



방사선 및 방사성동위원소 이용산업의 활성화(1)

제 1 절 현황과 문제점

1. 국외의 산업화 현황

가. 공업이용

(1)방사선에 의한 고분자재료 개발

방사선을 이용하면 고품질의 고분자제품을 가공할 수 있기 때문에 방사선이 고분자 개질 분야에 광범위하게 활용되고 있다. 그 중에서도 가교전선, 타이어가교, 열수축성 튜브, 폴리에틸렌 폼(단열재), 전지격막, 점착테이프 등이 대표적인 품목이고, 최근에는 기능성 재료, 생체재료 등에 대한 연구결과가 산업화로 연결되고 있다.

미국 Raychem사가 방사선 가교기술을 이용하여 개발한 고분자 스위치는 반영구적으로 사용가능하기 때문에 사용량이 기하급수적으로 증가되고 있다. 일본 원자력연구소에서는 규소계 세라믹 섬유 제조, 반도체 청정 실용 유해가스 흡착제 제조, 폐불소수지 분말 화기술 등을 개발하여 기업체에 기술 이전,

현재 이들 기술이 상업적으로 활용되고 있다. 또한 일본의 TDK사가 전자선 경화방식으로 고밀도형 플로피디스크를 생산하고 있다. 일본과 말레이시아의 공동연구 결과를 토대로 방사선에 의한 라텍스 가황시설을 완공하여, 무공해 콘돔이나 소각시 유해한 SO₂ 가스가 배출되지 않는 장갑을 제조하고 있다.

최근에는 가교제나 화학개시제를 사용하지 않으면서 품질이 우수한 하이드로겔 제조기술이 개발되어 상처 치료용 드레싱 재료로 활용되고 있고, 효소, 균주, 항암제, 홀몬 등의 의약품을 저온에서 고정화하는 연구도 진행되고 있다. 이와 같이 방사선을 이용한 재료 개발은 품질의 우수성 때문에 상용화로 직접 연결되는 경우가 많아서 선진국에서는 연구 투자를 확대하고 있는 추세이다.

(2)방사성추적자 이용기술

석유, 화학 등 여러 산업이 발달하고, 대규모의 장치산업이 등장함에 따라 선진국에서는 방사성동위원소추적자의 산업적 이용기술



이 활발하게 연구되었다. 그 결과 유속 측정 기술, 체제시간분포 측정기술, 부피 측정기술, 혼합도 측정기술, 유로 막힘 탐사기술, 누설 탐사기술, 증류탑 검사기술, 마모도 측정기술, 부식 측정기술 등 여러 가지 방사성동위원소추적자의 공업적 이용기술이 개발되었다. 이 기술들은 화학, 석유산업은 물론 제지, 시멘트, 금속, 에너지, 자동차, 철강 등 거의 모든 산업분야에서 생산시설의 고장 진단 및 최적화를 위해 긴요하게 활용됨으로써 현대 산업발달에 크게 기여하고있다.

영국, 미국, 호주, 프랑스 등 선진국에서는 개발된 기술들이 산업에 활발하게 이용됨에 따라 추적자기술 용역업체인 Synetix, Trutecc사 등이 산업계에 추적자기술 용역을 제공하고 있다. 또한 인도, 말레이시아, 인도네시아, 파키스탄, 중국 등 아시아 개도국 및 폴란드, 체코 등 유럽의 여러 나라에서는 국가 원자력연구소가 추적자기술을 확보하여 산업계에 기술을 제공하고 있다.

국제원자력기구(IAEA)도 추적자의 기술을 보급하기 위해 80년대 초반부터 많은 노력을 기울여 왔다. 최근 환경에 대한 관심이 고조됨에 따라 해안 환경보존 및 지속 가능한 개발을 위한 방사성추적자기술이 과제로 부상되고 있으며, 공업적 추적자이용기술도 컴퓨터 및 전자기기의 발달에 힘입어 최근에도 새로운 기술이 속속 개발 활용되고 있다.

(3)방사선이용 환경처리기술

방사선을 이용한 환경기술개발은 대기, 수질, 폐기물 분야로 분리되어 산업화가 추진되어 오고 있다. 1991년 일본과 폴란드 그리고 IAEA와 공동으로 폴란드에 방사선을 이용하

여 화력발전소로부터 배출되는 NO_x와 SO_x 그리고 HCl의 제거 및 재활용을 위한 pilot plant 건설 및 운전을 성공리에 완료한 후 이를 바탕으로 1999년에는 중국의 한 화력발전소에 실규모 plant 건설을 완료하여 지금 운영 중에 있다. 2000년 일본원자력연구소에서는 방사선을 이용하여 휘발성 유기오염물질 정화를 위한 시범시설 개발을 착수하여 지금까지 계속 연구 중이며, 소각장에서 발생하는 다이옥신을 방사선을 이용하여 제거할 수 있는 시범시설 설치 중에 있는데 2001년 후반부터 시운전할 예정이다.

수질오염물질 정화는 1983년 구소련에서 유해화학물질인 네칼(neckar)로 오염된 지하수를 방사선으로 정화하기 위한 실규모 plant를 설치 운전한 이후 오수 및 폐수처리에 관한 pilot 규모의 연구를 계속해 오고 있다. 오스트리아에서는 지하수 중의 TCE, PCE와 genotoxic compounds 분해 제거를 위한 시범시설을 개발하였다.

폐기물처리 분야에서는 1984년 인도에서 방사선을 이용하여 하수 슬러지를 퇴비로 재활용하기 위한 실규모 plant를 설치하여 지금까지 운전 중이다. 미국에서도 방사선을 이용하여 도시 하수 슬러지 정화 및 살균을 위한 pilot plant를 설치하여 연구중이며, 1994년에는 다이옥신으로 오염된 토양을 복원하기 위한 pilot plant를 설치하였고, 휘발성유기물로 오염된 토양을 방사선으로 처리하기 위한 pilot plant도 설치하여 연구중이다.

(4)방사선 응용 계측

선진국에서는 방사선 계측기 자체 뿐 아니라 방사선 응용 계측/제어 시스템의 산업화가



이미 성숙기에 접어들고 있으며, 방사선 응용 계측기를 산업용으로 활용하여 제품의 품질 향상, 원가절감, 에너지 절약 등 산업기술 발전에 많은 기여를 하고 있다. 액면, 두께, 밀도, 성분, 습분, 분진, 단위중량 측정기 등이 석유, 가스, 화학, 철강, 금속, 광업, 제지, 플라스틱 산업 등 각종 분야에 폭 넓게 활용되고 있다. 또한, 발달된 컴퓨터 및 전자회로 기술을 이용하여 내구성, 정밀도, 효율을 향상시키려는 많은 연구가 이루어지고 있다. 효율이 더 높고, 해상도가 우수하면서 상온에서 운용 가능한 검출기가 산업화되고 있으며, 저선량의 방사선원을 이용한 계측장비가 개발되고 있다. 반도체 기술을 이용한 첨단 검출기를 이용한 방사선 계측기의 산업화 시대가 열리고 있으며, 의료용, 산업용 응용 계측기에 적용하고자 개발 경쟁에 돌입한 상태이다.

(5)비파괴 검사 기술 개발

원자력발전설비, 조선 등과 같은 대형 구조물의 건전성 평가에서부터 반도체 재료기술 개발과 같이 미소한 부품에 대한 내부 상태의 불균일성 평가에 이르기까지 선진국에서는 기존의 X선, (선을 사용한 검사에서도 영상처리 및 실시간 디지털 RT기술 등 특수 검사 기술을 개발하여 현장에 적용하고 있다. 또한 싸이클로트론 등 다양한 선원 개발을 통한 검사 기술도 일반산업에 활용하기 위하여 기술 개발을 활발히 하는 등 신 기술 개발의 수요 및 개발 인력의 층이 두터움을 알 수 있다. 이제까지 의료용에서 CT로만 널리 알려진 computer aided tomography (CAT)의 경우에도 단순 필름 영상만을 제공하는 RT보다는 구조물 내의 각 단면의 형상 및 상태에 관

한 정보를 상세하게 제공해 줄 수 있다는 면에서 일반산업에도 적용 가능성이 높아져오고 있으며 특히 영국의 AEA Technology와 Lawrence Livermore National Lab. 같은 미국의 우수 국립 연구소에서 이를 위한 연구 개발에 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다.

(6)원자력발전소 유기재료의 안전성 평가 기술 개발

선진 외국의 경우 일찍이 원전유기재료의 안전성에 대한 연구가 추진되어 원자력발전소 케이블의 열화평가기술을 확보하고 있으며 실용화가 추진되고 있다. 실용화와 관련하여 BNL의 노후화 평가기술개발, NRC의 Nuclear Plant Aging Research Program, Westinghouse의 Electric Equipment Degradation Assessment Program 등이 있으며, 독일의 케이블 수명예측연구 (Siemens AG/KWU)와 스웨덴 DNV Ingemansson AB의 절연재료 및 피복재료의 인공 열화 방법의 개발 및 영국 AEA Technology의 케이블의 수명관리가 있다. 일본의 경우, 수명저하 가속요인, 시편과 실제 재료 사이의 물성연구가 JAERI에서 수행된 바 있으며, Bhabha Atomic Research Center에서 계측제어 케이블의 열화 진단 및 감시 연구가 진행되고 있다. IAEA의 경우, 열화평가를 하기 위하여 상이한 온도 및 선량율에서 얻어진 시험결과를 적용할 수 있는 중첩원리 방법이 추진되고 있다. LOCA 시험 및 검증 기술과 관련하여, 정상 운전시와 시험시의 선량율의 차이와, 열 및 방사선 피폭의 단계열화시험과 동시열화시험, 내방사선



시험시 전선재료의 허용굴곡경 문제점에 대한 연구와 최근 비파괴 노후화 검증 기술개발이 BNL에서 추진되고 있다.

나. 농업적 이용 분야

(1) 방사선 유전육종 기술

20세기에 이어 21세기에도 우리들이 해결해야 할 가장 큰 문제는 식량과 에너지, 그리고 환경 문제이다. 세계 인구는 이미 60억을 넘어섰고 2050 년경에는 두 배 이상이 될 것이라고 전망된다. 세계의 식량사정은 현재에도 여유가 그렇게 많지 않은 상태에서 50년 후에는 2배의 식량을 생산하지 않으면 농토가 넓은 몇몇 국가 이외는 식량의 파동이 일어나게 되고 이로 인한 문제로 식량의 무기화가 대두되게 될 것으로 예측되고 있다.

선진국뿐만 아니라 개발도상국에서는 원자력연구기관이 오래 전부터 방사선 및 방사성동위원소를 이용한 농업적 이용기술을 개발하고 관련 전문인력을 육성함으로써 유전육종, 생명공학, 농업미생물, 작물의 영양생리, 토양비료, 가축생리, 농림자원의 병충해관련 생리 생태, 방사선 조사에 의한 식품의 저장성 개량, 기능성 식품 및 생물공정개발 등의 일부분에 대하여 이미 산업화가 이루어졌다.

세계적으로 방사선 및 방사성 동위원소를 이용한 돌연변이 유전 육종에 의해 육성된 신품종은 2,000여 품종에 이르고 있으며, 직접 품종으로 활용하지 못하는 각종 변이 개체들은 특수한 형질 개량을 위한 유전자원으로 활용하여 교배육종법에 의한 새로운 품종을 개발하는 데에도 공헌하고 있으며, 또한 곤충의 수컷에 방사선을 쬐어 불임을 유기 시켜 해충을 구제하는 방법은 미국에서 이미 실용화되

어 산업적으로 활용되고 있다. 섬유질과 전분의 생물자원을 발효시키는 미생물을 활용한 에탄올 발효나 폐농림 자원의 재활용에 관련된 각종 연구들도 산업화를 위한 기술개발이 꾸준히 추진되고 있으며 이들 산물의 이용 가능성이 매우 높게 평가되고 있다.

(2) 방사선이용 식품산업 및 보건산물 위생화

방사선을 이용한 조사식품 산업에서는 현재 세계 42개국에서 200개 이상의 방사선 조사시설에서 230여 종의 식품에 조사를 허용하고 있으며 지금도 조사 시설이 건설 중이거나 계획 중에 있어 식품의 방사선 조사 관련 사업은 더욱 확대될 전망이다.

또한 세계 각 국에서는 ethylene oxide 처리에 의한 부작용이나 독성 등이 밝혀짐으로 이의 대체 방법으로 감마선 조사에 의한 병원균의 살균을 권장하고 있어 선진국에서는 계속하여 이에 관련된 식품산업이 활발하게 추진되고 있으며, 방사선에 의한 기능성 식품의 개발로 발암억제, 면역기능 조절, 노화억제 방사선 방어제 개발, 방사선에 의한 농산물의 발아억제 등의 기반을 확충해나가고 있다.

다. 의학적 이용

방사선의 의료분야의 이용 중 85%이상은 진단분야에 사용되는데 엑스선, MRI, 초음파 등 심장병, 뇌질환, 폐 및 신장기능검사, 암의 진단등에 사용된다.

Gamma Camera의 경우 이를 사용하는 기관은 세계적으로 약 8,500개 기관에서 20,000여대의 기계를 사용하고 있으며 이의 사용이 매년 5% 증가 추세에 있다. 이중 70% 정도는 Tc-99m을 사용한다. 미 FDA



에서는 1995년부터 Co-57, Gd-153, Am-241을 사용한 Gamma Camera를 사용할 때 투과보정을 이용한 기계를 승인해 왔다. Co-57, Ba-133, Cs-137은 방사선장비의 교정 선원으로 사용되며, 마커펜, 방사성자가 환자의 인체의 윤곽표시용으로 사용된다.

PET 센터의 경우 세계적으로 180 기관이 운영되고 있으며 총 250대의 PET 기계가 암 진단에 사용되고 있다. 이의 사용이 매년 15% 증가 추세에 있다. 가장 널리 사용되는 방사성의약품은 인체내 포도당과 유사한 거동을 하며 암세포의 물질대사를 감지하는 FDG로 PET 사용의 90% 정도를 차지한다. PET에 사용되는 방사성동위원소의 반감기가 2시간 정도로 매우 짧기 때문에 70% 정도의 센터에서는 자체적으로 방사성동위원소를 생산해서 사용한다. 싸이클로트론에서 생성된 PET용 방사성동위원소의 상업적 공급이 오스트리아, 유럽, 일본, 미국에서 증가하고 있다.

I-125, Gd-153, Am-241 선원을 사용하는 골밀도 측정기는 총 500대에 이르며 X-선 장치가 방사성동위원소를 대신하면서 동위원소의 사용량은 감소하는 추세이다.

혈액, 소변, 타액, 체액에서 효소, 홀몬, 스테로이드 같은 소량을 측정할 때 H-3, Co-57, I-125등의 방사성동위원소를 사용해 당뇨, 갑상선 질환, 고혈압 등의 질병을 검사하기도 하는데 최근에는 화학면역검사법, 효소면역검사법등이 방사면역검사를 대체하고 있는 추세이다.

I-131을 갑상선기능항진증이나 갑상선암 치료에 사용하고 있으며 P-32, Y-90, Er-169을 활액막염과 관절염 치료에 사용하고

있다. 매년 10%정도 사용이 증가되고 있다. 최근 유방암, 전립선암, 폐암의 전이에서 발생하는 고통을 줄이기 위해 P-32, Sr-89, Sm-153, Re-186을 사용해 고통을 경감시키는 치료가 개발되었다. Sn-117m, Ho-166, Re-188을 이용한 치료는 지금 연구중이다.

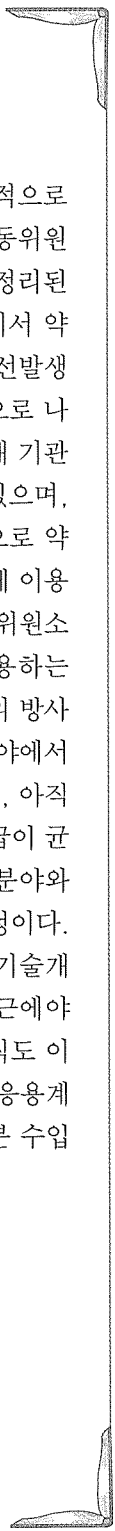
암치료를 위해 사용되는 Co 치료는 1,300 기관에서 1,500개를 보유하고 있다. 낡은 기기를 대체하는 것을 포함해 매년 70기가 새로 설치되고 있다. 최근에는 전자가속기가 Co 치료기를 대체하여 사용하는 추세이다. 그러나 최근 Co 치료기를 이용한 감마나이프는 양성/악성 종양을 억제하며, 동정맥 기형을 말살하고 신경통의 고통을 격감하는데 사용된다. 감마나이프 수술법이 급격히 개발되고 있으며 뇌종양 치료에 140여개 감마나이프 시스템이 사용되고 있다.

근접치료는 종양부근에 Pd-103, I-125, Cs-137, Ir-192 등의 방사성동위원소를 투여해 질병을 치료하는 방법이다. 세계적으로 3,000여개 종양센터에서 매년 10만건이 시행되고 있다. 매년 10%정도 증가 추세에 있다. 미국 내 연간 57,000명의 전립선암 환자가 근접치료로 치료되고 있다.

혈액에 수혈 후 GVHD라 불리는 면역반응을 줄이기 위해 방사선 조사를 시행하는데 대략 1,000여개의 조사가 사용되며 매년 70개의 시설이 추가로 요구되고 있다.

라. 동위원소생산 및 선원개발

원자료를 이용한 방사성동위원소 생산과 관련하여 선진국이 보유한 기술은 무담체 방사성동위원소 제조, 고준위 방사선원의 대량 제조, 핵분열생성물로부터의 유용한 방사성



동위원소 분리, 핵연료주기 관련기술, 화학처리 공정 자동화, 가속기를 이용한 방사성동위원소의 상용생산기술 등이다. 현재 세계적으로 이용되는 대부분의 방사성동위원소는 연구로에서 조사되어 생산되는데 세계적으로 500 여개의 연구로가 가동되고 있고 이 중 300 여개가 방사성동위원소를 생산하고 있다. 연구로, 가속기 등 방사성동위원소 생산 시설이 초기에는 국립연구기관에 설치되어 선진국은 국가적 차원에서 연구개발 한 후 민간기업으로 하여금 상용화하도록 하고 있으나 후진국은 국립연구기관이 개발과 생산을 동시에 하고 있다.

현재 선진 외국에서 개발하여 대량생산하고 있는 품목은 고 준위 방사선 조사선원, 의료용 Tc-99m 발생장치, 농축표적을 사용한 고부가치 핵종(I-125, P-33, Cr-51 등), 핵분열생성물로부터 분리된 핵종(Cs-37, Pm-147, Mo-99, Xe-133, Sr-90 등) 등 이고 이 핵종들은 방사능측정용 표준선원, 진단 및 치료용 의료선원, 비파괴검사, 자동제어 및 계측장비, 방사선조사시설, 방사성동위원소 전지, 추적자 등 다방면에 이용되고 있다. 연구개발 대상은 치료용(Re-188 발생장치, Sr-89, Sm-153, Ho-166, Re-186 등) 및 비파괴검사용(Yb-169, Tm-170 등), 및 게이지용(Gd-153, Am-241, Fe-55 등) 핵종이 주류를 이루고 있다.

2. 국내의 산업화 현황과 문제점

가. 공업적 이용

2001년도 말을 기준으로 하여 통계적으로 나타낸 우리 나라의 방사선 및 방사성동위원소의 공업적 이용 현황은 표 3.1.1에 정리된 바와 같다. 대략 1,400여 개의 기관에서 약 3,000여 개의 방사성동위원소 및 방사선발생장치를 산업적으로 이용하고 있는 것으로 나타났다. 이 기관들의 약 50%인 722개 기관이 방사선응용계측장비를 이용하고 있으며, 비파괴검사 기술 이용도 422개 기관으로 약 30%를 차지하고 있어 비교적 활발하게 이용되고 있는 것으로 나타났다. 방사성동위원소 및 방사선발생장치를 분석용으로 사용하는 기관도 15%인 216기관이었으나, 그 외 방사선조사이용, 물리작용이용 등 다른 분야에서의 이용은 모두 87개 기관에 불과하여, 아직도 우리나라의 공업적 이용은 기술보급이 균형 있게 이루어지지 못하고 응용계측분야와 비파괴검사 분야에 집중되어 있는 실정이다. 그럼에도 불구하고 국내에서는 관련 기술개발이 거의 이루어지지 못하였거나 최근에만 일부 연구가 시작되었다. 따라서 아직도 이렇게 산업적으로 가장 많이 사용되는 응용계측기기 및 비파괴검사용 장비가 대부분 수입에 의존하고 있다. **KRIA**



2002년 「방사선 및 방사성동위원소 이용진흥」에 있어서 산업의 활성화 전망

표 3.1.1. 국내 방사선 및 방사성동위원소의 공업적 이용 현황

분 야	기 술	방사성동위원소		방사선발생장치	
		업체수	기기수	업체수	업체수
계측제어	성분분석	141	190	128	211
	무게측정	12	12	-	-
	액면측정	155	193	1	2
	두께측정	120	175	38	234
	밀도측정	39	41	1	3
	수분측정	22	26	-	-
	각도측정	-	-	5	13
	평량측정	39	39	-	-
	회분측정	12	12	4	7
	농도측정	5	5	-	-
방사선조사	방사선멸균	1	1	-	-
	가교(전선, 타이어)	-	-	10	12
	반도체이온주입	-	-	6	243
	문화재	-	-	7	8
비파괴검사	비파괴검사	44	79	301	755
	식료품검사	-	-	8	12
	화물검색	-	-	69	249
핵분석기술	잔류농약분석	114	114	-	-
	수질오염분석	82	82	-	-
	유황분석	3	6	-	-
	물질분석	-	-	17	51
물리작용이용	연기감지기	4	4	-	-
	야광조명	4	4	-	-
	정전기 제거	2	2	-	-
	전구용도입선	2	2	-	-