

KAERI/RR-2271/2002

첨단 방사선 이용연구 센터 설립에 따른
관련 산업의 저변 확대 방안

Investigation for Industrial Development Related to
the Establishment of Advanced Radiation
Application Research Center.

KAERI

한국 원자력 연구소
과 학 기 술 부

제 출 문

한국원자력연구소 소장 귀하

본 보고서를 “첨단방사선 이용연구센터 설립에 따른 관련 산업의 저변확대 방안”으로 제출합니다.

2002. 11. 15

과제 책임자 : 이 영 일
참 여 자 : 김 일 권
 김 덕 승
 김 재 록
 박 대 영
 박 진 영
 서 인 석
 양 광 남
 이 정 호
 조 성 수
 채 성 기
 황 창 규

요 약 문

I. 제 목

첨단 방사선 이용연구센터 설립에 따른 관련 산업의 저변 확대 방안

II. 연구개발의 목적 및 필요성

첨단 방사선 이용연구센터가 설립됨에 따라 관련 산업이 효율적으로 발전하기 위해 민간 차원의 벤처 육성 대책 마련이 시급하다. 여러 산업분야에서 원자력 기술이 이용되고 있음에도 불구하고 이 분야의 산업화 및 협동체계 그리고 이를 지원해 줄 수 있는 제도적 기반은 아직 미흡한 실정이다.

국내 방사선 및 RI 이용 산업은 농업, 공업, 환경, 식품, 의료, 토목 등의 분야에서 다양하게 활용되고 있으나 아직 활발하지 못한 실정이다. 그러나 국내 동위원소의 자금도가 5% 미만인 점을 감안하면 내수 및 수출 시장을 포함한 이 산업의 확대 여지는 매우 큰 편이다. 또한 식품의 안전도에서도 화학처리에 의한 식품저장이 규제되면서 방사선 조사에 의한 식품위생화 및 보존기술이 보편화되고있는 실정이어서 이 분야의 활용도도 대폭 신장할 것으로 전망된다. 반도체, 비파괴검사, 농작물 품종개량, 환경공해 경감 등의 방사선 활용분야도 계속 발전의 여지가 크다. 따라서 첨단 연구소와 관련한 산업체를 발굴하여 연구소와 밀접한 관련을 맺게 하는 것은 첨단방사선이용연구센터의 활성화 및 방사선 이용산업 발전에 아주 큰 촉매 역할을 담당할 것이다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 방사선 농산물 자원 관련 산업 조사
- 비파괴검사 기술 관련 산업 조사
- 방사선이용 환경 관리, 오폐수 오염 관련 산업 조사
- 방사선 신제품 관련 산업 조사
- 방사선이용 고분자제품 산업 조사

- 방사선응용 계측 및 추적자 관련 산업조사

IV, 연구 개발 결과

-방사선 생물자원 산업

국내 생물산업 형태는 대기업, 중소기업, 벤처기업으로 분류되고 있으나 대부분 영세성을 벗어나지 못하고 있다. 생명산업에 참여하고 있는 기업은 757개 사로 집계 되고 있고 종사자는 5,000명 정도이다. 그러나 2000년 이후 관심도가 급속도로 확산되어 신설업체수가 현격히 증가 추세에 있다.

-비파괴 검사기술산업

방사성 동위원소를 이용한 비파괴 검사는 원자력 및 수화력 발전시설 검사, 가스누출 검사, 석유송유관 누출, 철도, 항공산업, 방위산업, 도로 및 교량진단등 다양한 분야에서 이용되고 있어 적용 범위를 정확히 파악하기 어려울 정도이고 현재 40여 업체가 이 분야에 종사하고 있다.

-방사선이용 환경관리

환경관리분야의 방사선 이용은 하수정화, 산업폐수정화, 염색폐액처리, 정수, 화학약품분해, 유기성폐기물활용, 토양오염, 병원폐기물 등에 활용되는 분야이나 국내 이 분야의 전문산업체는 아직 활성화 되지 못하고 있고 연구 단계에 있는 것으로 조사 되었다.

-방사선 신제품 관련 산업

방사선이용 신제품으로는 Electron beam welding장치, microscopic gamma radiography, neutron radiography등이 있다. 그러나 아직 국내 산업육성이 안된 상태이다.

-고분자 화학 산업

고분자 화학 산업은 광범위한 산업분야로서 한계를 정하기가 매우 어렵다. 고분자 합성, 가교, 물성개질, 전기, 전자, 의료, 고분자 센서 등의 산업이 급성장하고 있는 추세에 있다. 대표적인 산업체만도 70 여 업체가 운영되고 있다.

-방사선응용계측 및 추적자 산업

방사성동위원소 추적자 이용분야로는 유속측정, 공정시간계산, 부피측정, 혼합도 측정, 누설탐지, 마모도 측정, 부식 및 침적물 탐사 등의 분야에서 이용되고 있다. 국내 방사성 동위원소 취급업체는 해마다 꾸준히 증가하고 있고 현재 1930 여 업체로 조사되고 있다.

V.연구개발결과의 활용계획

방사선이용연구 센터와 산업계간의 이해증진을 원활히 하고 방사선이용기술의 조속한 확대를 관련산업 발전을 촉진시킬 것이다. 방사성 동위원소는 조사에서 나타난 것처럼 여러 분야에서 고루 이용되고 있지만 아직도 이에 대한 인식이 전반적으로 부족한 실정이어서 국민적 공감대 형성을 위하여 홍보참여와 저변 확대를 위하여 본 조사보고서가 활용될 것으로 기대된다.

SUMMARY

I. Project Title

Investigation for industrial development related to the establishment of advanced application research center

II. Objective and Importance of the Project

Over the last century, radiation application science and technology have played an increasing important role in improving human well-being in the world around us, ie. agriculture, industry, environment, health, and medical science and food science. However, society appears less and less aware of it achievement, if wise use of the radiation technology in the future is to be answered better understood not only by decision-makers but the people whose lives they touch.

III. Scope and Content of the Project

To promote and enhance the radiation application research through the cooperation between industry and Advanced Radiation Application Research Center, the related industries with radiation technology were investigated. The scope of the project is in the fields of bioresources industry, non-destructive technology, environment science, high level of chemical industry and trace technology.

IV. Results of the Project

1. Bioresources industry

The number of bioresources related industry was 757 companies including ventures and plant 5,000 peoples were engaged in the industry.

2. Non-destructive testing

Forty companies were engaged in the non-destructive testing in various industries such as nuclear power plant leaking of gas or oil, pipe, railway, aeroplane and bridge, etc.

3. Environmental industry

There was not yet industry engaged to radiation application for management of environment of air, water, soil, and other pollutions. Research in this field was only carried in KAERI.

4. New radiation technology

Electron beam welding machine, macro and microscopic gamma radiography,

neutron radiography were developed, but the related domestic industry was not yet established.

5. Polymer chemistry

Polymer chemistry was applied in various industry such as electric and electron industry, painting, computer, medical industry and texture industry. There is about 70 in domestic industries.

6. Tracer technology

Radioisotope application for tracer technology was highly active in the bioengineering, medical examination and industrial plant, etc. About 1,930 organization were engaged in the field of tracer technology.

목 차

제 1장. 서 론	1
제 2장. 본 론	4
1절. 방사선 생물자원 연구관련 산업	4
1-1. 바이오산업 의 특성	4
1-2. 생물산업의 성장추세	5
1-3. 생물산업제품의 산업화과정	7
1-4. 생물공학기술의 현황 및 규모	8
1-5. 식품산업의 현황 및 규모	10
1-6. 국내 화장품의 생산 실적 동향	18
1-7. 국내 방사선 조사 시설의 이용 실태	21
2절. 비파괴검사 기술 관련 산업	33
2-1. 비파괴검사와 방사선 투과시험	33
2-2. 방사선 투과시험의 원리 및 용도	34
2-3. 국내 방사선 투과시험의 산업 현황	34
2-4. 방사선 동위원소와 x-ray	37
3절. 방사선이용 환경관리, 오폐수 관련 산업	46
3-1. 환경관련 방사선이용 현황	46
3-2. 선진국 연구개발 동향	47
3-3. 국내 연구개발 동향	47
3-4. 국내외 기술수준 비교 분석	48
3-5. 환경관련 기술 발전 전망	49
3-6. 주요 환경변화	55
4절. 방사선 신제품 관련 산업	55

5절. 방사선이용 고분자 화학 산업	66
5-1. 반응성 폴리올레핀	66
5-2. 도료용 수지와 도막의 물성	67
5-3. Nylon 수지	67
5-4. 국내 폴리우레탄 원료 수급현황 및 전망	69
5-5. 셀룰로스 용매계	70
5-6. 리튬 고분자 전기 기술의 최근 동향	71
5-7. 다성분계 및 다상 고분자계의 미세 유변학	72
5-8. 음이온 리빙중합에 의한 고분자 나노구조제어	73
5-9. 분자 전자재료	74
5-10. Metallocene 중합촉매	76
5-11. 컴퓨터와 고분자	77
5-12. 고분자산업의 국내현황	78
6절. 방사선응용계측 및 추적자 산업	80
6-1. 방사선추적자의 이용에 따른 일반적인 고려사항	80
6-2. 방사선추적자 이용기술	84
6-3. 추적자이용사례	88
6-4. 방사선 및 방사성동위원소의 공업적 이용기술의 내용	103
6-6. 국내의 추적자 이용기술	105
6-7. 안전이용을 위한 제도	117
6-8. 방사성 의약품 산업	122
6-9. 방사성 동위원소 폐기물 관리	123
6-10. RI분야의 방사선 방호에 관한 기준	127
6-11. RI의 산업적 이용 활성화를 위한 KAERI의 연구성과	131
6-12. RI이용의 활성화를 위한 정책적 고려사항	134
6-13. RI 이용 산업 발전을 위한 종합의견	136
7절. 전자 가속기 제작 및 이용기술	136
7-1. 국내 전자가속기기술 현황	139

7-2. 향후전망과 육성 방안 -----	140
8절. 기타 산업 -----	140
8-1. RI 케이지 산업 -----	141
8-2. 이온 이식(Ion implantation) 전자산업 -----	141
8-3. 방사성 화합물 합성 및 방사성 의약품 산업 -----	142
제 3장. 결 론 -----	143
참고문헌 -----	144

표 목 차

표 1-1. 국내 총 제조업 생산액 중 음·식료품제조업의 비율 -----	11
표 1-2. 국내 산업대비 식품산업 비중 -----	11
표 1-3. 음·식료품산업 관련 지수 -----	12
표 1-4. 식품산업 생산실적 추이 -----	12
표 1-5. 식품제조 및 유통, 판매업체의 구성 -----	12
표 1-6. 시장별 규모별 식품제조업체 현황 -----	13
표 1-7. 95-2000년 화장품 생산실적 -----	18
표 1-8. 생산규모별 업체수 -----	20
표 1-9. 2000년 제조회사별 화장품 생산실적 현황 -----	20
표 1-10. 연도별 유형별 생산실적 (2000) -----	21
표 1-11. 식품의 방사선 조사기술 응용분야 -----	24
표 1-12. 포장재의 방사선 조사 허용선량 -----	27
표 1-13. 세계적으로 가동중인 감마선 조사시설 -----	30
표 1-14. 국내 방사선조사 식품 허가 품목 현황 -----	31
표 1-15. 그린피아 산업용 방사선조사시설 이용현황 -----	33
표 2-1. 비파괴 검사 업체 -----	38
표 2-2. x-ray 와 gamma-ray 의 비교 -----	39
표 2-3. 한국비파괴검사업체들이 쓰는 주요 핵종별 이용 현황 -----	39
표 2-4. 방사선 동위원소 Co^{60} , Cs^{137} & Ir^{192} 비교표 -----	43
표 2-5. 방사선원에 따른 Contrast상수 -----	43
표 3-1. 방사선이용 환경처리 기술개발 국내외 현황 및 추진방향 -----	49
표 6-1. 고체를 직접 중성자 조사하여 방사성추적자를 생성하는 예 -----	82
표 6-2. 추적자기술을 이용하는 화학공업 작업 스펙트럼 ¹⁾ -----	88

표 6-3. 선정된 추적자 이용현황 -----	90
표 6-4. 마모측정용 동위원소 -----	100
표 6-5. 환경 및 위생공학에의 이용 예 -----	101
표 6-6. 2000년도 RI 등의 분야 별 사용기관 수 -----	108
표 6-7. 산업분야에서의 주요용도 별 방사성동위원소 이용 현황 (1998년)	
표 6-8. 2000년도 밀봉 방사성동위원소 수입량 -----	111
표 6-9. 2000년도 비 밀봉 방사성동위원소 수입량 -----	112
표 6-10. 방사성동위원소의 하나로를 이용한 생산공급량 -----	115
표 6-11. 방사성표지화합물 제조공급 -----	116
표 6-12. 싸이크로트론 이용 방사성 -----	116
표 6-13. 방사성 의약품의 의료보험 수가 책정 -----	122
표 6-14. 2001년도 (및 '90~'01년도) 비 밀봉RI폐기물 분야별 수거량 -	127
표 6-15. 2001년도 (및 '90~'01년도) 밀봉RI폐기물 분야별 수거량 ----	127
표 7-1. 국내 전자가속기의 이용현황 (2000년 9월) -----	137
표 7-2. 국내 산업계에서의 방사선발생장치 이용현황(1998년) -----	138

그림 목 차

그림 2-1. 방사선투과시험의 종류 -----	35
그림 2-2. 방사선 투과도 -----	36
그림 2-3. ^{137}Cs 와 ^{60}Co 의 붕괴도 -----	41
그림 2-4. 전면 Shutter형 노출용기 -----	45
그림 2-5. S자형 원격조정형 노출용기 -----	45
그림 6-1. 국내에서의 RI유통절차(위; 수입RI , 아래; 국산RI) -----	120
그림 6-2. 방사성 의약품 수출입 절차 -----	121
그림 6-3. RI폐기물의 안전관리 체계 -----	124

제 1장 서 론

국내 방사선 및 방사성동위원소의 이용연구는 40여 년 간 이루어져 왔고 이용분야가 매우 광범위하다. 농업, 공업, 보건의료, 환경분야에서 널리 이용되어 왔다. 그러나 1970년 이후 원자력 발전연구에 치중하다 보니 이 분야의 연구가 미진한 상태였다. 1990년 이후 원자력중장기 연구사업이 착수되면서 다시 활성화되기 시작하였고 가칭 첨단방사선이용연구소가 설립하게 됨으로서 본격적인 연구가 이루어 질 것으로 기대된다.

방사선 조사기술은 방사선에 의해 물질 내에서 발생하는 화학적 변화를 이용하는 기술로서, 방사선에 의해 고분자 재료의 특성이 향상되거나 고분자 원료물질이 경화되는 성질을 이용하는 기술, 방사선을 이용하여 필요한 특수 기능을 가진 여러 가지 고분자 재료나 무기재료를 만드는 기술, 방사선으로 공해물질을 제거하거나 의료제품 등을 멸균하는 기술 등이 이에 포함된다. 방사선조사기술에는 이와 같이 동위원소로부터 방출되는 감마선이나 전자선가속기를 이용하는 기술들 외에 이온빔이나 중성자선에 의한 물리 화학적 작용을 이용하는 기술도 포함된다.

방사성추적자기술에는 산업시설의 고장진단과 원료 등 유체의 유동특성을 추적하여 산업공정을 최적화 하는데 이용되는 기술과, 해안이나 하천에서의 퇴적물, 공해물질 등의 거동을 추적하는 기술, 지하수 개발 등에 활용되는 추적자 기술 등이 있다. 방사선계측 응용기술에는 각종 방사선 검출기 및 계수기의 설계제작 기술과 이들을 이용한 준위측정기, 두께측정기 등 각종 응용계측기 제작 및 이용기술이 포함된다.

비파괴검사기술에는 엑스선 또는 감마선을 이용한 투과검사기술, 중성자 투과검사기술 및 이들을 응용한 단층촬영기술 등 고급 비파괴검사기술이 포함된다. 방사선 및 방사성동위원소의 공업적 이용기술에는 이 밖에도 방사선에 의한 이온화, 발전, 발열 등 물리적 현상을 이용하는 기술과 중성자조사에 의한 방사화로 시료 내에 함유된 미량성분의 정성 및 정량 분석하는 기술 등이 있다.

이 기술수목에 열거된 대부분의 세부기술들이 선진국에서는 이미 산업화되었거나 실용화를 위한 연구가 진행되고 있다. 미국, 일본, 캐나다, 프랑스 등을 비롯한 선진국에서는 방사선 및 방사성동위원소를 공업적으로 이용하는 기술개발이 활발하여 여러 산업분야에의 적용이 활발함은 물론, 동위원소나 그 이용장치 또는 방사선발생장치의 수출도 꾸준히 증대되고 있다.

식품 및 의료, 제약, 화장품 등 공중보건관련 산업의 고도화와 국제화 시대를 맞아 고부가가치의 제품을 생산하기 위해서는 원료의 안정공급, 위생적 제품생산, 효율적 제조공정, 안전한 저장·유통기술 등이 확보되어야 하며, 이를 위해 지금까지 이용되어온 가열처리, 냉장·냉동, 화약약품처리(보존제·훈증제) 등은 처리효과, 처리비용, 건전성, 환경공해 등 많은 문제점이 지적되면서 세계적으로 사용이 점차 제한을 받고 있다.

이 와 같은 산업에 있어서 원자력 기술은 방사성 동위원소부터 또는 기계적으로 발생하는 방사선 에너지를 이용하여 이들 제품의 위생화와 안전저장/유통, 가공제품의 안전성 향상, 제조공정 개선등 여러 분야에 효과적으로 활용할 수 있는 기술 집약적 분야의 하나이다.

방사선 조사 역사는 한 세기를 거슬러 올라가 약 100년 전 1896년 방사성 물질이 발견되면서 방사선 조사는 식품중의 미생물을 사멸시킬 수 있다는 가능성이 제시되었고, 1921년 방사선 조사가 육류의 기생충 오염 문제해결을 위해 미국에서 특허를 얻은 후 최초로 사용하게 되었다. 1930년에는 프랑스에서 식품의 장기안전 보관을 위해 사용되었고, 제2차 세계 대전 동안에 네덜란드에서는 긴급 구호물자인 분유와 채소류의 안전성과 저장을 위해 방사선 조사를 사용하였다. 이것이 바로 반세기전의 일로서 그 당시의 방사성 물질이 상대적으로 가격이 비쌌으므로 경제적 방사선 조사를 위한 공장 설비가 매우 제한되어 있었기 때문에 실용화는 상당히 어려운 여건이었다. 그러나 1950년대에 대량의 방사성 물질이 생산과 이용이 가능해지면서 본격적인 연구가 수행되었고 그 결과 방사선 조사기술은 1980년대에 접어들면서 안전성에 대한 과학적 뒷받침과 세계보건기구(WHO), 국제원자력기구(IAEA), 국제식량농업기구(FAO) 등의 국제기구와

선진국의 보건당국(US FDA 등)의 주도에 의해 실용화 기반마련을 위한 제2의 출발을 시작했다.

본 연구조사 사업은 첨단 방사선 이용 연구소의 연구결과를 신속하게 산업화 할 수 있도록 관련산업의 현황과 실태를 파악함으로써 연구소와 산업체간의 유기적 관계가 형성될 수 있도록 가교역할 자료가 될 것으로 기대되어 국내 관련 산업을 조사하여 보고 하려한다.

제 2 장 본 론

1. 생물자원 연구관련 산업

국내 생명 과학 산업은 대체로 영세성을 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 그러나 최근 이 분야의 관심이 급속도로 높아 가고 있고 이에 따른 바이오 벤처기업이 증가하고 있는 추세이다. 아직은 이 분야의 기업의 규모가 적고 빈약한 편으로 안정되지 못한 상태여서 산업의 시장규모, 고용인원 등에 대한 정확한 자료가 결여되어 있는 상태이다. 국내 생물산업의 형태를 대기업, 중견기업, 중소기업 또는 벤처기업으로 분류할 경우 생물산업을 전문으로 하는 대기업은 거의 없고 타산업과 겸비한 경우가 대부분이며, 중 내지 중소기업, 또는 벤처기업이 주종을 이루고 있다. 국내 생명산업 참여기업은 약 350개로 집계되고 있고 2001년의 창업 벤처의 수는 407개로 집계되고 있으나 벤처기업의 업체수의 변동이 심한 실정이다. 생물 산업분야 실업계 인력은 1999년 4,411명 2000년도는 5,000명 규모여서 평균 종사자는 10명 정도인 것으로 집계되고 있다. 연도별 바이오 벤처기업의 설립 동향을 보면 1998년까지는 바이오 벤처의 증가추세가 완만하나 1999년에 급격한 증가추세를 보였고 2000년에는 업체수가 현격히 증가하는 방향을 보여 바이오 벤처의 관심도가 급속돌 확산되고 있음을 시사하고 있다.

1-1 바이오산업의 특성

대표적인 고부가 가치·지식기반 첨단기술산업이면서 21세기의 유망 산업분야로 부상하고 있는 생물산업에 대하여 선진국은 물론 개발도상국 및 저개발국 등 세계 각 국들은 생물산업의 발전 및 성장 가능성을 감안하여 국가전략산업으로 육성하고 있으며, 세계 주요기업은 우선적으로 생물산업분야 투자를 확대하고 있는 상황이다.

첫째, 생물산업은 고부가가치를 창출하는 대표적인 지식기반산업인데, 대표적인 생물의약품의 경우 부가가치 비중이 50%를 넘는 제품도 있는 상황이다.

둘째, 첨단 기술산업 중 고성장이 전망되는 미래 유망산업으로 미국의 DRI사

에서는 2000년대 생물산업의 연평균 증가율을 타 첨단기술산업분야 보다 월등히 높은 20%대로 전망하고 있다.

셋째, 인간 생명과 환경에 적합한 산업이며, 의료·식량·에너지·환경 등의 난제를 해결하여 삶의 질을 높이고 복지수요를 충족시킬 수 있는 산업이다.

넷째, 부존자원이 부족하고 고급인력 및 지식 수준이 높은 우리 여건에 적합하며, 기술개발 및 국제경쟁력 강화로 catch-up이 가능한 산업이다.

제품 베이스로 분류하는 기존 산업에 비해 생물산업은 생물공학기술 적용여부에 기초하는 Technology-based Industry로서 타 산업과는 특성이 다른 새로운 형태의 산업이다. 또한, 화학·의약·식품·환경·전자 등 응용분야가 매우 다양하고, 정의 및 범위 적용이 각 국가마다 조금씩 상이하여 현재까지 표준산업분류가 되어 있지 않은 산업이다. 미국 밴더빌트대학교 리처드 올리버 교수는 저서인 “바이오테크 혁명”에서 산업패러다임의 변화가 제 1의 물결 농업혁명, 제 2의 물결 산업혁명, 제 3의 물결 정보화혁명, 제 4의 물결 바이오 혁명이라고 밝히고 현재 산업차원에서 국가경쟁력 핵심산업으로 부상하고 있는 생물산업의 중요성을 강조하고 있다.

1-2 생물산업의 성장추세

생물산업분야는 선진국은 물론 우리나라도 생물의약부분이 집중적으로 발전하여 제 1의 물결을 이루었고, 생물의약에 이어 생물화학·생물농업·바이오 식품·생물환경·생물전자·바이오 에너지·생물해양 등 여러 응용부문에서 제2의 물결을 형성할 것으로 전망되고 있다.

미국은 생물의약품 비중이 2/3를 넘고 있고, 우리나라도 1999년도 한국생물산업협회의 국내 생물산업 실태조사에서 복수응답을 합계한 307개 사 중 참여기업 수 기준의 구성비가 가장 큰 분야는 104개 기업이 참여 중인 생물의약부문(34%)이고, 다음은 바이오 식품(15%)·생물화학(15%)·생물환경(12%)·생물공정(12%)·바이오 에너지 및 자원(11%)이 유사한 비중을 차지하고 있다. 그러나

시장규모는 전체 생물산업제품의 63%가 생물의약품이다.

2001년 초 인간 유전체연구(Human Genome Project) 조기완성 이후에 기능유전체 및 단백질체 등 경쟁력이 우수한 Post Genome기술이 첨단기반기술분야로 부각되어 Post Genome 시대를 예견하고 있는데, 이들 Post Genome 프로젝트의 주요 내용은 다음과 같다.

- 기능유전체(Function Genomics)는 유전체 서열을 밝혀내는 Genomics 연구 결과를 이용해 초파리 등 간단한 모델 생물체, 바이오칩, 형질전환 동물을 이용한 모든 유전자의 생물학적 기능 연구
- 단백질체(Proteomics)는 유전체에 의해 발현되는 단백질체 분석
- 생물정보학(Bioinformatics)은 유전체와 단백질체 등의 정보를 저장하고 활용
- 대사공학(Metabolic Engineering)은 생체 내 대사 과정을 밝히고, 특정 대사 물질의 조절을 위한 특정 효소 확인 및 조작

또한, Post Genome 프로젝트의 파급효과는 다음과 같다.

- 보건의료분야
 - 인간 유전자 지도 완성을 통한 유전자와 세포의 기능 이해
 - 신약 및 신규 진단시약 목표 증가
 - 유전병의 유전자치료 보편화
 - 노화 기작 규명으로 수명 연장
 - 미생물의 Genomics, Proteomics, Bioinformatics 수행
 - 신규 항생제 및 항균제
 - 핵 이식 기술의 보편화
 - 세포치료, 인공장기
- 농업분야
 - 동·식물 유전자 규명으로 신규 농화학제품 개발용

- 유전자 변형 작물의 일반화로 농업생산성 극대화
- 복제동물 양산 생산성 향상

○ 화학분야

- 미생물의 Genomics, Proteomics, Bioinformatics 실시
 - 효소 및 2차 대사산물의 경제적 생산 가능
 - 다수의 화학공정을 생물공정으로 대체 가능
- 신기능 및 인공효소 발굴/개발 가능
 - 신화학물질 생산 가능

최근에 생물공학기술(BT)은 정보기술(IT) 및 나노기술(NT) 등과의 기술융합이 더욱 심화되고 있으며, 이를 이용한 제품간 융합현상도 가능하여 시장발전 또는 시장개척이 확대될 것으로 예측하고 있다.

○ BT+IT → 생물정보학(Bioinformatics)

○ BT+NT → DNA칩, 단백질칩

1-3 생물산업제품의 산업화과정

생물산업제품은 다단계의 산업화과정 및 오랜 기간을 거쳐서 상품화가 가능하며, 기업은 Market-targeted 전략을 수립하여 상업화를 추진하고 있다. 이는 크게 3단계로 구분이 가능한데, 기술개발단계는 기초기술개발·생산기술개발·제품화단계는 Scale-up 등 생산과정·임상시험 등 허가과정, 마케팅단계는 국내판매·외국수출이 해당된다.

1-3-1. 생물의약품 개발과정

미국 기술평가국(OTA)에 의하면 1개의 생물의약품 개발과 승인에 평균 2억 달러에서 3.5억 달러의 비용과 12년의 기간이 소요되므로 생물의약품은 허가기간이 매우 오래 걸리는 것이 특징적이며, 생물의약품의 개발과정을 요약하면 다

음과 같다.

- 치료제 개발 대상질환 선정 및 연구(Therapeutic Target)
- 시험생산(Pilot-scale Manufacturing)
- 전 임상시험(Clinical Evaluation)
- 임상평가(Clinical Evaluation)
 - 임상시험 1단계(Phase I): 안전성(Safety)
 - 임상시험 2단계(Phase II): 안전성 및 효능(Efficacy)
 - 임상시험 3단계(Phase III): 안전성 및 효능 조절
- 허가과정(Marketing Approval Monitoring: Phase IV)

1-3-2. 비생물의약품 개발과정

생물화학·생물환경 등 비생물의약품은 생물의약품 개발과정과 대체적으로 유사하나 보편적으로 전 임상 및 임상과정이 불필요하며, 허가과정은 제품별로 차이가 있으나 생물의약품 보다는 단계가 간소하고 기간이 덜 걸리는 상황이다.

1-4 생물공학기술의 현황 및 규모

2000년은 생물공학기술 발전에 일대 도약기라고 할 수 있다. 바이오기술은 20세기 초까지 효모, 박테리아 등을 이용한 가공식품개발 기술을 중심으로 식품 및 농업에 활용되다가, 20세기 후반에 DNA 이중나선구조의 해명을 계기로 근대 바이오시대로 접어든다. 2000년 6월 인간 유전자지도 초안이 공개되면서 21세기를 지배할 게놈바이오의 시대가 개막되었으며, 생명공학기술은 의약, 식품, 의료기기, 치료기술 등의 보건의료 전반에 막대한 영향을 미치는 기술로 자리잡았다. 따라서, 2000년도 생명공학산업에 가장 큰 영향을 미친 것은 유전체학의 대두이며, 각 산업영역에서는 포스트 게놈시대에 대비한 생명공학기술의 접목이 활발히 이루어졌다.

또한 국내에서도 바이오 벤처 창업이 활발히 이루어짐으로써, 대기업 뿐 만이 아니라 생명공학기술을 주요기술로 하는 바이오 벤처가 생물산업 영역에서 주요

한 부분을 차지하게 되었다. 이들 바이오 벤처의 적용분야는 대부분의 의약품, 기능성식품, 기능성 화장품, 의료용 진단기기 및 분석기기 등의 보건산업 영역의 대부분을 차지하고 있으며, 보건산업 전반에 걸친 파급효과가 점차 확대되어 나갈 전망이다.

1-4-1. 산업체의 특징

생물산업은 현재까지 발생국가인 미국을 비롯하여 세계적으로 표준산업분류가 되어 있지 않은 산업이므로 시장규모·고용인원 등 통계정리나 활용에 애로사항이 많은 편이며, 통계자료의 편차도 자료에 따라서 매우 심한 형편이다. 이러한 배경 때문에 국가별 또는 기관별로 발표하는 생물산업관련 데이터에 차이가 있으며, 데이터의 해당범주 및 분류배경 등을 분석해야 하고, 분석도 현실적으로 어려운 실정이다.

국내 기업들의 생물산업 추진전략 또는 사업형태는 다양하지만 3개국의 그룹으로 구분되는데, 대기업들이 중점 사업분야의 하나로 비교적 광범위하게 참여하는 경우, 중견기업들이 자사의 경쟁력이 우수한 부문에 참여하는 경우, 중소기업 또는 벤처기업이 특화된 분야에 참여하는 경우이다. 최근에는 대기업들이 생물산업제품 및 서비스가 일상화되는 바이오 사회의 구현에 대응하고 현재 유통되고 있는 제품의 규제에 대비하기 위하여 생물산업분야에 집중적으로 투자하기 시작했는데, 기존의 참여업체는 물론 신규 참여업체도 투자계획을 공표하고 있다.

중견기업들은 자사의 제품 경쟁력 강화에 노력하면서 기존 제품의 생산성 향상과 개량 또는 신규 제품의 산업화를 통한 국내 생물산업의 산업기반 확대를 위해 꾸준한 활동을 전개하고 있다. 바이오 벤처기업은 1990년대 후반부터 본격적으로 창업되기 시작했으며, 2000년 이후에 창업사례가 증가하여 새로운 아이디어의 산업화 및 신규 기술 및 제품 개발을 수행하고 있다. 이와 같이 대기업·중견기업·중소기업들은 자사의 특성에 적합한 산업화전략을 시행하면서 다양한 기술개발을 추진하여 산업화의 돌파구를 마련하고 성공사례를 창출하기 위

해 노력하고 있는데, 상호협력 및 제휴를 통한 기업 간 협력사례가 점차 증가하고 있다. 생물산업분야에 참여하고 있는 국내기업들은 공통적으로 최고 경영진의 방향 정립, 개발 아이템의 선정에 상당한 애로를 느끼고 있는 것이 현실적으로 해결해야 할 우선 과제이다.

1-4-2. 기업 참여 유형

생물 산업분야 참여 형태를 보면 1999년도 참여기업이 270개 사 이상이며, 2000년은 350개 사 이상으로 분석되고 있다. 270개 기업 중에서 생물공학 기술 개발을 수행 중인 기업은 204개이고, 참여준비 중인 기업은 8개이다. 그리고 국산 및 수입 생물산업제품을 판매하고 있는 176개 기업 중에서 국산제품만을 판매하고 있는 기업이 118개이고 수입제품만을 판매하고 있는 기업이 58개이며, 국산제품과 수입제품을 모두 판매 중인 기업은 32개로 집계되고 있다. 2000년도 참여기업은 증가했으나 유형은 유사한 양상을 보이고 있다.

1-5 식품산업의 현황 및 규모

1-5-1. 식품산업의 생산액

통계청 광공업 통계(5인 이상 사업체)에 따르면, 음·식료품 제조업은 전자부품, 영상, 음향 및 통신장비, 자동차 및 트레일러 제조업, 화합물 및 화학제품 제조업, 기타 기계 및 장비 제조업, 제 1차 금속산업에 이어 제조업 중 여섯 번째로 높은 생산액 비중을 보이고 있다. 제조업 총생산액 중 음·식료품제조업이 차지하는 비율은 '97년 이후 계속 7% 이상을 기록하고 있었다. 음·식료품제조업의 성장률을 살펴보면, '98년도에 전년대비 7.8% 성장에 이어, '99년도에도 음·식료품제조업의 총생산액은 36조 2,229억 원으로 전년대비 7.2% 증가하여 꾸준한 성장세를 보이고 있었다(표1-1).

표1-1. 국내 총 제조업 생산액 중 음·식료품제조업의 비율

(단위: 백만원)

구분	'99
제조업	479,732,889
음·식료품제조업	36,222,940
음식료품제조업%	7.6%

1-5-2. 식품산업 총생산액 추이

식품의약품안전청 식품의약품통계연보에 따르면, 식품산업 총생산액은 '99년 22조 2,600억 원으로 통계청의 음식료품제조업 총생산액 36조 2,229억원과 약 13조 9,629억 원의 차이가 나는데, 이는 통계청은 음식료품산업을 고기, 과일, 채소 및 유지가공업, 낙농제품 및 아이스크림 제조업, 곡물가공품, 전분 및 사료제조업, 기타 식품제조업, 그리고 음료제조업을 포함하는 산업으로 정의한 반면, 식약청의 통계자료는 과자류, 당류 등 가공식품에 한정하여 통계치를 산정하여 농축산물 가공제품 생산액이 배제된 것에 기인한다.

여하튼 식품의약품안전청 통계에 따른 99년도 식품산업의 성장률은 전년대비 10%로 '98년도 성장률 4%에 비해 큰 폭의 증가를 보였으나, 제조업GDP 대비 비율은 14.7%로 전년도와 유사한 값을 보였다(표1-2).

표1-2. 국내 산업대비 식품산업 비중

(단위: 십억원, %)

구분	국내총생산(GDP)	제조업 GDP	식품산업총생산액 (십억)	GDP 대비(%)	제조업 GDP대비(%)
1995	377,349	110,826	25,861	6.85	23.33
1999	483,777	153,855	22,260	4.60	14.47

음·식료품산업의 산업생산지수 및 생산자출하지수는 95년을 기준(100)으로 하였을 때, 각각 106.1과 106.3으로 IMF 이전 수준을 넘어서 지속적 성장세로 들어섰음을 보여주고 있다(표1-3).

표1-3. 음·식품산업 관련 지수

구분	산업생산지수	생산자출하지수	생산능력지수	1995=100
				가동률지수
1995	100.0	100.0	100.0	100.0
2000	106.1	106.3	102.9	101.4

식품산업의 매출액 규모로 비교하였을 때, 99년 식품산업의 총매출액은 25조 4,967억 원으로 전년대비 14.33%의 성장률을 기록하여 IMF 금융위기 이후의 슬럼프를 완전히 벗어나 96년 매출액 수준을 넘어섰다(표1-4).

표1-4. 식품산업 생산실적 추이

연도	생산액 (천원)	매출액 (천원)	신장율 (%)
1995	25,861,025,500	24,005,637,048	1.15
1999	22,259,745,483	25,496,696,327	14.33

* 식품산업=식품+식품첨가물+기구,용기,포장지

* 매출액=국내출하액+수출액

* 신장율(%)=(당해년도 매출액-전년도매출액)/전년도매출액×100

자료: 식품의약품안전청, 식품의약품통계연보

1-5-3. 식품산업체 구성

2000년도 현재 순수한 식품 및 식품첨가물의 제조·가공업체 수는 16,418개 소이나, 식품의 소분업 및 운반업 등 식품유통업체수가 6,450개소, 그리고 단체급식소등 식품판매업체가 832,667 개소로, 식품의 제조 및 유통, 그리고 판매업체까지 모두 합한 식품관련업체 수는 총 855,535개소로 나타났다(표1-5).

표1-5 식품제조 및 유통, 판매업체의 구성

구분	구분	2000년	
		업체수(개소)	백분율(%)
제조 및 유통	식품제조·가공업	16,055	1.9
	식품첨가물제조업	363	0.04
	식품소분업	4,915	0.43
	식품운반업	245	0.06
	식품보존업	166	0.02
	용기·포장류제조업	1,124	0.13
판매	식품집객업	657,392	76.84
	즉석판매제조가공업	55,486	6.49
	집단급식소	14,945	1.75
	식품판매업	104,844	12.25

식품의 제조 및 가공업체수는 99년 대비 5.6%가 증가하였고, 식품판매업은

1.4%가 증가한 반면, 식품의 소분, 운반, 보존, 포장 등 식품유통업체수는 24.2%나 증가하여 눈에 띄는 성장을 기록하였다.

식약청의 자료에 따른 식품제조업체(식품 및 식품첨가물 제조가공업, 식품기구·용기·포장업체)를 매출액 규모별로 구분하여 보면, 연매출액 규모 5억원 미만의 기업이 전체의 81%를 차지하고 있었고, 상위 61개 기업이 식품산업 전체 매출액의 51%를 차지하고 있었다. 즉, 순수식품제조업체만 고려할 때 상위 3.7%의 기업이 전체 매출액의 반 이상을 차지하고 있는 구조를 이루고 있었다. 사업장 규모별로 식품제조업체를 구분하여 보면 종사인력 4인 이하의 업체가 전체의 55%를, 10인 이내의 업체가 전체의 76%를 차지하고 있었다. 반면 종사인력 101명 이상인 업체는 전체의 2.87%에 불과한 것으로 나타나 식품제조산업체의 경우 고용인력이 적은 중소기업이 대다수를 이루고 있음을 보여주고 있다(표 1-6). 식품 등 제조가공업체의 지역별 분포를 보면, 경기지역이 3,550개소로 가장 많아 전체의 20%가 밀집해 있었다. 뒤이어 지역 당 1,000곳 이상의 식품 등 제조가 공업체를 가지고 있는 지역은 서울, 경남, 경북, 부산, 충남지역으로 나타났다.

표1-6. 시장별 규모별 식품제조업체 현황

(단위: 개소, 백만원, %)

구분	업체수	점유율	매출액	점유율
총계	11,099	100.00	18,941,930	100.00
1-4인	6,130	55.23	316,330	1.67
5-10인	3,324	20.94	426,193	2.25
11-20인	1,152	10.38	674,333	3.56
21-30인	474	4.27	551,210	2.91
31-50인	416	3.75	1,053,171	5.56
51-80인	196	1.77	1,055,065	5.57
81-100인	88	0.79	702,746	3.71
101-150인	108	0.97	1,988,903	10.50
151-200인	62	0.56	1,909,347	10.08
201-300인	52	0.47	1,971,855	10.41
301-500인	49	0.44	1,602,487	8.46
501-1000인	32	0.29	3,398,182	17.94
1001인 이상	16	0.14	3,292,107	17.38

국내 식품 산업체 현황은 다음과 같다.

기업체명	설립일	대표이사	종업원수	주소	전화번호
건영식품(주)	1973.5	임광수		서울 중구 을지로1가 101-1	02)778-6065
국제식품	1986.8	선만규	170명	서울시 서대문구 북가좌동385-17	02)375-321
그린피아기술(주)	1977	박순연		서울 강남구 도곡동 946-24	02)3462-3766
농심켈로그(주)	1981.3.1	신현수	122명	서울 강남구 역삼동 708-4	02)538-2011
대상식품(주)	1997.11.1	유시영	400명	전북순창군 순창읍 가남리 203-7	063)650-2110
대상(주)	1956.1.3	고두모	3,000명	서울시 동대문구 신설동 96-48	02)2220-9500
대신기업(주)	1972.4.1	정구희	300명	경북 경산시 진량읍 평사리54	053)852-4661
대영식품공업(주)	1984.8.3	이종록	82명	충북 보은군 보은읍 금굴리 302-1	043)543-0760
대한제분(주)	1953.11.28	장석재	370명	서울시 중구 남대문로 5가 120	02)3455-0200
동서식품(주)	1968.5.2	김용언	1,900명	인천시 부평구 청천2동 411-1	032)500-3333
동아오츠카(주)	1979.3.2	김태환	1,144명	경기도 안양시 만안구 석수2동 450-1	031)470-2114
동양제과(주)	1956.7.2	담철곤		서울시 용산구 문배동 30-10	02)710-6000
동원산업(주)	1969.4.1	강병원	3,283명	서울시 서초구 양재동 275	02)589-3000
동화약품공업(주)	1984.9.2	황규언	800여명	서울시 중구 순화동 5	02)778-4331

롯데쇼핑(주) 식품사업본부	1978.1.1	김영재	150명	서울시 서초구 서초동 1577-4	02)523-6413
롯데제과(주)	1967.3.2	한수길	5,620명	서울시 영등포구 양평동 4가 23	02)670-6114
롯데칠성음료 (주)	1950.5.9	김부곤	4,091명	서울시 서초구 잠원동 50-2	02)3479-9114
삼립식품	1945.10.	이광호	1,700명	경기도 시흥시 정왕동 1253-5	031)496-2114
삼양식품(주)	1961.8.2	전인장	2,000명	서울시 성북구 하월곡1동 82-9	02)940-3000
삼영식품원료 공업(주)	1984.3.2	정용우	17명	경기도 김포시 통진면 마송리208-2	031)987-5433
삼육식품	1981.9.1	오진규	225명	충남 천안시 직산면 판정리 320	041)5800-800
샘표식품(주)	1946.8.2	박승복, 박 진선	230명	서울시 도봉구 창동 643-6	02)901-7300
서강유업(주)	1981.6.2	김윤곤	60명	경남 사천시 사남면 월성리 421	055)852-5611
서울식품공업 (주)	1955.10.	서성훈	363명	경기도 안산시 신길동 1228	031)490-7022
서울향료(주)	1974.1.2	조병해	44명	서울시 서초구 반포동 701-7	02)517-4050
영우냉동식품 (주)	1980.11	이상돈, 유 경렬	180명	전북남원시 인월면 상우리349-5	063)636-2551
영일식품(주)	1955.10.	윤해성		광주시 광산구 안청동 727-2	062)955-0122
오뚜기라면(주)	1987.12.	이중덕	534명	경기도 평택시 안중면 용성리 산44-4	031)683-1811
일동후디스(주)	1970.8.2	이금기	190명	서울 광진구 구의동 216-8	02)453-6151
일양식품공업 (주)	1966.10.	강춘길	45명	경기도 용인시 기흥읍 보라리 356-1	031)283-3077
일양약품(주)	1946.7.1	정도연	770명	경기도 용인시 기흥읍 하갈리 182-4	031)281-7851
제일제당(주)	1953.8.1	손경식	5952명	서울시 중구 남대문로 5가 500번지	02)726-8114
종로복떡방 (주)고려당	1965.4.5		45명	서울시 종로구 종로 2가 84-3	02)733-6600
	1945년	김지정	392명	경기도 성남시 중원구 상대원동 307-2	031)7393-004
(주)고려식품 (주)고제	1983.7.1	구자연	48명	경남 진주시 상평동 55-40	056)752-1911
	1958.12.	이규홍	178명	서울시서초구 서초동 1702-	02)3477-0009
	5				

(주)광일	1966.4.1	이만영	75명	서울시 용산구 한강로 2가 112-202)796-0321	
(주)기린	1969.5.1	김미봉	1,150명	부산시 해운대구 반여동 1476-34	051)783-7830
(주)농심	1965.9.1	이상윤	5,000명	서울시 동작구 신대방동 370	02)820-7114
(주)대두식품	1983.5.	조성룡	120명	전북 군산시 서수면 마룡리 93-19	063)451-8001
(주)대신제과	1972.1.1	정수복	50명	서울시 성북구 동선동 5가 134-3	02)924-1454
(주)동남	1999.3.1	최기환	25명	경기도 평택시 청룡동 203-10	031)651-8050
(주)두산콘프로 덕츠코리아	1999.12. 17	최영돈	280명	서울시 강남구 논현동 106-7 두산빌딩 17층	02)3485-1300
(주)롯데삼강	1958.1.1	이종규	1,010명	서울시 영등포구 문래동 6가 21	02)2629-0114
(주)롯데햄/롯데 우유	1978.4.1	김두봉	1,330명	서울시 서초구 잠원동 50-2	02)3479-5114
(주)베지퀸	1999.7.2	강영원	16명	강원도 정선군 남면 무릉리 822	033)591-7050
(주)보락	1959.3.1	정기련	191명	경기도 화성군 양감면 송산리 307	031)352-6455
(주)비락	1963.3.2	조용호	230명	부산시 남구 문현동 815 한일타워12층	051)644-7171
(주)비타종합	1977.5.1	표학용	30명	서울시 서초구 서초동 1515-2	02)598-2323
(주)빙그레	1967.9.1	신종훈	2,156명	경기도 남양주시 도농동 311-1	031)560-8000
(주)삼립웰가	1962.8.1	유영진	250명	경기도 의왕시 오전동 196-3	031)453-6600
(주)삼립테코	1971.2.1	배기대	58명	경기도 의왕시 오전동 196-3	031)459-2600
(주)삼양제넥스	1964.4.3	박종현	423명	서울시 종로구 연지동 263	02)740-7115
(주)삼익유가공	1987.12.	이종익	37명	서울시 강남구 대치동 903-3	02)539-4511
(주)샤니	1972.10.	한정남	2,425명	경기도 성남시 중원구 상대원동 305	031)739-2000
(주)서림	1978.10.	김기병	116명	경기도 남양주시 진접읍 장현리 634-4	02)2234-2680
(주)서울하인즈	1986.4.7	John W. Elliott	255명	인천 중구 신흥동 3가 62-3	032)887-6030
(주)서흥캡셀	1973.1.3	양주환	400명	서울시 동대문구 장안 3동 435-5	02)2210-8120
(주)신동방	1966.6.1	신명수	1,300명	서울시 영등포구 양평동 4가 2번지	02)2007-3000

(주)신라명과	1984. .	홍평우	406명	경기도 안양시 만안구 안양7동 200-1	031)441-0404
(주)오뚜기	1969.5.5	함영준	2,300명	경기도 안양시 동안구 평촌동 160	031)421-2116
(주)일화	1971.12.	이종배	450명	경기도 구리시 수택동 437	02)2233-1215
(주)정식품	1973.07.	김무영	610명	충북 청주시 흥덕구 송정동 1-25	043)270-8800
(주)지 에프	1979.4.7	윤정민	270명	경기도 안양시 만안구 박달동 158-1	031)4670-300
(주)청우식품	1986.4.1	박윤구	760명	경기도 남양주시 화도읍 녹촌리 52-1	031)594-1960
(주)크라운베이 커리	1988.10.	윤영달	706명	서울 서초구 서초동 1337-31	02)3415-2600
(주)크라운제과	1968.9.1	윤태현	2709명	서울시 서초구 서초동 1337-31	02)3415-2723
(주)태산	1994.6.1	야마모토 1 마사노리	48명	경북 영천시신령면 완전리 700-7	054)332-3003
(주)태평양	1945.9.5	서경배	3,262명	서울 용산구 한강로 2가 181	02)709-5114
(주)파리크라상	1986.10.	김영덕	1,589명	경기도 성남시 중원구 상대원동 149-3	031)740-5500
(주)풀무원	1981.5.1	남승우	1,096명	서울시 서초구 서초동 1450-7	02)2186-8500
(주)한국아쿠르 트	1969.5.1	김순무	1,800명	서울시 서초구 잠원동 28-10	02)3449-6000
(주)호남샤니	1985.12.	정제윤	230명	광주시 과안구 장덕동 971-3	062)600-5000
(주)희창유업	1969.4.2	박창현	87명	경남 양산시 북정동 291-8	055)386-2161
(주)MSC	1974. .	김길제		경남 양산시 웅상읍 소주리 439-13	055)389-1001
진양농산(주)	1977.7.1	제양성	120명	경남 진주시 문산읍 상문리 122-2	055)759-6800
풍년식품공업 (주)	1979.9.	김우열	135명	경기도 안산시 목내동 반월공단	031)495-5555
한국네슬레(주)	1979.7.1	티 디 파커	700명	서울시 서초구 반포 4동 51-12	02)590-0013
한국유가공협 회	1978.7.2	윤효직		서울시 서초구 방배3동 1031-1	02)584-3631
한국제분(주)	1956.9	윤석하	240명	서울 강남구 논현동 18-4	02)543-0209
한국코카.콜라 보틀링)	1996.11.	개빈	3,507명	서울시 중구 남대문로 5가84-11	02)2259-5888
한국코카.콜라 (주)	1974.3	제롬	100명	서울 중구 남대문로 5가 84-11	02)2259-5888
합동산업(주)	1978.4.1	이준상	42명	경기도 광주군 오포면 양벌리 145-1	031)761-4111

해태음료(주)	2000.5.3 차영준	2100명 서울시 영등포구 여의도동	02)767-1114
	1	17-12	
해태제과	1945.10. 송기출	4,237명 서울시 용산구 남영동	131-1 02)709-7766
	3		
현대약품공업(주)	1965.7.1 이한구	400명 경기도 부천시 소사구	032)349-4601
	6	소사본1동 213	
협성농산(주)	1968.8.9 성기상	275명 대구광역시 동구 방촌동	1093 053)980-3321
황금어장식품	1999.4 한규철	8명 대전시 대덕구 오정동	409-2 042)628-2454

6-1. 국내 화장품의 생산 실적 동향

1) 국내 화장품 총 생산액

국내 화장품 총 생산액은 95년 이후 계속 증가 추세를 보이다 98에는 IMF 체제에 따른 경제적 여건으로 인하여 감소를 보였다. 그러나 99년부터 다시 회복세를 나타내어 99년 화장품 총 생산액은 98년 2조 3,845억 원에 비해 17.4% 증가한 2조 8,000억 원으로 2000년도에는 3조 1,049억 원으로 전년대비 10.9%가 증가되었다. 최근에는 성장세가 점차 둔화되어 생산금액은 증가했으나 생산량은 답보상태였으나, 이는 전반적인 경기 침체로 인한 소비자의 제품 구매 및 소비 심리가 다소 위축되고, 수입화장품의 내수시장 잠식에 기인한다. 그러나 약간의 경기 회복세와 소비자의 구매심리 회복에 따라 2000년도에는 국내 화장품의 생산량 및 생산금액은 작년대비 증가하는 경향을 보였다. 반면, 생산된 품목 수는 99년 17,073개에서 2000년 21,108개로 2000년도는 전년대비 20.4%가 증가되는 등 지속적인 성장세를 나타냈다(표1-7). 이는 국내 화장품 기술 수준이 향상되어 다양한 제품군의 개발이 가능해 짐에 따라 소비자의 다양한 요구를 반영한 결과로 생각된다.

표1-7. 95-2000년 화장품 생산실적

구분	업소수 (개)	품목수 (개)	생산금액 (천원)
1995	118	11,512	2,385,371
1999	152	21,108	3,104,985

자료:식품의약품안전청, 식품의약품통계연보, 2001

2) 업체별 화장품 생산실적

회사별 생산액 분포도는 5,000억원 이상 업체는 1개 사에서 2개 사로 늘었으나 1,000억 원 이상~3,000억 원 미만 업체는 5개 사에서 3개 사로 줄었고, 500억 원 이상 ~1,000억 원 미만 업체는 6개 사로 변동이 없었다. 300억 원 이상 ~500억 원 미만 업체는 6개 사에서 8개 사로, 100억 원 이상 ~300억 원 미만 업체는 14개 사에서 16개 사로 각각 2개 사가 늘어난 것으로 나타났다(표 1-8).

2000년 생산실적 가운데 가장 눈에 띄는 것은 방문판매 조직을 갖춘 회사와 수탁개발 전문 회사가 대체로 큰 폭의 성장률을 보였다는 점이다. 직판과 방문 판매의 두 가지 판매조직을 갖추고 있는 태평양은 모두 9,100억 원의 화장품을 생산해 전년 대비 18.9%의 높은 성장률로 여전히 1위 자리를 지켰으며, 엘지생활건강은 직판영업의 호조에 힘입어 5,197억 원어치를 생산해 16.1%의 높은 성장률을 보였다.

방문판매 전문 업체인 알로에마임은 전년 대비 107.2% 늘어난 276억 원으로 27위에서 20위로 순위가 뛰어올랐으며, 방문판매 전문 업체인 화진코스메틱은 무려 329.5%가 늘어난 225억 원의 생산실적을 올려 42위에서 22위로 순위가 꺾충 뛰어올랐다. 또 남양알로에는 전년 대비 87.7%가 늘어난 186억 원의 생산실적을 올렸으며, 사임당 화장품은 21.4%가 늘어난 133억 원, 생그린은 23.3%가 늘어난 130억 원의 생산액을 기록했다.

수탁개발 전문 업체의 경우 OEM을 통한 화장품 판매의 활성화에 힘입어 코스맥스가 전년 대비 47.7% 늘어난 493억 원의 생산액을 기록해 순위가 16위에서 12위로 뛰어올랐으며, 인터코텍은 67.5%가 늘어난 82억 원, 비봉과인은 63.8%가 늘어난 52억 원, 코스메카코리아는 1746.9% 늘어난 38억 원의 생산실적을 올린 것으로 나타났다.

중견업체들 가운데서는 참존이 전년 대비 18.7% 늘어난 812억 원의 생산실적을 기록해 8위로 뛰어오르며 피어리스를 밀어내고 10위권에 진입했으며, 제일제당은 11.4% 늘어난 907억 원으로 7위로 순위가 한 단계 뛰어올랐다. 또 소망화장품은 56.3% 늘어난 314억 원으로 22위에서 18위로 뛰어올랐으며, 한국존슨앤드존슨은 59.0% 늘어난 489억 원으로 18위에서 13위로 뛰어 올랐다. 반면, 시판영업을 중심으로 하는 15위권

이내의 나머지 중견 업체들의 경우 생산액이 1999년 수준에 머물렀거나 큰 폭으로 줄어 업체의 성장 편차가 컸던 것으로 나타났다(표1-9).

표1-8. 생산규모별 업체수

생산규모 구분	2000년도
5,000억원 이상	2
3,000억원 이상 ~ 5,000억원 미만	0
1,000억원 이상 ~ 3,000억원 미만	3
500억원 이상 ~ 1,000억원 미만	6
300억원 이상 ~ 500억원 미만	8
100억원 이상 ~ 300억원 미만	16

표1-9. 2000년 제조회사별 화장품 생산실적 현황

순위	제조회사명	2000년 생산실적		점유율
		생산량(개)	생산금액(천원)	
1	(주)태평양	445,963,358	910,041,073	29.3%
2	(주)엘지화학	220,508,185	519,698,710	16.7%
3	(주)코리아나화장품	83,716,052	193,035,839	6.2%
4	애경산업(주)	73,026,853	116,896,906	3.8%
5	한국화장품(주)	44,915,634	105,003,281	3.4%
6	한불화장품(주)	35,422,697	91,681,956	3.0%
7	제일제당(주)	37,198,885	90,775,399	2.9%
8	(주)참존	111,858,491	81,261,436	2.6%
9	나들이화장품(주)	33,540,820	71,233,762	2.3%
10	라미화장품(주)	23,019,847	57,485,440	1.9%
11	(주)피어리스	15,720,347	50,359,616	1.6%
12	코스맥스(주)	56,106,167	49,330,407	1.6%
13	(주)한국존슨&존슨	28,176,606	48,865,727	1.6%
14	로제화장품(주)	15,598,148	45,610,206	1.5%
15	한국콜마(주)	47,535,062	43,156,781	1.4%
16	(주)에뛰드	25,642,588	40,593,813	1.3%
17	(주)샤몽화장품	19,747,686	34,468,620	1.1%
18	소망화장품(주)	77,189,543	34,097,863	1.1%
19	(주)포쉬에	32,467,904	33,188,276	1.1%
20	(주)알로에마임	36,348,439	27,616,669	0.9%

자료: 대한화장품공업협회

3) 유형별 생산 실적

2000년도의 화장품 유형별 생산비율은 기초 화장품류가 52.1%로 가장 높았으며, 다음은 메이크업류가 18.0%, 두발용 14.7%, 눈 화장용 3.8%, 면도용 3.3%, 목욕용 2.3%, 일소 및 일소방지용 1.9%, 어린이용 1.6%, 방향용 1.5%, 메니큐어용 0.6%, 염모용 0.3%의 순이다. 유형별 생산금액은 11개 화장품유형 가운데 기초화장품류가 1조 6,166억 원으로 가장 높았다. 기초 화장품의 시장 점유율은 연도가 증가하면서 다소 증가하는 경향을 보인다. 다음으로는 메이크업용제품(5,587억 원)과 두발용제품(4,552억 원), 눈화장용(1,166억 원) 등의 순으로 메이크업용제품의 비중이 상대적으로 높은 것으로 나타났다(표1-10).

표1-10. 연도별 유형별 생산실적 (2000)

유형별	2000년도	
	생산금액	점유율
어린이용	48,799	1.6
목욕용	72,056	2.3
눈화장용	116,618	3.8
방향용	47,779	1.5
두발용	455,298	14.7
염모용	9,168	0.3
메이크업용	558,767	18.0
메니큐어용	17,226	0.6
면도용	103,688	3.3
기초화장품	1,616,673	52.1
일소 및 일소방지용	58,909	1.9
합계	3,104,981	100.0

1-7. 국내 방사선 조사 시설의 이용 실태

국내 방사선조사시설은 한국원자력연구소내 연구용 조사시설과 산업용으로는 주식회사 그린피아기술이 있고, 연구용으로 식품류, 고분자재료, 의료제약, 환경처리, 공중 보건등과 돌연변이유기, 식물생리, 생명공학연구용으로 활용되고 있

다. 산업용으로는 식품저장, 의료용품멸균, 제약, 공업용품, 기차 등에 활용되어 지고 있다.

1-7-1. 연구용 방사선 조사시설

가. 고준위 조사시설(선원 Co-60, 100,000Ci) 이용회수

내역	2000년	2001년
연구소내	109개 연구과제에서 472회사용	107 연구과제에서 460회 사용
외부(산·학·연)	51개 산학연에서 67회사용	85개 산학연에서 142회 사용

나. 저준위 조사시설(선원 선원 Co-60, 100,000Ci) 이용회수

내역	2000년	2001년
연구소내	90개 연구과제에서 235회사용	83 연구과제에서 283회 사용
외부(산·학·연)	31개 산학연에서 35회사용	19개 산학연에서 21회 사용

1-7-2. 방사선 조사시설 이용분야

1-7-2-1. 식품산업이용

식품산업에서 방사선 조사기술의 이용은 3가지 뚜렷한 장점을 가지고 있다.

-첫째는 해충 및 부패유기체의 생육억제로 식량자원의 장기 안전저장이 가능하다. 20세기 초반에 세계 인구는 15억 이었으나 현재 50억을 넘어서고 있으며 21세기에는 60억에 도달될 것으로 추정되고 국내 인구도 2000년대에는 6천만 명으로 증가될 것이라고 국내외 자료에 의하여 전망되고 있다. 미국정부는 “2000년대 지구의 인구”라는 보고서에서 2000년대의 지역별 곡물수급은 선진국과 개발도상국간에 불균형이 심화되어 식량문제는 심각한 무기화 시대로 변천될 것으로 전망하고 있다. 인구증가에 따른 식량의 증산은 불가피하여 반드시 해결해야 할 문제이다. 세계 식량증산량은 농지면적 및 목야지의 확장, 품종개량, 경영기술의 향상, 어획방법의 과학화 등 직접수단에 의해 년 평균 약 2.4%가 고작이

다. 그러나 식량자원의 수확 후 저장, 유통동안 손실되는 양은 10~50%에 달한다고 국제기구(FAO, WHO 등)에서 발표되고 있다.

따라서 10%의 직접증산이 어려운 현 상황 하에서 방사선을 이용하여 식량의 저장방법을 개선함으로써 10~30%이상의 간접증산을 가져올 수 있다.

-둘째로 병원성 미생물 사멸로 더욱 안전한 식품 생산과 식품 매개성 질병 예방에 기여할 수 있다. 대부분의 국가가 식품에 기인된 질병, 특히 Salmonella, Campylobacter 등 병원성 세균과 기생충(Toxoplasma, Trichinella 등) 오염이 인류 건강에 가장 큰 위협이며, 이로 인해 경제적 생산성이 크게 저하된다고 발표하고 있다. 따라서 식품의 방사선 조사는 원료식품, 특히 동물성 원료식품에 대단히 넓게 그리고 어쩔 수 없이 오염되어 있는 병원성 유기체를 사멸시키므로 공중보건상 가장 중요한 이익을 가져다 주는 방법이라는 것이다.

-셋째로 식품의 방사선 조사는 식량자원의 해충 사멸 및 공중보건상 국제식량 교역에 있어 검역관리기술로써 매우 효과적인 방법이다. 국가간 식량교역은 세계경제의 균형을 유지시켜주며 그 시장은 날로 확대되고 있다. 각국은 국제교역에 있어서 안전을 극대화하기 위하여 공중보건법과 검역관리를 엄격히 다루고 있다. 그러므로 식량교역에 있어서 가장 어려움은 수출입 식품의 안전성, 즉 생물학적 및 화학적 측면에서의 안전성을 확보하는데 있는 것이며 서로 상이한 무역국들의 규정을 포괄적으로 충족시킬 수 있는 식품가공 기술의 개발과 이용은 모든 국가들의 희망이라 할 수 있다. 최근 세계 각국에서 식품에 사용되는 보존제나 훈증처리가 유해성분의 생성 및 잔류로 건강장해를 일으킬 수 있기 때문에 그 사용이 금지되거나 제한되고 있다. 또한 식품 및 농산물의 해충사멸을 위해 세계적으로 광범위하게 사용되고 있는 MB(methyl bromide) 훈증처리는 오존층을 고갈시키는 물질로서 몬트리올 협약 결과 전 세계적으로 사용이 제한되거나 금지되고 있고 이에 대한 대체방안으로 UN환경위원회는 방사선 조사기술의 사용을 적극 검토하고 있다. 방사선 조사기술의 식품에 대한 응용분야는 매우 다양하지만 표1-11는 실용화를 위한 연구가 수행되어 그 효과가 인정된 분야를 중심으로 저선량, 중선량 및 고선량 조사로 구분하여 나타내 보았다.

1-7-2-2. 의료, 제약, 화장품 이용

최초 의료용품의 방사선 조사는 1956년 미국에서 전자가속기로부터 발생되는 전자선을 이용 수술용 봉합사를 멸균한데서부터 시작되어 Co-60감마선 선원이 개발되면서 대량의 멸균처리가 상업적 규모로 실시되었다. 최초의 상업화는 1962년 Jonhson & Jonhson 사가 Co-60 감마선 조사시설을 설치하여 자사의 의

표1-11. 식품의 방사선 조사기술 응용분야

	조사목적	조사선량 (kGy)	대 상 식 품	조사효과	비고
저 선 량 조 사	발아, 발근억제	0.05~0.15 (0.25)	감자, 양파, 고구마, 파, 마늘, 생강 등 (밥)	저장기간연장, 공급의 안정화	
	해충, 기생충방제	0.15	곡류, 콩류, 신선한 과일, 야채, 건조과일, 건조생선, 건조육, 돼지고기, 대추, 야자, 카카오 육류 기생충 방제등	저장기간연장, 위생화, 유통확대	사료원료포함
	속도지연	0.5~2.0	바나나, 파파이어, 망고, 아스파라가스 등 신선과일, 야채, 버섯등	유통확대, 저장기간 연장	
중 선 량 조 사	부패균, 병원균살균(1)	1.0~10	생선, 딸기, 수산가공품, 축육가공품, 생선 등 냉동새우 냉동 개구리 다리, 가금육 등	위생화 저장기간 연장	사료원료포함
	식품특성 개선	1.0~10	건조곡류, 야채(가공/조리시간단축), 위스키(숙성촉진), 포도주스(수율향상), 유효성분추출을 향상 등	가공에너지 절약, 생산성 향상	
고 선 량 조 사	식품소재, 첨가물살균(2)	3.0~50	향신료, 건조채소류, 효소제재, 천연검 등	위생화 저장기간 연장	포장용기와인용코르크
	살균(3)(약간의 가열도 병용함)	3.0~50	축육, 가금육, 수산가공품, 환자식사, 우주식 등	위생화 저장기간 연장	실험 동물 사료, 의료용품

료제품을 멸균처리하기 시작한 것이다. 그 뒤 1967년에는 의료제품에 대한 방사선 멸균지침(IAEA Recommended Code of Practice for Radiosterilization)이 만들어 졌고 1974년과 1975년에 재 개정되었다. 1970년대 초 미국의 Isomedix사와

Gammastar사가 설립 운영되면서 의료제품의 방사선 멸균기술에 대한 전문적인 지식과 노하우가 축적되기 시작하였다. 일본의 경우에는 1970년에 처음으로 주사바늘, 일회용주사기, 1972년에는 수술용 장갑, 1973년에는 수액셋트 등의 감마선 멸균이 허가되었고 그 적용대상은 현재 약 200여 품목에 달하며, 현재 7개 감마선 조사회사와 3개의 전자선 조사회사가 자사 및 일반수요에 대해 상업적 방사선 멸균사업을 행하고 있다.

의료제품의 방사선 멸균기술에 대한 공식적인 법규 및 기술지침은 1988년 AAMI(Association for the Advancement of Medical Instrumentation)에서 개정된 감마선 멸균지침(Guideline for Gamma Sterilization)이 1991년 10월 미국 ANSI(American National Standard Institute)에 의해 승인되면서 1995년에는 이들 지침이 공식기준(ISO 11137 ; 1995)으로 등록되었다. 이 기준에는 멸균에 대한 보증수준이 의료제품별로 구분되고 멸균된 제품의 초기 오염수(Bioburden)에 따라 멸균보증수준(SAL : Sterility Assurance Level)에 맞는 선량을 적용하도록 되어 있다. 이 ISO 기준에 의해 과거 25kGy 이상으로 멸균하는 기술은 현재에는 제품별 초기 오염도에 따라 계산되는 멸균보증수준(SAL)의 개념을 도입하여 일정한 흡수선량(kGy)을 제한하지 않고 멸균하는 것이 국제적인 추세이다.

공중보건산물의 위생화 수단으로 EO(ethylen oxide) gas 멸균이 지금 까지 대부분 사용되고 있으나 인체에 대한 안전성 문제, 즉 멸균처리후 잔류 독성으로 홍반, 부종, 용혈반응은 물론 발암성 물질이 생성되는 등 인체보건에 미치는 악영향으로 세계보건기구(WHO)의 권고에 따라 식품산업에서는 선진국은 물론 국내도 1991년 7월 1일자로 전면 사용금지 되었다. 그러나 의료용품의 경우는 아직도 EO gas 멸균이 대부분을 차지하고 있다. EO gas는 국제암연구소(IARC : International Agency for Research on Cancer)가 발암물질 1등급으로 재분류하였고, 미국 식품의약품국 (FDA)과 환경보호국(EPA)에서도 그 심각성을 표명하여 엄격히 규제하게 되었다. 그림 2는 세계공중보건산물의 살균방법에 따른 처리량 추이를 나타낸 것으로서 EO gas 멸균이 1990년부터 안전성이 인정되어 사용이 계속 증가하여온 감마선 조사에 곧 역전될 것으로 전망된다. 또한 전자

선의 이용도 현재는 감마선의 10% 정도에 지나지 않으나 매년 증가경향을 나타내고 있다. 미국의 의료용품 멸균시장에서 방사선 멸균의 이용율은 1973년에 2% 정도에 지나지 않은 것이 최근에는 50% 이상으로 급성장하게 되었으며 점차적으로 EO gas처리를 대체해나가 2000년에는 70% 이상으로 이용될 전망이다. 또한 현재 세계적으로 약 50개국에서 200여기 정도의 방사선 조사시설이 의료 및 식품산업에서 이용되고 있고, 최근 다국적기업을 중심으로 방사선 조사시설의 건설을 확대하여 자사제품의 멸균(In-house sterilization) 및 제 3차 계약 멸균(Contract sterilization) 시설로서 이용되고 있다.

이와같이 선진국에서는 의료용품 산업에서 방사선 조사기술이 긍정적으로 평가되고 이용이 증가하면서 화장품 산업에서도 흥미있는 기술로 받아들여져 현재 활발히 연구되고 있다. 화장품의 원료인 활석(운모), bentonite, 전분 등과 화장품 등이 이미 성공적으로 방사선 조사에 의해 위생 화되어 지고 있으며, 일부 완제품도 방사선이 조사되고 있다.

특히 의료 및 화장품 용구의 방사선 조사시 가장 주의를 요하는 것은 제품재질의 열화(劣化)로서 플라스틱류는 방사선 조사에 의해 일반적으로 열화(기계적 강도 저하, 갈색으로 착색등)하는 경우가 많으며, 외부에 도포된 실리콘이나 유지에 영향을 미치기 때문에 주의를 요한다. 이러한 작용을 방지하기 위해 가소제나 안정제가 첨가된 내방사선 재질의 소재가 개발되고 있으며, 재질의 열화 및 경시적 변화가 알려져 있지 않는 원재료를 사용하여 방사선 멸균처리를 행할 경우에는 이러한 점에 대한 검토가 우선적으로 이루어지지 않으면 안 된다. (표 1-12).

1990년대에 들어 의약품 제조분야에서는 국제적으로 의약품의 품질보장 및 안정성 확보를 도모하기 위해 Quality Control에 그치지 않고 Product Assurance 및 Product Confidence에도 충분히 배려한 의약품을 제조하는 것이 요구되었다. 소위 WHO-GMP, ISO에 기준 한 품질 매니지먼트(Quality Management)의 개념을 도입한 과학적인 품질보증 시스템의 구축과 그 확립 및 조직적인 운용이 필요하게 되었다. 최근 국내에서도 제약산업에서 품질이 보증된 의약품을 공급

하기 위한 GMP(Good Manufacturing Practice)가 도입되어 약효 또는 기준성분의 함유량, 물리·화학적 이 물질의 유무, 미생물 및 해충오염의 유무 등에 관한 품질보증이 요구되고 있다

의약품의 미생물 오염에 의한 대표적 사고 예로서는 1966년 스웨덴에서 감상선정에 Salmonella 균이 오염되어 수백 명의 감염환자가 발생하였고 이와 유사한 예로서 국외 의료잡지에 안연고나 세정제 등의 미생물 오염에 의한 사고 예가 백여 건 정도 보고되어 있다.

표 1-12. 포장재의 방사선 조사 허용선량

(USFDA자료)

포 장 재 료	허용선량(kGy)
Kraft paper	5
Glassine paper	10
Wax coated paperboard	10
Nitrocellulose coated cellophane	10
Vinylidene chloride copolymer(saran) coated cellophane	10
Vegetable parchment	60
Vinylidene chloride-vinyl chloride copolymer film(saran)	10
Vinyl chloride-vinyl acetate copolymer film	60
Rubber hydrochloride films	10
Polypropylene films	10
Ethylene-alkene-1 copolymer	10
Nylon 6 films	60
Polyethylene films	60
Polystyrene films	10
Polyethylene terephthalate films	60

국내 제약산업에서 특히 생약 및 한방약재의 미생물 오염 대책은 매우 중요하고 시급히 해결되어야 할 문제점이다. 생약원료(식물, 동물장기 및 분비물 등)의 미생물 오염은 생산지에 따라 차이는 있지만 시료 1g당 생균수가 10³~10⁷개에 달하고 있어 적절한 위생화 방법의 개발이 필요시 된다. 이를 위해 현재 이용되고 있는 방법들은 앞의 식품산업에서 언급된 것들로서 사용이 많은 한계성을 내포하고 있어 새로운 위생화 방법으로 방사선 조사기술 이용 연구가 특히 일본에서 현재 활발히 수행되고 있고, 국내에서도 한국원자력연구소에서 연구되고 있다.

방사선 살균법은 감마선의 특징인 강력한 투과력에 의해 제품의 어떠한 완포

장형태(다중포장 등)라도 처리가 가능하며, 제품의 품질을 상승시키지 않는 냉온 살균법으로 가열처리가 불가능한 제품의 살균에 매우 효과적이다. 또한 화학훈증제 처리와는 달리 유해성분의 잔류 및 독성이 없으며, 오염유기체(미생물, 해충 등)의 살균, 살충이 확실하며 살균 공정관리가 정확하다는 것 등 많은 장점이 있다. 특히 생약 및 한방약재의 방사선 조사 이용은 오염미생물의 균수를 멸균수준이 아니라 살균수준으로 감소시키는데 목적이 있으므로 방사선 조사선량은 일반적인 의료용품의 멸균선량보다 상당히 낮아, 대개 10kGy 정도의 조사선량이면 충분히 목적을 달성할 수 있다. 10kGy 조사선량은 FAO/WHO/IAEA의 방사선 조사식품의 안전성에 관한 합동전문가위원회가 평균 10kGy 까지 조사된 어떠한 식품도 독성학상의 장해를 일으키지 않고 더 이상의 독성시험이 필요하지 않다고 발표한 방사선 조사선량으로 생약이나 한방약재의 경우도 농산물, 축산물 및 그들 가공품으로 식품산물과 같은 범주에 속한다. 또한 선진국의 방사선 멸균에 대한 법규 및 기술지침을 보면 자국의 약전(藥典)에 “일반적으로 최소 25kGy 선량으로 조사될 수 있으나 필요에 따라서 보다 낮은 선량으로 멸균 처리 되는 것이 바람직하다.”(미국 약전, USP) 또는 “방사선 멸균법이 의료용구 등에 바로 실용화 되어 있지만 의약품은 안전성이 보증되는 것이 명확하지 않으므로 그 안전성과 이차 부생성물에 대한 확인이 병행되어 연구되어야 한다.”(일본 약전, 영국약전, 호주약전)라고 기재되어 있어 방사선 멸균기술에 대한 연구개발과 의약품 품질에 대한 엄격한 보증관리가 보완적으로 이루어지도록 하고 있다. 따라서 국내 의료, 제약산업에서 가공원료의 안정공급과 위생적제품생산, 효율적 제조공정 및 안전한 저장·유통 기술확보를 위해 방사선 멸균기술의 이용은 필수적이며, 이를 위한 관계당국의 법적 근거가 시급히 마련되어야 할 것이다. 또한 의료용품 및 의약품 수출시장에서 방사선 멸균법의 도입은 WTO 체제를 맞아 점차 높아져 가는 무역장벽인 TBT(Technical Barrier on Trade)와 SPS협정을 쉽게 극복할 수 있는 적극적인 대응책이다.

1-7-3. 산업용 방사선조사시설의 이용 현황 및 전망

식품 및 공중보건관련 산업에서 방사선 조사기술이 잠재적 이익에도 불구하고 본 기술의 실용화 진전은 예상보다 느렸다. 그러나 1980년대에 이르면서 국제기구(FAO/IAEA/WHO). 보건기관(USFDA) 및 Codex식품규격위원회 등에서 안전성(독성학적, 영양학적, 미생물학적 안전성)을 인정함에 따라 선진국을 중심으로 각국은 본 기술의 실용화를 위해 적극적인 자세를 보여왔다. 그 결과 식품의 경우 42개국에서 230여종의 식품에 방사선 조사를 허가하였고, 이 중 28개국이 상업적 규모로 본 기술을 실용화하고 있다. 의료용품을 포함한 공중보건산물의 경우에도 방사선 조사시설을 보유한 대부분의 국가가 상업적으로 이용하고 있으며, 의료용구, 의약품, 화장품 등의 경우 미국, 벨기에, 캐나다, 프랑스, 네덜란드, 노르웨이, 덴마크, 폴란드, 중국, 호주, 인도, 인도네시아, 이스라엘, 남아연방, 멕시코, 크로아티아 등 세계 42개국 200개 이상의 조사시설에서 본 기술이 이용되고 있다. 이와 같이 식품 및 공중보건관련 산업에 있어서 방사선 조사기술의 실용화가 세계적으로 점차 확대되고 있는 것은 그 안전성과 경제성 및 기술적 타당성이 인정되기 때문이다.(표1-13).

표1-13. 세계적으로 가동중인 감마선 조사시설

국가명	시설	국가명	시설	국가명	시설
중국	54	일본**	14	미국	55
영국	7	독일	11	러시아	7
브라질*	4	프랑스	6	남아프리카	5
덴마크	3	이탈리아	6	스웨덴	3
캐나다	3	말레이시아	5	스리랑카	2
호주	2	인도	4	스위스	2
벨기에	2	아일랜드	4	태국	2
칠레	1	인도네시아	2	싱가포르	2
불가리아	1	이스라엘	2	스코틀랜드	1
체코	1	헝가리	2	사우디아라비아	1
방글라데시	1	한국*	1	노르웨이	1
이집트	1	멕시코	2	파키스탄	1
크로아티아	1	네덜란드	1	스페인	1
오스트리아	1	그리스	1	페루	1
아르헨티나	1	이란	1	대만	1

*는 감마선 조사시설 1기, **는 2기 추가공사중

국내에서는 본 기술의 연구가 한국원자력연구소에서 지금까지 20여년간 수행되고 있으며, 한국원자력연구소가 기술 지원한 민간기업(그린피아기술주식회사)에 의해 1987년 6월 경기도 여주에 국내 최초 상업적 다목적용 방사선 조사 시설(Co60, 100만 Ci)을 준공, 현재 가동 중에 있다.

현재 식품산업에서 방사선 처리는 화학살균제나 가열살균을 적용할 수 없는 제품을 중심으로 이용되고 있으며 방사선 처리가 허가된 식품군은 표1-14와 같다. 여기에는 특히 수출용 가공식품 생산업체나 HACCP를 도입하여 가공원료의 미생물 기준을 엄격하게 관리하는 업체에 납품하는 일부 식품 공원료 생산업체가 주를 이루고 있으며, 이들 식품의 연간 방사선 처리량은 약 2,000여톤 정도이다. 최근에는 본 시설을 이용하는 업체수가 계속 증가하고 있으며, 이는 위생적 품질관리가 절대적으로 요구되는 가공식품의 대량생산체제에서 현실적으로 분말 및 건조식품과 수출용 가공식품에 적합한 살균·살충방법이 미비한 상황이므로,

국내외의 식품산업에서 방사선 조사기술의 수요가 증가하는 것은 당연한 현상이라 하겠다.

표1-14. 국내 방사선조사 식품 허가 품목 현황

품목	조사목적	허가선량(kGy)	허가일자
감자, 양파, 마늘	발아, 발근억제	0.15 이하	1987. 10. 16
밥	발아, 발근억제	0.25 이하	1987. 10. 16
버섯(생 및 건조)	살충, 속도조정	1.0 이하	1987. 10. 16
가공식품 제조원료용 건조식육 및 어패류	살균, 살충(위생화)	7 이하	1991. 12.14
된장, 고추장, 간장 분말	살균, 살충(위생화)	7 이하	1991. 12.14
조미식품용 전분	살균, 살충(위생화)	5 이하	1991. 12.14
가공식품 제조원료용 건조 채소류	살균, 살충(위생화)	7 이하	1995. 5. 19
건조향신료 및 이들 조제품	살균, 살충(위생화)	10 이하	1995. 5. 19
효모, 효소식품	살균, 살충(위생화)	7 이하	1995. 5. 19
알로에 분말	살균, 살충(위생화)	7 이하	1995. 5. 19
인삼(홍삼분말) 제품류	살균, 살충(위생화)	7 이하	1995. 5. 19
2차살균이 필요한 환자식	살균	10 이하	1995. 5. 19

국내 제약 및 의료용품 산업에 있어서 방사선 멸균은 1980년대 후반에 들어서서 제조품목이 다양해지고 우수제조관리기준(GMP)이 도입됨에 따라 기존 멸균 방법인 가스멸균이나 가열멸균으로 처리되기 어려운 제품들의 새로운 대체 멸균법의 적용이 절실히 요구되어 왔다. 이러한 요구에 따라 1987년 국내 최초의 산업용 대단위 다목적 감마선 조사시설을 운영하는 그린피아(주)는 각종 제약 및 의료용품의 방사선 멸균이 본격적으로 활용되고 있으며 최근년간 처리물량은 약 1,300여 톤에 달하고 있다(표1-15).

현재 국내에서 방사선 조사되고 있는 의료용품들은 유럽과 미국으로 수출되는 소모성 진료기구와 진단용 기구들이 주된 품목을 이루고 있으며, 가열멸균이나 가스훈증법을 적용할 수 없는 일부 품목들에 한하여 이용되고 있다. 그동안 국내 의료용구 산업에서 생산되고 있는 소모성 진료용구들 중 가장 많이 사용되고 있는 재질인 폴리프로필렌이 방사선에 의해 물리적인 성질이 변하여 이들 재질로 구성된 제품에는 방사선 멸균을 이용 할 수 없었다. 따라서 방사선에 견딜 수 있는 재질로 구성된 의료용품에 한하여 제한적으로 이용될 수밖에 없었다.

그러나 최근 국내에서도 방사선에 견딜 수 있는 플라스틱이 개발되어 새로운

전기가 마련되었다. 이 재질은 초기에 실험실 규모의 파이롯트 시설에서 생산하였으나 현재에는 대규모 공정시설에 의한 대량생산체제로 국내 수요량을 맞출 수 있는 한편 내방사선 플라스틱 원료 자체를 외국으로 수출까지 하고있는 실정이다. 이러한 내방사선 플라스틱 원료의 국산화에 따라 국내 의료용구 산업에서는 선진국과 동등한 위생적 품질을 갖추기 위하여 1회용 주사기를 비롯한 각종 소모성 진료기구를 방사선 멸균하기 위한 개발을 서두르고 있으므로 방사선 멸균의 산업적 활성화가 기대된다.

한편 일본의 제약 및 의료용품 산업의 경우를 보면, 멸균법의 채용율은 EO gas처리가 83%~86%로 가장 높고, 고압증기멸균이 31%~33%, 감마선 멸균으로 29%~35% 정도이며, 전자선 멸균의 채용율은 7~11%로 낮다. 이와 같이 EO gas멸균의 채용율이 다른 멸균법에 비하여 압도적으로 높은 값을 나타내고 있다. 이는 멸균시설의 설치가 용이하고 멸균처리 후 재질열화가 적으며 처리비용이 낮아서 중소기업으로부터 대기업까지 광범위하게 이용되고 있기 때문이다. 또한 두 종류 이상의 멸균법을 채용하고 있는 기업도 40% 정도 되며, 복수 멸균법을 이용하고 있는 이유는 의료용품의 재질이나 구조에 따라서 적절한 멸균법을 선택하고자 하는 기업이 있기 때문이다. 3종류 이상의 멸균법을 채용하고 있는 기업은 10% 정도이며 그 대부분이 대기업이다.

현재까지 일본에서 생산되는 총 멸균 의료용품 등의 체적은 60만^m로 이 중 감마선 멸균제품의 비율은 약 30만^m로서 총 멸균 의료용품의 약 50%이다.

위탁 멸균시설에서 감마선 멸균되고 있는 품목은 Dialyzer가 가장 많아서 65%이며 다음이 Petridish 16%, 수술기구 set 8%, 진공 채혈관이 3%이다. 한편, 의료용품 제조회사의 멸균시설에서 γ -선 멸균되고 있는 품목은 Syringe가 가장 많아서 58%이며 Dialyzer와 수액 set가 13%, 주사침과 연결관이 4%이다. 이와 같이 위탁 멸균시설에서는 Dialyzer가, 의료용구제조회사의 자사 멸균시설에서는 Syringe가 가장 많이 감마선 멸균되고 있다.

표1-15. 그린피아 산업용 방사선조사시설 이용현황

내역		2000년	2001년
조사품목/처리 량(톤)	식품류	1,950	2,346
	의료용품/제약허브류	1,660	1,685
	공업용류	1,250	1,400
	기타류	240	250
	합계	5,100	5,681
이용업체수	식품류	82	107
	의료용품/제약허브류	115	120
	공업용류	40	45
	기타류	111	124
	합계	348	396

2. 비파괴검사 기술 관련 산업

2-1. 비파괴검사 (Nondestructive Testing)와 방사선투과시험

비파괴검사는란 재료, 제품, 구조물 등의 검사 대상물에 상처를 내거나 파괴하지 않고 그들의 성질, 상태, 내부구조 등을 알기 위해서 검사하는 행위를 말하며 의사가 수술하지 않고 환자들을 진단, 검사하는 의술과 같다. 단 대상물이 인간이나 생물이 아닌 무생물인 점이 의술과 다를 뿐이다. 오늘날 성행하고있는 비파괴검사(NDT: Nondestructive Testing)에는 방사선투과시험(RT:Radiographic Testing)을 비롯하여 초음파탐상시험((UT: Ultrasonic Testing), 와류탐상시험(ET: Eddy Current Testing), 자분탐상시험 (MT: Magnetic Particle Testing), 침투상시험(PT: Liquid Penetrating Testing), 중성자투과시험(NRT: Neutron Radiographic Testing), 누설시험(LT: Leak Testing), Acoustic Emission Testing(AE), 육안검사(VT: Visual Testing)등 여러 가지 공인된 검사방법들이 이용되고 있으나, 방사선투과시험은 이 방법들 중 가장 역사가 오래된 방법으로 오늘날 산업현장에서 가장 많이 활용되고 있다. 단, 원자력발전소의 가동중검사 (ISI: In-Service Inspection)때는 가동원자력발전소의 검사구조물이나 대상들이 방사능 환경하에 있는 특수환경 때문에 방사선 투과시험은 별로 쓰이지 않고 있다.

2-2. 방사선투과시험의 원리 및 용도

방사선과시험의 원리란 전자관(방사선)의 성질로써, 사진 film을 검게 변화시키는 사진작용이나, 형광체를 발광시키는 형광작용을 이용하여 물체에 투과시켜 전자파(v-ray)에 의한 가시상(Image)으로 만들어 물체를 검사하는 것이다.

현재 쓰이고 있는 방법은 그림2-1과 같다.

- A) 직접촬영: v-ray을 직접 film에 촬영
- B) 간접촬영: v-ray의 투과상을 형광관에 가시선으로 변화시켜서 camera등으로 간접적으로 film에 촬영
- C) 투시법: v-ray의 투과상을 형광판또는 형광증배관에 의해서 가시상으로 변화시켜서 그 상을 육안 또는 camera로 관찰한다.

1B는 그림 2-2과같이 v-ray가 시험체를 투과할 때 흡수 및 산란을 받아 그 강도가 약화된다. 시험체의 두께가 같지 않고, 복잡한 형상이나 내부결함, 불순물, 이물질, crack등이 있으면 그 곳을 투과할 때 v-ray의 흡수, 산란차이가 생기는데, 이점을 결함탐지에 이용한다. 그림2-2에서 결함위치에 밀도가 다른 물질, 예를 들면 concrete 속의 철근 같은 경우로 대치 할 때는 철근의 배치를 알 수 있어 concrete 비파괴 검사에도 적용 할 수 있다.

2-3. 국내 방사선 투과시험이 산업 현황

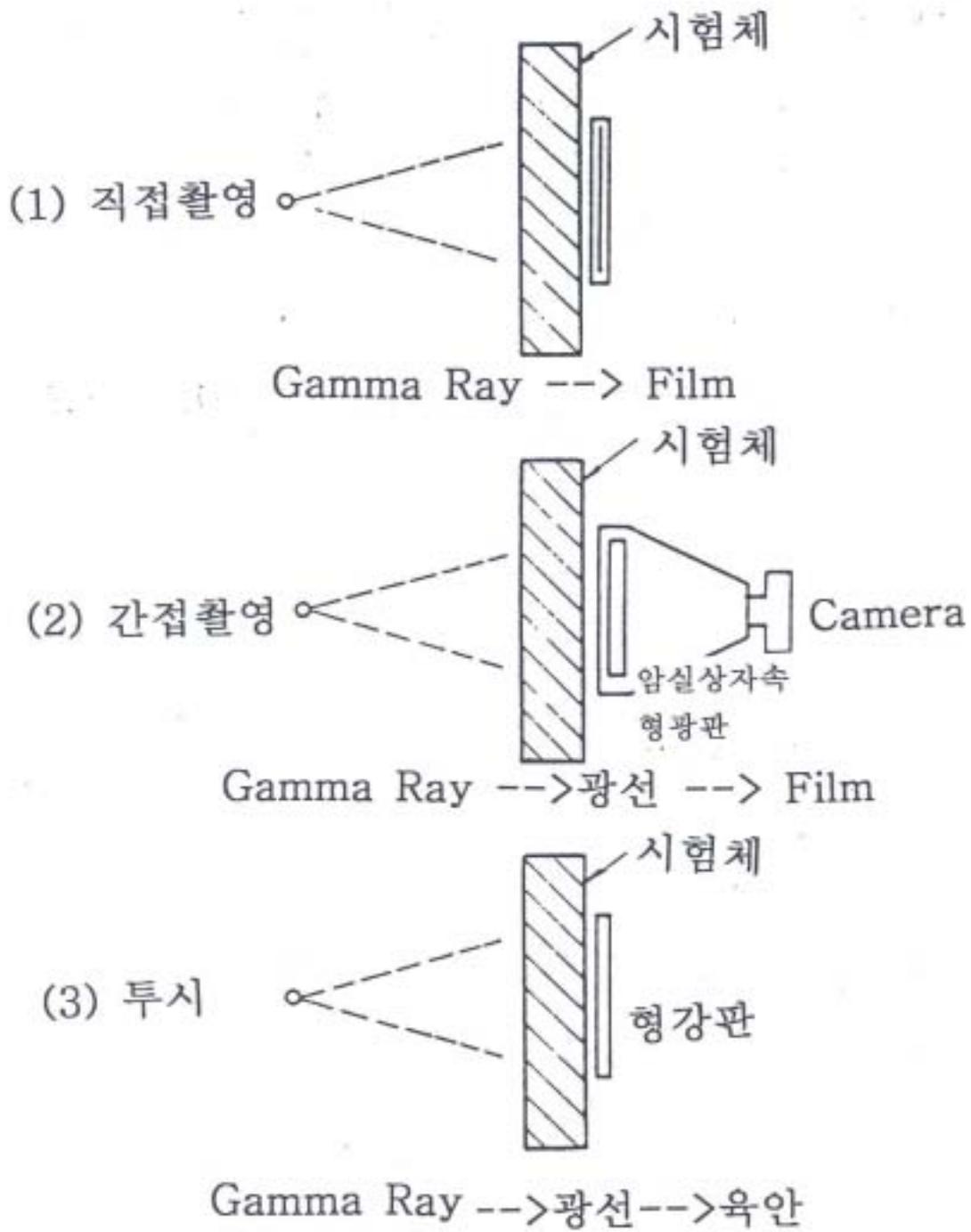


그림 2-1. 방사선투과시험의 종류

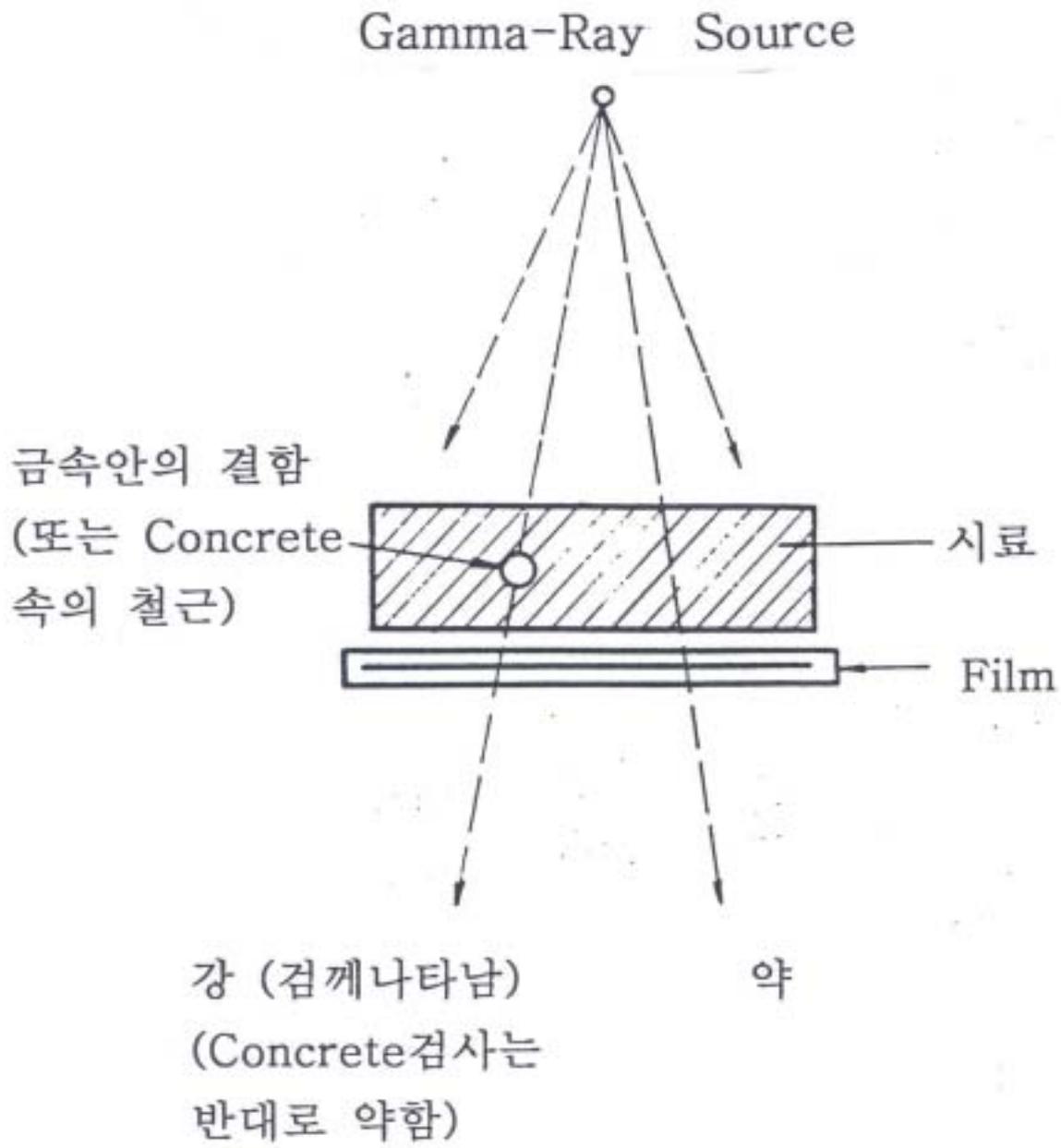


그림 2-2. 방사선 투과도

국내의 방사성동위원소의 산업적 이용연구는 1960년대까지는 기초과학분야연구에 치중하였고 1964년에 Co^{60} 을 이용하여 문화재에 보존 관리 차 불국사의 불상 등을 촬영한 바 있다. 또 부산화력발전소의 Economiser의 Alloy Tube를 검사 하기 위하여 긴 낙시대 끝에 Co^{60} 방사선원을 매달아서 감사를 시도한 것이 산업현장에서의 방사선투과시험의 산업적 적용의 시초로 알려졌다. 그러나 이 방사선 투과시험의 본격적이고 대규모적인 이용은 1960년 후반부터 1970년 초까지 국내의 획기적인 중화학 공업 건설이 본격화되면서 많은 산업시설이 건설됨에 따라 대부분의 최현대식 시설은 외국기술의 협력·주관하여 수행되었고 그에 따라서 외국의 공업규격, Code and Standard 등을 적용함으로써 중요 핵심 조립품의 재료에 비파괴검사가 의무화하게 되었다. 1970년 대 초에는 원자력 및 수화력발전시설을 위시하여 가스공사, 도시가스공사, 석유화학 플랜트등 중화학 공업과 철도, 교량, 항공산업, 방위산업 등에 이르기까지 모든 산업에 있어서 품질검사가제도가 본격적인 궤도에 진입하였으나, 우리 공업규격은 여러 분야에 있어, 불완전하거나 전무하여 선진국의 Code나 Standard 등을 그대로 적용하게 되었다. 1978년에 비로서 비파괴검사에 대한 기술자격법이 국가 기술자격법속에 일부 반영되고, KS규격에도 비파괴검사법이 일부 수록되게 되었다. 또 이 무렵에 국영연구소들(한국원자력연구소, 한국기계연구소, 한국표준연구소)에도 비파괴연구실이 조직되고, 비파괴검사기업체들도 착착 설립되었다. 1985년까지 약 20여년동안 8개 비파괴 검사 업체가 있었으나, 1995년에는 25여개 업체를 거쳐 오늘날에는 거의 40여개 업체에 이른다. (표2-1 참조)

WTO 체제가 적용되면서, 누구라도 정부가 제시한 조건만 갖추면 정부허가가 가능하게 되었기 때문이다.

2-4. 방사선 동위원소와 x-ray

비파괴검사의 방사선투과시험에 쓰이는 전자파는

(1) 방사선발생장치 (Radiation Generation)에 의해서 생기는 연속 Energy spectrum인 x-ray와

표2-1. 비파괴 검사 업체

업체명	주소
고려공업검사(주)	서울 용산 서계 224-21
국제비파괴검사(주)	부산 강서 송정 1500-2
(주)금산기술검사	서울 금천 시흥 966 중앙철재상가 19-211
대동기술(주)	경남 거제 아주 623(대우중공업내)
대한검사기술(주)	서울 서초 방배 537-21
(주)동양검사기술	서울 강남 포이 237-15(계성빌딩 2층)
동우검사기술(주)	경남 창원 팔용 17-15 현명상가 303 경남 창원 내동 456-14 동우 상가지하 2층
명성검사개발(주)	서울 광진 자양 584-11 3층
부일공업검사(주)	서울 마포 용강 496-95
(주)삼영검사엔지니어링	서울 중 신당 355-8 백석빌딩 2
서울검사(주)	서울 강남 삼성 161-17 (경진빌딩 3층)
(주)신한에스아이티	부산 강서 송정 1473-2 녹산산업단지 8D-3L
(주)ITEC	서울 도봉 방학 1동 716-2(경천빌딩 4층)
원우엑틱(주)	서울 강동 명일333-1
유양원자(주)	
제일검사(주)	서울 서초 서초 1600-1(양정빌딩)
중앙검사(주)	울산 남 남산 137-19
하나검사기술(주)	서울 강남 신사 654-15
(주)한국공업엔지니어링	서울 송파 거여 37-2 다보빌딩 4
케이엔디티앤아이(주)	서울 관악 신림 513-14
한국기계검사소이엔씨(주)	서울 강남구 청담동 39-6번지
한솔검사엔지니어링(주)	서울 서초 양재 250-6 정미빌딩 5층
한양종합검사(주)	서울 서초 서초 1628-25 서호빌딩 3층
(주)아거스	경기 용인시 동천동 853-1(한국물류빌딩406호)
삼전기술검사(주)	울산 북구 효문 812-1(아파트형공장 1동501호)
(주)한국산업기술연구소	경남 창원 중앙47-12(삼일상가4층사서함186호)
한국안전기술(주)	서울 강남 역삼 696-10(예림빌딩 3층)
한국가스엔지니어링(주)	경기 성남 분당 수내 404 경동 BD 4층
(주)에스엔티테크	경기 안양시 동안구 평촌동 900-9 신세기프라자 610호
한일원자력(주)	경기 안양 만안 안양7동 202-4동영벤처스텔3층
(주)한일원자력엔지니어링	"
일진방사선엔지니어링(주)	서울 구로 구로 104-3 (일진빌딩)
한국가스기술공업(주)	

표 2-2. γ -ray 와 x-ray 의 비교

	γ -ray	x-ray
Energy 생성 Mechanism(기구)	핵붕괴시 발생	핵외전자의 고 energy level에서 저 energy level로 궤도이동에 의한 Energy차이
발생장소	방사성동위원소를 적당한 차폐&밀폐용기에 저장했다가, 필요시만 원력조정으로 인출해 쓰고 다시 저장	방사선발생장치(Radiation Generation)에 의해 진공속에서 고전압고속전자를 금속에 충돌시켜 Bremsstrahlung Radiation 현상으로 energy 방출
Energy Spectrum	몇 개의 단순 조정 Energy Level	연속 energy spectrum, 선량조정가능
방사선종류	일반으로 β -decay수반한다. 때로는 α -decay중성자, capture도 수반한다.	전자파(x-ray)만 나온다.
차폐	작업시간에 관계없이 항상 방사선차폐에 유의해야함	작동시만 주의요하고 사용후는 전원차단확인요
현장응용	가볍고 운반이 쉽고 전력이 불필요함으로 현장 작업에 간편하나 항상 차폐유지 필요	변압기, 냉각기등 부속장치 때문 비교적 무겁고, 고용량의 전력이 필요해서 현장 기동성이 떨어진다.

표2-3. 한국비과괴검사업체들이 쓰는 주요 핵종별 이용 현황

RI종류	Am ²⁴¹	Am ²⁴¹ Be	Cd ¹⁰⁴	Co ⁶⁰	Cs ¹³⁷	Fe ⁵⁵	Ir ⁹²¹
사용하는 비과괴검사업체수	1	1	1	30	10	1	43

(2) 방사성동위원소에서 자연 발생하는 단순 Energy Level Spectrum 갖은 γ -ray가 있다.

γ -ray와 x-ray는 표2-2에서 설명한 바와 같이 상이점과 장단점이 있으나, 그들의 물리적 성질인, 사진작용, 형광작용, 전리작용, 광전효과, Thomson산란, Compton Effect, 양 음 전자 대생성 (Pair production)등은 동일하다.

2-4-1. 비파괴검사에 쓰이는 방사성 동위원소

모든 방사성동위원소는 비파괴검사 목적에 쓰일 수 있지만 실제로 현장에서 실용되고있는 종류는 여러 가지 제반조건을 고려할 때 몇 종류에 불과하다. Am²⁴¹, Cd¹⁰⁴, Fe⁵⁵와 같은 방사성동위원소들을 특수검사에 가끔 이용하고있으나, 대부분의 비파괴검사 업체들이 쓰고있는 방사성동위원소는 Co⁶⁰, Ir¹⁹² 및 Cs¹³⁷ 3 종류가 주로 이용되고 있다. (표2-3 참조)

그림2-3은 Cs¹³⁷ 및 Co⁶⁰의 붕괴도를 나타낸 것이며 비교적 단순한 붕괴 과정을 갖은 방사성동위원소들이나 일반적으로 복잡한 붕괴를 하는 핵종도 많이 있다. Ir¹⁹²의 γ 선은 20여 개의 Energy Spectrum이 되어있다. 원래 동위원소의 비파괴 검사에 활용되는 선택기준은

- 1) 피검사재료의 성질(금속의 종류, 밀도, 검사부분두께, 흡수계수 반가층두께, 형체등)과
- 2) 방사성동위원소의 성질(방출 Energy Level, 반감기, 방사선량강도-Curie수, 투과사진의 Contrast등) 및
- 3) 기타 작업조건(검사장소접근성, 차폐조건, 허용작업시간등)을 고려하여, 사용할 방사성동위원소를 선택하게 된다. (표2-4 참조)

상기항목등 중 흡수계수, 반가층두께, 반감기 및 Contrast에 대해서 간단히 설명을 첨부한다.

(a) 흡수계수 $\mu = \tau$ (광전효과) + δ_t (thomson산란) + δ_c (Compton산란) + κ (전자대생성)

(b) 반감기($T_{1/2}$)와 반가층($T_{1/2}$)

N: 방사성원자핵수 $-dN/dT = \lambda N$

λ : 붕괴계수 $N(t) = N_0 E^{-\lambda t}$

N_0 : T=0 때의 방사성원자핵수 halglige $N_{(t1/2)} = N_0/2$

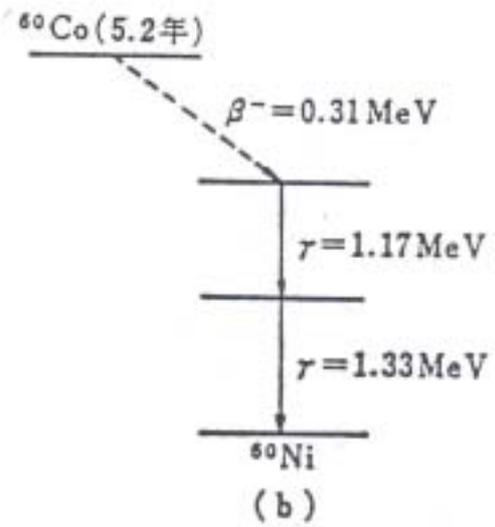
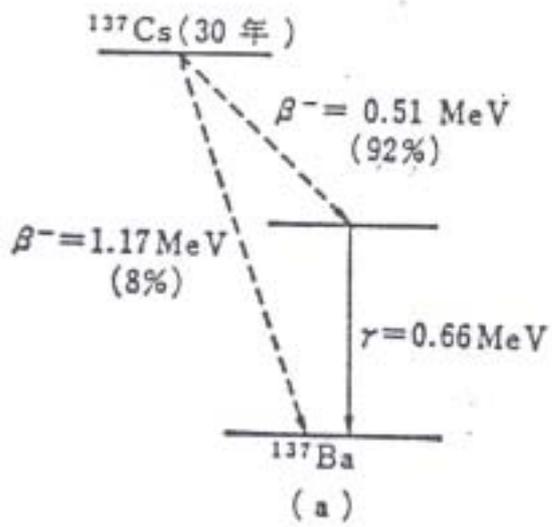


그림 2-3. ^{137}Cs 와 ^{60}Co 의 붕괴도

T: 경과시간 $\therefore t_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda$

같은 방법으로

I: 방사선강도 $dI/I = -\mu dT$

μ : 흡수계수 $T_{1/2} = 0.693 / \mu$

I_0 : 투과직전의강도

T: 두께

(c) Contrast란 TV영상과 같이 투과사진 film의 명암차(농도차)를 확연하게하여 결함진단을 쉽게 하는 정도를 의미하는 척도라 하겠다. 여기서의 그 자세한 이론적 유도는 생략하고 그 결과 식 의미를 설명할까 한다. 투과사진의 현상된 Film 농도를 D라 하면 투과 사진의 Contrast는 ΔD 로 표시할 수 있으며 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta D = -0.434 \theta \mu / (1 + n \Delta T)$$

여기서 ΔT = 검사재료 두께 차이

θ = Film의 농도특성곡선의 기울기

μ = 두께 T에 대한 사용방사선의 흡수계수

η = 사용방사선의 산란비

식 (A)에서 ΔD 가 클수록 Contrast가 좋은 것이며 식 중에 μ 와 η 은 사용방사성동위원소에 좌우(Radio Isotope Dependency) 되는 인자다. 따라서 방사성 동위 원소 종류에 관한 식으로 Contrast ΔD 를 표시하면

$$\Delta D = \kappa \mu / (1 + n)$$

여기서 κ 는 사용 방사성 동위원소에 무관한 상수이다. 철에대한 경우 (표 2-5)를 보면 Ir^{192} 가 Co^{60} 보다 Contrast ΔD 가 좋은(큰)편이다. 일반적으로 밀도가 크고 두께가 두꺼운 금속재료검사는 Co^{60} 을 쓰는 것이 바람직하고 Ir^{192} 와 Cs^{137} 은 피폭위험이 적고 Contrast가 좋아서 허용 검사 시간이 충분할 때에 쓰는 것이 바람직하다. 오늘날 현장 작업에는 경제적 이유 등으로 두께에 불문하고 Energy가 큰 Co-60이 제일 많이 쓰고 있는 실정이다.

표2-4. 방사선 동위원소 Co⁶⁰, Cs¹³⁷ & Ir¹⁹² 비교표

동위원소명	γ-ray방출E nergy	동반반응	Hall life	반응결과물(P logery)	atomic number
Co ⁶⁰	1172 keV 1332 keV	β-decay (318 keV)	5.27y	N ⁶⁰	27
Cs ¹³⁷	662 keV	β-decay (511 keV)	30.22y	Ba ^{137m}	55
Ir ¹⁹²	317,468,604keV v--20여종	β-decay (642,536,256 keV-- 다수)	74.2d	Pt ¹⁹²	77

<표2-5> 방사선원에 따른 Contrast상수

선원	kVeff	μ(Fe) ^(cm⁻¹)	n	μ/1+n(cm ⁻¹)
192Ir	450	0.67	2.1	0.22
60Co	1,250	0.42	1.2	0.19

고려공업검사(주)

나진검사기술(주)

대동기술(주) <http://www.daedongeng.com>

대한검사기술(주) <http://www.kieco.co.kr/>

대한항공(주) <http://www.koreanair.co.kr/>

동양검사기술(주) <http://www.dyndt.co.kr/>

부일공업검사(주)

삼전기술검사(주)

서울검사(주) <http://sitcos.co.kr/>

세안기술(주)

유양원자(주)

제일검사(주)

(주)삼영검사엔지니어링 <http://samyong.co.kr/>
(주)아이텍 <http://ndeitec.co.kr>
(주)카이텍 <http://kaitec.co.kr/>
(주)한국공업엔지니어링 <http://hiendt.co.kr>
중앙검사(주) <http://user.chollian.net/~jaico>
한국검사개발(주) <http://ndi.co.kr/>
두산중공업 <http://www.doosanheavy.com>
한양종합검사(주) <http://www.hanyangndt.co.kr/>
한전기공(주) <http://kps.co.kr/>
유양진흥개발(주) <http://www.joongbu.ac.kr/>

2-4-2. Gamma선 장치와 노출용기(Exposure Container)

비파괴검사용 방사성동위원소의 source는 그 강도가 비교적 큰 편으로 ~ 150^{mm}두께의 강철용접검사엔 수십 Curies 이상의 강도를 사용하게 되는데 검사할 때 방사선차폐를 물론 사용 않고 보관할 때도 차폐를 철저히 해야한다. 차폐용 노출용기에는 shutter형, 원격조정형, Torch 형 등 여러 가지 노출용기가 고안 되어있으며, 그들 중 두 가지를 그림2-4와 그림2-5에 표시하였다. 노출용기에 사용되는 차폐물질은 납(Pb), 텅스텐(W) 및 감량우라늄(Depleted U.)등이 사용되고 있다. 노출용기 외부의 표면 방사선량은 표면에서부터 5cm에서 20^{mR/h}를 넘어서는 안 된다는 것이 국제 기구의 권장사항이다.

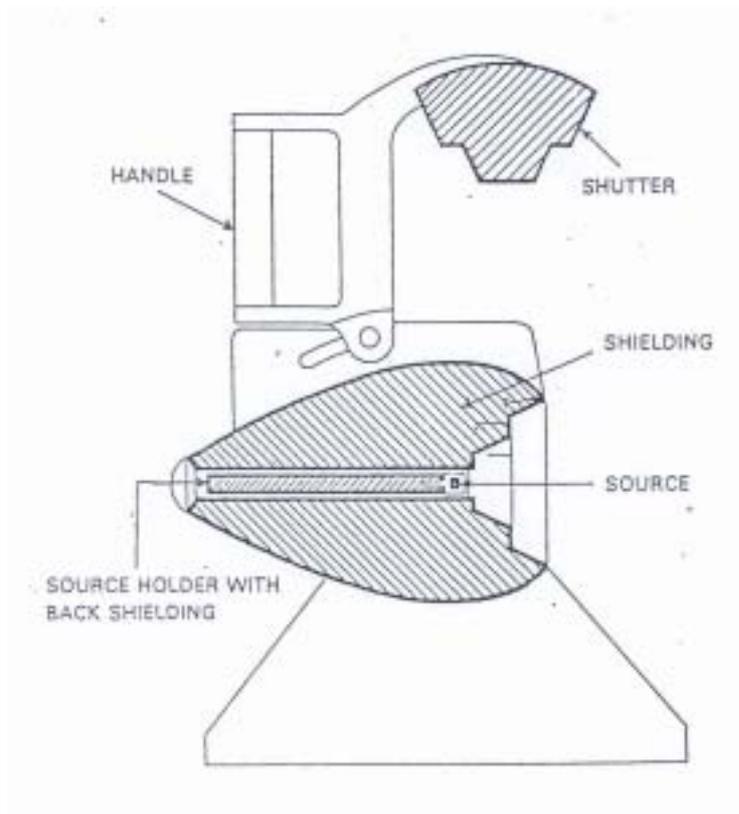


그림 2-4. 전면 Shutter형 노출용기

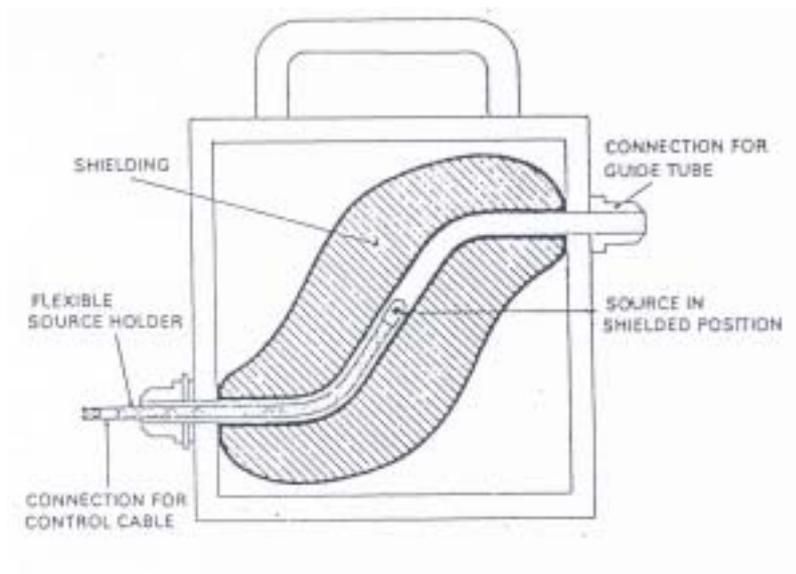


그림 2-5. S자형 원격조정형 노출용기

3. 방사선이용 환경관리, 오폐수 관련 산업

3-1. 환경관련 방사선이용 현황

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 과도한 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 2차 오염도 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 이용한 처리기술의 개발이 시급하다. 방사선을 이용한 환경처리 기술은 방사선의 전리작용에 의해 발생한 radical들의 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. 일 예로 산업화/도시화에 따른 화석연료의 과도한 사용으로 대기오염의 가속화가 이루어져 왔고, 그 주범인 발전소와 소각로에서 배출되는 황산화물과 질소산화물을 방사선으로 제거하고자 하는 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 이 기술은 방사선에 의해 생성된 radical이 황산화물과 질소산화물을 황산 또는 질산으로 산화시킨 후 중화제에 의해 중성염 형태로 제거하는 기술로 부산물은 비료로 사용이 가능한 장점이 있다. 폴란드, 일본, 한국 등지의 pilot scale 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 원자력기술의 산물인 방사선과 방사성동위원소는 환경, 의료, 농업뿐 아니라 현대의 거의 모든 공업분야에 폭 넓게 활용되고 있다. 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.

3-2. 선진국 연구개발동향

1990년 초반 수질오염물질 제거측면에서 일본에서는 일본원자력연구소를 중심으로 감마선을 이용한 미량오염물질 분해 연구를 농약 등의 과대사용으로 인한 음용수의 오염으로부터 수자원보호를 목적으로 수행하였으며, 우수처리수에 대한 세균의 멸균 연구, 중금속 첨가에 의한 유기오염물질의 제거 등에 관한 연구를 수행하여 수질오염물질의 정화를 효과적으로 수행하고자 노력하였다. 러시아에서는 바로니시 공업지역에서 넥카르라는 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 일본 원자력연구소에서는 하수중의 환경호르몬제거를 위해 감마선과 전자선을 이용하여 연구중이다.

대기오염물질제거 측면에서는 석탄 또는 석유를 이용하는 발전소와 산업시설로부터 배출되는 대기중의 SO₂ 와 NO_x가 환경오염의 주요 원인이 됨으로 이들을 방사선을 이용하여 처리하고자 전자빔을 사용하여 SO₂ 와 NO_x 동시에 제거하는 기술을 일본에서 개발한 이후 독일, 폴란드, 중국, 그리고 브라질 등의 나라에서 활용하고 있다. 또한 일본원자력연구소에서는 2001년에 생활쓰레기를 소각하는 소각장으로부터 배출되는 다이옥신을 제거하기 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 MeV · 40 mA 이었으며, 1,000 N m³/h 의 배기가스가 처리되었고, 배출가스중의 다이옥신 농도는 1-5 ng/m³이었다. 방사선이용 휘발성 유기물질처리를 위해 일본 원자력연구소를 중심으로 계속적인 연구를 하고 있으며, 독일과 폴란드가 이 분야에 관심을 갖고 연구를 수행하고 있다.

폐기물환경분야에 있어 여러 나라에서 유기성폐기물의 퇴비화를 위해 방사선을 이용하여 퇴비화에 저해되는 미생물을 멸균시키고 유용한 미생물을 접종시킴으로써 퇴비화의 효율향상을 위해 연구를 하고 있다. 인도에서는 오래 전부터 하수슬릿지를 방사선으로 멸균 후 퇴비로 사용하고 있다.

3-3. 국내 연구개발동향

1999년 한국원자력연구소에서 하수처리장에서 처리된 후 방류되는 방류수를 공업용수로 재활용할 목적으로 감마선을 이용 1m³/hr의 처리용량을 갖는 시범시설을 개발하였고 산업체와 공동으로 산업화 연구를 추진중에 있고, 발암성 유기

물로 오염된 지하수를 정화할 목적으로 감마선을 이용하여 처리하는 연구를 수행하고 있다. (주)EB-tech에서는 1998년 1.0 MeV · 40mA의 전자선가속기를 이용하여 염색공장에서부터 배출되는 폐수를 처리하기 위한 광범위한 연구를 해왔다. 이들은 1,000 m³/day의 폐수를 정화시킬 목적으로 연구를 해왔으며, 이들로부터 얻은 긍정적인 연구결과를 토대로 EB Tech.Co.가 정부와 IAEA에 대해 10,000 m³/day의 실규모 처리시설을 설치하기 위한 지원을 요청하고 있다. 또한 이를 바탕으로 한국원자력연구소, 대구염색공단연구소와 공동으로 실규모 크기의 처리시설 개발을 추진하고 있다. 충남대학교에서는 연구실에서 적조배양 성공을 계기로 전자선을 이용한 적조제거를 위한 연구를 수행하고 있다.

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

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

3-4. 국내·외 기술수준 비교분석

방사선 이용 환경관리기술 비교한 것을 표3-1에 요약하였다.

- 하수처리수의 재활용은 재래식 기술을 이용해 왔지만 최근 선진국에서는 오염원의 다양성에 따라 많은 종류의 폐수처리를 할 수 있는 방사선이용 수처리기술에 대해 연구중 임.
- 물 부족 국민 우리나라를 중심으로 방사선이용 공업용수 및 재활용수 생산 시도가 IAEA 및 산/연 협력 하에 추진되고 있으며, 이 분야의 기술은 우리나라와 기술선진국과의 격차가 거의 없음.
- 러시아에서는 오염된 지하수를 전자선을 이용하여 정화하고 있고, 오스트리아도 전자선을 이용한 지하수개발을 목표로 연구 중이며 우리나라와의 기술격차는 약 5년 정도임.
- 방사성 폐액처리는 미국과 러시아가 공동으로 시작단계에 있어 큰 격차는 없음.
- 대기분야의 SO_x, NO_x 제거기술은 일본에 비해 약 10년 뒤져 있음.
- VOCs 제거분야는 일본 및 폴란드에 비교하여 약 3년 정도의 격차가 있음.
- 다이옥신 제거분야는 외국도 연구초기단계에 있음.

표3-1. 방사선이용 환경처리 기술개발 국내외 현황 및 추진방향

		기술현황		추진방향	비고
		국내	국외		
대기	연구		-연구를 바탕으로 시범시설까지 발전	SO _x , NO _x 에 대한 제거는 대단위 시범시설까지 연구개발되어 있다. 앞으로는 소각장에서 배출되는 다이옥신 처리에 대한 연구가 요망된다.	원자력연구소는 3 단 계 (2003-2005)에서 다이옥신 분해제거에 관한 연구개발을 착수하고자 한다.
	시범시설		-발전소, 제련소와 소각장 배기가스중의 SO ₂ , NO _x 와 HCl를 CaSO ₄ , Ca(NO ₃) ₂ 와 Ca(Cl) ₂ 로 바꿈 (폴란드,1991) -주석제련소 배기가스중의 SO ₂ 를 H ₂ SO ₄ 로 바꿈 (러시아,1991) -발전소 배기가스중의 SO ₂ 와 NO _x 를 (NH ₄) ₂ SO ₄ 와 NH ₄ NO ₃ 로 바꿈 (일본, 1993)		
수질	연구	-염료, 염색폐수, 폐놀 처리 (원자력연구소, 1994)	-비이온성 계면활성제 제거 (러시아,1982) -산업폐수중의 수은 제거 (러시아,1983) -농약 제거 (러시아,1986) -지하수중의 TCE, PCE와 genotoxic compounds 분해 제거 (오스트리아,1986) -하수처리 (러시아,1990)	자연수 (하천수, 지하수)를 처리하여 음용수를 만들어 내는 시범시설에 대한 연구는 전무하다. 따라서, 이 분야에 대한 연구가 요망된다. 또한, 하수슬러지를 처리하여 퇴비로 활용하는 방안도 자원재활용 차원에서 추진되어야 한다.	원자력연구소는 2 단 계 (2000-2002)에서 음용수 목적으로 지하수정화에 관한 연구개발을 수행하고 있다.
	시범시설	-하수처리수 공업용수 재이용 (원자력연구소,1999) -염색폐수 처리 (삼성중공업,1999)	-축산폐수 멸균 및 정화 (러시아, 1983) -도시하수의 슬러지 정화 및 살균(미국,1984) -하수처리수 멸균 (일본,1990)		
	산업화		-네칼로 오염된 지하수정화 (러시아,1983)		
폐기물·토양	연구		-흡착제인 활성탄소 재생 (일본,1991) -염소계다이옥신으로 오염된 토양 복원 (미국,1994) -휘발성유기물로 오염된 토양 복원 (미국,1994)	방사선을 이용한 병원폐기물 처리는 병원균의 완전한 멸균측면에서 요구된다. 또한, 토양복원을 위하여 방사선을 이용하는 것도 좋은 방법이다.	원자력연구소와 기업체가 협력한다면, 병원폐기물의 멸균처리를 산업화할 수 있다.
	시범시설		-병원폐기물 멸균 (미국,1990) -병원폐기물 멸균 (러시아,1993)		

3-5. 기술발전 전망

가. 하수방류수처리

수질관리는 수자원을 오염물질로부터 차단하거나 오염된 물을 정화하는 기술을 요구한다. 일단 오염된 수자원은 오염원의 종류에 따라 다양한 정화기술을 필요로 함

과 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 방류 수에는 적절히 사용 가능하지만 하루에 수만 톤에서 수백만 톤을 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.

나. 산업폐수처리

각종 공장에서 배출되는 폐수의 경우 대부분 미생물을 이용하여 처리하고 있지만 산업의 발달은 미생물에 의해 분해되기 어려운 오염물질의 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 것

이다.

다. 제염폐액처리

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 이차처리장치인 이온교환공정에 부하를 줄임으로써 최적의 운전을 피할 수 있다. 또한 이것은 방사성폐수의 철저한 처리를 뒷받침함으로써 원자력 안정성에 대한 신뢰 구축에도 일조할 수 있을 것이다.

라. 정수처리

오랫동안 화학비료의 사용은 토양을 변질시키면서 동시에 비료 사용량의 증가를 가져 왔고 동시에 병충해 구제를 위해 사용되는 농약의 양도 증가시키고 있다. 이들은 모두 수자원의 오염을 가중시키는 동시에 미량의 양으로도 인체에 치명적인 영향을 줄 수 있어 정수처리장의 경우 이들에 대한 처리 필요성이 대두되고 있는 실정이다. 현재까지 정수장에서 이들을 처리하기 위한 방법으로는 오존을 이용하는 것인데, 오존을 이용할 경우 오존의 용해도가 낮고 또한 잉여 오존이 대기중에 배출될 경우 대기오염을 유발시킬 수 있다. 그리고 대량의 물을 처리할 수 없어 기술적인 측면뿐만 아니라 환경적, 경제적 측면에서도 문제점을 지니고 있다. 방사선을 이용할 경우 오염물질이 미량인 까닭에 소량의 방사선조사로서 이들의 분해가 가능하고 대량의 처리가 가능함과 동시에 세균도 함께 멸균이 가능하여 염소 투입량을 줄일 수 있고 이는 곧 국민의 보건환경을 향상시킬 수 있다. 특히 홍수시나 갈수기 부유물과 미생

물의 농도가 높은 물을 정화하기 위하여 염소를 대량 투입을 해야만 하는 현 실정과 비교하여 방사선의 적용은 전처리과정에서 미생물을 멸균시킬 수 있어 일석이조의 효과를 기대할 수 있을 것이다.

마. 조류처리

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 발생 시 직접적으로 멸균을 할 수 있어 이에 대한 적절한 연구개발을 통해 적조와 녹조의 제거를 위한 기술을 개발할 수 있을 것이다.

바. 다이옥신처리

인체에 치명적인 것으로 알려진 다이옥신은 소각장의 증가와 함께 대기 중으로 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. C 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. 일

본이나 유럽의 선진국가에서도 이미 방사선의 이점을 간파하고 이 분야에 대한 연구 개발을 서두르고 있는 실정이다.

사. 유해성배기가스 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·화학적 방법, 그리고 미생물을 이용하는 생물학적 방법이 현재까지 이용되고 있다. 농도가 높은 악취와 휘발성 물질은 이미 소각방식에 의해 잘 처리되고 있다. 하지만 농도가 중간 또는 낮을 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 유기물질을 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 대기환경보존에 큰 영향을 줄 수 있을 것이다.

아. 유기성 폐기물 퇴비화

2003년부터 하수종말처리장이나 각종 산업폐수처리장으로부터 발생하는 슬러지를 매립장에 직매립하는 것이 금지되는 것으로 입법 예고되어 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 퇴비화율을 높여 재활용을 활발히 할 수 있을 것으로 전망된다.

카. 오염토양 복원

군부대 주둔지 또는 야영장, 산업단지등의 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 스팀 온도의 한계로 인해 각종 화학물질로 구성되는 오염물질을 효과적으로 분해하여 처리하는데는 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 무해한 물질로의 전환이 가능하고, 오염물질을 추출방식에 의해 추출할 경우 추출액을 방사선으로 처리가 가능하여 타 방식과 비교하여 보다 용이하게 수행할 수 있을 것이다.

다. 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 매립

을 선호하고 있다. 이에 따라 선별작업을 필요로 하게 되고 자연히 선별작업자들은 병원성 세균들에 노출되어 감염의 위험을 안게된다. 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.

3-6. 주요환경변화

- 다양한 오염물질을 효과적으로 파괴하기 위해 고도산화처리방법을 적극적으로 사용하고있으며, 이를 위해 UV, 오존, H₂O₂, 전해법을 이용하지만 대량의 폐수처리를 위해서는 부족함.
- 이의 대체 방법으로 강력한 산화력을 갖는 산화물질을 대량으로 발생시킬 수 있는 방사선조사방법이 추천되고 있음.
- 폐수 재활용을 위해 고도처리방법의 하나로 유기물의 농도를 낮춤과 동시에 멸균과 색도 제거를 할 수 있는 방사선조사방법을 활용함으로써 공업용수를 폐수로부터 값싸게 얻고자 시도됨
- 방사성 폐수처리에 있어서도 방사성물질과 혼합되어 있는 비방사성 유기물을 효과적으로 제거하기 위해 복잡한 기존 방식 대신 간편한 방사선조사 방식을 사용하고자 함.
- 염색폐수를 처리하는데 있어 전처리용으로 방사선조사를 활용하고 있음.
- 대기오염물질인 VOCs 제거에 있어 소각방법으로 비효율적인 중 농도물질 제거를 위해 방사선조사 방식을 활용하고자 함.
- 다이옥신 제거방법에 있어서 기존의 매질흡착법에서 탈피하여 다이옥신물질 자체를 파괴할 수 있는 방사선 조사기술을 활용하고자 함

4. 방사선 신제품 관련산업

방사선을 이용한 신제품

방사선은 자연 상태에서 발생하는 방사선과 인공적으로 발생시킨 방사선의 두 가지로 나눌 수 있으나 근본적인 속성은 같다. 인공방사선과 자연방사선의

차이점은 자연방사선은 조사량이나 조사부위나 조사장소를 조절하기가 어려운 대신, 인공방사선은 적절한 장치를 이용하면 조사량이나 조사부위나 조사 장소를 조절할 수 있다는 정도이다. 이와 같은 특성을 이용하여 방사선의 특성에 따라 다양한 제품들이 개발되고 있으며 이에 대한 근본 원리와 활용 상황을 조사하였다.

가. α -선의 이용

- (1) 불안정한 원자핵이 붕괴하거나 변환하면서 방출하는 고속으로 흐르는 헬륨(He)의 입자선이다. 종이 한 장 정도의 두께도 뚫지 못하고 공기 중에서도 멀리 나가지 못한다.
- (2) 생물체가 α -선을 방출하는 불안정한 방사성 동위원소를 체 내에 흡수하게 되면 체내에서 불안정한 핵이 변환하면서 α -선을 발생하여 암을 유발할 수도 있다.
- (3) 금속 재료의 내부에 α -선을 발생하는 핵종이 외부의 영향으로 생성되었다가 변환되어 α -선을 방출하면 방사선으로서의 영향보다는 금속 내에서 전자를 받아 불활성기체인 He 기체로 변하고 그 농도가 누적된다면 재료의 물성에 변화를 주게 된다.
- (4) α -선을 방출하는 불안정한 방사성 동위원소를 α -선에 민감하게 반응하는 불안정한 방사성 동위원소에 접촉시키면 중성자가 생성된다. 이 원리를 이용하여 군사적으로는 핵폭탄의 방아쇠 역할을 하기도 하며, 평화적으로는 원자로를 건설한 후 초기에 핵반응을 유발시키기 위하여 중성자 소스로 이용되기도 한다.

나. β -선의 이용

- (1) 고속으로 흐르는 전자(positron)의 입자선이다. 원자핵이 변환되면서 방출되는 전자선의 흐름이며 음극성을 띠고 얇은 알루미늄 판으로도 차폐할 수 있다.
- (2) β -선을 방출하면서 감손되는 불안정한 원소에서 연속적으로 나오는 전자를 이용하여 만든 원자전지를 인공위성이나 암초를 표시하는 부표와

같이 동력원을 외부에서 공급하기가 어려운 곳에 전원으로 사용되고 있다.

다. 고 에너지의 전자선(high energy electron beam)의 이용

(1) 속성은 β -선과 다를 바 없는 전자들의 흐름이지만 일정 방향으로 높은 에너지를 가진 것이 다를 뿐이다. 사이클로트론과 같은 장치에서 인공적으로 만들어진 고 에너지의 초고속 전자선은 또 다른 형태의 특성을 가지므로 원자의 구조를 연구하는데 많이 이용되어 왔다.

(2) 공학적 이용

(가) 진공 속에서 고전압으로 발생된 전자 빔을 철강의 이음새에 조사하여 용접하는 용접방법(electron beam welding)이 개발되어 활용되고 있다.

(3) 원자구조의 연구

(가) 사이클로트론과 같은 장치에서 인공적으로 만들어진 고 에너지의 초고속 전자선은 β -선과 같이 전자의 흐름이나 에너지가 한층 더 높아서 또 다른 특성을 가지므로 원자의 구조를 밝히는데 활용되고 있다.

(나) 고 에너지의 전자선을 물질에 주사시키면서 물질에서 나오는 전자의 에너지와 그 분포를 측정하여 조사함으로써 원자를 둘러싼 전자층의 구조를 밝히는데 활용되고 있다.

(다) 고 에너지의 전자선을 얇은 박판에 조사하여 박판에서 나오는 방사선의 종류와 방향성 및 에너지 분포를 조사함으로써 원자의 구조와 원자를 이루고 있는 전자와 원자핵의 특성을 밝히는데 활용되고 있다.

(라) 좀 더 높은 에너지의 전자선을 물질에 주사시키면서 물질을 구성하는 원자핵의 구조를 밝히는데 활용되고 있다.

라. 고 에너지의 양전자선(high energy positron beam)의 이용

(1) 핵변환에 의하여 발생하는 양전기를 띤 양정자를 이용하여 물질의 구조

를 연구한다. 양전자선은 β -선과 또 다른 형태의 특성을 가지므로 원자의 구조를 연구하는데 많이 활용되고 있다.

(2) 양자선은 원자핵 주변의 전자층과는 척력이 심하지 않아서 양전자빔을 쪼이면 물체의 모서리 부분이 선명하게 나오는 특성이 있다. 이를 이용하여 특수한 분야에서 비파괴 시험에 활용되기도 한다.

(3)의학적 이용에도 많이 활용되고 있다.

마. X-선의 이용

(1) 텅스텐과 같은 높은 열에 견디는 재료에 고 전압을 걸어 가열한 다음, 전자선을 쪼이면 텅스텐의 표면에서 가시광선보다 파장이 짧고 투과력이 강한 전자파가 발생한다.

(2) 의학적 이용

(가) X-선이 처음 발견되었을 당시에는 유럽에서 한창 전쟁 중이었다.

X-선은 전쟁 중에 부상당한 군인들의 뼈의 이상을 검진하는데 이용되었다.

(나) 그 후, 의학적 이용에 대한 연구가 활발하여 폐의 이상 유무도 검사하기에 이르렀다. 그러나 생물체를 구성하는 물질의 특성상 X-선의 피해도 밝혀져서 이용에 한계가 있었다.

(3) 산업적 이용

(가) 유럽에서 1차 세계대전 중에 견고하게 제작된 균함들이 북대서양에서 유빙을 만나면 맥없이 깨어지는 일이 종종 발생하면서 금속재료의 특성에 대한 연구가 활발하게 진행되어서 X-선이 이들 재료의 비파괴 검사에 활용하게 되었다.

(나) 재료의 한 쪽에 X-선 발생 장치로 X-선을 발생시키고 다른 쪽에 사진필름을 놓은 후 그 필름을 현상하여 관찰하면 금속재료의 내부의 균열이나 기공과 같은 결함을 판독할 수 있었다.

(다) 그러나 투과력이 좋은 X-선도 재료의 두께가 지나치게 두꺼우면 투과하지 못하거나 장시간이 소요되었고, X-선을 이용할 때는 전기가

반드시 필요하여 동력선이 없는 곳에서 이용하는데 어려움이 있고, 검사 대상인 물체의 구조가 복잡하여 X-선 발생장치를 이용하기가 어려울 경우도 있다.

바. γ -선의 이용

(1) 파장이 매우 짧은 전자파이다. 불안정한 핵종이 핵변환하면서 자연적으로 발생하기도 하지만, 원자로나 방사선을 불안정한 원자핵에 쬐여서 인공적으로 발생시키기도 한다.

(2) 의학적 이용

(가) X-선이 발견되고도 한 참 후에 발견되었으나 γ -선의 특성에 대한 연구와 의학적 이용은 한참 후에 추진되었다.

(나) X-선이 의학에 이용되고 있는 동안 X-선과 같은 용도로 이용할 필요성이 없었다. 그러나 반감기가 짧고 특정부위에 잘 모이는 특성의 핵종의 동위원소를 생물체에 투입하면 생물체 내에서 γ -선이 발생하여 그 위치를 추적하는데 활용되고 있다.

(다) 암세포나 종양을 구성하는 주요 물질의 동위원소를 생물체에 주입하면 그 물질이 암세포나 종양에 모여서 γ -선을 방출하므로 종양의 위치를 파악할 수 있고, 방사성 동위원소는 반감기가 짧아서 조기에 소멸되므로 인체에 대한 해독을 소멸시키는데 활용되고 있다.

(라) 반감기가 길더라도 인체에 흡수된 후 특정 세포에 모였다가 조기에 배출되는 원소의 방사성 동위원소도 활용되고 있다.

(3) 공학적 이용

(가) X-선이 철강 구조재료의 비파괴 검사에 활용하게 되고 있으나 두께가 지나치게 두꺼우면 투과하지 못하거나 장시간이 소요되고, 검사 대상인 물체의 구조가 복잡하여 X-선 발생장치를 이용하기가 어려울 경우도 있게 되는 수도 있다. 이러한 결점을 보완하기 위하여 방사성 동위원소가 활용되고 있다.

(나) 재료의 한 쪽에 γ -선을 방출하는 방사성 동위원소를 놓고 다른 쪽

에 사진필름을 놓은 후 그 필름을 현상하여 관찰하면 금속재료의 내부의 균열이나 기공과 같은 결함을 판독할 수 있다. 그리고 X-선을 이용할 때처럼 전기가 필요하지 않고 장비가 간편하고 투과력이 좋아서 더욱 효과가 있어서 X-선보다는 더욱 많이 이용되고 있다.

(다) 종이나 철판을 연속적으로 제조하는 공정에서 γ -선 선원을 이용하여 두께를 연속적으로 측정하고 그 결과를 토대로 두께를 자동적으로 조절하여 균일한 두께의 종이나 철판을 제조하는데 활용되고 있다.

(라) macroscopic γ -radiography : 사용후 핵연료봉과 같은 고 방사능 물체의 동위원소 분포를 검사하기 위해 γ -선에 의한 검사가 수행된다. 예를 들어 사용후연료봉을 수직 방향으로 일정 길이(1~2mm)에서 나오는 방사선 중 Cs137이나 Ce141 혹은 Zr95 등에 해당되는 방사선을 분석하여 해당원소의 길이 방향으로의 분포를 검사한다.

(마) microscopic γ -radiography : 예를 들면 핵연료봉을 잘라서 그 단면에 길고 조그만 ($\Phi = 0.5\text{mm}$) 구멍이 난 금속구조물(Collimator)로 구멍 이외의 부분을 차폐한 후 구멍에서 나오는 방사능 중 Cs137이나 Ce141 혹은 Zr95 등에 해당되는 방사선을 분석하여 해당원소의 길이 방향으로의 분포를 검사한다.

(마) 미량검사: 극히 미량의 원소가 함유된 용액이나 고체 혹은 기체에 방사능을 조사시킨 후 방출되는 방사선의 농도와 에너지 분포를 분석하여 함유된 물질의 성분을 검사한다. 이 방법은 정량분석에는 한계가 있으나 정성분석에 매우 뛰어나다.

(바) 가동 중인 원자로에서 핵연료의 손상 유무를 검사하는 데 활용되고 있다. PWR이나 PHWR 혹은 BWR과 같이 냉각재로 물을 사용하는 경우 순환 중인 냉각수를 추출하고 추출된 냉각수에서 방사되는 방사선을 검사하여 핵연료의 이상 유무와 만일 손상 핵연료가 존재하는 것으로 확인되었을 경우 그 핵연료의 연소된 정도까지도 검사한

다. 기체 냉각방식도 냉각재로 사용되고 있는 기체를 추출하여 그 방사능을 검사함으로써 핵연료의 손상 유무를 검사한다.

(4) 농학적/생물학적 이용

(가) γ -선을 장시간 쬐이면 세포의 조직이 변할 수도 있다는 것에 착안하여 세포핵의 유전인자의 변환을 유도하여 육종개량에 활용되고 있다.

(나) 강력한 γ -선을 쬐이면 세포가 죽거나 조직이 변할 수도 있다는 것에 착안하여 멸균과 발아를 방지하여 식품의 멸균과 장기 저장에 활용되고 있다.

사. 중성자(neutron) 선

(1) 원자핵이 붕괴되거나 불안정한 핵이 안정화되는 단계에서 발생하는 중성자의 흐름이다. 전하가 없는 중성이므로 물질 내의 투과력이 우수하다.

(2) 산업적 이용

(가) 전하가 없는 대신 수소원자와 같은 질량을 가지고 있으므로 물이나 플라스틱과 같이 가벼운 원소로 이루어진 물질은 투과율이 낮아 차폐효과가 좋고 무거운 질량의 원소들은 오히려 투과율이 좋아서 차폐효과가 낮다.

(나) 따라서, 철판 내에 유기물이 함유된 구조물의 경우, 중성자선을 쬐이면 철판은 투과되고 유기물이 포함된 부분은 차폐되어 γ -선이나 X-선과는 정 반대의 효과가 나타난다. 따라서, 경비행기의 날개와 같이 알루미늄판 사이에 Honey Con 구조의 알루미늄 구조를 에폭시 풀로 접합시켰을 경우 γ -선이나 X-선으로는 에폭시에 의한 접합 상태를 볼 수 없던 것이 중성자 선으로 명확히 볼 수 있다.(Neutron Radiography)

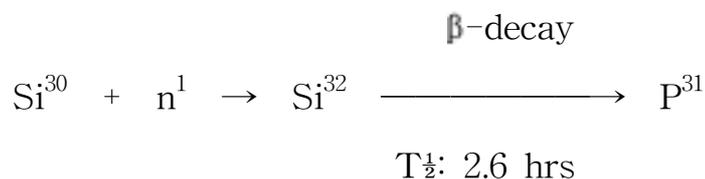
(다) 고 방사능 물체의 구조를 검사하기 위하여 중성자-선을 사용하기도 한다. 예를 들면 사용후 핵연료와 같이 고 방사능 물질을 원자로와

같이 고 밀도의 중성자선을 낼 수 있는 장치를 이용하여 중성자를 쏘이고 그 반대편에 알루미늄 판을 놓으면 알루미늄 판에 그 물질의 잔상이 방사화된 상태로 남게 된다. 그 알루미늄 판을 분리하고 사진 필름을 부착하여 놓으면 알루미늄 판에서 나오는 방사선으로 인하여 사진필름에 사용후 핵연료의 잔상이 나타나게 된다.(Neutron Radiography)

(라) 캘리포늄과 같이 인공 방사성 동위원소로서 중성자를 방출하는 원소를 이용하여 질량이 아주 무거운 물체의 비파괴 검사에 이용하기도 한다. 캘리포늄 원소의 표면에 중성자를 맞으면 ν -선을 방출하는 원소를 부착하면 ν -선을 방출하게 된다. 이 ν -선을 이용하여 이산화우라늄과 같이 무거운 원소로 이루어진 핵연료봉을 검사하는데 이용한다.(ν -ray radiography)

(마) 반도체 생산:

비도체에 미량의 다른 물질을 섞어주므로써 반도체를 인공적으로 만들 수 있다. 그런데, 이런 화학적 방법은 미량 첨가물질을 균일하게 섞어주는데 한계가 있다. 예를 들면 순수한 실리콘(Si)에 미량의 인(P)을 섞어주면 반도체가 되는데 결정체 내에서 $\pm 15\%$ 의 변이가 있다. 저항이 $\sim 5000 \Omega\text{m}$ 인 순수한 실리콘 결정체로 이루어진 봉을 중성자로 6×10^{17} 정도로 조사시키면,



와 같이 미량의 실리콘 원자가 핵변환을 일으켜 인으로 변하면서 저항은 $\sim 40 \Omega\text{m}$ 가 저하되어 우수한 반도체가 된다. 이때 변이는 $\pm \frac{1}{2} \%$ 정도로 제어할 수 있다.

(바) 차세대 핵융합로나 고속증식로의 개발에 이용하기 위한 방사선 손상효과 연구에 이용

- 현재는 화석연료의 탐사 기술이 고도로 발달되어 당분간 걱정되고 있지 않으나 화석 에너지원은 수세기 이내에 고갈되어 새로운 에너지를 개발할 수밖에 없을 것으로 전망되고 있다. 그런데, 대체 에너지원으로서 대단위 에너지원으로서 원자력이 가장 희망적으로 예상되고 있어서 한 때 고속증식로나 핵융합로의 개발이 수행되었다.
- 고속증식로나 핵융합로의 재료는 현재 가동되고 있는 발전용 동력로에서 사용되고 있는 핵연료나 노재료 보다 월등히 우수하여야 할 것이 요구되고 있다. 특히 고내열성과 고강도의 기계적 성능은 물론,



의 반응으로 고에너지의 중성자가 생성되고 이 중성자의 에너지가 주요 에너지원이 되므로 최 내부벽에는 1 to 4 MW/m²의 에너지가 전달될 것으로 예상되므로 고도의 방사능에 견딜 수 있는 재료의 개발이 긴요한 것으로 밝혀졌다.

- 예상되는 방사선에 의한 손상은 고에너지의 전하를 가진 입자선(고도의 운동에너지를 가진 전자나 이온화된 원자들의 선)이나 중성자 혹은 전자선에 의하여 고체의 결정구조의 변환을 가져오는 것이다.
- 예상되는 밀도의 방사선을 쬐여서 실험하기 위하여 High Flux Isotope Reactor (HFIR)나, Rotating Target Neutron Source II (RTNS-II), Fusion Materials Test Facility(FMTF), Experimental Breeder Reactor II(EBR-II), 그리고 Fast Flux Tests Facility (FFTF) 등의 원자로나 중성자 빔 발생장치가 이용되고 있다.

아. 입자가속기를 이용한 이온화 원자의 이용

- (1) 전하를 띤 전자나 이온화된 원자를 입자가속기로 가속시켜 고에너지화한 입자선이다.
- (2) 차세대 원자로 개발에 이용하기 위한 재료의 방사선 손상효과 연구에 이용
- (가) 원자로를 구성하는 재료가 원자로 내에서 일어나는 방사선 조사효과를 원자로를 이용하여 똑 같은 방사선 조사량을 쪼이기에는 비용이나 노내조사에 필요한 장기간, 조사온도의 조절, 시설의 이용 가능성 및 시편과 조사장치의 준비 등 여러 가지 문제들이 간단치 않은 것이 현실이다. 그 대체 방법으로서 고에너지 이온화 입자를 조사하는 방안이 활용되고 있다.
- (나) 중성자 조사의 결과란 중성자가 물질을 구성하고 있는 원자에 충돌하고 그 원자를 이동시키는 것이다. 중성자 대신에 전자나 이온화된 원자를 충돌시키면 중성자 조사와 같은 효과를 볼 수 있다. 고속액체금속로에서 노재료가 받는 중성자 조사효과와 같은 100 dpa (displacement per atom)를 달성하려면 EBR-II를 이용하면 5년이 걸리고, FFTF로서는 2년이 걸리는데 비하여 입자가속기로 이온화된 원자를 조사시키면 단 하루 만에 같은 조사효과를 달성시킬 수 있으며, 시편이 방사성 물질로 변할 위험도 없다.
- (다) 미세조직의 방사선 조사 효과를 연구하기 위해서 3mm 이내의 작은 시편의 방사선조사효과는 고전압전자현미경 (High Voltage Electron Microscopes [HVEM]) 을 이용하는 수도 있다.
- (라) 철-니켈-크롬 합금 재료의 방사선조사효과는 이온화된 철과 니켈 및 헤륨을 조사시키면 비록 시편의 표면에만 나타나지만 중성자 조사 효과와 같이 미세 결정의 구조 변화와 니켈이 코발트로 변하면서 생성되는 알파선으로 인한 헬륨 기체의 생성 등의 효과가 나타나므로 중성자 조사효과를 모사하기 위해 입자가속기를 이용한 방사선 조사 실험이 많이 이용되고 있다.

(3) 철강 재료의 표면 경화에 이용

(가) 철강을 숯불이나 кок스 불에 환원 상태에서 가열한 후 급격히 냉각시키면 고온에서 철강의 표면에 확산 침투된 탄소가 철강 표면에 치밀한 조직을 이루어서 철강의 산화를 방지하고 표면을 경화시키는 효과(삼탄법)가 있다. 입자 가속기로 진공 상태에서 이온화 된 질소를 철의 표면에 고속으로 쪼이면 삼탄법과 같은 효과가 난다.

(나) 이와 같이 이온화된 질소를 칼이나 나이프 및 스펀과 같은 양식기의 표면에 이온화 된 질소를 입자가속기로 쪼여주면 황금색으로 변하면서 표면도 경화되어 이중의 효과가 있다.

(다) 똑 같은 기술을 내마모성 공구를 제조하는 데도 활용하고 있다. 쇠를 깎기 위한 바이트나 구멍을 뚫기 위한 드릴의 날 혹은 기어의 날에 입자가속기를 이용하여 이온화된 질소를 침투시키면 표면이 경화되어 수명이 세배 이상이 늘어나게 되어 똑 같은 제품을 정밀 가공하기 위한 자동화 정밀 가공기기에 많이 활용되고 있다.

(4) 반도체 회로의 제조에 활용

(가) 반도체의 집적회로는 점점 더 조밀하고 미세해 지고 있다. 손톱만한 크기에 회로의 단위가 킬로 바이트에서 메가 바이트로 늘어나더니 어느 틈에 메가 바이트 단위로 늘어나고 있다. 초기에 기계 가공으로 회로를 만들다가 그 정밀도가 기계적인 한계에 부닥쳐 광학적인 방법(사진술)을 이용하여 크게 확대된 회로를 공학적으로 축소하여 기판을 만들었다. 그러나 파동성을 가진 빛의 간섭효과 때문에 회로를 축소하는데 정밀도에 있어서 한계에 봉착되고 있다. 이에 이온화 된 원소의 흐름(ion beam)을 입자가속기로 분사하면서 전장과 자장을 정밀하게 조절하여 원하는 회로를 만드는 기술이 개발되고 있다.

(나) 또한 이 기술이 좀 더 개발되어 특정한 이온화 된 원소들을 특정한 부위에 중첩하여 조사시킴으로서 원하는 소자를 만들어 원자 단위의

집적회로도 만든다면 초 고밀도의 집적회로를 만들 수 있을 것이다.

(5) 나노 테크놀로지에의 활용

(가) 인체의 혈관이나 장기에 침투시켜 암세포나 종양이나 혈전을 제거하는 데도 활용될 극히 미세한 기계를 만드는데 미세 가공기술로 활용되고 있다.

5. 방사선이용 고분자 화학 산업

5-1. 반응성 폴리올레핀

폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP)으로 대표되는 폴리올레핀수지는 각종의 기계적 물성(기계적 강도, 내열성, 내약품성, 내수성, 전기전연성 등)과 광택, 투명성, 내습성, 내약품성 등이 뛰어날 뿐 아니라 성형가공성이 좋고 성능대비 가격이 저렴하여, 성형품 또는 필름의 형태로 각종 용기, 포장재료, 농업용자재, 건축자재, 자동차 및 전기·전자부품 등 광범위한 분야에 사용되고 있는 대표적인 범용수지의 하나이다.

한편, 생활양식이 다양화, 고도화되어 감에 따라, 이들 수지의 이용분야에 있어서도 점차 고성능화, 고기능화에 대한 요구가 증가하고 있다. 즉, PE, PP의 기존 물성에 추가하여 접착성, 인쇄성, 염색성, 도장성, 가교성 등의 기능성이나, 각종 엔지니어링 플라스틱과 같은 이종수지와 블렌드 또는 알로이화를 위한 상용서에 대한 요구가 증가하고 있다. 그러나, PE, PP 등 올레핀 중합체는 분자구조가 완전히 비극성 포화지방족 탄화수소로만 이루어져 있기 때문에 그 자체로는 이와 같은 기능성이 결여되어 있을 뿐 아니라 새로운 극성기 또는 반응성 관능기를 도입하기가 용이하지 않다.

PE, PP에 극성기를 도입하기 위하여 용융상태에서 무수말레인산을 라디칼반응을 이용하여 그래프트시키는 방법이 가장 경제적인 기술로서 널리 상업화되어 있어, 접착성 수지로서 사용되고 있다. 그러나, 이 방법에서도 고분자 사슬의 가교 및 분해, 낮은 극성기 그래프트율 등 한계가 있어, 그 활용범위가 제한적이

다.

5-2. 도료용 수지와 도막의 물성

도료란 물체의 표면에 도포하여 건조된 피막층을 형성시킴으로써 물체에 소기의 성능을 부여하는 화학제품으로 정의 할 수 있다. 도표의 가치는 도료가 도장되어 소기의 성능을 가진 도막이 형성되어야만 비로서 발휘되는 것이다. 결국 도료의 최종목표는 도막이며, 도료는 도료의 방습성, 방청성, 방식성, 내약품성을 통한 물체의 보호기능, 색 또는 광택을 부여함으로써 미관의 기능, 또한 전자파의 차폐, 대전방지, 방균, 방오, 태양열반사 등의 특수기능을 부여하게 된다.

물체의 표면을 피복하여 물체를 보호하고 미화하는 일은 유사이전부터 행하여 왔으나 현재 사용되고 있는 도료의 개념과 비슷한 형태는 18세기경부터이다. 그러나 도료와 도장의 획기적 발전이 시작된 것은 1920년 이후 니트로 셀룰로오스를 합성하여 락카로 응용되면서부터이다. 제2차 세계 대전중에 알키드 수지, 비닐 아세테이트 에멀전이 도료용 수지로 개발되었으나 본격적인 합성수지도료의 시대로 돌입한 것은 전쟁이 RMxsks 후이다. 즉, 전후의 알키드 수지, 멜라민 수지, 불포화 폴리에스테르 수지, 에폭시 수지, 우레탄 수지, 아크릴 수지, 실리콘 수지, 불소 수지등 특징이 있는 합성수지가 차례로 소개되어 도료의 급진적인 발전이 이루어 졌다. 최근에는 도막의 경화방법으로서 종래의 열적방식인 가열소부, 적외선 조사법외에 방사선, 자외선(U.V.) 및 전자선(E.B)을 조사하여 순간적으로 경화시키는 방법이 개발되었다. 이러한 경화방법의 개발과 병행하여, 대기오염 등으로 인한 공해대책의 일환으로 수계도료 및 무용제형인 분체 도료 등의 출현으로 도료의 새로운 전기를 맞고 있다.

5-3. Nylon 수지

Nylon은 amide 결합을 이루고 있는 고분자 물질로서, polyamide라고도 일컫는다. amide를 갖는 물질로는 천연 polyamide인 단백질(proteins)도 여러 아미노산의 polyamide인 단백질(proteins)도 여러 아미노산의 polyamides 범주에

속하나 여기에서는 산업적으로 중요한 합성 polyamide에 관하여 살펴보기로 한다.

합성 polyamide인 nylon을 상업화한 DuPont에서는 1938년 제품을 명명할 때 다음과 같이 정의하였다.

“ 나일론은 임의의 장쇄상을 합성폴리아미드가 그 주쇄의 중요한 성분으로서 amide의 반복을 유지하고, 그 구조단위가 축 방향으로 배열하면서 섬유로 형성 가능한 것의 이름이다.”

Nylon의 어원에 대하여 DuPont에서는 “NYL”은 무의미하며 어미의 “ON”은 방적 섬유인 면과 rayon에서 유래한것이라 설명하고 있다. nylon-6는 융점 215~220°C이고 nylon-66의 융점 265°C보다 낮으나 보통 용도에는 같이 사용하며, 용융체의 열안정성도 우수하며 용융가공이(fiber, ENPLA, film 등) 용이하다. 또한 원료의 제조, 정제가 용이하므로 nylon-66과 함께 크게 발전하였다. 현재 공업화되고 있는 나일론으로서는 nylon-6과 nylon-66이 주류이며, 이에 비하면 소량이나 nylon-3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 13, M X D6, Q2, 46, 68, 610 등이 있다.

Nylon-7과 nylon-9의 장점은 nylon-6에 비하여 중합 polymer에 monomer를 거의 함유하지 않는 것이 특징이다. 최근 미국 Union Carbide사에서 ϵ -카프로락톤을 출발물로하여 7-아미노에난트산으로 하고 이것을 중합하여 nylon-7을 제조하는 공업적 방법이 완성되었다. 미국 General Aniline and Film Corp.에서 개발되고 있는 nylon-4는 아세틸렌, 포름알데리드, 암모니아에서 합성되는 α -피로리톤의 알칼리 축매에 의한 개환중합으로 얻어지며, 융점 약 265°C, 흡습성 약 5%로서 nylon-66보다 훨씬 크며, 새로운 소재로서 산업화 단계에 있다.

ICI, DuPont, Tennessee Eastman에서 연구되고 있는 nylon-5는 융점이 260°C 정도로 높고 강도 9.5g/d, 신도 20%의 섬유로서, nylon-66보다 다소 우수한 성질을 가지며 특히 모듈러스가 높고 고온에서의 크리이프가 낮은 것이 특성이지만 원료 가격이 비싼편이며, 중합시 비교적 다량의 monomer가 남는 결점이 있는 등 공업화에 해결점이 많다.

이미 제조되고 있는 nylon-66, nylon-6, nylon-11(프랑스, 이탈리아, 브라질등

생산), nylon 610(DuPont, ICI)이외에는 큰규모로 공업화되고 있는 것은 없으나 비교적 큰 규모로 연구되어 있는 것도 많이 있다.

새로운 nylon으로서는 nylon-7과 nylon-4가 있으며 nylon07은 사염화탄소나 포스켄을 연쇄이동제로하여 에틸렌의 telomerization으로 얻어지는 아미노에난트산의 중합에 의하여 얻는 방법이 있지만 동시에 nylon-9, 11 등의 monomer도 부생하여 이들을 분리하는 것도 쉽지 않은 문제이다.

또 특수 용도에 N-메톡시 nylon, 공중합 nylon, 폴리M-페닐렌 이소프탈아미드도 소량 만들어지고 있다.

다른 수지와 마찬가지로 nylon도 공업화한 이래로 각종 용도에 적합하도록 여러 가지 개질이 시도되어 제전성 나이론, 복합섬유, 폴리에스텔과 혼합섬유도 공업화되었다. 그러나 많은 nylons중에서 nylon-6과 nylon-66이 가장 공업적으로 대량 생산되며 이들에 대한 정보가 가장 많다. 따라서 이들 두 분류를 중심으로 소개하고자 한다.

Cyclic monomer로부터 형성되는 nylon-6은 $H-[NH-(CH_2)_{11}-CO-]_n-OH$ 로서 반복단위에 12개의 탄소원자를 가지고 있다. 이들 nylons를 표시할 때 사용되는 단부호(6,12등 정수)는 반복단위 (repeat-unit)안의 탄소원자수를 나타낸다. 다른 형태의 합성 nylon은 여러 가지 diamine과 diacid로부터 합성되는 nylon으로서 이들을 명명할 때 사용되는 diamine과 diacid unit 각각에 들어있는 탄소원자수를 나타낸다. 그 예로서 hexzomethylene diamine과 adipic acid로부터 합성되는 $H-[NH-(CH_2)_6-NH-CO-(CH_2)_4-CO]_n-OH$ 의 구조를 갖는 nylon-66이 대표적이다.

5-4. 국내 폴리우레탄 원료 수급현황 및 전망

98년 TDI의 국내생산은 약 70,000톤으로 97년에 비하여 약간 상승한 결과를 보여주었으나 국내수요의 경우 IMF 관리체제로 인한 자동차, 건축경기의 위축으로 인해 수요가 약 34% 감소하였다. 그러나 한국 화인케미칼과 동양화학은 내수감소분을 수출로 전환하여 수출이 " 97년에 비하여 40% 증가한 약 5만톤에

달했다. "99년도에는 전반기 수출 실적이 2만4천톤으로 보아 약 5만톤 정도 예상되며 내수 경기 또한 전반기 출하량으로 보아 IMF이전의 90% 가까이 접근하였다. 이는 곧 자동차 수출회복을 비롯한 경기회복을 반영한 것으로서 IMF 이전 수준으로 회복내지는 더 증가할 것으로 전망된다. 국내 TDI의 생산 능력은 한국화인 케미칼이 "99년 말까지 100% 증설해 생산능력을 6만6천톤으로 확장하면 동양화학의 3만3천톤을 합성하여 총 생산능력이 9만 9천톤으로 늘어난다. "98년도에는 외환위기에 따른 내수산업의 전반적인 불경기로 인해 대기업의 부도사태가 이어지면서 수산업이 극도로 부진하였다. "99년도에는 관련업체의 M&A와 구조조정 및 경기회복과 함께 자동차, 냉장고, 냉동컨테이너, shoe sole, 합성피혁 등의 꾸준한 수출증가가 예상되고 전반기 MDI 수출실적이 "98년도 대비 약 7.5%의 성장이 예상된다. 국내 MDI 생산 능력은 금호미쓰이화학 여천의 3만톤 공장을 2000년까지 5만톤으로 확장할 계획이어서 한국바스프의 8만톤, Dow Chemical의 2만5천톤을 합하면 총 15만5천톤에 달한다.

IMF 여파로 자동차 및 가전 부분의 경기침체에 따라 "98년도 내수시장은 "97년 대비 약 20%가 감소하였으나 중국 및 동남아시아로 수출호조로 인하여 안정적인 생산은 가능하였다. "99년도에는 국내 경기의 회복과 전반기 수출실적으로 보아 약간 증가할 것으로 전망된다. 국내 폴리올은 한국포리올, SK옥시케미칼, 금호케미칼, 한국 바스프 등에서 생산하고 있으며 총생산 규모는 21만7천톤에 이른다.

5-5. 셀룰로오스 용매계

셀룰로오스는 지구상에서 가장 풍부할 뿐 아니라 인류역사에서 빼놓을 수 없는 친숙한 유기물질이나 그 이용은 아직도 제한적이다. 이는 다양한 천연 셀룰로오스원에서 순수한 성분 분리가 쉽지 않고 결정화도와 분자가 s수소 결합력이 커서 적절한 용매 개발이 어렵기 때문이다. 여기에 석유 산업의; 발전으로 인하여 다양한 합성 유기물질을 쉽게 얻을 수 있게 된 것도 또 다른 원인으로 들 수 있다. 그동안 합성고분자 공업의 발전으로 인하여 셀룰로오스에 대한 연구나

산업용 재료로서의 비중은 꾸준히 감소하여 왔으나 석유자원의 고갈과 최근 생명공학의 발전 추세는 장차 셀룰로오스가 미래의 일상 생활에서 보다 중요한 역할을 하게 될 것으로 기대된다.

셀룰로오스에 관련한 다양한 연구가 진행되고 있지만 공업적으로 중요성이 큰 분야로는 환경친화성 용매계의 개발과 그 용액의 응용, 산 또는 효소분해에 의한 에너지원으로 글루코오스나 에탄올 제조 등을 들 수 있다.

셀룰로오스는 용점에 도달하기 전에 분해되기 때문에 다양한 형태로 성형을 위해서는 용매를 이용한 용해가 유일한 방법이다. 이와 관련하여 재생섬유인 비스코오스 레이온 제조공정이 오랫동안 이용된 바 있는데, 공장설비가 크고 회수가 어려우며 공해를 유발하는 이황화탄소(CS_2)를 사용하기 때문에 경제적 및 환경적인 측면에서 다른 합성섬유에 비하여 불리하다. 이점을 감안할 때 아민옥사이드계와 같은 무공해 공정이 앞으로 발전성을 지니고 있다. 일반적으로 셀룰로오스 용매계로서 공업적인 중요성을 지니기 위해서는 용매의 효율적인 재생, 용매 성분이 모두 제거된 셀룰로오스가 얻어질 것, 재생 셀룰로오스에 요청되는 물성, 낮은 용매 독성, 적은 자본 투자 및 저렴한 생산단가 등이 가능하여야 한다.

5-6. 리튬 고분자 전기 기술의 최근 동향

리튬 2차전지는 전자기기의 소형화에 따라 최근에 가장 각광받는 2차전지이다. 또한 전자기기 시장의 급격한 신장으로 그 수요 역시 크게 증가할 것으로 예상된다. 특히 3C라고 불리는 통신기기(communication), 컴퓨터(computer), 캠코더(camcorder)의 휴대특성 때문에 소형 2차전지의 개발은 가속화될 전망이다. 또한 미래시장으로 생각되는 것 중의 하나는 환경오염을 방지하기 위한 전기자동차 전원의 개발이다. 여기에는 여러 가지 다른 전망과 예상들이 나오고 있으며 예측하기 어려운 점들이 많으나 대체적으로 2차전지와 커패시터(capacitor)의 조합으로 그 가능성을 내다보고 있다.

현재 2차전지는 납 축전지, 니카드 전지(Ni-Cd), 니켈 수소전지(Ni-MH) 등

이 있으나 소형 전자기기에서는 점차 리튬 2차전지로 바뀌고 있는 경향이다. 이는 다른 2차전지에 비하여 리튬 전지가 같은 용량을 기준으로 무게가 가볍다는 장점이 있기 때문이다. 리튬 전지는 리튬이온 전지(LBI), 리튬 고분자 전지(LPB) 등으로 구별하며 전지 작동 원리는 동일하나 사용되는 전극과 전해질이 다르다. 현재 휴대폰 (cellular phone)과 휴대용 컴퓨터 (portable computer) 등에 사용되는 리튬 2차전지의 대부분의 액체 전해질을 사용하는 리튬이온 전지이다. 리튬고분자 전지는 고분자가 전해질의 역할을 하는 리튬 2차 전지이며 전극에 따라 리튬이온 고분자 전지는 리튬금속을 음극재로 사용한 경우를 말한다. 구미에서는 리튬이온 고분자 전지를 플라스틱 리튬이온 전지(PLT)라고도 부른다.

최근 들어 휴대형 전자기기의 경박단소(經薄短小)화, 다기능화, 고성능화 추세에 따라 사용 전원도 같은 필요성이 요구되고 있으며 이는 전자기기의 설계시 전지의 위치 및 크기가 제한 요소로 작용하고 있어 형태가 다양하고 얇은 전지를 채용하여 설계의 자유도를 높일 수 있기 때문이다. 이런 추세에 따라 리튬 고분자 전지의 연구와 개발이 활발히 이루어지고 있다. 본고에서는 이러한 장점들을 가진 리튬 고분자 전지를 중심으로 다른 리튬 전지와 비교와 각 요소별로 연구된 결과들과 최근의 연구동향을 알아보하고자 한다.

5-7. 다성분계 및 다상 고분자계의 미세 유변학

최근 고분자 얼로이 또는 고분자 복합체 등에 이용되고 있는 다성분 고분자계에서 미세한 불균일성(microheterogeneity) 등 미세 구조의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 고분자 얼로이는 단일 고분자/단일 고분자 블랜드 시스템으로부터 블록 공중합체 혹은 랜덤 공중합체를 상용화제로 사용되는 경우가 대다수이며, 고분자 복합체는 단일 공중합체에 액정 고분자를 포함하고 있는 다성분계이다. 단일 고분자/단일 고분자 블랜드에서 상용화 척도로 이용되고 있는 가장 손쉬운 것은 DSC등으로부터 유리전이온도(T_g)를 측정하여 하나의 T_g 가 나올 때 블랜드 시스템이 상용성이 있다고 하며, 두 개의 다른 T_g 가 나올 때는 비상용성계로 구분한다. 문제는 블록 공중합체나 액정 고분자를 포함하는 다성분 고분자

계에서는 이러한 정의가 모호해지는 경우가 있다. 예를 들면 지금까지 상용성계로 알려진 폴리스티렌(PS)/폴리 비닐메틸에테르(PVME)는 광산란장치로 측정하여 구한 turbidity point보다 훨씬 낮은 온도에서도 미세한 불균일성이 존재하는 것은 electron spin resonance로 구할 수 있다. 물론 이 블랜드 시스템은 하나의 T_g 를 보여주고 있다. 그러나, 하나의 T_g 를 보여준다고 해도 열용량이 변하기 시작하는 온도(onset temperature)와 열용량 차이가 완전히 끝나는 온도(final temperature)의 차이가 단일 고분자인 경우 8~10°C인 것에 비해 PS/PVME 블랜드는 조성에 따라 40~60°C가 된다. 따라서, 이러한 조성의 블랜드에서는 하나의 T_g 만 나타났다고 해서 분자 level까지 상용성이 있다고 볼수 없고 오히려 미세한 불균일성의 존재 가능성이 높아진다. 또한 T_g 가 유사한 블랜드인 경우는 이러한 미세한 불균일성은 DSC로는 측정이 불가능한데 이 경우 물론 solid state nmr등이 사용 될 수 있지만 측정시간과 고가의 장비 때문에 많은 사람에게 쉽게 이용될 수 없다.

5-8. 음이온 리빙중합에 의한 고분자 나노구조제어

고분자 합성에 있어서 단분산의 고분자를 얻는다는 것은 무척 어렵다. 이것은 고분자가 성장할 때, 활성종이 주위의 불순물에 의해서 활성을 잃게 되어 분자량 분포가 넓어지기 때문이다. 이와 같은 경우 설계대로 분자량을 제어할 수 없을 뿐 아니라 장차 정밀한 구조제어를 요하는 지능재료 응용에 한계를 갖게 된다. 이러한 문제를 극복하기 위해서 고분자 성장 활성말단을 안정화 시키려는 노력이 계속되어 왔다. 탄소 이중결합에서 일어나는 연쇄중합에서 개시반응과 성장반응만 있고 연쇄이동이나 정지반응이 없는 경우, 단량체가 모두 중합된 후에도 활성결합이 가능하다. 이와 같은 중합을 리빙중합(living polymerization)이라고 한다.

1956년 M. Szwarc에 의해서 음이온 리빙중합이 처음 발표된 이래, 양이온 리빙중합, 배위 리빙중합, 그룹이동중합 등이 연구되어 왔으며, 최근 라디칼 리빙중합에 관한 연구가 활발하게 수행되고 있다. 이와 같이 리빙중합에 대한 연

구를 활발하게 수행하는 이유는 단분산 고분자의 합성이 가능하고 설계대로의 분자량을 갖는 고분자의 합성과 동시에 분자레벨에서 고분자의 분자량을 조절하여 궁극적으로 고분자를 나노 크기에서 제어할 수 있기 때문이다. 또한, 하나의 단량체의 중합이 끝난 후 다른 단량체를 중합시키면 블록공중합체를 합성 할 수 있다. 이와같이 리빙중합법을 이용하면 전기적, 광학적 물성을 갖는 고분자 또는 무기 나노입자의 형태, 크기, 거리를 제어하여 매트릭스 안에 분산시킴으로 고분자 나노구조의 제어가 가능하다.

5-9. 분자 전자 재료

단결정 실리콘 반도체를 핵심 소재로하는 금세기의 정보, 전자 기술은 눈부신 발전을 거듭해온 바, 인류의 생활자체를 혁신적으로 개선해가고 있다. 역사적으로는 1948년 미국의 벨 전화 연구소에서 과거 전자 기술의 핵심 부품이던 진공관을 대체할 수 있는 소형, 고체상태의 트랜지스터를 개발한 것이 근대 전자 기술, 특히 실리콘 반도체 전자기술의 모태가 되었다. 이후 십여 년간 반도체 기술은 전자 회로의 구성 및 제품 생산에서 과거의 진공관 회로를 완전히 대체하는 신산업으로 등장하게 되었다. 그러나 반도체 기술의 발전은 전자 회로의 개별 부품인 트랜지스터, 다이오드, 저항기 등의 생산에 그치지 않고 이러한 핵심 부품들과 이를 연결하는 전자 회로를 한 개의 반도체 칩(chip) 위에 직접 제조하는 집적화 회로(IC)의 실용화에 이르게 되어 현대 미세 전자 기술의 시대를 열게 되었다. 반도체 메모리 소자를 일례로 들면, 1960년 포토레지스트를 이용한 미세 가공기술의 발명에 기반을 둔 이러한 IC는 한 개의 반도체 칩 위에 천여개의 트랜지스터를 집적화 하는 과정 (LSI)을 거쳐 이제는 사백만개의 트랜지스터가 한 개의 칩위에 집적화된 4M DRAM의 시대를 맞게 되었다. 그러나 이러한 혁신적인 집적도의 발전도 대용량 화상 정보, 고속 통신, 초고속 연산 등을 관건으로 하는 고도 정보화 산업용 전자 부품으로는 아직 그 성능에 이르지 못하며, 더욱이 실리콘 반도체를 이용한 미세 전자 기술은 이미 그 성능 한계에 근접한 것으로 판단되고 있다.

따라서 이러한 집적화의 기술적 한계를 극복할 수 있는 돌파구로서 “분자 전자”라는 새로운 개념이 1979년 최초로 제창되었고 이에 대한 후속 연구 개발이 큰 관심을 끌고 있다. 분자 전자라는 개념은 나노미터(nanometer)의 크기를 갖는 기능성 유기분자를 단위 전자 소자로 이용한다는 기본적 개념에서 시작하였다. 즉, 메모리 소자를 일례로 들면, 1 나노미터의 단위 분자가 스위칭 또는 메모리 기능을 갖는 경우 이들 분자들을 이차원적 규칙 배열화 하고 분자 배선함으로써 얻을 수 있는 이론적 메모리 용량은 10^{14} bit/cm²으로서 기존의 수 메가 DRAM 반도체 메모리보다 백만배 이상의 고용량화가 가능하다는 결론에 이르게 된다.

이러한 분자 전자의 가능성은 기존 반도체 전자 재료의 최신 연구방향과 비교하면 쉽게 이해할 수 있다. 양자역학적인 관점에서 볼 때, 반도체 재료는 결정내 모든 원소 물질들로부터의 파동함수의 중첩에 의해 형성되는 에너지 준위가 전도대와 가전자대로 분리되고, 이들 간의 에너지 차에 해당하는 band gap에 의해 반도체 특성이 좌우된다. 반도체 재료를 이요하는 전자 소자의 고속화, 고집적화의 한계는 이러한 에너지대 구조에 기인하는 것으로서, 이의 한계를 극복하는 방법으로서 양자화의 수법이 동원되고 있다. 구체적으로, 반도체 재료의 공간적 차원성을 줄여가는 나노미터 반도체에 대한 최신 연구가 바로 그것으로서 다중양자 우물 구조, 양자 세션, 양자점 구조의 반도체가 차세대 초고속화, 고집적화 전자 소자로의 돌파구라는 것이 이미 이론적, 실험적으로 잘 알려져 있고 이에 대한 첨단 연구가 급속히 진전되고 있다.

이러한 관점에서 볼 때, 물질 기능의 최소 단위인 분자 하나 하나가 양자 구조를 이루고 있는 것을 특징으로 하는 분자성 유기 물질은 고성능 전자 소자로서 가장 큰 가능성을 갖고 있다고 할 수 있다. 이러한 분자 전자의 실현을 위해서는 기능성을 갖는 분자 설계, 이의 공간적 규칙 배열, 그리고 분자 배선의 단계가 필요하다. 기능 분자로서는 쌍안정성, 광변색성 등의 스위칭 재료를 그 예로 들 수 있으며 이의 공간적인 배열, 즉 초격자의 제조에는 이온빔 증착, 분자선 에피택시, Langmuir-Blodgett 박막, 분자 자기 조립(self assembly) 등의 새로운

방법들이 개발되었다. 그러나 각 개별 분자 소자에의 배선은 아직 난관을 겪고 있는 실정으로서 나노미터 수준의 초미세 lithography, 전도성 고분자의 lithography적 ion-implantation에 의한 분자 배선, STM을 이용한 방법 등이 가능성이 있는 방법으로 대두되고 있는데 이러한 초미세 가공은 분자 전자재료 QNs 만 아니라 나노미터 반도체 개발에 있어서도 핵심적인 기술로서 “Nano-technology”라는 90년대 신조어를 탄생시켰다. 이러한 분자 전자 연구의 전개는 전자의 거동만을 이용하는 소자로의 경우는 분자 배선의 문제와 addressing의 난이성으로 다소 비관적인 것이 현실이나, 전자와 광(photon)의 상호 작용을 그 동작 원리로하는 ”분자광전자 재료“로의 새로운 전개가 실용화 정보, 전자재료로의 실용화 가능성을 열고 있어 이에 대한 연구 노력이 활기를 띠고 있다.

5-10. Metallocene 중합촉매

최근 유기금속화물을 이용한 고분자의 합성이 학계와 산업계의 많은 주목을 받고 있으며, 현 시점에서 가장 활발하게 연구되고 있는 분야는 소위 Metallocener 계 화합물을 촉매로 Cyclic olefin의 개환중합촉매로 이용하는 Metathesis 분야이다. 이중 특히 Metallocene 촉매는 Polyolefin이 Plastic 산업에서 차지하는 비중, Polyolefin 생산업체가 연구개발 능력이 우수한 대기업이라는 점 그리고 촉매기술이 Polyolefin의 물성에 직접 관련되는 특징 등으로 인해 매우 빠르게 발전 되고 있으며, 경쟁 또한 치열하게 전개되고 있다. 특히 1991년 이후 세계적인 석유화학회사들이 경쟁적으로 연구결과를 발표하고 있는데 이것은 아마도 향후 Plastic 제조를 선도할 Metallocene 촉매 분야의 주도권을 잡기 위한 노력으로 보인다. 이러한 분위기에서 국내의 관련업체들도 높은 관심과 함께 각 나름의 사정에 맞게 Metallocene 연구개발을 준비, 운영하고 있다. 이 시점에서 본 총설은 Metallocene 촉매를 촉매적인 관점에서 개괄적으로 소개하기 위한 것이다. 이런 목적을 위해 본 총설에서는 Metallocene 촉매의 합성방법, 사용공정, 중합시의 Kinetics, 생성되는 고분자의 구조 및 물성 등에 관한 깊은 논의는 포함되지 않으며, 촉매로서의 중요 관점인 Metallocene 촉매의 Active Site,

Stereochemical Control 및 지금까지 알려진 Metallocene 촉매의 종류 등이 논의 될 것이다.

5-11. 컴퓨터와 고분자

고분자 물성분야 연구에서의 컴퓨터 모사에 의한 분자 모델링은 고분자 물질의 분자적 견지에서 미시적 정보를 계산을 통하여 얻어내고, 이를 통계역학적 방법을 사용하여 해석함으로써 최종적으로 물질의 거시적 성질(기계적 성질, permeability, 3차원구조정보, miscibility/compatibility 등)에 대한 정보를 얻어낼 수 있으며 아울러 원하는 성질을 갖는 물질을 설계할 수 있게 한다. 이는 시간과 경비를 크게 줄이면서 실제 실험 결과를 체계적으로 해석하는데 커다란 도움을 주며, 새로운 현상을 예측할 수 있게 한다. 컴퓨터 모사에 의한 분자 모델링은 초기 단계에는 학계나 일부 선진 연구그룹에서 개별적으로 이용되어 왔으나, 현재에는 상품화된 소프트웨어의 개발을 통하여 수많은 연구원들이 손쉽게 이용할 수 있게 되었다.

고분자 가공분야인 사출성형은 가장 널리 사용되는 고분자 물질의 가공 방식으로 국내외에서 제품을 개발하기 위한 많은 인적 물적 경비와 시간을 투자하고 있다. 이에 수반하여 사출성형을 컴퓨터를 이용한 CAE(Computer Aided Engineering)의 적용으로 기존의 비효율적인 방식보다 시행착오를 최소화 할 수 있고, 최적 설계를 통한 제품의 품질과 신뢰성을 향상시킬 수 있게 되었다. 한편 압출공정에서도 컴퓨터 모델링에 의한 스크류 디자인 등을 통하여 공정을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 현재 많은 상용 소프트웨어들이 개발되어 사용자가 손쉽게 이용할 수 있다. 컴퓨터를 이용한 연구는 간단한 조작을 통하여 비교적 결과를 손쉽게 분석, 예측할 수 있으며, 시행착오 방식에 의존하는 많은 실험빈도를 줄일 수 있고, 시간, 비용 및 인력을 절약할 수 있으므로, 상기 고분자 관련 분야 뿐 만이 아니라 다양한 학문 분야에서 활발히 응용되고 있다. 현재 과학 및 공학 문제를 컴퓨터를 이용하여 수치적으로 풀어 가는 이른바 계산 과학 및 공학 분야의 연평균 성장률은 약 30~50%로 급성장하

고 있으며, 이는 컴퓨터를 이용한 연구 자체가 갖는 생산성과 경제성이 주목받고 있음을 반영하는 것이라 할 수 있다. 따라서 아직까지 고분자 관련 연구에서 컴퓨터 모사의 활용이 미진한 국내 상황을 비추어 볼 때 앞으로 학계와 고분자 산업체의 많은 관심이 요망된다.

5-12. 고분자산업의 국내현황

고분자 산업기술은 너무도 광범위해서 전 산업분야에 널리 이용되고 있기 때문에 그 한계를 정하기가 매우 어렵다. 고분자 합성 분야에 속하는 라디칼중합, 이온중합, 배위중합, 개환중합, 공중합, 신고분자합성 등 매우 다양한 전문분야가 있고 고분자반응을 고분자개질, 가교반응, 고분자분해에서 특히 가교반응을 방사선이용이 잘 응용되고 있는 분야이다. 최근 고성능 및 고기능성 고분자분야가 급속도로 활성화되고있는 경향으로 전기 및 자기특성고분자, 의료고분자, 고분자센서 등의 산업이 급성장하고있는 추세에 있다. 특히, 절연재료의 생산, 중합센서산업에서 방사선이용이 증대될것으로 기대된다. 국내 대표적인 고분자 산업체는 다음과 같다.

한국종합화학 (주)	LG-Caltex정유(주)	럭키엔지니어링(주)
(주)한국유화	애경셀(주)	호남석유화학(주)
LG엔지니어링(주)	태평양화학공업(주)	(주)제일모직
한국오츠카(주)	경신산업(주)	한국다우코닝(주)
태광특수기계(주)	LG건설(주)	데이비드케미칼(주)
한국 P&G(주)	(주)해룡실리콘	(주)로드인더스트리
대보화학(주)	동보화학(주)	동진화성공업(주)
신원산업	한양바스프우레탄(주)	천보화학
삼경화성(주)	(주)청화사	세우엔지니어링(주)
(주)제철화학	한국카프로락탐(주)	태성고무화학(주)
(주)서통	대호물산	한국제지(주)
동성화학(주)	호성케멕스(주)	코스파(주)

(주)유레이	(주)화승T&C	로제화장품(주)
동양실리콘(주)	(주)효성	계림화학(주)
영성산업(주)	현대종합목재	(주)유니코
고려연마공업(주)	(주)세풍	삼화전기(주)
(주)강남정공	한국화인케미칼(주)	(주)한양유화
삼성항공(주)	POSCO	(주)신영 라드켄
(주)효광 E&C	(주)신흥규산	해동화학(주)
(주)고 잔공업	(주)보락	세원기업(주)
에바스화장품	(주)헵스켄	(주)신우음향
대림산업	(주)벤처엔지니어링	아시아자동차공업(주)
(주)코리아나	쌍용제지	동주산업(주)
범우화학공업(주)	(주)다이웰	신동방메딕스
(주)진웅화학	합동약품	영진화학공업(주)
삼성전기(주)	대일실업(주)	조광페인트(주)
(주)제오빌더	자광 RNCTech(주)	(주)삼화유업
한라펄프제지(주)	코오롱엔지니어링(주)	한결산업
(주)동양시멘트	(주)중외제약	(주)금호
삼영전자공업(주)	ICI우방(주)	대우전자부품(주)
(주)사임당화장품	일신유화(주)	현대전자
건설화학공업(주)	영성산업(주)	코스모산업(주)
(주)경농	한국포리머(주)	(주)두원
평일산업(주)	금호타이어(주)	(주)동남합성공업
(주)범문사	(주)아해	(주)대상
(주)호남석유화학	(주)인희음성공장	건일제약(주)
한솔제지(주)	(주)아모스	(주)LG실트론
고려화학(주)	대한페인트공업(주)	동부화학
동서화학공업(주)	동양화학공업(주)	두림화성

라이온케미칼(주)	로디아 코프랑(주)	Varta Korea
삼성비피화학(주)	삼화제지	영신퀴츠(주)
우진페인트공업(주)	유니온카바이드케미칼코리아	애경유화
애경산업(주)	조광페인트공업(주)	(주)서통
(주)양명교역	(주)LG화학	제일제당(주)
태평양(주)	현대페인트공업(주)	로케트전기(주)
신호금속(주)	(주)세풍	(주)한농화성

6. 방사선응용계측 및 추적자 산업

6-1. 방사성추적자 이용에 따르는 일반적 고려사항¹⁾

산업활동에는 다양한 기술적 문제가 내포되어 있고 이를 해결하기 위해 애로점 해소, 원인조사, 제조공정의 모델링 및 신기술의 개발 등 다양한 방안을 추구하고 있다. 이러한 산업활동에 추적자가 사용되고 있는 바, 추적자로는 染料, 磁性물질 및 방사성추적자 등이 사용되고 있고, 다른 추적자에 비해 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 동일성(identity): 주어진 원소에 대한 화학적, 물리적성질의 동일성을 가진다.
 - 특이성(specificity): 추적자로부터 방출되는 방사선은 測定系에 포함된 다른 물질에 의해 방해받지 않는다.
 - 감도(sensitivity): 방사성원소는 아주 낮은 농도에서도 측정가능하다.
 - 현장(in situ) 측정: 공장기기의 파이프를 관통하고, 장치 표면을 감마선 추적자로 측정하는 것은 대부분의 경우 공장운영 상 매우 편리하고 중요하다.
- 먼저 추적자 이용기술을 살펴보고 국내이용 현황과 향후 전망을 살펴본다.

6-1-1. 방사성추적자의 선택

방사성추적자가 추적하고자 하는 물질과 화학적으로 동일한 물질인 경우 이를 화학적 방사성추적자(chemical radioactive tracer)라 한다. 이와 같은 추적

자는 화학 반응속도, 용해도, 증기압, 원자 혹은 분자의 확산과정 등을 연구하는데 사용된다. 예를 들면 물에 대해서는 $^1H^3HO$, $NaOH$ 에 대해서는 $^{24}NaOH$, CO_2 에 대해서는 $^{14}CO_2$ 등의 표지화합물을 추적자로 사용한다. 그러나 추적하려는 물질과 화학적으로 동일한 추적자가 언제나 반드시 필요한 것은 아니며, 추적자가 추적하려는 물질의 물리적 및 물리화학적 조건을 어느 정도만 갖추면 충분한 것을 물리적 방사성추적자(physical radioactive tracer)라 하고 많은 경우에 이 추적자가 사용된다. 어떤 조사목적으로 몇 가지 방사성추적자를 고려하고 있을 때, 반감기가 짧고, 높은 검출 감도, 담체물질이 가능하고 높은 연간 섭취허용한도(annual limit of intake, ALI) 등을 가지고 있는 추적자를 선택하는 것이 유리하다.

추적자는 아주 낮은 농도의 물질로서, 사용되고 있는 계의 물질에 흡수되면 침전하거나 계에서 빠져나가게 되므로 손실이 크게 된다. 이를 방지하기 위해서 비방사성의 담체가 필요할 경우가 있다.

6-1-2. 사용하는 추적자의 최적방사능

추적자 실험에서 소요되는 최저 방사능의 수준은 측정의 감도, 요구되는 정확도, 주입과 측정지점에서의 예상되는 희석정도 등에 달려 있다. 상한선은 피폭되는 방사선 안전을 고려하여 결정되어야 한다. 추적자 측정의 감도는 비방사능에 대한 계수율로 표시한다.

예로서 어떤 측정된 유체가 검출기가 장착된 파이프를 통과한 측정값은 계수/초 $\cdot m^3/\mu Ci$ 또는 계수/초 $\cdot m^3/kBq$ 의 감도를 나타낸다. 감도는 실제적인 측정시스템의 효율을 측정하는데 기초가 되는 방사능 양으로부터 평가된다. 추적자 주입구와 측정지점사이의 희석되는 정도와, 계속적 유동계통에서 추적자의 분산을 평가해야 한다. 예로서 측정의 정확도를 유지하기 위해 측정지점의 비방사능 $10 \mu Ci/ m^3 (370 kBq/ m^3)$ 을 유지하면서 이를 $10^4 m^3$ 의 부피에 주입되어 희석된다면, 주입해야 할 방사능은 $10^4 m^3 \times 10 \mu Ci/ m^3 = 10^5 \mu Ci$ 로 추산할

수 있다.

6-1-3. 방사성추적자의 제조

① 직접 방사화

추적하고자 하는 물질의 일부를 중성자 조사하여 필요한 방사능의 추적자를 만든다. 시멘트 원료, 석탄, 광물 등을 조사하여 필요한 추적자를 만드는 예는 다음과 같다(표6-1).

표6-1. 고체를 직접 중성자 조사하여 방사성추적자를 생성하는 예

<u>照射대상물질</u>	<u>생성된 동위원소</u>
석탄	Sc-46, Fe-59(Mn-56, Na-24의 붕괴후)
시멘트 크링커	Na-24
cracking catalyst	La-140
金광석	Au-198, Fe-59, K-42, La-140, Mn-56, Na-24, Sc-46, Cr-51
銅광석	Cu-64, K-42, La-140, Na-22
carbon black	Na-24

② 표면 標識

물질을 직접 조사하는 대신 생석회, 시멘트, Al가루, carbon black 등의 표면을 $SnCl_2$ 로 처리 한 다음 Au-198 용액을 표면에 접촉시키면 Au-198이 환원되어 이들 물질의 표면에 표지된다. 이온교환성질을 가지는 물질, 예로서 점토에 1에서 4價에 달하는 여러 양이온(Cr-51, Cs-134, Co-60, Ce-144 등)을 촉매하에 작용시켜 표지한다. 진흙에 산화환원 반응을 이용하여 일차로 Au-198로 표지한 다음 이중으로 다른 추적자, Sc-46 또는 Hf-170/181 과 Zn-65, Cr-51 또는

Hg-203 등을 표지한다. 고체에 물리적 추적자를 표지하려면 방사성 용액을 대상물질에 흡착, 적시기, 또는 용액의 살포 등의 방법을 적용한다.

표면 표지방법에서 방사능은 물질의 질량보다는 표면적에 비례하고 이는 입자의 크기분포에 의존된다. 위와 같은 방법으로 방사성용액을 물질에 접촉시켜 표면 표지를 할 때는 균일하게 표지되는지 여부를 점검해야한다.

③ 기계적 표지표 달기

개별적 물체에 표지하고자 할 때 사용하는 방법이며, 예로서 매설된 파이프에 Co-60 선원을 포함하고 있는 쇠덩어리를 막힌 파이프 위치에 설치한다던가 목재조각에 조사된 Cu-64의 銅線으로 표지한다던가 내화벽돌에 Co-60을 표지하는 것 등이 있다.

④ 수용액 系

三重水素水($^1H^3HO$)가 물에 대한 유일한 화학적 방사성추적자이다. 취급시에 대기중의 습기에 증발하거나 교환반응할 수 있으므로 주의를 요한다.

⑤ 유기물

유기물에 대한 방사성 화학적 추적자는 C-14, H-3, S-35, P-32 등으로 표지한 화합물인데, 이들은 규모가 큰 공장의 시험에서는 순수 베타 방출체이므로 자주 사용되지 않고 실험실적 연구활동에 많이 사용된다. 공장에서는 유기금속 화합물인 물리적 추적자를 주로 사용한다. 사용되는 물리적 추적자는 Na-24, Br-82, La-140, Cu-64, Ni-65, Ge-77, Cs-134, Co-60, Au-198, I-131, Mn-56, In-113m 등의 유기금속화합물이다.

⑥ 기체방사성추적자

기체 방사성 추적자는 공기오염, 환기계통의 연구에 주로 사용되고, 사용되는 추적자는 Ar-41, As-76, Br-82, Kr-85, Kr-79, Xe-133, S-35 등의 기체화합물

이다.

6-2. 방사성추적자 이용기술²⁾

산업현장에서 추적자로 사용되는 방사성동위원소는 대개의 경우 반감기가 비교적 짧고, 사용양도 수십 mCi 정도로 작기 때문에 이로 인한 작업자의 방사선 피폭 위험은 거의 없고, RI의 사용 중 공정흐름의 단절이 없다는 장점을 가지고 있다. 방사성추적자 기술의 적용분야는 화학, 석유, 시멘트, 자동차, 광공업, 전자, 철강, 제지 및 환경공학 등 거의 모든 산업분야에 걸쳐 활용될 수 있다. 이용되는 방사성추적자의 주요 기술내용은 다음과 같다.

- 설비에 투입되는 원료 및 냉각수 등의 유속측정
- 반응기내에서 원료의 체류시간분포 측정
- 복잡한 형상의 용기나 설비 내를 흐르는 유체의 총량측정
- 지하매설 송유관, 송수관 및 열교환기 등으로부터의 누설탐지
- 혼합기의 원료 혼합도 및 적정 혼합시간 측정, 혼합사각지대 탐지
- 기계부품의 마모도 및 부식측정
- 내부 퇴적물 측정, 파이프 막힘 위치탐지

6-2-1. 추적자 이용기술 개요

① 유속측정기술

공정의 물질유속을 측정하고 조절하는 것은 제품의 생산원가와 품질에 영향을 미치기 때문에 중요하다. 동위원소를 이용한 유속측정기술은 간단하고 정확도가 높기 때문에 여러 추적자기술 중에서도 산업계의 수요가 가장 많다. 이 기술은 시설에 설치된 유량계의 보정, 펌프의 효율측정, 공정의 에너지 또는 물질수지 등을 연구하는데 주로 사용된다. 천이시간방법(transit time method)은 두 측정지점사이의 부피를 정확하게 알고 있을 때 사용된다. 파이프, 용기 등의 외부에 방사선계측기를 설치하고 상류에서 추적자를 주입하여 두 지점사이를 이

동하는데 소요된 시간을 측정할 수 있다. 두 측정지점사이의 부피를 시간으로 나누면 유속을 얻을 수 있다. 천이시간방법 이외에도 계속적 희석방법 (continuous dilution method) 및 全計數 측정법(total count method) 등도 현장의 측정환경 및 실험목적에 따라 이들을 선택하여 사용된다.

② 체류시간분포 측정기술

효율적이고 경제적인 제품이 생산되기 위해서는 원료가 공정내에서 머무르며 반응하는 시간이 최적화되어야 한다. 반응기 전후에 각각 방사선검출기를 설치하고, 상류에서 방사성추적자를 투입하여 각 검출기로부터 시간에 따르는 계측수를 기록하여 입구방사능면적과 출구방사능면적을 얻는다. 이 면적중심 사이의 시간차이가 평균체류시간이 된다. perfect mixers in series model 또는 軸방향분산 모델과 같은 수학적 모델을 이용하여 탱크의 數, Peclet 數 등 체류시간 분포나 혼합특성과 관련된 정보를 얻을 수 있다. 이러한 자료는 공정을 진단하는데 뿐만 아니라 새로운 시스템을 설계하는데도 매우 중요한 정보가 된다.

③ 부피측정기술

정상적인 상태에서 부피측정은 감마선 투과형 준위계나 중성자 후방산란 계측으로 간단히 측정할 수 있다. 그러나 용기내에 불규칙적으로 고체침적물이 쌓여 있는 경우, 용기가 여러개의 작은 부분으로 이루어져 있는 경우 등 다른 방법으로 측정이 어려운 상태에서는 추적자를 이용한 기술이 유용하다. 동위원소 희석법을 이용하는 것으로서, 동위원소의 양을 정확히 측정하고, 이를 대상용기에 넣어 농도가 균일해 질 때까지 충분히 혼합시킨 다음, 적당량의 시료를 채취하여 방사선 계측한다. 이 측정값으로부터 용기내 대상물질의 양을 알아 낼 수 있다.

④ 혼합도 측정

혼합공정은 시간과 에너지가 많이 소요되기 때문에 제품 단가에 영향을 많

이 받고, 따라서 적정 혼합시간의 선정이 매우 중요하다.

혼합되는 성분중 하나를 원자로에서 중성자 조사시키거나, 방사성동위원소로 표지하여 혼합기에 넣고 혼합한다. 혼합기 외부에 설치된 방사선검출기로 주입된 추적자의 거동을 관찰하여 혼합 진행상황을 파악할 수 있고, 필요한 경우 시료를 채취하여 단순한 방사선계측을 통해 혼합도를 추적할 수 있다.

⑤ 누설탐지 기술

생산공장에서 누설이 발생하면 제품에 異物質이 혼입되어 제품의 품질이 떨어지거나, 원료와 에너지의 낭비를 가져온다. 누설을 탐지하는데는 유속측정방법, 체류시간분포 측정에 의한 방법 등이 사용된다.

지하에 매설된 송유관에 누설이 발생하면 자원의 손실뿐 아니라, 자연환경도 훼손되기 때문에 누설을 최대한으로 방지해야 하나 통상적인 방법으로는 누설위치를 찾는 것이 쉽지 않다. 방사성추적자를 이용한 가장 간단한 방법은 관내에 동위원소 용액(Br-82)을 주입하고 압력을 가하여 누설된 방사능을 지표에서 검출하여 누설위치를 알아내는 방법이다. 관이 너무 깊이 묻혀있는 경우에는 지표에서 방사선을 검출할 수 없어 이 방법이 사용되지 않는다. 이럴 때는 의심스런 구간의 송유관을 jumper로 단절하고 송유관 깊이 까지 땅을 파고 몇 μCi 정도의 Co-60을 일정간격의 송유관에 부착하여 표시한다. 검출기와 기록장치를 pig에 부착하여 유압을 가하여 송유관 내로 흘려보낸다. pig는 시험 끝구간에서 회수되어 시간경과(송유관 거리)에 따르는 일정간격으로 표시한 Co-60의 방사능과 이 구간 내에 나타나는 추적자 방사능 시간을 측정함으로써 누설위치를 알아낸다.

⑥ 磨耗度 측정

구동부위가 많은 자동차는 물론 산업시설에서 부품의 마모현상은 시설의 내구성과 안전운전에 영향을 준다. 마모는 그 진행속도가 매우 느리기 때문에 일반적인 방법으로 마모속도를 측정하기 쉽지 않다. 특히 시설이나 장치에 부착된

상태에서 마모의 진행상황을 감시하는 것은 거의 불가능하다. 이런 난점은 방사성추적자를 이용하여 해결할 수 있다. 측정하고자 하는 부위에 양성자, 중양자, 알파입자 등을 조사하면 표면에 방사성동위원소가 생성된다. 이와 같은 하전입자 조사는 중성자와는 달리 투과력이 매우 낮기 때문에 표면에 가까운 층에만 동위원소가 생성된다. 이를 장치에 설치하고 가동하면 마모로 인해 방사선계측치가 감소하므로 외부에 설치된 방사선검출기의 지시값으로부터 마모의 진행 상황을 on-line으로 추적할 수 있다.

⑦ 증류탑 검사기술

석유, 화학공장에 설치되어 있는 증류탑의 이상유무를 검사하기 위해서 방사성추적자를 이용하면 가동의 중단 없이 이를 수행하므로 막대한 손실을 피할 수 있다. 증류탑 외부에서 감마선의 투과력을 이용하여 검사하는데, Co-60, Cs-137과 같은 밀봉선원을 증류탑의 한 면에 부착하고, 다른 면에 방사선검출기를 같은 높이에 매달아서 증류탑을 투과한 방사선을 계측한다. 양측을 동시에 일정 거리만큼씩 이동하면서 계측을 계속하면 증류탑의 밀도 단면도를 얻을 수 있다. 이를 정상상태의 것 또는 설계도면과 비교하면 고장부위 및 원인을 알아낼 수 있다.

⑧ 부식 및 침적물 탐사기술

파이프내에 고체물질이나 왁스 등이 쌓이면 관의 이송능력이 떨어져 펌프의 과부하를 가져온다. 파이프가 부식되면 누설이 발생하여 원료나 생산품이 손실될 수 있으며, 안전사고의 위험도 높아진다. 감마선 투과법을 이용하면 시설가동 상태하에 이를 검사할 수 있다.

파이프의 양측에 적당한 감마선원과 방사선검출기를 일정거리가 유지하도록 배치하고, 이를 이동하면서 계측한다. 침적물이 발생한 부위에서는 계측수가 감소하고, 부식부위에서는 계측수가 증가하므로 이를 표준 파이프에서의 계측수와 비교하여 문제점 부위를 찾아낸다.

6-3. 추적자 이용 사례¹⁾

방사성추적자는 다른 방법으로는 얻을 수 없는 공정상의 물질이동이나 전달에 관한 정보를 얻을 수 있는 유용한 방법이 되어 왔다. 40년 이상 공정의 연구개발, 일상적인 시험 등에 RI의 산업적 이용이 확대되어 왔다. 몇 가지 산업에의 이용사례는 다음과 같다.

6-3-1. 화학공업

화학공업은 공정기술, 조업규모 및 최종제품 등에 따라 다양함에도 불구하고, 단위조작을 살펴보면 공통적인 유사성이 있다. 예로서 유체의 순환계통, 열교환기, 증류탑, 스팀, 냉각수, 압축공기, 반응용기, 저장탱크, 액체폐기물계통 등이다. 추적자를 이용하는 화학공업의 분야는 다음과 같다(표 6-2).

표 6-2. 추적자기술을 이용하는 화학공업 작업 스펙트럼¹⁾

<u>응용분야</u>	<u>연간 사용회수</u>
<u>A 방사성추적자 이용</u>	
· 유량측정	
-천이시간 기법	365
-회석기법	115
· 누출 검출	75
· 체류시간 조사	28
· 액체 비말동반	12
· 혼합	2
· 부피측정	3
· 부식측정	5

B 이동식 장비를 이용한 밀봉선원 이용

· 액체측정	
-감마선 흡수	52
-중성자 후방산란	285
-감마선 산란	165
· 막힘 검출과 석출 측정	32
· 부식과 두께 측정	18
· 비말동반과 빈 공간 측정	12
· 증류탑 종단면 밀도	82

다음 자료는 세계적으로 많이 이용되는 화학 제조업과 작업 스펙트럼을 포함하고 있다(표 6-3).

6-3-2. 증류장치로부터 제품에 누수되는 현상 조사

증류공정은 제품의 마지막 정제과정으로서, 여기에 물이 스며들면 제품의 품질을 만족시킬 수 없을 뿐만 아니라 공정계통에 부식을 야기한다. 이런 물의 오염은 재비기의 스팀, 복수기의 냉각수 및 제품 냉각수 등으로부터 누수되어 제품에 혼입된다. 생산설비의 가동을 중단하고 누수를 시험하고 보수할 경우 막대한 비용이 발생하므로, 위의 3종류 열교환기에 on-line으로 RI기술을 이용하여 누수를 탐지한다.

■ 시험방법의 설계

On-line에서 적절한 RI를 맥동식으로 주입하고 외부 검출기로 방사능을 측정하는 방법과 向流방향에서 시료를 채취하여 방사능을 측정하는 두 가지 방법이 있는데 시료채취법은 더 높은 감도를 필요로 하고있다.

표 6-3. 선정된 추적자 이용현황

주제분야	이용분야	추적자 사용 방법
고장의 원인/해결	폐열 보일러에 주입하는 공 급수 유량 분포 측정	액체 Na-24용액을 이용한 천이시간 측정 기술
	주입수/유출수 교환기내의 내부 우회량	Ar-41을 맥동으로 공급수에 주입, 외부 검출기로 배기가스의 체류시간 분포측정
	폐열 보일러계통의 스팀 누 출	액체 Na-24용액을 보일러 공급수에 주입, 외부 검출기로 누출 스팀 검출
고장의 발견/해결	열전달 매질의 加熱爐 내면 의 누출 검출	파라브롬화벤젠의 Br-82를 열전달 매질 에 주입, 로의 燃道가스를 채취하여 방사 능 측정
	기름 용매 교환기의 누출검출	K-85를 교환기의 고압측에 주입, 저압측 의 시료를 채취하여 방사능 측정
	냉각탑 내면의 내부 막힘	bromodiphenyl로서 Br-82를 냉각 기름에 표지하고 샘플에 고인 기름중의 방사능을 외부검출기로 측정
	증류탑의 상부 가스층에 함 유된 액체의 비말동반 측정	naphthenate로서 Mn-56을 증류탑 주입수 에 가하고, 상부 가스층을 채취하여 방사 능 측정
	촉매 반응기의 기능 불완전	매 3개의 병렬 반응기의 체류시간 측정 a)액체상의 부롬화 암모니움으로서 Br-82 b)유기상에서 Br-82를 p-dibromobenzene을 사용하여 외부 검출 기로 측정
생산효율 조사	암모니아 공장의 물질수지(material balance)	기체상은 Kr-85, 액체상은 Na-24를 추적자로 원료공급, 제품 유량의 천이시간 측정
	암모니아 공장의 스팀터빈 의 효율측정을 위한 유속 측정	Kr-85를 사용하여 천이시간 측정
	평균체류시간 측정에 의한 원통형 반응기의 고체석출물 측정	paradibromobenzene의 Br-82를 맥동으로 반응기의 원료 투입기에 주입하여 평균체 류시간 측정

생산효율 조사	나프탈린 저장탱크에서 혼합 효율측정	p-dibromobenzene의 Br-82를 탱크에 가하고 일정 시간 간격으로 시료를 채취하여 방사능 측정
	원유 탱크내의 슬러지 석출 측정	paradibromobenzene의 Br-82를 원유에 혼합하고, 추적자의 희석정도로부터 원유의 부피측정, 슬러지와 원유의 총부피는 오일 레벨로 측정하여 이로부터 슬러지량 측정
공정특성화	복합비료공장의 입자 성형 loop의 모델링	NaCl, KBr에 Na-24, Br-82의 고체 추적자를 비료알맹이에 가하여 체류시간 측정
현장에서의 보정	촉매 반응기내에서 이동하는 유체의 흐르는 모양 조사	란타넘 acetate의 La-140을 촉매 알맹이에 침투시켜놓고, 반응기의 입구와 출구의 방사능 측정
	유량계의 보정	Kr-85추적자로 총 계수를 측정
	증기의 유량·유속 측정	삼중수소를 사용하여 전수 시료채취법으로 측정
안전과 환경	황산을 운반하는 파이프의 부식 측정	구부러진 파이프 내면을 100마이크로메타 깊이로 양자선으로 방사화시킨 후 외부 검출기로 방사능의 손실을 계측하여 파이프 금속의 손실 파악
	굴뚝으로 빠져나가는 NOx 측정	Ar-41 기체 추적자를 사용하여 천이시간 측정법으로 측정
	화학제품 생산부지에서의 유출액 조사	탄산소다 용액의 Na-24를 사용하고 일정속도 희석유량법을 적용하여 하수유량 측정

① 추적자의 선택

추적자를 선택하는데 있어 주요 고려사항은 사용한 RI가 조사되는 상에 남아 있어도 지장이 없어야한다. 가용성 염의 추적자는 냉각수로부터 액체 제품으로의 누수를 탐지하는데 이용될 수 있는 추적자의 한가지이며, 스팀으로부터 액체 제품으로의 누수를 탐지할 수 있는 유일한 추적자는 三重水이다.

냉각수 누수조사에 사용되는 RI는 Br-82로서,

i) Br-82는 높은 감마 수율(315%)의 높은 평균 에너지를 가지고 있어 NaI 섬광계 수기에서 높은 효율로 계측될 수 있다.

ii) 반감기(36시간)는 실험을 실시한 계로부터 방사능을 제거하는데 충분히 짧

은 것이다.

iii) 화학형(KBr)은 추적자가 용액에 남아 있어도 지장이 없다.

② 추적자의 양

필요한 추적자량을 추산하기 위해서는 누출량, 시료의 검출한계와 유속의 관계를 고려해야 한다. 이 관계를 수식으로 표시하면, $A \frac{L}{W} = P \int_0^{\infty} C_n(t) dt$ (3.1)

여기서 A: 주입하는 추적자량, MBq

W: 냉각수 유량, t/h

L: 누출율, t/h

P: 제품 생산율, t/h

$C_n(t)$: 제품에서 추적자의 시간에 따르는 농도, MBq/t

시간에 대한 추적자 농도의 적분은 시료의 방사능 측정자료를 이용하여 계산한다. S kg의 시료를 T분동안 일정간격으로 시료를 채취하여 秒당 계측수가 C이고, 계측효율이 E라면 (1.1)식은, $A = 1.67 \times 10^{-3} \sum \frac{C(t)PW}{SEL} (MBq)$ (3.2)

$$A = 1.67 \times 10^{-3} \sum \frac{C(t)PW}{SEL} (MBq) \quad (3.2)$$

예로서 2 kg의 시료에서 최소 검출할 수 있는 계측수가 1계측수/초, 계측효율 20%, 냉각수 유량 50t/h, 제품생산율 1t/h, 누출이 10^{-2} kg/h 이상을 검출하는 것을 고려한다면, 필요한 추적자량은 약 400 MBq이 된다.

③ 절차 및 장비

Br-82는 고체 KBr를 조사하여 비방사능이 2 GBq/g 정도로 제조하고 수시간을 방치하여 Br-80을 붕괴시킨다. 용액으로 만들어 유압펌프를 이용하여 계통내로 주입하고 시료는 폴리에틸렌 용기에 채취하여 NaI 섬광계수기로 측정한다.

6-3-3. 종이 및 펄프공업

종이 및 펄프공업에서 추적자의 이용은 유량측정, 결함 발견을 위한 RTD(Residence Time Distribution, 체류시간 분포)측정, 공정 모델링 및 혼합공정 조사 등을 들 수 있다.

■ 결함 검출

유체의 우회 흐름, 활용되지 않는 반응 용기내 부피 등이 일반적으로 결함으로 의심되는 것이다. 보통 순간적인 RI의 주입(bold injection)하여 RTD를 측정

한다. 펄프공업에서 다음 계통에 대해 주로 이 RTD 조사를 수행한다.

- 예상보다 낮은 펄프 밀도 용기
- 표백 탑
- 지연을 위한 파이프
- 숙성조
- 회수 보일러
- 폐수처리

■ 혼합

펄프통의 혼합은 주입 펄프류의 품질변화를 경감시키고, 펄프류의 우회와 반응기의 非사용 부피를 방지하는데 필요하다. RTD에서 시간에 따른 추적자 농도의 변화는 펄프통 안에서 다른 크기의 덩어리들이 혼합되는 정량적 자료를 제공한다.

혼합 효율은 짧은 시간 간격으로 혼합기 출구의 상대적 추적자의 농도를 측정하여 구할 수 있다. 사용하는 추적자로서는 수용상에서는 Na-24와 Br-82가 널리 사용되고, 목재 섬유를 추적하기 위해서는 照射된 유리섬유가 사용된다. Na이 약 10% 함유된 유리섬유는 Na-24로 標識 하는데 적절하다.

6-3-4. 석유공업

석유산업은 탐사, 채굴, 수송, 정제 등 광범한 기술분야를 가지고 있고, 거대한 양의 원유와 중간제품 및 정제품(매일 소요되는 최소 저장시설만을 가짐)은 정유공장 내외로 이동하고 있다. 이 산업에서 방사성추적자의 이용은 물질의 이동에 관한 것이고, 매일 발생하는 문제에 대한 신속한 진단을 내려야 하는 문제 해결에 초점을 맞추고 있다.

■ 油田에서의 생산활동

① 단일 油井

유체의 이동에 관한 조사, 즉 유체속도, 원치 않는 지층으로의 이동, 스팀과 물의 이동 등에 관한 것이다. 이용하는 추적자는 H-3, Br-82, I-131 등이다. 유정의 시추공에 Co-60을 부착하고 Sc-46 모래로 표지하여 주입한 금속 덩개를 보강재로 사용하여 장래 시추할 때의 지표로 이용한다.

② 파이프 수송

다량의 원유나 정제된 제품은 파이프를 통하여 원거리 수송하게 되고 누설이 있을 경우 큰 손실을 가져온다. 추적자를 사용하여 누설지점을 찾을 경우 추

적자는 기름에 가용성(Co-60의 錯陰이온)이거나 시험하는 파이프 구간에 물을 채우고 NH_4Br 화합물의 Br-82를 사용하여 매설된 파이프 수송라인(transport line) 중의 누설부위를 찾는다.

■ 정유공장에서의 추적자 이용

정유공장도 일반화학공장과 유사하기 때문에 많은 추적자의 이용 가능성을 가지고 있다. 주로 활용되는 분야는 단기간 내 비상상황에서 on-line으로 공정진행을 방해하지 않으면서 고장진단 및 문제해결을 위한 것이다. 고장진단에는 물질전달이 수반되지 않으므로 휴대용 밀봉선원으로 방사선 계기, 액면 스캐닝 및 밀도 등을 측정하여 수행한다.

① 流速

보통 증기의 흐름은 1개성분, 2개相을 이루고, 펄스 속도방법은 기체 추적자를 사용하고 이는 증기상의 선형 속도만을 측정하고 응축상은 측정하지 못한다. 시료로부터 계속하여 제거되는 총 응축량의 측정은 H-3를 사용한 계속적 희석 방법 또는 총 시료채취에 이어서 액체 섬광계수를 필요로 한다. 액체 섬광계수는 휴대용이 아니기 때문에 언제나 이용가능한 것이 아니다. 시도된 휴대용 on-line 측정시스템은, 추적자로서 Kr-85를 사용하고 소량의 부피를 알고 있는 질소가스를 시료채취 장치에 흘려서 Kr-85를 계측용기에 포집 .계측하여 응축수의 방출율을 알아낸다.

② 부적절한 수로에 흘러 들어가는 유체

정유공장에서 再沸器(reboiler), 복수기 및 다른 열교환기에서의 누설량을 검사하고 측정하는 것이 일상 업무이다. 주입 유체 열교환기 누설의 점검은 방사성 추적자 방법이나 비 방사성 SF_6 기체를 사용하여 비교적 쉽게 측정하고 있다.

400℃에서 wax를 열분해하는 반응기에서의 비말동반 측정은 油類에 용해성이면서 비 휘발성인 방사성 추적자가 요구되는데, 이에 적합한 RI는 cesium sulphate염의 Cs-134 이며 그 1mCi 정도를 wax의 주입부에 가하고 반응기 상부에 생성된 olefin 증기중의 비말동반을 總 시료채취법으로 측정한다.

③ 유체의 분포 형태

정유공장에서 배출되는 폐액의 저수지에는 유기물의 생화학적 분해가 일어

나고 궁극적으로는 공공의 수자원으로 흘러들어 간다. 이 저수지의 혼합율, 흐르지 않고 고여 있는 부분 및 체류시간 분포 등을 방사성 추적자, Br-82를 이용하여 측정한다.

④ 촉매의 磨損측정

유동체 촉매 분해장치(Fluid catalytic cracking units, FCC)는 정유공장에서 가장 중요한 부분이다. 이 장치는 매우 커서 수 백톤의 촉매를 보유하고 있고 아주 빠른 속도로 가스와 함께 이동하고 있다. FCC에서 기체, 고체 그리고 약간의 액체 촉매의 속도와 유체 유동 분포 및 마손율을 각각 다른 종류의 촉매 방사성 추적자를 이용하여 동시에 측정한다.

⑤ 油井水의 범람

유정에서의 물의 홍수는 균열된 지층으로부터의 침수와 생산 유정의 주입수 순환으로부터 유래된다. 水路현상을 차단하기 위해 乳化주입 시험 실시 전후에 방사성 추적자를 이용하여 유화처리의 효과성을 측정한다.

사용하는 추적자는 삼중수이고, 300m 떨어진 2개의 생산공에서 기름에서 분리된 물試料를 정기적으로 채취한다. 채취된 물시료는 濁도가 높고, 염분과 유분을 함유하고 있으므로 이를 증류하여 이중에서 약 2ml를 편취하여 액체섬광계수기를 이용하여 측정한다. 계수효율은 대략 12%정도이고, 필요한 추적자의 양은 대략 10Ci 정도이다.

⑥ 정유공장 火焰을 경감하기 위한 유체 속도

정유공장에서는 압력 안전밸브, 밸브의 누설 및 공장의 다른 장치에서 배기된 폐가스를 연소시킨다. 폐가스 수집계통은 비상시 가동중단에 따르는 취급양을 고려하여 큰 직경의 파이프(1~1.5m 직경)로 구성되어 있고, 화염에 도달하기 전에 액체 탄화수소를 분리하기 위한 큰 용량의 knockout 용기가 설치되어 있고 배기되는 굴뚝의 높이는 30~60m 정도이다. 정상적 상태에서는 큰 파이프 내에 낮은 압력으로 작은 유속으로 흐르고 있다. 전통적인 정유공장에서는 느린 유속을 비 방사성 질소 추적자를 이용하고 측정하고 있다. 이 방법은 실린더에 보관되어 있는 다량의 질소가 요구되고 시료를 측정하기 위해서는 기체 크로마토그래피를 사용하고 있는 바, 이는 아주 고가이고 부정확하기 때문에 방사성 추적자를 이용하여 측정한다.

Kr-85 추적자(수 mCi)를 사용하여 KO 용기로부터 Kr-85의 감소율에 근거한

체류시간 측정법을 이용한다.

6-3-5. 시멘트 공업

시멘트는 원료로서 석회석과 점토를 혼합, 건조, 배소 하여 크링커로 굽고 이를 분말로 분쇄하는 공정을 거쳐 제조된다. 시멘트는 多 에너지 산업이고 처리되는 공정 물량이 크므로 공정상 약간의 개선이 이루어진다 하더라도 많은 경제적 이득을 가져온다.

① 원료혼합 사일로

예비 焙燒器에 공급하는 원료를 사일로에서 혼합할 때 혼합효율의 정량화, 최적작업조건 선택 등의 목적으로 방사성 추적자를 사용한다.

사일로 혼합은 건식, 연속공정이고, 채석장으로부터 100t/h 유량으로 3,000t 용량의 사일리에 공급하고 체류시간은 30시간, 혼합은 일정한 유량의 공기를 불어넣음으로 이루어진다. 사용하는 추적자는 0.5%의 金を 함유한 유리구(직경 70 μm)로서 원료혼합물과 비중이 2.7로 비슷하고 이 시료 약 10g을 조사하여 Au-198을 생성한다.

이 방사화된 추적자를 몇 가지 다른 작업조건에서 측정하여 혼합의 균일도와 체류시간 분포를 규명한다.

② 사이클론(cyclone) 열교환기

사이클론은 시멘트 回轉爐 위의 예비배소기에 몇 개가 직렬로 위치하고 있으며 그 기능은 회전로에서 배기되는 고온가스와 회전로에 투입되는 저온 원료를 향류로 접촉시켜 가열하는 것이다. 방사성 추적자를 사용하는 목적은 예비배소기의 에너지 소비를 최적화하기 위해 사이클론의 분리효율과 원료물질의 체류시간을 파악하는 데 있다.. 사용되는 추적자는 원료물질 자체로서 이를 중성자 조사하여 Na-24를 생성시키고 각 사이클론의 粒度별 체류시간을 측정한다.

6-3-6. 금속공업

금속공업에서 추적자를 이용하여 원료물질의 이용을 개선하고 에너지 절약을 위해 공정의 변수, 공정 최적화에 필요한 현상과 장비 등을 결정할 수 있다.

방사성 추적자를 사용하여 금속공업에 응용하는 분야는 다음과 같다.

-철강, 아연-납 금속에 광물이나 精鑛이 응집하는 현상은 RI를 사용하여 원료공급의 유동 변수 결정

- 銅금속의 성형에 혼합공정의 변수 측정
- Al 금속 冶金에 재순환되는 원료 유동 변수 측정
- 회전로에서의 광물처리와 농축에 있어서 爐의 사용되지 않는 부분과 국부적 사용부위의 측정

■ 外因에 의한 강철중 산화물 함유

Shaft 爐에서 銅 금속은 鎔滓와 함께 계속 침강 탱크로 흘러 들어가고 여기서 중력으로 용재와 분리된다. 동손실은 두 가지 원인에서 유래되며, 용재에 가용인 산화물 또는 유화물의 전해로부터의 손실, 액체 용재에 부유하는 銅의 작은 방울에 의한 기계적 손실 등이 있다.

용재 相을 ZrO_2 형의 Zr-95와 Zr-97로 표지하고 銅 相은 CuS형의 Cu-64로 표지한다. 추적자는 탱크의 입구에 순간적 맥동법으로 가하고 흘러나오는 폐용재의 방사능을 계속 측정한다. 보통 사용되는 추적자의 양은 $1.85 \times 10^3 \sim 10^4$ MBq 이다.

6-3-7. 에너지 산업

석탄, 석유 등 화석연료를 연료로하여 발전, 열을 생산하는 에너지 산업은 채광, 처리공정, 수송 및 연료의 연소 등의 과정을 거친다. 에너지 산업은 막대한 투자를 수반하고, 시설의 운전은 연료를 절약하기 위한 높은 효율과 최소의 유지보수, 최대의 가동율을 추구하고 있다. 에너지 산업은 많은 양의 연료를 취급하고 있기 때문에 운전을 방해하는 재래방법에 의한 공정의 최적화 연구는 손실을 가져올 수 있으므로 한계가 있고 방사성 추적자만이 유일한 대안으로 평가되고 있다.

에너지 산업에 이용되는 밀봉선원 추적자의 예는 다음과 같다.

- 감마선 흡수법에 의한 석탄, 석유 중의 회분 및 유황성분 측정
- 감마선 흡수 또는 후방산란에 의한 파이프 두께 측정
- 방사성 동위원소 라디오그래피에 의한 파이프 용접 결함 탐사
- 중성자에 의한 석탄, 석유 중의 수분 함량 측정
- 부품을 가속기에서 방사화 하여 마모 및 浸蝕 측정

개봉선원 이용 예는 다음과 같다.

■ RTT(Radiotracer Technique)에 의한 연탄 제조공정 최적화

석탄을 채탄하여 분탄으로 만들고 체로 쳐서 적당한 입도의 분탄을 만든다. 건조한 다음 압분하여 연탄을 제조하는데 품질은 열량(H)과 내 압력(P)으로 표시한다. 석탄의 산지가 다르거나 또는 산출 층이 다르면 품질에 영향을 미치는 회분, 수분 등의 함량이 다르게 되어 H와 P값에 심대한 영향을 준다. 방사성 추적자를 사용하는 목적은 다른 산지의 석탄 품질과 혼합된 석탄 품질에 따른 열량과 내 압력을 결정하기 위함이다.

입하되는 약 20톤의 석탄에 200 mCi 정도의 Na-24, La-140 또는 Au-198용액을 뿌려서 표지한다. A, B 두 지점에서 표지하는데, A지점은 貯炭場 입구, B지점은 저탄장 뒷부분의 conveyor belt 쪽이다.

방사능을 측정하여 여러 산지별 석탄의 혼합물이 원하는 품질을 유지하는지에 대하여 평가한다. 또한 운전조건, 건조, 분쇄, 저장 등의 최적조건을 찾는 데 이용한다.

6-3-8. 전자공업

반도체의 두께는 50 nm에서 수 μm 범위이고 전형적인 도핑 물질은 P, B, As, Ga, Au, Sb 및 Zn 등이다. 가장 심각한 불순물은 Na 과 P, B 및 As 등의 도핑물질과 재결합하는 Cu, Ag, Fe 및 W 등이다. 반도체 공업분야에서 불순물 측정에 사용되는 원자력이용 기법은 다음과 같다.

-추적자 이용기술

-염화은 사진법을 이용하는 재래식 오토라디오그래피(conventional autoradiography, CAR), 고체 검출기를 사용한 중성자로 유발된 오토라디오그래피(neutron induced autoradiography, NIAR) 및 방사화분석(neutron activation analysis, NAA) 등이다.

반도체 물질의 특성화 과정, 도핑, 반도체 표면과 화학물질 상호작용, 불순물의 원천 규명 등의 분야에 위의 CAR, NIAR 및 NAA 방법 등이 다양하게 활용된다.

대표적인 이용 예를 들면 다음과 같다.

- 실리콘 다결정층에 습식 화학적 蝕刻(etching)과정의 銀이온의 흡착결정

실리콘 다결정을 화학적으로 식각할 때 식각의 선택성과 식각률을 높이기 위해 식각재에 銀이온을 포함시키고 있다. 실리콘 표면에 銀이온이 흡착될 수 있고 이는 반도체 생산에 문제를 야기할 수 있다. 식각재에 이미 알고 있는 양의 銀 동위원소 Ag-110m(반감기 250.4 일)을 표지하여 실리콘 웨이퍼를 식각한 후 오토라디오그래피법으로 은이온의 분포를 측정한다.

6-3-9. 鑛工業

광공업은 탐사, 채광, 분쇄 및 농축으로 이루어진다. 과거 방사성추적자 방법은 광물, 환기계통 및 유정 내 물 침투현상 등을 조사하는데 사용되었으나, 현재는 광물의 처리공정의 규명에 더 많이 사용된다. 연간 산출되어 처리되는 광물의 양은 막대하고, 채광하여 選鑛하는 과정에 막대한 에너지가 소요된다. 광공업은 자연환경을 오염시키고, 광물은 기계를 부식시키고 마모시킨다. 광공업 공정의 경제성은 제어되는 공정을 개선하고, 최종제품의 단가를 최소화하며, 환경오염과 에너지 사용을 최소화함으로써 달성된다. 전통적으로 광물처리공정을 개선하기 위해서는 고가의 실험실 및 파일럿 시설에서 장기간의 시험이 필요하다. 개선 시험에 방사성추적자를 추가하여 사용하면 원하는 공정 산출량을 가지는 기술적 요소와 상관관계를 가지는 적절한 수학적 모델을 찾을 수 있게 된다. 복잡한 공정은 몇 가지 단위공정으로 분할하여 취급하면 편리하다. 광물처리공정은 분쇄, 입도 分級 및 농축으로 구분된다.

■ 개방 광물공정의 방사성추적자 시험

① 광물의 粗粉碎

막대형 분쇄기에서 銅광물을 분쇄한 다음 입도에 따라 나선형의 분급기에서 하향분과 넘쳐흐르는 알맹이를 가른다. 방사선측정기는 기계 외부에 설치하고 원료투입구, 분쇄기 배출구, 분급기 위아래 두 개 등 모두 4개를 설치한다. 광물 시료 약 70g을 원자로에서 적절한 시간동안 중성자 조사하고 단수명의 Mn-56이 소멸할 때까지 방치한 다음 Cu-64의 방사능 약 1GBq을 주입한 다음 설치된 측정기로 RTD를 측정한다. 이 측정 결과로부터 분쇄기에서 어떻게 분쇄되었는지, 광물의 원료투입률에 따른 분쇄의 변화를 알 수 있다.

② 광물의 분급

광물의 알맹이가 작아 10 μm 이하 지름인 미세입자인 경우에는 부유선광에서 농집되지 않을 뿐만 아니라 鑛尾에 浮游해 들어가거나, 공정 루프에서 계

속 순환된다. 이 입자에 함유된 銅의 製粉과 현탁액의 펌핑에 전력을 소모할 뿐 아니라 공정상 손실을 가져온다.

분급기에서 빠져나가는 입자 크기의 분말 50g을 원자로에서 조사한 다음 분급기에 가하고 RTD를 측정한다.

6-3-10. 자동차 공업

자동차 공업에서 방사성추적자의 주 이용분야는 磨耗측정이다. 부품의 마모 측정지점에 방사성동위원소로 정확한 표지를 해야 한다. 측정할 부품을 원자로의 중성자를 조사하면 부품전체가 방사화되어 높은 방사능 때문에 취급이 불편하므로 중성자 조사는 제한적이다. 하전 입자, 주로 양성자, 중양자, 알파입자로 조사하면 방사능은 높지 않게 된다. 사용되는 가속기는 주로 42 Mev 소형 싸이크로트론이다.

부품별로 사용되는 동위원소는 다음 표와 같다(표 6-4).

표 6-4. 마모측정용 동위원소

부품	구성물질	충격입자	동위원소
camshaft 및 follower	철, 크롬도금한 주철	p	Co-56
cylinder liner	주철	d	Cr-51
valve seat	Co-Cr-C-W-Mo합금	p	Mn-52
timing chain	철	p	Co-56
spiral gear	철	n	Fe-59
connecting rod bushing	청동	p	Zn-65
piston	Al 합금	α	Na-22
bearings	청동, 납	d	Zn-65, Bi-205/206
Axle gears	철	p	Co-56/Co-57

6-3-11. 환경 및 위생공학

환경이나 위생문제를 다루는데 있어 방사성추적자 공학 그 자체만으로는 의사결정에 필요한 정보를 제공하지 못한다. 오염물질의 수송, 분산, 변환 및 생태계 등 상호관계의 복잡한 모델이 필요하고 방사성추적자는 주어진 문제와 관련된 공정이나 계통에 한정된 기초적 정보를 제공한다. 飲用水 오염과 관련하여

방사성추적자 사용은 일반공중에 방사선 노출의 위험이 있으므로 사용이 제한적이고 보완적인 後방사화 분석법(activable tracer analysis) 또는 형광추적자를 사용한다. 방사성추적자의 사용 예를 다음 표에 요약한다(표 6-5).

표 6-5. 환경 및 위생공학에의 이용 예

분야	문제점	방사성추적자 방법
대기오염 환기	건물, 버스정류장, 터널 공정실 내의 오염농도의 동역학	Kr-85를 이용한 희석 측정
대기오염 방출	미지의 배기가스를 대기로 방출	Kr-85를 이용한 희석 또는 천이시간 측정
대기오염 분산기록	배기체의 대기로 분산	Ar-41, Kr-85, Xe-133 등을 배기체 출 구에 주입하고 계속적 시료채취 후 측 정
토양, 지하수 오염	포화/불포화 지역의 오염 물질의 수송과 체류	H-3, Cr-51-EDTA, I-131 등으로 물 의 유동을 추적
지표수 오염	강에서의 오염물의 천이 시간	Br-82로 체류시간분포와 희석분석법 으로 유동측정
	江의 自淨능력	Br-82로 체류시간분포와 형광추적자 사 용
	반응속도	Kr-85를 재확산시켜 H-3, Br-85 등과

체류시간분포 비교측정

	호수에 오염물의 분산	Br-82, Cr-51, H-3 등으로 체류시간분포 측정
해안선 오염	하수방류지점 선정 슬러지의 해양투기	Br-82의 계속적 주입과 3차원적 측정 Ag-110로 슬러지에 표지하여 分散 측정
음용수의 생산,분배	저수조의 물농도의 동역학	Br-82로 체류시간분포 측정
	저수조의 누수	I-131로 방수구조물을 통한 RTD
물의 소모	송수관에서의 손실 가정의 숨겨진 급수계통에서의 누수	Ba-137/Cs-137 발생기를 이용 천이시간 측정법에 의한 유동 측정 누수원에 추적자를 주입하고 외부에서 검출
폐수의 수집 수송	하수도의 누수 물수송능력 조사	Br-82를 주입하여 측정 추적자로 희석 또는 천이시간 측정
수처리	처리공장의 물질	희석방법에 의한 유동측정

수지

폭기, 침강, 발효조의
비효율적 혼합

Br-82, Au-198, La-140, Ag-110 등으로 물 또는 입자에 표지한후 RTD 측정

폭기 능력

Kr-85로 재확산 후 Br-82, H-3 등과 비교한 희석측정

6-4. 방사선 및 방사성동위원소의 공업적 이용기술의 내용³⁾

공업분야에서 방사선, 방사성동위원소를 이용하는 세부기술은 방사선조사 이용기술, 방사성추적자이용기술, 방사선비파괴검사기술, 방사선물리작용 이용기술, 방사화분석기술 등과 같으며 기술계열에 따라 분류한 技術樹木(tech-tree)은 다음과 같다.

6-4-1. 방사선 조사기술

방사선에 의해 물질 내에서 발생하는 화학적 변화를 이용하는 기술이다. 방사선에 의해 고분자 재료의 특성 향상, 고분자 원료물질의 경화성질, 필요한 특수 기능을 가진 여러 가지 고분자 재료나 무기재료를 만드는 기술, 공해물질을 제거하거나 의료제품 등을 멸균하는 기술 등을 포함하고 있다. 방사선조사기술에 적용되는 분야는 다음과 같다.

-

고분자개질

- 전선가교
- 타이어가교
- 플라스틱폼
- 테프론분말

방사선경화

- 잉크
- 도료
- 복합재료
- 천연고무수지

기능성고분자재료

- 중금속포집재
- 전지격막
- 탈취제
- 이온교환막

- 내열수지
- 열수축수지
- 유기유리
- 플로피디스크
- 리소그래피
- 생물활성체고정
- 생체재료
- 친수성고분자

내방사선재료

- 원전/우주재료
- 의료용고분자
- 원전유기재료

환경공해처리

- 배연처리
- 상수처리
- 하수처리
- 폐수처리
- 병원/공장폐기물처리
- Biomass

이온빔조사기술

- 고분자
- 표면개질
- 박막
- 분석
- 치료
- 반도체 생산

내열성탄화규소

- 질화규소섬유
- 무기재료

방사선조사기술

- 조사장치개발
- 표면개질
- 보석착색

중성자조사기술

- 반도체제조
- 박막개질
- 재료물성개질
- 미시 라디오그래피

의료품멸균기술

- 재료시험
- 미생물시험
- 조사공정관리

6-4-2. 방사성추적자 기술

이 기술은 산업시설의 고장진단과 원료 등 유체의 유동특성을 추적하여 산업공정의 최적화, 해안이나 하천에서의 퇴적물과 공해물질 등의 거동을 추적하거나 지하수 개발 등에 활용되는 추적자기술 등이 있다.

공정최적화

- 체류시간분포
- 유속측정

환경공해추적

- 해사추적
- 퇴적물추적

수문학

- 지하수탐사
- 지표/지하수 상관성

- 혼합도측정
- 누설/막힘탐사
- 마모/부식측정
- 증류탑검사
- 공해물질추적
- 하천유속측정
- 준설위치선정
- 지하수 오염추적
- 댐 누수탐사

6-4-3. 방사선계측 응용(계이징)기술

각종 방사선검출기 및 계수기의 설계제작 기술과 이들을 이용한 준위측정기, 두께측정기 등 각종 응용계측기 제작과 이용기술이 포함된다.

계측장치

- 기체검출기
- 섬광검출기
- 반도체검출기
- 계수장치
- 스펙트럼분석장치

계측응용

- 준위측정기
- 두께측정기
- 밀도측정기
- 수분측정기

6-4-4. 비파괴검사 기술

엑스선 또는 감마선을 이용한 투과검사기술, 중성자 투과검사기술 및 이들을 응용한 단층촬영기술 등이 포함된다.

엑스선/감마선

- 영상처리기술
- 실시간RT기술
- 특수RT기술
- 응력측정
- 엑스선 라디오그래피

중성자선

- 이동형선원이용
- 싸이클로트론이용
- 원자로이용기술

단층촬영

- 에스/감마선CT
- 중성자선CT
- 필름CT

6-4-5. 물리작용 이용기술

방사선에 의한 이온화, 전기발생, 발열 등의 물리적 현상 이용기술

물리작용

- 야광도료
- 방전관
- 정전기제거
- 피뢰기
- 연기감지기
- 전원
- 열원

6-4-6. 분석기술

중성자조사에 의한 시료의 방사화로 함유된 미량성분의 정성 및 정량분석 기술

방사화분석

- 산업환경시료분석
- 지질광물시료분석
- 생체시료분석
- 고순도산업재료분석
- 방사화추적자분석
- 방사화학적분리분석
- 감마분광분석 및 측정

방사분석

- 계면방사화분석
- 방사성핵종분석
- 환경방사능측정

6-5. 국내의 추적자 이용기술

우리나라의 추적자이용기술은 원자력발전기술에 비하여 투자규모, 관심도 및 이용실적이 저조했으나, 근래 원자력연구개발 중장기계획에 따른 연구개발 활성화 및 IAEA/RCA사업 적극 참여 등으로 인해 이 분야 기술을 활발히 추진하게 되었다. 특히 동남아국가에 방사성추적자 이용의 핵심기술인 생산공정 중 원료체류시간분포 측정, 칼럼스캐닝, 원료물질 혼합도 측정, 유량·유속 측정 등 제반 기술을 전수하는 역할을 하게 되었다.

방사선조사이용 분야에서는 기술수목에 열거된 세부기술 중 전선가교기술, 타이어가교기술, 플라스틱 폼 제조기술, 열수축수지 제조기술 등 고분자 개질기술과 인쇄잉크 경화기술, 의약품 및 식품 멸균기술, 이온빔에 의한 표면개질기술 등이 국내 산업활동에 활용되고 있다. 기능성 고분자제조기술, 환경공해물질 처리기술 등 다른 방사선조사 이용기술도 산업화를 위한 연구가 추진 중이다. 방사선 응용계측 장비(nucleonic control systems 또는 RI/radiation gauge)는 산업현장에서의 이용이 가장 많고 모든 종류의 응용계측 장비가 사용되고 있으나 거의 전부가 외국으로부터 수입 설치된 것이다. 비파괴검사기술도 국내산업계에서 널리 이용되고 있으나 그 검사장비는 거의 수입에 의존하고 있다.

야광도료, 정전기제거기, 연기감지기 등 몇 가지 물리작용 응용기기/장치가 국내에서도 사용되고 있으나 그 이용이 활발하지 못한 실정이다. 방사화분석기술은 오랜 기술축적과 새 원자로 및 분석장비가 확보됨에 따라 상당한 기술수준에 도달해 있으며, 연구목적 외에 산업적으로도 활용되고 있다.

6-5-1. 추적자 이용실적

우리나라에서 방사선 및 방사성동위원소 이용 인허가 사업소의 수가 꾸준히 증가하여 최근 15년간 매년 전년 대비 약 10 %의 증가율을 보였다. 그 결과 1999년 말에는 1,572 개 사업소, 2000년에는 1,692 개 사업소⁵⁾에 달하였고 (표 6-6), 2000년도 RI 등의 분야 별 사용기관 수 참조) 2002년 현재는 1,930여 사업소로 추산되며, 2010년에는 사업소의 수가 현재의 2.5 배 가량 되는 약 4,000 개 사업소에 달할 것으로 예상하고 있다. 기관 분류에 따른 인허가 사업소 수를

보면, 총 허가 사업소의 약 절반이 넘는 881 개가 산업체 및 비파괴검사 전문업체이고, 공공기관 및 교육기관에서도 방사선 및 방사성동위원소 이용을 고려한다면 1,000 개 이상의 사업소에서 이를 활용하고 있다고 말할 수 있다. 총 1,692 개 기관중 RI만 사용하는 기관수는 900 개(53 %), 방사선발생장치(RG)만을 사용하는 기관수는 479 개(28 %), RI와 RG를 모두 사용하는 기관수는 313 개(18 %)이다. 일반 의료기관에서 RG 만을 사용하는 기관은 없으며 종합병원 등에서는 일반적으로 RI와 RG를 동시에 사용하고 있다. 사업소 중에서 방사성동위원소나 RG를 분석에 이용하는 경우가 많았으나 이 중 연구기관, 교육기관에서 사용되는 Ni-63 등의 동위원소는 가스크로마토그래프의 검출장치에 사용하는 것으로 파악되고 있다. 준위측정, 두께측정 등 방사선응용계측(게이지)을 이용하는 산업적 이용기술에서는 방사성동위원소를 426 개 사업소에서, 방사선발생장치를 50 개 사업소에서 각각 사용하는 것으로 파악되었으므로, 방사성동위원소가 이 기술분야에서도 방사선발생장치보다 더 많이 이용되고 있음을 알 수 있다.

Co-60 감마선원을 이용하는 대단위 조사시설은 식품 및 의료용품의 방사선 멸균 서비스를 제공하고 있는 1 개 업체와 의약품을 주요 멸균대상으로 하고 있는 1 개 업체 등 두 조사업체가 있다. 그 이외에 방사선조사산업에서 이용하는 방사선발생장치는 전자선가속기와 이온빔가속장치이다. 반도체 소재 생산 또는 금속표면처리 등에 7 기의 이온빔가속장치가 이용되고 있다.

발광작용, 연기감지, 정전기 제거, 점등관 방전 등 방사선의 물리작용을 이용하는 기관도 각기 2 내지 4 개 기관이 방사성동위원소 이용기관으로 인허가 되어 있다.

표 6-6. 2000년도 RI 등의 분야 별 사용기관 수

	RI 사용업체수	RG사용업체 수	RI+RG 사용업체 수
산업체	470	304	139
의료	72	-	53

교육/연구	190	113	107
기타	168	62	14

1998년말 국내 산업체 및 비파괴검사 전문업체에서 사용하고 있는 방사성동위원소의 종류별 주요용도는 표 6-7 (선원 수)와 같다.

표 6-7. 산업분야에서의 주요용도 별 방사성동위원소 이용 현황 (1998년)

방사선계이지 Am- Gd- Cs- Kr- Co- Ni- Sr- Pm- Ra- H- Ir- Am/ 기타
事業

	241	153	137	85	60	63	90	147	226	3	192	Be	所數	
• 준위측정	180		661	33	232	3	3	6	1	2	23	167		
• 두께측정	258	2	130	103	179	54	35	90			31	107		
• 밀도측정	3		93	29	140	5			5		2	138		
• 무게측정	6		12	114		78	16				20	63		
• 수분측정	5		18	9	10						40	19	37	
• 給炭감시			104					36					4	
소계	452	2	1018	259	450	143	140	58	36	6	0	134	95	516
• 유황분석												40	12	
• 성분분석	5	1	99		1	180					3	37	124	
• 점등방전							3			1			4	
• 연기감지	4		1										5	
• 야광용										3			3	
• NDT	1		14	4	25	2	10	1			55	9	55	
• 보정	2	1	75	11		10	1	3	1		8	14	16	
• 연구	6	1		1			1		1			7	7	

소계	18	3	189	5	38	182	21	5	3	6	55	11	117	227
총 계	470	5	1207	264	488	325	161	63	39	12	55	145	212	743

산업체 및 비파괴검사 전문업체에서 3,435 개의 방사성동위원소가 사용되고 있는데, 이의 80 %가 넘는 2,782 개가 방사선계이징 이용분야에 이용되고 있다. 이 중 준위측정에 1,134 개의 방사성동위원소가 이용되고 있어 가장 많았다. 다음이 두께측정에 822 개, 밀도측정에 279 개, 무게측정에 246 개 등이 이용되고 있다.

성분분석, 비파괴검사, 방사선의 물리작용 이용 등에 653 개의 동위원소가 사용되고 있는데, 성분분석에 336 개, 비파괴검사에 121 개 및 기기 보정용으로 사용되고 있다. 3,435 개 방사성동위원소의 1/3을 넘는 1,207 개가 Cs-137로 가장 많았으며, 다음이 Co-60 488 개, Am-241 407 개, Kr-85 264 개 등이었다. 이들에 동위원소는 준위측정 및 두께측정에 사용되었으며, Ni-63도 325 개가 가스 크로마토그래프 검출기로서 성분분석에 이용된다.

사용되는 방사성동위원소의 종류를 보면, Co-60, Ir-192 등 극히 일부를 제외한 대부분이 핵분열생성물에서 분리한 국내에서 생산되지 않는 핵종들이다. 방사성동위원소 이용산업의 활성화 및 관련장비를 국산화하기 위해서는 이들 수입 RI핵종들의 국산화 대책이 필요하다.

6-6. 국내 RI의 수요와 공급⁶⁾

2000년도에 국내 각 분야에서 수입한 RI를 국내 수요량으로 간주하고, KAERI를 위시하여 원자력병원, 서울대학교병원 및 삼성서울병원 등에서 생산한 RI종류 및 양을 비교해 보면 국내 RI생산공급능력에 한계가 있음을 알게 된다. 이에 따라 향후 국내 생산시설 확충의 필요성을 제기한다.

6-6-1 수입

우리 나라는 RI의 생산공급량이 수요량에 비하여 현저히 낮고 대부분 수입에 의존하고 있다. 수입되는 RI는 밀봉선원과 비 밀봉 선원으로 구분하여 수입량이 파악되어 있는데, 핵종 별 수입량은 표 6-8 과 6-9와 같다.

표 6-8. 2000년도 밀봉 방사성동위원소 수입량

핵종	방사능(mCi)	포장 수	금액 (\$)
Am-241	582,55400	151,431	76,555.46
Am-241/Be-7	160,00000	4	2,140.00
Ba-133	0,25000	1	485.00
Co-57	160,1200	16	21,206.52
Co-60	762,601,829.61610	16	1,064,082.48
Cs-137	143,20000	8	15,094.92
Ce-68	83,30000	9	56,042.00
Ir-192	67,534,500.0000	1,351	942,068.20
Ni-63	90.0000	6	65,312.00
Pm-147	570.0000	1	15,520.00
Po-210	8.0000	7	299.00
Se-75	40,000.0000	1	1,526.27
Sr-90	40.0000	2	1,550.46
Gd-153	352.0000	36	무상
H-3	1,820,000.0000	280	11,400.00
합 계	831,998,519,94010	153,169	2,273,282.35

표 6-9. 2000년도 비 밀봉 방사성동위원소 수입량

핵종	방사능량(mCi)	수량	금액(\$)
Am-241	1.45010	3	7,139.72
Ba-133	2.10000	2	533.60
C-14	27,375.61001	6,285	396,988.72
Ca-45	17.00000	15	2,644.97
Ce-139	1.00000	1	2,032.00
Co-57	0.31410	157	14,092.05
Cr-51	358.00000	220	21,103.56
Cs-137	0.39121	3	2,452.76
Fe-59	5.10000	11	2,384.26
Ga-76	2,455.58000	254	17,738.53
Ge-68	5.50000	2	12,400.00
H-3	4,446,801.29592	65,798	294,418.92
I-123	40.00000	1	1,600.00
I-125	1,645.97429	113,771	8,970,583.53
I-131	169,607.71580	1,574	216,723.94
In-111	47.20000	15	15,440.00
Kr-85	80.00000	4	4,341.90
Mn-54	1.00000	1	501.00
Na-22	0.60000	2	719.00
Np-237	2.00100	2	11,123.80
P-32	3,571.45500	7,934	359,958.81
P-33	51.56000	156	19,539.82
Po-210	0.50000	1	30.00
Rb-86	1.00000	1	123.00

Re-188	8,000.00000	6	49,498.00
Ru-103	5.00000	1	832.00
S-35	1,242.20000	1,166	125,137.82
Sc-46	1.50000	3	876.00
Sn-113	1.50000	3	902.00
Sr-85	2.05678	2	761.00
Sr-89	308.00000	77	106,380.00
Tc-99m	3,210,042.00000	5,099	2,639,394.00
Tc-99	1.50000	2	1,959.16
Tl-201	47,023.30000	6,026	455,610.75
Y-88	1.08100	2	1,031.00
Y-90	0.05400	1	1,115.20
Cd-109	0.00050	1	261.50
Pb-210	0.00050	1	261.50
Sr-90	0.05454	2	766.70
Co-58	0.08100	1	무상
합 계	7,918,700.67575	208,606	13,759,411.11

표에서 보는 바와 같이 밀봉선원의 방사능은 832 kCi이고 비 밀봉선원의 방사능은 7,919 Ci로서 밀봉선원의 수입량이 많으나 수입금액은 반대로 비 밀봉선원 \$13,759,411에 비해 밀봉선원의 금액은 \$2,273,282로 훨씬 적다. 밀봉선원은 산업용이 대부분이고 그 화학 형태는 금속 또는 무기물 형태의 단순 화합물인데 반해 비 밀봉선원(또는 개봉선원)은 면역학적 또는 생물학적 활성물질에 RI가 표지된 화합물로서 부가가치가 높아 방사능 단가도 높기 때문이다.

2000년 RI 수입액중 중 Tc-99m과 I-125의 수입량이 감소하고 있는데 이는 의약분업으로 야기된 병원의 파업에 기인한 것으로 파악되고 있다. 그러나 산업용 밀봉선원은 전년 대비 42 %가 증가하였는데 이는 식품조사용 Co-60선원의 수

입에 기인한 것이다. 해외에서 수입된 RI는 총 48 종이며 수입금액 순위는 체외 진단용으로 사용되는 I-125가 897만 \$, Tc-99m 발생기 264만 \$, 식품조사용 Co-60 106만 \$, 산업용 Ir-192 94만 \$, 의료용 Tl-201 46만 \$, C-14 40만 \$, 유전공학용 P-32 36만 \$, 발광도료용 H-3 29만 \$, 의료용 I-131 22만 \$, 유전공학용 S-35 13만 \$ 순이다. 대체로 의료용 RI 수입량이 전년에 비해 감소했음에도 불구하고, I-131은 고 선량 치료기술의 보급으로 사용량이 전년대비 6 % 증가하였다. I-131과 Tl-201은 국내에서 원자로와 싸이클로트론을 이용하여 각각 생산될 수 있는 핵종이며, 국산화율이 45.3 %에서 52.9 % 및 18.3 %에서 20.5 %로 각각 높아졌다. 국내 생산·공급량에 비해 수입량이 월등히 많은 것은 국내에서 RI 생산활동의 증가가 가능하다는 것을 의미하므로 향후 RI의 국산화율이 계속 높아질 것으로 전망된다.

6-6-2 국내생산

국내에서 방사성동위원소의 생산공급은 ‘하나로’와 의료용 싸이클로트론(MC-50) 및 그 부대시설을 이용하여 이루어지고 있다. 서울대학교병원과 삼성서울병원에서는 베이비 싸이클로트론을 이용하여 단수명 의료용 RI를 생산해 병원 내부에서 사용하고 있다.

① 원자로이용 생산 핵종 및 그 표지화합물

한국원자력연구소에서 공급하는 주 핵종인 I-131, Mo-99 등은 OR 조사공에서 조사하여 생산되고 치료용으로 보급하고 있는 Ho-166과 Ir-192 씨드는 HTS와 연결된 조사공에서 조사 생산되었다(표 6-10).

원자로 이용생산 핵종은 1996년부터 ‘하나로’와 동위원소생산시설을 이용해 계속 생산·공급되고 있으며 2000년도에 공급한 표지화합물을 포함한 동위원소 판매액은 6.46억 원으로 전년대비 5% 증가하였다. I-131의 공급량은 2년 연속 25 %정도가 증가하였는데 주로 I-131캡슐의 국산화에 기인한다. Mo-99용액으로부터 Tc-99m를 직접 추출하여 사용하는 국내 병원이 2 곳으로 증가하였다.

Ir-192 치료용 4 mm 선원 생산기술은 산업체에 이전하여 동 업체로 하여금 상용화하도록 하였으며 1mm 소형 선원은 시험용으로 공급하였다. Sc-46, Kr-79 및 La-140 등은 추적자용으로, Co-60은 게이지 용으로 공급하였다. 한편, Tc-99m 표지 방사성 의약품(주사제)의 공급량은 전년대비 31% 증가하였고, ^{131}I -MIBG는 전년과 비슷한 수준으로 공급하였다. 치료용으로 사용하는 ^{166}Ho -CHICO는 임상용으로 47 Ci가 국내 병원에 공급되었다(표 6-11).

② 싸이클로트론 핵종 및 표지화합물의 생산 공급

원자력병원에서 일상적으로 생산하고 있는 핵종과 표지화합물은 Ga-67, Tl-201, I-123, F-18, ^{123}I mIBG, ^{18}F FDG, C-11 등이 있다. 수요자 요구에 따라 In-111, Cr-51, I-124와 표준선원용 핵종인 Mn-54, Na-22 등을 생산할 수 있는

표 6-10. 하나로를 이용한 방사성동위원소의 생산공급량

핵종	화학형	방사능(mCi)
I-131	NaI 용액	106,351
I-131	NaI 캡슐	84,150
Tc-99m	NaTcO_4	226,305
Mo-99	MoO_3	9,600
Ir-192	Seed	626
Ir-192	금속(치료용)	30,883
Co-60	금속(게이지용)	2,003.1
Sc-46	ScCl_3	250
Kr-79	Kr 기체	3,900
La-140	La(OH)_3	1,800
합 계		464, 068.1

표 6-11. 방사성표지화합물 제조공급

핵종	화학형	공급량(mCi, Vial)
I-131	MIBG	2,893mCi
Ho-166	CHICO	47,288mCi
	Phylate	1,465
	MDP	4,450
	DISIDA	3,905
	DTPA	2,905
Tc-99m	Tin	1,200
	PYP	510
	HSA	150
	MAA	910
	ASC	450
	DMSA	1,000
합 계		50,271 mCi
		17,445 vial

표 6-12. 싸이크로트론 이용 방사성 동위원소 생산공급

핵종	화학형	방사능(mCi)
Tl-201	TlCl ₃	12,077
Ga-67	Ga-citrate	5,840
I-123	NaI	2,906
I-123	¹²³ I-mIBG	482
F-18	¹⁸ F-DG	2,738
합 계		23,920

기반을 가지고 있다. 현재 국내 핵의학계에서 주로 사용하고 있는 가속기이용생산 핵종은 매년 10% 이상씩 증가하고 있는데 그 수요량의 80%이상을 수입에 의존하고 있다. 효과적 생산이용을 위하여 대전류 용 표적조사장치, 화학처리 자동화장치, 표지화합물 자동합성장치 등을 개발하여 실용화하고 있다. 고체표적조사장치는 MC-50 싸이클로트론의 최대 빔 전류인 $60\mu\text{A}$ 까지 사용할 수 있는 제품을 제작하여 사용하고 있다. 싸이클로트론(MC-50)을 사용하여 방사성동위원소를 생산공급하기 위해 각 핵종마다 나름대로의 생산스케줄을 정하여 수행한다. Tl-201의 경우 일상적으로 월요일과 금요일에 빔조사를 시작하여 화학처리한 후 수요일과 월요일에 각각 공급하며, Ga-67은 토요일에 빔照射하여 월요일에 공급하고 있다.

I-123(반감기 13.2시간)은 반감기가 짧으므로 사용자의 편의를 위하여 화요일 오전 6시에 빔조사를 시작해서 다음날 오전 9시에 공급하는 체제를 갖추었다. PET에 이용하는 ^{18}F FDG는 매일 오전 7시와 11시에 빔照射를 시작하여 매일 2회 생산하고 있으며 월요일 오전은 정례적으로 가속기를 유지보수하기 때문에 오후에만 생산이 가능하다.

2000년에 MC-50 싸이크로트론으로 공급한 방사성동위원소는 23.92 Ci로 전년도 보다 26 % 증가하였다. 심장병 진단에 사용하는 Tl-201의 사용량이 지속적 증가추세에 있다. 지금까지 갑상선 진단용으로 사용하던 I-131이 방사선 피폭량이 상대적으로 적은 I-123으로 대체되고 I-123의 표지화합물이 다양하게 제조되고 있어 그 수요는 증가할 것으로 전망된다(6-12).

6-7. 안전이용을 위한 제도

6-7-1. 안전이용의 중요성

방사선이나 방사성동위원소는 안전하게 이용되어야 하며 이용으로 인한 인체의 방사선 과 피폭 등으로 인해 인명이나 재산상의 손실이 야기되어서는 안되므로 이를 적극 방지해야한다. 방사선안전관리는 RI·방사선 안전관리는 이용진흥시책과 맞물려 있는 매우 중요한 요소의 하나이다. 따라서 이 부분에 대해

우리나라 현황을 살펴보는 것은 의미가 있다고 본다.

RI·방사선 분야의 안전관련 법규는 원자력법과 동 시행령 및 각종 방사선 안전관리관련 고시에 명시되어 있고 안전규제업무는 KINS의 소관 하에 수행되고 있다. 방사선이나 RI는 신체에 위해를 줄 수 있는 위험물이므로 이를 취급하기 위해서는 면허를 취득하여야하며 면허취득 이후에도 일정기간마다 보수교육을 이수토록 규정하고 있다. 단위 작업장마다 방사선안전관리자를 두어 안전관리 업무를 수행케 하며, 면허를 받지 못한 방사선작업종사자도 방사선작업 개시 이전과 작업기간 중 안전교육을 이수하도록 한다. 이용시설도 일정 허가기준을 충족시켜야하며 사용RI나 장비 등은 허가된 범위내에서만 사용이 가능하다. 우리나라에서도 40년 이상의 RI이용역사와 함께 크고 작은 사고들이 발생되어 이에 대한 예방대책이 자주 논의되는 등 안전문제의 중요성이 강조되어 왔다. 국제적으로는 IAEA가 원자력기술의 이용개발과 함께 안전이용을 위한 각종 guideline을 제정하여 회원국에 배포, 각 회원국으로 하여금 안전하게 이용하도록 권고하고 있다. RI·방사선 이용에서의 사건사고는 주로 이용자의 부주의에서 오는 것이 많으며 밀봉선원의 분실이나 부주의 또는 규정에 따르지 않아 일어나는 방사선의 과다 피폭 등이다.

이러한 사건사고를 예방하고 RI관리를 철저히 하기 위한 방안으로 최근 우리나라에서는 방사성물질 안전관리 통합전산망 운영시스템을 개발, 이를 활용하도록 하고 있다. 이러한 시스템의 개발 적용은 세계적으로 우리나라에서 처음 시도되는 것이며, 앞으로 합리적인 절차를 거쳐 시행될 경우 안전이용 상 나쁨대로의 효과가 기대된다.

6-7-2. RI이용관련 현황과 규제제도

가. 취득/폐기 절차

· RI 등을 사용하고자하는 자는 KINS에서 RI사용, 이동사용 등의 허가를 받거나 또는 신고를 하고 수입(수입할 경우) 판매업자를 통하여 구매 사용하도록 되어있다. 사용기관의 종사자는 구매요구 때에 방사선안전관리자의 확인을 받은 다음 구매의뢰 해야한다.

· RI가 납품되면 그 이후부터 이용자에게 안전관리의 의무가 부과되며 사용기관 내에서는 KINS로부터 승인 받은 방사선안전관리규정에 따라 사용하여야 한다. 기록 비치, 방사선 준위 측정 등 방사선안전관리자의 업무에 협조하여야 하며, 사용기관 방사선안전관리자는 매 분기마다 사용, 취득, 보관, 폐기 상황을 KINS에 보고하여야 한다 (통합관리전산망을 정상적으로 이용할 경우에는 분기 보고 등의 절차는 간소화 될 수 있음)

· 이용이 완료되었거나 이용 중이라도 폐선원이나 RI로 오염된 폐기물은 KRIA 등 운반 기관에 의뢰하여 NETEC으로 운반케 하여 위탁폐기 하거나 또는 규정에 따라 자체폐기하고 기록을 유지하여야 한다. 폐 밀봉선원의 경우에는 수출국의 제조업체로 되돌려 주기도 한다.

그림6-1에 RI를 수입·사용하는 경우와 국산RI를 구입·사용하는 경우의 유통단계를 각각 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 국산 RI에 대해서는 수입신고의 요건확인 단계는 없기 때문에 이용자가 구매·사용하는 실 시간대의 정확한 유통량확인 은 되지 않고 판매기관으로부터 월별 판매량을 보고 받은 연 후에 가능하다. 그러나, 현재 RI유통에 관한 통합전산망이 실현단계에 있으므로 이러한 문제는 자연 해소될 것으로 본다.

나. RI생산/수입 판매

우리 나라에서 RI를 생산하고자 하는 자는 원자력법에 의거, 생산업 허가에 필요한 서류를 구비하여 과학기술부장관의 허가를 받아야한다. 생산된 RI는 생산기관자체 사용목적 을 위해 쓰이거나 판매업체를 통하여 사용기관에 공급된다. 한편, 생산된 RI가 방사성의약품으로 쓰일 경우에는 약사법에 의거, 보건복지부장관 으로부터 의약품제조업 허가를 받아야하며, 각 의약품 품목마다 품목 허가를 받아 판매하며 의약품으로서의 관리를 하여야 한다.

한편, RI를 수입·판매하기 위해서는 구매의뢰를 받은 수입자는 대외무역법 제 15조에 근거하여 마련된 산업자원부 고시(통합공고) 제 95조1항 및 원자력법 제 65조에 의한 판매허가 취득자 이어야하며, 동 허가취득자는 생산국의 메이커에

주문하고 한국방사성동위원소협회에 수입에 필요한 서류를 갖추어 수입신고 한다. 한국방사성동위원소협회는 RI 등의 수입에 따른 요건(수입판매업자의 허가 취득 여부, 구매신청자의 허가취득 여부, 사용방사능 양의 허가 사용량 초과 여부, 시설검사 수검 여부 등)을 심사하여 수입승인하며, 승인된 수입신고내용과 통관에 필요한 정보는 전산망을 통하여 관세청에 제공된다. 관세청과의 요건확인 정보의 송수신이 완료되면 RI가 도착되는 대로 세관에서 관세사를 통하여 통관, 주문자에게 납품된다.

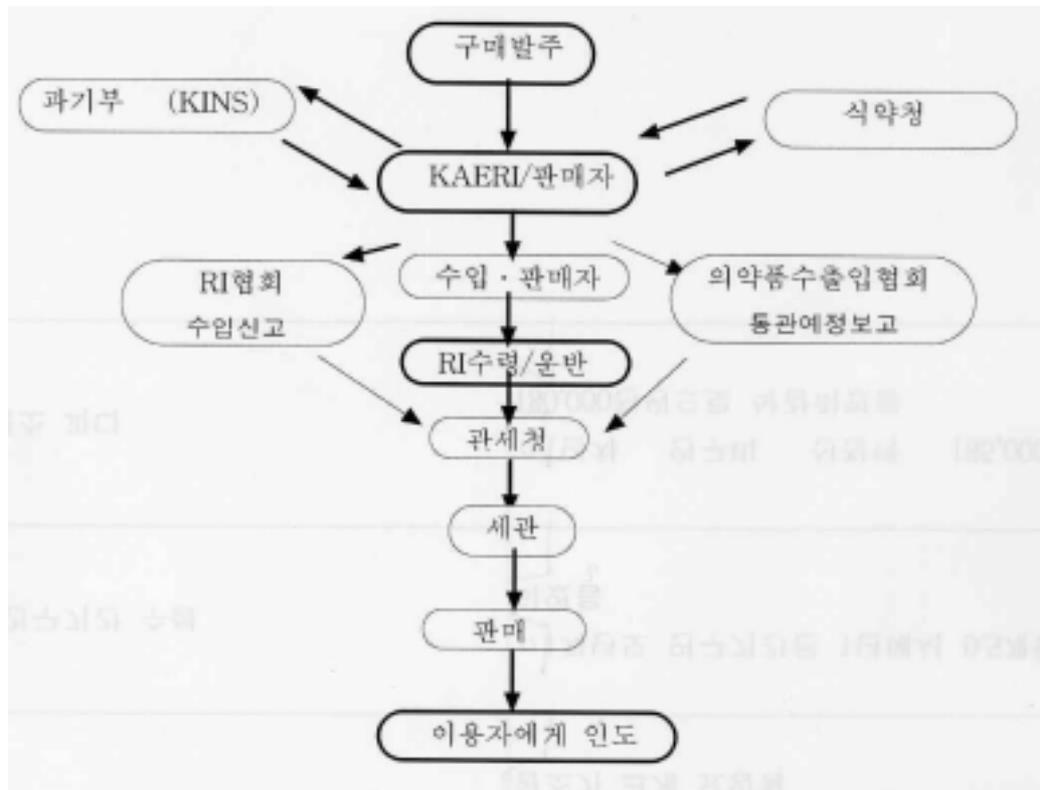


그림 6-1. 우리 나라에서의 RI유통 절차 (위; 수입RI , 아래; 국산RI)



그림 6-2. 방사성 의약품 수출입 절차

2001년 7월 통합공고 내용이 개정되기 이전에는 RI 등을 수출입하고자 하는 자는 원자력관계 사업자 또는 이들로부터 수출입을 의뢰받은 자의 수출입대행이 가능하였으나 통합공고 개정 이후에는 RI 등을 수출입하려고 하는 자는 반드시 판매업허가를 받거나 판매업자에게 의뢰하여 수입하도록 제도가 바뀌었다.

다. 방사성 의약품의 수출입

우리 나라 원자력법에 의하면 방사성 의약품은 단순히 방사성물질로서의 규제 대상일 뿐이지만 방사성 의약품은 약사법의 적용을 받는다. 따라서 방사성 의약품은 원자력법과 약사법의 2중 적용을 받는다. 따라서, 방사성 의약품 수출입

의 경우에는 한국의약품수출입협회의 표준통관 예정보고와 한국방사성동위원소 협회의 수입요건 확인을 받아야 한다. 그림 6-2에 방사성 의약품의 수출입 절차를 나타내었다..

6-8. 방사성 의약품 산업

6-8-1. 현황

방사성 의약품에 대한 의료보험수가는 매년 시장조사 결과에 따라 결정되며, 2001년에 적용 제도가 다소 변경되었다. 의료보험수가는 기본 수기료와 약가 등 두 부분으로 구성되어 있다(표 6-13).

표 6-13. 방사성 의약품의 의료보험 수가 책정

연도	RI 제품	청 구 기 준	제출자료	비고
2002	RI (재료대)	협약가 및 실 구입가	거래명세서	
2001	방사성 의약품	실 구입 상한가	거래명세서	식약청 및 건강보험공보단의 심사평가원에 등록

즉, 2000년까지는 방사성의약품도 방사성동위원소로만 표기되고 재료대로 책정되었고 재료대의 변경이 있을 경우 변경과 동시에 그 변경 재료대를 수가에 반영하였다. 그러나, 2001년부터 정식으로 방사성 의약품으로 항목 명칭이 변경되었고 매 분기의 구입 평균가를 수가로 책정하고 변경 책정되었을 경우에는 실제로 그 변경된 수가를 다음 분기부터 적용한다.

현재 국산 방사성 의약품에 대한 의료보험 수가는 품목에 따라 다르나 일반적으로 수입품에 비하여 약 20 % 낮은 상태이다.

6-8-2. 현행 국산 방사성 의약품의 의료보험수가에 대한 견해

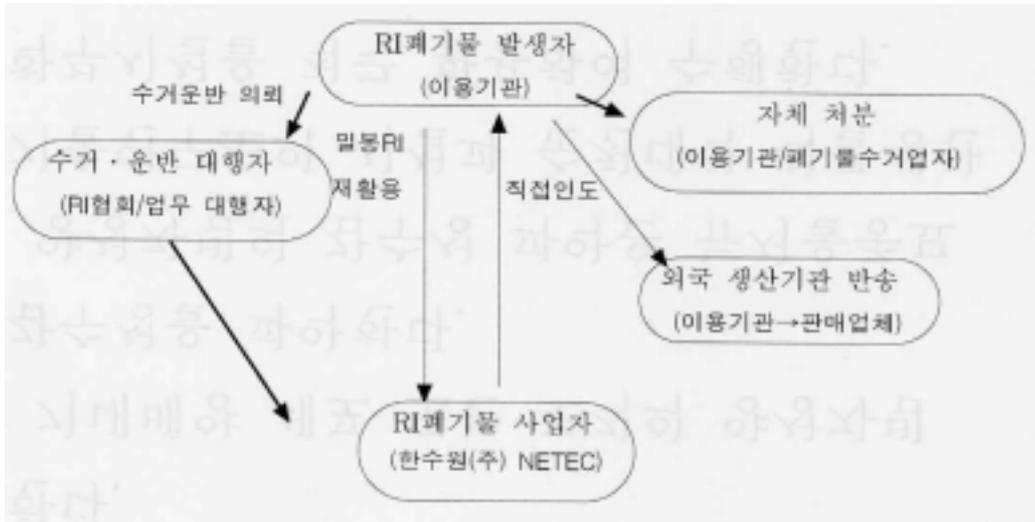
현재 적용되고 있는 국산 방사성 의약품에 대한 낮은 의료보험수가에 대해 여러 가지 의견이 있는데 그 의견은 사실상 이용자, 생산자, 판매자 등에 따라 각기 다르다. 그러나 대국적 입장에서 볼 때 외국산 수입품은 항공운송비 등을 당연히 고려해야하므로 국산품보다 가격이 높을 수밖에 없으며 의료보험수가가 평균 거래가격에 근거하여 결정되는 것이라면 국산품이 20 % 정도 저렴하다는 사실 그 자체는 어느 정도 합리적이며 타당성이 있다고 생각된다.

앞으로 성장될 국내 방사성의약품 제조산업의 육성을 위해서도 대국적으로 보아 수입품에 대한 의료보험 수가가 국산품의 그것보다 고가이어야 여러 모로 합당하다. 국민 대다수가 저가인 국산품을 이용할 것으로 기대되기 때문이다.

6-9. 방사성동위원소 폐기물(RI폐기물) 관리

6-9-1. 관리 체계

RI 이용기관에서 발생된 폐기물을 처리처분을 위하여 운반하는 경우 폐기물발생자의 직접운반과 위탁운반 등 두 방법이 있다. RI협회에서는 정부의 위탁을 받아 주로 비 밀봉 RI폐기물을 운반하며 밀봉RI폐기물은 발생자가 직접 운반하거나 원자력법 제62조의 2(업무대행자의 등록)의 규정에 의거, 업무대행자가 발생자로부터 위탁받아 운반한다. RI폐기물의 관리체계를 그림 6-3에 나타내었다. 방사성폐기물 관리사업자인 한수원(주) NETEC은 전기사업법 제82조에 의거, 산업자원부로부터 방사성폐기물 관리사업자로 지정 받아 RI이용기관으로부터 RI폐기물을 인수받아 저장, 처리 (또는 처분) 하고 있으며 또한, 원자력법 제76조의 규정에 의거, 과학기술부 장관으로부터 폐기시설의 건설·운영허가를 받아 방사성폐기물의 저장, 처리, 처분시설 및 그 부속시설을 운영하고 있다



6-3 RI폐기물의 안전관리 체계

RI폐기물 사업자의 관리감독권은 산업자원부에 있으며, 안전규제는 과학기술부에서 맡아 KINS로 하여금 RI폐기물 관리시설의 인허가, 심사 및 검사, 안전규제 및 정기검사 등의 업무를 수행하도록 위탁하고 있다.

RI폐기물 발생자가 사업자에게 폐기물을 인도하는데 필요한 제반사항은 「방사성폐기물의 인도 및 비용에 관한 규정」(산업자원부 고시 제 1999-102호)에 명시되어 있으며 그 주요내용은 RI폐기물의 분류 및 포장방법, 관리비용 및 인도절차 등이다.

또한 RI폐기물관리사업자인 한수원(주) NETEC은 「방사성동위원소 등의 폐기물 인수에 관한 사업자 지침서」를 작성하여 산업자원부 장관과 협의하여 방사성동위원소 등의 폐기물 인도·인수에 필요한 세부기준 및 절차를 정하고 이를 효율적으로 운영하고 있다.

6-9-2 RI폐기물 관련 문제점

1997년도이후 방사성폐기물관리 업무가 산업자원부로 이관됨에 따라 처분비를 인상하였다. 다양한 종류의 극 저준위 RI폐기물에 대해서 원전에서 발생되는 중·저준위 방사성폐기물에 대한 것과 동일한 처리비용기준을 적용함으로써

서 상대적으로 처리비용이 과다하다는 여론이 있으며 이것이 RI이용증진의 입장에서 볼 때 저해요인의 하나로 지적되기도 한다.

9.3 RI폐기물 발생 현황

가. 비 밀봉 RI폐기물

의료기관, 교육기관, 연구기관 등에서 질병의 진료나 연구개발목적으로 사용되는 RI에 의해 오염된 고체, 액체 등을 비 밀봉 RI폐기물이라 한다. 주요 오염 핵종은 Tc-99m, I-131, I-125, H-3, P-32, S-35 등 대부분이 단반감기의 저 준위 또는 극저준위 폐기물이다.

2001년 12월 말 까지 총 9,942 드럼이 폐기물관리사업자(NETEC)에게 폐기위탁되었으며 그 중 의료기관에서 위탁된 부분이 5,287 드럼(53 %)으로 가장 많다. 교육 및 연구기관이 3,454 드럼(35 %), 산업 및 기타기관이 1,201 드럼 (12 %)이다(표 6-14).

나. 자체 처분

오염 핵종이 명백하고 단순하며 반감기가 짧은 특성을 지닌 RI폐기물에 대해서는 과학기술부 고시 제2001-30호 「방사성폐기물의 자체처분에 관한 규정」에 따라 과학기술부장관에게 자체처분계획서를 제출한 후 자체처분이 가능하므로 현재 여러 의료기관에서 실제로 자체처분이 시행되고 있다.

그러나 연구과정에서 RI를 사용하여 실험한 동물사체에 대한 자체처분은 거의 이루어지지 않고 있어 동결보관 용량을 초과하고있는 경우가 많다고 하는데 그 이유는 단순 동결한 상태로 위탁폐기가 곤란하기 때문에 인도과정에서 폐기물 인도규정을 준수해 줄 것으로 요구하지만 발생기관에서의 동결건조능력이 부족하기 때문인 것으로 파악되었다. 따라서, 이 문제를 해결하기 위하여 인수기관인 NETEC이 대형 동결건조기 시설을 갖추었기 때문에 점차 해결될 것으로 생각된다. 또 다른 한 가지 문제는 H-3나 C-14 계측용 액체섬광계측시료의 처리에서 고가의 처리단가문제와 함께 이것이 가용성 용매이기 때문에 많은 양을 저장해 가면서 처리하기가 화재방지의 관점에서 곤란하다는 것이다. 그런데, 이 문제는 물론 어렵기는 하나 소량씩 인수되는 대로 처리함으로써 해결될 수 있다고

생각된다. 다만 유기용매임으로 연소처리과정에서 불완전 연소하면 많은 양의 미세 탄소분말로 인해 배연계의 필터막힘이 일어날 수 있으므로 연소처리 공정에서 특별한 주의가 필요하다고 생각된다.

다. 밀봉 RI폐기물

산업적 라디오그래피, 식품조사, 의료용품의 방사선멸균, 암 치료 등의 목적으로 사용된 밀봉 RI가 방사능 감쇠로 인해 사용하기 어렵게 되었거나, 계획되었던 이용사업의 일부 또는 전부를 휴지 또는 폐지함으로서 폐기의 대상이 되는 비교적 장반감기의 RI폐기물을 밀봉 RI폐기물이라 한다. 주요 핵종은 Ir-192, Co-60, Cs-137, Kr-85, Ni-63, Am-241, Fe-55, Pm-147 등이며 폐기 때의 방사능은 수 mCi에서 수 천 Ci에 이르기까지 다양하다. 2001년 말까지 위탁처리기관에 폐기 위탁된 밀봉RI폐기선원 수는 총 26,203 개이며, 사용기관 별로 보면 비파괴 검사업체를 포함한 산업체가 21,198 개(81 %)로서 대부분을 차지하며 의료기관에서 3,641 개(14 %), 교육, 연구 및 기타기관에서 1,364 개(5 %) 등이었다(표 6-15). 정부에서는 이용기관에서 밀봉선원의 폐기를 결정한 날로부터 3개월(Ir선원인 경우 취득한 날부터 3년)이내에 NETEC에 위탁폐기 하거나 제조한 회사에 반송하도록 이용자에게 권고하는 등 폐 선원의 관리에 만전을 기해 줄 것을 당부하고 있다.

한편, 폐기위탁 된 밀봉선원 중에서 방사능 감쇠가 많지 않은 것에 대해서는 수요자가 있을 경우 이를 재활용하도록 권장함으로써 폐기물량을 줄임은 물론 값비싼 RI이용률을 극대화하도록 하고 있다. Am-241, Co-60, Cs-137 등 장반감기 밀봉 RI에 대한 재활용 실적이 있었으나 아직 전반적으로 보아 재활용 수요가 많지 않은데 그 이유는 재활용에 대한 이해부족 때문이라고 생각된다.

표 6-14. 2001년도 (및 '90~'01년도) 비 밀봉RI폐기물 분야별 수거량

· 산업체	26	(826)
· 의료기관	48	(5,287)
· 교육기관	196	(2,083)
· 연구기관	97	(1,371)
· 공공기관	16	(375)
계	393	(9,942)

표 6-15. 2001년도 (및 '90~'01년도) 밀봉RI폐기물 분야별 수거량

· 산업체	292	(11,060)
· NDT	2,899	(10,138)
· 의료기관	65	(3,641)
· 교육기관	18	(348)
· 연구기관	433	(471)
· 공공기관	36	(545)
계	3,743	(26,203)

6-10. RI 분야의 방사선 방호에 관한 기준

6-10-1. 주요 기준 요약

- RI의 수량 및 농도 ; 과학기술부 고시 2001-2 제9조

별표 5의 3란; 수량, 4란 ; 농도

예; P-32 최소수량; 1×10^5 Bq, 최소농도 ; 1×10^3 Bq/g

- RI의 신고사용 대상 ; 과학기술부 고시 2001-2 제10조

별표 5의 3란의 수량의 1만 배 이상

예; P-32 최소수량; 1×10^9 Bq

- 시설/설비 기준적용 예외의 RI수량 ; 과학기술부 고시 2201-2 제11조

- 내화구조 및 불연재 시설 불요 ;

별표 5의 3란의 수량의 1천 배 이하

예; P-32 수량; 1×10^8 Bq 이하

- 오염검사시설 또는 배기시설 불요 ;

별표 5의 3란의 수량의 1백 배 이하

예; P-32 수량; 1×10^7 Bq 이하

- 배출시설 불요 수량; 과학기술부 고시 2001-2 제12조

Sr-90 및 α 방출 RI에 대해서는 항상 배기시설 필요

- 배수시설 불요 ; 별표 5의 3란의 1만 배 이하 사용, 보관감쇠 후 희석하여 배출할 때

예; P-32 수량 ; 1×10^9 Bq 이하

- 배기시설 불요 ; 별표 5의 3란 수량의 1백 배 이하 사용, 후드역류 없을 때

예; P-32 수량 ; 1×10^7 Bq 이하

6-10-2. RI 규제대상에서 제외되는 경우

과학기술부 고시 2001-3 (2001년 1월)

- 연기 감지기 (smoke detector)
- 自發光 도료(self luminous paint)
 - H-3 ; <925 GBq/제품 (시계, 표지판 등 견고하게 내장된 것)
 - Pm-147 ; <3 GBq/제품 (시계, 표지판 등 견고하게 내장된 것)
- 군사용
 - Am-241; <9 MBq
 - H-3 ; <37 MBq
 - Pm-147 ; <3 MBq
- 계측기 검 · 교정용 선원 ; <3.7 MBq

- C-14 방사성 의약품 ; <37 kBq

6-10-3 의료분야의 안전관리 기준 (환자 및 주변인 보호)

- 과학기술부 고시 2001-18 (2001년 9월)
 - RI진료환자의 격리 수량 ; RI투여환자로 인하여 다른 개인의 유효선량이 5 mSv를 초과할 가능성이 있을 때 (제12조)
 - RI진료환자의 배설물; 방사선방호기준에 따라 RI의 배출기준량을 초과해서는 안됨 (제13조)
 - RI진료환자의 퇴원 ; RI진료환자의 퇴원으로 인하여 다른 개인의 유효선량이 mSv를 초과할 우려가 있을 때에는 퇴원환자 퇴원 후 행동지침서를 발행, 지참시켜 퇴원 시킨다. 이러한 퇴원환자의 기록은 5 년간 보관한다. (제14조)

6-10-4 방사선발생장치(RG)에서 제외되는 것

RG에서 제외되는 용량 등에 관한 고시 -- 과학기술부 고시 2001-4

- 원자력법 시행령 제8조의 단서규정 “과학기술부장관이 정하는 용도 및 용량 이하의 것” 은 다음과 같다.

- 1) 하전입자 가속기 중 가속입자 최대에너지가 5 keV 이하인 것
- 2) 진단용 X선 발생장치
- 3) 설계승인 받은 자체차폐장치가 있는 장치로서 접근 가능한 기기 표면에서 방사선량 율이 1 μ Sv/h 이하인 것.

6-11. RI의 산업적 이용 활성화를 위한 KAERI의 연구성과⁹

)

RI는 산업, 의료, 학술연구 등 제반 이용분야에서 필수 불가결한 소재이다. 선진외국과 마찬가지로 우리 나라에서도 이용하는 방사능기준으로는 산업적 이용 분야가 의료이용 분야의 이용량보다 훨씬 많다. KAERI RI그룹은

산업적 라디오그래용 Ir-192선원의 양산공급체제를 갖추어 2001년도에는 전체 국내 RI수요의 13 %를 국산으로 대체하는 쾌거를 올렸는데, 이러한 국내 RI수요가 많아진 이후로는 KAERI의 RI생산공급 역사상 처음 있는 일이다. 물론 산업용 RI뿐만 아니라 의료용 RI의 국산화율도 대폭 증가하였다.

또한 방사선 이용개발 그룹의 최근 여구활동도 활성화되어 Auc 가지 뚜렷한 성과를 올렸다.

이 분야의 최근 실적을 요약하면 다음과 같다.

1) 일상생산공급량의 획기적 증가

- 생산공급 핵종 ; I-131, Tc-99m, Ho-166, Ir-192, Co-60, Tc-99m cold kit 등

- 2001년 국내 RI 총 수요량 = 수입량 + 생산량 = 222,462 Ci 중
 생산공급량 = 28,188 Ci ≒ 13 % (비교; 1998년 말 1 % 이하)

2) Ho-166 Chitosan 착물; 간암 치료용 신약으로 식약청 등록 필

3) Ho-166 stent, Ho-166 balloon 등 임상시험 결과 실용가능성 확인

4) Ir-192 생산시설/기술 ; ISO 9002 인증 획득

5) Ir-192 NDT용 벌봉선원 판매량 급신장; 2001년 27,595 Ci

(국내 Ir-192수요의 > 90 %)

6) Tc-99m 제너레이터 생산시설(GLF hotcell) 건설 순조

7) HEU이용 fission Mo-99 생산 feasibility study 수행

8) 생산공급을 전제로 1단계 개발 핵종 ; Yb-169, I-125, P-33, Sr-89, Re-188 등

9) RI생산전용 원자로 및 산업용 Co-60생산 타당성 조사연구 수행(중)

10) 의료용품의 방사선 멸균용 내방사선성 PP재료 개발

11) 인공 관절 개발

12) 폴리머 스위치 개발

13) 상처치료용 dressing개발

14) 면역증강성(내방사선성, 함암성) 기능식품 2종 개발

이상 14 가지 중 7), 8), 9)항을 제외한 나머지 모든 항목의 성과물에 대해서는 이미 상용화되었거나 현재 상용화를 추진 중이다.

6-12. RI 이용의 활성화를 위한 정책적 고려사항⁷⁾

2000년 기준 국내 총생산은 517조 966억 원이며 이 중 원자력산업체의 총 매출액은 9조 4,978억 원(GDP 대비 1.8%)인데 이 중 원자력발전매출은 7조 5,784억 원이며 원자력공급산업체 매출액은 1조 9,194억 원으로 나타나 있다. 원자력공급산업체 매출액 중 에너지분야는 1조 4,979억 원(7.8%), 원자력안전분야가 510억 원(2.7%), 기타가 458억 원(2.4%)으로 조사되었다.

방사선 및 방사성동위원소 이용분야의 매출액은 1,755억 원으로 원자력공급기관 매출액의 9.1 %, GDP의 0.03 %를 차지하고 있다. 이 중 방사성동위원소 생산 및 수입을 통한 매출액이 227억 원(13.0%), 방사성동위원소 관련기기 생산 및 수입을 통한 매출액은 11억 원(0.6%)에 불과하다.

가칭 ‘첨단방사선이용연구센터’가 정읍에 부지를 확정하고 방사선분야 전문 연구소로 추진되고 있으며, 기 완공된 하나로의 이용률을 증진시킬 필요가 제기되는 등 이 분야 연구환경이 바뀌고 있다. 이러한 방사선 및 방사성동위원소 이용 및 기술개발을 둘러싼 환경변화와 상황인식 하에 최근 정부를 비롯한 산업계, 연구계 및 학계 관련자들이 방사선 및 방사성동위원소 이용진흥을 위한 종합적인 계획 수립의 필요성과 그의 구체적인 실천방안 마련이 필요하다는 데에 공감하고 제2차 방사선 및 방사성동위원소 이용진흥 종합계획을 수립하게 되었다. 1995년 1월 개정된 원자력법에서 수립하도록 하고 있는 원자력진흥종합계획을 1997년 6월 13일 제24차 원자력위원회에서 심의 의결하여 확정하였고, 이에 근거하여 방사선 및 방사성동위원소 이용진흥종합계획 수립연구를 수행한 바 있다.

6-12-1 이용진흥 종합계획의 추진 목표

방사선 및 방사성동위원소 생산 이용기술의 추진을 통하여 달성하고자 하는 기본목표는 다음과 같다.

- ① 방사선과 방사성동위원소 이용기술을 개발·실용화함으로써 원자력발전분야와 더불어 균형 있는 발전을 도모
- ② 이 분야의 투자확대와 인력 확보의 기반구축을 통하여 적극 이 분야 산업을 적극 활성화
- ③ 이 분야를 이용한 공업, 의료, 농업, 식품 및 환경관련 연구의 활성화로 국민 삶의 질 향상에 적극 기여하고 그 파급효과를 극대화
- ④ 방사선 및 방사성동위원소의 이용을 국민이 안심하고 수용할 수 있도록 국민 이해를 증진시키고 효율적인 방사선 안전관리 및 방호제도 정착

6-12-2. 2015년까지의 주요 추진계획(추진전략)

가. 단기(2002 ~2006)

- 방사선 및 방사성동위원소의 연간 이용규모를 2000년 1,755억 원에서 2006년 7,500억 원 수준으로 증대
- 가칭 ‘첨단방사선이용연구센터’ 설립과 연계하여 방사선을 이용한 산업, 의료, 환경 및 기초과학 분야의 연구와 산업화 추진
- 방사성동위원소 생산·분배 등 유통체계 확립과 이용 확대를 위한 ‘국가방사선이용진흥위원회(가칭)’ 설치
- 하나로와 30 MeV 싸이클로트론 등을 이용한 방사성동위원소 생산·공급 확대
- 양전자방출 단층촬영술(PET) 진단을 위한 권역별 RI생산 전용 싸이클로트론 설치·운영을 통해 양질의 의료 서비스 지원

- 자동차, 조선, 반도체, 통신, 건설, 철강, 석유화학 등 공업분야에의 다양한 이용확대를 위한 시책 마련 등

나. 중장기(2007 ~2015)

- 첨단방사선이용센터 운영 활성화 및 생명공학기술과의 연계 등을 통한 이용기술의 고도화
- 2010년까지 發電대 非 發電 비중을 매출액 기준 7 : 3의 수준으로 증대
- 방사성동위원소의 생산 국산화는 경제성을 검토하여 추진
- 새로운 방사선 치료법을 상품화하고 한국형 방사선 치료 표준기술 확립
- 신기능 방사선 민감제를 이용한 고부가가치 의약품 생산기술 개발
- 방사선 및 방사성동위원소를 이용한 원자력전지 기반기술, 생분해성 고분자, 분리막, 실리콘 섬유 및 복합재료 제조기술 개발, 환경영향평가를 위한 추적자 기술, 오염정화 기술 등의 개발과 산업화
- 방사선과 생명공학기술을 연계하여 환경 친화성 농산물 육종 및 농업환경 개선연구와 식품, 생명공학, 제약, 생물자원 분야에서 고부가가치 신소재 및 기능성 제품생산에 관련된 첨단기술 개발

6-12-3 제도개선에 고려할 사항

우리나라에서 방사선 및 방사성동위원소 이용기술의 실용확산이 어려운 이유는 경영자들이 방사성물질에 의한 현장오염 우려, 방사성물질의 취급에 따르는 자신감 부족 등을 들 수 있다. 그러나 실무책임자나 현장기술자들은 일반적으로 경영자와는 인식을 달리하고 있는 편이다. 기술자들은 방사성추적자를 사용해서라도 확실한 결과를 얻기를 바라는 편이지만 경험이 없어서 자신 있게 주장하지 못한다. 또한 방사성물질 취급이 간단하지 않고 현장에서의 사용허가 등 난점이 있는 것도 요인 중 한가지이다. 다시 말하면, 방사성물질에 대한 두려움 때문이며 다른 대체방법이 있다면 그것을 사용하기를 원하고 있다. 이런 배경에서, 방사선의 성질·특성을 고려한 이용계획을 수립하여 방사선 및 방사성

동위원소 이용을 극대화함과 동시에 방사선 과다피폭 등 위험을 최소화할 수 있는 방안이 도출되어야 한다. 몇 가지 고려사항을 다음과 같이 요약한다⁸⁾.

- 방사선 및 방사성동위원소 이용진흥법(가칭)제정 추진
- 방사선 안전규제기술의 발전
 - 규제기술기준(시설 및 취급기준)을 방사선 기기 및 사용유형에 근거하여 정량적으로 마련
 - 의료기관, 교육기관 등 이용기관 특성에 적합한 자격제도 추진
- 방사선 RI 이용기관에 대한 시설보호, 테러방지 대책강화 및 보호체제 수립

6-13. RI이용 산업 발전을 위한 종합 의견

우리 나라에서의 RI/방사선 이용산업 중 전자선조사에 의한 내열성, 내방사선성 전선 생산, 열 수축성 튜브 생산, 수지, 라미네이트의 경화, 타이어 가공 등 電子線照射산업이 일찍부터 발전되었다. 근 30 대에 달하는 전자가속기를 10여 개의 산업체에서 상용 가동하여 생산된 가교전선 등 제품들은 국내소비에 충당하는 한편 많은 물량을 외국에 수출하고 있으며 그 경제규모는 확실히 알려지지 않았으나 매우 클 것으로 생각된다. 우리 나라에서는 전자가속기 생산기술도 발전되어 수대를 이미 생산하여 수출하였고 국내에도 국산 전자가속기가 보급되기 시작하였다. 전자선 조사에 의한 공해물질 처리기술은 머지않아 실용화 될 유망한 기술인 바, 우리나라 산업계에서도 전자선에 의한 공해물질처리기술을 고도로 개발한 상태이다. 전자선 조사산업의 장점은 방사성폐기물이 생성되지 않으며, 스위치 on-off로 방사선발생을 조정·제어할 수 있다는 것이다.

식품조사 보존, 의료용품 멸균 등 Co-60 감마선 조사산업도 점차 우리 나라에서 활기를 찾아갈 것으로 전망되는 유망한 산업이다. 의료용품 뿐만 아니라 의약품, 한방약재 등에 대해서도 방사선조사 멸균법이 활발히 시행될 것으로 전망된다.

멸균 잔류가스 등 유해물질의 잔류기준을 설정, 이를 점차 더 엄격히 규제하게

될 것인 바, 방사선멸균법으로 멸균된 대상물에는 하등의 유해물질도 남기지 않는다는 것이 다른 방법으로 대체될 수 없는 독특한 장점이다. 또한 가스침투나 열 전달이 어려운 물질들도 완전 포장한 채로 상온멸균이 가능하여 2차 오염의 염려는 원천적으로 있을 수 없다는 것도 큰 장점이다. Co-60 감마선 조사에 의해서는 아무 것도 방사능을 띄지 않아 조사된 대상물에서는 방사선이 나오지 않음에도 불구하고 방사선이 조사된 물건에서는 필연코 방사선이 나오리라는 막연한 심리 경향은 점차 살아질 것으로 보인다.

한편, 우리 나라는 전자산업 대국이며 이온 이식기술 (ion implantation)를 이용해 많은 양의 반도체를 생산하여 수출하고 있다. 이들 세 가지가 대표적인 우리 나라 산업계에서의 RI/방사선 이용형태이다. 결국 방사선조사산업이 근간을 이루고 있는 셈이다.

그 이외에 라디오그래피와 방사선 게이징 기술이 많이 이용되면서 산업안전과 원료, 에너지, 인력 등의 절감에 크게 기여하고 있다. 이 기술들도 나름대로의 장점을 가지고 지속적으로 성장되어 왔으며 우리 나라에 30여 개의 전문 라디오그래피 업체가 활동하고 있다. RI/방사선 게이징 대수는 정확히 파악되지 않았으나 2001년말 기준으로 이용업체수가 2500 여 개여서 업체당 1대 씩만 보유·이용한다 하더라도 2500여 대나 된다. 의료이용에서 이용효과를 단순한 이용경제규모로 나타내기 어려운 것처럼 라디오그래피나 방사선 게이징 기술이 기여하는 산업안전과 품질개선 효과도 단순한 경제규모 논리로만 평가될 수 있는 것이 아니라고 생각된다.

한편, 비 밀봉RI의 산업적 이용인 방사성추적자 이용기술은 이미 우리 나라에서 긴 이용역사가 있고 아·태 지역에서도 우리 나라가 이 기술을 先導하는 입장에 있는 것에 비하면 이 기술의 실용확산 속도가 느린 편이다. 비 밀봉 RI를 산업현장에 투입한다는 데에 대한 정확한 안전의식 부족이 그 원인이라고 생각된다.

요컨대, 우리 나라에서의 RI/방사선 이용의 경제규모는 현재까지 정확히 알려지지 않은 상태이다. 정부에서는 원자력연구개발 중장기 계획에 의거, 이 분야

와 원전분야의 매출액 비를 3:7로 끌어올린다는 계획을 세워 놓은 상태이며 이와 관련하여 경제규모의 조사사업도 수행 중이어서 그 조사결과가 주목된다.

7. 전자가속기 제조 및 이용기술

7-1. 국내 가속기기술 현황

IAEA/RCA/UNDP사업에 한국원자력연구소가 참여한 것을 계기로 우리나라에 이 분야기술기반이 비교적 일찍 도입되었다. 소형 전자가속기가 서울 소재 KAERI에 설치·가동되어 이를 이용하는 연구가 소규모였지만 적기에 추진되었기 때문이다. 이러한 연구를 기초로 양성된 인력이 산업화의 역군으로 전파되어 내열성 架橋전선, 열 수축성 튜브, 가교폴리에틸렌, 타이어 가공, 라미네이트 塗裝 등이 산업화되었다. 현재 총 26여 대의 전자가속기가 국내 16 개 산업체에서 가동되고 있으며, 이중 18 기는 외국으로부터 수입된 것이고, 8 기는 1993년 이후 국내에서 제작된 것이다. 그 보유현황은 표 7-1 과 같다³⁾. 이들 업체는 상호 경쟁체제하에 가교전선 등 많은 물량을 수출하는 높은 기술수준을 유지하고 있다. 전자가속기 생산기술을 1990년대 중반 삼성중공업(주)가 러시아와 기술 제휴하여 단시일 내에 기술을 확보했으며, 위에서 언급한 바와 같이 이미 생산하여 그 중 이미 수 기를 국내외에 공급하였다. 또한, 이 업체의 중앙연구소는 전자가속기 생산뿐만 아니라 그 이용기술 개발에도 박차를 가하고 있으며, 排煙 처리 기술, 하수 슬러지 처리기술 등 공해방지분야에 높은 기술능력을 이미 확보한 상태이다.

표 7-1. 국내 전자가속기의 이용현황 (2000년 9월 기준)

용도	보유업체	제작사	용량	도입시기
전선제조	LG전선	NHV	750keV, 65mA	'84
	LG전선	NHV	1.5MeV, 65mA	'86
	LG전선	NHV	1.0MeV, 100mA	'87
	LG전선	삼성	2.0MeV, 50mA	'00
	LG전선	삼성	1.0MeV, 100mA	'00
	대한전선	NHV	1.0MeV, 65mA	'91
	연합전선	RDI	1.0MeV, 65mA	'91
	대원전선	RDI	1.0MeV, 65mA	'91
	동양전선	삼성	1.2MeV, 80mA	'96
타이어제조	(주)금호	NHV	800keV, 160mA	'91
	한국타이어	NHV	500keV, 150mA	'92
발포수지 제조	영보화학	NHV	500keV, 65mA	'00
	영보화학	NHV	1.0MeV, 65mA	'98
	영보화학	삼성	1.0MeV, 100mA	'99
	(주)통일	NHV	800keV, 65mA	'91
열수축	경신공업	NHV	1.0MeV, 100mA	'90
튜브제조	영지테크	INP	700keV, 40mA	'97
반도체개질	세라텍	삼성	1.0MeV, 40mA	'00
폐수처리	대구염색공단	삼성	1.0MeV, 40mA	'98
塗膜경화	한국테트라팩	ES	175keV, 300mA	'89
	KAERI	HVEC	300keV, 25mA	'75
연구용	삼성중공업	삼성	1.0MeV, 40mA	'93
	삼성중공업	삼성	1.0MeV, 40mA	'94

일반 산업체와 비파괴검사 전문업체에서의 용도별 방사선발생장치의 현황은 표 7-2와 같다.

표 7-2. 우리 나라 산업계에서의 방사선발생장치 이용현황(1998년)

	100kV 이하	101 ~ 200kV	201 ~ 300kV	301 ~ 400kV	401 ~ 500kV	1Mev 미만	1Mev 이상	사업 계	소수
두께측정	139	50	2	1				192	15
회분측정	6							6	4
각도측정	7							7	6
성분분석	119	11	1					131	103
비파괴전문업	2	53	248	1	1			305	32
NDT	108	150	95	21	9	5	7	395	169
타이어검사	1	2						3	1
수하물검색	1	25						26	15
총 계	383	291	346	23	10	5	7	1065	345

위 표에 나타난 바와 같이 비파괴검사 및 방사선게이징 분야에서 1,065 개가 사용되었으며, 이 중 약 70 %인 729 개의 RG가 비파괴검사 전문사업소, 일반 산업체의 비파괴검사 팀, 수하물 및 타이어 검사 등에 사용되고 있으며, 나머지 약 30%인 336 개는 두께측정, 성분분석 등 방사선 게이징에 사용된 것으로 파악되고 있다. 방사선 게이징에 쓰이는 가속기는 대부분 가속에너지가 100k VP 이하의 저 에너지 RG이고, 비파괴검사에는 100 ~ 200 kVP의 것이 주로 사용된다.

7-2. 향후전망 과 육성방안

방사선가공의 주요 대상⁴⁾은 가교, 발포, 그라프트 공중합, 도료 경화, 복합재료 제조 및 경화, 목재플라스틱 제조 등이다. 방사선가공기술을 더욱 발전시킴으로서 물질의 改質과 성능 개선이 한층 고도화될 것인 바, 그 예는 다음과 같다.

- 내열성 향상
- 내약품성 향상
- 내부식성 증대
- 접착성 개선
- 染色性 증대
- 기계적 강도 제고
- 耐마모성 향상
- 감촉성 향상
- 耐菌性 강화

방사선가공과 관련되는 방사선화학적 가공 프로세스의 예는 다음과 같다.

- 질소의 고정($N_2 + 2O_2 \rightarrow 2NO_2$)
- 폴리에틸렌 가교
- 천연고무의 加硫
- 増感劑의 첨가
- 폴리에스테ルの 경화
- 방사선 graft 공중합
- 방사선 중합
- 트리옥시산의 중합
- 부름화에틸의 합성
- 탄화수소의 sulphone化
- 발아방지 또는 억제
- 의약품 멸균

방사선가공에 의해 개질되는 폴리머의 예는 다음과 같다.

- 각종 테이프
- 폴리에틸렌 필름
- 각종 成型
- 폴리에틸렌 wire
- 천연고무
- 고무 타이어 등

전자가속기를 이용한 방사선가공기술은 위와 같이 다양한 물질의 개질에 이용될 수 있고, 방사선발생이 시간적으로 조절될 수 있고 방사성폐기물의 발생도 없는 청정산업이어서 향후 급속도로 성장될 전망이다. 산업화에 관심이 많은 민간업체 주도로 기술개발과 실용화가 이루어질 것으로 보이기 때문에 국가연구기관에서는 방사선 안전, 조사선량을 효과(dose rate effects) 등 방사선조사 관련 심층 기초기술을 민간업체와 협력토록 유도할 필요가 있다. 이미 알려져 있는 기술이라 하더라도 산업화와 관련되어 난점이 있을 경우에는 국가연구기관이 이를 앞장서서 해결하여 산업화를 촉진시키는 역할을 해야 할 것이다. 특히 전자가속기를 이용하는 공해물질 처리기술은 불원간 산업화될 것으로 전망되므로 그 기술적 문제해결을 위해 상호협력 해야 할 것이다. 국가연구기관은 위에서 언급한 바와 같이 전자가속기를 이용하는 다른 제반 산업에 있어서도 기술향상을 위하여 산업체와 협력체제 유지가 필요할 뿐만 아니라, 새로운 이용기술개발을 위해 부단한 노력을 기울여 산업화가 가능한 새로운 이용기술을 창출해야 하는 바, 이를 위하여 연구기관 보유장비의 현대화와 이 분야 연구개발 투자가 합리적으로 이루어지도록 해야 한다.

8. 기타 산업

8-1. RI게이지 산업

우리 나라 산업계에서 이용하고 있는 RI게이지 류의 수는 표 5.2 및 5.4에 나타난 바와 같이 소형인 것까지 합하면 천여 개에 달할 것으로 추정된다. 고온, 고압, 악취, 분진, 오염공기 등 여러 조건에서도 비교적 큰 고장 없이 기능을 발휘하면서 원료, 에너지, 인력의 절감 및 자동조작에 의한 제품의 품질 향상 등 RI게이지가 미치는 경제성은 실로 막대하다.

이 분야의 기술적 난점은 게이지 용 국산 밀봉 방사선원이 거의 없고 게이지 자체도 대형 설비에 부착된 부속품형태로 전량 수입된다는 점이다. 기계에 부착된 방사선원이 감쇠되어 교체해야 할 경우에도 외국 게이지 제조업체 기술자가 외국 방사선원을 가져와 교체하고 보정하기 때문에 소요 비용과 시간적 부담이 적지 않다는 것이 문제점으로 지적되고 있다.

대체기술이 점차 RI게이지 자리를 메워가려는 경향이 있지만 당분간은 이의 장점으로 인해 지속적인 이용이 전망된다. 국가연구기관에서는 현재 선원의 제조공급과 그 교체장전 서비스를 일부 제공하고 있지만 극히 일부분에만 국한되어 있는 상태임으로 앞으로는 비교적 수요가 많은 RI게이지 류 방사선원의 생산과 교체장전기술을 본격적으로 개발하여 보급할 필요가 있다.

8-2. 이온이식(Ion implantation) 전자산업

미국, 일본 등 선진외국에서는 중성자변환 Si 도핑(NTD)기술개발과 실용화가 활발하지만 우리 나라에서는 전자산업이 발전되어 있음에도 불구하고 그 산업형태의 선진국과의 차이로 인해 이온이식에 의한 반도체 생산은 활발한 편이지만 NTD에는 아직 큰 관심이 없는 상황이다. 우리 나라 전자공업진흥협회측의 대략적인 통계에 의하면 이온이식에 의한 반도체 생산규모는 10조원을 상회한다고 함으로 이 사실이 확인될 경우 그 경제규모는 다른 어떤 방사선이용규모보다도 큰 것이 될 것이다. 이온이식에 의한 반도체 생산이 과연 방사선이용분야 기술이라고 보느냐의 문제는 일본에서도 논란이 있기는 하지만 이를 포

합시킨다면 방사선이용의 경제규모는 우리 나라에서도 매우 커지게 된다. 이 분야 기술은 전자산업계의 독자적 개발노력에 의한 것이므로 앞으로 원자력 계와의 협력이 더 요망된다. 현재 이온이식 장치는 방사선기기의 형태로 전량 수입되고 있다.

이 산업분야는 앞으로도 성장추세가 계속될 것으로 전망되며, 이온이식에 의한 반도체 생산뿐만 아니라 NTD 기술개발보급을 위해서도 국내 전자산업체들이 연구용 원자료를 이용하게 되기를 기대한다. 이온이식에 의한 반도체 생산기술은 산업체 주도로 계속 추진될 것이지만 이 분야의 높은 기술수준을 계속 유지하기 위해서는 이 분야의 활발한 연구개발과제 수행과 관련전문가 확보가 선행되어야 한다.

어야 한다.

8-3. 방사성화합물 합성 및 방사성의약품 산업

국내에는 방사성화합물 합성 서비스업을 수행하는 1개의 전문 민간연구소가 있으며 주로 주문을 받아 제조공급하고 있고 규모는 아직 영세한 편이다. 그러나 앞으로 성장전망이 있는 유망산업이므로 빠른 성장과 기술도약을 위해서는 유관기관과의 협력연구 등도 고려해 볼만하다.

수 개의 제약산업체에서 RI를 수입하거나 일부 국산 RI를 이용·개발하여 방사성의약품을 제조하고 있다. 아직 초기단계여서 그 규모는 제약업체의 한 부분산업의 위상을 유지하는 실정이다.

제 3장 결론

국내 생명산업은 아직 영세성을 띄지만 현재 600여개 업체로 2000년 이후 급속히 증가하고 있는 추세이며 이 분야의 방사선 이용기술이 보다 활발해 질 것으로 전망된다. 비파괴 업체는 40여 개 업체가 성업중이고 업무량은 매년 증가하고 있는 실정으로 가스누출검사, 발전시설안전점검, 송유관노출, 철도, 항공, 방위산업과 교량진단 등 방사선 이용 진단 분야가 확대되고 있다. 환경분야에서는 하수정화, 산업폐수정화, 염색폐액처리, 정수, 화학약품분리, 유기성폐기물, 토양오염복원, 병원폐기물 처리 등에 활용되는 분야이다. 아직 국내에 전문업체가 활성화되지 못하고 연구 단계에 머무르고 있는 실정이다.

고분자 산업에서의 방사선 및 방사성 동위원소 이용은 대단히 여러 분야에서 이용되고 있기 때문에 정확한 실태를 파악하기 어렵고 대표적인 업체만 70여 개 업체가 있다. 방사선 계측 및 추적자 산업은 유속측정, 공정시간 계산 부피 측정, 혼합비율측정, 누설탐지, 마모도 측정, 부식 및 침전물 탐사 등의 분야에서 이용되고 있으나 아직 전문업체가 없고 한국원자력연구소에서 연구측면에서 수행하고 있는 정도이다.

방사선 및 방사성 동위 원소의 산업적 이용은 꾸준히 증가하고 있고 활용하는 산업분야는 확대되고 있는 추세이다. 전반적으로 10년 전에 비해 2배 이상의 성장속도를 보임으로 앞으로 이 분야의 연구는 확대되어야 할 것으로 판단되며 산업에 미치는 영향과 파급효과가 매우 큰 것으로 파악되어지고 있다. 방사선 이용 생명산업이 비파괴검사, 추적자기술에서도 꾸준히 증가하고 있는 실정이다. 방사선 이용 환경관리 산업은 아직 시작단계에 있으며 방사선이용 신소재개발 분야에 있어서도 연구단계에서 산업화단계에 서서히 접어들고 있는 상태이다. 앞으로 비발전분야의 연구를 활성화함으로써 이 분야의 산업화 속도는 더욱 가속화 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Guidebook on Radioisotope Tracers in Industry, IAEA(1990)
2. 동위원소회보, 제13권 제1호(1998)
3. 동위원소회보, 제15권 제3호(2000)
4. 동위원소회보, 제15권 제1호(2000)
5. 2000년도 제6회 원자력산업 실태조사, 주관기관; 한국원자력산업회의, 위탁연구기관; 한국방사성동위원소협회 (2001)
6. 2001년 원자력 연감, 제5편 방사선 및 방사성동위원소의 이용, 제2장 방사성동위원소 연구개발 및 유통 (2001)
7. 제 2차 방사선 및 방사성동위원소 이용 진흥계획 수립에 관한 연구, 한양대학교 (2001)
8. RT 정책방향, 조청원, 2002년 춘계 원자력학회 특강, 조선대학교 (2002)
9. KAIF-JAIF 합동 원자력기술 이용회의 RI/방사선 Session Proceeding, Tokyo, (2002)
10. 2000년도 방사성/ 방사성동위원소 등의 이용진흥을 위한 세미나, 한국 방사성 동위원소 협회(2000)
11. 방사선 및 방사성 동위원소 이용 진흥 종합계획 수립, 한국원자력연구소, KAERI/ RR-1691/96, (1996)
12. 김재록, 유영수, 이종두, 진준하, 한현수, 박춘득, 변형직, 방사성 추적자의 실업적 이용연구, 한국원자력연구소, KAERI/RR-870/89, (1989)
13. 전자빔 가속기를 이용한 염색 폐수처리기술 개발에 관한 연구, 산업자원부, 염색기술연구소 보고서; 125-151, (1968)
14. 식품공업협회 30년사, 한국식품공업협회, (2000)
15. 2001년 보건산업백서, 한국보건산업진흥원, (2001)
16. 공업화학전망, 한국공업화학회, (2000)

17. 공업화학전망, 한국공업화학회, (2001)
18. 고분자 과학과 기술, 한국고분자학회, (2000)
19. 고분자 과학과 기술, 한국고분자학회, (2001)

Summary

I. Project

II, Objective and importance of the Project

III. Scope and Contents of Project

IV. Results of Project

V, Proposal for Application

서 지 정 보 양 식

서 지 정 보 양 식					
수행기관보고서번호		위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드	
KAERI/RR-2271/2002					
제목 / 부제		첨단방사선이용연구센터 설립에 따른 관련산업의 저변확대 방안			
연구책임자 및 부서명		이영일/방사선이용 연구			
연구자 및 부서명		김일권(방사선이용연구단), 김덕승(외부), 김재록(외부), 박대영(외부), 박진영(외부), 서인석(위촉), 양광남(위촉), 이정호(위촉), 조성수(외부), 채성기(위촉), 황창규(외부)			
출판지		발행기관	한국원자력연구소	발행년	2002
페이지	160 p.	도표	있음(o), 없음()	크기	210×297 Cm.
참고사항					
공개여부	공개(o), 비공개()		보고서종류	연구조사보고서	
비밀여부	대외비 (), — 급비밀				
연구위탁기관	한국원자력연구소		계약 번호	79292-02	
초록 (15-20줄내외)	<p>가칭 첨단방사선이용연구센터가 설립됨에 따라 연구소가 수행한 연구업적을 신속히 산업화하기 위하여 국내 관련산업의 활동 및 현황을 파악하였으며 연구결과를 신속히 전파할 수 있는 자료가 될 내용이 수록되어 있다. 관련산업은 방사선생명공학, 동위원소 추적자이용기술, 비파괴검사, 환경공학과 공업적 이용산업을 대상으로 연구조사되어 있다. 방사선 생명산업에 참여하고 있는 기업은 757업체로 조사되었고, 비파괴 40개업체, 방사선이용 환경관리 산업체는 아직 없는 것으로 파악되었으며, 고분자 화학산업은 대표업체가 70여 업체가 있으며 방사성동위원소 이용업체는 1930여 개소로 조사되었다. 대체로 방사선이용 산업체는 빠르게 성장하고있는 경향을 나타내었다.</p>				
주제명키워드 (10단어내외)	방사선이용, 동위원소, 방사선생명공학, 비파괴검사, 방사선환경, 방사선공업				

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/RR-2271/2002			
Title / Subtitle	Investigation for Industrial Development Related to the Establishment of Advanced Radiation Application Research Center for Industrial Development Related to the Establishment of Advanced Radiation Application Research Center		
Project Manager and Department	LEE, YOUNG IL, Mutation plant breeding by using radiation		
Researcher and Department	Kim, Il Kwon; Kim, Duck Seung; Kim, Jae Rock; Park, Dae Young; Park, Jin Young; Seu, In Suk; Yang, Kywong Nam; Lee, Jeong Ho; Cho, Seong Su; Chae, Seong Ki; Hwang, Chang Kyu		
Publication Place		Publisher	Publication Date
			2002. 11. 30
Page	160 p.	Ill. & Tab.	Size
		Yes(), No ()	210×297 Cm.
Note			
Open	Open(o), Closed()	Report Type	Research Report
Classified	Restricted(), ___Class Document		
Sponsoring Org.	KAERI	Contract No.	79292-02
Abstract (15-20 Lines)	To promote an enhance the radiation application research through the cooperation between industry and Advanced Radiation Application Research Center, the related industries with radiation technology were surveyed. The related industries were bioresources, environment control and chemical industries and non-destructive testing including trace technology		
Subject Keywords (About 10 words)	Radiation application industry, Bioresources, Non-destructive testing, Environmental industry, Polymer chemistry, Tracer technology		