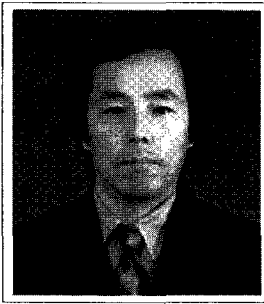


방사선 및 방사성동위원소 이용기술의 이해

양 맹 호

한국원자력연구소 기술정책연구실 실장



방사선 및 방사성 동위원소의 이용은 각종 정밀 측정 용도와 같이 제조 라인의 주요 공정으로, 또는 암치료와 같이 자체가 완제품으로 다른 기술로 대체하기 어려운 중요한 역할을 수행하고 있다.

이 부분의 기술은 기술 외적 측면에서도 풍부한 기술 개발 잠재력과 고부가 가치성으로 인해 국내외에 상당한 시장성을 갖고 있고, 더욱이 단반감기 핵종의 활용 등은 국민의 건강과 복지에 직접적이고도 커다란 기여를

할 수 있을 것으로 평가되고 있다.

원자력 에너지 이용 및 응용 분야에서 방사선 및 방사성 동위원소의 이용은 원자력 발전과 더불어 원자력 이용의 양대 근간을 이루어, 유용성과 파급 효과 측면의 높은 잠재력에도 불구하고 그간 기술 개발과 이용의 노력이 부족하였던 것이 사실은 부정하기 어렵다.

따라서 본고에서는 생활 주변의 방사선 환경 실태와 방사선 및 방사성 동위원소 이용 기술의 성장 배경, 기술의 응용 현황, 그리고 우리나라의 이용 실태의 소개를 통해 방사선 및 방사성 동위원소 이용 기술의 중요성에 대한 이해를 구하고자 한다.

생활 속의 방사선환경

인류는 우리가 원하던 원하지 않든 자연 방사선과 인공 방사선이라는 방사선 환경 속에 살고 있는 것이다.

이와 같은 주변의 방사선 환경은

우리가 인식하는 수준을 넘어 우리 생활에 많은 영향을 미치고 있다.

그럼에도 불구하고 우리는 방사선이나 방사성 동위원소에 대하여 다소 민감한 반응을 보이곤 한다.

아마 이는 선진국의 핵실험이나 원자력발전소와 같은 대규모의 인공적 원자력 시설 이용과 이에 따른 방사능 영향 문제가 동시에 연상되기 때문일 것이다.

그러나 우리 주변의 환경에 방출되는 방사선량은 다소 역설적이기는 하나 인공 원자력 시설보다는 오히려 자연 방사선량이 압도적으로 많다.

이는 인공 원자력 시설의 경우는 대중에 대한 방사선 영향을 고려하여 설계·운영되고 있는데 비해, 자연 방사선의 경우는 아무런 의식 없이 그대로 노출되어 왔기 때문인 것이다.

이러한 자연 방사선은 크게 우주로부터 계속적으로 노출되는 선원과 10억년 동안 지표에 부존되어 있는 방

사성 핵종, 그리고 이들을 이용하여 건축한 인공물로부터 받는 것으로 크게 구분된다.

모든 우주 방사선은 우주선, 주로 태양으로부터 기인하고, 우주선 준위는 지표에서 비교적 안정적이거나 환경에 따라 선량에 다소 차이가 있다.

그 환경은 우선 지구 자장에 의해 영향을 받는다.

이 때문에 지구 양극 지역에서는 적도 지역에 비해 우주선을 더 받는다.

이보다 더 영향을 받는 것은 고도가 높아질수록 더욱 증가하는 것으로 매 1,500m의 고도 증가마다 우주 방사선량은 약 2배 정도 증가한다.

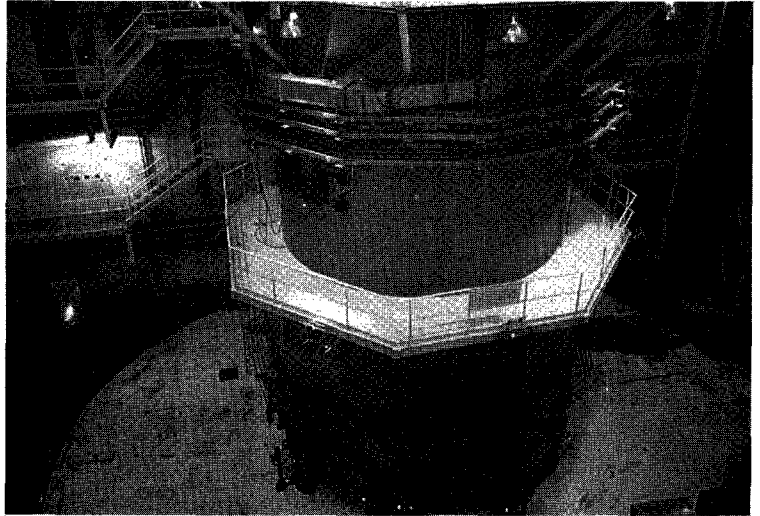
대부분의 인류가 해수면 정도의 고도에서 살고 있으며, 이 지역에서 우주 방사선의 평균 선량은 0.37mSv 정도이다.

그러나 미국의 덴버, 콜롬비아의 보고타, 그리고 불가리아의 라파즈와 같은 고지대에 위치한 도시에서는 보통 도시에 비해 4배인 1mSv 이상에 달한다.

이와 유사한 경우로, 직업별로는 항공기 승무원도 비록 짧은 시간이기 는 하지만 비정상적으로 높은 우주선에 노출된다.

지표 방사선은 자연 환경을 통해 발견될 수 있는데, 방사능량은 암석·토양·물·공기·음식 그리고 인체와 같은 자연 물질 내의 방사능 농도에 따라 다르다.

가장 중요한 지표 선원은 K-40,



첫 국산 다목적 연구용 원자로인 「하나로」

Rb-37, U-238, 그리고 Th-232 계열의 붕괴로부터 발생되는 방사성 핵종들이며, 실제 U-235 계열의 영향은 총방사선량에 비해 아주 적다.

특히 암석과 토양 내의 방사능은 자연에서의 주요 지표 방사선원이다.

일반적으로 암석류에서는 화강암과 같은 종류의 암석이 인산암에 비해 적으나 수성암에 비해 방사능이 높다.

여러 나라에서의 지표 방사선 노출 정도의 조사에서 세계 인구의 절반 이상이 같은 수준의 노출 정도를 보이고 있으며, 또한 세계 인구의 95% 정도가 연간 평균 선량 0.4mSv 정도인 지역에 살고 있다.

그러나 예외적으로 고준위의 지표 방사선에 의한 피폭을 받는 지역이 있다.

인도의 Kerala와 Tamil Nadu의 해안 지역에서는 토륨을 함유한 모래(monazite sand)가 정상적인 방사선량보다 1,000배 이상 방출하는 것으로 나타나고, 브라질의 Guarapari, Meaibe, 그리고 Pocos de Caldas 지역에서도 정상적인 방사선량보다 100배 이상 방출하는 것으로 나타나고 있다.

인공물에 의한 내부 피폭은 무색·무취의 라돈 가스와 같은 전침투상 선원으로 추적된다.

평균적으로 자연 방사선으로부터 받는 연간 개인 선량(1.3mSv)의 반 이상이 라돈에 의해 영향을 받는다.

건축물에 대한 라돈의 주요 방출 경로는 건물과 주변의 토양, 건축재, 옥외 공기, 음료수 및 천연 가스 등이 있다.

라돈 이외의 지표 선원에 의한 내부 피폭은 K-40, Pb-210, 그리고 Po-210의 섭취가 원인이 되기도 한다.

K-40의 섭취는 체내에서 평형을 유지하려는 경향으로 제어되기 때문에, 그 분산은 적으나 Pb-210과 Po-210에 의한 내부 피폭은 음식 섭취 성향에 의해 영향을 받는다.

예를 들어, 이들 핵종은 해산물에 농축되어 있기 때문에 해산물을 즐기는 일본인들은 독일과 인도인에 비해 5배 높게, 미국인들보다는 무려 10배 높게 내부 피폭을 받는 것이다.

예외적으로 이들 핵종을 많이 섭취하는 사람은 북극 지방의 사람들에서 나타났는데, 이는 이들 원소들이 농축된 목초를 먹고 자라는 순록을 주식으로 하는 이 지방의 식습성으로 인해 이러한 현상이 나타나고 있다.

이와 같이 우리의 생활 환경은 인공 방사선 환경을 차지하더라도 우리의 인식에 관계없이 이미 우주 방사선이나 지표 방사선과 같은 여러 형태의 자연 방사선 환경 속에 있는 것이다.

이용기술 개발 배경

방사선 및 방사성 동위원소 이용의 과학사를 거슬러 올라가면, 인류가 자연 방사능을 인공적으로 형태를 바꾸어 인류의 복지에 이용하기 시작한 것은 불과 100년 정도밖에 이르지 않

았다.

렌트젠은 1895년 11월에 X선을 발견하였고, 이를 이용해 두꺼운 종이에 형광 도료를 포함한 형광판으로 자신의 손을 비롯한 여러 물건을 투시하였고, 몇일 후에는 실험실 문의 X선 사진을 촬영함으로써 비파괴 검사법이 태동되었다고 말할 수 있다.

그리고 11월 22일에는 부인의 손을 X선으로 사진 찍었다고 하니, 이것이 의학 X선 사진법의 시초라고 말할 수 있을 것이다.

또한 이 X선은 그 당시 한참 유행 하였던 햇빛 이용 광선 치료법의 영향을 받아 X선 치료학을 발전시켰다.

다음해인 1896년 2월, X선 발견을 주제로 한 프랑스 아카데미에서는, 형광과 X선 발생 과정을 볼 때 인제나 형광을 내고 있는 우라늄에서도 X선과 유사한 광선이 발생할 지도 모른다는 의논이 발전하여, 결국은 베클렐이 방사능을 발견하는 계기가 되었다.

방사능 발견은 곧 라듐 발견으로 이어지고, 이 강력한 방사선원은 자궁암을 치료하는 데 훌륭한 성과를 이루었으며, 이로써 라듐 치료학이 성립되었다.

한편 방사능의 발견은 동위원소 트래이서(추적자)법이라는 독특한 방법을 낳게 되었다.

이 방법은 모든 과학 기술 분야에 이용되면서 다양한 기여를 하게 되며, 의학 분야에서도 핵의학이라는

새로운 분야를 탄생시켰다.

X선 치료학과 라듐 치료학이라는 매우 상이한 이 두 가지 치료학은 드디어 입자 가속기의 발전과 방사성 동위원소의 대량 생산, 그리고 방사선 생물학의 발전에 힘입어 방사선 중앙학이라는 분야로 재편 통합되었다.

진단 분야에서도 그후에 발전한 초음파와 NMR 현상 이용, 그리고 적외선 이용 등으로 X선 진단으로부터 화학 진단으로 발전하였다.

산업 이용 분야에서는 X선이 발견된지 100년간 계속 이용되는 것을 제외하고는 별다른 진전이 없었다.

방사선을 조사하여 직접 완성품이나 또는 중간 제품을 생산하기 위한 연구 개발 결과 실용화를 하게 된 것은 제2차 세계 대전이 끝난 후의 일이다.

그때까지 군사 비밀에 속했던 원자력 기술이 개방되고 물리학을 연구하기 위한 입자 가속기 기술이 진전되면서 대량으로 방사선을 이용할 수 있게 되었기 때문이다.

특히 미국과 옛 소련간의 대립 구도 종결로 옛 소련의 플루토늄 생산로에서 만들어진 대량의 Co-60을 자유 세계에서 이용할 수 있게 되어, Co-60의 판매가 새로운 국면에 접어들고 있다.

초기의 산업 이용은, 비교적 소량의 방사선만 조사하여도 뚜렷한 효과를 기대할 수 있었던 플라스틱의 재질 개량이나 연쇄 화학 반응 또는 미

생물 멸균에 이용하는 것이 주요 목표였다.

플라스틱은 거대한 분자의 집합체로, 방사선으로 한 분자를 변화시키면 고분자 물성에 커다란 영향을 미치기 때문이며, 연쇄 화학 반응은 한번 조사하여 반응이 시작되면 연쇄 반응이 일어나 많은 제품을 얻을 수 있기 때문이다.

또한 방사선 멸균은 모든 생물 중에서도 방사선 조사에 강하다는 단일 세포의 미생물도 무생물인 방사선 때문에 일어나는 변화에는 약하기 때문에 소량의 방사선으로 소멸되기 때문이다.

특히 방사선 조사는 온도와 무관한 멸균 방법이기 때문에 플라스틱으로 만들어진 의료용 기기의 멸균에 적합하여 널리 보급되었다.

감마선 이용의 대부분을 차지하고 있는 멸균을 최초로 실용화시킨 것은 미국 존슨 & 존슨사의 외과용 장기선 봉합사의 멸균이며, 초기에는 전자빔이 사용되어 왔다.

플라스틱에 방사선을 조사하면 산업적 가치가 보다 높은 제품을 얻을 수 있다는 것을 발견한 것은 영국의 차루스비 교수였다.

그는 원자로 내에서 노내의 방사선이 조사된 폴리에틸렌이 융점 이상의 고온에서도 변형되지 않는다는 현상을 발견하였다.

고분자의 고리가 서로 화학적으로 결합하여 전체가 초거대 분자로 되었

기 때문이다.

그후 프랑스의 샤프로 박사는 플라스틱에 감마선을 조사하여 생성되는 고분자 염기체(radical)에 중합성 monomer를 반응시켜, 원료와 성질이 다른 고분자 고리를 접목시켜 이 두 가지 물질의 좋은 장점만을 갖게 하는 데 성공하였다.

이 반응은 조사중에 반응시켜도 좋고 조사후 남아 있는 염기체를 이용해도 좋으나, 조사후의 염기체 이용이 조사와 접목 반응을 각기 할 수 있다는 이점이 있기 때문에, 공업적으로 실시되는 대부분의 반응은 이 방법으로 실시되며 고분자에 기능성을 갖게 하는 방법으로 정착하게 되었다.

이용기술 응용 현황

인접 학문의 발달과 더불어 급속히 발전한 방사선 및 방사성 동위원소 응용 기술의 이용 방법은 추적자 이용, 조사 이용, 열원 이용, 그리고 연대 측정법 등이 있으며, 각 이용 방법 별로 광범위하게 우리의 일상 생활에 많은 영향을 미치고 있다.

우리의 일상 주변에서 흔히 접할 수 있는 방사성 동위원소 이용 제품은, 야광 시계의 도료와 같은 자발광 도료, 형광등의 스타터, 카메라와 금전 등록기의 금액 표시에 사용되는 소형 방전관, 그리고 연기 감지기 등을 들 수 있다.

또한 방사선을 이용하여 만들어진

제품으로는 발포 프로필렌, 난연성 전선, 멸균된 의료 기기, 방사선 조사 식품, 자동차의 타이어, 그리고 심지어는 골프채와 면도기의 제조 등 우리 주변에 얼마든지 존재한다.

이러한 방사선 및 방사성 동위원소의 응용 기술은, 우선 공업 계측 분야에서 방사선을 이용하여 제트 엔진 또는 금속 재료의 내부 결함을 조사하거나 강철판 또는 종이의 두께 측정, 그리고 밀폐된 탱크 내의 액면을 측정하는 데 이용되고 있다.

화학 분석 분야에서는 방사선을 조사하여 공업 분석, 공해 물질의 분석, 지질학적 시료 분석, 그리고 심지어는 범죄 수사 등에 이용되고 있다.

또한 방사선 조사 공업 분야에서는 소재의 내열성 향상, 형상 기억, 고분자 중합성 등의 방사선 조사 특성을 이용한 분야와 γ 선 조사를 통한 의료 기구와 실험용 동물의 사료 멸균 또는 소독에 이용되고 있다.

의료 분야에서는 단순 X선 촬영, X선 조영 검사, 체내 검사용 γ 카메라, 체외 검사용 의약품과 같은 진단 분야와 암의 치료와 같은 방사선 치료 분야에 이용된다.

또한 동위원소를 추적자로 하는 오토라디오그래피 기술은 신약 개발에 필수적인 요소로 여겨지고 있고, DNA 조작 기술을 중심으로 한 생명공학 기술의 유전자를 분석하는 데에도 동위원소는 없어서는 안된다.

농업과 수산업의 분야에서는 방사선 조사에 의한 농산물의 품종 개량, 병해충의 생식 능력을 제거하는 해충 방제, 식품의 장기 보존 처리와 발아 방지뿐 아니라 추적자를 이용한 방제 작업의 효과 측정과 회귀성 어류의 이동 경로 추적 등의 조사에도 이용되고 있다.

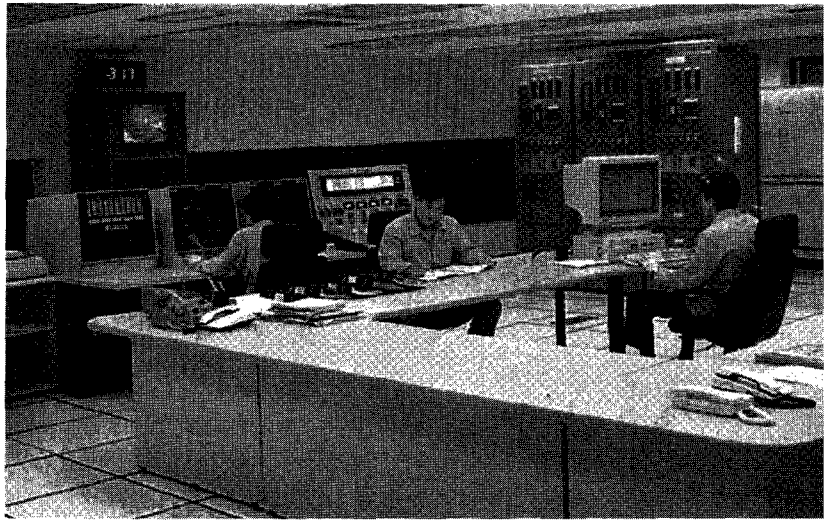
이밖에도 문화·예술 분야에서는 우선 고고학에서의 탄소 연대 측정과 문화재 보존성 향상을 위한 멸균 처리나 골동품이나 예술품의 감정 등 다양한 분야에서 없어서는 안될 수단으로 여겨지고 있다.

우리 나라의 이용기술 현황

우리 나라의 방사선 및 방사성 동위원소 이용 기술은 의료 이용, 식품 및 의료 용품 멸균, 비파괴 검사 분야에서는 선진국 수준에 이르고 있으나, 기타의 분야에서는 아직 낙후되어 있는 실정이다.

그러나 산업 발전과 더불어 공업 이용, 의료 이용, 환경 이용, 그리고 농업 이용 등의 분야에서 지속적으로 방사선 및 방사성 동위원소의 이용이 확대되고 있으며, 현재 이들을 이용하는 기관이 1,000여개 업체에 이르고 있다.

공업 이용 분야에서 방사선 및 방사성 동위원소는 비파괴 검사, 고분자 가공, 환경 보전, 그리고 핵계측 기술을 이용한 생산 공정 자동화 등



「하나로」 중앙 제어실. 산업 발전과 더불어 공업·의료·환경·농업 등의 분야에서 방사선 및 방사성 동위원소의 이용이 지속적으로 확대되고 있다.

여러 분야에서 이용되고 있다.

분야별로는 우선 비파괴 검사 기술은 대형 구조물의 증가와 최근의 대형 구조물 붕괴 사고로 고취된 안전 의식의 정착에 따라, 그 동안은 산업의 중간재로 우리에게 간접적으로 이용되어 온 데 비해, 최근 들어서는 산업의 주체로 그 중요성이 더욱 증대되어 우리와 새로운 관계를 맺고 있다.

고분자 가공 기술 분야에서는 주로 전자선 가속기를 이용하고 있는데, 이는 전선 제조, 발포 플라스틱 생산, 타이어 생산, 그리고 인쇄 분야 등에 사용되고 있으며, 방사선을 사용해서는 의료 제품과 장기 저장 식품에 대한 멸균 등에 사용되고 있다.

또한 이 분야의 기술 개발에 있어서는 최근 전자 분리 격막 기술을 개발하기 위한 연구를 통해 고분자 재

료의 내방사선 안전성 및 수명 평가를 위한 방사선 조사를 수행하고 있다.

이밖에도 물질 속에 소량의 동위원소를 혼합시켜 거기에서 방출되는 방사선을 측정기로 추적함으로써 그 물질의 거동을 알 수 있는 트레이서 기술은, 정유사나 화학 공장과 같은 공정 산업과 지하수 거동 특성 등의 측정에 이용되고 있다.

우리 나라의 핵계측 기술은 액면·두께·밀도·무게 그리고 성분 측정 분야에서 활발하게 이용되고 있다.

그러나 국내에서는 이 기술에 대한 연구 개발이 미흡하여 거의 모두를 외국에서 수입하여 사용하고 있으며 관련 기술계의 활동도 활발하지 못한 편이다.

한편 의료 분야 이용은 59년 이후

진단과 치료의 각 분야에서 널리 이용되고 있다.

국내에서 방사성 동위원소를 이용하고 있는 의료 기관은 70년의 17개소에서 급증하여 94년말에는 110개의 의료 기관에서 진료를 시행하고 있다.

최근에는 관련 분야 기술의 발달로 급격한 발전을 거듭하고 있다.

핵의학의 진단 분야에서는 핵영상 분야에서 69년 도입되기 시작한 γ 카메라의 해상도를 높여 주는 단일 광자 방출 단층 촬영기(SPECT)가 94년말을 기준으로 86대가 이용되어 뇌와 심장의 혈류 등의 검사에 활발히 이용되고 있다.

더욱이 94년에는 이들 신체 부위의 화학 진단을 가능케 하는 양전자 방출 단층 촬영기(PET)가 2기 도입되었고 추가로 2기가 도입 계획에 있어 우리 나라 핵의학의 수준을 한층 높일 수 있을 것으로 기대된다.

또한 방사 면역 측정법은 각종 항체-항원의 측정뿐 아니라 최근에는 종양 표지자의 측정 이용이 급격히 증가하고 있다.

방사성 동위원소를 이용한 치료는 혈액 질환 및 악성 종양의 치료에 활발히 이용되어 양적 팽창을 거듭하여 왔으나, 최근에는 종양 특이 항원에 대한 단일 클론 항체를 이용한 치료법이 연구되는 등 방사선 치료의 질이 향상되고 있다.

환경 기술 분야에서는 난분해성 폐

수 처리 기술과 배기 가스 처리 기술이 거의 완성 단계에 이르고 있다.

이 중 난분해성 폐수 처리 기술은 전자선을 이용하여 공업용 혹은 생활하수 중에 포함된 유독 성분, 기름, 합성 세제, 매립지 침출수, 그리고 제지, 제약, 농약 등 화학 폐수의 처리에 이용될 뿐 아니라, 정수장에서는 전자선의 강한 살균 작용으로 염소 대신 식수의 살균 처리에 이용될 수 있다.

이 설비는 기존의 시설에 비해 5배 이상의 분해력을 지니고, 구성 요소가 간단하여 자동화가 가능하다는 특징을 지닌 것이다.

또한 방사선 배기 가스 처리 기술은 화력 발전소나 열병합 발전소, 쓰레기 소각로 등 여러 가지 산업용 화로에서 배출되는 배기 가스에서 SO_x와 NO_x를 제거하는 처리 기술이 개발되고 있다.

이는 배기 가스에 물을 분사하여 냉각한 뒤 암모니아 가스를 주입하고 전자선을 조사하여 가스 중의 SO_x와 NO_x를 복합 비료로 회수하는 기술이다.

이밖에도 농업 이용 분야에서는 주로 감자·대두·들깨·고추 등 농작물의 돌연 변이를 유도하여 생장을 촉진하고, 병충해로부터 내성이 강한 돌연 변이를 유도하여 이를 고정시키는 종자 개량에 이용되고 있다.

또한 고고학 분야에서는 발굴 유적에 대한 탄소 연대 측정 기술, 비파괴

검사 기술, 그리고 핵영상 기술 등이 활용되고 있다.

맺음말

방사선 및 방사성 동위원소 기술 이용은 연구 개발 기술, 공업·의료·환경, 그리고 문화·예술 분야에 이르기까지 폭넓은 분야와 연관을 맺고 있으며, 미래의 기술 개발에 따라 그 이용 범위는 더욱 확대될 전망이다.

지금까지 살펴본 바와 같이 우리나라 방사선 및 방사성 동위원소의 이용 실태는 일부 기술의 이용 분야에서는 선진국 수준에 이르고 있으나, 활용 분야나 기술 개발 체제와 기반 기술 수준 등 이용의 하부 구조면에서는 아직 일부 동남아 국가에도 뒤떨어진 실정이다.

우리 나라가 이와 같은 이용 실태를 기록하게 된 데는, 그간 시설의 초기 투자가 많이 들고 투자 회수 기간이 긴 데다, 기술의 공익성과 파급 효과 등이 무시된 결과로 보인다.

그러나 지금부터라도 방사선 및 방사성 동위원소 기술의 유용성을 인식하고, 정부를 중심으로 하여 이 분야를 하나의 기술로 보기보다는 유망한 산업으로 여기는 인식의 변화와 더불어, 방사선 및 방사성 동위원소 산업을 체계적으로 육성 장려하기 위한 종합 대책의 마련이 시급한 것으로 판단된다. ☞