

환경보존을 위한 방사선 및 방사성동위원소의 이용



진준하

한국원자력연구소
방사선응용실장

방사성동위원소와 이로부터 방출되는 방사선은 인간의 건강을 위협할 뿐 아니라 우리의 자연환경에도 심각한 위해를 끼치는 것으로만 일반인들에게 인식되어 있다. 이러한 인식들은 상당히 과장되어 있는 경우가 대부분이다. 우리가 원자력기술이라는 예리한 도구를 잘만 사용하면 이러한 일반인의 우려를 완전히 불식 시키고, 인간의 삶의 질 향상에 크게 기여할 수 있다. 방사선 및 방사성동위원소가 기초과학 및 여러 산업분야에서 많이 이용되고 있는 것은 다른 기술로는 대체하기 어려운 이 기술 고유의 장점과 특징이 있기 때문이다.

방사선 및 방사성동위원소는 물리학, 화학, 생물학, 농학, 의학 등 기초학문의 발전에 크게 기여해 왔으며, 방사선조사 이용기술, 추적자 이용기술, 비파괴 검사기술, 응용계측기술, 방사화분석기술 등 많은 공업적 이용기술들이 거의 모든 산업분야에 다양하게 활용되고 있다. 대부분의 방사선 및 방사성동위원소 이용기술은 에너지소비와 공해물질의 발생을 대폭 감소시켜 환경보존에 간접적으로 기여

하기도 하며, 몇몇 기술은 환경보존에 직접적으로 사용되기도 한다. 이제 방사선 및 방사성동위원소가 환경보존을 위해 어떻게 사용되고 있는가에 대하여 개략적으로 기술하고자 한다.

1. 방사선을 이용한 공해물질 처리기술

1) 배연처리

석탄, 석유의 연소나 쓰레기 소각시 발생하는 아황산가스(SO₂) 및 질소산화물(NO_x)을 전자선가속기를 이용하여 제거하는 기술이다. 이 기술은 기존의 배연 처리기술에 비해 몇 가지 장점을 가지고 있다. 첫째 이 기술로 SO₂ 및 NO_x를 동시에 고효율로 제거할 수 있으며, 공정제어가 간단해 배연발생량에 따른 공정조정이 용이하다. 또 건식공정이므로 습식공정에서 발생하는 2차공해물질이 생성되지 않을 뿐 아니라, 제거된 SO₂ 및 NO_x를 비료로 활용할 수 있으며, 기존의 공정에 비해 설치비 및 운영비도 적게 든다.

이 분야는 1970년대부터 일본, 미국, 독일,

폴란드 등에서 그동안 18개의 pilot plant를 이용하여 실용화를 위한 연구개발을 진행해 왔다. '86년부터는 국제원자력기구(IAEA)가 주관하여 국제연구협력사업 등을 추진해 왔으며, 현재 우리나라를 비롯한 세계 여러나라가 협력하여 폴란드의 Pomorzany 화력발전소에 최초로 처리용량 300,000m³/hr 규모의 실용시험시설의 건설을 추진중이다. 이 사업에는 약 1900만불이 투자될 예정이며 3~4년간의 건설 및 가동시험을 거친후, 그 경험을 이용하여 다른나라에의 기술보급에 나설 계획이다.

우리나라에서도 '93년부터 3년간 삼성중공업(주) 중앙연구소가 주관이 되고 삼성중공업, 삼성엔지니어링 및 원자력연구소가 참여하여 공업기반기술개발사업과제로 이 분야의 연구를 수행하였고, 현재도 삼성중공업(주) 중앙연구소와 한국전력이 이 기술의 실용화를 위한 연구를 추진 중이다.

2) 오니(Sewage Sludge) 처리

이 기술은 폐기물을 유익한 자원으로 변환시켜 활용할 수 있게 하는 환경에 매우 유익한 기술이다. 분뇨와 하수처리장에서 생성되는 오니를 퇴비로 활용하면 폐기물의 양도 줄이고, 토양의 산성화를 방지할 수 있는 등 여러가지 이로운 면이 있지만, 병원균과 기생충이 동식물을 매개체로 하여 다시 사람에게 되돌아오게 되는 보건상의 문제점 때문에 오니가 자원으로 활용되지 못하고 있다.

방사선에 의한 오니처리기술은 감마선이나 전자선을 오니에 조사하여 병원균과 기생충을 살균한 후, 발효시켜 안전한 퇴비로 활용할 수 있게 하는 기술이다. 5kGy 정도의 방사선만 조사해도 대부분의 대장균이 사멸되며, 발효에 소요되는 시간도 1/3~1/4로 단축된다. 이 방법은 다른 공정에 비해 에너지가 적게 소요되며 공정이 단순하고 연속공정으로 멸균시킬 수 있는 장점이 있다.

독일에서는 '73년부터 270ton/day 규모의 상용시설을 운영해 왔으며, 인도, 캐나다, 미국, 일본 등에서도 방사선오니처리시설이 운영되고 있다. 또 태국, 인도네시아, 소련 등 개도국에서도 실용화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 캐나다의 Nordion사에서는 Co-60을 이용한 슬러지 처리시설을 설계개발하여 보급에 힘쓰고 있다.

3) 상, 하수처리

현재 하천, 호수, 해양 등의 수질오염은 매우 심각한 상태에 놓여있다. 이를 개선하기 위해서는 오염의 발생원을 줄이고 폐수처리시설을 늘려야 할 것이다. 그러나 에틸렌글리콜, 트리클로로에틸렌 등 많은 유기독성물질은 활성오니법과 같은 기존의 방법으로는 처리가 어려운 경우가 많아, 보다 더 효과적인 처리방법이 요구되고 있다. 방사선을 이용한 상수 및 하수의 처리법은 이러한 공해물질들의 처리에 장점이 있어, 일본, 미국, 독일 등 선진국에서 1970년대부터 연구되어 왔으며, 세계적으로 환경문제가 심각해짐에 따라 신기술로서 그 개발결과가 주목되고 있다.

방사선을 조사하면 물이 분해되어 이온, 라디칼 등 활성물질이 생성되고, 이것들이 폐수 중의 공해물질과 작용하여 분해반응을 일으키게 된다. 이에 따라 독성유기물질은 물론 염색폐수도 방사선분해에 의해 처리할 수 있다. 방사선공정을 응집법, 활성탄법 등과 병행하여 사용하면 더욱 효과적인 것으로 알려져 있다. 이 방사선공정은 병원균 및 기생충을 멸균하는 부수적 효과도 있어 새로운 폐수처리 기술로 주목을 받고 있다. 이 방법에 의해 처리된 물은 병원균이 없으므로 화장실, 정원용수 및 냉각용수 등 중수(中水)로 재사용될 수 있어 경제성을 높일 수 있다.

상수에도 방사선을 조사하면 색깔, 냄새, 탁도 등을 개선함과 동시에 살균을 시킬 수

있을 뿐만 아니라, 염소처리법에 의해 생성될 수 있는 발암성 유기할로겐화합물도 대폭 감소시킬 수 있다.

2. 환경에 우호적인 방사선이용기술

방사선이용기술에는 이상에서와 같이 방사선을 써서 직접 공해물질을 처리 또는 제거하는 기술이 있는 한편, 기존의 기술을 방사선기술로 대체하므로써 공해물질의 발생을 원천적으로 감소시킬 수 있는 환경에 우호적인 기술분야도 많이 있다.

1) 도장(Paint)의 전자선 경화기술

일반 도료는 다량의 용매(solvent)를 함유하고 있어, 금속이나 목재에 바른 후, 용매가 증발될 때까지 기다려야 하며, 필요한 경우 열을 가해 경화시킨다. 방사선경화용 도료는 용매 대신에 고분자의 원료물질인 단량체(monomer)를 사용하여 도료를 만든다. 이 도료를 도포한 후 전자선가속기로 방사선을 조사시키면 순간적으로 중합반응이 일어나 즉시 도막이 경화된다. 이 방법은 열에너지 및 용매가 필요하지 않으므로 자원이 절약되며, 용매의 확산에 의한 공해문제가 야기되지 않을 뿐만 아니라, 건조를 위한 시간 및 공간이 필요치 않아 생산공정이 단순 고속화된다. 또, 이렇게 생산된 도막은 내후성, 내약품성 등이 우수하다. 현재 선진국에서는 강판, 합판, 석고보드, 종이 등의 도장에 이 방법이 실용화되었으며, 근래에는 자기테이프 및 플로피디스크의 자성체 코팅, 인쇄 및 접착테이프의 생산에도 전자선가속기의 이용이 증가되고 있다.

세계적으로 도장공정에서 약 5백만톤, 인쇄잉크에서 약 1백만톤 등 6백만톤 이상의 막대한 양의 용매가 사용되어 대기를 오염시키고 있다. 기존의 공정을 방사선기술로 대체하

면 이러한 공해확산을 대폭 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 에너지 소비도 열경화법에 비해 1/100~1/500에 불과해 막대한 양의 이산화탄소의 방출을 억제할 수 있어 환경보존에 크게 기여할 수 있다.

2) 방사선 멸균

의료용품은 가열에 의한 열 멸균법과 에틸렌옥사이드 등에 의한 화학적 멸균법이 이용되고 있다. 열에 의한 방법은 플라스틱 등과 같이 내열성의 한계가 있어 적용 불가능한 것이 많을 뿐만 아니라, 대량의 에너지를 필요로 하며, 화학적 멸균은 에틸렌옥사이드 잔유물이 인체 및 환경에 해를 끼치므로 선진국에서는 그 사용의 규제가 심하여 대부분 방사선멸균법으로 대체되었다.

방사선멸균에는 대부분 Co-60 감마선원을 사용하는데, 감마선의 높은 투과력은 다른 멸균법에 비해 여러가지 장점을 가지게 한다. 즉 제품의 개별포장은 물론 박스포장까지 한 상태에서 내부까지 방사선이 투과되어 멸균시킬 수 있으므로 제품의 생산공정이 단순해지고 생산비가 절감된다. 또 상온에서 멸균처리하므로 열에 약한 플라스틱 제품이나 포장재도 손상 없이 멸균할 수 있으며, 연속공정으로 대량멸균이 가능하다. 방사선멸균 대상품목은 대부분 일회용 의료용품으로 플라스틱주사기, 수술장갑, 껌, 붕대, 카테타, 안약병 등 매우 다양하고, 몇 가지 의약품도 엄밀한 품질검증을 거쳐 방사선 멸균되고 있다. 열멸균법과 가스멸균법을 방사선멸균법으로 대체하면 에너지절약은 물론 발암물질인 에틸렌옥사이드가스의 확산을 막아 환경보존에 기여할 수 있다.

3) 식품의 방사선 조사

식품분야에서는 살균 및 발아억제에 방사선이 이용된다. 살균은 방사선멸균과 마찬가지로

지로 다른방법으로 살균이 어려운 건조식품 등 여러가지 식품에 소량의 방사선을 조사하여, 균의 숫자를 규정치 이하로 감소시키는 방법이다. 발아억제는 감자, 양파, 마늘 등과 같은 싹이 나기 때문에 보존이 어려운 식품에 소량의 방사선을 조사하여 씨눈이 발아되지 못하게 함으로서 보존기간을 늘리는 기술이다. 식품의 방사선조사는 국민 건강과 밀접한 관계가 있으므로 방사선조사 대상 품목에 대해 엄격한 안전성실험을 거쳐 조사품목 및 조사선량을 허가해 주고 있다. 우리나라에도 마늘, 양파, 버섯등과 건조된 조미료등 30여 개품목이 정부의 허가를 받아 방사선처리되고 있다.

방사선조사법은 식품의 부패, 변질 및 발아를 방지함으로서 간접적인 식량증산효과를 가질 뿐만 아니라 식품 폐기물의 양을 감소시키고, 또 종래에 식품가공을 위해 사용되던 에틸렌옥사이드가스를 사용하지 않게 됨에 따라 환경보존에 기여한다. 우리나라에서도 1989년부터 식품가공에 에틸렌옥사이드가스의 사용이 전면 금지되었다.

4) 천연고무수지의 방사선가교

천연고무수지는 수술장갑, 가정용 고무장갑, 카테타, 콘돔, 풍선 등의 원료로 사용된다. 고무나무에서 채취한 수지로부터 이와 같은 천연고무제품들을 제조하기 위해서는 필수적으로 가황공정(vulcanization)을 거쳐야 한다. 가황공정에서는 유황 및 dithiocarbamate와 같은 촉진제가 첨가되는데, 이 첨가물로 인해서 알레르기, 피부습진 등이 일어날 수 있을 뿐만 아니라 가황반응중에 발암성물질도 생성되는 것으로 알려져 있다.

방사선을 사용하면 유황이나 촉진제를 사용하지 않고도 고무분자 사이의 가교반응(cross-linking)을 일으킬 수 있다. 따라서 방사선법으로 생산된 고무제품은 유황, 가교촉

진제, 산화아연 등이 첨가되어 있지 않으므로 피부독성이 없고 발암성물질이 생성되지 않을 뿐 아니라, 폐기물 소각시 이산화황 등 공해물질이 발생되지 않고, 자연에서 쉽게 분해되므로 환경보존에 많은 도움이 된다.

5) 해충방제

동물에 적당량의 방사선을 조사하면 생식기능이 없어지는 불임상태를 만들 수 있다. 농산물, 임산물 등에 기생하는 해충을 방제하는데 이러한 방사선불임효과가 이용된다. 대량의 대상해충 숫자들을 키워 교미기에 불임선량의 방사선을 조사한 후 자연에 방출시킨다. 자연산 정상해충이 방출된 불임해충들과 교미를 하게 되면 알을 낳을 수 없으므로 그 해충의 번식이 그만큼 감소하게 된다. 이러한 방법을 사용하면 대량의 살충제를 사용하지 않고도 효과적으로 해충을 구제할 수 있어 환경보존에 기여할 수 있다.

6) 기타

이상의 방사선이용기술외에도 중금속포집제 생산기술, 테프론분말 제조기술, 가교전선 제조기술, 가교고무타이어 제조기술 등도 폐기물을 활용하거나 그 발생량을 감소시키므로 환경보존에 기여할 수 있는 기술이다.

3. 환경보존을 위한 분석도구로서의 원자력 기술

1) 추적자 기술

어떤 물질의 거동을 추적하기 위해 염료, 형광물질 등 기존의 추적자 대신에 방사성동위원소를 이용하면 방사선의 강력한 투과력 등 여러가지 특징 때문에 기존의 기술로는 어렵거나 불가능한 실험도 쉽게 수행할 수

있다. 일찌기 방사성동위원소추적자는 의학, 생물학, 농학, 화학 등 기초분야에 물질의 이동 및 대사의 연구에 폭넓게 활용되어 왔다. 근래에 석유, 화학 등 여러 산업이 발달하고, 특히 대규모의 장치산업이 등장함에 따라 선진국에서는 방사성동위원소추적자의 산업적 이용기술이 활발하게 연구활용되었다. 그 결과 유속 측정기술, 체재시간 분포 측정기술, 부피 측정기술, 혼합도 측정기술, 유로 막힘 탐사기술, 누설 탐사 기술, 증류탑 검사기술, 마모도 측정기술, 부식 측정기술 등 여러 가지 방사성동위원소추적자의 공업적 이용기술이 개발되었다. 이 기술들은 화학, 석유산업은 물론 제지, 시멘트, 금속, 에너지, 자동차, 철광 등 거의 모든 산업분야에서 생산시설의 고장 진단 및 최적화를 위해 긴요하게 활용되므로써 현대의 산업발달에 크게 기여하였을 뿐만 아니라, 에너지 절약 및 환경공해 억제 등에 기여하고 있다.

· 환경분야의 추적자 이용기술도 근래에 환경문제에 관한 관심이 높아지면서 이 기술에 대한 필요성이 일층 증대되고 있다. 해안의 모래유실, 연안 항로의 심도유지 등을 위해 바다 밑 모래의 이동을 추적하는 기술 및 준

설물 투기위치의 적정성 평가기술 등이 이용되고, 하천이나 해양에서의 공해물질 및 침적물의 추적기술, 하천유량 측정기술 등이 환경보존을 위한 중요 정보를 얻기위한 목적으로 이용되고 있다.

2) 방사화분석기술

물이나 대기중의 중금속 유해물질 등은 아주 미량만 존재해도 유해한 경우가 많다. 특히 공기중의 분진에 포함되어 있는 유해물질 측정은 시료의 양이 작고, 농도도 매우 낮은 반면 분석 대상 원소의 수는 많기 때문에 기존의 방법으로 만족할만한 분석결과를 얻기가 대단히 어렵다. 방사화분석기술을 이용하면 밀리그램보다 작은 소량의 시료로도 여러 가지 원소의 함량을 동시에 분석할 수 있다.

시료를 원자로에 넣어 중성자를 조사시키면, 핵반응을 일으킨 각 원소들은 방사선을 방출한다. 각 원소마다 고유의 에너지를 가진 방사선을 방출하며, 그 방사선의 세기는 시료 내에 존재하는 그 원소의 양에 비례하므로, 각 에너지에 따른 방사선의 세기를 측정하여 시료의 성분을 분석할 수 있다.

잡 관!

역대 월드컵 대회수입

구분	개최국	아르헨티나	스페인	멕시코	이탈리아	미 국
		1978년	1982년	1986년	1990년	1994년
총 수입		36,864	55,025	79,583	159,891	235,000
TV방영권수입		12,896	18,619	26,999	67,137	91,000
입장권수입		15,581	19,124	27,550	53,003	84,000
광고수입		8,108	17,186	24,975	39,752	60,000

단위 : 천달러