

복합미생물을 이용한 방사성 오염 물질 제거에 관한 특허 취득



염규진
(주)코엔바이오 대표

- 서울대학교 농생물학 학사, 석사
- Duke Univ. 환경공학 박사
- 광운대학교 환경공학과 겸임교수
- 중앙대학교 건설대학원 겸임교수
- 바이오엔텍(주) 연구소장
- 환경정책평가연구원(KEEI) 책임연구원

당사는 최근 특허청으로부터 한국 토종 미생물을 활용하여 방사성 오염물질(Cs^{137})의 반감기를 획기적으로 감축하는 원천 기술과 관련한 특허를 세계 최초로 취득하였다. 이 특허¹⁾는 우리나라의 전통 발효식품 및 자연계에 존재하는 토종 미생물(native microorganisms)을 이용하여 방사성물질 발생 감마선을 저감함으로써 방사성물질 처리 기간을 단축시킬 수 있는 원천 기술에 관한 것이다. 이 특허가 상용화될 경우 인류의 오랜 숙제인 방사능 오염 지역 및 오염수 문제의 근본적인 해결에 획기적인 전기가 될 것으로 기대된다. 당사에서 보유하고 있는 특허균주인 내방사선(耐放射線) 및 토종 미생물들의 복합 작용을 활용하여 방사성물질인 세슘(Cs^{137})에서 발생하는 방사선의 일종인 감마선을 빠르게 저감하여 세슘 반

감기를 30년에서 약 108일로 100배 이상 단축하는 효과를 거둔 것이다.

연구 배경

원자력은 온실가스를 배출하지 않으면서 고품질의 에너지를 효율적으로 대량생산하여 저렴한 비용으로 공급할 수 있는 특성이 있다. 이는 기후변화에 대응할 때 원전이 중요한 역할을 담당할 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 대규모 에너지원으로서 원자력을 계속 활용하려면 발전 과정에서 발생하는 중·저준위 방사성 폐기물뿐만 아니라 고준위 방사성 폐기물인 사용 후 핵연료를 안전하게 처리하기 위한 근본적인 해결책이 마련되어야 한다.

그러나 방사성 폐기물에 대한 근본적인 해결

¹⁾ 방사성물질의 방사성을 저감하는 조성물 및 상기 조성물의 제조 방법(특허 제10-2213178호, 2021.2.1.)



방사성물질(세슘 137)이 50,000바크렐 농도로 오염된 오염수에 복합 미생물 처리 시료



방사성물질(세슘 137)이 50,000바크렐 농도로 오염된 오염수에 복합 미생물 처리 후 감마선 측정

[그림 1] 복합미생물을 이용한 방사성물질 저감 실험 모습

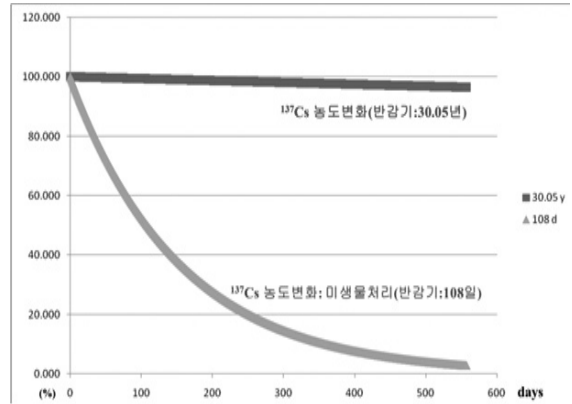
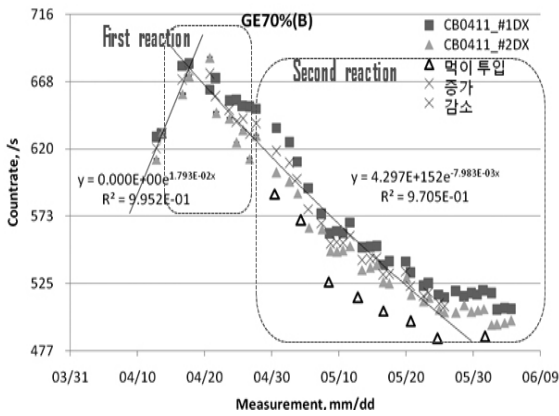
책이 없기 때문에 지하매립장 등 안전한 곳에 오랫동안 저장하는 방법만이 유일한 대책으로 받아들여지고 있다. 하지만 방사성물질 폐기장의 저장 용량에 한계가 있어 근원적인 해결책이 되지 못하고 있는 실정이다. 방사성물질이 방사선을 방출하고 상태 그대로 있는 한 그 어떤 방법도 근본적인 해결책이라고 할 수 없다. 이와 같은 상황을 극복하기 위해서는 방사성 폐기물을 획기적으로 줄일 수 있는 근본적인 해결책이 필요하다. 최근 미생물을 이용한 방사성 폐기물 처리를 위하여 국내외에서 연구 활동이 활발히 이뤄지고 있으나, 방사성물질을 난용해성 물질 등으로 바꾸어 포집하거나 축적하는 수준에 머무르고 있다. 이에 방사성물질을 근본적으로 제거하거나 저감할 수 있다면 인류의 숙원인 원자력의 안전한 이용에 대한 근본적인 해결책이 도출될 수 있을 것이다.

주요 연구 내용

세슘을 고농도인 50,000베크렐(Bq)²⁾로 오염시킨 오염수에 *Phanerochaete chrysosporium* 등 토종 미생물 11개 균종의 조성물을 0.5×10^2 CFU/ml 내지 2.5×10^{10} CFU/ml의 농도로 투입한 후 세슘 오염수 대비 5~20%로 처리하여 20~40℃의 온도 범위에서 7일간 내지 3개월간 반응시킨 다음, 시간당 발생하는 감마선량의 저감률을 측정하여 세슘의 반감기를 측정하였다. 이와 같은 실험 결과, 세슘의 반감기가 30년에서 108일로 자연 상태보다 100배 이상 빠른 속도로 줄어드는 것으로 나타났다. 무기염과 이중수소(Deuterium)를 첨가할 경우에는 동 효율이 더욱 높아지는 것으로 나타났다.

특히, 공생관계를 이룰 수 있는 다양한 토종 미생물들은 고준위 방사선에서도 잘 생존할 뿐

2) 방사성과 관련한 단위에는 베크렐, 그레이, 시버트 등이 있다. 베크렐은 방사성 세기를 나타내는 지표로서 우리나라는 그램당 4,000베크렐(Bq) 이상인 폐기물을 고준위방사성폐기물로 규정



[그림 2] 복합미생물의 방사성물질 처리 실험 결과

만 아니라, 산화-환원 반응에 관계된 효소들을 분비하는 미생물들이 방사성물질을 처리하는 능력을 갖게 되면서 유해한 방사성 원소가 원래 자연계에 존재하는 안전한 비방사성 원소로 자연 상태보다 빠르게 바뀌는 일종의 생물학적 원소변환이 일어나는 것을 확인하였다.

한편, 이번 연구는 반감기가 30년으로 가장 위험한 물질로 분류되고 있는 세슘을 중심으로 이뤄졌으나, 복합 미생물의 작용 메커니즘을 고려할 때 다른 방사성물질의 처리에도 동일한 효과가 있을 것으로 보인다. 방사성물질들 중에서 특히 처리에 어려움을 겪고 있는 삼중수소(^3H)의 처리 가능성을 확인하기 위해 중수소(^2H), 삼중수소에 비해 중성자가 1개 적음)를 세슘으로 오염된 물에 첨가하여 실험한 결과, 복합 미생물은 중수소에 의해 억제되지 않고 더 잘 자라는 것을 확인하였다. 이런 실험 결과는 삼중수소가 수소로, 세슘이 바륨으로 쉽게 변하는 미생물의 효소에 의한 β -붕괴 가속으로 인해 삼중수소의 반

감기(12.3년) 단축에도 영향을 미칠 것으로 보인다. 실험 당시에는 삼중수소를 구할 수 없었기 때문에 중수소만으로 실험을 진행했지만 산화-환원 반응에 관계된 효소들을 분비하는 미생물들이 방사성물질을 처리하는 능력을 갖게 되면서 삼중수소도 세슘과 마찬가지로 만족할 만한 저감 효과를 보일 수 있을 것으로 예상된다.

특허의 의의 및 시사점

원자력발전 과정에서 발생하는 방사성물질은 알파, 베타, 감마선을 방출하면서 방사선 세기가 줄어드는데 방사성물질이 비방사성물질로 반으로 줄어드는 기간을 반감기라고 부르며, 원자핵의 붕괴와 연관되어 있는데 현재 과학으로는 이를 단축할 방법이 없는 것이 엄연한 현실이다.

특히, 세슘은 방사성물질 중 반감기가 30년으로 매우 길고 감마선을 방출하기 때문에 인체 및 환경에 가장 위험한 물질 중의 하나이나, 이를

근본적으로 제거할 방법이 없어 관련 폐기물은 콘크리트로 차단된 깊은 땅 속에 저장하고 있는 실정이다. 또한 방사성물질 처리와 관련한 국내외 연구는 오염물질의 근본적인 제거가 아닌 보존 처리나 밀봉 보관, 흡착이나 흡수 처리 등과 관련된 내용이 대부분이다. 그러나 흡착제나 고체화 등을 통하여 세습을 분리하더라도 방사성 물질은 사라지지 않고 자연계에 그대로 존재하기 때문에 고농도 세습을 포함하고 있는 흡착제의 처리가 또 다른 과제가 되고 있다.

반면에, 당사의 이번 연구 결과 덕분에 자연계에 존재하는 복합 미생물 균주를 활용하여 세습의 반감기를 자연 상태보다 100배 이상 빠른 속도로 줄임으로써 방사성물질의 근본적인 처리가 가능할 것으로 기대된다. 즉, 내방사성 토종 미생물들의 복합 작용을 활용하여 방사성물질을 근본적으로 안전한 자연 상태의 비방사성물질로 빠르게 전환시킴으로써 자연 생태계 회복에도 크게 기여할 수 있을 것이다. 또한 최근 해외 연구 동향과 같이 방사성폐기물의 보관 등에 있어서 콘크리트 및 강철 방벽과 함께 추가적인 '바이오 배리어(biobarrier)'를 제공함으로써 폐기물의 안전한 보관에도 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다. 오랜 연구 결과, 미생물은 생체 내 대사 작용에 의하여 방사성물질을 저장하는 것으로 알려졌으며, 이것을 가능케 한 원리는 오래 전부터 프랑스, 독일 등의 과학자에 의하여 연구되어 왔다.

생체 대사 작용의 원리는 1800년대 초반부터 프랑스 화학자 보클랭(Vauquelin)³⁾, Pierre Baranger 등의 과학자들에 의하여 연구되어 왔으며, 프랑스의 Louis C. Kervran은 연구 결과를 정리하여 1972년에 『Biological transmutation』이라는 저서를 출간한 바 있다. 또한 미생물을 이용한 방사성물질 처리는 2000년대 초반부터 러시아, 미국 등의 과학자를 중심으로 연구를 진행해 오고 있으며, 그 가능성에 대한 다양한 연구 결과가 논문 등을 통해 발표되고 있다.

그러나 연구의 어려움 때문에 대부분 단편적인 내용에 그치고 있으며, 미생물을 이용한 방사성물질의 흡착이나 축적 등과 관련한 내용이 대부분일 뿐만 아니라, 관련 메커니즘도 정확히 입증하지 못하고 있는 실정이다. 이에 반해 이번 연구는 방사성물질 저장에 관한 메커니즘을 실제 실험 등으로 입증하고, 그 작용원리에 관여한 미생물 균종들을 정확하게 세계 최초로 입증했다. 또한 약 2년 반에 걸친 엄격한 특허 심사 과정에서 '산업상 이용 가능성'이나 기술의 '신규성' 및 '진보성' 등 특허법(§29)상의 요건을 객관적으로 입증받았다는 점에서 의미가 크다 할 것이다.

폐원전 등 오염 현장에서의 활용 가능성

전 세계 원전들 중에서 운영 연수가 30년 이

3) 1799년 프랑스의 화학자 보클랭(Vauquelin)은 달걀 껍질의 칼슘을 분석하였는데, 닭에게 매일 귀리만을 먹였음에도 달걀 껍질에는 귀리에 함유된 칼슘보다 5배나 많은 칼슘이 생성되었음을 발견함.



상 된 원전은 전체(450여 기)의 68%인 305기에 달하며, 전 세계 원전해체시장의 규모는 약 550조 원에 이를 것으로 전망된다. 또한 세계 원전의 노후화 등으로 앞으로 원전해체시장이 본격화될 것으로 전망되고 있으나, 해체 과정에서 나오는 방사성물질의 안전한 제거가 원전을 운영하고 있는 국가들의 주요 과제가 되고 있다.

우리나라 정부도 원전해체를 원전산업의 새로운 미래 성장동력으로 육성하기 위하여 2019년 4월, '원전해체산업 육성전략'을 발표한 바 있다. 향후 500조 원 규모의 세계 원전해체시장에 경쟁력을 가지고 진입할 수 있도록 관련 산업 역량을 확충하고 생태계를 조성하겠다는 의지로 읽힌다. 정부의 계획이 실효성 있게 추진되기 위해서는 핵심 인프라 등 전문 기업 육성과 유관 기관들 간의 유기적인 협업, 다양한 산업군과의 융합 등을 통한 관련 기술 확보에 범정부적인 관심을 기울일 필요가 있다.

한편, 일본 후쿠시마 원전 사고로 인한 오염 지역 및 오염수 처리도 주요한 현안 중의 하나다. 후쿠시마현 인근 지역에서는 처리하지 못한 많은 양의 방사성 오염 토양 폐기물이 지금도 임시 저장 시설 등에 보관되어 있다. 또한 원전 사고로 발생한 120여만 톤의 오염수는 원전 내의 저장탱크 등에서 관리하고 있으며, 이는 2030년까지 200만 톤 이상이 될 것으로 예측되고 있다. 현재, 일본 도쿄전력은 이른바 '다핵종 처리 시설'을 이용하여 오염된 방사성 핵종을 처리하고 있다. 그러나 처리 효율이 아주 낮고 처

리수에 세슘이 여전히 존재할 뿐만 아니라 삼중수소 같은 비금속 물질을 처리할 수 없다는 점이 난제 중의 난제로 꼽히고 있는데, 이번에 확보한 복합 미생물을 활용한 방사성물질 제거에 관한 원천 기술을 활용할 경우 오염토양 정화 및 오염수 처리 등에 있어 획기적인 전기가 될 것으로 확신한다.

한편, 특허에 활용된 미생물 균주 등을 이용하여 중·고준위 방사선 차단실험을 한 결과, 방사선 차단율이 가장 높은 것으로 알려진 납보다 효과가 좋은 것으로 나타나, 현행 무거운 납 소재 방사선 차폐용품(병원, 공장 등에서 착용하는 차폐복, 가운 등)을 대체하는 가벼운 소재 개발 등을 통해 앞으로 산업적 확장 가능성이 높을 것으로 예상되고 있으며, 당사에서는 관련 기술 개발을 추진하고 있다.

향후 추진 계획

이번 연구 결과는 우리나라 국립 연구 기관과 공동으로 실험한 결과로서 폐원전, 공장, 병원 등 각종 방사성 오염 지역 등에서 현장 테스트 등을 거쳐 즉시 적용할 수 있을 것으로 보인다. 이를 위하여 당사는 앞으로 국내외 연구 기관과 협업 등을 통해 추가적인 실증실험 및 현장 테스트 등을 계속함으로써 방사성물질 처리에 관한 기술의 완결성을 확보할 계획이다.

아울러, 이번 연구에 활용된 미생물 균주의 조성물 등을 활용하여 가볍고 착용이 간편한 방사

선 차폐재 개발에도 앞장설 계획이다. 또한 김치, 청국장, 된장, 젓갈 등 우리나라의 전통 발효 식품 등에서 추출한 1,500여 종에 달하는 유산균 및 고초균, 효모, 방선균, 곰팡이 등 다양한 균주들이 생산한 신물질들을 보유하고 있는데, 2018년 나고야의정서⁴⁾의 발효에 따라 앞으로 보유하고 있는 미생물자원이 곧 기업 및 국가의 이익과 직결될 것으로 보인다.

우리나라는 뚜렷한 사계절과 삼면이 바다로

둘러싸인 환경 덕분에 다양한 발효음식을 가지고 있어 유익균주의 보고(寶庫)라고 할 수 있다. 특히, 전통 발효균주는 오랜 기간 음식을 통해 섭취되어 병원성이나 독성이 없음이 장기간 검증되는 등 안정성이 확보되어 무한한 활용 가능성을 가지고 있다. 우리나라의 토종 미생물이 반도체, 배터리에 이어 우리나라의 주요한 미래 성장동력이 될 수 있도록 우리 모두의 힘과 지혜를 모아야 하겠다. **KMIF**

4) 유전자원 이용에 따른 이익을 공정하고 공평하게 함으로써, 생물다양성 보전과 지속 가능한 이용에 기여함을 목적으로 함.