



방사선 이용의 새로운 전기를 마련하면서



국 일 현

한국원자력연구소
첨단방사성이용연구센터장

국내의 방사선 관련 연구, 산업, 사회 환경을 재조명하고 방사성동위원소 생산과 공급 체계를 구축하고자 한다.

1950년대 이후 원자력을 평화적으로 이용하려는 노력이 세계적으로 확산됨에 따라, 방사성 동위원소를 우리 삶에 이용하려는 기술과 산업도 크게 증가하였다. 1998년 기준으로 이 분야의 세계 시장규모는 99.5억 달러이고, 2010년도에는 550억 달러에 이를 전망이라고 한다.

현재까지 인류가 사용하고 있는 방사선은 병원이나 세관에서 사용하는 X-선을 비롯해서 α , β , γ 선이 대표적이다. X-선은 원자 내의 전자가 에너지 준위를 변동하면서 발생하는 특성 에너지파 또는 고속전자가 감속되면서 발생하는 에너지파이고, α -선은 높은 질량수의 방사성 동위원소가 자연 붕괴하여 나오는 헬륨 원자핵으로서 종이 한 장을 뚫지 못하는 약한 에너지 선이고, β -선은 자연계에서 가장 많이 일어나는 방사 붕괴에서 나오며 얇은 철판 한 장을 뚫지 못하는

전자선이며, γ -선은 원자 핵자의 에너지 준위 변동으로 발생하는 에너지 파로서 강도는 X-선보다 훨씬 크고 투과력은 방사선의 강도에 따라 콘크리트 1m 내외, 철판 수 10cm를 통과하는 수준이다.

일본 히로시마와 나가사키에 투하된 핵 폭탄과 체르노빌 원자력 발전소의 화재사고 이후에 방사선은 마치 악마의 산물처럼 알려져, 방사선을 올바르게 편리하게 사용하여 우리 삶에 도움을 주는 것까지 오해를 받게되어 참으로 안타까운 심정에서 이 글을 쓴다. 핵 폭탄과 원자력발전소의 화재사고는 엄청난 양의 핵분열 물질이 방출되어 인류에게 막대한 피해를 주었으나, 우리가 사용하는 방사성동위원소 물질은 핵폭탄이나 원전화재사고에서 나오는 핵분열 물질과는 전혀 다른 종류의 물질이고 취급하는 양과 강도도 미량이며 인간에게 유용한 만큼만 사용하는 것이다.

방사선을 잘 사용하면 인류사회에 크게 이바지하지만 지나치거나 잘못 사용하면 해를 주는

결과를 가져온다. 음식에 지나친 열을 가하면 타서 못 먹게되지만, 적당히 열을 가하면 훌륭한 요리가 되는 것과 같은 이치이다. 자동차를 지나치게 몰면 사고가 나지만 적당한 속도로 운행하면 사고의 위험도 줄어들고 편리하게 사용할 수 있다. 방사선도 마찬가지이다. 병원에서 X-선 검사를 할 때 과도한 방사선이 인체를 투과하지 않는다고 환자가 믿고, 또한 공항 출입자가 안심하고 X-선 검사기를 통과하는 것은 저선량 방사선이 인체에 영향을 주지 않는다고 믿기 때문이다.

그러나, 지난번 국내 모 병원에서는 치료가 가능한 초기 암 환자에게 γ 선을 과도하게 쬐여 병을 더 악화시켜 심각한 부작용을 초래한 바가 있었는데, 이것은 좋은 약을 환자에게 과다하게 투여하여 독약으로 만든 것과 비유할 수 있고, 이는 기준을 초과했고 무시한 결과이었다. 그리고, 울산에서 비파괴검사가자 사용 중이던 장비에 이상이 생겨 이를 수리하던 중에 Ir-192 산업용 선원 위치를 확인하지 않고 톱질하여 주변을 오염시킨 사건이 발생했는데, 이것은 γ -카메라의 구조도 모르는 사용면허 소지자가 취급 면허 없이 법규를 무시하고 가공까지 하여 사고를 범한 결과이다.

전기나 석유나 전파도 잘못 다루면 사고로 직결될 수도 있지만 올바르게 사용하면 우리 생활에 없어서는 안 되는 존재로 알고 있듯이, 방사선도 과도하거나 잘못 다루면 사고로 바뀌지만 바르게 사용하면 우리 생활에 없어서는 안 되는 존재이다. 방사선은 의료, 농업, 공업, 환경, 식품산업, 광업, 추적자 등 다양한 분야에 활용되고 있으며, 이를 이용하여 국민 삶의 질을 향상시키고 높은 부가가치 산업을 일으켜 국가 경제 발전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

1. 통계로 본 국내 방사선 이용분야의 현황

2001년 1월 현재 국내 방사선 이용 기관은 1,710 개소이고, 방사선 작업종사자는 22,000 여명에 달하며 이용률도 매년 10%씩 증가하고 있다. 그러나, '99년 기준으로 원자력 산업체 매출액은 2조 1천693억원이었고 그중 원자력발전 관련 에너지 이용 분야의 매출은 83.9%(1조8천192억원)를 차지한 반면, 방사성동위원소 이용 분야의 매출은 7.6%(1천657억원)에 그쳐 있다. 일본의 경우를 보면 원자력 산업은 '98년에 174조원의 총매출을 기록하였으며 발전/비발전 간 비율은 46/54 이었고, 미국의 경우를 보면 '95년에 503조원의 총매출을 기록한 가운데 발전/비발전 간의 비율은 20/80의 비를 보이고 있다. (본 협회 회보 제 15권) 이 통계로부터 우리나라는 선진국에 비해 원자력 기술을 이용하는데 있어서 발전/비발전 산업간에 심한 불균형을 이루고 있다는 것을 쉽게 발견할 수 있다.

다행스럽게, '99년의 통계를 기준으로 방사성 동위원소 이용의 경제적 효과를 분석한 결과를 보면, 방사성 동위원소 관련산업이 28개 분야로 부가가치창출 효과가 11조 4천여억 원이고 생산 유발 효과가 28조 8천여억 원으로 국내총생산액(GDP)의 2.4%와 6.0%를 차지하여 국내에서 방사성 동위원소 이용이 고부가가치 산업으로 자리잡아 가고 있는 것으로 밝혀졌다.

'99년도 방사성 동위원소 이용과 관련한 추정 지출 총액은 1,416억 원으로 조사되었으며, 방사성 동위원소 생산, 수입 총액은 414억 원(방사능 기준 294,191Ci)이었다. 생산, 수입의 내역을 보면, 방사성 동위원소 선원이 212억 원, 방사성동위원소를 내장한 기기가 67억 원, 방사

선 발생장치가 134억 원 등이다. 방사성 동위원소 관련산업이 계속 증가함에 따라 동위원소 선원을 국외로부터 수입하는 규모와 해외 의존도는 점점 심화되고 있는 반면, 국내 생산량은 449Ci로 7.5억 원의 수준에 머무르고 있다.

공업적 이용 현황에 관한, '99년 통계에 의하면 1,865개의 사업소에서 3,500여 개 방사성 동위원소를 이용해서 에너지 준위, 두께, 밀도, 무게를 측정하고, 화학적 성분을 분석하였으며, 비파괴검사에도 사용한 것으로 알려졌다. 그리고, 1,000 개 이상의 방사선발생장치가 공업적으로 이용되고 있고, 그 중에서 가동되고 있는 26 대의 전자선가속기가 국외에서 도입된 것이며 계측기와 응용장비도 거의 대부분을 수입에 의존하고 있어 국내 자립이 시급한 실정이다.

방사선을 이용한 의료 실태를 보면, 방사성동위원소를 사용하는 의료 기관수는 127 개이며, 이들은 핵의학 영상검사, 검체검사 및 방사선 치료에 방사선을 이용하고 있다. '99년의 실적 통계에 의하면 약 35만여 건의 체내검사, 770만여 건의 체외검사, 5,000여 건의 방사선 치료를 시행한 것으로 보고하고 있다. 국내에서 사용되는 핵의학 장비는 각종 영상검사에 사용되는 양전자 단층촬영기 4 대, 감마카메라 196 대가 가동되고 있는 것으로 집계되었다.

이와 같은 통계로부터 방사선 및 방사성동위원소가 제조업, 의료·보건, 농업, 공업, 환경 등의 분야에서 중요한 요소로 자리잡아 가고 있고 우리나라 경제 성장에 커다란 기여를 하며 성장하고 있음을 알 수 있다. 현재까지는 미국이나 일본에 비하여 이 분야 산업이 크게 뒤떨어져 있으나, 최근의 발전 추세를 바탕으로 획기적인 전환 계기가 마련된다면 우리의 방사선 이용 산업도 전망이 밝다고 본다.

이러한 전환 계기는 두 가지 요소에 의해 마련된다고 분석된다. 그중 하나는 국민적인 이해와 신뢰이고, 또 하나는 관련 기술과 생산 기반이다. 앞서서도 언급하였지만, 방사선 이용산업은 국민들의 원자력 및 방사선에 대한 이해와 신뢰가 없이는 성장할 수 없다. 의사에 대한 신뢰를 바탕으로 환자는 X-선 촬영을 허락하고 있고, X-선 검색기의 표준에 대한 신뢰를 바탕으로 공항 여객은 검색을 받고 있다. 선진국의 방사선 이용 산업이 우리나라의 방사선 이용 산업보다 훨씬 규모가 큰 것은 국민들의 이해와 신뢰가 뒷받침했기 때문이라고 판단된다. 방사선 이용에 대한 우리 국민의 호응도가 낮은 것은 그동안 원자력 계에 종사하는 전문인이나 정부의 폐쇄성에서도 기인하였고, 언론이나 교육이 무관심하고 맹목적으로 타부시한 것도 요인으로 지적할 수 있다. 이제는 서로 알리고 또 알고 싶어 하고 노력해서 이 산업을 우리의 자산으로 키워야 할 것으로 본다.

본 산업이 발전하는 계기를 마련하는 또 하나 필수 요소는 방사선 이용 기술과 각종 방사성 동위원소 생산 기술 및 기반이 얼마나 갖추어져 있는가 하는 것이다. 다음은 이들 기술과 동위원소 생산 기반에 대한 국내 현주소 및 향후 전망을 기술하고자 한다.

II. 방사성동위원소 및 방사선 이용 현황

1. 방사성동위원소의 의료 이용

핵의학 영상을 사용하여 진단하는 국내 기술은 선진국 수준에 근접해 있으며 양전자 단층촬영기와 감마 스캐너를 주로 사용하고 있다. 한국 원자력연구소에서는 이들 기기에서 사용하는

핵종인 ^{99m}Tc 표지화합물을 MDP외 10여 종의 키트 형태로 일상적으로 생산·공급하고 있고, 원자력병원에서는 ^{123}I , ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{111}In 등 사이클로트론 핵종을 생산하고 있다. 원자력병원과 베이비 사이클로트론을 소유한 일부 병원에서는 PET용 ^{18}F , ^{11}C 표지화합물을 생산하고 있다. 최근에 몇몇 병원에서는 PET를 설치하고 치매, 뇌종양, 뇌혈관, 협심증 등을 진단하고 있으며, 이들 PET는 암전이 부위와 암치료 후 재발 판정에 사용되고 있고 검사 건수는 1999년 기준으로 연간 3,100여 건을 넘었다.

방사선을 이용하여 환자를 치료하는 데는 60여대의 선형가속장치, 10여대의 원격 ^{60}Co 치료기, 30여대의 ^{192}Ir , ^{60}Co , ^{137}Cs 근접 치료기가 이용되고 있으며 연간 2만여 명을 치료하고 있다.

또한, 방사면역 측정법으로 연간 700만 건 이상의 검체를 처리하고 있으며, 간염 검사, 내분비계 호르몬 측정, 종양 표지자와 갑상선 호르몬 측정이 주요 항목이다. 측정에는 감마선 검출기, 베타선검출기, 자동 방사면역 측정기가 주로 사용되고 있다.

2. 방사성 의약품

체내 치료용 방사성 의약품은 ^{131}I 과 그 표지화합물인 MIBG가 갑상선과 암치료에 널리 사용되고 있으며, 한국원자력연구소에서는 세계 최초로 ^{166}Ho 핵종을 바탕으로 한 ^{166}Ho -Chitosan을 개발하여 간암, 뇌암, 류마티스 관절염 치료에 적용하여 임상 실험을 마쳤다. 이 기술은 국내 제약회사에 이전되어 신약으로 신청하였고 금년 상반기에 등록이 완료되면, 시판과 함께 수출과 국제적 기술이전도 계획중이며 사용 및 판매 협력 기반을 구축한 상태이다. 그러나 아직

상용화까지는 인허가를 비롯하여 부수적인 문제를 남기고 있다. ^{166}Ho 펌프, 스텐트, 밸룬도 개발하여 피부암, 식도암, 관상동맥 치료에 적용하는 연구 임상실험을 하였고 서울대 병원에서는 ^{188}Re 리피오돌과 DTPA도 개발하였다. 또한, 진단제로 ^{99m}Tc 뇌수용체와 종양 진단용 표지화합물, 기타 핵종(^{32}P , ^{33}P , ^{14}C)을 이용한 표지화합물을 개발하고 있다.

원자력 병원에서는 대전류 사이클로트론을 이용하여 ^{123}I , ^{18}F , ^{62}Cu , ^{186}Re , ^{211}At 등의 제법을 개발하고 생산된 핵종은 암, 장 질환, 뇌질환 진단용 및 치료용 방사성의약품으로 사용될 것이다. 양전자 방출 방사성의약품인 ^{18}F FDG 및 ^{11}C -methionine을 개발하여 임상에 널리 사용중이고, 향후에는 도파민 및 세로토닌 운반체를 영상화하는 기술을 개발하여 뇌 질환 치료에 사용할 예정이다.

아울러, 한국원자력연구소의 30MW급 연구용 원자로 하나로서는 보론 중성자 포획치료 장치를 설치하였으며 거의 완료 단계에 와 있어서, 이는 뇌종양 치료에 크게 이용될 것으로 판단된다. 보론 중성자 포획 치료를 이용한 뇌종양 치료를 위해 중성자빔 시설 설치와 더불어, 종양 친화성 붕소화합물 제조 기술에 대한 연구와 임상시험 준비도 병행하고 있다.

3. 방사선을 이용한 생체 재료의 개발

상처 치료용 드레싱은 일반적으로 수화겔(hydrogel)을 사용하여 만든다. 드레싱은 일시적으로 피부재생을 목적으로 사용하는데, 치료 중에 90% 이상의 수분을 지속적으로 함유하도록 3차원 망상구조를 가진 고분자 재료로 되어 있다. 제조법에는 화학적인 방법과 방사선 이용

법 두 가지가 있다. 방사선 이용법은 가교와 동시에 멸균을 결합할 수 있고, 조성을 변화시키지 않고 물리적 특성을 자유롭게 조절할 수 있는 장점을 갖는다. 국내에서는 합성고분자인 PVP, Polyethylene oxide, PVA 등과 천연 고분자 젤라틴, alginate와 최근에 각광 받고있는 키토산(chitosan) 등을 혼합한 상처 치료용 드레싱을 개발하였고, 향후 인공혈관, 연골세포 등 생체 재료도 개발할 예정이다.

국내 의료용구 산업에서 생산되고 있는 소모성 진료용구들 대부분이 폴리프로필렌으로 만들어져 있다. 그러나 폴리프로필렌은 방사선을 쬐이면 물성이 변하여 방사선 멸균기술을 적용할 수 없었다. 최근에 국내에서 방사선에 견딜 수 있는 플라스틱을 개발하였고, 현재는 대량 생

산체제를 갖추고 수출도 계획하고 있다.

그리고, 일회용 주사기를 비롯한 각종 소모성 진료기구를 방사선으로 멸균하는 기술은 다른 나라에서는 일찍부터 사용하고 있다. 인공 고관절의 비구컵, Grafting용 뼈를 off-carrier 방사선으로 쬐어 물성을 개량하여 평생동안 사용할 수 있게 하고 있다.

라텍스에 방사선을 쬐어 수술용 장갑과 콘돔 등 고무 제품을 제조하면, 황을 사용하지 않기 때문에 소각 처리 시에 SO₂를 배출하지 않고, 매립하였을 때 분해속도가 빨라서 환경 친화적인 제품이 된다. 또한, 수술 장갑 속에 함유되어 있는 단백질이 피부에 심한 알레르기 반응을 일으켜 장시간 수술에 어려움이 있으나, 방사선 처리 제품은 이러한 문제를 제거해 준다.

방사선 이용 위생제품

화장품 : 안면화장품, 눈섭, 마스크라, 우유젓꼭지,
Baby powder, 포장기구의 소독

실험도구 : 생체실험, 접시, 피펫, flask

의약품 : 눈연고, 화상연고, tetracycline cortizon,
비타민, 수액

의료기구 : 주사기, 바늘, 장갑, 까운, drape스폰지,
수술튜브, catheter, suture, electrode,
dialyser, 윤활젤리, non-woven set

기타 : wine 병마개, 식품 포장재, 고문서,
골동품, 냅킨, 지혈 tampon

4. 방사선 식품공학적 이용

'80년대 초반부터 원자력연구소를 중심으로 식품 멸균 처리에 대한 기초, 기반 연구를 수행하였고, 현재 국내에서는 ^{60}Co 상업용 조사시설 1기를 가동하여 연간 13,000 톤을 처리하고 있고 1기를 건설 중에 있다. 보건복지부로부터 13개 식품 품목 군 30여 종 식품에 대한 방사선 조사 허가를 취득하였으며 1999년도 방사선 조사된 식품류 수출금액은 총 1억 3천만 달러에 이르렀다. '80년대 후반부터 국내에서는 식품의 위생처리 요구 품목이 다양해졌고, 국가에서는 우수제조관리기준(GMP)을 도입하였다. 이에 따라, 품질규격을 맞추기 위하여 생산 업체는 중점 요소(HACCP) 관리 시스템을 적용할 수밖에 없었으며, 기존의 멸균방법인 화학 멸균이나 가열 멸균으로는 이들 식품을 처리하기가 어려워졌고, 그 결과 방사선으로 처리하는 것이 유일한 방법으로 대두되었다. 이들 방사선 처리는 수출업체가 주를 이루고 있으며, 현재 연간 방사선 처리량은 약 3,600여 톤 정도에 이르고 있다.

국제적 추세로 볼 때, 방사선을 이용한 식품산업은 여러 면에서 잠재력과 전망이 크다. 농·수·축산물을 방사선으로 처리하여 저장과 가공을 하고, 식품 포장 용기를 멸균하는 등 다양한 산업 용도가 개발되어 산업화되고 있으나, 우리나라의 경우는 산업화가 다소 뒤늦은 감이 있다. 동시에, 선진국의 예를 보면 소비자들은 점차 선진화, 과학화되어 갈 것이며, 이에 발맞추어 식품을 방사선으로 가공, 저장, 위생 처리하는 기술 산업을 서둘러 준비, 성장시켜야 한다고 본다. 식품의 방사선 처리에는 일반적으로 대단위 ^{60}Co 조사시설과 전자선 가속기를 사용하는 데 이들은 대형 시설로서 초기 투자가 큰 반면,

시장성과 수익성은 높은 사업으로서, 정부의 지원이나 기업의 관심이 요구된다.

현재, 국제 무역환경은 개방 시장형으로서 국내의 식량안보와 가격안정은 시급한 과제가 아닐 수 없다. 방사선을 이용하여 에너지 절약형으로 식량을 가공·저장하고, 새로운 식품을 개발하며, 위생 제품을 생산하는 것은 필수적 과제이다. 아울러, 시장 개방으로부터 식품이 예외가 될 수 없고, 과다 방사선을 조사한 식품이 외국으로부터 수입될 가능성은 항상 존재한다고 봐야 한다. 이에 대한 대응으로, 방사선 검역, 검지 데이터 베이스를 구축하고, 방사선 조사 식품에 대한 안전성 평가와 정확한 기준을 마련해야 한다. 또한, 방사선 조사 검역 기술 지침과 표준을 정립하고, 검역 체계를 갖추고 시행해야 한다.

앞에서 지적한 바와 같이, 방사선 조사식품에 대한 우리 국민의 이해는 후진성을 면치 못하고 있는 것이 사실이다. 과다한 방사선 조사는 과열로 식품을 태우는 것과 같지만, 방사선을 올바르게 사용하면 위생적이고 가격도 싸고 식량안보도 이룰 수 있는 없어서는 안 될 필수적인 삶의 도구가 된다. 방사선 안전성 연구 수행결과를 일반 소비자에게 공개하여 방사선조사 식품에 대한 이해를 바르게 유도하고, 소비자의 수용성과 의식을 향상시켜야 할 것으로 본다.

5. 방사선 농·생물학적 이용

방사선 조사를 통한 육종은 식량안보나 국민 삶에 도움을 주는 중요한 기술이다. 그간 우리나라는 원자력연구소를 중심으로 벼, 보리, 콩, 참깨, 무궁화 등 약 12 품종을 개발 보급하였고, 1,000여 종의 유전 자원을 새롭게 확보하였다.

최근에는 벼의 돌연변이를 육종하여 태풍에 잘 견디고 병충해에 강하고 수확량을 높일 수 있는 원평벼, 원광벼, 원미벼, 흑선찰벼 등을 개발하여, 신품종으로 등록하였다. 그 결과가 방송, 신문 등의 언론매체에 보도되어 지금도 농민들이 씨앗을 얻고자 계속 연락이 오고 있으며, 농민들의 관심이 매우 높다.

^{32}P , ^{45}Ca , ^{14}C , ^3H 등 유용성분이 작물에서 이동하는 특성을 연구하여, 병이 발생하는 원인을 규명하고, 영양소나 비료 성분이 이동하고 축적되는 경로를 조사하는 등 작물의 생리대사에 미치는 요소의 연구도 활발하게 이루어지고 있다. 낮은 선량의 방사선을 쬐여서 미생물의 돌연변이 체를 분석하고 그 결과 조기 수확용 느타리버섯 품종도 개발하였다. 벼, 배추 등의 유전자를 선발하고 유전자 지도를 작성하는데 방사성동위원소를 표지한 핵산이 사용되기도 한다. 특히, 축산업에 사용되는 건초의 위생은 최근에 발생하는 O-157, 광우병, 구제역 등 각종 병원성 세균이나 바이러스는 식량자원을 위협하는 요소가 될 수 있다. 건초의 위생 처리와 멸균처리에 대한 방사선 이용 또한 검토 중이다.

그리고, 동식물이 방사선에 대응하는 현상과 미량의 방사선을 쬐었을 때 각종 식물에게 가져오는 효과를 분석하고, 방사선 지표 식물도 개발하였다. 뿐만 아니라, 천연물질 중에서 방사선 방어효과가 있는 생물질을 다수 추출하였고 그 기작에 대한 연구도 진행되고 있다. 방사선을 이용하여 미생물에 대한 돌연변이 체를 연구하여 농약으로 사용이 가능한 미생물을 개발하고 있고 공해 제어용 제제의 개발도 가능할 것으로 본다. 이들 결과는 방사선방어제, 극한효소, 환경오염원 제어용으로 실용화될 예정이다.

6. 환경공학기술 이용

오폐수에 감마선을 쬐이면, 수소, 산소, 수화물 등 극히 순간적인 이온화 래디칼이 발생하고 이들 래디칼은 오염물질을 분해 제거하는 기능을 가진 것을 확인하였다. 현재는, 염색 폐수 및 페놀 폐수를 처리하는 시범시설 규모의 시험을 수행 중이고 공업용수 수준의 처리 결과가 얻어졌으며, 이를 바탕으로 하천과 오염수의 정화가 가능할 것으로 본다.

우리가 마시는 물은 칼슘, 나트륨 등이 이온 형태로 다량 용해되어 있는데, 우리 몸에 해로운 납 등 중금속 이온을 선택적으로 제거할 필요가 있다. 기존에 정수장에서 사용하고 있는 중공사막은 물리적인 여과능은 우수하지만 용존 금속 이온은 제거할 수 없다. 방사선 그래프트 중합 방법을 사용하면 중공사막에 이온교환 기능을 부여할 수 있고, 이렇게 처리된 중공사막을 이용하면 중금속과 콜로이드, 세균까지 제거할 수 있기 때문에 음용수의 정수 처리에도 적용할 수 있을 것으로 본다.

7. 방사선의 공업적 이용

일반 산업에 방사선을 이용하는 사업은 이미 선진국에서는 보편화되어 있는 실정이다. 분야별로 비파괴검사, 공정 감시 및 시스템 모델링, 추적자의 이용, 신소재 개발 등으로 구분할 수 있다.

파이프나 용접 부위의 균열과 부식 및 침식에 의한 결함을 휴대용 γ카메라로 검출해 내는 비파괴검사법은 일반적으로 잘 알려진 기술이고, 우리나라에서는 30여 개 업체가 활동하고 있다. 파이프, 교량, 낡은 산업 시설 등을 점검하는 가

장 정확하고 강력한 수단으로 사용하고 있고, ^{192}Ir 가 가장 많이 사용되고 재질이 두꺼울 경우 ^{60}Co 이 사용된다. 최근에는 작업자에게 주는 피폭을 감소시키고 선명한 영상을 얻기 위하여 ^{75}Se 선원을 사용하기도 한다. ^{169}Yb , ^{170}Tm 등 저에너지 감마선을 사용한 박판 비파괴검사 기술도 각광을 받고 있다.

계측 장비에 대한 기술 개발에 힘입어 섬광검출기, 센서, 액면/밀도 측정기, 두께측정기, 휴대용 방사선계측기, 공업용 CT 시스템, 열량계법에 의한 방사능 측정 등이 향후 실용화될 것으로 판단된다.

^{60}Co 감마선을 이용하여 목재-플라스틱 복합체, 콘크리트-폴리머 복합체, 섬유류 등의 방사선 가공품을 생산하였고, 현재는 LG전선(주), 한국타이어(주) 등에서는 전자선가속기를 이용하여 전선 피복을 가교하고, 열수축성 튜브와 타이어용 고무를 가교하며, 발포 폴리올레핀 폼을 생산하고 있다.

미량의 방사선 추적자를 섞어서 유체의 흐름과 확산을 분석하는 기술은 방사선 이용의 고전적 기술로서 최근에 대형 시설의 건전성과 환경 오염 추적에 널리 사용되고 있다. 누수탐사, 항만에서의 해사이드 탐사, 요소 반응탑에서의 원료 혼합도 측정 등과 같은 많은 사례를 남겼다. 최근에 ^{46}Sc , ^{79}Kr 및 ^{140}La 추적자를 이용하여, 정유공장의 공정 성능을 평가하고, 염색공단의 염료 체류시간 분포를 측정하고, 소화조의 체류시간 분포를 측정하고, 자동차 엔진 마모 및 성능 측정을 하는 등 산업현장에서의 문제점을 파악하고 해결책을 제시할 수 있는 새로운 접근으로 활성화가 기대된다. 앞으로는 대형 플랜트산업 공정 최적화, 고장 원인 진단, 기계 마모율 또는 부식 측정 등의

공업 기술과 오폐수 확산 측정, 환경시설 검사, 수자원 관리, 환경영향 평가 모델 검증 등에 요긴하게 쓰일 것으로 보고 있다.

III. 방사성동위원소의 생산체계

1962년이래 원자력연구소는 소형 연구용 원자로인 TRIGA Mark-II와 TRIGA Mark-III를 가동 운영하면서 소량의 의료용, 연구용 및 산업용 동위원소를 생산 공급해 왔다. 초기에는 비교적 생산이 용이한 몇 가지 동위원소를 무상 분배하였으나, 1968년 의료용 동위원소들에 대한 방사성의약품 제조허가를 취득하면서 유상 분배를 시작하였다. 이후로 의료용으로는 I-131, Tc-99m, Au-198, Cr-51를, 연구용으로는 P-32, Ca-45, Rb-86, S-35를, 추적자용 및 산업용으로는 Na-24, Br-82, Ir-192 등을 생산하여 국내 의료, 학술연구 및 산업분야에 공급하였다.

1995년 30MW 연구용 원자로 “하나로”를 가동하기 시작하여, 국내의 방사성동위원소를 증산 공급하는 전기를 마련하였다. “하나로”를 이용하여 국내에서 필요한 방사성동위원소를 생산할 수 있도록 Lead hot cell 17 기, concrete hot cell 4 기, Co-60 선원 저장수조 및 GMP(Good Manufacturing Practice)기준에 따른 방사성의약품 제조시설 등의 방사성동위원소 생산시설(Radioisotope Production Facility, RIPP)을 갖추었다. 이러한 시설을 이용하여 표적의 중성자조사 기술, 고 방사능 동위원소 취급기술, 방사선원 조립 기술, 화학분리 및 품질관리 기술을 개발하고, I-131, Tc-99m, Mo-99, Ir-192 등 방사성동위원소를 일상 생산하여 국내 의료계 및 산업계에 공급을 하고 있다.

이미 국내 다수요 핵종(^{99m}Tc 발생기, ^{192}Ir , ^{60}Co , ^{166}Ho)에 대한 국산화를 추진 중이고, 개발된 다수요 RI 품목은 국내 사용자의 요구에 따라 생산 공급하고 있으며, 의료, 산업, 추적자로 이용되는 ^{131}I , ^{99m}Tc , ^{166}Ho , ^{192}Ir , ^{60}Co , ^{79}Kr 등을 생산하고 있다. ^{131}I , ^{166}Ho 표지화합물과 10여 종 이상의 ^{99m}Tc 키트도 생산하고 있으며 지난해에는 이들 핵종 약 ^{490}Ci 를 사용자에게 공급하였다.

^{99m}Tc 발생기 제조시설 설치와 식품조사용 ^{60}Co 선원 생산에 대한 타당성조사가 완료되었고 민간 회사들과 협력하여 상용화를 추진 중이다. 밀봉선원을 용접하는 기술도 개발하여 산업 및 의료용 ^{192}Ir 선원생산에 활용되고 있다. 핵분열 ^{99}Mo 생산공정과 ^{125}I , ^{33}P , ^{89}Sr , ^{188}Re 같은 비 밀봉 선원의 생산공정과 ^{169}Yb , ^{75}Se 등 밀봉선원 제작 기술을 개발 중이다.

Tablets, Capsules, Liquids, Powders, Granules, Creams, Ointments, Oral antibiotics 등을 생산할 수 있는 GMP시설을 보유하고 있으며 의료용 핵종 생산에서는 핵분열 ^{99}Mo 등의 상용생산을 위한 시설과 RI 전용원자로를 건설하고 치료용 신규 핵종(^{125}I , ^{89}Sr , ^{153}Sm 등) 및 고급 치료용 밀봉선원(^{60}Co , ^{169}Yb , ^{192}Ir 등)을 개발 생산할 예정이다.

병원에서는 가속기를 이용하여 RI를 생산할 수 있는 중형 MC-50 의료용 싸이클로트론 및 베이비 싸이클로트론 등 가속 장비와 부대 동위원소 생산시설들을 운영하고 있으며 ^{123}I , ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{111}In 등과 PET용 ^{18}F , ^{11}C 표지화합물을 생산하고 있다.

IV. 향후 계획

원자로를 이용한 방사성동위원소 생산계획은

새로운 방사성의약품 개발, 산업용 및 의료용 방사선원 개발, 선택된 방사성동위원소와 방사성의약품의 일상 생산에 초점을 맞추었고 선택된 품목은 ^{166}Ho 을 사용한 방사성의약품, 핵분열 $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ 발생기, ^{131}I 제품, 산업용 ^{192}Ir 과 ^{60}Co 선원이다. 방사성동위원소 상용 공급을 위한 양산체제 구축을 위해 핵분열에 의해 생산되는 ^{99}Mo , 발전로에서 생산되는 ^{60}Co 조사선원, ^{192}Ir 선원의 상용 공급을 위한 대량생산을 제조업체와 협력하여 추진할 것이다. ^{166}Ho 방사성의약품에 대한 개발은 개발 후 상용화를 위해 연구소, 병원, 제조업체와 공동으로 수행할 것이며 아울러 ^{166}Ho 방사성의약품의 보급을 확장하기 위해 외국의 연구소나 회사와 협력도 추진할 것이다. 원자력연구소는 방사성동위원소를 안정적으로 공급하고 일부는 국제시장에 수출하기 위하여 방사성동위원소 생산 전용원자로 건설을 위한 장기 계획을 수립하였다. 세계적으로 특히 아시아 태평양 지역에서 의학 및 산업용 방사성동위원소의 수요가 증가할 것을 대비하여, 새로운 치료제를 개발하고 최고 품질의 방사성의약품과 핵분열 ^{99}Mo 을 원료로 ^{99m}Tc 발생기를 생산·공급하도록 최선을 다할 것이다.

표지 방사성의약품으로 신경 진단용 영상제 개발이 요구되고 있으므로 신경 전달물질 수용체에 대한 영상제를 개발하고 뇌질환 진단제 개발에 주력하고 있다. ^{89}Sr , ^{125}I , ^{33}P 및 ^{153}Sm 과 비파괴검사용 ^{75}Se , ^{169}Yb 및 ^{170}Tm 핵종, ^{152}Eu 및 ^{125}Sb 를 사용한 표준선원 등도 개발할 예정이다.

2000년 원자력병원에 신축된 “진료교육 연구센터”에 RI 생산 전용의 대전류 30MeV급 음이온 가속기를 도입할 것이 확정되었다. 이 대전류 싸이클로트론을 이용하여 ^{123}I , ^{18}F , ^{62}Cu , ^{186}Re , ^{211}At 등의 제법을 개발하고 생산된 핵종은 암,

장 질환, 뇌질환 진단용 및 치료용 방사성의약품의 개발에 사용될 것으로 본다. 양전자방출 방사성의약품인 ^{18}F FDG 및 ^{11}C -methionine을 이용하여 암을 진단하고 도파민 및 세로토닌 운반체 영상을 이용하여 뇌 질환을 연구할 것이다. 이 가속기가 정상 가동되면 그 동안 수입에 의존해왔던 싸이클로트론 핵종을 자급자족할 수 있을 것이고 일본 등에 수출도 가능할 것이다. PET용 핵종 생산이 가능한 10MeV 이상 의료용 싸이클로트론 가속기도 자체적으로 설계·제작하여 국내에 보급할 수 있을 것으로 본다.

고비방사능 및 고순도 방사성동위원소를 생산하기 위하여 농축 표적이 주로 사용되고 있는데 국내에서도 안정 농축 표적 생산기술에 대한 연구를 수행해야 할 것이며 Sm-152, Tl-203, Yb-168 농축 표적이 주 대상 핵종이다. 이 안정 원소들은 mg당 수십 불에서 수백 불로 매우 고가이며 싸이클로트론이나 원자로의 표적 핵종으로 이용되는 농축 표적을 국내에서 생산하면 동위원소 생산 단가를 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

V. 결론

다른 나라에서는 비발전 분야의 원자력 기술이 발전 분야보다 산업 규모나 기술 투자가 훨씬 큰 반면, 우리나라에서는 비발전 분야가 상대적으로 크게 낙후되어 있다. 현재의 수치로만 비교해도, 이 분야 산업은 부가가치창출, 생산유발, 고용유발 효과 면에서 본문에서 제시한 통계처럼 매우 큰 것으로 나타났다. 그리고, 산업, 의

료, 환경, 식량 등 인류 삶에 없어서는 안 되는 필수적인 가치를 지니고 있다.

최근 정부는 국가 장기정책을 수립하고 2010년까지 이 분야의 산업과 기술이 원자력 산업 전체의 30% 이상이 되도록 성장시켜 나가고 있다. 동위원소 이용 기기 및 장비, 방사선 센서 재료, 방사선 계측기 등 국내 다수요 품목을 국산 제작하고 성능검증을 하도록 체계를 갖추며, 동위원소 생산전용 원자로와 가속기를 이용하여 생산·공급이 확대되도록, 제도와 절차를 개선하고, 전문인력의 저변을 확대해 가고, 동위원소 유통 구조를 정비하는 등 필요한 인프라를 체계적으로 구축해야 할 것이다.

우리 국민의 방사선에 대한 이해는 선진국과는 달리 매우 편향되어 있고 폐쇄적이며 마치 핵폭탄 피해와 원자력발전소 화재와 동일시하고 있어, 관련 산업이 매우 뒤떨어져 있다. 관련 과학 기술이 중등 교육 교과과정에서 빠져있는 것도 문제이지만, 언론 매체마저도 인식이 방사선을 방사성물질에 의한 오염이라는 등식과 함께 공해 유발 요소 정도로 취급하고 있는 현실이 안타까울 뿐이다. 방사선은 전자파와 같은 에너지 파로서 공기 중에 부유하여 입자를 남기거나 인체를 통과해서 피해 물질을 남기는 것이 아니다. 적당량을 사용하면 의료, 환경, 산업, 첨단과학 등의 다양한 분야에서 우리 삶을 윤택하고 깨끗하게 하는 도구이다. 국민들이 방사선에 친근감을 갖게되고 각 분야에 실용적으로 활용할 수 있도록 제도적인 조치와 홍보 노력을 꾸준히 해야 할 것이다. **KRIA**