

RI/방사선분야의 토픽

서 두 환
한국원자력연구소 원자로관리실장

I. 최근의 아이소토피이용

머리말

원자력의 개발·이용중에서, 라디오아이소토피(RI)·방사선의 이용은 하나의 중요한 분야로서 자리를 잡고 있다. 방사선원은 초기에는 Co-60, Cs-137등의 RI선원이 주였지만, 최근에는 가속기 또는 X선관의 발달로 RI이외의 방사선원으로 부터의 X선, 전자선, 이온빔등도 이용할 수 있게 되어, 대체로운 방사선이용의 전망이 열리게 되었다. 한편, 레이저아이소토피분리등 새로운 안정아이소토피(SI)조제방법의 진보, 더우기 질량분석의 방법·기기의 개량으로 SI를 이용하는 연구도 성행하고 있다.

그와 같은 연구수법·대상이 확대되는 가운데서도 RI의 이용은, 또는 RI에 특유한 방사능에 의한 검출감도의 우수성, 방사능의 강도 또는 방사선에너지스펙트럼이 일정하다는 등의 특징으로 여러가지의 이용이 도모되고 있다.

RI의 이용은 이공학, 의학, 생화학, 농업에서 문화재연구등의 고고학응용에 이르기까지 매우 넓은 분야에 미치고 있지만, 이용면에서 보면 그 아이소토피를 검출함으로써 행방을 뒤쫓는 트레이서로서 이용하는 경우와 거기에서 방사하는 γ 선, β 선등의 방사선을 쬐

기 위한 RI선원으로서 이용하는 경우로 크게 나눌 수 있다. 이들 이용의 주요한 예를 트레이서이용과 선원의 이용으로 분류하여 표에 나타낸다.

표 RI의 이용

분 야	트레이서·개방선원 이용	밀봉선원 이용
의 학	핵의학진단-방사성의학 Scintiscamera, Scanner Radioimmunoassay	진단-골성분 분석계 방사선치료 Romote after loading(수Ci~10Ci) 의부조사(수 1000Ci) Brachy therapy(~10mCi) 의료용구의 멸균-조사시설
생 물 학 유전자공학 농 학	대사 생체 기능 조사 표지화합물 DNA의 그람 치환 표지 DNA(P-32, S-35) 야외 이용 - activable tracer(Eu) 고기·곤충의 생체, 작물의 비료, 성분흡수, 농약살포 및 효과측정	품질개발(γ -field) 해충방염화 식품조사-조사시설
공 업	Processing inventory 측정 연진의 피스톤링 마모 측정 IC의 leak test	방사선 processing-조사시설 Radiography γ 선 비파괴검사(≤ 10 Ci) 중성자라디오그래피 Process계측(중소선원) Level계, 두께계, 수분·밀도계 혈관X선분광계, K-edge흡수분석계
토 목	수문 조사 퇴적사 조사	지하수 유량, 유속 측정계 토양의 현장 수분, 밀도계
지 구 과학 고 고 학	연대 측정 C-14 : ≤ 35 만년 Th-230/U-234 : ≤ 50 만년 Pa-231/U-235 : ≤ 15 만년 Ar-40 /K-40 : ≤ 100 만년	

1. 트레이서이용

트레이서로서 사용하는 경우에는, 어떠한 화학형 또는 화합물로서 사용하더라도 필연

적으로 개봉형태로 RI을 사용하기 때문에, 원자력법령의 “방사선에 의한 장애의 방어”에 따라 사용허가를 얻어 관리구역을 설정하여 사용해야 한다. 사용시에는 발생하는 방사성폐기물의 관리문제가 트레이서와 같은 개봉RI이용에서는 제약으로 되고 있다.

특히, 야외에서의 RI사용은, 농업·토목분야에서 수리개발에 매우 유효한 수법으로 된다. 해류에 의한 모래의 이동상황해명에 이용된 예가 있지만, 최근에는 지역관계자의 동의를 얻는 것이 어렵기 때문에 실시하지 않고 있다. 따라서 방사성이 아닌 아이소톱을 트레이서로 사용하여 감도 높은 방사화분석법으로 검출하거나, 질량분석법을 사용하는 방법이 개발되고 있다. 중성자조사로 방사화되기 쉬운 트레이서로서 Eu이 잘 사용되는데, 이와 같은 것을 activable tracer라고 한다. Eu용액을 혼합한 농약살포상황의 조사, 먹이에 혼합하여 사육함으로써 은어의 아기미를 Eu로 표지하여 회유상황을 조사하는 등, 흥미 있는 실례가 시도되고 있다.

2. 환경에 존재하는 RI의 이용

천연의 방사성원소, 우주선에 의하여 생기는 핵종, 또는 핵실험, 원자력시설의 사고등으로 환경에 존재하는 RI를 이용하여 연대측정, 환경내의 핵종이동에 대한 연구가 진행되고 있다. Th-230과 U-234의 비를 측정하는 우라늄·토륨법으로는 수10만년 정도까지의 절대연대측정이 가능하며, 원시인유적의 연대결정에 적용되어 선사학의 발전에 기여하고 있다. 반감기가 1.28×10^6 년의 K-40과 그 딸핵종인 안정아이소톱 Ar-40의 비를 측정하는 칼륨·아르곤법으로는 더욱 긴 100만년 정도까지의 연대측정을 할 수 있다. C-14에 의한 연대측정은 가속기 질량분석법의 진보로 적용범위도 넓어지고, 고고학의 연구에 활용되고 있다.

체르노빌원자로사고는 참으로 불행한 일이었지만, 그 결과 방출된 방사성핵종의 분포와 앞으로의 변동을 추적하여, 환경에 대한 핵분열생성핵종의 이동을 해명하기 위한 연

구가 계획되고 있다. 또, 스위스에서는 트리튬(H-3)방출사고가 있었는데, 그 결과 환경에 방출된 트리튬을 트레이서로 하여 지하수를 조사한 연구가 있다. 이것들은 환경방사능에 착안한 트레이서법의 적용이라고 볼 수 있다.

3. RI선원의 이용

방사선원으로서 이용하는 경우에는, 방사성물질에는 직접 닿지 않도록 밀봉한 상태로 이용되는 것이 보통이다. 그러나 관절류머티즘치료에 단수명의 β 방사체인 Sm-153을 주사해야 할 경우는, RI를 선원으로서 이용하지만, 비밀봉형태로 사용하는 예이다. 이처럼 특별한 경우 이외의 RI밀봉선원이용에서는, 선원이 깨지는 사고가 없는 한, 대상물이나 사용자가 방사성물질로 오염되는 일은 없기 때문에, 관리는 개봉사용에 비하면 간단하다. 특히, 3.7MBq(100 μ Ci)이하의 RI밀봉선원사용은 범규제의 대상으로 되지 않고, 3.7GBq(100mCi)이하의 밀봉선원은 신고만으로 사용할 수 있기 때문에, 이와같은 밀봉소선원의 이용은 많이 보급되어 있다.

4. 의학이용

현재, 의학진료에의 RI이용은 가장 활발한 분야이다. Tc-99m의 RI로 표지된 방사성의약품에 의한 의학진단은 특히 널리 이용되고 있다.

한편, 암치료를 위한 방사선조사의 적용은, 외과수술과 함께 중요한 치료법으로 되어있다. 10~20mCi정도의 밀봉소선원을 직접 환부에 꽂아 넣는 Brachy therapy에는 Ir-192, Au-198등의 선원이 사용된다. 자궁암치료에 5~10Ci의 선원을 사용하는 remote after loading용으로는 Co-60 또는 Ir-192가 이용된다.

외부로 부터의 방사선법에 의한 조사에는 수1,000Ci정도의 강한 선원이 필요하며, 종전에는 Cs-137도 사용되어 왔지만, 최근에는 오로지 Co-60선원만을 사용하고 있다. γ 나

럽게도, 그 성과에 대한 평가는 그렇게 좋지 않으며, 앞으로 몇번의 개선이 기대되고 있다. 상기 두 기둥은 방사선방어의 진수이며 이에 대한 개선은 늘 “온고지신”의 과제라고 말할 수 있다. 실제로, 우리가 귀감으로 삼고 있는 ICRP 권고는 수년간격으로 개정되어 온 것이다.

4. 대상의 다양화

상술한 바와 같이, 대책의 개선과 그것과 관련되는 기술의 향상·개발은 방사선방어의 중심적과제이지만, 대상에 대해서도 근간에 두드러진 양상의 변모를 볼 수 있다. 인위적 또는 제어하에 있는 핵반응에 따라 생기는 방사선이, 방사선방어의 주대상임은 변함없지만, 주요 방사선시설로서 RI시설이나 원자로 시설에 더하여 핵융합실험시설이나 가속기시설의 중요성이 증가하고 있다. 또 방어의 대상인 방사선을 종래의 전리성방사선에 한하지 않고, 소위 비전리성방사선도 포함시키려는 움직임도, 특히 해외에서 활발해지고 있다.

5. 방사선안전의 PA

방사선방어분야에 종사하고 있는 자가, 최근에 중대한 관심을 가지고, 또한 고심하고 있는 문제는, 방사선의 안전에 대한 PA(Public Acceptance, 사회수용성)가 있다. 안전기준이라는 것은, 결국 “사회와의 계약”이므로 계약의 당사자쌍방이 계약내용의 이해에 관하여 같은 수준으로 되지 않으면, 합리적으로 되지 않기 때문이다.

방사선방어작업은, 지금까지 수동적인 자세로 수행하여 왔다. 오래전부터 교과서에 쓰여져 있는 방사선방어의 3원칙(① 시간, ② 거리, ③ 차폐)에서도, ICRP 1977년 권고의 신3원칙(① (피폭의) 정당성, ② (방사선방어대책의) 최적성, ③ (피폭선량의) 제한)에서도, 방사선방어기술자에 있어서는 안전관리기준은 “주어진” 것이었다. 그러나 상술한 계약에 얽매어, 사회일반인과의 대화가

업무상 불가결하게 되고, 그것으로 인하여 이유와 철학에 대한 이해가 중요하게 된 것이다.

방사선안전문제가 일반인에게 이해하기 어려운 원인으로는, 방사선은 우리의 오감으로 느낄 수 없고, 또 그것을 알기 위한 시버트(Sv)나 베크렐(Bq)이라는 단위로 나타내는 양의 크기에 대하여, 판단기준을 잡기 어렵다는 점에 있다. 이 장해를 극복하기 위해서는, 자연계에 있는 방사선이나 방사능의 양을 정량적으로 정확히 이해하는 것이 첫째이다. 의료피폭의 현황을 알아두는 것도 유익할 것이다.

6. 방사선방어와 리스크관리

방사선이 인체에 어떤 나쁨을 준다는 인식은, 전세기말에 린트겐이 X선을 발견한 후 얼마 안되어 널리 갖게 되었다. 이것은 지금 와서 생각해 보면 다행스러운 일이다. 방사선방어의 발달 덕택으로, 방사선에 의한 급성신체장애는 관리가 적절하게 수행되고 있는 한 완전히 저지할 수 있다고 말할 수 있다. 오늘날, 방사선방어의 현장에서 실제로 당면하고 있는 “나쁨”은 만발성이며 치사성 질병의 발생확률이 증대하고 있다는 점이다. 즉, 방사선을 리스크원의 하나로 보고, 방사선피폭에 따라 받게 될 리스크를 허용한도내에 억제하는 것을 목표로 관리하고 있는 것이다.

그러나, 우리의 주변에 있는 리스크원은 방사선뿐만 아니다. 방사선방어분야에 종사하고 있는 자는 리스크관리의 선도자로서, 또는 모범생으로서 가슴을 펴고 길을 개척하여 왔지만, 최근 다른 많은 리스크원에 대한 리스크관리의 실태와 그것들과의 불유대로 초조함을 느끼기 시작하였다. 리스크관리는 각종 요인에 대하여 통일적으로 정합·균형이 잡힌 형태로 수행해야 한다는 주장이 있다.

공제방어라는 측면에서, 방사선방어약품의 연구가 있다. 최근, 이 분야에서도 두드러진 발전이 있었다.

프라 부르는 장치는 수많은 Co-60선원을 원통체에 배치하여, 그 선원에서 나오는 γ 선빔이 한 곳에 초점을 갖도록 되어 있으며, 환부만을 집중적으로 쬐 수 있는 것으로서, 뇌종양치료를 위하여 개발된 것이다.

맺음말

RI이용은, 앞에서 언급한 이외에 조사공정용선원의 이용이 있다. 식품조사, 의료기구의 멸균등의 조사시설에는, 100KCi에서 1MCi규모의 Co-60 대선원을 사용한다.

이상과 같이, RI이용은 여러 분야에 미치고 있으며, 또 어떤 한 분야에서 발전된 방법이 다른 분야로 새로운 이용을 발전시키고 있다. 예를 들면, 의학진단을 위하여 발달한 radioimmunoassay가 농업분야에 응용되어 새로운 이용이 시작되고 있다. 또 RI표지 DNA를 사용하는 유전자해석수법이 앞으로 의학진단에 이용되는 날도 멀지 않을 것이다.

한편, 핵자기공명흡수법등 SI의 측정방법·기기의 진보에 따라, SI의 트레이서 이용도 활발해지고 있다. 농학에서는 N-15, 약학에서는 H-2, 또 의학에서는 H, C-13이 지금까지 많이 이용되었지만, 그 이외에도 O, F, P, Gd등의 아이소토피이용이 개발되고 있다. SI에는 방사능이 수반하지 않으므로, 사용상의 제약이 작기 때문에 측정기술의 진보와 함께 이용은 더욱 발전할 것이다.

II. 방사선방어의 과제

머리말

방사선방어는 보건물리라고 부르는 경우도 많다. 1940년대경, 미국에서 원자력의 군사 또는 평화이용을 추진하기 시작하였을 때, 그 주역을 맡은 것은 물리학자였고, 그 중에서 방사선방어를 담당한 자를 health physicist(보건물리학자)라고 부른 것이 발단이 되었다고 생각되지만, 그 후 이 분야에 모인 사

람들의 신분이 다양화되어, 오늘날 그 이름을 방사선방어라고 부르고 있다.

1. 최근의 최대사건

방사선방어분야에 있어서 최근의 최대사건은, 1986년 4월에 생긴 소련 체르노빌원전의 사고와 1986년 9월에 일어난 브라질 고이아니아의 피폭사고, 그리고 ICRP(국제방사선방어위원회)의 1990년권고일 것이다.

2. 체르노빌과 고이아니아사고가 준 충격

방사선방어의 궁극적인 목적은, 사람을 방사선의 장애로부터 지키는 것인데, 체르노빌사고에서는 과잉피폭으로, 현실적으로 30명 이상의 사람이 목숨을 잃은 것이다. ICRP가 창출하여 각국이 도입하고 있는 방사선방어대책은 관리가능한 피폭만을 대상으로 하고 있고 사고의 직격에 대한 리스크는 범위 밖이지만, 구급활동시의 피폭은 관리가능하다고도 생각하고 있는 현 방사선방어대책은, 어쩌면 엄청난 결함을 가지고 있을지 모른다고 방사선방어의 전문가에게 큰 충격을 주었다.

마찬가지로, 고이아니아사고는 ① 과잉피폭으로 사망자가 발생하였다는 것과 ② 1984년 멕시코에서 있었던 유사한 사고의 경험이 교훈으로써 전연 살리지 못하고 있다는 것이 충격적이며, ③ 방사선방어시스템을 잘 만들어도 시스템을 관리하는 기구를 만들어 놓지 않으면, 그 시스템은 경우에 따라서는 없는 것과 마찬가지라는 것을 통감하였던 것이다.

3. 방사선방어시스템의 개선

방사선방어시스템을 지탱하는 두개의 기둥은 관리의 대상에 사용하는 양(의 선택과 그 측정·평가 방법, dosimetry system)과 관리기준(dose limitation system)인데, 이번에 있었던 일본에서의 법령개정은 이 양자에 관한 변경이었기 때문에, 방사선방어의 실무진에게 큰 충격을 주었던 것이다. 그러나 유감스

7. 방사선의 선량과 리스크와의 관계

방사선원이 있으면, 그 주변에 방사선장이 형성되어 거기에 인체(또는 임의의 물체)가 있으면 선량을 받게 된다. 사람인 경우, 받은 선량에 따라 얼마간의 “나뽀”를 받는다고 한다.

방사성방어에서 대상으로 하고 있는 “나뽀”은, 실제상 만발성의 확률적영향뿐이라고 보고 있으며, 이것을 리스크라는 개념으로 나타내고 있다. 오늘날, 리스크라는 용어는 여러 분야에서 사용되고 있는데, 방사선방어에서 말하는 리스크란, 통상 좁은 뜻으로 「건강의 리스크」를 의미한다. 정성적으로 말하면, “건강을 해치는 위험의 크기”이며, 현행의 방사선방어시스템에서 사용되고 있는 것은, 실제상 “(단위시간당의) 생명을 유지하는 확률의 손실”이라고 말해도 좋을 것이다.

ICRP는 방사선방어에 사용하는 기본선량으로서 실효선량당량을 도입하고 있으며, 이것은 리스크의 좋은 표현체로 하고 있다. 즉, 단위선량의 리스크(이것을 리스크계수, risk factor라 한다)는 선량치의 여하에 불구하고 일정한 값을 채택하고 있으며, 선량은 리스크의 표현체로 생각하고 있다.

그러나 최근에, 이 전제는 안전측에 치우치고 있지 않느냐는 몇가지의 지적이 나와 있다. 백혈병을 포함한 각종 암발생에 대하여, 소위 선량·효과관계는 방사선방어시스템에서 도입되어 있는 각종 선량한도를 훨씬 초과한 선량영역에서 얻은 지견을 근거로, 효과를 가져오는 선량에 “문턱값”은 없고, 선량과 효과사이에는 1차비례관계가 성립한다는 것을 가정하고 있는데, 최근에 문턱값의 존재를 시사하는 연구성과의 발표가 있었다. 소량의 방사선은 실제상 무해이며, 경우에 따라서는 오히려 이익을 줄지도 모른다(방사선 hormesis)는 생각도 발표되어 있다.

한편, 日美공동으로 히로시마·나가사키의 원폭선량에 대한 재평가가 진행되고 있으며, 리스크계수의 설정에 중대한 영향을 미친다는 점에서, 그 성과에 대해서 ICRP도 큰 관심을 가지고 있다.

8. ICRP의 1990년권고와 법령개정

앞에서도 일부 언급한 바와 같이, 방사선원, 방사선시설의 성능, 양상, 특징은 과학기술의 진보속도를 반영하여 해마다 변화하고 있다. 안전에 대한 사회의 이해나 사고방식도 시간과 함께 변하고 있다. 이에 대하여 법령쪽은 큰 시간의 엇갈림(time lag)없이 따라가지 못하고 있는 것이 현실적이다.

최근에 ICRP는 기본권고의 개정을 발표할 모양인데, 그 내용여하에 달려 있지만 법령으로의 채택에 대해서는 활발한 논의가 전개될 것이다. 이 때, ICRP권고의 법령채택만은 논의하지 말고, 본문에서 지적한 문제점에 대해서도 진지하게 검토하는 것이 바람직하다.

맺음말

지금까지 방사선방어에 대한 현황을 살펴 보았다. 시스템으로서의 방사선방어대책은 아직 완속도중에 있으며, 대상의 다양화에 적응할 수 있고, 다른 리스크요인에 대한 리스크관리대책과 균형이 잡힌 것을 목표로 활발한 연구가 수행되어야 할 것이다. 시스템의 구성에는 사용하는 개념의 엄밀한 규정과, 사용하는 논리의 엄밀한 전개가 요구되며, 그런 뜻에서 방사선계량(dosimetry)체계를 더욱 우수한 것으로 하는 것이 무엇보다 중요하다고 본다.

* 일본원자력학회지 Vol. 32, No. 1 및 No. 7(1990)에서 발췌하였음.