



방사선 및 방사성동위원소 이용기술개발(1)

제 1 절 현황과 문제점

1. 공업적 이용

방사선의 공업적 이용기술은 원자력, 기계, 전기, 조선, 건축, 토목, 석유화학, 전자, 고분자, 제지, 철강, 의료 등 전 산업분야에 광범위하게 활용되고 있으나 대부분 기본 기술은 선진국에 크게 의존하고 있고, 연구인력, 연구비, 연구시설 등 연구환경이 아직까지 선진국에 비하여 열악한 형편이지만 1차 방사선 및 방사성동위원소 이용진흥 종합계획에 의거하여 공업적 이용기술 분야에서 기능성고분자재료, 방사성 추적자이용기술, 환경공해처리기술, 원전유기재료의 열화평가기술, 방사선 제촉기술, 방사화분석기술 및 이온빔 이용 기술에 대한 연구가 추진되어 많은 연구결과물을 얻었다. 이 기간 중 화상치료용 드레싱 제조기술을 개발하여, 임상실험을 완료하였으며, 산업체에 기술이전 하였고, 과전류 차단 고분자 스위치 제조기술을 개발하여 기

업체에서 시제품을 생산중이다. 일부 핵심적인 추적자 기술, 장비 및 프로그램을 개발하고, 증류탑, 하수처리시설 등 산업시설 진단을 위한 추적자 기술을 개발하여 현장에 적용하였다. 또한 생물학적 시료의 방사화분석기술이 개발되었고, 모발이용 인체보건분야 응용기술이 산업체로 기술이전 되었다. 그리고 가속기 질량분석기술을 이용하여 극소시료로도 5만년까지의 탄소연대측정이 가능하게 되었다.

다양한 연구성과에도 불구하고 산업화되지 않은 기술이 많기 때문에 산업계와 정보교류를 활발히 전개해 연구결과가 사장되는 일이 없도록 할 필요가 있다. 공업적 이용 기술분야는 시급히 추진해야 할 연구개발 과제가 많지만, 연구인력 및 예산이 충분하지 못해 기술개발 속도가 느리고 산업계의 기술지원 요구를 적시에 충족시키지 못하고 있다. 또한 1차 진흥계획기간 중 일부 기술 분야에서는 기반 기술이 확립되지 않아서 장기적인 연구 지원이 필요한 상황임에도 불구하고 오히려 단



기 성과에만 치중한 경향이 있었다. 2차 방사선 및 방사성동위원소 이용진흥계획에서는 1차 기간중의 현황을 분석하여, 방사선의 공업적 이용기술의 활성화 및 산업화를 촉진하기 위한 기술개발에 집중하여야 할 것이다.

가. 기능성고분자 재료

방사선화학을 이용한 산업분야는 주로 고분자화학분야에서 매우 활발하다. 방사선 조사에 의한 고분자 재료의 개질법은 고체중이나 저온에서도 용이하게 화학반응을 일으킬 수 있고, 촉매를 사용하지 않기 때문에 생성물에 오염될 염려가 없고, 에너지 절약형이며, 공해가 적어서 선진국의 고분자 산업에서 다방면에 이용되고 있다. 국내에서도 1980년에 본격적으로 산업체와 한국원자력연구소간의 협력을 통하여 전선의 가교기술에 대한 연구가 시작되었고 이러한 기반기술을 토대로 금성전선(현 LG전선)에서 상용가속기를 이용하여 1985년부터 가교전선을 생산하기 시작하였으며, 현재는 LG전선(주)이외에 3개 회사에서 가교전선 및 열수축성 튜브 가공목적으로 8대의 전자선 가속기를 운영하고 있다.

이 밖에 전자선으로 고무시이트를 가교시켜 타이어를 제조하고 있으며, 전자선 가속기로 폴리올레핀을 가교하여 고성능 발포올레핀폼 단열재를 제조하고 있다. 또 식품포장재의 도장에 방사선 경화 기술이 국내에서 활용되고 있다. 최근 캐나다, 미국 등 선진국에서 복합재료용 경화기술이 개발되어 산업화되고 있지만 국내에서 이 분야의 연구는 전무한 실정이므로 집중적인 연구가 필요한 시점이다.

1996년 전까지는 국내에서 전자선 가속기

가 생산되지 않아서 주로 일본의 NHV, 미국의 RDI제품을 수입하여 사용하였지만, 국내에서 eb-Tech(구, 삼성중공업(주))가 러시아의 INP와 합작으로 가속기를 생산하기 시작하여 국내에 공급하기 시작함에 따라 방사선 이용 관련 고분자 산업의 국제 경쟁력을 향상시키는 계기가 되었다.

최근 미국, 일본, 캐나다 등에서는 전자선을 이용한 복합재료제조기술, 방사선을 이용한 생체재료 제조기술, 폐 플라스틱 재활용기술, 전지격막재료제조기술, 고분자가교기술, 해수로부터 우라늄회수 등에 대한 연구를 강도 높게 추진하고 있고, 우수한 결과를 얻고 있다.

나. 방사성 추적자이용 기술

선진국에서는 추적자의 산업적 이용 주요 이론과 기본기술은 이미 개발되어 일부 기술은 이미 상용화되었으며, 근래에 환경문제에 관한 관심이 높아지면서 이 기술에 대한 필요성이 한층 증대되고 있다. 해안의 모래유실, 연안 항로의 심도유지 등을 위해 해사이동추적기술 및 준설물 투기위치 평가기술 등이 이용되고, 하천이나 해양에서의 공해물질 및 침적물의 추적기술, 하천유량 측정기술 등이 환경보존을 위한 정보를 알기 위해 이용되고 있다.

선진국에서 추진중인 첨단연구로는 시스템의 컴퓨터 모델 실증 등을 위한 추적자 이용기술, 컴퓨터를 이용한 고속 데이터처리장치 개발과 추적자 실험결과 해석을 위해 CFD (computed fluid dynamics) 이용기술, 환경분야의 추적자 실험에 GPS 이용기술 등이 각광을 받고 있다. 앞으로의 전망을 살펴보



면 선진국의 예로 보아 장치산업이 발달된 국내 산업계의 증류탑 검사기술, 유속 측정기술 등 주요 산업적 이용기술에 대한 잠재적 추적자 기술수요는 매우 클 것으로 예상된다. 또 연안 개발이 대규모로 빈번히 이루어지고 이에 따른 여러 가지 환경문제가 대두되고 있어, 연안환경 진단을 위한 추적자기술 수요도 상당히 높을 것으로 예상된다.

다. 환경공해처리 기술

외국의 경우 일본은 원자력연구소를 중심으로 1980년 이후부터 감마선 및 전자선을 이용한 수처리 연구를 계속해 오고 있다. 러시아는 러시아과학원 물리화학연구소를 중심으로 전자선을 이용한 수처리 연구를 수행하고 있다.

삼성중공업연구소에서는 전자선가속기의 자체생산과 더불어 난분해성물질 처리에 대하여 연구를 해오고 있으며, 연구결과 전자선을 포함한 방사선을 이용하여 수처리를 할 경우 난분해성물질 처리에 매우 효과적인 수 있음을 규명하였다.

대기분야에는 일본을 중심으로 폴란드 중국 등지에서 석탄을 원료로 하는 화력발전소에서 발생하는 NO_x나 SO_x 등을 제거함과 동시에 이들을 비료성분으로 이용하는 기술에 주력해 왔으며, 폴란드에 실규모의 시범시설을 건설하여 운영하고 있다. 일본에서는 이와 병행하여 쓰레기소각장에서 발생하는 연소가스, 터널에서 발생하는 유해가스를 제거하기 위하여 전자선가속기를 이용하는 연구도 수행함으로써 좋은 결과를 얻고 있다. 최근에는 VOC (volatile organic compounds) 제거를 목적으로 전자선을 이용한

에어러졸 형성연구, VOC 분해연구 등이 수행되고 있다.

라. 원전 유기재료의 열화평가 기술

원자력발전소에 다량의 고분자 유기재료가 사용되고 있는데, 종류와 배합내용이 다양하고, 종래의 자료로부터 노후화 및 수명을 추정하기가 극히 어렵기 때문에 실제적인 실험자료의 산출 및 내환경 데이터 베이스(DB) 구축과 함께 지속적인 기술개발이 요구된다.

선진 외국의 경우 원전 유기재료의 평가기술개발과 실용화에 관련하여 BNL의 노후화 평가 기술개발, NRC의 원전수명관리, Westinghouse의 전기기기의 노후화평가기술개발 등이 있으며, 독일의 경우, 케이블의 수명예측 연구 (Siemens AG/KWU)와 스웨덴 DNV Ingemansson AB의 절연재료 및 피복재료의 인공 열화 방법이 개발되고 있고, 영국 AEA Technology에서는 케이블의 수명관리가 진행되고 있다. 일본의 경우, 수명저하 가속요인, 시편과 실제 재료 사이의 물성연구가 JAERI에서 수행한바 있다. LOCA 시험 및 검증 기술과 관련하여, 정상 운전시와 시험시의 선량율의 차이와, 열 및 방사선 피폭의 단계열화시험과 동시열화시험, 내방사선 시험시의 전선재료의 허용굴곡경의 문제점에 대한 연구와 비파괴 노후화 검증 기술개발이 BNL에서 추진되고 있다.

마. 방사선계측 기술

방사선계측 기술은 산업용 방사선 응용계측기뿐 아니라 기초과학에서부터 방사선 방호, 핵물질 통제, 의학적 이용에 이르기까지 폭넓게 활용되는 기술이다. 최근에는 Digital



Radiography 및 3차원 영상을 얻기 위한 CT에 사용될 고분해능 위치 검출기의 개발이 선진국을 중심으로 수행되고 있으나, 특히 국내 기술이 취약한 부분으로 중장기적으로 지속적 지원이 필요한 분야이다. 방사선 응용계측기는 국내 약 420개 이용기관에서 2,500기 이상이 사용되고 있는데 이것은 방사선의 공업적 이용기관의 약 90%에 해당된다.

선진국에서는 방사선 계측기 자체 뿐 아니라 방사선 응용 계측/제어 시스템의 산업화가 이미 성숙기에 접어들고 있으며, 방사선 응용 계측기를 산업용으로 활용하여 제품의 품질 향상, 원가절감, 에너지 절약 등 산업기술 발전에 기여하고 있다. 최근에는 a-Si, CZT, CdTe 등의 새로운 반도체 검출기를 이용한 방사선 계측기, 2차원 Array형 고분해능 영상 검출기 등 첨단 방사선 계측기를 개발하기 위한 연구를 수행하고 있다. 단일형 반도체 검출기는 현재 사용되는 섬광체 검출기를 대체한 소형화 및 정밀도 향상을 목표로 개발되고 있으며, Array형 검출기는 고분해능이 필요한 DIR (Digital Industrial Radiography), CAT (Computer Aided Tomography)에 적용하기 위하여 수십 (m 수준의 공간 해상도를 갖는 제품 개발에 주력하고 있다.

바. 비파괴검사 기술

방사성동위원소나 X선에 의한 비파괴 검사는 중공업, 조선, 항공기, 원자력 산업 등의 구조물 건전성 평가에 적용되고 있으며 특히 용접부의 건전성 평가와 생산 공정의 불량품 검사에 활용되며, 최근에는 송유관,

가스관, 교량 및 도로 등 국가 기간 산업의 시설물 안전에도 건전성 확보라는 측면에서 활용 범위가 넓혀지고 있다. 방사선 이용 비파괴검사가 필름에 나타난 이미지를 판독하여 제품의 불량을 평가하는 수준에서 의료계에서 사용되는 것처럼 필름에 의존하지 않거나 3차원 이미지를 얻을 수 있는 등 많은 발전을 가져왔다.

1970년대 이후 국내 산업 발전과 더불어 국내에도 많은 전문검사업체가 생겨나 그 숫자도 과학기술부에 공식적으로 등록된 것만 해도 현재 30여개가 되고 대기업체를 포함한 각종 제품을 생산 및 제조하는 것부터 검사 업무를 수행하고 있는 것까지를 포함하면 이 숫자는 약 300여개 기관에 이른다. 비파괴 검사법중 방사선을 이용한 기술 개발은 실제 산업계에서도 전체 비파괴검사 업무중 대략 95% 이상을 차지하는 등 사용 빈도가 여타 비파괴 검사법에 비해 월등히 높은데도 불구하고 방사성 물질의 취급 등과 관련된 제약들에 의해 연구자들에게 큰 관심을 끌지 못하였고 산업을 중심으로 한 단순 현장 업무의 수행만 이루어져 왔다. 이와는 달리 선진국에서는 기존의 X-선, γ 선을 사용한 검사에서도 영상처리 및 실시간 RT기술 등 특수 검사 기술을 개발하여 현장 적용하는 기술이 시도되고 있다.

사. 방사화분석 기술

분석법의 연구개발에는 시료의 수집 및 준비로부터 분석절차의 품질관리 및 보증에 이르기까지 여러 단계가 포함되며 각 단계들은 독립적 또는 종속적으로 중요성을 가지고 있으며, 크게는 분석장치의 개발과 표준절차 및 이용기술의 개발로 분류할 수 있다. 특히 계



량에 대한 국가 표준기본법의 제정 및 관련 제도들의 시행과 함께 기초과학, 응용연구개발 및 산업화를 위한 품질관리 및 보증에 이용되는 객관성과 신뢰성이 있는 강력한 고감도 분석의 지원은 필수적이며, 선진국에서도 각종 연구개발에 적극 활용하고 있는 중성자 방사화분석 절차의 국가적, 국제적 표준화는 최근의 무역상 기술장벽(WTO/TBT)의 해소와 수출입상에서 발생하는 막대한 시험검사 비용(수출입액의 2-8%)을 절감함으로써 국가 경제 및 국제 경쟁력과 직결되는 시급한 문제이므로 항시 지원 가능한 광범위하고 다양한 최대 측정 능력(Best Measurement Capability, BMC)을 확보해야 한다. 향후 국가 표준기본법의 시행과 함께 산업규격의 QA/QC 관리가 보다 엄격해질 전망이다. 시험·교정인정기관의 확대는 정부의 방침이므로 모든 연구기관의 시험분석 실험실은 조속히 국가 또는 국제 시험검사 인정제도를 도입해서 국제 측정표준이나 평가기준에 맞추어야 할 것이다.

아. 이온빔 이용 기술

1960년대 초에 이온 주입으로 반도체에 불순물원소 도입법이 개발되어 대성공을 이룬 후 반도체 산업 발전에 기여하였다. 이것이 최근의 이온빔 기술의 발전에 기초가 되었다. 1970년대부터 반도체 이외에 대한 이온 주입 기술에 대한 연구가 시작되었다. 최근에는 이온원, 가속기, 진공기술, 주입기술 등의 복합기술인 이온조사나 이온주입기술이 급속히 진보하고 있으며, 또한 이온빔주입의 응용도 확대되고 있다. 다양한 이온빔 이용기술 가운데서도 반도체를 위시한 재료과학 분야가 가

장 활발한 활용분야이다. 최근 일본원자력연구소에서는 LSI나 우주용 태양전지등으로 사용되는 반도체 재료, 소자에 대하여 1개의 이온 충돌로 오작동이 일어나는 싱글이벤트 효과나 적산선량에 의한 성능열화 등의 평가기술, 내방사선성 재료의 개발, 이온빔에 의한 세라믹 재료의 비정질화 과정 등을 연구하고 있다. 또한 DNA에 이온빔을 조사할 때 일어나는 손상의 수복기구, 조사화분에 의한 교배연구, 양전자 방출 핵종을 이용한 식물중에서의 영양물질 저장연구 등에 활용되고 있다.

2. 농업적 이용

식품산업, 의료용품·제약 관련 공중보건 산업 분야의 방사선 이용기술은 안전성과 기술적 타당성이 국제적으로 인정되어 국내외적으로 연구개발이 활발히 진행되었고, 최근에는 실용화가 적극 추진되고 있다. 세계적으로 42개국이 230여종의 식품에 대하여 방사선 처리를 허용하였으며, 200여 기의 방사선조사시설에서 다양한 식품 및 수출상품들이 상업적 규모로 처리되기 시작하여 자국내 유통은 물론 국제교역에도 활용이 실현되고 있다. 더욱이 세계적으로 상업용 조사시설의 건설이 날로 증가함에 따라 수출입 상품에 대한 방사선 조사기술의 전략적 이용은 크게 확대될 전망이며, 이에 따라 국가간 교역에서 대외경쟁력을 확보하기 위해서는 방사선 조사기술의 핵심적 이용을 위한 기술개발과 실용화를 위한 인프라 구축이 시급히 요구되고 있다. 또한 최근에는 생명공학 분야에서 방사선 장해 및 생활환경 내 저선량 방사선의 생체손상에 대한 분자생물학적 분석 및 방사선



장해의 예방/경감 기능성 물질 개발연구가 국내외적으로 요구된다. 농생물자원 이용분야에서 국가 신품종으로 등록된 방사선 돌연변이 벼 품종 개발, 생물자원의 활용기술, 저선량 방사선의 생물자극효과 검증 등의 생명공학 관련 연구개발이 단계적으로 추진되면서 실용화 기반을 확보해 가고 있다.

각 세부분야의 국내외 연구 현황과 전망은 다음과 같다.

가. 방사선 이용 식량자원의 효율적 이용 및 공중보건산물의 위생화 기술 분야

1980년대부터는 국제기구와 관련학계 및 한국원자력연구소가 주관이 되어 감마선 응용분야 별로 발아억제에서부터 살균에 이르기까지 다양한 농·수·축산 식품에 대하여 종합적인 산업화 기반연구가 수행되었다. 최근에는 식품가공에의 새로운 응용, 신소재 개발, 전통가공식품에 대한 감마선조사 적용가능성 연구, 조사식품 안전성 평가, 방사선 검역처리 등에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 한편 국내의 방사선 조사시설은 1975년 설립된 한국원자력연구소의 연구용 조사시설(100 kCi)과 1987년 경기도 여주에 설치된 상업용 다목적 감마선 조사시설이 있으나, 다양한 연구개발과 산업적 기술수요를 감안한다면 새로운 조사시설의 추가 건설이 요구된다. 식량자원의 보존과 안전성 확보 및 교역식량의 검역처리에 가장 많이 사용되고 있는 보존제, 훈증제 등이 발암물질 생성과 오존층 파괴 물질 등으로 알려지면서 그 사용이 제한됨에 따라 방사선 조사기술은 환경친화적 특성을 지닌 대체방안으로 주목되고 있다. 관련 국제기구(WHO/FAO/IAEA 등)에서는

방사선 조사기술을 지금까지 인류가 사용하였던 어떠한 식품보존방법보다도 우수한 기술로 평가하고 있으며, 각 국으로 하여금 본 기술을 적극 활용토록 권장하고 있다. 21C 국제교역에서는 방사선 조사식품의 수출입이 당연시 되고 있으며, 국제식품규격위원회(Codex)에서는 국제교역에 필요한 방사선 조사기준을 채택하여 OECD 국가들에게 우선적인 시행을 권고하고 있다. 따라서 방사선은 식품 및 보건산업 분야의 핵심적 위생화 및 가공저장 기술로 개발되어 국내외 산업의 대외경쟁력 확보에 필수적인 역할을 하게 될 전망이며, 이에 따라 기술의 실용화를 뒷받침하기 위한 수용성의 확보와 체계적인 안전관리 검지기술의 확보가 요망된다.

나. 방사선 이용 생체방어 기능성 식품 및 물질 개발 분야

방사선 피폭사고 뿐만 아니라 자외선, 전자기파 등의 저선량 방사선에 의한 생체손상에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데 생체손상의 예방 또는 경감 대책 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 일본, 중국 및 유럽 등에서 생약천연물의 면역/조혈계 방호 효과에 관한 연구결과가 보고되고 있으며, 국내에서도 국제경쟁력이 있는 방사선 대응물질 개발연구가 한국원자력연구소를 중심으로 수행되고 있다.

다. 방사선 이용 농생물 자원의 생산성 제고기술 개발 분야

최근 국내 농업은 농업 여건의 급격한 변화로 어려움을 겪고 있는 상황이며, 대외적으로 WTO체제의 농산물 수입개방에 따라 국



제 경쟁력 저하와 또한 국내 식량 자급도도 급격히 낮아지고 있어 농업 생산성을 높일 수 있는 새로운 식물자원 개발이 절실히 필요한 실정이다. 돌연변이 육종은 유전자 조작기술의 영향으로 1980년부터 1990년대 초까지 소외되었으나 1990대년 중반부터 그 중요성이 재인식되기 시작하였고, 최근 점차 이 분야 연구가 활발하게 추진되고 있다. 특히 방사선을 이용한 돌연변이 육종법을 기존 품종에 활용하여 이미 수종의 우량품종을 개발하였으며 향후 지속적인 연구를 통하여 보다 우수한 품종을 확보하게 되면 국제 경쟁력 강화는 물론 농가 소득 증대에도 크게 기여하리라 생각된다.

라. 방사선 이용 생물활성 증진효과 분야

고선량의 방사선 조사는 생물체의 생리적 기능 감퇴, 방사선 증후군 및 사망을 가져오지만 저선량의 방사선 Hormesis 선량은 발육의 촉진, 질병 및 조사 후 방사선에 대한 저항력 상승, 생식능력의 증대 및 수명연장 등을 가져올 수 있다. 현재 미국, 캐나다, 독일, 프랑스, 일본 등의 선진국에서 동물, 식물 및 미생물에서의 저선량 방사선을 이용한 방사성 Hormesis 에 관한 연구가 수행중에 있으며 동구권에서도 농업생산성 향상을 위하여 대규모 시설의 실용화 연구가 수행되고 있다. 국내에서는 고선량 방사선의 생물영향에 관한 연구가 많이 수행되어 왔으나, 저선량 방사선에 의한 생물의 생리활성 촉진에 관한 연구는 거의 보고되어 있지 않은 실정이다. 저선량 방사선을 이용한 생물 활성촉진 기술개발은 동물분야에서는 가금류의 성장과 생식력 증대 및 수명연장, 식물분야에서는 종자의

발아율 향상 및 휴면조절 등이 가능할 것으로 보여 식량자원의 생산성 향상 및 의학적 발전 등에 기여할 것으로 기대된다.

마. 방사선 이용 미생물공학 기술 분야

미생물산업은 의학, 농업, 환경, 식품 등의 광범위한 분야에서 적용되고 있으며 그 활용도와 파급효과가 매우 크다. 방사선 이용 미생물제제의 개발은 폐자원의 효율적 이용과 농업의 생산성 향상에 기여할 것이다. 특히 식량 및 에너지자원이 부족한 우리 나라의 현실에서 생물폐자원을 재이용하는 것은 중요한 의미를 갖는다. 국내에서는 그 동안의 연구를 통하여 생물자원에 대한 방사선의 이용을 최적화시킬 수 있는 기반기술이 확립되었으며 방사선을 이용한 유용돌연변이체 제조기술의 확보로 각종 유용균주를 확보하였다. 또한 생물폐자원의 발효부산물내에 항돌연변이성, 항균성, 식물성장촉진성 등의 생활성물질의 존재가 확인되었기 때문에 앞으로 이들 물질의 추적, 분리, 정제 등의 연구가 진행된다면 고부가가치의 결과물이 양산될 수 있을 것이며, 다각도로의 생물자원 발효부산물의 이용가능성이 제시되고 산업화될 수 있을 것이다.

방사선을 이용한 산업적 유용균주의 개발로 생물폐자원 재이용에 응용이 가능하고, 환경오염 저감화 효과와 아울러 축산폐자원, 해양폐자원 등 여타의 생물자원 재활용에 관한 연구에의 활용이 기대된다. 또한 미생물농약 제제의 개발, 염류장해를 제거할 수 있는 미생물의 선발 및 응용, 담자균류(버섯)의 육종, 환경친화적 돌연변이체의 제조 등의 연구가 지속적으로 진행될 계획이다. **KRIA**