

물질의 계층 구조 그리고 원자핵

주 승 환

기술사(방사선 관리) · 원자력공학 박사

「이 세상에 있는 모든 물질들은 분자나 원소로 나뉠 수 있다. 분자는 또 원자나 입자들(알파나 베타 등)로 나뉜다. 원자는 핵이 가운데 자리잡고, 대부분은 텅 빈 공간이며, 핵의 주위를 전자들이 돌고 있다. 원자핵은 불안정한 핵과 안정한 핵이 있고, 불안정한 핵은 쪼개진다. 핵이 쪼개지는 것을 어느 누구도 막지 못한다. 핵은 부서지면서 세대 교체를 한다. 즉, 어미 원자와 딸 원자가 생겨나고 소멸하는 과정들은 마치 생물계의 세대 교체처럼 원자의 세계에서도 되풀이된다.」 『라돈 방사능과 생활 환경』(19, 28쪽)

분자 그리고 원소

자신의 건강은 스스로가 돌봐야 한다. 건강은 우리의 몸통을 이루는 각 조직의 기능들이 조화를 이루면서 서로가 맡은 기능을 알맞게 유지하고 있는 상태를 뜻한다.

우리의 몸통은 여러 조직들로 이뤄지고, 그런 조직들은 '세포'란 기본 단위들이 뭉쳐진 것이다. 무려 65조 개의 세포들이 서로 연결돼 우리의 한 몸통을 이룬다.

만일 그들 중에 정상이 아닌 단 한 개의 암세포가 생겨난다면, 그것은 산 세포들처럼 쪼개지고 불어나

서 암세포 조직들을 만들고 정상 세포들을 죽이므로 그런 몸체는 서서히 망가지고 말 것이다(20).

우리 주변에 차고 넘치는 물질들도 생물계의 세포 단위처럼, 한 기본 단위로 나뉜다. 잘 알고 있듯이, 한 물체의 고유한 성질을 가지면서 가장 작게 쪼갤 수 있는 기본 단위는 분자 그리고 원소이다. 다른 말로는, 화학적인 수단으로 그 이상 쪼갤 수 없다는 얘기다.

물질의 모양새 그리고 그 성질 등을 살피고, 다른 물질들끼리 서로 반응시켜 새로운 물질들을 만들 그런 분야인 화학은 연금술이 그 시발

점이다. 그 기술을 다루던 화학자들은 기본 단위의 어떤 알갱이들이 모여 물질을 이룬다고 생각했다.

그런 단위는 어떤 화학적인 반응에서 자신은 더 이상 쪼개지지 않으면서 다른 물질과 결합하여 새 물질을 만들기도 하고, 경우에 따라 자신도 독립하여 한 개체가 되기도 한다. 길바닥 위에 아무렇게나 굴러다니는 모래와 자갈들도 겉보기에는 간단한 모습들을 이룬다. 그들 하나하나를 자세하게 들여다보면, 모두가 여러 가지 분자들 그리고 원소들이 서로 엉켜 모여진 한 덩어리다.

양파가 그것의 껍질들이 차례로



차곡차곡 싸고 있듯이, 물질들이 분자들이나 원자들로 차곡차곡 뭉친 모습을 우리는 '물질의 계층 구조'라 한다.

대부분의 분자들도 두 개 이상의 원소들이 결합된 계층 구조를 이룬다. 어떤 원소들은 같은 것들이 무리를 지어 한 물체(금·은·철 등과 같은 금속 덩어리)가 되기도 한다.

지구 위에 있는 천연 원소들은 가장 가벼운 수소에서, 헬륨·리튬·..., 그리고 가장 무거운 우라늄에 이르기까지 그 종류는 92가지이다. 천연에 없었던 원소들도 지금까지 많이 발견되었다. 그들 중에는 잘나의 수명을 가진 것들도 있다. 이들을 모두 합친다면 110여 가지에 이른다.

우리의 몸통은 약 30여 종(주로 탄소·수소·산소·질소·나트륨... 등)의 원소들이 계층 구조로 이뤄진다. 이들은 서로가 화학적으로 결합하여 작은 분자들을 이루기도 하고, 그런 분자들이 모여 살아 숨쉬는 세포들이 생겨나며, 세포들이 스스로 분열하고 증식되면서 우리의 몸통으로 성장해 간다.

잘 알고 있듯이, 한 세포 속에는 DNA란 유전 인자가 들어있어 생물은 그 자손을 대물림하면서 세대를 이어간다. 우리 몸체는 한 개체이므로 세포의 계층 구조를 이룬 하나의 거대한 분자이다. "무슨 소리"하고 질타하는 독자도 있겠지만, 분

자의 특성은 그런 것이다.

금·은 같은 물체들은 하나의 원소로 뭉쳐진 계층 구조들이고, 우리가 매일 마시는 한 컵의 물은 수소 그리고 산소, 두 원소들이 서로 일정한 비율로 결합된 수없이 많은 단위 분자들이 계층 구조를 이룬 것임을 우리는 잘 알고 있다. 분자 그리고 원소의 기본 단위들은 한 물체의 특성을 유지시킬 화학적 성질을 다루기에는 편리한 수단이다.

동위원소 그리고 주기율표

인간은 웅장한 우주의 생긴 모습을 그의 시야 속에 한꺼번에 모두 담을 수는 없다. 잘 알려져 있듯이, 태양계는 태양을 중심으로 그의 위성들이 믿기지 않을 만큼 일정한 궤도, 그리고 365일을 일정한 시간 안에 태양을 한 바퀴 돌아 똑같은 자리로 돌아온다. 지구도 태양계의 한 멤버일 뿐이다. 이런 시스템을 우리 눈에 모두 담아 확인할 길은 없을 것이다. 우주는 무한한 공간이고, 우리 시야는 유한하다.

지구에는 셀 수 없을 정도로 무한한 종류의 물질들이 모여 있다. 과학자들은 오래 전부터 지구를 이룬 그런 물질들의 본질 그리고 그것들의 계층 구조를 벗겨내고, 다루기 편리한 양의 기본 단위에 관해 깊이 생각해 왔었다. 그런 노력들은 분자 그리고 원자를 알기 이전부터, 해

(日)·달(月)·불(火)·물(水)·나무(木)·금속(金)·흙(土) 그리고 공기 등으로 나뉘오다가 지금의 분자 그리고 원소란 단위까지 이르게 된 것이다.

지금도 우리는 물질의 생김새와 특성, 그리고 물질들끼리 서로 화학적 반응을 일으키는 데 「주기율표」란 편리한 한 도구를 이용한다. 이 표는 지금까지 알려진 개별 원소 모두에 붙여진 고유 번호의 크기 순위로 모든 원소들의 자리들을 지정하고 있다. 그리고 그들의 화학적 특성들도 그룹별로 묶어놓아 쓰기가 아주 편하다. 개별 원소는 그것을 대표할 영어 낱말의 약자(한 자 또는 두 자)로 나타낸 「원소 기호」(예컨대, 우라늄; U, 플루토늄; Pu 등)를 쓰고 있다. 그리고 처음 주기율표는 원소의 무게가 가벼운 순위로 그 원소의 번호를 매겨놓았다.

그러다 보니 문제가 생겼다. 「동위원소(同位元素)」가 발견된 것이다. 같은 자리에 무게가 다른 몇 개로 갈라놓아야 될 자리다툼이 생겼다. 그래서 원소를 다시 「원자」로 나눌 필요가 있었다. 원소의 번호를 뜻하는 것이긴 하지만, 원소에 바탕을 두지 않은, 원자에 바탕을 둔 「원자 번호」를 쓰기에 이른 것이다.

원소는 물질의 세계를 설명하는 기본 단위의 구실을 오래 동안 해왔다. 물질의 생김 모습들인 계층 구조 또는 물질들끼리 서로 화학적인

반응을 따질 때, 원소란 단위는 편리한 도구일 것이다. 하지만 원자의 핵(「원자핵」)이 발견되고 그 핵을 이용하는 원자력 산업에서 원소의 개념으로서는 그 표현이 부자연스럽다. 앞서 원자에 대한 개념을 애기했듯이, 원자의 대명사로 불리는 동위원소란 낱말도 원자이고, 그리고 원자력 산업에서 많이 쓰이는 「핵종(核種)」이란 낱말도 원자의 다른 표현이다.

좀 색다르고 빛나간 얘기라고 할 수 있겠지만, 방사성 쓰레기(지금은 '원전 수거물')를 다루는 분야는 원소의 개념이 더 편리한 도구가 될 경우가 많다. 그 까닭은 우리가 살고 있는 주된 환경과 원자를 서로 조화시킬 문제를 다룸에서, 우리 생활과 한발 먼 원자보다는 한발 가까운 원소의 친밀감이 보다 쉽게 우리에게 와 닿기 때문일 것이다.

지금 우리는 「원자」란 낱말이 우리의 생활을 지배하리만큼, 그와 친숙해진 것을 알고 있다. 그리고 그것이 우리 생활에 꼭 필요하고 그리고 그의 중요성도 알고 있다. 어느 누구도 이런 주장에 대하여 반론하지 못한다. 만일 그렇다면, 그는 보통 사람은 아닐 것이다.

X-선 발견

독일의 물리학자 빌헬름 뢰트겐(Wilhelm Reontgen)은 음극선관

(지금의 TV 브라운관) 실험에서 형광 물질이 칠해진 그 관의 유리 부분에서 이상한 빛인 형광(X-선)이 비침을 발견하였다. 그는 이 사실을 1895년 12월에 처음으로 발표하여 전 세계 과학자들을 놀라게 했다. 그의 위대한 업적은 인류가 멸망하지 않는 한 잊혀질 수 없을 것이다. 누구나 병원에서 X-선을 한번쯤은 쬐인 경험을 가지고 있을 것이다.

뢴트겐이 X-선을 발표하기 이전에 이미 그런 현상을 알고 있던 과학자들도 있었다. 뢰트겐처럼 그들도 음극관에서 나오는 X-선인 형광 빛을 발견하긴 하였지만, 오로지 발표할 기회만을 놓쳤다는 사실은 그들로서는 안타까운 일이다.

영국 케임브리지 대학의 톰슨(J. Thomson) 교수(1894년)는 그가 연구하던 음극선이 몇 피트 떨어진 유리관에 부딪혀 형광(X-선)이 나타나는 현상을 뢰트겐보다 먼저 발견했었다. 하지만 음극선 연구에 온 정력을 기울이다 그만 그것을 자세히 따져볼 기회를 놓쳤다. 비슷한 때, 옥스퍼드의 프레더릭 스미스(Frederic Smith) 교수는 음극선 근방에 놓아둔 필름이 뿌연게 감광(感光)되는 사실을 알고는 그의 조수에게 필름을 음극선관으로부터 떨어지게 놓아두라고 지시했다.

여담이지만, X-선 발견의 기회를 놓친 그들처럼, 사실은 이 글을 쓰기 며칠 전에 필자에게도 아쉬웠

던 한 에피소드가 있었다. 필자도 고향인 경북 울진군에 방사성 쓰레기 처분장의 유치를 간절히 바라던 사람들 중의 하나이다. 지난 7월 25일 정부는 그 최종 부지를 전북 부안군 위도로 정했다고 발표하였다. 기회는 잃었지만 사연은 남는다. 그 동안 필자가 고향 군수에게 3 번의 유치 권고를 편지에 담아 전한 얘기들이 있다. 3번 중, 두 번째(2003. 7. 4.) 편지에서 역사적으로 돌이킬 수 없었던 톰슨 그리고 스미스의 실수들을 예를 들고, 기회를 잡자고 간곡히 전한 얘기들이다. 지금까지 단 한번의 회신도 받지 못했다. 오히려 고향 주민들로부터 공격 그리고 격려 전화를 많이 받았던 것은 아이러니이다.

19세기 말에 X-선의 발견이 중요했던 까닭은 원자의 모양새를 밝힌 주된 수단들이 방사선으로 이뤄졌었고, 그리고 X-선이 다른 방사선들의 발견에 불을 질렀기 때문이다. 어떤 대상을 연구하려면, 필요할 때 우리는 그 대상의 크기를 어림할 수도 있어야 하고, 도구를 써서 그것을 마음대로 다룰 수도 있어야 한다. 그리스 철학자들이 고대에 썼던 원자의 개념(21)으로서는 그렇게 하지 못한다.

전자 발견

X-선이 알려지면서, 물리학자들



은 큰 충격을 받게 된다. 새로운 과학 기술의 성장점(growing point)이 태생하였기 때문이다. 예컨대, 톰슨은 곧바로 X-선 연구에 착수하여 1897년에 「음입자」라는 원자의 한 입자(지금은 「전자」입)를 처음으로 발견하게 된다.

그는 음극관 속에서 형광 빛을 내는 것은 보통의 광선이 아님을 주장하였다. 처음, 음극관을 고안해서 만들어 음극선의 연구를 주도했던 독일 과학자들이 한결같이 음극선은 하나의 빛의 현상으로 여기던 것과는 톰슨의 생각은 전혀 달랐다.

음극선은 음극관에서 생겨나 양극판으로 끌려간다. 그리고 그것들을 실험하면, 전기장에서 휘고 자기장에서 굽어지는 것도 알아내었다. 그런 현상은 빛의 성질이 아니다. 마이너스 전기의 성질을 가진 독립된 무수한 입자 집단들의 흐름이 아니라면 설명되지 않는다.

그가 발견한 음입자들은 수소 원자보다도 훨씬 가볍고, 그리고 음극선관에 다른 어떤 입자를 넣고 스파크를 일으켜보아도 그것들은 고유한 성질을 가진 것임을 증명하였다.

처음으로 '물질의 미립자 이론'인 「원자론」은 톰슨의 물리적인 실험으로 정당화된 것이다. 원자를 우리 손에 넣고 실험할 수 있는 세상을 예고한 것이다. 톰슨의 실험 기술은 톰슨 밑에서 연구하던 러더퍼드에게 전해지고, 후일 러더퍼드

(Ernest Rutherford)가 독자적으로 원자핵을 발견하는 데 그 바탕 기술이 된다.

방사선 발견

톰슨뿐만 아니라 많은 학자들도 톰슨처럼 호기심으로 X-선에 접근하게 된다. 프랑스의 앙리 베크렐(Henri Becquerel)은 자연사 박물관의 물리학 교수였다. 그는 우라늄염에서 나오는 인광과 형광에 대한 전문가였다. 1896년 1월 20일 과학 아카데미의 주례 모임에서 뢰트겐이 X-선을 발견했다는 소식을 듣고는 곧바로 우라늄염에서 나오는 형광 빛의 실험에 착수하였다. 열흘 동안 애썼지만 아무런 성과도 없었다. 1월 30일 뢰트겐의 X-선에 관한 보다 자세한 기사를 읽고는 다시 용기를 얻어 실험을 계속하였다. 「원자폭탄 만들기」(15, (1), 52 쪽)의 얘기는 다음과 같이 전한다.

「그는 첫 실험에 성공했다. 우라늄염이 방사선을 방출하는 것을 발견했으나, 잘못 판단했다. 그는 사진 건판을 검은 종이로 싸고 그 위에 우라늄염을 뿌린 다음 두 세 시간 동안 햇빛에 노출시켰다. 그가 사진 건판을 현상했을 때, 사진 건판에 검은 색으로 나타난 인광 물질의 그림자를 볼 수 있었다. 그는 마치 음극선이 유리로부터 뢰트겐의 엑스선을 방출시키는 것과 같이 태

양빛이 이런 현상을 일어나게 했다고 생각했다. 그 후 베크렐의 뜻밖의 발견 이야기는 매우 유명하다. 그가 2월 26일과 27일에 그의 실험을 반복했을 때 파리의 날씨는 흐렸다. 그는 포장된 사진 건판에 우라늄염을 뿌려둔 채 책상 서랍 속에 넣어두었다. 3월 1일 다시 실험을 계속하기로 마음먹고 영상이 매우 희미할 것이라고 생각하면서 사진 건판을 현상했다. 뜻밖에도 그의 예상과는 달리 그림자가 매우 진하게 나타났다. 즉시 그는 이 작용이 어둠 속에서도 일어날 수 있다는 것을 알게 됐다. 방사선이나 빛으로 자극되지 않은 불활성 물질에서 강한 투과력이 있는 방사선이 방출됐다. 이제 러더퍼드는 자신의 연구 과제를 찾았다. 그는 마리 퀴리(Marie Curie)와 피에르 퀴리처럼, 방사선을 방출하는 물질을 찾아내기 위하여 허리가 휘도록 일했다.」

1898년 러더퍼드는 베크렐이 발견한 베크렐 선(나중에, 방사능, radioactivity란 이름으로 바뀜)이라고 불리던 현상에 매력을 느끼고 연구를 하게 된다. 우라늄염과 토륨 원자에서 내뿜는 방사능들은 두 종류가 있는 것을 발견하였다. 쉽게 흡수되는 것을 「알파(α) 방사선」으로, 그리고 잘 흡수되지 않고 물질을 쉽게 뚫을 수 있는 것을 「베타(β) 방사선」으로 각각 이름을 지었다(「감마(γ) 선」은 그 후 1900년에 프랑스 학

자 빌라르(P.V. Villard)가 높은 에너지의 X-선에서 발견하여 러더퍼드의 이름짓기를 따름). 그는 토륨에서도 방사성 가스가 나오는 것을 발견하였다. 곧 이어 두 부부인 마리와 피에르 퀴리는 방사능을 뿜어내는 라듐 원소를 발견하여 그 공로로 노벨상을 받게 된다. 그때 알려진 방사능을 뿜어내는 원자들은 우라늄, 토륨 그리고 라듐뿐이었다.

원자핵

그 책은 뒤이어 러더퍼드의 원자핵 발견에 관한 얘기도 자세히 설명한다. 원자의 모습이 태양계를 닮았을 것으로 추정했던 이는 덴마크 출신의 이론물리학자 닐스 보어(Niels Henrik David Bohr) 박사이다. 지금도 우린 그의 원자 모델을 쓰고 있다. 그의 원자 모델이 완성되고, 우리 손에 잡힐 때까지는 많은 과학자들의 노력들이 거기에 녹아든 것이다.

원자는 중심에 원자핵이 있다. 원자핵의 주변을 전자들이 정해진 궤도를 따라 빛의 속도로 돌고 있을 것이란 닐스 보어의 통찰력은 영국의 어니스트 러더퍼드 경이 원자핵을 발견하고 나서 구체화되기 시작한다. 닐스 보어도 맨체스터 대학의 물리학과 교수인 러더퍼드 경 밑에서 연구했던 학자들 중에 포함된다.

러더퍼드는 영국 캐빈디시 연구

소에 있을 때 다음과 같은 알파 입자의 경로가 휘는 현상을 발견하였지만, 발표는 캐나다 맥길 대학교의 물리학과 교수로 가 있을 때이다.

러더퍼드는 토륨에서 나오는 방사능이 토륨인지 아니면 다른 원자 인가를 밝히는 데 화학자의 도움이 필요하였고, 그는 영국 옥스퍼드 출신 화학자인 프레더릭 소디(Frederic Soddy)를 맥길 대학으로 초빙하였다. 소디는 토륨에서 나오는 방사능 물질이 활성이 전혀 없는 아르곤(Ar) 가스라는 사실을 밝혀냈다. 이 발견은 20세기 물리학의 패러다임을 예고했다.

둘은 그때까지 알려진 천연 방사능 원소인 우라늄, 토륨 그리고 라듐 원소들을 자세히 관찰하면서 그것들은 스스로 쪼개지면서 그때 알파나 베타 방사선을 내보내고 다른 원소들로 변하게 됨을 알아냈다. 뿐만 아니라, 새로 생긴 방사능 원소들은 고유한 수명을 가진다는 사실도 알게 되었고, 그들의 수명을 '반감기'로 쓰기에 이른다.

반감기는 원자핵만이 갖는 고유한 성질이다. 그것은 화학적으로 검출하지 못한 대부분의 미세한 원소들을 밝히는 데 중요한 수단이다. 동위원소란 낱말로 화학자인 소디가 처음으로 썼다. 그가 물리학자였다면, 아마도 다른 이름(동위 원자?)으로 작명되지 아니하였을까?

러더퍼드는 맥길 대학에서 위의

3개 방사능 원소들의 복잡한 '변환 과정'들을 푼 공로로 1908년 화학 분야에서 노벨상을 받게 된다. 37세였던 그는 이 상을 받기 원하였다. 모르긴 하지만, 필자의 생각으로서는 평화주의자이던 그가 원자핵의 가공할 폭발력에 대한 공포를 예측했을 것이고, 노벨 물리학상보다도 부담을 덜 느낄 화학 분야를 원했을 것으로 유추해 본다.

그는 노벨상 수상의 기념 강연에서 알파 방사선이 헬륨 입자라는 확실한 실험 결과를 발표하였다. 1907년 그는 다시 영국으로 귀국하여 맨체스터에서 물리학 교수로 취임하였다. 거기에는 전임자의 조수로 있던 경험이 많은 독일 물리학자 한스 가이거(Hans Geiger: 가이거 카운터 발명)가 있었다.

러더퍼드는 원자핵을 발견하였으나, 발표하기까지는 몇 년의 세월이 흘렀다. 1906년 맥길 대학에서 원자는 텅 빈 공간임을 알고, 공간 속의 공간에는 또 무엇이 있는지 의심을 품고 있었다. 원자 속이 텅 빈 공간이란 사실은 이미 독일 물리학자인 필립 레나르트(Philipp Lenard)가 1903년 선택된 한 원소에 음극선을 충돌시키는 실험으로 알려져 있었다.

러더퍼드는 알파 입자가 지나가는 틈새의 반쪽 부분을 두께가 1/3000 센티미터 정도인 아주 얇은 운모로 덮고 알파 입자를 통과시

키면서 사진 건판에 그 결과를 기록 하였다. 운모로 덮인 부분의 영상에서 알파 입자의 경로가 직선에서 약 2도 정도가 휜 것이 나타났다. 자기장도 걸지 않았는데, 이 정도의 휨은 러더퍼드에게는 이해되지 않았다.

맨체스터 대학에 온 첫 학기부터 그는 그 의심을 풀기 위하여 실험 준비를 시작한다. 그의 실험실에는 가이거 뿐만 아니라 학생 신분인 어니스트 마스던(Ernest Marsden)도 그의 조수로 일하면서 실험을 도왔다. 이들 셋은 알루미늄 · 은 · 금 그리고 백금 등을 종이처럼 얇게 편 실험 조각(박지)들을 가지고 알파 입자들의 산란 실험을 계속하였다. 예상했던 대로 실험 조각에 배열된 각 원자에서 약 2도 정도로 알파 입자의 경로가 휘어졌다. 많은 알파 입자들은 대체로 불규칙하게 산란 하였으므로 실험이 쉽게 이뤄질 수 없었다.

러더퍼드는 마스던에게 금박지에 알파 입자를 직접 쏘이고 그 결과를 자세히 살필 것을 지시하였다. 마스던은 연필 크기의 알파 입자 빔을 만들고, 이를 금박지에 45도 각도로 쏘았다. 그리고 알파 입자가 반사되어 나올 자리에 섬광을 낼 스크린을 놓고 알파 입자의 소서와 스크린 사이에는 두꺼운 납판을 막아놓았다. 스크린에 섬광들이 나타나는 것을 보고는 놀랐다.

러더퍼드는 조수의 보고를 받고 쏘인 알파 입자가 두께 0.00006 센티미터인 금박지에 충돌하여 90도 또는 그 이상의 각도로 반사되어 나온다는 것이 무엇을 뜻하는 것인지 알 수 없었다. 자기장으로 이 정도의 휨을 일으키려면, 자기장의 세기를 109 가우스로 높여 줘야 한다.

“마치 15 인치 대포 탄을 종이 쪽지에 대고 쏘았더니 되돌아와 당신을 명증시키는 것과 거의 같은 그런 놀랄만한 것이었다”라고 러더퍼드는 훗날 회고한 적이 있다. 그리고 알파 입자가 단 한 차례 튀겨져 나온다는 것은 단 한 차례의 충돌에 의한 것임을 깨달았다. 그리고 섬을 통해 원자의 질량 대부분이 텅 빈 원자 속에 자리잡은 아주 작은 한 핵에 집중되어 있다는 것도 알게 되었다.

러더퍼드는 1911년 3월 7일 영국 맨체스터 문학과 철학협회의 모임에서 이 놀라운 실험 결과를 발표하였다. 이 때 러더퍼드는 전기적 성질이 플러스인 원자핵은 발견하였지만, 마이너스인 전자들이 그 핵 주위를 차지할 위치를 알지는 못했다. 그의 생각은 단순하게 전자들이 원자핵을 구의 모습으로 둘러싸고 있을 것이란 가정이었다.

원자의 중심부에 원자 크기의 10만 분의 1밖에 안 되는 아주 단단한 원자핵이 자리 잡고 있다는 사실이 뒤늦게 밝혀졌다. 한 예로서 원자

그리고 원자핵의 크기를 서로 견줘 보면, 서울역에 1m 지름의 원이 원자핵이라고 치면, 전자들은 100km나 멀리 떨어진 천안시나 원주시만 큼 거리를 둔 지정된 궤도를 돌고 있는 꼴이 된다.

핵을 중심으로 전자들이 돌고 있는 공간이 원자의 크기이므로 원자의 속은 텅 빈 공간이다. 우리의 몸통은 세포들로 꽉 조여있을 것으로 생각되었지만, 사실은 X-선이나 방사선이 우리 몸통을 거침없이 잘 통과하게 된다.

원자핵의 밀도를 셈하면, 1cm³ 크기(알사탕 정도)의 무게는 1억 톤(1억 톤/cm³)이나 된다. 알사탕 크기의 물질 1 개를 움직이는데 10 톤 트럭 1천만 대를 동원해야 된다는 요술장이 이야기와 같은 것이다.

그런 엄청난 밀도를 인류는 아직 경험해 본 적이 없다. 그런 밀도는 중성자 별 아니면, 블랙홀에서나 있을 법한 이야기일 것이다. 현대 과학은 그런 원자핵의 주위에 많은 전자들이 빠른 속도로 돌고 있는 원자의 모습을 증명했다. 원자는 얇은 알갱이 모양이며, 약 1억 개의 원자들을 가지런히 붙여놓아도 원자의 크기가 적기 때문에 1cm 정도의 길이 밖에 안된다(19, 31쪽).

양성자 발견

마스던은 러더퍼드의 원자핵 발

견 실험에서 큰 도움을 주었으며, 다시 한 번 러더퍼드에게 큰 도움이 된다. 1915년 러더퍼드가 만든 한 실험 장치로서 알파 입자의 산란 실험을 계속하고 있었다.

청동으로 만든 한 상자 한쪽에 얇은 창을 만들고, 거기에 황화아연을 칠하여 형광막을 낸 아주 간단한 상자였다. 상자 밖에서 현미경으로 형광막 속을 관찰할 수 있게 만들었다. 그 상자 속에 알파 입자의 소스를 놓고 공기를 빼 내면서 알파 입자의 산란을 관찰할 수 있게 만든 상자였다.

알파 입자의 소스는 알박한 유리관에 라돈 가스를 넣고 열린 곳을 막은 한 앰플처럼 만든 것이므로, 청동 상자 속의 공기를 뺄 때도 라돈 가스만은 앰플 속에 그대로 남는다. 상자 속의 공기를 빼고 나서 거기에 수소 가스를 대신 채워 수소 원자에 알파 입자를 충돌시키는 실험을 하고 있었다. 알파 입자들과 충돌한 수소 원자들이 비껴나가는 거리를 재어보는 실험이었다.

예상대로 수소 원자들은 알파 입자들보다 4 배나 더 멀리 튀어나갔다. 그런데 이상했던 것은 수소 가스를 상자 속에 넣기 전, 실험 상자 속의 공기를 뺄 때도 라돈이 담긴 유리관 자체가 형광 빛을 내는 것을 관찰하였다. 그는 방사능 물질 속에서 수소 원자들이 나온다고 생각하였다. 그때까지 알려진 방사선들은

알파, 베타 입자들 그리고 감마선들이 전부였다.

마스던은 그 해 뉴질랜드로 돌아가고, 러더퍼드는 마스던이 하던 실험을 혼자 계속하였다. 실험 상자 속에 여러 가지 가스들을 차례로 바꿔 채워가면서 알파 입자의 산란 반응을 관찰하였다.

수소 원자가 낸 형광 빛은 계속 나타났었지만, 주입된 가스의 종류에 따라 형광 빛을 내면서 멀리 튀겨나는 현상들의 횡수들은 뚜렷하게 차이를 보였다. 그들 중에서 질소 가스를 상자 속에 넣었을 때, 그 횡수가 가장 많았다.

러더퍼드는 일부의 알파 입자들이 질소 원자에 충돌하여 어떤 질소 원자들의 핵을 쪼갰다고 결론을 내렸다. 최초의 '인공 핵변환'을 관찰하게 된 것이다.

알파 입자의 질량 4가 질소의 질량 14에 충돌하면 질량의 합은 18이 된다. 한 개의 수소 원자(러더퍼드는 이것을 '양자'라고 제안하였으나 지금은 '양성자'로 부름)가 형광을 내면서 빠져나가고, 질량 17인 산소 원자가 새로 생겨났다.

그런 반응을 일으킬 확률은 알파 입자 30만 개들 중에서 단 한 개의 알파 입자가 한 개의 질소 원자의 전기적인 장벽을 뚫고 질소 원자핵과 충돌하던 사건을 운 좋게 관찰해 낸 것이다. 마치 생물 세포의 수십만 개 정자들 중에서 단 한 개의 정

자가 단 한 개의 난자 속에 들어가 수정될 그와 같은 확률에 버금가는 현상으로 볼 수 있을 것이다. 이 실험은 러더퍼드가 발견했던 원자핵 속에 양성자도 한 가족임을 알게 해 준 아주 중요한 실험이었다.

중성자

원자력의 에너지는 원자핵에 집중되어 있다. 원자핵은 양성자 그리고 중성자 두 입자들이 주된 요소들이고 그 외에도 중간자들이 핵을 결집시키는 데 한 역할을 한다.

중성자는 러더퍼드의 제자이던 제임스 채드윅(James Chadwick)이 1932년에 폴로늄의 알파 입자를 베릴륨 금속에 충돌시켜 나오는 강력한 방사선이 중성자임을 발견해 내지만, 원자핵 속에 양성자와 함께 있는 중성자는 러더퍼드가 이미 10년 전에 가정했었다.

1920년 6월 3일 러더퍼드는 영국 왕립학회 베이커 강연에서 원자핵을 이룬 중요한 요소들에 대하여 그때까지 알려졌던 과학 자료들을 종합하였다. 채드윅은 그 강연에 참석하였고, 러더퍼드가 전자·양성자는 발견되었지만, 원자핵 속에는 알려지지 않은 제3의 입자가 있다고 가정하는 것을 듣게 되었다. 후일, 채드윅은 그 강연에서 들었던 내용을 다음과 같이 전했다.

「'질량이 1이고 전하가 0인 원자

의 존재 가능성'에 대하여 언급했다. 그는 이런 원자 구조가 결코 불가능한 것은 아니라고 생각했다. 이것은 새로운 기본 입자는 아니고 기존의 입자들이 결합된 것으로 전자와 양자가 밀접하게 합쳐져 하나의 중성 입자를 구성한 것이라고 가정했다. "이런 원자는 매우 특이한 성질을 갖게 될 것이다. 핵에 매우 가까운 지점을 제외하고는 외부의 전장이 실질적으로 0이 될 것이므로 결과적으로 그것은 물질 속을 자유로이 통과할 수 있다. 그것을 스펙트로스코프로 검출해 내기는 어렵고 또한 어떤 용기에 담아두는 것도 불가능할 것이다." 이런 점들이 그 원자의 특성이 될 것이다. 이 특성은 특별한 용도가 있다. "그것은 쉽게 원자의 구조 속으로 들어가 핵과 결합하든지 또는 핵의 강한 전기장에 의하여 붕괴될 것이다." 만일 이와 같은 것이 존재한다면-중성자-그것은 원자핵을 조사할 수 있는 가장 효과적인 도구가 될 수 있다.」(『원자폭탄 만들기』(15, (1), 189쪽)

러더퍼드가 맨체스터에 있을 때, 채드윅은 그의 제자였고, 러더퍼드를 따라 케임브리지로 내려왔다. 그는 29세의 젊은이로서 많은 일을 하였다. 그에게 중성 입자란 것은 신기하게 느껴졌고, 스승이 그것을 이끌어낸 과정에도 무엇인가 충분하지 않다는 생각이 들었다. 뿐만

아니라 원자핵을 이룬 요소들에 대하여 스스로 질문하고 있었다.

그때 과학자들이 생각하던 원자의 한 모양새는 대체로 닐스 보어의 모델이 지배하고 있었다. 다시 한번 정리해보면, 원자의 중심에는 전기적으로 플러스(+)인 원자핵이 자리 잡고, 그의 주위를 그 원자의 원자번호 수효와 똑같은 마이너스(-) 전자들이 돌고 있는 모습이었다.

그때 이미 원자번호는 한 원자를 이룬 마이너스 전기를 띠는 전자(e)들의 수효(전하, e, 電荷)이고, 원자핵은 그런 전자들의 세기(하전, electric charge, 荷電)를 중성으로 만들어야 할 플러스 하전임을 알고 있을 때였다.

그는 원자번호가 높아질수록 그에 따라 그 원자핵의 플러스 하전은 커지는 데, 어떻게 그 많은 플러스 전하들이 핵 속에서 서로 떠밀림 없이 안전하게 뭉칠 수 있는 것인지에 의문을 갖게 되었다.

예컨대, 헬륨은 원자번호가 2이지만, 원자의 질량은 4이고, 질소의 원자번호는 7, 그리고 질량은 14이다. 이런 생각을 원자번호 92인 우라늄까지 가보면 질량이 238이란 엄청난 원자핵의 한 플러스 하전 덩어리인 플러스 전기를 띤 입자들이 서로 밀치는 척력들 때문에 원자핵 속에서 온전하게 한 개의 덩어리로 뭉쳐있질 못할 것이란 의심을 할 수밖에 없었던 것이다,

그때의 원자핵은 핵 속의 플러스 전하들이 일부는 핵 주위를 돌고 있는 전자들 수효와 같은 수효일 것이고, 그리고 다른 나머지는 핵 속에 자리잡은 또 다른 전자들이 감당할 것이라는 생각을 하고 있었다. 그런 근거는 핵 속에서 마이너스(-) 전기와 비슷한 베타 입자들이 튀겨져 나오기 때문이다.

그렇다면, 당연히 한 전자를 핵 밖에서 핵 속으로 다시 들어보낼 수도 있어야 한다. 하지만 그 작업에는 엄청난 에너지가 소요될 그런 기술은 그때의 과학 기술로는 생각할 수 없었을 것이다.

여기까지 생각한 그는 원자핵 속에는 반듯이 전기적인 중성을 가진 새로운 중성자가 있어야 한다는 그의 스승인 러더퍼드의 한 가설(假說)에 따를 수밖에 달리 대안이 없었다. 그는 생각을 굳히고 10년 동안 그것을 찾아낼 새로운 실험을 하게 된다. ☞

〈참고 문헌〉

19. 주승환, 제원목, 『라돈방사능과 생활환경』, 계축문화사(1995)
20. 주승환, "연구실험을 필요로 하는 '자유전자들에 의한 폐암 메커니즘'", 2003년도 춘계 학술발표회 논문집, 대한방사선방호학회, 서울(2003)
21. 주승환, "공포심 그리고 원자력", 원자력산업 23(7), 38~44, 한국원자력산업회의(2003)