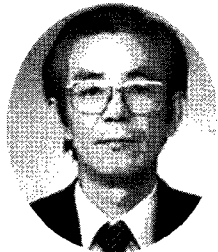


核分裂과 페르미의 一生



서 두 환

한국원자력연구소 원자로관리실장

우리나라 최초의 원자로인 연 구용 원자로 1호(TRIGA Mark-II, 출력 250kW)가 점화 된지(1962년 3월19일) 금년으로 30 주년을 맞이하였다. 한편 세계 최초의 원자로인 시카고 파일 1호(Chicago Pile-1, CP-1)가 임 계에 도달하여(1942년 12월2일) 사상 처음으로 「제3의 불」을 켜자 50 주년이 되는 이즈음에, 핵에너지의 발생원인 핵분열과 이 원자로를 만든 엔리코 페르미(Enrico Fermi)의 업적과 일생에 대하여 간단히 소개한다.

「제3의 불」 켜지다

『이탈리아의 뱃사람은 신세계에 도착하였습니까?』



〈그림 1〉 엔리코 페르미(1901~1954)

『원주민의 태도는 어떻습니까?』

『매우 우호적입니다』

1942년 12월2일 미국의 시카고 대학과 하버드대학의 연구자 사이에 있었던 이 장거리전화의 대화내용은 너무나 유명한 것이다. 시카고대학 구내에 있는 경기장의 스탠

드 밑에 만들어진 세계 최초의 원자로가 그날 오후 3시 핵분열의 연쇄반응을 기록한 것이다. 「이탈리아의 뱃사람」은 물론 이탈리아에서 망명한 과학자 엔리코 페르미이며, 「원주민」은 원자로를 뜻하고 있다. 「신세계」 즉 핵에너지를 인류가 처음으로 길들인 기념해야 할 만한 순간이었다.

이 원자로는 CP-1이라 부르고 있다. 페르미의 지도하에 43명의 미국 과학자들의 협력으로 만들어진 것이다. 이 시카고대학의 교정에는 「1942년 12월2일 인류는 여기서 처음으로 핵분열연쇄반응을 지속적으로 일으키는데 성공하였고, 원자력을 조절하면서 끄집어내는 일이 시작되었다」라고 새겨진 기념비가 오늘날 남아있다.

처음으로 원자로운전에 성공한 이 1942년에는 제2차 세계대전이 점점 격화되고 있던 시기였다. 1939년 9월 독일군의 폴란드 침공으로 시작된 세계대전은 1941년 6월 독일과 소련전의 개시, 같은 해 12월 일본의 대미 선전포고로 이미 전세계적인 규모로 확대되었다. 따라서 1942년 여름 이후에는 미국, 영국을 중심으로 한 연합군이 총반격을 가하고 있었다.

핵분열로 막대한 핵에너지가 방출된다는 사실은 1939년 시점에서 밝혀졌다. 이 해의 1월16일 덴마크의 코펜하겐물리학연구소장 닐스 보어가 학회에 참석하기 위하여 미국에 도착하였을 때, 한 통의 전보가 그를 기다리고 있었다. 스웨덴에 망명하고 있었던 한 연구자로부터 온 것이었다. 핵분열시 방출되

는 에너지량을 측정할 실험치가 이론치와 잘 일치한다는 결과를 얻었다는 내용이 적혀 있었다. 이것으로 원자력이용의 가능성이 현실화 된 것이다.

보어의 입을 통해서 이 사실을 들은 많은 과학자들은 놀랐으며, 컬럼비아대학에 있었던 페르미는 곧 추시하여 이 사실을 확인하였다. 함께 그것은 큰 불안을 초래할 것이라고 걱정도 하였다. 즉 원자력무기의 가능성이며 독일이 그것을 먼저 개발하면 위험하다는 두려움이다. 사실 독일이 연구에 착수하고 있었다는 것이 W. L. 로렌스의 저서 「0의 새벽」에 기술되어 있다.

핵분열과 페르미

그러면 핵분열의 연쇄반응이란 무엇인지 예를 들면 우라늄235(U235)의 원자핵은 92개의 양자와 143개의 중성자로 구성되어 있는데, 여기에 외부로부터 중성자가 하나 들어오면 U235는 그것을 일단 흡수한 뒤 불안정하게 되어 원자핵은 분열하여 크세논(Xe)이나 바륨(Ba)처럼 우라늄과는 다른 종류의 가벼운 원자핵으로 갈라진다. 이때 큰 에너지를 내는 동시에 2~3개의 중성자도 방출한다. 이 중성자가 다시 다른 우라늄과 부딪쳐 차례차례로 핵분열반응을 지속해 나가는 현상을 핵분열연쇄반응이라 한다. 이 현상을 실현시켜 주면 막대한 에너지를 만들 수가 있고, 그것을 에너지의 발생원으로 이용할 수 있다.

그런데 불행한 일은 이 실험이 제2차 세계대전이 한창 때였기 때문에 그 결과는 군사적으로 이용되게 된 것이다. 페르미의 핵분열연쇄반응장치도 원자폭탄을 만들기 위한 목적으로 먼저 핵분열의 연쇄반응을 실제로 일으켜서 증명할 것과 폭탄용 플루토늄(Pu)을 만들기 위한 원자로의 기초자료를 얻기 위해 실험용으로 이용된 것이다.

이 연쇄반응이 잘 일어나기 위해서는 먼저 U235의 핵분열로 생긴 중성자가 다음의 U235 원자핵에 잘 들어가주지 않으면 안된다. 페르미는 그것을 위해서는 속도가 빠른 중성자(속중성자)보다도 속도가 느린 중성자(열중성자)쪽이 U235 원자핵으로 들어가기 쉽다는 것을 실험으로 확인하였다.

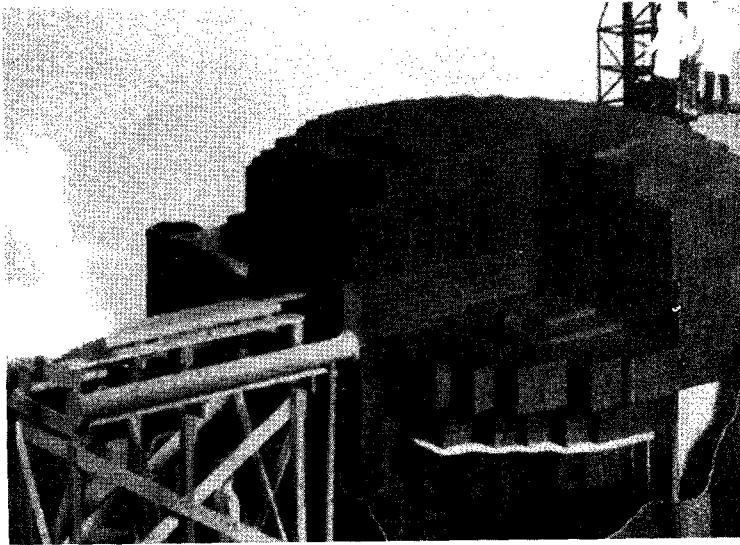
그러나 핵분열로 방출되는 중성자는 속중성자이기 때문에 이것을 느리게 하여 주지 않으면 안된다. 속중성자의 속도를 떨어뜨리는 물질로는 물, 흑연, 베릴륨(Be) 등이 있다. 그러나 물은 중성자를 잘 흡수하는 성질을 가지고 있기 때문에 페르미는 중성자의 속도를 떨어뜨리는 감속재로서 흑연을 택하였다. 중성자를 흡수하는 성질을 가지고 있으면 안되는 이유는 원자핵이 분열할 때마다 방출되는 2~3개의 중성자가 모두 흡수되어 1개도 남지 않으면 연쇄반응이 지속되지 않기 때문이다.

예를 들면 처음에 원자핵으로 들어가서 핵분열을 일으킨 중성자의 수를 A라 하고, 그 핵분열로 새로 튀어나온 중성자중에서 감속되어 다음의 원자핵에 들어가서 핵분열

을 일으킨 중성자수를 B개라 한다면, $A=B$ 이면 핵분열연쇄반응은 같은 정도로 계속된다. 이 상태를 임계라 부른다. 만약 $A>B$ 인 경우는 핵분열은 차츰 감소되어 이것이 계속되면 핵분열은 곧 멈추게 된다. 반대로 $A<B$ 인 경우에는 연쇄반응이 계속됨에 따라 핵분열을 일으키는 중성자가 증가하여 그 정도가 너무 커지며, 원자로의 온도는 너무 올라가게 된다. 따라서 원자로에서는 과잉중성자를 흡수하여 제어해야 한다. 그 제어구실을 하는 물질로서 페르미는 중성자를 잘 흡수하는 카드뮴(Cd)을 사용하였다.

세계 최초의 원자로 CP-1

U235의 핵분열연쇄반응을 적당히 지속시키는 장치, 다시 말하면 U235를 일정하게 조금씩 태워서 에너지를 계속적으로 뽑아내는 장치인 원자로 CP-1의 건설에 페르미가 착수한 것은 1942년 11월이었다. 장소는 사람의 눈에 잘 띄지 않도록 하기 위하여 시카고대학 스태그경기장의 서쪽 스탠드 밑에 있는 스퀘시 코트(Squash Court)를 택하였다. 페르미는 먼저 매우 순도가 높은 흑연을 특별주문하여 많이 만들었다. 속중성자의 속도를 떨어뜨리기 위한 감속재로 사용하기 위해서이다. 즉 흑연 속을 중성자가 지나가는 동안에 탄소(C)의 원자핵과 충돌하여 속도가 떨어지기 때문이다. 그러나 그 흑연에 불순물이 들어 있으면 그것이 중성자를 흡수하므로 순수한 흑연이 필요



〈그림 2〉 세계 최초의 원자로인 CP-1

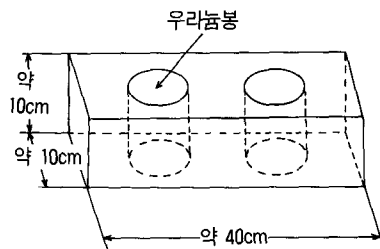
하였던 것이다.

이 흑연은 높이와 폭이 약 10cm, 길이는 약 40cm의 직6면체 블럭이다. 그것에는 〈그림 3〉처럼 2개의 구멍이 있고, 거기에는 우라늄봉이 채워져 있다. 우라늄이 들어있는 흑연 블럭을 한계단 쌓은 뒤 그 위에 우라늄이 들어있지 않은 흑연 블럭을 쌓고, 그 위에 다시 우라늄이 들어있는 흑연 블럭을 쌓았다. 이와 같이 우라늄이 들어있는 흑연 블럭과 들어있지 않은 흑연 블럭을 교대로 쌓은 것이다.

이와 같이 흑연 블럭을 쌓아올린 것을 페르미 파일이라고 부른다. 이들 블럭 사이에는 중성자를 잘 흡수하여 연쇄반응을 제어하는 카드뮴봉이 꽂혀 있으며, 또 중성자의 수를 측정하기 위한 중성자계수기, 온도를 측정하는 계기 등이 붙어있다. 이와 같은 우라늄이 들어있는 흑연 블럭을 12계단 쌓는 것을 완성한 것은 12월1일이다. 사용

된 흑연은 약 380톤, 금속우라늄 6톤과 산화우라늄 37톤이다.

다음날인 2일에는 드디어 원자로 CP-1, 즉 페르미 파일의 운전이 개시되어 세계에서 처음으로 제3의 불인 원자의 불이 켜진 것이다. 카드뮴제어봉(3개)을 천천히 뽑기 시작하였다. 이들 제어봉은 연쇄반응이 과격해질 때는 곧 자동적으로 파일 속으로 되돌아가게 되어있다. 마지막 한 개의 제어봉을 천천히 뽑는 도중에 오후 3시20분 계수기의 소리가 갑자기 커지고, 연쇄반응이 일어나고 원자로가 임계에 도



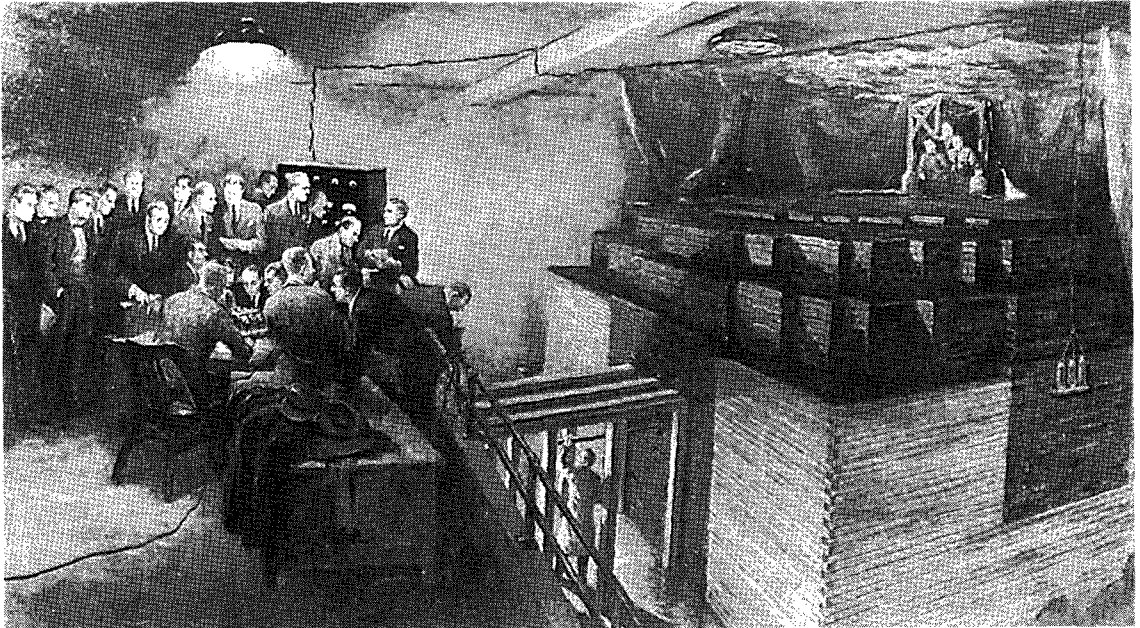
〈그림 3〉 페르미가 사용한 흑연블럭

달되었음이 확인되어 실험은 성공하였다.

CP-1에서는 천연우라늄에서 핵분열연쇄반응이 일어나는 것이 실증되었다. 천연우라늄 속에는 핵분열을 일으키기 쉬운 성질을 가진 U235는 0.719% 만이 함유되어 있다. 나머지의 대부분(99.276%)은 핵분열을 일으키기 어려운 U238이다. 따라서 이 실험에서는 연쇄반응이 폭발적으로 일어날 위험성은 적었으며, 분열한 원자핵의 수는 매초 약 150억개 정도로서 발생한 에너지는 불과 0.5W 정도였다. 이것은 발전용으로 이용할 수 없는 정도의 출력이지만 그러나 원자의 불이 켜졌다는 것은 인류사상 처음의 일이며, 인간이 원자가 갖는 에너지를 손에 넣었다는 사실이 중요한 뜻을 가지고 있는 것이다.

페르미의 일생

페르미 통계, 원자의 토마스 페르미 모형, 소립자간의 페르미 상호작용, 원자핵에너지의 해방 등 금세기 전반의 물리학사에 불후의 이름을 남기고 있는 엔리코 페르미는 1901년 9월29일 로마에서 태어났다. 피사의 고등사범학교를 졸업하고 26세의 젊은 나이로 로마대학의 교수가 되었으며, 중성자에 의한 인공방사능의 발생과 감속된 중성자에 의한 방사능의 증대를 발견하였다. 이 발견이 훗날에 원자핵 에너지의 이용인 원자로와 원자폭탄의 완성으로 이르게 된 것이다. 이 일에 대하여 1935년에 특허를 얻고, 1938년에는 노벨물리학상을



〈그림 4〉 엔리코 페르미가 핵분열연쇄반응에 성공하는 모습의 상상도

받았는데, 그 해 이탈리아에는 인종법이 공포되어 유대인인 처 라우라(Laura)의 신변에 불안을 느낀 페르미는 수상식 직후에 미국으로 망명하여 컬럼비아대학의 교수가 되었다(1939년).

마침 이때 독일에서 우라늄의 핵분열을 발견하였다는 소식을 듣고 곧 연쇄반응의 기초를 확립하여, 1942년 12월2일 시카고대학에 건설한 원자로에서 사상 처음으로 제어된 연쇄반응을 실현시켰다. 이보다 앞서 페르미는 도미한 2개월 후에 핵분열에너지를 폭탄에 이용할 수 있는 가능성을 해군성에 설명하였다. 1942년 여름에는 폭발적인 연쇄반응에 의한 원자폭탄의 제조를 목표로 하는 맨해튼계획이 발족되었는데 페르미는 그 중에서도 중심적인 역할을 다하여 계획을 완성

시켰다.

그 뿐만 아니라 페르미는 日本에 대한 원자폭탄 무경고사용을 대통령에게 권고한 위원회의 과학고문 회의에서 4명 과학자 중의 한 사람이었다. 프랭크보고서에는 원자폭탄의 사용반대를 주장하는 참가과학자의 여론 속에서 페르미가 어떠한 이유를 근거로 맨해튼계획의 결정에 판단을 내렸는지는 끝끝내 말하지 않았다고 기술되어 있다.

한편 「위험과 희망」의 저자 A. K. 스미스는 「페르미의 동료들은 누구 한 사람도 그에게 정치적 판단력이 있다고 생각하지 않았다. 그는 과학 이외의 문제에 대한 견해를 공개하는 것에는 매우 신중하였다」라고 쓰고 있다.

세계대전 후에는 시카고대학의 교수가 되어(1945년) 중성자회절,

우주선이나 중간자의 연구에 종사하였다. 페르미의 일은 어느 것이나 명쾌하였고 핵심을 찌르고 있었다. 이론에서도 실험에서도 불멸의 업적을 남긴 페르미는 1954년 11월 28일 암으로 53세로 별세하였다. 다음해인 1955년에 인공적으로 만든 원자번호 100의 원소가 페르뫼(Fm)으로 명명되었다.

페르미의 주요 저서로는 「Introduction to Atomic Physics」(1928), 「Thermodynamics」(1937), 「Elementary Particles」(1951) 등이 있다. 페르미에 관한 책으로는 페르미부인 저 「Atoms in the Family」(1954), 드 라테일 저 「엔리코 페르미」(1969), H. D. 스키스 저 「원자폭탄의 완성」(1951), A. K. 스미스 저 「위험과 희망」(1968) 등이 있다.■