

방사선이용 환경보전기술개발



이 면 주

한국원자력연구소
방사선이용연구부 책임연구원

1. 현 황

산업혁명과 인구증가에 따른 도시화/산업화에 의해 지구의 환경오염은 날로 심각해져가고 있고, 특히 농업생산력증대를 위한 농지개간과 화학비료의 사용으로 수자원 고갈과 수질오염은 심각한 문제로 대두되고 있다. 또한 에너지원으로서 과다한 화석연료의 사용은 대기 중에 황산화물과 질소산화물 그리고 다양한 형태의 오염물질들로 가득 차게 만들었고, 각종 산업폐기물과 부산물들은 또 다른 환경문제를 야기 시키고 있으며 이로 인한 토양/수질에 대한 2차오염도 심각한 수준에 이르고 있다. 지금까지 알려진 환경처리 기술들의 대부분은 환경오염물질의 근원적인 제거보다는 분리/농축/전환하는 수준에 머무르고 있어 원천적인 제거 기술이 되지 못하며, 부가적인 환경오염을 유발하기도 한다. 따라서 환경오염물질의 원천적인 제거가 가능한 방사선을 이용

한 처리기술의 개발이 시급하다.

방사선을 이용한 환경처리 기술은 방사선의 전리작용에 의해 발생한 라디칼 들의 강한 산화/환원력을 이용하여 환경오염물질을 원천적으로 제거하는 방법으로 기존의 환경 처리 기술보다 간편한 설비와 짧은 처리시간, 그리고 추가적인 환경오염물질 발생이 없는 장점을 가지고 있으므로 앞으로 환경오염물질 제거에 새로운 대안으로 기대된다. 일례로 산업화/도시화에 따른 화석연료의 과다한 사용으로 대기오염의 가속화가 이루어져 왔고, 그 주범인 발전소와 소각로에서 배출되는 황산화물과 질소산화물을 방사선으로 제거하고자 하는 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 이 기술은 방사선에 의해 생성된 라디칼이 황산화물과 질소산화물을 황산 또는 질산으로 산화시킨 후 중화제에 의해 중성염 형태로 제거하는 기술로 부산물은 비료로 사용이 가능한 장점이 있다. 폴란드, 일본, 한국 등지의 시범시설 연구를 거쳐

실증되었고 중국, 일본, 동유럽 등지에서 상업적인 운전이 진행되고 있으며, 방사선을 이용한 환경처리 기술의 기술적 경제적 장점을 실증한 좋은 사례가 되고 있다.

이와 같이 방사선을 이용한 환경기술개발분야로는 수질, 대기, 폐기물로 대별되는 환경전반에 응용될 수 있는 기술로써 환경보존을 통한 국민의 삶의 질 향상과 공업기술력 향상에 크게 기여할 수 있는 기술이며, 원자력기술의 유익성과 안전성에 대한 홍보 및 국민의 인식 향상에 크게 기여할 수 있는 기술이다.

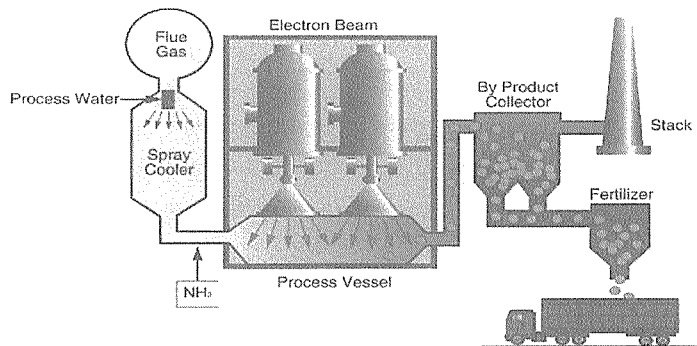
2. 국내·외 기술개발 현황 및 기술발전 전망

가. 선진국 연구개발동향

1990년 초반 수질오염물질 제거측면에서 일본에서는 현재 일본원자력연구소(현재 일본원자력기구)를 중심으로 감마선을 이용한 미량오염물질 분해 연구를 농약 등의 과다사용으로 인한 오염으로부터 수자원보호를 목적으로 수행하였으며, 오수처리수에 대한 세균의 멸균 연구, 중금속 첨가에 의한 유기오염물질의

제거 등에 관한 연구를 수행하여 수질오염물질의 정화를 효과적으로 수행하고자 노력하였다. 러시아에서는 바로니시 공업지역에서 넥카르 라는 화학물질로 오염된 지하수를 정화하기 위하여 수년 동안 방사선을 이용하여 처리한 결과 정상수준의 지하수질을 얻는데 성공하였다. 오스트리아에서도 발암물질로 오염된 지하수를 정화할 목적으로 오존을 병용하면서 방사선을 이용한 결과 음용수로 활용할 수 있는 지하수를 얻게 되었다. 이외에 일본원자력기구에서는 하수중의 환경호르몬제거를 위해 감마선과 전자선을 이용하여 연구중이다.

대기오염물질제거 측면에서는 석탄 또는 석유를 이용하는 발전소와 산업시설로부터 배출되는 대기중의 SO₂와 NO_x가 환경오염의 주요 원인이 됨으로 이들을 방사선을 이용하여 처리하고자 전자빔을 사용하여 SO₂와 NO_x 동시에 제거하는 기술을 일본에서 개발한 이후 독일, 폴란드, 중국, 그리고 브라질 등의 나라에서 활용하고 있다. 또한 일본원자력기구에서는 2001년에 생활쓰레기를 소각하는 소각장으로부터 배출되는 다이옥신을 제거하기



〈그림 1〉 전자선 이용 배연가스처리 시스템



(a) control



(b) irradiated sludge based biofertilizer

〈그림 2〉 방사선처리 유/무 하수슬러지의 퇴비 활용

위한 시범시설을 가동하기 시작했고, 2002년 2월 90% 이상의 다이옥신이 15 kGy 전자선조사에 의해 제거될 수 있다고 공식적으로 발표하였다. 이때 사용된 전자선 가속기의 용량은 $0.3 \text{ MeV} \cdot 40 \text{ mA}$ 이었으며, $1,000 \text{ N m}^3/\text{h}$ 의 배기가스가 처리되었고, 배출가스중의 다이옥신 농도는 $1\text{--}5 \text{ ng}/\text{m}^3$ 이었다. 방사선이 용 휘발성 유기물질처리를 위해 일본 원자력 연구소를 중심으로 지속적인 연구를 하고 있으며, 독일과 폴란드가 이 분야에 관심을 갖고 연구를 수행하고 있다.

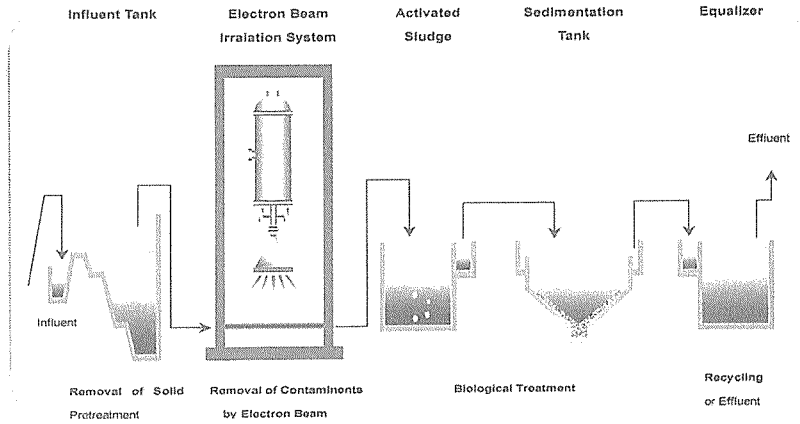
폐기물환경분야에 있어 여러나라에서 유기성폐기물의 퇴비화를 위해 방사선을 이용하여 퇴비화에 저해되는 미생물을 멸균시키고 유용한 미생물을 접종시킴으로써 퇴비화의 효율향상을 위해 연구를 하고 있다. 인도에서는 오래전 부터 하수슬러지를 방사선으로 멸균 후 퇴비로 사용하고 있다.

나. 국내 연구개발동향

1999년 한국원자력연구소에서 하수처리장에서 처리된 후 방류되는 방류수를 공업용수로

재활용할 목적으로 감마선을 이용 $1\text{m}^3/\text{h}$ 의 처리용량을 갖는 시범시설을 개발하였고 산업체와 공동으로 산업화 연구를 추진중에 있고, 발암성 유기물로 오염된 지하수를 정화할 목적으로 감마선을 이용하여 처리하는 연구를 수행하고 있다. (주)EB-Tech에서는 1998년 $1.0 \text{ MeV} \cdot 40\text{mA}$ 의 전자선가속기를 이용하여 염색공장에서부터 배출되는 폐수를 처리하기 위한 광범위한 연구를 해 왔다. 이들은 $1,000 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 폐수를 정화시킬 목적으로 연구를 해 왔으며, 이들로 부터 얻은 긍정적인 연구결과를 토대로 (주)EB-Tech, 한국원자력연구소, 염색기술연구소, 과학기술부, 대구광역시, IAEA가 공동으로 $10,000 \text{ m}^3/\text{day}$ 의 실규모 처리시설을 설치하였다. 충남대학교에서는 연구실에서 적조배양 성공을 계기로 전자선을 이용한 적조제거를 위한 연구를 수행하고 있다.

대기환경분야의 경우 현재 건국대학교와 산업체가 공동으로 전자선을 이용한 휘발성 유기물질처리에 관한 연구를 수행하고 있고 중, 저농도의 휘발성 유기물질을 배출하는 업체에 적용을 목적으로 연구 중이다.



〈그림 3〉 전자선 이용 염색폐수처리 시스템

폐기물환경분야의 경우 슬러지의 탈수능 향상, 소화향상을 위해 전자선을 이용하여 슬러지 전처리 연구를 한국원자력연구소와 여러 대학에서 수행중이다.

다. 기술발전 전망

○ 하수방류수 처리

수질관리는 수자원을 오염물질로부터 차단하거나 오염된 물을 정화하는 기술을 요구한다. 일단 오염된 수자원은 오염원의 종류에 따라 다양한 정화기술을 필요로 함과 동시에 최근에는 정화에 의한 고도의 수처리를 요구한다. 하수종말처리장에서는 하수처리후 대장균 및 미생물을 처리하기 위해 대량을 염소를 투입하고 있다. 하지만 정부는 2003년부터 방류수중의 대장균 농도를 현재보다 10배 더 낮추고자 하는 법을 시행하겠다고 발표하였다. 이에 대하여 하수종말처리장 관계자들은 법적 기준을 맞추기 위해 새로운 처리방법을 모색하고 있지만 아직 적절한 방법을 못 찾고 있는

실정이다. 대안으로 염소의 사용을 늘리거나, 오존이나, UV사용을 검토하고 있지만 염소의 사용을 늘릴 경우 대장균이나 세균의 멸균에도 더 이상의 효과도 없을 뿐만 아니라 이차생성물로 발생하는 발암물질로 알려진 THM을 증가시켜 오히려 환경문제를 야기시킬 수 있다. 오존이나 UV의 경우 소량의 방류수에는 적절히 사용 가능하지만 하루에 수만톤에서 수백만톤을 처리해야 하는 하수종말처리장에는 적절하지 못하다. 이에 반해 방사선은 소량만을 조사하여도 대장균을 완벽히 멸균시킬 수 있을 뿐만 아니라 부수적으로 유기물 및 악취, 색도 등을 저감시킬 수 있어 하수종말처리장에서 방류되는 처리수의 수질을 크게 향상시킬 수 있는 일석이조의 효과를 얻을 수 있을 것이다.

○ 산업폐수 처리

각종 공장에서 배출되는 폐수의 경우 대부분 미생물을 이용하여 처리하고 있지만 산업의

발달은 미생물에 의해 분해되기 어려운 오염 물질의 생성을 증가시키고 있다. 이들을 처리하고자 하는 기존의 산업폐수 처리방법으로는 적절한 물리화학적 방법에 의한 전처리와 미생물처리를 연계한 처리법을 사용하고 있다. 하지만 전처리방법에 있어 기존의 화학 약품이나 오존 또는 UV같은 물리적 방법은 이차오염물질로 간주되는 슬러지의 발생량을 증가시킬 뿐만 아니라 미생물이 전처리된 폐수를 분해하기 위한 충분한 요건을 만들어 주지 못해 미 처리된 독성물질을 그대로 방류함으로써 환경오염을 가중시키고 있는 실정이다. 방사선을 물에 조사할 경우 물을 분해시켜 강력한 산화제인 OH 라디칼을 발생시키고 이들은 물 중에 포함되어 있는 오염물질을 분해하여 무해하게 만들거나 미생물에 의해 분해가 용이하게 만들어 슬러지 발생 저감 및 미생물처리 효율을 향상시킬 수 있어 환경보호에 크게 이바지 할 수 있을 것이다.

○ 제염폐액 처리

원자력 발전소에서 발생하는 제염폐액의 경우 일반 폐수와 달리 방사성 물질을 함유하고 있어 처리과정에서 정교함을 요하고 있다. 기존의 처리방법은 먼저 유기물을 제거하기 위하여 응집, 침전, 오존처리, UV 처리, 여과, 막분리, 활성탄흡착 등의 복잡한 단위공정을 사용하고 있어 운전상의 잦은 고장 및 이에 따른 처리수질의 큰 변화폭에 따라 이차적으로 방사성물질을 처리하기 위해 도입되는 이온교환 공정 등에 부정적인 영향을 주어 지속적으로 안정된 폐액의 처리를 어렵게 하고 있다. 방사선을 사용할 경우 오존과 UV처리공정 그리고 활성탄흡착 공정을 대신하면서 처리공정을 단순히 할 수 있을 뿐만 아니라 유기물의

처리도 안정적으로 할 수 있으므로 이차처리 장치인 이온교환공정에 부하를 줄임으로써 최적의 운전을 꾀할 수 있다. 또한 이것은 방사성폐수의 철저한 처리를 뒷받침함으로써 원자력 안정성에 대한 신뢰구축에도 일조할 수 있을 것이다.

○ 조류 처리

해안이나 호소에서 발생하는 적조류와 녹조류의 발생은 수산자원 및 수자원에 대해 매년 막대한 피해를 입히고 있으며 점점 증가하는 추세이다. 현재 적조류 제거를 위한 방법은 황토를 살포하여 황토가 미생물의 호흡계통을 막아 죽게 하는 방법과 물의 전해분해에 의한 pH 변화를 통해 살균을 유도하는 방법을 사용하고 있다. 녹조류를 제거하기 위한 방법으로는 별도의 방법이 없는 실정으로 저수원으로 유입되는 질소와 인 물질의 차단을 위해 노력하고 있는 실정이다. 이에 반해 방사선은 강력한 살균 능력을 지니고 있어 적조와 녹조의 발생시 직접적으로 멸균을 할 수 있어 이에 대한 적절한 연구개발을 통해 적조와 녹조의 제거를 위한 기술을 개발할 수 있을 것이다.

○ 다이옥신 처리

인체에 치명적인 것으로 알려진 다이옥신은 소각장의 증가와 함께 대기중으로 배출이 급속히 증가되고 있다. 더욱이 다이옥신의 생성원이 염소계 유기화학물질인 까닭에 생활쓰레기와 산업폐기물의 처리를 소각에 크게 의존해야하는 우리나라의 경우 이들 발생량의 증가는 필연적이다. 기존의 처리방법은 소각온도 조절에 의한 다이옥신 생성저지 방식이나 분말 활성탄으로의 흡착과 같은 방법이 사용되고 있다. 하지만 소각온도에 의한 생성저지

방식은 소각시 소각온도를 항상 800℃ 이상으로 유지해야 하는 경제성을 포함한 기술적 어려움을 지니고 있다. 분말 활성탄을 이용하여 흡착 제거하는 방식은 다이옥신을 단순히 활성탄에 흡수시킨 결과만 얻을 뿐 최종적으로 처리하는 방법으로는 될 수 없다. 방사선은 다이옥신 물질과 직접적으로 반응하여 최종적으로 인체에 무해한 물질로 전환시킬 수 있어 활성탄 흡착에 의한 일시적 처리와는 달리 영구적 처리방법으로 될 수 있는 신기술이 될 수 있을 것이다. 일본이나 유럽의 선진국가에서도 이미 방사선의 잇점을 간파하고 이분야에 대한 연구개발을 서두르고 있는 실정이다.

○ 유해성 배기가스 처리

유해성 배기가스 유기물질의 발생은 산업의 발전과 함께 다양한 형태로 인간과 접촉을 하면서 일상생활에 큰 피해를 주고 있다. 이미 우리나라의 일부 산업지역은 휘발성 유기물질에 대한 규제를 받기 시작함으로써 이들을 제거할 수 있는 적절한 기술을 시급히 필요로 하고 있다. 이들을 제거하기 위한 방법으로 화학물질과 활성탄 그리고 소각을 이용하는 물리, 화학적인 방법, 그리고 미생물을 이용하는 생물학적 방법이 현재까지 이용되고 있다. 농도가 높은 악취와 휘발성 물질은 이미 소각방식에 의해 잘 처리되고 있다. 하지만 농도가 중간 또는 낮은 경우 소각에 의해서는 경제성의 문제로 인해 기피되고 생물학적이거나 활성탄 흡착과 같은 물리적 방식이 주종을 이루고 있다. 활성탄을 이용할 경우 제거효율은 높지만 자주 활성탄을 교체해 주어야 하므로 운전비가 과대하게 요구되고, 미생물을 사용할 경우 미생물에 대한 독성물질에 함유될 경우 미생물이 죽게되어 중·저농도의 악취 및 휘발성 유기

물질을 처리하기에는 문제점이 많은 것으로 나타나고 있다. 방사선은 중·저농도의 악취 및 휘발성 유기물질제거에 활용될 경우 오염원 자체를 파괴할 수 있어 기존의 처리방법이 지니고 있는 단점들을 피할 수 있을 뿐만 아니라 공정이 간단하여 운영의 최적화를 피할 수 있기에 적절한 기술을 개발할 경우 대기환경 보존에 큰 영향을 줄 수 있을 것이다.

○ 유기성 폐기물 퇴비화

2003년 부터는 하수종말처리장이나 각종 산업폐수처리장으로부터 발생하는 슬러지를 매립장에 직매립하는 것이 금지되는 것으로 되어 있다. 따라서 이들은 건조, 소각, 재이용 등에 의해 처리되어질 전망이다. 하지만 건조 및 소각방식에 의한 처리방식은 많은 에너지의 사용을 필요로 하여 대체할 수 있는 처리방식을 모색하고 있는 실정하에 점차 농작물 경작에 활용할 수 있는 방법으로 재이용화를 시도하고 있다. 기존의 하수슬러지 재이용 방법으로는 중금속으로 오염되지 않고, 또한 질소와 인의 함유율이 높은 슬러지, 그리고 대장균이나 세균 등이 없는 슬러지에 대해서한 선별적으로 이용되어져 퇴비로의 재활용도가 매우 낮았다. 방사선은 하수중에 함유되어 있는 중금속에 조사될 경우 수용성 중금속을 불용성화 할 수 있어 일부 중금속으로 오염된 슬러지도 퇴비로 사용이 가능할 수 있을 것이다. 또한 퇴비화 공정 역시 방사선이 갖는 강력한 멸균 및 살균 능력에 의해 대장균을 비롯한 세균을 멸균시키고 발효에 유익한 미생물만을 이용하여 발효를 할 경우 발효시간을 훨씬 줄일 수 있을 것이다. 이와 같은 방사선이 갖는 일련의 장점을 퇴비화에 적용할 경우 기존의 활용이 어려운 슬러지를 포함 전반적으로 슬러지의 퇴

비화율을 높여 재활용을 활발히 할 수 있을 것으로 전망된다.

○ 오염토양 복원

군부대 주둔지 또는 야영장, 산업단지 등의 오염으로 인해 오염된 토양의 복원 필요성이 점차 증대되고 있다. 기존의 기술은 스팀을 사용하는 물리적 방법, 그리고 미생물을 이용하는 생물학적 방법이 이용되어 오고 있다. 스팀을 사용하는 방법은 스팀온도의 한계로 인해 각종 화학물질로 구성되는 오염물질을 효과적으로 분해하여 처리하는 데에는 한계가 있다. 또한 미생물을 이용하는 방법 역시 오염원이 독성화학 물질일 경우 독성화학물질에 충분히 미생물이 순응되지 못하게 되어 죽게 됨으로 토양을 복원 할 수 없을 뿐만 아니라 오랜 시간이 필요로 된다는 문제점으로 인해 여전히 실제 오염현장에서는 사용에 제한을 받아오고 있다. 방사선은 토양에 함유된 오염물질에 바로 조사할 경우 오염물질과 직접 반응하여 무

해한 물질로의 전환이 가능하고, 오염물질을 추출방식에 의해 추출할 경우 추출액을 방사선으로 처리가 가능하여 타방식과 비교하여 보다 용이하게 수행할 수 있을 것이다.

○ 병원 폐기물 멸균

병원에서 발생하는 폐기물은 적출물, 플라스틱류 등을 포함하여 매우 다양하다. 이들을 처리하는 방법으로는 소각과 매립방식을 이용하고 있다. 소각을 하는데 있어서는 가급적 플라스틱류를 제외한 유기물류와 적출물 등을 소각을 하고 나머지는 매립을 선호하고 있다. 이에 따라 선별작업을 필요로 하게 되고 자연스럽게 선별작업자들은 병원성 세균들에 노출되어 감염의 위험을 안게 된다. 또한 매립을 할 경우에도 멸균 없이 그대로 매립을 할 경우 매립지가 병원성 세균들의 서식처로 될 가능성이 많아 이들을 효과적으로 멸균할 수 있는 기술의 개발은 필수적이다. **KRIA**

