

중견연구자지원사업 최종(결과)보고서

							양식A101	
① 부처사업명(대)	기초연구사업			보안등급(보안, 일반)		일반		
② 사업명(중)	중견연구자지원사업			공개가능여부(공개, 비공개)		공개		
③ 세부사업명(소)	⑤중견연구(총연구비 5억 초과)							
④ 과제성격(기초, 응용, 개발)	기초	④-1 실용화 대상여부(실용화, 비실용화)			비실용화			
⑤ 과 제 명	국 문	강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소의 이동 연구: 금강 및 섬진강 시스템의 사례 연구						
	영 문	Organic carbon transfer across the river-sea interface: a case study in Geum and Sunjin river systems						
⑥ 주관연구기관	한국해양과학기술원 부설 극지연구소							
⑦ 협동연구기관								
⑧ 주관연구책임자	성 명	김정현		직급(직위)	책임급 (책임연구원)			
	소속부서	극지고환경연구부		전 공	지질학 및 고해양학			
⑨ 연구개발비 및 참여연구원수 (단위: 천원, M·Y)								
년 도	정부출연금 (A)	기업체부담금			정부외 출연금 (B)	상대국 부담금 (F)	합계 G=(A+B+E)	참여 연구원수
		현금 (C)	현물 (D)	소계 E=(C+D)				
1차년도	280,000			0			280,000	21
2차년도	225,000			0			225,000	21
3차년도	220,000			0			220,000	16
4차년도	65,000			0			65,000	7
5차년도				0			0	
합계	790,000	0	0	0	0	0	790,000	65
⑩ 총연구기간	2016. 06. 01 ~ 2019. 05. 31 (36개월)							
⑪ 다년도협약연구기간	기재하지 않음							
⑫ 당해연도연구기간	2019. 03. 01 ~ 2019. 5.31. (3개월)							
⑬ 참여기업	중소기업수		대기업수		기타		계	
							0	
⑭ 국제공동연구	상대국연구기관수		상대국연구개발비		상대국연구책임자수			
<p>관계 규정과 모든 지시사항을 준수하면서 국가연구개발사업에 따라 수행 중인 연구개발과제의 최종보고서를 붙임과 같이 제출 합니다.</p> <p style="text-align: center;">2019년 6 월 27 일</p> <p style="text-align: center;">주관연구책임자 : 김 정 현</p> <p style="text-align: center;">주관연구기관장 : 윤 호 일</p>								

※ 전자접수이므로 주관연구책임자 및 주관연구기관장 서명(인, 직인)은 생략

〈연구결과요약문〉

양식A202

연구개요	<p>본 연구에서는 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소의 이동과정에 대해 연구하였다. 이를 위해 금강과 섬진강을 중심으로 국내 서, 남해 연안의 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소 유출량의 정량적 분석을 실시하였다. 또한 강과 하구, 연근해로 이어지는 지역에서 유기탄소의 기원 및 조성을 파악하였다. 이와 더불어 유기탄소의 연대와 반응성 파악을 통해 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소의 분포와 침강을 조절하는 자연적, 인위적 과정을 파악하고, 환경 변화에 따라 과거에서부터 현재까지 유기탄소의 시간적 변동 기록 또한 파악 하고자 하였다.</p>		
연구 목표대비 연구결과	<ol style="list-style-type: none"> 1. 유기탄소 이동 연구를 위한 유기/무기 지시자 분석 기법 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 연구 정점 선정 및 계획 수립을 위한 국내·외 전문가 자문 및 워크샵 진행 - 섬진강, 금강에서 담수, 해수 및 퇴적물 채집 시기 및 정점 설정 - 물, 퇴적물 시료 채집 방법 수립 - 유기/무기 지시자 분석 기법 수립 2. 금강/섬진강 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기/무기 인자의 시공간적 변동성 및 분포 파악 <ul style="list-style-type: none"> - 2016, 2017, 2018 총 3년간 금강, 섬진강 강-하구 인터페이스 지역에서 담수 및 해수, 퇴적물 시료 획득 - 유기/무기 지시자의 시공간적 변동성 및 분포 분석 3. 금강/섬진강 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소 플럭스 파악 및 기원/조성 파악 <ul style="list-style-type: none"> - 육상기원 유기탄소 플럭스의 계절적/연간 변동성 파악 - 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소 조성의 시공간적 변동성 - 자연적/인위적 요소에 따른 유기탄소 분포 및 이동성 차이 파악 4. 금강 하구 내 유기탄소의 과거 변동양상 파악 <ul style="list-style-type: none"> - 금강 하구 퇴적물 코어 획득 및 퇴적 코어 연대 설정 - 퇴적물 코어 내 유기/무기 지시자 변동성 파악 - 과거 강 하구 환경 변화에 따른 유기탄소 변동성 파악 5. 국내, 외 강-해양 인터페이스 지역 연계 연구 및 연구 환경 조성 <ul style="list-style-type: none"> - 국내에서 처음으로 EA-IRMS를 활용한 유기탄소 분석 결과 비교 연구 수행 - 황해 연안 강-하구-해양 연결 환경 내 유기물 이동 연구 - 극지 지역 강-해양 인터페이스 지역에서의 탄소 기원 및 조성 파악 연구 		
연구개발결과의 중요성	<ul style="list-style-type: none"> ■ 본 과제에서는 국내에서는 처음으로 유·무기 지시자를 통합 활용하여 금강 및 섬진강에서 방출되는 육상기원 탄소의 계절적 유출량과 시·공간 분포, 현재 및 과거 유기탄소 거동 요인을 포괄적으로 연구하였다. ■ 본 과제 연구기간 중 탄소순환 관련 연구기법 발전 및 연구환경 조성을 위하여 국내외 과학자들과의 공동연구 뿐만 아니라, 워크샵 개최 및 참여, 그리고 국내에서는 처음으로 탄소안정동위원소 비교분석 연구를 진행 하는 등 다양한 활동을 수행 하였다. ■ 본 과제는 중심연구지역인 금강과 섬진강뿐만 아니라 황해 동부 및 시화호와 같은 국내외 다양한 강-해양 인터페이스 지역에서의 관련 연구를 수행, 지원 하였다. ■ 본 연구과제에서 획득된 결과는 금강 중류의 보 상시개방 직전 및 직후를 포함 하며, 이 기간 동안에 획득한 자료는 인공구조물 철거가 강-기수역-연안을 연결 하는 지역의 탄소에 미치는 영향 및 보 개방 전·후의 유역 환경 내 수질, 연안 생태계에 미칠 수 있는 영향을 판단할 수 있는 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 		
중심어	강-해양 인터페이스 유기탄소	금강 탄소순환	섬진강

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	4
2. 연구수행내용 및 연구결과	7
3. 연구개발결과의 중요성	19
4. 참고문헌	20
5. 연구성과	22
<연구책임자 대표적 연구실적>	35

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서



1. 연구개발과제의 개요

항목	구분	내용
배경	관련연구 고찰	<ul style="list-style-type: none"> 전 지구적 탄소순환 이해 탄소순환에서 강-해양 인터페이스 지역의 중요성 육상기원 유기물의 시공간적 변화 추적의 중요성 유·무기 인자들을 활용한 유기탄소 기원 추적 연구기법의 발달
	선행연구 한계	<ul style="list-style-type: none"> 국내 강-해양 인터페이스 지역에서의 육상기원 유기탄소 추적 연구의 부재 유·무기 통합 멀티 지시자와 같은 최신 연구 기법을 활용한 유기탄소 기원 연구의 부재
연구의 필요성		<ul style="list-style-type: none"> 서해에서의 탄소순환 이해를 위한 국내 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소 기원 연구 필요 강-해양 인터페이스 지역에서의 배경자료 구축을 위한 연구 필요
목표	최종목표	<ul style="list-style-type: none"> 국내 강-해양 인터페이스 지역에서의 육상기원 유기탄소 거동 파악
	세부목표	<ul style="list-style-type: none"> 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소 유량(flux)의 정량적 분석 강과 하구, 연근해에서의 유기탄소 기원 및 조성 파악 강과 하구, 연근해에서 유기탄소 연대와 반응성 파악 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소 분포와 침강을 조절하는 자연적, 인공적 요인 파악
연구 내용	1차년도	<ul style="list-style-type: none"> 유·무기 분석을 통한 유기/무기 지시자의 계절적 유량(flux) 데이터 획득 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소 기원, 조성 및 반응성 변화 파악 퇴적 유기물 내 미량 원소 및 Nd/Sr 동위원소 분석 기법 확립
	2차년도	<ul style="list-style-type: none"> 유·무기 분석을 통한 유기/무기 지시자의 계절적 유량(flux) 데이터 획득 강-해양 인터페이스 지역에서 입자 크기에 따른 유기탄소 기원, 조성, 반응성 변화 파악 서로 다른 존재 형태의 유기탄소 분석을 위한 분석기법 수립
	3차년도	<ul style="list-style-type: none"> 유기탄소 기원 및 조성의 과거 변동 기록 파악 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소의 분포와 침강을 조절하는 자연적/인위적 요인 파악
추진 전략	추진전략	<ul style="list-style-type: none"> 특성이 서로 다른 두 강을 선정해 입자성 부유물질과 퇴적물을 대상으로 유기/무기 전문 연구진이 함께 연구
	추진방법	<ul style="list-style-type: none"> 유기/무기 지시자의 통합적 분석 유기탄소 풀을 형태에 따라 (입자성/용존성) 나누어 계절변동 자료 획득
활용	학문적	<ul style="list-style-type: none"> 국내 유기탄소 기원추적 연구분야 발전 도모 기후변화와 관련한 과거 육상 환경변화 연구의 기초자료로 활용
	기술적	<ul style="list-style-type: none"> 퇴적유기물 내 미량 원소 및 Nd/Sr 동위원소 분석 기법 활용 유기탄소 기원 추적 연구기법 발전에 활용
	경제, 산업적	<ul style="list-style-type: none"> 연안환경 관리 가이드라인 조성에 필요한 기초 자료로 활용

1.1. 연구의 필요성 및 중요성

- 전 지구적 탄소수지에서 유기탄소 풀의 변동에 대한 이해는 기후변화와 관련된 대부분의 연구에서 핵심 이슈로써 자리 잡고 있다. 육지에서 해양으로의 탄소 이동은 대부분 대륙주변부에서 일어나며, 전 지구적 탄소 순환과정에 있어 중요한 탄소 이동 경로로 인식되고 있다.
- 육상해서 해양으로는 연간 500Tg 이상의 유기탄소가 이동하는 것으로 알려져 있으며(Spitz and Ittekkot, 1991), 이들 유기탄소는 이산화탄소로 대기 중으로 방출되거나 연안 해역에 퇴적되며, 대륙 주변부는 이와 같은 활발한 탄소 순환 활동이 일어나는 지역이다. 때문에 육지의 담수 생태계와 해양 생태계 사이에서 일어나는 탄소의 이동 및 순환과정에 대한 이해는 지역적 수준의 탄소수지 뿐만 아니라 전 지구적 탄소수지를 이해하기 위해 선행되어야 할 부분이다.
- 전 지구적 탄소순환 이해를 위한 첫 번째 과정으로, 육상에서 생성되고 침식된 유기물이 강을 따라 연안까지 이동하는 과정을 이해하고 그 유출량(flux)을 도출하기 위한 연구들이 다양한 지역에서 진행되어 왔다(Berner, 1989; Hayes et al., 1999; Burdige, 2005; Petsch, 2003; Galy et al., 2007).
- 서해(황해)는 북서 태평양에 위치한 반 폐쇄성 연근해로 황하를 비롯한 장강(양쯔강)과 같은 세계적인 주요 강들에 의한 대규모의 육상기원 퇴적물이 유입되고 있다. 하지만 황해에서 이루어지는 대부분의 연구는 중국 쪽의 황해 서부에 치우쳐 진행되어져 왔고(e. g. Yang and Youn, 2007; Xing et al., 2011, 2014), 우리나라와 접한 황해 동부 연안 및 황해로 유입되는 국내 강에서의 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 이에, 연근해 탄소수지 추정과 탄소 축적량 파악을 위해 황해 동부 지역에서의 퇴적 유기탄소 기원 파악과 이들의 조성에 관한 연구는 반드시 수행되어야 할 필요가 있다.
- 이에 본 연구에서는 강과 기수역(brackish water zone) 그리고 연안에까지 이르는, 일련의 시공간을 포괄하는 생지화학적 기본연구 토대를 마련하고자 하였다. 국내 서해안에서는 강-해양 인터페이스 지역의 배경자료 구축을 위한 연구가 진행 된 바 없기 때문에, 육상에서 해양으로 운반되는 유기물의 기원과 조성, 연령 파악에 더불어 이들의 계절적 변동 파악을 위한 기본 연구를 진행하였다. 때문에 본 연구가 해양 퇴적물 내 생지화학적 특성을 이해할 수 있는 기초연구라는 점에서 본 연구의 중요성은 더욱 더 대두될 수 있다.

1.2. 연구 목표, 내용 및 연구 범위

- ❖ 본 연구에서는 특성이 서로 다른 국내 주요 두개 강(예: 금강 vs. 섬진강)에서 유기탄소의 생성-이동-퇴적과정에서의 시공간적 거동 및 변화요인을 강-연안-해양환경 시스템 내에서 전체적으로 이해하고자 하였다.
- ❖ 본 연구의 주요 연구 목적은 다음과 같다.
 - 1) 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소 유량(flux) 정량
 - 2) 강, 하구, 및 연근해에서 유기탄소의 기원 및 조성 파악
 - 3) 강, 하구, 및 연근해에서 유기탄소 연대 및 반응성(labile vs. refractory) 파악
 - 4) 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소 분포와 침강을 조절하는 자연적, 인공적 요인 파악

1.2.1. 연차별 연구 목표 및 내용

(1) 1차년도(2016)

▶ 연구목표	
<ul style="list-style-type: none"> ● 특성이 서로 다른 두 강의 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소 기원과 조성 및 연대 변화를 파악하며, 이들의 시공간적 변화양상 파악 <ul style="list-style-type: none"> - 유기탄소 기원 파악을 위한 유기/무기 지시자 분석법 및 동위원소 분석기법 확립 - 유기/무기 지시자의 계절적 유량(flux) 측정 	
▶ 연구내용	▶ 평가착안점
<ul style="list-style-type: none"> - 강과 하구, 연안에서 담수, 해수 및 퇴적물 채취 - 퇴적 유기물 내 무기 지시자 추출 분석법 개발 - 유기/무기적 인자 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 연구 목적 달성을 위한 시료채취 디자인의 적합성 - 연구 목적 달성을 위한 분석기법 수립 정도 - 연구 목표 달성을 위한 획득 자료결과의 적합도

(2) 2차년도(2017)

▶ 연구목표	
<ul style="list-style-type: none"> ● 특성이 서로 다른 두 강의 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소 기원과 조성 및 연대 변화의 연간 변화양상 파악 및 유기/무기 지시자의 연간 유량(flux) 자료획득 <ul style="list-style-type: none"> - 서로 다른 존재 형태의 유기탄소 분석기법을 확립 - 강-해양 인터페이스 지역에서 입자 크기에 따른 유기탄소 기원, 조성, 연대 변동성 파악 	
▶ 연구내용	▶ 평가착안점
<ul style="list-style-type: none"> - 서로 다른 존재 형태(입자상, 콜로이드 상, 용존상)의 유기탄소 분석을 위한 분석기법 수립 - 강과 하구, 연안에서 담수, 해수 및 퇴적물에서의 유기/무기 인자 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 서로 다른 존재 형태의 유기탄소 분석을 위한 분석기법 수립 정도 - 유기탄소의 기원, 조성, 연대의 연간 변동성 파악을 위한 획득 자료의 적합도

(3) 3차년도(2018)

▶ 연구목표	
<ul style="list-style-type: none"> ● 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소의 분포와 침강을 조절하는 자연적, 인공적 과정 파악 <ul style="list-style-type: none"> - 1, 2차년도 결과 종합적 해석을 통한 유기탄소의 자연적/인위적 영향 민감도 평가 - 퇴적물 코어를 활용한 유기탄소 기원, 조성, 연대의 과거 변동 양상 파악 	
▶ 연구내용	▶ 평가착안점
<ul style="list-style-type: none"> - ^{210}Pb를 이용한 퇴적물 코어 연대 측정 - 코어 퇴적물 내 유기/무기적 인자 분석 - 연구기간 중 얻은 자료에 대한 종합적 해석 	<ul style="list-style-type: none"> - 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소의 분포와 퇴적을 조절하는 자연적/인위적 조절 인자 파악을 위한 획득 자료의 적합도

1.2.1. 연구 내용 및 범위

- (1) 유기탄소 이동 연구를 위한 유기/무기 지시자 분석 기법 수립 및 연구 환경 조성
 - ▶ 강-해양 인터페이스 지역에서 시료 채취방법 수립 및 시료 채취
 - ▶ 유기/무기 지시자 분석 기법 수립
- (2) 금강/섬진강 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기/무기 인자의 시공간적 변동성 및 분포 파악
 - ▶ 수질환경 데이터의 계절적/연간 변동 결과
 - ▶ 유기/무기 지시자의 시공간적 변동성 및 분포
- (3) 금강/섬진강 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소 플럭스 파악 및 기원/조성 파악
 - ▶ 육상기원 유기탄소 플럭스의 계절적/연간 변동성
 - ▶ 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소 조성의 시공간적 변동성
 - ▶ 자연적/인위적 요소에 따른 유기탄소 분포 및 이동성 차이 파악
- (4) 금강 하구 내 유기탄소의 과거 변동양상 파악
 - ▶ 금강 하구 퇴적물 코어 획득 및 퇴적 코어 연대 설정
 - ▶ 퇴적물 코어 내 유기/무기 지시자 변동성 파악
 - ▶ 과거 강 하구 환경 변화에 따른 유기탄소 변동성 파악
- (5) 국내외 강-해양 인터페이스 지역 연계 연구 및 연구 환경 조성
 - ▶ 연구 결과 비교분석 및 토의를 위한 연구 환경 조성
 - ▶ 국내 강-해양 인터페이스 환경 내 유기물 거동 연구
 - ▶ 극지 지역 강-해양 인터페이스 지역에서의 탄소 기원 및 조성 파악 연구

2. 연구수행 내용 및 연구결과

2.1. 유기탄소 이동 연구를 위한 유기/무기 지시자 분석 기법 수립 및 연구 환경 조성

2.1.1. 강-해양 인터페이스 지역에서 시료 채취 방법 수립 및 시료 채취

- 시료 채취 방법 및 연구 방향 자문:
 - 형태 별 탄소(Particulate organic carbon (POC), Dissolved organic carbon (DOC), Dissolved inorganic carbon(DIC)) 농도 분석 및 이들의 안정동위원소, 방사성동위원소 분석을 위해 본 분야 전문가인 Laodong Guo (University of Wisconsin Milwaukee) 교수를 초빙하여 연구 방향과 시료 채취에 대한 자문을 구하였다(Figures 1, 2).
- 시료 채집 방법 수립:
 - 시료 채취 시 채수병이 표층수를 통과할 때 발생하는 오염 및 대기 중에 노출됨에 따라 발생 가능한 오염을 최소화하기 위해 해수 시료를 바로 채집할 수 있는 방법을 고안하였으며, 시료 오염도를 최소화 하여 시료 채집을 진행하였다(Figure 3).
- 시료 채집 시기 및 정점 선정:
 - 열린 하구와 닫힌 하구를 비교하기 위해 금강과 섬진강을 연구 지역으로 선정하였으며, 강-기수역-해양으로 연결되는 환경 연구를 위해 염분변화에 따라 정점을 선정하여 (금강 6정점, 섬진강

5정점) 조사를 실시하였다(Figure 4).

- 계절적 강수량 변화를 고려하여 시료 채집 시기를 선정 하였으며, 유기탄소의 계절적/연간 변동 파악을 위해 2016년 5월 예비조사를 시작으로 2-3개월 간격으로 2년간 10회 현장 조사를 실시 하였다.
- 전 정점에서 CTD를 이용해 수질환경 인자를 측정하였으며, 유/무기 인자 분석을 위한 담수, 해수, 퇴적물 시료를 채집하였다.



Figure 1. Field trip with Prof. Laodong Guo for setting up the strategy of water sampling (2016. 06. 24. Lake Shiwaha).



Figure 2. Visiting of Prof. Laodong Guo for discussion (2016. 06. 22. - 25.).



Figure 3. An example of water sampling on board.



Figure 4. The study areas of the (A) Geum River and the (B) Seomjin River systems.

2.2.2. 유기/무기 지시자 분석 기법 수립

- 무기물 내 유기물질 분석을 위한 추출 실험법 개발 수행:
 - 퇴적물로부터 탄산염 및 철-망간 수산화물(Carbonate, Fe-Mn oxide), 유기물질(Organic Matter), 쇄설성 잔류물(Residual detrital) 등을 순차적으로 추출 할 수 있는 화학적 분리법 개발을 수행 하였다(Figure 5).
 - 단계적 추출 실험을 통해 유기물의 회토류원소의 분리를 시도하였으며, 실험 방법은 Figure 5와 같다. 해양퇴적물(GSMS-2), 하천 퇴적물(Jsd-2), 토양(NIST 2709) 표준시료 등을 활용해 실험법을 정립하였으며, 금강, 섬진강 환경시료에 적용하였다.
- 형태별 탄소 분리 기법 수립:
 - 크기에 따른 탄소(입자성(>0.45 μ m), 고분자 용존성(0.45 μ m~1kDa), 용존성(<1kDa)) 분리 기법 수립을 위해 독일 Sartorius사 초횡류 여과장치(cross flow filtration (CFF) system)를 구축하였다.
 - 2017년 8월 현장 채집된 물 시료를 GF/5 여과지(공극 0.45 μ m) 이용 해 여과처리 후 CFF 시스템을 이용해 고분자 용존성 유기물 (High molecular weight-dissolved organic matter; HMW-DOM) 과 저분자 용존성 유기물 (Low molecular weight-DOM; LMW-DOM)으로 분리하였다.

Figure 5. Extraction procedures for extracting REE in organic matter.

- 표준시료에서 추출된 희토류원소의 분획별 분포 특성:
 - 퇴적물 내 희토류원소는 탄산염 및 철-망간 코팅(Carbonate and Fe-Mn oxy-hydroxide)에서 자생적 수중 침전환경, 유기물질(organic matter)에서 생화학적 환경, 쇠설성 잔류물(detrital)에서 광물의 형성 환경과 연관이 깊다.
 - 단계적 추출 실험을 통해 추출한 퇴적물 각 분획 내 희토류 원소의 패턴과 네오디뮴 동위원소 조성은 생성환경을 반영한 값을 나타내었다(Figures 6, 7).

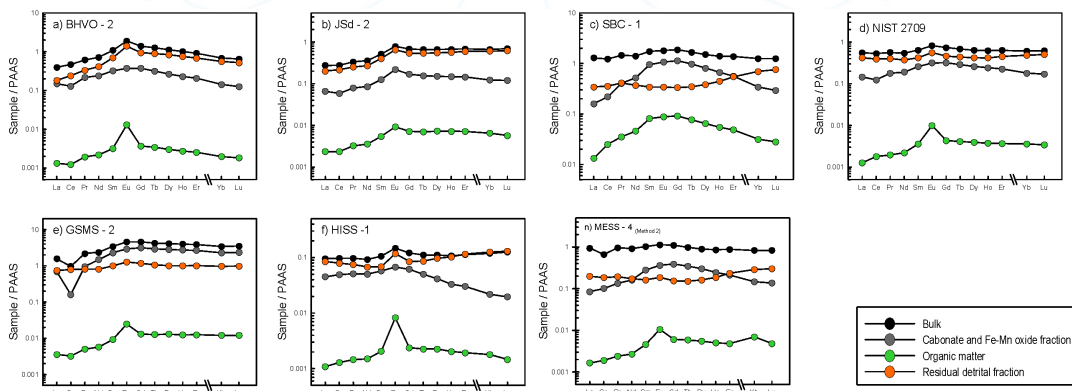


Figure 6. PAAS-normalized REE pattern of extracted fractions for different SRMs.

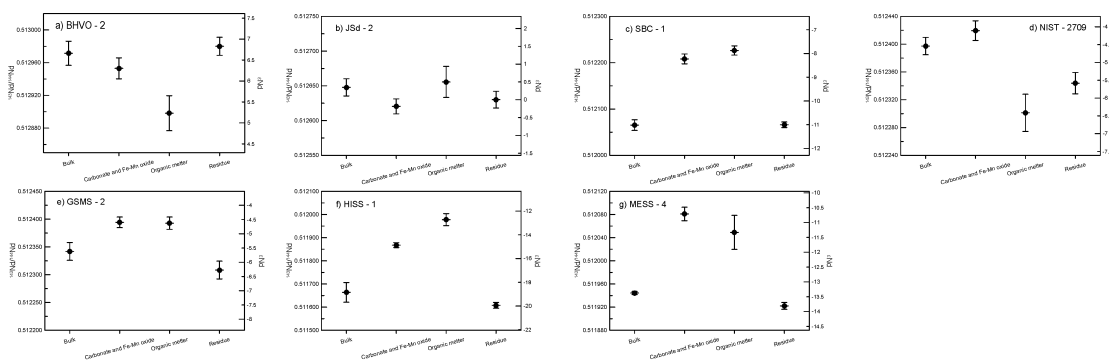


Figure 7. Neodymium isotopic composition of extracted fractions and bulk SRMs.

2.2. 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기/무기 인자의 시공간적 변동성 분석

2.2.1. 수질환경 데이터의 계절적/연간 변동 결과 측정

- 전 정점에서 CTD를 이용해 수온, 염분, 수심, 탁도, pH, DO 등 의 수질환경 인자를 측정 하였으며, 플럭스 계산을 위한 유량 정보 및 수리인자 정보는 국가물환경정보시스템, WAMIS 데이터를 활용하였다.

2.2.2. 유기/무기 지시자의 시공간적 변동성 및 분포 분석

- 유기물 농도 및 동위원소 분석:
 - 채집된 물 시료는 0.45 μ m 공극의 여과지를 이용해 여과 후 입자성 및 용존성으로 분리하였다. 여과된 입자성 시료는 냉동보관 하였으며, 용존 시료는 HgCl₃을 첨가하여 암소에 냉장보관 하였다.
- 입자성 시료 분석 항목:
 - 입자성 부유물질(suspended particulate matter, SPM) 농도, 입자성 유기탄소(POC) 농도 및 동위원소($\delta^{13}C_{POC}$, $\Delta^{14}C_{POC}$), 입자성 질소 particulate nitrogen, PN) 농도 및 안정동위원소($\delta^{15}N_{PN}$)
 - 유기탄소 분석용 시료는 산을 이용하여 무기탄소를 제거 후 분석 하였다.
 - 안정동위원소 분석은 한양대학교(Isoprime 100, GV instrument)와 극지연구소(Delta V, Thermo fisher)에서 보유한 EA-IRMS 를 이용해 분석하였으며, 방사성 동위원소는 NOSAMS Woods Hole Oceanographic Institution와 MICADAS AWI에서 분석하였다.
 - 퇴적물 시료를 활용하여 지질분자 생체지표 중 장족형 탄화수소(*n*-alkane)를 분석하였다.
- 용존성 시료 분석 항목:
 - 용존유기탄소(DOC) 농도 및 방사성동위원소($\Delta^{14}C_{DOC}$), 용존무기탄소(DIC) 농도 및 동위원소($\delta^{13}C_{DIC}$, $\Delta^{14}C_{DIC}$), 용존총질소(DTN) 농도
 - 용존 유기물질의 농도는 TOC analyzer (TOC-V, Shimadzu)를 이용하여 분석하였으며, 동위원소는 한국기초과학지원연구원에서 보유한 IRMS (Delta V, Thermo fisher)를 이용해 분석하였다. 방사성 동위원소는 NOSAMS Woods Hole Oceanographic Institution에서 분석하였다.
- 무기 지시자 분석 항목:
 - 주요양이온 및 음이온, 미량원소 및 희토류 원소, 산소 및 수소 안정동위원소, NO₃, NH₄ 질소 안정동위원소
 - 무기 지시자 분석을 위한 물 시료는 0.45 μ m 공극의 여과지를 이용해 여과 후 채수 하였다. 양이온 분석을 위한 시료는 pH2 이하로 조절하여 보관하였으며, NO₃과 NH₄를 이용한 질소안정동위원소 분석을 위한 물 시료는 각각 10 M NaOH와 Concentrated H₂SO₄를 첨가하여 pH 9 이상, pH 2 이하의 조건으로 조절하였다.
 - 무기 지시자 분석은 한국기초과학지원연구원에서 실시하였다. 주요양이온의 분석은 ICP-OES (Optima 8300, PerkinElmer)을 이용하여 실시되었으며, 미량원소 및 희토류원소는 ICP-MS (icapQ, ThermoScientific) 및 Inlet system (seaFast2, Elemental Scientific)를 이용하여 분석하였다. 음이온의 분석은 IC (ICS-1100, ThermoScientific)를 이용하여 실시되었고, Alkalinity의 분석은 Automatic titrator (T50, Mettler toledo)를 이용한 측정으며, O, H 안정동위원소 분석은 EA-IRMS (Isoprime) system을 이용하여 분석하였다.

2.3. 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소 플럭스 파악 및 기원/조성 파악

2.3.1. 수질환경 인자 및 유/무기 지시자의 계절적 변동성

- 수질환경 인자의 계절적 변동성:
 - 두 지역 모두 여름철 강우량이 집중되는 경향이 보이며, 봄철 식물플랑크톤 증가로 인해 클로로필 a의 농도가 증가 하였다. 금강의 경우 2016년 8월 중 클로로필 a의 농도가 가장 높게 나타났다.

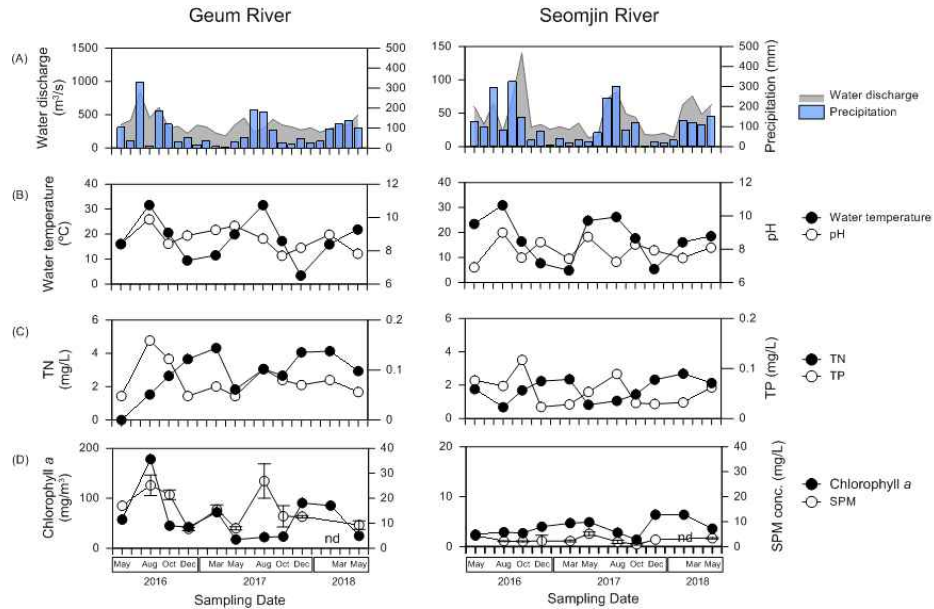


Figure 8. Seasonal variation of hydrological factors and water parameters of the Geum River (left column) and Seomjin River (right column).

- 유기탄소의 계절적 변동 특성:

Figure 9. Seasonal variation of (A) POC, DOC concentration and (B) their stable isotope results.

- 금강에서는 계절에 따라 POC 농도 및 $\delta^{13}\text{C}$ 변화가 섬진강보다 뚜렷하게 나타났다.
- 2016년 8월 POC의 농도가 가장 높고, 탄소 안정동위원소비가 가장 무겁게 나타났다. 이는 식물플랑크톤의 기여 때문으로 사료된다.
- 섬진강의 경우 유기탄소가 입자성 보다는 용존성 형태로 많이 배출되는 것으로 보이나 금강에서는 여름철 입자성 탄소의 형태로 많이 배출되는 것으로 나타났다.

- 방사성 탄소동위원소비의 계절적 변동 특성:

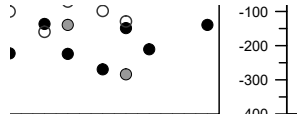


Figure 10. Seasonal variation fraction modern of POC, DOC, and DIC in (a) Geum and (b) Seomjin rivers.

- 담수와 해수의 영향을 동시에 받는 SJ3, GR3 정점에서 방사성 탄소동위원소비의 계절변화를 살펴보았다.
- 두 강 모두 $\Delta^{14}C_{POC}$ 가 여름철에는 무거워졌다 가을/겨울철에는 가벼워지는 변동성이 나타났다.

- 무기 원소의 계절적 변동 특성:

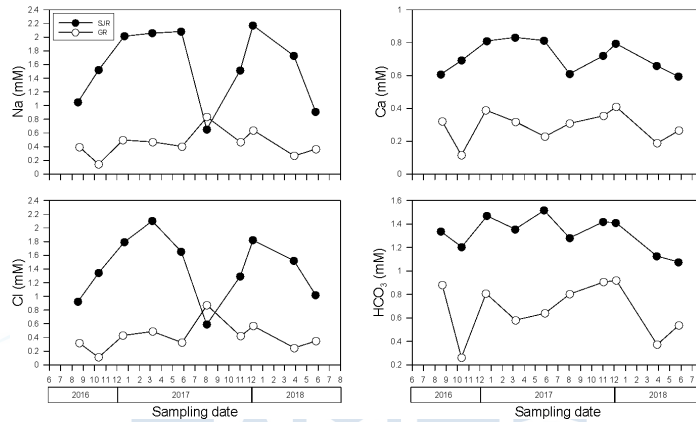


Figure 11. Seasonal variation of major cations and anions at GR1 and SJR1.

- 금강은 17년도 8월의 Na과 Cl의 농도가 0.65 mM과 0.59mM로 전체 샘플링 기간 중 가장 낮은 것으로 나타났으나, 섬진강은 0.83mM과 0.87mM로 가장 높게 나타났다. 금강 및 섬진강에서 계절별 주요 양이온과 음이온의 농도는 강의 유량에 반비례 하는 특성으로 나타났다(Figures 8, 11).

- δ^2H 및 $\delta^{18}O$ 의 계절적 변동 특성:

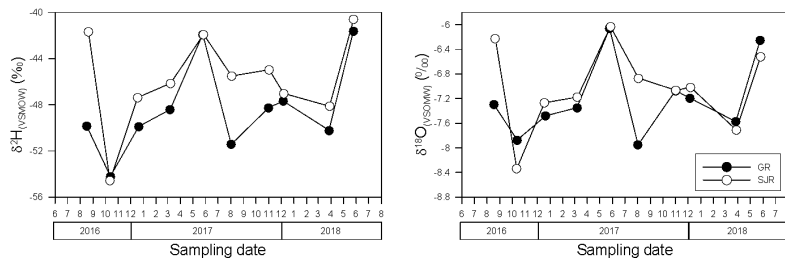


Figure 12. Seasonal variation of δ^2H and $\delta^{18}O$ at GR1 and SJR1

- δ^2H 및 $\delta^{18}O$ 분석 결과는 전체 샘플링 시기 중 16년도 10월에 가장 가벼운 값(δ^2H : -54.2‰와 -54.6‰, $\delta^{18}O$: -7.87‰과 -8.34‰)으로 나타났으며, 17년도 5월에 부화된 값(δ^2H : -41.2‰와 -41.9‰, $\delta^{18}O$: -6.06‰과 -6.03‰)을 보였다.

2.3.2. 육상기원 유기탄소 플럭스의 계절적/연간 변동성

- 금강/섬진강에서 방출되는 유기탄소 플럭스의 계절적 변동 특성:

Figure 13. Seasonal variation of riverine POC flux and DOC flux from Geum and Seomjin River.

- 금강에서 POC와 DOC의 시간당 방출량은 각각 1122 ± 1007 gC/s and 1212 ± 1007 gC/s 이었고, 섬진강에서는 28 ± 40 gC/s and 78 ± 124 gC/s 이었다. 연구 기간 중 두강 모두 봄, 여름철 유기탄소의 방출량이 가을, 겨울철 보다 높게 나타났다(Figure 13).
- 금강/섬진강에서 방출되는 유기탄소 플럭스의 비교:
 - 금강과 섬진강에서 연구기간동안 측정된 유역면적당 입자성 유기탄소의 연간 방출량은 각각 0.0040 tC/km²/yr, 0.00052 tC/km²/yr 였다. 용존성 유기탄소의 방출량은 금강에서 0.065 tC/km²/yr, 섬진강에서 0.00086 tC/km²/yr로 나타났다.
 - 유기탄소 방출량은 섬진강보다 금강에서 더 높았고, 전 세계 주요 강($n=100$)에서 측정된 유량과의 비교 결과는 figure 14와 같다.

극지연구소

Figure 14. Relationship between DOC/POC and (A) POC and (B) DOC fluxes for major world rivers (data from Coynel et al., 2005; Liu et al., 2015; Ludwig and Probst, 1996; Meybeck and Ragu, 2012; Song et al., 2016 and references therein). The bars indicate standard deviations at mean OC fluxes for samples with different DOC/POC ranges.

2.3.3. 강-해양 인터페이스 지역에서의 유/무기 지시자의 시공간적 변동성

- 섬진강/금강 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소 기원의 계절적 변동성:
 - 금강에서는 유기탄소에 식물플랑크톤 기원탄소의 영향이 우세한(POC/Chl-*a*<100) 계절이 섬진강 보다 많았다. 특히 2016년 8월은 다른 계절과는 구분되는 결과를 보였으며, 이는 여름철 식물플랑크톤 대번성으로 인한 것으로 여겨진다. 섬진강은 대부분의 계절에서 POC/PN와 POC/Chl-*a* 높아 육상기원 유기탄소의 영향이 우세한 것으로 나타났다(Figure 15).

Figure 15. Scatter plots of (A) POC/Chl-*a*, (B) POC/PN ratio, and (C) DOC/DTN ratio with $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ of POC or DOC.

- 섬진강/금강 강-해양 인터페이스 지역에서 무기지시자의 시공간적 변동성:

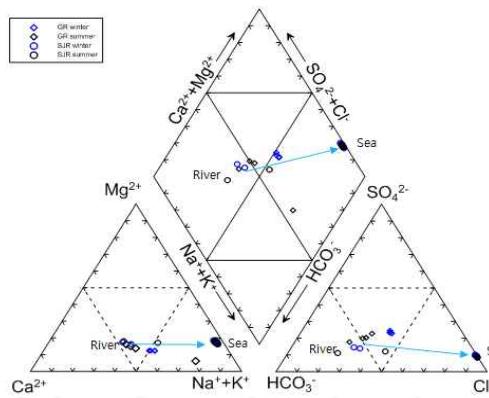


Figure 16. Diagram for major cation and anion distribution of the Geum River-Yellow Sea and the Seomjin River-South Sea water system

두 강 모두 강에서 바다로 이동할수록 Na+, K+, Cl-이 우세한 원소분포를 나타내었다.

- 금강에서는 강과 바다의 무기원소 분포가 명확하게 분리된 경계를 가지고 있다. 여름철 강물에서 무기원소 Ca, HCO₃의 분포는 겨울철에 비하여 우세하게 나타나며, 이는 담수의 더 영향을 강하게 받았음을 의미한다. 반면, 섬진강에서는 무기원소 분포가 연속적으로 변화하는 특성을 보이며, 여름철, 담수의 영향이 더 크게 나타나 담수부터 해수까지의 무기원소 분포가 더 넓게 나타났다.

- 금강/섬진강 표층수 안정동위원소($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$)의 시공간적 분포특성:

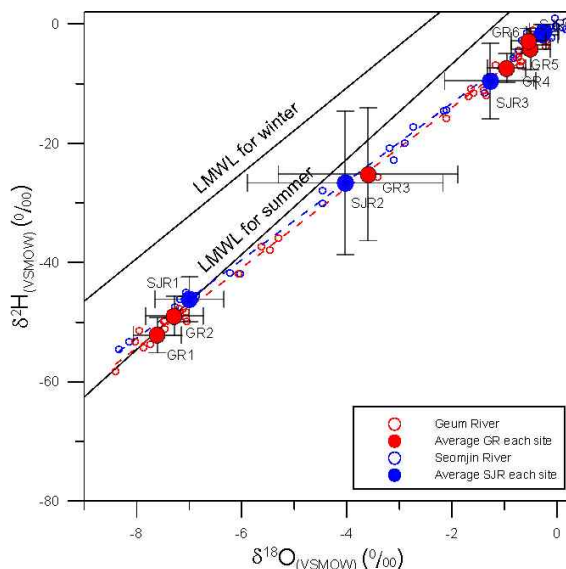


Figure 17. Stable isotopic compositions of the Geum River-Yellow Sea and the Seomjin River-South Sea water system. Local meteoric water lines (LMWL) from Jung et al. (2019). Filled circles represent average values of each site in the entire sampling period. Error bars correspond to SD.

- 금강 섬진강 수계에서 댐의 개방 및 계절별 강우패턴에 따른 상부 수계로부터의 하천 유량 전달 특성의 변화와 인근 증발의 인자를 포함하는 국지적 지하수 유동 특성의 상대적 기여도 변화가 각 주요 지점의 시계열 산소, 수소 동위원소 조성을 변화시키는 주요 요인으로 판단된다. (이광식, 이창복, 1999)
- 해수와 담수의 혼합이 일어나는 GR3와 SJR2에서 전체 탐사기간 산소, 수소 동위원소 조성 평균값의 변동성이 유사하고, 해수와 담수 중간 값을 나타내며, 상류의 담수와 하류의 해수와 구분되는 변동성을 보인다. GR2와 GR3은 하굿둑을 경계로 공간적으로 매우 근접해 있고, 섬진강은 그렇지 않음을 고려할 때, 강/해양 인터페이스 지역의 산소, 수소 동위원소 조성의 주된 요인은 다른 요인보다 담수와 해수의 혼합작용이 지배적임을 암시한다.
- 금강/섬진강 환경시료 내 유기물질에서 추출된 희토류원소의 공간적 분포 특성:

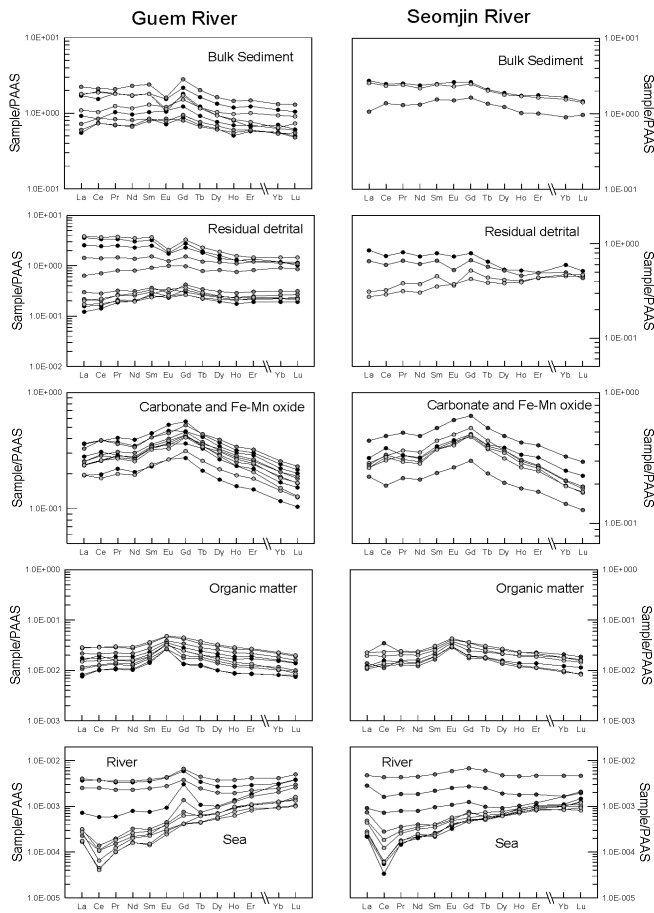


Figure 18. PAAS-normalized REE pattern of extracted fractions and surface water for GR and SJR.

- 해양표층수의 희토류 원소 패턴은 Ce가 결핍되고 중희토류가 부화된 전형적인 해수의 원소 패턴을 보이며, 강에서 해양으로 이동함에 따라 점진적 변화가 나타났다. 금강 하천수에서 Gd의 이상치(Gd anomaly)가 일부 발견되기도 하였으며, 이는 섬진강 권역에 비하여 상대적으로 인구가 밀집된 금강권역에서의 인위적 원인에 기인한 것으로 판단된다.
- 퇴적물의 희토류 원소 패턴은 대륙성의 패턴을 나타내며, 공간적 변화에 따라 조금씩 다른 패턴을 보인다. 금강권역에서 규산질 암의 특성인 높은 LREE/HREE의 비와 Eu의 부의 이상(negative anomaly)이 관측되었다.
- 연구지역 내 퇴적물에서 단계적 추출법을 통하여 추출된 각 분획의 희토류 원소 패턴은 시공간적 변화에 관계없이 각 분획에서 유사한 패턴을 보이며, 각 분획의 패턴은 화학적 분리법 개발을 수행하였던 표준물질 중 규산질 해양퇴적표준시료인 HISS-1과 가장 유사한 형태를 나타내었다 (Figure6).

- 표층수 시료의 Nd 농도는 강에서 해양환경으로 변화하며 감소하였다. 하굿둑의 영향으로 GR2 이후 급격히 감소하였으며, 섬진강에서는 해양으로 갈수록 점진적으로 감소하였다.
- 퇴적물 내 유기물질은 다른 분획에 비하여 매우 낮은 Nd 농도를 나타내며 이는 대부분의 Nd가 광물격자 내부에 존재함을 나타낸다.
- 유기물 및 탄산염 분획의 ϵ_{Nd} 는 유사한 양상을 보이며, 쇄설성 물질과 명확히 구분되는 ^{143}Nd 가 부화된 값을 보인다. 이는 연구지역 퇴적물의 유기물질이 주로 수생환경에서 형성되었음을 암시한다.

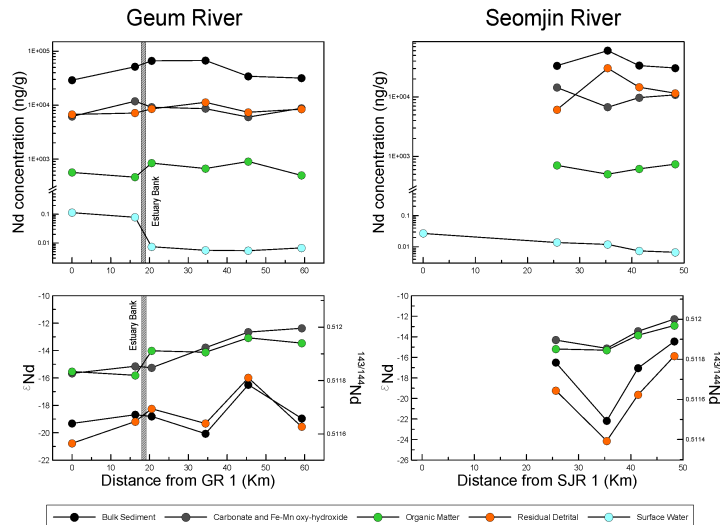


Figure 19. Spatial variation of Nd concentration and isotopic composition in water and sediment samples.

- 금강/섬진강 환경시료 내 장족형 탄화수소의 분포 특성:

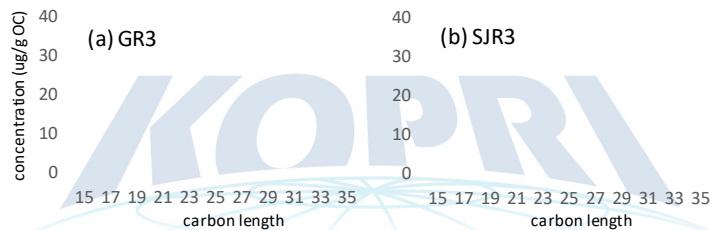


Figure 20. *n*-alkane result from (a) Geum and (b) Seomjin River system

- 금강과 섬진강의 기수역 퇴적 유기물 내 장족형탄화수소 분포는 육상고등식물 기원의 장족형 흡수 탄화수소가 우세하였고, 식물플랑크톤 기원의 단족 탄화수소는 금강에서 더 높게 나왔다.

2.3.4. 유기탄소를 조절하는 자연적/인위적 인자 파악

Figure 21. PCA results based on physicochemical variables in each dataset from (A) Geum and (B) Seomjin River systems in comparison to OC parameters.

- 자연적인 강-해양 인터페이스 환경의 경우 유기탄소의 방출은 유량 및 강우량에 의해 주로 조절되는 것으로 알려져 있다. 섬진강의 경우 유기탄소 플럭스와 강우량, 유량이 높은 상관관계를 보이는 반면, 금강에서는 입자성 유기탄소 농도, 플럭스 및 안정동위원소비가 수온과 클로로필 a 농도와 높은 상관관계를 보였다. 이는 금강 중, 상류에 위치한 대형 댐, 보 그리고 하굿둑에 의해 유기탄소의 자연적 방출 기작이 교란을 받기 때문인 것으로 보인다.

2.4. 유기탄소의 과거 변동양상 파악

2.4.1. 연구지역 내 퇴적물 코어 획득 및 퇴적 코어 연대 설정

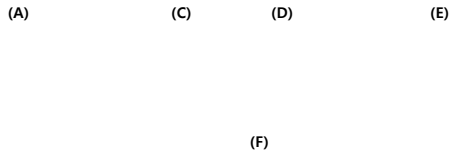


Figure 22. (A-B) Core sampling sites and (C-F) photos of field works and GRC-1 core opened in the lab.

Figure 23. ^{210}Po distribution and sedimentation rate of GRC-1 core

- 과거 금강 하구에서의 유기탄소 변동 연구를 위해 퇴적물 코어를 채집하였으며, ^{210}Po 를 측정하여 퇴적 코어의 퇴적률을 계산, 연대를 설정하였다(Figures 22, 23).

2.4.2. 과거 환경변화에 따른 퇴적물 코어 내 유기/무기 지시자 변동성 파악

- 1920년대 이후 OC 함량, $\delta^{13}\text{C}$ 가 증가했다. 이는 퇴적유기물 내 해양기원 유기물의 영향이 늘어났기 때문으로 사료된다.
- 1960이후 $\delta^{13}\text{C}$ 의 급격한 증가와 무기지시자의 급감이 함께 나타났다. 이는 금강 유역의 댐, 보, 하구둑 건설로 인한 육상기원 유기물 유입의 감소의 영향으로 보인다.

Figure 24. Variation of OC contents and $\delta^{13}\text{C}$ and inorganic parameters plotted against the age established for GRC-1.

2.5. 국내, 외 강-해양 인터페이스 연계 연구

2.5.1. 연구 결과 비교분석 및 토의를 위한 연구 환경 조성

- 강-해양 인터페이스 연구 워크숍 개최:
 - 강-해양 인터페이스 연구 워크숍 개최(2017.02.14, 2018.02.27-28) 및 참가(2017.05; 국립생태원 주관, 2018.03; 한양대학교 주관)를 통해 연구결과를 발표하였으며, 국내 관련 분야 연구진과 공동연구 기반을 마련하였다. 또한 해외 우수 연구자를 초청하여 해외 연구 현황 파악, 연구 자문 및 공동연구 협의를 진행 하였다(Figure 25).
- 안정동위원소 분석 결과 비교 연구 수행:
 - 유기탄소 거동 연구기법 중 하나인 안정동위원소 분석은 유기탄소의 기원을 추적하기 위해 전

세계적으로 널리 이용되고 있는 방법임에도 불구하고, 국내에서는 연구 수립단계이다.

- 이에 국내 연구진의 분석 경쟁력 향상 및 연구 환경 조성을 위해 국내에서는 처음으로 분석 기관 간 상호 검증 연구를 수행하였다. 국내 EA-IRMS 보유기관 24개 기관 중 6기관이 참여를 희망하였으며, 참여 희망 연구기관을 대상으로 비교연구를 수행하였다.
- 미지의 분석시료(표준물질 및 다양한 환경시료)를 준비하여 각 기관으로 발송하였으며(Figure 26), EA-IRMS를 이용하여 탄소, 질소 농도 및 안정동위원소 분석을 수행하였고, 기관별 비교분석 결과는 한국환경분석학회지에 게재하였다(김 등, 2018).



Figure 25. Workshop for Carbon transfer across the river-sea interface system



Figure 26. Sample preparation for the EA-IRMS inter-lab comparison study.

2.5.1. 국내 강-해양 인터페이스 환경 내 유기물 거동 연구

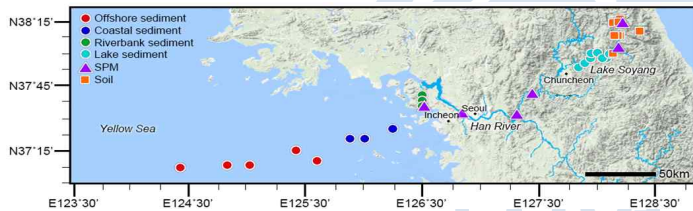


Figure 27. Sampling site across the Han river to Yellow Sea.

- 한강 강-해양 인터페이스 환경에서 지질생체지표를 이용하여 육상기원 유기물의 분포와 영향을 파악하고자 하였다.
- 본 연구 결과는 Acta Geochimica에 게재되었다 (Kang et al., 2017).

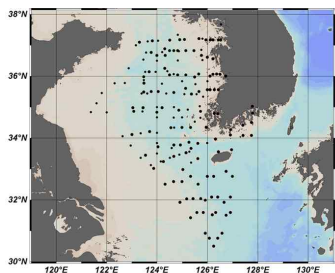


Figure 28. Sampling location for sedimentary organic carbon study in Yellow Sea and North east China Sea

- 황해 및 북동중국해 (남해)에서 표층퇴적물 내 유기탄소 기원 및 조성 분포를 파악하였다.
- 국내 강-해양 연결 환경에서 획득된 자료를 바탕으로 국내 연근해의 유기탄소 기원을 판별하였다.

2.5.2. 극지 지역 강-해양 연결 환경 내 유기물 이동 연구

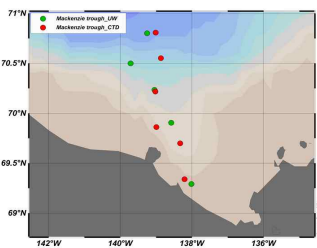


Figure 29. Sampling sites in the Mackenzie-Beaufort interface.

- 2017.8.23.- 9.20. (R/V ARAON)
- Mackenzie - Beaufort interface
- 해수 내 탄소 농도 및 동위원소 분석용 시료 채집

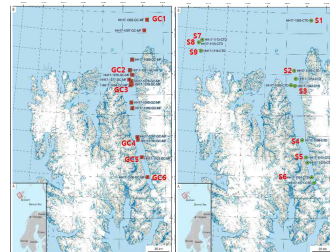


Figure 30. Sampling sites in the Svalbard Wijdefjorden.

- 2017.7.26.- 8.1. (R/V Helmer Hanssen)
- 노르웨이 스발바르 Wijdefjorden 지역(78.5° - 80.2°N)
- 코어(6개 정점) 및 채취 해수(9개 정점, 35개 시료) 시료 채취

3. 연구개발결과의 중요성

3.1. 연구개발 결과의 중요성

- 탄소순환분야에서 황해의 중요성에도 불구하고 우리나라와 접한 황해 동부 연안 및 황해로 유입되는 국내 강에서의 연구는 거의 이루어지지 않았다. 본 연구는 국내 서, 남해 연안 및 황해로 유입되는 강과 해양을 연결하는 지역에서의 탄소순환 과정 파악을 위한 기초 연구 기반을 마련하였다.
- 본 연구과제에서는 국내에서는 처음으로 유/무기 통합 지시자를 활용하여 금강 및 섬진강에서 방출되는 육상기원 탄소의 계절적 유출량과 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소의 공간 분포 및 과거 환경 변화에 따른 변동성을 포괄적으로 이해하려하였다. 본 연구과제의 추진전략과 활용된 연구기법들은 향후 관련 후속 연구를 수행할 연구진들에게 연구 진행방향을 제시할 선행연구로 활용 될 수 있을 것이다.
- 본 연구과제에서는 중심연구지역인 금강과 섬진강뿐만 아니라 황해 동부 연안, 시화호와 같은 국내외 다양한 강-해양 연결 지역에서의 관련 연구를 수행, 지원 하였다. 또한 연구기간 중 탄소순환 관련 연구기법 발전 및 연구 환경 조성을 위하여 다양한 활동을 수행 하였다. 국내외 과학자들과의 공동연구 뿐만 아니라, 워크샵 개최 및 참여 그리고 국내에서 처음으로 탄소안정동위원소 교차 분석 연구를 진행하였다.

3.2. 연구결과 활용 방안

- 본 연구과제에서 획득된 데이터는 금강과 섬진강의 수계데이터 베이스를 구축 하는데 이용될 수 있을 것이다. 또한 이는 강을 통해 서남해 연안으로 들어오는 유기탄소의 기원, 조성, 반응성 파악 연구에 활용될 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 강우기 시 홍수로 인한 육상기원 유기물 유입이 서해 연안의 생지화학적 프로세스에 미치는 영향에 대한 정확한 평가를 내리는 데 기초 자료로 활용 될 수 있을 것으로 예상된다.
- 육상에서 유기탄소가 형성 되고, 이 후 강을 통해 연근해로 유입되는 것은 수역 내 기후학적 요소들과 밀접한 연관이 있다. 본 연구 결과는 유기탄소 플럭스 장주기 변동 파악과 해양퇴적물 내에서 육상기원 유기탄소의 기여도 파악을 위한 배경 데이터베이스를 구축 하는데 활용 될 수 있을 것이며, 이는 추후 기후변화와 관련한 과거 육상 환경변화 연구의 기반연구로서 활용 될 수 있을 것이다.
- 본 연구결과에서는 유기탄소 이동을 조절하는 자연적, 인위적 요소를 파악하였으며, 이는 효과적인 연안환경 관리를 위한 기초 자료로서 활용 될 수 있을 것으로 예상된다. 중심 연구 지역 중 하나인 금강은 하굿둑 개방 및 보 개방, 철거가 큰 환경 이슈인 곳으로 본 연구결과는 하굿둑 및 보 개방, 철거로 인한 환경변동 평가 자료로서 활용될 수 있을 것이다. 더불어 본 연구과제를 통해 수립된 샘플링 기법 및 분석결과들은 연안환경 모니터링 평가 요소 및 수질 모델링 자료로서 활용 될 수 있을 것이며, 이는 해양 보전 및 환경 관리 분야에 대한 가이드라인 조성에 활용될 수 있을 것이다.

4. 참고문헌

- Berner, R.A. 1989, Biogeochemical cycles of carbon and sulphur and their effect on atmospheric oxygen over Phanerozoic time. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 73, 97–122
- Burdige, D.J. 2005, Burial of terrestrial organic matter in marine sediments: a re-assessment. *Global Biogeochemical Cycles*, 19, doi:10.1029/2004GB002368
- Coyne, A., Seyler, P., Etcheber, H., Meybeck, M., Orange, D., 2005. Spatial and seasonal dynamics of total suspended sediment and organic carbon species in the Congo River. *Global Biogeochem. Cycles* 19, 1–17.
- Du, J., Haley, B.A., Mix, A.C., 2016. Neodymium isotopes in authigenic phases, bottom waters and detrital sediments in the Gulf of Alaska and their implications for paleo-circulation reconstruction. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 193, 14-35.
- Freslon, N., Bayon, G., Toucanne, S., Bermell, S., Bollinger, C., Chéron, S., Etoubleau, J., Germain, Y., Khripounoff, A., Ponzevera, E., Rouget, M., 2014. Rare earth elements and neodymium isotopes in sedimentary organic matter. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 140, 177-198.
- Galy, V., Beyssac, O., France-Lanord, C., Eglinton, T. 2008, Recycling of graphite during Himalayan erosion: a geological stabilization of carbon in the crust. *Science*, 322, 943–945
- Gutjahr, M., Frank, M., Stirling, C. H., Klemm, V., Flierdt, T. van de, Halliday, A. N., 2007. Reliable extraction of a deepwater trace metal isotope signal from Fe–Mn oxyhydroxide coatings of marine sediments. *Chemical Geology*, 242(3-4), 351-370.
- Hayes, J. M., Strauss, H., Kaufman, A.J. 1999, The abundance of ^{13}C in marine organic matter and isotopic fractionation in the global biogeochemical cycle of carbon during the past 800 Ma. *Chemical Geology*, 161, 103–125
- Jung, Y. Y., Koh, D. -C., Yoon, Y. -Y., Kwon, H. -I., Heo, J., Ha, K., Yun,, S. -T., 2019. Using stable isotopes and tritium to delineate groundwater flow systems and their relationship to streams in the Geum River basin, *Journal of Hydrology*, 573, 267-280.
- Liu, J., Song, X., Wang, Z., Yang, L., Sun, Z., Wang, W., 2015. Variations of carbon transport in the Yellow River, China. *Hydrol. Res.* 46, 746–762.
- Ludwig, W., Probst, J.L., 1996. Predicting the oceanic input of organic carbon by continental erosion. *Global Biogeochem. Cycles* 10, 23–41.
- Meybeck, M., Ragu, A., 2012. GEMS-GLORI world river discharge database.
- Petsch, S. T. 2003, The global oxygen cycle. In: Holland, H.D., Turekian, K.K. (Eds.), *Treatise on Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 515–555
- Spitz, A, Ittekkot, V. 1991, Dissolved and particulate organic matter in rivers. In: Mantora RFC, Martin JM, Wallast R (eds.), *Ocean Margin Processes in Global Change*. Wiley, 5–16
- Song, C., Wang, G., Sun, X., Chang, R., Mao, T., 2016. Control factors and scale analysis of annual river water, sediments and carbon transport in China. *Sci. Rep.* 6, 1–14.
- Xing, L., Tao, S., Zhang, H., Liu, Y., Yu, Z., Zhao, M. 2011, Distributions and origins of lipid biomarkers in surface sediments from the southern Yellow Sea. *Applied Geochemistry*, 26, 1584–1593

- Xing, L., Zhao, M., Gao, W., Wang, F., Zhang, H., Li, L., Liu, J., Liu, Y. 2014, Multiple proxy estimates of source and spatial variation in organic matter in surface sediments from the southern Yellow Sea. *Organic Geochemistry*, 76, 72–81
- Yang, S., Youn, J.-S. 2007, Geochemical compositions and provenance discrimination of the central south Yellow Sea sediments. *Marine Geology*, 243, 229–241
- 이광식, 이창복. 1999. 남한 강수와 하천수의 산소와 수소 동위원소 조성. *지질학회지*, 35(1), 73-84.



5. 연구성과

전문학술지 논문게재 성과정보											
과제 번호	게재 연월	논문제목	총저자명	출처	학술지명	권 (호)	학술지 구분	sci여부	impact Factor	국제 공동 연구 논문	기 여 도
2016R1 A2B301 5388	201608	Source, composition and reactivity of sedimentary organic carbon in the river-dominated marginal seas: A study of the eastern Yellow Sea (the northwestern Pacific)	Yoon, Suk-Hee; Kim, Jung-Hyun; Yi, Hi-Il; Yamamoto, Masanobu; Gal, Jong-Ku; Kang, Sujin; Shin, Kyung-Hoon;	SCI	CONTINENTAL SHELF RESEARCH	125 (0)	국외	SCI 등재	2.011	예	50
2016R1 A2B301 5388	201702	Contribution of petroleum-derived organic carbon to sedimentary organic carbon pool in the eastern Yellow Sea (the northwestern Pacific)	Kim, Jung-Hyun; Lee, Dong-Hun; Yoon, Suk-Hee; Jeong, Kap-Sik; Choi, Bohyung; Shin, Kyung-Hoon;	직접 입력	CHEMOSPHERE	168 (0)	국외	SCI 등재	4.208	아니 오	40
2016R1 A2B301 5388	201704	Anthropogenic rare earth elements and their spatial distributions in the Han River, South Korea	Song, Hyeongseok; Shin, Woo-Jin; Ryu, Jong-Sik; Shin, Hyung Seon; Chung, Heesun; Lee, Kwang-Sik;	SCI	CHEMOSPHERE	172 (0)	국외	SCI 등재	4.208	아니 오	30

전문학술지 논문게재 성과정보

과제 번호	게재연월	논문제목	총저자명	출처	학술지명	권(호)	학술지 구분	sci 여부	impact Factor	국제 공동 연구 논문	기 여 도
2016R1 A2B301 5388	201704	Identification and characterization of fluid escape structures (pockmarks) in the Estremadura Spur, West Iberian Margin	Duarte, Débora; Magalhaes, Vítor Hugo; Terrinha, Pedro; Ribeiro, Carlos; Madureira, Pedro; Pinheiro, Luis Menezes; Benazzouz, Omar; Kim, Jung-Hyun; Duarte, Henrique;	SCI	MARINE AND PETROLEUM GEOLOGY	82(0)	국외	SCI 등재	2.888	예	10
2016R1 A2B301 5388	201708	Occurrence and distribution of hydroxylated isoprenoid glycerol dialkyl glycerol tetraethers (OH-GDGTs) in the Han River system South Korea	Sujin Kang; Jung-Hyun Kim; Kyung-Hoon Shin	직접 입력	ACTA GEOCHIMICA	36(3)	국외	SCI 미등재		아니오	100
2016R1 A2B301 5388	201804	Comparison of living and dead benthic foraminifera on the Portuguese margin: Understanding the taphonomical processes	Dessandier, Pierre-Antoine; Bonnin, Jerome; Kim, Jung-Hyun; Racine, Calypso;	SCI	MARINE MICROPALaeON TOLOGY	140 (0)	국외	SCI 등재	1.874	예	80

전문학술지 논문게재 성과정보

과제 번호	게재 연월	논문제목	총저자명	출 처	학술지명	권 (호)	학술지 구분	sci 여부	impact Factor	국제 공동 연구 논문	기 여 도
2016R1 A2B301 5388	201805	Geochemical Evidence for Large-Scale Drainage Reorganization in Northwest Africa During the Cretaceous	Mourlot, Yannick; Roddaz, Martin; Dera, Guillaume; Calves, Gerome; Kim, Jung-Hyun; Chaboureau, Anne-Claire; Mounic, Stephanie; Raisson, Francois;	SCI	GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS GEOSYSTEMS	19(5)	국외	SCI 등재	2.981	예	25
2016R1 A2B301 5388	201805	Variations in benthic foraminiferal assemblages in the Tagus mud belt during the last 5700 years: Implications for Tagus River discharge	Dessandier, Pierre-Antoine; Bonnin, Jerome; Malaize, Bruno; Lambert, Clement; Tjallingii, Rik; Warden, Lisa; Damste, Jaap S. Sinninghe; Kim, Jung-Hyun;	SCI	PALAEOGEOGRAPHY PALAEOCLIMATOLOGY PALAEOECOLOGY	496 (0)	국외	SCI 등재	2.375	예	30

전문학술지 논문게재 성과정보

과제 번호	게재 연월	논문제목	총저자명	출처	학술지명	권(호)	학술지 구분	sci 여부	impact Factor	국제 공동 연구 논문	기 여 도
2016R1 A2B30 15388	201808	Application of laser-induced breakdown spectroscopy to Arctic sediments in the Chukchi Sea	Han, Dukki; Joe, Young Jin; Ryu, Jong-Sik; Unno, Tatsuya; Kim, Gibaek; Yamamoto, Masanobu; Park, Kihong; Hur, Hor-Gil; Lee, Ji-Hoon; Nam, Seung-Il;	SCI	SPECTROCHIMIC A ACTA PART B-ATOMIC SPECTROSCOPY	146 (0)	국외	SCI 등재	2.854	예	25
2016R1 A2B30 15388	201809	Assessing environmental changes in Lake Shihwa, South Korea, based on distributions and stable carbon isotopic compositions of n-alkanes	Kim, Dahae; Kim, Jung-Hyun; Kim, Min-Seob; Ra, Kongtae; Shin, Kyung-Hoon;	SCI	ENVIRONMENTAL POLLUTION	240 (0)	국외	SCI 등재	4.358	아니오	50
2016R1 A2B30 15388	201812	Biogeochemical evidence of anaerobic methane oxidation on active submarine mud volcanoes on the continental slope of the Canadian Beaufort Sea	Lee, Dong-Hun; Kim, Jung-Hyun; Lee, Yung Mi; Stadnitskaia, Alina; Jin, Young Keun; Niemann, Helge; Kim, Young-Gyun; Shin, Kyung-Hoon;	SCI	BIOGEO SCIENCES	15 (24)	국외	SCI 등재	3.441	예	35

전문학술지 논문게재 성과정보

과제 번호	게재연 월	논문제목	총저자명	출처	학술지명	권(호)	학술지 구분	sci 여부	impact Factor	국제 공동 연구 논문	기 여 도
2016R1 A2B30 15388	201812	Assessing the saponification effect on the quantification of long chain alkenones and the U37K paleothermometer	Gal, Jong-ku; Kim, Jung-Hyun; Kim, Daun; Kang, Sujin; Shin, Kyung-Hoon	SCI	GEOCHEMICAL JOURNAL	52(6)	국외	SCI 등재	1.057	아니오	35
2016R1 A2B30 15388	201902	Application of the newly developed nutrient diol index (NDI) as a sea surface nutrient proxy in the East Sea for the last 240 years	Gal, Jong-Ku; Kim, Jung-Hyun; Kim, Solbin; Lee, Sang Han; Yoo, Kyu-Cheul; Shin, Kyung-Hoon	SCI	QUATERNARY INTERNATION AL	503(0)	국외	SCI 등재	2.163	아니오	50
2016R1 A2B30 15388	201812	Inter-laboratory Comparison of Stable Carbon and Nitrogen Isotopic Composition Data Using Elemental Analyzer-isotope Ratio Mass Spectrometers	Kim, Jung-Hyun; Kang, Sujin; Bong, Yoen-Sik; Park, Kwangkyu; Kang, Tae-Woo; Park Yong-Se; Kim, Dahae; Choi, Seunghyun; Joo, Young Jil Choi, Bohyung; Nam, Seung-II; Lee, Sang-Mo; Shin, Kyung-Hoon	KCI	한국환경 분석학회지	21(4)	국내	SCI 미등재		아니오	100

학술대회 논문발표 성과정보

과제번호	발표 년월	학술대회명	저자	논문제목	학술대회구분	개최국
2016R1A2B301 5388	201611	한국환경분석학회 추계학술대회	김정현, 최보형, 강수진, 봉연식, 최승현, 남승일, 신경훈	EA-IRMS를 활용한 탄소 및 질소 안정동위원소비 비교 연구	국내학술대회	대한민국
2016R1A2B301 5388	201702	2017년 한국생태환경과학협의회 정기학술발표대회	김다해, 김정현, 이동현, 강수진, 최보형, 나공태, 김민섭, 최종우, 신경훈	장족형탄화수소 탄소안정동위원소 비를 활용한 시화호 퇴적물의 다양한 유기물 기원추적	국내학술대회	대한민국
2016R1A2B301 5388	201704	한국지질학회 춘계 학술대회	송형석, 류종식	Development of extracting river and marine sediment fractions	국내학술대회	대한민국
2016R1A2B301 5388	201711	2017 한국해양학회 추계학술대회	김솔빈, 김정현, 갈종구, 황점식, 이동현, 김다운, 신경훈	동해 울릉분지 침강입자의 장족형 탄화수소(n-alkane) 분포 파악	국내학술대회	대한민국
2016R1A2B301 5388	201802	한국하천호수학회	강수진, 김정현, 김다운, 류종식, 옥기영, 신경훈	금강, 섬진강 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소 유출량 및 기원추적	국내학술대회	대한민국
2016R1A2B301 5388	201805	KGU	김다운, 김정현, 이동현, 김지훈, 최지영, 신경훈	황해 표층 퇴적물 내 유기물 기원 추적을 위한 Rock-Eval 분석법 활용	국내학술대회	대한민국
2016R1A2B301 5388	201703	17th International Symposium on River and Lake Environments & 3rd International Symposium on Aquatic Botany	Dahae Kim, Jung-Hyun Kim, Kontae Ra, Min-Seol	Evaluating the impact of a tidal power plant operation on sedimentary organic matter and tracing organic matter sources in Lake Shihwa	국제학술대회	일본
2016R1A2B301 5388	201704	European Geosciences Union General Assembly 2017	Débora Duarte, Vitor Hugo Magalhães, Pedro Terrinha, Carlos Ribeiro, Pedro Madureira, Luís Menezes Pinheiro, Omar Benazzouz, Jung-Hyun Kim, Henrique Duarte	Seismic characterization of fluid migration and Pockmarks in the Estremadura Spur, West Iberian Margin, Portugal	국제학술대회	오스 트리아
2016R1A2B301 5388	201706	11th International Symposium on Geochemistry of the Earth's Surface	Sujin Kang, Kyung-Hoon Shin, Jung-Hyun Kim	Occurrence and distribution of hydroxylated isoprenoid glycerol dialkyl glycerol tetraethers (OH-GDGTs) in the Han River system, South Korea	국제학술대회	중국

학술대회 논문발표 성과정보

과제번호	발표년월	학술대회명	저자	논문제목	학술대회구분	개최국
2016R1A2B301 5388	201707	3rd Sino-Korea Symposium on Environmental Health and Ecological Safety	Dahae Kim, Jung-Hyun Kim, Min-Seob Kim, Kongtae Ra, Kyung-Hoon Shin	Assessing the impact of a tidal power plant operation on sedimentary organic matter characteristics in Lake Shihaw (South Korea)	국제학술대회	중국
2016R1A2B301 5388	201708	Goldschmidt 2018	Hyeongsuk Song, Jong-Sik Ryu, Jung-Hyun Kim	Geochemical characteristics across the river-sea interface: a case study in the Geum and Sumjin River systems, South Korea	국제학술대회	프랑스
2016R1A2B301 5388	201709	28th International Meeting on Organic Geochemistry	Jung-Hyun Kim, Suk-Hee Yoon, Dong-Hun Lee, Hi-Il Yi, Kap-Sik Jeong, Masanobu Yamamoto, Jong-Ku Gal, Sujin Kang, Bohyung Choi, Kyung-Hoon Shin	Source of sedimentary organic carbon in the eastern yellow sea (The northwestern Pacific)	국제학술대회	이탈리아
2016R1A2B301 5388	201709	The 3rd Asian Association for Quaternary Research Conference	Jong-Ku Gal, Jung-Hyun Kim, Kyung-Hoon Shin	Seasonality of the long chain diols fluxes: implication for the paleotemperature proxy in the East Sea	국제학술대회	대한민국
2016R1A2B301 5388	201712	American Geophysical Union Fall Meeting	Jong-Ku Gal, Jung-Hyun Kim, Lukas Smik, Sun Yong Ha, Simon T. Belt, Seung-Il Nam, Kyung-Hoon Shin	Distribution of pelagic phytoplankton-derived lipid biomarkers in the Northwest Pacific region: insights into their suitability as open-water indicators	국제학술대회	미국
2016R1A2B301 5388	201804	European Geosciences Union	Carme Hugué, Jorge Salgado-Bonet, Jorge Torres-Ortiz, Catalina Gonzalez-Arango, Jung-Hyun Kim	Palaeoclimatic and environmental multiproxy reconstruction of lake Fúquene, Colombia	국제학술대회	유럽

학술대회 논문발표 성과정보

과제번호	발표년월	학술대회명	저자	논문제목	학술대회구분	개최국
2016R1A2B301 5388	201805	2018 Yellow Sea Ecosystem Symposium	Sujin Kang, Jung-Hyun Kim Daun Kim, Hyeongsuk Song, Jong-Sik Ryu, Kyung-Hoon Shin	Organic carbon transfer across the river-sea interfaces in two contrasting Geum and Sumjin river systems in South Korea	국제학술대회	대한민국
2016R1A2B301 5388	201805	2018 Yellow Sea Ecosystem Symposium	Hyeongsuk Song, Jihuan Hwang, Jong-Sik Ryu, Jung-Hyun Kim Sujin Kang	Development of rare earth elements and neodymium isotope analysis of organic materials in sediments	국제학술대회	대한민국
2016R1A2B301 5388	201805	Association for the Sciences of Limnology and Oceanography Summer Meeting	Dahae Kim, Jung-Hyun Kim, Minseob Kim, Kong-Tae Ra, Kyung-Hoon Shin	Fluxes and distributions of plant wax <i>n</i> -alkanes in Ulleung basin (East Sea) distributions and stable carbon isotopic compositions of <i>n</i> -alkanes.	국제학술대회	캐나다
2016R1A2B301 5388	201805	Association for the Sciences of Limnology and Oceanography Summer Meeting	Solbin Kim, Jung-Hyun Kim, Jong-Ku Gal, Jeomsik Hwang, Kyung-Hoon Shin	Fluxes and distributions of plant wax <i>n</i> -alkanes in Ulleung basin (East Sea)	국제학술대회	캐나다
2016R1A2B301 5388	201805	Association for the Sciences of Limnology and Oceanography Summer Meeting	Sujin Kang, Jung-Hyun Kim, Daun Kim, Jong-Sik Ryu Giyong Ock, Kyung-Hoon Shin	Seasonal variations of organic carbon fluxes and sources in Geum and Sumjin Rivers, South Korea	국제학술대회	캐나다
2016R1A2B301 5388	201810	9th International Conference on Asian Marine Geology	Daun Kim, Jung-Hyun Kim, Donhun Lee, Sujin Kang, Ji-Hoon Kim, Jiyong Choi, Kyung-Hoon Shin	Distribution and source of sedimentary organic matter in the Yellow Sea	국제학술대회	중국
2016R1A2B301 5388	201810	9th International Conference on Asian Marine Geology	Sujin Kang, Jung-Hyun Kim, Daun Kim, Hyeongsuk Song, Jong-Sik Ryu, Kyung-Hoon Shin	Organic carbon transfer across the open and closed estuary systems: a case study of Geum and Seomjin River systems, South Korea	국제학술대회	중국
2016R1A2B301 5388	201812	American Geophysical Union	Donghun Lee, Jung-Hyun Kim, Sujin Kang, Beomchul Kim, Kyung-Hoon Shin	Evidence of metahnogenesis related to the past fish farming in Lake Soyang	국제학술대회	미국

학위배출인력 성과정보							
과제번호	학위취득연월	학위구분	학위취득자				진로
			성명	성별	대학	학과	
2016R1A2B3 015388	201608	석사	송형석	남성	충남대학교	분석과학기술학과	취직 (Thermofisher Korea)
2016R1A2B3 015388	201702	석사	최혜빈	여성	이화여자대학교	과학교육학과	박사과정진학
2016R1A2B3 015388	201708	석사	김다해	여성	한양대학교	해양융합과학과	박사과정진학
2016R1A2B3 015388	201902	석사	김솔빈	여성	한양대학교	해양융합과학	취업준비 중
2016R1A2B3 015388	201902	석사	김다운	남성	한양대학교	해양융합과학	취직 (해양환경 관리공단)



국내외 과학자교류 성과정보

과제번호	파견유치 기간	인력 교류구분	파견유치 연구자					파견국가 유치자국적	파견유치 목적
			성명	소속기관	직위	최종학위	전공		
2016R1A2B3 015388	20160622~ 20160625	국내유치	Laodong Guo	University of Wisconsin Milwaukee	교수	박사	Chemical Oceanography	미국	정보교환
2016R1A2B3 015388	20170212~ 20170218	국내유치	Germain Bayon	French Research Institute for Exploitation of the Sea	책임연구원	박사	지질학	프랑스	공동연구
2016R1A2B3 015388	20170820~ 20170823	해외파견	류종식	한국기초과학 지원연구원	책임연구원	박사	지질학	프랑스	공동연구
2016R1A2B3 015388	20170820~ 20170823	해외파견	송형석	한국기초과학 지원연구원	대학원생	석사	지구화학	프랑스	공동연구
2016R1A2B3 015388	20180225~ 20180303	국내유치	Germain Bayon	French Research Institute for Exploitation of the Sea	책임연구원	박사	지질학	프랑스	공동연구
2016R1A2B3 015388	20180325~ 20180330	국내유치	Heldge Niemann	Royal Netherlands Institute for Sea Research	책임연구원	박사	Biogeochemistry	유럽	공동연구
2016R1A2B3 015388	20190124~ 20190124	국내유치	Laodong Guo	University of Wisconsin Milwaukee	교수	박사	Biogeochemistry	미국	정보교환

학술회의 개최 성과정보									
과제번호	개최기간	학술회의명	규모			발표자		개최장소	지원금액(원)
			참가국	참가인원	학술회의구분	내국인	외국인		
2016R1A2B30 15388	20170214~ 20170214	한국연구재단 R&D 사업 '강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소의 이동 연구 : 금강 및 섬진강 시스템의 사례 연구'사업 워크숍	3	20		5	1	극지 연구소	600,000
2016R1A2B30 15388	20180227~ 20180228	한국연구재단 R&D 사업 '강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소의 이동 연구 : 금강 및 섬진강 시스템의 사례 연구'사업 워크숍	2	20		5	1	극지 연구소	1,000,000

언론보도성과			
과제번호	2016R1A2B3015388		
보도게재일자	20170528	보도 및 게재매체	중도일보, 20170529 15면
기사제목	국립생태원 강·해양 생태계 연결성 국제워크숍 개최		
관련연구업적	연구 결과 워크숍 발표		

<주관연구책임자(공동연구원 포함) 대표적 연구실적>

○ 논문 및 특허 실적(최대 5개 작성)

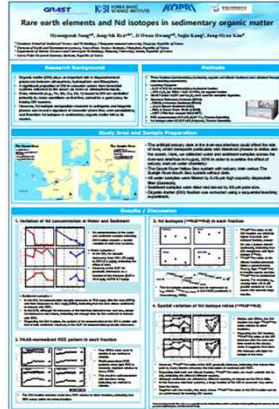
번호	구분 (논문/특허)	논문명/특허명	소속기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국가	논문게재일 /특허등록일	특기사항 (I.F. 등)
1	논문	Source, composition and reactivity of sedimentary organic carbon in the river-dominated marginal seas: A study of the eastern Yellow Sea (the northwestern Pacific)	해양과학기술원 부설 극지연구소	교신	Continental Shelf Research	2016.08.15	1.942
2	논문	Contribution of petroleum-derived organic carbon to sedimentary organic carbon pool in the eastern Yellow Sea (the northwestern Pacific)	해양과학기술원 부설 극지연구소	제1저자, 교신	Chemosphere	2017.02.01	4.427
3	논문	Assessing environmental changes in Lake Shihwa, South Korea, based on distributions and stable carbon isotopic compositions of <i>n</i> -alkanes	해양과학기술원 부설 극지연구소	교신	Environmental Pollution	2018.09	4.358
4	논문	Anthropogenic rare earth elements and their spatial distributions in the Han River, South Korea	한국기초과학지 원연구원	교신	Chemosphere	2017.04.28	4.427
5	논문	Inter-laboratory Comparison of Stable Carbon and Nitrogen Isotopic Composition Data Using Elemental Analyzer-isotope Ratio Mass Spectrometers	해양과학기술원 부설 극지연구소	제1저자, 교신	한국환경 분석학회지	2018.12	

○ 기타실적(논문 및 특허 외의 기타실적 입력)

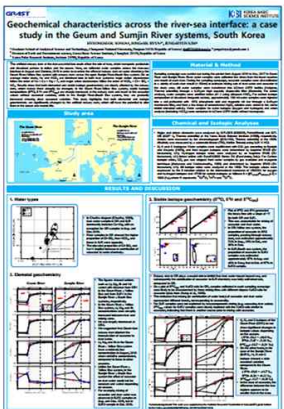
◆ 학술대회 발표실적



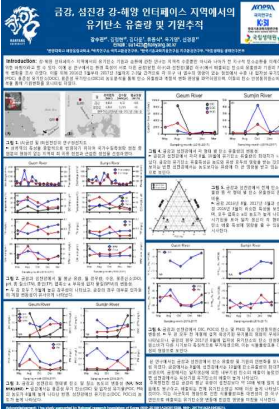
- 2017 추계 지질과학 연합학술대회
- 퇴적물로부터 추출된 유기물질 내 희토류 원소 분석
- 송형석, 류종식, 김정현



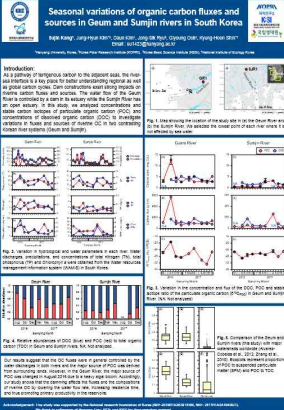
- 2018 YES Symposium
- Development of rare earth elements and neodymium isotope analysis of organic material in sediment
- Hyeongseok Song, Ji Hwan Hwang, Jong-Sik Ryu, Jung-Hyun Kim, Sujin Kang



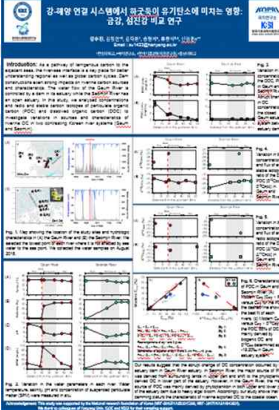
- Goldshmidt 2017
- Geochemical characteristics across the river-sea interface: a case study in the Geum and Sumjin River systems, South Korea
- Hyeongseok Song, Jong-Sik Ryu, Jung-Hyun Kim



- 2018 생태환경과학협의회
- 금강, 섬진강 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소 유출량 및 기원추적
- 강수진, 김정현, 김다운, 류종식, 옥기영, 신경훈
- 우수논문상수상

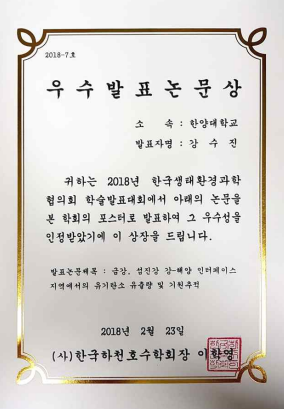


- ASLO Summer Meeting
- Seasonal variations of organic carbon fluxes and sources in Geum and Sumjin rivers in South Korea
- 강수진, 김정현, 김다운, 류종식, 옥기영, 신경훈

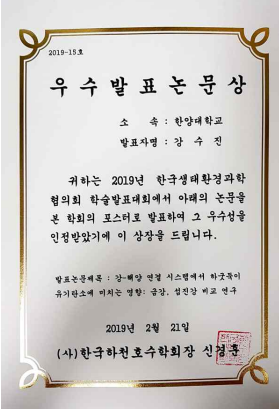


- 2019 생태환경과학협의회
- 강-해양 연결시스템에서 하굿둑이 유기탄소에 미치는 영향: 금강, 섬진강 비교연구
- 강수진, 김정현, 김다운, 송형석, 류종식, 신경훈
- 우수논문상수상

◆ 수상실적

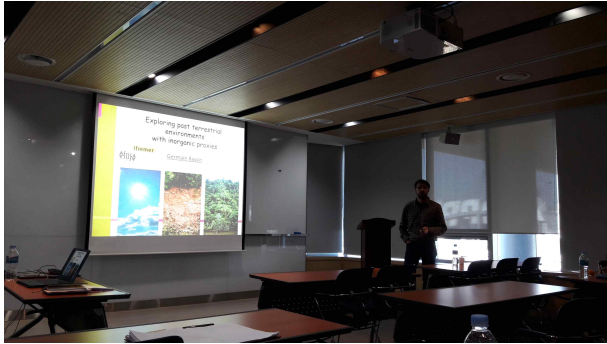


- 2018 생태환경과학협의회
- 금강, 섬진강 강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소 유출량 및 기원추적



- 2019 생태환경과학협의회
- 강-해양 연결시스템에서 하굿둑이 유기탄소에 미치는 영향: 금강, 섬진강 비교연구

◆ 해외 연구자 유치



Dr. Germain Bayon

소속:
French Research Institute for Exploitation of the Sea

한국방문:
20170212~20170218
20180225~20180303



Prof. Laodong Guo

소속:
University of Wisconsin Milwaukee

한국방문:
20160622~20160625
20190124~20190124



〈 대 표 연 구 실 적 요 약 문 〉

대표연구실적 요약문			
연구업적 제목 (논문명/특허명)	Source, composition and reactivity of sedimentary organic carbon in the river-dominated marginal seas: A study of the eastern Yellow Sea (the northwestern Pacific)		
게재지	Continental Shelf Research		
게재연도/등록(출원)연도	2016.08		
주관연구책임자 또는 참여연구원 성명	김정현, 강수진	참여자수	7
SCI 등재 여부	등재	IF 및 피인용횟수 (SCI)	1.942 / 6회
SCOPUS 등재 여부	등재	피인용횟수 (SCOPUS)	9회
요 약 문			
<p>▣ 초록(abstract) 또는 요약문</p> <p>We investigated the source, composition and reactivity of sedimentary organic carbon (OC) in a river-dominated continental marginal sea, the eastern Yellow Sea. A multi-proxy approach was applied to 9 river bank sediments and 69 marine surface sediments, combining bulk and molecular organic parameters. The river bank sediments (n=9) have on average low C/N ratio (4.87 ± 0.5) and enriched $\delta^{13}C_{TOC}$ values ($-21.5 \pm 70.6\text{‰}$) while the BIT index is on average 0.27. These dimentary OC in the marine surface sediments appears to have a predominantly marine origin (on average C/N ratio=7.07 ± 0.6 and $\delta^{13}C_{TOC} = -21.97 \pm 0.5\text{‰}$, n=69) with minor contribution of continental (i.e. soil-and lake/river-derived) OC (on average BIT index=0.007 ± 0.01, n=69). However, the $\Delta^{14}C$ values were depleted (onaverage $-227 \pm 753\text{‰}$, n=8). Accordingly, our results highlight that fossil OC, potentially derived from erosion of sedimentary bedrocks in the catchment areas and/or human activities is being contributed to the sedimentary OC pool in the eastern Yellow Sea. More work is needed to better constrain the source, composition, and age of the organic material supplied to the eastern Yellow Sea, given the lack of biogeochemical data from the Korean rivers.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 공동사사 내용 사업명/지원기관: The Study of Marine Geology and Geological Structures in Korean Jurisdictional Seas/해양수산과학부 			
연구 목표 및 연구내용과의 연관성	기대성과 및 파급 효과		
<p>본 연구는 유기탄소 함량, 탄소 안정동위원소비, 방사성탄소동위원소를 이용해 황해 동부에서의 유기물 조성 및 기원을 판별하고자 하였다.</p> <p>본 논문에서는 황해 동부지역에서 퇴적유기물 내 유기탄소 조성 분포 및 유기물기원을 연구하였다.</p>	<p>지금까지 황해 내 유기탄소 기원 판별연구는 중국 연안의 황해 서부에서 대부분 이루어져왔다. 본 논문에서는 우리나라 연안의 황해 동부지역 유기물 기원에 대해 발표하였다.</p> <p>특히 우리나라 연안 퇴적 유기물에서 방사성탄소동위원소 값을 첫번째로 보고 하였으며, 이 지역에서 오래된 탄소기여를 제시하였다.</p>		

대표연구실적 요약문			
연구업적 제목 (논문명/특허명)	Contribution of petroleum-derived organic carbon to sedimentary organic carbon pool in the eastern Yellow Sea (the northwestern Pacific)		
게재지	Chemosphere		
게재연도/등록(출원)연도	2017.02		
주관연구책임자 또는 참여연구원 성명	김정현	참여자수	6
SCI 등재 여부	등재	IF 및 피인용횟수 (SCI)	4.427 / 2회
SCOPUS 등재 여부	등재	피인용횟수 (SCOPUS)	3회

요 약 문

▣ 초록(abstract) 또는 요약문

We investigated molecular distributions and stable carbon isotopic compositions ($\delta^{13}\text{C}$) of sedimentary *n*-alkanes ($\text{C}_{15}\text{-C}_{35}$) in the riverbank and marine surface sediments to trace natural and anthropogenic organic carbon (OC) sources in the eastern Yellow Sea which is a river dominated marginal sea. Molecular distributions of *n*-alkanes are overall dominated by odd-carbon-numbered high molecular weight *n*- C_{27} , *n*- C_{29} , and *n*- C_{31} . The $\delta^{13}\text{C}$ signatures of *n*- C_{27} , *n*- C_{29} , and *n*- C_{31} indicate a large contribution of C_3 gymnosperms as the main source of *n*-alkanes, with the values of $29.5\pm 1.3\text{‰}$, $30.3\pm 2.0\text{‰}$, and $30.0\pm 1.7\text{‰}$, respectively. However, the contribution of thermally matured petroleum-derived OC to the sedimentary OC pool is also evident, especially in the southern part of the study area as shown by the low carbon preference index (CPI_{25-33} , <1) and natural *n*-alkanes ratio (NAR, <0.6) values. Notably, the even-carbon-numbered long-chain *n*- C_{28} and *n*- C_{30} in this area have higher $\delta^{13}\text{C}$ values ($26.2\pm 1.5\text{‰}$ and $26.5\pm 1.9\text{‰}$, respectively) than the odd-carbon-numbered long-chain *n*- C_{29} and *n*- C_{31} ($28.4\pm 2.7\text{‰}$ and $28.4\pm 2.4\text{‰}$, respectively), confirming two different sources of long-chain nalkanes. Hence, our results highlight a possible influence of petroleum-induced OC on benthic food webs in this ecosystem. However, the relative proportions of the natural and petroleum-derived OC sources are not calculated due to the lack of biogeochemical end-member data in the study area. Hence, more works are needed to constrain the end-member values of the organic material supplied from the rivers to the eastern Yellow Sea and thus to better understand the source and depositional process of sedimentary OC in the eastern Yellow Sea.

- 공동사사 내용

사업명/지원기관: The Study of Marine Geology and Geological Structures in Korean Jurisdictional Seas/해양수산과학부

연구 목표 및 연구내용과의 연관성	기대성과 및 파급 효과
<p>본 연구과제에서는 다양한 유기지화학 지시자를 활용하여 황해 동부에서의 유기물 조성 및 기원을 판별하고자 하였다.</p> <p>본 논문에서는 지질분자생체지표 황해 동부지역에서 퇴적유기물 내 유기탄소 조성 분포 및 유기물기원을 연구하였다.</p>	<p>본 논문에서는 우리나라 연안 퇴적유기물 내 화석연료기원 유기물이 기여했을 수 있음을 제시 하였다. 황해 내부에 화석연료 기원 유기물 기여도 판별을 위한 후속 연구의 필요성을 제시하였다.</p> <p>또한 본 연구 결과는 황해 전체 유기탄소 조성 파악 및 지역적 탄소 순환 연구를 위한 자료로서 활용될 수 있을 것이다.</p>

대표연구실적 요약문			
연구업적 제목 (논문명/특허명)	Assessing environmental changes in Lake Shihwa, South Korea, based on distributions and stable carbon isotopic compositions of <i>n</i> -alkanes		
게재지	Environmental Pollution		
게재연도/등록(출원)연도	2018. 09		
주관연구책임자 또는 참여연구원 성명	김정현, 김다해	참여자수	5
SCI 등재 여부	등재	IF 및 피인용횟수 (SCI)	4.358
SCOPUS 등재 여부	등재	피인용횟수 (SCOPUS)	1회

요약문

▣ 초록(abstract) 또는 요약문

We investigate historical environmental changes in an artificial lake, Lake Shihwa in South Korea, based on bulk (TOC, TN, C/N ratio, $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$, and $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$) and molecular (concentrations and $\delta^{13}\text{C}$ of *n*-alkanes) parameters, by analyzing riverbank sediments ($n = 12$), lake surface sediments ($n=9$), and lake core sediments ($n=108$). Although the bulk organic parameters showed similar characteristics for all lake surface sediment samples, the distribution pattern and $\delta^{13}\text{C}$ of *n*-alkanes revealed distinct differences between 2009 samples and 2012/2016 samples. This change of sedimentary organic matter characteristics can be attributed to operation of the tidal power plant that began in 2011, which improved lake water circulation and thus changed the lake sedimentary environment from anoxic to more oxic conditions. The vertical profiles of bulk and molecular lake sediment core records collected in 2009, especially at the site closest to the dike, showed a drastic shift around 1987, indicating that stronger anoxic sedimentary conditions prevailed after 1987. This is linked to sea dike construction in 1987, which prohibited sea-lake water exchange and thus deteriorated water quality in Lake Shihwa. We conclude that Lake Shihwa has experienced severe environmental changes due to human activities.

• 공동사사 내용

1. 사업명/지원기관: 국립환경과학원 연구용역/국립환경과학원
2. 사업번호/지원기관: NRF-2016R1E1A1A01943004/한국연구재단

연구 목표 및 연구내용과의 연관성	기대성과 및 파급 효과
<p>본 연구과제에서는 국내외 강-해양 인터페이스 지역에서의 과거 환경변화에 따른 유기탄소 기원 변동 연구를 진행하였다.</p> <p>본 논문에서는 국내 강-해양 인터페이스 지역 중 하나인 시화호에서 과거 환경 변동에 따라 퇴적유기물 내 유기물 기원 변동에 대한 연구를 발표하였다.</p>	<p>본 논문에서는 강-해양 인터페이스 환경 변화에 따른 퇴적 유기물 변동을 다양한 유기지화학 인자를 활용하여 살펴보았다.</p> <p>본 연구에 활용된 유기지시자들은 향후 후속 연구에 활용 가능한 인자로서 제시 될 수 있을 것이다.</p>

대표연구실적 요약문			
연구업적 제목 (논문명/특허명)	Anthropogenic rare earth elements and their spatial distributions in the Han River, South Korea		
게재지	Chemosphere		
게재연도/등록(출원)연도	2017.04		
주관연구책임자 또는 참여연구원 성명	류종식, 송형석	참여자수	6
SCI 등재 여부	등재	IF 및 피인용횟수 (SCI)	4.427 / 11회
SCOPUS 등재 여부	등재	피인용횟수 (SCOPUS)	18회

요 약 문

▣ 초록(abstract) 또는 요약문

Rare earth elements (REE) consist of lanthanides (from La to Lu), together with yttrium and scandium, in which anthropogenic REE, such as gadolinium (Gd), lanthanum (La), and samarium (Sm), has emerged as micro-contaminants in natural waters in highly developed countries. Here, we collected water samples in the Han River (HR) and its tributaries flowing through Seoul Capital Area, the world's second largest metropolitan area in order to examine how and to what extent anthropogenic REE anomalies may occur. Water samples show higher light REE concentrations than heavy REE concentrations, while wastewater treatment plant (WWTP) samples display much higher heavy REE concentrations due to high Gd concentration. The PAAS-normalized REE patterns indicate that WWTP samples display the pronounced positive Gd anomalies, in which anthropogenic Gd from magnetic resonance imaging (MRI) diagnostic system occurs as a form of Gd complexation with either Cl or SO₄²⁻. Due to the WWTP, both the HR and tributaries show also positive Gd anomalies and the anthropogenic Gd concentrations increase as a function of the distance from the Paldang dam. This result indicates a positive correlation between population, number of MRI instruments, and positive Gd anomaly. Similarly, positive La and Sm anomalies exist in the HR, indicating that the HR is also affected by their point sources. Based on the discharge rate and anthropogenic REE concentrations, their fluxes are estimated to be 952 ± 319 kg/yr, suggesting that this amount of fluxes could disturb REE distribution in the Yellow Sea, and pose harmful effects on aquatic ecosystems.

• 공동사사 내용

1. 사업번호/지원기관: C36701/한국기초과학지원연구원
2. 사업번호/지원기관: 2013R1A6A9067028/한국연구재단

연구 목표 및 연구내용과의 연관성	기대성과 및 파급 효과
<p>본 연구과제에서는 다양한 무기지화학 지시자를 활용하여 강에서 해양으로 연결되는 환경에서 유기탄소 이동 및 이를 조절하는 자연적, 인위적 요소를 알아보는 연구를 수행하였다.</p> <p>본 논문에서는 한강에서 무기지화학 지시자의 농도 및 분포를 알아보고, 이를 조절하는 인위적 요소에 대해 조사하였다.</p>	<p>무기지화학 지시자는 자연환경 변화를 알아보는 연구에 많이 활용되어왔다. 본 연구에서는 인위적 오염물질 방출에 따른 무기지화학인자의 분포를 확인하였고, 오염원 추적 인자로서 활용가능성을 제시하였다.</p> <p>또한 강을 통한 무기원소의 인위적 방출이 연안 환경 내에서 자연신호를 교란시킬 수 있음을 확인하는 근거자료로 활용될 수 있을 것이다.</p>

대표연구실적 요약문			
연구업적 제목 (논문명/특허명)	Inter-laboratory Comparison of Stable Carbon and Nitrogen Isotopic Composition Data Using Elemental Analyzer-isotope Ratio Mass Spectrometers		
게재지	한국환경분석학회지		
게재연도/등록(출원)연도	2018.12		
주관연구책임자 또는 참여연구원 성명	김정현, 강수진	참여자수	13
SCI 등재 여부	미등재	IF 및 피인용횟수 (SCI)	-
SCOPUS 등재 여부	미등재	피인용횟수 (SCOPUS)	-

요약문

▣ 초록(abstract) 또는 요약문

In this study, inter-laboratory comparison was done using elemental analyzer-isotope ratio mass spectrometers (EA-IRMSs) to determine carbon and nitrogen contents as well as stable carbon and nitrogen isotopic compositions ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of five environmental samples containing lake and marine sediments, higher plant leaves, and fish muscle, and one organic analytical standard (Protein (Casein) Standard OAS). Five national laboratories participated in this comparison study, and each laboratory analyzed all five samples and the analytical standard. Results showed that variations in total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) contents as well as $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$

and $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ values among the laboratories were large compared to the analytical uncertainties. The results highlighted the inhomogeneity of the test samples and thus, the need to select suitable

standard reference materials for future inter-laboratory studies. Further inter-laboratory comparison exercises could promote good measurement practices in the acquisition of stable carbon and nitrogen isotopic composition data.

- 공동사사 내용

사업명/지원기관: Development of practical technique to establish fisheries forensic /해양수산과학부

연구 목표 및 연구내용과의 연관성	기대성과 및 파급 효과
<p>본 연구과제에서는 EA-IRMS를 활용하여 분석하는 탄소 및 질소 함량 이들의 안정동위원소비를 기본적인 유기화학 지시자로 활용하였다.</p> <p>본 논문에서는 국내 유기탄소 순환연구기반 구축을 위하여 활용 기관 간 분석결과 비교 연구를 실시하였다.</p>	<p>유기탄소 이동연구에 탄소 및 질소 안정동위원소와 같은 인자들이 널리 활용되고 있음에도 불구하고 국내에서는 활용 초기단계이다.</p> <p>본 연구논문은 국내 EA-IRMS 활용 기관을 대상으로 한 첫 번째 inter-lab 연구결과를 담고 있으며, EA-IRMS 활용 연구분야 기반마련의 자료로 활용 될 수 있을 것이다.</p>



Contents lists available at ScienceDirect

Continental Shelf Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/csr



Research papers

Source, composition and reactivity of sedimentary organic carbon in the river-dominated marginal seas: A study of the eastern Yellow Sea (the northwestern Pacific)



Suk-Hee Yoon^{a,1}, Jung-Hyun Kim^{a,*}, Hi-Il Yi^b, Masanobu Yamamoto^c, Jong-Ku Gal^a, Sujin Kang^a, Kyung-Hoon Shin^{a,*}

^a Department of Marine Science and Convergence Technology, Hanyang University, ERICA Campus, 55 Hanyangdanghak-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do 426-791, South Korea

^b Marine Environment Research Department, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Ansan 426-744, South Korea

^c Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Kita-10, Nishi-5, Kita-ku, Sapporo 060-0810, Japan

ARTICLE INFO

Article history:
Received 18 March 2016
Received in revised form
8 July 2016
Accepted 17 July 2016
Available online 26 July 2016

Keywords:
Yellow Sea
Sedimentary organic carbon
Suspended particulate matter
Soil organic carbon
Fossil organic carbon
Glycerol dialkyl glycerol tetraethers

ABSTRACT

We investigated the source, composition and reactivity of sedimentary organic carbon (OC) in a river-dominated continental marginal sea, the eastern Yellow Sea. A multi-proxy approach was applied to 9 riverbank sediments and 69 marine surface sediments, combining bulk and molecular organic parameters. The riverbank sediments ($n=9$) have on average low C/N ratio (4.8 ± 0.5) and enriched $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ values ($-21.5 \pm 0.6\text{‰}$) while the BIT index is on average 0.27. The sedimentary OC in the marine surface sediments appears to have a predominantly marine origin (on average C/N ratio = 7.0 ± 0.6 and $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}} = -21.9 \pm 0.5\text{‰}$, $n=69$) with minor contribution of continental (i.e. soil- and lake/river-derived) OC (on average BIT index = 0.00 ± 0.01 , $n=69$). However, the $\Delta^{14}\text{C}$ values were depleted (on average $-227 \pm 53\text{‰}$, $n=8$). Accordingly, our results highlight that fossil OC, potentially derived from erosion of sedimentary bedrocks in the catchment areas and/or human activities is being contributed to the sedimentary OC pool in the eastern Yellow Sea. More work is needed to better constrain the source, composition, and age of the organic material supplied to the eastern Yellow Sea, given the lack of biogeochemical data from the Korean rivers.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Since the anthropogenic era started at 1800 A.D., human activities (e.g. burning of fossil fuel, industrialization, and deforestation) have altered the chemical composition of the atmosphere through the buildup of greenhouse gases, primarily carbon dioxide (CO_2 , IPCC (2013) and references therein). The question raised is how the atmospheric CO_2 increase above preindustrial levels affects the global climate and thus human society. Hence, many of the central issues in research concerning global climate changes involve understanding the exchange of organic carbon (OC) pools in the context of the global carbon budget. Globally, as much as 90% of riverine sediment burial (e.g. Deng et al., 2006)

and of the oceanic OC burial (e.g. Berner, 1982; Hedges and Keil, 1995; Smith et al., 2015) occurs on the river-dominated continental margins. However, the role of the continental marginal seas in the global carbon budget is still debated: a net sink for atmospheric CO_2 or a net CO_2 source to the atmosphere (e.g. Cai and Dai, 2004; Thomas et al., 2004a, 2004b; Borges et al., 2005; Bauer et al., 2013). Therefore, if we are to balance and model successfully CO_2 flux budgets at regional (e.g. Frankignoulle and Borges, 2001) or global scales (e.g. Tsunogai et al., 1999; Le Quééré et al., 2014), we need to first understand the processes related to the origin, composition and quantities of sedimentary OC in these systems (e.g. Hedges, 1992; Hayes et al., 1999; Burdige, 2005). This will improve our knowledge about the global carbon cycle and thus the role of continental marginal seas to the oceanic uptake of anthropogenic CO_2 .

The Yellow Sea (West Sea of Korea) is a semi-enclosed, northwestern Pacific marginal sea into which two of the largest rivers in the world, the Huanghe River (Yellow River) and the Changjiang River (Yangtze River) are flowing. The high terrigenous sediment

* Corresponding authors.

E-mail addresses: jhkim123@hanyang.ac.kr (J.-H. Kim), shinsh@hanyang.ac.kr (K.-H. Shin).

¹ Present address: Department of Fundamental Environment Research, Environmental Measurement & Analysis Center, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, South Korea.

better assess the different sources of terrestrial OC deposited in the eastern Yellow Sea.

6. Conclusions

The C/N ratio (average 7.0 ± 0.6 , $n=69$) and $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ ($-21.9 \pm 0.5\%$, $n=69$) values obtained from the marine surface sediments in the eastern Yellow Sea are not indicative for a dominance of terrestrial OC in the muddy deposits but a predominant marine origin. The low BIT values (average 0.00 ± 0.01 , $n=69$) as well as the branched GDGT concentration data indicate that the continental (i.e. soil- and lake/river-derived) OC contribution is also minor in the muddy deposits. However, the depleted $\Delta^{14}\text{C}$ data (average $-227 \pm 53\%$, $n=8$) suggest that refractory OC, possibly fossil OC weathered from sedimentary bedrocks is being buried in the eastern Yellow Sea. However, it is necessary to study temporal and spatial variations of OC sources and contributions of labile and refractory OC brought by Korean rivers into the Yellow Sea along with the Chinese rivers. This will enable us to better constrain the sources of sedimentary OC in marine sediments and thus to better understand the regional carbon cycle in the Yellow Sea.

Author contributions

KHS and HIY made the research plan. HIY provided the marine surface sediments. SHY, JHK, MY, JKG, and SK contributed to the analysis. JHK led the compilation of the data and the writing.

Acknowledgments

We thank D.-H. Lee (Hanyang University) for his analytical assistance in the laboratory. We also thank to the crew of the R/V *Fardo* for retrieving the cores. This research was a part of the project entitled 'The Study of Marine Geology and Geological Structures in Korean Jurisdictional Seas' funded by the Korean Ministry of Oceans and Fisheries (PMS8731). This work was also supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. 2016R1A2B3015388).

Appendix A. Supplementary material

Supplementary data associated with this article can be found in the online version at <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2016.07.010>.

References

- Alexander, C.R., DeMaster, D.J., Nittrouer, C.A., 1991. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: The Yellow Sea. *Mar. Geol.* 98, 51–72.
- Bauer, J.E., Cai, W.-J., Raymond, P.A., Bianchi, T.S., Hopkinson, C.S., Regnier, P.A.G., 2013. The changing carbon cycle of the coastal ocean. *Nature* 504, 61–70.
- Berner, R.A., 1982. Burial of organic carbon and pyrite sulfur in the modern ocean—its geochemical and environmental significance. *Am. J. Sci.* 282, 451–473.
- Bian, C., Jiang, W., Greathatch, R.J., 2013. An exploratory model study of sediment transport sources and deposits in the Bohai Sea, Yellow Sea, and East China Sea. *J. Geophys. Res. Oceans* 118, 5908–5923.
- Blair, N., Leithold, E.L., Ford, S.T., Peeler, K.A., Holmes, J.C., Perkey, D.W., 2003. The persistence of memory: the fate of ancient sedimentary organic carbon in a modern sedimentary system. *Geochim. Cosmochim. Acta* 67, 63–73.
- Borges, A.V., Delille, B., Frankignoulle, M., 2005. Budgeting sinks and sources of CO_2 in the coastal ocean: Diversity of ecosystems counts. *Geophys. Res. Lett.* 32. <http://dx.doi.org/10.1029/2005GL023053>.
- Burdige, D.J., 2005. Burial of terrestrial organic matter in marine sediments: a re-assessment. *Glob. Biogeochem. Cycle* 19. <http://dx.doi.org/10.1029/2004GB002368>.
- Cai, D., Shi, X., Zhou, W., Liu, W., Zhang, S., Cao, Y., Han, Y., 2003. Sources and transportation of suspended matter and sediment in the southern Yellow Sea: evidence from stable carbon isotopes. *Chin. Sci. Bull.* 48, 21–29.
- Cai, W.J., Dai, M., 2004. Comment on 'Enhanced open ocean storage of CO_2 from shelf sea pumping'. *Science* 306, 1477.
- Chen, C.T.A., Borges, A.V., 2009. Reconciling opposing views on carbon cycling in the coastal ocean: continental shelves as sinks and near-shore ecosystems as sources of atmospheric CO_2 . *Deep-Sea Res. Part II* 56, 678–690.
- De Jonge, C., Stadnitskaya, A., Hopmans, E.C., Cherkashov, G., Fedotov, A., Sinnighe Damsté, J.S., 2014. In situ produced branched glycerol dialkyl glycerol tetraethers in suspended particulate matter from the Yenisei River, Eastern Siberia. *Geochim. Cosmochim. Acta* 125, 476–491.
- Deng, B., Zhang, J., Wu, Y., 2006. Recent sediment accumulation and carbon burial in the East China Sea. *Global Biogeochem. Cycle*, 20. <http://dx.doi.org/10.1029/2005GB002559>.
- Dickens, A.F., Gólinas, Y., Masiello, C.A., Wakeham, S., Hedges, J.L., 2004. Reburial of fossil organic carbon in marine sediments. *Nature* 427, 336–339.
- Drenth, N.J., Montluçon, D.B., Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Eglinton, T.L., 2007. Constraints on the origin of sedimentary organic carbon in the Beaufort Sea from coupled molecular ^{13}C and ^{14}C measurements. *Mar. Chem.* 103, 146–162.
- Ehleringer, J.R., 1989. Carbon isotope ratios and physiological processes in arid land plants. In: Rundel, P.W., et al. (Eds.), *Stable Isotopes in Ecological Research*. Ecological studies 68. Springer Verlag, New York, pp. 41–54.
- Fietz, S., Martínez-García, A., Huguet, C., Rueda, G., Rosó-Melé, A., 2011. Constraints in the application of the branched and isoprenoid tetraether index as a terrestrial input proxy. *J. Geophys. Res.* 116. <http://dx.doi.org/10.1029/2011JC007062>.
- Folk, R.L., Ward, W.C., 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.* 27, 3–26.
- France, R.L., 1995. Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 124, 307–312.
- Frankignoulle, M., Borges, A.V., 2001. European continental shelf as a significant sink for atmospheric carbon dioxide. *Global Biogeochem. Cycle* 15, 569–576.
- Fry, B., Sherr, E.B., 1984. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contrib. Mar. Sci.* 27, 13–47.
- Galy, V., Beyssac, O., France-Lanord, C., Eglinton, T., 2008. Recycling of graphite during Himalayan erosion: a geological stabilization of carbon in the crust. *Science* 322, 943–945.
- Galy, V., Peucker-Ehrenbrink, B., Eglinton, T., 2015. Global carbon export from the terrestrial biosphere controlled by erosion. *Nature* 521, 204–207.
- Goff, M.A., Rüttenberg, K.C., Eglinton, T.L., 1998. A reassessment of the sources and importance of land-derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico. *Geochim. Cosmochim. Acta* 62, 3055–3075.
- Hayes, J.M., Strauss, H., Kaufman, A.J., 1999. The abundance of ^{13}C in marine organic matter and isotopic fractionation in the global biogeochemical cycle of carbon during the past 800 Ma. *Chem. Geol.* 161, 103–125.
- Hedges, J.L., 1992. Global biogeochemical cycles: progress and problems. *Mar. Chem.* 39, 67–93.
- Hedges, J.L., Gades, J.M., 1997. Comparative organic geochemistries of soils and marine sediments. *Org. Geochem.* 27, 319–361.
- Hedges, J.L., Keil, R.G., Benner, R., 1997. What happens to terrestrial organic matter in the ocean? *Org. Geochem.* 27, 195–212.
- Hedges, J.L., Keil, R.G., 1995. Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis. *Mar. Chem.* 49, 81–115.
- Hiederer, R., Köchy, M., 2011. Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database. Publ. Off. E.U., Luxembourg.
- Hong, G.H., Kim, K.T., Pae, S.J., Kim, S.H., Lee, S.H., 1991. Annual cycles of nutrients and dissolved oxygen in a nutrient-rich temperate coastal bay, Chinhae Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 26, 204–222.
- Hopmans, E.C., Schouten, S., Pancost, R., van der Meer, M.T.J., Sinnighe Damsté, J.S., 2000. Analysis of intact tetraether lipids in archaeal cell material and sediments by high performance liquid chromatography/atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 14, 585–589.
- Hopmans, E.C., Weijers, J.W.H., Scheffé, E., Herfurt, L., Sinnighe Damsté, J.S., Schouten, S., 2004. A novel proxy for terrestrial organic matter in sediments based on branched and isoprenoid tetraether lipids. *Earth Planet. Sci. Lett.* 224, 107–116.
- Hu, L., Shi, X.F., Guo, Z.G., Wang, H.J., Yang, Z.S., 2013. Sources, dispersal and preservation of sedimentary organic matter in the Yellow Sea: the importance of depositional hydrodynamic forcing. *Mar. Geol.* 335, 52–63.
- Hu, L., Shi, X., Bai, V., Qian, S., Li, L., Yu, Y., Yang, G., Ma, D., Guo, Z., 2016. Recent organic carbon sequestration in the shelf sediments of the Bohai Sea and Yellow Sea, China. *J. Mar. Syst.* 155, 50–58.
- Huguet, C., Hopmans, E.C., Jébo-Ayala, W., Thompson, D.H., Sinnighe Damsté, J.S., Schouten, S., 2006. An improved method to determine the absolute abundance of glycerol dibiphytanyl glycerol tetraether lipids. *Org. Geochem.* 37, 1036–1041.
- Huguet, C., Smittenberg, R.H., Boer, W., Sinnighe Damsté, J.S., Schouten, S., 2007. Twentieth century proxy records of temperature and soil organic matter input in the Drammensfjord, southern Norway. *Org. Geochem.* 38, 1838–1849.
- IPOC in Climate Change, 2013. The Physical Science Basis. In: Stocker, T.F., et al. (Ed.), *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge Univ. Press, p. 153.5.
- Karlsen, A.W., Schultz, A.C., Warwick, P.D., Podwysoki, S.M., Lovren, V.S., 2001. Coal geology, land use, and human health in the People's Republic of China. U.S.



Contribution of petroleum-derived organic carbon to sedimentary organic carbon pool in the eastern Yellow Sea (the northwestern Pacific)



Jung-Hyun Kim^{a, b, *}, Dong-Hun Lee^a, Suk-Hee Yoon^{a, 1}, Kap-Sik Jeong^c, Bohyung Choi^a,
Kyung-Hoon Shin^{a, **}

^a Department of Marine Science and Convergence Technology, Hanyang UniversityERICA Campus, 57 Hanyangdaehak-ro, Sangnok-gu, Ansan-4, Gyeonggi-do 426-791, South Korea

^b Korea Polar Research Institute, 26 Songdomni-ro, Yeosu-gu, Jecheon 21990, South Korea

^c Marine Geology and Geophysics Division, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Ansan 426-744, South Korea

HIGHLIGHTS

- The contribution of C_{13} gymnosperms is the main source of n -alkanes in the eastern Yellow Sea.
- The contribution of petroleum-derived OC to the sedimentary OC pool is evident in the southern part of the study area.
- Our results indicate a possible influence of petroleum-induced OC on benthic food webs in this ecosystem.

ARTICLE INFO

Article history:
Received 28 June 2016
Received in revised form
19 November 2016
Accepted 20 November 2016
Available online 3 December 2016

Handling Editor: Shane Snyder

Keywords:
The Yellow Sea
 n -alkanes
Petroleum
Carbon isotope
Gymnosperm

ABSTRACT

We investigated molecular distributions and stable carbon isotopic compositions ($\delta^{13}C$) of sedimentary n -alkanes (C_{15} – C_{35}) in the riverbank and marine surface sediments to trace natural and anthropogenic organic carbon (OC) sources in the eastern Yellow Sea which is a river dominated marginal sea. Molecular distributions of n -alkanes are overall dominated by odd-carbon-numbered high molecular weight n - C_{27} , n - C_{29} and n - C_{31} . The $\delta^{13}C$ signatures of n - C_{27} , n - C_{29} and n - C_{31} indicate a large contribution of C_{13} gymnosperms as the main source of n -alkanes, with the values of $-29.5 \pm 1.3\%$, $-30.3 \pm 2.0\%$, and $-30.0 \pm 1.7\%$, respectively. However, the contribution of thermally matured petroleum-derived OC to the sedimentary OC pool is also evident, especially in the southern part of the study area as shown by the low carbon preference index ($CPI_{25-33} < 1$) and natural n -alkanes ratio (NAR, < -0.6) values. Notably, the even-carbon-numbered long-chain n - C_{28} and n - C_{30} in this area have higher $\delta^{13}C$ values ($-26.2 \pm 1.5\%$ and $-26.5 \pm 1.9\%$, respectively) than the odd-carbon-numbered long-chain n - C_{29} and n - C_{31} ($-28.4 \pm 2.7\%$ and $-28.4 \pm 2.4\%$, respectively), confirming two different sources of long-chain n -alkanes. Hence, our results highlight a possible influence of petroleum-induced OC on benthic food webs in this ecosystem. However, the relative proportions of the natural and petroleum-derived OC sources are not calculated due to the lack of biogeochemical end-member data in the study area. Hence, more works are needed to constrain the end-member values of the organic material supplied from the rivers to the eastern Yellow Sea and thus to better understand the source and depositional percent of sedimentary OC in the eastern Yellow Sea.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

* Corresponding author. Korea Polar Research Institute, 26 Songdomni-ro, Yeosu-gu, Jecheon 21990, South Korea.

** Corresponding author.

E-mail addresses: jhkim123@kopri.re.kr (J.-H. Kim), shinsh@hanyang.ac.kr (K.-H. Shin).

¹ Present address: Department of Fundamental Environment Research, Environmental Measurement & Analysis Center, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, South Korea.

and two anonymous reviewers who contributed to the improvement of this manuscript with their suggestions. This research was a part of the project entitled "The Study of Marine Geology and Geological Structures in Korean Jurisdictional Seas" funded by the Korean Ministry of Oceans and Fisheries (PM58731). This work was also supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea government (MSIP) (No. NRF-2016R1A2B3015388).

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data related to this article can be found at <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.110>.

References

- Alexander, C.R., DeMaster, D.J., Nittrouer, C.A., 1991. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: the Yellow Sea. *Mar. Geol.* 98, 51–72.
- Baas, M., Sinnighe Damsté, J.S., 2000. A comparative study of lipids in *Sphagnum* species. *Org. Geochem.* 31, 535–541.
- Balentine, D.C., Macko, S.A., Yurekian, V.C., Gilhooley, W.P., Martinogh, H., 1996. Compound specific isotope analysis of fatty acids and polycyclic aromatic hydrocarbons in aerosols: implications for biomass burning. *Org. Geochem.* 25, 97–104.
- Barnes, M.A., Barnes, W.C., 1978. Organic compounds in lake sediments. In: Lerman, A. (Ed.), *Lakes: Chemistry, Geology, Physics*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 127–152.
- Berner, R.A., 1982. Burial of organic carbon and pyrite sulfur in the modern ocean – its geochemical and environmental significance. *Am. J. Sci.* 282, 451–473.
- Bi, X., Sheng, G., Liu, X., Li, C., Fu, J., 2005. Molecular and carbon and hydrogen isotopic composition of n-alkanes in plant leaf waxes. *Org. Geochem.* 36, 1405–1417.
- Bird, M.J., Simmons, R.E., Gagan, M.K., Roksanovic, Z., Dowling, L., Head, J., Fifield, L.K., Cresswell, R.G., Johnson, D.P., 1995. Terrestrial vegetation change inferred from n-alkane d13C analysis in the marine environment. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 2853–2857.
- Bourbonniere, R.A., Meyers, P.A., 1996. Sedimentary geolipid records of historical changes in the watersheds and productivities of Lakes Ontario and Erie. *Limnol. Oceanogr.* 41, 352–359.
- Braswell, S.C., Eglinton, G., Maxwell, J.R., Philp, R.P., 1978. Natural background of alkanes in the aquatic environment. In: Hutzinger, O., van Lelyveld, J.H., Zöfelman, B.C. (Eds.), *Aquatic Pollutants: Transformation and Biological Effects*. Pergamon Press, Oxford, pp. 69–84.
- Braswell, S.C., Eglinton, G., 1980. Environmental chemistry – an interdisciplinary subject. Natural and pollutant organic compounds in contemporary aquatic environments. In: Alhaiges, J. (Ed.), *Analytical techniques in Environmental Chemistry*. Pergamon, Oxford.
- Bray, E.E., Evans, E.D., 1961. Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta* 22, 2–15.
- Canaul, E.A., Freeman, K.H., Wakeham, S.G., 1992. Isotopic composition of lipid biomarker compounds in estuarine plants and surface sediments. *Limnol. Oceanogr.* 42, 1570–1583.
- Canaul, E.A., Martens, C.S., 1993. Seasonal variations in the sources and accumulation of organic matter associated with recently-deposited sediments. *Org. Geochem.* 20, 563–577.
- Chen, C.T.A., Borges, A.V., 2009. Reconciling opposing views on carbon cycling in the coastal ocean: continental shelves as sinks and near-shore ecosystems as sources of atmospheric CO₂. *Deep Sea Res. Part II* 56, 578–590.
- Chikarashi, Y., Naraoka, H., 2003. Compound-specific δD–δ¹³C analyses of n-alkanes extracted from terrestrial and aquatic plants. *Phytochemistry* 63, 361–371.
- Collister, J.W., Rieley, G., Stern, B., Eglinton, G., Fry, B., 1994. Compound-specific δ¹³C analyses of leaf lipids from plants with differing carbon dioxide metabolisms. *Org. Geochem.* 21, 619–627.
- Collister, J.W., Simmons, R.E., Lichtfouse, E., Hayes, J.M., 1992. An isotopic biogeochemical study of the Green River oil shale. *Org. Geochem.* 19, 265–276.
- Crawwell, P.A., 1973. Chain-length distribution of n-alkanes from lake sediments in relation to post-glacial environmental change. *Freshw. Biol.* 3, 259–265.
- Crawwell, P.A., 1984. Lipid geochemistry of sediments from Upton Broad, a small productive lake. *Org. Geochem.* 7, 25–37.
- Crawwell, P.A., Eglinton, G., Robinson, H., 1987. Lipids of aquatic organisms as potential contributors to lacustrine sediments – II. *Org. Geochem.* 11, 513–527.
- Eglinton, G., Hamilton, R.J., 1967. Leaf epicuticular waxes. *Science* 156, 1322–1335.
- Ficken, K.J., Li, H., Swain, D.L., Eglinton, G., 2000. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. *Org. Geochem.* 31, 745–749.
- Freeman, K.H., Hayes, J.M., Trendel, J.M., Albrecht, P., 1990. Evidence from carbon isotope measurements for diverse origins of sedimentary hydrocarbons. *Nature* 343, 254–256.
- Garcin, Y., Schwab, V.E., Gleixner, G., Kahmen, A., Todou, G., Séné, O., Onana, J.-M., Achoundong, G., Sachse, D., 2012. Hydrogen isotope ratios of lacustrine sedimentary n-alkanes as proxies of tropical African hydrology: insights from a calibration transect across Cameroon. *Geochim. Cosmochim. Acta* 79, 106–126.
- Gough, M.A., Rowland, S.J., 1990. Characterization of unresolved complex mixture of hydrocarbons in petroleum. *Nature* 344, 648–650.
- Grimalt, J., Alhaiges, J., 1987. Sources and occurrence of C₁₂–C₂₂ n-alkane distributions with even carbon-number preference in sedimentary environments. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 1379–1384.
- Han, J., Calvin, M., 1969. Hydrocarbon distribution of algae and bacteria and microbiological activity in sediments. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)* 64, 436–443.
- Hart, J., McCarthy, E.D., Van Hoveen, W., Calvin, M., Bradley, W.H., 1968. Organic geochemical studies. II. A preliminary report on the distribution of aliphatic hydrocarbons in algae, in bacteria, and in a recent lake sediment. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)* 59, 29–33.
- Hayes, J.M., 1993. Factors controlling ¹³C contents of sedimentary organic compounds: principles and evidence. *Mar. Geol.* 113, 111–125.
- Hedges, J.L., Keil, R.G., Benner, R., 1997. What happens to terrestrial organic matter in the ocean? *Org. Geochem.* 27, 195–212.
- Hu, L., Guo, Z., Feng, J., Yang, Z., Fang, M., 2009. Distributions and sources of bulk organic matter and aliphatic hydrocarbons in surface sediments of the Bohai Sea, China. *Mar. Chem.* 113, 197–211.
- Huang, Y., Street-Perrott, E.A., Perrott, R.A., Meibzer, P., Eglinton, G., 1989. Glacial-interglacial environmental changes inferred from molecular and compound-specific δ¹³C analyses of sediments from Sacred Lake, Mt. Kenya. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53, 1383–1404.
- Jaffe, R., Mead, R., Hernandez, M.E., Perálba, M., DiGiuda, O.A., 2001. Origin and transport of sedimentary organic matter in two subtropical estuaries: a comparative, biomarker-based study. *Org. Geochem.* 32, 507–526.
- Jeng, W.L., Huh, C.A., 2004. Lipids in suspended matter and sediments from the East China Sea Shelf. *Org. Geochem.* 35, 647–660.
- Kristen, I., Wilkes, H., Vietz, A., Zink, K.G., Plessen, B., Thorpe, J., Partridge, T.C., Oberhanli, H., 2010. Biomarker and stable carbon isotope analyses of sedimentary organic matter from Lake Taiwaig: evidence for deglaciated wetness and early Holocene drought from South Africa. *J. Paleolimnol.* 44, 143–160.
- Mazurek, M.A., Simoneit, B.R.T., 1984. Characterization of biogenic and petroleum-derived organic matter in aerosols over remote, rural and urban areas. In: Ienthi, J.H. (Ed.), *Identification and Analysis of Organic Pollutants in Air*. Ann Arbor Science/Butterworth, Boston, pp. 353–370.
- Mead, R., Xu, Y., Chong, J., Jaffe, R., 2006. Sediment and soil organic matter source assessment as revealed by the molecular distribution and carbon isotopic composition of n-alkanes. *Org. Geochem.* 36, 363–370.
- Meyers, P.A., Ishiwatari, R., 1983. The early diagenesis of organic matter in lacustrine sediments. In: Engel, M., Macko, S.A. (Eds.), *Organic Geochemistry*. Plenum, New York, pp. 185–209.
- Mülle, G., Aya, L., Guiliano, M., Mülleret, L., Doumenq, P., 2002. Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean Sea (Gulf of Fos area, France). *Mar. Pollut. Bull.* 54, 566–575.
- Milliman, J.D., Syvitski, J.P., 1992. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *J. Geol.* 525–544.
- Ogura, K., Machihara, T., Takada, H., 1990. Diagenesis of biomarkers in Bwa lake sediments over 1 million years. *Org. Geochem.* 16, 805–811.
- Pedentchouk, N., Sumner, W., Tipple, B., Pagani, M., 2008. δ¹³C and δD compositions of n-alkanes from modern angiosperms and conifers: an experimental set up in central Washington State, USA. *Org. Geochem.* 39, 1066–1071.
- Poynter, J.G., Eglinton, G., 1990. The molecular composition of three sediments from Hole 717C, the Bengal fan. In: Cochran, J.R., Stow, D.A.V. (Eds.), *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results Section*, 116, pp. 155–161.
- Prahl, F.G., Ertel, J.R., Goni, M.A., Sparrow, M.A., Eversmeyer, B., 1994. Terrestrial organic carbon contributions to sediments on the Washington margin. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58, 3035–3048.
- R Development Core Team, 2015. *R: a language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.
- Rommerskirchen, F., Plader, A., Eglinton, G., Chikarashi, Y., Illkötter, J., 2006. Chemotaxonomic significance of distribution and stable isotopic composition of long-chain alkanes and alkan-1-ols in C₄ grass waxes. *Org. Geochem.* 37, 1303–1322.
- Scarlett, A., Galloway, T.S., Rowland, S.J., 2002. Chronic toxicity of unresolved complex mixtures (UCM) of hydrocarbons in marine sediments. *J. Soils Sediments* 7, 200–206.
- Schouten, S., Klein Breteler, W.C.M., Blokker, P., Schout, N., Rijpstra, W.L.C., Grice, K., Baas, M., Sinnighe Damsté, J.S., 1998. Biosynthetic effects on the stable carbon isotopic compositions of algal lipids: implications for deciphering the carbon isotopic biomarker record. *Geochim. Cosmochim. Acta* 62, 1357–1406.
- Sikes, E.L., Uhlir, M.E., Nodder, S.D., Howard, M.E., 2009. Sources of organic matter in a coastal marine environment: Evidence from n-alkanes and their δ¹³C distributions in the Hauraki Gulf, New Zealand. *Mar. Chem.* 113, 149–163.
- Simoneit, B.R.T., 1984. Organic matter of the troposphere. III. Characterization and sources of petroleum and pyrogenic residues in aerosols over the western United States. *Atmos. Environ.* 18, 51–62.
- Simoneit, B.R.T., Chester, R., Eglinton, G., 1977. Biogenic lipids in particulates from the lower atmosphere over the eastern Atlantic. *Nature* 262, 682–685.
- Smith, E., Wraage, E., Donkin, P., Rowland, S., 2001. Hydrocarbon humps in the marine environment: synthesis, toxicity, and aqueous solubility of



Assessing environmental changes in Lake Shihwa, South Korea, based on distributions and stable carbon isotopic compositions of *n*-alkanes



Dahae Kim^a, Jung-Hyun Kim^{b,*}, Min-Seob Kim^c, Kongtae Ra^d, Kyung-Hoon Shin^{a,**}

^a Department of Marine Sciences and Convergent Technology, Hanyang University, 55 Hanyangdanghak-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, 15588, South Korea

^b Korea Polar Research Institute, 26 Songdome-ro, Yeosu-si, Jeonnam, 27900, South Korea

^c Environmental Monitoring and Analysis Center, National Institute of Environmental Research, 42 Hwangryong-ro, Seo-gu, Incheon, 22689, South Korea

^d Marine Chemistry and Geochemistry Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, 385 Hanyang-ro, Yeongdo-gu, Busan, 49111, South Korea

ARTICLE INFO

Article history:
Received 15 December 2017
Received in revised form
17 April 2018
Accepted 23 April 2018
Available online 4 May 2018

Keywords:
Lake Shihwa
Sedimentary organic matter
n-alkanes
Stable carbon isotope
Dike construction
Tidal power plant

ABSTRACT

We investigate historical environmental changes in an artificial lake, Lake Shihwa in South Korea, based on bulk (TOC, TN, C/N ratio, $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ and $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$) and molecular (concentrations and $\delta^{13}\text{C}$ of *n*-alkanes) parameters, by analyzing riverbank sediments ($n = 12$), lake surface sediments ($n = 9$), and lake core sediments ($n = 108$). Although the bulk organic parameters showed similar characteristics for all lake surface sediment samples, the distribution pattern and $\delta^{13}\text{C}$ of *n*-alkanes revealed distinct differences between 2009 samples and 2012/2016 samples. This change of sedimentary organic matter characteristics can be attributed to operation of the tidal power plant that began in 2011, which improved lake water circulation and thus changed the lake sedimentary environment from anoxic to more oxic conditions. The vertical profiles of bulk and molecular lake sediment core records collected in 2009, especially at the site closest to the dike, showed a drastic shift around 1987, indicating that stronger anoxic sedimentary conditions prevailed after 1987. This is linked to sea dike construction in 1987, which prohibited sea-lake water exchange and thus deteriorated water quality in Lake Shihwa. We conclude that Lake Shihwa has experienced severe environmental changes due to human activities.

© 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The Shihwa reclamation project was initiated in June 1987, when it was the second largest tidal land fill project conducted on the west coast of South Korea (with a total area of 133.7 km²). An artificial lake, Lake Shihwa (surface area of 56.5 km², drainage basin of 476.5 km², total reservoir volume of 332 million tons), was created by sea dike construction (12.7 km long) in January 1994. The original purpose of Lake Shihwa was to serve as a fresh water resource for agricultural and industrial uses. However, dike construction threatened the lake water quality due to insufficient water circulation and the continuous inflow of anthropogenic pollutants from surrounding national industrial complexes, as well as agricultural and urban areas (e.g. Khim et al., 1999; KORDI, 1999;

Li et al., 2004; Hong et al., 2010). Accordingly, Lake Shihwa area is known as one of the most polluted coastal areas in South Korea. To ameliorate the lake environment through enhanced water circulation, as well as to produce self-supplying electricity, the Shihwa tidal power plant was constructed and began operating in 2011.

A previous study in Lake Shihwa showed that metal pollution by Cu, Zn, and Cd increased after 1980 due to operation of national industrial complexes and dike construction (Ra et al., 2011). Several follow-up studies have shown that operation of the tidal power plant has improved water quality in Lake Shihwa (e.g. Ra et al., 2013). However, various organic pollutants (e.g. polycyclic aromatic hydrocarbons) are still found in Lake Shihwa, indicating a continuous pollution risk in Lake Shihwa (e.g. Moon et al., 2012; Khim and Hong, 2014; Lee et al., 2017a). Hence, the sources and

* Corresponding author.

** Corresponding author.

E-mail addresses: jhkim1234@kopi.re.kr (J.-H. Kim), shinsh@hanyang.ac.kr (K.-H. Shin).

even-carbon-numbered short-chain *n*-alkanes (*n*-C₁₈ to *n*-C₂₂) (Fig. 6). Odd-carbon-numbered short chain *n*-alkanes (C₁₅ to C₁₉) are typical of an aquatic algal and photosynthetic bacterial input, maximizing at *n*-C₁₇, whereas non-photosynthetic bacterial sources are dominated by even-carbon-numbered short-chain *n*-alkanes such as *n*-C₁₈ (e.g. Han and Calvin, 1969; Meyers and Ishiwatari, 1993; Jeng and Huh, 2008). Consequently, higher values of *n*-C₁₈ over *n*-C₁₇ (i.e. >1) in our samples indicate a higher contribution of non-photosynthetic bacteria. However, in the upper portion of cores SH9 and SH13 after 1987, the relative abundances of C₂₇ were much lower than before 1987, while the difference was small in core SH4 (Fig. 6). CPI_{15–35} and NAR values in the upper portion of cores SH9 and SH13 were also lower after 1987 (1.3 and -0.7, respectively) than before 1987 (5.2 and -0.4, respectively). This suggests that petroleum-derived *n*-alkane contributions to sedimentary *n*-alkanes were higher after 1987.

To verify the major distributions of *n*-alkanes, a principal components analysis (PCA) on the fractional abundances of all *n*-alkanes was performed for each core (Fig. 9C–D). The first two principal components explained a cumulative variance of 42% for SH4, 57% for SH9, and 53% for SH13. Notably, for the first principal component (PC1), the loading of C₂₇ was opposite to that of all other odd-carbon-numbered long-chain *n*-alkanes (*n*-C₂₉ to *n*-C₃₅) for cores SH9 and SH13. However, this pattern was not observed for core SH4, with the loading of short-chain *n*-alkanes (*n*-C₁₆ to *n*-C₂₀) opposite to that of all other mid- to long-chain *n*-alkanes (*n*-C₂₁ to *n*-C₃₅). We also performed a hierarchical clustering of principal components (HCPC) on the PCA results to cluster samples with similar distributions of *n*-alkanes. All three lake sediment cores were clearly divided into two groups: before and after 1987 (Fig. 9C–D).

In general, the average $\delta^{13}\text{C}$ values of *n*-C₂₀ and *n*-C₂₂ before and after 1987 were very similar for all three cores, with a narrow range of -26.7 to -25.1‰ and -26.9 to -26.4‰, respectively (Fig. 6). Nevertheless, the average $\delta^{13}\text{C}$ value of *n*-C₂₀ before 1987 (-30.1 ± 2.9‰) was more depleted in core SH9 than after 1987 (-26.5‰). The average $\delta^{13}\text{C}$ values of *n*-C₂₇ before and after 1987 were also comparable for all three cores, ranging from -31.8 to -30.6‰ (Fig. 6). However, the average $\delta^{13}\text{C}$ value of *n*-C₂₇ in core SH4 was somewhat higher than in cores SH9 and SH13, with a value of -27.8 ± 2.5‰ before 1987 (Fig. 6). This indicates that *n*-alkanes at the sites of cores SH4 and SH9 might have derived from different sources before and after 1987.

5. Conclusions

The artificial Lake Shihwa in South Korea has steadily been affected by continuous organic matter inputs from surrounding areas (industrial, urban, rural, and reed wetland areas). The bulk (TOC, TN, C/N ratio, $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$) and molecular (distributions and $\delta^{13}\text{C}$ of *n*-alkanes) parameters obtained from the lake surface sediments collected in 2009, 2012, and 2016 showed a distinctive shift in organic matter composition after operation of the tidal power plant began in 2011, changing the lake sedimentary environment from anoxic to more oxic conditions. Our vertical profiles of bulk and molecular data indicated an historical change in Lake Shihwa, reflected by a drastic shift around 1987. This environmental change may be associated with dike reconstruction in 1987, which led to a more anoxic environment in Lake Shihwa and thus deterioration of the water quality. Accordingly, our data suggests that the level of dissolved oxygen in the water column might be an important factor controlling the carbon chain length distribution and the isotopic composition of burial *n*-alkanes in sediments.

Acknowledgements

We are grateful for constructive comments on the previous version of this manuscript by Yoshito Chikaraishi and one anonymous reviewer. We thank J.-K. Gal, D.-H. Lee, B. Choi, and S. Kang for their analytical assistance in the laboratory. This research was funded by the National Institute of Environmental Research (NIER). This work was also supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grants funded by the Ministry of Science and Innovation, New Zealand – South Korea (NRF-2016R1A2B3015388 (KOPRI-PN17100) and NRF-2016R1E1A1A01943004).

References

- Bray, E.E., Evans, E.D., 1961. Distribution of *n*-paraffins as a clue to recognition of source rocks. *Geochem. Cosmochim. Acta* 22, 2–15.
- Choi, W.J., Wu, H.M., Chang, S.X., 2005. Carbon isotope composition of *Phragmites australis* in a constructed saline wetland. *Aquat. Bot.* 82, 27–38.
- Collister, J.W., Rieley, G., Stern, B., Eglinton, G., Fry, B., 1994. Compound-specific $\delta^{13}\text{C}$ analyses of leaf lipids from plants with differing carbon dioxide metabolisms. *Org. Geochem.* 21, 619–622.
- Crawwell, P.A., Eglinton, G., Robinson, N., 1987. Lipids of aquatic organisms as potential contributors to lacustrine sediments – II. *Org. Geochem.* 11, 513–522.
- Eglinton, G., Hamilton, F.J., 1967. Leaf epicuticular waxes. *Science* 156, 1322–1335.
- Ekpo, B.O., Oyo-Ita, O.E., Welner, H., 2005. Even-*n*-alkane/alkene predominance in surface sediments from the Calabar River, SE Niger Delta, Nigeria. *Naturwissenschaften* 92, 341–344.
- Elias, V.O., Simoneit, B.R.T., Cardoso, J.N., 1997. Even-*n*-alkane predominance on the Amazon shelf and a Northeast Pacific hydrothermal system. *Naturwissenschaften* 84, 415–420.
- Fry, B., Sherr, E.B., 1984. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contrib. Mar. Sci.* 27, 13–42.
- Gough, M.A., Rowland, S.J., 1990. Characterization of unresolved complex mixture of hydrocarbons in petroleum. *Nature* 344, 648–650.
- Grimalt, J., Albaiges, J., 1982. Sources and occurrence of C₁₂–C₂₂ *n*-alkane distributions with even carbon-number preference in sedimentary environments. *Geochem. Cosmochim. Acta* 51, 1379–1384.
- Han, J., Calvin, M., 1969. Hydrocarbon distribution of algae and bacteria and microbiological activity in sediments. *Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States Am.* 64, 436–443.
- Han, J., McCarthy, E.D., Van Hoesen, W., Calvin, M., Bradley, W.H., 1968. Organic geochemical studies. II. A preliminary report on the distribution of aliphatic hydrocarbons in algae, in bacteria, and in a recent lake sediment. *Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States Am.* 59, 29–33.
- Hong, S., Won, E.J., Ju, H.J., Kim, M.S., Shin, K.H., 2010. Current nonylphenol pollution and the past 30 years record in an artificial lake Shihwa, Korea. *Mar. Pollut. Bull.* 60, 303–313.
- Jeng, W.-L., Huh, C.-A., 2008. A comparison of sedimentary aliphatic hydrocarbon distribution between East China Sea and southern Okinawa Trough. *Continental Shelf Res.* 28, 582–592.
- Khim, J.S., Hong, S., 2014. Assessment of trace pollutants in Korean coastal sediments using the triad approach: a review. *Sci. Total Environ.* 470, 1450–1462.
- Khim, J.S., Villeneuve, D.L., Kannan, K., Lee, K.T., Snyder, S.A., Koh, C.H., Giesy, J.P., 1999. Alkylphenols, polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorines in sediment from Lake Shihwa, Korea: instrumental and bioanalytical characterization. *Environ. Toxicol. Chem.* 18, 2424–2432.
- Kim, J.-H., Lee, D.-H., Yoon, S.-H., Jung, K.-S., Choi, B., Shin, K.-H., 2017. Contribution of petroleum-derived organic carbon to sedimentary organic carbon pool in the eastern Yellow Sea (the northwestern Pacific). *Chemosphere* 168, 1389–1399.
- Kim, M.-S., Lee, W.-S., Kumar, K., Shin, K.-H., Roharge, W., Kim, M., Lee, S., 2016. Effects of HCl pretreatment, drying, and storage on the stable isotope ratios of soil and sediment samples. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 30, 1567–1575.
- KORDI (Korea Ocean Research and Development Institute) 1993. A Study on Environmental Changes of Shihwa Lake by Outer Seawater Inflow (3rd Year). KORDI Report, Ansan, Korea, 303pp.
- Kuhn, T.K., Krull, E.S., Bowater, A., Grice, K., Gleitner, G., 2010. The occurrence of short chain *n*-alkanes with an even over odd predominance in higher plants and soils. *Org. Geochem.* 41, 88–95.
- Lee, J., Hong, S., Yoon, S.J., Kwon, B.-O., Ryu, J., Giesy, J.P., Allam, A.A., Alkhedhairy, A.A., Khim, J.S., 2017a. Long-term changes in distributions of dioxin-like and estrogenic compounds in sediments of Lake Shihwa, Korea: revisited mass balance. *Chemosphere* 177, 767–777.
- Lee, Y., Huh, J., Shin, K.H., 2014. Characterization and source identification of organic matter in view of land uses and heavy rainfall in the Lake Shihwa, Korea. *Mar. Pollut. Bull.* 84, 322–329.
- Lee, Y., Hong, S., Kim, M.-S., Kim, D., Choi, B.-H., Huh, J., Khim, J., Shin, K.-H., 2017b. Identification of sources and seasonal variability of organic matter in Lake Shihwa and surrounding inland creeks, South Korea. *Chemosphere* 177, 109–119.
- Li, D., Kim, M., Oh, J.-R., Park, J., 2004. Distribution characteristics of nonylphenols in



Anthropogenic rare earth elements and their spatial distributions in the Han River, South Korea



Hyeongseok Song^{a, b, 1}, Woo-Jin Shin^{b, 1}, Jong-Sik Ryu^{a, b, *}, Hyung Seon Shin^b, Heesun Chung^a, Kwang-Sik Lee^{a, b}

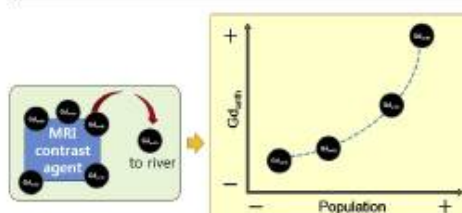
^a Graduate School of Analytical Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

^b Division of Earth and Environmental Sciences, Korea Basic Science Institute, Chungbuk 28119, Republic of Korea

HIGHLIGHTS

- We collected water samples in the Han River and its tributaries, South Korea.
- We investigated how and to what extent anthropogenic REE anomalies occur.
- Water samples display the pronounced Gd anomaly as well as La and Sm anomalies.
- Total REE_{anth} fluxes are estimated to be 952 ± 319 kg/yr.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:

Received 2 August 2016

Received in revised form

26 December 2016

Accepted 27 December 2016

Available online 29 December 2016

Handling Editor: Martine Leermakers

Keywords:

Gd anomaly

La and Sm anomalies

Magnetic resonance imaging

Han River

South Korea

ABSTRACT

Rare earth elements (REE) consist of lanthanides (from La to Lu), together with yttrium and scandium, in which anthropogenic REE, such as gadolinium (Gd), lanthanum (La), and samarium (Sm), has emerged as micro-contaminants in natural waters in highly developed countries. Here, we collected water samples in the Han River (HR) and its tributaries flowing through Seoul Capital Area, the world's second largest metropolitan area in order to examine how and to what extent anthropogenic REE anomalies may occur. Water samples show higher light REE concentrations than heavy REE concentrations, while wastewater treatment plant (WWTP) samples display much higher heavy REE concentrations due to high Gd concentration. The PAAS-normalized REE patterns indicate that WWTP samples display the pronounced positive Gd anomalies, in which anthropogenic Gd from magnetic resonance imaging (MRI) diagnostic system occurs as a form of Gd complexation with either Cl^- or SO_4^{2-} . Due to the WWTP, both the HR and tributaries show also positive Gd anomalies and the anthropogenic Gd concentrations increase as a function of the distance from the Paldang dam. This result indicates a positive correlation between population, number of MRI instruments, and positive Gd anomaly. Similarly, positive La and Sm anomalies exist in the HR, indicating that the HR is also affected by their point sources. Based on the discharge rate and anthropogenic REE concentrations, their fluxes are estimated to be 952 ± 319 kg/yr, suggesting that this amount of fluxes could disturb REE distribution in the Yellow Sea, and pose harmful effects on aquatic ecosystems.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

* Corresponding author. Division of Earth and Environmental Sciences, Korea Basic Science Institute, Chungbuk 28119, Republic of Korea.

E-mail address: jongsikryu@gmail.com (J.-S. Ryu).

¹ Both authors equally contributed to this work as co-first authors.

1. Introduction

Magnetic resonance imaging (MRI) diagnostic system, as a powerful medical imaging technique, has been used to investigate

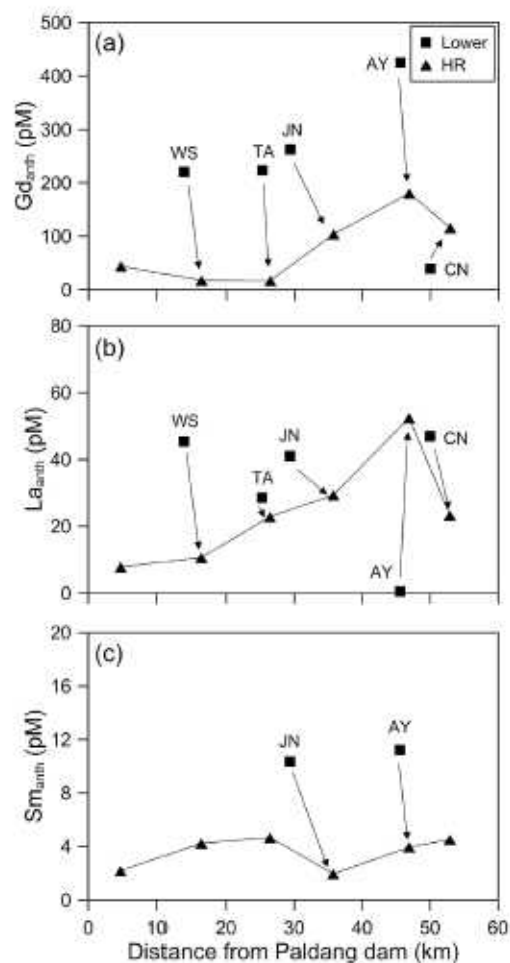


Fig. 6. Variations of anthropogenic Gd (a), anthropogenic La (b), and anthropogenic Sm (c) as a function of the distance from Paldang dam.

2013). Nonetheless, the results show that positive La and Sm anomalies occur in the HR (Table 4), indicating that the HR is affected by point sources releasing anthropogenic La and Sm. The La_{anth} concentrations in the HR samples, ranging from 7.88 pM to 52.4 pM, gradually increase as a function of the distance from the Paldang dam (Fig. 6b), while the Sm_{anth} concentrations are consistent (Fig. 6c). It implies that point sources of anthropogenic La would be scattered in the study area. Therefore, further studies are needed to explore more in details what kinds of point source exist in the HR basin. Furthermore, as discussed above, although WWTP could remove amount of anthropogenic La and Sm, remained La and Sm in river water also cause the REE distribution be disturbed in coastal waters and semi-closed sea basins as anthropogenic Gd. Based on the discharge rate, and La_{anth} and Sm_{anth} concentrations, the total annual fluxes of them range from 127 kg/yr to 260 kg/yr, with an average of 193 kg/yr, suggesting that this amount of the fluxes in the HR could affect REE distribution in the Yellow Sea, and pose harmful effects on aquatic ecosystems as

the Gd_{anth} mentioned above. Therefore, further studies are needed to investigate the REE distribution in the Yellow Sea in order to evaluate the effects of anthropogenic REEs.

6. Conclusions

We collected water samples in the Han River (HR) and its tributaries flowing through the Seoul Capital Area, the world's second largest metropolitan area with over 25 million people, in order to investigate how and to what extent anthropogenic REE anomalies may occur. River water samples have LREE concentrations, ranging from 145 pM to 3294 pM, are about 3 times as high as HREE concentrations, ranging from 99 pM to 668 pM, with the enrichment of LREE, while wastewater treatment plant (WWTP) samples display the HREE enrichment due to high Gd concentration and the LREE removal during water treatment process. The PAAS-normalized REE patterns indicate that water samples display the pronounced positive Gd anomalies, ranging from 1.2 to 2.97, suggesting that anthropogenic Gd is derived from magnetic resonance imaging (MRI) diagnostic system. Due to the input of WWTP effluent, anthropogenic Gd concentrations increase as a function of the distance from the Paldang dam, indicating a positive correlation between population, number of MRI instruments, and positive Gd anomaly. Similarly, positive La and Sm anomalies also occur in the HR although positive La and Sm anomalies are not as high as Gd anomaly. Total fluxes of anthropogenic REEs in the HR range from 727 kg/yr to 1178 kg/yr, indicating that this amount of anthropogenic REEs could disturb the REE distribution in the Yellow Sea, and pose harmful effects on aquatic ecosystems.

Acknowledgement

This work was supported by the KBSI grant (C36701) and the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP; No. 2016R1A2B3015388 and 2013R1A6A9067028). Thoughtful comments from two anonymous reviewers greatly improved the manuscript. We thank the Associate Editor Martine Leermakers for handling the manuscript.

References

- Alibo, D.S., Nozaki, Y., 1998. Rare earth elements in seawater: particle association, shale-normalization, and Ce oxidation. *Geochim. Cosmochim. Acta* 63, 363–372.
- Ariet, S., Valladon, M., Poive, M., Dupré, B., 2000. A routine method for oxide and hydroxide interference corrections in ICP-MS chemical analysis of environmental and geological samples. *Geostand. Newsl.* 24, 19–31.
- Bai, M., Dulski, P., 1996a. Anthropogenic origin of positive gadolinium anomalies in river waters. *Earth Planet. Sci. Lett.* 143, 245–255.
- Bai, M., Dulski, P., 1996b. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the penge and karuman iron formations, transvaal supergroup, South Africa. *Precambrian Res.* 79, 37–55.
- Bai, M., Knappe, A., Dulski, P., 2006. Anthropogenic gadolinium as a micropollutant in river waters in Pennsylvania and in Lake Erie, northeastern United States. *Chem. Erde Geochem.* 66, 143–152.
- Byrne, R., Sholkovitz, E., 1986. Marine chemistry and geochemistry of the lanthanides. In: *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*, vol. 23, pp. 487–593.
- Ceni, P., Sprovieri, M., Saiano, F., Di Germino, S.I., Laroica, D., Piacenti, F., 2007. The behaviour of REEs in Thailand's Mae Kong estuary: suggestions from the Y/Ho ratios and lanthanide tetrad effects. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 71, 569–573.
- Ceni, P., Zuddas, P., Randazzo, L., Saiano, F., Marzola, S., Arico, P., Cuttrite, A., Punturo, R., 2010. Influence of dissolved organic matter on rare earth elements and yttrium distributions in coastal waters. *Chem. Ecol.* 26, 123–135.
- Darrah, T.H., Campbell, M.E., Frustrman-Pfeiffer, J.J., Poreda, R.J., Hannigan, R.E., 2013. Trace Element Composition of Modern Human Bone. *Medical Geochemistry*. Springer, pp. 167–191.
- Darrah, T.H., Frustrman-Pfeiffer, J.J., Poreda, R.J., Campbell, M.E., Hauschka, P.V., Hannigan, R.E., 2009. Incorporation of excess gadolinium into human bone from medical contrast agents. *Metallomics Integr. Biometal Sci.* 1, 479–488.
- Emley, J., 2011. *Nature's Building Blocks: an A-Z Guide to the Elements*. Oxford University Press.

Inter-laboratory Comparison of Stable Carbon and Nitrogen Isotopic Composition Data Using Elemental Analyzer-isotope Ratio Mass Spectrometers

Jung-Hyun Kim^{1,†}, Sujin Kang², Yeon-Sik Bong³, Kwangkyu Park¹, Tae-Woo Kang⁴,
Yong-Se Park⁵, Dahae Kim¹, Seunghyun Choi³, Young Ji Joo¹, Bohyung Choi²,
Seung-II Nam¹, Sang-Mo Lee⁵, and Kyung-Hoon Shin²

¹Division of Polar Paleoenvironment, Korea Polar Research Institute (KOPRI), Incheon 21990, Korea

²Department of Marine Science and Convergence Technology, Hanyang University, Ansan 15588, Korea

³Division of Earth & Environmental Sciences, Korea Basic Science Institute (KBSI), Cheongju 28119, Korea

⁴Yeongsan River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research, Gwangju 61011, Korea

⁵National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

Received August 3, 2018/Revised November 5, 2018/Accepted November 27, 2018

In this study, inter-laboratory comparison was done using elemental analyzer-isotope ratio mass spectrometers (EA-IRMSs) to determine carbon and nitrogen contents as well as stable carbon and nitrogen isotopic compositions ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of five environmental samples containing lake and marine sediments, higher plant leaves, and fish muscle, and one organic analytical standard (Protein (Casein) Standard OAS). Five national laboratories participated in this comparison study, and each laboratory analyzed all five samples and the analytical standard. Results showed that variations in total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) contents as well as $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ and $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ values among the laboratories were large compared to the analytical uncertainties. The results highlighted the inhomogeneity of the test samples and thus, the need to select suitable standard reference materials for future inter-laboratory studies. Further inter-laboratory comparison exercises could promote good measurement practices in the acquisition of stable carbon and nitrogen isotopic composition data.

Key words: Inter-laboratory comparison, Stable carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}$), Stable nitrogen isotope ($\delta^{15}\text{N}$)

1. Introduction

The determination of stable carbon and nitrogen isotopic compositions ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) have become increasingly important in a variety of research fields, including geochemistry, hydrology, ecology, archeology, and forensic science¹⁻⁶. An elemental analyzer-isotope ratio mass spectrometer (EA-IRMS) has advantages of quick analysis and small sample volume. The acquisition of the EA-IRMSs has thus increased in various research institutes in South Korea. However, research using EA-IRMS is currently at a nascent stage in South Korea compared

to advanced countries. Hence, it is necessary to improve the competitiveness of South Korean researchers in different research fields. There have been cases of cross-validation among analytical institutions in other countries analyzing various isotope systems in a range of materials. For instance, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of organic compounds, bone collagen, or materials of potential forensic interest such as packaging and pharmaceuticals⁷⁻⁹ were measured in order to ascertain consistency and robustness of their stable isotope measurement results. Similar inter-laboratory comparison studies, however, are yet to be conducted in South Korea.

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-32-760-5377, Fax: 82-32-60-5397, E-mail: jhkim123@kopri.re.kr

one organic analytical standard were prepared and distributed to five South Korean laboratories. The samples provided were further processed with each laboratory's standard method and analyzed. The results showed that inter-laboratory variations in TOC and TN contents, as well as $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ and $\delta^{15}\text{N}_{\text{TN}}$ values, were large compared to the analytical uncertainties reported by each participating laboratory. The variations could have resulted from the inhomogeneity of the environmental samples. In addition, the variations could be due to the differences in sample pretreatment. For better comparing the differences between the results obtained by the laboratories, further study to analyze diverse organic analytical standard materials and a much larger number of participating laboratories are necessary. Mutual verification of the analytical technology among South Korean research institutes can improve the reliability of analytical results. Hence, greater participation by a wider range of South Korean research institutions in inter-laboratory comparisons in future is encouraged.

Acknowledgements

The authors would like to thank to Dong-Hun Lee and Jong-Ku Gal for their sampling and analytical support at HYU and Heung-Soo Moon and Young-Jin Joe at KOPRI for their assistance for the grain size analysis. This study was supported by a National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT) (NRF-2016R1A2B3015388, PN18100), and "Development of practical technique to establish fisheries forensic" funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea.

References

1. M. J. DeNiro and S. Epstein, "Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **1981**, 42, 495-506.
2. M. J. Schoeninger, M. J. DeNiro and H. Tauber, " $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric diets", *Science*, **1983**, 220, 1381-1383.
3. S. H. Ambrose, B. M. Butler, D. B. Hanson, R. L. Hunter-Anderson and H. W. Kruegers, "Stable isotopic analysis of human diet in the Marianas Archipelago, Western Pacific", *American Journal of Physical Anthropology*, **1997**, 104, 343-361.
4. M. J. Perkins, R. A. McDonald, F. J. E van S. D. Veen, Kelly, G. Rees and S. Bearhop, "Application of nitrogen and carbon stable isotopes ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) to quantify food chain length and trophic structure", *PLoS ONE*, **2014**, 9, e93281.
5. F. Hyodo, "Use of stable carbon and nitrogen isotopes in insect trophic ecology", *Entomological Science*, **2015**, 18, 295-312.
6. B. Wang, Y. Wul and D. Chen, "Stable isotopes of carbon and nitrogen help to predict the belowground communities at a regional scale", *Scientific Reports*, **2017**, 7, DOI:10.1038/s41598-017-07517-w.
7. J. F. Carter, J. C. Hill, S. Doyle and C. Lock, "Results of four inter-laboratory comparisons provided by the Forensic Isotope Ratio Mass Spectrometry (FIRMS) network", *Science and Justice*, **2009**, 49, 127-137.
8. Y. Suzuki, Y. Chikaraishi, K. Yamada and N. Yoshida, "Interlaboratory comparison of carbon, nitrogen, and oxygen isotope ratios in organic chemicals using elemental analyzer-isotope ratio mass spectrometer", *Bunseki Kagaku*, **2012**, 61, 805-810.
9. W. J. Pestle, B. E. Crowley and M. T. Weirauch, "Quantifying inter-laboratory variability in stable isotope analysis of ancient skeletal remains", *PLoS ONE*, **2014**, 9, e102844.
10. A. Cadene, S. Durand-Vidal, P. Turq and J. Brendle, "Study of individual Nanontmorillonite particles size, morphology, and apparent charge", *Journal of Colloid and Interface Science*, **2005**, 285, 719-730.
11. Micromeritics, "Instruction Manual: SediGraph Particle Size Analyser", **1978**, p. 122.
12. R. Stein, H. Grobe and M. Wahsner, "Organic carbon, carbonate, and clay mineral distributions in eastern central Arctic Ocean surface sediments", *Marine Geology*, **1994**, 119, 269-285.
13. N. H. Wekh, P. B. Allen and D. J. Galindo, "Particle-size analysis by pipette and sedigraph", *Journal of Environmental Quality*, **1979**, 8, 543-546.

[별첨]

자체평가의견서

1. 과제 현황

		과제번호	2016R1A2B3015388		
사업구분	기초연구사업				
연구분야	자연과학		과제구분	단위(√)	
사업명	중견연구자지원사업			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	강-해양 인터페이스 지역에서의 유기탄소의 이동 연구: 금강 및 섬진강 시스템의 사례 연구		과제유형	(기초, 응용, 개발)	
연구기관	한국해양과학기술원 부설 극지연구소		연구책임자	김정현	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간 YYYY.MM.DD~YYYY.MM.DD	정부 (천원)	민간	계
	1차년도	2016.06.01.-2017.05.31	280,000		280,000
	2차년도	2017.06.01.-2018.03.31	225,000		225,000
	3차년도	2018.04.01.-2019.02.28	220,000		220,000
	4차년도	2019.03.01.-2019.05.31	65,000		65,000
	5차년도				0
	계 (총 연구기간)	2016.06.01.-2019.05.31	790,000		790,000
참여기업					
상대국			상대국연구기관		

※ 총 연구기간이 5차 연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성

2. 평가일:

3. 평가자(연구책임자):

소속	직위	성명
한국해양과학기술원 부설 극지연구소	책임연구원	김정현

4. 평가자(연구책임자) 확인:

본인은 평가 대상 과제에 대한 연구개발성과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 이 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초 자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약	김 정 현
-----	-------

※ 과제번호 : 2016R1A2B3015388

I. 연구개발 실적

※ 다음 각 평가 항목에 따라 자체 평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발성과의 우수성/창의성

■ 등급: 아주 우수

- 본 연구과제에서는 국내에서 처음으로 유/무기 통합 지시자를 활용하여 금강 및 섬진강에서 방출되는 육상기원 탄소의 계절적 유출량, 유기탄소의 공간 분포, 과거 환경 변화에 따른 변동성을 포괄적으로 이해하려하였다.
- 연구 수행 기간 동안 중심 연구지역인 금강과 섬진강뿐만 아니라 국내, 외 다양한 강-해양 연결 지역에서의 관련 연구를 수행, 지원 하였다.
- 연구기간 중 탄소순환 관련 연구기법 발전 및 연구 환경 조성을 위하여 교차 분석 연구 수행, 워크샵 개최 등 다양한 활동을 수행 하였다.

2. 연구개발성과의 파급 효과

■ 등급: 아주 우수

- 국내 강-해양 인터페이스 지역 내 탄소 순환에 관한 연구는 초기 구축 단계로, 본 연구과제는 국내 탄소순환 연구의 기초 토대 마련에 기여하였다.
- 본 연구과제에서 획득된 데이터는 금강과 섬진강의 수계데이터 베이스를 구축 하는데 이용될 수 있을 것이다.
- 본 연구과제의 추진전략과 활용된 연구기법들은 향후 관련 후속 연구를 수행할 연구진들에게 연구 진행방향을 제시할 선행연구로 활용 될 수 있을 것이다.

3. 연구개발성과에 대한 활용 가능성

■ 등급: 아주 우수

- 본 연구결과에서는 유기탄소 이동을 조절하는 자연적, 인위적 요소를 파악하였으며, 이는 효과적인 연안환경 관리를 위한 기초 자료로써 활용 될 수 있을 것으로 예상된다.
- 본 연구과제를 통해 수립된 샘플링 기법 및 분석기법은 연안환경 모니터링 평가 요소로써 활용 될 수 있을 것이다.
- 본 연구과제에서 획득된 데이터는 유역 수질 관리 모델에 활용 될 수 있을 것이며, 해양 보전 및 환경 관리에 대한 가이드라인 조성에 활용될 수 있을 것이다.
- 본 연구과제에서 획득된 데이터는 특히 금강 보 개방 직전, 후에 획득된 자료로, 본 결과를 통해 보 개방이 하구 및 연안 환경에 미치는 영향에 대해 파악할 수 있을 것이다.

4. 연구개발 수행의 성실도

■ 등급: 아주 우수

- 본 연구는 실제 환경 데이터를 기반으로 한 연구로, 시료 확보가 핵심적인 연구 분야이다. 2년간의 시료 확보 및 코어 시료 확보를 성실히 수행하였으며, 이를 기반으로 탄소 이동의 계절적, 시간적 변동성을 성공적으로 추적하였다.
- 이에 더불어 연구기법 개발 등을 통해 탄소순환 파악을 위한 다양한 연구방법을 활용하였다.
- 또한 공동연구 추진, 워크샵 개최, 탄소안정동위원소 교차 분석 연구 진행 등을 진행 다각도로 연구를 수행하였다.

5. 공개 발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급: 아주 우수

-
- 본 연구 과제를 통해 수행, 지원된 연구 결과는 국내, 외 관련 학술지(국외 13, 국내1건) 및 학술 대회(23건)를 통해 게재, 발표 되었다.
 - 더불어 워크샵 개최(2회)와 참여, 관련 회의 초청 발표 등을 통하여 국내, 외 관련 분야 연구진 들과 결과를 토의 및 공유 하였다.
-



II. 연구 목표 달성도

세부 연구 목표 (연구계획서 상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
유기물 내 무기물 분석 기법 수립	15	100	<ol style="list-style-type: none"> 1. 유기물 내 무기물 분석 기법 수립을 위한 국내·외 전문가 자문 실시 2. 퇴적물 내 유기물 추출을 위한 단계적 추출 실험방법 개발 수행
서로 다른 존재 형태의 유기탄소 분석을 위한 분석기법 수립	15	100	<ol style="list-style-type: none"> 1. 입자상 시료의 유기탄소 분석을 위한 시스템 구축 2. 콜로이드상 및 용존상 유기탄소 분리법 수립을 위한 전문가 자문 3. 유기탄소 거동 연구를 위한 EA-IRMS 분석법 비교분석 연구 수행
강-해양 인터페이스 지역 시료 채취	20	100	<ol style="list-style-type: none"> 1. 연구 정점 선정 및 세부 계획 수립을 위한 국내·외 전문가 자문 및 워크숍 진행 2. 섬진강, 금강(강, 하구, 연안)에서 담수, 해수 및 퇴적물 채집 시기 및 정점 설정 3. 물, 퇴적물 시료 채집 방법 수립
특성이 서로 다른 두 강에서 (금강 vs. 섬진강) 계절적/연간 데이터 획득	30	100	<ol style="list-style-type: none"> 1. 2016, 2017, 2018 총 3년간 금강, 섬진강 강-하구 인터페이스 지역에서 담수 및 해수, 퇴적물 시료 획득 2. 강-하구-연안 연속 환경에서 수질환경 데이터의 계절적/연간 변화 획득 3. 금강 및 섬진강에서 획득된 담수 및 해수, 퇴적물 시료 내에서 유기·무기인자 결과 분석 4. 금강 및 섬진강 강-해양 인터페이스 지역에서 이동하는 유기탄소 조성 및 기원의 계절적/연간 변동성 확인 5. 금강 및 섬진강에서 방출되는 입자성 및 용존성 유기탄소의 계절적 유출량 변동 파악
유기탄소의 과거 변동 양상 파악	20	100	<ol style="list-style-type: none"> 1. 금강 하구역 내 퇴적물 코어 채집 2. 채집된 코어 내 ^{210}Pb 분석을 통한 퇴적 연대 설정 3. 퇴적물 코어 내 무기원소 변화 측정 4. 퇴적물 코어 내 유기탄소 농도 변화 측정 5. 퇴적물 코어 내 유기탄소 안정동위원소 비 변화 측정 6. 과거 강 하구 환경변화에 따른 유기탄소 변동성 해석
합계	100	100	

Ⅲ. 종합 의견

1. 연구개발성과에 대한 종합의견

- 본 연구과제에서는 강-기수역-해양으로 연결되는 환경에서 탄소의 이동과 기원에 대해 연구하고자 시도하였다. 탄소순환 관련 연구 분야에서 대륙 주변부 및 강-해양 연결 지역을 대상으로 하는 연구는 유럽, 미국, 중국 등에서는 이미 오랜 기간 동안 대규모 프로젝트로 이루어져왔다. 하지만 그 중요성에도 불구하고 국내에서는 육상/담수/해양 환경 관리 주체의 상이함 등의 문제로 인해 이를 다루는 국가적 연구 과제가 없었다.
- 이에 본 연구과제에서는 국내 강에서 유출되는 유기탄소의 유출량의 정량적 분석, 기원의 정성분석, 이들의 계절적 변동성을 지속적으로 연구해야할 필요성을 제시하였고, 그 시작으로 금강 및 섬진강에서 연구를 진행하였다. 국내에서는 처음으로 유/무기 지시자를 활용하여 2년여 동안의 장기 변동 데이터를 획득하였다. 뿐만 아니라 본 연구과제에서 제시된 연구추진 전략과 연구기법들은 향후 강-해양 인터페이스 지역에서 어떠한 연구가 진행되어야 할 것인가에 대한 답안 및 연구 방향에 대한 기초 토대가 될 것이다.
- 연구 개발 데이터 획득뿐만 아니라 본 연구에서는 관련 분야 연구 기반 마련을 위한 다양한 노력을 하였다. 국내, 외 과학자들과의 공동연구 추진, 워크숍 개최, 탄소안정동위원소 교차 분석 연구 진행 등을 진행하였다. 개별 기관에서 각각 수행하고 있던 연구과제들의 연구결과 공유 및 연구진들과의 교류를 통해 국내 탄소순환 연구 관련 네트워크 구축에 앞장서왔다.

2. 평가 시 고려할 사항 또는 요구사항

- 본 연구과제에서는 강-기수역-해양으로 연결되는 환경에서 탄소의 이동과 기원에 대해 연구하였으며, 평가시 고려되어야 할 평가 착안점은 다음과 같다.
 - 연구 목적 달성을 위한 시료 채취 디자인의 적합성
 - 연구 목적 달성을 위한 분석기법 수립 정도
 - 연구 목표 달성을 위한 획득 자료결과의 적합도
 - 서로 다른 존재 형태의 유기탄소 분석을 위한 분석기법 수립 정도
 - 유기탄소의 기원, 조성, 연대의 연간 변동성 파악을 위한 획득 자료의 적합도
 - 강-해양 인터페이스 지역에서 유기탄소의 분포와 퇴적을 조절하는 자연적/인위적 조절인자 파악을 위한 획득 자료의 적합도

3. 연구개발성과의 활용방안 및 향후 조치에 대한 의견

- 본 연구과제에서 획득된 연구 결과들은 지속적으로 학술논문 및 학술대회를 통해 발표 될 예정이다. 학술적 측면의 활용뿐만 아니라 효과적인 연안환경 관리를 위한 기초 자료로서 활용 될 수 있을 것으로 예상된다.
- 강-해양 인터페이스 지역에서의 탄소순환 연구가 유럽, 미국, 중국 등에서는 이미 오랜 기간 동안 범국가적 차원의 프로젝트로 이루어져왔다. 본 연구 결과를 기반으로 국내에서도 향후 이와같은 국가차원의 모니터링, 연구가 이루어져야 할 것이다. 본 연구과제를 통해 수립된 샘플링 기법 및 분석기법은 연안환경 모니터링 평가 요소로서 활용 될 수 있을 것이며, 이는 해양 보전 및 환경관리와 같은 분야에 대한 가이드라인 구성에 활용될 수 있을 것이다.