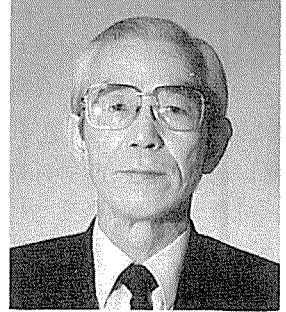


RI의 탄생, 발견 그리고 성장



서 두 환

한국원자력연구소
책임연구원

I. 머리말

오늘날, 방사선·방사성동위원소(Radio Isotope : 이하 RI로 표기)의 이용은 공업, 농업, 의료 등의 실용면 뿐만 아니라 이공학, 농학, 생물학, 의학 등의 기초분야도 포함하여 널리 여러 갈래로 퍼져있다. 이들의 이용은 지금까지 X선 발생장치, 가속기, 원자로 등 선원기술의 진보에 따라 착실히 진전, 확대되어, 최근에는 전자공학, 컴퓨터, 신소재, 유전자공학 등의 첨단기술과 연결되어 빔(Beam)의 이용, 양자(量子)공학이라는 새로운 분야에도 참여하여 더욱더 비약적으로 전개되고 있다.

이 글은 1895년 독일의 뢰트겐(W. C. Röntgen)이 X선을 발견하고, 1896년 프랑스의 베크렐(A. H. Becquerel)이 방사능을 발견하고, 1902년 영국의 소디(F. Soddy)가 방사성원소의 원자붕괴(동위원소의 존재)를 제창한 이래, 거의 100년이 지난 오늘날, 이것을 기회로 RI의 탄생, 발견 그리고 그간의 성장

을 살펴본 것이다.

II. 방사능의 발견

RI의 발견을 언급하기 전에 먼저 방사선과 방사능의 발견에 대하여 기술해야 할 것이다. 필자는 근대과학의 시작은 1895년 11월 8일로 정하고 싶다. 이날, 독일의 뢰트겐이 X선을 발견한 것이다.

뢰트겐이 X선의 발견을 발표하였을 때는 「새로운 방사선」의 성질이나 기원은 알고 있지 않았다. 확실하게 알고 있었던 것은 이 방사선은 진공방전관내에서 발생한다는 것과 관벽이 밝은 형광을 내고 있다는 것 뿐이었다. 형광과 투과성방사선이라는 두가지 현상 사이에는 관계가 있다는 것이 명백하였다. 프랑스의 이공대학 물리학과 교수였던 베크렐은 가시광 및 보이지 않는 방사선은 두가지 모두 같은 메카니즘으로 일어나는 것이라고 주장하였다. 만약 그렇다면, 태양의 자외광을

흡수하여 가시광을 방출하는 발광성결정체(結晶體)에서 X선도 발생되어야 한다고 생각하였다. 1896년 1월 하순경, 베크렐은 투과성 방사선을 발생하는 결정체를 계통적으로 탐구하기 시작하였다.

1896년 2월 24일, 베크렐은 우라늄염, 황산우라닐칼륨의 형광성결정체를 수시간동안 햇빛에 쬐면 불투명한 종이로 쓴 사진건판은 흑화되었다고 파리의 과학아카데미에 보고하였다. 이것은 투명성방사선이 햇빛의 자외선으로 활성화된 형광현상이라는 자신의 가설을 확증할 수 있을 것으로 생각하고 있었다. 2월 26일에 그는 재시험을 하기 위하여 형광결정판을 사진건판에 접촉시켜 우라늄염과 건판사이에 일부 알루미늄박을 끼워 넣었다. 그러나, 공교롭게도 그날은 구름이 끼었고 실험에는 밝은 햇빛이 있어야 하므로, 베크렐은 형광판을 책상서랍에 보관해 버렸다. 그후 흐린날이 며칠동안 계속되었기 때문에 형광판은 완전히 어두운 서랍속에 방치되어 있었다. 3월 1일에 그는 무슨 까닭인지 모르지만 사진건판을 현상하였다. 그는 그 결과를 3월 2일 과학아카데미에 가시광의 즉시방사(형광)와 보이지 않는 투과성방사선의 장기방사의 원인으로 되고 있는 「여기(勵起) 방사선」이 무엇인지를 계통적으로 밝혀 내어야 한다고 보고하였다.

그후, 베크렐은 수주간 실험을 하여 이 투과성방사선의 성질은 뢰트젠의 X선과 비슷하고, 공기를 전도성(傳導性)으로 만들어 금박검전기를 방전시키는 힘이 있다는 것을 밝혔다. 마지막으로 1896년 5월 18일 그는 투과성방사선은 우라늄화합물에서만 아니라 형광성이 없는 금속우라늄 자체에서도 방사된다는 것을 발표하였다. 또한, 베크렐은 이 현상의 원인이 미발견 외부선원에서 흡수한 에너지라고 믿었지만 형광과 투과성방사선과의 사이에 관계가 있다는 가설은 깨진 것이다.

베크렐 이외에 주요한 방사능의 개척자로는 프랑스의 피에르·퀴리(Pierre Curie)와 마리·퀴리(Marie Curie), 그리고 영국의 러더퍼드(E. Rutherford)와 소디 4명이 있다.

1898년 4월, 퀴리부인은 과학아카데미에 베크렐의 황산우라닐칼륨 이외에도 공기를 전도성으로 하는 방사선을 발생시키는 물질이 있는지를 알기 위하여 많은 물질을 조사하였다고 보고하였다. 그녀가 이 목적으로 사용한 기기는 평행판이온화상자이다. 이것으로 각 시료에 대한 방사능의 정량적인 척도를 얻었다(여기서 “방사능”이라는 말이 처음으로 사용됨). 퀴리부인은 우라늄(U), 토륨(Th) 및 그 화합물만이 뜻있는 방사능을 가리킨다는 것을 발견하였지만, 실은 Th의 방사능은 조금 전에 독일의 슈미트(C. G. Schmidt)가 발견하였다. 그리고 그녀는 각 시료의 방사능이 화합물속의 우라늄량에 거의 비례하고 시료의 물리적상태에는 의존하지 않음을 발견하였다. 이것은 방사능은 분자가 아니고 원자의 현상임을 나타내고 있다. 또한, 퀴리부인은 U의 각 화합물에서 나오는 방사선은 갖가지 두께를 가진 물질을 투과하는 힘이 동일하다는 것도 발견하였다.

핵적원자의 등장이라는 관점에서 퀴리부부의 주요한 공헌은 방사능은 원자의 현상이라는 것을 증명한 최초의 연구라는 것과 U보다 수천배나 강한 방사능을 가진 새로운 원소인 폴로늄(Po)과 라듐(Ra)을 1898년에서 1902년에 걸쳐서 단리(單離)시켰다는 것이다.

한편 1896년 처음으로 X선과 방사능을 발견한 톰슨(J. J. Thomson)과 러더퍼드는 이 방사선을 공기 및 다른 기체의 이온화연구수단으로 이용하기 시작하였다. 러더퍼드의 주요 관심은 이른바 「베크렐」선을 사용하여 이온화를 연구하는 것 보다도 이온화를 수단으로 방사능을 연구하였다. 1899년 1월에 발표한 기념적인 논문에서 러더퍼드는 우라늄

이 방출하는 방사선에는 α 선, β 선이라는 두 가지의 다른 형태가 있다는 것을 제시하였다 (제3의 형태인 γ 선은, 1900년 프랑스의 빌라르(P. Villard)가 발견함).

1900년에 러더퍼드는 Ra 및 Th이 「에머나티온(Emanation)」(현재의 「라돈(Rn)」)이라는 기체를 발생하고 있다고 보고하였다. 또한, 원래의 물질(어미핵종: Ra이나 Th) 및 에머나티온이 방출하는 방사선은 투과력이 다르고, 또 그 방사능의 붕괴속도도 다름을 알아내었다.

그리고, 러더퍼드는 1901년 10월에서 1903년 3월까지 18개월 동안, 소디와 공동연구하여 과학사상 가장 많은 업적을 올렸다. 이때, 소디는 화학적조작을, 러더퍼드는 물리적 측정을 하였다. 그들은 가열·용매·침전·여과라는 표준적인 화학조작으로 화합물이나 혼합물중의 원소를 분리하여 방사성원소의 존재와 본성을 밝히기 위하여, 투과력이나 시간변화율 등의 방출방사선의 특성을 측정하였다. 방사성원소의 실제 질량은 천칭(天秤)이나 분광학적 수법으로는 측정할 수 없을 정도의 미량이었다.

1902년 1월에서 1903년 5월까지 러더퍼드와 소디는 합계 약 160페이지에 이르는 9편의 논문을 공동발표하였는데, 그 중에는 「방사능의 원인과 특질」이라는 논문이 들어있다. 그들은 이 논문에서 중세의 연금술에 사용되었던 「변성」이라는 용어를 피하여 방사능의 이론을 「변환」이라 불렀다. 이 변환설은 다음과 같이 5단계로 전개되어 있다.

(1) 새로운 방사성물질인 ThX(현재의 Ra-244)를 Th에서 분리하는 것과 그 Th의 「활성성분」으로서의 동작에 대한 논증.

(2) 에머나티온은 일정한 응축점을 갖고 화학적으로 불활성한 기체로서의 작용을 한다는 것과 Ra이나 Th에서 어떠한 조건에서도 일정한 속도로 발생한다는 것을 증명하는 것.

(3) 방사능은 신중 물질의 연속적인 자연

발생에 의한다는 것을 증명하는 것.

(4) 헬륨(He)이 방사성물질에서 발생한다는 것을 지적(아직 증명은 아님)하는 것.

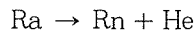
(5) 방사성물질에 관련된 에너지는 보통의 화학에너지에 비하면 매우 크다는 것을 증명하는 것.

등이다.

III. 방사성동위원소의 탄생

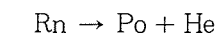
전술한 러더퍼드와 소디의 방사성변환의 이론에 따라 α 입자나 β 입자의 방출이라는 것은 방사성원자가 두가지 부분으로, 다시 말하면 α 입자나 β 입자와 나머지 무거운 부분으로 분열한다는 것이다. 따라서 이 나머지 부분은 물리학적으로도 화학적으로도 “어미원자”와는 다르다. 예를 들면, Ra에서 Rn기체가 만들어지는데 Rn의 원자량을 측정해 보면 이것은 Ra의 원자량보다 4원자질량 단위(즉, α 입자의 질량)만큼 작다.

방사성변환은 화학반응의 경우처럼 “방정식”으로 나타낼 수 있다. 예를 들면 Ra에서 Rn으로의 변환은



로 나타낸다. 이 과정은 Ra이 α 입자를 방출하여 Rn으로 변환(또는 붕괴)하고 있음을 나타내고 있다.

상기한 예 이외에, 많은 붕괴과정이 퀴리부부, 러더퍼드와 그의 협력자 및 다른 연구자에 의하여 발견되고 연구되었다. 그리고 이들 붕괴과정은 모두 러더퍼드와 소디가 제안한 이론에 잘 일치하고 있었다. Rn은 역시 방사성을 띠고 있어서 α 입자를 방출하여 다른 원소의 원자로 붕괴한다. 이 원소는 그 당시 “RaA”라 하였지만, 후에 RaA는 Po이라는 것을 알았다. 즉,



이다.

이 Po은 고체이며 이것 역시 방사능을 가지고 있다. 이와 같이, 처음에 있었던 “어미”의 Ra원자는 일련의 변환으로 차례차례로 새로운 “딸”의 방사성원소로 변하여 마지막에는 방사능을 가지고 있지 않는(즉, 안정한) 딸원소로 끝나게 되는 것이다.

상술한 바와 같이 Ra 및 그 딸원자는 붕괴를 반복하여 마지막에는 안정한 원자로 되는데, 그 원자는 화학적성질에서 납(Pb)이라는 것을 알았다. Ra에서 시작하는 이 일련의 붕괴사슬에는 10종류의 원자가 있고 α 입자를

내는 것과 β 입자를 내는 것이 있다. 붕괴계열 도중에서 γ 선도 몇번 방출되지만, γ 선은 단독으로는 방출되지 않고 반드시 α 입자 또는 β 입자와 함께 방출된다.

러더퍼드와 소디는 Ra자신도 U을 선조로 하는 한계열의 일환이라고 생각하였다. 연구 결과, 그 생각은 옳다는 것이 밝혀졌다. U원자는 차례로 딸원자로 변하는데 Ra은 그 6대째이며 안정한 Pb는 15대째에 해당된다. <표-1>에 이른바 우라늄-라듐계열의 전모를 나타내고 있다.

<표-1> 우라늄-라듐의 붕괴계열

옛 이름	현재 이름	붕괴방식	반감기
UI	U-238	α, γ	4.51×10^9 년
UX ₁	Th-234	β, γ	24.1일
UX ₂	Pa-234	β, γ	1.18분
UII	U-234	α, γ	2.48×10^5 년
이오늄	Th-230	α, γ	8.0×10^4 년
Ra	Ra-226	α, γ	1,620년
에머나티온	Rn-222	α, γ	3.82일
RaA	Po-218	α	3.05분
RaB	Pb-214	β, γ	26.8분
RaC	Bi-214	β, γ	19.7분
RaC'	Po-214	α	1.64×10^{-4} 초
RaD	Pb-210	β, γ	21.4년
RaE	Bi-210	β, γ	5일
RaF	Po-210	α, γ	138.4일
RaG	Pb-206	안정	

자연방사성붕괴의 계열에는 앞에서 언급한 U-238에서 α, β 붕괴하여 Rn-222, Rn-222를 경유하여 안정동위원소 Pb-206으로 붕괴하는 우라늄계열 이외에 Th-232로 시작하여 Ra-226을 경유하여 Pb-206으로 붕괴하는 토륨계열과 U-235에서 Ac-227을 경유하여 Pb-207로 이르는 악티늄(Ac) 계열의 3

계열이 있다.

<표-1>에서 방사성계열의 멤버로서 새롭게 발견된 물질중에는 잘 알려진 원소와 완전히 같은 화학적성질을 가진 것이 있음을 알수 있다. 예를 들면 UI의 “증손자”인 UII는 U자신과 같은 화학적성질을 가지고 있음을 알았다. 이 두가지가 혼합하여 있을 때 화학적방

법으로는 분리할 수 없고, 화학분석법으로도 이 두 물질의 차이는 검출되지 않는다. 그러나 이 두 물질, 즉 U-238과 U-234의 물리적 성질에는 몇가지 다른 점이 있다. <표-1>에서 알 수 있는 바와 같이, U-238과 U-234는 전혀 다른 반감기(4×10^9 년과 2.5×10^5 년)를 가지고 있다. 또, U-234의 원자질량은 U-238보다 α 입자 1개 및 β 입자 2개의 질량분만큼 적은 것이다. 다른 예를 들면 두가지의 방사성 물질인 RaB나 RaG는 Pb와 같은 화학적 성질을 가지고 있음을 알 수 있다. 현재 RaB는 Pb-214, RaG는 Pb-206이라 부르고 있는데, Pb-214는 방사성인데 대하여 Pb-206은 안정하며 두 원자의 질량은 α 입자 2개와 β 입자 4개의 질량만큼 다르다.

소디는 상술한 차이점, 즉 물질의 본성 및 원소간의 관계에 대하여 해답을 주었다. 그의 제안은 하나의 화학원소가 순수물질로 나타내는 것은 그 원소가 모두 같은 화학적 성질을 가진다는 뜻일 때 뿐이다. 즉, 하나의 화학원소는 실제로는 화학적 성질은 같지만 방사능이나 질량은 다른 몇가지 원소의 혼합물인지도 모른다. 이 개념은 순수원소의 원자는 모든 면에서 동등하다는 가정은 변경되어야 한다. 따라서, 소디는 어떤 원소의 원자가 동등하다는 것은 화학적 성질에 대한 것 뿐이고 물리적 성질은 다른 몇 종류의 원자가 하나의 원소에 속하고 있다는 것이다. 다시 말하면, 같은 원자번호(Z: 핵내의 양성자 수)를 가지고 있다는 것이다. 소디는 이들 원자를 그 원소의 아이소톱(Isotope: 동위체)라고 명명하였다. 이것은 그리스어의 Isos(같은)와 Topos(장소)에서 따온 것이다(주기표에서 같은 장소에 있다는 뜻). 예를 들면, U-238과 U-234는 우라늄의 동위원소이며 방사성을 띠고 있기 때문에 RI이고, Pb-214와 Pb-206은 납의 동위원소이며 Pb-214는 RI이고 Pb-206은 안정동위원소이다.

IV. RI의 성장과 이용

현재, 방사선을 방출하는 동위원소, 즉 RI는 자연적인 것과 인공적인 것을 합하여 약 1,000종 이상 있지만 이 중에서 실제로 사용되고 있는 것은 적절한 반감기를 가지며 입수하기 쉽고 측정하기 좋은 것은 그렇게 많지 않다.

자연 RI는 대기권에서 우주선에 의하여 생성된 H-3, H-14, 지구기원의 K-40 및 U, Th 등의 붕괴계열(Ra-226, Rn-222 등)이 잘 알려져 있으며, H-3, C-14, K-40, Rn-222 등은 트레이서(Tracer: 추적자), Ra-226은 γ 선원의 일부로 이용되고 있다.

그러나, 일반적으로 사용되고 있는 RI의 대부분은 원자로 또는 가속기를 사용하여 만들어진 인공RI이다. 원자로 생산 RI의 대부분은 열중성자포획반응으로 생성된 RI이며 β 붕괴한다. Co-60처럼 β 선을 내는 동시에 붕괴핵에서 γ 선을 내는 것이 많다. 중성자를 쬐 U의 핵분열에 의하여 많은 종류의 RI를 만들고 있다. Kr-85, Sr-90, Cs-137, Pm-147과 같이 질량수가 100 또는 140 근방의 β 붕괴하는 RI가 많다. U-238으로 부터는 열중성자포획과 β 붕괴를 차례로 일으켜 여러가지 유용한 초우라늄원소를 얻고 있다. 이것들은 α 붕괴하는 RI가 많은데, γ 선원 또는 중성자원으로 사용된다.

한편, 가속기로 부터 나오는 고에너지로 가진 양성자, 중양성자의 핵반응을 이용하면 β^+ (양전자)붕괴 또는 EC(전자포획)붕괴하는 RI를 얻을 수 있다.

RI 및 방사선발생장치에서 발생하는 방사선의 응용에는 계측응용과 쥘임응용으로 나눌 수 있다. 앞것은 방사선 또는 방사선으로 유기된 현상을 계측함으로써 물질이 가지고 있는 어떤 정보를 검출측정하는 것이며, 뒷것

은 방사선을 쬐으로써 방사선에너지가 물질에 미치는 작용효과를 이용한 것이다.

〈표-2〉에 RI 및 방사선의 응용에 대한 것을 정리하여 게재하였으니 참고하기 바란다.

〈표-2〉 RI 및 방사선의 응용

	현상·작용	수단·방법	이용기술·이용 예
계측응용 (정보검출)	방사성붕괴	핵종분석	현대측정 자원탐사
	방사선방출	방사체추적	화학적 트레이서 물리적 트레이서 오토라디오 그래피 신티스캔, 방사형 CT
		γ 선 검지	γ 릴레이
	여기·전리	형광체발광 측정	형광체 분석
		기체전리 측정	연기감지기, 가스크로마토그래피
	방사선의 작용	투과, 산란 측정	두께계, 밀도계, 분석계, 준위계
		투과상 촬영	라디오그래피, 투과형 CT
		결정회절 측정	물성상태분석, 응력측정
	2차방사선 발생	γ 선공명측정	피스바워분광
		특성X선 측정	형광X선 분석, PIXE
양전자소멸 측정		물성상태 분석	
전자쌍생성 측정		석탄회 분석, 분석계	
방사화·핵종 분석		방사화 분석	
죄임이용 (에너지전달)	물리적 작용	즉발방사선 분석	중성자포획 γ 선 분석
		형광체발광	야광시계
		기체전리	방전관특성개선, 정전기제거기
	화학적 작용	기전력발생	원자전지
		열발생	열원, RI발전기
		활성종생성	화학반응해석
		가 교	내열성 등의 고분자물성개선
		붕괴	석판인쇄법
	생물학적 작용	중합	고분자 합성, 큐어링
		그래프트 중합	기능재합성
분해·합성		유기합성, 배연처리	
생물학적 작용	살균	의료용품 등의 멸균, 폐수처리	
	발아방지	식품보존	
	세포파괴	암치료	
	돌연변이	품종개량	
	불임화	해충구제	