

극지/해양 생명자원 유래 저온성 미생물/효소를 이용한
환경오염 물질 검출 및 정화기술 개발

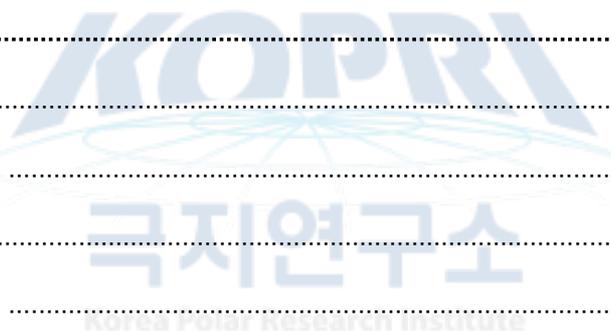
기획보고서



목 차

제1장 사업 개요	1
제1절 기획연구의 추진 배경	1
1. 추진 배경	1
제2절 연구의 필요성	1
1. 기술적 측면	1
2. 경제·산업적 측면	2
3. 과학적 측면	3
4. 사회·문화적 측면	3
5. 현 기술상태의 취약성	3
6. 앞으로의 전망	3
2.4 기획연구 추진체계	3
II. 환경 및 역량분석	4
1. 국내·외 동향 및 역량	4
1.1 정책동향 및 역량	4
1.2 산업동향	4
1.3 기술 및 인프라 동향	4
2. 특허·논문 동향 및 역량	5
2.1 특허동향 및 역량	5
2.2 연구·논문 동향 및 역량	6
3. 기획기술 시사점	7
III. 연구개발과제 및 추진계획	8
1. 비전 및 목표	8
2. 개발목표 및 사양도출	8

3. 핵심개발과제	10
3.1 핵심개발내용	10
3.2 사업 주요내용	11
4. 사업추진체계 및 방식	12
5. 사업추진 로드맵	13
6. 소요예산	15
7. 성과목표 및 지표	16
8. 기대효과 및 활용방안	17
8.1 성과활용방안	17
8.2 파급(기대)효과	17
9. 사업개념도	18
IV. 사업 타당성 분석	19
1. 정책적 타당성	19
2. 과학·기술적 타당성	19
3. 경제적 타당성	20
4. 사회·문화적 타당성	20
첨부1. 과제제안요청서(RFP)	21
첨부2. 참고문헌	24



제1장 사업 개요

제1절 기획 연구의 추진 배경 및 필요성

1. 추진 배경

가. 다양한 환경오염 물질 배출 증가에 따른 건강 위협

- 우리 사회는 생활 수준 향상과 도시화로 인해, 생산 과정뿐만 아니라 소비 과정에서의 오염 부하가 더욱 증가. 특히, 여가시간 증가로 인해 휴식시설, 체육시설, 관광 단지 등을 건설하는 과정에서 자연환경 훼손이 가속화되고 있음.
- 또한, 산업화가 급속히 진행되면서 토양/해양으로 산업 폐기물, 석유 오염물질, 화학 물질 등 다양한 독성물질이 유출되어 국민의 건강이 위협받고 있음.



토양 오염



해양 유류 오염



해양 미세플라스틱 오염

[그림] 토양/해양 환경오염 지역의 예시 사진

나. 환경 오염 물질에 대한 친환경적인 처리의 사회적 요구

- 환경 오염 문제는 사회적으로 큰 이슈로, 독성물질을 효과적으로 제거하고 정화하는 기술 및 모니터링 기술 요구 증대.
- 사회의 요구에 부응하기 위해서 다양한 형태의 독성물질 정화 방법이 개발되고 있음. (물리적 방법, 화학적 처리, 생물학적 처리, 열처리, 회석 및 회석 후 처리 등)
- 생물정화 방법은 물리/화학적 정화 방법보다 친환경적이고 비용면에서도 장기적으로는 매우 저렴한 방법으로 알려져 있으므로 지속적이며 경제적인 독성물질 정화에 합리적인 기술임.

다. 기존의 환경 오염물질 모니터링 방법의 한계

- 환경오염 문제는 사회적으로 큰 이슈로 대두되고 있으며, 사회의 요구에 부응하기 위해서는 오염 현장에서 독성물질의 종류와 양을 측정할 수 있는 기술 개발이 필요한 상황임.

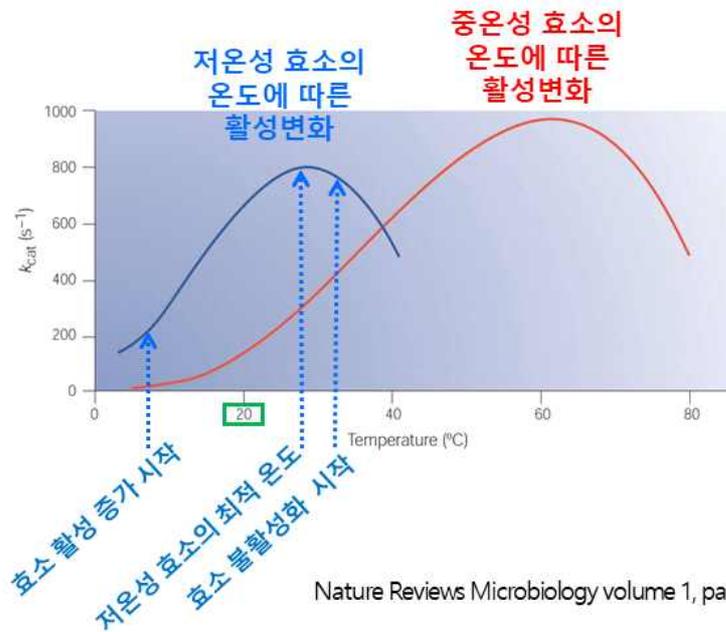
- 환경 시료를 실험실로 가져와서 시료 전처리를 거쳐 분석 장비를 이용하여 오염물질의 양을 분석하는 기존의 연구 방법은 많은 시간과 인력 및 실험 장비가 요구.
- 바이오센서를 이용한 환경오염물질의 분석은 해당 위치에서 즉시 분석 및 결과의 확인이 가능.

라. 극지 생명자원 기술의 고도화 및 높은 활용 가능성

- 극지미생물자원은행(PAMC)는 극지 시료의 체계적인 관리 및 공동 활용을 통하여 국내외 극지 연구 활성화를 위한 시스템이 갖춰져 있음.
- 극지 생명 자원 대상 유전체 빅데이터의 확보 및 기술 고도화에 따른 활용 요구 증대
- 극지 생명 자원을 활용한 오염물질의 생물학적 중화/정화 기술 개발에 대한 가능성.
- 10년 이상의 극지 미생물 및 극지 유래 효소의 연구를 통한 저온성 미생물 및 단백질에 대한 기술 축적.
- 극지생물 대상 바이오 빅데이터 생산과 처리 기술로 신기능 유전자 발굴 확대.

마. 저온성 미생물/효소 사용의 장점

- 미생물 및 효소를 적용하는 환경은 실험실보다 낮은 온도를 유지함 (대한민국의 연평균 기온은 12-15℃). 광범위한 환경 처리 범위에 높은 온도를 유지하는 것은 현실적으로 불가능.
- 일반적인 효소는 37 ℃ 최적 활성을 보이는 반면 저온성 미생물 및 효소는 낮은 온도에서도 생장률 및 효소 활성을 높게 유지함. 그러므로 저온성 미생물/효소는 토양/해양 저온 환경에서 오염물질과의 효소 반응에 유리하며 환경 문제 해결에 활용 가능한 장점을 갖춤.
- 극지/해양 생물이 가지는 형광/발광 물질 (단백질)을 발굴하여 바이오 센서의 신호 감지 기술로 활용



- 상온 (20도) 에서는 저온성 효소가 중온성 효소보다 10배 이상의 높은 활성을 가짐 (저온성 효소가 야외 현장에서 높은 활성을 가짐)



[표] 저온성 효소를 이용하여 제품화된 상품들

시장	효소	상품화제품	사용 예
분자 생물학	Alkaline phosphatases,	Antarctic phosphatase (New England Biolabs Inc.)	Dephosphorylation of 5' end of a linearized fragment of DNA
	Uracil-DNA N-glycosylases (UNGs),	Uracil-DNA N-glycosylase (UNG) (ArcticZymes), Antarctic Thermolabile UDG (New England Biolabs Inc.)	Release of free uracil from uracil-containing DNA
	Nucleases	Cryonase (Takara-Clontech)	Digestion of all types of DNA and RNA
세제	Lipases	Lipoclean [®] , Lipex [®] , Lipolase [®] Ultra, Kannase, Liquanase [®] , Polarzyme [®] , (Novozymes)	Breaking down of lipid stains
	Proteases	Purafect [®] Prima, Properase [®] , Excellase (Genencor)	Breaking down of protein stains
	Amylases	Stainzyme [®] Plus (Novozymes), Preferenz [™] S100 (DuPont), Purafect [®] OxAm (Genencor)	Breakdown starch-based stains
	Cellulases	Rocksoft [™] Antarctic, Antarctic LTC (Dyadic), UTA-88 and UTA-90 (Hunan Youtell Biochemical), Retrocell Recop and Retrocell ZircoN (EpyGen Biotech), Celluzyme [™] , Celluclean [®] (Novozymes)	Wash of cotton fabrics
	Mannanases	Mannaway [®] (Novozymes), Effectenz [™] (DuPont)	Degradation of mannan or gum
	Pectate lyases	XPect [®] (Novozymes)	Pectin-stain removal activity
섬유	Amylases	Optisize [®] COOL and Optisize NEXT (Genencor/DuPont)	Desizing of woven fabrics
	Cellulases	Primafast [®] GOLD HSL IndiAge [®] NeutraFlex, PrimaGreen [®] EcoLight 1 and PrimaGreen [®] EcoFade LT100 (Genencor/DuPont)	Bio-finishing combined with dyeing of cellulosic fabrics
식품/음료	Pectinases	Novoshape [®] (Novozymes), Pectinase 62L (Biocatalysts), Lallzyme [®] (Lallemand)	Fermentation of beer and wine, breadmaking, and fruit juice processing

제2절 연구의 필요성

1. 기술적 측면

: 생명 분야에 대한 기술 발달 및 고도화로 다양한 사회적, 산업적 분야에 사용 가능하게 됨

가. 새로운 독성물질 정화 방법의 개발 요구 및 원천 기술 확보

- 독성 물질 정화 기술 중, 생물정화방법은 물리/화학적 정화방법보다 친환경적이고 비용면에서도 장기적으로는 매우 저렴한 방법으로 알려져 있으므로 지속적이며 경제적인 독성 물질 정화에 합리적인 기술로 인식되고 있으나, 이에 대한 연구 및 기술 개발이 미비한 상황임
- 현재까지 알려진 바이오센서 2종에는 immunosensor와 enzymatic biosensor가 있음. 이러한 바이오센서를 이용한 환경오염물질의 분석은 해당 위치에서 즉시 분석 및 결과의 확인 가능하므로, 환경시료를 실험실로 가져와서 시료 전처리를 거쳐 분석 장비를 이용하여 오염물질의 양을 분석함에 따라 많은 시간과 인력 및 실험 장비가 요구되는 전통적인 환경 오염물질 모니터링 방법에 비해, 온 사이트에서의 사용이 요구되는 생태계의 오염 감시체제에 적합하며, 특히, enzymatic biosensor에 사용할 수 있는 다양한 기능의 저온성 효소 개발이 필요함.
- 온 사이트에서 사용하기 용이하고 민감도가 높은 생태계의 오염 감시 체제 및 실험 방법 구축이 필요하며, 오염퇴적물에서 장기간 안정적인 오염물질 제거라는 관점에서 저온성 미생물을 이용한 생물정화 방법은 다른 물리/화학적인 방법보다 유리.
- 독성물질 정화분야 원천기술 확보를 통한 선도형 (first mover)이 되기 위해 초기 연구 개발에 선제적 투자가 필요.

2. 경제·산업적 측면

가. 환경산업의 성장

- 환경산업기술원(2019)에 따르면 2018년 기준 세계 환경산업 시장 규모는 1조 2,443억 달러에 달하며, 이는 2020년도 우리나라 정부 예산안(513조 5,000억 원)의 3배 수준의 규모.

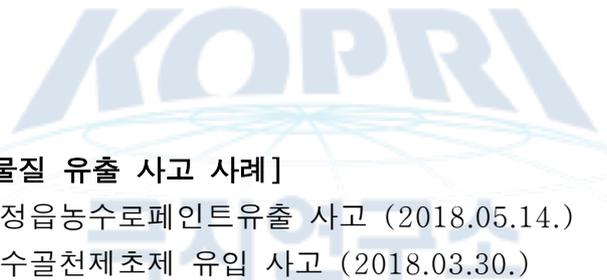
나. 오염물질 유출 사고 증가

- 산업화의 급속한 진행으로 인해 다양한 독성 물질인 산업 폐기물, 석유 오염 물질, 화학 물질 등이 토양 및 해양으로 유출되고 있음. 특히, 오염물질 운반 시 차량의 교통사고, 저장고 사고, 불법 유출에 의한 사고가 증가하고 있는 실정임.

[표] 유해물질 유출사고 원인과 특징

원인	특징
<ul style="list-style-type: none"> • 공장 및 산업시설의 화재 등 사고로 인한 오염물질 유출 • 유해물질 운반 차량의 교통사고 및 전복 • 오염물질의 불법 방류 	<ul style="list-style-type: none"> • 수용성인 경우가 많아 육안으로 사고 발생 사실 확인 어려움 • 공장 화재 등 오염원이 확실한 경우가 아니면, 수중 생물(물고기, 곤충)의 사멸로 간접적인 유출 확인 가능 • 자연 분해되는 경우도 있으나, 안정한 물질의 경우 영향이 장기간 지속됨 • 퇴적물에 흡착되거나, 생물체 내에 축적되어 2차 피해를 야기 • 유류 유출과 달리 취수 중단 등의 오염물질의 회피 조치 이외에, 직접적인 수거에 의한 방제 작업에는 한계가 있음

[출처 : 한국환경공단 수질오염방제정보시스템]



- [국내 주요 유해물질 유출 사고 사례]

- 경기 화성시 우정읍농수로페인트유출 사고 (2018.05.14.)
- 강원 횡성군 풍수골천제초제 유입 사고 (2018.03.30.)
- 전북 정읍시 폐액유출로 인한 물고기폐사사고 (2018.01.27.)
- 경북 봉화군 탱크로리차량 하천변황산 유출 (2014.11.5.)
- 낙동강 1,4다이옥산가이드라인 초과 (2009.1.12.)
- 낙동강 코오롱유화폐놀유출사고 (2008.3.1.)
- 경북 상주시 공검면금성농약사 농약창고 오염사고 (1995.3.2.)
- 낙동강 수돗물 악취 발생 사고 (1994.1.3.)
- 낙동강 페놀 유출 사고 (1991.3.16.)
- 정수장에서 THMs 검출사건 (1990.6)

[표] 유류 유출사고 원인과 특징

원인	특징
<ul style="list-style-type: none"> • 하천 인근 도로의 교통사고 → 유조차(탱크로리)전복, 차량 유류 누출 • 준설설 및 작업선 등의 침수·침몰 → 유류 유출 • 유류(폐유) 저장고 사고 → 유류 유출 	<ul style="list-style-type: none"> • 유류 유출시 수면에 기름띠를 형성하므로 사고 발생의 인지가 쉬운 편 • 비중이 낮아 수면에 얇은 유막을 형성하며 바람과 파도 등의 영향에 의해 빠르게 확산 • 하천변 사고의 경우 하천 수면으로 유입을 사전에 차단하는 것이 중요(웅덩이 및 유인수로 설치) • 하천 유입시 오일펜스 설치 등 기름띠 확산을 우선 차단한 후 방제 작업 진행 • 해양 등에서의 대량 유류 유출 사고 발생시 생태계, 어업, 복구 비용 등 사회·경제적으로 막대한 비용이 소요됨

[출처 : 한국환경공단 수질오염방제정보시스템]

- [국내 주요 유류 유출 사고 사례]

- 경기 여주시흥천면송말천화재용수유출 사고(2018.04.30)
- 전 금고동○○공사 유류유출 사고(2018.04.12)
- 전북 정읍시 폐절연유 유출 사고(2018.03.05)
- 고령군 골재채취선기름유출 사고 (2008.12.22.)
- 충청남도 태안군 앞바다 유조선 충돌 기름유출 사고 (2007.12.07.)
- 춘천댐상류 골재 채취선침몰 (2006.2.11)
- 전남 남양군대전면영산강 오염사고(2005.6.6)
- 춘천댐유조차 추락사고 (1999.3.2)
- 미 8군 메디슨 통신부대 오염사고 (1998.3.7)
- 대청호 조정지댐저수지 오염사고 (1994.3.4.)

다. 토양 오염 정화 비용의 증가

- 최근 오염 유출 사고의 급증에 따라 발암 및 비발암 위해도 저감에 소요되는 정화비용이 증가하고 있는 실정임. 특히, 우리나라 특정 토양오염 관리 대상 시설의 검사 결과 188 개소에서 토양 오염 기준치를 초과하는 것으로 알려짐.
- 이런 토양 오염의 경우 시범부지 2,000 m³ 토양을 정화하는데 필요한 비용은 약 135만불 (한화 약 16억)의 정화비용이 소요 될 것이라는 예측이 존재함.

라. 극지 생명 자원 및 유전 자원의 가치 상승

- 극지 지의류(Ramalina terebrata) 유래 라말린(Ramalin) 유도체를 확보, 치매 치료제를 개발. 라말린 성분은 동물실험 등을 통해 인지기능 개선 효과를 확인.
- 극지연구소 임정한 박사 연구팀은 남극 해양 미생물 ‘*Pseudoalteromonas arctica* PAMC 21717’ 에서 찾은 저온활성 단백질 분해효소를 실험실에서 생산하는 데 성공하고 미국과 유럽, 중국 등에 특허 등록.



[그림] 전 세계 효소 시장 규모와 국내외 세제용 효소 시장 전망 (출처:www.newspenguin.com)

- 극지연구소가 휴젬스에 이전한 기술은 세계 최초로 북극 효모에서 발견한 결빙방지 단백질과 남극 해빙박테리아 유래 결빙방지 단백질 2건의 대량 생산 기술.

- **극지/해양 저온환경에서 오염물질과의 효소 반응에 유리**
 - 남극의 평균 기온은 '영하 55도'
 - 북극 기후는 매일 평균 기온 10℃ 미만
 - 북극해에 접한 알래스카의 배로 곳에서는 연 평균기온 -12.7℃
 - 대한민국의 환경 조건 (연평균 기온이 12-15℃)
- **극지/해양 저온환경에서 독성물질 중화에 유리**



토양 오염



해양 유류 오염



해양 미세플라스틱 오염

[그림] 저온성 미생물 혹은 효소 사용의 장점

마. 유전체 정보분석 및 기능 규명을 통한 원천 물질특허 확보

- 독성물질의 종류와 양을 탐지하고 제거하기 위해 생물학적 바이오센서, 중화효소, 생물 정화 방법의 개발을 통한 원천기술로 특허 등 지적 재산을 확보 가능.

3. 사회·문화적 측면

가. 환경오염은 국제사회의 공통 이슈

- 독성 물질은 암, 호흡기 문제, 피부 질환, 생식 손상, 신경계 이상과 같은 건강 문제를 유발할 수 있다. 또한, 독성 물질의 누적은 생물체의 조직이나 기관에 손상을 일으킬 수 있으며, 생식 기능 저하, 유전적 변이, 개체의 생존과 번식에 영향을 줄 수 있으므로, 환경 보호 및 건강 보호 차원에서 연구가 필요함.
- 또한, 환경 오염 문제는 사회적으로 큰 이슈로 대두되고 있으며, 사회의 요구에 부응하기 위해서는 독성 물질을 효과적으로 제거하고 정화하는 기술 및 모니터링 기술이 필요한 상황임.
- 독성/오염 물질 정화는 국제적인 문제로 환경 보호 및 독성/오염 물질 정화에 대한 인식과 교육이 더욱 중요해질 것으로 예상되며, 개인과 기업의 인식이 높아짐에 따라 더 많은 인력과 자원이 독성물질 정화 분야에 투입될 것으로 예상.
- 각 국가는 환경을 보존하는 가운데 경제성장을 모도 해야 한다는 지속 가능한 개발이 국제

사회의 주요 의제가 되고 있기 때문에 국제 사회의 요구에 부응해야 하는 위치에 직면하게 됨. 다양한 국가 간의 협력과 규제를 통해 전 세계적인 환경 보호와 독성물질 정화가 진행될 것으로 예상.

4. 현 기술 상태의 취약성

가. 환경오염물질에 대한 바이오센서 개발 및 기술 부족

- 극지연에서는 다년간 극지/해양 생물의 유전 자원을 확보하고 기능연구를 중점적으로 수행하였으나 이를 활용한 실용화 연구는 상대적으로 부족.
- 바이오센서는 극미량의 분석 물질을 고감도로 정확하게 검출하거나, 시료를 자동으로 연속 검출하고, 시료 전처리와 결과 해석을 단순화하는 등 현장검사 또는 신속 검사 추세로, 수요에 따라 제품이 다양화되고 있음. 하지만 대상 분석 물질에 선택성과 특이성이 있는 효소 또는 항체 분자들의 지속적인 개발이 중요.
- 다양한 바이오센서 개발을 위해 대상 물질의 검출한계를 낮추고, 정량적으로 측정할 수 있는 구간을 넓히고자 하는 기술, 대상 분석 물질 인식의 새로운 원리 적용, 다양한 효소 적용, 초민감 신호변환 물질 개발 등이 요구됨.
- 한꺼번에 다양한 표적 분자를 측정하기 위한 고집적화, 반응 시간을 획기적으로 줄여 대용량의 시료를 자동으로 연속 검출할 수 있는 워크스테이션화, 시료 전처리와 결과 해석을 신속/단순화하는 연구가 필요.

나. 환경 독성물질 중화 미생물/효소 개발 연구에 대한 이해 미비

- 미생물 또는 효소를 이용하여 유해한 오염물질을 파괴하여 덜 유해한 물질로 만드는 생물정화 기술의 적용에 있어서 장기간에 걸쳐 미생물 또는 효소의 활성 유지가 가장 중요
- 하지만, 효소를 이용한 오염물질의 정화에 있어서는 효소를 여러 번 재사용하기 위한 고정화 기술개발 및 미생물을 이용한 독성물질 중화 방법에서는 미생물의 분해 속도와 정화 활성을 높일 수 있는 영양물질의 동시 공급 조건에 대한 연구가 미비함.

5. 앞으로의 전망

- 새로운 독성물질 정화 기술의 개발이 계속적으로 이루어질 것으로 예상되며, 현존하는 기술의 개선과 함께 더욱 효과적이고 친환경적인 기술이 개발될 것으로 예측됨.
- 생물학적 기술을 활용한 독성물질 정화가 더욱 중요성을 갖게 될 것으로 예상됨. 미생물, 식물, 생태학적 접근 등을 통해 자연적인 방식으로 독성물질을 분해하거나 제거하는 방법이 더욱 발전할 것으로 예측.
- 독성물질 정화 기술은 지속 가능성과 경제성을 고려한 방향으로 발전할 것으로 예상됨. 친

환경적이면서도 비용 효율적인 기술이 개발되어 환경 보호와 경제적 이익을 동시에 추구할 수 있을 것으로 예상.

- 독성물질 정화 기술은 환경오염 문제를 해결하고 인간 건강을 보호하기 위해 필수적인 역할을 하며, 또한 지속 가능한 환경 보호와 규제 준수를 위해 중요한 역할을 하며, 미래 세대를 위한 건강하고 안전한 환경을 유지하는데 기여할 것으로 예상됨



제3절 기획연구 개요

1. 기술의 정의

: 극지 생명자원을 이용한 환경오염 물질의 탐지를 위한 바이오센서 및 오염물질의 생물정화 기술 개발

가. 환경오염 물질

- 환경오염 물질은 환경에 해로운 영향을 미치는 물질로서, 대기, 물, 토양 등의 자연환경으로 배출되어 환경의 품질을 저하시키는 물질로 대기 중 미세먼지, 이산화황(SO₂), 이산화질소(NO₂), 일산화탄소(CO), 오존(O₃)과 같은 기체 형태의 물질, 물에 존재하는 중금속, 유기오염물질, 농약 등과 같은 물질, 그리고 토양 중 중금속, 유해 화학 물질, 폐기물 등과 같은 다양한 형태로 존재함.

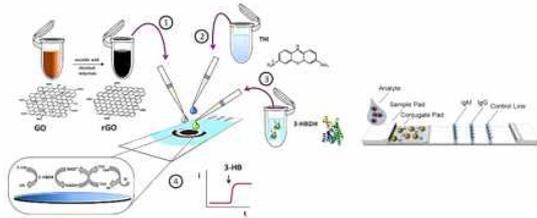
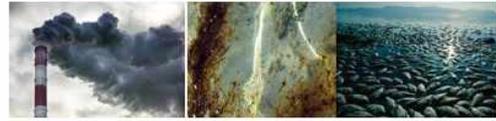
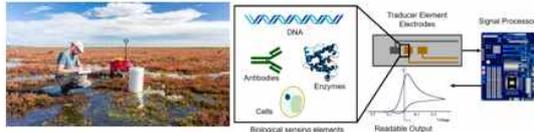
나. 독성물질 정화 기술

- 독성물질 정화 기술은 환경오염으로 인해 발생하는 독성물질을 효과적으로 제거하거나 저감하는 기술을 의미함.
- 독성물질 정화 기술은 물리적, 화학적, 생물학적 방법을 포함할 수 있으며, 물리적 방법으로는 여과, 증류, 증발 등이 있으며, 화학적인 방법으로는 화학 처리, 산화, 환원 등이 있으며, 생물학적 방법으로는 생물정화, 미생물 처리, 생태학적 복원 등이 사용될 수 있음.

다. 독성 물질 검출 기술

- 독성물질 검출 기술은 환경오염으로 인해 발생하는 독성물질을 효과적으로 탐지하는 기술을 의미함.

* 본 연구기획 과제에서는 토양/해양에 모니터링이 필요한 환경오염 물질 타겟을 선정하고 (1) 독성물질 검출 바이오센서 기술개발, (2) 환경오염 독성물질 중화효소 개발과 연구동향 분석, 국내외 전문가 분석, 기술 특허 동향 분석을 수행함으로써 R&D 전략 수립의 기초자료 및 객관적인 타당성을 제공하고자 함.



**On-site 환경오염물질
검출 기술**

**저온성 미생물 또는 효소를
이용한 환경정화 기술**

출처: <https://doi.org/10.3390/bios8020029>
<https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02976>

외부 현장에서 실시간 환경오염 물질의 검출, 분석 및 환경 정화 가능

2. 기획연구 목표: 아래 본 과제 최종 목표 (안) 도출 및 가능성 검토

- (바이오센서 개발) 환경오염 독성물질 검출 바이오센서 기술 개발 1건 이상, 국내특허등록.
- (생물정화기술 개발) 환경오염 독성물질 중화 저온성 미생물/효소 개발 1건 이상, 국내특허 등록.
- (우수한 연구논문 발표) SCIE급 논문 23건 이상 [상위 10건의 평균 mmIF 65 이상 달성].
- (기술이전) 기술이전 또는 기술실시 1건 [기술료 5천만원 이상].

3. 기획 연구 범위

가. 극지/해양에 존재하는 환경 오염물질 조사

- 극지/해양의 다양한 환경샘플로부터 오염물질의 종류와 양을 측정.
- 오염물질의 종류와 특성을 고려한 오염물질 검출 방법 디자인.

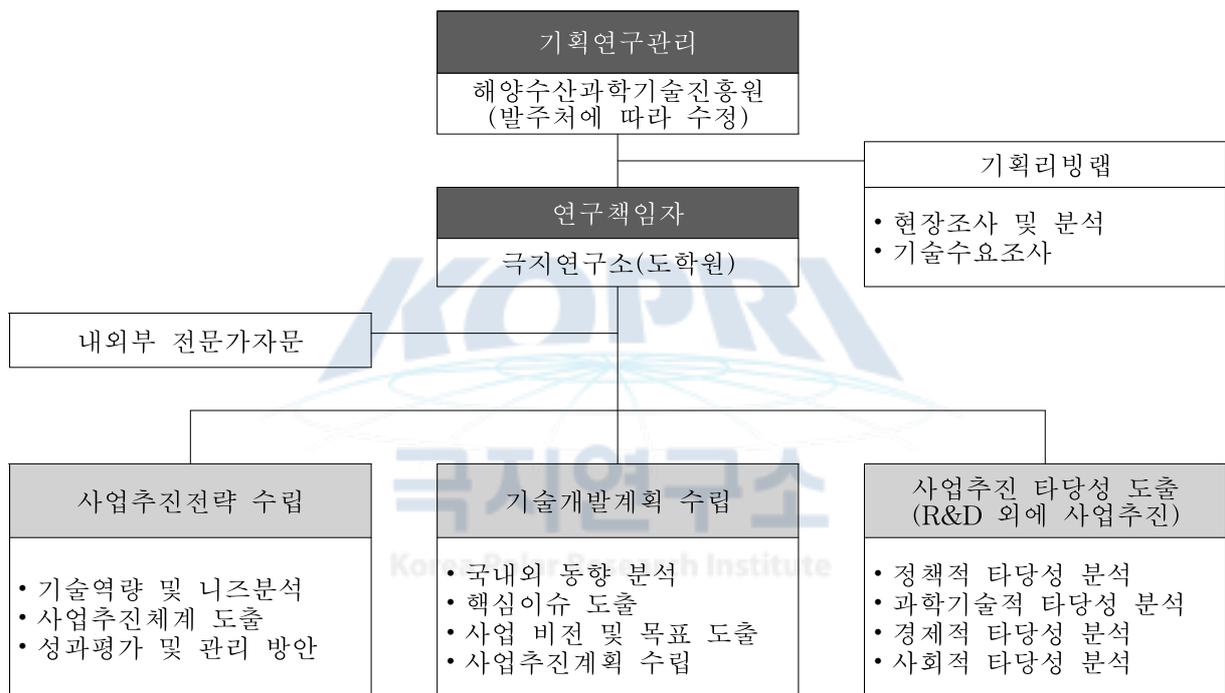
나. 극지/해양 오염물질을 탐지/정화 할 수 있는 저온성 미생물, 효소 탐색

- 극지/해양 생명자원에서부터 오염물질의 종류별로 탐지와 정화가 가능한 저온성 미생물 군주와 저온성 효소 유전자 정보 확보.
- 저온성 미생물의 동정 및 유전자 정보 분석.

4. 기획연구의 추진 방법 및 체계

□ 기획연구를 통해 본과제 수행기관에 따른 주제별 역할/기능 분담, 기획연구의 방법론 등에 따른 연구추진체계 구축.

[표] 기획연구 추진체계



제2장 환경 및 역량 분석

제1절 특허 동향 분석

1. 분석 개요

가. 분석 대상

- 극지연구소에 의해 선별된 10개의 독성물질 및 관련 중화 효소는 다음의 표와 같음.

[표] 대상 독성 물질 및 관련 효소

구분	독성물질 종류	중화 효소
중금속	카드뮴(Cd)	Urease, Sol-gel-immobilized urease
	납(Pb)	Urease
	수은(Hg)	Mercury reductase
잔류성 유기오염물질 (폐놀계)	폴리클로리네이티드 바이페닐 (Polychlorinated Biphenyls, PCBs)	Laccase and tyrosinase
	폴리포링 폴리탄케톤류 (Polybrominated Polytetrafluoroethylene, PBPKs)	Laccase and tyrosinase
	다이옥신 (Polychlorinated dibenzo-p-dioxins)	diosygenase, cytochrome P450, lignin peroxidase, and dehalogenase
제초제	2,4-디클로로페녹시아세트산 (2,4-Dicholoro-phenoxy acetic acid)	Acetyl cholinesterase
살충제	파라티온 (Methyl parathion)	Hydrolase, Acetylcholinesterase
	클로르피리포스 (Chlorpyrifos)	Tyrosinase, Acetylcholinesterase
	파라옥손(Paraoxon)	Acetylcholinesterase, Butyrylcholinesterase, Choline oxidase

나. 분석 범위

- 특허분석 기간은 2013년 10월 25일부터 2023년 10월 25일까지 윈텔립스

(http://www.wintelips.com)에서 제공하는 DB를 이용하였음. 본 조사에서 분석한 자세한 DB 기간은 다음의 표와 같음.

[표] 검색 DB 및 검색 범위

자료 구분	국가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록 특허	한국	Wintelips	2013.10.25~ 2023.10.25	특허공개 및 등록 서지+요약+전체청구항
	일본	Wintelips		특허공개 및 등록 서지+요약+전체청구항
	미국	Wintelips		특허공개 및 등록 서지+요약+전체청구항
	유럽	Wintelips		특허공개 및 등록 서지+요약+전체청구항
	PCT	Wintelips	2020.10.25~ 2023.10.25	특허공개 서지+요약+전체청구항

다. 분석 방법

- 하기의 검색식으로 DB를 검색한 결과, 12,297건의 특허가 검색되었으며, 이들 가운데 2013년 이후 출원된 ‘10개의 대상 독성물질에 대한 미생물 및/또는 효소를 이용한 독성물질의 검출 및 정화기술’ 관련 유효특허를 101건 선별함. 이들 유효특허를 대상으로 분석을 진행함.

[표] 검색식 및 검색건수

기술	국가	검색식	검색건수	유효특허 건수
미생물 및 또는 효소를 이용한 독성 물질의	한국	((미생물 microorganism microbe 박테리아 Archaea bacteria 원생생물 원생동물 protist protozoan) (유레이스 Urease) ((머큐리 adj2 환원효소) (수은 adj2 환원효소) (수은 adj2 해독 adj2 효소) (Mercury adj2 reductase) MerA) (라케이즈 라카아	1,787	30

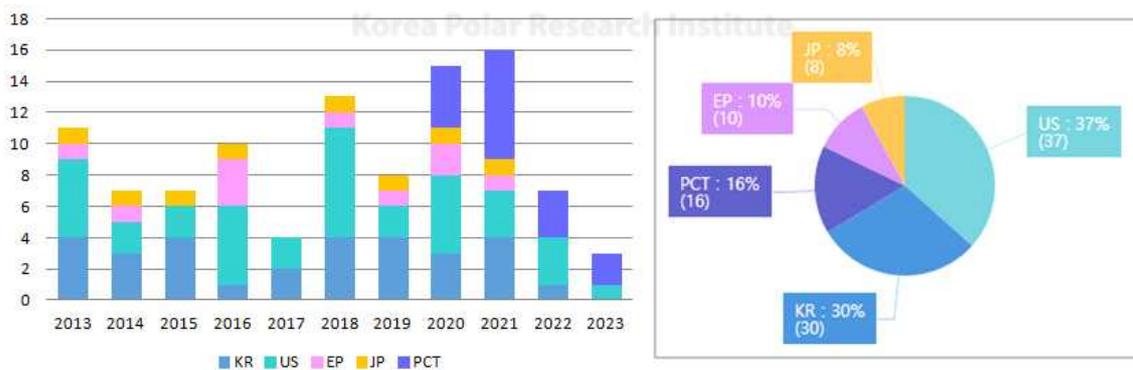
검출 및 정화 기술		제 Laccase) (티로시네이스 티로시 나아제 tyrosinase) (이산소화효소 다이옥시네이스 dioxygenase) ((사이 토크롬 adj2 P450) (시토크롬 adj2 P450) (cytochrome adj2 P450)) ((리 그닌 adj2 펌시다제) (리그닌 adj2 퍼옥시테이즈) (리그닌 adj2 펌시 테이즈) (리그니나제) (lignin adj2 peroxidase) LiP Ligninase) (디할로 게네이즈 데할로게나제 디할로게나 제 (탈화로겐화 adj2 효소) dehalogenase) (아세틸콜린에스터레 이스 아세틸콜린에스터라아제 아세 틸콜린에스테라제 (아세틸콜린 adj2 분해효소) 콜린에스터분해효소 Acetylcholinesterase (Acetyl adj2 cholinesterase) AchE) (가수분해효 소 (가수 adj2 분해 adj2 효소) 하이 드롤레이스 히드롤라제 하이드롤라 아제 Hydrolase) (부티릴콜린에스터 레이스 부티릴콜리네스테라아제 부 티릴콜린에스테라아제 부티릴콜린 에스테라제 (Butyryl adj2 c h o l i n e s t e r a s e) Butyrylcholinesterase BuchE) ((콜린 adj2 옥시다제) (콜린 adj2 옥시다아 제) (콜린 adj2 산화효소) 콜린산화 효소 (Choline adj2 oxidase) ChO)) and (((카드뮴 Cadmium) (납 Lead Pb) (수은 Mercury Quicksilver Hg) ((폴리클로리네이티드 adj2 바이페 닐) (Polychlorinated adj2 Biphenyl*) PCBs) ((폴리포링 adj2 폴루탄케톤 류) (Polybrominated adj2 Polytetrafluoroethylene) PBPKs) (다 이옥신 (polychlorinated adj2 dibenzo-p-dioxin*)) (2,4-디클로로페 녹시아세트산 (2,4-Dichloro-phenoxy adj2 acetic adj2 acid)) (파라티온 파 라싸이온 Parathion (Methyl adj2 parathion)) (클로르피리포스		
	일본		564	8
	미국		5,934	37
	유럽		3,141	10
	PCT		988	16

		Chlorpyrifos) (파라옥손 Paraoxon)) and (검출* detect* 센서* sensor* 정량* quantif* 모니터* monitor* 측정* measure* 확인* identif* 분 석* anal* 검사* inspect* 식별* 분 별* discriminat* 진단* diagnos* 정 화* 청정* clean* purif* remed* bioremediate* 제거* remov* 차단* block* 흡착* adsorb* adsorp* 포획 * captur* 처리* treat* 복원* restor* 여과* 저감* reduc* 분해* degrad*)		
합계			12,297	101

2. 특허출원 동향

가. 국가별 특허출원 동향

- 특허는 일반적으로 출원 후 18개월 후에 공개되므로 2022-2023년의 데이터는 미공개 특허가 존재하므로, 실질적으로 2013-2021년까지의 자료가 의미가 있음을 감안하여야 함.

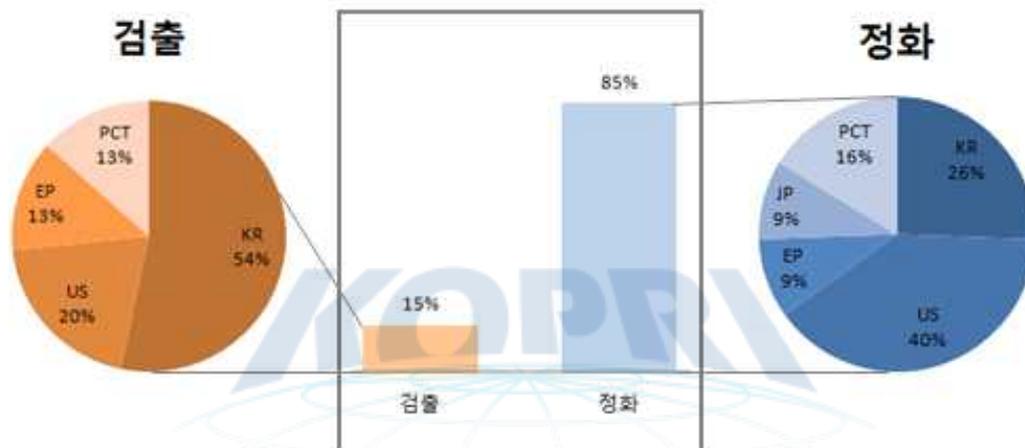


[그림] 국가별 연도별 출원동향

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 독성 물질의 검출 및 정화 기술 관련 국가별 연도별 특허출원 동향을 살펴보면, [그림 1]에 나타난 바와 같이, 10년 동안 출원이 서서히 증가하는 추세로 나타났으며, 모든 국가에서 대세적 감소 없이 매년 출원이 진행되는 것으로 분석됨.
- 주요 4개국 한국, 미국, 유럽 및 일본의 출원을 비교해 보면, 미국과 한국에서의 출원이 37% 및 30%로, 전체 출원의 67%인 절반 이상의 비중을 차지하며, 유럽 및 일본은 10% 내외로 비슷한 수준을 보여줌.

나. 기술별 특허출원 동향

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 독성 물질의 검출 및 정화 기술 관련 특허 출원에 대해, 기술별 특허출원 분포를 살펴보면, [그림]에 나타난 바와 같이, 독성 물질의 검출에 대한 출원(15%)보다는 독성 물질의 정화에 대한 출원이 전체의 85%로, 이에 집중된 것으로 나타남.
- 또한, 이들 기술의 나라별 출원 분포를 살펴보면, 미생물 및/또는 효소를 이용한 독성 물질의 검출에 대한 출원은 한국에서의 출원이 54%로 절반이상을 차지하는 반면, 일본에서의 출원은 1건도 조사되지 않음. 또한, 미생물 및 또는 효소를 이용한 독성 물질의 정화에 대한 출원은, 미국이 40%로 가장 큰 비중을 차지하며, 한국이 26%, 유럽 및 일본이 각각 8%로 조사됨.

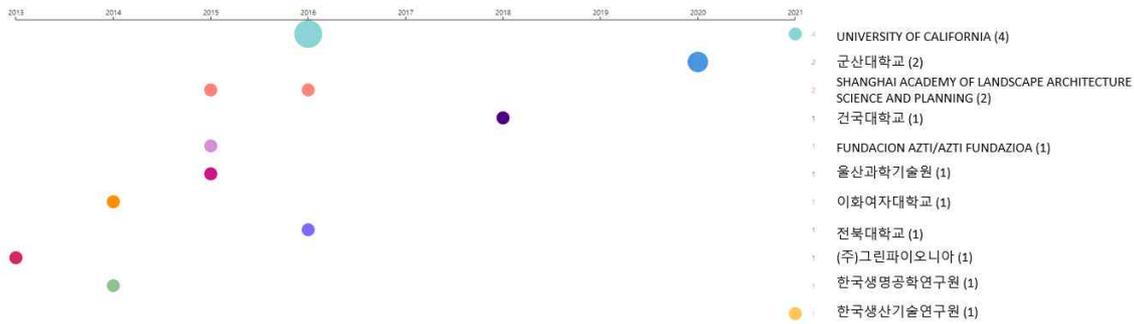


[그림] 기술별 국가별 출원동향

Korea Polar Research Institute

다. 상위 출원인

- 출원인별 특허 출원동향은 미생물 및/또는 효소를 이용한 독성 물질의 검출 기술 관련 출원인 및 생물 및/또는 효소를 이용한 독성 물질의 정화 기술 관련 상위 출원인을 나누어 분석하였으며, 각각의 기술을 검출 기술 및 정화 기술로 기재함.
- 검출 기술 관련 특허의 유효 건수는 15건으로, 출원인을 조사한 결과, [그림]에 나타난 바와 같이, 11개의 출원인이 조사됨. 이들 가운데, University of California가 4건, 군산대학교, SHANGHAI ACADEMY OF LANDSCAPE ARCHITECTURE SCIENCE AND PLANNING(이후, Shanghi academy), 건국대학교가 각 2건 출원으로 이 분야의 상위 출원인으로 조사됨.



[그림] 검출 기술 관련 출원인

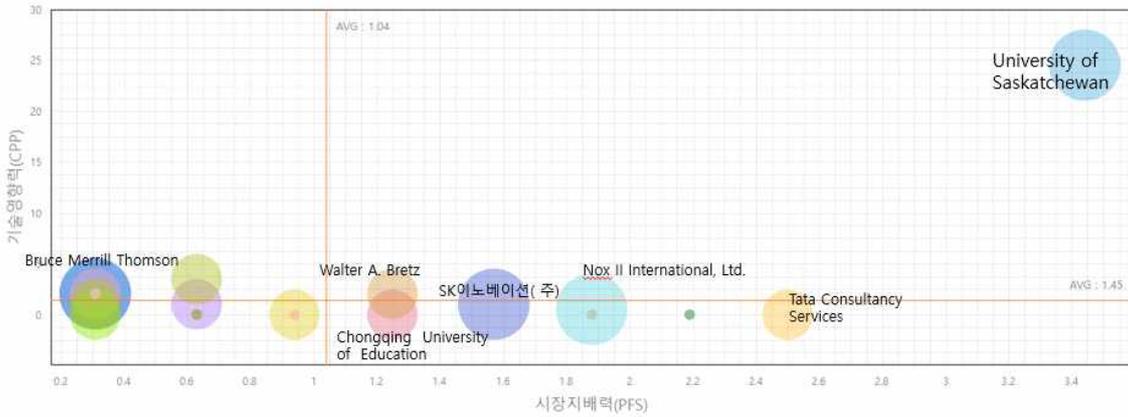
- 검출 기술 관련 출원인을 살펴보면, 11개의 출원인 가운데 한국 출원인이 8개로 비중이 높으나, 이들의 출원 활동은 2013-2018년 이후, 조사되지 않음.
- 정화 기술 관련 특허는 유효 건수는 101건 대비 출원인 수가 67개로 조사됨. 또한, The reagent of the university of California가 4건의 출원을 진행하여 이 기간 최상위 출원인이거나, [그림 4]에 나타난 바와 같이, 기술 분야의 출원이 특정 출원인에 집중되어 있지 않은바, 최근 10년 동안 다수의 출원인에게 의해 연구되어 지고 있는 분야로 파악됨.
- 이 기술 분야의 한국 출원인은 (재)발효미생물산업진흥원, (재)전주농생명소재연구원, (주)비제이씨, (주)셀바이오텍, 건국대학교, 서강대학교, 이화여자대학교, 전북대학교, 경희대학교, 고려대학교, 전남대학교, 울산과학기술원, 한국생명공학연구원, 한국생산기술연구원 등이 조사됨.

출원인	출원년도	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	총합계
The Regents of the University of California					3					1			4
Bruce Merrill Thomson		1	1				1						3
Chongqing University of Education										3			3
Nox II International, Ltd.					3								3
SK이노베이션(주)							3						3
University of Saskatchewan		2					1						3
ZHEJIANG UNIVERSITY										3			3
(재)발효미생물산업진흥원									1	1			2
(재)전주농생명소재연구원		2											2
(주)비제이씨								1	1				2
(주)셀바이오텍											1	1	2
CEMVITA FACTORY, INC.										2			2
i 2 Air Fluid Innovation, Inc.											2		2
Meurice Recherche et Developpement			2										2
Qilu University of Technology										1	1		2
Qingdao Agricultural University							2						2
Shandong Bee-Lan Biotechnology co., Ltd.										2			2
Shanghai Academy Of Landscape Architecture Science And Planning										2			2
Tata Consultancy Services										2			2
The Trustees of Princeton University				1		1							2
THERMOCYCLOMICS, LLC		2											2
Walter A. Bretz							1	1					2
건국대학교				1	1								2
서강대학교			1	1									2
이화여자대학교				1						1			2
전북대학교			1						1				2

[그림] 정화 기술 관련 상위 출원인

- 정화 기술 관련 분야에서의 주요 4개국 특허를 대상으로 하여, 기술영향력 및 시장지배력을

기반으로 상위 출원인의 기술 IP 경쟁력을 분석한 결과, [그림]에 나타난 바와 같이, University of Saskatchewan이 기술 수준 및 시장 확보 수준이 높은 것으로 나타남.



[그림] 상위 출원인 IP 경쟁력

3. 동향분석 종합

- 납, 수은, 카드뮴, PCB,s(폴리클로리네이티드 바이페닐), PBPKs(폴리포링 플루탄계톤류), 다이옥신(polychlorinated dibenzo-p-dioxins), 2,4-디클로로페녹시아세트산(2,4-Dichloro-phenoxy acetic acid), 파라티온(Methyl parathion), 클로르피리포스(Chlorpyrifos), 파라옥손(Paraoxon)을 대상으로 한, 미생물 및/또는 효소를 이용한 독성 물질의 검출 및 정화 기술 분야는 최근 10년 동안 특허 활동이 활발히 이루어지고 있지는 않으나, 기간 내 출원이 서서히 증가하는 추세이며, 모든 국가에서 대세적 감소 없이 매년 출원이 진행되는 것으로 나타남.
- 상기 10개의 대상 독소에 대한 미생물 및/또는 효소를 이용한 독성 물질의 검출 및 정화 기술 분야는 최근 10년 동안, 독성 물질의 검출(15%)에 대한 출원보다는 독성 물질의 정화(85%)에 대한 출원에 집중된 것으로 나타남.
- 또한, 상기 10개의 대상 독소에 대한 미생물 및/또는 효소를 이용한 검출 기술 및 정화 기술에서 한국인 출원인의 비중이 높은 것으로 나타났으며, 관련 출원인을 살펴보면, 11개의 출원인 가운데 한국 출원인이 8개로 비중이 높으며, 본 기술 분야의 출원은 특정 출원인에 집중되어 있지 않은 바, 최근 10년 동안 다수의 출원인에게 의해 연구되어지고 있는 분야로 파악됨.

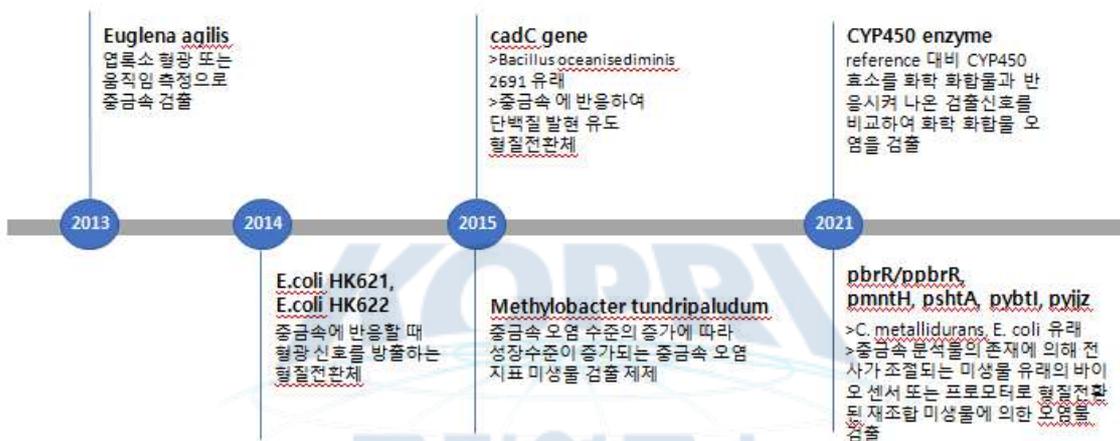
제2절 주요특허 분석

1. 검출

가. 중금속

1) 납(Lead, Pb)

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 납의 검출과 관련하여, 유글레나, *Methylobacter tundripaludum*와 같은 지표생물을 이용한 오염 진단 기술, 중금속과 반응하도록 형질전환 미생물을 이용한 검출 기술 및 미생물의 효소를 이용한 오염물질 검출 기술 등이 조사됨.



[그림] 미생물 및/또는 효소를 이용한 납 검출 특허 출원 흐름

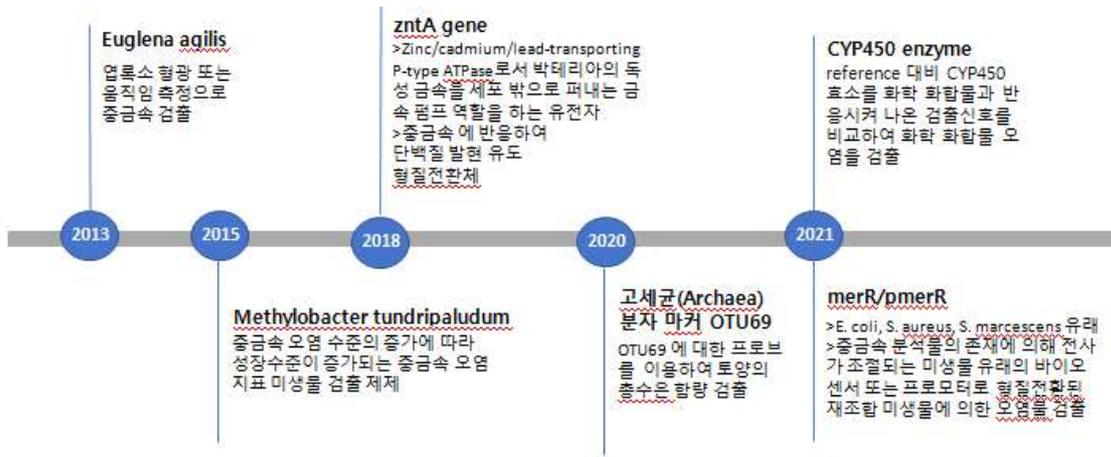
- 납 검출을 위한 형질전환체는 납 센싱을 위하여 *B. oceanisediminis* 유래의 *cadC*, *C. metallidurans* 유래의 *pbrR/ppbrR*, 또는 *E. coli* 유래 *pmntH*, *pshtA*, *pybtl*, 또는 *pyijz*를 포함하는 특징이 있으며, 미생물 및/또는 효소를 이용한 납 검출 기술의 주요 특허의 내용은 다음과 같음.

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 납 검출의 주요특허 리스트

등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
KR10-1436921B1 (2013-02-21)	유글레나속 미생물을 이용한 수질 독성 평가 방법	물 샘플 및 유글레나 미생물을 용기에 넣고, 미생물을 배양하고, 그들의 엽록소 형광 또는 움직임 특성을 측정 (수질오염)
KR10-1724015B1 (2014-12-01)	미생물을 이용한 중금속 탐지 바이오센서	유체 공급 채널, 감지 챔버, 및 미생물이 유체 내의 중금속 존재에 반응하는 통합 공간을 포함한 바이오센서. 미생물은 중금속에 반응할 때 형광 신호를 방출하여 중금속 존재를 결정
KR10-1659732B1 (2015-10-21)	중금속에 의해 유도되는 단백질 발현 시스템 및 중금속 검출용 바이오센서	중금속 노출에 반응하여 단백질 발현을 유도하기 위해 cadC 유전자를 활용하는 중금속 검출용 형질전환체
KR10-1769217B1 (2015-12-09)	지표 미생물을 이용하여 토양내 중금속 오염을 확인하는 방법	중금속 오염 수준의 증가에 따라 성장수준이 증가되는 중금속 오염 지표 미생물인 메틸로박터 툰드리팔루덤(<i>Methylobacter tundripaludum</i>) 균주를 검출할 수 있는 제제를 포함하는 토양내 중금속 오염 확인용 조성물, 중금속 수준의 정량적 분석 가능 (토양오염)
WO2022-144095A1 (2021-04-27)	BIOSYSTEMS TO DETECT CHEMICAL CONTAMINANTS	reference 대비 CYP450 효소를 화학 화합물과 반응시켜 나온 검출신호를 비교하여 화학 화합물 오염을 검출하는 방법
US2022-0057378A1 (2021-09-02)	M I C R O B I A L M I C R O F L U I D I C B I O S E N S O R	중금속 분석물의 존재에 의해 전사가 조절되는 미생물 유래의 바이오 센서 또는 프로모터로 형질전환된 재조합 미생물에 의한 오염물 검출

2) 수은(Mercury, Hg)

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 수은의 검출과 관련하여, 유글레나, *Methylobacter tundripaludum*과 같은 지표생물을 이용한 오염 진단 기술, 고세균(Archaea)의 분자마커를 이용한 오염 진단 기술, 중금속과 반응하도록 형질전환 미생물을 이용한 검출 기술 및 미생물의 효소를 이용한 오염물질 검출 기술 등이 조사됨.
- 수은 검출을 위한 형질전환체는 수은 센싱을 위하여 박테리아 유래의 *zntA* 또는 *E. coli*, *S. aureus*, *S. marcescens* 유래 *merR/pmerR*를 포함하는 특징이 있으며, 미생물 및/또는 효소를 이용한 수은 검출 기술의 주요 특허의 내용은 다음과 같음.



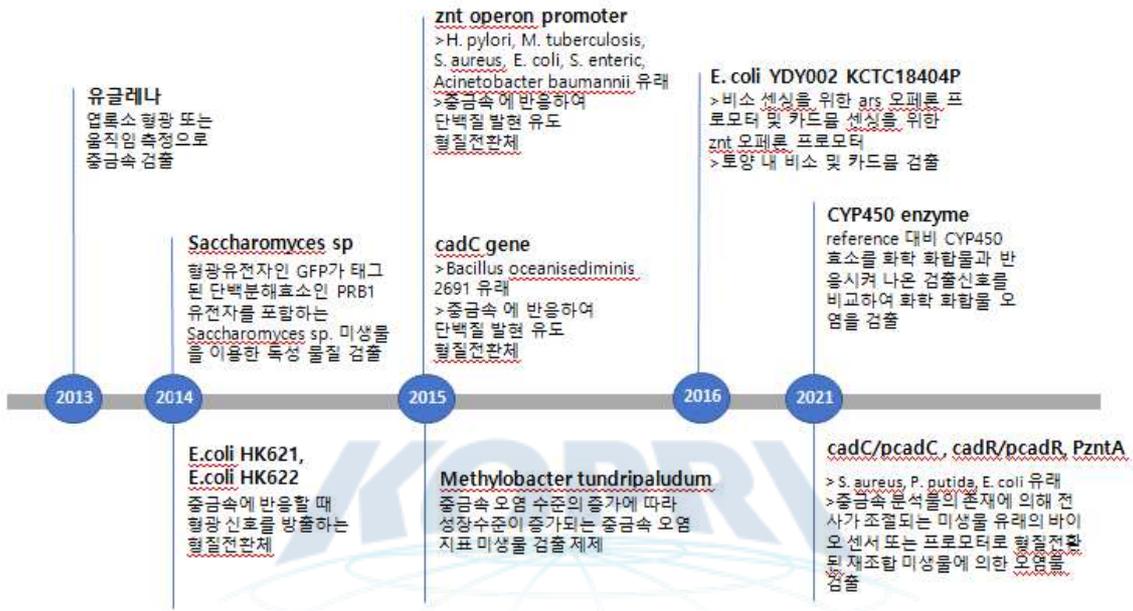
[그림] 미생물 및/또는 효소를 이용한 수은 검출 특허 출원 흐름

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 수은 검출의 주요특허 리스트

등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
KR10-1436921B1 (2013-02-21)	유글레나속 미생물을 이용한 수질 독성 평가 방법	물 샘플 및 유글레나 미생물을 용기에 넣고, 미생물을 배양하고, 그들의 엽록소 형광 또는 움직임 특성을 측정 (수질오염)
KR10-1769217B1 (2015-12-09)	지표 미생물을 이용하여 토양내 중금속 오염을 확인하는 방법	중금속 오염 수준의 증가에 따라 성장수준이 증가되는 중금속 오염 지표 미생물인 메틸로박터 툰드리팔루덤(Methylobacter tundripaludum) 균주를 검출할 수 있는 제제를 포함하는 토양내 중금속 오염 확인용 조성물, 중금속 수준의 정량적 분석 가능 (토양오염)
KR10-2020-006646 5A (2018-11-30)	수은 센싱 미생물 진단 키트 및 이의 제조방법	수은과 특이적으로 결합하는 zntA 유전자의 프로모터를 포함하는 중금속 검출용 형질전환체
US2022-0220537A1 (2020-05-14)	METHOD FOR RAPIDLY DETECTING THE TOTAL MERCURY CONTENT OF SOIL IN URBAN RELOCATION SITES BY USING ARCHAEA MOLECULAR MARKER OTU69	고세균의 분자 마커 OTU69에 대한 프로브를 이용하여 토양의 총 수은 함량 검출
WO2022-144095A1 (2021-04-27)	BIOSYSTEMS TO DETECT CHEMICAL CONTAMINANTS	reference 대비 CYP450 효소를 화학 화합물과 반응시켜 나온 검출신호를 비교하여 화학 화합물 오염을 검출하는 방법
US2022-0057378A1 (2021-09-02)	MICROBIAL MICROFLUIDIC BIOSENSOR	중금속 분석물의 존재에 의해 전사가 조절되는 미생물 유래의 바이오 센서 또는 프로모터로 형질전환된 재조합 미생물에 의한 오염물 검출

3) 카드뮴(Cadmium, Cd)

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 카드뮴의 검출과 관련하여, 유글레나, *Methylobacter tundripaludum*과 같은 지표생물을 이용한 오염 진단 기술, 고세균(Archaea)의 분자마커를 이용한 오염 진단 기술, 중금속과 반응하도록 형질전환 미생물을 이용한 검출 기술 및 미생물의 효소를 이용한 오염물질 검출 기술 등이 조사됨.



[그림] 미생물 및/또는 효소를 이용한 카드뮴 검출 특허 출원 흐름

Korea Polar Research Institute

- 카드뮴 검출을 위한 형질전환체는 카드뮴 센싱을 위하여 H. pylori, M. tuberculosis, S. aureus, E. coli, S. enteric 유래의 *znt operon promoter*, S. aureus 유래의 *cadC/pcadC*, P. putida 유래의 *cadR/pcadR*, E. coli 유래 PzntA 또는 B. oceanisediminis 유래의 *cadC*를 포함하는 특징이 있음

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 카드뮴 검출의 주요특허 리스트

등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
KR10-1436921B1 (2013-02-21)	유글레나속 미생물을 이용한 수질 독성 평가 방법	물 샘플 및 유글레나 미생물을 용기에 넣고, 미생물을 배양하고, 그들의 엽록소 형광 또는 움직임 특성을 측정 (수질오염)
KR10-1569442B1 (2014-10-29)	재조합 효모를 이용한 생물 독성 물질 검출방법	형광유전자인 GFP가 태그된 단백질효소인 PRB1 유전자를 포함하는 사카로마이세스 속(Saccharomyces sp.) 미생물을 이용한 독성 물질 검출
KR10-1724015B1 (2014-12-01)	미생물을 이용한 중금속 탐지 바이오센서	유체 공급 채널, 감지 챔버, 및 미생물이 유체 내의 중금속 존재에 반응하는 통합 공간을 포함한 바이오센서. 미생물은 중금속에 반응할 때 형광 신호를 방출하여 중금속 존재를 결정
KR10-1682879B1 (2015-09-10)	토양 내의 생물학적 이용가능한 카드뮴의 정량화 방법	카드뮴과 특이적으로 결합하는 znt 오페론의 프로모터(zntR) 및 이와 작동가능하게 연결된 리포터 유전자를 포함하는 미생물을 이용한 토양의 카드뮴 함량 검출 방법
KR10-1659732B1 (2015-10-21)	중금속에 의해 유도되는 단백질 발현 시스템 및 중금속 검출용 바이오센서	중금속 노출에 반응하여 단백질 발현을 유도하기 위해 cadC 유전자를 활용하는 중금속 검출용 형질전환체
KR10-1769217B1 (2015-12-09)	지표 미생물을 이용하여 토양내 중금속 오염을 확인하는 방법	중금속 오염 수준의 증가에 따라 성장수준이 증가되는 중금속 오염 지표 미생물인 메틸로박터 툰드리팔루덤(Methylobacter tundripaludum) 균주를 검출할 수 있는 제제를 포함하는 토양내 중금속 오염 확인용 조성물, 중금속 수준의 정량적 분석 가능 (토양오염)
KR10-1917122B1 (2016-11-28)	바이오리포터 미생물, 이를 이용한 토양 내 생물 이용가능한 비소 및 카드뮴의 정량화 방법 및 토양 정화 공정의 평가 방법	비소 센싱을 위한 ars 오페론 프로모터 및 카드뮴 센싱을 위한 znt 오페론 프로모터를 포함하는 Escherichia coli YDY002 KCTC18404P를 이용한 토양의 비소 및 카드뮴 검출 방법
WO2022-144095A1 (2021-04-27)	BIOSYSTEMS TO DETECT CHEMICAL CONTAMINANTS	reference 대비 CYP450 효소를 화학 화합물과 반응시켜 나온 검출신호를 비교하여 화학 화합물 오염을 검출하는 방법
US2022-0057378A1 (2021-09-02)	M I C R O B I A L M I C R O F L U I D I C B I O S E N S O R	중금속 분석물의 존재에 의해 전사가 조절되는 미생물 유래의 바이오 센서 또는 프로모터로 형질전환된 재조합 미생물에 의한 오염물 검출

4) polychlorinated biphenyls (PCBs) 및 polychlorinated dibenzo para dioxins (dioxins)

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 polychlorinated biphenyls (PCBs) 및 polychlorinated dibenzo para dioxins (dioxins)의 검출과 관련하여, 사이토크로 P450 효소인 CYP1A, CYP1 B, CYP2B, CYP2C 및 이들의 조합을 이용한 오염물질 검출 기술이 2021년에 출원된 것으로 조사됨 (WO2022-144095A1).

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 PCBs, Dioxins 검출의 주요특허 리스트

등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
WO2022-144095A 1 (2021-04-27)	BIOSYSTEMS TO D E T E C T C H E M I C A L C O N T A M I N A N T S	reference 대비 CYP450 효소를 화학 화합물과 반응시켜 나온 검출신호를 비교하여 화학 화합물 오염을 검출하는 방법

5) 기타

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 독소의 검출과 관련하여, 최근 10년 동안 PBPKs(폴리포링 플루탄계톤류), 2,4-디클로로페녹시아세트산(2,4-Dichloro-phenoxy acetic acid), 파라티온(Methyl parathion), 클로르피리포스(Chlorpyrifos), 파라옥손(Paraoxon)을 대상으로 한 검출 관련 특허는 조사되지 않음.

2. 정화

□미생물 및/또는 효소를 이용한 독소의 정화 기술은 1차로 독소별로 분류하고, 2차로 정화 기술에 따라 생물접종법, 흡착법 및 기타로 분류하였다. 금속 침출능력을 갖는 미생물을 이용하여 유가 금속을 회수하는 습식제련법의 일종인 바이오리칭 기술은 별도로 분류하지 않고, 생물접종법에 포함하였음.

□미생물을 이용하는 독소의 정화 기술은, 분리 동정된 미생물, 황환원성균, 황산화성균과 같이 한 카테고리의 미생물, 또는 혼합 미생물, 또는 형질전환 미생물을 이용하는 것으로 조사됨.

가. 중금속

1) 납(Lead, Pb)

1)-1 생물접종법

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 납의 정화 기술과 관련하여, 생물 접종법은 토양, 수질, 공기 및 식물체 정화에서 널리 사용되는 것으로 분석됨.
- 본 기술 분야에서 조사된 분리 동정된 미생물로는, 수질 정화 관련하여 *D. desulfuricans* KCTC 5768(해양 수질 정화), *Bacillus licheniformis* strain ECOBIO_2 (GenBank Accession KP877534.1), 토양 또는 수질 정화 관련하여 *Acidimicrobiaceae Feammox* bacterium A6 PTA-122488, 토양 또는 식물체 정화 관련하여 *Streptomyces* sp. strain, IDAC 081111-06, *Bacillus tianshenii* strain P46, *Mesorhizobium panacihumi* DCY119T, *Bacillus megaterium* SRCM116265, 토양 정화 관련하여 *Novosphingobium* sp. CuT1 KCTC14573BP 가 있음 [표 8].
- 또한, 수질 정화 관련하여 sulfate reducing bacteria, 공기 정화 관련하여 Sulfur-oxidizing

microorganism, 독성화합물의 흡수 억제와 관련하여 *Lactobacillus* sp. 가 조사됨 [표 9].

- 이 외에도, mixed strain NIX51 KACC81038BP을 비롯한 다양한 종류의 미생물 혼합, *Yersinia pestis* 유래의 Yersiniabactin으로, 시데로포아(siderophore) 의존적으로 금속을 흡수하는 Ybt 또는 이의 유사체를 포함하는 형질전환체 및 *Caulobacter crescentus* strain, CC3625 유래의 cysteine synthase를 이용한 수질 또는 토양 정화 기술이 조사됨.

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 납 정화-생물접종법 주요특허 리스트



생물접종법/ 분리미생물		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
KR10-1822711B1 (2015-06-16)	중금속 오염 해양 퇴적물의 생물학적 피복 정화 방법	-Sulfate Reducing Bacteria(SRB) >D. desulfuricans KCTC 5768 -수질 및 해수토양 정화 -on situ 정화기술
US10479712B2 (2017-09-18)	Methods and compositions for nitrogen removal using Feammox microorganisms	-Acidimicrobiaceae Feammox bacterium A6 PTA-122488 -토양 또는 수질 정화
US11064673B2 (2018-12-20)	Endophytic microbial symbionts in plant prenatal care	-Streptomyces sp. strain, IDAC 081111-06 -식물 내생 미생물 -식물체 정화 (식물 씨앗에 상기 내생 미생물을 코팅)
US2021-0053096A1 (2020-08-24)	Method for bioremediation of lead	-Bacillus licheniformis strain ECOBIO_2 (GenBank Accession KP877534.1) -수질정화
KR10-2021-0124232A (2020-12-14)	바실러스 텐션니 균주, 이의 미생물 제제 및 중금속 복구 분야의 응용	-Bacillus tianshenii strain P46 -토양 및 식물체 정화
KR10-2517399B1 (2020-12-30)	인삼에서 중금속에 의한 산화 스트레스 및 적변 경감에 도움을 주는 식물생장촉진 근권세균 Mesorhizobium panacihumi DCY119T 및 이의 용도	-Mesorhizobium panacihumi DCY119T -토양 및 식물체 정화 (식물과 공생)
KR10-2022-0154426A (2021-05-13)	잔류농약 분해능, 세포외 효소 분비능 및 중금속 내성이 있고, 식물병 원인균에 대해 항진균 활성을 가지는 바실러스 메가테리움 SRCM116265 균주 및 이의 용도	-Bacillus megaterium SRCM116265 -토양 및 식물체 정화
KR10-2022-0160964A (2021-05-28)	신규한 노보스핑고비움 속 균주 및 이의 용도	-Novosphingobium sp. CuT1 KCTC14573BP -방향족 화합물 분해 -토양 정화

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 납 정화-생물접종법 주요특허 리스트

생물접종법/ 단일 카테고리 미생물		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
US2018-0222782A1 (2018-04-10)	ANAEROBIC SUSPENDED GROWTH TREATMENT OF CONTAMINATED WATER	-metal-reducing bacteria <sulfate reducing bacteria -수질 정화
KR10-2528342B1 (2018-08-01)	이산화탄소 및 금속함유 분진의 저감방법	-Sulfur-oxidizing microorganism >Acidianus, Aquifex, Hydrogenobacter, Thiobacillus, Thiomicrospira, Sulfurimonas, Halothiobacillus, Acidithiobacillus, Thermithiobacillus -공기 정화(산업용 오프 가스) -황산화-바이오 반응기
US2020-0140806A1 (2019-11-06)	FOOD GRADE BACTERIA FOR THE REMOVAL OF TOXIC COMPOUNDS	-Lactobacillus: >Lactobacillus reuteri RC-14, Lactobacillus casei 21052, Lactobacillus casei 393T, Lactobacillus rhamnosus GR-1, Lactobacillus rhamnosus R3, Lactobacillus rhamnosus R37, Lactobacillus johnsonii 20553, Lactobacillus plantarum 14917T -독성 화합물 흡수 억제(해독 및/또는 격리)
생물접종법/ 혼합 미생물		
US2015-0353982A1 (2013-12-30)	바실러스 텐션니 균주, 이의 미생물 제제 및 중금속 복구 분야의 응용	-Mixture >microalgae: Chlamydomonas nivalis., Chlorella vulgaris, Scenedesmus dimorphus >cyanobacterium: Arthrospira platensis >G+ bacteria: Bacillus subtilis -수질 정화(폐수처리)
US2020-0222955A1 (2018-02-07)	METHOD FOR DISPOSING OF CONTAMINATED DEPOSIT SOIL AND RECYCLED RECLAMATION SOIL USING SAME	-mixed strain NIX51 KACC81038BP -토양 정화
US2020-0180985A1 (2019-05-07)	Method for bioremediation of heavy metal contaminated soil	-Mixture >bacterium 및 fungus -토양 정화

생물접종법/ 혼합 미생물(계속)		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
KR10-2022-0160964A (2021-05-28)	Heavy Metal Treatment Composite Microbial Agent in Water and Preparation Method Thereof	-Mixture: Bacillus, Staphylococcus, Pseudomonas, 및 Pichia pastoris > Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas brenneri, Pseudomonas putida, Pseudomonas stutzeri > Pichia membranifaciens -수질 정화
JP2021-045121A (2020-09-07)	폐수 처리 장치, 미생물 군집, 미생물 군집 배양 방법 및 폐수 처리 방법	-Mixture: manganese-oxidizing bacteria 및 methylotrophic bacteria (methylotrophs) > methylotrophic bacteria: Methylibium sp. R1-5 (NITE AP-03266) 및 Methyloversatilis sp. R1-7 (NITE AP-03267) -수질 정화(폐수 처리) -17 내지 19℃
US2022-0234087A1 (2021-03-22)	METHOD FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF ELECTROKINETIC TECHNOLOGY FOR REMOVING POLLUTANTS FROM SOLID MATRIX BY USING A MIXED MICROBIAL SOLUTION	-Mixture: phosphorus solubilizing bacteria, photosynthetic bacteria (PSB), yeast, and lactic acid bacteria -토양 정화
US2023-0203414A1 (2023-01-30)	BIOREMEDIATION SYSTEMS FOR WASTEWATER TREATMENT AND METHODS FOR THE USE THEREOF	-혐기성 미생물 및 호기성 미생물 -수질 정화(폐수 처리) -중금속의 농도를 약 1%내지 약 30%이상 감소
생물접종법/ 형질전환체		
US2018-0065940A1 (2016-03-21)	METAL-BINDING COMPOUNDS, HETEROLOGOUS PRODUCTION AND USES THEREOF	-Ybt 및 Ybt 유사체 생산을 위한 형질전환 미생물 >Ybt: Yersinia pestis 유래의 Yersiniabactin -금속결합 화합물 생산 미생물 -토양 또는 수질 정화
생물접종법/ 효소		
US2017-0088827A1 (2016-09-26)	BACTERIAL STRAIN FOR LEAD PRECIPITATION	- cysteine synthase :Caulobacter crescentus strain, CC3625 유래 -토양 및 수질 정화

1)-2 흡착법

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 납의 정화 기술과 관련하여, 흡착법은 수질 정화 및 중금속 중독 치료에 사용되는 것으로 분석됨.
- 본 기술 분야에서 조사된 분리 동정된 미생물로는, 수질 정화 관련하여 *Bacillus catenulatus* JB-022 KACC91896P 및 *Bacillus* sp. SRCM112835 가 있으며, 중금속 중독 치료 관련하여 *Lactobacillus fermentum* LF-SCHY34 및 *Lactobacillus plantarum* KCCM 12698P가 있음.
- 또한, 수질 정화 관련하여 Manganese-oxidizing bacteria, Flagellate Green Algae 및 filamentous bacteria, non-filamentous bacteria, fungi 또는 algae 가 조사됨.
- 본 기술 분야에서는 형질전환체 및 효소를 이용한 정화 기술은 조사되지 않았음.

[표] 미생물을 이용한 납 정화-흡착법 주요특허 리스트

흡착법/ 분리미생물		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
KR10-1540862B1 (2013-12-16)	양이온성 염료 및 금속에 흡착 효능을 갖는 바실러스 카테놀라투스 JB-022 균주 및 이를 이용한 바이오매스	- <i>Bacillus catenulatus</i> JB-022 KACC91896P -수질 정화(폐수 처리)
KR10-2022-0034276A (2020-09-10)	양이온성 금속에 흡착 효능을 갖는 바실러스 속 SRCM112835 균주 및 이의 용도	- <i>Bacillus</i> sp. SRCM112835 -수질 정화
KR10-2567035B1 (2021-02-02)	락토바실러스 퍼멘텀 LF-SCHY34 및 그 응용	- <i>Lactobacillus fermentum</i> LF-SCHY34 -중금속 중독치료
KR10-2023-0009537A (2021-07-09)	중금속 흡착 유산균주	- <i>Lactobacillus plantarum</i> KCCM 12698P -중금속 중독치료
흡착법/ 단일 카테고리 미생물		
JP6719092B2 (2015-03-13)	망간 산화 세균의 집적 배양 방법, 바이오 망간 산화물의 생성 방법 및 금속의 회수 방법	-Manganese-oxidizing bacteria -수질 정화
JP2020-516768A (2018-04-06)	금속을 결합하기 위한 방법 및 캡슐화된 삼출물 및 건조 유글레나(EUGLENA) 바이오매스 사용	-Flagellate Green Algae > <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> , <i>Euglena gracilis</i> , <i>Euglena mutabilis</i> -수질 정화(폐수 처리)
흡착법/ 혼합 미생물		
US2018-00290102018-02-01 (2016-01-25)	A METHOD FOR REMOVAL OF METALS FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING BIO ADSORBENTS	-filamentous bacteria, non-filamentous bacteria, fungi 또는 algae -수질 정화

2) 수은(Mercury, Hg)

2)-1 생물접종법

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 수은의 정화 기술과 관련하여, 생물 접종법은 토양, 수질 및 식물체 정화에서 사용되는 것으로 분석됨.
- 본 기술 분야에서 조사된 분리 동정된 미생물로는, 수질 정화 관련하여 *D. desulfuricans* KCTC 5768(해양 수질 정화), 토양 또는 식물체 정화 관련하여 *Bacillus tianshenii* strain P46, *Mesorhizobium panacihumi* DCY119T 가 있음 [표].
- 또한, 수질 정화 관련하여 sulfate reducing bacteria, photoheterotrophic 또는 fermentative heterotrophic bacteria, 토양 정화 관련하여 *Metarhizium* fungi 및 non-*Metarhizium* fungi가 조사됨 [표].
- 이 외에도, bacterium 및 fungus로 구성된 혼합 미생물을 이용한 수질 정화 기술, phosphorus solubilizing bacteria, photosynthetic bacteria (PSB), yeast, 및 lactic acid bacteria로 구성된 혼합 미생물을 이용한 토양 정화 기술, bacteria *Acidiferrobacter thiooxydans*, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *Leptospirillum ferriphilum*, *Acidimicrobium ferrooxidans*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Acidithiobacillus caldus*, *Acidianus brierleyi*, *Sulfobacillus acidophilus*, *Actinobacterium sp.*, *Acidocaldus organivorans* and *Alicyclobacillus ferroplasma*와 같은 iron-oxidizing bacterial population을 이용한 기술이 조사됨 [표].
- 본 기술 분야에서 조사된 형질전환체는, *Yersinia pestis* 유래의 *Yersiniabactin*으로, 시데로포아(siderophore) 의존적으로 금속을 흡수하는 *Ybt* 또는 이의 유사체를 포함하는 형질전환체, *Metarhizium robertii* 유래 메틸수은 탈메틸효소 *Mmd* 및/또는 2가 수은 환원효소 *Mir*를 포함하는 형질전환체, *merA* and *merB* gene 발현이 증가된 mercuric reductase and organomercurial lyase를 생산하는 수은-형질전환체가 있음 [표].

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 수은 정화-생물접종법 주요특허 리스트

생물접종법/ 분리미생물		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
KR10-1822711B1 (2015-06-16)	중금속 오염 해양 퇴적물의 생물학적 회복 정화 방법	-Sulfate Reducing Bacteria(SRB) >D. desulfuricans KCTC 5768 -수질 및 해수토양 정화 -on situ 정화기술
KR10-2021-0124232A (2020-12-14)	바실러스 텐션니 균주, 이의 미생물 제제 및 중금속 복구 분야의 응용	-Bacillus tianshenii strain P46 -토양 및 식물체 정화
KR10-2517399B1 (2020-12-30)	인삼에서 중금속에 의한 산화 스트레스 및 적변 경감에 도움을 주는 식물생장촉진 근권세균 Mesorhizobium panacihumi DCY119T 및 이의 용도	-Mesorhizobium panacihumi DCY119T -토양 및 식물체 정화 (식물과 공생)
생물접종법/ 단일 카테고리 미생물		
US9969639B2 (2014-12-03)	Anaerobic suspended growth treatment of contaminated water	-metal-reducing bacteria <sulfate reducing bacteria -수질 정화
US2018-0222782A1 (2018-04-10)	ANAEROBIC SUSPENDED GROWTH TREATMENT OF CONTAMINATED WATER	-metal-reducing bacteria <sulfate reducing bacteria -수질 정화
US10759683B2 (2018-07-10)	Methods for removing mercury contaminant from aqueous solutions, and bioreactors therefor	-photoheterotrophic or fermentative heterotrophic bacteria > Clostridiales > family Heliobacteria > Heliobacterium modesticaldum 또는 Clostridium acetobutylicum > Heliobacterium modesticaldum Icel. > Clostridium acetobutylicum ATCC 824 > photoheterotrophic bacteria is Heliobacterium modesticaldum, or Heliobacillus mobilis. > Heliobacterium modesticaldum Icel.
WO2023-092654A1 (2021-12-08)	FUNGUS AND BIOLOGICAL AGENT FOR CONTROLLING MERCURY POLLUTION, AND USE THEREOF, METHOD FOR REMOVING MERCURY, AND METHOD FOR IDENTIFYING FUNGUS HAVING ABILITY TO CONTROL MERCURY POLLUTION	Mmd 및 Mir 발현 fungi >Metarhizium fungi 및 non-Metarhizium fungi >non-Metarhizium fungi: Fusarium oxysporum, Oidiodendron maius 및 Shaotuhuosi Pyronema omphalodes, Amorphythea resiniae, Cadophora Malorum, Hyaloscypha bicolor, Pseudogymnoascus sp 및 Exophialaoligosperma 포함

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 수은 정화-생물접종법 주요특허 리스트

생물접종법/ 혼합 미생물		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
US2015-0353982A1 (2013-12-30)	MICRO-EVOLUTION OF MICROBES	-Mixture >microalgae: Chlamydomonas nivalis., Chlorella vulagris, Scenedesmus dimorphus >cyanobacterium: Arthrospira platensis >G+ bacteria: Bacillus subtilis -수질 정화(폐수 처리)
US11351583B2 (2018-11-15)	Method for bioremediation of heavy metal contaminated soil	-Mixture : bacterium 및 fungus -토양 정화
US2022-0234087A1 (2021-03-22)	METHOD FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF ELECTROKINETIC TECHNOLOGY FOR REMOVING POLLUTANTS FROM SOLID MATRIX BY USING A MIXED MICROBIAL SOLUTION	-Mixture: phosphorus solubilizing bacteria, photosynthetic bacteria (PSB), yeast, and lactic acid bacteria -토양 정화
생물접종법/ 형질전환체		
US2018-0065940A1 (2016-03-21)	METAL-BINDING COMPOUNDS, HETEROLOGOUS PRODUCTION AND USES THEREOF	-Ybt 및 Ybt 유사체 생산을 위한 형질전환 미생물 >Ybt: Yersinia pestis 유래의 Yersiniabactin -금속결합 화합물 생산 미생물 -토양 또는 수질 정화
WO2023-092655A1 (2021-12-08)	METHOD AND RECOMBINANT STRAIN FOR ENHANCING METHYL MERCURY DEMETHYLATION AND/OR DIVALENT MERCURY REDUCTION ABILITIES OF FUNGUS, AND USE	-형질전환 Metarhizium robertsii/Beauveria bassiana/Saccharomyces cerevisiae(Mmd 및/또는 Mir 발현) >메틸수은 탈메틸효소 Mmd 및/또는 2가 수은 환원효소 Mir는 Metarhizium robertii 유래 -토양 또는 수질 정화
US2023-0087150A1 (2022-09-15)	METHOD, SYSTEM, AND COMPOSITION OF MATTER FOR REDUCING TOXIC MERCURY IN WASTEWATER EFFLUENT	-mercury-transformative microbe (that produce mercuric reductase and organomercurial lyase.) : merA and merB gene 발현 증가 -수질 정화(폐수 처리)

2)-2 흡착법

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 수은의 정화 기술과 관련하여, 흡착법은 수질 정화에 사용되

는 것으로 분석되었다.

- 본 기술 분야에서 조사된 혼합 미생물로는, 수질 정화 관련하여 바이오 흡착재로 사용되는 filamentous bacteria, non-filamentous bacteria, fungi 또는 algae가 있음 [표].

2)-3 기타

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 수은의 정화 기술과 관련하여, manganese-oxidizing bacteria 가 우점할 수 있도록 이의 기질을 공급하는 생물활성화법관련 기술이 있었으며, laccase-isozyme, pyruvate dehydrogenase, dihydrolipoyl transacetylase, 또는 dihydrolipoyl dehydrogenase를 이용한 공기 정화 기술(연소 설비)도 조사됨 [표].

[표] 미생물을 이용한 수은 정화-흡착법 및 기타 주요특허 리스트

흡착법/ 혼합 미생물		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
US2018-00290102018 -02-01 (2016-01-25)	A METHOD FOR REMOVAL OF METALS FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING BIO ADSORBENTS	-filamentous bacteria, non-filamentous bacteria, fungi 또는 algae -수질 정화
기타		
JP6719092B2 (2015-03-13)	망간 산화 세균의 집적 배양 방법, 바이오 망간 산화물의 생성 방법 및 금속의 회수 방법	-Manganese-oxidizing bacteria -생물활성화법 -수질 정화
US10760026B2 (2016-11-30)	Enzyme treatment of coal for mercury remediation	-laccase-isozyme, pyruvate dehydrogenase, dihydrolipoyl transacetylase, 또는 dihydrolipoyl dehydrogenase -공기 정화(연소 설비)

3) 카드뮴(Cadmium, Cd)

3)-1 생물접종법

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 카드뮴의 정화 기술과 관련하여, 생물 접종법은 토양, 수질, 식물체 정화 및 중금속 중독치료에서 광범위하게 사용되는 것으로 분석됨 [표].
- 본 기술 분야에서 조사된 분리 동정된 미생물로는, 수질 정화 관련하여 D. desulfuricans KCTC 5768(해양 수질 정화), Bacillus sp.K1, 토양 또는 식물체 정화 관련하여 Bacillus tianshenii strain P46, Bacillus megaterium SRCM116265, Bacillus subtilis W7 CGMCC20042, Bacillus subtilis W7 CGMCC20043 토양 정화 관련하여 Novosphingobium sp. CuT1 KCTC14573BP 및 식물체 정화 관련 Streptomyces sp. strain, IDAC 081111-06, Falciphora

oryzae FO-R20가 있다 [표 14].

- 또한, 독성 화합물 흡수와 억제와 관련하여 *Lactobacillus*, 자세하게는, *Lactobacillus reuteri* RC-14, *Lactobacillus casei* 21052, *Lactobacillus casei* 393T, *Lactobacillus rhamnosus* GR-1, *Lactobacillus rhamnosus* R3, *Lactobacillus rhamnosus* R37, *Lactobacillus johnsonii* 20553, *Lactobacillus plantarum* 14917T, 중금속 중독 치료 관련하여 *Lactobacillus* sp. *Bifidobacterium* sp. *Enterococcus* sp. *Pediococcus* sp. 및 *Streptococcus* sp. 중 1종을 사용하는 기술이 조사됨 [표].
- 또한, bacteria *Acidiferrobacter thiooxydans*, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*, *Leptospirillum ferriphilum*, *Acidimicrobium ferrooxidans* *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Acidithiobacillus caldus*, *Acidianus brierley*, *Sulfobacillus acidophilus*, *Actinobacterium* sp., *Acidocaldus organivorans* and *Alicyclobacillus ferroplasma*과 같은 iron-oxidizing bacterial population을 이용한 금속 바이오 침출 관련 기술도 조사됨 [표].
- 이 외에도, mixed strain NIX51 KACC81038BP을 비롯한 bacterium 및 fungus 혼합 미생물, *Bacillus mucilaginosus* 및 *Streptomyces jingyangensis* 혼합 미생물 등을 이용한 토양 정화 기술과 microalgae, cyanobacterium 및 G(+) bacteria 혼합 미생물, manganese-oxidizing bacteria 및 methylotrophic bacteria (methylotrophs) 혼합 미생물, *Marinomonas efl* 및 *Rhodococcus efl* 혼합 미생물 등을 이용한 수질 정화 기술이 조사됨 [표].

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 카드뮴 정화-생물접종법 주요특허 리스트

KOPRI
극지연구소
Korea Polar Research Institute

생물접종법/ 분리미생물		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
KR10-1822711B1 (2015-06-16)	중금속 오염 해양 퇴적물의 생물학적 회복 정화 방법	-Sulfate Reducing Bacteria(SRB) >D. desulfuricans KCTC 5768 -수질 및 해수토양 정화 -on situ 정화기술
US11064673B2 (2018-12-20)	Endophytic microbial symbionts in plant prenatal care	-Streptomyces sp. strain, IDAC 081111-06 -식물 내생 미생물 -식물체 정화 (식물 씨앗에 상기 내생 미생물을 코팅)
KR10-2021-0124232A (2020-12-14)	바실러스 텐션니 균주, 이의 미생물 제제 및 중금속 복구 분야의 응용	-Bacillus tianshenii strain P46 -토양 및 식물체 정화
KR10-2022-0154426A (2021-05-13)	잔류농약 분해능, 세포외 효소 분비능 및 중금속 내성이 있고, 식물병 원인균에 대해 항진균 활성을 가지는 바실러스 메가테리움 SRCM116265 균주 및 이의 용도	-Bacillus megaterium SRCM116265 -토양 및 식물체 정화
KR10-2022-0160964A (2021-05-28)	신규한 노보스핑고비움 속 균주 및 이의 용도	-Novosphingobium sp. CuT1 KCTC14573BP -방향족 화합물 분해 -토양 정화
WO2022-217796A1 (2021-08-16)	CADMIUM-REDUCING BIOLOGICALLY MODIFIED CERAMSITE AND PREPARATION METHOD THEREFOR	-Bacillus sp.K1 -수질 정화
US2022-0386541A1 (2022-06-06)	METHOD FOR IMPROVING CADMIUM TOLERANCE IN RICE AND REDUCING CADMIUM CONTENT IN RICE GRAINS	-Falciphora oryzae FO-R20 -식물체 정화(벼)
US2023-0114795A1 (2022-11-30)	STRAINS CAPABLE OF REDUCING HEAVY METAL CONTENTS IN VEGETABLES AND IMPROVING QUALITY OF VEGETABLES AND APPLICATION THEREOF	-Bacillus subtilis W7 CGMCC20043 -Bacillus subtilis W25 CGMCC20042 -토양 및 식물체 정화

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 카드뮴 정화-생물접종법 주요특허 리스트

생물접종법/ 단일 카테고리 미생물		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
US2016-0138128A1 (2014-06-10)	METHOD FOR BIOLEACHING A METAL PRESENT IN A MATERIAL	iron-oxidizing bacterial population >bacteria Acidiferrobacter thiooxydans, Acidithiobacillus ferrooxidans, Leptospirillum ferrooxidans, Leptospirillum ferriphilum, Acidimicrobium ferrooxidans Sulfobacillus thermosulfidooxidans, Acidithiobacillus caldus, Acidianus brierley, Sulfobacillus acidophilus, Actinobacterium sp., Acidocaldus organivorans and Alicyclobacillus ferroplasma.
US2020-0140806A1 (2019-11-06)	FOOD GRADE BACTERIA FOR THE REMOVAL OF TOXIC COMPOUNDS	-Lactobacillus: >Lactobacillus reuteri RC-14, Lactobacillus casei 21052, Lactobacillus casei 393T, Lactobacillus rhamnosus GR-1, Lactobacillus rhamnosus R3, Lactobacillus rhamnosus R37, Lactobacillus johnsonii 20553, Lactobacillus plantarum 14917T -독성 화합물 흡수 억제(해독 및/또는 격리)
KR10-2023-0111706A (2022-01-18)	프로바이오틱스를 포함하는 중금속 제거용 조성물	-Lactobacillus sp. Bifidobacterium sp. Enterococcus sp. Pediococcus sp. 및 Streptococcus sp. 중 1종 >Lactobacillus sp. : lactobacillus acidophilus, latobacillus gasser, lactobacillus lactis, Lactobacillus paracasei, Lactobacillus helveticus, Lactobacillus reuteri, Lactobacillus rhamnosus, Lactobacillus casei, Lactobacillus fermentum, Lactobacillus plantarum >Bifidobacterium sp. : Bifidobacterium infantis, Bifidobacterium bifidum, Bifidobacterium lactis, Bifidobacterium longum, Bifidobacterium breve >Enterococcus sp. : Enterococcus faecium, Enterococcus faecalis >Pediococcus sp. : Pediococcus pentosaceus >Streptococcus sp. : Streptococcus thermophilus -중금속 중독 치료

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 카드뮴 정화-생물접종법 주요특허 리스트

생물접종법/ 혼합 미생물		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
US2015-0353982A1 (2013-12-30)	바실러스 텐션니 균주, 이의 미생물 제제 및 중금속 복구 분야의 응용	-Mixture >microalgae: Chlamydomonas nivalis., Chlorella vulagris, Scenedesmus dimorphus >cyanobacterium: Arthrospira platensis >G+ bacteria: Bacillus subtilis -수질 정화(폐수처리)
US2020-0222955A1 (2018-02-07)	METHOD FOR DISPOSING OF CONTAMINATED DEPOSIT SOIL AND RECYCLED RECLAMATION SOIL USING SAME	-mixed strain NIX51 KACC81038BP -토양 정화
US11351583B2 (2018-11-15)	Method for bioremediation of heavy metal contaminated soil	-Mixture : bacterium 및 fungus -토양 정화
US2020-0180985A1 (2019-05-07)	Method for bioremediation of heavy metal contaminated soil	-Mixture >bacterium 및 fungus -토양 정화
US10843242B2 (2020-01-23)	Remediation method for degradation of cadmium in soil	-Bacillus mucilaginosus 및 Streptomyces jingyangensis -토양 정화
JP2021-045121A (2020-09-07)	폐수 처리 장치, 미생물 균집, 미생물 균집 배양 방법 및 폐수 처리 방법	-Mixture: manganese-oxidizing bacteria 및 methylotrophic bacteria (methylotrophs) > methylotrophic bacteria: Methylibium sp. R1-5 (NITE AP-03266) 및 Methyloversatilis sp. R1-7 (NITE AP-03267) -수질 정화(폐수 처리) -17 내지 19℃
EP4077226A1 (2020-11-20)	RHODOCOCCUS AND MARINOMONAS STRAINS FOR BIOREMEDIATION	-Mixture Marinomonas efl 및 Rhodococcus efl -수질 정화

생물접종법/ 혼합 미생물(계속)		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
US2022-0234087A1 (2021-03-22)	METHOD FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF ELECTROKINETIC TECHNOLOGY FOR REMOVING POLLUTANTS FROM SOLID MATRIX BY USING A MIXED MICROBIAL SOLUTION	-Mixture: phosphorus solubilizing bacteria, photosynthetic bacteria (PSB), yeast, and lactic acid bacteria -토양 정화
US2023-0203414A1 (2023-01-30)	BIOREMEDIATION SYSTEMS FOR WASTEWATER TREATMENT AND METHODS FOR THE USE THEREOF	-혐기성 미생물 및 호기성 미생물 -수질 정화(폐수 처리) -중금속의 농도를 약 1%내지 약 30%이상 감소

3)-2 흡착법

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 카드뮴의 정화 기술과 관련하여, 흡착법은 수질, 토양 정화 및 중금속 중독 치료에 사용되는 것으로 분석됨.
- 본 기술 분야에서 조사된 분리 동정된 미생물로는, 수질 정화 관련하여 *Ceriporia Lacerata* KUC8111, *Bacillus catenulatus* JB-022 KACC91896P 및 *Bacillus* sp. SRCM112835 가 있으며, 중금속 중독 치료 관련하여 *Pediococcus pentosaceus* FB145 KACC 81089BP가 있음[표].
- 또한, 수질 정화 관련하여 Manganese-oxidizing bacteria, *Anabaena* sp., *Nostoc* sp., *Microcoleus* sp., *Oscillatoria* sp., *Calothrix* sp., *Phormidium* sp. blue green algae과 같은 독립영양미생물 및 Metallothionein의 조성물, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Euglena gracilis*, *Euglena mutabilis* 같은 Flagellate Green Algae가 조사됨.
- 본 기술 분야에서 조사된 혼합 미생물로는, 수질 정화 관련하여 바이오 흡착재로 사용되는 filamentous bacteria, non-filamentous bacteria, fungi 또는 algae가 있음.
- 본 기술 분야에서는 형질전환체 및 효소를 이용한 정화 기술은 조사되지 않았음.

[표] 미생물을 이용한 카드뮴 정화-흡착법 주요특허 리스트

흡착법/ 분리미생물		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
KR10-2014-0128712A (2013-04-29)	세리포리아 락세라타 KUC8111 균주, 상기 균주의 바이오매스 분리방법 및 이를 이용한 카드뮴 제거 방법	-Ceriporia Lacerata KUC8111 -수질 정화
KR10-1540862B1 (2013-12-16)	양이온성 염료 및 금속에 흡착 효능을 갖는 바실러스 카테놀라투스 JB-022 균주 및 이를 이용한 바이오매스	-Bacillus catenulatus JB-022 KACC91896P -수질 정화(폐수 처리)
KR10-2020-0107384A (2019-03-07)	카드뮴을 제거하는 페디오코쿠스 펜토사세우스 FB145 균주 및 상기 균주의 응용	-Pediococcus pentosaceus FB145 KACC 81089BP -중금속 중독 치료
KR10-2022-0034276A (2020-09-10)	양이온성 금속에 흡착 효능을 갖는 바실러스 속 SRCM112835 균주 및 이의 용도	-Bacillus sp. SRCM112835 -수질 정화
흡착법/ 단일 카테고리 미생물		
JP6719092B2 (2015-03-13)	망간 산화 세균의 집적 배양 방법, 바이오 망간 산화물의 생성 방법 및 금속의 회수 방법	-Manganese-oxidizing bacteria -수질 정화
KR10-2018-0079227A (2018-01-02)	중금속 오염 토양의 정화방법	-독립영양미생물 및 Metallothionein >독립영양미생물은 Anabaena sp., Nostoc sp., Microcoleus sp., Oscillatoria sp., Calothrix sp., Phormidium sp. blue green algae
JP2020-516768A (2018-04-06)	금속을 결합하기 위한 방법 및 캡슐화된 삼출물 및 건조 유글레나(EUGLENA) 바이오매스 사용	-Flagellate Green Algae >Chlamydomonas reinhardtii, Euglena gracilis, Euglena mutabilis -수질 정화(폐수 처리)
흡착법/ 혼합 미생물		
US2018-00290102018-02-01 (2016-01-25)	A METHOD FOR REMOVAL OF METALS FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING BIO ADSORBENTS	-filamentous bacteria, non-filamentous bacteria, fungi 또는 algae -수질 정화

나. 잔류성 오염 물질

1) Polychlorinated Biophenyls (PCBs)

1)-1 생물접종법

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 Polychlorinated Biophenyls (PCBs)의 정화 기술과 관련하여, 생물 접종법은 토양, 수질 및 절연유 정화에서 사용되는 것으로 분석됨.
- 본 기술 분야에서 조사된 분리 동정된 미생물로는, 토양 또는 수질 정화 관련하여

Acidimicrobiaceae Feammox bacterium A6 PTA-122488, Dehalococcoides sp. NITE P-02893 [표].

- 또한, 수질 정화와 관련하여 호열성 박테리아인 G. midousuji strain J2 SHB2-J2, Geobacillus thermodinitrificans, Lactobacillus, 또는 Yeast인 Saccharomyces cerevisiae strain 1026을 사용하는 기술이 조사됨 [표].
- 이 외에도, microalgae, cyanobacterium 및 G(+) bacteria 혼합 미생물을 이용한 수질 정화 기술 및 KCTC 10623 BP에서 선택된 Bacillus sp. Cy106, Pseudomonas sp. Cy100, Brevundimonas vesicularis Cy101, Brevundimonas vesicularis Cy102, Brevundimonasvesicularis Cy103, Bacillus stearothermophilus Cy104, Bacillus sp. Cy107, Pseudomonas aeruginosa Tnh, 유류 분해 그람 음성 세균인 W24 균주 및 유황 균주인 Nz2001 균주 모두를 포함하고; EBC1000 세균공동체 KCTC 0652 BP에서 선택된 Bacillus cereus EBC106, Pseudomonas sp. EBC107 모두를 포함하는 NBC2000 세균공동체를 이용한 절연유 내 PCBs의 농도 감소 기술이 조사됨 [표].
- 본 기술 분야에서는 미생물 및/또는 효소를 이용한 Polychlorinated Biophenyls (PCBs)의 정화 기술과 관련하여, 효소, 형질전환체, 더 넓은 카테고리로는 흡착법 관련 기술은 조사되지 않음.

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 PCBs 정화-생물접종법 주요특허 리스트

생물접종법/ 분리미생물		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
US9815723B2 (2015-05-08)	Methods and compositions for nitrogen removal using feammox microorganisms	-Acidimicrobiaceae Feammox bacterium A6 PTA-122488 -토양 또는 수질 정화
US10479712B2 (2017-09-18)	Methods and compositions for nitrogen removal using Feammox microorganisms	-Acidimicrobiaceae Feammox bacterium A6 PTA-122488 -토양 또는 수질 정화
JP2021-000031A (2019-06-21)	트리클로로에틸렌 및 1,1,2-트리클로로에탄을 에틸렌으로 분해하는 디할로코코이데스속 세균, 정화제 및 정화 방법	-Dehalococcoides sp. NITE P-02893 -혐기성 호흡 모드에서 수소 산화 및 할로젠화 유기 화합물의 환원적 탈할로젠화 -토양 또는 수질 정화
생물접종법/ 단일 카테고리 미생물		
US2014-0042087A1 (2013-02-04)	BIOREMEDIATION OF PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS USING THERMOPHILIC BACTERIA	-thermophilic bacterium >G. midousuji strain J2 SHB2-J2, Geobacillus thermodinitrificans -수질 정화
US10179355B2 (2017-05-05)	Bioremediation enhancing agents and methods of use	-Saccharomyces cerevisiae other species of budding or fission yeast. > Saccharomyces cerevisiae strain 1026 -수질 정화

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 PCBs 정화-생물접종법 주요특허 리스트

생물접종법/ 혼합 미생물		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
US2015-0353982A1 (2013-12-30)	MICRO-EVOLUTION OF MICROBES	-Mixture >microalgae: Chlamydomonas nivalis., Chlorella vulagris, Scenedesmus dimorphus >cyanobacterium: Arthrospira platensis >G+ bacteria: Bacillus subtilis
KR10-2045301B1 (2018-02-01)	미생물을 이용한 PCBs의 처리 방법	-세균공동체: NBC2000 세균공동체 KCTC 10623 BP에서 선택된 Bacillus sp. Cy106, Pseudomonas sp. Cy100, Brevundimonas vesicularis Cy101, Brevundimonas vesicularis Cy102, Brevundimonasvesicularis Cy103, Bacillus stearothermophilus Cy104, Bacillus sp. Cy107, Pseudomonas aeruginosa Tnh, 유류 분해 그람 음성 세균인 W24 균주 및 유황 균주인 Nz2001 균주 모두를 포함하고; EBC1000 세균공동체 KCTC 0652 BP에서 선택된 Bacillus cereus EBC106, Pseudomonas sp. EBC107 모두를 포함 -절연유 내 PCBs의 농도를 50ppm

2) Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (dioxin)

2)-1 생물접종법

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 Polychlorinated dibenzo-p-dioxins 의 정화 기술과 관련하여, 생물 접종법은 토양, 수질 및 플라스틱 폐기물 처리에서 사용되는 것으로 분석됨.
- 본 기술 분야에서 조사된 분리 동정된 미생물로는, 토양 정화 관련하여 Sphingomonas s.p.NB-1, 토양 또는 수질 정화 관련하여 Dehalococcoides sp. NITE P-02893가 조사되었다 [표 19].
- 또한, 수질 정화와 관련하여 호열성 박테리아인 *G. midousuji* strain J2 SHB2-J2, *Geobacillus thermodynamitricans*, Yeast인 *Saccharomyces cerevisiae* strain 1026을 사용하는 기술과 토양 정화 관련하여 *Dehalococcoides* spp., *Dehalobium* spp., *Desulfitobacterium* spp., *Desulfomonile* spp., and *Geobacter* spp.과 같은 dehalorespiring microorganisms인 POP-degrading bacteria 또는 POP-transforming bacteria를 사용하는 기술이 조사됨 [표].
- 이 외에도, microalgae, cyanobacterium 및 G(+) bacteria 혼합 미생물을 이용한 수질 정화 (폐수 처리) 기술 및 *Novosphingobium Pentaromativorans* US6-1 및 *Corynebacterium variabile* IC10을 이용한 토양 정화 기술이 조사됨 [표].
- 이 외에도, 폐기물로 플라스틱 분해 미생물의 효소 활성 조사를 통하여, protease activity,

manganese peroxidase activity, lipase activity가 있는 *Aspergillus flavus* 및 *Curvularia eragrostidis*, protease activity, manganese peroxidase activity, lipase activity, laccase activity이 있는 *Aspergillus niger*, manganese peroxidase activity, lipase activity, laccase activity이 있는 *Pseudomonas aeruginosa*를 동정하였음.

- 본 기술 분야에서는 미생물 및/또는 효소를 이용한 Polychlorinated dibenzo-p-dioxins 의 정화 기술과 관련하여, 흡착법 관련 기술은 조사되지 않았음.

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 다이옥신 정화-생물접종법 주요특허 리스트

생물접종법/ 분리미생물		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
JP2015-211816A (2014-05-03)	방사성 세슘 및 다이옥신류의 정화법	- <i>Sphingomonas</i> s.p.NB-1 -토양 정화
JP2021-000031A (2019-06-21)	트리클로로에틸렌 및 1,1,2-트리클로로에탄을 에틸렌으로 분해하는 디할로코코이데스속 세균, 정화제 및 정화 방법	- <i>Dehalococcoides</i> sp. NITE P-02893 -토양 또는 수질 정화
생물접종법/ 단일 카테고리 미생물		
US2014-0042087A1 (2013-02-04)	BIOREMEDIATION OF PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS USING THERMOPHILIC BACTERIA	-thermophilic bacterium > <i>G. midousuji</i> strain J2 SHB2-J2, <i>Geobacillus thermodinitrificans</i> -수질 정화
US9463496B2 (2015-02-03)	Organic biofilm substrata as a microbial inoculum delivery vehicle for bioaugmentation of persistent organic pollutants in contaminated sediments and soils	-POP-degrading bacteria or POP-transforming bacteria <dehalorespiring microorganisms <i>Dehalococcoides</i> spp., <i>Dehalobium</i> spp., <i>Desulfitobacterium</i> spp., <i>Desulfomonile</i> spp., and <i>Geobacter</i> spp. -형질전환체도 포함 -토양 정화
US10179355B2 (2017-05-05)	Bioremediation enhancing agents and methods of use	- <i>Saccharomyces cerevisiae</i> other species of budding or fission yeast. > <i>Saccharomyces cerevisiae</i> strain 1026 -수질 정화
생물접종법/ 혼합 미생물		
US2015-0353982A1 (2013-12-30)	MICRO-EVOLUTION OF MICROBES	-Mixture >microalgae: <i>Chlamydomonas nivalis</i> , <i>Chlorella vulagris</i> , <i>Scenedesmus</i> dimorphus >cyanobacterium: <i>Arthrospira platensis</i> >G+ bacteria: <i>Bacillus subtilis</i> -수질 정화(폐수 처리)
KR10-2231144B1 (2019-09-09)	다이옥신 오염 토양의 정화방법	-Mixture: > <i>Novosphingobium Pentaromativorans</i> US6-1 및 <i>Corynebacterium variabile</i> IC10 -토양 정화

[표] 미생물 및/또는 효소를 이용한 다이옥신 정화-생물접종법 주요특허 리스트

생물접종법/ 효소		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
WO2023-094891A1 (2022-01-25)	PLASTIC WASTE DEGRADATION BY FUNGI ISOLATED FROM PLASTIC GARBAGE AROUND TEHRAN	Aspergillus flavus, Curvularia eragrostidis, and Aspergillus niger fungi: protease activity Aspergillus flavus, Aspergillus niger, Bipolaris sorokiniana, Curvularia eragrostidis, and Pseudomonas aeruginosa fungi : manganese peroxidase activity Aspergillus flavus, Penicillium commune, Curvularia eragrostidis Aspergillus niger, and Pseudomonas aeruginosa fungi : lipase activity Aspergillus niger fungus and the Pseudomonas aeruginosa bacterium : laccase activity Aspergillus niger and Bipolaris Sorokiniana fungi : urease activity Aspergillus niger : laccase gene -폐기물로 플라스틱 분해 미생물의 효소 활성 조사

다. 제초제

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 제초제의 정화 기술과 관련하여, 생물 접종법이 토양, 수질 및 식물체 정화에 사용됨을 확인함.
- 본 기술 분야에서 조사된 분리 동정된 미생물로는 Bacillus megaterium SRCM116265가 조사되었으며, 정확하게는 잔류 농약을 분해하는 미생물[표].
- 또한, microalgae, cyanobacterium 및 G(+) bacteria 혼합 미생물을 이용한 수질 정화(폐수 처리) 기술도 조사됨 [표].

[표] 미생물을 이용한 제초제 정화-생물접종법 주요특허 리스트

생물접종법		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
US2015-0353982A1 (2013-12-30)	MICRO-EVOLUTION OF MICROBES	-Mixture >microalgae: Chlamydomonas nivalis., Chlorella vulagris, Scenedesmus dimorphus >cyanobacterium: Arthrospira platensis >G+ bacteria: Bacillus subtilis -수질 정화(폐수 처리)
KR10-2022-0154426A (2021-05-13)	잔류농약 분해능, 세포외 효소 분비능 및 중금속 내성이 있고, 식물병 원인균에 대해 항진균 활성을 가지는 바실러스 메가테리움 SRCM116265 균주 및 이의 용도	-Bacillus megaterium SRCM116265 -토양 및 식물체 강화

라. 살충제

1) 파라티온(Methyl parathion)

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 파라티온의 정화 기술은, 독성 화합물의 해독 또는 독의 치료에 사용되는 것으로 분석됨.
- 효소를 이용한 정화 기술로 파라티온 가수분해 효소(parathion hydrolase)에서 유래된 돌연변이 phosphotriesterase (PTE) 효소를 이용하여 파라티온을 포함한 유기인 화합물에 의한 독증을 치료하는 것으로 조사됨 [표].
- 또한, 미생물을 이용한 정화 기술로 Lactobacillus reuteri RC-14, Lactobacillus casei 21052, Lactobacillus casei 393T, Lactobacillus rhamnosus GR-1, Lactobacillus rhamnosus R3, Lactobacillus rhamnosus R37, Lactobacillus johnsonii 20553, Lactobacillus plantarum 14917T 에서 선택되는 섭취 가능한 Lactobacillus를 이용하여 독성 화합물의 흡수를 억제(해독 및/또는 격리)하는 기술이 조사됨 [표].

[표] 미생물 또는 효소를 이용한 파라티온 정화 주요특허 리스트

생물접종법		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
US11466261B2 (2018-07-17)	Mutated PTE enzymes	-Mutated phosphotriesterase (PTE) enzyme (parathion hydrolase) -독증 예방 및 치료
US2020-0140806A1 (2019-11-06)	FOOD GRADE BACTERIA FOR THE REMOVAL OF TOXIC COMPOUNDS	-Lactobacillus: >Lactobacillus reuteri RC-14, Lactobacillus casei 21052, Lactobacillus casei 393T, Lactobacillus rhamnosus GR-1, Lactobacillus rhamnosus R3, Lactobacillus rhamnosus R37, Lactobacillus johnsonii 20553, Lactobacillus plantarum 14917T -독성 화합물 흡수 억제(해독 및/또는 격리)

2) 클로르피리포스(Chlorpyrifos)라티온(Methyl parathion)

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 클로르피리포스의 정화 기술은, 토양, 수질 및 식물체 정화 및 중독 예방 및 개선에 사용되는 것으로 분석됨.
- 미생물을 이용한 정화 기술로는, 방향족 화합물을 광물화시키는 능력이 있는 *Acinetobacter* sp. 4-2-2 KACC 92198P, *Acinetobacter* sp. M4-1 KACC 92200P에 의한 토양 및 식물체 정화 기술, 및 *Bacillus amyloliquefaciens* KS-R01(KCTC 13558BP), *Bacillus siamensis* KS-R02(KCTC 13559BP), *Bacillus velezensis* KS-R03(KCTC 13560BP), 및 *Bacillus tequilensis* KS-R04(KCTC 13561BP)를 모두 포함하는 혼합 미생물을 이용한 토양 및 수질 정화 기술이 조사됨.
- 효소를 이용한 정화 기술로 *Pseudomonas aeruginosa* 유래의 cholinesterase을 이용하여 독성 물질에 의한 신경질환을 치료하는 기술 및 cocaine esterase을 이용한 유기인산염-기반 제제 해독 기술이 조사됨.

[표] 미생물 또는 효소를 이용한 클로르피리포스 정화 주요특허 리스트

생물접종법		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
KR10-1970333B1 (2017-11-10)	농약 분해 능력을 갖는 아시네토박터 속 4-2-2 균주 및 이를 포함하는 농약 분해용 조성물	-Acinetobacter sp. 4-2-2 KACC 92198P -토양 및 식물체 정화
KR10-1970336B1 (2017-11-10)	농약 분해 능력을 갖는 아시네토박터 속 M4-1 균주 및 이를 포함하는 농약 분해용 조성물	-Acinetobacter sp. M4-1 KACC 92200P -토양 및 식물체 정화
KR10-1994072B1 (2019-03-13)	농약성분 제거를 위한 생물학적 미생물처리제	-Mixture >Bacillus amyloliquefaciens KS-R01(KCTC 13558BP), Bacillus siamensis KS-R02(KCTC 13559BP), Bacillus velezensis KS-R03(KCTC 13560BP), 및 Bacillus tequilensis KS-R04(KCTC 13561BP)를 모두 포함 -토양 및 수질 정화
효소		
US2023-0026578A1 (2020-07-02)	A recombinant protein produced from cholinesterase gene derived from Pseudomonas aeruginosa and the composition comprising the same for treating or preventing a neurological disease	-cholinesterase >Pseudomonas aeruginosa 유래 -중독 예방 및 개선
WO2023-004152A2 (2022-07-22)	COMPOSITIONS, METHODS, AND ARTICLES COMPRISING COCAINE ESTERASE FOR DETOXIFYING AN ORGANOPHOSPHATE-BA SED AGENT	-cocaine esterase -유기인산염 기반 제제 해독

3) 파라옥손(Paraoxon)

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 파라옥손의 정화 기술은, 유기인산염 기반 제제 해독에 사용되는 것으로 분석되었으며, cocaine esterase을 이용한 유기인산염-기반 제제 해독 기술인 효소를 이용한 정화 기술이 조사됨.

[표] 미생물 또는 효소를 이용한 파라옥손 정화 주요특허 리스트

효소		
등록/공개번호 (출원일)	발명의 명칭	기술의 특징
WO2023-004152A2 (2022-07-22)	COMPOSITIONS, METHODS, AND ARTICLES COMPRISING COCAINE ESTERASE FOR DETOXIFYING AN ORGANOPHOSPHAT E-BASED AGENT	-cocaine esterase -유기인산염 기반 제제 해독

3. 주요특허 분석 종합

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 독소 검출에 관한 최근 10년간의 특허가 많지는 않으나, 본 기술 분야에서는 10개의 대상 독성 물질 가운데, 납, 수은, 카드뮴과 같은 중금속에 관한 특허 출원이 활발하였으며, PCBs 및 dioxins과 같은 잔류성 유기오염물질 관련 특허는 1건(2021.04.27.) 출원된 것으로 조사됨. 또한, PBPKs(폴리포링 플루탄게톤류), 2,4-디클로로 페녹시아세트산(2,4-Dichloro-phenoxy acetic acid), 파라티온(Methyl parathion), 클로르피리포스(Chlorpyrifos), 파라옥손(Paraoxon)을 대상으로 한 검출 관련 특허는 조사되지 않음.
- 미생물 및/또는 효소를 이용한 납, 수은, 카드뮴 검출과 관련한 기술로는 유글레나, *Methylobacter tundripaludum*과 같은 지표생물을 이용한 오염진단기술 및 특정 미생물의 프로모터, 오페론 등을 이용한 오염물질을 센싱하는 형질전환체 기술이 있음.
- 또한, CYP450 효소를 이용한 검출 기술은 납, 수은, 카드뮴과 같은 중금속 뿐만 아니라, PCBs 및 dioxins과 같은 잔류성 유기오염물질도 검출하는 광범위한 독소 검출 기술로 조사됨.
- 미생물 및/또는 효소를 이용한 독소 정화에 관한 최근 10년간 특허를 살펴보면, 미생물을 이용한 독소 정화 분야는 분리 동정된 미생물, 황환원성균 또는 황산화성균 같은 한 카테고리 미생물, 혼합 미생물, 또는 형질전환 미생물을 이용한 수질, 토양, 공기, 또는 식물체 정화 및 생체 독성 정화 관련 기술로 조사됨.
- 효소를 이용한 독소 정화 분야는 조사된 특허 건수가 많지는 않았으며, 납 정화 기술로 *Caulobacter crescentus strain*, CC3625 유래 cystein synthase, dioxins 정화 기술로 폐기물로부터 플라스틱 분해 미생물의 protease, manganese peroxidase, lipase, laccase 또는 urease 등의 효소 활성 조사, 클로르피리포스 정화 기술로 *Pseudomonas aeruginosa* 유래 cholinesterase, 및 유기인산염(클로르피리포스, 파라옥손) 기반 제제 해독 기술로 cocaine esterase 관련 기술이 조사됨.
- 미생물 및/또는 효소를 이용한 독소 검출 및 정화 기술에 대한 최근 10년간 특허 활동이 많지 않으며, 10개 대상 독성 물질을 기준으로, 중금속(납, 수은, 카드뮴) 관련 특허에 비해 잔류성 유기오염물질인 폴리클로리네이티드 바이페닐(PCBs), 다이옥신(Polychlorinated

dibenzo-p-dioxins) 및 PBPKs(폴리포링 플루탄계톤류), 제초제 오염물질인 2,4-디클로로페녹시아세트산(2,4-Dicholoro-phenoxy acetic acid), 파라티온(Methyl parathion), 및 살충제 오염물질인 파라티온(Methyl parathion), 클로르피리포스(Chlorpyrifos), 및 파라옥손(Paraoxon)에 대한 특허 활동이 현저히 저조한 것으로 분석됨.



제3절 주요논문 분석

1. 검색식 및 논문 분석표

□Pubmed 자료를 대상으로 하기의 검색식을 이용하여 미생물 및/또는 효소를 이용한 독성 물질의 검출 및 정화 기술 분야에 대한 최근 10년의 논문을 검색한 결과, 총 2,374건의 논문이 검색되었으며, 이들 가운데 90건의 유효 논문을 도출하였음.

가. 검색기

□((mercury reductase) or laccase or tyrosine or P450 or lignin or dehalogenase or acetylcholine) AND (cadmium or lead or mercury or biphenyl or PCB or polytetrafluoroethylen or PBPK or dioxin or phenoxy or parathion or chlorpyrifos or paraoxon) AND (detection or sensor or monitor or measure or clear or bioremediation or remote or remediation)

나. 논문 분석표

중금속							
No.	오염물질	효소/기원	검출 기술	정화 기술	LOD	최적온도	출처
1	납	Agaricus bisporus		○			García-Delgado C et al. 2015
2	납	Pleurotus ostreatus ISS-1		○			Wang Y et al. 2019
3	납 및 수은	nitrate reductase / Proteus mirabilis 10B		○		30° C	Eltarahony M et al. 2020
4	수은	Mercuric reductase / Bacillus thuringiensis		○		25-40 ° C	Dash HR et al. 2014
5	수은	Mercuric reductase / Flavobacterium sp		○			Møller AK et al. 2014
No.	오염물질	효소/기원	검출 기술	정화 기술	LOD	최적온도	출처
6	수은	Mercuric reductase / Pseudomonas sp. B50A		○		37-45 ° C	Giovanella P et al. 2016
7	수은	mercuric reductase / Geobacter bemidjiensis Bem		○			Lu X et al. 2016
8	수은	mercuric reductase / Sphingobium SA2		○			Mahbub KR et al. 2016
9	수은	firefly luciferase / Macrolampis sp2	○				Gabriel GV et al. 2016
10	수은	mercuric reductase / Sphingopyxis sp. SE2		○			Mahbub KR et al. 2017

11	수은	mercuric reductase / Bacillus thuringiensis		O			Dash HR et al. 2017
12	수은	mercuric reductase / Lysinibacillus sphaericus strain G1		O			Bafana A et al. 2017
13	수은	mercuric reductase / Enterobacter cloacae B7		O			Chen SC et al. 2018
14	수은	mercuric reductase / Stenotrophomonas maltophilia ADW10		O			Naguib MM et al. 2019
15	수은	mercuric reductase / Methylocystis species (HL18)		O			Shi LD et al. 2019
16	수은	mercuric reductase / B. thuringiensis		O			Singh S et al. 2020
17	수은	ARL1 / Bacterial Bioreporter E. coli	O				Brányiková I et al. 2020
18	수은	mercury reductase / Morganella sp. strain IITISM23		O			Singh S et al. 2021
19	수은	mercuric reductase / Bacillus nealsonii strain KBH10		O		30° C	Farooqi A et al. 2021
20	수은	mercuric reductase / Ensifer medicae		O			Arregui G et al. 2021
21	수은	demethylase / Metarhizium robertsii		O			Wu C et al. 2022
22	수은	merA / Marinomonas sp. RS3		O			Al-Ansari MM et al. 2022
23	수은	mercury reductase / Citrobacter sp. IITISM25		O		30° C	Singh S et al. 2022
24	수은	merA /Bacillus cereus AA-16,18,20,30,35		O		37° C	Amin A et al. 2022
No.	오염물질	효소/기원	검출 기술	정화 기술	LOD	최적온도	출처
25	수은	merR2 / Pseudomonas pseudoalcaligenes CECT 5344		O		30° C	Biełto KA et al. 2023
26	수은	mer / Rheinheimera tangshanensis (RTS-4)		O		30° C	Zhao M et al. 2023
27	수은	mercuric reductase GbsMerA / Gelidibacter salicanalis PAMC21136		O		60° C	Pardhe BD et al. 2023
28	수은	mercury reductase merA / Bacillus altitudinis		O			Harsonowati W et al. 2023
29	수은	- / Bacillus tropicus		O			Saha BK et al. 2023
30	수은	- / Rheinheimera metallidurans sp. nov. DCL_24T strain		O		25° C	Yadav V et al. 2023
31	수은	superoxide / Aerobic Marine Bacterium Alteromonas sp. KD01		O			Zhang X et al. 2023
32	수은 및 크롬	mercury reductase / Acinetobacter indicus yy-1		O			Hu L et al. 2021
33	카드뮴	laccase / Clitocybe maxima		O			Liu H et al. 2015
34	카드뮴	laccase / Trametes versicolor		O			Wang Z et al. 2020

35	카드뮴	- / Staphylococcus quorum PU1		○			Chen Y et al. 2023
잔류성 유기오염물질(폐놀계)							
No.	오염물질	효소/기원	검출 기술	정화 기술	LOD	최적온도	출처
36	페놀성 오염물질	lignin peroxidase / P. chrysosporium, Chrysonilia sitophila, Streptomyces sp., Bacillus cereus		○			Twala PP et al. 2020
37	페놀성 오염물질	reductive dehalogenase / Dehalococcoides spp.		○			Zhao S et al. 2021
38	페놀성 오염물질	laccase / Pleurotus ostreatus		○		40° C	Kumar VV et al. 2022
39	페놀성 오염물질	Trametes trogii Lac (Ttlcc1) / Trametes trogii		○			Asemoloye MD et al. 2022
40	페놀성 오염물질	phenol hydroxylase and peroxidase / Acinetobacter lwoffii NL115 strain		○			Xu N et al. 2023
No.	오염물질	효소/기원	검출 기술	정화 기술	LOD	최적온도	출처
41	폴리염화비페닐(PCB)	reductive dehalogenase / Dehalococcoides mccartyi		○			Wang S et al. 2014
42	폴리염화비페닐(PCB)	reductive dehalogenase / Dehalococcoides mccartyi JNA		○			Wang S et al. 2015
43	폴리염화비페닐(PCB)	reductive dehalogenase / Dehalococcoides mccartyi		○			Matturo B et al. 2016
44	폴리염화비페닐(PCB)	reductive dehalogenase / Dehalococcoides mccartyi		○			Matturo B et al. 2016
45	폴리염화비페닐(PCB)	reductive dehalogenase / Dehalococcoides mccartyi		○			Sohn SY et al. 2016
46	폴리염화비페닐(PCB)	PCE/PCB dehalogenase / Dehalobium chloroocercia		○			Matturo B et al. 2017
47	폴리염화비페닐(PCB)	laccase / Pleurotus ostreatus		○			Siracusa G et al. 2017
48	폴리염화비페닐(PCB)	reductive dehalogenase / Dehalococcoides mccartyi strain CG5		○			Mattes TE et al. 2018
49	폴리염화비페닐(PCB)	reductive dehalogenase / D. mccartyi CG4		○			Chen C et al. 2018
50	폴리염화비페닐(PCB)	reductive dehalogenase / Dehalococcoides spp		○			Ewald JM et al. 2020
51	폴리염화비페닐(PCB)	T. sanguinea LBM 023, P. sajor-caju LBM		○			Sadañoski MA et al. 2020
52	폴리염화비페닐(PCB)	reductive dehalogenase (RDases) /		○			Qiu L et al.

	닐(PCB)	organohalide-respiring bacteria (OHRB)					2020
53	폴리염화비페닐(PCB)	laccase / <i>T. versicolor</i> , peroxidase/ <i>Ac.sclerotigenum</i> ., 그 외 <i>Penicilliumchrysogenum</i> , <i>P.citreosulfuratum</i> , <i>P.canescens</i> 및 <i>Aspergillusjensenii</i>		○			Germain J et al. 2021
54	폴리염화비페닐(PCB)	laccase (<i>Lac1</i> 및 <i>Lac2</i>) / <i>Cladosporium</i> sp. TM138-S3		○			Nikolaivits E et al. 2021
55	폴리염화비페닐(PCB)	biphenyl dioxygenase(<i>BphA</i>) / <i>Comamonas testosteroni</i> YAZ2 및 <i>Burkholderia xenovorans</i> LB400		○			Hara T et al. 2021
No.	오염물질	효소/기원	검출 기술	정화 기술	LOD	최적 온도	출처
56	폴리염화비페닐(PCB)	glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase, basal transcription factor 3, short chain reductases, aldo/keto reductases, laccases 및 versatile peroxidase / <i>Pleurotus pulmonarius</i> LBM 105		○			Chelaliche AS et al. 2021
57	폴리염화비페닐(PCB)	laccase 및 manganese-dependent peroxidase (<i>MnP</i>) / <i>Pleurotus ostreatus</i>		○			Šrédlová K et al. 2021
58	폴리염화비페닐(PCB)	protease, phosphatase, catalase, dehydrogenase, 및 laccase / 토양의 박테리아 군집 (<i>Actinobacteria</i> , <i>Proteobacteria</i> , <i>Chloroflexi</i> , <i>Firmicutes</i> , <i>Acidobacteriota</i> , <i>Bacteroidota</i> , <i>Gemmatimonadetes</i> , <i>Myxococcota</i> , <i>Desulfobacterota</i> , and <i>Methylomirabilota</i>)		○			Du J et al. 2021
59	폴리염화비페닐(PCB)	<i>rdhA</i> / <i>Dehalococcoides</i> sp.		○			Ewald JM et al. 2022
60	폴리염화비페닐(PCB)	<i>PcbA5</i> -like reductive dehalogenase / <i>Dehalococcoides</i>		○			Xu G et al. 2022
61	폴리염화비페닐(PCB)	reductive dehalogenase <i>mbrA</i> / <i>Dehalococcoides mccartyi</i> Strain MB		○			Xu G et al. 2022
62	폴리염화비페닐(PCB)	graphene oxide (GO)-assisted bacterial agent / <i>Bradyrhizobium diazoefficiens</i> USDA 110 (<i>B. diazoefficiens</i> USDA 110)		○			Li R et al. 2023
63	폴리염화비페닐(PCB)	reductive dehalogenase / <i>Dehalococcoides mccartyi</i>		○			Dang H et al. 2023
64	폴리염화비페닐(PCB)	oxidase (아마도 laccase) 및 peroxidase / <i>Dothiora</i> sp., <i>Aspergillus</i>		○			Maucourt F et al. 2023

		sp., <i>Trichoderma harzianum</i> , <i>Alternaria</i> sp. 및 <i>Cladosporium</i> sp.					
65	폴리염화비페닐(PCB)	cytochrome P450 monooxygenase P450BM3 효소의 A264G, L188Q, QG, LVQ, 및 GVQ 돌연변이체들 / <i>Bacillus megaterium</i>		○			Ishida Y et al. 2023
66	폴리염화비페닐(PCB)	reductive dehalogenase (RDase) / <i>Dehalococcoides mccartyi</i> strain CG1		○			Zhang S et al. 2023
No.	오염물질	효소/기원	검출 기술	정화 기술	LOD	최적온도	출처
67	다이옥신 (dioxin)	reductive dehalogenase / <i>Dehalococcoides mccartyi</i>		○			Liu H et al. 2014
68	다이옥신 (dioxin)	reductive dehalogenase / <i>Dehalococcoides mccartyi</i> CBDB1		○			Dam HT et al. 2017
69	다이옥신 (dioxin)	Aryl hydrocarbon receptor-based bioassay / yeast	○				Otarola G et al. 2018
70	다이옥신 (dioxin)	cytochrome P450BM-1 / <i>Bacillus megaterium</i> A14K		○			Hanano A et al. 2019
71	다이옥신 (dioxin)	<i>Pseudonocardia dioxanivorans</i> CB1190		○			Miao Y et al. 2020
72	다이옥신 (dioxin)	FMD21 리그닌 변형 효소 유전자 및 laccase isozyme / <i>Rigidoporus</i> FMD21		○			Dao ATN et al. 2021
73	다이옥신 (dioxin)	2-haloacid dehalogenase / <i>Burkholderia cenocepacia</i> strain 869T2		○			Nguyen BT et al. 2021
74	다이옥신 (dioxin)	laccase / <i>Rigidoporus</i> sp. FMD21		○			Dao ATN et al. 2021
제조제							
75	2,4-디클로로페녹시아세트산(dichlorophenoxyacetic acid)(2,4-D)	laccase 및 cytochromes P450 / <i>Rigidoporus</i> sp. FMD21		○			Nguyen TLA et al. 2022
살충제							
76	클로르피리포스 (Chlorpyrifos), 파라티온 (Methyl parathion)	<i>Ganoderma</i> sp. JAS4 , <i>Cellulomonas fimi</i> + <i>P. chrysosporium</i> , <i>Aspergillus sydowii</i> CBMAI 935, <i>Penicillium decaturense</i> CBMAI 1234		○			Maqbool Z et al. 2016
77	클로르피리포스(Chlorpyrifos)	laccase / <i>Pseudomonas putida</i>		○		5-55 ° C	Liu J et al. 2016

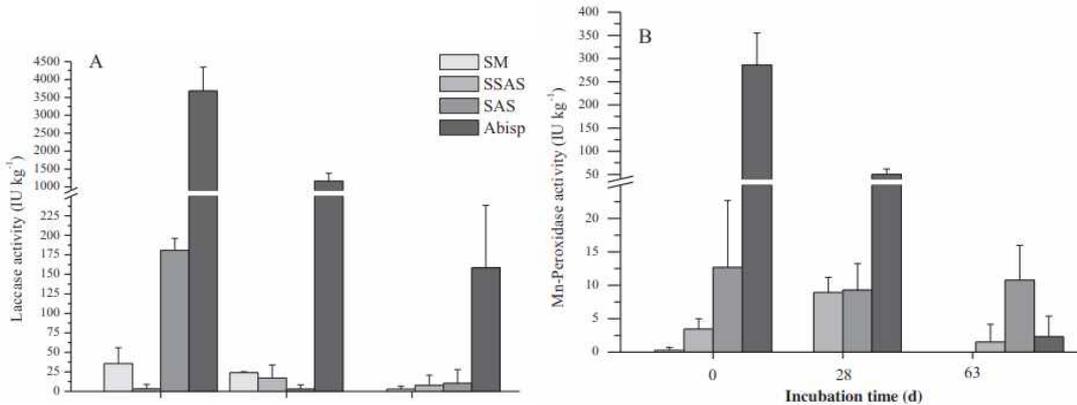
No.	오염물질	효소/기원	검출 기술	정화 기술	LOD	최적온 도	출처
78	클로르피리포스(Chlorpyrifos)	- / Tistrella sp. AUC10		O			Ahir UN et al. 2020
79	클로르피리포스(Chlorpyrifos)	superoxide dismutase, catalase, 및 glutathione S-transferase / Methylobacterium radiotolerans 및 Microbacterium arthrosphaerae		O			Onder Erguven G et al. 2021
80	클로르피리포스(Chlorpyrifos)	dehalogenase DehH2 / Bacillus thuringiensis H2		O			Oyewusi HA et al. 2022
81	파라옥손 (Paraoxon)	acetylcholinesterase / Alcaligenes sp	O		4.7 ppb		Guo L et al. 2017
82	파라옥손 (Paraoxon)	Acetylcholine esterase / Electrophorus electricus	O		0.1 nM		Thakkar JB et al. 2019
83	파라옥손 (Paraoxon)	Acetylcholinesterase	O				Jia L et al. 2020
84	파라티온 (Methyl parathion)	lipase / Burkholderia cepacia	O		0.067 μ M	4 ° C	Wang Z et al. 2019
85	파라티온 (Methyl parathion)	methyl parathion hydrolase / Burkholderia jiangsuensis	O				Behera BK et al. 2020
86	살충제	acetylcholinesterase	O		2.0 ng/ml		Yao Y et al. 2019
87	살충제	cytochrome P450 monooxygenases (CYP) / Bacillus spp. 및 Aspergillus spp.		O			Zhao T et al. 2021
88	살충제	manganese peroxidase (MnP) 및 lignin peroxidase (LiP) / -		O			Sellami K et al. 2022
89	살충제	laccase 및 peroxidase / -		O			Lopes JM et al. 2022
90	살충제	acetylcholinesterase (AchE) biosensor	O				Rajagopalan V et al. 2023

2. 상세 논문 분석

가. 중금속

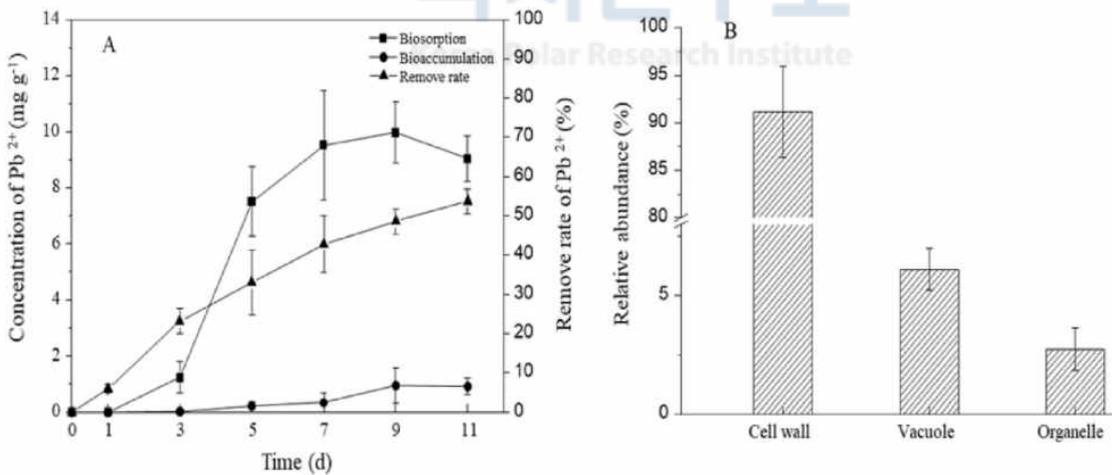
1) 납

- García-Delgado C et al. (2015)은 *Agaricus bisporus*의 inocula를 오염된 토양에 주입하였을 때 발생하는 납 및 polycyclic aromatic hydrocarbon의 분해능을 확인함.



[그림] *Agaricus bisporus*에 의한 납 및 PAH 분해능 확인 결과
(García-Delgado C et al. 2015)

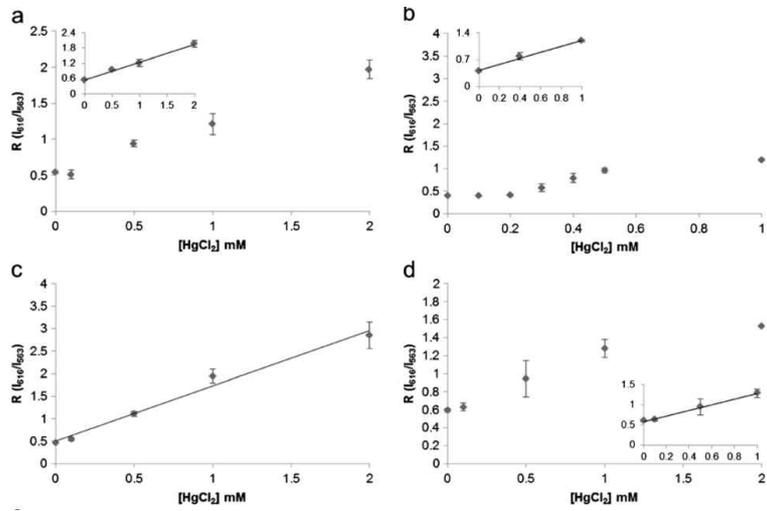
- Wang Y et al. (2019)은 *Pleurotus ostreatus* ISS-1에 의한 납 분해능(53.7%)을 확인함.



[그림] *Pleurotus ostreatus* ISS-1에 의한 납 분해능 확인 결과
(Wang Y et al. 2019)

2) 수은

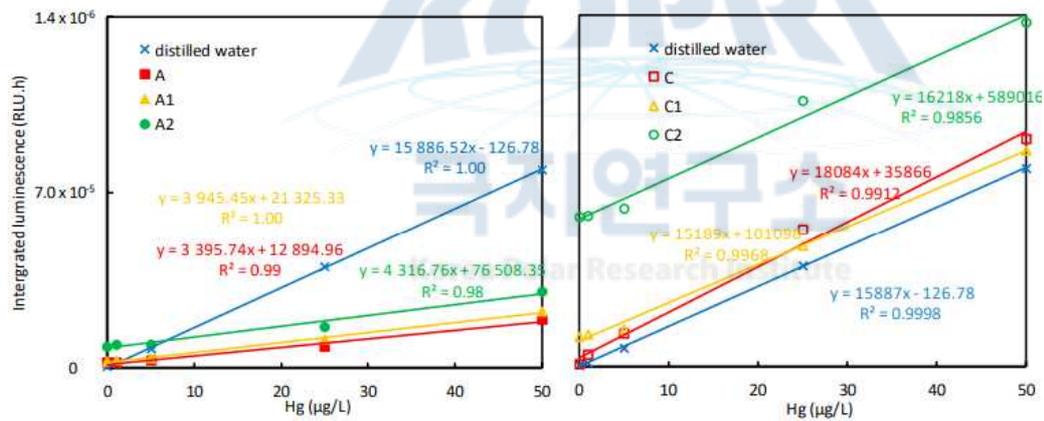
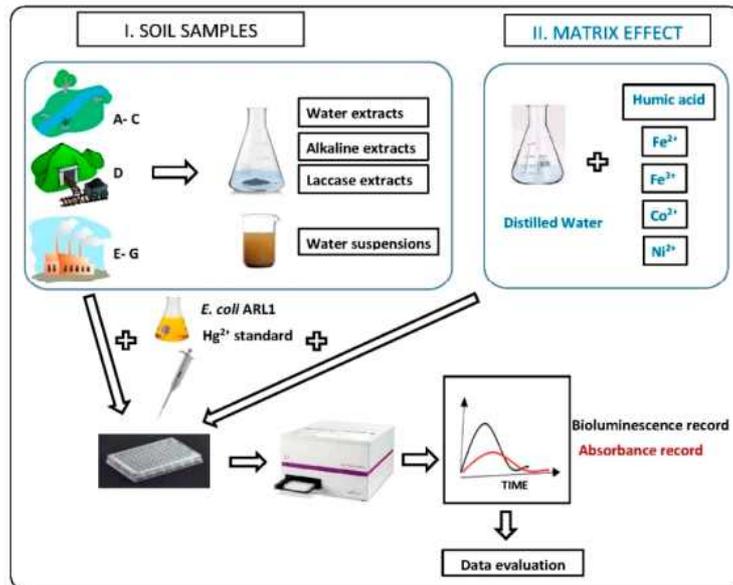
- Gabriel GV et al. (2016)은 *Macrolampis* sp2 유래 firefly luciferase 변이체를 이용한 수은 검출 센서를 기재함.



[그림] *Macrolampis* sp2 유래 firefly luciferase 변이체 별 수은 검출 성능
(Gabriel GV et al. 2016)



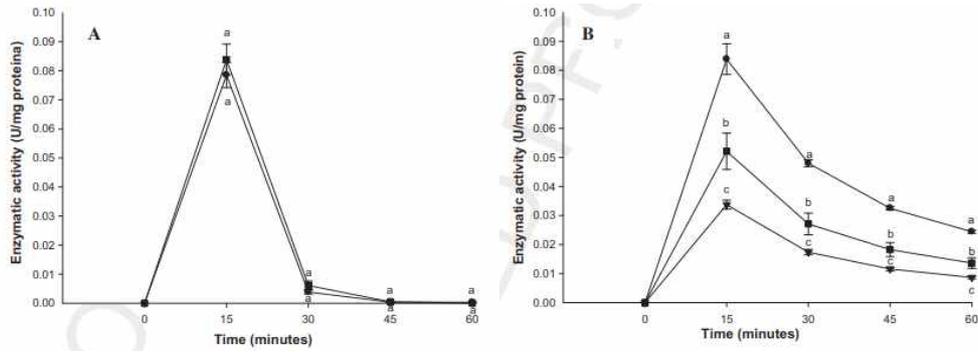
- Brányiková I et al. (2020)은 형광 Bacterial Bioreporter *E. coli* ARL1을 이용한 토양 샘플에서 수은 검출 방법을 기재함.



[그림] *E. coli* ARL1을 이용한 토양 샘플의 수은 검출 방법 및 결과

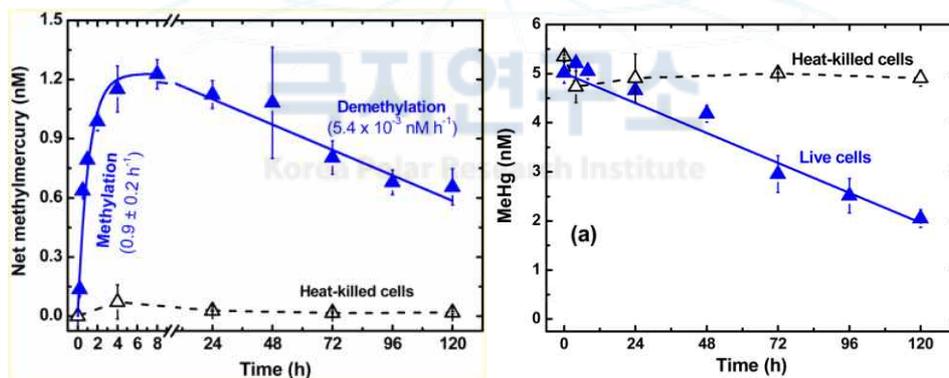
(Brányiková I et al. 2020)

- Giovanella P et al. (2016)은 *Pseudomonas* sp. B50A의 수은 분해능(86%)을 확인하였으며, 이 과정에서 관여하는 효소는 Mercuric reductase임을 확인함.



[그림] *Pseudomonas* sp. B50A 유래 Mercuric reductase의 수은 분해능 확인 결과 (Giovanella P et al. 2016)

- Lu X et al. (2016)은 *Geobacter bemidjiensis* Bem의 mercuric reductase에 의한 MeHg 분해능을 확인함.



[그림] *Geobacter bemidjiensis* Bem의 MeHg 분해능 확인 결과

(Lu X et al. 2016)

- Chen SC et al. (2018)은 수은으로 오염된 토양 샘플에서 화학적으로 수은을 1차 추출한 다음, *Enterobacter cloacae* B7의 Hg reductase에 기반한 2차 수은 정화 방법을 기재함.

Stage 1: Two rounds of Hg extraction.

	Treatment	Hg conc. in soils (mg/kg)		Hg removal efficiency (%) ^a	Hg conc. in extract (mg/L)
		Initial	Final		
Round 1 (10 hr)	Soil washing with 100 mL of ammonium thiosulfate solution (0.5 M)	120	49.2	59	29 (extract = 72 mL)
Round 2 (10 hr)	Soil washing with 100 mL of ammonium thiosulfate solution (0.5 M)	49.2	27.1	45	9.6 (extract = 95 mL)
Average conc. in total extracts (167 mL) = 18 mg/L Total Hg removal efficiency = 77%					

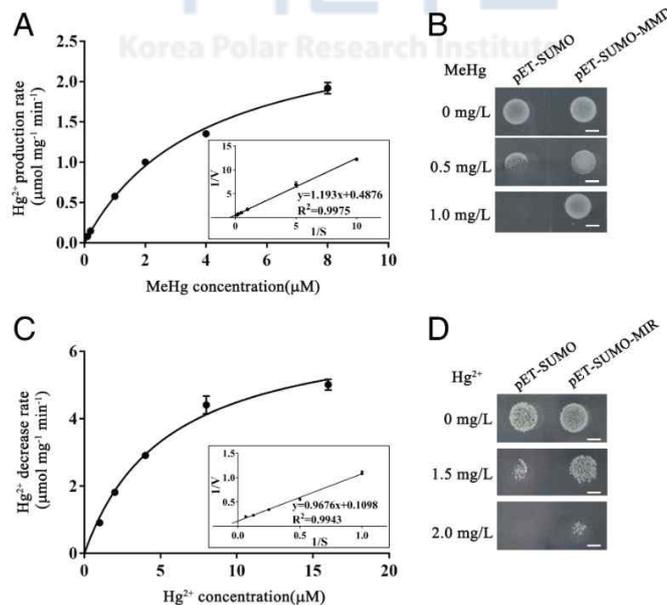
Stage 2: Biotransformation stage using soils from Stage 1 (B1: with Ca and Mg addition; B2: without Ca and Mg addition).

	Treatment	Hg conc. in solution (mg/L)		Hg removal efficiency (%) ^a
		Initial	Final	
B1 (4 days)	Addition of NB solution (containing Ca, Mg, and B7 strain solution)	9.5 (<i>merA</i> = 5.8×10 ⁴ gene copy/mL)	1.8 (<i>merA</i> = 8.4×10 ⁶ gene copy/mL)	81
B2 (4 days)	Addition of NB solution (containing B7 strain solution)	9.5 (<i>merA</i> = 5.8×10 ⁴ gene copy/mL)	3.5 (<i>merA</i> = 7.9×10 ⁵ gene copy/mL)	63

^a(initial concentration of Hg in soils – final concentration of Hg in soils)/initial concentration.

[그림] two step 수은 정화 과정 및 결과 (Chen SC et al. 2018)

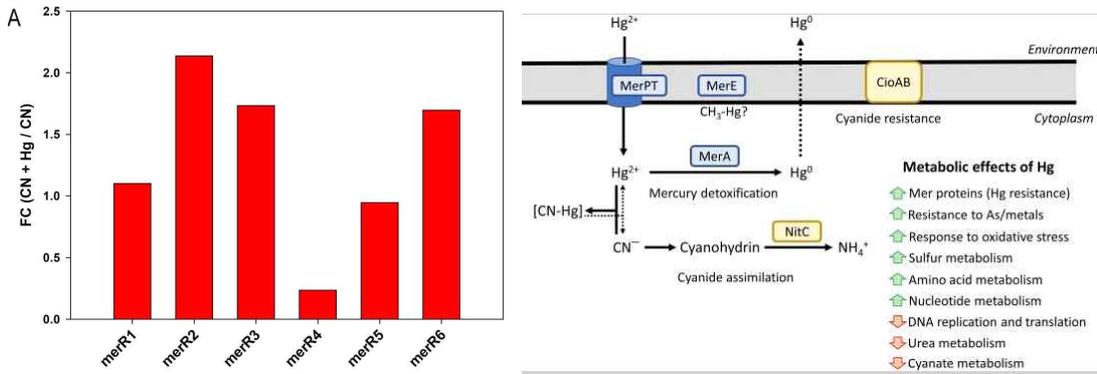
- Wu C et al. (2022)은 *Metarhizium robertsii*의 methylmercury demethylase (MMD) 및 mercury ion reductase (MIR)에 의한 수은 오염 토양 샘플의 methylmercury 분해능을 확인함.



[그림] *Metarhizium robertsii*의 methylmercury demethylase (MMD) 및 mercury ion reductase (MIR)의 수은 분해능 확인 결과 (Wu C et al. 2022)

- Bie ł ł o KA et al. (2023)은 *Pseudomonas pseudoalcaligenes* CECT 5344의 *merR2* 유전자에

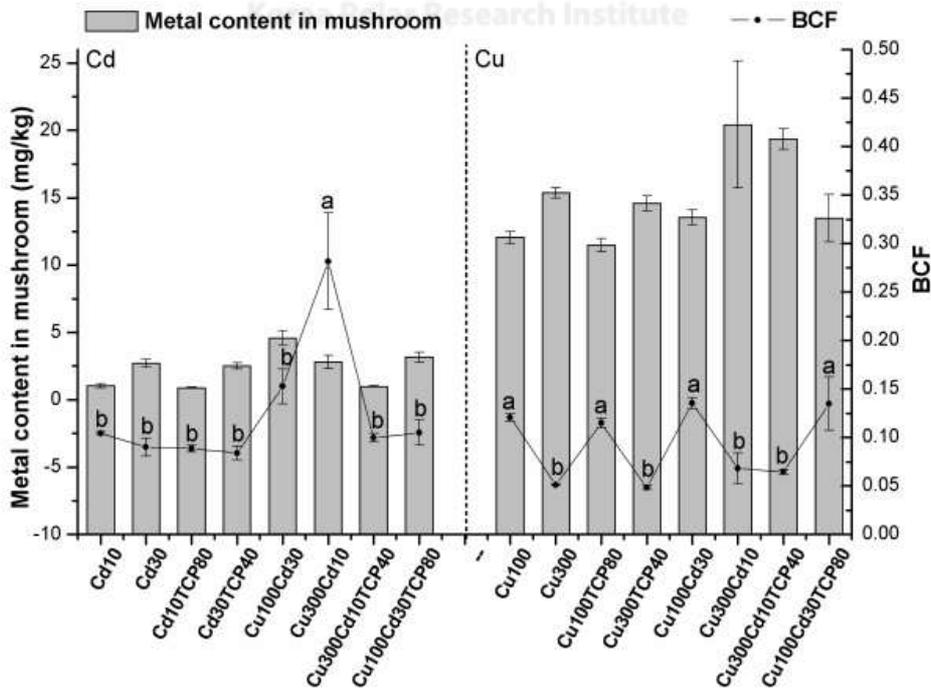
의한 수는 분해능을 확인함.



[그림] *Pseudomonas pseudoalcaligenes* CECT 5344의 *merR2* 유전자 활성 및 예상 대사경로 (Bietto KA et al. 2023)

3) 카드뮴

- Liu H et al. (2015)은 중금속(구리, 카드뮴, 구리 및 카드뮴) 및 2,4,5-트리클로로페놀 (trichlorophenol, TCP)로 오염된 토양에서 *Clitocybe maxima*의 자실체에 의한 생물학적 정화를 관찰함. *Clitocybe maxima*의 라카아제 활성에 의해 중금속이 흡수되며, 이로 인한 중금속의 축적은 중금속의 부하(load)가 늘어남에 따라 증가함.



[그림] *Clitocybe maxima*의 금속 농도 및 생물농축계수(bio-concentration factor, BCF)

나. 잔류성 유기오염물질(폐놀계)

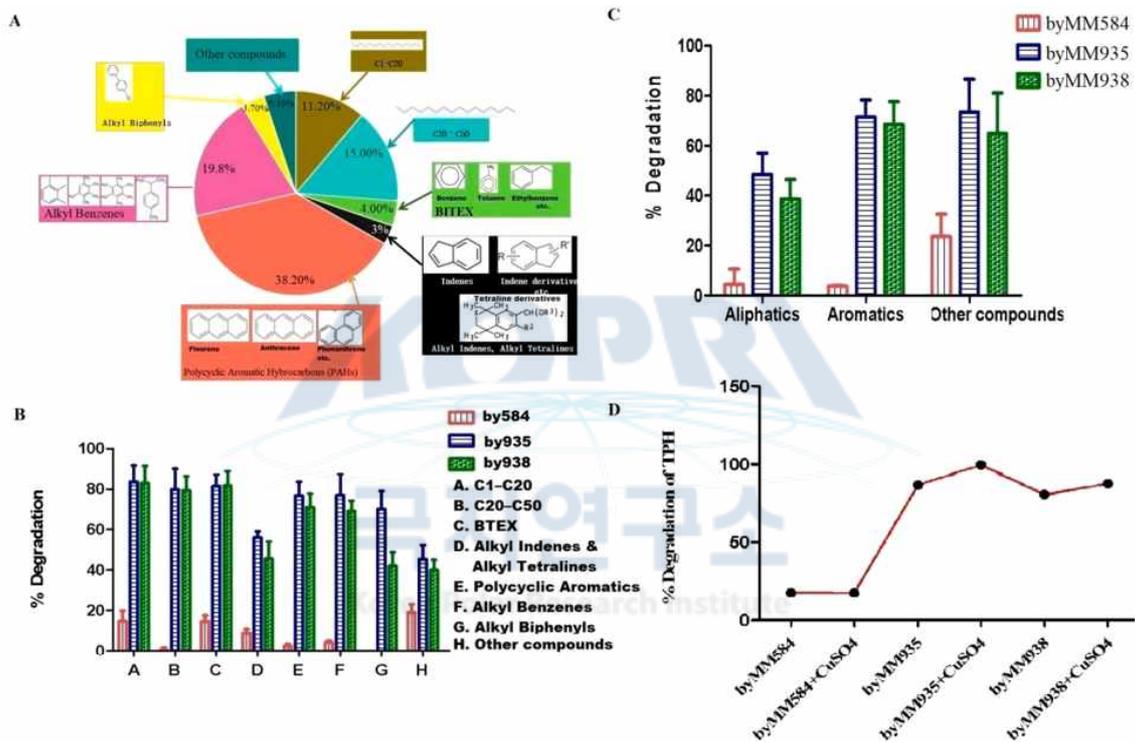
1) 폐놀성 오염물질

- Twala et al. (2020)은 플라스틱 폐기물 분해 및 폐수 처리 등 산업 응용 분야에 사용가능한 미생물 유래의 다양한 퍼옥시다아제 이소형(isoform)에 대하여 연구함. 최근 생명공학 분야에 적용되고 있는 퍼옥시다아제 유형을 그 유래와 함께 하기 표에 요약함.

[표] 퍼옥시다아제 이소형과 그 유래 및 산업적 적용

효소	기질	유래	적용	참고논문
Manganese peroxidase (MnP)	리그닌, 기타 폐놀성 화합물	<i>Rigidoporous Lignosus, Ceriporiopsis subvermispora, Bacillus anthracis, Bacillus cereus</i>	플라스틱 분해	Karigar et al. 2011, Ganesh et al. 2017, Pathak et al. 2017
Lignin peroxidase (LiP)	할로겐화 폐놀성 화합물, 다환 방향족 화합물	<i>P. chrysosporium, Chrysonilia sitophila, Streptomyces sp., Bacillus cereus</i>	플라스틱 분해, 생물학적 정화	Karigar et al. 2011, Ganesh et al. 2017, Pandey et al. 2017, Pathak et al. 2017, Wei et al. 2017
Versatile peroxidase (VP)	메톡시벤젠 및 폐놀성 방향족 화합물	<i>P. chrysosporium, Trametes versicolor, Pleurotus ostreatus</i>	산업용 생체촉매, 생물학적 정화	Karigar et al. 2011, Pandey et al. 2017, Zahmatkesh et al. 2017
Glutathione peroxidase (GPx)	과산화지질, 과산화수소	Grass carp, silver carp, Southern bluefin tuna	리그닌 분해, 생물학적 정화	Colpa et al. 2014, Xie et al. 2017, Yoshida et al. 2015
Dye-decolorizing peroxidase (DyP)	폐놀, 아민, 하이드로퀴논, 방향족 알코올 및 생체이물	<i>Bacillus subtilis, Phanerochaete chrysosporium</i>	폐놀 분해	Colpa et al. 2014, Datta et al. 2017, Min et al. 2015

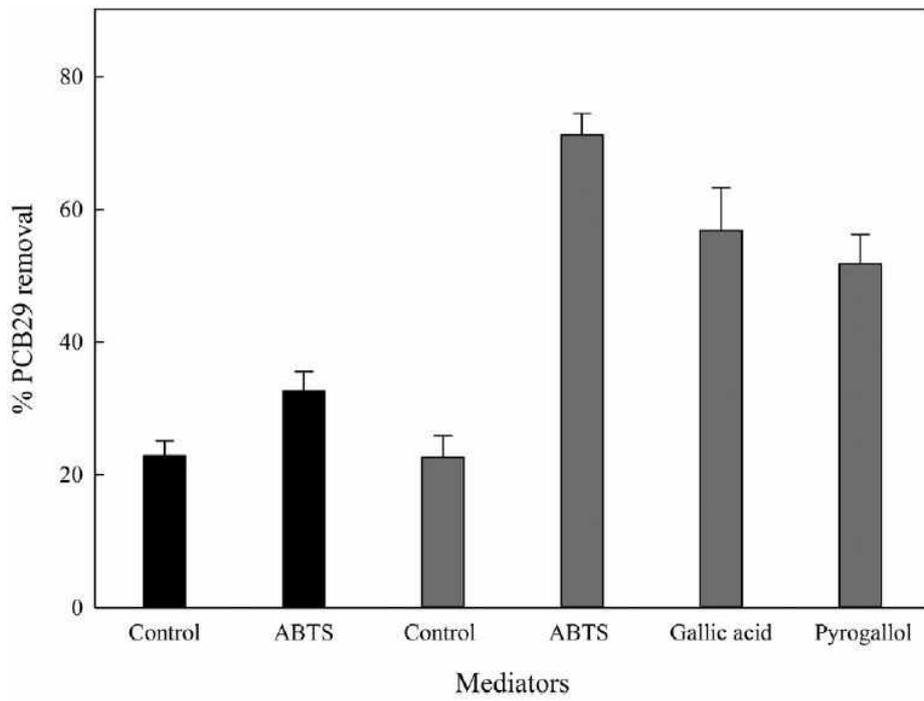
- Asemoloye et al. (2022)은 엔지니어링된 효모가 높은 오염도의 복합 탄화수소 혼합물 (complex hydrocarbon mixture, CHM)을 분해하는 능력에 대해 연구함. *Trametes trogii* 유래의 라카아제인 Ttlcc1은 GPD 프로모터(pGPD) 하에서 *Saccharomyces cerevisiae* 균주 CEN.PK2-1 C로 엔지니어링됨. 이를 통해 구축된 두 개의 합성 균주 byMM935 및 byMM938은 pH 범위 3.5~4.5, 온도 30~40° C, 1 mM CuSO₄를 갖춘 최적화된 성장 조건에서 다환 방향족 탄화수소(poly-cyclic aromatic hydrocarbon), 알킬 인덴(alkyl indene), 알킬 테트라린(alkyl tetraline), 알킬 벤젠(alkyl benzene), 알킬 비페닐(alkyl biphenyl) 및 BTEX(Benzene(벤젠), Toluene(톨루엔), Ethylbenzene(에틸벤젠) 및 Xylene(자일렌))를 포함하여 CHM의 주요 구성 요소 중 60~90%를 48시간 이내에 분해함.



[그림] 복합 탄화수소 혼합물의 조성비율(A) 및 효모 세포에 의한 복합 탄화수소 혼합물의 분해율(B-D)

2) 폴리염화비페닐(PCB)

- Nikolaivits et al. (2021)은 폴리염화비페닐(PCB)의 한 종류인 2,4,5-트리클로로비페닐 (2,4,5-trichlorobiphenyl, PCB29)의 존재 하에, 라카아제 활성화에 대한 기능적 및 전사체 조사를 통해 해양 유래 곰팡이의 두 가지 새로운 효소와 다중 구리 산화효소 레퍼토리를 확인함. 가장 높은 라카아제 활성을 발현하는 균주인 *Cladosporium* sp. TM138-S3의 배양액으로부터 라카아제1(Lac1) 및 라카아제2(Lac2)를 분리함. Lac1은 최대 32%, Lac2는 최대 71.2%의 PCB29 제거 능력이 관찰됨.



[그림] 반응 조건에 따른 Lac1(검은색) 또는 Lac2(회색)의 PCB29 제거율

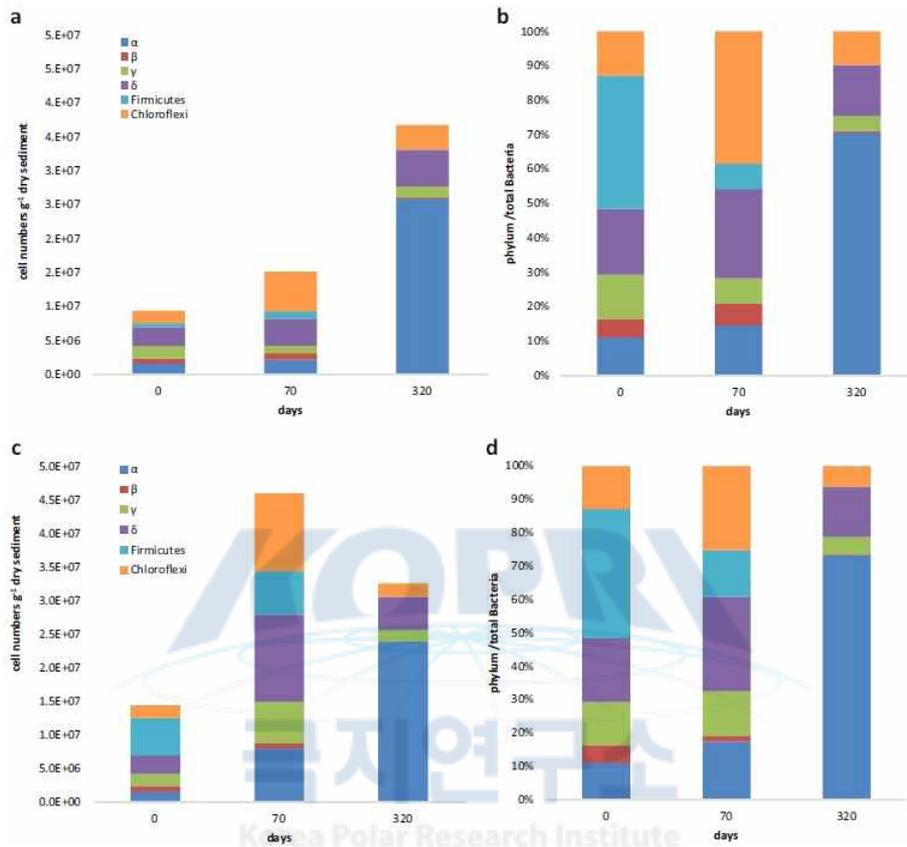


- Matturro et al. (2017)은 서로 다른 폴리염화비페닐(PCB)로 오염된 해양 퇴적물로 구성된 소우주(microcosm)에서 6개의 탈염소 미생물 배양물을 수득함. 이 배양물을 고성능 시퀀싱 (high-throughput sequencing)으로 분석한 결과, *Chloroflexi* 문 내 *Dehalococcoidales Incertae Sedis*에 속하는 *Dehalococcoidia* 구성원 OTU-DIS1 및 δ -Proteobacteria 등이 존재함을 규명함. 또한, *Dehalococcoides mccartyi* 균주의 tceA, bvcA 및 vcrA 유전자가 모든 배양물에서 발견됨을 확인함.



[그림] 6개의 탈염 농축 배양물에서 *D. mccartyi*의 환원성 탈할로게나제(RDase) 유전자의 qPCR 정량화.

- Maturro et al. (2015)은 해양 퇴적물의 폴리염화비페닐(PCB) 혐기성 분해에 관한 소우주 연구를 통해, 헵타-, 헥사-, 펜타-클로로비페닐(chlorobiphenyl, CB)의 감소 및 저염소화된 PCB(트리-CB 및 테트라-CB)의 증가를 관찰함. 특히 PCB 탈염소화에 관여하는 *D. mccartyi*의 환원성 데할로게나제 유전자도 qPCR을 사용하여 정량화함.



[그림] 해양 퇴적물 및 소우주에서의 혐기성 처리 구조 및 미생물 개체군 역학

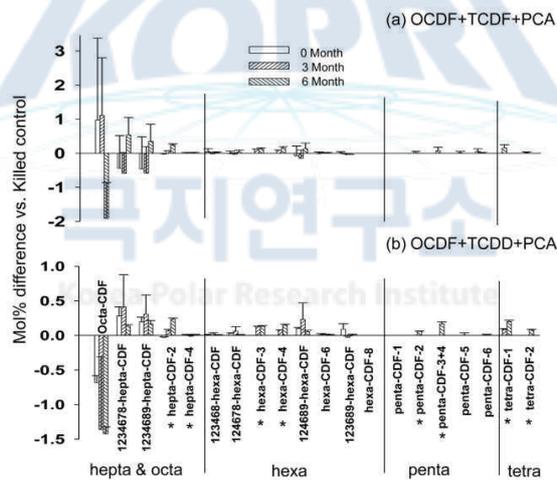
3) 다이옥신

- Otarola G et al. (2018)은 Aryl hydrocarbon receptor-based bioassay를 이용하여 다이옥신을 검출하는 다양한 시스템에 대해 기재함.

AhR source	System	Output	Contaminant	LOD
Human	H4IIEC3 cells	FRET (AhR-CFP and ARNT-YFP)	TCDD	1 pM (TCDD)
Human	T-REx 293 cells	BRET (Renilla-YFP, AhR-RL, and ARNT-YFP)	TCDD; OCDD; 3-MC	10 aM (TCDD)
Human	Yeast	Colorimetry (5 XRE, β -galactosidase)	TCDD; B[a]P; β -NF; HB	0.3 nM (TCDD)
Human	Yeast	Luminescence (5 XRE, Luciferase)	TCDD; B[a]P; B[a]A, Sediment	0.96 nM (TCDD)
Human	Yeast	Colorimetry (5 XRE, β -galactosidase)	TCDD; PeCDD; PeCDF; β -NF; Incinerator samples	-
Murine	Tobacco plant	Colorimetry (6 XRE, β -glucuronidase)	3-MC; β -NF; indigo	5 nM (3-MC)
Murine	Tobacco plant	Colorimetry (mAHR/LexA/VP16, β -glucuronidase)	TCDD; β -NF; 3-MC	1.6 nM (3-MC)
Guinea pig	<i>Arabidopsis</i> plant	Colorimetry (gAhR/LexA/VP16, β -glucuronidase)	PCB126	10 ng g ⁻¹ PCB126

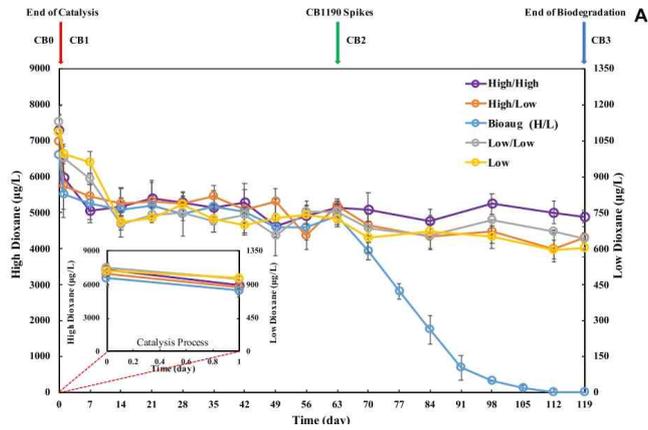
[그림] exogenous AhR 단백질 기반 다이옥신 검출 시스템(Otarola G et al. 2018)

- Liu H et al. (2014)은 Kymijoki River sediment에서 추출한 Anaerobic enrichment culture에서 *Dehalococcoides mccartyi* Pinellas subgroup의 dioxin 분해능을 확인하였으며, 이 subgroup에서 12개의 reductive dehalogenase 유전자(rdh)의 발현이 다이옥신이 많을 경우 증가한다는 것을 확인함.



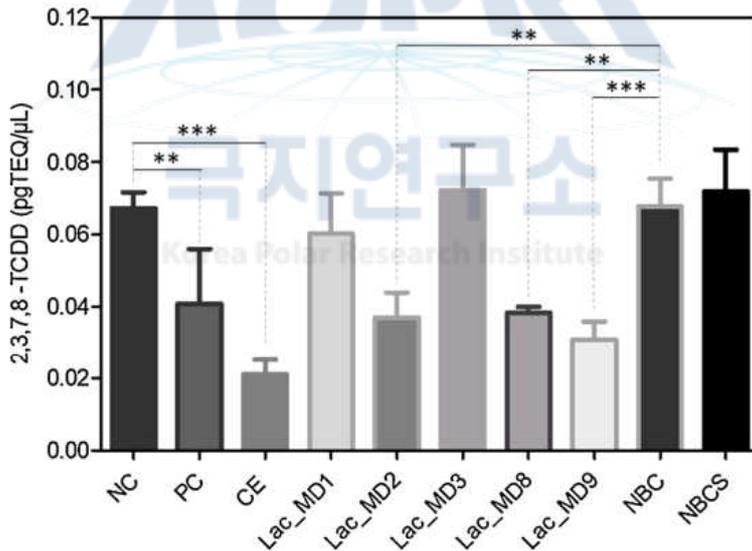
[그림] *Dehalococcoides mccartyi* Pinellas subgroup의 dioxin 분해 성능 확인결과 (Liu H et al. 2014)

- Miao Y et al. (2020)은 *Pseudonocardia dioxanivorans* CB1190이 1,4-dioxane의 분해능을 확인하였음. 또한, 다양한 microbial community가 후속된 CVOC 분해에 기여한다는 점을 확인함.



[그림] *Pseudonocardia dioxanivorans* CB1190의 1,4-dioxane 분해능 확인 결과
(Miao Y et al. 2020)

- Dao ATN et al. (2021)은 *Rigidoporus* species FMD21의 리그닌 변형 효소 유전자 및 laccase isozyme이 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin을 분해할 수 있다는 것을 확인함.

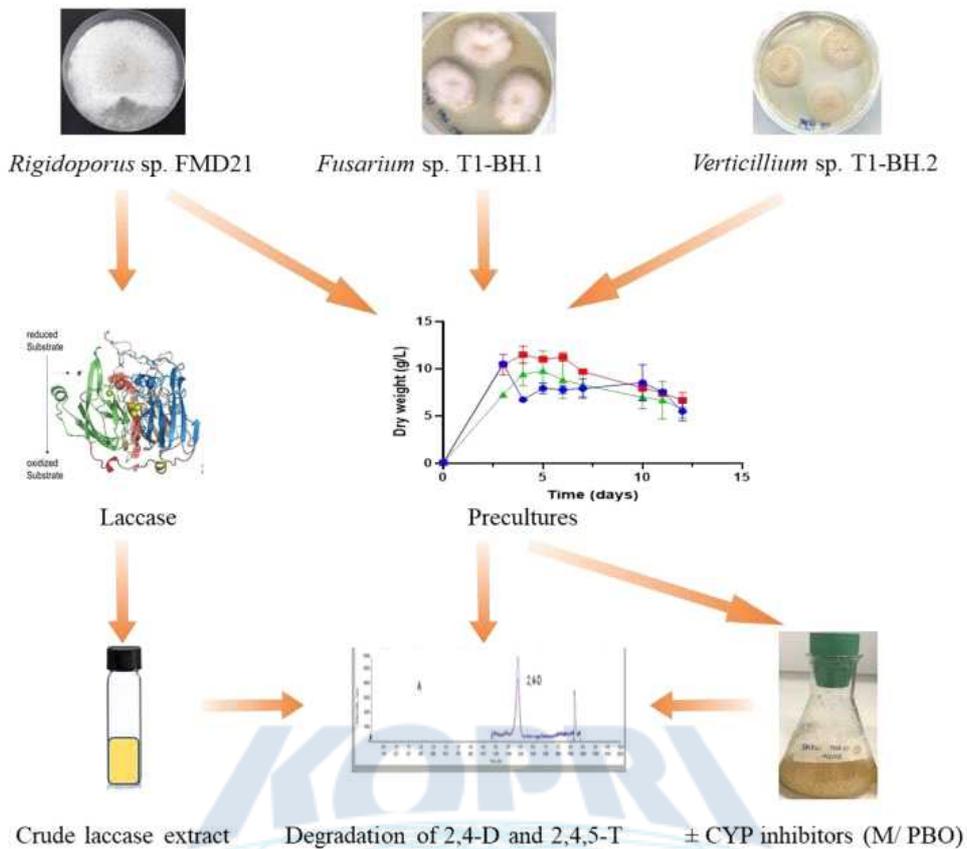


[그림] *Rigidoporus* species FMD21 유래
laccase isozyme의 2,3,7,8-TCDD 분해능 확인 결과 (Dao ATN et al. 2021)

다. 제초제

1) 2,4-디클로로페녹시아세트산(dichlorophenoxyacetic acid)(2,4-D)

- Nguyen TLA et al. (2022) 은 *Rigidoporus* sp. FMD21의 laccase 및 cytochrome P450 기반 2,4-디클로로페녹시아세트산 분해능을 확인하였음. 또한, 비슷한 종인 *Fusarium* sp. T1-BH.1 및 *Verticillium* sp. T1-BH.2의 2,4-디클로로페녹시아세트산 분해 가능성을 제시함.



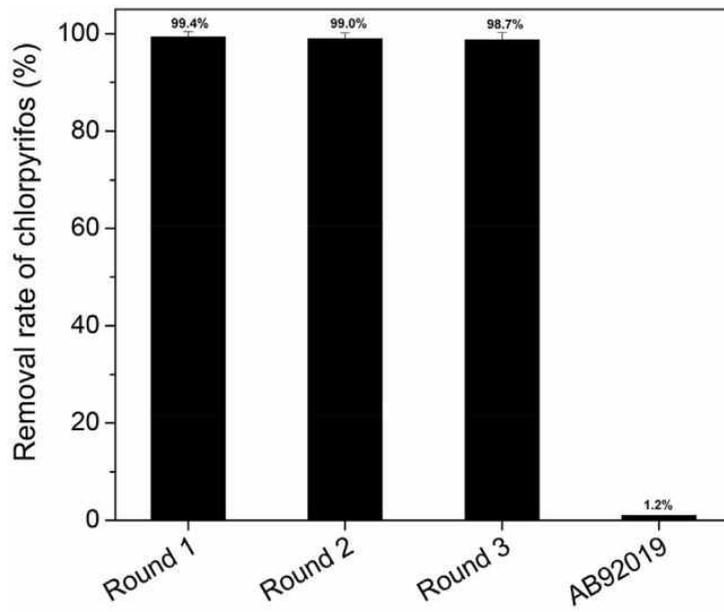
[그림] fungi에 의한 2,4-디클로로페녹시아세트산 분해능 확인 결과
(Nguyen TLA et al. 2022)

Korea Polar Research Institute

라. 살충제

1) 클로르피리포스

- Liu J et al. (2016)은 표면에 고정화된 라카아제를 발현하도록 조작된 *Pseudomonas putida* MB285 세포에 의한 클로르피리포스의 생분해에 대해 연구함. MB285 세포에 의한 분해 반응은 Cu(2+)가 필요 없이 광범위한 pH 값(2-7)과 온도(5-55° C)에서 수행가능하며, 클로르피리포스의 초기 농도(50 $\mu\text{g mL}^{-1}$)를 기준으로 계산하였을 때, 라운드 1, 2, 3에서 각각 99.4%, 99.0%, 98.7%의 분해율을 유지하는 것으로 관찰되어 연속적인 재사용 성능과 재생성을 입증함.



[그림] *P. putida* MB285 세포에 의한 클로르피리포스의 연속 3회 분해



- Maqbool et al. (2016)은 액체 및 토양에서 농약의 생분해 및 생물학적 정화를 위해 사용하는 곰팡이에 대하여 연구함. 라카아제(laccase), 가수분해효소(hydrolase), 퍼옥시다아제(oxidase), 에스테라아제(esterase), 탈수소효소(dehydrogenase), 망간 퍼옥시다아제(manganese peroxidase), 리그닌 퍼옥시다아제(lignin peroxidase) 등을 포함하는 다양한 효소에 의한 살충제의 생분해가 알려져 있으며, 살충제 중 파라티온 및 클로르피리포스와 관련된 내용을 하기 표에 요약함.

[표] 액체 및 토양 배지에서 다양한 살충제를 분해할 수 있는 곰팡이

살충제	곰팡이 균주	살충제 농도	배양 시간	분해율	참고논문
클로르피리포스	<i>Verticillium</i> sp.	10 mg L ⁻¹	7일	약 80%	Yu et al. 2006
	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Penicillium</i> sp., <i>Eurotium</i> sp., 및 <i>Emericella</i> sp.	10 mg L ⁻¹	7일	69.4-89.8%	Maya et al. 2012
	<i>C. cladosporioides</i>	50 mg L ⁻¹	5일	100%	Chen et al. 2012
	<i>Ganoderma</i> sp. JAS4	300 mg L ⁻¹	5일	100%	Silambarasan and Abraham 2014
	<i>Streptomyces</i> sp.M7	1.66 mg L ⁻¹	4일	99.2%	Fuentes et al. 2013
	<i>Acremonium</i> sp. strain GFRC-1	300 mg L ⁻¹	20일	83.9%	Kulshrestha and Kumari 2011
	GFRC mixed fungal culture	300 mg L ⁻¹	20일	78.24%	Kulshrestha and Kumari 2011
	<i>Serratia</i> sp. + <i>Trichosporon</i> sp	50 mg L ⁻¹	7일	100%	Xu et al. 2007
	<i>Cellulomonas fimi</i> + <i>P. chrysosporium</i>	50 mg L ⁻¹	6일	100%	Barathidasan et al. 2014
클로르피리포스 및	<i>Fusarium</i> sp. isolates GFSM-4+	20 mg L ⁻¹	12일	클로르피리포스 73.6-85.9 %	Kulshrestha and Kumari 2010

DDT 혼합 물	및 <i>Fusarium</i> sp. isolates GFSM-4			DDT 79.5-94 .4 %	
토양 클로 르피 리포 스에 대한 곰팡 이 분해	<i>Verticillium</i> sp.	1 mg kg ⁻¹	25일	0.0072 mg day ⁻¹ kg ⁻¹ (비접 종)	Fang et al. 2008
메틸-파 라티 온	<i>Aspergillus sydowii</i> CBMAI 935	100 mg L ⁻¹	20일	100%	Alvarenga et al. 2014
	<i>Penicillium decatuense</i> CBMAI 1234		30일		
파라티온	<i>B. adusta</i> 8258	200 μM	4일	78.3%	Jauregui et al. 2003
	<i>P. ostreatus</i> 7989			96.9%	
	<i>P. chrysosporium</i> 3641			55.0%	

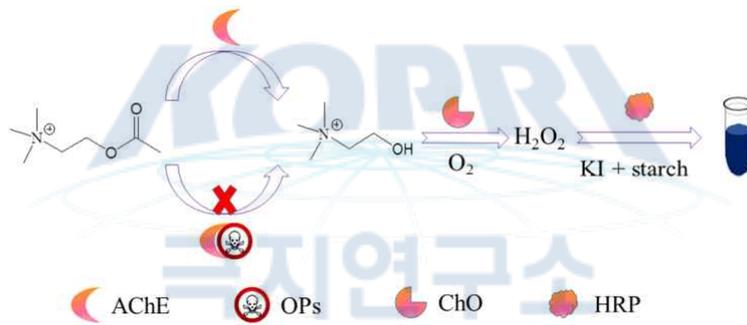
- Onder Erguven et al. (2021)은 *Methylobacterium radiotolerans* 및 *Microbacterium arthrosphaerae*에 의한 클로르피리포스-에틸(chlorpyrifos-ethyl) 정화 효율성을 평가함. 이를 위한 바이오마커로서 *Gammarus pulex*의 카탈라아제(catalase, CAT), 슈퍼옥시드 디스무타아제(superoxide dismutase, SOD), 글루타티온 S-트랜스퍼라아제(glutathione S-transferase, GST) 및 사이토크롬 P450 (cytochrome P450, CYP1A1)의 활성을 측정함.

Biochemical parameters	Groups	24 h	96 h
CAT (nmol/min/ mL)	Control (A)	6.66 ± 0.22 ^a	9.34 ± 0.32 ^{a*}
	B	2.95 ± 0.80 ^b	4.37 ± 0.21 ^{b*}
	C	2.84 ± 1.36 ^b	5.96 ± 1.29 ^b
	D	3.93 ± 0.81 ^b	1.09 ± 1.16 ^{c*}
SOD (u/mL)	A	0.0105 ± 0.007 ^a	0.0043 ± 0.001 ^{b*}
	B	0.0140 ± 0.001 ^a	0.0183 ± 0.005 ^{ab*}
	C	0.0213 ± 0.01 ^a	0.0034 ± 0.001 ^{b*}
	D	0.0071 ± 0.001 ^a	0.0195 ± 0.006 ^a
GST (nmol/min/mL)	A	35.78 ± 2.29 ^a	29.82 ± 2.29 ^c
	B	29.33 ± 0.28 ^a	71.57 ± 2.72 ^{b*}
	C	41.41 ± 9.18 ^a	41.74 ± 9.39 ^c
	D	41.74 ± 0.71 ^a	93.43 ± 1.83 ^{a*}
CYP1A1 (pg/ml)	A	338.32 ± 22.49 ^a	379.65 ± 51.53 ^a
	B	371.38 ± 36.87 ^a	347.40 ± 45.64 ^a
	C	369.27 ± 8.98 ^a	392.94 ± 54.65 ^a
	D	359.07 ± 22.81 ^a	367.33 ± 20.24 ^a

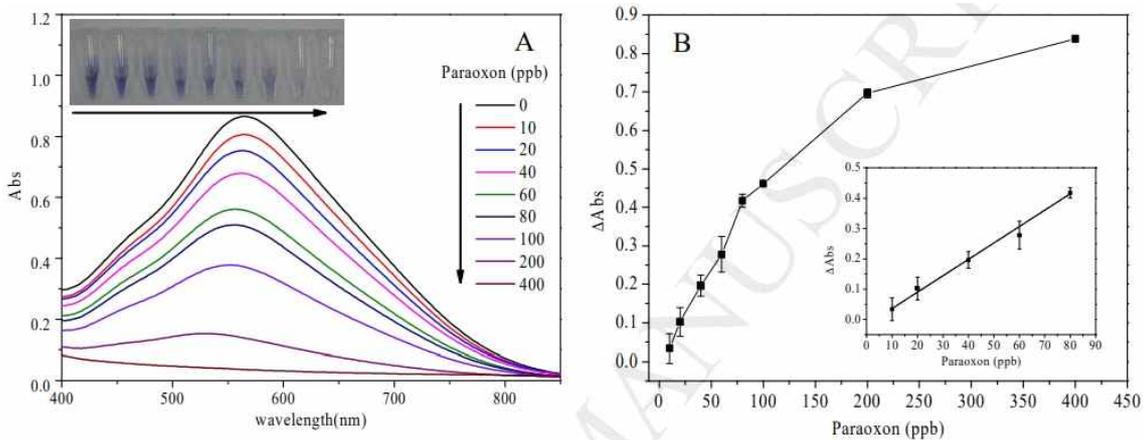
[그림] *M. radiotolerans* 및 *M. arthrosphaerae*에 의한 생물학적 정화 전후의 클로르피리포스-에틸 살충제에 노출된 *Gammarus pulex*의 생화학적 매개변수

2) 파라옥손

- Guo et al. (2017)은 환경 수질 시료 내에서 유기인계 살충제(organophosphorus pesticides, OPs) 종류인 파라옥손의 검출을 위해 요오드-녹말 색 반응 및 다중-효소 캐스케이드(cascade) 촉매 반응을 기반으로 하는 비색 바이오 센서를 개발함. 아세틸콜린 클로라이드(acetylcholine chloride)가 있는 경우 아세틸콜린에스테라아제(acetylcholinesterase, AChE)와 콜린 산화효소(choline oxidase, ChO)가 H₂O₂의 형성을 촉매하고, 이후 서양고추냉이 과산화효소(horseradish peroxidase, HRP)가 활성화되어 요오드화 칼륨(potassium iodide, KI)의 산화를 촉매하여 요오드-녹말 색 반응을 생성함. 따라서, 파라옥손에 노출되면 AChE의 촉매 활성이 억제되어 H₂O₂ 생성이 감소하여 I₂ 생성이 감소하고 용액 색상의 강도가 저하됨. 이 비색 바이오센서는 검출 한계 4.7 ppb로 파라옥손 분석에 대한 높은 감도를 나타냄.



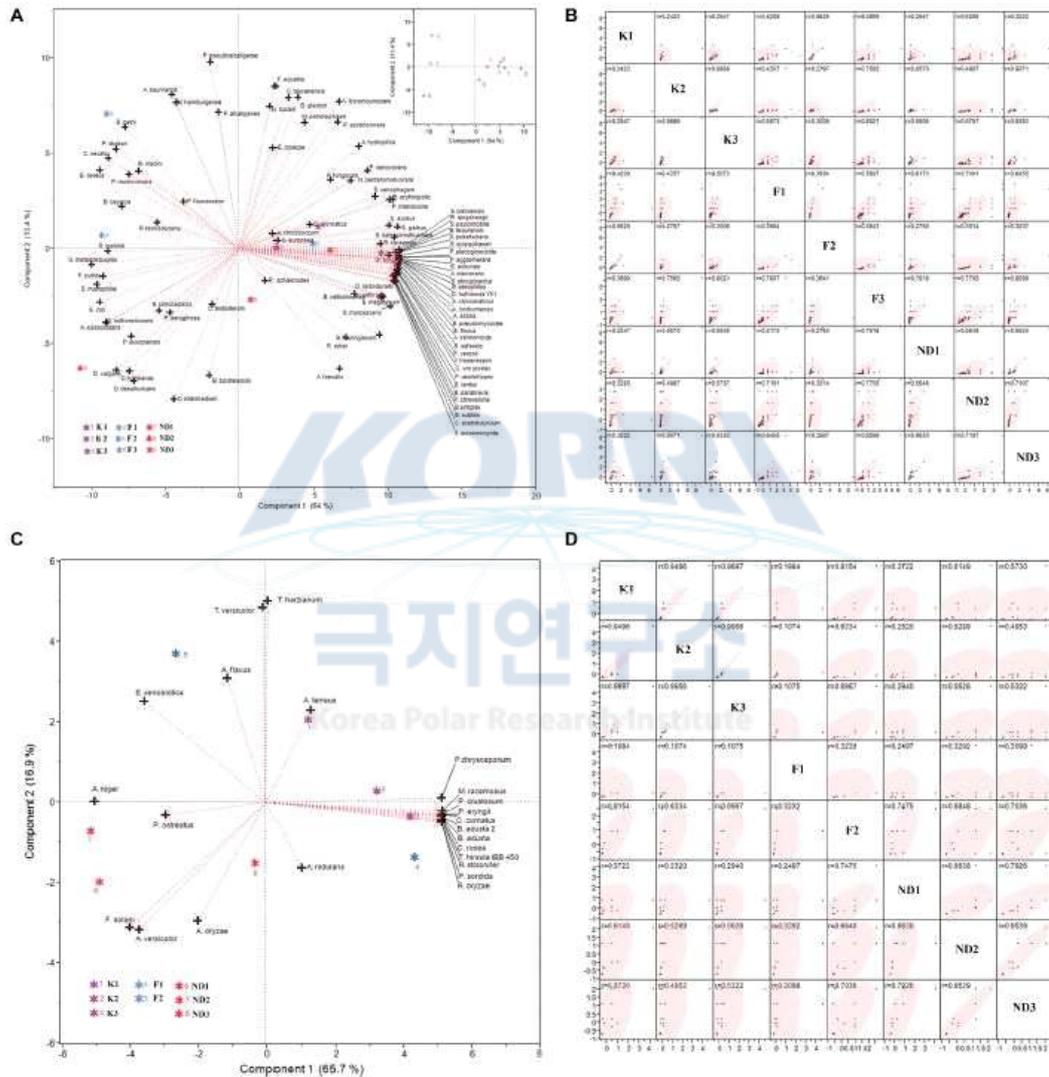
[그림] 유기인계 살충제(OPs) 농약 분석을 위한 비색 바이오센서의 원리



[그림] 파라옥손 농도별 혼합 용액의 흡수 스펙트럼(A) 및 상대 흡광도 대 파라옥손 농도(B)

3) 파라티온

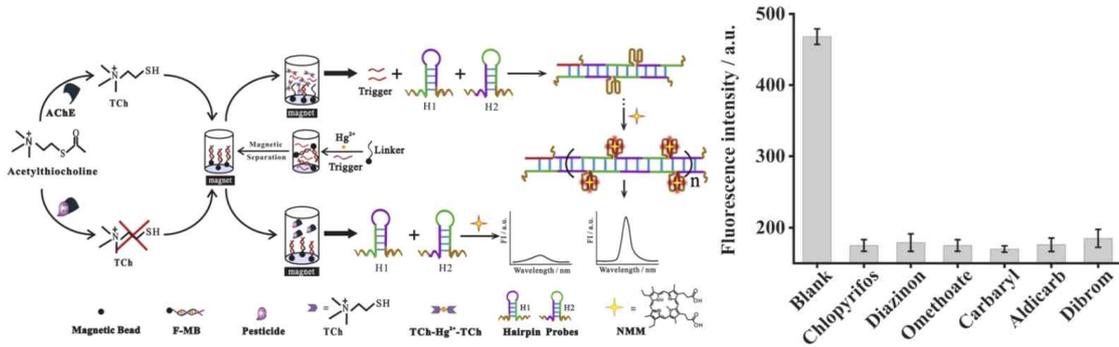
- Behera et al. (2020)은 인도의 갠지스 강과 야무나 강의 서로 다른 9개 지역의 퇴적물에 대한 메타지노믹(metagenomic) 분석을 통해 박테리아 및 곰팡이의 다양성과 생물학적 정화 가능성을 규명함. 그 중, 메틸 파라티온 가수분해효소(methyl parathion hydrolase, MPH) 유전자(bjmpd)를 보유하고 있는 생물학적 정화 곰팡이 *Burkholderia jiangsuensis*의 존재를 관찰함.



[그림] 생물학적 정화 박테리아(A, B) 및 곰팡이(C, D)의 상대적 풍부도에 대한 PCA 행렬도(A, C) 및 산점도 행렬 (B, D)

4) 살충제

- Yao Y et al. (2019)은 살충제에 의한 acetylcholinesterase (AChE) 활성 저해 기작을 통해 살충제를 검출할 수 있는 N-methyl mesoporphyrin IX(NMM) 결합 G-quadruplex 기반의 센서를 개발함.



[그림]. G-quadruplex 기반 살충제 검출 센서 및 결과 (Yao Y et al. 2019)

- Zhao T et al. (2021)은 pyrethroids (PYRs) 분해능을 가지는 미생물들과 연관된 유전자들에 대한 정보를 제공함.

Strains	PYRs	Degradation intermediates						References
		HY1	HY2	HY3	HY4	HY5	HY6	
<i>Aspergillus</i> sp. PYR-P2	cypermethrin	+	+	-	-	+	+	Kaur and Balomajumder (2020)
<i>Bacillus thuringiensis</i> SG4	cypermethrin	+	+	-	-	+	+	Bhatt et al. (2020b)
<i>Bacillus</i> sp. ISTS2	cypermethrin	+	+	-	-	+	+	Sundaram et al. (2013)
<i>Sphingobium wenxiniae</i> JZ-1	cypermethrin	-	-	-	-	+	+	Wang et al. (2009)
<i>Bacillus cereus</i> L12	cypermethrin	-	-	-	-	+	+	Qu et al. (2011)
<i>Micrococcus</i> sp. CPN 1	cypermethrin	-	-	-	-	+	+	Tallur et al. (2008)
<i>Bacillus</i> sp. SG2	cypermethrin	+	+	-	-	+	-	Bhatt et al. (2016b)
Microbial consortium	cypermethrin	-	+	-	-	+	-	Chen et al. (2012d)
<i>Cladosporium</i> sp. HU	cypermethrin	-	+	-	-	+	-	Chen et al. (2012b)
<i>Streptomyces</i> sp. HU-S-01	cypermethrin	-	+	-	-	+	-	Lin et al. (2011)
<i>Pseudomonas stutzeri</i> S1	cypermethrin	+	+	-	-	-	-	Saikia et al. (2005)
<i>Bacillus subtilis</i> 1D	cypermethrin	+	+	-	-	-	-	Gangola et al. (2018)
<i>Brevibacillus parabrevis</i> BCP-09	β -cypermethrin	+	+	-	-	+	+	Tang et al. (2018a)
<i>Acinetobacter</i> sp. JN8	β -cypermethrin	+	+	-	-	+	+	Jin et al. (2014)
<i>Aspergillus niger</i> YAT	β -cypermethrin	+	+	-	-	+	+	Deng et al. (2015)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> CH7	β -cypermethrin	+	+	-	-	+	+	Zhang et al. (2011a)
<i>Bacillus subtilis</i> BSF01	β -cypermethrin	+	+	-	-	+	+	Xiao et al. (2015)
<i>Bacillus cereus</i> BCC01	β -cypermethrin	-	+	-	-	+	+	Hu et al. (2019)
<i>Azoarcus indigens</i> HZ5	β -cypermethrin	-	+	-	-	+	+	Ma et al. (2013)
<i>Eurotium cristatum</i> ET1	β -cypermethrin	-	+	-	-	+	+	Hu et al. (2018)
<i>Ochrobactrum lupini</i> DG-S-01	β -cypermethrin	-	+	-	-	+	+	Chen et al. (2011a)
<i>Aspergillus oryzae</i> RIB40	β -cypermethrin	-	+	-	-	+	+	Zhao et al. (2021)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> NCIM 2074	fenvalerate	+	+	-	-	+	+	Fulekar (2009)
<i>Bacillus flexus</i> XJU-4	fenvalerate	-	+	-	-	+	+	Mulla et al. (2017)
<i>Sphingomonas</i> sp. F-7	fenvalerate	-	+	-	-	+	+	Yu et al. (2013)
<i>Stenotrophomonas</i> sp. ZS-S-01	fenvalerate	-	+	-	-	+	+	Chen et al. (2011c)
<i>Bacillus licheniformis</i> CY-012	fenvalerate	+	+	-	+	-	-	Tang et al. (2018b)
<i>Microspheeropsis</i> sp. CBMAI 1675	esfenvalerate	+	+	-	+	-	+	Birrolli et al. (2016a)
<i>Acremonium</i> sp. CBMAI 1676	esfenvalerate	+	+	-	+	-	+	Birrolli et al. (2016a)
Bacterial consortium	esfenvalerate	+	+	-	+	-	+	Anjos et al. (2020)
<i>Bacillus</i> sp. CBMAI 1833	esfenvalerate	+	+	-	+	-	+	Birrolli et al. (2016b)
<i>Bacillus</i> sp. DG-02	fenpropathrin	-	+	-	-	+	+	Chen et al. (2014)
<i>Ochrobactrum tritici</i> pyd-1	fenpropathrin	-	+	-	-	+	+	Wang et al. (2011)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> JQ-41	fenpropathrin	-	+	-	-	+	+	Song et al. (2015)
<i>Sphingobium faniae</i> JZ-2	fenpropathrin	+	+	-	-	+	-	Guo et al. (2010)
<i>Microspheeropsis</i> sp. CBMAI 1675	cyhalothrin	+	+	-	+	-	+	Birrolli et al. (2018)
<i>Bacillus</i> sp. 2B	cyhalothrin	+	+	+	+	+	+	Birrolli et al. (2019)
<i>Aspergillus</i> sp. CBMAI 1829	cyhalothrin	+	+	+	-	+	+	Birrolli et al. (2018)
<i>Bacillus thuringiensis</i> ZS-19	cyhalothrin	-	+	+	-	+	+	Chen et al. (2015)
<i>Lysinibacillus sphaericus</i> FLQ-11-1	cyfluthrin	+	+	-	-	+	+	Hu et al. (2014)
<i>Brevibacterium aureum</i> DG-12	cyfluthrin	+	+	-	-	+	+	Chen et al. (2013a)
<i>Bacillus thuringiensis</i> GIMCC1.817	deltamethrin	+	+	-	-	+	+	Guo et al. (2020)
<i>Streptomyces aureus</i> HP-S-01	deltamethrin	-	+	-	-	+	-	Chen et al. (2011b)
<i>Achromobacter</i> sp. P-01	deltamethrin	-	+	-	-	+	-	Chen et al. (2011d)
<i>Staphylococcus succinus</i> HLJ-10	cyphenothrin	+	+	-	-	+	-	Huang et al. (2020)
Bacterial consortium	permethrin	+	+	-	-	+	+	Maloney et al. (1988)
<i>Bacillus stearothermophilus</i> SM4	permethrin	+	+	-	-	+	+	Maloney et al. (1992)
<i>Acinetobacter baumannii</i> ZH-14	permethrin	-	+	-	+	+	-	Zhan et al. (2018)
<i>Aspergillus niger</i> ZD11	permethrin	+	+	-	+	-	-	Liang et al. (2005)
<i>Bacillus cereus</i> SM-3	permethrin	+	+	-	+	-	-	Maloney et al. (1993)
<i>Pseudomonas fulva</i> P31	D-phenothrin	-	-	-	-	+	-	Yang et al. (2018)

[그림] pyrethroids 분해능 미생물 (Zhao T et al. 2021)

3. 논문 분석 종합

- 미생물 및/또는 효소를 이용한 독성 물질의 검출 및 정화 기술 분야에 대한 최근 10년의 논문을 대상으로 도출한 90건의 유효 논문을 분석한 결과, 미생물 및/또는 효소를 이용한 독성 물질의 정화 기술 분야가 81건 및 독성 기술 분야가 9건이었으며, 오염물질 카테고리로는 중금속 관련 35건, 잔류성 유기오염물질(폐놀계) 관련 39건, 제초제 관련 1건 및 살충제 관련 15건으로 분류됨.
- 중금속 중 수은 관련이 30건으로 카드뮴(3건) 및 납(3건)과 비교하여 월등히 많은 연구 활동이 이루어지고 있으며, 이들은 다양한 미생물 유래의 mercuric reductase를 이용한 수은 정화에 관한 연구를 주제로 함.
- 잔류성 유기오염물질(폐놀계) 관련하여서는, PCBs 관련 연구가 26건으로, 다양한 효소들을 이용한 정화 기술을 주제로 가장 활발히 연구되는 분야이며, 다이옥신 관련하여서는 6건이 조사되었으며, 폴리포링 폴루탄케톤류는 조사되지 않음.
- 살충제 관련하여서는, 특정 환경오염물질에 대한 집중없이 파라티온, 클로르피리포스 및 파라옥손에 관한 연구가 진행되고 있으며, 파라옥손의 경우, 검출 연구에 집중되는 특징이 있음.
- 제초제 관련하여서는 2,4-디클로로페녹시아세트산의 정화 기술에 관한 연구 1건이 조사됨.
- 조사 기간 동안의 미생물 및/또는 효소를 이용한 독성 물질의 검출 및 정화 기술 분야에 대한 논문 활동은 검출 연구에 비해 정화 연구에 집중되어 있으며, 살충제 성분인 파라옥손의 경우는 검출 연구에 집중되는 것으로 파악됨.

제4절 결론

- 주요 특허 분석



- 주요 기술 분석 (논문)



[그림] 중화 정화 기술과 관련된 특허 및 기술 분석에 대한 요약

- 납, 수은, 카드뮴, PCBs(폴리클로리네이티드 바이페닐), PBPKs(폴리포링 플루탄게톤류), 다이옥신(polychlorinated dibenzo-p-dioxins), 2,4-디클로로페녹시아세트산(2,4-Dichloro-phenoxy acetic acid), 파라티온(Methyl parathion), 클로르피리포스(Chlorpyrifos), 파라옥손(Paraoxon)을 대상으로 한, 미생물 및/또는 효소를 이용한 환경오염 물질 검출에 관한 최근 10년간의 특허 및 논문 활동은 각각 101건 및 90건으로, 환경 오염의 심각성에 비해 연구 활동이 상대적으로 저조한 것으로 파악되나, 본 분야의 연구가 서서히 증가하는 추세로 분석되며, 상기 10개의 대상 물질에 대한 미생물 및/또는 효소를 이용한 환경오염물질에 대한 연구가 검출에 비해 정화에 집중된 것으로 분석됨.
- 본 분야의 최근 10년간 특허 활동은 10개 대상 독성 물질을 기준으로, 중금속(납, 수은, 카드뮴) 관련 특허 활동에 집중된 것에 비해 잔류성 유기오염물질인 폴리클로리네이티드 바이페닐(PCBs), 다이옥신(Polychlorinated dibenzo-p-dioxins) 및 PBPKs(폴리포링 플루탄게톤류), 제초제 오염물질인 2,4-디클로로페녹시아세트산(2,4-Dichloro-phenoxy acetic acid) 및 살충제 오염물질인 파라티온(Methyl parathion), 클로르피리포스(Chlorpyrifos), 및 파라옥손(Paraoxon)에 대한 특허 활동이 현저히 저조한 것으로 분석됨.
- 본 분야의 최근 10년간 논문 활동은 수은의 중금속 정화 및 PCBs 및 다이옥신 같은 잔류성 유기오염물질(페놀계)와 관련된 활동이 비슷한 수준으로 활발하며, 살충제 오염물질인 파라티온(Methyl parathion), 클로르피리포스(Chlorpyrifos), 및 파라옥손(Paraoxon)에 대한 연

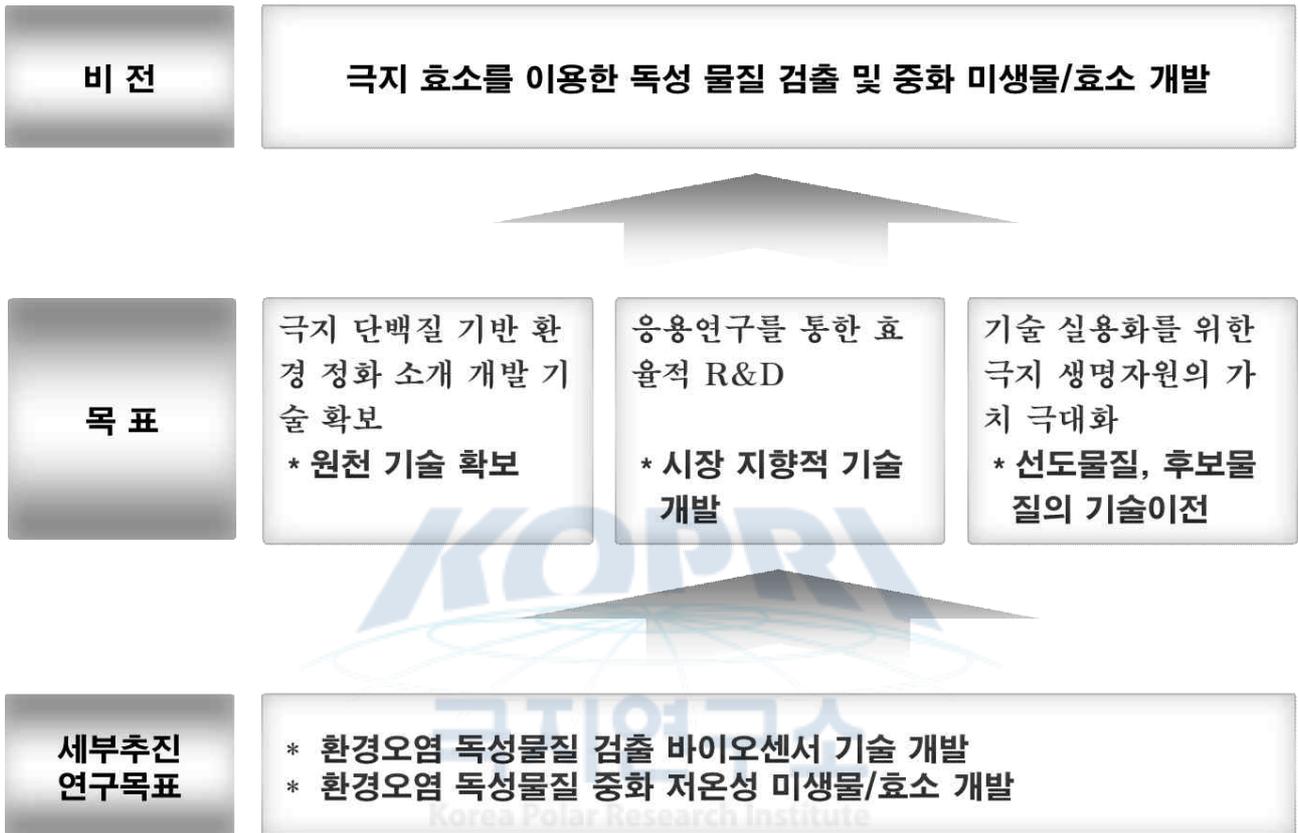
구도 진행 중이나, 제초제 오염물질인 2,4-디클로로페녹시아세트산(2,4-Dichloro-phenoxy acetic acid)에 관한 연구는 특허 활동에서와 동일하게 저조한 것으로 분석됨.

- 이와 같이, 본 분야의 특허 활동은 납, 수은, 카드뮴과 같은 중금속 정화와 관련된 활동에 집중되었으나, 논문 활동은 수은의 중금속 정화 및 PCBs 및 다이옥신 같은 잔류성 유기 오염물질(폐놀계)와 관련된 정화 활동이 비슷한 수준으로 다른 환경오염물질 관련된 활동에 비해 우세한 것으로 분석되어, 특허 활동 및 논문 활동에서의 집중된 환경오염물질에 차이가 있음이 확인됨. 따라서, 이 분야의 연구 조사는 특허와 논문에 대한 조사가 함께 이루어지는 것이 바람직할 것으로 판단됨.



제3장 연구 개발 과제 및 추진 계획

제1절 비전 및 목표



제2절 기술 개요

1. 핵심 개발 내용

: 극지 생명자원을 이용한 환경오염물질의 탐지를 위한 바이오센서 및 오염물질의 생물정화 기술 개발

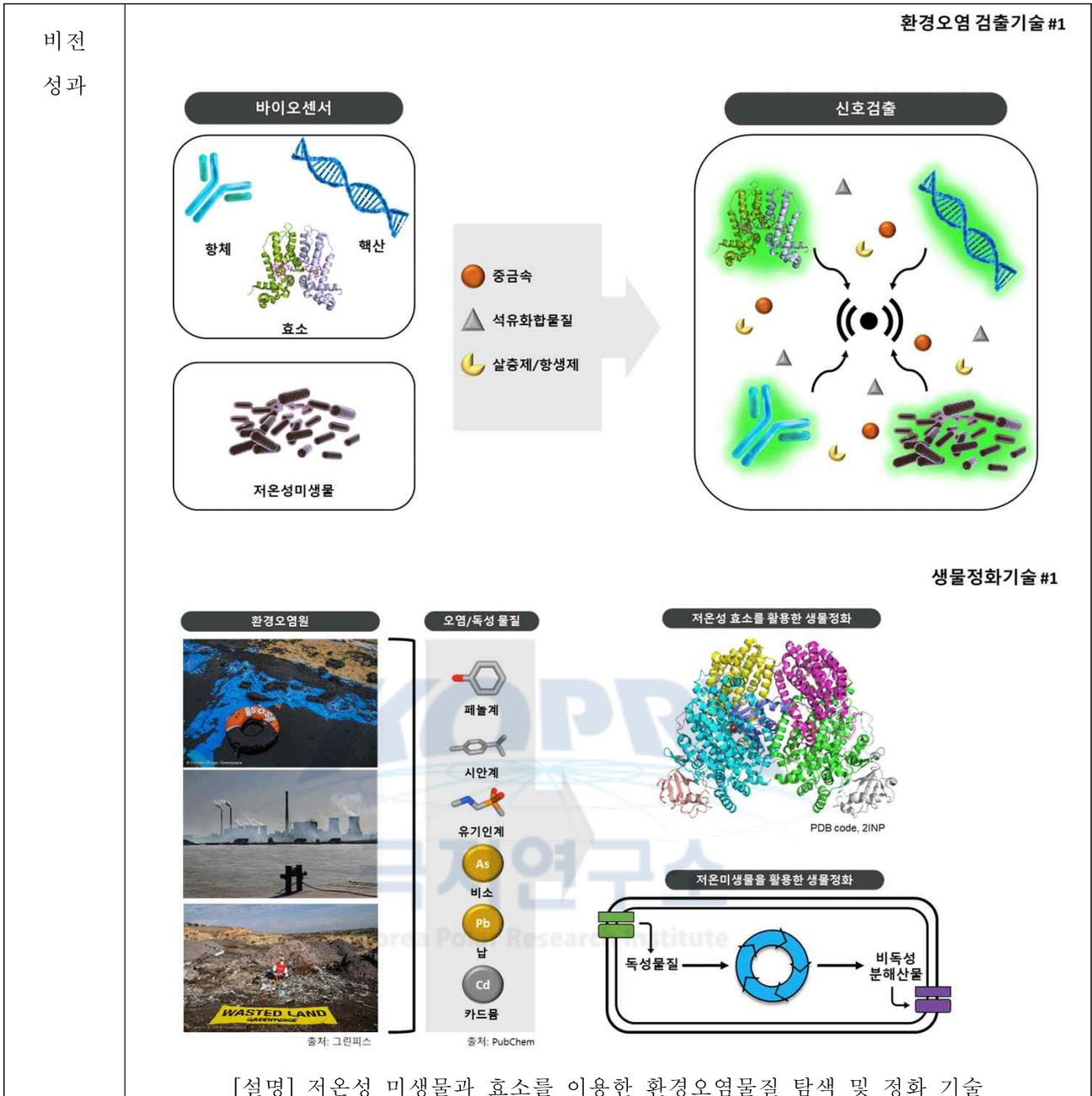
[표] 기술의 목표수준 비교

구분	개발기술	선진 기관	해외 선진 수준	국내 수준 (다른 산업)	기술 수요	기 획 구 현 재 수 준	목 표 수 준
환경오염물질 탐지	저온성 효소를 이용한 환경오염물질 탐지 기술	Universit y of California (미국)	●●●	●●○	●●○	○○○	●●○
	저온성 미생물을 이용한 환경오염물질 탐지 기술	Universit y of California (미국)	●●●	●●○	●●○	○○○	●●○
환경오염 물 질 정화	저온성 효소를 이용한 환경오염물질 정화 기술	Universit y of California (미국)	●●●	●●●	●●●	○○○	●●●
	저온성 미생물을 이용한 환경오염물질 정화 기술	Universit y of California (미국)	●●●	●●●	●○○	○○○	●●●
리포터 단백질 (형광, 발광 단백질)	신규 리포터 유전자 확보기술	Scripps (미국)	●●●	●●●	●●●	○○○	●●●
	형광/발광 단백질 구조-기능 연구	Boston Universit y (미국)	●●●	●●●	●○○	○○○	●●●

[표] 연구개발의 목표수준

핵심 항목	현재 수준(모습)	R&D 수행시 개선수준(모습)		향후 수준(모습)
		'25년 수준	목표수준	
	~ '24	'25	'26~'29(중료년도)	'29~(중료이후)
저온성 미생물/효소 를 이용한 환경오염물 질 검출을 위한 바이오 센서 개발	<ul style="list-style-type: none"> 바이오센서 기술은 진단의약 부분에 집중 연구, 분자진단기술 발전, 바이오칩, 혈액진단칩 	<ul style="list-style-type: none"> 저온성 효소와 미생물을 센싱물질로 개발하여 다양한 환경오염물질 검출 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 바이오센서의 생물학적 수용체로 다양한 물질을 감지 할 수 있는 저온성 효소/미생물 준비 완료 	<ul style="list-style-type: none"> 바이오센서의 검출한계를 극복하여 환경 모니터링 분야에 널리 활용 바이오 칩 형태로 개발

	<p>등은 이미 큰 시장을 형성</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 바이오센서에 필요한 타겟 물질에 대한 정확성, 정밀도, 선택성, 재현성, 반응시간, 수명 등의 문제 해결 필요 ▪ Ameri Research Inc.의 바이오센서 시장조사에 의하면, 2016년 약 154억 달러 시장으로 연평균 9.2% 성장하여 2024년에는 약 310억 달러의 시장규모를 예상 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 저온성 미생물/효소 활용 환경오염물질 타겟의 바이오센서 개발 연구시작 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 생물학적 소재를 나노바이오센서 장치 개발 바이오 기업에 기술이전 	<p>하여 연구현장에서 다양한 환경오염물질의 정량 또는 정성 분석 가능</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 동시에 다수의 환경 오염물질의 측정이 가능한 제품 개발
<p>저온성 미생물/효소를 이용한 환경오염물질의 정화 방법 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 산업화에 의해 환경으로 방출되는 많은 종류의 오염물질들을 제거하기 위한 기존의 방법들은 토양매립, 재활용, 열분해 및 소각 등의 방법들이 있으나 이 방법들은 고가이며 독성있는 중간물질들을 다시 발생하는 문제점을 가짐 ▪ 다양한 미생물 또는 식물을 이용한 생물정화 연구가 진행되고 있으나 특정 오염물질을 효과적으로 분해하기 위해서는 사용하는 미생물의 생분해 경로 연구와 효소 활성 및 기능 연구가 필요함 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 유전자 조작기술을 이용한 오염물질 맞춤형으로 설계된 저온성 미생물 제작 시작 ▪ 생물정화에 이용 가능한 저온성 효소 리스트 확보 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 환경오염 물질의 종류에 맞추어서 유전자 조작 기술로 만들어진 저온성 미생물 또는 효소 배양액을 이용하여 환경정화 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 생물정화를 촉진 하는 보조제와 촉진제 개발 ▪ 2007년에 발생한 태안 앞바다 원유 유출사건 같은 환경 재난이 발생 시 개발된 저온성 미생물/효소를 이용한 생물정화기술 활용



가. 기존사업 차별성

- 토양/해양에서 환경샘플을 국내 연구실로 가져와서 분석해야 하는 기존 방법과 비교하여 시간과 비용을 개선할 수 있는 실시간 연구현장에서 바이오센서 키트를 통해 오염도 확인 기술 개발 필요
- 환경 오염지역의 오염된 토양 및 해수를 실험실로 가져와서 정화하는 것이 불가능하여 현장에서의 정화 기술 필요
- 극지 생물자원을 이용한 생물학적 정화의 장점
- 생물학적 정화를 위한 생물 및 효소는 37 ° C에서 최적 활성을 보이며 온도가 낮아짐에 따라 성장 혹은 효소 활성이 급격히 줄어드는 단점이 있음

- 저온성 미생물 또는 저온성 효소를 이용하여 만들어진 바이오센서 및 난분해성 환경 오염 물질 중화/정화 효소는 외부 환경 조건에서 (대한민국 연평균 기온이 12-15 ° C) 최적의 활성을 나타낼 수 있음

[표] 기존사업과의 차별성

기존사업(기술·정책 등)	한계 및 문제점	차별성
연구 현장에서의 환경오염물질 분석 기술	-환경시료를 실험실로 가져와서 시료 전처리를 거쳐 분석 장비를 이용하여 오염물질의 양을 분석하는 기존의 연구 방법은 많은 시간과 인력 및 실험 장비가 요구 -통합시스템 미흡	-바이오센서를 이용한 환경오염물질의 분석은 해당 위치에서 즉시 분석 및 결과의 확인이 가능 -오염 현장에서 독성 물질의 종류와 양을 측정할 수 있는 기술
생물학적 정화 기술	-낮은 외부온도에서 오염물질 정화 활성을 가지는 미생물/효소 부족	-극지/해양생물 유래 저온성 미생물/효소를 이용하여 오염 물질 정화

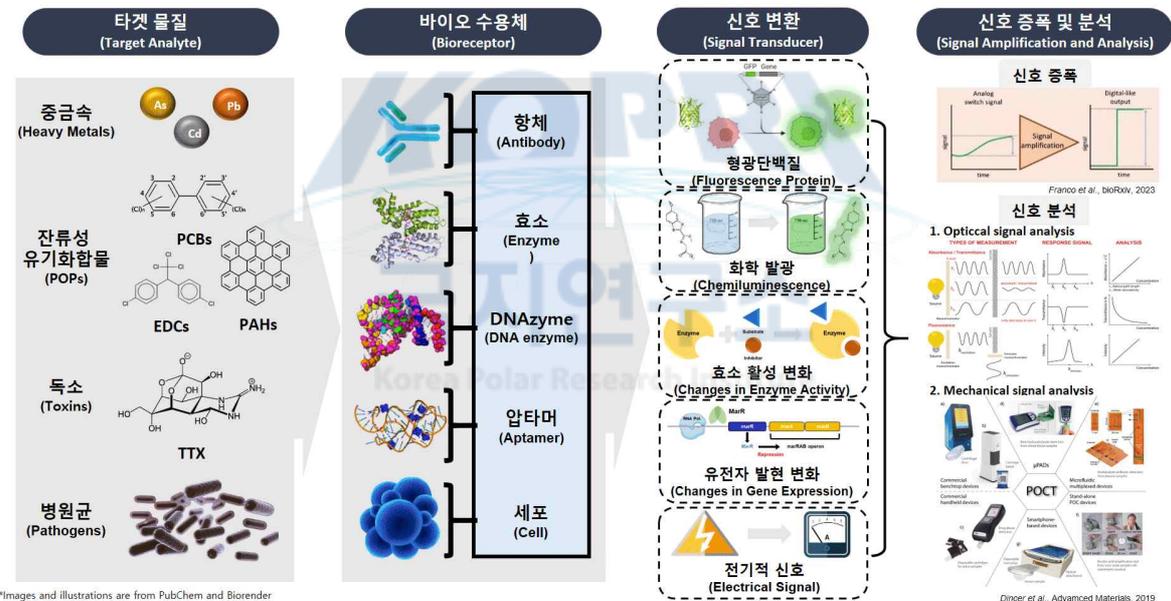


제3절 주요 추진 과제

1. 사업 주요 내용

가. (제1 세부과제) 저온성 미생물/효소를 이용한 환경오염물질 검출을 위한 바이오 센서 개발

- (1) 극지/해양에 존재하는 환경 오염물질 조사
- (2) 극지/해양 오염물질을 탐지 할 수 있는 저온성 미생물, 효소 탐색
- (3) 극지/해양 오염물질을 탐지 할 수 있는 저온성 미생물, 효소의 특성연구
- (4) 산업화를 위한 미생물, 효소의 개량 및 대량생산 (국내특허등록 1건 이상)



[바이오 센서의 원리와 구성]

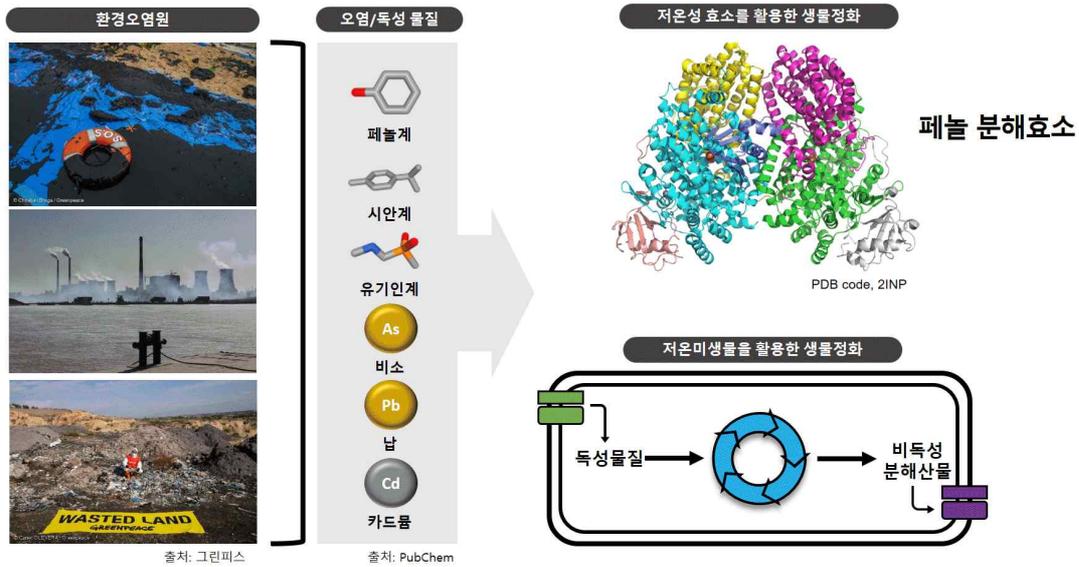
[표] 환경오염물질을 감지하는 효소 기반 바이오센서 종류 (2017, Sensors, Justino et al.)

검출 물질	검출 방법	검출 효소
	살충제	
Paraoxon	Amperometric	Acetylcholinesterase
	Voltammetric	Butyrylcholinesterase
	Colorimetric	Acetylcholinesterase, Choline oxidase
Methyl parathion	Amperometric	Acetylcholinesterase
	impedimetric	Hydrolase
	impedimetric	Acetylcholinesterase

	Electrochemical 	Acetylcholinesterase
Chlorpyrifos	impedimetric	Tyrosinase
	Voltammetric	Acetylcholinesterase
	Amperometric	Acetylcholinesterase
중금속		
Mercury, cadmium, and arsenic	Electrochemical 	Urease
Cadmium, copper, and lead	Electrochemical 	Sol-gel-immobilized urease
페놀계 화합물		
phenol/chloro-phenol, catechol/phenol, cresol/chloro-cresol phenol/cresol	Amperometric	Laccase and tyrosinase
Phenol	Amperometric	Mushroom tissue (tyrosinase)
Phenol, p-cresol, m-Cresol and catechol	Amperometric	Polyphenol oxidase
제초제		
2,4-Dichloro-phenoxy acetic acid	Amperometric	Acetyl cholinesterase

나. (제2 세부과제) 저온성 미생물/효소를 이용한 환경오염물질의 생물정화 방법 개발

- (1) 극지/해양 오염물질을 정화 할 수 있는 저온성 미생물, 효소 탐색
- (2) 극지/해양 오염물질을 정화 할 수 있는 저온성 미생물, 효소의 특성 연구
- (3) 환경적 처리를 통한 중화 효과 검증
- (4) 산업화를 위한 미생물, 효소의 개량 및 대량 생산 (국내특허등록 1건 이상)



1) 독성물질 중화효소 개발 연구

- 토양미생물과 바이오 파일법을 이용하여 유류오염 토양의 정화와 복원 가능성 연구 (지하수 토양 환경 Vol. 18(2), p. 10~18, 2013)

[표] 국내에서 연구되고 있는 독성물질 중화 효소 종류

단백질 이름	기능
Cytochrome P450 (CYP450)	CYP450은 간 및 기타 조직에서 발현되는 효소로, 독성 물질의 분해 및 대사에 중요한 역할함. CYP450은 주로 화학적 산화 또는 환원 반응을 통해 독성 물질을 비활성화하거나 더 쉽게 배출할 수 있는 형태로 변환됨
Glutathione S-transferases (GSTs)	GST는 독성 물질과 결합하여 glutathione과 결합시키는 작용을 통해 독성 물질을 비활성화시키거나, 배출에 도움을 줌
UDP-glucuronosyltransferases (UGTs)	이 효소는 독성 물질에 glucuronic acid 그룹을 결합시켜 몸에서 독성물질을 쉽게 배출할 수 있는 형태 용해성을 증가시킴
Glutathione peroxidases	글루타티온 퍼옥시다아제는 글루타티온을 보조 인자로 사용하여 과산화수소 및 유기 하이드로퍼옥사이드의 환원을 촉매함으로써 산화적 손상으로부터 세포를 보호하는 효소임. 활성 산소 종을 중화함 시킴.
Metallothioneins	Metallothioneins 카드뮴, 수은 및 납과 같은 독성 중금속을 포함하여 금속 이온에 결합하고 수준을 조절하는 단백질 그룹으로 세포와 조직을 보호하는 데 중요한 역할을 함
Esterases	Esterases는 독성 물질의 Ester 결합을 분해하거나 가수분해하여 비활성화시킴

2). 독성물질 중화 효소 개발 연구

- 최근 미생물을 활용한 독성물질 중화 (2021, Bioresour. Technol., Weralupitiya et al., 2020, Bioresour. Technol., Varjani et al.), 그리고 재조합 단백질의 이중발현 연구 (2020, Biochem. Eng. J., Zhang et al.)를 통해 독성물질 중화 효소를 산업적 대량 생산 가능성을 제시하는 연구들이 수행되고 있음
- 효소를 활용한 독성물질 중화 연구의 경우, 생촉매 반응을 통해서 독성을 중화시키거나 비독성물질로 전환시키는 과정을 발생시킴. 효소를 활용한 정화 공정의 경우 시간과 비용 측면에서 유리하고 오염물질에만 특이적으로 반응할 수 있다는 장점이 있기 때문에 산업적 활용가치가 높게 평가됨. (2021, J. Hazard. Mater., Saravanan et al.)

- 수은 감지 바이오센서 개발



- 수은 오염지역 중화 효소 배양액 생산



[그림] 수은 중화 효소를 이용한 중금속의 독성 제거 예시 및 대량 생산을 통한 중화 시스템 개요도

Korea Polar Research Institute

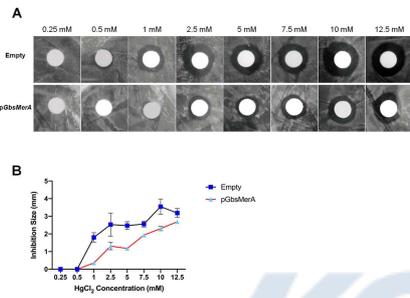
[표] 환경오염물질 (염료)를 분해할 수 있는 효소 종류 (2022, Frontiers in Microbiology, Mishra et al.)

Dye	Conditions (°C, pH)	Enzymes involved
Sumifex Tourqi blue	37, pH 7	Reductive (azoreductase)
Reactive Red 195	40, pH 8	Reductive (azoreductase)
Azure B	25-30, pH 5-7	Oxidative
Reactive Black 5	37, pH 5-9	Reductive (azoreductase)
Oxidoreductase LiP, laccase azoreductase	30, pH 6-8	Azoreductase, laccase, lignin peroxidase
Oxidoreductase LiP, laccase azoreductase	30, pH 6-8	Oxidoreductase, laccase azoreductase

다. 극지/해양 오염물질을 탐지/정화 할 수 있는 저온성 미생물, 효소의 특성 연구

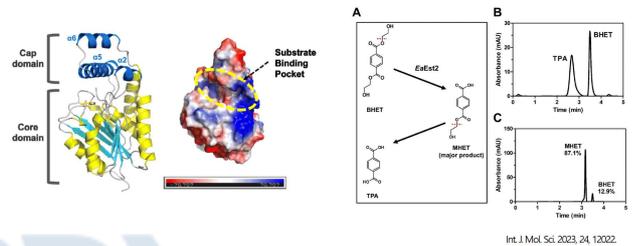
- (1) 저온성 효소 유전자 합성 및 클로닝
- (2) 저온성 효소 단백질 발현 및 정제
- (3) 환경 오염 물질에 대한 저온성 효소의 활성 측정
- (4) 환경 독성물질 중화 활성을 가지는 저온성 미생물의 최적 성장, 활성 조건 확보

선행 연구내용 (1) 중금속 독성 제거 효소 확보 및 효능 검증



- 수은 환원효소(mercury reductase)를 이용한 이온 수은의 독성 제거 결과
- 수은 환원효소가 과 발현 된 박테리아는 수은 이온의 독성에 강한 저항성(높은 생존률)을 보임.

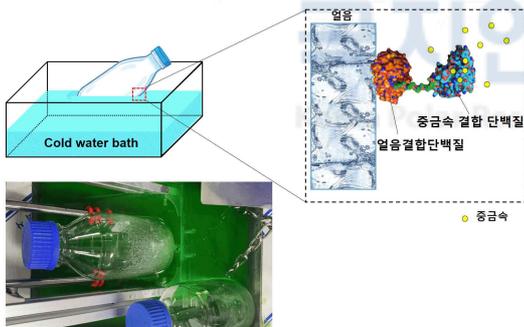
선행 연구내용 (2) 폴리에스터(PET) 제거 효소 확보 및 효능 검증



Int. J. Mol. Sci. 2023, 24, 12022.

- 남극 미생물 (*Exiguobacterium antarcticum*) 에서 플라스틱 분해 효소 (*EaEst2*) 발견
- 해수의 미세플라스틱 오염 측정 및 정화에 사용 가능

선행 연구내용 (3) 얼음결합단백질을 이용한 대용량 중화 장치 개발



- 얼음결합단백질의 얼음결합 특성을 이용한 중금속 대량 정제 시스템 프로토타입 개발 (특허 준비 중)

선행 연구내용 (4) 환경유해물질 정화 및 중화 관련 효소 유전자 확보 (약 50 종)

JH830	BL21(DE3) containing KAOJ13171-5461 in pET28a vector	BL21(DE3) : pET28a - KAOJ13171-5461
JH839	DH5a containing RadD1569-939 in pET28a vector	DH5a : pET28a - RadD1569-939
JH840	BL21(DE3) containing RadD1569-939 in pET28a vector	BL21(DE3) : pET28a - RadD1569-939
JH841	DH5a containing DSR824 in pET28a vector	DH5a : pET28a - DSR824
JH842	BL21(DE3) containing DSR824 in pET28a vector	BL21(DE3) : pET28a - DSR824
JH843	DH5a containing DSR666 in pET28a vector	DH5a : pET28a - DSR666
JH844	BL21(DE3) containing DSR666 in pET28a vector	BL21(DE3) : pET28a - DSR666

- 선행연구를 통해 확보한 극지 유래 미생물 유전자 확보(800 여 종). 환경 유해물질 정화 및 중화 관련 효소 약 50 종 (e.g., CYP, heavy metal reductase, 석유화합물 분해효소, GFP, CFP)

1) 오염물질 탐지를 위한 형광/발광단백질 특성 분석

- 형광/발광 단백질은 바이오센서에서 분석하고자 하는 환경 오염물질이 존재하면 저온성 효소와의 반응을 전달하는 신호 변환기 물질로 사용 가능.
- 특히, 해양 심해 생물들이 서로간의 신호전달을 위해 다양한 형광/발광 단백질 유전자를 가지고 있음.



[그림] 산호 (*Acropora millepora*) 유래 형광단백질 (*AmCFP*) 연구결과 (A) *AmCFP* 형광 단백질의 아미노산 서열과 재조합 단백질 정제 결과 (B) 정제된 *AmCFP* 단백질의 형광 확인 (C) *AmCFP* 단백질의 삼차 구조 모습

라. 극지/해양 오염물질을 탐지/정화 할 수 있는 저온성 미생물, 효소의 특성 연구

- (1) 저온성 효소 유전자합성 및 클로닝
- (2) 저온성 효소 단백질 발현 및 정제
- (3) 환경오염 물질에 대한 저온성 효소의 활성 측정
- (4) 환경독성물질 중화 활성을 가지는 저온성 미생물의 최적 성장, 활성 조건 확보

마. 산업화를 위한 미생물, 효소의 개량 및 대량 생산

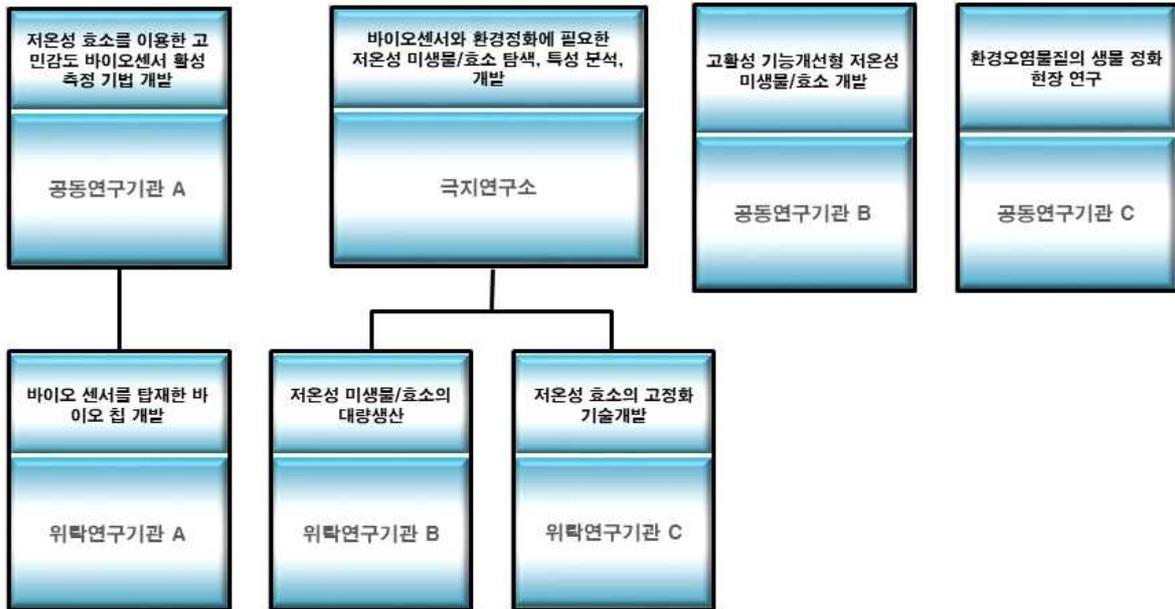
- (1) 산업적 활용을 위한 저온성 효소의 개량
- (2) 저온성 미생물의 유전자 엔지니어링
- (3) 저온성 미생물/효소 대량 생산 시스템 구축

바. 저온성 효소/미생물의 상용화

- (1) 최적화된 저온성 효소 및 미생물에 대한 특허권 확보
- (2) 환경적 처리를 통한 중화 효과 검증
- (3) 개량형 미생물의 환경 영향 평가
- (4) 기술이전 및 산업화 진행

2. 사업 추진 체계 및 방식

연구진 구성 및 상호 협력체계



3. 사업 추진 로드맵

세부과제	세부내용	'25	'26	'27	'28	'29	소 계 (백만원)	
극지/해양 생명자원 유래 저온성 미생물/효소를 이용한 환경유해물질 검출 및 정화기술 개발	저온성 미생물/효소를 이용한 환경유해물질 검출을 위한 바이오 센서 개발	1,000	500				1,500	
		토양/해양에 존재하는 환경 유해물질 조사						
		500	300	300				1,100
		토양/해양 유해물질을 탐지할 수 있는 저온성 미생물, 효소 탐색						
			200	200	500	500		1,400
		토양/해양 유해물질을 탐지할 수 있는 저온성 미생물, 효소의 특성 연구						
				500	500	500		1,500
	저온성 미생물/효소를 이용한 환경유해물질의 생물정화 방법 개발	산업화를 위한 미생물, 효소의 개량 및 대량생산						
		500	500	300				1,300
		토양/해양 유해물질을 정화 할수 있는 저온성 미생물, 효소 탐색						
			300	300	500	500		1,600
		토양/해양 유해물질을 정화 할수 있는 저온성 미생물, 효소의 특성연구						
			200	200	300	300		1,000
		환경적 처리를 통한 중화 효소의 개량 및 효과 검증						
		200	200	200			600	
산업화를 위한 미생물, 최적화 된 중화효소 대량생산								

4. 소요 예산

[표] 연도별 사업 추진계획

(단위:억원)

내역사업명	구분	' 25	' 26	' 27	' 28	' 29	합계
극지/해양 생명자원	국비	20	20	20	20	20	100
유래 저온성 미생물/효소를	지방비	-	-	-	-	-	-
이용한 환경오염 물질 검출	민자	-	-	-	-	-	-
및 정화기술 개발							

5. 성과목표 및 지표

- (바이오센서 개발) 환경오염 독성물질 검출 바이오센서 기술 1건 이상 개발 및 국내특허 등록
- (생물정화기술 개발) 환경오염 독성물질 중화 저온성 미생물/효소 1건 이상 개발 및 국내 특허등록
- (우수 연구논문 발표) SCIE급 논문 23건 이상 (상위 10건의 평균 mrnIF 65 이상 달성)
- (기술이전) 기술이전 또는 기술실시 1건 (기술료 5천만원 이상)

[표] 성과목표 및 지표

성과목표	성과지표	목표치					목표치 산출근거	평가기준 (측정산식또는 측정방법)	자료수집방법 (또는 자료출처)
		2025	2026	2027	2028	2029			
기타	논문(게재)	3	5	5	5	5	전체 논문 23건 중 상위 10건의 평균 mrnIF 65 이상	SCIE급 논문만 카운트	
	특허(등록)	-	-	-	2	-	바이오센서 개발관련 특허 1건+생물정화기술개발관련 특허 1건	특허증	
	사업화	-	-	-	-	1		기술이전 또는 기술실시 (5천만원 이상)	

6. 기대 효과 및 활용 방안

가. 성과 활용 방안

- 국내 바이오기업 및 환경생명공학 회사와의 공동개발 또는 기술이전을 통한 실용화 추진으로 관련 산업의 발전에 기여

나. 파급(기대)효과

1) 기술적 측면

- 실시간으로 극지/해양 연구현장에서 환경오염물질의 종류 및 양을 측정 할 수 있는 다양한 바이오센서 개발
- 측정된 환경오염 물질에 맞춤형으로 생물정화용 저온성 미생물/효소 제작 가능
- 친환경적 생물정화 방법으로 오염된 토양 및 해양 정화 가능

2) 경제 산업적 측면

- 환경오염물질 탐지 바이오센서 개발은 기초연구와 환경 R&D 분야 및 국내 바이오산업의 발전과 활성화에 기여
- 극지유전자원의 활용을 위한 기술력 확보와 산업적 가치 창출을 추구하여 과학 분야 국가 위상을 높이는 동시에 국민들이 체감 가능한 실용화 가능한 연구 산물을 도출할 것으로 기대

7. 사업 개념도

본 연구사업의 핵심 연구내용

(1) 극지/해양 오염물질을 탐지/중화할 수 있는 저온성 미생물, 효소 탐색

극지 해양 미생물 채집,
유전체 분석,
후보 효소 합성



(2) 저온성 미생물, 효소 특성연구

효소 활성 측정,
중금속 중화 효소,
플라스틱 분해 효소,
독성 물질 중화 효소,
효소 대량 발현
시스템 구축,
저온 효소 고정화

(3) 저온성 미생물, 효소 산업화를 위한 개량

개량형 미생물 생산,
개량형 미생물의 독성
물질 중화 효과 측정,

환경적 처리를 통한
중화 효과 검증,
개량형 미생물의
환경 영향 평가

(4) 극지/해양 현장에서의 실증 실험

제4장 사업 타당성 분석

제1절 경제성 타당성

1. 분석 개요

가. 분석 목적

- 본 사업에 대한 비용편익분석을 통해 국가적 관점에서 본 사업의 경제적 타당성을 제시.

나. 분석 방법

- 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(한국과학기술기획평가원, 23년 5월)에 의거하여 연구개발사업의 편익을 추정하여 경제성 여부를 판단하고자 함.

다. 분석 목적

- 편익/비용 비율(B/C), 순현재가치(NPV)를 중심으로 경제성 판단.
- (편익/비용비율) 운영 후 연도별 발생하는 편익과 투입되는 비용을 적정 할인율로 할인하여 기준 연도 가격으로 환산한 금액의 비율을 말하며, 일반적으로 (편익/비용비율) ≥ 1 이면 경제성이 있다고 판단.
- (순현재가치, Net Present Value) 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준연도의 현재가치로 할인하여 총 편익에서 총 비용을 제한 값이며 (순현재가치) ≥ 0 이면 경제성이 있다고 판단.

$$\text{편익·비용비율}(B/C) = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$
$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

B_t	: 시점 t 에서의 편익
C_t	: 시점 t 에서의 비용
r	: 할인율(이자율)
n	: 편익발생기간

2. 편익 추정의 원칙과 방법

가. 편익 추정의 원칙

- 연구개발부문 예비타당성조사에서는 주로 사업목표와 부합하면서 사업의 결과로부터 직접적으로 얻어지는 직접적 편익을 해당 사업의 편익으로 반영.
- 연구개발사업으로 인해 혜택을 얻는 경제주체를 크게 소비자(또는 가계)와 생산자(기업 또는 산업)로 구분한다면, 소비자에게 발생하는 편익은 지불의사액(willingness to pay, WTP)의 관점에서 평가하고, 생산자에게 발생하는 편익은 부가가치(value-added)의 관점에서 평가하는 것이 적절.
- 편익은 크게 가치창출 편익과 비용저감 편익으로 구분 가능함.
- 정(+)의 가치증가 측면에서는 신기술 적용을 통한 생산량 증가, 기술이전에 의한 로열티 수입에 해당되는 기술거래 편익이 대표적임.
- 부(-)의 가치감소 측면에서는 생산투입 자원 및 시간의 절감과 연구기간, 출장회수, 등의 연구수행 절감, 물류비용 절감, 자연재해로 인한 피해감소, 질병·환경 비용절감 등이 예비타당성조사의 비용편익분석 시 편익으로 반영될 수 있음.
- 반면 논문, 특허 등의 과학기술 지식 및 산업파급효과 등은 편익이 간접적으로 발생하거나 화폐화하기 어려운 관계로 비용편익분석에서 편익으로 반영하지 않음.

[표] 연구개발부문 예비타당성조사의 편익항목

구분	예비타당성조사 비용편익분석 시 편익 반영	예비타당성조사 비용편익분석 시 편익 미반영
정(+)의 가치 증가	<ul style="list-style-type: none"> • 가치창출·증대 <ul style="list-style-type: none"> - 신기술 적용을 통한 생산량 증가 - 신기술 개발로 인한 가치창출 • 기술거래 <ul style="list-style-type: none"> - 기술이전에 의한 로열티 수입 	<ul style="list-style-type: none"> • 과학기술 지식(논문, 특허 등)* • 과학기술자의 교육훈련 • 지역개발효과 • 지역산업구조 개편 • 생산유발효과 • 부가가치 유발효과 • 고용 유발효과 • 수입 유발효과 • 수출 유발효과 • 소득 분배효과 • 취업 유발효과
부(-)의 가치 감소	<ul style="list-style-type: none"> • 생산비용저감 <ul style="list-style-type: none"> - 생산투입 자원 및 시간의 저감 - 연구기간, 출장회수 등의 연구수행 비용저감 - 물류비용저감 • 피해 비용 감소 <ul style="list-style-type: none"> - 재난·재해·사고로 인한 피해 감소 • 질병비용절감** • 환경비용절감** 	

* 논문이나 특허는 비용효과 분석으로 반영할 수 있음

** 질병비용 절감과 환경비용 절감은 사업이 기여한 부분만의 산출과 이중계산 배제에 제약이 있을 경우 비용편익분석이 아닌 비용효과분석으로 수행 가능

자료 : KISTEP, 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침」, 2023

나. 편익항목의 구분

- 연구개발부문 예비타당성조사의 편익항목은 다음과 같이 구분될 수 있으며, 편익이 중복 산정되지 않도록 해당 사업의 목표 및 수혜자, 사업의 범위, 내용 및 결과에 부합하는 실질적인 편익으로 편익항목을 설정해야 함.

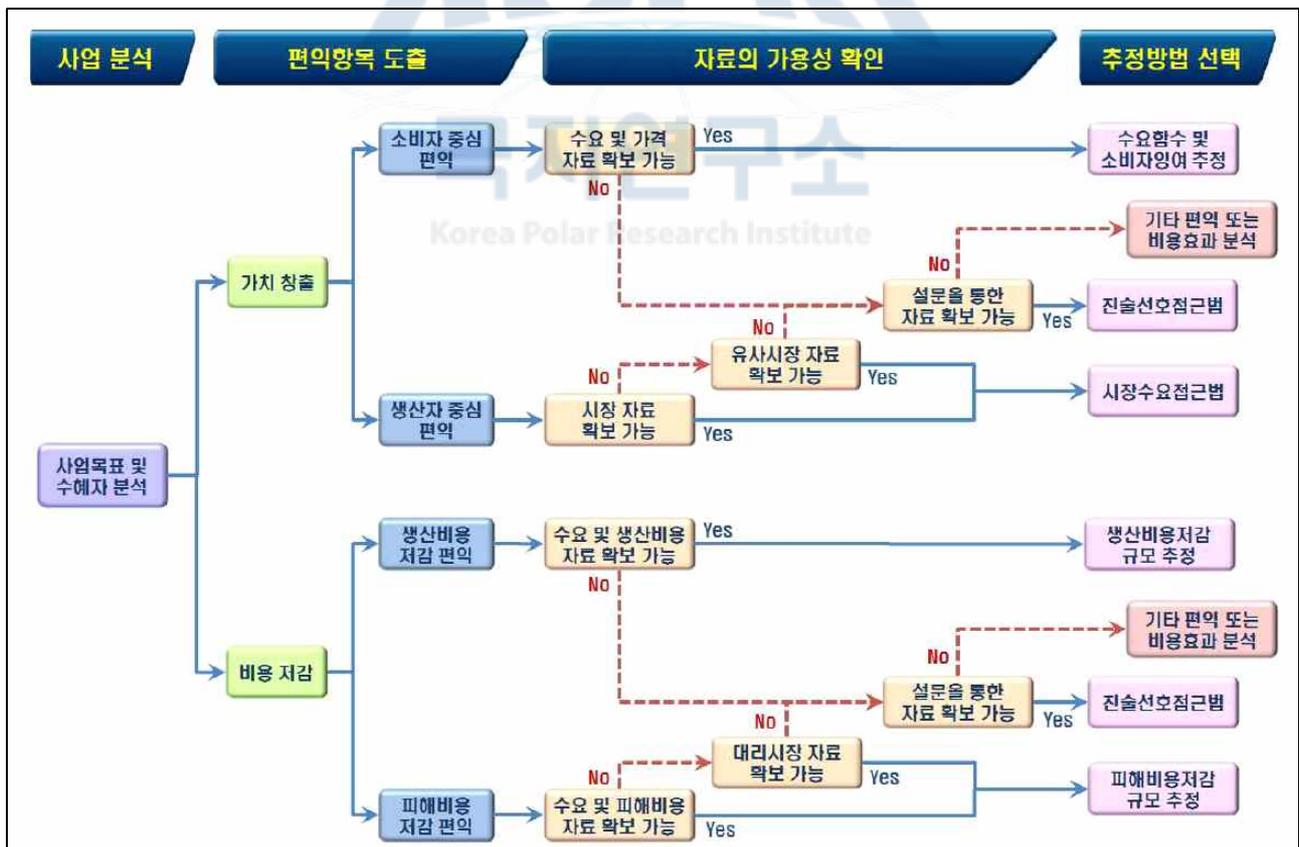
<표> 연구개발부문 예비타당성조사의 편익항목 구분

구분	세부 편익항목	설명
가치창출 편익	소비자 중심 편익	▪ 연구개발사업의 효과가 소비자에게 영향을 주는 경우, 후생경제학에 근거
	생산자 중심 편익	▪ 연구개발사업의 효과가 생산자에게 영향을 주는 경우, 시장수요접근법이 대표적
비용저감 편익	생산비용저감 편익	▪ 자원비용, 공정비용, 연구장비 사용비용, 출장비용 등 각종 생산비용의 저감
	피해비용저감 편익	▪ 재난·재해, 사고, 질병 등으로 인해 발생하는 ▪ 피해비용의 저감

자료 : KISTEP, 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침」, 2023

다. 편익 추정방법의 선택

- 예비타당성조사에서 경제성 분석의 기본적인 방법론은 비용편익 분석이므로, 우선적으로 다음 그림에 표시되어 있는 과정을 통해 해당 사업의 효과를 가장 적절하게 대변할 수 있는 편익항목과 편익 추정방법을 선택함.



[그림] 연구개발부문 예비타당성조사의 편익 추정방법 선택과정

자료 : KISTEP, 「국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침」, 2023

라. 편익 추정 과정

- 편익 추정은 ‘사업 분석 → 편익항목 도출 → 자료의 가용성(可用性, availability) 확인 → 편익 추정방법의 선택 → 항목별 수요(시장) 또는 비용도출 → 가치 계산’ 의 과정을 거침.
- 사업을 면밀히 분석하여 사업목표와 수혜자를 명확히 식별하고, 사업의 핵심목표 및 수혜자와 일관성이 있으면서 사업의 실질적인 효과를 편익항목으로 선정함.

3. 편익 추정

가. 본사업 세부내용 분석

- (사업목표) 극지/해양 생명자원 유래 저온성 미생물/효소를 이용한 환경오염 물질 검출 및 정화기술 개발
 - (바이오센서 개발) 환경오염 독성물질 검출 바이오센서 기술 1건 이상 개발 및 국내특허 등록
 - (생물정화기술 개발) 환경오염 독성물질 중화 저온성 미생물/효소 1건 이상 개발 및 국내특허 등록
 - (우수 연구논문 발표) SCIE급 논문 23건 이상 (상위 10건의 평균 mrrIF 65 이상 달성)
 - (기술이전) 기술이전 또는 기술실시 1건 (기술료 5천만원 이상)
- (주요내용)

세부과제	세부내용	'25	'26	'27	'28	'29
극지/해양 생명자원 유래 저온성 미생물/효소를 이용한 환경오염 물질 검출 및 정화기술 개발	저온성 미생물/효소를 이용한 환경오염물질 검출을 위한 바이오센서 개발	토양/해양에 존재하는 환경 오염물질 조사				
		토양/해양 오염물질을 탐지할 수 있는 저온성 미생물, 효소 탐색				
		토양/해양 오염물질을 탐지할 수 있는 저온성 미생물, 효소의 특성 연구				
		산업화를 위한 미생물, 효소의 개량 및 대량생산				
	저온성 미생물/효소를 이용한 환경오염 물질의 생물정화 방법 개발	토양/해양 오염물질을 정화할수 있는 저온성 미생물, 효소 탐색				
		토양/해양 오염물질을 정화할수 있는 저온성 미생물, 효소의 특성연구				
		환경적 처리를 통한 중화 효소의 개량 및 효과 검증				
		산업화를 위한 미생물, 최적화 된 중화 효소 대량생산				

- (소요예산) ‘25년부터 ’ 29년까지 5년 간 총 100억 원 소요

연도별	합계	'25	'26	'27	'28	'29
소요예산	100	20	20	20	20	20

○ 본사업 편익 항목 도출

- 동 사업의 편익은 생산자 중심 ‘환경복원 및 복구’ 시장에서의 부가가치 창출편익으로 정의함

$$\text{부가가치 창출편익} = \text{환경복원 및 복구 세계시장 규모} \times \text{한국의 시장점유율} \times \text{사업기여율} \times \text{R\&D 기여율} \times \text{R\&D 사업화 성공률} \times \text{부가가치율}$$

나. 가치창출 편익 추정의 주요 가정

(1) 기준연도

- 각기 다른 연도에 발생하는 비용과 편익을 비교 분석하기 위해서는 특정 연도를 기준으로 불변가격으로 전환해야 하며, 이 기준이 되는 연도를 설정.
- 예비타당성조사 수행 총괄지침에서는 분석이 시행되는 시점의 전년도 기말을 기준연도로 설정.

→ 본 분석에서는 2023년도 기말을 기준연도로 정하며, 분석에 사용되는 모든 수치는 2023년 기준의 불변가치로 환산

(2) 편익기간

- 해당사업을 수행함으로써 편익이 발생할 것으로 기대할 수 있는 기간을 편익기간으로 정의.
- 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(안)(KISTEP, 2023)에서는 기술수명기간(technology cycle time, TCT)을 편익 발생기간으로 적용할 것을 명시함.

→ 본 분석에서는 본 분석에서는 산업통상자원부 ‘기술가치평가 실무가이드(2021)’에서 제시하는 ‘기술의 경제적 수명’ 중앙값 ‘8년’을 적용

<표> 동사업과 관련된 기술분야 경제적 수명

IPC	내용	기술의 경제적 수명(년)
B09C	오염된 토양의 재생	7
C02F	물, 폐수, 하수 또는 오니(슬러지)의 처리	9
C12M	효소학 또는 미생물학을 위한 장치	9
C12N	미생물 또는 효소; 그 조성물; 미생물의 증식, 보존 또는 유지; 돌연변이 또는 유전자공학; 배지(culture media)	7
C12P	발효 또는 효소를 사용하여 원하는 화학물질 또는 조성물을 합성하는 방법 또는 혼합물로부터 광학이성체를 분리하는 방법	8
C12Q	효소 또는 미생물을 포함하는 측정 또는 시험방법; 그것을 위한 조성물 또는 시험지; 그 조성물을 조제하는 공정; 미생물학적 또는 효소학적 방법에서의 상태응답 제어	8

(3) 편익 회임기간

- 연구개발사업에 대한 투자가 이루어진 후 경제적 편익 또는 효과가 발생하기 전까지의 시간적 지연을 편익 회임기간으로 정의.
- 일반적으로 기초연구는 5년, 응용·개발 연구는 3년을 기본으로 사업특성을 고려하여 반영.

→ 본 분석에서는 예비타당성조사 세부지침에서 제시하는 개발·응용연구의 편익 회임기간인 3년을 적용함

(4) 사회적 할인율

- 연구개발사업의 비용과 편익은 미래의 어느 시점 또는 여러 시점에 걸쳐 발생하나, 이에 대한 경제성 분석은 현재 시점에서 이루어지므로 모두 현재가치로 환산하여 비교해야 하기 때문에 미래의 편익과 비용을 현재가치로 바꾸기 위해서는 할인율(discount rate)이 적용되어야 함.

→ 본 분석에서는 기획재정부의 「예비타당성조사 수행 총괄지침」에서 정하는 사회적 할인율 4.5%를 적용함

다. 가치창출 편익 추정

(1) 미래 시장규모

- 미래 시장규모는 연구개발사업의 결과와 직접적으로 관련된 국내 산업·제품의 미래 총생산액(또는 매출액)을 의미하며, 일반적으로 미래 수요 중 국산품이 차지하는 규모와 해외에 수출되는 규모를 모두 포함함.
- 편익 발생시점이 현재가 아닌 미래의 어느 시점에서의 예측이기 때문에, 이용 가능한 과거와 현재의 시장자료에 근거하여 미래 시장규모를 예측하기 위해서 선형회귀 분석을 적용함.

→ 본 분석에서는 '환경산업 통계조사 보고서(환경부)'에서 발표한 '환경복원 및 복구' 환경 부문 총 매출액 및 수출액 통계자료를 기반으로 미래 시장규모를 추정함

(2) 사업기여율

- 동 사업을 시행하지 않더라도 과거에 존재하였던, 그리고 기존 연구개발투자 추이에 의해 유지 또는 확대되는 시장의 매출액을 편익 추정에서 제외하거나 보정하기 위한 변수로 관련 분야 전체 R&D 투자 중에서 동 사업의 R&D 투자가 차지하는 비중으로 정의됨.

→ 본 분석에서는 3.7%를 적용함

$$\text{사업기여율} = (\text{동 사업 투자액}) / (\text{동 사업 투자액} + \text{유사 정부 투자액} + \text{유사 민간 투자액})$$

- 본사업의 연간 평균 투자규모는 20억 원

- 유사 정부 투자액은 다음 사업들의 2019-2023년 연간 평균 투자 규모인 184.4억 원임

유사 정부 사업	2019	2020	2021	2022	2023	평균
지중환경오염위해 관리기술개발사업	10,460 백만원	17,900 백만원	17,179 백만원	14,890 백만원	14,522 백만원	14,990.20 백만원
표도환경보전관리 기술개발사업	2,200 백만원	3,245 백만원	4,301 백만원	4,300 백만원	3,200 백만원	3,449.2 백만원

- 유사 민간 R&D 투자액은 ‘환경산업 통계조사 보고서(환경부, 2023)’에서 제시하는 2021년 기준 ‘환경복원 및 복구’ 분야 환경부문 투자액 33,170.5백만원을 활용

(3) R&D 기여율

- 연구개발성과의 상업화를 통해 부가가치가 창출되었을 때, 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분이 어느 정도인지를 나타내는 지표를 R&D 기여율로 정의.
- R&D 기여율은 정량적인 근거를 토대로 세부 기술분야별로 산정하는 데에 한계가 있으므로, 거시적 관점의 R&D 기여율이 일반적으로 활용되며, 경제성 효과 분석 착수 시점을 기준으로 가장 최근에 발표된 공신력 있는 수치를 적용하는 것이 적절.

→ 본 분석에서는 ‘K-Carbon 플러그십 기술개발사업 예비타당성조사 보고서(KISTEP, ‘23년 3월)’에서 적용한 R&D 기여율을 활용

(4) R&D 사업화성공률

- R&D 사업화성공률은 국가연구개발사업을 통한 기술개발 결과가 시장에서의 경제적 효과 창출로 이어지는 과정에서 기술실증, 상용화 등 불확실성을 반영하기 위한 변수로 정의.
- 주관부처에서 제출하는 연구개발성과의 활용에 대한 조사분석보고서 우선 활용하되, 필요시 유사한 사업의 성과분석 결과치 활용.

→ 본 분석에서는 ‘지중환경오염위해관리기술개발사업’의 사업화성공률을 활용

(5) 부가가치율

- 편익은 사업 수행으로 창출된 매출액 전체가 아닌 부가가치를 기준으로 추정되기 때문에 부가가치율 적용이 필요하며, 부가가치율은 매출액 중에서 실제 새롭게 창출된 경제적 편익이 차지하는 비율을 의미.
- ‘국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 세부지침(KISTEP, 2023)’에 따르면 부가가치율은 한국은행이 발표하는 기초가격 기준 산업연관표의 투입산출표를 활용하여 총투입액 대

비 부가가치액의 비율로 산정.

→ 본 분석에서는 가장 최근 기초가격 기준 산업연관표 2017년 연장표를 활용하여 ‘39.환경정화 및 복원업(중분류)’의 부가가치율인 0.789를 동 사업의 부가가치율로 가정함

4. 경제적 효과 분석 결과

가. 동 사업의 비용-편익 분석 결과, 동 사업의 B/C ratio는 2.485로 추정됨

- 동 사업의 비용은 100억 원이며, 이를 2023년 기준 현재가치로 변환하면 84억 원임.
- 동 사업은 2033-2040년 간 총 439억 원의 편익이 발생하며, 이를 2023년 기준 현재가치로 전환하면 209억 원임.

[표] 동 사업 비용 및 편익 추정 결과(단위: 억 원)

연도	비용	비용현재가	환경복원 및 복구 시장규모	편익	편익현재가
2025	20	18	11,008	-	-
2026	20	18	11,102	-	-
2027	20	17	11,195	-	-
2028	20	16	11,289	-	-
2029	20	15	11,382	-	-
2030	-	-	11,475	-	-
2031	-	-	11,569	-	-
2032	-	-	11,662	-	-
2033	-	-	11,756	61	-
2034	-	-	11,849	62	38
2035	-	-	11,942	62	37
2036	-	-	12,036	63	35
2037	-	-	12,129	63	34
2038	-	-	12,223	64	33
2039	-	-	12,316	64	32
2040	-	-	12,409	65	31
합계	100	84	174,933	439	209

- 동 사업의 편익/비용 비율은 2.485, 순현재가치는 125억 원으로 동 사업은 경제적 타당성을 확보함

[표] 동 사업 경제성분석 결과 요약 (단위: 억 원)

구분	현재가치 합계		편익/비용비율 (B/C ratio)	순현재가치(NPV)
	편익	비용		
		209	84	2.485



제2절 사회·문화적 타당성

- 환경 오염 문제는 사회적으로 큰 이슈로 대두되고 있으며, 사회의 요구에 부응하기 위해서는 독성 물질을 효과적으로 제거하고 정화하는 기술 및 모니터링 기술이 필요한 상황임.
- 독성 물질 정화 기술은 환경 오염 문제를 해결하고 인간 건강을 보호하기 위해 필수적인 역할을 하며 또한 지속 가능한 환경 보호와 규제 준수를 위해 중요한 역할을 하며, 미래 세대를 위한 건강하고 안전한 환경을 유지하는 데 기여할 것으로 예상됨.



첨부1. 과제제안요청서(RFP)

해양수산연구개발사업 과제제안요청서(RFP)

중앙행정기관명	해양수산부	사업명	극지 유전자원 활용기술 개발사업	
전문기관명	해양수산과학기술진흥원	내역사업명	극지 유전자원 활용기술 개발사업	
공모방식	지정공모	보안등급	일반과제	
연구개발과제명	극지/해양 생명자원 유래 저온성 미생물/효소를 이용한 환경오염 물질 검출 및 정화기술 개발			
전체 연구개발기간 (당해연도)	'25.1 ~ '29.12 ('25.1 ~ '25.12)	총 정부지원연구개발비 (당해연도)	150억원 이내 ('25년 30억원 이내)	
단계 연구개발기간	(1단계) '25.1 ~ '29.12			
주관연구개발기관 유형	제한 없음	필수 참여기관 유형	제한 없음	
연구개발단계	응용	정부납부기술료 징수 여부	징수	
해양수산과학기술 분류	· 해양생명-해양생물자원 유전현상규명-단백질체 기술(MBT0202) · 해양환경-신소재가공-기능성 소재 개발기술(MBT0301) · 해양환경-신소재가공-환경/에너지소재 개발기술(MBT0303)			

1. 사업 추진배경 및 필요성

- 산업화의 급속한 진행으로 산업 폐기물, 석유 오염 물질, 화학 물질 등과 같은 독성 물질이 극지/해양 및 생활환경으로 유출. 이러한 독성 물질의 양과 종류를 탐지하고 제거하기 위해 생물학적 바이오센서, 중화효소, 생물 정화방법의 개발 요구
 - 사회적으로 이슈가 되는 다양한 환경오염 물질(산업폐기물, 중금속 등)에 대한 극지/해양 환경에서의 모니터링 필요, 환경으로 유출된 오염물질(살충제, 독성물질, 내분비계 교란물질 등) 감지 위해 효소 기반의 바이오센서가 개발 및 상용화
 - 온 사이트(연구 현장)에서 사용하기 편하고 민감도가 높은 생태계 오염 감시체제 및 실험방법 구축 필요
 - 효소를 활용한 독성물질 중화 연구의 경우, 생촉매 반응을 통해서 독성을 중화시키거나 비독성물질로 전환시키는 과정을 발생시킴. 효소를 활용한 정화 공정의 경우 시간과 비용 측면에서 유리하고 오염물질에만 특이적으로 반응하여 산업적 활용가치가 높음
- 극지/해양 생물 유래 저온성 미생물/효소의 장점
 - (저온 활성) 일반적으로 사용하는 대장균 유래 단백질은 37℃에서 최적 활성이며 온도가 낮아짐에 따라 활성이 급속도로 떨어짐. 하지만 극지/해양 생물 유래 저온성

미생물/ 효소는 저온 (4~10℃)에서도 높은 활성을 유지

- 대한민국의 연평균 기온이 12~15℃임을 감안할 때, 저온성 미생물/ 효소를 이용하여 만들어진 바이오센서는 환경 오염물질의 탐지를 위한 최적의 활성을 나타낼 수 있으며 바이오센서 결과의 재현성에 유지에 탁월할 것으로 예상
- 또한, 극지/해양 현장의 환경오염 측정시 남극의 평균 기온은 '영하 55도', 북극 기후는 평균 기온 10℃ 미만, 북극해에 접한 알래스카의 배로 곳에서는 연 평균 기온 -12.7℃ 이므로 저온성 효소를 이용한 오염물질 검출방법이 유리함
- 오염물질의 정화를 위해서는 상온에서 활성을 가지는 효소를 이용해야 함(대한민국의 연평균 기온이 12~15℃). 극지 유래 저온 효소는 낮은 온도에서도 높은 활성을 유지하므로 환경 처리에 적합함. 또한, 효소는 환경 정화 후 일정시간이 지나면 자연 분해되므로 화학약품을 처리하는 중화 방법보다 친환경적임

2. 제안요구내용

1) 최종목표

- 극지 또는 외부 연구 현장에서 실시간 환경오염 물질의 검출, 분석 및 환경 정화 기술 개발

2) 최종 연구개발성과물

- 환경오염 독성물질을 검출하는 바이오센서 기술 개발
 - 바이오센서에 사용될 수 있는 저온성 효소 특성 연구 20건 이상
 - 바이오센서에 사용될 수 있는 형광/발광 단백질의 생화학적 특성 연구 2건 이상
 - 바이오센서에 사용될 수 있는 저온성 미생물의 개량 2건 이상
- 환경오염 독성물질을 중화시키는 저온성 미생물/효소 개발
 - 극지/해양 오염물질 중화 효능을 가진 미생물 개발 2건 이상
 - 오염물질 중화 효능을 가진 재조합 효소의 환경 안정화 기술 1건 이상
 - 오염물질 중화 효능을 가진 재조합 효소의 발현 및 분비 기술 1건 이상
 - 오염물질 중화 효능을 가진 저온성 미생물/효소 대량 배양 조건 확립 2건 이상

3) 주요 성과지표

성과목표	성과지표	목표치	평가기준
환경오염 독성물질 검출 바이오센서 기술 개발	검출 정확도 80% 이상 및 민감도 80% 이상	1건 이상	국내 특허 등록
환경오염 독성물질 중화 저온성 미생물/효소 개발	오염물질 중화 효능 측정 (70% 이상 중화 효능)	1건 이상	국내 특허 등록
해양수산 R&D 성과제고	SCIE 논문 건수	23건 이상	상위 10건의 평균 mIF 65 이상 달성
	기술이전 또는 기술실시 1건	1건 이상	시제품 제작, 기술료 5천만원 이상 (2008년 기준 기술이전 1건당 평균 기술료 약4천만원)

4) 주요 연구개발내용 및 범위

환경오염물질 검출하는 바이오센서 개발 연구

- 극지/해양 환경오염 물질 탐지 효능을 가지는 효소 유전자 확보
- 후보 효소 유전자 합성, 클로닝, 재조합 효소 발현 및 단백질 정제
- 효소 활성 측정, 삼차 구조분석 및 생화학적 특성 분석
- 효소에 의한 오염물질 탐지를 실시간 신호로 바꿀 수 있는 신호전달 시스템 확립
- 환경오염 물질에 대한 특이성과 민감도 향상을 위한 효소 개량
- 저온성 효소 대량 생산 시스템 구축

독성물질 중화시키는 미생물/효소 개발 연구

- 환경독성물질 중화 활성을 가지는 저온성 미생물/효소 탐색
- 저온성 효소 구조 기반 환경 안정화 연구, 저온성 효소 대량 생산
- 저온성 미생물의 유전자 조작을 통한 오염물질 중화 활성 개선
- 다양한 조건 별 독성물질 중화 효능을 측정하여 최적의 조건 선정
- 환경모사 실험을 통한 오염물질 중화 효과 검증

5) 기타 조건

사업예산(안)

정부지원 연구개발비 (단위: 백만원)	1단계				
	1년차	2년차	3년차	4년차	5년차
10,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

첨부2. 참고문헌

[국문자료]

- 한국환경연구원. 2022. 산업폐수 관리정책 발전방안 마련 연구
- 한국환경연구원. 2021. 미세플라스틱의 건강 피해 저감 연구(III)
- 환경부. 2021. 수질오염사고와 대응
- 물 정보 포털
- 한국환경공단 수질오염방제 정보시스템

[영문자료]

- Earth.Org. 2022. 2 Biggest Environmental Problems Of 2022
- OECD 2008. OECD Environmental Outlook to 2030.
- Avci-Adali M, Behring A, Keller T, Krajewski S, Schlensak C, Wendel HP. Optimized conditions for successful transfection of human endothelial cells with in vitro synthesized and modified mRNA for induction of protein expression. J Biol Eng. 2014;8: 1-11. doi:10.1186/1754-1611-8-8
- Dou S, Liu M, Zhang F, Li B, Zhang Y, Li F, et al. Silver/copper bimetallic nanoclusters integrating with cryonase-assisted target recycling amplification detection of Salmonella typhimurium. Microchim Acta. 2023;190: 1-11. doi:10.1007/s00604-023-05973-y
- Han SJ, Park H, Kim S, Kim D, Park HJ, Yim JH. Enhanced production of protease by *Pseudoalteromonas arctica* PAMC 21717 via statistical optimization of mineral components and fed-batch fermentation. Prep Biochem Biotechnol. 2016;46: 328-335. doi:10.1080/10826068.2015.1031390
- Svenning MM, Hestnes AG, Wartianen I, Stein LY, Klotz MG, Kalyuzhnaya MG, et al. Genome Sequence of the Arctic Methanotroph *Methylobacter tundripaludum* SV96. J Bacteriol. 2011;193: 6418-6419. doi:10.1128/JB.05380-11
- García-Delgado C, Barba-Vicente V, Marín-Benito JM, Mariano Igual J, Sánchez-Martín MJ, Sonia Rodríguez-Cruz M. Influence of different agricultural management practices on soil microbial community over dissipation time of two herbicides. Sci Total Environ. 2019;646: 1478-1488. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.395
- Wang Y, Yi B, Sun X, Yu L, Wu L, Liu W, et al. Removal and tolerance mechanism of Pb by a filamentous fungus: A case study. Chemosphere. 2019;225: 200-208. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.03.027
- De Mello Gabriel GV, Yasuno R, Mitani Y, Ohmiya Y, Viviani VR. Novel application of: *Macrolampis* sp2 firefly luciferase for intracellular pH-biosensing in mammalian cells. Photochem Photobiol Sci. 2019;18: 1212-1217. doi:10.1039/c8pp00573g

- Brányiková I, Lucáková S, Kuncová G, Trögl J, Synek V, Rohovec J, et al. Estimation of Hg(II) in soil samples by bioluminescent bacterial bioreporter *E. coli* ARL1, and the effect of humic acids and metal ions on the biosensor performance. *Sensors* (Switzerland). 2020;20: 1-18. doi:10.3390/s20113138
- Giovanella P, Cabral L, Bento FM, Gianello C, Camargo FAO. Mercury (II) removal by resistant bacterial isolates and mercuric (II) reductase activity in a new strain of *Pseudomonas* sp. B50A. *N Biotechnol.* 2016;33: 216-223. doi:10.1016/j.nbt.2015.05.006
- Lu X, Liu Y, Johs A, Zhao L, Wang T, Yang Z, et al. Anaerobic Mercury Methylation and Demethylation by *Geobacter bemidjensis* Bem. *Environ Sci Technol.* 2016;50: 4366-4373. doi:10.1021/acs.est.6b00401
- Chen SC, Lin WH, Chien CC, Tsang DCW, Kao CM. Development of a two-stage biotransformation system for mercury-contaminated soil remediation. *Chemosphere.* 2018;200: 266-273. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.02.085
- Wu C, Tang D, Dai J, Tang X, Bao Y, Ning J, et al. Bioremediation of mercury-polluted soil and water by the plant symbiotic fungus *Metarhizium robertsii*. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2022;119: 1-9. doi:10.1073/pnas.2214513119
- Biełło KA, Cabello P, Rodríguez-Caballero G, Sáez LP, Luque-Almagro VM, Roldán MD, et al. Proteomic Analysis of Arsenic Resistance during Cyanide Assimilation by *Pseudomonas pseudoalcaligenes* CECT 5344. *Int J Mol Sci.* 2023;24. doi:10.3390/ijms24087232
- Nikolaivits E, Siaperas R, Agrafiotis A, Ouazzani J, Magoulas A, Gioti A, et al. Functional and transcriptomic investigation of laccase activity in the presence of PCB29 identifies two novel enzymes and the multicopper oxidase repertoire of a marine-derived fungus. *Sci Total Environ.* 2021;775. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145818
- Maturro B, Pierro L, Frascadore E, Papini MP, Rossetti S. Microbial community changes in a chlorinated solvents polluted aquifer over the field scale treatment with poly-3-hydroxybutyrate as amendment. *Front Microbiol.* 2018;9: 1-11. doi:10.3389/fmicb.2018.01664
- Liu H, Park JW, Häggblom MM. Enriching for microbial reductive dechlorination of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans. *Environ Pollut.* 2014;184: 222-230. doi:10.1016/j.envpol.2013.08.019
- Miao Y, Johnson NW, Phan T, Heck K, Gedalanga PB, Zheng X, et al. Monitoring, assessment, and prediction of microbial shifts in

- coupled catalysis and biodegradation of 1,4-dioxane and co-contaminants. *Water Res.* 2020;173: 115540.
doi:10.1016/j.watres.2020.115540
- Dao ATN, Smits M, Dang HTC, Brouwer A, de Boer TE. Elucidating fungal *Rigidoporus* species FMD21 lignin-modifying enzyme genes and 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin degradation by laccase isozymes. *Enzyme Microb Technol.* 2021;147: 109800.
doi:10.1016/j.enzmictec.2021.109800
 - Nguyen TLA, Dao ATN, Dang HTC, Koekkoek J, Brouwer A, de Boer TE, et al. Degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid (2,4,5-T) by fungi originating from Vietnam. *Biodegradation.* 2022;33: 301-316.
doi:10.1007/s10532-022-09982-1
 - Liu J, Tan L, Wang J, Wang Z, Ni H, Li L. Complete biodegradation of chlorpyrifos by engineered *Pseudomonas putida* cells expressing surface-immobilized laccases. *Chemosphere.* 2016;157: 200-207.
doi:10.1016/j.chemosphere.2016.05.031
 - Onder Erguven G, Tatar Ş, Serdar O, Yildirim NC. Evaluation of the efficiency of chlorpyrifos-ethyl remediation by *Methylobacterium radiotolerans* and *Microbacterium arthrosphaerae* using response of some biochemical biomarkers. *Environ Sci Pollut Res.* 2021;28: 2871-2879. doi:10.1007/s11356-020-10672-9
 - Behera BK, Chakraborty HJ, Patra B, Rout AK, Dehury B, Das BK, et al. Metagenomic Analysis Reveals Bacterial and Fungal Diversity and Their Bioremediation Potential From Sediments of River Ganga and Yamuna in India. *Front Microbiol.* 2020;11.
doi:10.3389/fmicb.2020.556136
 - Zhao T, Hu K, Li J, Zhu Y, Liu A, Yao K, et al. Current insights into the microbial degradation for pyrethroids: strain safety, biochemical pathway, and genetic engineering. *Chemosphere.* 2021;279: 130542. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.130542
 - Justino CIL, Duarte AC, Rocha-Santos TAP. Recent progress in biosensors for environmental monitoring: A review. *Sensors (Switzerland).* 2017;17. doi:10.3390/s17122918

[특허자료]

- 유글레나속 미생물을 이용한 수질 독성 평가 방법. 등록번호: KR10-1436921B1
- 유글레나속 미생물의 운동 특성을 이용한 수질 독성 평가 방법. 등록/공개번호: 1014333120000
- 지표 미생물을 이용하여 토양내 중금속 오염을 확인하는 방법. 등록/공개번호: KR10-1769217B1
- 미국 [미국] Microbial microfluidic biosensor (미생물의 마이크로 프루이딕 바이오센서) 등록/공개번호: US2022-0057378A1/ WO2016133830

- 중금속 오염 해양 퇴적물의 생물학적 피복 정화 방법. 등록/공개번호: KR10-1822711B1
- 바실러스 텐션니 균주, 이의 미생물 제제 및 중금속 복구 분야의 응용. 등록/공개번호: KR10-2021-0124232A
- 잔류농약 분해능, 세포외 효소 분비능 및 중금속 내성이 있고, 식물병 원인균에 대해 항진균 활성을 가지는 바실러스 메가테리움 SRCM116265 균주 및 이의 용도. 등록/공개번호: KR10-2022-0154426A
- ANAEROBIC SUSPENDED GROWTH TREATMENT OF CONTAMINATED WATER. 등록/공개번호: US2018-0222782A1

[기타자료]

- <http://www.rcsb.org><http://swissmodel.expasy.org><http://robeta.bakerlab.org/>
- <http://www.rcsb.org><http://swissmodel.expasy.org><http://robeta.bakerlab.org/>
- <http://www.optikplus.de>
- <http://www.uniconorganics.com>
- <https://www.novozymes.com/>
- <https://www.water.or.kr/>
- <https://www.newspenguin.com>
- <http://www.wintelips.com>