphics and Applications 13.6 (1993): 50-57.
2. Stoitsis, J., et al. "Automated detection of the carotid artery wall in B-mode ultrasound images using active contours initialized by the Hough transform." 2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, 2008.
3. Litjens, Geert, et al. "A survey on deep learning in medical image analysis." Medical image analysis 42 (2017): 60-88.
4. Long, Jonathan, Evan Shelhamer, and Trevor Darrell. "Fully convolutional networks for semantic segmentation." Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2015.
5. Ronneberger, Olaf, Philipp Fischer, and Thomas Brox. "U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation." International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. Springer, Cham, 2015.
6. Gers, Felix A., Jürgen Schmidhuber, and Fred Cummins. "Learning to forget: Continual prediction with LSTM." (1999): 850-855.

황제윤 : jyhwang@dgist.ac.kr

# 파이프계 기포 유동에서 발생하는 소음 측정

표성태[1], 이근화[1]
[1] 세종대학교

# Noise measurements in the bubbly flow of the pipe system

Seong-Tae PYO[1], Keunhwa LEE[1]
[1]Sejong University

**중심어:** 기포 유동, 파이프시스템, 유체소음

## 요약

본 연구에서는 파이프 계의 기포 유동에서 발생하는 소음을 측정하고 측정한 소음의 원인을 분석했다. 연구에 이용한 실험 장비는 낙차를 이용하여 유동을 생성하는 회류 수조로 파이프 입구에서 인위적으로 기포를 주입시킬 수 있다. 파이프 내부에는 소음을 측정할 수 있는 청음기 2개를 배치하였다. 각각 파이프 입구에서 0.15m, 70cm뒤에 설치되어 있다. 기포 유동 소음의 원인을 기포 소음, 순수 유동소음, 배출구에서의 소음, 파이프 계의 구조소음으로 분리하여 실험 조건을 바꿔가며 data를 수집하고 조건별로 소음특성을 분석하였다.



실험 장비 전경

## 참고문헌

1. E. J. Skudrzyk, "The basics of flow noise," J. Acoust. Soc. Am. 46, pp.130-157.
2. Y. Liu, D. Shang, Q. Li, and D. Shang, and Y. Xiao, "The investigation on calculating and measuring the flow noise form underwater jets," in Proc. of OCEANS 2015-MTS/IEEE Washington, 2015.

이근화: nasalkh2@sejong.ac.kr

# 측정된 채널 정보를 이용한 시뮬레이터 설계

이주형 [1], 안정하 [1], 라형인 [1], 김기만 [1], 한정우 [2]
[1] 한국해양대학교, [2] 한국항공우주연구원

# SIMULATOR DESIGN USING MEASURED CHANNEL INFORMATION

Joohyoung LEE[1], Jungha AHN[1], Hyung-in RA[1], Kiman KIM[1], and Jungwoo HAN[2]
[1]Korea Maritime and Ocean University, [2]Korea Aerospace Research Institute

**중심어:** 수중음향통신, 채널 측정, 도플러 파워 스펙트럼, Stretched exponential function, 시뮬레이터

## 요약

수중 음향 통신은 시-변동성이 강한 채널을 갖기 때문에 시뮬레이터를 구성할 때 도플러 확산을 같이 고려해 주어야한다. 측정된 채널의 확산을 그대로 사용하는 것이 채널을 가장 비슷하게 모방할 수 있다. 하지만 바람의 양과 방향, 온도 그리고 수심 등의 상황은 항상 변화하기 때문에 모든 상황에 맞는 채널들을 측정하고 저장해 사용할 수 없다. 따라서 일정한 함수로 도플러 확산을 표현하고 이 함수의 변수를 이용해 시뮬레이터를 설계하면 단순하게 채널을 모방할 수 있다. 우리는 Stretched exponential function 인 $Ae^{-(|\nu|/\alpha)^{\beta}}+n$ 을 사용해 측정된 채널의 DPD(Doppler power spectrum)와 비교해 최적의 A,α 그리고 β의 값을 찾은 뒤 이 값을 사용해 채널을 모델링 하였다. 채널은 문경시의 한 호수에서 측정되었다. 측정에 LFM(Linear Frequency Modulation)핑을 사용했으며 대역폭은 2 kHz 를 사용했다. 핑은 총 200 번 송신되었으며 0.128 ms 의 길이를 가졌다.

실제 측정된 채널은 그림 1 에서 파란색 o 과 같은 DPD 를 가졌다. 측정된 채널에서 찾은 최적의 A,α 그리고 β값으로 표현한 그림이 빨간색 x 로 표현되었다. 마지막으로 찾은 파라미터들로 구현한 시뮬레이터의 DPD 는 검정색 □로 측정된 채널의 DPD 나 찾아낸 함수의 DPD 값과 거의 일치했다. 실제 측정된 채널을 제안된 함수로 단순화 함과 단순화된 함수로 시뮬레이터를 설계한 결과가 거의 일치하는 것을 확인하였다.

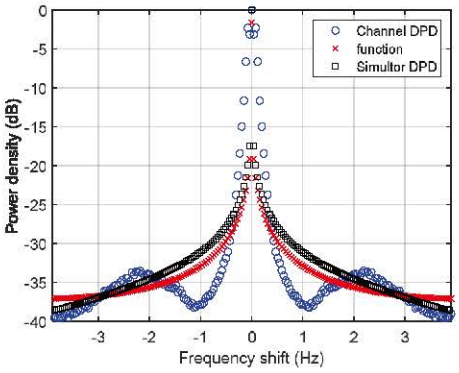



그림 1. 도플러 파워 스펙트럼

## 참고문헌

1. P.A. van walree, R. Otnes, and T. Jenserud, FFI-Report, 2016

2. P.A. van walree, T. Jenserud, and R. Otnes, "Stretched-exponential Doppler spectra in underwater acoustic communication channels," *J. Acoust. Soc. Am.*, 128, EL329-334, (2010)

이주형: ljh1106@g.kmou.ac.kr

# 광대역화를 위한 심벌 트랜스듀서의 배열 패턴 설계

김동현, 오창민, 심하영, 강순관, 노용래
경북대학교

# DESIGN OF THE ARRAY PATTERN OF CYMBAL TRANSDUCERS FOR WIDEBAND CHARACTERISTICS

Donghyun KIM, Changmin OH, Hayeong SHIM, Soonkwan KANG and Yongrae ROH
Kyungpook National University

**중심어:** 심벌 어레이, 배열 패턴, 비대역폭, 광대역

## 요약

심벌 트랜스듀서는 Class V flextensional 트랜스듀서의 소형화된 버전으로서 크기에 비해 낮은 공진 주파수와 고출력 특성을 가진다. 하지만, 높은 품질계수와 낮은 에너지 변환 효율성 때문에 단일보다는 배열형으로 많이 사용된다. 배열형으로 사용하면 구성 트랜스듀서들 간의 상호작용으로 인해 단일 트랜스듀서에 비해 주파수 특성에 많은 변화가 나타난다 [1]. 본 연구에서는 이러한 성질을 이용하여 심벌 어레이가 광대역 특성을 가지게 하는 패턴을 설계하였다. 특정 중심 주파수를 가지는 세 개의 심벌 트랜스듀서를 먼저 설계하였고, 설계된 심벌 트랜스듀서들로 3x3 평면 배열을 구성할 수 있는 모든 패턴을 찾았다. 그 후, 이들 패턴들의 주파수 특성을 분석하고, 그 결과를 바탕으로 높은 비대역폭을 구현하기 위해 가장 효과적인 배열 구조를 도출하였다. 도출된 배열 패턴은 기준 모델에 비해 비대역폭이 최대 24.9 % 개선되었다.

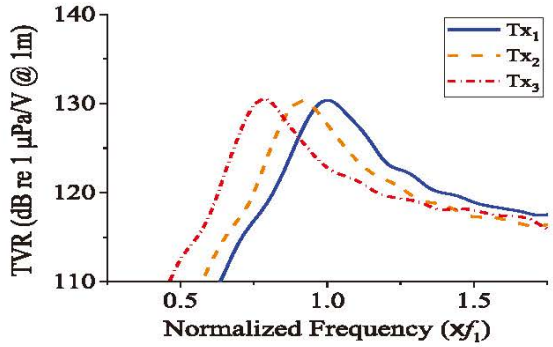



그림 1. $Tx_1$, $Tx_2$, $Tx_3$의 수중 TVR 스펙트럼

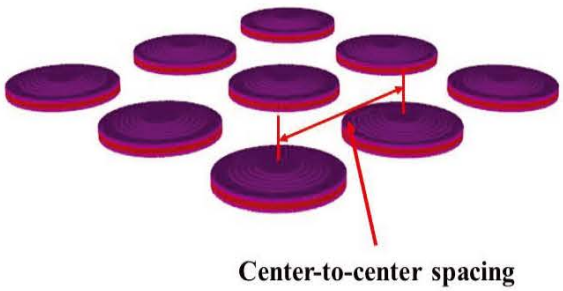



그림 2. 3x3 심벌 어레이

## 참고문헌

1. J. Zhang, W. J. Hughes, P. Bouchilloux, R. J. Meyer JR., K. Uchino, R. E. Newnham, "A class flextensional transducer: the cymbal," Ultrasonics, 37, pp.387-393 (1999)

## 감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다 (계약번호 UD200011DD).

노용래: yryong@knu.ac.kr

# Sub-band 구조의 수중음향통신 송수신 구조

정현우[1], 신지은[1] , 정지원[1], 김완진[2]
[1]한국해양대학교, [2]국방과학연구소

# TRANSCEIVER STRUCTURE OF UNDERWATER ACOUSTIC COMMUNICATION USING THE SUB-BAND

Hyun-Woo JEONG[1], Ji-Eun SHIN[1], Ji-Won JUNG[1] , and Wan-Jin KIM[2]
[1]Korea Maritime and Ocean University, [2]Agency for Defense Development

**중심어:** 수중음향통신, 부 대역 처리, 터보 부호, 도플러 효과

## 요약

수중음향통신 환경에서 은밀성을 유지하기 위해서 일반적으로 대역확산 통신기법을 사용하지만[1], 본 연구에서는 은밀성을 유지하기 위해서 부호화된 비트를 블록으로 나뉘어 각 블록의 첫 번째 비트가 블록에 할당되어진 중심주파수를 결정하며 그 다음 비트들이 각 중심주파수의 왼쪽 오른쪽을 결정하는 구조인 부 대역을 이용한 비동기식 MFSK 방식을 사용하였다. 아래 그림1은 부 대역 송수신 구조를 나타낸다. 부호화율 1/3을 가지는 터보 부복호화기를 적용하였으며 등화기와 채널 복호화기를 반복하는 터보 등화 구조를 제시하였다[2]. 최적의 반복 횟수를 5로 고정시키고 시뮬레이션과 실험을 통해 대역통과필터를 이용하여 포락선 검파를 이용한 방식과 정합필터를 이용한 방식에 대한 성능을 비교하였으며, 성능은 거의 동일하나 대역통과필터를 이용한 비동기식 방식이 도플러에 강인함을 알 수 있었고, 또한 수신부에서 터보 등화 방식을 이용한 결과 반복 횟수에 따라 성능이 향상되는 것을 확인하였다.

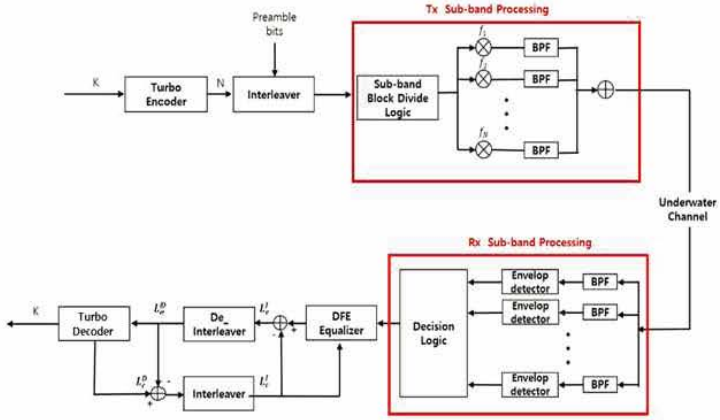



그림1. 부 대역 송수신 구조

## 감사의글

본 연구는 국방과학연구소의 연구비 지원(과제번호: UD200002DD)으로 이루어졌습니다.

## 참고문헌

1. E.M. Sozer, "Direct sequence spread spectrum based modem for under water acoustic communication and channel measurements," IEEE. Oceans'99 MTS, vol 1, pp. 228-233, (1999)

2. Ji-won Jung, "Performance analysis of turbo equalizer in the multipath channel," Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, vol 5, No 3, pp. 169-173, (2012)

정지원:jwjung@kmou.ac.kr

# 기계학습을 이용한 잔향수조 수중유체소음 예측

이혜선 [1], 홍우영 [1], 김국현 [2], 이근화 [1]
[1] 세종대학교, [2] 동명대학교

# FLOW NOISE PREDICTION IN A REVERBERANT WATER TANK USING MACHINE LEARNING

Hye-Sun LEE[1], Woo-Young HONG[1], Kookhyun KIM[2], and Keunhwa LEE[1]
[1]Sejong University, [2]Tongmyong University

**중심어:** RNN, Attention, 수중유체소음, 시계열 데이터 예측

## 요약

We analyze a flow noise from the launching of the underwater object, measured in the reverberant water tank of Tongmyong University. The underwater object blasts off by the pressurized water and moves to the damper wall of the reverberant water tank. We manually make fake data based on the observation of real flow noise data, and apply it into the prediction of times series using machine learning. Three techniques of RNN, LSTM, and DA-RNN are chosen for the prediction of the flow noise series. In the presentation, we will show the performance of the prediction for each technique and discuss the importance of the attention layer in the time series modeling.

## 참고문헌

1. Yao Qin, *A Dual-Stage Attention-Based Recurrent Neural Network for Time Series Prediction*, Twenty-Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence,2017

2. Yoshua Bengil, *Learning long-Term Dependencies with Gradient Descent is Difficult*, IEEE Transaction on Neural Network., 5(2):157-66(1994)

3. Kookhyun Kim, *Experimental Study on Source Level Estimation Techniques of Underwater Sound Source in Reverberant Water Tank,* J. Ocean Eng. Technol. 2019;33(4):358-363(2019)

4. Yong Park *et al*, *Numerical and Experimental Investigation on Structure-acoustic Coupling Effect in a Reverberant Water Tank*, Journal of the Society of Naval Architects of Korea - Vol. 56, No. 1, pp.94-101(2019)

5. Kookhyun Kim, Acoustic Field Analysis of Reverberant Water Tank using Acoustic Radiosity Method and Experimental Verification, Journal of the Society of Naval Architects of Korea - Vol. 56, No. 5, pp. 464-471(2019)

6. Kyunghyun Cho *et al* . *On the properties of neural machine translation: Encoder–Decoder approaches,* Eighth Workshop on Syntax, Semantics and Structure in Statistical Translation(2014)

이근화: nasalkh2@sejong.ac.kr

# 제주 연해에서 조석에 따른 주변 소음 변화

정인용[1], 민수홍[1], 팽동국[1†]

[1]제주대학교

# Ambient noise variation with tide in the coastal sea of Jeju Island

Inyong JEONG[1], Soohong MIN[1], Dong-Guk PAENG[1]

[1]Jeju National University

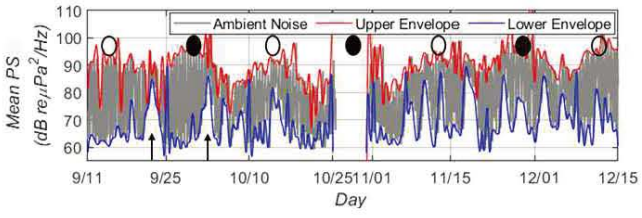
**중심어: 제주 연해, 수중 주변소음, 조석, 시간변화**

## 요약

최근 제주연안에 해양 풍력발전기와 파력 발전기 등 친환경 발전기들이 설치되고 있다. 발전기 설치 공사할 때나 운용할 때 수중소음 영향을 확인하기 위해서는 선행적으로 설치 전에 수중 주변소음레벨 측정이 이루어져야 한다. 수중소음은 계절과 관측시간 등 시간 변화가 크기에 장기간 측정과 분석이중요하다. 조석변화는 낮과 밤, 간조와 만조, 소조기와 대조기처럼 수 시간에서 수 일에 걸친 주기특성을 가지고 있으며 조류의 속도나 생물행동에도 변화를 준다.[1,2]

본 연구는 풍력, 파력발전기가 설치되는 제주 서부지역 수심 20 m 연해에서 3개월 동안 수중 청음기를 중층(10 m)에 계류하여 주변소음을 측정하였다. 측정 소음레벨에 영향을 미치는 기상정보는 측정 지점 근처 기상대와 관측소를 이용하여 자료를 수집하였다.

Fig. 1을 보면 조석에 의한 수중소음레벨의 변화로 100 Hz 이하의 저주파 대역에서 간조와 만조에 따라 30 dB 이상 변화를 보였다. 달의 위상변화에 따른 대조기와 소조기의 수중소음레벨 변화 또한 10 dB 정도 변화를 보이며 Fig. 2는 반일주조 특성이 뚜렷함을 보여준다. 수 kHz 이상의 고주파 대역에서는 밤의 소음레벨이 낮보다 5 dB 이내로 높은 경향을 보였고 해가 뜨고 지는 일출과 일몰 때 소음레벨 변화가 큰 것을 확인하였다.




Fig, 1. Ambient noise level with tide. Mean Power Spectrum (PS) over 25 ~100 Hz in hour with peak envelope smoothed by 6 hours. (○: Full moon, ●: New moon, ↑: Typhoon)

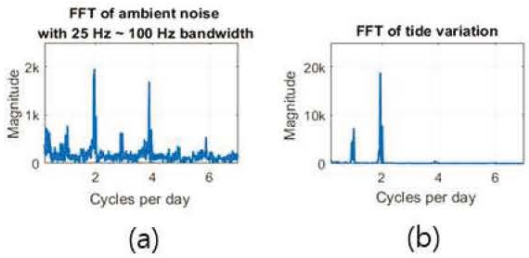



Fig. 2. (a) FFT of mean PS by hour in Fig. 1., (b) FFT of tide variation measured at the Moseulpo tidal station.

## 참고문헌

1. M. R. Willis, M. Broudic, C. Haywood, I. Masters, and S. Thomas, "Measuring underwater background noise in high tidal flow environments," Renewable Energy, 49, 255−258 (2013).

2. Craig A. Radford, Andrew G. Jeffs, Chris T. Tindle and John C. Montgomery, "Temporal patterns in ambient noise of biological origin from a shallow water temperate reef," Oecologia, 156, 921−929 (2008).

팽동국: paeng@jejunu.ac.kr

# 코드 진행을 통한 멀티트랙 환경의 자동 음악 생성

황서림[1], 박영철[1]
[1] 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부

# Automatic music generation of multitrack environments through chord progression
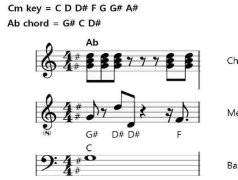
Seo-Rim HWANG[1], Young-Cheol PARK[1]
[1]Yonsei University

**중심어:** 음악 생성(Music generation), 코드 진행 생성(Chord-based generation), GAN(Generative Adversarial Network), BLSTM(Bidirectional Long Short term memory)

## 요약

본 논문은 코드의 흐름을 나타내는 코드 진행으로부터 멜로디와 베이스를 생성해냄으로써 멀티트랙 환경의 음악을 생성한다. 코드 진행은 음악 구조의 뼈대를 담당하며 멜로디와 베이스는 각 코드의 구성음과 밀접한 관계를 갖는다. 그림 1은 코드와 멜로디, 베이스 간의 관계를 사용하여 전처리한 데이터 셋의 일부를 나타낸 것인데 멜로디와 베이스가 코드의 근음이 가지는 스케일 내에서 연주됨을 확인할 수 있다. 기존의 음악 생성에 관한 연구는 단일 멜로디만 생성하거나[1] 멀티 트랙 환경에서는 적당한 길이의 음악을 만들지 못하였다. 제안하는 방법은 멜로디와 베이스를 각각 코드 데이터와의 연관성을 나타내는 숫자로 라벨링하여 모델 학습 시에도 해당 사항이 고려될 수 있게 하였으며 이를 통해 코드로부터 멜로디와 베이스를 생성하여 점진적으로 음악의 복잡도를 증가시켜 멀티 트랙 환경에서도 적당한 길이의 음악을 생성하였다.

본 논문에서는 적대적 생성 신경망(Generative Adversarial Network, GAN)을 기본 구조로, 음악이라는 시퀀스 데이터를 분석하는 데 적합한 순환신경망(Recurrent Neural Network, RNN)을 붙여서 코드 진행을 생성하는 RNN-GAN과 코드로부터 멜로디와 베이스를 생성하는 c-RNN-G AN(conditional-RNN-GAN)으로 생성 모델을 두 단계로 나누었다. 모델의 성능은 모델을 통해 생성된 음악과 훈련 데이터로 사용된 기존의 음악 간의 점수를 비교하여 평가하였다. 모델을 통해 생성된 음악은 기존의 음악과 평균적으로 유사한 점수를 보였으며 특정 항목에서는 기존의 음악보다 높은 성능을 보였다.




| Key | Chord | CR | CO |
|---|---|---|---|
| Cm | Ab | 0.5 | 2 |
| | Ab | 0.5 | 2 |
| | Ab | 0.5 | 2 |
| | Ab | 0.5 | 0 |
| | Ab | 0.5 | 0 |
| | Ab | 0.5 | 0 |
| | Ab | 0.5 | 2 |
| | Ab | 0.5 | 2 |

| MR | MO | ML |
|---|---|---|
| 0.5 | 2 | 1 |
| 0.5 | 0 | 0 |
| 0.5 | 3 | 3 |
| 0.5 | 2 | 3 |
| 1.25 | 0 | 0 |
| 0.75 | 2 | 5 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

| BR | BO | BL |
|---|---|---|
| 4 | 3 | 2 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 |

그림 1. 실제 사용된 데이터 셋

## 참고문헌

1. Wu, J., Hu, C., Wang, Y., Hu, X., and Zhu, J. A hierarchical recurrent neural network for symbolic melody generation. IEEE Transaction on Cybernetics, (2019).

2. Briot, J.-P., Hadjieres, G., and Pachet, F., “Deep Learning Techniques for Music Generation –A Survey.”, (2017).

황서림: allmindfine@yonsei.ac.kr

# 바이노럴 비트의 물리적 세기와 주관적 인식의 비교

김성찬[1], 최민주[1]
[1] 제주대학교

# THE SUBJECT PERCEPTION OF BINAURAL BEAT IN RELATION TO THE PHYSICAL SIGNAL STRENGTH

Seong Chan KIM[1], Minjoo CHOI[1]
[1]Jeju National University

**중심어:** 바이노럴 비트, 맥놀이, 주관적 인식, Semantic Differential Method(SDM)

## 요약

주파수가 약간 다른 소리를 양쪽 귀에 들려주었을 때, 뇌는 두 소리의 주파수 차이 해당하는 주파수로 맥놀이 현상을 감지한다. 청각 기관을 통해 감지된 바이노럴 비트는 맥놀이 주파수에 해당하는 뇌파로 공조한다[1],[2],[3]. 이러한 효과는 명상이나 치유 프로그램에서 바이노럴 비트가 특정 주파수의 뇌파를 활성화하기 위해 사용되는 근거가 된다[4],[5].

본 연구에서는 두신호로 생성되는 맥놀이와 바이노럴 비트의 상대적인 크기를 확인했다. 피실험자에게 기준이 되는 소리와 상대적 세기를 평가할 두 가지의 소리를 들려주고 평가했다. 실험에 사용된 소리는 음악에서 기준음으로 사용되는 주파수인 440 Hz를 기준으로 하여 10Hz의 주파수 차이를 가지는 두 순음이며, 두 신호를 물리적으로 합성하여 생선된 맥놀이 신호를 기준 소리로 제시했고, 또한 각각의 순음을 좌우 귀에 들려주어 바이노럴 비트를 유발하여 세기를 평가 했다.

실험 전 피 실험자에게 맥놀이와 바이노럴 비트에 대한 교육과 사전 청취를 진행하여 맥놀이 크기를 인지하도록 했다.

기준 소리는 60 dB 크기로 좌우귀, 좌측귀, 우측귀 순으로 이어폰을 통해 30 초 간 들려주었다. 그 후 상대적인 크기를 평가할 바이노럴 비트를 들려주었다.

두 소리의 상대적인 세기는 9점 척도로 (-4:아주 작음,

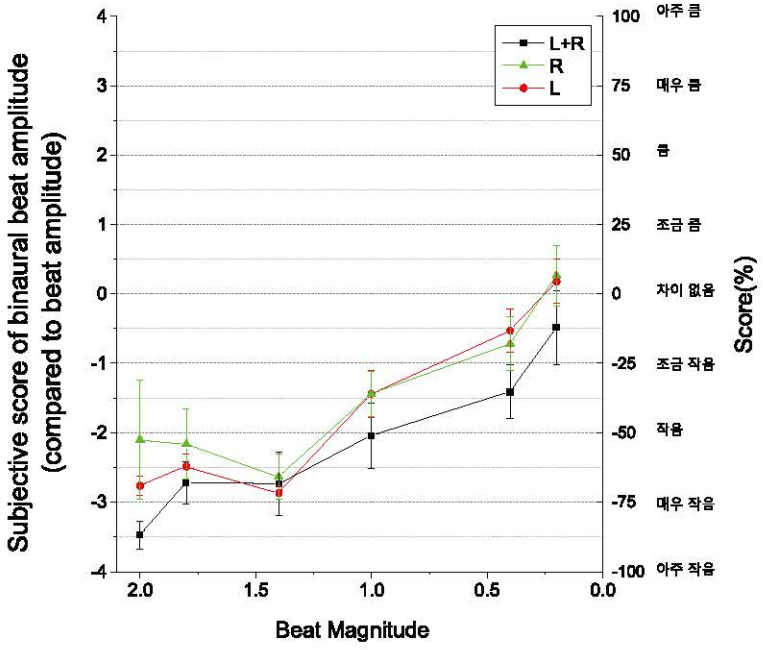



그림 1. 맥놀이의 물리적 세기에 대한 바이노럴 비트의 주관적 세기 평가

최민주: mjchoi@jejunu.ac.kr

0:차이 없음, 4:아주 큼) 구분된 scale을 통해 평가했다.

본 실험 결과 맥놀이의 물리적 크기가 줄어들수록 바이노럴 비트의 주관적 세기에 차이가 줄어들었다. 좌우 귀에 맥놀이를 들려주었을 때에 비해 좌측, 우측에 맥놀이를 따로 들려주었을 때 피 실험자가 느끼는 바이노럴 비트의 상대적인 크기 차이가 작은 것으로 확인됐다.

## 참고문헌

1. Stevens, Larry, et al. "Binaural beat induced theta EEG activity and hypnotic susceptibility: contradictory results and technical considerations." American Journal of Clinical Hypnosis 45.4 (2003): 295-309.

2. Gao, Xiang, et al. "Analysis of EEG activity in response to binaural beats with different frequencies." International Journal of Psychophysiology 94.3 (2014): 399-406.

3. Vernon, David, et al. "Tracking EEG changes in response to alpha and beta binaural beats." International Journal of Psychophysiology 93.1 (2014): 134-139.

4. Lavallee, Christina F., Stanley A. Koren, and Michael A. Persinger. "A quantitative electroencephalographic study of meditation and binaural beat entrainment." The Journal of Alternative and Complementary Medicine 17.4 (2011): 351-355.

5. Gupta, Anushka, Esther Ramdinmawii, and V. K. Mittal. "Significance of Alpha Brainwaves in Meditation examined from the study of Binaural Beats." 2016 International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC). IEEE, 2016.

최민주: mjchoi@jejunu.ac.kr

# 가상악기 음원의 수평 공간음향재생에 관한 비교 연구

고태현[1]
[1] 상명대학교 뮤직테크놀로지학과

# A COMPARATIVE STUDY ON THE REPRODUCTION OF HORIZONTAL SPATIAL AUDIO FROM VIRTUAL INSTRUMENT SOUND SOURCES

Taehyun Koh[1]
[1]Sangmyung University, Department of Music Technology

**중심어:** Spatial Audio, Multi Channel, HOA, VBAP, DBAP

## 요약

본 연구는 가상악기 음원을 수평축의 공간음향재생을 통해 음악에서의 음상제어 기술들의 적용가능성에 대해 비교해 보았다. 최근 실감콘텐츠의 발전에 따라 다양한 형태의 음상제어기술들이 콘텐츠에 접목되어지고 있으며 이를 음악에 접목하려는 다양한 시도[1] 또한 이루어지고 있다. 본 연구는 2·3차원 공간의 음상제어 기술인 High Order Ambisonics(HOA), Vector-Based Amplitude Panning(VBAP), Distance-Based Amplitude Panning(DBAP)의 비교에 관한연구[2]를 바탕으로 하며, 스윗스팟(Sweet Spot)을 중심으로 한 8개의 라우드 스피커를 각각 동일하게 1.5m의 거리와 45도의 간격으로 구성하여 음상을 재생하였다. 각 음상제어기술은 청취를 통한 주관평가로 실시하며 가상악기 음원들은 착색(Colouration), 확장(Extend), 이동의 연속성(Continuity of Moving)을 통해 비교를 진행하였다.

## 참고문헌

1. Marije A.J. Baalman. "Spatial Composition Techniques and Sound Spatialisation Technologies" (2010)
2. Dimitar Kostadinov, Joshua D. Reiss, Valeri Mladenov, "EVALUATION OF DISTANCE BASED AMPLITUDE PANNING FOR SPATIAL AUDIO ," (2010)

고태현 : kohtae88@gmail.com

# 온라인 화상 회의 시스템에 적용 가능한 음향 반향 제거기의 실시간 구현

최선호 [1], 박영철 [1]
[1] 연세대학교

# REAL-TIME IMPLEMENTATION OF AN ACOUSTIC ECHO CANCELLER APPLICABLE TO ONLINE VIDEO CONFERENCE SYSTEM

Seon-Ho CHOI[1] and Young-Cheol PARK[1]
[1]Yonsei University

**중심어:** 음향 반향 제거(Acoustic echo cancellation), 파티션 블록 주파수 영역 적응 필터(Partitioned block Frequency domain adaptive filter), 가변 수렴 상수(Variable step size), 잔여 반향 제거(Residual echo suppression)

## 요약

최근 비대면 재택근무, 온라인 수업을 위한 화상 회의 시스템의 수요가 증가하고 있다. 음성 통화 환경에서 스피커로부터 출력되는 음성 신호가 실내 공간을 거쳐 다시 마이크로 입력되어 발생하는 음향 반향은 통화 품질을 크게 저하하는 요인 중 하나이다. 사용자 간 통화 품질에 영향을 미치고, 시스템의 불안정성을 높일 수 있는 음향 반향을 제거하기 위해 적응 필터를 이용한 음향 반향 제거(Acoustic Echo Cancellation, AEC) 알고리즘을 실시간으로 구현하였다.

제안된 음향 반향 제거기는 적은 계산량과 시간 지연을 가지는 파티션 블록 주파수 영역 적응 필터(Partitioned Block Frequency Domain Adaptive Filter, PBFDAF)를 기반으로 구현하였다[1]. 또한 단순히 음향 반향을 제거만 하는 것이 아니라, 원단 화자와 근단 화자가 동시에 발성하는 동시 통화 상황에 맞춰 수렴 상수를 조절하여 필터의 안정적인 수렴을 보장할 수 있는 가변 수렴 상수 기법(Variable Step Size, VSS)을 적용하였다. 사용하는 적응 알고리즘이 반향 경로를 정확히 추정하지 못해 발생하는 잔여 반향 신호 또한 대부분의 경우 사용자가 인식 가능할 정도로 크게 남게 되어 통화 품질에 여전히 영향을 미치게 된다. 이러한 잔여 반향 신호를 MMSE-LSA(Minimum Mean Square Error Log-Spectral Amplitude) 기반의 잔여 반향 신호 제거(Residual Echo Suppression, RES) 알고리즘을 통해 잔여 반향 신호를 효과적으로 제거하고 근단 화자의 음성을 강화할 수 있는 잔여 음향 반향 제거기를 구현하였다[2].

## 참고문헌

1. J. P. Borrallo and M. G. Otero, "On the implementation of a partitioned block frequency domain adaptive filter (PBFDAF) for long acoustic echo cancellation," Signal Processing, vol. 27, pp. 301–315, (1992)

2. Y. Ephraim and D. Malah, "Speech enhancement using a minimum mean-square error-log-spectral amplitude estimator," IEEE Trans. Acoust., vol. 33, no. 2, pp. 443–445, (1985)

박영철: young00@yonsei.ac.kr

# Gabor CNN 및 주목 메커니즘 기반의 음성감정인식

이기용[1], 김형국[1]
[1] 광운대학교

# VOICE EMOTION RECOGNITION BASED ON GABOR CNN AND ATTENTION MECHANISM

Gi yong Lee[1], Hyoung-Gook Kim[1]
[1]Kwang Woon University

**중심어:** 음성인식, 감정인식, 주목 메커니즘, Gabor CNN

## 요약

최근 센싱 기술과 인공지능 기술의 발달로 인해 인간의 감정 상태를 파악 가능한 기술들이 개발되고 있으며 그 중 음성 정보 기반의 감정 인식은 음성 데이터 수집의 용이함으로 인해 많은 연구들이 진행되고 있다. 이에 본 논문에서는 주목 메커니즘을 적용한 음성감정인식 방식을 제안한다.

제안하는 방식은 로그 멜 스펙트로그램 추출, GCNN(Gabor CNN)[1]레이어, GRU(Gated Recurrent unit)레이어로 구성된 특징 값 추출 모듈과 컨벌루션 레이어, FC(Fully-Connected)레이어로 구성된 주목 메커니즘 모듈, 그리고 FC 레이어로 구성된 분류 모듈로 이루어져 있다. 특징 값 추출 모듈에서는 음성의 스펙트로그램에 포함된 감정에 따른 특징적인 패턴을 효과적으로 모델링 하기 위해 컨벌루션 필터를 tuned Gabor 필터로 사용하는 GCNN 을 사용하며 주목 메커니즘 모듈에서는 음성 신호에서 감정 정보가 많이 포함된 부분에 대한 가중치를 계산하여 더욱 효과적인 감정 인식이 가능하도록 한다.

표 1 은 분노, 혐오감, 공포, 행복, 슬픔, 놀라움의 6 가지 감정에 대한 본 논문의 실험결과를 나타낸다. 제안하는 방식인 GCNN-GRU-DNN 에 주목 메커니즘을 적용한 구조의 인식률이 85.35%로 비교한 방식들 중 가장 뛰어난 인식률을 보였다.

Table 1. Experimental results of voice emotion recognition

| Method | Accuracy |
|---|---|
| Log-Mel Energy + GCNN-GRU-DNN | 79.76 % |
| RNN-weighted pool with attention [2] | 81.62 % |
| Log-Mel Energy + GCNN-GRU-DNN + Attention mechanism | 85.35 % |

## 감사의 글

본 논문은 2018 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2018R1D1A1B07041783). 그리고 2020 년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음

## 참고문헌

1. Luan, Shangzhen, et al. "Gabor convolutional networks." *IEEE Transactions on Image Processing*, 27.9, pp.4357-4366 (2018)

2. Mirsamadi, S., Barsoum, E., & Zhang, C. "Automatic speech emotion recognition using recurrent neural networks with local attention." *2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 2227-2231 (2017)

김형국: hkim@kw.ac.kr

# 실내 위험 상황 인식을 위한 병렬 CNN 기반의 사운드 이벤트 검출

신승수 [1], 김민수 [1], 김형국 [1]
[1] 광운대학교

# PARALLEL CNN-BASED SOUND EVENT DETECTION FOR INDOOR EMERGENCY AWARENESS

Seung-Su SHIN[1], Min Soo KIM[1], and Hyoung-Gook KIM[1]
[1]KwangWoon University

**중심어:** 실내 위험 상황 인식, CNN, 사운드 이벤트 검출

## 요약

최근 사람과 환경을 모니터링 하는데 사용되는 기술이 크게 발전하여 다양한 분야에 적용되고 있다. 그 중 보호가 필요한 장애인, 노약자, 어린이를 위한 모니터링 시스템은 비상시 중요한 기능을 수행할 수 있기 때문에 이에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 실내 모니터링을 위해 실내 환경에서 발생할 수 있는 여러 가지 상황의 소리를 검출하고 위험 상황을 판단하는 방식에 대해 제안한다.

먼저, 제안하는 방식은 1 차원 소리 신호를 사람의 청각 시스템을 반영한 2 차원 멜 스펙트로그램으로 변환한다. 그리고 변환된 2 차원 멜 스펙트로그램은 병렬 CNN 을 통해 분류된다. 이때, 병렬 CNN 은 합성곱 필터와 맥스 풀링의 매개 변수 크기를 다르게 병렬로 구성함으로써 각 합성 곱 필터에서 소리 신호의 시간축의 특징, 주파수의 특징을 각각 추출할 수 있다.

실험에서 사용한 데이터는 19 개 상황 범주로 구분되며 각 소리 파일은 16 kHz, 16 bit, 1 초 길이로 구성된다. 실험은 19 개 범주를 각각 분류하는 실험을 수행한 후 비명 소리, 유리 깨지는 소리, 접시 및 물건 떨어지는 소리, 비상 알람 소리인 5 가지 상황를 위험 상황으로 분류하고 나머지 상황을 일반 상황으로 분류하여 2 개의 클래스로 구분하는 실험을 진행하였다. 실험 결과는 병렬 CNN 과 CNN 을 비교하였으며 19 개 상황 범주를 분류하는 실험에서 병렬 CNN 은 85.18%, CNN 은 81.42%로 병렬 CNN 의 결과가 더 높게 나타났다. 또한, 2 개 클래스로 분류하는 실험에서 병렬 CNN 은 87.14%의 정확도를 보여주었다. 이때, 위험 상황을 일반 상황으로 인식하는 오류는 발생하지 않았으며 모든 오류들은 일반 상황을 위험 상황으로 인식하는 오류였다. 따라서, 제안하는 방식은 실내 위험 상황을 100% 인식할 수 있는 성능을 보여준다.

## 감사의 글

본 논문은 2018 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2018R1D1A1B07041783).

## 참고문헌

1. J. Wang, Z. Zhang, B. Li, S. Lee, and R. S. Sherratt, "An enhanced fall detection system for elderly person monitoring using consumer home networks," IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 60 , no. 1 , pp. 23–29, 2014.
2. D. Chong, Y. Zou, and W. Wang "Multi-channel Convolutional Neural Networks with Multi-level Feature Fusion for Environmental Sound Classification," 25th International Conference MMM 2019, 2019.

책임저자의 성명 및 email 주소 기입(예: 하강렬: hakl@pknu.ac.kr)

# 이벤트기반 후처리를 통한 음향 이벤트 검출 성능 향상 연구

신승현 [1], 이석진 [1],
[1] 경북대학교 전자전기공학부

# A study on the enhancement of sound event detection based on event-based post-processing

Seunghyeon SHIN[1], Seokjin LEE[1]
[1] Kyoungpook National University School of Electronic and Electrical Engineering

**중심어:** 음향이벤트검출, 음향인식, 기계학습, 이벤트기반후처리

## 요약

최근의 음향 이벤트 검출은 기계학습을 적용되어 훈련샘플을 사용하여 분류기를 학습시켜 패턴인식을 수행한다. 이후 학습된 분류기는 각 이벤트의 확률을 결과로 도출한다. 이후 도출한 결과를 후처리를 통해 이진화를 함으로서 이벤트 검출을 하기 때문에, 적절한 후처리를 통한 이진화는 음향 이벤트 검출 성능에 중요한 영향을 끼친다.

기존의 데이터 후처리는 프레임 단위로 일괄적인 후처리를 통하여 이진화를 하기 때문에, 이벤트의 특성을 충분하게 반영하지 못하였다. 기존의 프레임 단위 후처리는 아래와 같이 분류기에서 도출한 확률값을 $P_c[n]$, 프레임 번호를 n, 문턱값을 $\tau_c$ 라 하였을 때의 검출 결과 $e_c[n]$은 아래와 같다.

$$e_c[n] = \begin{cases} 0, & if\ P_c[n] \le \tau_c \\ 1, & if\ P_c[n] > \tau_c \end{cases} \quad (1)$$

본 논문에서 제안하는 이벤트 단위의 데이터 후처리는 다음과 같이 k 번째 이벤트의 대표값 $m_c[k]$ 을 설정하여 각 이벤트 단위로 후처리를 진행한다.

$$e_{p.c}[n] = \begin{cases} 0, & if\ m_c[k_n] \le \tau_c \\ 1, & if\ m_c[k_n] > \tau_c \end{cases} \quad (2)$$

위와 같이 기존의 프레임 단위의 후처리가 아닌 이벤트 단위로 후처리를 하여, 각 이벤트의 특성에 적합한 이진화를 하여 성능을 향상시키는 것을 목표로 하였다. 본 연구의 음향 인식 성능 향상 검증은 DCASE(Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events) 2020 Task4 의 Baseline model[1] 및 Dataset[2]을 사용하여 진행하였다. 문턱값 및 중간값 필터를 이벤트 단위로 적용하여 기존의 프레임 단위 후처리를 적용한 것과 결과를 비교하였으며 성능 평가 지표로는 F-score[3]을 사용하였다. 본 논문에서 제안한 이벤트 기반 데이터 후처리를 적용한 결과를 표[1]과 같이 얻었다.

이석진 : sjlee6@knu.ac.kr

| Post processing method \ Evaluation Metric | | Macro F-score Event based | Micro F-score Event-based | Macro F-score Segment-based | Micro F-score Segment-based |
|---|---|---|---|---|---|
| Framewise single-thresholding (Baseline) | Framewise medianfilter (Baseline) | 34.58% | 38.09% | 66.54% | 71.46% |
| Classwise single-thresholding | Framewise medianfilter | 36.14% | 39.03% | 67.33% | 71.85% |
| Classwise single-thresholding | Classwise medianfilter | 39.29% | 40.16% | 67.69% | 71.93% |
| Classwise double-thresholding | Framewise medianfilter | 37.04% | 39.91% | 66.59% | 70.68% |
| Classwise double-thresholding | Classwise medianfilter | 39.72% | 41.05% | 66.90% | 70.84% |

**표 1 실험 결과(F-score)**

실험한 후처리 방법중 가장 우수한 성능을 나타낸 것은 이벤트단위로 이중 문턱값 및 중간값 필터를 적용한 경우이며, Macro F-score Event-based 기준으로 Baseline 의 Framewise postprocessing 의 34.58%에서 39.72%로 향상되어 성능이 가장 우수하였다. 기존의 프레임 단위 후처리보다 이벤트 단위의 후처리 성능을 한 경우 모든 경우에서 성능이 개선되었음을 알 수 있다.

본 논문에서는 기계학습 기반의 음향 이벤트 검출 성능 향상을 위한 데이터 후처리 기법에 대하여 연구하였으며, 기존의 프레임 단위가 아닌 이벤트 단위로 데이터 후처리를 하여 이진화하는 방법을 제안하였다. 제안한 방식을 검증하기 위하여 기존의 방식과 비교 평가를 진행하였으며, 그 결과 유의미한 성능 향상이 있다는 것을 확인하였다.

## 참고문헌

1. Nicolas Turpault, Romain Serizel, Ankit Parag Shah, Justin Salamon,"Sound event detection in domestic environments with weakly labeled data and soundscape synthesis," Proceedings of the Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events 2019 Workshop, pages 253–257, 2019

2. Nicolas Turpault, Romain Serizel,"Training Sound Event Detection On A Heterogeneous Dataset" Proceedings of the Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events 2020 Workshop, 2020

3. A. Mesaros, T. Heittola, & T. Virtanen, "Metrics for polyphonic sound event detection", Applied Sciences, 6(6):162, 2016

이석진 : sjlee6@knu.ac.kr

# 합성곱 신경망 기반 실시간 실내 환경음 인지 시스템 개발

이대호[1], 김민한[1] , 이석진[1]
[1] 경북대학교 전자전기공학부

# Development of a real-time sound recognition system of indoor environmental acoustic signals based on the convolutional neural networks

Dae-Ho LEE[1], Min-Han KIM[1], Seokjin Lee[1]
[1]Kyoungpook National University School of Electronic and Electrical Engineering

**중심어:** 음향환경인지, 상황 인지, 합성곱 신경망

## 요약

환경음 인지란 특정한 환경에서 발생한 음향 신호를 통해 특정 장소를 인지하는 것을 말한다. 최근 IoT 제품이 발전함에 따라 환경음 인지와 함께 실내 환경에서 발생하는 특정 소리로 어떤 사건이 발생하는지 분류하는 상황 인지(scene classification)에 대한 연구 또한 활발히 이루어지고 있다. 특히, 기계 학습 개발 속도가 증가함에 따라 인지 기술 또한 합성곱 신경망을 기반으로 한 상황 인지의 연구가 널리 진행되고 있다. 하지만 실제 환경의 잡음과 환경 변수가 고려되지 않은 합성곱 신경망을 기반으로 한 상황 인지 기술의 모의실험 결과를 실제 환경에 적용한다면, 실험자의 의도와 다른 결과를 초래할 수 있다.

본 시스템은 이러한 실제 환경의 변수를 고려하기 위해 스피커를 통해 방사한 음원을 마이크로 수음한 신호를 합성곱 신경망 기반 학습된 모델로 평가하였으며, 시스템 상에서의 음원의 소리 레벨과 스피커를 통해 방사 된 음원을 수음한 소리 레벨을 비교하여 동일한 소리 레벨로 맞춰 주어 결과의 차이를 극복하기 위한 시도를 하였다. 총 두 가지 방법을 사용하였으며, 첫 번째는 스피커를 통해 방사되는 음원의 소리 레벨을 높여준 후 녹음을 한 신호로 평가를 진행하였다. 두 번째로는 수음된 음원의 소리 레벨을 높여준 후 평가를 진행하였다.

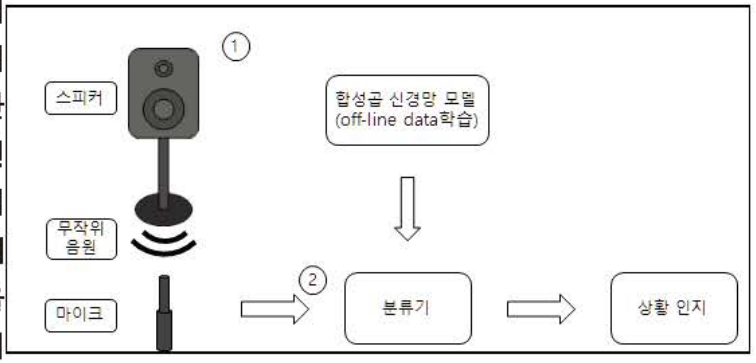



그림 1 실시간 실내 환경음 인지 시스템 다이어그램

구현된 시스템을 평가하기 위해 DCASE(Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events) 2018 Task5[1]의 Development dataset을 사용하여 실험을 진행하였다. 본 실험에서는 Mel-spectrogram을 이용하여 특징을 추출하였으며, 320의 hop-size를 가지는 1024 샘플 길이의

이석진 : sjlee6@knu.ac.kr

윈도우를 이용하여 40개의 mel-band에 대한 값을 추출하였다.

신경망 구조는 T. Inoue et al. [2]의 CNN(Convolutional Neural Network) 구조와 동일하게 구성하였으며, 그 구조는 표1과 같다. 모델 학습 과정에서는 ADAM optimizer를 사용했고, learning rate은 0.0001, 그리고 batch size 는 256으로 설정하였다. 성능 평가 지수로는 F1-score를 사용하였다.

| Layer | Output size |
|---|---|
| Input | 40 × 501 × 1 |
| Conv(7 × 1, 64) + BN + ReLU | 40 × 501 × 64 |
| Max pooling(4 × 1) + Dropout(0.2) | 10 × 501 × 64 |
| Conv(10 × 1, 128) + BN + ReLU | 1 × 501 × 128 |
| Conv(1 × 7, 256) + BN + ReLU | 1 × 501 × 256 |
| Global max pooling + Dropout(0.5) | 256 |
| Dense | 128 |
| Softmax output | 9 |

표 1 CNN 구조

실험 결과는 그림 2에 나타내었다. 실험은 합성곱 신경망 기반 학습된 음원 중 각 항목별 무작위 10개의 음원을 뽑아 진행되었으며, 실시간 상황 인지 실험의 결과는 무작위로 뽑은 음원의 인지 정확도로 평가했다. 항목은 총 9개이며, 그림 2 아래에 적혀있다. 파란 막대의 offline은 시스템 내부적으로 평가한 F1-score이고, 나머지 세 막대는 실시간 상황 인지 실험 결과이다. 주황 막대는 작은 소리 레벨로 평가하였고, 회색 막대는 스피커의 소리 레벨을 증가 시킨 후 평가하였으며, 노란 막대는 마이크로 수음한 신호의 소리 레벨을 증가 시켜 평가한 값이다. 모의실험 결과와 다르게 실시간 상황 인지 실험에서는 dishwashing, eating,

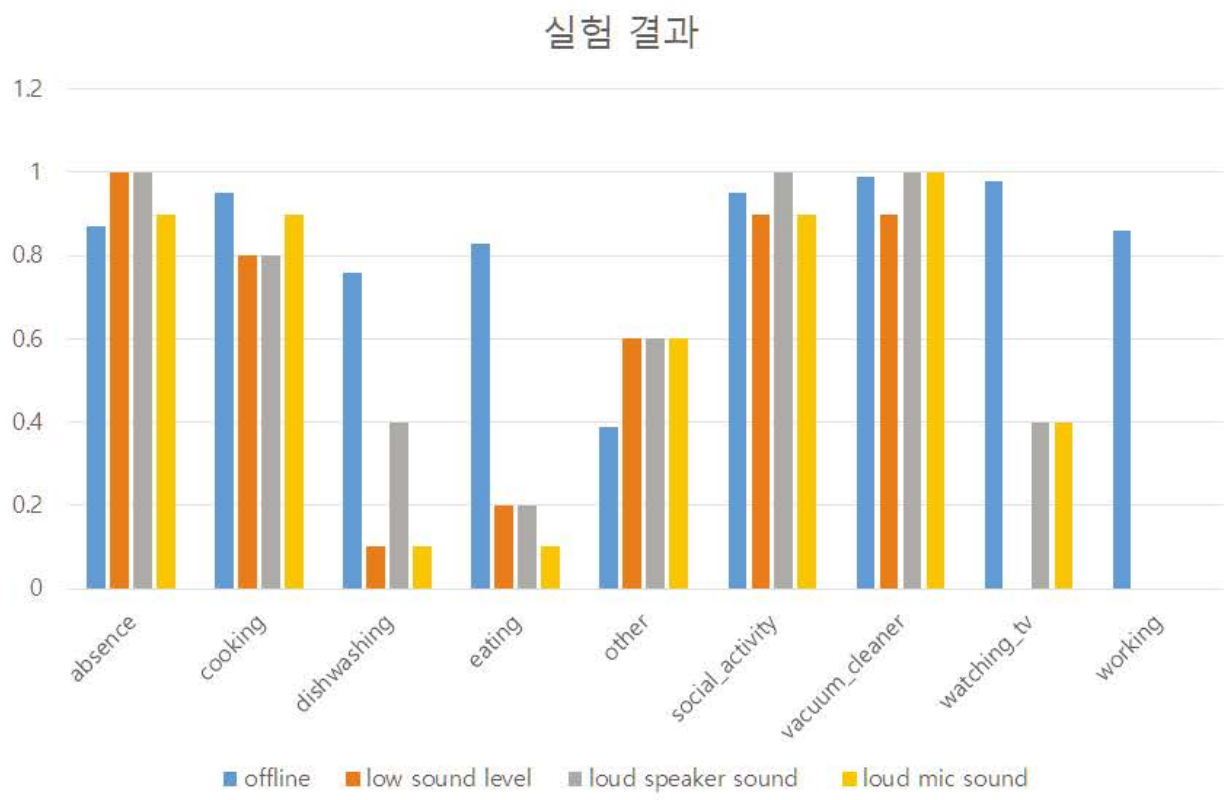



그림 2 실험 결과(F1-score)

이석진 : sjlee6@knu.ac.kr

watching tv, working 항목에서 0~20%의 정확도를 보였으나, 소리 레벨을 높여준 결과 dishwashing과 watching tv 항목에서 3~40%정도의 유의미한 성능 향상을 보였으며, 소리 레벨이 상황 인지에 영향을 미치는 요인으로 확인되었다. 성능 향상이 보이지 않은 다른 항목들에 대한 개선 방향으로 실내 전달함수 특성을 반영하여 본 음원 신호의 특성과 유사하게 신호 처리하여 실험해볼 계획이다.

## 참고문헌

1. http://dcase.community/challenge2018/task-monitoring-domestic-activities-results(accessed March 29, 2019)
2. Tadanobu Inoue, "DOMESTIC ACTIVITIES CLASSIFICATION BASED ON CNN USING SHUFFLING AND MIXING DATA AUGMENTATION" Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events 2018 (2018)

이석진 : sjlee6@knu.ac.kr

# 사운드의 사회 위상학

박상준 [1], 박지수 [2], 이상빈 [3]
[1] 가톨릭대학교, [2] 세종사이버대학교, [3] 작곡가

# TOPOLOGY OF SOUND IN SOCIETY

Sangjun PARK[1], Jisoo PARK[2], Sangbin LEE[3]
[1] Catholic University of Korea, [2]Sejong Cyber University, [3]Composer

**중심어:** 음악의 사회성, 헬무트 락헨만, 신경미학, 기능적 자기공명영상

## 요약

본 연구는 음악이 지닌 사회적 특성에 주목하며 시작되었다. 복잡하고 다변화된 그리고 비 추상적인 정보들과 담론이 오가는 21세기에는 기존 음악을 분석하는 데 쓰인 개념들(음고, 화성, 음색)에 천착하는 것은 새로운 통찰을 얻기 어렵다. 이제는 우리가 듣는 것들에 대한 새로운 관점을 도입해야 할 때다. 고전적인 관점의 대안으로 본 논문에서 이론적인 접근과 실험적인 접근을 제시한다. 먼저 이론적인 접근에서는 음악의 사회성을 적극적으로 관찰하고 도입하는 작곡가를 조사해서 작품을 연구하고 인터뷰해서 새로운 연구 방법론을 제안한다. 실험적인 접근에서는 음악과 인간의 관계를 신경미학으로 접근해 과학적인 실험과 데이터를 통해 둘 사이의 관계 모델을 제시한다.

우리는 음악을 듣거나 소리를 듣는다. 우리는 생각보다 의외로 많이, 청취 활동을 통해서 우리가 살았던 시대를 기록하거나, 특정 사건을 기억하고, 당시의 감정을 회상한다. 이제 아직 질문되지 않은 음악적 보고인 이 영역을 연구해야 할 때이다. 그러면 음악 재료의 혁신과 메시지를 전달하는 특성이 강해질 것이다. 우선 창작자부터 음악의 재료, 결합 방법, 그에 따른 화학 작용 같은 현상들을 다른 시선에서 바라보고 연구되지 않은 지점이 무엇인지 찾아낼 필요가 있다. 음악의 사회성이라는 테마는 몇 가지 범주로 나누어 연구할 수 있다. 첫 번째는 사운드를 들었을 때 우리가 불러올 수 있는 구체적인 기억, 사건, 감정과 그 의미에 관한 것이고, 두 번째는 청취의 물리적, 심리적 조건 및 환경에 관한 연구이며, 세 번째는 사운드가 유도하는 인지 변화와 생각의 전환에 관한 것이다.

새로운 음악적 면모의 탐구는 악기의 역할 변화와 발명에도 영향을 끼치게 된다. 20세기 후반 독일 작곡가 헬무트 락헨만(Helmut Lachenmann)은 특수 음향과 주법을 조합해 청취자의 기억 속에서의 새로운 재맥락화를 추구했다[1, 2]. 또한 악기의 새로운 면모를 찾으려는 많은 시도들이 있었으며, 그 결과로 등장한 새로운 악기 덕분에 음악은 새로운 통찰과 계기를 맞았다. 베토벤도 새롭게 등장한 피아노 제작 기술로 인해 창작에 큰 전환기를 맞았다고 알려져 있다.

본 연구는 20세기 후반 음악 미학적인 진보를 확인한다. 이를 위해 본 연구에서는 음악의 사회성을 적극적으로 환기하는 작곡가를 조사해서 작품을 연구하고 직접 인터뷰를 진행한다. 인터뷰할 작곡가는 독일 슈투트가르트에서 활동하면서 정치적, 사회적 의미를 드러내는 과정에 집중하는 이의경과 다양한 미디어를 이용한 표현 방식에 주목하는 UC Santa Barbara 교수이자 전자음악 작곡가인 조안 쿠체라-모린(JoAnn Kuchera-Morin)이다. 또한 악기에 대한 전면적인 연구를 통해 악기론적 잠재력을 극한으로 끌어올린 음악을 만들고 있는 손세민 작곡가와 인터뷰하고, 악기 실험의 구체적인 방법론을 탐구한다. 본 연구팀은 사운드를 넘어선 다양한 방식의 미디어를 이용해 탐구하는 박승순, 전

박상준: cygnus30@hanmail.net

형산, 김윤철, 이완 작가를 인터뷰했다. 이처럼 세 명의 작곡가와 네 명의 미디어 작가와의 인터뷰를 통해 창작의 방법론을 확인하고, 음악의 사회성을 연구하기 위한 새로운 방법론을 찾는다. 이 방법론을 이용해 동시대 한국 실험음악에서 사회성을 확보하기 위한 연구, 작곡, 전시, 공연, 퍼포먼스 등을 수행한다. 미디어아티스트 박지수와 물리학자 박상준은 2019년과 2020년 <서울 공간 예술 심포지엄>에서 "위상학" 연구 작품을 통해 2년에 걸쳐 연구, 실험, 전시 작업을 수행했다[3]. 또한 작곡가 이상빈은 세대 간의 이야기를 바라보는 사회적 맥락을 담은 <Polyphony Z>를 작곡했으며, 이 곡은 2020년 5월 신촌극장에서 초연되었다[4].

두 번째로 사운드의 사회성을 신경미학 관점에서 실험을 통해 규명한다. 최근 신경미학 연구들이 축적되면서, 예술 감상 시에 뇌가 어떻게 반응하는지를 측정하는 방법론이 단단한 기반 위에 서게 되었다. 특히 2019년에 발표된 논문에 따르면, 외부를 인식하는 뇌의 네트워크와 자신을 성찰하는 네트워크가 동시에 활성화될 때 예술적인 감동을 느낀다는 점이 확인되었다[5]. 또한 이 네트워크가 사회 인지와 관련된다는 연구 결과도 보고되었기 때문에, 음악의 사회성을 과학적으로 연구할 수 있는 기반이 확보되었다[6, 7, 8, 9]. 음악의 사회성을 신경미학으로 접근해 실험하고 과학적인 모델을 제안한다. 음악을 혼자 들을 때와 집단 속에서 함께 들을 때 우리는 두 경험이 다르다는 것을 알고 있다. 두 경험이 어떻게 다르며, 뇌에서 어떤 반응이 있는지를 기능적 자기공명영상(fMRI) 같은 뇌 측정 장비를 이용해 데이터를 얻어서 비교 분석한다.

본 연구는 음악의 사회성을 인문학적, 매체적, 과학적으로 접근해 이 질문을 연구하는 질문과 방법론을 제안한다. 사운드가 사회적 맥락과 함께 할 수 있는 부분을 실험하면서, 사운드가 사회에 줄 수 있는 메시지를 예술 현장에서 실험하고 다시 사회에 환원한다.

# 참고문헌

1. 서정은, "헬무트 락헨만의 '기악적 구체음악'(musique concrète instrumentale)과 그 음악사적·미학적 해석," 《서양음악학》, 11, pp.67-116 (2008)

2. 서정은, "보이는 소리, 보이지 않는 소리: 헬무트 락헨만의 기악구체음악에 대한 탈어쿠스마틱(dis-acousmatic) 해석," 《음악논단》, 40, pp.105-141 (2018)

3. 박지수, 박상준, "다면체의 위상학(Topology of polytopes): 크세나키스에 대한 경의(Homage à Xenekis)," 《2019 서울 공간 예술 심포지엄 자료집》, (2020 년 출간 예정)

4. 이상빈, <Polypony Z> (2020 년 5 월 신촌극장 초연)

5. E.A. Vessel, A.I. Isik, A.M. Belfi, J.L. Stahl, G. G. Starr, "The default-mode network represents aesthetic appeal that generalizes across visual domains," *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 116, pp.19155-19164 (2019)

6. M. Schurz, L. Maliske, P. Kanske, "Cross-network interactions in social cognition: A review of findings on task related brain activation and connectivity," *Cortex*, 130, pp. 142-157 (2020)

7. E. Pearce, J. Launay, R.I.M. Dunbar, "The ice-breaker effect: singing mediates fast social bonding," *R. Soc. Open. Sci.*, 2:150221 (2015)

8. D. Weinstein, J. Launay, E. Pearce, R.I.M. Dunbar, L. Stewart, "Singing and social bonding: changes in connectivity and pain threshold as a function of group size," *Evol. Hum. Behav.*, 37, pp.152-158 (2016)

9. D. Bzdok, R.I.M. Dunbar, "The Neurobiology of Social Distance," *Trends. Cogn. Sci.*, 24, pp.717-733 (2020)

박상준: cygnus30@hanmail.net

# 노래 부르기가 만성 폐쇄성 폐질환 환자(COPD)에 미치는 영향 : 체계적 고찰 및 메타분석

김성애

숙명여자대학교 음악치료대학원

# THE EFFECTIVENESS OF SINGING FOR PATIENTS WITH CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE(COPD) : SYSTEMATIC REVIEW AND META ANALYSIS

KIM SUNG AE[1]

Sookmyung Women's University, Graduate school of Music Therapy[1]

**중심어:** *Chronic obstructive pulmonary disease, singing, systematic literature review, meta-analysis*

## 요 약

This study was intended to provide useful information for clinical and research through systematic literature review and meta-analysis to confirm the effect of singing as a lung rehabilitation program of chronic obstructive pulmonary disease (COPD). The literature was retrieved from the PubMed, CINAHL, Web of Science, PsyInfo, Embase, and Cochrane Library databases and scoped to journals published in English between 2000 and 2020. Search keywords in "singing"" or "choir" or "Music" or music therapy" and "Lung Diseases" or "Lung Diseases" or "Pulmonary Disease" or "Chronic Obstructive" "Chronic Obstructive Pulmonary Disease" or "Chronic Pulmonary Emphysema" were used.

The final four studies included in this study, were all randomized controlled trials, with a frequency of song interventions 1-2 times a week over 6 to 24 weeks. The singing program was 60 minutes long and showed that it consisted of relaxation exercises, breath exercises, vocal exercises, and singing. The main results for health-related quality of life were found in 2 studies, and the depression-related results were confirmed in 3 studies, respectively. The main results of shortness of breath were confirmed in one study using the Basal Difficulty Index (BDI). Singing has been found to help maintain lung rehabilitation in an efficient and sustainable manner, has been linked to the patient's disease-related quality of life, disease-related depression, and has a positive effect on physical experience.

This study has significance in analyzing the effect of singing for chronic obstructive pulmonary disease based on foreign literature and suggesting its applicability in the field of respiratory rehabilitation.

# 참고문헌

[1] Bonilha, A. G., Onofre, F., Vieira, M. L., Prado, M. Y. A., & Martinez, J. A. B.(2009). Effects of singing classes on pulmonary function and quality of life of COPD patients. International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease, 4, 1–8.

[2] Lord, V. M., Cave, P., Hume, V. J., Flude, E. J., Evans, A., Kelly, J. L., ... & Hopkinson, N. S.(2010). Singing teaching as therapy for chronic respiratory disease-a randomised controlled trial and qualitative evaluation. BMC Pulmonary Medicine, 10(1), 41.

[3]Lord, V. M., Hume, V. J., Kelly, J. L., Cave, P., Silver, J., Waldman, M., ... & Man, W. D.(2012). Singing classes for chronic obstructive pulmonary disease: a randomized controlled trial. BMC Pulmonary Medicine, 12(1), 1-7.

[4] Liu, H., Song, M., Zhai, Z. H., Shi, R. J., & Zhou, X. L.(2019). Group singing improves depression and life quality in patients with stable COPD: a randomized community-based trial in China. Quality of Life Research, *28*(3), 725-735.

김성애: mtksa@sookmyung.ac.kr

# 언어 능력 향상을 위한 리듬 프로그램 리뷰

오은지 [1], 이경면 [2]
[1] 서울대학교, [2] 카이스트

# REVIEW OF RHYTHM PROGRAMS FOR THE ENHANCEMENT OF LITERACY SKILLS

Eun-ji OH[1], and Kyung-myun LEE[2]
[1] Seoul National University, [2] KAIST

**중심어:** 음악과 언어, 리듬, 신경과학, 인지과학, 음악교육

## 요약

최근 신경과학 연구에 따르면 음악과 언어의 리듬적 요소는 뇌의 공통된 신경 기제를 바탕으로 처리되며[1], 음악적인 리듬 훈련은 언어의 리듬 처리에도 도움이 될 수 있다고 한다.[2] 이를 과학적으로 규명하기 위해 음악 교육과 언어 능력의 상관 관계에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있으며, 특히 최근에는 음악 교육 전과 후에 나타나는 언어 능력의 차이를 통해 음악 중재(intervention) 프로그램이 언어 능력 향상에 어떤 영향을 미치는가를 분석한 논문들이 발표되고 있다. 본 연구에서는 이러한 논문들의 리뷰를 통해 구체적으로 음악 프로그램의 어떤 요소들이 언어 능력 향상에 기여하는지 알아보았다. 살펴본 프로그램은 크게 두 가지 종류로, 통합적 음악 훈련 프로그램과 리듬 혹은 음높이 중심으로 진행된 음악 프로그램으로 구분되었다.

통합적 음악 훈련 프로그램은 교육 기관에서 진행할 수 있는 일반적인 수업의 형태로 나타났으며, 노래하기, 음악에 맞추어 움직이기, 다양한 악기 연주하기, 음악 감상하기 등 전반적으로 음악 능력에 도움을 주는 훈련으로 구성되었다. 영어, 핀란드어, 유럽 포르투갈어를 대상으로 한 이 연구들은[3][4][5] 훈련 이후 어휘 능력, 음운 인식 능력이 향상되는 결과가 나타났다. 음운 인식 능력은 읽고 쓰는 능력을 예측할 수 있는 제 1 의 예측변수로서 언어의 리듬과 관련된 것으로 알려져 있다.

리듬 중점 프로그램은[6][7] 음악적인 리듬 훈련을 통해 음운 인식 능력을 발달시키고자 설계한 연구로 구성되었다. 프로그램은 말의 리듬적 요소를 강조하여 노래로 학습하기, 음악의 박자에 맞추어 박수치기, 두 개의 리듬을 듣고 구별하는 활동 등으로 실시되었으며 훈련 결과, 음운 인식 능력, 읽기 능력이 향상되었다. 반면, 음높이 중심으로 진행된 프로그램은 언어의 억양이 음고와 유사하다는 사실을 바탕으로 피아노 교육 혹은 두 개의 선율을 듣고 구별하기 등을 통해 언어 능력을 향상시키고자 하였으며, 특히 성조 언어인 중국어의 발달에 매우 효과적인 것으로 나타났다.[8] 음높이 중점 프로그램을 리듬 훈련 프로그램과 비교한 연구에서[9] 음높이 훈련이 더 효과적인 것으로 나타났으나 이는 후속 연구를 통해 더 논의되어야 할 것으로 보인다.

본 연구에서 살펴본 다양한 음악 프로그램들을 종합해보면, 음악 중재는 만 4-6 세의 정상 발달 아동을 대상으로 하거나, 연령에 관계 없이 난독증, 읽기 능력이 부족한 집단, 저소득층을 대상으로 하였을 때 가장 효과적일 것이다. 또한 하비브(Habib)의 연구와[10] 고든(Gordon)의 연구[11]에 의하면, 음악 훈련의 강도 역시 훈련의 효과에 영향을 미치기 때문에 최소 일주일에

이경면: kmlee2@kaist.ac.kr

30 분 이상, 총 40 시간 이상 음악 훈련을 진행하는 것이 언어 능력 발달에 가장 바람직하다.

| 종류 | 연구(국가-언어) | 피험자 | 중재 기간 | 독립 변수 | 진행 과제 | 연구 결과 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 통합적 음악 훈련 프로그램 | 허친스, 2018 (캐나다-영어) | N=90 (남 49,여 41) 나이 3-6 세 | 1 시간씩 8 개월 총 28 회 | 언어 능력, 음악 능력 | Smart Start 커리큘럼 | 어휘 능력, RAN, 음높이 정확도 향상 |
| | 린나발리, 2018 (핀란드-핀란드어) | N=66 (남 25,여 41) 나이 61 개월 | 45 분씩 일주일에 한 번, 2 년 | 음소 처리, 어휘, 인지 능력 | 핀란드의 전통적 음악 교육 | 음소 처리, 어휘 능력 향상 |
| | 비달, 2020 (포르투갈-유럽 포르투갈어) | N=44(남 19,여 25) 나이 3-4 세 | 45 분씩 일주일에 한 번, 30 주 | 음운 인식 능력 | 일반적인 음악 레슨 | 음운 인식 능력 향상 |
| 리듬/ 음높이 중심 프로그램 | 쿠펜과 버크, 2017 (영국-영어) | [코호트 1] N=98, 나이 5-6 세 [코호트 2] N=136, 나이 5-6 세 | 매일 20 분씩, 12 주(한 학기) | 음운 인식 능력 | 각운의 리듬적 요소 강조한 노래 부르기 | 음운 인식 능력 향상 |
| | 헬럼, 2019 (영국-영어) | N=354 읽기 부진 학생 나이 11-12 세 | 10 분씩 일주일에 한 번, 10 주 | 읽기 능력 | 읽기를 위한 리듬 프로그램(RFR) | 읽기 정확도, 독해력 향상 |
| | 남, 2018 (중국-중국어) | N=74 나이 4-5 세 | 45 분씩 일주일에 3 번, 6 개월 | 인지 능력, 언어 능력, 음높이 구별 능력 | 음높이 위주의 피아노 훈련 | 낱말 변별력, 음높이, 성조 구별 능력 향상 |
| | 파체케, 2019 (독일-독일어) | N=40(남 25,여 15) 나이 4-6 세 | 20 분씩 일주일에 3 번, 16 주 | 음운 인식 능력 | 리듬에 맞춰 움직이기 / 노래하기 | 음높이 집단의 음운 인식 능력 향상 |

# 참고문헌


1. A. Patel, "Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA hypothesis," *Frontiers in Psychology*, 2, 142 (2011)

2. U. Goswami, "A temporal sampling framework for developmental dyslexia," *Trends in Cognitive Sciences*, 15/1, pp.3-10 (2011)

3. S. Hutchins, "Early childhood music training and associated improvements in music and language abilities," *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 35/5, pp.579-593 (2018)

4. T. Linnavalli, V. Putkinen, J. Lipsanen, M. Huotilainen, and M. Tervaniemi, "Music Playschool Enhances Children's Linguistic Skills," *Scientific Reports*, 8/1, pp.1-10 (2018)

5. M.M. Vidal, M. Lousada, and M. Vigário, "Music effects on phonological awareness development in 3-year-old children," *Applied Psycholinguistics*, 41/2, pp.299-318 (2020)

6. S.E.A. Kuppen, and E. Bourke, "Rhythmic Rhymes for Boosting Phonological Awareness in Socially Disadvantaged Children," *Mind, Brain, and Education*, 11/4, pp.181-89 (2017)

7. S. Hallam, "Can a rhythmic intervention support reading development in poor readers?", *Psychology of Music*, 47/5, pp.722-35 (2019)

8. Y. Nan, L. Liu, E. Geiser, H. Shu, C.C. Gong, Q. Dong, J.D.E. Gabrieli, and R. Desimone, "Piano Training Enhances the Neural Processing of Pitch and Improves Speech Perception in Mandarin-speaking Children," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115/28, e6630-6639 (2018)

9. H. Patscheke, F. Degé, and G. Schwarzer, "The Effects of Training in Rhythm and Pitch on Phonological Awareness in Four-to Six-year-old Children," *Psychology of Music*, 47/3, pp.376-91 (2019)

10. M. Habib, C. Lardy, T. Desiles, C. Commeiras, J. Chobert, and M. Besson, "Music and dyslexia: a new musical training method to improve reading and related disorders," *Frontiers in psychology*, 7, 26 (2016)

11. R. Gordon, C.M. Shivers, E.A. Wieland, S.A. Kotz, P.J. Yoder, and J.D. McAuley, "Musical rhythm discrimination explains individual differences in grammar skills in children," *Developmental Science*, 18/4, pp.635-644 (2015)


이경면: kmlee2@kaist.ac.kr

# 음악인지유형에 따른 정서반응

최진희 [1], 정현주 [2]
[1] 이화뮤직웰니스연구센터, [2] 이화여자대학교

# EMOTIONAL RESPONSE TO MUSIC ACCORDING TO COGNITIVE STYLES OF MUSIC LISTENING

Jin Hee CHOI[1], and Hyun Ju CHONG[2]
[1] Ewha Music Wellness Research Center, [2] Ewha Womans University

**중심어:** 음악요소, 정서반응, 음악인지유형, 음악감상, 음악공감-음악체계화

**요 약**

음악은 구성요소 및 전개 방식에 따라 감상자에게 다양한 정서 반응을 불러일으킨다. 음악에 대한 정서 반응은 개인적이며 주관적이므로, 감상자 개인의 인지적, 심리적 특성이 고려되어야 한다. Baron-Cohen 이 제안한 공감-체계화 이론(E-S 이론)[1]은 성별, 전공 등 다양한 집단의 인지행동적 특성 차이를 '공감하기와 체계화하기'라는 두 가지 심리적 차원으로 설명하고 있는데, Kreutz 등[2]은 이러한 E-S 이론을 음악에 적용하여 Music Empathizing-Music Systemizing Inventory(ME-MS Inventory)를 제안하였다. 지금까지 진행된 음악과 정서 반응에 대한 많은 연구들은 음악으로 야기된 심리적 반응에 대해 다양하고 유용한 정보를 제시하고 있으나, 정작 그 반응들에 기여한 음악 요소가 무엇인지, 그리고 감상자의 인지 유형에 따라 정서 반응 및 기여한 음악 요소가 달라지는지에 대해서는 아직까지 확인되지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 감상자의 음악에 대한 정서 반응과 해당 반응에 기여한 음악 요소들을 음악 공감화-체계화 유형에 따라 구체적으로 확인하고자 하였다. 본 연구를 위해 설정된 연구문제는 다음과 같다.

1. 안정적 음악과 자극적 음악에서 각각 경험한 정서는 음악인지유형에 따라 달라지는가?
2. 안정적 음악과 자극적 음악에서 각각 정서경험에 기여한 음악 요소는 음악인지유형에 따라 달라지는가?

**연구방법:**

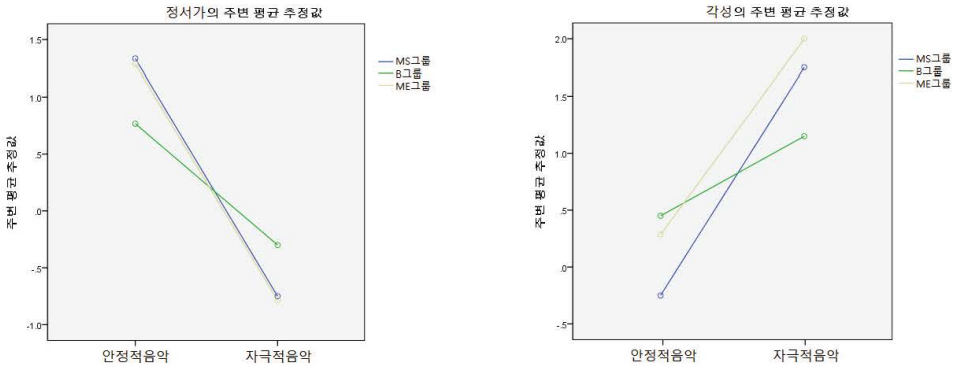
본 연구는 음악 요소에 대한 전문적 이해가 있는 사람들을 대상으로 수행되어야 하므로, 서울시에 위치한 모 대학 음악치료학과 대학원생들을 대상으로 연구참여자를 모집하였다. 자료수집은 총 2 회에 걸쳐 이뤄졌으며, 1 차 수집은 2018 년 12 월에, 2 차 수집은 2019 년 5 월에 진행되었다. 참여자는 총 91 명이었으나, 질문지 문항 중 누락한 항목이 있는 5 명을 제외하여 최종적으로 86 명의 자료를 사용하였다(모두 여성, 평균 연령=28.3 세).

실험에 사용한 음악은 조성, 템포, 강도, 음색과 음역대 등의 음악적 특성을 고려하여 서로 대비되는 2 가지의 악곡을 최종 선정하였으며, 안정적 음악으로는 벚꽃 지던 겨울의 '오후 두 시' 일부, 자극적 음악으로는 Britten 의 'Simple Symphony op.4 3rd. Sentimental Saraband' 일부를 같은 길이로 각각 발췌하여 제공하였다. 연구도구는 모두 자기보고식으로, 연구자들이 직접 구성한 음악정서경험 기록지와 ME-MS 척도이다. 음악정서경험 기록지는 크게 두 영역으로

구성되었는데, 우선 참여자 배경정보(인구학적 정보, 음악훈련정보, 일평균 음악감상시간)를 기입하고, 첫째, 음악을 감상하고 난 후 음악에서 경험한 정서를 Russell[3]의 정서 차원 모델에 따라 각성(arousal) 및 정서가(Valence)를 표기하되 -5 에서 5 점까지 선택할 수 있도록 하였으며, 둘째, 해당 정서 경험에 기인한 음악 요소들(리듬/템포/박자, 선율, 화음/화성/조성, 다이나믹, 악기/음색, 형식/전개, 음조직)을 각각 1~5 점 리커트 척도에 표기하도록 구성되었다. 자료분석시 ME-MS 척도를 이용해 연구참여자들을 ME(음악공감)그룹, B(균형적)그룹, MS(음악 체계화)그룹의 세 가지 음악인지유형으로 구분하였으며, 이들의 음악 경험을 통계적으로 확인하기 위해 SPSS 22.0 을 이용하여 기술통계, t-검증, 분산분석, 다변량분석 및 Pearson 상관분석을 실시하였다.

**연구결과 및 논의:**

**1. 안정적 음악과 자극적 음악에 대한 정서 경험:** 다변량분석 결과 음악유형에 따라서는 정서가(F=10.253, p=.002)와 각성(F=10.324, p=.002) 모두 유의한 차이를 보이나, 음악인지유형에 따른 정서가 및 각성 차이는 없었고, 음악유형*음악인지유형 교호작용에서도 정서가 및 각성의 변화 양상이 유의한 차이를 보이지 않았다. 이를 종합하면 인지유형에 관계없이 음악 구성요소와 전개방식에 따라 보편적인 정서 경험을 한다고 볼 수 있다.




<그림 1> 안정적/자극적 음악에서의 정서가 및 각성

**2. 안정적 음악과 자극적 음악에서 정서 경험에 각각 기여한 음악 요소**: 각 음악에서 정서경험에 기여한 음악요소들끼리 비교한 결과, 안정적 음악(F=18.837, p=.000) 및 자극적 음악(F=14.137, p=.000)에서 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 사후검정 Duncan 실시 결과, 안정적 음악에서는 '선율(M=4.15, SD=.89)'이 가장 주요하게 기여한 것으로 나타났고, 자극적 음악에서는 '선율(M=4.15, SD=1.02)', '악기/음색(M=4.10, SD=.87)', '화음/화성/조성(M=3.90, SD=.90)' 세 항목이 정서경험에 주요하게 기여한 것으로 나타났다. <그림 2>는 음악요소별 상자수염그림이다.




<그림 2> 안정적/자극적 음악에서 정서경험에 기여한 음악요소

최진희: genie@ewhain.net

정서경험을 각성 및 정서가로 세분화하여 음악요소와의 상관관계를 확인한 결과<표 1>, 안정적 음악에서는 '화음/화성/조성(r=.292, p=.006)' 및 '음조직(r=.215, p=.046)'이 각각 각성과 낮은 정적(+) 상관을 보였다. 자극적 음악에서는 '리듬/템포/박자(r=.262, p=.015)'가 정서가와 낮은 정적(+) 상관, '악기/음색(r=-.221, p=.041)' 및 '음조직(r=-.260, p=.016)'이 역시 정서가와 낮은 부적(-) 상관을 보였다. 종합하면 음악유형(안정적/자극적)과 정서경험 영역(정서가/각성)에 따라 각각의 정서경험에 특정 음악요소가 기여한다고 볼 수 있다.

<표 1> 정서가/각성과 음악요소의 상관

| | 안정적 | | 자극적 | |
|---|---|---|---|---|
| | 정서가 | 각성 | 정서가 | 각성 |
| 리듬/템포/박자 | -.041 | .121 | .262* | -.087 |
| 선율 | -.032 | .004 | .091 | .006 |
| 화음/화성/조성 | .024 | .292** | -.079 | -.038 |
| 다이나믹 | -.180 | .052 | -.158 | .157 |
| 악기/음색 | .100 | .134 | -.221* | .121 |
| 형식/전개 | .016 | .193 | .110 | -.095 |
| 음조직 | .005 | .215* | -.260* | .165 |

**P < .01, *P < .05

<표 2> 음악요소별 정서반응 기여 점수 평균(N=86)

| | MS그룹(M) | | B그룹(M) | | ME그룹(M) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 안정적 | 자극적 | 안정적 | 자극적 | 안정적 | 자극적 |
| 리듬/템포/박자 | 3.83 | 2.83 | 3.62 | 3.27 | 3.21 | 3.21 |
| 선율 | 4.08 | 4.08 | 4.23 | 4.22 | 3.86 | 3.93 |
| 화음/화성/조성 | 3.58 | 3.67 | 3.87 | 3.97 | 3.36 | 3.79 |
| 다이나믹 | 2.58 | 3.75 | 2.90 | 3.27 | 2.57 | 3.71 |
| 악기/음색 | 3.42 | 4.42 | 3.73 | 4.07 | 3.43 | 4.00 |
| 형식/전개 | 2.58 | 2.67 | 3.18 | 3.23 | 2.50 | 3.50 |
| 음조직 | 2.75 | 3.67 | 3.07 | 3.23 | 3.00 | 3.71 |

<표 2>는 음악요소별로 정서반응에 기여한 평균 점수를 음악인지유형에 따라 분류한 것이다. B(균형적)그룹의 경우 안정적 음악(F=12.681, p=.000)과 자극적 음악(F=11.158, p=.000) 모두에서 '선율'이 가장 큰 값으로 보고되었다. 반면 MS(음악체계화)그룹은 안정적 음악에서는 '선율'이(F=4.535, p=.001), 자극적 음악에서는 '악기/음색'이(F=4.613, p=.000) 가장 크게 나타났다. ME(음악공감)그룹은 MS 그룹과 동일하게 안정적 음악에서는 '선율'이(F=2.819, p=.015), 자극적 음악에서는 '악기/음색'이 가장 크게 나타났으나, 자극적 음악에서의 보고는 통계적으로 유의하지 않았다(F=1.041, p=.404). 이는 음악인지유형에 따라 음악특성과 정서경험 영역에 따라 기여한 음악요소가 달라질 수 있음을 예측하게 해준다.

본 연구는 음악 공감화-체계화 유형에 따라서 음악에 대한 정서 반응을 확인했다는 점, 그리고 해당 반응에 기여한 음악 요소들을 구체적으로 확인한 첫 번째 시도였다는 점에 그 의의가 있다.

# 참고문헌

1. S. Baron-Cohen, R.C. Knickmeyer, and M.K. Belmonte, "Sex differences in the brain: Implications for explaining autism. Science", *Science*, **310**, pp.819-823 (2005)

2. G. Kreutz, E. Schubert, and L.A. Mitchell "Cognitive styles of music listening", *Music Perception*, **26(1)**, pp.57-73 (2008)

3. J.A. Russell, "A circumplex model of affect", *Journal of Personality and Social Psychology*, **39(6)**, pp.1161-1178 (1980).

최진희: genie@ewhain.net

# 소리와 음악을 시각화하는 새로운 방법의 개발

노준탁 [1], 우한결 [1], 이재혁 [1], 이혜준 [1], 장지호 [1], 추장우 [1], 이기준 [1]
[1] 대구경북과학기술원

# A NOVEL METHOD TO VISUALIZE MUSIC AND SOUND

Juntak NOH[1], Hangyeol WOO[1], Jaekyuk LEE[1], Hyejun LEE[1], Jiho JANG[1], and Jangwoo CHOO[1] , Kijoon LEE[1]
[1] Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology

**중심어:** 나선 악보, 소리의 시각화, 음악 현상, 푸리에 변환

## 요약

수 세기의 역사를 가지고 있는 서양 클래식 음악의 역사 속에서 오선 악보가 항상 사용되어 왔다. 오선 악보는 악보의 세로축에 음의 높낮이, 가로축에 시간을 표시하는데, 이때 세로축에서의 거리가 같더라도 음정이 다르게 되는 문제가 있다. 예컨대, B와 F, F와 C는 오선 악보 상에서는 같은 거리만큼 떨어져 있지만 사실은 전혀 다른 두 음정이다. 이 때문에 똑같은 3화음이라도 어느 위치에 있느냐에 따라 major chord 도, minor chord 도, diminished chord 도 될 수 있다는 문제가 발생한다. 이러한 직관성의 부족을 해결하기 위해 본 연구에서는 나선 악보의 시스템을 도입하였다. 복소평면 상에 크기와 위상각을 각각 음의 파장과 음이름을 나타내도록 하면 객관성을 잃지 않으면서 더욱 직관적으로 어떤 음이 협화음인지 불협화음인지 등을 시각적으로 파악할 수 있다. 이 새로운 방식은 통상 알려진 음높이 별자리(Pitch Constellation)와 비슷해 보일 수 있으나, 원이 아닌 나선의 위치에 음들을 배치하여 절대적인 음높이를 표시할 수 있다는 점에서 다르다고 할 수 있다.

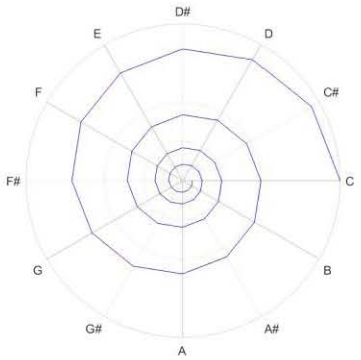
음악과 소리를 시각화할 때는 소리의 요소들인 음의 높낮이, 음의 세기, 그리고 음색을 나타낼 수 있어야 한다. 이들은 각각 파동의 진동수, 진폭, 파형에 해당하며, 이들을 객관적으로, 그리고 직관적으로 시각화하는 것이 좋은 시각화라고 할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 다음과 같은 방법으로 음의 진동수를 2차원 극좌표 상에 나타내었다.

$$r = 1/freq$$
$$\theta = 2\pi * \log(freq/261.45)$$

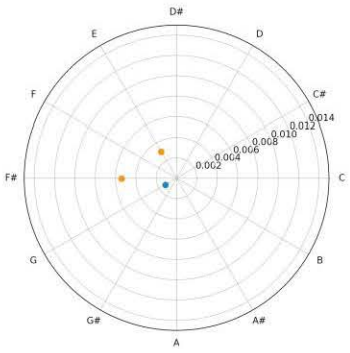
노준탁: nanjack100@gmail.com

또한 파형은 배음 관계와 관련이 있으므로 음의 높낮이와 음의 세기를 정확히 표현할 수 있다면 파형 역시도 같은 방법으로 나타낼 수 있다. 음의 세기를 표현하는 방법은 현재 여러 방안을 고려하고 있으며, 음을 나타내는 점의 크기를 소리의 세기가 커짐에 따라 크게 하거나 소리의 진폭을 빛의 에너지와 연관시켜 세기가 클수록 보라색에 가깝도록 색을 나타내는 방안 등이 그것이다.

이 시스템의 또 다른 장점은 바로 12 음을 사용하는 서양 음악 뿐 아니라 어떤 소리나 음악이라도 Fourier Transform 을 이용해 나선 악보 시스템으로 나타낼 수 있다는 것이다. (시간축이 적용된다면.) 따라서 범용적인 소리의 시각화에도 기존의 파형 시각화 모델을 대체할 수 있을 것으로 기대한다. 궁극적으로는 소리를 듣지 못하는 청각장애인들도 충분한 훈련을 통해 음악이 주는 감동을 부족하게나마 느낄 수 있도록 돕고, 일반인들도 음악의 구조를 새로운 시각에서 이해할 수 있게 해주는 것이 본 나선 악보시스템을 개발하는 목적이다.




[Figure 1]Blank Spiral




[Figure 2]Example of a Spiral Score

노준탁: nanjack100@gmail.com

# 악기간 미세 시간 차이가 그루브 경험에 미치는 영향

박석범 [1], 이경면 [1]
[1] 카이스트 음악신경과학연구실

# Influence of Microtiming Deviations between Rhythm Layers on the Groove Experience

Seok Beom PARK[1], Kyung Myun LEE[1]
[1] Music and Brain Research Lab, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)

**중심어:** 그루브(Groove), 미세 시간 차이(Microtiming Deviations), 퀀타이즈(Quantize)

## 요약

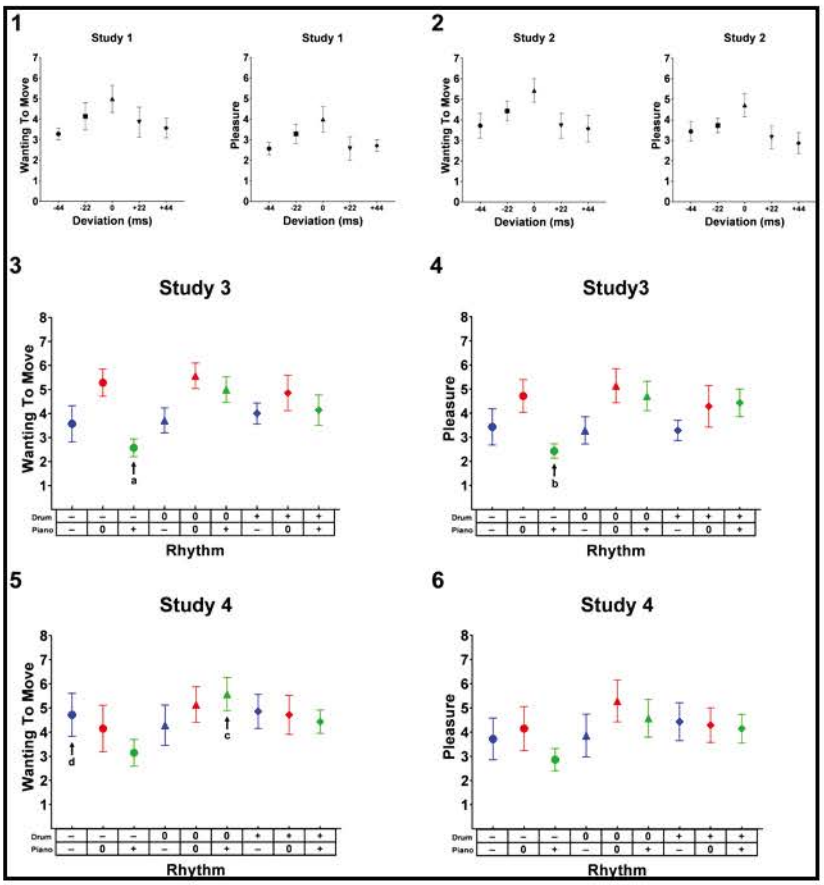
음악에는 듣는 사람으로 하여금 음악에 맞추어 몸을 움직이게 하는 기분 좋은 요소가 존재하고 이러한 경험은 그루브(Groove)라는 단어로 표현된다. 기존 연구들에서 그루브에 영향을 줄 수 있는 음악적 요인으로 당김음, 리듬 패턴의 복잡성 및 미세 시간 차이(Microtiming Deviations)가 논의 되어왔다[1, 2]. 미세 시간 차이란, 원래 연주 되어야 하는 정박의 타이밍보다 미세하게 몇 ms 정도 빠르거나 느린 연주를 의미한다. 기존 연구 결과, 미세 시간 차이가 없는 정확한 박자일수록 더 강한 그루브를 경험하는 것으로 나타났고, 또한 미세 시간 차이가 커질수록 그루브 경험에 안좋은 영향을 끼친다는 것이 밝혀졌다[3, 4]. 하지만 기존 연구들은 주로 미세 시간 차이의 크기(ms 차이)에만 집중하였고, 미세 시간 차이가 존재하는 리듬 패턴에 새로운 리듬이 중첩되었을 때 그루브 경험에 미치는 영향은 연구하지 않았다. 본 연구에서는 미세 시간 차이가 존재하는 리듬 패턴에 새로운 악기가 중첩되었을 때 기존 연구 결과와는 다른 그루브 경험 양상을 보일 것이라 기대하고, 이를 통해 악기 간 미세 시간 차이의 조합이 그루브 경험에 긍정적인 영향을 줄 수 있는 가능성에 대해 탐구하고자 한다.

실험은 총 4 단계로 구성되었다. 각 실험에서 피험자들은 90bpm 의 여러 리듬 패턴을 듣고 몸을 움직이고 싶게 만드는 정도와 즐겁게 느끼는 정도를 각각 7 점 리커트 척도로 평가하였다. 실험 1, 2 에서는 기존 연구의 실험 결과를 재검증하기 위해 간단한 드럼 리듬에 각기 다른 다섯 가지의 미세 시간 차이(여린박에서 약 -44ms, -22ms, 0ms, +22ms, +44ms)를 주어 들려주었다. 실험 1 의 소리 자극은 베이스 드럼과 스네어 드럼으로 이루어졌고, 실험 2 의 소리 자극에는 하이햇 심벌이 추가 되었다. 그 결과, 미세 시간 차이가 없는 정확한 박자에 연주된 드럼 패턴에서 가장 높은 그루브 점수가 나타났고, 미세 시간 차이가 커질수록 낮은 그루브 점수가 기록되는 경향을 볼 수 있었다(그림 1, 2). 이는 기존 연구들과 일치하는 결과이다.

실험 3, 4 에서는 실험 1 에서 사용되었던 드럼 패턴에 피아노 반주를 추가하였다. 두 악기 모두에 미세 시간 차이를 주어, 다양한 미세 시간 차이의 조합을 만들어 들려주었다. 세 가지 미세 시간 차이(여린박에서 약 -22ms, 0ms, +22ms)가 있는 드럼 패턴과 시작 시간이 서로 다른 피아노 반주(약 -44ms, 0ms, +44ms)가 조합되어 총 아홉 가지의 자극이 구성되었다. 또한 화음 진행의 유무가 그루브 경험에 어떤 영향을 미치는지 살펴보기위해 실험 3 의 피아노 반주는 반복되는 화음 진행으로 제시했고, 실험 4 의 피아노 반주는 한가지 화음으로만 제시했다. 실험

이경면: kmlee2@kaist.ac.kr

3 의 결과, 전반적으로 미세 시간 차이가 없는 리듬에서 높은 그루브 점수가 나타났다. 또한 여린박이 22ms 앞당겨진 드럼 패턴에 피아노 반주가 44ms 늦게 시작되었을 때(그림 3 의 a, 그림 4 의 b) 가장 낮은 그루브 점수가 기록되었는데, 이는 두 리듬 사이의 미세 시간 차이가 극대화되어 나타난 결과로 해석할 수 있다. 실험 4 에서 정박의 드럼 패턴에 피아노 반주가 44ms 늦게 시작된 리듬(그림 5 의 c)과 여린박이 22ms 앞당겨진 드럼 패턴에 피아노 반주가 44ms 앞당겨진 리듬(그림 5 의 d)에서 몸을 움직이고 싶은 정도가 비교적 높게 나타났다. 이러한 결과는 미세 시간 차이의 크기가 커질수록 그루브에 악영향을 미친다는 기존 연구 결과들과는 다른 양상을 보여준다. 본 연구는 악기 간 특정 미세 시간 차이의 조합은 오히려 그루브 경험을 증대시키는 영향을 줄 수 있는 가능성을 제시한다. 본 실험 결과는 피험자 7 명의 데이터를 분석한 결과이지만, 추후 연구에서는 음악 경험 정도가 다양한 더 많은 피험자들을 대상으로 실험을 실시할 예정이다. 또한 재즈 또는 힙합 음악을 경험한 정도에 따라 미세시간차의 영향이 어떻게 다르게 나타나는지 비교할 예정이다.




**[그림] 실험 1, 2, 3, 4 의 결과. 그림 1-2**, 실험 1, 2 의 그루브 점수 평균. 가로 축은 드럼 패턴 여린박의 미세 순간 차이이다. **그림 3-4**, 실험 3, 4 의 그루브 점수 평균. 가로 축의 **[–, 0, +]**는 각 악기에 존재하는 미세 시간 차이의 방향을 뜻한다. 드럼의 경우, **[–, 0, +]**는 각각 여린박이 -22ms, 0ms, +22ms 만큼 움겨졌다. 피아노의 경우, **[–, 0, +]**는 피아노 반주가 드럼의 시작 시간을 기준으로 -44ms, 0ms, 44ms 만큼 이동되었음을 뜻한다. 오차 막대는 평균의 표준 오차(Standard Error Mean)를 뜻한다.

# 참고문헌

1. Witek MAG, Clarke EF, Wallentin M, Kringelbach ML, Vuust P, "Syncopation, Body-Movement and Pleasure in Groove Music", PLOS ONE, **9(4)**, e94446, (2014)

2. Senn O, Kilchenmann L, Bechtold T, Hoesl F, "Groove in drum patterns as a function of both rhythmic properties and listeners' attitudes", PLOS ONE, **13(6)**, e0199604 (2018)

3. Frühauf J, Kopiez R, Platz F, "Music on the timing grid: The influence of microtiming on the perceived groove quality of a simple drum pattern performance", *Musicae Scientiae.*, **17(2)**, pp. 246-260 (2013)

4. S. Matsushita, S. Nomura, "The Asymmetrical Influence of Timing Asynchrony of Bass Guitar and Drum Sounds on Groove", *Music Perception*, **34(2)**, pp. 123–131 (2016)

이경면: kmlee2@kaist.ac.kr

발표자 또는 책임저자: 한승아 서명날인

# 중증 치매환자대상 음악중재연구 분석

한승아
이화여자대학교 음악치료대학원 박사과정

**AN ANALYSIS OF MUSIC INTERVENTION STUDIES FOR SEVERE DEMENTIA PATIENTS.**

Seung-ah HAN
EWHA Womans University

**중심어:** severe dementia. music intervention, research review

## 요약

중증 치매환자를 위한 음악치료 중재가 효과적인지 분석한 이전 연구에서 음악이 치매증상에 효과적으로 개입할 수 있다는 것을 보여주지만 효과크기에 차이가 있다.[1] 현재까지 다양한 개입과 방법론이 제시되고 있지만 치매가 진행됨에 따라 정서적, 행동적 문제가 악화되는 중증 치매환자에 초점을 맞춘 연구는 부족하며, 목표에 따른 중재유형과 방법, 사용하는 음악의 특징과 형태에 대한 분석을 통해 중증 치매환자에게 치료적으로 접근하는 근거가 필요하다.[2] 이에 따라 목표에 따른 중재유형(개별/그룹)과 목표의 연관성, 음악의 치료적 개입 접근법(능동적/수동적), 음악제공(라이브/녹음)과 연구자의 음악선택의 차이를 분석하고자 한다.

분석을 위해 학술지 데이터베이스 5 개를 대상으로 검색한 단어는"Music", "Intervention", "Severe", "Dementia", "Late-stage", "Advanced", "Alzheimer", "Singing", "Song"이었다. 검색된 연구 911 편중 중복으로 검색된 논문 319 편을 제외하였고, 제목과 초록을 확인하여 주제와 관련이 없는 226 편을 제외하였다. 그 다음으로 간병인을 중재한 연구와 사례연구, 중증 치매환자를 대상으로 하지 않은 연구 47 편을 제외한 46 편중 음악중재설명이 명확히 기술되지 않은 연구를 제외하여 12 편을 최종 선택하여 분석하였다.

분석한 결과 중증 치매환자를 위한 음악중재 목표는 행동심리증상(BPSD)과 의사소통으로 나뉘었으며, 각각 음악의 개입은 능동적 접근과 수동적 접근으로 나뉘었다. 음악제공형태는 라이브와 녹음형태로 나뉘었으며, 사용한 음악은 중증 치매환자에게 친숙한 노래와 비 친숙한 노래(클래식, 이완음악 등)을 사용한 노래로 분류되었다. BPSD 를 목표로 한 중재형태는 비 선호곡을 수동적 접근인 음악 감상을 녹음음악형태로 제공하였고, 중재활동으로는 음악감상이 가장 많았으며, 즉흥연주, 노래 부르기, 악기 연주가 음악감상과 복합적으로 사용되었다. 의사소통을 목표로 한

한승아: joott@ewhain.net

중재형태는 선호곡을 라이브형태로 능동적접근으로 중재되었으며, 중재활동으로는 노래 부르기 활동이 가장 많았으며, 즉흥연주, 음악 만들기, 음악감상, 악기연주, 가사 바꾸기 활동이 노래 부르기 활동과 함께 제공되었다.

결과를 바탕으로 종합해 보면, 의사소통을 목표로 한 능동적 접근과 선호곡을 사용하여 라이브로 제공한 것은 라이브 형태의 능동적 중재가 긍정적 참여에 효과적이고, 의사소통을 위한 중재활동에 모두 노래 부르기 활동이 포함되었는데, 이는 중증 치매환자의 비언어적/언어적 의사소통을 위해 선호곡을 노래 부르는 것이 효과적으로 개입될 수 있다는 선행연구[3]를 뒷받침한다. 반면에 선호곡이 사용된 근거에 대해 명확히 제시하지 않아 중증 치매환자를 위한 치료적 개입의 근거를 마련해야 한다.

또한 BPSD를 목표로 한 중재활동에서는 수동적 접근과 비 선호곡을 녹음형태로 제공하였는데, 이는 문제행동을 목표로 한 연구 중 70%가 초조행동에 초점이 맞춰져 음악 요소별 특징이 중증 치매환자의 초조행동에 효과가 있다는 선행연구[4]를 뒷받침하지만 일상생활에서 배경음악으로 제공되어 환자가 경청하여 감상했는지 확인할 수 없었다. BPSD증상에 라이브 음악과 능동적인 음악중재가 효과적이라는 선행연구를 통해 환자의 상태를 반영한 음악사용이 필요함을 시사한다.

# 참고문헌


[1] S. M. Koger, K. Chapin, and M. Brotons, "Is Music Therapy an Effective Intervention for Dementia? A Meta-Analytic Review of Literature," *Journal of music therapy,* vol. 36, no. 1, pp. 2-15 (1999)

[2] J. T. van der Steen, H. J. A. Smaling, J. C. van der Wouden, M. S. Bruinsma, R. Scholten, and A. C. Vink, "Music-based therapeutic interventions for people with dementia," *Cochrane Database of Systematic Reviews,* no. 7 2018)

[3] A. Dassa and D. Amir, "The role of singing familiar songs in encouraging conversation among people with middle to late stage Alzheimer's disease," (in eng), *Journal of music therapy,* vol. 51, no. 2, pp. 131-53 (2014)

[4] L. Weise, N. F. Töpfer, J. Deux, and G. Wilz, "Feasibility and effects of individualized recorded music for people with dementia: A pilot RCT study," *Nordic Journal of Music Therapy,* vol. 29, no. 1, pp. 39-56 (2020)


한승아: joott@ewhain.net

# 뇌파를 이용한 합성곱 신경망 기반의 음악 선호도 분류

함주성 [1], 이교구 [1]
[1] 서울대학교 융합과학기술대학원 음악오디오연구실

# Classification of Music Liking with EEG using Convolutional Neural Network

Ju-sung Ham[1], Kyogu Lee[1]
[1]Music and Audio Research Group, Graduate School of Convergence Science and Technology, Seoul National University, Seoul, South Korea

**중심어:** 음악 선호도, 뇌파, 심층신경망, 합성곱 신경망, 분류

## 요약

우리는 음악을 들을 때 해당 음악에 대한 선호를 의식적, 혹은 무의식적으로 평가하며, 이는 향후 음악을 소비하는데 있어서 주요한 기준이 된다. 따라서 음악적 선호를 파악하는 것은 대형화된 음악 청취 플랫폼에서 개인화된 음악 추천 시스템을 구축하는데 필수적이다. 이를 위해서는 각 곡에 대해 청취자가 직접 선호도를 평가하는 것이 가장 명확한 방법이라고 할 수 있다. 따라서 사용자가 큰 노력 없이 많은 곡에 대한 선호도 평가를 할 수 있는 자동 평가 시스템이 개발된다면 더욱 정교한 음악 추천이 가능할 것이다.

[1]에 따르면 뇌파(Electroencephalography; EEG)에 음악적 선호가 반영되며[1] 마음에 드는 음악을 들을 때는 뇌의 보상 회로에서의 도파민 분비가 일어나고[2], 이러한 보상회로의 작동은 뇌파에 반영된다는 연구결과들이 있다[3]. 따라서 뇌파를 이용해 음악적 선호를 자동으로 분류하는 시스템을 개발할 수 있는 가능성이 있다. 실제로 [4]에서는 뇌파의 주파수 관련 특징을 SVM(support vector machine) 등의 기계학습 알고리즘에 적용하여 선호와 불호의 이진 분류를 시행한 결과 최고 86.52%의 분류 정확도를 달성하였다. 또 [5]에서는 전전두엽 부위의 신호로 음악 선호를 평가하는 바이오마커(bio-marker)를 개발하였다.

한편 심층신경망(deep neural network) 알고리즘은 비선형적인 연산 단위인 뉴런을 여러 층으로 구성하고 뉴런들 간의 연결 강도를 반복하여 갱신함으로써 문제 해결에 최적화된 함수를 학습하는 알고리즘이다. 최근 뇌파 연구에서도 심층신경망을 활용하여 높은 성능을 보이는 사례가 증가하고 있으나[5], 음악 선호도를 분류하는 데에 심층신경망을 활용한 사례는 극히 드물다. 따라서 본 연구는 음악을 청취할 때 측정한 뇌파 신호로부터 세 가지 이상으로 나뉜 음악 선호도를 분류하는 심층신경망 알고리즘을 개발하여 분류 성능을 평가함으로써 적용가능성을 탐색하고자 하였다.

신경망 학습에는 [6]에서 공개한 NMED-T(Naturalistic Music EEG Dataset–Tempo)를 사용하였다. 이 데이터셋은 총 20 명을 대상으로 4 분 30 초에서 5 분 길이의 대중음악 10 곡을 들려주면서 측정한 EEG 신호와 각 음악에 대한 개인별 선호도를 1 에서 9 점 척도로 평가한 데이터를 제공한다. 본 연구에서는 근전도 잡음이 제거된 전처리 후의 뇌파 신호를 사용하였다. 신경망은

이교구: kglee@snu.ac.kr

학습을 위한 충분한 양의 데이터를 확보하기 위해 뇌파 신호를 4 초 간격으로 중복되는 8 초 길이의 조각으로 분절하였으며, 9 점 척도의 선호도를 1 에서 3 점은 '불호(dislike)', 4 에서 6 점은 '중간(medium)', 7 에서 9 점은 '선호(like)'로 재구성하였다. 이 과정을 통해 총 14100 개의 데이터 쌍을 생성하였다. 그 후 10 중 교차 검증(10 fold cross validation)을 위한 검증 데이터를 첫번째는 전체 데이터 중 임의의 10%로, 두번째는 10 곡 중 한 곡 전체에 해당하는 데이터로 선택하였다. 신경망의 구조는 다중 채널의 시계열 데이터인 뇌파에 맞게 1 차원 합성곱 신경망으로 구성하였으며, 5 개의 1 차원 합성곱 층과 1 개의 완전 연결(fully-connected)층으로 구성하였다. 신경망의 분류 성능은 F1 점수와 혼동행렬(confusion matrix)을 이용해 평가하였다. 이는 카테고리별 데이터 개수가 불균형하기 때문에 정확도(accuracy)를 사용할 경우 성능이 왜곡될 수 있기 때문이다.

실험 결과 임의의 10%를 검증 데이터로 선택한 경우 평균 F1 점수는 0.82 이며, 카테고리별 F1 점수는 불호, 중간, 선호 각각 0.70, 0.89, 0.88 이었다. 같은 곡, 같은 참가자에 대한 분절들에 대한 예측 중 가장 많은 예측을 기준으로 평가한 결과 평균 F1 점수는 0.88, 카테고리별은 0.76, 0.93, 0.94 이었다. 한 곡에 해당하는 데이터를 검증 데이터로 선택한 경우 평균 F1 점수는 0.50 이며, 카테고리별 F1 점수는 불호, 중간, 선호 각각 0.32, 0.60, 0.58 로 중간이 가장 높았다. 이는 신경망이 훈련에 포함된 곡의 새로운 분절의 선호도는 잘 분류하지만, 한번도 훈련되지 않은 곡의 선호도는 분류 성능이 떨어짐을 의미한다. 이러한 결과는 첫째, 한 곡의 선호도 카테고리의 불균형이 심하기 때문일 수 있으며, 둘째, 신경망이 뇌파에 담긴 곡에 대한 정보와 선호도에 대한 정보를 완전히 분리하지 못하였기 때문일 수 있다. 따라서 더 높은 정확도의 심층신경망 알고리즘을 위해서는 카테고리 별로 더 많은 수의 뇌파 데이터를 사용하거나 정보를 분리하여 처리할 수 있는 신경망 구조를 구성해야 할 것이다.

# 참고문헌


1. E. Altenmüller, K. Schürmann, V. K. Lim, & D. Parlitz, "Hits to the left , flops to the right : different emotions during listening to music are reflected in cortical lateralisation patterns", Neuropsychologia, 40, pp.2242–2256 (2002)
2. V.N. Salimpoor, I.van den Bosch, N. Kovacevic, A.R. McIntosh, A. Dagher, & R.J. Zatorre, "Interactions Between the Nucleus Accumbens and Auditory Cortices Predict Music Reward Value. Science", 340(6129), pp.216–219 (2013)
3. A.H. Hosseini, & C.B. Holroyd, "Reward feedback stimuli elicit high-beta EEG oscillations in human dorsolateral prefrontal cortex", Scientific Reports, 5(April), pp.1–8. (2015)
4. S.K. Hadjidimitriou, & L.J. Hadjileontiadis, "Toward an EEG-based recognition of music liking using time-frequency analysis", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 59(12), pp.3498–3510 (2012)
5. D.A. Adamos, S.I. Dimitriadis, & N.A. Laskaris, "Towards the bio-personalization of music recommendation systems: A single-sensor EEG biomarker of subjective music preference", Information Sciences, 343–344, pp.94–108 (2016)
6. Y. Roy, H. Banville, I. Albuquerque, A. Gramfort, T.H. Falk, & J. Faubert, "Deep learning-based electroencephalography analysis: A systematic review", Journal of Neural Engineering, 16(5), (2019)
7. S. Losorelli, D.T. Nguyen, J.P. Dmochowski, & B. Kaneshiro, "NMED-T: A Tempo-Focused Dataset of Cortical and Behavioral Responses To Naturalistic Music", Proceedings of the 18th ISMIR Conference, pp.339–346 (2017)


이교구: kglee@snu.ac.kr

# 소리의 음고가 동시에 제시되는 시각적 대상의 밝기 지각에 미치는 영향

홍유정 [1], 최아현 [1], 이채은 [2], 윤수민 [3], 조우재 [1], 이교구 [1]
[1] 서울대학교 융합과학기술대학원, [2] 서울대학교 음악대학, [3] 서울대학교 사범대학

# AUDITORY PITCH AFFECTS HOW WE PERCEIVE BRIGHTNESS OF A CONCURRENT VISUAL OBJECT

You Jeong HONG[1], Ahyeon CHOI[1], Chae-Eun LEE[1], Sumin YOON[3], WooJae CHO[1], Kyogu LEE[1]
[1] Graduate School of Convergence of Science and Technology, Seoul National University, [2] College of Music, Seoul National University, [3] Department of Interdisciplinary Program in Music Education, Seoul National University

**중심어:** 다중감각(multi-modality), 교차감각 일치(Cross-modal Correspondences), 청각적 음고(auditory pitch), 시각적 밝기(visual brightness)

## 요약

In many everyday situations, we are inundated with concurrent audio-visual inputs (e.g., visual scenes and background musical sounds in movies). To deepen the understandings of how human processes such stimulus, previous research has focused on exploring the links between audio and visual modalities. Noteworthy is that human exhibits cross-modal correspondences between various features of sound and vision [9]. Among others, associations between auditory pitch and visual brightness have received much attention [4,5,6,8]. It has been demonstrated that sounds with lower (vs. higher) auditory pitch and darker (vs. brighter) visual objects are perceived to be matched [6,8]. However, little is yet known whether brightness perception of a visual object simultaneously presented with sound can be biased by a level of auditory pitch. Bhattacharya and Lindsen (2016) [2], who show that emotions in musical sounds can affect visual brightness judgments, suggest that it would be interesting venues for future investigation to consider attributes of sounds as controlled parameters in experiments. Thus, the present research aims to explore whether pitch of sounds can affect brightness perception of a concurrent visual object, with pitch-modified auditory stimuli. We also investigate whether such concurrent brightness perceptions are in line with the pitch-brightness correspondences suggested in prior works [5,6,8], inspired by the literatures on unity assumption (i.e., temporal coincidence between two or more unisensory signals is one of the factors that can induce human to assume these cues belong together and to bind them into a single event [1,3]).

We investigate the effects of auditory pitch by employing musical sounds, one of the most prevalent and universal types of sounds in our daily lives. We adopt forty piano musical pieces developed by Vieillard et al. (2008) [10], each of which represents different levels of valence and arousal in emotions (e.g., happy, peaceful, sad, scary). Pitch in these pieces has been adjusted

이교구: kglee@snu.ac.kr

upwards (i.e., higher-pitched condition) or downwards (i.e., lower-pitched condition) by an octave, resulting in eighty musical pieces in total. As a visual object to be presented with the music, a grey square is constructed, adapted from [2,5]. During our experiment, each of the eighty musical pieces is presented to participants simultaneously with the single grey square on a computer screen. At every ends of the music-square presentation, they are asked how they perceive brightness of each square on a 7-point scale (i.e., I think this square is ___; 1=dark, 7=bright). Participants are told that the brightness between each square can be either same or not, although the identical grey square is presented repeatedly (this instruction is adapted from [2,7]).

A wilcoxon signed-rank test shows that participants tend to perceive the grey square as darker (vs. brighter) while they are presented with lower-pitched (vs. higher-pitched) music ($Z = -4.420$, $p < 0.001$). This suggests that pitch in musical sounds can indeed bias brightness judgments of a concurrent visual object in a direction consistent with the correspondence between pitch and brightness reported in prior works [5,6,8]. We additionally find that pitch-modified versions of musical excerpts which were labeled as representing negative valence ($Z = -4.518$, $p < 0.001$) and low arousal of emotions ($Z = -2.079$, $p < 0.05$) in Vieillard et al. (2008) [10] lead the grey square to be judged darker as well, which findings are consistent with Bhattacharya and Lindsen (2016)[2] yet exhibit slightly different patterns in terms of the effects of arousal. In sum, the results also support that human's visual brightness perceptions can be varied by concurrent sounds.

# 참고문헌

1. Bedford, F. (2001). Towards a general law of numerical/object identity. Current Psychology of Cognition, 20(3/4), 113-176.

2. Bhattacharya, J., & Lindsen, J. P. (2016). Music for a brighter world: Brightness judgment bias by musical emotion. PloS one, 11(2), e0148959.

3. Chen, Y. C., & Spence, C. (2017). Assessing the role of the 'unity assumption'on multisensory integration: A review. Frontiers in psychology, 8, 445.

4. Hagtvedt, H., & Brasel, S. A. (2016). Cross-modal communication: sound frequency influences consumer responses to color lightness. Journal of Marketing Research, 53(4), 551-562.

5. Ludwig, V. U., Adachi, I., & Matsuzawa, T. (2011). Visuoauditory mappings between high luminance and high pitch are shared by chimpanzees (Pan troglodytes) and humans. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(51), 20661-20665.

6. Marks, L. E. (1974). On associations of light and sound: The mediation of brightness, pitch, and loudness. The American journal of psychology, 173-188.

7. Meier, B. P., Robinson, M. D., Crawford, L. E., & Ahlvers, W. J. (2007). When" light" and" dark" thoughts become light and dark responses: Affect biases brightness judgments. Emotion, 7(2), 366.

8. Mondloch, C. J., & Maurer, D. (2004). Do small white balls squeak? Pitch-object correspondences in young children. Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 4(2), 133-136.

9. Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences: A tutorial review. Attention, Perception, & Psychophysics, 73(4), 971-995.

10. Vieillard, S., Peretz, I., Gosselin, N., Khalfa, S., Gagnon, L., & Bouchard, B. (2008). Happy, sad, scary and peaceful musical excerpts for research on emotions. Cognition & Emotion, 22(4), 720-752.

이교구: kglee@snu.ac.kr

# 대조적 자가지도 사전학습을 이용한 음향 상황 식별

심혜진, 정지원, 김주호, 유하진
서울시립대학교

# SELF-SUPERVISED CONTRASTIVE PRE-TRAINING FOR ACOUSTIC SCENE CLASSIFICATION

Hye-Jin SHIM, Jee-Weon JUNG, Ju-Ho KIM, and Ha-Jin YU
University of Seoul

**중심어:** 음향 상황 식별, 자가지도 학습, 대조적 학습, 전이 학습

## 요약

본 논문은 대조적 자가지도 사전학습을 이용한 음향 상황 식별 (acoustic scene classification) 시스템을 제안한다. 사람이 직접 입력한 레이블(annotated label)을 이용하는 지도학습과 다르게, 자가지도 학습은 별도의 레이블이 없어도 데이터의 고유한 특성을 활용하여 레이블을 생성 후 학습에 사용하는 방법이다. 자가지도 학습은 해당 태스크에 대한 레이블이 없어도 학습이 가능하기 때문에 데이터의 양이 많은 데이터 세트를 이용해 도메인의 전반적인 표현을 학습하는 데 활용된다. 대조적 자가학습 중 simCLR [1] 은 임의의 샘플에 대해 각각 서로 다른 데이터 증강 기법을 적용하여 동일한 샘플에 적용한 데이터 증강 샘플들에 대해서는 코사인 거리가 가까워지도록, 다른 샘플에 대해 적용한 데이터 증강 샘플들에 대해서는 거리가 멀어지도록 학습을 진행한다. 본 연구에서는 simCLR 기법을 통해 추가적인 데이터를 활용하여 음향적인 표현을 사전 학습함으로써 음향 상황 식별 시스템의 성능을 향상시키고자 하였다.

사전 학습에는 DCASE2020 task 1-a 음향 상황 식별 데이터와 함께 DCASE2019 task 2 인 오디오 태깅 데이터를 추가적으로 활용하여 레이블 없이 대조적 자가지도 학습을 진행하였다. 본학습에는 DCASE2020 task 1-a 음향 상황 식별 데이터를 이용해 음향 상황 식별을 학습하였다. 베이스라인은 [2]에서 활용한 네트워크와 동일한 구조를 사용하였다. SimCLR 기법을 적용하기 위해 데이터 증강기법으로는 gain augmentation (gain), specAugment (specAug), additional crop(acrop) 세 가지 방법을 활용하였고, 두 쌍의 데이터 증강기법은 (aug1, aug2)로 표현하였다. 실험 결과, 시스템의 정확도는 (acrop, gain) 66.83%, (speAug, gain) 66.38%, (specAug, acrop) 67.17%로 베이스 라인 성능 65.11%에 비해 향상된 결과를 확인하였다.

## 감사의글

이 논문은 2020 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임(2020R1A2C1007081)

## 참고문헌

1. C. Ting, et al., “A Simple Framework for Contrastive Learning of Visual Representations”, ICML 2020 (2020)
2. H.J.Shim, et al., “Audio tagging and deep architectures for acoustic scene classification: Uos submission for the DCASE 2020 challenge” DCASE2020 Challenge, Tech. Rep (2020)

유하진: hjyu@uos.ac.kr

# 잡음 종류와 SNR 에 따른 딥러닝의 도시 환경음 분류 성능

오원근
순천대학교 멀티미디어공학과

# URBAN SOUND CLASSIFICATION PERFORMANCE OF DEEP LEARNING ACCORDING TO NOISE TYPE AND SNR

Wongeun Oh
Sunchon National University

**중심어:** 딥러닝, 머신러닝, 도시 환경음, SNR

## 요약

본 논문에서는 딥 러닝을 이용한 환경음 분류 시 주변 잡음이 인식률에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 환경음 분류는 일상 생활에서 자주 접하는 소리를 구분하는 것으로서 청각 장애 보조, 감시, 보안 분야에서 효율적으로 응용될 수 있다. 이러한 작업에서는 먼저 다양한 소리의 데이터 셋을 이용하여 딥 러닝 신경망을 학습한다. 그리고 이를 컴퓨터나 독립된 장비에 이식하여 마이크로 수음한 소리를 분류하는데, 이때 주변 소음이 있다면 신경망의 인식률이 저하된다. 본 논문에서는 이러한 소음으로 인한 딥 러닝 알고리즘의 성능 영향을 알아보기 위해 흔히 접하는 일상 소음 3 종 (헤어드라이어, 진공 청소기, 망치 소리)에 대해 SNR 값에 따른 인식률 변화를 실험하였다. 학습에 이용한 데이터 셋은 환경음 분류에 많이 사용되는 UrbanSound8K[1]으로서 10 종 8732 개의 일상음으로 구성되어 있다. 오디오 인식을 위한 특징 추출은 환경음 분류에 효과적으로 알려진 로그 멜 스펙트로그램[2]을 사용하였으며, 딥 러닝 구조는 VGG16[3]을 사용하였다.

SNR 별 test 소리의 분류 정확도를 표 1 과 그림 1 에 나타내었다. 실험 결과 동일한 SNR 일 때 헤어드라이어나 진공청소기 같은 지속성 소음에 비해 망치 소음과 같은 단발성 소음이 인식률에 영향을 덜 미치는 것으로 나타났다.

Table 1. Accuracy rate compared to clean data

| SNR | Hairdryer | Vacuum | Hammer |
|---|---|---|---|
| -50 | 14.6% | 14.5% | 5.7% |
| -30 | 14.6% | 14.7% | 9.1% |
| -10 | 30.5% | 41.8% | 55.5% |
| 0 | 58.7% | 75.0% | 87.5% |
| 10 | 85.6% | 84.7% | 98.5% |
| 30 | 96.3% | 95.6% | 100.1% |
| 50 | 99.2% | 99.6% | 99.9% |

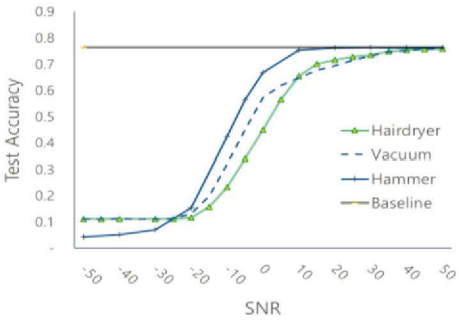



Fig 1. SNR vs. test accuracy

(감사의 글) 이 논문은 2018 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2018R1D1A1B07050790)

## 참고문헌

1. J. Salamon, C. Jacoby, and J. P. Bello, "A dataset and taxonomy for urban sound research," Proc. of the 22nd ACM International Conf. on Multimedia, 1041- 1044 (2014).

2. W. Oh, "Comparison of environmental sound classification performance of convolutional neural networks according to audio preprocessing methods," (in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. 39, 143-149 (2020).

3. K. Simonyan and A. Zisseman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition," arXiv preprint arXiv:1409.1556 (2015).

오원근: owg@scnu.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 기획세션: 음향인식

한국음향학회 2020 년 추계학술대회 발표논문집

# 딥러닝 기반의 기침 인식 카메라

이 경 태[1], 남 현 욱[1], 박 용 화[1]
[1] 한국과학기술원

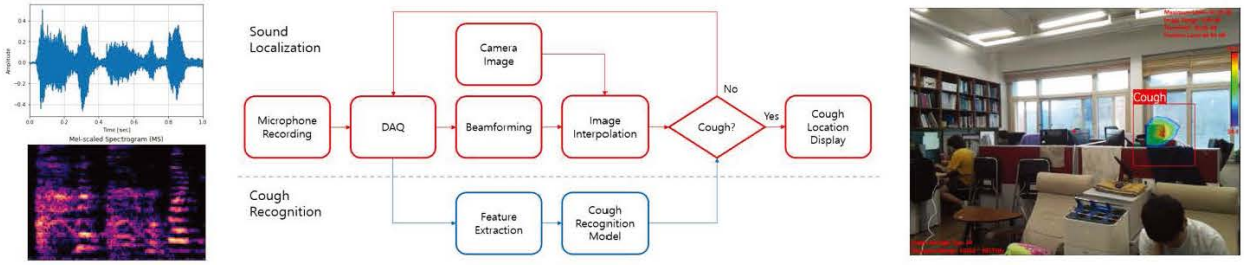
# DEEP LEARNING-BASED COUGH RECOGNITION CAMERA

Gyeong-Tae LEE[1], Hyeonuk NAM[1], and Yong-Hwa PARK[1]
[1]Korea Advanced Institute of Science and Technology

**중심어:** 기침, 딥러닝, 음향 카메라, 실시간 추적, COVID-19

## 요 약

코로나 19 의 대표적인 증상이 발열과 기침인데, 본 연구에서는 배경소음이 있는 일상적인 환경에서 기침 소리를 인식할 수 있는 딥러닝 모델을 개발하여 음향 카메라에 적용하였다. 기침 인식 모델의 개발을 위해 합성곱 신경망(CNN)을 기반으로 지도 학습(supervised learning)을 하였다. 입력은 1 초 음향신호의 특징(feature), 출력은 0: else 또는 1: cough 인 2 진 분류 모델이다. 학습률 최적화를 위해 일정 기간 학습률이 정체하면 그 값을 낮추도록 설정하였다. 데이터는 기침 인식 모델의 훈련 및 평가를 위해 Audioset, DEMAND, ETSI 및 TIMIT 등의 데이터셋을 수집하였다. 여기서, Audioset 은 훈련 및 평가 데이터셋 구성을 위해 사용하였으며, 나머지는 본 모델이 다양한 배경소음에 일반화될 수 있도록 데이터 증강(data augmentation)을 위한 배경소음으로 사용하였다. 데이터 증강은 배경소음을 0.15 ~ 0.75 의 비율로 Audioset 에 섞은 후, 다양한 거리에 일반화되도록 0.25 ~ 1.0 배로 음량을 조정하였다. 훈련 및 평가 데이터셋은 증강된 데이터셋을 9:1 로 나누어 구성하였으며, 시험 데이터셋은 따로 사무실에서 녹음한 것을 사용하였다. 모델 최적화를 위해 5 개의 음향 특징 및 7 개의 최적화기(optimizer)를 사용하여 학습을 진행하였으며, 시험 데이터셋의 정확도로 그 성능을 확인하였다. 그 결과, Mel-scaled Spectrogram 을 음향 특징으로 사용하여 ASGD 로 모델을 최적화 하였을 때, 87.4 %의 시험 정확도를 얻을 수 있었다. 학습된 기침 인식 모델을 음향 카메라에 적용하였다. 음향 카메라는 소리를 수집하는 마이크로폰 배열과 카메라 모듈로 구성된다. 수집된 데이터는 음원의 위치를 계산하는 빔 형성(beamforming) 과정을 거친 후, 기침 인식 모델이 기침 소리로 인식했을 경우, 촬영된 이미지 상에서 기침 소리가 난 위치에 등고선과 라벨로 표시된다. 개발된 기침 인식 카메라의 예비 시험을 진행한 결과, 잡음 환경에서도 기침과 그 이외의 소리를 구분하고 기침한 사람과 그 위치 그리고 횟수 등을 실시간으로 추적하여 향후 적용 가능성을 확인할 수 있었다.




(a) Acoustic Feature (b) Block diagram of signal processing (c) Demonstration

Fig. 1 Development of deep learning-based cough recognition model and its application to acoustic camera.

박용화: yhpark@kaist.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 기획세션: 은밀수중통신

# 다중 밴드 처프 대역 확산 기법을 사용한 수중음향통신

이주형 [1], 안정하 [1], 라형인 [1], 김기만 [1], 김인수 [2]
[1] 한국해양대학교, [2] 국방과학연구소

# UNDERWATER ACOUSTIC COMMUNIACTION USING MULTI-BAND CHIRP SPREAD SPECTRUM

Joohyoung LEE[1], Jungha AHN[1], Hyung-in RA[1], Ki-man KIM[1], and In-soo KIM[2]
[1]Korea Maritime and Ocean University, [2]Agency for Defense Development

**중심어 :** 수중음향통신, CSS (Chirp Spread Spectrum), Multi-band CSS, 도플러 천이 채널

## 요약

수중음향통신에서 사용하는 대역 확산 기법에는 크게 FH(Frequency Hopping), DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum), 그리고 CSS(Chirp Spread Spectrum) 방식 등이 존재한다. 이 중 CSS 방식은 FH 방식보다는 낮은 SNR 환경에서 좋은 성능을 갖고, DSSS 방식보다는 도플러 효과에 강해 중거리 통신에 효율적이다.[1] 본 연구에서는 기존의 CSS 전송에 있어서 주파수를 여러 구간으로 나누어 여러 비트를 동시 전송하는 방식을 제안하였다. 먼저 시뮬레이션을 통해 SNR(Signal-to-Noise Ratio)에 따른 성능과 4 knot 의 속도로 도플러가 발생할 때의 성능 분석을 진행했으며 이에 대한 결과는 그림 1 과 2 에 나타내었다. 시뮬레이션을 통해 도플러 주파수 천이 환경에서는 주파수 밴드가 늘수록 오류 누적이 감소하였다. 또한 그림 3 과 같이 다중경로 전달과 도플러 천이 전달 특성을 갖는 호수에서의 실험 결과 1, 2 그리고 4 밴드 CSS 방식 각각의 평균 비트 오류율은 0.0982, 0.001 그리고 0.003 으로 나타났다.

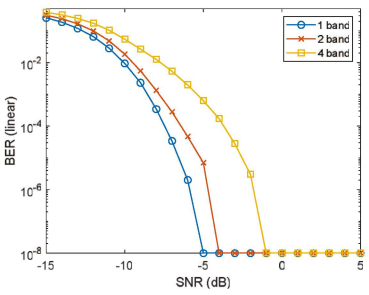



그림 1. SNR 에 따른 성능

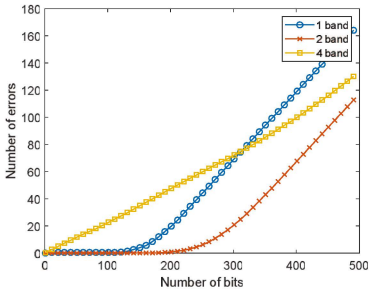



그림 2. Doppler 에 따른 성능

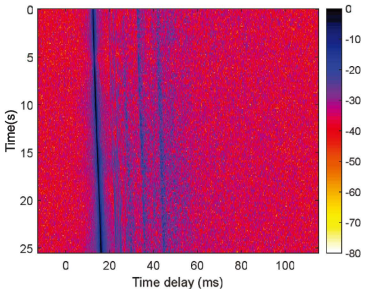



그림 3. 호수 채널 특성

## 감사의 글

본 연구는 국방과학연구소의 연구비 지원(과제번호:UD200010DD)으로 이루어졌습니다.

## 참고문헌

1. E.J. Kaminsky, “Chirp slope keying for underwater communications,” SPIE sensors, and command, control, communication, and intelligence (C31) technologies for homeland security and homeland defense Ⅳ conf. Orlando, FL, USA, 28 March- 1, 5778, pp. 894-905 (2005)

이주형: ljh1106@g.kmou.ac.kr

# 오토인코더와 데이터 증식을 활용한 고래소리 모방 은밀통신 기법

이인성 [1], 권도일 [1], 김완진 [2], 김덕경 [1]
[1] 인하대학교, [2] 국방과학연구소

# COVERT COMMUNICATION TECHNIQUE MIMICKING WHALE SOUND BASED ON AUTO ENCODER AND DATA AUGMENTATION

In-Sung LEE[1], Doyle KWON[1], Wan-Jin KIM[2], and Duk Kyung KIM[1]
[1]Inha University, [2]Agency for Defense Development

**중심어:** 오토인코더, 데이터 증식, 고래소리 모방, 은밀통신

## 요약

본 논문에서는 고래 소리를 모방한 은밀 통신 기법을 제안한다. 우선 고래 소리 신호 자체가 아닌 소리 신호의 주파수 특성을 갖는 스펙트로그램(spectrogram)을 활용한다. 이는 무선 채널에서의 잡음과 다중 경로에 의한 왜곡을 보상하는데 있어 소리 신호를 활용하는 것보다 스펙트로그램을 사용하는 것이 효과적이기 때문이다. 대부분의 기존 연구에서는 채널에 의해 왜곡된 신호를 보상하는데에만 AE (Auto Encoder)를 사용한다 [1]. 반면, 제안된 통신 기법에서는 신호 보상을 위해서 AE 를 사용할 뿐만 아니라, 모방된 고래 소리의 스펙트로그램을 기반으로 한 특성데이터를 신호 송수신에 이용하기 위해서도 AE 를 사용한다는 측면에서 기존의 AE 기반 통신 기법과 차이가 있다. 본 논문에서는 부가 백색 가우시안 잡음 (AWGN: Additive White Gaussian Noise) 채널에 의해 왜곡된 신호를 보상하는것을 고려하며, 이미지 복구에 널리 활용되는 DAE(Denoising AutoEncoder)를 적용한다. 한편, 본 논문에서는 고래 소리 모방 데이터의 특성 데이터를 활용하기 위해서 FAE (Feature AutoEncoder)가 이용된다. 주목할 점은, 실제 고래 소리의 데이터 샘플이 많지 않은 현실에서 FAE 를 학습 및 동작시키기 위해서는 다양하고 충분한 수의 데이터 샘플이 필요한데 그에 상응하는 실제 많은 수의 고래 소리 샘플을 얻기 어렵다. 이 문제를 해결하기 위해 데이터 증식을 적용하였다. 증식된 데이터는 스펙트로그램 상에서 고래소리의 윤곽선(contour) 부분을 모방하여 만든 신호로, 각 데이터마다의 기울기, 시작점 및 끝점들을 랜덤 하게 지정하여 생성 하였다.

김덕경: kdk@inha.ac.kr

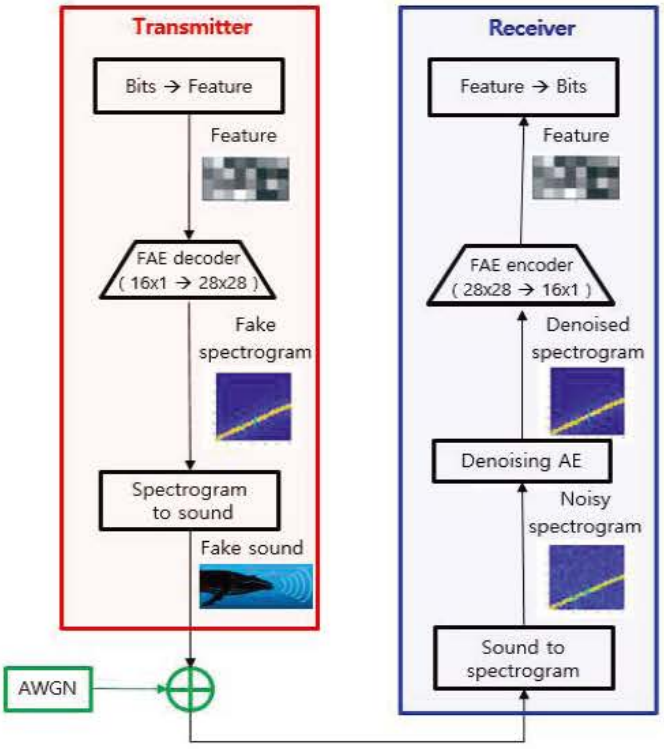



그림1 : 제안하는 송수신기의 구조

그림 1 은 제안하는 은밀통신 기법의 송수신기의 구조를 나타낸다. 그림에서 송신기는 다음과 같은 작업을 차례대로 수행한다. 먼저, 이진 정보를 특성 데이터에 매핑 한다. 그 후, FAE 의 디코더(decoder)를 이용하여 16 × 1 차원을 갖는 특성 데이터를 28×28 차원을 갖는 이미지 데이터로 변환한다. 여기서, 이미지 데이터는 고래소리를 모방한 스펙트로그램(Fake Spectrogram)이다. 이후, Griffin-Lim 알고리즘[2]을 통해 앞서 생성된 Fake Spectrogram 을 활용하여 모방 고래 소리신호 (Fake Sound)를 생성한 후 상기 소리 신호를 송신한다. 송신된 Fake Sound 는 AWGN 채널을 통과 후 수신기에 수신된다. 수신기는 먼저 단시간 푸리에 변환 (STFT: Short Time Fourier Transform)을 이용하여 수신 소리신호를 크기가 28×28 차원인 스펙트로그램으로 변환한다. 이 때 소리 신호에는 잡음이 섞여 있기 때문에 이에 상응하는 스펙트로그램 역시 잡음이 낀 스펙트로그램(noisy spectrogram)이며 이는 송신단에서 생성된 스펙토그램과 차이가 있다. 따라서, AWGN 에 의한 왜곡을 보상하기 위해 두 번째 AE 인 DAE 가 적용된다. DAE 를 통과하여 잡음이 제거된 스펙트로그램(Denoised Spectrogram)은 이후 FAE 의 인코더(encoder)를 통과하여 크기가 16×1 차원인 특성 데이터로 변환된다. 최종적으로, 특성 데이터는 이진 정보로 변환된다.

이와 같은 기법을 이용하면 생체모방 은밀통신을 위한 기존 Chirp Spread Spectrum(CSS) 기법의[3] 문제점인 주파수 상의 불연속점 및 왜곡 문제를 회피 할 수 있다. 또한, 송신자가 결정한 크기의 차원으로 압축한 특성 데이터를 이용하기 때문에 송수신자가 아닌 제 3 자는 송수신되는 데이터의 구조 및 형태를 알 수 없다는 장점이 존재하여 더욱 견고한 은밀통신이 가능해진다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다 (UD200010DD).

## 참고문헌

1. M. Soltani, W. Fatnassi, A. Aboutaleb, Z. Rezki, A. Bhuyan and P. Titus, "Autoencoder-Based Optical Wireless Communications Systems," *2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Abu Dhabi, UAE, 2018, pp. 1-6
2. P. Mowlaee, J. Kulmer, J. Stahl and F. Mayer, "Single channel phase-aware signal processing in speech communication: theory and practice", Wiley, Hoboken, N.J., USA, 2016
3. J. Ahn, H. Lee, Y. Kim, S. Lee and J. Chung, "Mimicking dolphin whistles with continuously varying carrier frequency modulation for covert underwater acoustic communication", Japanese Journal of Applied Physics (2019)

김덕경: kdk@inha.ac.kr

# 대역 확산 부 대역 수중음향통신 기법

정현우[1], 신지은[1] , 정지원[1], 김인수[2]
[1]한국해양대학교, [2]국방과학연구소

# SPREAD SPECTRUM UNDERWATER ACOUSTIC COMMUNICATION TECHNIQUE USING THE SUB-BAND

Hyun-Woo JEONG[1], Ji-Eun SHIN[1], Ji-Won JUNG[1] , and In-Soo KIM[2]
[1]Korea Maritime and Ocean University, [2]Agency for Defense Development

**중심어:** 수중음향통신, 부 대역 처리, 대역 확산, 터보 부호, 멀티밴드

## 요약

은밀 수중음향통신시스템은 송신 신호가 의도된 수신기 외의 다른 수신기에 감청되지 않도록 하기 위해 설계된 통신 시스템이다. 은밀 통신 시스템의 특징은 낮은 신호 대 잡음 비 영역에서 동작이 되어야 한다는 것으로, 대표적인 통신 방식에는 대역 확산 통신기법이 있다. 본 연구에서는 은밀성을 유지하기 위해서 보내고자 하는 신호에 직접 PN비트를 곱해 줌으로써 대역을 확산시키는 직접 확산 변조 방식과 부호화된 비트를 블록으로 나뉘어 각 블록의 첫 번째 비트가 블록에 할당되어진 중심주파수를 결정하며 그 다음 비트들이 각 중심 주파수의 왼쪽 오른쪽을 결정하는 구조인 부 대역을 이용한 비동기식 MFSK 방식을 사용하였다[1]. 그림1은 대역 확산 부 대역 송수신기 구조를 나타낸다. 부호화율 1/3을 가지는 터보 부복호화기를 적용하였으며 등화기와 채널 복호화기를 반복하는 터보 등화 구조를 제시하였다[2]. 시뮬레이션을 통해 대역 확산 통신 기법에서 대역 확산 신호의 chip 수를 8개, 16개, 32개로 변경하면서 성능을 분석하였다. 성능 분석 결과 밴드 수 및 chip 수가 증가함에 따라 성능 이득을 확인할 수 있었다. 최적의 반복 횟수를 5로 고정시키고 수신부에서 터보 등화 방식을 이용한 결과 반복 횟수에 따라 성능이 향상되는 것을 확인하였다.

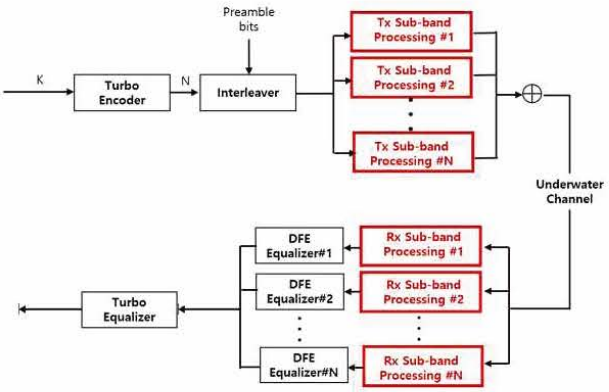



그림1. 대역 확산 부 대역 송수신기 구조

## 감사의글

본 연구는 국방과학연구소의 연구비 지원(과제번호: UD200010DD)으로 이루어졌습니다.

## 참고문헌

1. T.C. Yang, "Low signal-to-noise-ratio underwater acoustic communication using direct-sequence spread spectrum signals," IEEE. Oceans'2007, pp. 821-826, (2007)

2. Ji-won Jung, "Performance analysis of turbo equalizer in the multipath channel," Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, vol 5, No 3, pp. 169-173, (2012)

정지원: jwjung@kmou.ac.kr

# Chip 수에 따른 대역확산 기반 수중은밀통신 성능 분석

신지은[1], 정현우[1], 정지원[1], 김인수[2]
[1]한국해양대학교, [2]국방과학연구소

# PERFORMANCE ANALYSIS OF UNDERWATER COVERT COMMUNICATION ACCORDING TO THE NUMBER OF CHIPS

Jieun SHIN[1], Hyun-woo JUNG[1], Ji-Won JUNG[1], In-Soo KIM[2]
[1]Korea Maritime and Ocean University, [2]Agency for Defence Development

**중심어:** 멀티밴드, DSSS, 등화기, 터보 코드, 저피탐, 수중음향통신

## 요약

수중음향통신에서 중점적으로 고려되어야 할 두 가지 지표는 성능 및 은밀성이다. 이를 만족시키기 위해 대역 확산 통신기법[1][2]을 적용하였으며 수중음향통신 환경에서 발생하는 성능 감쇄를 극복하기 위해 다중 밴드 통신 기법을 적용하였다. 이 두 기법을 적용하여 대역 확산 신호의 chip 수 및 다중 밴드 수를 바꾸어가며 시뮬레이션 해 성능을 분석하였다. 송신기에서의 채널 부호화 알고리즘으로 부호화 비트 수 336개를 가지는 부호화율 1/3의 터보 부호를 적용하였고, 수신부에서는 등화기와 채널 복호화기를 반복하는 터보 등화 구조를 적용하였다. 송신단에서 채널 부호화 및 인터리빙 된 비트는 대역 확산 후 각 밴드에서 서로 다른 주파수 대역으로 처리 후 합하여 전송된다. 수신단에서는 밴드별로 동기 복조 후 chip 수에 따라 RAKE 처리 과정을 한 신호를 복호부로 전달해 복호한다. 시뮬레이션 결과, 확산 신호의 chip 수가 증가함에 따른 성능 이득을 확인하였으며, 동일한 chip 수에서 밴드 수가 증가할수록 성능이 향상되나 밴드 수가 3개일 때와 4개일 때는 성능이 거의 동일하였다.

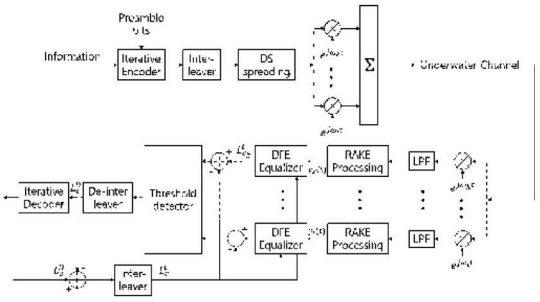



그림 1. 다중 밴드 기반 대역확산 통신 송수신 블록도

## 감사의글

본 연구는 국방과학연구소의 연구비 지원(과제번호: UD200010DD)으로 이루어졌습니다.

## 참고문헌

1. T.C.Yang, W.B.Yang, "Low signal-to-noise-ratio underwater acoustic communication using direct-sequence spread spectrum signals," IEEE oceans 2007, pp.821-826 (2007)

2. Karim Ouertani, Samir Saoudi, Mahmoud Ammar, Sebastien Houcke, "Performance comparison of RAKE and SIC/RAKE receivers for multiuser underwater acoustic communication applications," IEEE OCEANS 2007-Europe, pp.1-6 (2007)

정지원: jwjung@kmou.ac.kr

# 해수면 거칠기 스펙트럼에 따른 고주파 양상태 해수면 음파산란 연구

김용빈[1], 최강훈[1], 김시문[2], 이상국[3], 최지웅[4†]
[1]한양대학교, [2]선박해양플랜트연구소, [3]국방과학연구소, [4]한양대학교 ERICA

# A STUDY ABOUT HIGH FREQUENCY BISTATIC SEA SURFACE SCATTERING AS SEA SURFACE ROUGHNESS SPECTRUM

Yongbin KIM[1], Kang-Hoon CHOI[1], Sea-Moon KIM[2], and Sangkug LEE[3], and Jee Woong CHOI[4†]
[1]Hanynag University, [2]Korea Research Institute of Ships & Ocean engineering, [3]Ageny for defense development, [4]Hanynag University ERICA

**중심어:** 해수면 거칠기 스펙트럼, 양상태 해수면 음파산란

## 요약

음파는 해수면 거칠기에 의한 산란뿐만 아니라 해수면 부근 공기방울 층에 의한 산란이 발생한다. 특히 주파수가 높아질수록 산란에 의한 영향은 크게 증가하므로, 고주파에서의 해수면 음파산란 특성 연구가 필요하다. 또한 해수면 거칠기는 해수면 파고와 주파수의 관계에 따라 반사가 우세하게 발생하는 큰 거칠기 성분과 산란이 우세하게 발생하는 작은 거칠기 성분으로 구분되고 이러한 거칠기 특성에 따라 해수면 음파산란 특성이 달라지게 된다.

본 연구에서는 O(100) kHz 대역에서의 해수면 음파 산란 특성을 연구하기 위해 2020년 4월에 거제도 주변 해역에서 채널 측정 실험을 수행하였다. 실험 당시 파고부이로 측정한 해수면 변위 데이터를 통해 해수면 주파수 스펙트럼을 도출하여, 해수면 거칠기 스펙트럼에 따른 산란 특성을 확인하였다. 양상태 해수면 산란강도는 Small slope approximaion(SSA)로 계산되었으며, 산란강도와 전달손실 및 도달시간을 이용하여 고주파 양상태 음파산란 신호를 모의하고 측정 결과와 비교하였다

## Aknowledgment

본 연구는 한국해양과학기술진흥원 국가R&D사업 "수중 광역 이동통신 시스템 개발(PMS4110)" 과 국방과학연구소(UD200010DD)의 지원을 받아 수행된 연구임.

## 참고문헌

1. P. H. Dahl, "On bistatic sea surface scattering: Field measurements and modeling," J. Acoust. Soc. Am. 105, 2155-2169 1999.

최지웅: choijw@hanyang.ac.kr

# 시공간적 해양환경에서의 통계적 음향채널 모델링 연구

최강훈[1], 조용호[2], 고학림[2], 이상국[3], 최지웅[4†]
[1]한양대학교, [2]호서대학교, [3]국방과학연구소, [4]한양대학교 ERICA

# STUDY OF STATISTICAL ACOUSTIC CHANNEL MODELING IN SPATIO-TEMPORAL OCEAN ENVIRONMENT

Kang-Hoon CHOI[1], Yong-Ho CHO[2], Hak Lim KO[2], Sangkug LEE[3], and Jee Woong CHOI[4†]
[1]Hanyang University, [2]Hoseo University, [3]Agency for defense development, [4]Hanyang University ERICA

**중심어:** 시공간적 해양환경, 수중음향 통신채널, 통계적 채널 모델링, 그룹 채널응답

## 요약

수중에서의 음파는 해수면 및 해저면과 같은 경계면에 의해 반사되고 수직 음속구조에 의해 굴절되면서 복잡한 다중경로로 전달된다[1]. 이러한 다중경로 특성은 시·공간적 해양환경에 따라 변화하며 신호의 인접 심볼간 간섭(Inter-symbol interference, ISI)을 야기함으로써 수중에서의 음향통신을 어렵게 한다. 최근 들어 해저 자원 개발 및 해양환경의 실시간 관측 등에 대한 필요성이 증가함에 따라 수중 음향통신 연구가 활발히 수행되고 있으며 통신 시스템 설계 및 수중통신 성능 분석을 위해 다양한 해양환경에서의 수중 음향 채널 모의가 필수적이다.

본 연구에서는 시·공간적으로 다른 해양환경에서 도출된 음향채널의 통계적 특성을 이용하여 음향 채널응답을 생성하는 알고리즘 연구를 수행하였다. 음향채널의 통계적 특성 추출을 위해 음선이론 기반 채널모델을 통해 서해 임의해역에서의 채널응답을 모의하고 해양환경 데이터의 통계적 특성을 추출하였다. 모의 채널응답은 지연시간이 가까운 다중경로를 그룹화하여 그룹 채널응답을 도출하고 그룹 채널 에너지 및 지연시간의 회귀선 특성을 분석하여 해양환경 특성에 따른 랜덤 채널응답을 생성하였다.

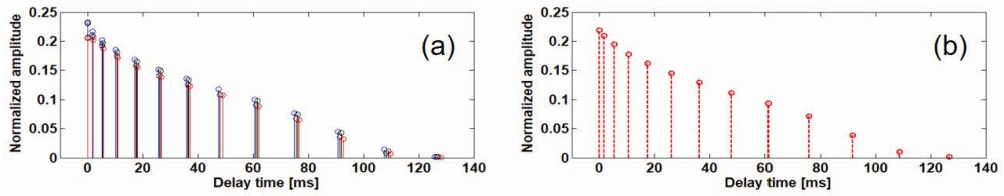



**그림 1. (a) 음선이론 기반 채널모델로 모의한 음향 채널응답과 (b) 그룹 채널응답**

## Acknowledgment

본 연구는 2020 년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(분산형 수중관측 제어망 개발)과 국방과학연구소(UD200010DD)의 지원을 받아 수행된 연구임.

## 참고문헌

1. 최지웅, 김선효, 손수욱, 김시문, “해양환경 변동에 따른 수중음향 무선통신 채널 특성,” 한국통신학회지(정보와통신), 33, pp.52-62 (2016)

책임저자 : 최지웅(choijw@hanyang.ac.kr)

# 장거리 심해 환경에서의 음선 기반 블라인드 디컨볼루션

김동현[1], 김재수[1], 한주영[2]
[1]한국해양대학교, [2]국방과학연구소

# APPLICATION OF RAY-BASED BLIND DECONVOLUTION TO LONG-RANGE ACOUSTIC COMMUNICATIONS

Donghyeon KIM[1], Jea Soo KIM[1], and Joo Young Hahn[2]
[1]Korea Maritime and Ocean University, [2]Agency for Defense Development

**중심어:** 심해, 음선 기반 블라인드 디컨볼루션, BLAC18

## 요약

알지 못하는 임의의 신호에 대한 채널 임펄스 응답(Channel Impulse Response, CIR)은 음선 기반 블라인드 디컨볼루션(Ray-based Blind Deconvolution, RBD)에 의해 추정될 수 있으며, 천해 환경에서의 RBD 기법은 여러 문헌들을 통해 시뮬레이션과 데이터를 이용하여 입증되었다. 하지만 심해 환경에서는 아직 확인된 바가 없으며, 본 발표에서는 장거리 심해 환경에서의 RBD 적용 가능성을 해상실험 데이터를 통해 보이고자 한다. 2018년 10월 1,200~1,700 m의 수심을 가지는 포항 동방 해역에서 장거리 심해 수중음향통신 실험(Biomimetic Long-range Acoustic Communication 2018, BLAC18)이 수행되었으며, BLAC18의 목적은 장거리 심해 환경에서의 수중음향통신이다. 음원과 수신기 사이의 거리는 30, 60, 90 km이며, 16개의 채널이 2.8 m의 등간격으로 구성되어있는 수직 선 배열 센서를 활용하였다. Fig. 1 (a)는 BLAC18의 모식도를 나타내며, 실제 측정한 음속구조를 통해 250 m 깊이에 음향축이 형성됨을 확인하였다. Fig. 1 (b)는 정합 필터와 RBD를 이용하여 추정한 CIR을 비교하는 그림이다. 또한, RBD를 통해 음원의 파형을 추정할 수 있으며, 이는 수중통신에 활용될 수 있다. Fig. 1 (c)는 RBD를 통해 추정한 통신 신호를 복조한 결과로 0 %의 BER과 14 dB의 출력 SNR을 획득하였다. Fig. 1 (b)와 (c)를 통해 장거리 심해 환경에서도 RBD 기법이 성공적임을 확인할 수 있다.

본 연구는 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다 (UD200010DD).

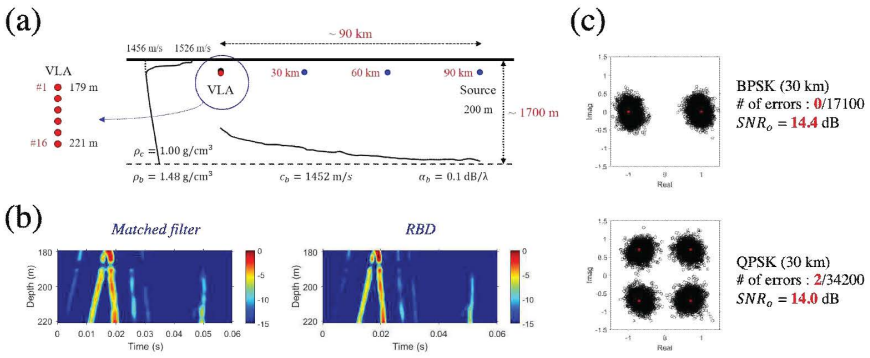



Fig. 1. (a) BLAC18 모식도, (b) CIR; 정합 필터 vs. RBD, (c) 통신 신호 복조 결과 (30 km); BPSK, QPSK

김재수 : jskim@kmou.ac.kr

# 수중음향통신 채널의 도플러 확산 모델링

안정하[1], 이주형[1], 라형인[1], 김기만[1], 김완진[2]
[1]한국해양대학교, [2]국방과학연구소

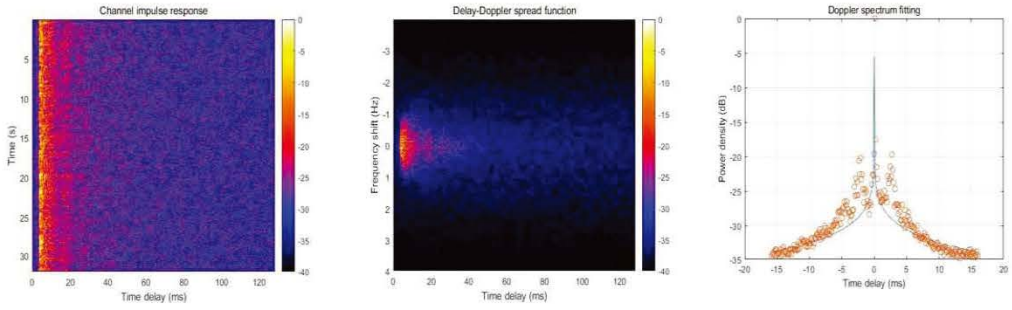
# MODELING OF DOPPLER SPREAD IN UNDERWATER ACOUSTIC COMMUNICATION CHANNEL

Jeong-ha AN[1], Joo-Hyoung LEE[1], Hyung-In Ra[1], Ki-Man KIM[1], and Wanjin KIM[2]
[1]Korea Maritime and Ocean University, [2]Agency for Defense Development

**중심어:** 수중음향통신, 도플러 확산 스펙트럼, Stretched exponential 함수

## 요약

수중음향통신의 중요성이 증가함에 따라 음향 채널 시뮬레이션의 필요성 또한 증가하고 있다. 채널 시뮬레이션을 통해 실험의 신뢰도를 높일 수 있다. 본 발표에서는 노르웨이 FFI에서 제공[1]하는 해상실험 데이터를 이용하여 도플러 확산 채널의 모델링 결과를 제시한다. 도플러 확산 스펙트럼을 모델링하기 위해서 일반적으로 Gaussian 함수를 사용했지만 해당 해상 실험에서는 Stretched exponential function인 $e^{-(|v|/\alpha)^{\beta}}+n$ 함수가 적합하다고 판단되어 이를 사용하였다. 데이터 획득을 위한 실험은 수심이 10 m인 해상에서 진행되었고, 음속 구조를 고려하여 송수신기 모두 바닥인 10 m에 위치시켰다. 송수신기 사이의 전달 거리는 750 m이며, 60회 반복 전송이 이루어졌다. 실험에는 10~18 kHz의 대역폭을 가진 반복적인 LFM(linear frequency modulation) 신호를 사용하였다. 첫 번째 그림은 수신 신호의 시간에 따른 채널 임펄스 응답의 변화를 보여주며, 두 번째 그림은 Delay-Doppler spread 함수, 세 번째 그림은 Doppler spectrum과 함께 이를 Stretched exponential 함수를 사용해 fitting한 결과이다.




## 감사의 글

본 연구는 국방과학연구소의 연구비 지원(과제번호:UD200002DD)으로 이루어졌습니다.

## 참고문헌

1. Paul van Walree, Roald Otnes, and Trond Jenserud, FFI-Report, 2016.

안정하 : zzung706@g.kmou.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 기획세션:
# 압축센싱 소나신호처리

# 희소성 음향 통신 채널 추정 견실화를 위한 $l_1$놈-RLS 알고리즘

임준석[1], 김성일[2]
[1]세종대학교, [2]국방과학연구소명

# ROBUST $L_1$-NORM RLS FOR THE SPARSE CHANNEL ESTIMATION

Junseok LIM[1], Sungil KIM[2]
[1]Sejong University, [2]ADD

**중심어:** 음향 통신, 희소성 채널, 채널 추정, 신호 백색화

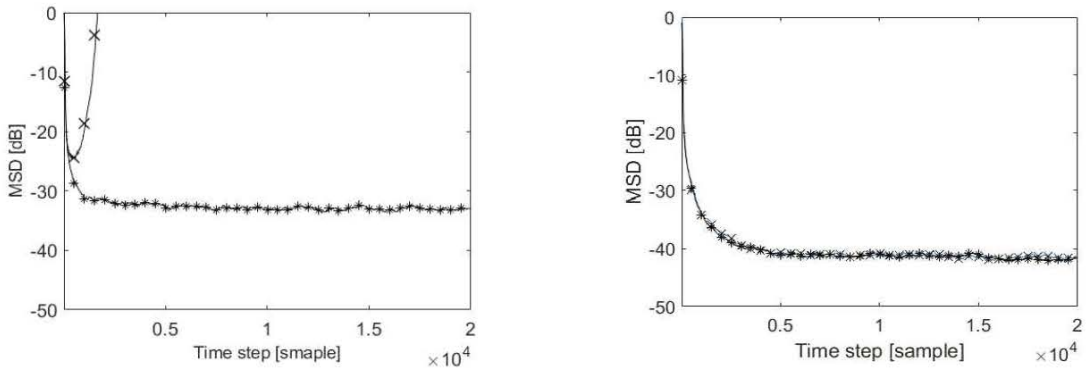
## 요약

적응 필터는 신호처리 분야의 한 종류로서, 음성 신호처리 분야나 수중 음향 채널 추정 및 등화기 설계에 많이 쓰인다. 특히 채널 추정에서 신호처리 대상이 되는 채널의 상당수는 희소성(sparsity)을 갖는다고 알려져 있다. 이는 임펄스 응답이 길지만 소수의 탭만이 '0'이 아닌 특징을 지니는 채널을 의미한다. 이런 특징을 갖는 채널은 수중 음향 채널 및 여러 통신 채널 등에서 자주 접할 수 있다.

희소성 채널 추정에 쓰는 적응 알고리즘 중 RLS를 사용하는 알고리듬들은 일반적으로 입력 신호 자기상관 행렬의 역행렬 계산에서 불안정해지는 경향이 있다. 이런 수치상 불안정 상태의 주된 원인중 하나가 $\mathbf{R}_{xx}(n)$의 역행렬에 대칭성이 유지되지 못할 때라는 것이 알려져 있고, 이런 수치적 불안정은 상관 행렬 $\mathbf{R}_{xx}(n)$을 추정할 때 대칭이 깨지기 때문이라는 것임도 알려져 있다.

본 논문은 Reference [1]에서 제안된 $l_1$-norm 규준화를 사용한 RLS방법에 Reference [2]에 제안된 최소자승 백색화 기법을 적용하여 희소성에 잘 대응하면서, 수치계산에서 오는 불안정성에 견실함도 더한 알고리즘을 제안한다. 시뮬레이션을 통해서 신호를 다양한 양자화 단계로 신호를 양자화 함으로써 수치적 불안정성을 생기게 하고 이에 대해서 새로 제안한 알고리즘과 기존의 알고리즘간의 성능을 MSD(Mean Square Deviation)를 척도로 사용하여 서로 비교한다. 시뮬레이션을 위해서 참 채널 임펄스 응답의 길이는 L = 64로 정하였다. 그리고 매 번의 반복 실험 때 마다 총 64개 탭 중에서 2개의 탭을 불규칙하게 뽑아서 희소성 채널을 구성하도록 하였다. 또 백색화의 효과를 보이기 위해서 유한 비트로 신호를 양자화 하여 연산하는 경우를 설정하였다. Fig.1 (a)는 12bit로 양자화된 경우의 결과이다. 또 Fig.1 (b)는 32bit로 양자화된 경우의 결과이다.

임준석: jslim@sejong.ac.kr




(a) 12 bit (c ) 32 bit

Fig.1 Comparison between conventional $l_1$-RLS and the proposed algorithm. (-x-: the conventional $l_1$-RLS , -*-: the proposed algorithm)

## 참고문헌

1. E. M. Eksioglu and A. K. Tanc, "RLS Algorithm with Convex Regularization," IEEE Signal Processing Lett. 18, 470-473 (2011).

2. S.C. Douglas, "Numerically-Robust O(N2) Recursive Least-Squares Estimation Using Least Squares Prewhitening," in Proc. of International Conference of Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP00), 412-415 (2000).

임준석: jslim@sejong.ac.kr

# 블록 희소성을 이용한 다중 주파수 무격자 빔형성

박민석 [1], 성우제 [1], 추영민 [2], 김원기 [3]
[1] 서울대학교, [2] 세종대학교, [3] 국방과학연구소

# Multi-frequency off-grid beamforming using block sparsity

Min-seuk PARK[1], Woo-jae SEONG[1], Young-min Choo[2], and Won-ki KIM[3]
[1] Seoul National University, [2] Sejong University, [3]Agency for Defense Development in Korea(ADD)

**중심어:** 빔형성, 기저불일치, 무격자 압축센싱, 블록희소성, SBL

## 요약

압축센싱(Compressive Sensing) 기법은 적은 계측값을 이용하여 원래의정확한 신호의 복원을 가능케 해주는 신호복원 기법이며, 비결정형 문제에 적용되어 널리 활용되어지고 있다. 수중음향학 분야에서의 소음원의 위치 추정 문제는 비결정형 문제이며 최근 압축센싱 기법을 활용한 연구들에서 전통적인 빔형성 기법 대비 고해상도의 결과들을 보여주고 있다. 이러한 압축센싱 기반 빔형성은 수많은 기저 중 희소한 기저에서의 해를 복원하여 위치 추정을 수행하는데, 공간상에서 사용자가 이산적으로 정의한 한정된 기저만이 사용되기 때문에 실제 소음원의 위치와 사용자가 탐색하는 위치는 정확히 일치하지 않는다. 이를 기저불일치(basis mismatch)라고 하며 이러한 불일치는 전체적인 해의 품질 저하를 가져오게 된다.

본 논문에서는 해의 품질을 저해할 수 있는 기저불일치 문제를 해결하기 위하여 SBL(sparse Bayesian learning) 기법을 이용한 무격자 기반 압축 센싱 기법을 도입하였다. 위치 추정에서 발생할 수 있는 기존의 무격자 기반의 단점을 개선하기 위하여 각 계산 단계마다 새로운 기저를 탐색할 수 있는 알고리즘을 고안하였고, 위치 추정의 품질을 향상시키기 위하여 블록 희소성을 이용한 다중주파수 정보를 활용하였다. 제안된 알고리즘은 1 차원 도래각 추정 및 3 차원 점음원의 위치 추정 문제에 적용되어 기존 기법 대비 향상된 위치 추정 성능을 보임을 확인하였다.

[본 연구는 국방과학연구소(No. UD190005DD) 과제에 의해 수행되었음]

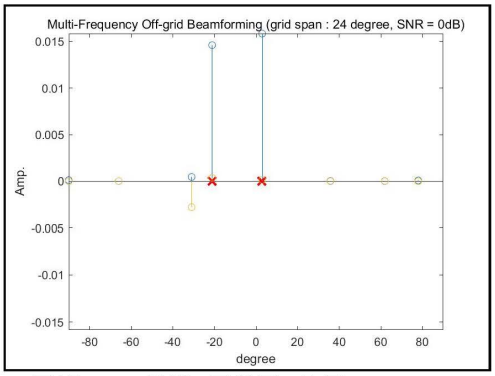



그림 1. 1 차원 도래각 추정

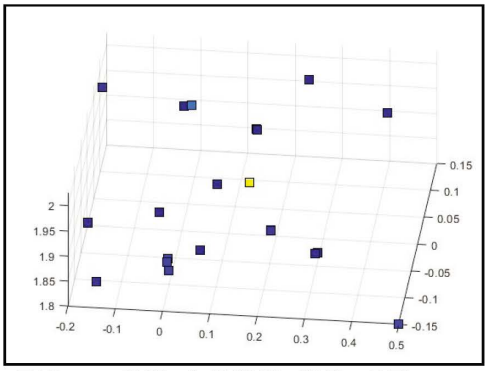


그림 2. 3 차원 소음원의 위치 추정

## 참고문헌

1. Z. Yang et. al, “Off-Grid Direction of Arrival Estimation Using Sparse Bayesian Inference”, IEEE Trans., 61, pp.38-43 (2013)

2. M. Park et. al, “Incipient tip vortex cavitation localization using block-sparse compressive sensing”, 147(5), JASA, pp.3454-3464 (2020)

책임저자의 성명 및 email 주소 기입(예: 하강렬: hakl@pknu.ac.kr)

# 콘볼루션 측정을 이용한 측면주사소나 영상 압축 복원

이보경 [1], 강일범 [1], 이준엽 [1], 구본화 [1], 김완진 [2], 고한석 [1]
[1] 고려대학교, [2] 국방과학연구소

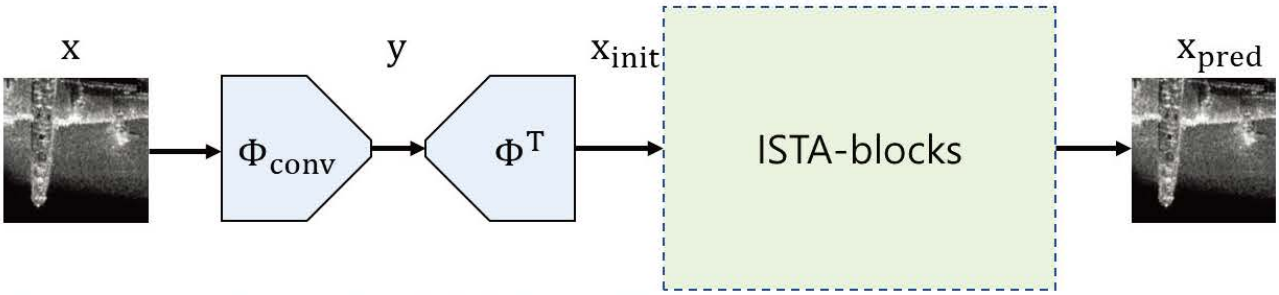
# COMPRESSIVE SENSING SIDE SCAN SONAR IMAGE RECONSTRUCTION USING CONVOLUTIONAL MEASUREMENT

Bo-Kyeung LEE[1], Yifan JIANG[1], Jun-Yeop LEE[1], Bon-Hwa KU[1], Wan-jin KIM[2], and Han-Seok KO[1]
[1]Korea University, [2]Agency for Defense Development

**중심어:** 측면주사소나, 압축센싱, 압축센싱복원, ISTA-Net

## 요약

In this research, we propose a modified ISTA-Net [1] based convolutional compressive sensing image reconstruction which can effectively measure side scan sonar images using convolutional measurement. ISTA-Net is representative model of the deep learning based compressive sensing image reconstruction [2], which is already widely used on computer vision domain. We apply convolutional neural network to measurement matrix, which usually consist of random matrix or fully connected layer [3]. According to our experiments, proposed method also shows its good performance on the compressive sensing image reconstruction task for side scan sonar images. In details, the reconstruction result our method has PSNR 21.5dB and result of baseline has 19.6dB.




감사의 글: 본 연구는 국방과학연구소의 지원을 받아 수행되었음(UD190005DD(CS-3))

## 참고문헌

1. Zhang, J., & Ghanem, B. (2018). ISTA-Net: Interpretable optimization-inspired deep network for image compressive sensing. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 1828-1837).

2. Kulkarni, K., Lohit, S., Turaga, P., Kerviche, R., & Ashok, A. (2016). Reconnet: Non-iterative reconstruction of images from compressively sensed measurements. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 449-458).

3. Shi, W., Jiang, F., Liu, S., & Zhao, D. (2019). Image compressed sensing using convolutional neural network. IEEE Transactions on Image Processing, 29, 375-388.

고한석: hsko@korea.ac.kr

# Domain adaptation 기반 측면주사소나 영상 잡음제거

강일범 [1], 이준엽 [1], 이보경 [1], 구본화 [1], 김완진 [2], 고한석 [1]
[1] 고려대학교, [2] 국방과학연구소

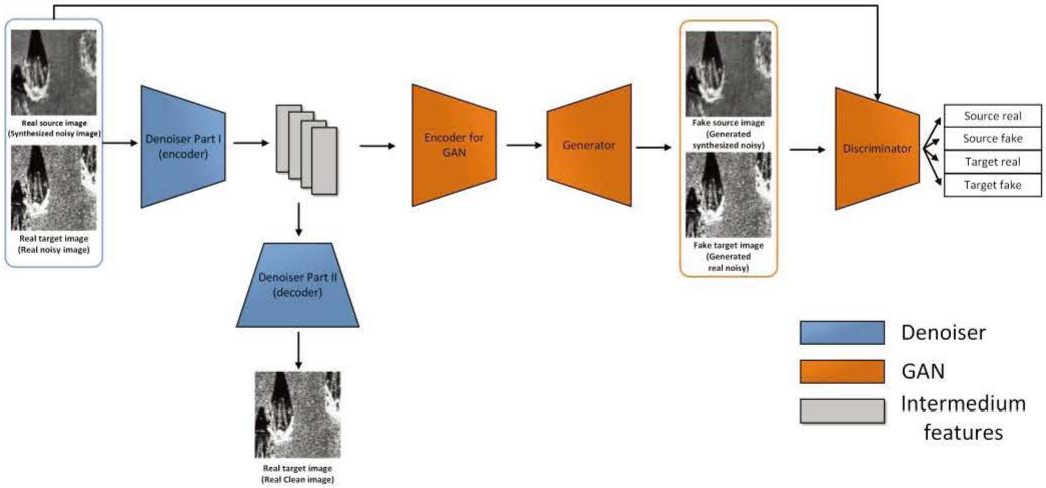
# DOMAIN ADAPTATION BASED SIDE SCAN SONAR IMAGE DENOISING

Yifan JIANG[1], Jun-yeop LEE[1], Bo-kyeung LEE[1], Bon-Hwa KU[1], Wan-jin KIM[2], and Han-Seok KO[1]
[1]Korea University, [2]Agency for Defense Development

**중심어:** 측면주사소나, 잡음제거, Domain adaptation

## 요약

In this research, we propose a domain adaptation based side scan sonar (SSS) image denoising approach which can effectively utilize synthetic data [1] to enhance the SSS image denoising performance. Basically, proposed method is consisted of two components: denoiser part and generative adversarial network (GAN) part. The denoiser part I takes both source (synthetic) and target (real) SSS images as inputs, then extracts intermedium feature and pass it to GAN part and denoiser part II. The GAN component is trained by an adversarial training strategy and helps the denoiser to reduce the domain gap between source domain and target domain. The denoiser part II takes intermedium feature from part I and produces clean SSS image as the final result. Experiments show that the proposed method can achieve 24.87 on PSNR metric, comparing to 24.23 PSNR metric which is produced by training a denoiser individually without domain adaptation.




감사의 글: 본 연구는 국방과학연구소의 지원을 받아 수행되었음(UD190005DD(CS-3))

## 참고문헌

1. Jiang, Y., Ku, B., Kim, W., & Ko, H. "Side-Scan Sonar Image Synthesis Based on Generative Adversarial Network for Images in Multiple Frequencies," In IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2020.

고한석: hsko@korea.ac.kr

# 압축 센싱 기반 고해상도 음향 채널 추정

추영민 [1], 김원기 [2], 성우제 [3]
[1] 세종대학교, [2] 국방과학연구소, [3] 서울대학교

# ESTIMATION OF HIGH RESOLUTION ACOUSTIC CHANNEL USING COMPRESSIVE SENSING

Y. CHOO[1], W. KIM[3], W. SEONG[2]
[1]Sejong University, [2]Agency for Defense Development, [3]Seoul National University

**중심어:** 압축센싱, 음향 채널

## 요약

능동 소나를 이용하여 음향 채널을 추정할 때 일반적으로 정합 필터(matched filter)를 사용한다. 특히, LFM 신호와 같은 광대역 신호는 그 대역폭을 활용하여 소음을 억제함과 동시에 펄스 압축(pulse compression)을 통해 계측된 신호를 구성하고 있는 도달 신호를 구별할 수 있다. 그러나 저주파 신호와 같이 대역폭이 제한되고, 또한 소음이 강한 환경에서는 정합 필터를 통한 음행 채널 추정이 어려워진다. 본 연구에서는 앞서 언급한 환경에서 소음이 제거된 고해상도의 음향 채널을 추정하기 위해서 압축 센싱[1]이 사용되었다. 비결정 선형 시스템의 해를 도출하기 위해서 사용되는 압축 센싱을 활용하기 위해, 계측값과 추정값 사이의 선형적 관계식을 정립하였다. 일반적인 압축 센싱이 가지고 있는 기저 불일치에 의한 성능 저하 문제를 극복하기 위해, 확장된 형태의 무격자 압축 센싱[2]을 이용하여 음향 채널이 추정되었으며, 추정 결과의 안정성을 높이기 위해서 다중 측정이 사용되었다. 이후, 제안된 방법은 모의 데이터와 실제 데이터를 통해 검증되었다.

## 참고문헌

1. E. J. Candès and M. B. Wakin, "An introduction to compressive sampling," IEEE Signal Process. Mag. 25(2), 21-30 (2008).

2. E. J. Candès and C. Fernandez-Granda, "Towards a mathematical theory of super-resolution," Comm. Pure Appl. Math. 67(6), 906-956 (2014).

성우제: wseong@snu.ac.kr

# 희소 베이지안 학습법을 이용한 실해상데이터 주파수 분석

신명인[1], 추영민[1] , 최기웅[1], 김성일[2], 홍우영[1]
[1] 세종대학교, [2]국방과학연구소

# FREQUENCY ANALYSIS FOR UNDERWATER REAL DATA USING SPARSE BAYESIAN LEARNING

Myoungin Shin[1], Youngmin Choo[1], Giyung Choi[1] , Seongil Kim[2] and Wooyoung Hong[1]
[1]Sejong University, [2]Agency for Defense Development

**중심어: 주파수분석, 실해상데이터, 고속푸리에변환, 희소 베이지안 학습법**

## 요약

최근 수동소나 음파 탐지는 해양 개체(선박, 잠수함, 해양생물 등)에서 방사되는 음향 신호를 탐지하기 위한 수단으로 많은 주목을 받아왔다. 주파수 성분의 정확한 식별은 목표 물체 검출을 위해 매우 중요하며 대표적인 기법으로는 이산 푸리에 변환 기법(Discrete Fourier Transfomation)이 있다. 그러나 이산 푸리에 변환 기법은 높은 연산량과 관측시간에 따른 해상도 감소와 같은 한계점이 존재하며 이를 해결하기 위해 다양한 방식의 주파수 추정 기법들이 제안되고 있다.

최근 압축센싱(Compressive Sensing)기법 중 하나인 희소 베이지안 학습법(Sparse Bayesian Learning)이 수중음향 분야(방위각추정, 위치추정 등)에서 활발히 연구중이다[1~4]. 희소 베이지안 학습법은 사전/사후 및 소음을 정규 확률 분포로 가정하여 기존의 압축센싱 기법에 비해 우수한 신호 복원 성능을 가지고 있으며, 또한 환경 소음의 상대적 크기를 필요로 하는 기존의 컨벡스 기반의 최적화 기법과는 다르게 정규 확률 분포를 가지는 소음을 가정하기 때문에 상대적으로 환경 소음에 강인한 성능을 가지는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 위에서 언급한 희소 베이지안 학습법과 고속 푸리에 변화(Fast Fourier Transformation)의 기초적인 이론 및 한계점을 소개하고 시뮬레이션 데이터 및 동해상에서 측정된 실해상데이터에 적용하여 주파수 분석을 수행한다.

## 참고문헌

1. M. E. Tipping, "Sparse Bayesian Learning and the Relevance Vector Machine", J. Machine Learning Research, 1, pp.211-244(2001)

2. P. Gerstoft, C. F. Mecklenbrauker and A. Xenaki, "Multi Snapshot Sparse Bayesian Learning for DOA Estimation", IEEE. Sign, Processing Letters, 23(10), pp.1469-1473(2016)

3. S. Nannuru, Kay L. Gemba, P. Gerstoft, W. S. Hodgkiss. C. F. Mecklenbräuker, "Sparse Bayesian learning with multiple dictionaries", Singal Processing, 159, pp.159-170(2019)

4. A. Xenaki, J. B. Boldt, M. G. Christensen, "Sound source localization and speech enhancement with sparse Bayesian learning beamfoming," 143(6), pp.3912-3921(2018)

책임저자 홍우영: wyhong@sejong.ac.kr

# 실해상데이터를 이용한 고속 압축센싱기반 도래각 추정 알고리즘 연구

백지웅[1], 홍우영[2], 김성일[3], 이준호(교신저자)[1]
[1] 세종대학교 정보통신공학과, [2]세종대학교 국방시스템공학과, [3]국방과학연구소

# Fast compressive sensing based DOA estimation method using measured data

Ji Woong Paik[1], Wooyoung Hong[2], Seongil Kim[3], and Joon-Ho Lee[1]
[1]Department of Information and Communication Engineering, Sejong University,
[2]Department of Defense Systems Engineering, Sejong University,
[3]Agency for Defense Development

**중심어:** 수동소나신호처리, 압축센싱, 도래각 추정

## 요약

수동 소나 시스템에서의 도래각 추정 기법은 신호원의 위치를 파악하는데 기본적인 기술이자 핵심적인 기술이다. 대표적인 도래각 추정 기법으로는 빔형성 기반 도래각 추정기법과 MUSIC 등이 있다. 특정 방향에 따른 위상차를 보상해주어 방향을 탐지하는 기존의 도래각 추정 기법의 경우 신호원의 개수가 센서의 개수보다 많은 경우 도래각 추정이 불가능하다는 제약조건이 존재한다. MUSIC의 경우 신호원의 개수를 알아야한다는 제약조건이 존재한다. 기존의 도래각 추정 기법의 문제점을 해소하기 위해 압축센싱 기반 도래각 추정 기법이 활발히 연구되었다. 압축센싱 기반 도래각 추정 기법[1,2]은 수신되는 입사신호가 공간적으로 희소성을 띈다는 특성을 이용하여 입사신호의 도래각을 추정하는 방법이다. 센서 개수의 제약 등과 같은 기존 기법의 문제점들을 해소하면서도 우수한 추정 성능을 유지할 수 있는 우수한 성능을 갖는 기법이지만 계산량이 많다는 문제점이 존재한다. 본 논문에서는 해당 문제를 해결하기 위해 단일 샘플의 신호데이터를 연속함수로 맵핑하여 최적화를 진행함으로써 희소 최적화를 수행하는 기법인 Smoothed L0 norm 알고리즘을 연구하였으며 성능 개선을 위해 다수 개의 샘플을 이용하여 희소최적화를 수행하도록 확장 연구를 진행하였다. 또한 실해상데이터를 활용하여 개발한 알고리즘의 추정 성능을 기존의 빔형성 알고리즘과 비교 분석하였다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 국방과학연구소의 연구비 지원을 받아 수행되었음 (UD190005DD).

## 참고문헌

1. D. Malioutov, M. Cetin, and A. S. Willsky, "A sparse signal reconstruction perspective for source localization with sensor arrays," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 53, no. 8, pp.3010-3022 (2005)
2. J.W. Paik, W. Hong, J. Ahn, and J. Leeh, "Statistics on noise covariance matrix for covariance fitting-based compressive sensing direction-of-arrival estimation algorithm: For use with optimization via regularization," *The Journal of the Acoustical Society of America, 143(6),* pp.3883-3890 (2018)
3. H. Mohimani, and M.B.-Zadeh, "A fast approach for overcomplete sparse decomposition based on smoothed $l^0$ norm," *IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 57,* pp.289-301 (2009)

이준호: joonhlee@sejong.ac.kr

# CW 및 LFM 신호를 이용한 압축 센싱 거리-도플러 추정

이근화 [1], 박민석 [2], 임준석 [1], 김성일 [1]
[1] 세종대학교, [2] 서울대학교, [1] 국방과학연구소,

# RANGE-DOPPLER ESTIMATION OF CW AND LFM BASED ON A COMPRESSIVE SENSING

Keunhwa LEE[1], Minseok PARK[2], Jun-Seok LIM[1], and Seongil KIM[1]
[1]Sejong University, [2]Seoul National University, [1]Agency for the Defense Development

**중심어:** Ambiguity function, Compressive sensing, 거리-도플러 추정

## 요약

본 연구에서는 압축센싱 알고리즘을 이용하여 실해역 실험자료에 대한 거리-도플러 추정을 수행한 결과를 제시한다. 사용된 실해역 실험자료는 2015 년 여름 동해에서 수행된 양상태(weakly bistatic) 표적 실험자료(ATASS15)이다. Ping 신호로는 CW 와 LFM 신호를 사용했다. 각 신호의 중심주파수가 3 kHz 이며 CW 신호는 0.1, 0.3, 1 초의 신호 길이, LFM 신호는 0.3 초의 신호길이에 400Hz, 1kHz 의 밴드가 사용되었다. 압축센싱 알고리즘은 전반적으로 기존의 FFT 에 기반한 L2-norm 기법에 비해 거리와 도플러 양쪽에서 좋은 결과를 준다. 그러나 각 송신펄스의 특성에 따라 거리 혹은 도플러 추정에 있어서 성능 저하가 발생하는 것을 확인하였다. 특히 LFM 의 경우 거리-도플러 연성에 의한 성능 저하가 명확하게 관찰되었다. 본 발표에서는 Block-sparsity 압축센싱 등의 방법을 이용하여 이의 해결 방안을 강구하고자 한다.

## 참고문헌

1. Y. Jung, K. Lee, S. Kim, and W. Seong, "Variability of Doppler shift in the ocean bottom reverberation data from the East Sea of Korea," *J. Acoust. Soc. Am,* 146, pp.2929 (2019).

2. Y. Jung, K. Lee, S. Kim, and W. Seong, "A depth-bistatic bottom reverberation model and comparison with data from an active triplet towed array experiment," *Appl. Sci.*, 10, pp.1-12 (2020)

3. Y. C. Eldar, P. Kuppinger, and H. Bolcskei, "Block-sparse signals: Uncertainty relations and efficient recovery," *IEEE Trans. Signal Process. 58(6),* pp.3042-3053 (2010).

이근화: nasalkh2@sejong.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 기획세션: 해양환경/ 재해 모니터링을 위한 수중음향

# T파 신호 분석 및 우리나라 동해로의 전파 양상 연구

고명권[1], 류현정[2], 신성원[3], 박순천[4], 최지웅[3]

[1]한양대학교, [2]대우조선해양, [3]한양대학교 에리카, [4]기상청

# Analysis of T-wave and the propagation modeling on the East Sea

Myungkwon KO[1], Hyung-Jung RYU[2], Sung Won SHIN[3] , Sun-Cheon PARK[4] and Jee Woong CHOI[3]

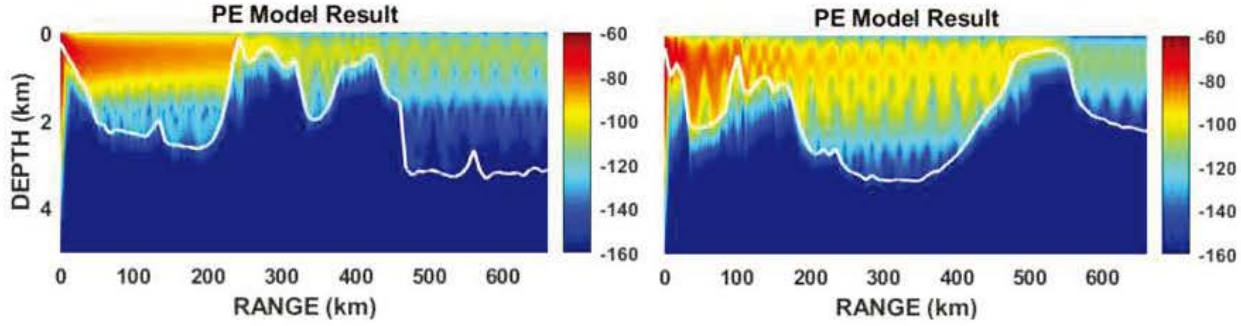
[1]Hanyang Univ., [2]DSME, [1]Hanyang Univ. ERICA, [4]KMA,

**중심어:** T파, 해저지진, 해양환경 모니터링, 수중 음파전달

## 요약

지진의 발생은 인간의 활동에 위협으로 존재해 왔으며, 특히 해양에서 발생하는 경우 지진에 의한 피해와 함께 지진해일이 발생할 가능성이 있다는 점에서 더욱 위험하다고 할 수 있다. 이에 많은 연구들을 통해 해상에서 발생하는 지진을 관측하고 이를 경보하는 기술이 개발되어왔다. 또한, 해양에서 발생하는 지진은 T파를 발생시켜 해상에 위치한 수중청음기로 측정하는 것이 더욱 효과적이라는 연구(Dziak, 2011)를 바탕으로 본 연구에서는 일본 서쪽 해역에 위치한 지진공백역에서의 해저지진을 가정하여 우리나라 동해로의 전파양상과 해저지진 탐지를 위한 최적위치 선정에 관한 연구를 진행하였다.

T파의 분석을 위해 사용된 데이터는 CTBT (Comprehensive nuclear-Test-Ban Treaty)에서 운영하는 IMS (International Monitoring System) 수중청음기에 수신된 2011년 동일본대지진 신호를 활용하여 분석되었으며, 우리나라 동해로의 음파전달 모의를 위한 모델로는 포물선 방정식을 기반으로한 RAM(Range-dependent Acoustic Model)을 이용하였다.




<동해 해저지형 변화에 따른 T파 전파양상 모의>

본 연구는 기상청 "기상·지진See-At기술개발연구"(KMI2018-02510)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Dziak, R.P., S.R. Hammond, and C.G. Fox, A 20-year hydroacoustic time series of seismic and volcanic events in the Northeast Pacific Ocean. Oceanography, 24(3) : 280-293, 2011.

최지웅 choijw@hanyang.ac.kr

# 동시베리아해 수중소음 측정

한동균[1], 주종민[2], 손우주[1], 조경호[1], 최지웅[3], 강성호[1], 김정훈[1], 나형술[1]
[1] 극지연구소, [2] 국가미세먼지정보센터, [3] 한양대학교 ERICA

# Measurements of underwater sound in the East Siberian Sea

Dong-Gyun HAN[1], Jongmin JOO[2], Wuju SON[1], Kyoung-Ho CHO[1], Jee Woong CHOI[3], Sung-Ho KANG[1], Jeong-Hoon KIM[1], and Hyoung Sul LA[1]
[1]Korea Polar Research Institute, [2]National Air Emission Inventory and Research Center, [3]Hanyang University ERICA

**중심어:** 북극해, 동시베리아해, 수중소음, 해빙

## 요약

본 연구에서는 동시베리아해 수중소음을 관측하고 계절에 따른 소음준위 변동성을 분석하였다. 관측 해역은 계절에 따른 해빙 면적 및 농도 변화가 뚜렷한 지역으로 접근성의 어려움 때문에 수중소음에 대한 연구 사례가 전무하다. 수중소음은 2017 년 8 월부터 2018 년 8 월까지 약 1 년동안 자동 기록식 수중청음기를 이용하여 52 m 수심 (해저면: 62 m) 에서 관측되었다. 관측 정점에서 약 1.8 km 지점에서 동일 기간 동안 관측된 음향 도플러 유속계 자료 및 해빙 농도와 풍속 자료가 분석에 활용되었다. 매시간 10 분간 측정된 음향 자료는 해빙, 해양 포유류 발성, 탄성파 탐사 과정에서 발생되는 소음 등 다양한 음향신호가 포함되었으며, 앞서 언급된 환경자료와의 상관성 및 월별 변동성을 확인하였다. 월평균 수중소음준위는 2017 년 9 월에 전 주파수 대역에서 가장 높게 나타났으며, 이러한 결과는 8 월 말부터 10 월 초까지 해빙 농도와 면적이 급격히 변화되었으며 해빙이 없는 공해 기간이 9 월에 집중되면서 해상 상태의 직접적인 영향이 강해짐에 따른 특징으로 확인되었다. 본 연구 결과는 다른 해역에 비해 수중소음 관측연구사례가 부족한 동시베리아해 수중소음을 장기간 측정하고 소음준위의 시간 변동성을 주요 음원들의 주파수 특성과 관련지어 해석함으로써 이후 동시베리아를 비롯한 북극해 환경 변화 및 해양생태계 연구에 활용될 수 있다.

## 감사의 글

This research was a part of the project titled 'Korea-Arctic Ocean Observing System (K-AOOS), KOPRI' and the 'Ecosystem Structure and Function of Marine Protected Area (MPA) in Antarctica (PM20060)', funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (20160245, 20170336), Korea.

## 참고문헌

1. PAME, "Underwater Noise in the Arctic: A State of Knowledge Report" (2019)
2. S. Menze, D. P. Zitterbart, I. van Opzeeland and O. Boebel, "The influence of sea ice, wind speed and marine mammals on Southern Ocean ambient sound" *R. Soc. Open Sci.*, 4: 160370 (2018)
3. E. H. Roth, J. A. Hildebrand, S. M. Wiggins and D. Ross, "Underwater ambient noise on the Chukchi Sea continental slope from 2006-2009" *J. Acoust. Soc. Am.*, 131(1), pp.104-110 (2012)

나형술: hsla@kopri.re.kr

# 사이드스캔소나 시뮬레이터를 이용한 저층 침적 HNS 탐지 기법 연구

서힘찬[1], 최지웅[2], 황호진[3], 이문진[3]
[1]한양대학교, [2]한양대학교ERICA, [3]선박해양플랜트연구소 해양안전환경연구부

# SUNKEN HAZARDOUS AND NOXIOUS SUBSTANCES DETECTION METHOD USING SIDE SCAN SONAR SIMULATOR

Him Chan SEO[1], Jee Woong CHOI[2], Ho-Jin HWANG[3], and Moonjin LEE[3]
[1]Hanyang University, [2]Hanyang University ERICA, [3]Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

**중심어: 저층 침적 HNS, 사이드스캔소나 시뮬레이터, 후방산란강도**

## 요약

최근 위험·유해물질(Hazardous and Noxious Substances, HNS)의 해상유통량이 증가됨에 따라 HNS 유출사고에 대한 위험도 증가되고 있다. 해저에 가라앉는 저층 침적 HNS는 직접 및 광학 탐지 기법 적용이 어렵기 때문에 수중에서 효과적인 음향 탐지 기법 적용이 요구된다.

한양대학교에서 개발 중인 사이드스캔소나 시뮬레이터는 임의 해저지형을 가정하고 해저면에 의한 후방산란강도와 저층 침적 HNS와 해저면이 동시에 존재할때의 후방산란강도가 다르기 때문에 발생하는 사이드스캔소나 이미지 차이를 이용하여 저층 침적 HNS를 탐지하는 알고리즘을 적용한다.

본 연구에서는 저층 침적 HNS은 음향변수인 음속 979 m/s, 밀도 1,484 kg/m$^3$, 감쇠계수 0.0347 dB/m의 클로로폼(Chloroform)으로 설정하였고, 저층 침적 HNS가 유출된 해양환경을 가정하여 웅덩이가 존재하는 해저지형에서의 저층 침적 HNS(클로로폼)의 침적 유무에 따른 음향탐지 기법의 성능을 확인하였다.

## Acknowledgement

이 논문은 2020년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구 (위험유해물질(HNS)사고 관리기술 개발)이다.

## 참고문헌

1. Applied Physics Laboratory University of Washington, "APL-UW High-Frequency Ocean Environmental Acoustic Models Handbook", APL-UW TR 9407 (1994)

최지웅: choijw@hanyang.ac.kr

# 강우형태에 따른 수중 강우소음 측정 및 분석

이대혁 [1], 김동욱 [1], 황인성 [1], 최지웅 [2]
[1] 한양대학교, [2] 한양대학교 ERICA

# MEASUREMENTS AND ANALYSIS OF UNDERWATER RAIN NOISE BY DIFFERENT TYPES OF RAINFALL

DaeHyeok LEE[1], DongWook KIM[1], InSeong HWANG[1] and Jee Woong CHOI[2]
[1]Hanyang University, [2]Hanyang University ERICA

**중심어:** 수중 강우소음, 강우형태, 해양환경 모니터링, 배경소음

## 요약

강우에 의해 발생되는 수중소음은 빗방울이 해수면에 부딪힐 때 발생되는 소음과 빗방울이 해수면에 부딪치는 과정에서 생성된 공기방울이 공진운동 하면서 발생되는 소음으로 구분된다[1]. 수중 강우소음은 빗방울 직경에 따라 주요 소음 발생원과 주파수 대역이 결정되는 것으로 보고되고 있다[2]. 본 연구에서는 풍속, 생물 등의 환경변수가 통제된 실내 수조에서 강우형태에 따른 수중음향 특성을 추출하고 데이터베이스 구축을 수행하였다.

특히, 주파수 영역에서 공기방울 공진에 의해 발생되는 피크형태 특징과 준위의 변화는 선행연구 결과와 유사한 경향을 보이는 것으로 확인되었으며, 수중 강우소음 데이터베이스는 해양강우 음향신호 탐지 및 강우형태 식별을 위한 알고리즘에 반영될 예정이다.

## Acknowledgement

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다(No. 2020R1A2C2007772).

## 참고문헌

1. H. C. Pumphrey, L. A. Crum, and L. Bjørnø "Underwater sound produced by individual drop impacts and rainfall," *J. Acoust. Soc. Am.*, 85, pp. 1518-1526 (1989)

2. J. A. Nystuen, "Listening to raindrops from underwater: An Acoustic Disdrometer," *J. Atmos. Oceanic Technol. Am.*, 18(10), pp.1640-1657 (2001)

최지웅: choijw@hanyang.ac.kr

# 음향을 이용한 향고래(*Physeter macrocephalus*)의 전장 측정

윤영글[1], 최강훈[1], 한동균[2], 손호선[3], 최지웅[4]
[1]한양대학교, [2]극지연구소, [3]고래연구센터, [4]한양대학교ERICA

# MEASUREMENTS FOR ACOUSTICALLY ESTIMATED THE TOTAL LENGTH OF SPERM WHALE

Young Geul YOON[1], Kang-Hoon CHOI[1], Dong-Gyun HAN[2], Hawsun SOHN[3], and Jee Woong CHOI[4†]
[1]Hanyang University, [2]Korea Polar Research Institute, [1]Cetacean Research Institute , [2]Hanyang University ERICA

**중심어:** 향고래, 클릭, Inter-Pulse Interval

## 요약

향고래(*Physeter macrocephalus*)는 이빨고래 중 가장 큰 종으로 일반적으로 암컷은 11m(15톤), 수컷은 16m(45톤)까지 성장한다. 향고래가 발생시키는 클릭 신호는 다중 펄스 형태로 방출되며, 하나의 클릭을 구성하는 펄스들 사이의 시간 간격(IPI)은 동일한 고래가 발생시키는 모든 클릭에서 일정한 값을 가진다. IPI는 향고래의 머리 길이와 관련이 있으므로, 이를 이용하여 향고래의 크기를 추정하기 위한 연구가 많이 진행되었다. 본 연구에서는 동해에서 발견한 향고래의 음향신호를 획득하고, 향고래의 클릭 신호를 분석하여 IPI를 계산하였다. 향고래의 길이와 IPI의 관계식으로 추정한 결과, 동해에서 측정된 향고래는 약 9.9~10.9 m로 나타났다.

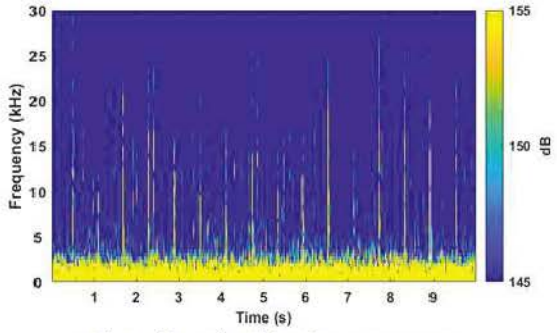



그림 1. 향고래 신호의 Spectrogram

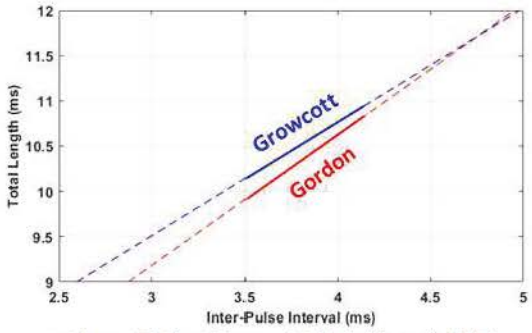



그림 2. 클릭 신호로 추정된 향고래 체장

## 감사의 글

본 연구는 국방과학연구소(UD200010DD), 국립수산과학원 수산과학연구사업 고래류 자원 및 생태조사(R2020024)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. H. Whitehead, "Sperm whale," in Encyclopedia of Marine Mammals 3rd editon, edited by B. Würsig, J. G. M. Thewisen, and K. Kovacs (Academic Pres, London, 2018)

2. F. Caruso, V. Sciaca, G. Belia, E. De Domenico, G. Larosa, E. Papale, C. Pelegrino, S. Pulvirenti, G. Ricobene, F. Simeone, F. Speziale, S. Viola, and G. Pavan "Size Distribution of Sperm Whales Acousticaly Identifed during Long Term Dep-Sea Monitoring in the Ionian Sea," PLoS ONE. 10(12), e014503 (2015)

최지웅 : choijw@hanyang.ac.kr

# 동해 포항 연근해역 잔향음 패턴 및 지음향 모델

이근화 [1], 김성일 [2], 성우제 [3]
[1] 세종대학교, [2] 국방과학연구소, [3] 서울대학교

# REVERBERATION PATTERN IN THE COAST OF POHANG, EAST SEA AND THE GEOACOUSTIC MODEL

Keunhwa LEE[1], Seongil KIM[2], Woojae SEONG[3]
[1]Sejong University, [2]Agency for the Defense Development, [3]Seoul National University

**중심어:** 잔향음, 표층 해저퇴적물, 심해

## 요약

본 발표에서는 2015 년 여름 동해 포항 연근해역에서 수행한 잔향음 실험(ATASS15)의 획득데이터 분석결과를 제시한다. 잔향음 실험은 청해호에서 예인하는 가변심도음원과 삼중선배열을 이용하여 수행되었다. 청해호는 연안의 대륙붕에서 대륙사면을 동서로 가로질러 먼바다 쪽으로 나아갔으며, 선로를 항행하면서 총 67 개의 CW ping 을 발사했다. 데이터 분석을 위해 수신된 잔향음을 빔형성하고 BTR(Bearing-time Record) 곡선을 분석했다. BTR 곡선에서 특이한 전역 패턴이 관찰되었다. 이러한 패턴은 청해호의 이동에 다라 조금씩 변화하는 것이 확인되었다. 본 연구에서는 이러한 패턴이 해당 해역의 표층 퇴적물의 영향이라는 가정하에 실험해역에 대한 과거 문헌조사와 모델링을 수행했다. 잔향음에서 관찰된 패턴은 1 차 바닥 반사파의 양방향 도달시간을 이용해 잘 모의될 수 있음을 보였다. 본 연구에서 관찰된 잔향음 패턴을 역산문제에 적용하면 플랫폼의 운동이나 해양환경에 대한 유용한 환경정보를 획득할 수 있을 것이다.

.

## 참고문헌

1. Y. Jung, K. Lee, S. Kim, and W. Seong, "Variablity of Doppler shift in the ocean bottom reverberation data from the East Sea of Korea," *J. Acoust. Soc. Am.*, 146, pp.2929 (2019)
2. Y. Jung, K. Lee, S. Kim, and W. Seong, "A depth-bistatic bottom reverberation model and comparison with data from ana active triplet towed array experiment," *Appl. Sci.*, 10, pp.1-12 (2020)
3. 김소희, 동해 울릉분지 남서해역 퇴적물의 음향특성 및 퇴적환경, 부경대학교, 석사학위논문 (2013)

이근화: nasalkh2@sejong.ac.kr

2020년 추계 공동학술대회 (한국음향학회, 한국음악지각인지학회) 논문 요약집

# 기획세션:
# 현대자동차 그룹 학술대회

# 로드노이즈 성능 타겟케스케이딩을 위한 샤시시스템 성능 최적화

김종규 [1], 이영찬 [1]
[1] 현대자동차 소음진동해석팀

# SUSPENSION SYSTEM PERFORMANCE OPTIMIZATION FOR ROAD NOISE TARGET CASCADING

Jong-Kyu KIM[1], Young-Chan LEE[1]
[1]Hyundai Motor Company NVH CAE Team

**중심어:** Target Cascading, Optimization, Suspension System, Road noise, Performance parameter

## 요약

자동차 산업은 전동화 시대로의 전환에 따른 투자확대가 불가피하고, 글로벌 자동차 시장 성장의 둔화로 인해 수익성 확보가 쉽지 않을 것으로 예상되어 생존이 과제인 경쟁환경시대로 전환되고 있다. 차량 NVH 성능 관점으로는 전동화 시대로 전환함에 파워트레인 가진 소음 보다 노면 가진 소음(Road Noise)의 중요도가 높아지고, 수익성확보를 위해 성능최적화를 통한 중량, 원가절감이 요구되고 있다. 이 두 가지 요구사항을 모두 만족시킬 수 있는 방법을 검토하여 미래의 자동차 산업 상황을 대비하기 위해 이번 연구를 진행하였다.

로드노이즈 성능의 타켓케스케이딩을 위해 시스템 단위 성능 개발이 필요하며, 본 연구에서는 그 시스템단위를 샤시시스템으로 선정하였다. 그 이유는 노면 가진을 통해 차체로 전달되는 로드노이즈의 특성상 차체로 전달되기 전 샤시시스템을 우선 검토함으로써 차체 입력하중을 개선하여 효율적인 로드노이즈 개발이 가능하게끔 하기 위해서이다. 선정된 샤시시스템의 성능 검토를 위해 시험 용역을 통해 샤시시스템(허브베어링, 쇽업소버 등)의 코릴레이션을 진행하여 해석/시험 상관성 확보된 유한요소모델을 확보하였다. (그림 1)

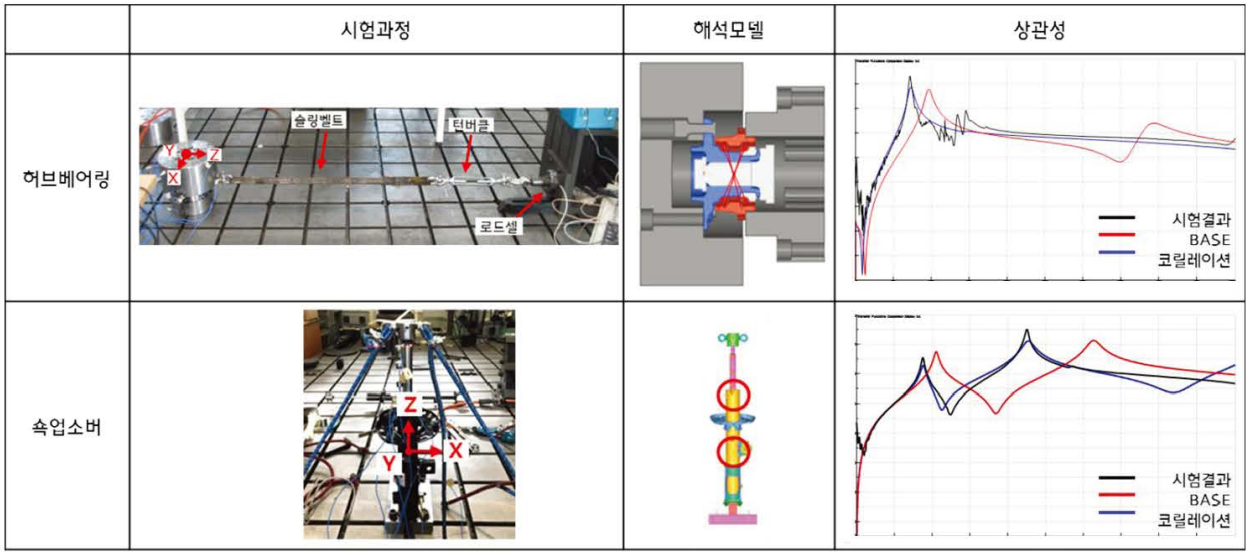



그림 1. 허브베어링, 쇽업소버 모델 코릴레이션

김종규: unutterable@hyundai.com

다음으로 완성차 성능인 로드노이즈성능과 시스템 단위 성능 간 상관성 확인에 대한 방법론 검토가 수행되었다. 시스템 단위의 성능을 변수화 하여 시스템 성능이 변함에 따라 완성차 성능이 어떻게 변하는지를 확인함으로써 시스템성능과 완성차 성능의 상관관계를 확인하였다. 모달모델을 활용하여 설계적인 변수(형상, 재질, 두께 등)가 아닌 시스템 성능변수(모드주파수, 특정주파수 감도 등) 개념을 고안했다.

모달모델의 개념은 설계적인 변수들로 유한요소모델을 구성한 뒤, 고유진동해석을 통해 MODAL MASS, MODAL STIFFNESS, MODAL DAMPING 만으로 변환된 모델이다. (그림 2) 모달모델의 MODAL MASS 혹은 MODAL STIFFNESS 를 변수화함으로써, 특정 시스템의 특정 모드 주파수 컨트롤이 가능하며, MODAL DAMPING 값을 변수화함으로써, 특정주파수의 감도를 컨트롤할 수 있다. 이로써 시스템성능(모드 주파수 및 특정주파수 감도)과 완성차 성능간의 상관관계를 확인할 수 있는 개념을 확보하였다.




그림 2. 유한요소모델과 모달모델의 차이

상관성이 확보된 샤시시스템 유한요소모델을 모달모델로 변환하여 상관관계 검토 및 최적화에 사용할 해석모델을 구성하고, 총 15 개 시스템에서 69 개의 성능변수(모드주파수 및 부시동특성)를 설정하였다. 이때 변수의 검토구간은 각 모드 주파수 BASE 대비 70%~120%, 부시 동특성 50%~150%로 검토하였다.(그림 3)




그림 3. 성능변수 항목

김종규: unutterable@hyundai.com

각 성능변수들의 변화에 따른 로드노이즈 응답 대표값으로는 구간별(50Hz 간격) 로드노이즈 RSS 값을 선정하였다.(그림 4)

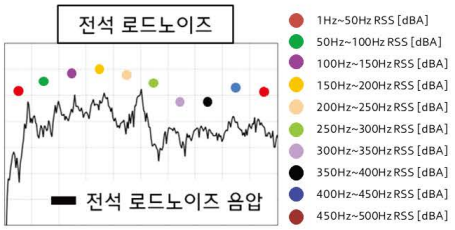



그림 4. 로드노이즈 음압 및 50Hz 구간별 대표 값

성능변수들과 로드노이즈의 상관성 및 교호작용을 함께 고려하기 위해 Modified Extensible Lattice Sequence 실험계획법(DOE)을 구성하였고, 1687 개의 CASE 를 만들었다. 그 결과를 다음과 같은 분석이 가능하였다.

(1) 각각의 샤시시스템 성능의 변화에 따른 로드노이즈 주파수 구간 별 영향도

ex) RR CTBA 상하 밴딩모드주파수 와 로드노이즈 성능간 상관관계. (그림 5)

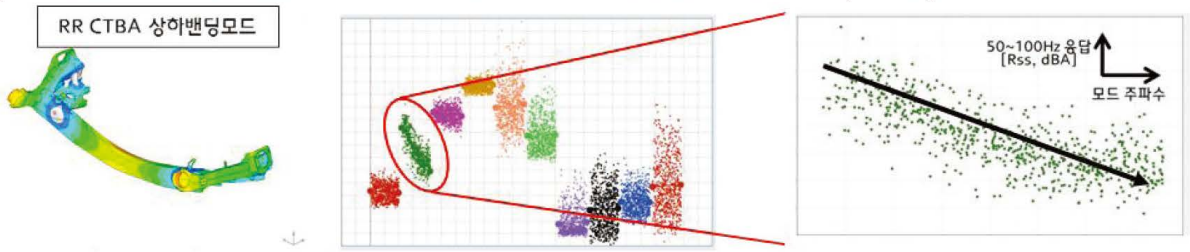



그림 5. RR CTBA 상하밴딩 모드 주파수 변화에 따른 로드노이즈 성능 변화

RR_CTBA 상하 밴딩 모드주파수가 증가할수록 로드노이즈 50~100Hz RSS 응답이 개선되는 경향을 확인하였다. 이 때 특정 주파수에도 여러 개의 응답이 존재하는 것은 다른 성능변수들의 변화도 함께 고려되었음을 의미한다. 즉, 다른 성능변수들의 변화에도 불구하고 CTBA 상하 밴딩 모드주파수와 로드노이즈 50~100Hz 구간의 응답은 음의 상관성이 존재한다.

(2) 로드노이즈 특정 구간의 개선을 위해 필요한 샤시시스템 최적 성능(모드주파수 및 부시특성)확인

ex) 131Hz Peak 개선을 위한 샤시시스템 성능 최적화 (그림 6, 그림 7)

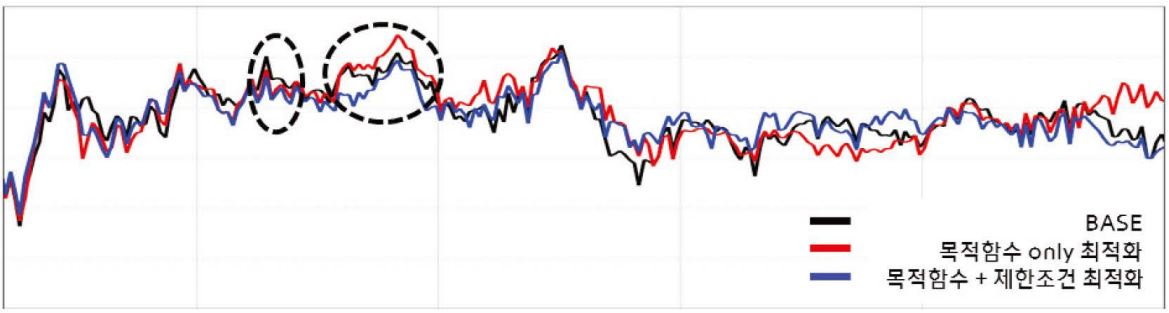



그림 6. 로드노이즈 최적화 결과

김종규: unutterable@hyundai.com

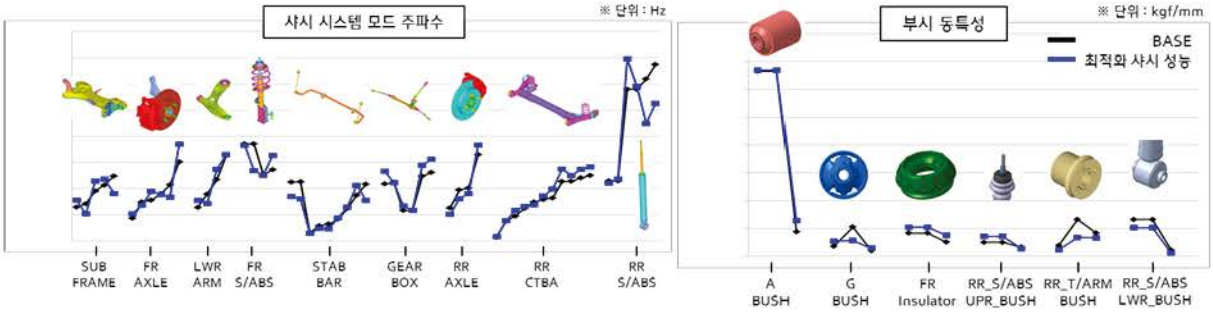



그림 7. BASE 성능대비 최적화 된 샤시시스템 성능

본 연구를 통해 샤시시스템의 개별 성능(모드주파수, 부시동특성)과 완성차 성능(로드노이즈)의 상관성을 확인하여 향후 샤시시스템의 목표 설정에 활용될 수 있는 방법을 검토 하였고, 나아가 완성차 성능 개선을 위해서 샤시시스템 각각이 어떤 성능을 가져야하는지 최적화 함으로써, 차량 개발 시 완성차 성능의 목표, 특성에 맞춰 샤시시스템성능을 타겟케스케이딩하여, 효율적인 NVH 개발이 이루어질 수 있도록 하였다.

## 참고문헌

1. 이영찬, 김종규, "선형 진동해석 유한요소 모델의 등가 모달모델 일반화 연구", 현대자동차 그룹학술대회(2020)

김종규: unutterable@hyundai.com

# 타이어 시스템 성능을 활용한 로드노이즈 분석 및 개발

박상영 [1], 정재훈 [1]
[1] 현대자동차그룹

# Roadnoise Analysis and Developmnet using Tire System Data

Sang-Young PARK[1], Jae-Hoon Jeong[1]
[1]Hyundai Motor Group

**중심어:** tire nvh, blocked force, component TPA, FBS

요약

최근 다양한 차종개발, 개발비용 축소 및 언택트 사회환경 등으로 버추얼 차량개발이 주목 받고 있다. 본 연구에서는 타이어와 현가계+차체 시스템의 시험 성능모델을 구축하여 취득한 성능 데이터를 합성하여 완성차 로드노이즈 성능을 예측하였고, 시스템 성능과 완성차 성능간 전달경로 및 민감도 분석을 통해 시스템 성능 목표를 설정하였다. 타이어 NVH 개발에 적용하여, 기존 완성차 기반의 성능개발을 시스템 성능데이터 기반으로 전환하여 차량제작 이전 선행단계에서 효율적으로 완성차 성능을 예측/개발하는 프로세스를 제안하였다. 본 연구를 통해 차량 개발시 합리적인 시스템/모듈 단위 성능목표 설정에 기여하고, 시스템 단위에서 시험 및 해석 성능모델의 correlation 을 통해 효율적이고 신뢰성 있는 버추얼 차량 모델 개발에 기여하고자 한다.

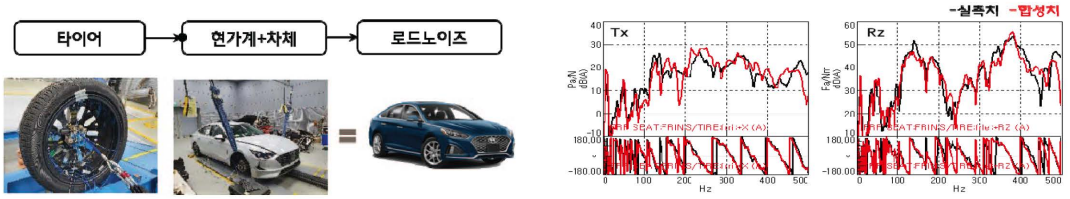



Fig.1 시스템 시험모델 구축 및 합성을 통한 완성차성능 예측

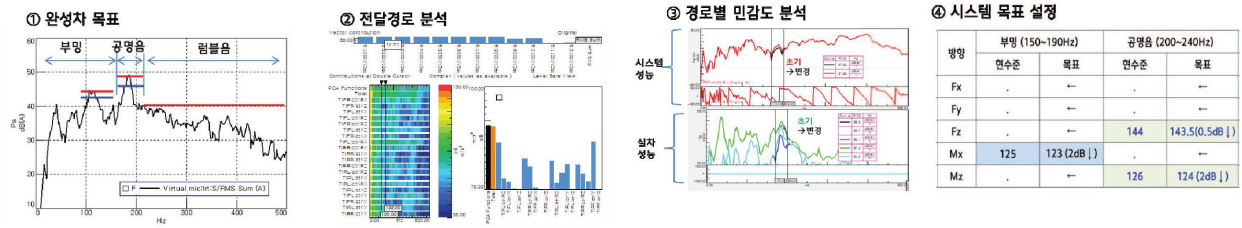



Fig. 2 시스템 모델을 활용한 다양한 분석법 및 시스템 목표 설정

## 참고문헌

1. J. Park, Kelly Services, Ni, Gu, “Experimental Methodology to Estimate Dynamic Characteristics of Vehicle System/Subsystem”, IMAC 22, 2004
2. M.V. van der Seijs, D. Rixen et al., “General framework for transfer path analysis: History, theory and classification of techniques”, Mech. Syst. Signal Process, 2015

박상영:psyking@hyundai.com

# 로드노이즈 가진원인 휠 모드의 SUB 시스템 단위 평가법 개발 및 구성 시스템 영향도 연구

신 동 엽[1], 정 판 기[1], 윤 동 주[1], 왕 성 준[1], 최 승 우[1], 김 병 훈[1]
[1] 현대자동차

# A STUDY ON EVALUATION METHOD IN SUB SYSTEM FOR WHEEL MODES WHICH CAUSE ROAD NOISE AND CONTRIBUTION OF COMPOSITION SYSTEMS

Dong-yeop SHIN[1], Pan-ki JUNG[1], Dong-joo YOON[1] , Sung-jun WANG[1], Seung-woo TCHOI[1] , Byung-hoon KIM[1]
[1]Hyundai Motors Company

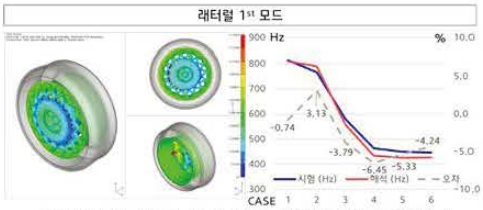
**중심어 : 휠모드, 휠 래터럴 강성, 림강성, 서브시스템, 로드노이즈**

## 요약

로드노이즈는 차량이 주행할 때 노면의 가진력에 의해 발생하는 소음으로, 거친 노면을 주행할 때 발생하는 타이어·휠의 진동에너지가 휠과 결합된 현가계를 거쳐 차체로 전달되며, 차체의 탄성 진동과 연계되어 실내 소음을 유발한다. 노면과 접촉함으로써 차량에 가진력을 전달하는 가진원역할을 하는 타이어·휠의 성능은 로드노이즈에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 기존의 휠 강성 평가법을 개선/보완 하고자 실차 조건의 휠 모드 주파수를 대변할 수 있는 SUB 시스템 단위 평가 모델을 구성하였고, 휠 모드 해석 및 평가법을 고안하였다. 기존에는 로드노이즈 성능 개선을 위한 휠 모드 주파수 개선 시, 휠시스템에 국한되어 휠 단품 강성 개선방향으로만 접근하였지만 SUB 시스템 단위 휠 모드 평가를 통해서 휠 시스템 외의 주변 시스템들의 특성 변경에 따른 휠 모드 주파수 개선이 가능함을 확인하였다. SUB 시스템 단위 평가 모델을 기반으로 해석을 수행하였으며, 시험-해석과의 상관성 검증을 통해 해석 모델을 통한 휠 모드 주파수 도출의 유효성을 확인하였다. 시험 및 해석 과정을 통해 휠 외의 주변 구성 시스템들의 특성 변경에 따른 휠 모드 주파수 분석을 수행하여, 각 시스템들의 특성 변화에 따른 휠 모드 별 영향도에 관한 연구를 진행하였다.




[ SUB시스템 모델 구성 부품 ]




[ SUB시스템 구성에 따른 시험-해석 상관성 ]

## 참고문헌

1. 현대자동차, "휠 강성 평가 방법" , (2014)
2. Bart Peeters , "The PolyMAX frequency-domain method: a new standard for modal parameter estimation", *Shock and Vibration.*, (2004)
3. Ranjit K. Roy, "A PRIMER ON THE TAGUCHI METHOD", SME, (2010)

신동엽 : shin83@hyundai.com

# 딥러닝 모델을 이용한 타이어 패턴 노이즈 예측 기술 개발 및 금형 직접 설계 검증

윤영삼 [1], 장동진 [1], 염기호 [1], 김성대 [1], 이상권 [2], 이화진 [2], 황성욱 [3]
[1] 현대자동차, [2] 인하대학교, [3] 넥센타이어

# Development of Deep Learning Model to Predict Tire Pattern Noise and Mold Design Application

Youngsam YOON[1], Dongjin JANG[1], Kiho YUM[1], Sungdae KIM[1], Sangkwon LEE[2], Hwajin LEE[1], and Sungwook HWANG[3]
[1]Hyundai Motors Company, [2]Inha National University, [3]Nexen Tire Company

**중심어:** Artificial neural network, Convolutional neural network, Tire pattern noise prediction, RMSprop algorithm, 2D wavelet transform, Tire noise measurement, Compression of data

## 요 약

자동차에서 엔진이 모터로 대체되어 감에 따라 타이어의 소음이 예전보다 부각되고 있으며 R117 의 타이어 소음 규정 및 R51.03 의 차량 외부 소음에 대한 규정이 국제적으로 도입됨에 따라 저소음 타이어 개발에 대한 중요성은 높아지게 되었다. 이에 따라서 타이어를 설계하는데 있어서 소음이 중요한 부분을 차지하게 되었다. 그러나 타이어의 소음을 측정하기 위해서는 우선적으로 타이어의 완성품을 필요로 하며 이에 대한 금전적, 시간적 비용이 투자되어야 한다. 따라서 타이어 NVH 설계요소의 데이터 베이스를 Input 으로, 타이어 소음을 Output 으로 한 인공지능 리뷰 시스템을 개발해 소음 예측하는 기술을 개발하였고, 실제 타이어 금형 설계를 통하여 성능 검증하였다. 인공지능 학습을 위하여 딥러닝의 인공신경망 (ANN, Artificial Neural Network)과 CNN(합성곱신경망 : Convolution Neural Network)을 이용하여 학습을 진행하였다.

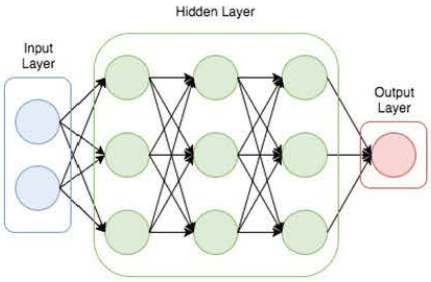



그림 1. ANN(Artificial Neural Network)

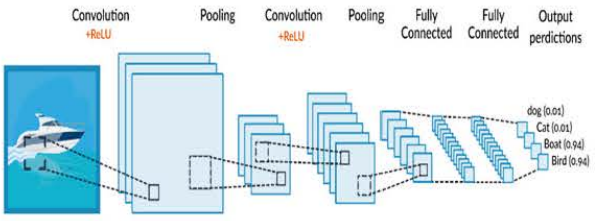



그림 2. CNN(Convolution Neural Network)

ANN 을 이용한 패턴 소음 예측을 위해서는 타이어 전체 이미지의 음영으로 타이어의 깊이를 나타내고 타이어 접지 면적 이미지를 이용해 타이어 접지 선단부의 라인(Leading Edge)을 구해낸다. Leading edge 로 타이어 전체 이미지를 스캔하여 타이어 회전 속도에 따른 Tread profile spectrum 과 Air volume velocity spectrum 를 구해낸다.

Tread profile spectrum 은 트레이드 메커니즘의 특징을 나타내고 Air volume velocity spectrum 은 공기압 주입 메커니즘의 특성을 나타낸다. Gaussian curve 를 이용하여 두

윤영삼: samyoon@hyundai.com

스팩트럼의 특징을 Gaussian curve 을 통한 크기, 중앙값, 표준편차 3 가지 변수와 Gaussian curve 의 수 n 으로 총 3*n 의 Input 값을 구한다.

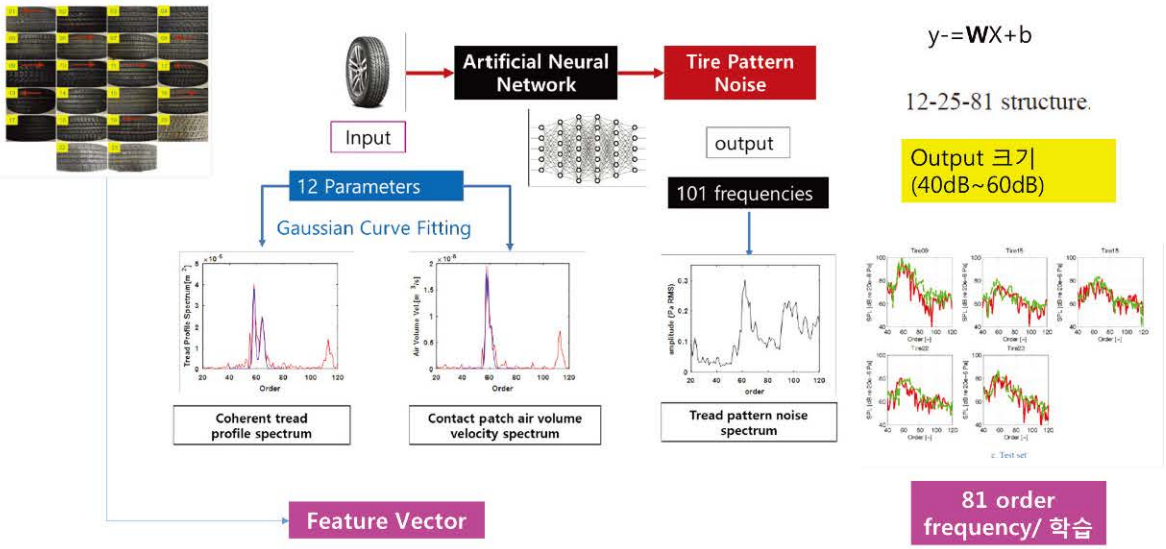



그림 3. ANN 을 이용한 패턴 소음 예측

실내 무향실에서 Coast-down 실험을 통해서 타이어별 Pa 를 측정한다. 이때 같이 측정한 RPM 정보와 한바퀴 회전할 때 마다 들어오는 Pulse 신호를 이용해 압력 Data 를 이용해 80kph 구간인 (600-625rpm, 타이어 원주길이 약 2m) Output 값을 구한다. 한바퀴 돌았을 때 가장 많은 신호가 들어온 개수를 기준으로 Zero padding 해서 한 회전 당 들어온 Data 를 자른다. 자른 Data 를 FFT 취하고 Conj 된 값을 곱해서 절대치를 뽑아낸다. 회전 별 구한 값을 RMS 를 취하여 Amplitude 값을 구한다. 실험에 사용한 타이어의 피치수가 30 에서 90 사이기 때문에 20~120 Order 사이의 Amplitude 를 1 Order 에 간격으로 값을 하나씩 추출한다. 따라서 Output 은 총 101 개가 된다.

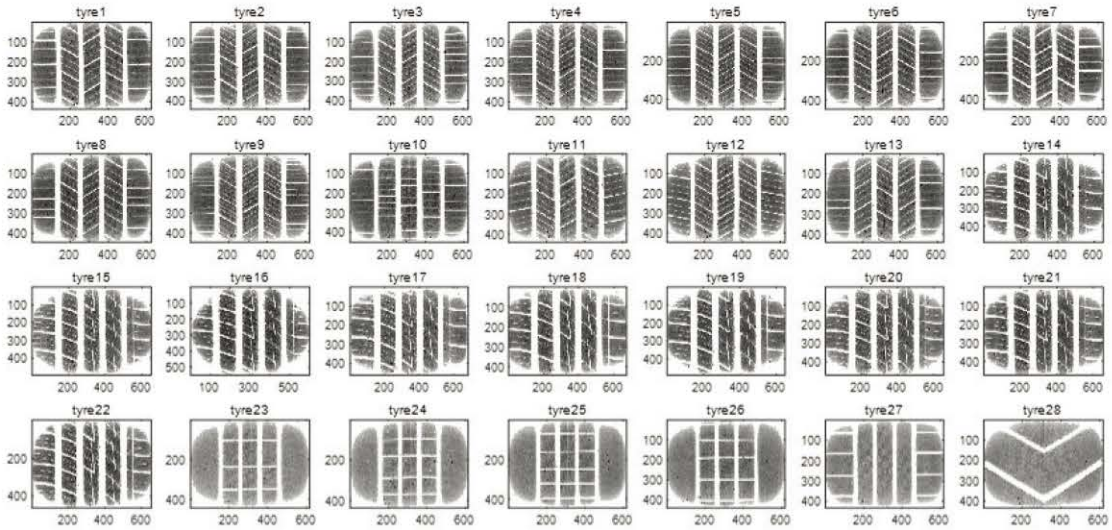



그림 4. ANN 학습을 위한 총 28 개 실험타이어

윤영삼: samyoon@hyundai.com

총 28 개의 타이어를 이용해 구한 Input 과 Output 변수를 Levenberg-Marquardt 알고리즘에 따라 가중치와 편향 값을 업데이트하는 네트워크를 이용해 학습시킨다. 여러가지 경우에 대해 학습시켜서 예측한 결과 Input으로 Pattern spectrum만 이용하여 26개의 Neuron을 가진 1층의 Hidden layer인 경우 가장 좋은 상관성을 나타내 주었다. 딥러닝의 ANN을 이용한 상관성 예측 결과 $R^2$=0.9 이상으로 높은 상관성을 나타났으며 패턴 성능 예측에 적용 가능한 것을 확인하였다. 단, ANN 기법은 Input 파일을 만들기 위하여 사전 시간이 많이 걸리고, 많은 Input 데이터로 인하여 학습시 시간이 높아 Overfitting 하는 문제가 있었다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 CNN을 이용한 학습을 추가 진행하였다.

ANN 은 데이터에서 지식을 추출해 학습이 이루어졌지만, CNN 은 데이터의 특징을 추출하여 특징들의 패턴을 파악하는 구조이다. 이 CNN 알고리즘은 Convolution 과정과 Pooling 과정을 통해 진행됩니다. Convolution Layer 와 Pooling Layer 를 복합적으로 구성하여 알고리즘을 만듭니다.

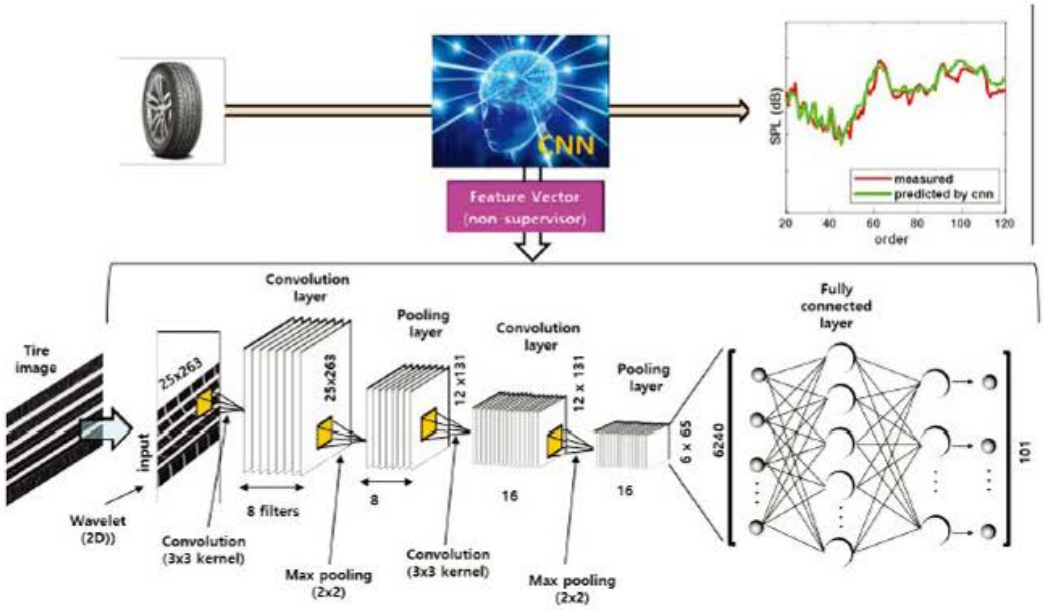



그림 5. CNN 을 이용한 타이어 패턴 예측 프로세스

CNN 적용을 위하여 SGDM 알고리즘, RMSProp 알고리즘, ADAM 알고리즘의 세가지 방법을 이용하여 학습을 진행하였으며 상관성은 SGDM 알고리즘은 $R^2$=0.91325, RMSProp 알고리즘 은 $R^2$=0.99937, ADAM 알고리즘은 $R^2$=0.98967 으로 모두 높게 나타났으며, 최종적으로 RMSProp 알고리즘을 이용하여 예측 기술을 개발하였다.

인공지능 학습을 통하여 개발된 알고리즘 이용하여 타이어 패턴 금형에 적용하였으며, 무향실 기준 -3.3 dB 의 소음이 대폭 저감하는 것을 확인하고 예측 기술을 검증하였다.

윤영삼: samyoon@hyundai.com




그림. 6 패턴 설계 적용 및 검증 결과

딥러닝 모델을 이용한 차량/타이어 NVH 성능 예측 모델 개발 및 DB 구축 완료 하였으며, 딥러닝 ANN 이용 패턴소음 예측 (Supervised AI )은 예측율 90%, 딥러닝 CNN 을 이용한 패턴 소음 예측 (Non-Supervised AI)은 예측율 99%로 높은 상관성을 보였다.

인공지능 예측 모델 활용하여 표준화된 데이터 기반 리뷰 시스템 개발(MATLAB)하였으며, 프론트 로딩 예측 능력을 향상시켰다. 설계 진단 프로그램 활용하여 전차종 선행단계 타이어 디자인 리뷰시 검증 적용 예정이다.



그림 7. 타이어 패턴 예측 툴 (매틀랩 기반)

마지막으로, 두 네트워크는 타이어 패턴 노이즈의 예측을 위해 성공적으로 개발 및 검증되었습니다. 훈련된 CNN 은 타이어의 그려진 이미지만을 사용하여 초기 설계 단계에서 타이어 패턴 노이즈를 예측하는 데 사용할 수 있지만, ANN 은 개발 단계에서 실제 타이어의 패턴 노이즈를 예측하는 데 사용할 수 있습니다.

## 참고문헌

1. D.I. Hanson, R.S. James, C. NeSmith, Tire/Pavement Noise Study, NCAT Report 04-02, 2004.

2. E. Y. Kim, S. W. Hwang and S. K. Lee, Image-based approach to optimize the tyre pitch sequence for a reduction in the air-pumping noise based on a genetic algorithm. Proc IMechE Part D, J Automobile Engineering, 226 (9) (2012)1171–1184.

윤영삼: samyoon@hyundai.com

# 딥러닝을 활용한 시계열 주행데이터 기반 NVH 시스템 모델링 및 성능 예측

송대헌[1], 목지수[2], 이종현[2], 최혁준[2], 윤성로[2]
[1] 현대자동차, [2] 서울대학교

# NVH SYSTEM MODELING AND PERFORMANCE PREDICTION BASED ON TIME-SERIES DRIVING DATA USING DEEP LEARNING

Daehun Song[1], Jisoo Mok[2], Jonghyun Lee[2], Hyeokjun Choe[2], and Sungroh Yoon[2]
[1] Hyundai Motor Group, [2]Seoul National University

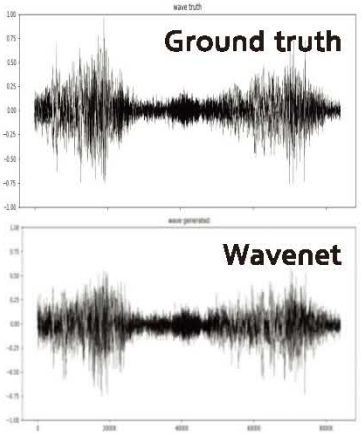
**중심어:** NVH, Deep Learning, TCN, Wavenet

## 요약

차량의 실내소음 및 진동을 예측하기 위해서는 다양한 전달경로의 전달함수 및 가진원의 특성과 위상에 대한 이해가 필요하며, 다양한 공진 모드, 음장 모드 및 복잡한 동특성을 가지는 차량의 특성상 정확히 예측하는 것은 상당히 어렵다. 본 연구에서는 데이터의 기본 형태인 시계열 형태 그대로인 파동 형태를 학습에 활용하여 NVH 시스템을 모델링 하였다.

소음 및 진동의 시계열 데이터는 다양한 주파수의 일시적인 조화성분들이 중첩되어 하나의 복잡한 파동으로 나타나는 데이터이며 따라서 일반적인 NN 혹은 random forest 같은 기존 shallow learning 보다는 1D-CNN 구조와 같은 시계열 데이터의 특정 시점의 전후 데이터들을 함께 학습하는 구조로부터 시작하게 되었다.

Dilation 을 포함하여 효율적으로 receptive field 를 늘릴 수 있는 dilated causal convolution 구조를 사용하는 TCN 은 이전 시점까지 생성된 output 을 고려하지 않고 input 들만을 가지고 예측하는 방식이며 전형적으로 사용되는 손실함수들로 오디오 데이터 특성을 정확히 반영하는 것이 불가능하다. 따라서 각 층에서 조건부 확률이 causal dilated convolution 을 통해 학습이 되어 output 생성시 조건을 부여하는 방식이 적용되고 손실함수로서 최고우도에러(Maximum Likelihood Error, MLE)가 적용되어 학습 시 오디오 데이터 특성이 반영되는 구조인 Wavenet 이 최종적으로 적용되었다.




## 참고문헌

1. S. Kiranyaz 외 5 명, "1D Convolutional Neural Networks and Applications: A Survey", Signal Processing, arXiv preprint arXiv:1905.03554 (2019)
2. C. Lea 외 3 명, "Temporal convolutional networks: A unified approach to action segmentation," in European Conference on Computer Vision. Springer, pp. 47–54 (2016)
3. A. v. d. Oord 외 7 명, "Wavenet: A generative model for raw audio," in SSW, p. 125 (2016)

송대헌: song_daehun@hyundai.com

# 딥러닝을 이용한 차량 NVH 성능 예측 및 기여도 분석 모델 개발

하창용[1], 윤성로[2], 이장호[2], 최현수[2]
[1] 현대자동차, [2] 서울대학교

# Development of a NVH performance Prediction and Contribution Analysis Model using Deep Learning

Chang-Yong HA[1], Sung-Roh Yoon[2], Jang-Ho Lee[1], and Hyun-Soo Choi[2]
[1]Hyundai Motor Company, [2]Seoul National University

**중심어:** 딥러닝, XAI(eXplainable AI), TPA(Transfer Path Analysis)

## 요약

기계학습 및 인공지능 기술은 딥러닝을 필두로 하여 현재 산업분야에서 가장 많은 관심을 받고 있다. 차량, 반도체 등 산업분야에서 딥러닝 등의 인공지능을 도입할 때 가장 큰 걸림돌이 되는 부분 중 하나는 인공지능 모델의 불투명성에 있다. 이런 문제를 해결해가 위해 인공지능 모델 내부 구조 및 결과 도출의 원인을 설명할 수 있도록 하기 위해 XAI(eXplainable AI)라는 분야가 활발하게 연구 중이다.

기존의 차량 개발 시에 차실 내 소음 저감을 목적으로 차량의 여러 가진 입력점의 실내 소음에 대한 기여도 파악을 하는 TPA(Transfer Path Analysis)기법을 많이 사용되어져 왔다. TPA 는 이론적 기반이 명확하고, 경험적으로 유효성이 입증된 방법이나 많은 공수가 소모된다. 이런 단점을 보완하기 위해 주행 데이터로만 기여도 분석을 수행하는 OTPA(Operational TPA)라는 기법이 있지만 TPA 대비 정확도가 부족하였다. 이번 연구에서는 차체의 여러 가진 입력점의 주행 시 진동을 입력 데이터로 하여 차실 내 소음을 예측하는 딥러닝 모델을 구성한 뒤, 실내 소음이 과다한 주파수 대역에 대해 어느 입력점 진동이 가장 기여가 높은지를 판단하는 기여도 분석 모델을 개발하였다. XAI 기반 기여도 분석 모델은 기존의 OTPA 수준의 공수를 투입하면서도 TPA 수준의 정확도를 가지는 것을 목표로 하였다.

CNN 기반의 딥러닝 모델을 구성하여 입력점 진동에 기반한 실내 소음 예측 모델을 구성하였다. 노면 주행을 반복하여 쌓은 주행 데이터 베이스를 입력 데이터로 하여 실내 소음을 예측할 수 있도록 딥러닝 모델을 학습시킨 후, 학습이 완료된 모델에 LIME(Local Interpretable Model-agnostic Explanation) 기법을 적용하여 기여도 분석을 수행하였다. XAI 모델 기여도 분석 결과는 TPA 및 OTPA 결과와 동등 수준의 결과를 나타내었다. 이러한 결과를 바탕으로 향후 추가적인 평가 검증 및 모델 개선을 통해 XAI 기여도 분석 모델을 차량 개발 프로세스에 적용 가능할 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. Tioa, Guan, "A Survey of Explainable Artificial Intelligence(XAI): towards Medical XAI", Journal of LATEX (2015)
2. Ribeiro, Singh, "Why Should I Trust You? Explaining the Predictions of Any Classifier", arXiv(2016)

하창용: pcheha@hyundai.com

# 차량 소음 분석을 위한 AI 알고리즘 및 NVH 활용 방안 연구

장경진 [1]
[1] 현대자동차

# STUDY ON AI ALGORITHMS FOR THE ANALYSIS OF AUTOMOTIVE NOISE AND THOSE APPLICATIONS TO NVH

Kyoung-Jin CHANG [1]
[1] Hyundai Motor Company

**중심어:** 전달경로분석(TPA), 가우시안처리회귀(GPR), 심층신경망(DNN), 장단기기억(LSTM)

## 요약

차량의 소음 진동 개발 과정에서 개발 단계별로 평가, 개선 및 검증하는 과정을 거치므로 많은 진동 및 소음데이터를 확보할 수 있다. 이때 인공지능 알고리즘을 적용하여 이 데이터들을 통합적으로 이용한다면 실내소음의 원인을 신속하게 분석하고 음질을 예측하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구에서는 차량 실내음 레벨 예측과 음질지수 예측 문제에 대하여 각기 머신러닝 기법의 일종인 가우시안 프로세스 회귀 (gaussian process regression, GPR) 알고리즘과 딥러닝 기법의 일종인 심층신경망 (deep neural network, DNN) 알고리즘, 장단기기억(long short-term memory, LSTM) 알고리즘을 적용하여 결과를 비교하였고, 사운드에 대한 선호 감정 판단을 위해 합성곱신경망 (CNN, convolutional neural network) 알고리즘을 적용하여 보았다.[1~5] 이를 통해 다양한 AI 알고리즘을 차량의 NVH 및 사운드 디자인 연구에 활용하는 방안을 검토하고자 하였다.

첫번째 주제로서, GPR 알고리즘을 적용하여 소음 레벨을 예측하였다. 이때, 한 대의 FF 차량에 대하여 가속주행조건에서 엔진마운트, 서스펜션 등 경로의 가속도를 측정하고, 흡기음, 배기음 및 엔진방사음 등 총 19 개 채널의 7516 개 데이터를 측정하여, GPR 알고리즘으로 학습 후 실내의 전후석 소음을 예측하는 문제를 수행하였다. 이때, 80%의 데이터는 학습에, 20%의 데이터는 테스트에 사용하였다. 소음 예측 결과는 Fig. 1 에 도시하였으며, 학습데이터의 실제값과 예측값간 상관계수 R=100%, 테스트 데이터의 R=98%로 매우 높은 정확도를 갖는 것으로 나타났다.

두번째 주제로서, DNN 알고리즘을 적용하여 소음 레벨을 예측하였다. 앞의 경우와 같은 데이터를 사용하고 학습네트워크만 심층신경망으로 구성하였으며, 이때, 은닉층과 노드수의 조합을 다양하게 변화시킨 결과, Fig. 2 와 같이 케이스별로 테스트 데이터의 상관계수 R=94~96%로서 역시 높은 정확도를 갖는 것으로 나타났다.

세번째 주제로서, LSTM 알고리즘을 적용하여 청음평가 지수를 예측하였다. 가속주행조건에서 40 대 차량의 실내 소음을 측정한 후, 40 명의 사용자가 청음평가를 통해 2 개의 음질지수 (Sporty 및 Refined 지수)에 대하여 0 점~7 점까지 평가값의 평균을 예측하고자 하였고, LSTM 네트워크의 학습을 위한 입력데이터로는 3 단 가속시 40 대 차량의 오더 라우드니스 레벨 (시퀀셜 데이터)를

장경진: changkj@hyundai.com

사용하였다. 이때, 데이터의 오더 개수를 달리하며 학습을 하였는데, 가능한 많이 사용한 경우와 엔지니어 직관으로 주요 오더를 선별한 경우를 서로 비교하였다. Fig. 3 에는 LSTM 알고리즘을 이용하여 다양한 케이스 중 8 개의 주요 오더를 선별 학습한 경우의 Sporty 지수의 예측값을 실제값과 상관 비교한 결과를 도시하였다. 결과를 보면 R=93%로서 비교적 높은 상관성을 갖는 것으로 나타났다.

네번째 주제로서, 차량에 장착된 능동사운드디자인(active sound design, ASD) 시스템을 이용하여 운전자 얼굴의 감정을 파악하고 이에 어울리는 음원을 선택하여 실시간으로 알맞은 주행음을 구현하는 기술을 개발하기 위해 AI 알고리즘을 적용하였다. 이때, 다양한 사운드를 배경음으로 하여 사용자의 얼굴표정을 인식한 후 합성곱신경망(convolutional neural network, CNN) 알고리즘을 이용하여 현재의 감정 상태를 파악하였고, 아울러 음원별 사용자 평가를 통해 각 감정에 어울리는 음원을 분류하였다. 이때, 얼굴 감정 인식에는 아마존의 웹서비스 시스템(AWS)에서 제공하는 상용화된 플랫폼을 이용하여 카메라로 인식한 운전자의 눈, 입의 이미지로부터 특징을 추출하고 각 감정별 스코어를 예측하여 가장 가능성이 높은 감정을 선별하였다. 결과를 보면, 슬픔, 놀람, 화남, 평온함, 당황함 등의 감정을 90% 이상의 스코어로 비교적 정확하게 파악하였고 이로부터 운전자 감정에 적합한 주행음을 선정할 수 있었다.

다섯번째 주제로서, 머신러닝과 딥러닝 알고리즘을 이용하여 차량의 NVH 분석 및 사운드 디자인에 활용할 수 있는 방법론을 검토하였다. 먼저 가능한 주제 들을 선정하고 입출력 데이터와 이에 적합한 분석방법을 제시하였으며, 다양한 방법론을 NVH 문제에 적용할 때의 주의할 점 등을 함께 검토하였다. 본 연구를 통해 향후 AI 기술이 차량의 NVH 연구에 어떤 도움을 줄 수 있는지 가늠해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

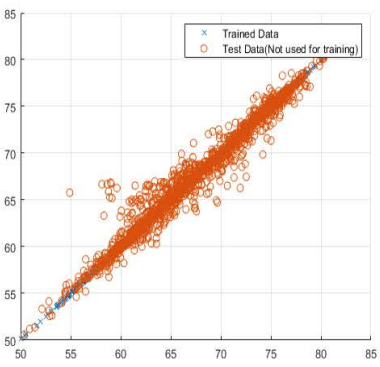



Fig.1 GPR 기반 소음 예측결과

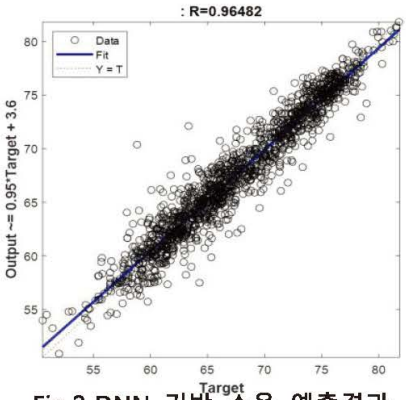



Fig.2 DNN 기반 소음 예측결과

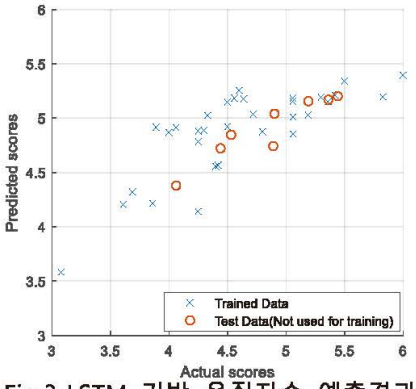



Fig.3 LSTM 기반 음질지수 예측결과

## 참고문헌

1. J. Q. Shi and T. Choi, Gaussian Process Regression Analysis for Functional Data, CRC Press.

2. W. Liu and Z. Wang etc., "A survey of deep neural network architectures and their applications", Neurocomputing, Vol. 234 (19), 2017, pp. 11-26.

3. Shalini Ghosh, et al., "Contextual LSTM models for large Scale NLP tasks", Computation and Language, 2016, arXiv:1602.06291.

4. H. Sak, A. Senior and F. Beaufays, "Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network Architectures for Large Scale Acoustic Modeling", INTERSPEECH 2014.

5. Neha Jain, et al., "Hybrid deep neural networks for face emotion recognition", Pattern Recognition Letters, Vol. 115, 2018, p.101-106.

장경진: changkj@hyundai.com

# 가속감 및 변속감 향상을 위한 ASD 기술 개발

김성현 [1], 양재식 [1], 김성열 [1]
[1] 현대자동차

# A NOVEL METHOD OF ACTIVE SOUND DESIGN TO ENHANCE THE ACCELERATION AND GEAR SHIFT FEELING

Seonghyeon KIM[1], Jae Sik YANG[1], and Sung Yeol KIM[1]
[1]Hyundai Motor Company

**중심어:** 가속음, 변속음, 가속감, 변속감, 능동음향설계, 튜닝 인자, 주관 평가

## 요약

차량 NVH 분야에서 주행음의 감성 품질을 향상시키고 차량 컨셉에 부합하는 가속음을 개발하기 위한 효과적인 방법으로 능동 소음 제어를 활용한 기술들이 다양하게 개발되고 있다[1][2]. 차량 능동 소음 제어 기술은 1992 년 닛산 블루버드 차량에서 엔진 부밍 소음 저감 목적으로 처음으로 양산 적용되었다[3]. 이후, 이 기술은 엔진 소음 저감 목적에서 엔진 차수들의 음량을 엔진 회전 영역에 따라 저감 또는 강화하는 기술로 확장되었다[4]. 이는 2012 년 BMW M5 차량에서 액티브 사운드 디자인(Active Sound Design, ASD)이란 기술 명으로 최초로 제품화 되었고[5], 최근 10 년 동안 다양한 차량 제작사들에서 엔진 사운드의 캐릭터를 만드는 기법으로 활용하고 있다. ASD 기술은 음향 및 비음향 요소(Non-acoustic factor) 두 가지 측면에서 개발된다. 첫 번째, 음향 요소는 엔진 회전 차수에 해당하는 주파수 성분을 생성하고 이를 합성하여 음색을 만드는 것을 의미한다. 메인 차수와 이에 해당하는 조화 성분 그리고 반 차수(Half Order)를 조합하여 부밍(Booming)과 럼블(Rumble)음을 생성하여 "정제된", "편안한", "스포티한", "힘있는"등 다양한 가속 음색을 구현한다[6]. 두 번째, 비음향 요소는 생성된 엔진음을 운전자의 주행 의지와 차량의 거동 관점에서 튜닝하는 것을 뜻한다. 주행 의지에 해당하는 튜닝 요소는 가속 페달량(Accelerator Pedal Sensitivity, APS)에 따른 음량 게인(Gain)을 설정하는 것이다. LTI(Light Tip In), MTI(Middle Tip In), HTI(Heavy Tip In) 등 운전자의 가속 의지에 따라 가속 음량을 설정하는 것을 의미한다. 한편, 차량 거동에 해당하는 튜닝 요소는 엔진 토크 또는 부하 그리고 차속 등에 따라 게인을 설정하는 것이다. 이와 같이 APS, 엔진 토크, 차속 등의 비 음향 인자들에 대한 최적화를 통해 주행 의지와 차량 거동에 부합하는 엔진음을 구현한다[7]. 한편, 보다 자연스러운 엔진음을 구현하고자 엔진 표면 진동 신호를 입력으로 추가하여 이에 해당하는 회전 차수들의 크기를 반영하는 기술도 개발되었다. 이 기술은 기존 ASD 기술에 진동 센서를 추가한 형태로 ESEV(Engine Sound Engine Vibration)라는 기술 명으로 소개되고 있다[8]. 이는 주행 조건 별 엔진 표면 진동의 변화를 ASD 출력음의 게인으로 사용하는 것으로 가속음의 변동감을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 진동 센서의 가격, 그리고 신호 처리를 위한 제어 시스템 리소스의 증가와 같은 단점도 존재한다.

이 연구에서는 엔진 및 변속기의 특성과 차량의 거동에 대한 차량 동역학적 특성을 바탕으로, 별도의 진동 센서 입력을 사용하지 않고 가속감 및 변속감을 효과적으로 향상시킬 수 있는 ASD 의 새로운 기술을 제안하고자 한다. 먼저, 가속감을 효과적으로 향상시키고자 차량 종방향

김성현: seonghyeon.kim@hyundai.com

가속도에 해당하는 튜닝 인자를 제안하였다. 동일한 APS 에서 ASD 음량은 엔진 회전수에 따라 동일하다. 하지만 차량의 종방향 가속도는 동일 APS 일 경우에도 변속 기어 단에 따라 다르게 나타난다. 따라서 기존의 ASD 기술에서는 차량의 종방향 가속 특성과 가속음의 조화로움을 구현하는데 한계가 있다. 이에 이 연구에서는, 새로운 가속감 튜닝 인자를 도출하고 이를 ASD 알고리즘에 구현하였다. 다음으로 변속감을 향상시키는 인자를 제안하였다. 변속 과정에서는 엔진 RPM 변화에 따라 가속도의 변동과 함께 엔진음의 음량 변동이 발생한다. APS 가 동일할 경우 엔진음은 엔진 RPM 하강 구간에서도 상승 구간과 동일한 음량이 출력된다. 따라서, 사운드 절도감 결여에 기인한 미흡한 변속감의 기술적 한계가 있다. 이를 개선하고자 변속 시 발생하는 엔진 토크의 변화를 입력 신호로 하여, 이에 해당하는 음량을 보정할 수 있는 신규 튜닝 인자를 도출하였다. 가속감과 변속감 향상을 위해 도출된 두 가지 비음향 튜닝인자는 ASD 알고리즘에 반영되어 실차에 구현되었다. 마지막으로, 주관 평가(Subjective Evaluation)를 실시하여 신규 개발된 튜닝 인자의 최적값을 도출하였다.

이 연구에서는 효과적으로 다이나믹(Dynamic)한 가속음을 구현할 수 있는 새로운 ASD 튜닝 기법이 제안되었다. 다이나믹한 가속음을 구현하기 위해 개발된 기존의 ESEV 기술은 엔진 표면 진동의 변화를 참조 신호로 하는 하드웨어 기반 기술이라 할 수 있다. 반면, 이 연구에서 제안한 기술은 엔진 표면 진동 변화의 원인이 되는 엔진 토크 변화를 CAN-BUS 를 통해 참조 신호로 활용한 소프트웨어적인 ESEV 기술이라 할 수 있다. 즉, 별도 센서를 적용하지 않고 소기의 목적을 달성할 수 있다. 이는 추가적인 원가 상승을 방지할 수 있는 효과적인 기술로써 "ASD 2.0"이란 기술 명으로 개발되어 향후 양산 차량에 적용될 예정이다.

## 참고문헌


1. Elliott, S. J., "Active noise and vibration control in vehicles." Vehicle noise and vibration refinement. Woodhead Publishing, pp. 235-251 (2010)
2. Samarasinghe, P. N., Zhang, W., & Abhayapala, T. D., "Recent advances in active noise control inside automobile cabins: Toward quieter cars", *IEEE Signal Processing Magazine*, 33(6), pp. 61-73 (2016)
3. Dubravko, Miljković, "Active noise control: From analog to digital—Last 80 years." *2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). IEEE*, (2016)
4. Scheuren, J., Schirmacher, R., & Hobelsberger, J., "Active design of automotive engine sound", *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, Vol. 2002, No. 4, pp. 1544-1549 (2002).
5. https://www.bmw.de
6. Kim, S., Chang, K. J., Park, D. C., Lee, S. M., & Lee, S. K., "A Systematic Approach to Engine Sound Design for Enhancing Sound Character by Active Sound Design", *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems*, 10, pp. 691-702. (2017)
7. Schirmacher, R., "Active Noise Control and Active Sound Design-Enabling Factors for New Powertrain Technologies", *SAE Technical Paper* 2010-01-1408, (2010)
8. Jung, I., Lee, D. C., Kim, W., Park, Y., & Lee, S. K., "Engine Sound Quality Development Using Engine Vibration", *SAE Technical Paper* 2018-01-1487, (2018)


김성현: seonghyeon.kim@hyundai.com

# 전기차 NVH 성능 향상을 위한 친환경 3D 부직포 경량 흡음재 연구

김지완 [1], 박지섭 [1], 하지윤 [1], 박준욱 [1], 왕성준 [1], 조세현 [1]
[1] 현대자동차

# A STUDY ON IMPROVING NVH PERFORMANCE USING ECO-FRIENDLY VERTICAL 3D NON-WOVEN FELT

Ji-Wan KIM[1], Ji-Seob PARK[1], Ji-Yoon HA[1], Jun-Wook Park[1], Seong-Jun WANG[1], Se-Hyun JO[1]
[1] Hyundai motor group

**중심어:** 3D 부직포, NVH 성능향상, VOCs 저감 친환경소재, 수직형부직포, 실내소음저감 흡음소재

## 요약

본 연구에서는 실내 정숙성 향상을 위한 친환경 흡음 패드의 주요 소재는 리사이클된 PET 로 신규 원사 기술 및 공정최적화를 통한 부품 흡음 성능을 개선하고 기존에 주로 사용되던 내장재 흡음재인 폴리우레탄 폼을 대체하고자 한다. ① 고주파 흡음 기술과 ② 기존 차량의 부품 중량을 저감하면서 ③ CO2 배출량을 현저히 낮출 수 있는 경량화 기술을 연구하였다.

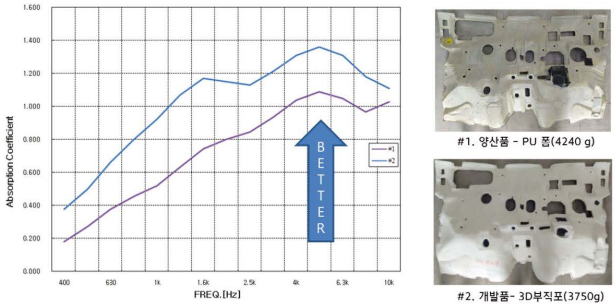



Fig1.양산품과 3D 부직포 개발품 흡음성능 비교

본 연구에서 친환경적인 '3D 부직포'는 ① 친환경 공법을 도입한 원사 개발 연구, ② 부직포의 성능을 최대치로 끌어올리는 원사 배합 최적화, ③ 전통적인 부직포 제조 방식에서 벗어난 수직형 웹 결합 등이 있다. 이러한 제조 기술 연구로 가볍고 견고하여 압축 강도 높으며 흡음 성능 또한 우레탄 폼을 능가하는 제품을 만들어 낼 수 있다.

## 참고문헌

1. 한상민, 코로나 19: 2020 년 세계 전기차 시장 전망, automotive electronics, 2020/09(2020)
2. I. Arsie, A. Cricchio, C. Pianese, V. Ricciardi, and M. De Cesare, Energy Procedia, 82, 81 (2015)
3. K. Yang, Prospectives of Industrial Chemistry, 16, 1 (2013)

김지완:kimjiwan@hyundai.com

# 환경차 적합 대시 인슐레이터 적합설계를 위한 연구

유종덕 [1], 정호기 [1], 오세훈 [1]
[1] 현대자동차

# A STUDY ON DASH INSULATOR OPTIMIZATION FOR ECO-FRIENDLY CAR

Jong-Duk YU[1], Ho-Gie JEONG[1], Se-Hoon OH[2]
[1]Hyundai Motor Company

**중심어:** NVH, 소음, 흡음, 인슐레이터, 환경차

## 요 약

환경차적합 대시 인슐레이터 설계를 위하여 명확한 목표 성능설정과 구체적 달성방안이 필요하며 차체 소음부품의 적합설계를 위한 연구를 진행하게 되었다. 대상부품은 소음원에 근접구성되어있으며 흡음기여도가 크고 원가비중 이 높으며 현재까지 엔지니어링적 검증이 미흡하여 연구 효과적일 것으로 판단하여 대시 인슐레이터를 기준으로 한다.

본 논문에서는 음장에 의한 영향도를 줄이고자 동일한 차종의 MPI/T-GDI/HEV/EV 방사음을 측정, 모드별 주파수에 따른 소음가혹도와 취약구간을 파악(그림 1) 환경차 타겟 개발영역을 선정하여 대시 인슐레이터 성능을 개발을 목표로 하였다. 이를 기반으로 대시인슐레터의 구성을 평가를 통하여 차종에 맞는

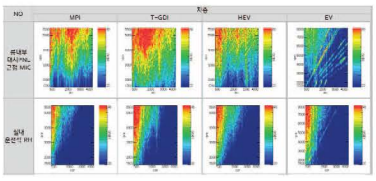


그림 1. P/T 별 방사음측정

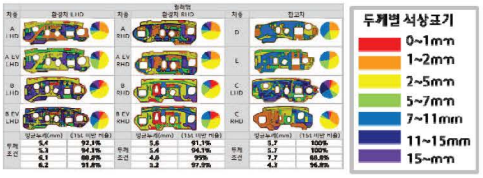
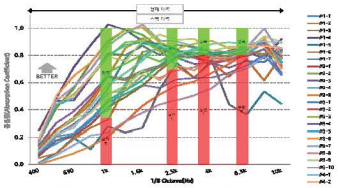


그림 2. 인슐레이터 현황분석

요구안제시로 진행하고자 한다. MS-SPEC 에서 규정하고 있는 흡음성능관련 정상상태 시편뿐 아니라, 실제 흡음재의 조건에 상사하는 다양한 경우에 대하여 검증을 실시하여 결과를 실제결과 기반으로 확인 한다. 또한 실도면 조건을 확인하고 도면구성의 부족한 점을 파악하여(그림 2) 이를 검증하도록한다. 조건별 검증이 가능한 매트릭스 샘플을 선정 알파캐빈으로 측정하고 결과를 분석하였다. 시편은 PU, R/FELT, PU+R/FELT, G/WOOL 재질에 대하여 선정하였으며, 주파수별 흡음성능비교를 통해 도출한 결과를 조건


그림 3. 시편 측정과 분석

별 변화를 유추하여 최적의 조건을 선택하였다. 사운드 인텐시티, PBNR, 주행 대화명료도를 통해 이를 실차 조건에서도 검증하였으며, 최적화 고찰을 통해 성능뿐아니라 중량/원가 최적화 분석을 통하여 차량 목적에 맞는 대역별, 부위별, 소재별 상기 항목별 평가를 완료하였다. 이를 근거로 신차설계 최종안을 선정하고 중량/원가절감을 달성하였으며 해당 인슐레이터의 성능을 검증 검증하였다. 뿐만 아니라 P/T 별 소음특성과 재질/조성별 DB 작성, 분석과 평가에 근거한 대시 인슐레이터 제안, 목표적합 대시 인슐레이터 최적 설계기준제시, 인슐레이터 재질선정 가이드를 반영하여 향후 인슐레이터 설계의 방향성 기준을 수립하였다.

유종덕: wolfin@hyundai.com

# 아웃사이드 미러 폴딩갭 휘슬 개선을 위한 내부 구조 연구

임성남 [1], 신성룡 [1], 정철웅 [2], 이권기 [2], 이송준 [2]
[1] 현대자동차, [2] 부산대학교

# A STUDY ON REDUCING WHISTLE SOUND BY NARROW FOLDING GAP IN OUT-SIDE MIRROR

Sungnam RIM[1], Seongryong SHIN[1], Cheolung CHEONG[2], Kwongi LEE[2], and Songjune LEE[2]
[1]Hyundai Motor, [2]Pusan University

**중심어:** 아웃사이드, 휘슬 소음, 미소 갭, LARGE EDDY SIMULATION

## 요약

차량 바람소리 문제점의 대부분은 차량 전면부에서 주요 발생하게 되는데, 최근 개발된 소형 차종에서 아웃 사이드 미러 폴딩갭의 1mm 이내의 미소 틈새에서 휘슬성 소음이 빈번하게 발생하고 있다. 폴딩갭 근처에서 발생하는 휘슬성소음 문제를 개선하기 위해 폴딩갭 사이에 가이드 립 구조 및 틈새 구조를 변경하여 휘슬성 소음을 개선하고 있지만, 근본적인 원인 제거가 아닌 원인으로 추정되는 영역에 공기의 흐름을 제어하는 방법을 사용하고 있다. 또한 미러에서 발생하는 휘슬성 소음은 특정 속도 및 특정 풍량 및 풍속 조건에서 발생하며, 1mm 미만의 미소 틈새에서 문제가 발생하기 때문에 평가 및 해석 그리고 원인 분석에 어려움이 많이 있었다. [1], [2] [3]

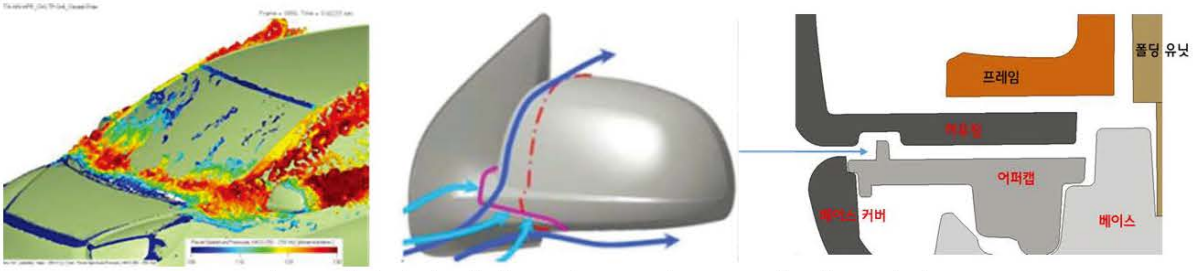



그림 1. 일반적인 미러 주변부 공기 흐름 및 내부 단면 구조

본 연구에서는 이러한 휘슬 소음 문제의 발생 메커니즘을 파악하고자 가이드립 구조가 적용된 미러 중 휘슬 소음이 발생했던 미러 형상을 이용하여 실험적 및 해석적 접근 방법을 이용하였다. 해석 결과를 바탕으로 내구 구조의 속도 분포와 휘슬 소음 개선안을 제안하고, 해석 및 시험을 통하여 개선 효과를 확인하고자 하였다.

해석 진행을 위해 실제 미러 폴딩갭 내부 구조에서 실험적으로 휘슬 발생에 무관한 부분을 제거하여 형상 단순화 모델을 구현하여 실제 미러와 동일 조건에서 속도에 따라 주파수가 증가하는 휘슬 소음 현상을 동일하게 확인되어, 문제 현상 분석 및 유동 가시화 시험을 위해 형상 단순화 모델을 사용하였다. 해석 방법은 휘슬 소음 확인을 위해 미세 격자 사용 및 Time

임성남 : 4everwithu@hyundai.com

Step 미세하게 하였다. 압축성 LES(Large Eddy Simulation)을 이용한 Direct CAA(Computational Aero-Acoustic) 기법을 사용하였고, 해석 S/W 은 상용 S/W ANSYS Fluent 을 이용하였다.

실제 미러 및 형상 단순화 미러 해석 결과 외부 및 내부에서 휘슬성 소음 성분을 확인하여, 각 해석 모델의 내부 유동 결과를 분석하였다. 실제 미러 형상의 내부 와류 크기를 확인해 보면, 가이드 립 근처에서 와류 강도가 크게 나타남을 알 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 형상 단순화 미러 해석 결과를 확인해 보면, 가이드 립 및 끝단 부분에서 와류 소스 섭동(Vortex Sound Sources Fluctuation)이 크기 나타남을 알 수 있었고, 이러한 압력 섭동 현상을 휘슬 소음 주파수로 분석하면, 가이드 립 끝단 영역에서 크게 나타남을 알 수가 있었다.




그림 2. 형상 단순화 미러 모델

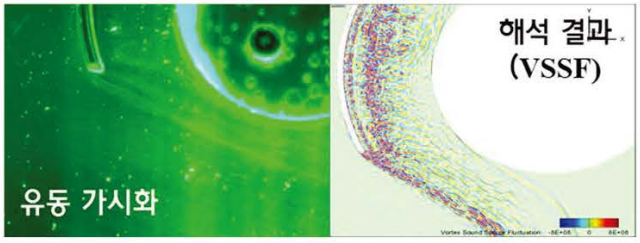



그림 3. 형상 단순화 미러 모델 해석/가시화 결과

앞의 결과에서 휘슬의 발생 위치를 확인하였고, 발생 메커니즘을 이해하기 위해 유속 변경을 통하여 선행 문헌과의 유사성을 확인하였다. 유속별 주파수 그리프를 이용하여 결과를 정리하면, 유속에 따라 휘슬 주파수가 상승하는 경향과, 동일하게 휘슬 주파수가 유지되는 경향, 2 가지 현상을 확인할 수가 있었다. 이러한 현상은 선행 참고 문헌(Masataka Miyamoto et al., 2010)의 결과와 유사함을 알 수 있었고, 폴딩갭의 단면 구조 형상도 선행 참고 문헌의 구조 모델링과 유사함을 알 수가 있었다. 참고 문헌의 결과를 바탕으로 현상을 해석하면, 유속에 의해 상승되는 주파수 경향은 Gap Tone 구조 휘슬로 판단되며, 유속에 변하지 않는 주파수는 단면의 Cavity 형상에 의해 발생하는 것으로 판단된다. 다만, 실제 주행 현상에서는 Gap Tone 구조 휘슬 소음이 메인 현상으로 나타난 것으로 판단된다. [4]

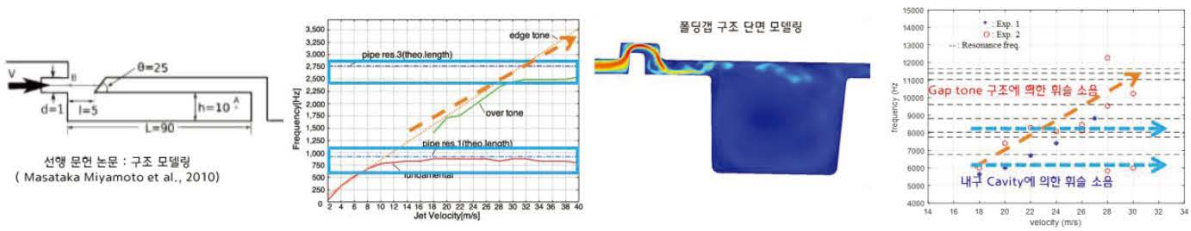



그림 4. 선행 논문 결과와 실제 미러 해석 결과 비교

해석 결과를 바탕으로 폴딩갭 내부 유동의 속도 분포 분석과 휘슬 소음 개선을 위한 가이드립 구조 제안 및 해석, 그리고 실제 간이 풍동 평가를 실시 하였다. 외부 유동에 비해 폴딩갭 내부 유동은 간격이 줄어듬에 따라 폴딩갭 길이 방향 및 위치별 속도 분포도 크게 감소됨을 확인할 수가 있었다. 가이드 립 삭제시 다른 구조에서 휘슬 문제가 발생하기 때문에 가이드 립의 형상을 변경하여 휘슬 소음을 개선하고자 하였다. 립의 길이 방향 형상을 유지하면서 와류의 크기 및 주기성을 제거하기 위해 길이 방향 패턴 모양을 적용하였고, 해석 결과 기존 형상 대비 가이드 끝단 부분의 와류 강도가 크게 낮아짐을 알 수 있었고. 유동

임성남 : 4everwithu@hyundai.com

가시화 평가 및 형상 단순화 모델을 이용한 간이 풍동 평가에서도 휘슬 소음이 미발생 하였다.

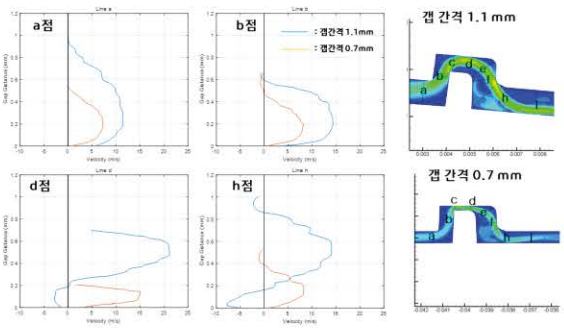



그림 5. 폴딩갭 간격별 미러 단면 속도 분포

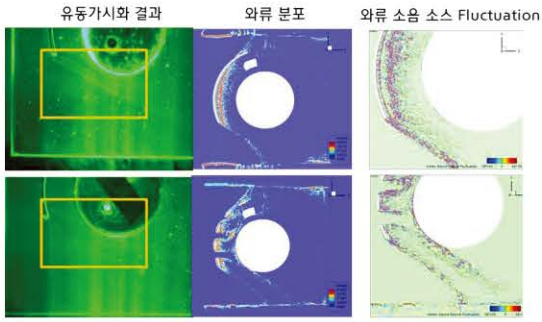



그림 6. 가이드 립 개선 구조 결과

## 참고문헌

1. 이강덕, "자동차 윈드노이즈의 난제", 한국소음진동공학회 추계학술대회, pp. 54~55, 2010 년

2. 이재준 외 3 명, "윈드노이즈를 고려한 미러 스칼프 디자인 최적화 연구", 현대차 그룹학술대회, 2013 년

3. 임성남 외 2 명, "간이 풍동장비를 이용한 외장부품 휘슬 소음 검증 방법 연구", 현대차 그룹학술대회, 2018 년

4. Kin'ya Takahashi, Masataka Miyamoto, Yasunori Ito, Toshiya Takami, Taizo Kobayashi, Akira Nishida, Mutsumi Aoyagi, "Numerical analysis on 2D and 3D edge tones in terms of aerodynamic sound theory," ICA, 2010.

임성남 : 4everwithu@hyundai.com

# 샤크 안테나 기인 바람소리 메커니즘 분석 및 설계 가이드 수립

이성원 [1], 박언준 [1], 신성룡 [1], 이동건 [2], 이주영 [2]
[1] 소음진동시험 1 팀, [2] 소음진동해석팀

# AN ANALYSIS ON WIND NOISE MECHANISM DUE TO SHARK ANTENNA AND ESTABLISHING DESIGN GUIDE

Sung-Won LEE[1], Eon-Jun PARK[1], Seong-Ryong SHIN[1], Dong-Kon LEE[2] and Ju-Young LEE[2]
[1]NVH Test Team 1, [2]NVH CAE Team

**중심어:** 샤크 안테나, 테일 게이트, 바람소리, 항력, 와흘림, 디자인 가이드

## 요약

자동차 루프에 장착되는 안테나는 멀티미디어 신호를 송수신하기 위해 필수적인 부품이다. 루프 안테나의 종류는 룸폴 안테나, 마이크로 안테나, 샤크 안테나 등 다양한 형태를 가지고 있다. 그 중 샤크 안테나가 심미적으로 우수한 형상을 가지고 있어 고급 차량에 많이 사용되고 있다.

안테나는 신호를 송수신하기위해 루프에 돌출된 형상을 가지고 있어 자동차 고속 주행 중에 안테나 주변으로 유동이 교란된다. 이러한 교란으로 난류가 발생하고 안테나에서 기인된 바람소리가 발생된다. 특히 해치백 차량에서 샤크 안테나 후방에 테일 게이트가 위치하여 루프와 테일게이트 사이 공동으로 난류가 유입되어 바람소리에 더 취약한 구조이다.

샤크 안테나에서 발생되어 실내까지 소음이 전달되는 경로는 두가지로 분류할 수 있다. 첫째, 공기 기인 소음이다. 공기 기인 소음을 분석하기 위해 샤크 안테나의 Strouhal Number[1][2]를 활용하였다. 샤크 안테나에서 발생되는 와류의 주성분 주파수와 실내에서 발생되는 문제 소음의 주파수 대역에 차이가 있어 공기 기인 소음은 주성분이 아니라고 판단하였다.

둘째, 구조 기인이다. 샤크 안테나 후류의 유동과 차량 후방의 음향 특성을 분석하기 위해 해석과 풍동/실도로 실차 평가를 수행하였다. 평가 결과를 분석하여 샤크 안테나 후류의 유동이 테일 게이트 공동의 루프 끝단을 가진하여 소음이 발생되는 것으로 추정된다. 연구 결과를 바탕으로 샤크 안테나의 형상과 위치 디자인 가이드를 제안하였다.



그림1. 샤크 안테나/테일게이트 소음의 전달 경로

## 참고문헌

1. D.S.K. Ting, *Basics of engineering turbulence*, Academic Press, pp.29-106 (2016)
2. N.D. Katopodes, *Free-surface flow*, Environmental Fluid Mechanics, pp.324-426 (2019)

이성원: swlee0117@hyundai.com)

# 대형버스 조향현가계 소음 저감을 위한 모델 기반 가청화기술 개발

장용석 [1], 박종찬 [1], 이태훈 [1]
[1] 현대자동차

# Model-based audibility method for noise reduction of large bus front suspension

Yong-Sok Jang[1], Jong-Chan Park[1], Tae-Hoon Lee[1]
[1]Automotive, Hyundai motor

**중심어: Fourier transform, Audible sound analysis, Vibration Intensity, External super element**

## 요약

대형버스의 차량 서스펜션은 차체의 무게, 구동력, 제동력 등의 큰 힘을 지지하는 안전과도 관련된 중요한 서브시스템이기 때문에 이 곳에서 발생하는 소리는 불안함을 크게 유발할 수 있다. 해석을 통해서 품질문제를 실차 이전에 대응할 수 있게 전달경로 분석 기법, 시간단축 해석 기법, 주파수-시간영역 변환을 통한 청음결과 확인까지 진행할 수 있는 프로세스를 전달경로 파악을 위해서 진동인텐시티 해석법을 이용하여 방향별로 진동에너지 전달율를 볼 수 있다. 239Hz 에서 래디어스로드, 래터럴로드, 스탭바가 주요한 경로임을 확인하여 개선안을 제시하였다.

소음해석을 진행하는데, 시간영역으로 해석하는 것보다 주파수영역으로 해석하는 것이 시간이 적게 들고 분석도 용이하다. 하지만 시간에 따라 변화하는 이음을 분석할 때는 최종적으로 시간영역에서 판단하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 시간축 경계조건을 주파수축으로 변환하고 주파수축의 해석을 진행한 후에, 주파수축의 해석결과를 다시 시간축으로 변환하는 방법을 사용하여 서스펜션의 소음을 재현하였고 반복을 위해 Code 를 작성하여 일련의 방법론을 구축하였다.

상용차의 하체이음에 적용한 결과 전달경로분석에 의한 효과성을 확인하였으며, 경로 상의 부품 강성과 부시의 개선을 통하여 소음 저감 설계안을 제시하였다.

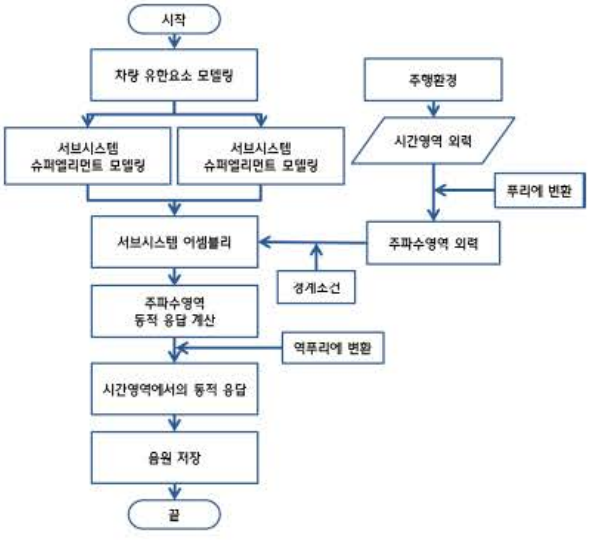



Fig.1 시간영역 소음 분석 프로세스

## 참고문헌

1. Nirmal Kumar Mandal, "Experimental investigation of vibration power flow in thin technical orthotropic plates by the method of vibration intensity", Journal of Sound and Vibration , 2005
2. 임지민, "중대형 차량의 로드노이즈 개선", 한국자동차공학회, p1158~1164, 2012
3. 박상묵, "차량진동 해석을 통한 Rattle 소음발생 재현모델 연구", 한국소음진동공학회 논문집 612-613, 2016.4

장용석:ysjang76@hyundai.com

# NVH 시스템 버추얼개발을 위한 부품레벨의 해석 신뢰성 향상연구

서성훈, 안영은, 한얼
현대자동차

# CORRELATION IMPROVEMENT ON NVH FE-MODELS IN COMPONENT LEVEL FOR VIRTUAL DEVELOPMENT

Seong Hoon SEO, Young Eun AHN, Eol HAN
Hyundai Motor Company

**중심어:** 버추얼개발, 해석시험 상관성, 대시 패널, 윈드쉴드 글라스, 루프 패널, CTBA

## 요약

전통적인 차량개발 프로세스에서는 프로토타입(Prototype) 차량을 다수 제작하고, 충돌안전, NVH, 내구 등 수 많은 성능을 프로토타입 차량을 통한 물리적인 테스트를 거쳐 차량제품의 문제점을 보완하는 검증단계를 거치고 양산하게 된다. 하지만 이러한 개발 프로세스는 개발 비용이 상승되고 장기간의 개발기간이 소요되어, 차량개발 프로세스는 버추얼(Virtual) 기반 및 시스템 기반의 제품개발로 전환되고 있다. 이를 위해서는 실물과 재현성이 높은 버추얼 모델과 완성차 성능과의 연계성이 높은 시스템 성능목표가 필요하다.

차량 NVH 성능 관련한 버추얼 모델은 주로 유한요소(Finite Element, FE) 해석모델을 사용하는데, 차량 실물과의 재현성을 높이고자 수 많은 연구들이 앞서 수행 되어 왔다. 기존 연구에서는 저주파 대역의 골격 고유모드 상관성을 향상에 노력이 집중된 반면 모드 중첩이 발생하는 구간인 중주파 대역에서의 진동 FRF 감도를 일치 시키려는 노력이 부족하였다. 일례로 BIW(Body –in-White)에서의 차체의 댐핑은 금속패널 변형에 의해 재질 내부에서 소실되는 에너지와 점용접 영역의 플랜지(Flange) 면에서의 마찰에 의해 소실되는 에너지로 구분될 수 있는데, 지금까지의 차체 모델에서는 두 가지 댐핑을 구분하지 않고 BIW 전체에 등가된 댐핑을 적용함으로써 모델링은 다소 수월한 반면 FRF 감도의 정확도는 떨어지는 문제점이 있었다.

본 논문에서는 차량의 해석모델에 대한 중주파수 대역까지의 FRF 감도의 신뢰성을 확보하기 위해, 첫 단계로 BIP(Body-in-Prime)를 구성하는 부품에 대하여 시험-해석 상관성을 높이는 연구를 수행하였다. 해당 부품으로는 차체 부품으로는 1)steel 박판(Thin plate)단품과 steel 박판이 점용접으로 조립된 2)Dash Panel Assembly, steel 박판이 mastic sealer 로 조립된 3)Roof Panel Assembly 를 선정하였고, 의장 부품으로는 4) Windshield Glass 를, 샤시 부품으로는 5)Rear CTBA(Coupled Torsion Beam Axle) Assembly 를 선정하여 본 연구에 적용하였다.

본 연구에서는 기존의 연구에 비하여 좀더 진보적인 방향으로 부품의 해석 상관성을 높이는 연구를 수행하기 위해 상관성 비교 항목으로 500Hz 이내의 골격부 및 판넬부의 진동 FRF 감도를 비교하였고, 패널부와 체결부의 감쇠특성을 분리하고 용접 및 볼팅에 의한 접촉부의 강성특성을 추가로 부가하였다. 아울러 본 연구에서는 시험의 산포가 존재하기 때문에 부품의 시험결과는

서성훈: s.h.seo@hyundai.com

동일한 사양의 부품을 여러 개 준비하고 각 부품 별로 여러 번의 동일한 시험을 실시하였다. 시험결과의 분포가 정규분포를 따른다고 가정하고 95%(1.96σ) 분포 구간의 고유모드와 FRF 감도를 사용하여 시험결과의 신뢰구간을 선정하였다. 해석 결과는 시험결과의 신뢰구간에 포함 정도를 판단하여 해석-시험 간에 상관성이 높은지를 판단하였다.

본 연구를 통해 앞서 언급한 5 종류의 부품에 대해 NVH FE 해석모델의 신뢰성을 높였으며 다음의 결과를 얻었다. FRF 감도에 대한 해석-시험 상관성 향상 연구의 방법론을 정립할 수 있었다. 관심있는 주파수 대역까지의 FRF 감도의 시험산포를 고려하여 해석결과가 시험 산포 내에 있는지를 통해 상관성이 여부를 판단해야 한다. 아울러, 실제 현상과 유사하게 모델링을 할수록 해석의 정확도가 향상될 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

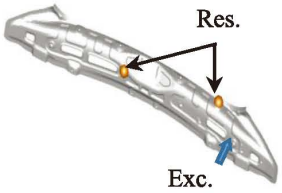



그림 1.RR Transverse Member 패널형상



그림 2. Dash Panel Assembly 시험 셋업



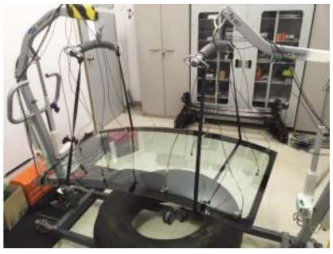




그림 3-5. Roof Panel Assembly, Windshield Glass, CTBA Assembly 시험 셋업

서성훈: s.h.seo@hyundai.com

# N 브랜드 차량 ESG 사운드 강건개발

김재권 [1], 이한규 [1], 임성남 [1], 정형도 [1], 조영석 [2]
[1] 현대기아자동차, [2] 대동모벨시스템

# A ROBUST DEVELOPMENT OF ESG SOUND FOR N BRAND CARS

KIM, Jae Kwon[1], LEE, Han Kyu[1], RIM, Sung Nam[1], CHUNG, Hyong Do[1], CHO, Young Seok[2]
[1]Hyundai-Kia motor company, [2]Daedong mobel system

**중심어:** ESG (Electric sound generator), N brand car, High performance car, driving sound

## 요 약

자동차 메이커는 고성능차를 통해 브랜드 이미지를 강화하려 하며, 고성능차는 가속력, 고속선회, 제동력을 일반차 대비 특화해서 개발하여 주행한계까지 운전의 즐거움을 제공하는 차량이다. 운전자는 강화된 주행 성능을 체감하여 만족감을 느끼면서도 청감으로 느껴지는 사운드는 운전의 즐거움을 배가한다[1]. N 브랜드차의 주행사운드는 그런 캐릭터와 매칭되도록 개발되어야 한다. 본 논문에서는 이러한 N 브랜드 주행사운드 개발 과정에서 주행모드에 따라 사운드를 차별화 개발하고, N 모드에서 강렬할 사운드를 구현함[2]과 동시에 래틀과 같은 사이드 이펙트가 최소화되도록 강건한 개발을 통해 성능구현 및 양산 검증방안을 다룬다.

가속사운드는 엔진으로부터 마운트, 흡배기, 차체 등 각 시스템을 통해 실내로 전달된다. 플랫폼 공용화 및 개발일정, 중량, 원가 등이 중요시 되며, 외부소음 법규가 점점 강화되고 있는 상황에서 샤시계의 튜닝을 통한 주행 사운드 개발은 갈수록 한계가 많이 생기고 있다.

그러한 한계를 극복하기위해 최근 당사 차량에 적용되는 ASD, ANC, ESG 등의 능동형 사운드 제너레이터는 부가적인 사운드를 구현하는데 매우 효과적이다. 당사에서는 차급이나 기능의 장단점에 따라 선택적으로 장착하고 있으며 고성능 N 브랜드 차량에는 그 중 하나인 ESG 를 장착하였다. ESG 는 진동형 가진기로 차체를 가진하여 실내 가속음을 구현하는 장치이다. 이는 사운드가 차체에서 발생하여 유입되므로 자연스러운 가상음을 발생시키며 독립적인 제어가 가능하여 N 차종 및 일부 N-line, GT 차종에 적용중이다.

ESG 사운드 구현은 제어기에서 차량정보(RPM, 토크, 속도)를 받아 파형을 만들어 구동기로 출력시키는 방식이며, C0.5~C12 까지 0.5order 간격으로 특정성분을 가지고 있으며 이를 중첩한 형태의 전류로 가진이 이루어진다. 주행모드에 따라 제어맵을 차별화하여 N 브랜드 차종의 normal 모드는 자연스러운 음색으로 하고, sport/N 모드는 경쾌하고 스포티한 음색을 만들며, 음량도 모드별로 차별화 하여 N 모드에서는 최대로 튜닝된 배기음과 밸런스를 맞춰 ESG 음량도 최대로 튜닝하게 된다.

ESG 사운드 개발시 발생하는 이음은 ESG 음량이 커질때 구동기나 ESG 브라켓, 진동전달 경로상에 위치한 부품들의 래틀에 기인하는 경우가 많아 사내 학술대회나 개발보고서에서 많은 사례를 확인할 수 있었다. 하지만 PDeN 양산시 N 캐릭터 구현을 위해 ESG 제어전압을 12V 이상까지 사용하게 되었고 래틀개선을 위해 양산이후 제어맵 변경까지 진행하였다. N 브랜드

김재권: jaekwon@hyundai.com

차량 개발단계에서 래틀에는 지속적으로 모니터링 하며 개발하였음에도 양산시 래틀문제가 재발하여 개발시 고려하지 못한 인자가 있다고 추정되었으며, 추가적으로 혹서기간에 ESG 가 간헐적으로 소리가 나지 않는다는 현상까지 발견되었다.

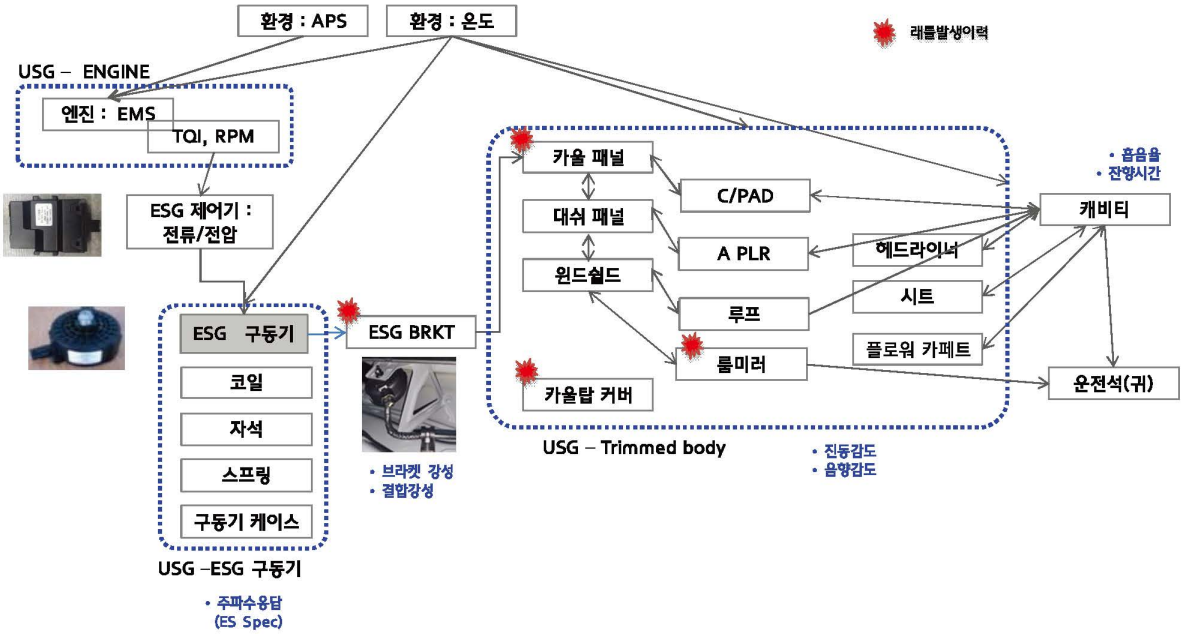



Fig.1 ESG 사운드 발생 매커니즘

음량저하 현상의 원인으로는 ESG 구동기 주파수 응답특성 단품편차와 온도변화에 따른 구동기 저항증가에 기인한 가진력 저하가 주요하였다. 구동기 주파수 응답은 ES Spec 으로 규제하고 있으나 생산성을 고려하고 최소값만은 규제하고 있어서 편차가 클것이라 예상하였고, 2 개월에 걸쳐 생산된 구동기들의 가진력 분포를 분석한결과 Fig.2 와 같이 확인하였다.

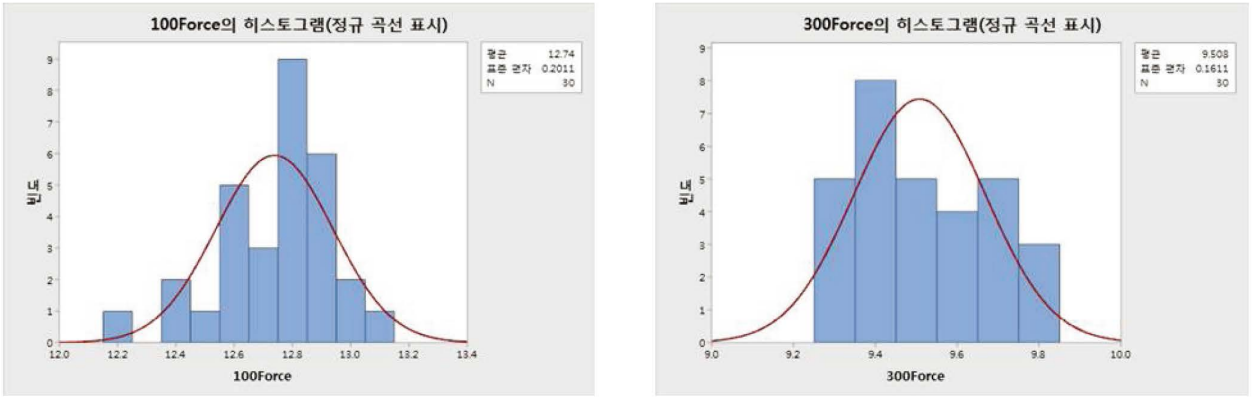



Fig.2 ESG 구동기 가진력 특성치 분포. a) 100Hz, b) 300Hz.

95% 공차구간을 고려하면 가진력은 약 4% 까지 부품산포에 의해 변할수 있어 ESG 튜닝시 고려해야 한다. 하지만 단품산포보다 구동기 온도 변화에 따른 가진력의 변화가 더 컸으며, 이는 구동기 코일의 저항값이 Fig. 3과 같이 온도에 비래하여 증가하는 현상에 기인한 것으로 추정하였다.

실제 고온챔버에서 온도를 30 도에서 60 도로 올려서 구동기

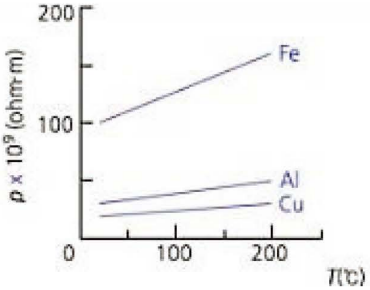



Fig. 3 온도에 따른 금속 비저항.

김재권: jaekwon@hyundai.com

솔레노이드 저항을 측정해보니 약 27% 증가했고, 가진력은 6~15% 감소함을 확인하였다.

| 구분 | | | SMPL1 | 성능변화 | SMPL1 | 성능변화 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 상온 (30℃) | 100Hz | 가진력 (N) | 10.12 | | 11.04 | |
| | 300Hz | | 7.44 | | 7.65 | |
| 고온 (60℃) | 100Hz | 가진력 (N) | 8.55 | 15.5% | 9.41 | 14.8% |
| | 300Hz | | 6.97 | 6.3% | 6.81 | 11.0% |
| | 저항(Ω) | | 11 | 27.3% | 11 | 27.3% |

표. 1 ESG 구동기 온도상승시 저항 및 가진력 변화.

고온챔버 가진력 평가결과를 바탕으로 구동기의 온도에 따른 특성변화를 Fig. 4 와 같이 확인하였고, 다양한 개선안을 고려할 수 있었다.

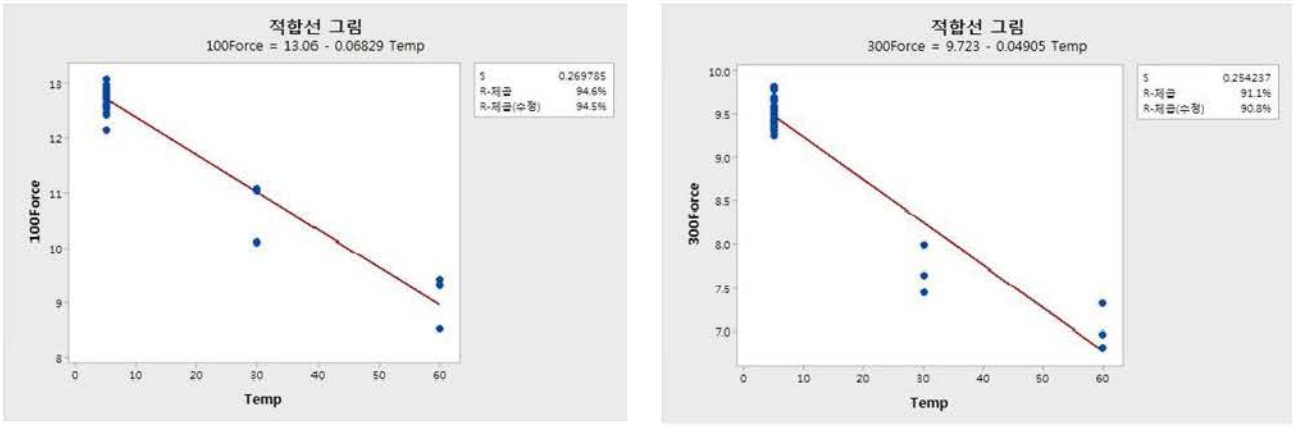



Fig. 4 온도에 따른 ESG 구동기 가진력 변화 a) 100Hz, b) 300Hz.

개선안은 a) 간단한 차열을 통한 구동기 온도상승 방지, b) 저항변화 보상회로, c) 온도변화에 둔감한 재질적용, d) 온도 모니터링을 통한 가진력감소 보상로직 등 다양하게 시도하였으나, 개발기간 및 비용을 고려하여 ESG 제어맵 최적화만을 적용하였다.

본 연구에서는 기존의 ESG 에 기인한 래틀 방지가이드와 더불어 고온 음량감소 개선안을 추가하여 다음과 같은 ESG 강건개발 가이드를 수립할 수 있었다.

(1) ESG 브라켓 형상 최적화 – 공진회피 및 음향전달감도 최적화,

(2) ESG 주변부품 갭확보 또는 고정 ① 카울탑 커버 고정후크 패드부착, ② 룸미러 및 주변 카메라/ 안테나 커버 갭 3㎜확보

(3) 카울내부 ESG 및 와이퍼 와이어링류 떨리지 않도록 고정

(4) 구동기 단품 래틀 확인 및 주파수 응답특성 품질산포 확인후 제어맵 튜닝반영

(5) 구동기 고온노출현상 확인 및 사용온도에 따른 구동기 저항증가를 고려하여 주행모드별 음량차이를 충분하게 반영하여 단품특성 편차나 고온에 기인한 음량저하시에도 ESG 작동이 인지될 수 있도록 강건하게 개발할 수 있었다.

## 참고문헌

1. The 2020 Performance car of the year, 2019/12, Road & track vol. 71, No. 5

2. 박재현, 차재호, 김재권, 이정한, 고성능차 N 브랜드 주행사운드 개발, 2019, 음향학회춘계학술대회

김재권: jaekwon@hyundai.com

# NVH 민감도 분석을 통한 클로저 시스템 개발

변민형 [1], 박병성 [1], 조정현 [1], 임용혁 [1], 이종원 [1]
[1] 현대자동차

# DEVELOPMENT OF CLOSER SYSTEM THROUGH NVH SENSIBILITY ANALYSIS

Min Hyung BYUN [1], Byung Sung PARK[1], Jung Hyun JO[1], Young Hyuk IM [1] and Jong Won LEE [1]
[1]Hyundai motors

**중심어:** 트렁크, 도어 글라스, 동특성, 작동음, 모달 테스트

## 요약

자동 개폐 니즈가 커짐과 동시에 차량 많은 부문에서 자동화 시스템이 적용된다. 클로저 시스템에서도 파워 시스템이 많이 적용되고 있는데 이 파워 시스템은 회사에서 당면한 가장 큰 숙제인 원가와 중량이 늘어나는 가장 큰 단점이 있다. 최근 환경차와 연비 규제로 인해 사 내 전체는 원가와 중량 절감이라는 가장 큰 과제에 직면하고 있어 소비자 니즈와 원가/중량 절감 동시 만족이 엔지니어의 과제라 할 수 있다. 클로저 시스템 내 파워 메커니즘을 살펴보면 도어 글라스, 트렁크, 파워 도어, 파노라마 선루프 등이 자동화 시스템에 해당한다. 내연 기관 자동차의 핵심인 엔진과 환경차의 모터는 NVH 연구가 많이 이루어지고 있는 반면에 클로저 시스템 내 파워 메커니즘 분야는 NVH 연구가 부족한 것이 사실이다. 본 논문은 자동 개폐 시스템 중 보편화된 도어 글라스, 파워 트렁크에 대해 기존 타입의 시스템적 측면에서 문제점 개선 후 신규 타입 개발하여 양산 적용하고자 한다. 우선 두 가지 시스템의 동특성을 파악하여 현재 양산하고 있는 구조와 비교 후 동특성에 유리한 부위를 찾아 실제 작동 가능한 구조를 개발하고자 한다. 이는 시험, 설계, 협력사와 협업하여 회사 내 중요한 원가/중량을 절감함과 동시에 소음에 강건한 제품 개발이라는 상반된 목표를 달성하여 소비자에게 더 나은 제품을 제공하고자 한다.

시스템 개발에 앞서 고객의 니즈를 파악하고자 한다. 선호도 조사 내용과 결과는 그림 1,2 와 같다.

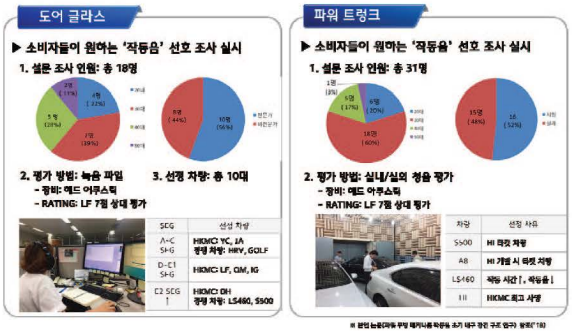



그림 1. 선호도 조사 내용

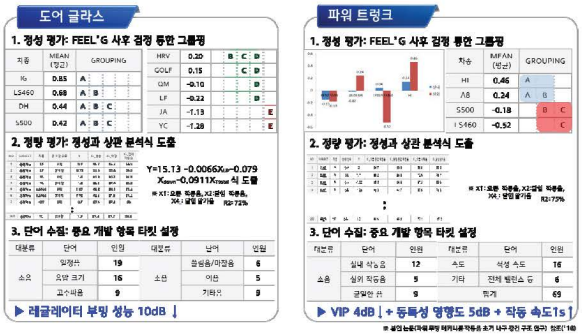



그림 2. 선호도 조사 내용

위 목표를 달성하고자 이론적 정립을 통한 개선안 고찰, 각 시스템의 동특성 파악, 신규 시스템 개발 순으로 진행하였다. 개선안 고찰을 위해 도어 글라스와 파워 트렁크 시스템 정의를 하고자 가속도계와 마이크로폰을 이용하여 영향도를 살펴보았고 결과는 그림 3.,4.와 같다.

변민형: byuns1@hyundai.com




그림 3. 글라스 승하강 작동음 시스템 정의



그림 4. 파워 트렁크 작동음 시스템 정의

시스템 정의를 토대로 레귤레이터 모터 위치 영향도를 파악하고자 하였다. 평가 결과는 그림 5.,6 과 같다.

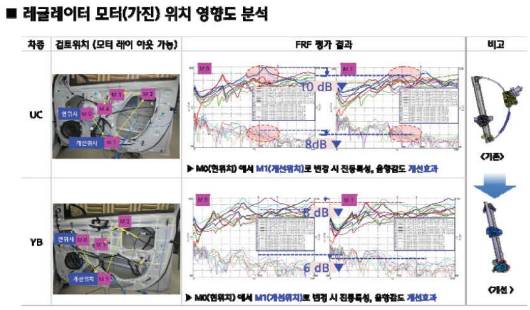



그림 5. 레귤레이터 모터 위치 영향도 분석

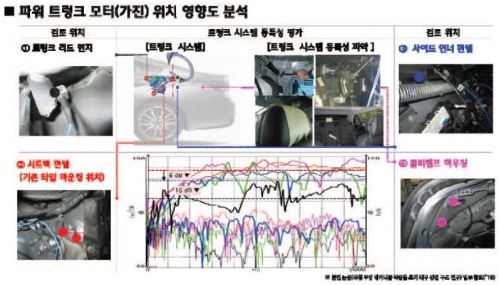



그림 6. 파워 트렁크 위치 영향도 분석

도어 글라스를 살펴보면 현재 사용하고 있는 M0 위치에서 M1 으로 변경 시 두 가지 타입 모두 소음/진동이 저감되는 것을 확인할 수 있다. 트렁크는 마운팅 구조를 변경하여 시트백 → 힌지 타입으로 신규 적용 개발한다면 기존 타입 대비 작동음을 약 10dB 개선을 확인할 수 있다. 또한 이를 활용하여 속도를 추가로 상승시켜 소비자 니즈를 만족시킬 수 있을 것이다.

그렇다면 제품 상세 결과를 살펴보면 도어는 설계 인자 최적화하기 위해 모터 하향, 전방 골조, 최대한 인너 판넬 면적 제거를 고정 인자로 두어 영향을 줄 수 있는 인자인 골조 형상, 골조 깊이, 골조폭, 골조 각도, 판넬 두께, 모터 MT'G 수를 제어 인자로 하고 노이즈 인자로는 글라스 속도 즉 주파수(조립 공차, 습동 저항)선정하며 출력 반응은 ATF 와 PM 으로 하여 DFSS 기법을 활용하였다. 각 인너 판넬에 대한 모델을 구성하고 해석 결과 값은 방사 파워로 하였다. DFSS 결과는 그림 7.과 같으며 실제 제작 사양 평가 결과는 그림 8.과 같다.




그림 7. 설계 인자 최적화

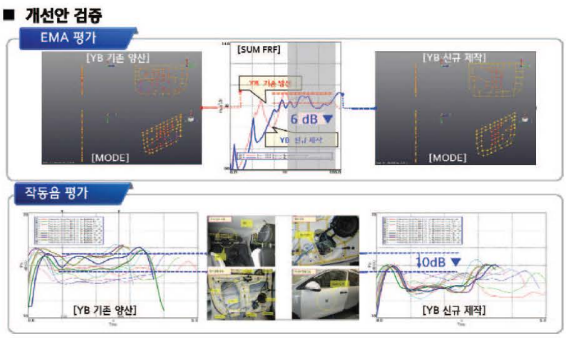



그림 8. 개선안 검증

다음은 파워 트렁크를 살펴보자. 선호도 조사와 필드 조사에 나왔던 VIP 석 작동음 과다에 대해 조사하기 위해 각 OEM 별 작동음을 비교하였고 이 중 선호도 조사에서 당 사 외 가장 높은 점수를 받았던 'I'차량과 상세 비교하였다. 외부에서 측정한 작동음의 경우 'F'가 'I'대비

변민형: byuns1@hyundai.com

2dB 우세하였지만 VIP 석 비교 시 3dB 불리하였다. 이런 결과가 분석이 어려운 것은 앞 선 마운팅 별 결과에 나왔듯이 'I'차량이 다른 위치 마운팅을 쓰는 것이 아닌 유사한 위치를 쓰며 파워 트렁크 타입 역시 'F'와 동일한 타입을 적용하고 있다는 것이다. 그렇다면 'F'와 'I'의 차이점을 좀 더 살펴보기 위해 메커니즘과 장착 구조를 확인하였다. 메커니즘의 음향감도는 'I'이 우세하나 평가 시 시트백 판넬과 큰 차이가 없었던 패키지 트레이 판넬 마운팅을 적용하였다. 이는 기존 소음/진동 민감도 결과 토대로 분석 시 큰 차이가 없다. 마운팅을 상세 확인해보니 부시에서 큰 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 'I'차량 부시 30T, 'F' 차량 5T 두께를 사용하고 있어 이 부분이 VIP 석의 결정적 차이가 있음을 추정할 수 있다. VIP 석 소음 평가와 구조 분석은 그림 9.,10.과 같다.

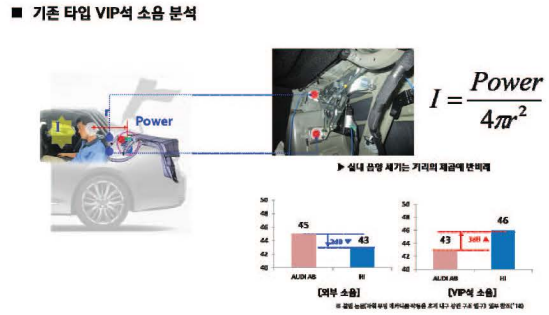



그림 9. VIP 석 소음 평가




그림 10. 'F' 차량 VS 'I' 차량 비교

앞선 소음 영향도 분석과 앞선 결과를 토대로 새로운 신기술을 만들고자 한다. 기존 스윙암 타입의 고정 브라켓을 삭제하여 시트백 판넬로 마운팅되던 것을 동특성이 가장 좋은 힌지에 직결한다. 또한 원가/중량 절감을 위해 메인 암과 서브암 메커니즘 단순화한다. 힌지 직결 파워 유니트는 기존 기술 대비 원가와 중량을 동시 절감 가능과 부시 삭제에도 불구하고 문제가 되었던 VIP 소음 개선이 가능한 구조이다. 신기술 구조는 그림 11.과 같다. 신기술의 경우 작동음에서 울림판 역할을 했던 고정 브라켓을 삭제하였지만 속도별 작동음 측정 결과로 보았을 때 5~7dB 가 증가하는 것을 줄여야만 했으며 이를 위해 포인트 모빌러티 감도가 낮은 위치를 감안하더라도 추가 개선이 필요하였다. 신규 타입 TPA 평가 결과 가진력이 실내 작동음 과다의 주요인이었으며 이는 장착 상태에서 암 부위에 문제가 있는 것을 확인하였다. 평가 결과는 그림 12.와 같다.




그림 11. 신기술 구조

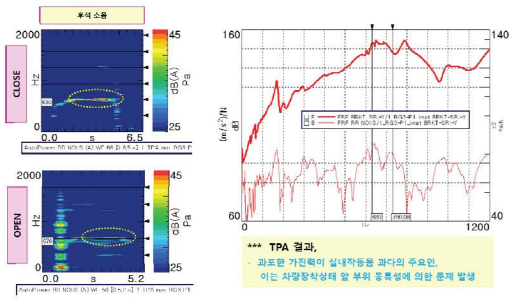



그림 12. TPA 결과

암 개선 결과에 대한 모달테스트 결과를 보면 사용 영역대 주파수엣 10dB 가 줄어드는 것을 알 수 있고 실제 양산 차량 확인 결과 작동 시간 1s 를 줄임에도 불구하고 기존 차량 대비 우수한 작동음을 확보하였다. 각각의 결과는 그림 13., 14.와 같다.

변민형: byuns1@hyundai.com

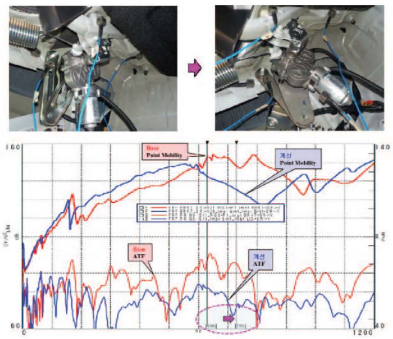


그림 13. 암 개선 모달 테스트

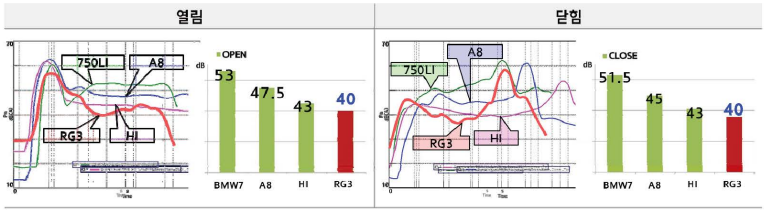



그림 14. 작동음 결과

본 연구를 통해

1) NVH 음향감도 활용한 파워 트렁크 유니트 고유 기술을 확보하였다. 후석 소음 기존 대비 5dB 이상(동일 속도 시 8dB)개선하였고 이는 내구 시 문제가 되었던 부시를 삭제하여 얻은 결과이다.

2) 도어 글라스의 경우는 작동음/부밍음 모두 7~10dB 개선을 이루었으며 산하는 레귤레이터 모든 차종에 적용될 예정이다.

3) 다각적 고객 니즈 파악을 통해 고객이 원하는 제품을 개발하였다. 품질지수+온/오프 라인 +내부 고객 선호도 등 다각적 조사를 통해 근본 문제에 대해 고민하였으며 이를 제품으로 귀결시켰다.

## 참고문헌

1. 김영현, 마운트 배치 최적화 통한 지게차 엔진 진동 저감 (2014)
2. 성대운, 3. NVH 성능열화 예측 기술 개발 (2016),
3. Matthias KLAERNER, 9.FE based measures for structure borne sound radiation (2014)
and multifarious applications", J. Phys. D. Appl. Phys., 26, pp.329-348 (1993)
4. 김재수, "소음 진동학"

변민형: byuns1@hyundai.com

# 바이패스 타입 Self-Switchable 엔진마운트 개발

김승원 [1], 심현진 [1] , 이병곤 [2]
[1] 현대자동차, [2] 평화산업

# Development of by-pass type Self-switchable Engine Mount

Kim, Seung Won[1], Sim, Hyoun Jin[1] , and Lee, Byeong Gon[2]
[1]Hyundai-Motors, [2]PyungHwa INS

**중심어:** 바이패스, Self-Switchable, 엔진마운트, 오리피스, 댐핑 주파수

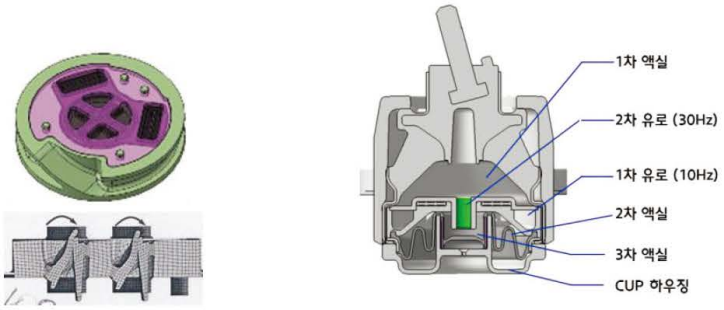
## 요약

엔진마운팅은 차량에서 가장 무거운 강체인 P/Train 을 지지하고, 거동을 제어하며, 진동을 절연하는 역할을 하는 시스템이다. 엔진마운트 발달 과정은 가진체인 P/Train 의 진동을 절연하는 것이 가장 중요하였으나, 고속화 및 주행거리 증가 등으로 주행 진동 개선에 대한 요구가 중요해지고 있어, 중량이 200~400kg 가 되는 P/Train 의 거동을 제어하기 위하여 유체마운트 적용이 보편화 되고 있다. 하지만, 유체마운트 적용은 마운트의 동특성 증대로 인한 절연 성능이 악화되는 원인이 되어, NVH 성능과 항상 상충되고 있다. 따라서, 위 두 상충 성능을 모두 만족시킬 수 있도록 고급 차량에서는 주행조건에 따라 마운트 특성을 가변할 수 있는 전자식 세미 액티브 마운트 등을 적용하고 있다. 공회전과 같이 P/Train 자체가 진동을 발생시키는 가진체일 경우 진동 절연에 유리한 러버 마운트와 같이 작동하고, 주행시와 같이 P/Train 이 무거운 강체로써 2 차 가진의 원인이 되는 경우는 거동을 제어하기 위해 유체 마운트로 작동하는 방식이다. 하지만, 위와 같이 운전 조건 별로 제어를 위해서는 솔레노이드 밸브, 제어기, 와이어링 등의 부품이 추가되어, 패키지 레이아웃뿐 아나라, 원가, 중량 상승 원인이 되고 있다.

따라서, 최근 마운트 개발 동향은 과도한 원가, 중량 상승 및 패키지 불리 때문에 적용에 한계가 있는 세미 액티브 마운트 대신, 입력 진폭에 따라 스스로 특성을 가변할 수 있는 Self-Switchable 마운트 개발이 활발해지고 있다. 정확한 운전 조건별 제어가 아니기 때문에 성능은 80%정도를 목표로, 원가, 중량 및 패키지에서 강점이 있다면, 성능 개선 및 차종 확장성에서 유리하기 때문이다. 하지만, Self-Switchable 의 대표적인 구조인 맴브레인 슬릿 절개형 구조는, 시스템 강건성이 불리하여 아직 양선 적용에 많은 문제점을 가지고 있다.

따라서, 본 논문에서는 원가,중량 및 패키징 이외에 시스템 강건성을 확보하기 위해, By-Pass 방식의 Self-Switchable 마운트 방식을 제안하고, 그 효과와 장점을 제시하고자 한다. 위 마운트의 구조는 Fig1 와 같이 유체마운트 내부에 2 개의 서로 다른 주파수 대역의 오리피스(유로)와 총 3 대의 액실로 구성되어 있다. 두 개의 유로는 서로 다른 액실로 연결되어 있고, 중앙의 3 차 액실은 CUP 하우징과 밀착되어 다이어프레임 거동을 상하 방향으로 제한한 구조이다. 기존 경쟁사에서 개발중인 멤브레인 슬릿 구조의 경우 튜닝이 어렵고, 내구 진행시 고무 경화에 의해 주파수가 변경되어, 기능 상실의 경우가 많은 반면, 오리피스에 의한 특성 가변시에는 튜닝에 유리하고, 내구에 강건한 구조이다.

김승원 : woodstock325@hyundai.com




(a)맴브레인 슬릿 가변 구조(도요타) (b)by-Pass 가변 구조 (HMC)

Fig.1 Self-Switchable 마운트 작동 방식

가변 방식은 Fig.2 과 같이 입력 진폭에 따라, 유체가 서로 다른 유로로 이동하기 되면서, 서로 다른 목표 주파수에서 손실값을 갖게 된다. 주행시와 같이 대변위 진폭의 진동 입력시에는 1 차 유로를 통하며 10Hz 부근(P/Train Bounce 모드)에서 손실값을 갖고, 공회전과 같이 소변위 진폭에서는 2 차 유로를 통하며 30Hz 부근에서 손실값을 갖는다. 이때 Fig.2 과 같이 30Hz 부근의 동특성이 낮아지며 절연 성능이 향상된다.

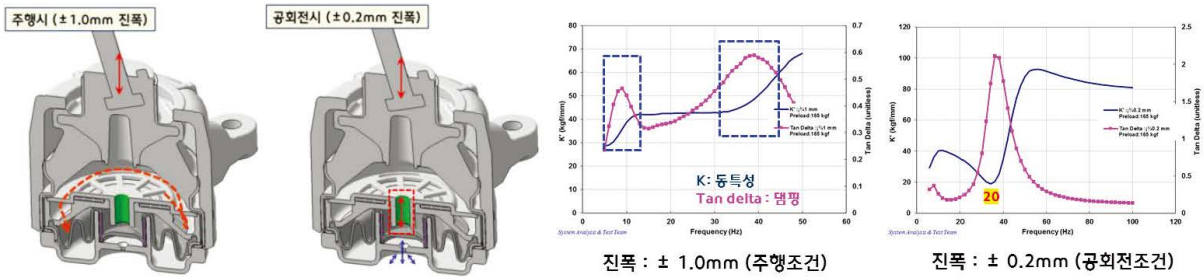



Fig.2 입력 진폭별 특성이 가변하는 Self-Switchable 마운트 특성

Table.1 입력 진폭별 특성이 가변하는 Self-Switchable 마운트 특성

| 타입 | | 적용 차종 | 정특성 | 손실계수 | 동특성 (kgf/mm) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 주행 | Idle | 고주파(100Hz~) |
| 전자식 제어 | By-Pass | DH (평화산업) | 26.0 | 0.40 | **20** | 76 |
| | Volume-stiffness | JK (VC) | 25.3 | 0.83 | **30** | 73.2 |
| 컨벤셔널 | By-Pass | 자기변환 마운트 | 26.6 | 0.45 | **20** | 82 |

Table.1 은 전자식 세미액이브 마운트와 Self-Switchable 마운트의 단품 특성에 대한 비교 테이블이다. 전자 제어 없이도 주행시에는 손실계수가 10Hz 대역에서 0.45 이상의 댐핑값을 갖고, 공회전시에 손실계수 Peak 주파수가 10→30Hz 로 이동하며, 그때 동특성은 60→20kgf/mm 로 가변되는 것을 확인할 수 있다. JK 의 손실계수가 우수한 것은 DH 및 자기변환 마운트 대비 엔진마운트 SIZE 가 크고, 유로가 이중으로 구성되어 있기 때문이다. 일반적으로는 By-Pass 방식인 DH 와 자기변환 마운트 손실계수가 더 우수하다.

Self-Switchable 마운트에 대한 실차 평가는, 양산 차종인 DH 디젤, JK 디젤에 대해서 비교 평가를 진행하였다. DH 와 JK 에 적용된 세미 액티브 마운트는 서로 작동방식이 상이하며 장단점이 있는 구조로, Self-Switchable 과 성능 비교시 모든 전자식 마운트와 장단점 비교 분석이 가능하다.

김승원 : woodstock325@hyundai.com

Table.2 세미 액티브 마운별 공회전 진동 비교

| 아이들 D단 진동 (dB) | | 엔진 마운트 LH | 엔진 마운트 RH | FLR (시트 하단) |
|---|---|---|---|---|
| 기존 마운트 | ECM ON | 97.3 | 93.0 | 90.3 |
| | ECM OFF | 100.3 | 97.4 | 94.2 |
| 자기 변환 마운트 | | 98.1 | 93.2 | 90.7 |

차량 평가는 서로 상충 성능인 공회전과 주행 진동에 대해서 비교 평가를 진행하였다. 첫번째로 Table.2 와 같이 공회전 진동 평가 결과 단품 평가와 같이 실차 조건에서 특성이 가변되는 것을 확인하였고, ECM OFF 조건 대비 아이들 N/D 진동 4~5dB 유리하였고, ECM ON 조건 대비 동등 수준이었다. 구동기, 와이어링, 제어기등 원가 32,800 원을 절감하며 공회전 진동을 동등 이상으로 확보하였다.

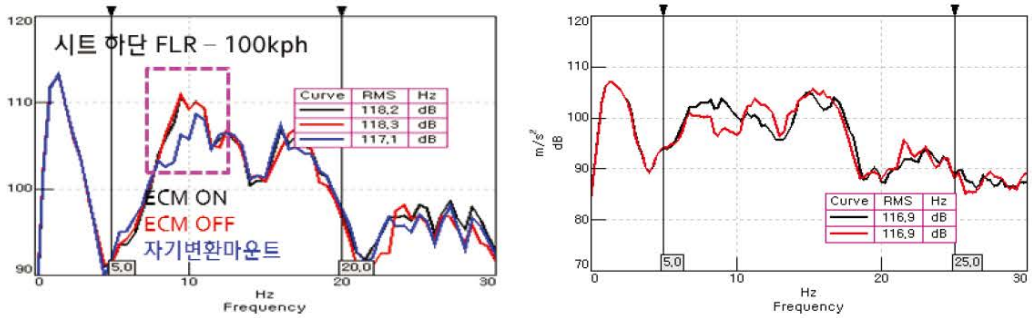



Fig.3 세미 액티브 마운별 주행 진동 비교

두번째 주행시 주행 진동(2nd RIDE) 평가 결과 DH 전자식 세미 액티브 마운트 대비 10Hz 대역 차체 진동이 유리 (UK 노면 기준) 유리하였고, 또한 손실계수가 높은 JK 대비해서도 10Hz 대역 차체 진동이 유리한 것으로 확인하였다. 손실계수가 작으나, 저주파 동특성이 높아졌고, 노면에서 입력되는 다양한 진폭에 따라 능동적으로 모든 주파수에서 가변하며 댐핑을 갖기 때문에 주행 진동이 개선됨을 확인하였다.

위와 같이 차량 개발시 상충되는 성능이 NVH(공회전)와 R&H(주행)를 동시에 만족하는 Self-Switchable 마운트를 개발하였고, 기존에 양산하고 있는 전자식 세미 액티브 마운트 대비 원가를 개선하며, 동등 이상의 수준을 유지함을 확인하였다.

## 참고문헌

1. BOGE-Academy Training Engine Mount
2. 김승원, "전자식 세미액티브(By-Pass) 마운팅 시스템 개발", 2015/09, 현대자동차학술대회

김승원 : woodstock325@hyundai.com

# 탄성축 기법을 활용한 후륜 구동 디젤 차량의 시동 진동 개선

심현진 [1], 최재혁 [1], 박상영 [1], 최정훈 [1]
[1] 현대자동차

# IMPROVEMENT OF KEY-ON VIBRATION OF REAR WHEEL DRIVEN DIESEL VEHICLE BY USING ELASTIC AXIS ANALYSIS TECHNIQUES

Hyoun-Jin SIM[1], Jae-Hyuk CHOI[1], Sang-Young PARK[1], Jung-Hun CHOI[1]
[1]Hyundai Motor Company

**중심어:** Center of Gravity (COG), Elastic Roll Axis (ERA), Torque Roll Axis (TRA), P/T Mount System

## 요약

최근 후륜 구동 차량에서 디젤 엔진 탑재 증가와 ISG 장착의 일반화로 인해 후륜 구동 차량의 시동 진동 성능에 대한 고객 요구치는 지속적으로 높아지고 있다. 후륜 구동 차량에서 시동 진동의 원인은 엔진 토크 입력에 따른 파워트레인 ROLL 방향 모드와 좌/우 병진 방향 모드 연성에 따른 진동 현상으로, 파워트레인 강체 모드 주파수를 이격하는 방향으로 마운트 시스템 설계시 시동 진동은 개선된다. 따라서, 탄성축(ERA: Elastic Roll Axis)을 활용하여 마운트 위치 및 특성값을 조절하는 기법 개발이 필요하다.

본 연구에서 제안하는 후륜 구동 마운트의 탄성축 분석 기법은 TRA-ERA 이격량 축소를 통한 파워트레인 강체 모드의 비연성화에 기반한다. 이상적인 조건의 강체모드 비연성화를 이루기 위해서는 탄성 중심과 파워트레인의 무게 중심을 일치시키고 ERA-COG 거리의 최소화 시킴으로써 가능하다. 따라서, 본 연구에서는 후륜 구동 마운트 시스템의 성능과 관련된 시동 진동을 예측하기 위해 개선된 탄성축 분석 기법을 제안하였고, 분석 기법을 통하여 얻어진 개선안을 실차 평가에 적용하여 검증하였다. 그리고 아래와 같은 결론을 얻었다.

① 후륜 구동 차량의 엔진 마운트가 좌/우 대칭으로 위치하는 점을 활용하여 2D 단면 기준의 개선된 탄성축 분석 기법을 제안하였고, 기존에 활용된 TRA-ERA 성능 지표인 COG 변위 관점에서 개선된 탄성 회전 중심을 도출하여 시동 진동의 성능 지표로 활용하였다. 이 기법은 개발자가 파워트레인 마운트 시스템 성능 개발시 이해하기 쉽고, 개선안 도출이 용이하다.

② 상기 개발된 탄성축 분석 기법을 통하여 선행 단계 차종의 시동 진동 개선안을 도출하여 실차에 적용하였다. 예측된 개선안과 실차 평가 결과가 동일하게 개선됨을 확인할 수 있었고, 이를 통하여 마운트 시스템 성능 예측시 선행 단계 및 개발 단계에 활용 가능하다.

③ 탄성축 분석 기법 활용시 마운트 시스템의 기본 정보(위치, 특성, 관성 제원 등)로 분석 및 해석적 도출이 가능하므로, 개발된 CAT 기법 활용시 시간과 비용 절감에 기여할 것으로 예상된다.

## 참고문헌

1. Naruse., Analysis of Effects of Power Plant Mount on Shift in Front Engine Front Wheel Drive A/T Vehicle. MAE Technical Report. No.7, pp.4-12, (1998)

심현진: shj9438@hyundai.com

# HEV 정지발진 시동 시 쇽 진동 개선 방안 연구

방정환 [1], 하창용 [1], 서재준 [1]
[1] 현대자동차그룹

# A STUDY ON SHOCK VIBRATION IMPROVEMENT METHOD ON HEV FROM MOTOR ASSIST TO ENGINE FIRING MODE

Jung-Hwan BANG[1], Chang-Yong HA[1], Jae-Joon SEO[1]
[1]Hyundai Motor Group

**중심어:** HEV, 쇽 진동, ERA, TRA, 엔진마운팅, 강성, 스토퍼 형상

## 요약

엔진과 모터가 결합된 HEV 차량은 정지 상태에서 급발진을 하면 모터가 구동되는 상태에서 엔진이 시동 된다. 이때 D/shaft 아웃풋 토크의 반력이 엔진마운트에 큰 힘으로 부가되는 상태에서 엔진의 폭발이 일어남으로 인해 쇽 진동이 발생하는 고질적인 문제가 있다.

본 논문은 HEV 차량에서 정지발진 시 발생하는 쇽 진동의 발생원인을 파악하고 개선안을 도출하기 위하여, D/shaft 토크로부터 엔진마운팅별 하중을 역산하고, 측정된 엔진마운트의 K(강성)-D(변위) 선도에서 작동 영역을 계산하고, 측정한 하중별 엔진마운트의 동강성을 적용하여 ERA/TRA 를 분석하고, 마운트별 최적 강성 발란스를 계산하고, 엔진 가진 시 차체응답 해석을 통하여 엔진마운트 스토퍼 형상에 따른 성능을 예측하고, 제안 샘플을 실차에 적용하여 성능을 확인하였다.

본 연구를 통하여 ①급가속 시 부하에 의해 엔진마운트의 특성이 변화되어 PT 모드 주파수가 상향되고, 상향된 PT 모드가 엔진의 폭발 가진 주파수와 일치되어 쇽 진동이 발생됨을 확인하였고, ②가속 시 토크 변화에 따른 엔진마운트의 강성 변화를 고려하여 ERA/TRA 분석하는 방법을 새롭게 개발하였다. 또한 ③가속 시 각 마운트에 걸리는 하중의 변화에 따라 마운트별로 요구되는 강성 발란스 값은 도출하고, ④ 마운트의 K2 강성 개발 목표와 스토퍼 형상 설계 방안을 도출하였다.

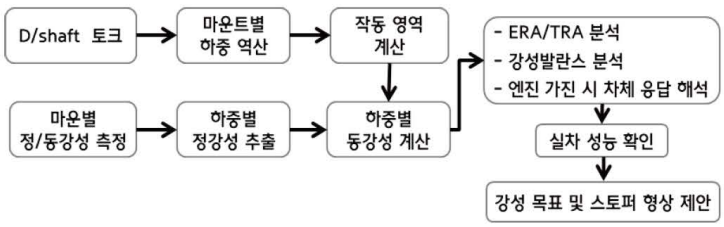



Fig.1 쇽 진동 개선 연구 흐름도

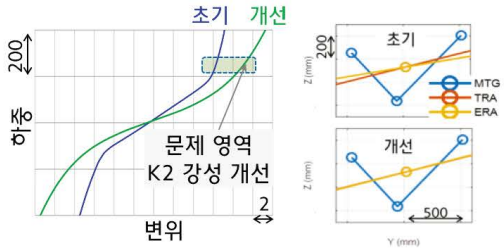



Fig.2 K2 강성개선 시 ERA/TRA

## 참고문헌

1. J.H. Bang, Experiment and Simulation to Improve Key ON/OFF Vehicle Vibration Quality, SAE 2007-01-2363
2. K. Agarwal, Virtual Analysis of Engine Mount Stiffness and Stopper Gap Tuning for Better NVH Performance, SAE 2017-26-0196
3. K. Ogata, The Body Vibration Reduction Technology of Hybrid Electric Vehicle on Engine Re-start Situation, SAE 2019-01-2303

방정환: jhbang@hyundai.com

# 노면 가진 기인 스티어링 휠 진동 개선을 위한 시스템 특성 분석

한은준 [1], 위영진 [1], 홍경록 [1], 임차섭 [1]
[1] 현대자동차

# SYSTEMATIC ANALYSIS TO IMPROVE THE ROAD EXCITED STEERING VIBRATION

Eun-Jun HAN[1], Young-Jin WE[1], Kyung-Rok HONG[1] , Cha-Sub LIM[1]
[1]Hyundai Motor Group

**중심어:** 스티어링 휠, 노면 기인 진동

## 요약

자동차의 스티어링 휠은 운전 시 인체와 상시 접촉되는 부분이며, 특히 인체의 손은 진동 및 촉각을 민감하게 감지하기 때문에 스티어링 휠의 진동은 필수적으로 제어해야 하는 NVH 성능이다. 전통적인 내연기관 차량에서는 가진력이 상대적으로 큰 엔진 가진력에 기인한 스티어링 휠 진동이 주요 이슈였지만, 엔진이 존재하지 않는 전동화 차량에서는 냉각계 및 타이어에 의한 진동이 주요 이슈가 될 것이다. 특히 대구경 타이어 적용 트렌드, 전연비 성능 연관 타이어 구름 마찰력 저감을 위한 타이어의 강성 증대 및 댐핑 저하, 고전압 배터리 중량에 대응한 서스펜션 스프링 강성 증대 경향에 맞물려 노면 가진에 의해 유발되는 스티어링 휠 진동이 중요해지고 있다. 타이어를 통해 전달되는 노면의 진동 가진은 속도, 도로상태 등 주행 환경에 따라 너무나 다양하여 그 특성이 특정되지 않고, 전 주파수 대역에서 에너지가 분포된 랜덤 가진 형태이기 때문에 서스펜션, 차체, 조향 시스템 등 차량 전반에 걸친 진동 전달계 시스템이 노면 가진에 기인하는 스티어링 휠 진동에 관여하고 있다.

노면 입력 전달계 시스템의 메커니즘 분석을 통해, 각 시스템 특성이 스티어링 휠 진동에 관여하는 영향을 분석하고, 시스템 단위의 입출력 진동 전달량을 기준으로 진동 전달에 대한 실질적인 기여도를 확인하였다. 서스펜션 쇽업쇼버 시스템은 서스펜션 상하 모드 제어의 본연 기능과 더불어 광범위 주파수 대역까지의 전반적인 진동 전달 특성 관리가 필요하다. 차체 구조와 카울 크로스바가 결합된 골격 시스템은 진동 전달 감도가 제어되어야 하며, 이를 위해 적절한 모드 배치와 강성 확보가 필요하다. 본 연구의 결과를 기반으로 스티어링 휠 진동 강건성 확보를 위해 각 시스템 단위의 성능 요구 수준을 설정할 수 있다.

## 참고문헌

1. 조기창, 정동욱, 임차섭 "고객의 운전 조건 및 감성을 고려한 스티어링 휠 진동 정량화 분석 방법 개발", 현대자동차 사내학술대회 (2017)

2. Alexander Kruse, Mathias Eickhoff, Andreas Tischer "Analysis of Dynamic Behavior of Twin-Tube Vehicle Shock Absorbers", SAE International (2009)

한은준: ej.han@hyundai.com

이 발표논문집은 2020년도 정부재원(과학기술진흥기금 및 복권기금)으로
한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 발간되었음.

# 2020년도 추계 공동학술대회
# 한국음향학회·한국음악지각인지학회

제39권 2(s)호

2020년 10월 31일 인쇄
2020년 11월 2일 발행

발행 및 편집인: 홍 우 영
발 행 소: 사단법인 한국음향학회

(06367) 서울특별시 강남구 광평로 280 (수서동) 로즈데일빌딩 1619호
TEL. 02-556-3513, FAX. 02-569-9717
E-mail. ask@ask.or.kr(일반행정업무), nonmun@ask.or.kr(학술지업무)

stx 엔진 주식회사
전자통신본부

# “대한민국 국방산업의 미래”
# STX엔진이 함께 합니다.





# FORCEON

## HIGH PERFORMANCE AUDIO SYSTEM by LEEM

# D10L Line array module

## Dual 10" Quad-amping





**ROOM OPTIMIZATION**
수직 수평 커버리지 변경으로 공간에 최적화된 음향 제공

**PRECISION RESOLUTION**
4채널 앰프와 4채널 DSP 로 정밀한 음향 조정

**HIGH QUALITY UNIT**
네오디뮴우퍼와 링다이어프램으로 고음질 음향 재생

**ADVANCED SUPPORT**
시뮬레이션 지원 (EASE 데이터)
실내외 전천후 운영 (IP54 성적서)



평창 동계올림픽



울산 문수 A매치 축구경기장


송도 문화축제


서울대 시흥캠퍼스

(주) 임산업
인천광역시 남동구 능허대로 595번길 148 (고잔동) 남동공단 2단지 118B-6L
TEL : 032)816-7100~6 FAX : 032)816-7108
E-mail : leem@leem.co.kr WEB : www.leem.co.kr / www.forceonaudio.com

ONPOOM

# 주식회사 온품

## 인프라 운영 플랫폼 전문 기업



지능화, 스마트화 되어가는 기술변화에 선도적 변화와 혁신을 지속하는 회사




주요 사업분야



### 재난 예·경보 솔루션

다양하고 복잡해진 재난·재해로부터의 긴급한 상황을 신속히 알려 주민의 안전과 재산을 보호하는 종합적인 방재경보 솔루션

- 원클릭 재난통합 플랫폼
- 지능형 지진대응 플랫폼
- 위치기반 재난관리 플랫폼
- Smart Safety Bigboard
- 지상파 UHD 재난방송 솔루션
- 민방위 예·경보 플랫폼
- 다중이용시설 경보장치
- 드론 재난경보방송장치





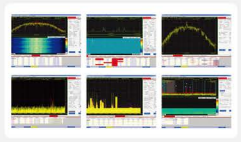


### 전파 관리 솔루션

전파이용의 수요가 증가함에 따른 한정된 주파수 자원의 효율적인 관리를 위한 최적의 기능을 갖춘 솔루션

- 고정형 전파관리시스템
- 휴대형 전파관리시스템
- 이동형 전파관리시스템
- 준고정형 전파관리시스템
- 방향탐지 수신기
- 방향탐지 안테나







### QuickDTS 플랫폼

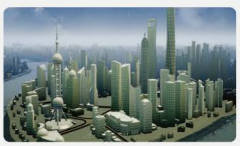
DTS기반한 스마트시티, 스마트 빌딩 등 빌딩/공장/광산/인프라 시설 관리 솔루션

스마트시티 인프라시설 관리

- 도시교통종합관리 플랫폼
- 도시 물관리종합관리 플랫폼
- 도시전력종합관리 시각화 플랫폼
- 도시위험화학물품 운송저장관리 플랫폼

스마트 빌딩/공장/광산 운영 관리

- 상업빌딩 IBMS 스마트건물관리 플랫폼
- 문화체육관 IECMS 운영관리 플랫폼
- 데이터센터기초시설 DCIM관리 플랫폼
- 에너지생산안전관리 플랫폼(광산,공장)


서울특별시 영등포구 당산로 49길 13 온품빌딩 TEL.02 2163 5200 FAX.02 2163 5301 www.onpoom.co.kr

earstudio

# ES100MK2

## 하이레졸루션 블루투스 리시버

래드손
음질향상 기술 적용

24bit
블루투스

아날로그 볼륨
컨트롤

2.5/3.5mm 잭

USB
DAC 모드

최대 14시간
재생

### What's **New**?

- 선명한 LED 색상
- 이중 고정 구조의 안정된 클립 체결
- 스크래치 방지 코팅
- 개선된 버튼 사용감
- 매력적인 미드나잇 블루 컬러



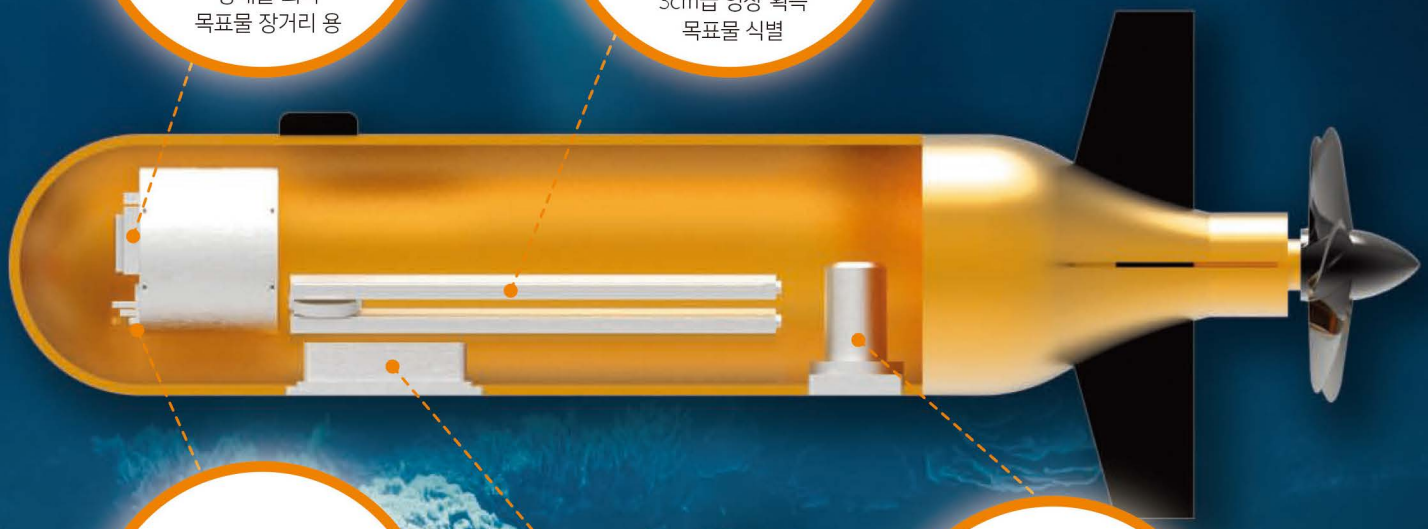
RADSONE

래드손(주) | support@radsone.com | www.radsone.com

# THE LEADER OF UNDERWATER TECHNOLOGY

## 임무센서 5종 및 지능형 통합 운용모듈

## 최대 3cm급 고해상도를 가지는 임무센서 5종 개발



**전방장애물 회피 센서**
장애물 회피
목표물 장거리 용

**사이드스캔/SAS 센서**
3cm급 영상 획득
목표물 식별

**식별 센서**
목표물 식별
고해상도 단거리용

**고해상도 멀티빔센서**
해저 지형도
3차원 표현

**지층 탐지센서**
해저 지층분석
매몰체 탐사

SonarTech
소나테크 주식회사 www.sonartech.com
부산광역시 남구 황령대로 353번길 9-37 T 051. 403. 7797 F 051. 403. 7706 webmaster@sonartech.com

# LIG넥스원, 볼륨을 높여라

1976년 설립된 LIG넥스원은 육 · 해 · 공군에서 운용되는 최첨단 국산무기체계
개발을 통한 자주국방 실현에 기여하고 있습니다.
LIG넥스원은 **세계 수준의 R&D 역량과 40여년 간의 신뢰를 바탕으로 대한민국 방위산업의 내일**을 열어갑니다.

