

# 현대문명의 빛과 그늘 「원자력」

한국원자력문화재단 제공

한국 표준형원전의 효시이며 단위기 용량으로는 국내 최대인 100만kW급 영광원전 3,4호기의 성공적인 완성으로 우리나라는 모두 11기의 원자력발전소를 보유하게 되었고 지난 해는 3752만kW의 총발전설비 용량 중 27%를 원전 설비가 점유하기에 이르렀다.

이제 원자력은 분명히 우리곁에 와있고 우리는 그 혜택을 누리면서 문명을 구가하고 있다. 그러나 원자력에 대한 국민적 합의는 여전히 어려운 가운데 사회적인 낭비가 계속되고 있다.

지난해 말 한국원자력문화재단에서는 “현대문명의 빛과 그늘 「원자력」 (동아일보 편집위원 이용수 박사 지음)”이라는 제호의 책자를 발간한 바, 원자력에너지의 이용에서부터 안전성 및 방사성폐기물 처리문제, 그리고 원자력이 국제적인 위상에서 차지하는 비중과 원자력에 대한 국민이해에 대한 내용까지 원자력시대에 살고 있는 우리에게 ‘에너지로서의 원자력에 관한 모든 것을 이야기해 주고 있는데, 이번호부터 그 내용을 연재로 게재한다.

<편집자 주>

## I. 물질과 에너지

### 1. 에너지는 문명의 젖줄

인류역사 가운데 불의 발견만큼 위대한 발견도 없다. 인류문명은 불의 발견에서 비롯된다. 불을 사용하지 않았던 인간은 동물의 삶과 다를 바 없다. 원시인은 불을 사용하지 않았다. 불이라는 강대한 에너지를 자연에서 얻게 된 인간은 마침내 자연을 지배하면서 오늘날과 같은 찬란한 문명을 꽃피웠다.

에너지를 사용하지 않는 사회는 불을 사용하지 않았던 원시사회 바로 그것이다. 만약 에너지가 없다면 취사나 난방 등 가정생활용구에서부터 교통기관이나 산업시설은 물론 문명의 첨단장비인 컴퓨터도 쓸모없는 것이 되고 만다. 문명의 이기들은 바로 에너지를 이용함으로써 그 기능을 다하고 있다. 오늘날 세계 각국이 에너지자원을 확보하려고 안간힘을 쓰는 것도 바로 이 때문이며 또 나라마다 에너지를 전략물자로 생각하고 있는 것도 에너지가 곧 국가안보와도 깊은 관계가 있기 때문이다

#### I 물질과 에너지

- II 원자력시대에 산다
- III 방사선과 인간생활
- IV 방사선 이용
- V 원자력 사고
- VI 꿈의 핵융합로
- VII 원자력과 국제정치
- VIII 아쉬운 정책지원
- IX 원자력과 국민이해

특히 지난 1973년 중동전쟁이 터져 오일 쇼크가 세계를 휩쓸었을 때 세계 각국은 지금까지 석유에 의존하여 오던 에너지 정책을 전면적으로 재검토해야 한다고 주장하기 시작했다. 대체에너지 개발에 대한 관심이 세계인의 가슴에 와닿기 시작한 것이다. 그러나 에너지 위기에서 비롯된 90년의 걸프전이 끝나면서 대체에너지의 이용방법들도 다시 빛을 잃고 있다. 물론 대체에너지의 생산비가 비싸고 기술적인 어려움 등이 있어 본격적인 실용화도 되지 못하고 있다. 일부 국가에서는 이들 대체에너지를 보다 효율성이 있는 21세기의 에너지원으로 보고 이용기술 개발에 열을 올리기도 한다.

현재 부분적으로 이용되고 있는 에너지는 태양열, 풍력, 바이오매스, 조력, 지열, 연료전지 등이다. 그러나 이들 에너지는 아직 보조에너지원으로밖에 이용할 수 없는 한계를 가지고 있다. 기술적인 문제와 경제성 때문이다.

인간이 가장 많이 기대하고 있는 대체에너지는 태양 에너지이다. 태양에너지는 지구생명체의 생명활동을 가능하게 하고 있다. 지구로부터 1억 5천만km 떨어져 있는 태양은 매일 약  $8.33 \times 10^{25}$  kWh에 해당하는 복사 에너지를 우주공간으로 방출하고 있다. 이 가운데 지구가 받아들이는 에너지의 양은  $4,314 \times 10^{15}$  kWh에 불과하다. 나머지는 지구 대기권을 통과하면서 대기에 흡수되거나 산란되어 우주속에 머문다.

이 태양에너지는 지구의 위치에 따라서도 달라진다. 즉 양극지방에서는 받는 태양에너지의 양은 m<sup>2</sup>당 500kWh에 불과한 반면 열대지방은 m<sup>2</sup>당 2,500kWh의 태양에너지를 받는다. 우리나라는 m<sup>2</sup>당 1,250~1,500kWh의 태양열을 받는 것으로 알려졌다.

미국 서부의 모하비 사막에는 세계 최대의 태양열발전소인 솔라Ⅱ라는 발전소가 있다. 2천여 개의 거울로 햇빛을 686m의 탑 꼭대기에 있는 집열판에 모으고, 여기에 모아진 566℃의 열로 액화나트륨을 가열하여 순환시키면서 전기를 얻는 것이다. 오는 1998년까지 시험운동을 거쳐 효율성이 증명되면 이 태양열발전소는

사막지역인 캘리포니아를 비롯하여 인근의 네바다, 콜로라도, 뉴멕시코주 등에 있는 사막지대에 건설된다는 것이다. 그렇게 되면 그동안 쓸모없이 버려지고 있던 이 사막지대가 태양열발전의 메카가 될 것으로 관계자들은 기대하고 있다.

최근에는 태양광을 에너지로 전환해서 사용하는 방법이 크게 발전하고 있다. 즉 태양전지를 만들어 태양광을 에너지로 활용하는 것이다. 이 방법은 이미 우주선의 동력으로 쓰이고 있다. 또 무인등대나 가로등에도 쓰이기 시작하고 있으며 기술개발여하에 따라 그 효율성은 크게 확대될 것으로 보인다. 앞으로 태양에너지를 이용하는 방법은 태양열을 모으는 집열시스템과 태양전지의 연구결과에 따라 다시 없이 좋은 깨끗한 에너지를 인류에게 선사할 것으로 보인다.

풍력은 공기의 흐름인 바람을 이용하여 동력을 얻는 것이다. 네덜란드에서는 이미 오래 전에 풍차를 동력으로 이용하였으며, 최근 미국이나 독일 등에서는 풍력을 이용한 발전기가 지역주민들에게 전기를 공급하고 있다. 국내에도 제주도를 비롯 일부 도시지방에서 실험적인 풍력발전소가 가동되고 있다.

바이오매스자원도 에너지를 얻는 좋은 자원이다. 이것은 버려지는 식물의 폐기물을 이용할 수 있다는 면에서 바람직하다. 즉 공장이나 도심지에서 많이 나오는 유기물을 이용하여 에너지를 얻거나 농촌지방에서 나오는 가축분뇨, 볏짚 등 농산물과 축성 임산물을 재배하여 에너지를 얻는 것이다. 그러나 이것도 아직 기술적인 측면과 효율성에서 문제점이 있어 본격적으로 이용되지 못하고 있다. 브라질이나 인도 등 일부 국가에서 부분적으로 이용되지 못하고 있다. 브라질이나 인도 등 일부 국가에서 부분적으로 이용되고 있는 실정이다.

간만의 차이를 이용하는 조력이나 바다의 온도차를 이용하는 온도차발전 등 해양에너지를 활용하려는 연구도 있다. 그러나 그 성과는 미미하다. 다만 프랑스는 랑스에 23만kWe의 조력발전소를 건설하여 운영하고 있다.

지열은 지구중심부에 있는 1000℃에 가까운 열을 이용하려는 것이다. 땅속으로 1km씩 들어 갈 때마다 온도는 30℃씩 높아진다. 따라서 지하 3km에 이르면 이곳의 온도는 90℃가 되고 9km에 이르면 270℃에 이른다. 1900년대 이탈리아에서 처음으로 지열발전이 성공을 거둔 이래 일본이나 미국 등에서 지열발전을 시도하여 여러 곳에서 지열발전을 하고 있다. 우리나라는 지열발전을 이용할 만한 자원이 없는 것으로 알려졌다.

앞으로 기대를 모으고 있는 에너지원 가운데 수소가 있다. 수소는 미래의 에너지원으로 갖춰야 할 조건인 '자원이 많다'는 것과 '공해가 없다'는 것이 큰 장점이다. 수소는 열량면에서도 기존의 천연가스나 도시가스보다 수십배나 높기 때문에 에너지효율도 월등하게 높다. 이런 장점 때문에 로켓연료 등으로 이미 사용되고 있으나 생산비용이 많이 들어 실용화가 늦어지고 있는 실정이다.

현재까지 수소를 에너지로 이용하려는 연구에 가장 큰 장애가 됐던 점은 수소를 저장할 만한 마땅한 방법이 없었다는 점이다. 최근에는 미국 시라쿠스 대학 연구팀이 수소 저장을 종전의 4%에서 12%까지 획기적으로 높일 수 있는 방법을 개발하여 수소에너지화의 장래를 밝게 해 주고 있다.

그외 중요한 에너지원으로 연료전지가 있다. 이것은 물을 전기분해하면 산소와 수소가 생기는 원리를 거꾸로 이용한 것이다. 즉 수소분자와 산소분자를 작용시켜 전기와 물을 얻는 방법이다. 산소는 공기중에 무한히 있으며 수소는 물이나 천연가스 등으로부터 얻을 수 있다. 또 에너지변환율에 있어서도 기존의 화력발전은 38~40%에 불과하나 연료전지는 50~60%로 무척 높다. 이 방법은 이미 아폴로와 제미니 우주선에서 이용되었다. 우주인들이 마시는 물은 바로 이 방법으로 얻은 것이다. 앞으로 이 방법은 공기 중에서 쉽게 산소를 얻거나 혹은 물에서 쉽게 산소와 수소를 얻는 방법이 개발되면 에너지의 혁명을 가져올 기술로 평가받고 있다.

현재 세계적으로 가장 많이 이용되고 있는 에너지자원을 화석연료다. 화석연료는 오랜 옛날에 지구에 있던 식물들이 땅속에 묻혀 탄화되어 생긴 것이다. 화석연료에는 석탄과 석유, 천연가스가 있다. 그러나 이 화석연료는 매장량이 한정돼 있어 언젠가는 바닥을 드러낼 것이다. 또 이것을 태울 때 나온 이산화탄소가 대기오염의 주범이란 세계적인 비난 때문에 화석연료를 대신할 새로운 에너지원의 확보는 중요한 인류의 과제로 부각되고 있다.

매장량이 확인된 지구상의 화석연료는 석유가 6970억여 배럴로 현재의 소비추세로 가면 앞으로 자유세계는 42년이면 바닥이 나고 그래도 여유가 있다는 중동지역의 석유도 78년 정도 쓰면 바닥이 난다. 또 비교적 풍부하다는 석탄도 세계 매장량이 5000억여 톤에 불과해 앞으로 100여년이면 고갈된다는 계산이다. 역시 화석연료인 천연가스의 매장량도 1백여조m<sup>3</sup>로 중동 아프리카지역을 제외하고는 50여년밖에 쓸 수 없어 머지않아 한계를 드러낼 것이 분명하다.

세계의 석유자원 현황을 손금보듯 환히 들여다 보고 있는 미국 ARCO사의 지구물리실장인 톰슨 박사는 "석유탐사분야에 종사하는 사람 가운데 그들의 자녀들에게 석유탐사에 종사하라고 권하는 부모는 아무도 없다"고 말한다. 이런 현상은 그만큼 석유자원분야에의 연구가 한계에 와 있음을 고백한 것이다.

지난 1958년부터 10년간 인간이 사용한 석유는 22억 7천여만 배럴로 추정하고 있다. 이것은 인류가 석유를 이용하기 시작한 후의 사용량과 맞먹는다. 이 가운데 받은 초기 1백년 사이에 사용했고 나머지 받은 지난 20년 사이에 사용한 것이다. 그만큼 에너지소비는 가속적으로 늘어나고 있음을 보이고 있다. 이같은 에너지소비의 증가추세는 소비량이 배가 되는 시간을 점점 앞당기면서 에너지 위기를 가속시키고 있다.

우리나라는 지난 60년대 초까지만 해도 국내에서 조금씩 생산되는 석탄 등으로 그럭저럭 수요를 충당했다. 그러나 그 이후 경제개발이 시작되고 경제규모가 커지

면서 에너지수요도 급증하여 1978년에는 총발전량 315억kWh의 83.9%를 수입기름에 의존했다. 그리고 1995년에는 총 에너지수요의 96.7%를 해외에서 수입했고, 이 액수는 지출되는 외화의 18%를 차지했다.

1995년을 기준으로 국내의 에너지자원별 사용비율은 석유가 62.6%, 석탄이 19.5%로 화석연료가 여전히 대부분을 차지하고 있다.

신탄, 수력은 합쳐서 1.6%, 원자력은 11.2%에 이르렀다. 국내 유일의 에너지 자원인 석탄의 경우 채탄 가능한 매장량은 4억 427만여t(매장량은 14억 9300여만t)에 불과하다. 지난 1988년 기준으로 매년 2400만t씩 캐내던 석탄은 '95년의 경우 531만 9600여만t으로 줄었다. 석탄채굴이 이처럼 줄어들고 있는 것은 심부채탄 등 여건이 어려워지면서 경제성이 문제가 되고 있기 때문이다. 아껴써도 우리의 석탄은 1백년 이내에 바닥이 난다.

이같이 계속 줄어드는 화석연료에 대비하여 인류는 새로운 에너지원으로 원자력에 목줄을 매고 있다. 원자력을 가장 많이 쓰는 프랑스의 경우 발전량의 76.1%(1995년 기준)를 원자력에 의존하고 있다. 우리나라는 1988년에 53.1%, 91년에 47.5%, 95년에 36.3%의 발전량을 원자력이 담당했다.

원자력이 일반에 널리 알려지기 시작한 것은 지난 1945년 8월 6일과 9일 일본의 히로시마와 나가사키에 각각 떨어진 원자폭탄 때문이었다. 불과 5t(실제로 사용된 핵연료는 수십kg)으로 두 도시를 불바다로 만들었다. 이로 인한 사상자는 히로시마에서만 36만 5천여명이나 됐다. 원자력의 무서움과 함께 그 에너지의 위력을 실제로 확인한 것이었다.

무기로 사용되던 원자력을 평화적인 목적으로 이용하게 된 것은 1942년 미국의 핵 물리학자인 페르미(Enrico Fermi, 1901~1954)가 무절제하게 일어나던 핵분열을 조절할 수 있는 기술(원자로)을 개발하면서부터다. 핵무기는 거의 100%로 농축된 핵물질인 우라늄 235나 플루토늄을 쏜다. 그러나 발전용으로 쓰이

는 핵물질은 고속중성자에서 23% 정도, 가압경수로에서 3~4% 농축된 우라늄 235를 쏜다.

천연우라늄을 쓰는 중수로원전도 있다. 사용되는 핵물질의 농축도만 다른 것이 아니라 인간이 필요에 따라 핵분열을 마음대로 조절할 수 있다는 것이 핵무기와 근본적으로 다른 점이다.

옛날에는 근육이 센 동물이나 사람이 승자가 되어 남을 지배했다. 그러나 도구가 발명되기 시작한 다음부터는 보다 좋은 장비와 머리를 쓰는 자가 싸움에서 이겼다. 그러다가 무기와 도구를 불의 힘으로 움직이게 된 후에는 누가 더 많고 강한 화력을 동원할 수 있느냐에 따라 승자와 패자가 결정됐다. 1,2차 세계대전의 결과를 보면 그것은 더욱 분명해진다. 그 중에서도 새로운 에너지인 원자력의 이용은 전쟁에서의 승자와 패자를 분명히 갈라놓았다. 화력 즉 에너지의 사용량과 그 방법이 승전국과 패전국을 갈라놓는 변수가 된 것이다.

지난 1973년 첫 오일 쇼크가 발생했을 때 미국 필라델피아의 인콰이어러 신문은 다음 해에 북한이 남침을 해올 가능성이 대단히 높다고 분석한 글을 실었다. 이 때 이 신문은 공산국과 대치하고 있는 한국과 월남은 공산국의 침략대상이 되며 한국보다 월남이 훨씬 더 절박한 전쟁위험에 쫓겨있을 것이라고 전망했다.

이 신문의 이러한 판단 근거는 바로 오일 쇼크 때문이라고 분석했다. 이 기사를 쓴 기자는 "요즘 세계적인 에너지위기 때문에 미 공군의 비행시간이 18%나 감소되었고 미 7함대의 운행일수가 3분의 1이나 줄어들었기 때문에 이 감시체제에 의존하고 있는 월남과 한국 등 동남아시아의 평화가 심한 위협을 받고 있다"고 풀이했다. 물론 그의 분석은 단순한 에너지위기에 초점을 맞춘 것이 아니고, 그외 이들 국가의 사회현상 등을 종합적으로 분석한 것이지만 에너지위기가 당장 국방에 영향을 미치고 있음을 생생히 보도하여 한때 우리 정부를 긴장케 한 적이 있다. 물론 월남은 지난 1975년 4월 30일에 월맹의 수중으로 떨어졌다.

1979년 2차 오일 쇼크에 이어 '90년 8월에 일어난

걸프전도 전쟁당사국인 이라크와 쿠웨이트가 서로 자국의 석유를 도둑질했다는 주장이 분쟁의 불씨였다. 또한 당시 계속 하락하던 기름값을 조절하면서 중동의 실력자로 군림하기 위한 후세인의 구상과도 무관하지 않다. 세계 원유의 3.5%를 공급하는 쿠웨이트를 포기하는 것은 자유세계의 에너지자원을 잃는 것이었으며, 그래서 미국의 개입은 당연했는지도 모른다.

오늘날 강대국의 의미는 에너지원을 얼마나 많이 가지고 있고 그 이용기술이 어떠한가에 따라 평가된다. 물론 '에너지가 곧 국력'이라는 말은 단순히 국방에서만 강조되는 말은 아니다. 에너지는 산업 현장이나 일반 문화생활에서도 필수적인 요인이다. 에너지 사용량은 바로 생산의 바로미터이며 쾌적한 문화생활의 척도가 되고 있다. 오늘날 각종 산업은 하나의 제품을 만들어 내는데 얼마만큼 에너지를 투입하느냐에 따라 세계적인 경쟁력을 갖느냐 그렇지 않느냐의 기로에 선다.

오늘날 우량기업이나 미래지향적인 업종을 판단하는 척도로서도 에너지의 소모량이 중요한 기준이 되고 있다. 에너지를 적게 사용하는 업종이 세계적인 경쟁력을 갖출 수 있다는 것이다. 첨단 산업이란 이처럼 고급스러운 에너지의 질과 사용되는 에너지의 양이 적은 업종을 말한다. 에너지는 그만큼 현대산업의 요체가 되고 있는 것이다.

어디 생산시설 뿐인가. 오늘날 쾌적한 문화생활이란 바로 에너지를 얼마나 많이 사용하느냐로 가늠된다. 인간은 불을 발견하면서 이를 이용하는 기계를 발명하여 생산성을 높였고 문명생활을 즐겼다. 그리고 전기가 발명되면서 현대문명의 척도는 에너지의 사용량으로 평가되고 있다. 에너지를 제대로 이용하지 못하고 있는 사회는 원시사회를 방불케 한다.

세계 최강국이라는 미국은 1993년을 기준으로 1년에 한 사람이 11,553kWh의 전기를 썼고 일본은 5,910kWh('94년 기준)를 사용했다. 대만은 5,112kWh, 한국은 3,297kWh를 썼고 중국은 589kWh를 소비했다. 수력이 풍부한 노르웨이는 24,756kWh를 소비,

세계에서 가장 전기를 많이 쓴 나라로 나타났다. 에너지없이 문화의 향유는 없다.

에너지는 이제 바로 한 나라의 힘의 원천이 되고 있다. 에너지 자립이 없는 나라는 진정한 독립국가가 될 수 없다는 인식이 세계를 지배해 가고 있다. 현대적 의미의 에너지원은 자원 그 자체만이 아니라 이 자연자원을 에너지로 이용할 수 있는 기술까지를 포함하고 있다. 원자력기술이란 바로 자연자원을 슬기롭게 이용하는 두뇌에너지다.

물론 에너지가 국력임을 가장 실감케 한 것은 지난 1973년의 에너지 쇼크다. 에너지가 전력물자임을 세계는 확인한 것이다. 이를 예견한 미국은 이 해 처음으로 에너지에 관한 중요한 조치인 '에너지교서'를 발표했다. 이것은 새로운 에너지자원의 개발과 에너지 소비 억제 및 에너지 수입 확대에 관한 것이었다. 풍부한 에너지 자원을 가지고 있으면서도 에너지 수입원을 다변화하려 한 당시 닉슨대통령의 정책은 에너지를 무기화하려는 중동 산유국들의 정책을 더욱 강화시켰다는 비난도 받았으나 이때부터 세계는 에너지의 중요성을 더욱 실감했다.

에너지 쇼크에 대해 선진국들이 더욱 민감한 반응을 보이고 있는 것은 만약 에너지 부족현상이 심각해진다면 소위 선진문명국들이 더 심각한 타격을 받을 것이 뻔하기 때문이다. 그래서 문명국일수록 에너지는 더욱 소중한 삶의 젖줄이 되고 있으며 따라서 그만큼 다양한 에너지 정책과 미래를 전망하는 연구가 깊다. 미래학자들은 한결같이 에너지를 어떻게 잘 이용하느냐에 따라 인간의 미래 운명이 결정된다고 전망하고 있다.

따라서 완벽한 에너지원이 발견되지 않고 있는 현실에서 에너지 정책은 초미의 급박한 국가정책이 될 수밖에 없다. 산유국들도 자국의 이익 때문에 자원 수출을 언제든지 통제할 가능성을 가지고 있다. 에너지자원부국에 의한 이런 조치가 일어나지 말라는 보장은 없다. 그래서 에너지자급에 대비하는 것은 바로 생존의 길을 모색하는 것이며 부국(富國)의 꿈을 키우는 전략이기도 하다.

## 2. 원자의 세계는 작은 우주

원자력을 흔히 머리를 써서 만들어내는 에너지라고 말한다. 그것은 석탄이나 석유처럼 땅에서 파내어 바로 에너지원으로 사용할 수 있는 것이 아니다. 원자력을 얻기 위해서는 머리를 쓰는 고도의 기술이 필요하기 때문이다.

세상 만물을 구성하고 있는 모든 물질이 에너지 덩어리라는 사실은 흥미롭다. 흔히 가연성 물질만 불에 타면서 에너지를 내는 것으로 생각하기 쉽다. 그러나 불에 타지 않는 물질에서도 에너지를 얻는다. 물질을 이루는 핵을 분열시키든가 혹은 융합시키면 된다.

그러나 핵분열이나 핵융합은 그리 쉬운 일이 아니다. 고도의 과학 기술이 필요하다. 그래서 원자력을 지식에너지라고 말하기도 한다.

오늘날 우리가 이용하는 원자력발전은 핵분열에서 얻은 에너지이고, 핵융합은 핵의 융합에서 얻은 에너지이다.

물질이 에너지 덩어리라는 것은 위대한 과학자 알버트 아인슈타인(Albert Einstein, 1879~1955)박사에 의해 주장되었다. 그리고 그의 주장은 여러 물리학자들의 실험에 의해 확인됐다. 그는 물질이 에너지를 만드는 양을 다음과 같은 수식으로 표현했다.

$$E=M \times C^2 \text{ (E는 에너지, M은 질량, C는 빛의 속도)}$$

자연계에서 에너지의 많고 적음에 따라 그 상태가 변하는 현상이 여럿 있다. 그 가운데 대표적인 것이 물과 얼음 및 수증기의 변환이다. 얼음에 열을 가하면 녹아서 물이되고 더욱 열을 가하면 증발하여 수증기가 된다. 나무는 타면서 열을 내고 재가 되며 우라늄은 핵분열을 일으키면서 많은 열을 낸다. 이 가운데 얼음이 물과 수증기로 변하는 반응은 물리반응이며, 나무가 타는 것은 화학반응이다. 식물이 광합성이란 과정을 통해 태양에너지를 탄수화물이란 새로운 물질로 만드는 것도

화학반응이다. 핵이 깨지고 융합하는 것을 핵반응이라고 한다. 물리반응이나 화학반응은 우리 주변에서 흔히 볼 수 있지만 핵반응은 쉽게 볼 수 없다. 이 반응은 특별한 장치가 필요하다.

우라늄이 핵분열하여 많은 에너지를 내는 핵반응이 알려진 것은 그리 오래된 일이 아니다. 그래서 사람들은 이런 현상을 아주 생소한 반응으로 받아들인다. 존 콕크로프트(John Douglas Cockcroft, 1897~1967)와 달톤(John Dalton 1766~1844)등 2명의 영국 과학자들은 수소이온을 리튬이란 원소에 충돌시킨 결과 2개의 헬륨이 생겨나면서 동시에 많은 에너지가 생겨남을 발견했다. 이 실험은 알버트아인슈타인이 그의 상대성원리에서 도출한 에너지와 물질의 일반법칙인  $E=M \times C^2$ 을 확인시켜 준 것이다.

핵반응에서는 물질을 이루는 중심인 원자핵이 파괴됨으로써 물질의 구조가 근본적으로 바뀐다. 하나의 원소가 소멸되면서 에너지와 함께 새로운 원소가 생겨난다.

그러나 화학반응에서는 그 물질을 구성하고 있던 원소는 파괴되지 않고 물질의 성질만 변한다. 물리반응에서는 물질의 성질은 변하지 않는 채 모양만 바뀐다.

그러면 실제로 물질 1g이 핵반응을 일으킬 때 얻을 수 있는 에너지는 어느 정도인가. 오늘날 핵연료로 널리 이용되고 있는 우라늄을 맨처음 인공적으로 핵분열시키는데 성공했던 독일인 과학자 오토 한(Otto Han, 1936~1968)은 우라늄 235에 중성자를 충돌시켰더니 그 우라늄원자가 2개로 분열하면서 중성자 두 개와 무려 2억전자볼트(1전자볼트는 전자 1개가 1볼트의 전압에서 가속되는 에너지)의 에너지가 생겨남을 알았다. 1전자볼트는  $1.6 \times 10^{-12}$ 에르그라는 매우 보잘 것 없는 에너지의 양이다.

이처럼 원자 1개가 분열할 때 생기는 에너지는 아주 보잘 것 없는 것이지만 우라늄 1g이라고 하면 문제는 달라진다. 농축우라늄 1g에는 1조의 25억배나 되는 원자가 들어 있다. 따라서 이 원자들이 모두 핵분열을 일으킬 때 내는 에너지의 양은 어마어마하다. 그 양을 같

로리로 환산하면 무려 20조 칼로리나 된다. 이 열량으로 물 20만t을 끓일 수 있다. 또 이것은 3t의 석탄과 10드림의 석유에 해당되며 TNT폭약으로 치면 약 20t이나 된다. 이것을 전력으로 따지면 2,300kWh가 되는 셈이다. 바로 이 에너지가 원자력발전이나 원자폭탄에 이용되는 것이다.

그러나 핵반응(핵분열 혹은 핵융합)을 일으키는 일은 그리 쉬운 일이 아니다. 현대의 첨단 과학장비인 가속기를 쓰면 매초 약 10억개의 원자핵반응을 일으킬 수 있다. 이것은 인공적으로 핵을 깨뜨리기 위한 것이다.

물론 자연에 있는 많은 방사성물질에서도 핵반응이 일어난다. 그러나 이 경우에는 대부분 두 세 개의 원자핵만이 붕괴되기 때문에 크게 문제가 되지 않는다. 원소 가운데 질량수가 60 근처의 것들이 가장 안정된 원소들이다. 그 이하의 원소들은 다른 원소와 결합하려 안절부절하고 그 보다 질량수가 무거운 원소들은 방사선을 내면서 붕괴하여 스스로 안정된 원소로 변하려 한다.

따라서 핵분열에는 무거운 원소들이 이용되고 핵융합에는 가벼운 원소들이 이용된다.

인공적으로 핵반응을 일으키기가 어려운 첫 번째 이유는 원자핵의 크기가 너무 작기 때문에 이 핵을 깨뜨리기 위한 입자가 들어와도 핵을 정확히 맞추기가 힘들다. 두 번째는 핵을 깨기 위해 사용되는 알파선과 같은 입자는 양전기를 띠고 있어 원자핵이 가지고 있는 양전기와 작용하여 서로 반발해 접근이 어렵다. 핵을 인공적으로 깨뜨리는데 성공했던 어네스트 러더퍼드(Ernest Rutherford 1871~1937)도 질소에 알파입자를 충돌시킬 때 찍은 50만 장의 사진 가운데 8장에서만 핵반응이 일어난 것을 확인했을 정도이다.

물질이 에너지로 바뀌는 것만이 아니고 에너지가 새로운 물질을 만들기도 한다. 실제로 이러한 현상은 원자력발전소의 원자로에서도 일어나는 일이다. 즉 파동의 일종으로 강력한 에너지를 가진 감마선이 무거운 원자핵에 부딪치면 감마선은 없어지면서 전자 1개와 양전

자 1개를 만들어 낸다. 그 반대로 전자 1개와 양전자 1개를 합치면 감마선이 생기면서 물질인 전자와 양전자가 소멸되는 것이다. 이처럼 원자는 그 핵끼리 부딪치고 깨져 막대한 힘을 내거나 외계의 에너지에 의해 새로운 물질로 태어나기도 한다.

물질을 이루는 원자의 세계를 흔히 소우주에 비유한다. 마치 수천억 개의 여러 별들이 우주를 이루듯 무수한 소립자들이 물질을 이루고 있기 때문이다. 우주를 극대(極大)의 세계라고 한다면 원자의 세계는 극미(極微)의 세계다.

은가루를 뿌린 듯 여름밤 하늘을 가로질러 있는 은하수만도 2천여억 개의 스스로 빛을 내는 항성으로 이루어진 별들의 무리다. 우주에는 이같은 별의 무리(은하계)가 2천여억 개 있는 것으로 알려지고 있다. 은하계에 속해 있는 태양도 하나의 은하계 중심에서 3만 광년 떨어져 있다. 은하계의 반지름만도 5만여 광년에 이른다. 1광년이란 1초에 30만km로 달리는 빛이 1년 동안 가는 거리를 말한다.

지금까지 지구에서 관측된 별 가운데 가장 멀리 떨어져 있는 별은 퀘이자(Quasar)SO란 별로 알려져 있다. 이것도 일종의 은하다. 그러나 보통의 은하보다 많은 에너지를 가지고 있는 것이 특징이며 태양계로부터 떨어진 거리는 약 120여억 광년이다. 지금 퀘이자를 본다는 것은 1백여억 년 전에 퀘이자에서 나온 빛을 보는 것이다. 최근에는 은하수에서도 1백억 광년의 것이 있는 것으로 알려지고 있다.

이런 별들은 지난 1990년에 미국에서 발사되어 우주 공간에 떠 있는 허블망원경으로 관측되고 있다. 이 망원경의 지름은 2.5m다. 이 망원경은 대기권을 벗어나 우주에 올려져 있기 때문에 지구에서 보기보다 해상도가 선명하다. 우주에는 공기가 없기 때문에 빛이 흩어지지 않아 멀리서 오는 빛도 허블망원경은 깨끗하게 잡을 수 있다. 이 망원경이 이용되기 전에는 러시아의 특수천체물리연구소에 있는 직경 6.3m나 되는 광학망원경이 우주의 신비를 캐는데 크게 기여했다. 이처럼 우

주는 인간의 상상을 초월한 극대의 세계다.

이와 반대로 원자의 세계는 또한 상상을 초월한 극미의 세계다. 물질을 이루는 최소단위인 원소는 원자라는 기본입자로 되어 있다.

이것은 핵을 이루는 양성자와 중성자 그리고 그 주위를 도는 전자로 구성되어 있다. 보통 원자의 크기는 반지름이 1억분의 1cm도 안된다. 가는 머리카락의 직경이 1만분의 1cm인 것을 생각하면 원자의 크기가 얼마나 작은가를 가히 짐작할 수 있으리라.

지구상에 있는 물질 가운데 가장 간단한 수소의 경우를 보자 직경 19cm크기의 테니스 공을 수소의 원자핵이라고 하자. 그러면 수소원자 전체의 크기는 지름이 1만m나 되는 거대한 공이 된다. 그안에는 원자핵 크기만한 전자 한 개가 지름 1만m의 둘레를 외롭게 돌고 있

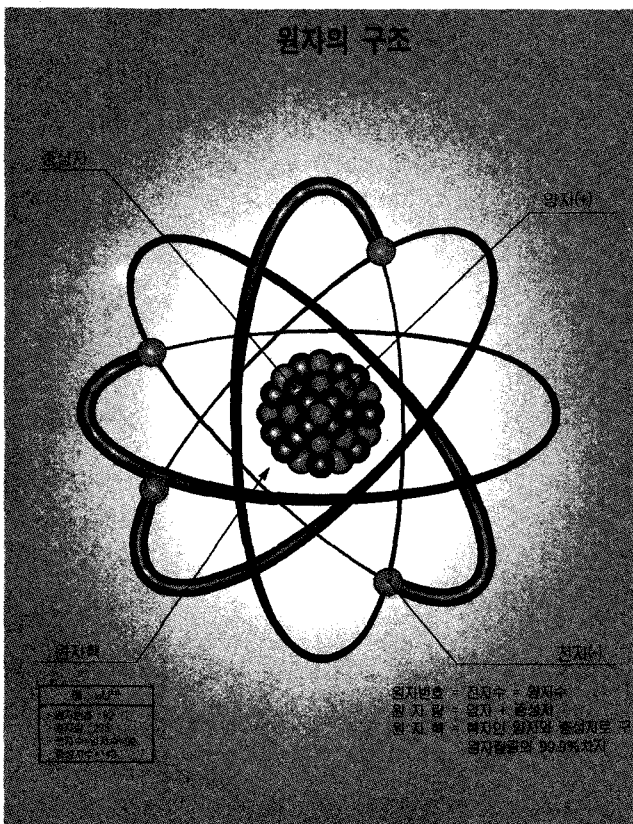
는 것과 같다. 또 이 세상에서 가장 가볍다는 수소 원자 1개의 무게는 1억분의 1g의 1억분의 1의 또 1억분의 1이다. 과학자들은 이것을 이야기할 때 수소 원자의 질량은  $10^{-24}$ g(소수점 이하 0이 23개 나란히 있고 그 다음에 1이 온다)이라고 말한다. 이것을 다른 말로 하면 수소 1g 속에는 수소원자가 1억의 1억배가 들어 있다는 말이다. 원소 중에서 가장 무겁다는 우라늄은 1g속에  $10^{22}$ 개의 우라늄원자가 들어 있다.

원자핵은 양전기를 띤 양성자와 전기적 성질을 띠지 않는 중성자 및 음전기를 띤 전자로 되어 있다. 그래서 하나의 원자는 전기적인 평형을 이룬다. 기묘한 것은 양성자의 수와 전자의 수가 어느 원자에서나 같다는 사실이다. 양성자의 수를 원자번호라고 한다. 이것은 바로 원자의 주민등록번호와 같은 것이다. 원자번호는 원소의 종류와 성질을 결정하는 아주 중요한 요소가 된다. 산소, 수소, 탄소의 원자번호는 다르다. 그것은 곧 이들 물질의 성질이 다르다는 말과 같다.

원자의 무게는 원자핵을 이루는 양성자와 중성자의 합이다. 이를 원자량(원자의 질량수)이라 한다. 원자의 무게를 얘기할 때 전자의 무게를 치지 않는 것은 전자의 무게가 원자무게의 1,840분의 1밖에 되지 않아 거의 무시해도 좋기 때문이다. 대개의 원소들은 중성자수와 양성자수가 같아 안정상태를 이룬다. 그러나 별나게 그 수가 다른 원소가 있다. 즉 원자번호는 같고 질량수가 다른 경우를 말한다.

이처럼 원자번호는 같고 질량수가 다르다는 말은 중성자수가 다르다는 말과 같다. 이런 원소들을 동위원소라 한다.

동위원소는 쉽게 분열하려는 성질이 있다. 분열하면 방사선을 내기 때문에 특별히 방사성동위원소라고 한다. 분열하려는 성질이 있다는 것은 안정된 원소가 되겠다고 끊임없이 노력중이라는 말이다. 그래서 이들 동위원소들은 원자력발전소





의 핵연료로 많이 이용된다. 우라늄만해도 우라늄233, 우라늄 235, 우라늄238 등 3가지의 동위원소가 있다.

원자의 세계에서 중성자의 역할은 대단하다. 원자력 발전에서나 핵무기에서 큰 에너지를 얻을 수 있는 것은 중성자가 다른 원소의 핵을 파괴, 분열시킴으로써 얻어지는 질량만큼 에너지를 얻을 수 있기 때문이다. 원자력발전소에서도 핵분열이 스스로 일어날 수 있게 하기 위해서 중성자원을 넣어 주고 원자탄에도 먼저 중성자를 내는 물질을 봉지에 싸 넣어 둔다. 핵반응에서 부싯돌과 같은 역할을 하는 것이 바로 중성자이다.

오늘날 원자를 영어로 아톰(Atom)이라고 부르게 된 사유는 지금으로부터 2300년 전으로 거슬러 올라간다.

당시 그리스에는 데모크리투스(Democritus, BC 485~425)라는 웃음의 철학자가 있었다. 그는 이 세상의 물질을 더 이상 쪼갤 수 없을 정도로 작게 계속 쪼개 나가면 결국 더 이상 쪼갤 수 없는 작은 입자가 있을 것이라고 생각했다. 그는 이것을 아토모스(atomos)라고 이름지었다. 이것은 '분할(토모스)할 수 없는(아)'이라는 뜻의 그리스어다. 당시 그의 생각은 비웃음의 대상이 되었다.

그러나 1803년 영국의 존 달톤은 데모크리투스의 생각을 이어 받아 더 이상 쪼갤 수 없는 최소의 미립자를 아톰(atom)이라 이름지어 오늘에 이르고 있다.

물은 수소원자 2개와 산소원자 1개로 되어 있으나 실험탕은 탄소원자 12개 수소원자 22개 산소원자 11개로 되어 있다. 이처럼 물질마다 그 물질을 구성하는 원자의 종류가 다르다.

### 3. 현대의 연금술 핵분열 반응

중세기의 과학자들은 주술적인 방법으로 보통의 쇠붙이로 귀금속을 만들려는 연금술에 심취하곤 했다. 그들의 파나는 노력은 원자의 구조가 밝혀진 19세기 전까지 계속되었으나 그때까지 누구도 이렇다 할 성과를 거두지 못했다. 결국 그들은 원자는 결코 바꿀 수 없는 것이

라고 생각했고 원자의 구조를 바꾼다고 생각하는 것은 불가능한 것이라고 여겼다.

그러나 물질의 구조라는 것도 알고 보면 나름대로 독특한 구조를 가지고 있다. 그 구조라는 것이 바로 양성자와 중성자로 이뤄지는 핵과 그 주위를 도는 전자로 되어 있는 것이다. 중세의 연금술사들이 쇠붙이를 금붙이로 만들 수 없었던 것은 이들 물질의 구조를 다른 종류의 구조로 바꿀 수 없었기 때문이었다. 바꾸어 말하면 쇠로부터 금을 만드는 일이 불가능하다는 말은, 쇠의 원자핵은 어떠한 조작을 하더라도 그것을 금의 원자핵으로 변환시킬 수 없다는 의미이기도 하다.

그러나 현대의 과학기술은 물질의 구조를 식은 죽 먹듯이 파헤치기도 하고 바꾸고 있다. 원자핵의 주위를 도는 전자를 없애 버리기도 하고 원자핵을 쪼개어 새로운 원소를 만들어 내는 일을 예사로 하고 있다.

오늘날 원자로라는 것은 인간의 필요에 의해서, 즉 새로운 동위원소를 만들기 위한 것도 있고, 에너지를 얻기 위한 것도 있고 핵무기를 만들기 위해 플루토늄을 생산하기 위한 것 등 여러 가지 종류가 있다. 이처럼 원자로는 바로 현대의 연금술사 노릇을 하고 있는 것이다. 입자가속기도 새로운 물질을 만들 수 있다는 의미에서 현대의 연금술사 구실을 하고 있다.

원소는 변하지 않는다는 생각에 금이 가기 시작한 것은 19세기도 다 끝나가는 1886년 프랑스의 헨리 베크렐(Antoine Henri Becquerel, 1852~1908)이 우라늄에서 방사능을 발견하면서부터였다. 그가 우라늄에서 방사선이 나온다는 것을 발견한 것은 금세기 원자력 개발의 실마리를 푼 계기가 되었다.

물질을 이루는 기본요소는 원소다. 원소가 만들어지는 데는 자연적인 방법과 인공적인 방법이 있다. 현재 지구상에 존재하는 물질들은 자연적으로 만들어졌다. 대부분 우주폭발 때 만들어진 것이라고 학자들은 말한다. 지구도 우주폭발의 산물이다. 지구에 있는 어떤 물질들은 지금도 변화를 계속하고 있다. 납206, 납207, 납208 등이 그것이다. 우라늄238, 우라늄235, 토륨이

란 방사성물질이 알파선이란 방사선을 내고 각각 자연 붕괴하면서 다른 물질을 거쳐 생겨나고 있다. 알파방사선이란 양성자 2개와 중성자 2개로 된 헬륨원자가 고속으로 비행하고 있는 것과 같다.

이런 의미에서 지구는 살아 움직인다고 할 수 있다. 그 속에 있는 무생물이란 물질도 이처럼 스스로 안정되기 위해 변화를 거듭하고 있는 것이다.

납이나 우라늄에 번호가 붙은 것은 그 물질의 질량을 말한다. 이것은 핵을 이루는 양성자와 중성자의 합이다. 방사성동위원소란 방사선을 내면서 스스로 다른 물질로 변해가는 원소이기도 하다.

인공적으로 새 원소를 만드는 것은 쉬운 일이 아니다. 그것은 새로운 원자핵을 만들어야 하기 때문이다. 핵은 합성하기도 힘들고 깨뜨리기도 쉬운 일이 아니다. 지구가 탄생한 이후 고온 고열 고압 등의 나쁜 환경 속에서도 방사성동위원소를 제외한 다른 원소들은 꿈쩍도 않고 원래의 상태를 그대로 유지하고 있다는 것은 바로 '핵은 깨지기 힘든 것'임을 의미한다.

그러나 1918년 영국의 어네스트 러더퍼드는 알파입자(헬륨원자)를 탄환처럼 사용하여 이것을 질소원자에 부딪쳐 질소원자를 파괴시키는데 성공했다. 질소원자는 알파입자를 받아 산소와 수소로 변한 것이다. 이로써 인간의 힘으로 원자핵을 변환시켜 새로운 원소(물질)를 만드는 원자과학의 신기원이 이룩된 것이다.

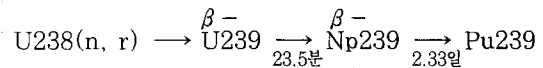
현대의 연금술사들이 만들어 낸 새로운 원소는 현재 까지 모두 15가지에 이르고 있다. 따라서 자연에 이미 존재하고 있던 92개의 원소를 합쳐 이 지구상에는 모두 107개의 원소가 존재하게 되는 셈이다.

최근에 만들어진 라서포듐과 하늄은 아직 세계적으로 인정받지 못하고 있다. 하늄과 같은 원소는 수 초 동안 지구상에서 살다가 사라져버리기도 한다. 새로 만들어지는 원소의 수명이 극히 짧기 때문에 다른 과학자들의 인정을 받지 못하는 물질도 많다. 이 신물질들은 실험 과정에서 수 초 동안 생겼다가 사라지곤 한다. 과학자들이 물질의 궁극적인 단위가 무엇인지를 계속 파고 들

고 있기 때문에 앞으로 얼마나 많은 새로운 원소들이 만들어질지는 아무도 예측하지 못한다.

이들 인공원소 가운데 인간에게 가장 많이 회자되면서 이용되고 있는 것은 플루토늄이다. 플루토늄은 핵연료 및 핵무기의 원료로 사용되고 있기 때문에 인간의 관심을 끈다. 플루토늄은 인간이 만들어 낸 인공원소다. 물질의 세계는 그만큼 오묘하며 현대 물리학 연구의 핵심분야가 되고 있는 것도 바로 이 때문이다.

플루토늄은 우라늄 238에 중성자를 쏘아 우라늄 239를 만들고 이것이 두 번의 베타붕괴를 하고 나서 생겨난 인공원소다. 베타붕괴는 베타선을 내면서 전자를 하나 잃는 물질의 변환과정이다.



원자핵을 바꾸는 여러 가지 방법들이 속속 개발되고 있다. 원자로 개발 뿐만 아니라 입자가속기가 생겨나면서 원자핵 깨기는 더욱 활발해지고 있다. 입자가속기는 원자핵을 부수는 것이 제일 큰 목적인지도 모른다. 이체는 지구상에 존재하는 원소 가운데 가장 무거운 원소인 우라늄의 붕괴도 다반사로 하고 있다. 현대의 물리학이 연금술사들의 오랜 꿈을 실현시키고 있는 것이다. 물론 우주적인 연금술사는 자연 그 자체임은 두말할 나위도 없다.

그러나 무엇보다 핵구조의 변환과 이에 따른 에너지의 이용을 가능하게 한 것은 핵분열의 연쇄반응을 인간이 마음대로 조절할 수 있게 한 것이다. 연쇄반응의 조절이 바로 그것이다. 그것은 엔리코페르미(Enrico Fermi, 1901~1954)의 업적이다.

“페르미는 이태리산 포도주의 병마개를 탄 다음 종이 컵을 동료연구원들에게 내밀었다. 잔은 채워졌고 과학자들은 조용히 잔을 입술로 가져갔다. 그들은 성공을 마신 것이다. 얼굴마다엔 미소가 피어났고 이어 박수가 터져 나왔다. 그것은 누구보다도 엔리코 페르미에게 보

내지는 박수였다.”

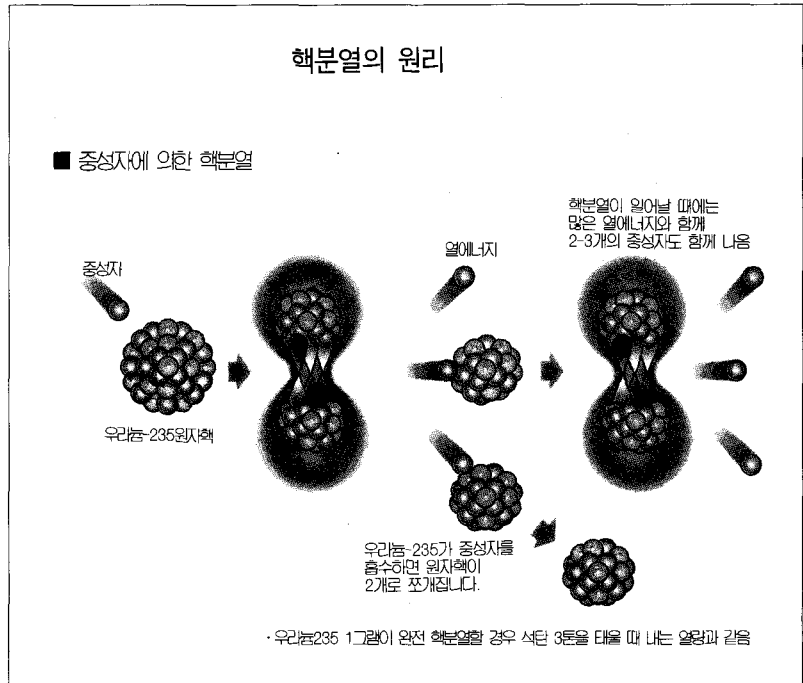
1942년 12월 2일 미국 시카고 대학 축구장의 관객석 밑 공간을 꾸며 야금 연구소라는 눈가림 간판을 단 실험실에서 세계 최초로 원자력의 자기제어(自己制御)실험을 성공시킨 연구원들의 감격적인 순간을 묘사한 콜빈 알라다스의 글이다.

원자력의 자기제어란 좌충우돌하며 견잡을 수 없이 일어나는 핵분열을 인간이 마음대로 조절할 수 있음을 말한다. 이것은 무기로만 사용이 가능했던 원자력을 평화적으로 이용할 수 있는 길을 연 것이다. 원자력의 평화적 이용의 역사는 이렇게 이루어졌다.

미국 시카고 대학 물리학과 건물 동쪽 길 건너 두 개의 정구코트중간에 버섯구름모양 같기도 한 돛쇠조각상이 세워져 있다. 이것은 페르미의 원자력자기제어실험을 기리기 위한 조각가 헨리 무어의 작품이다. 이 기념비 곳곳에는 “1942년 12월 2일 인류는 이곳에서 처음으로



헨리무어의 구름버섯모양의 돛쇠 조각상, 핵의 연쇄반응을 제어하는데 성공하여 원자력의 평화적 이용을 가능케 한 페르미의 업적을 위한 것이다.



연쇄반응에 성공해서 핵에너지를 조절할 수 있는 길을 열었다”고 써어 있다.

‘모든 물질이 에너지’란 개념은 알버트 아인슈타인 박사에 의해 제창되었지만 어네스트 러더퍼드는 방사성물질의 붕괴이론을 주장했다. 그리고 마침내 엔리코 페르미는 방사성물질인 우라늄에 중성자를 충돌시켜 연쇄반응을 조절하는데 성공했다. 연쇄반응은 방사성 물질의 특성이자. 페르미는 바로 무절제하게 일어나는 연쇄반응을 인간의 힘으로 조절함으로써 원자력을 평화적으로 이용할 수 있는 길을 연 것이다.

연쇄방응이란 무엇인가. 이것은 모든 방사성물질에서 흔히 볼 수 있는 현상이다. 마치 회사에서 기분 나빠 집에 돌아온 아빠 때문에 온 집안이 엉망이 되는 현상과 같다. 집안에 들어서자마자 아빠는 엄마에게 화풀이를 했고 엄마는 다시 돌이를 불러 놓고 야단

을 쳤다. 화가 난 돌이는 바둑이에게 화풀이를 했다. 아 빠 한 사람 때문에 온 집안이 들쭉서진 것이다.

이와 꼭 같은 현상이 우라늄235가 분열할 때도 일어난다. 즉 한 개의 우라늄235 원자가 중성자의 공격을 받아 두 조각으로 나뉘질 때 그 원자 속에서는 다른 중성자 두 세 개(평균 2.43개)가 튀어나온다. 튀어나온 중성자는 주위에 있는 다른 우라늄 원자를 때려 핵분열을 일으키게 한다. 이때 또 한 개의 원자에서 두 세 개의 중성자가 튀어나오고 이것이 다시 주위에 있는 다른 원자핵을 또 분열시킨다. 그리하여 마침내는 주위에 있던 모든 우라늄 원자는 분열하게 되는 것이다. 분열하는 원자의 수는 1 2 4 8 16 32 64개...로 불어나면서 우라늄 1g 속에 들어 있는 1조의 25억 배나 되는 모든 원자가 순식간에 분열하게 된다. 그리고 이와 같은 분열은 실로 어이없게도 1백만분의 1초라는 실로 눈깜짝할 사이에 일어난다.

방사성물질이 한꺼번에 분열할 때 생기는 막대한 에너지를 이용한 것이 바로 원자폭탄이다. 원자폭탄은 이처럼 우라늄(혹은 플루토늄)이 제어되지 않은 채 연쇄 반응을 일으킬 때 한꺼번에 터져 나오는 막대한 에너지를 이용한 것이다.

그런데 이렇게 무절제하게 일어나는 핵분열 현상을 인간의 힘으로 조절할 수 있도록 한 것이 바로 엔리코 페르미의 원자로나다. 페르미는 원자핵이 분열할 때 생기는 몹시 빠른 중성자를 어떻게 효율적으로 관리하느냐에 초점을 맞춰 연구했다. 즉 연쇄반응이 일어날 때 생기는 중성자가 다른 곳으로 튀어 나가는 것을 최대한으로 막으면서 무서운 속도로 번져 나가는 이 빠른 중성자를 좀 더 천천히 움직이게 혹은 수를 줄여 인간이 원하는 정도의 핵분열이 일어나도록 한 것이다. 페르미는 바로 무절제하게 좌충우돌하는 중성자를 조절하여 핵분열이 일정하게 조절되고 유지되도록 규제하는 데 성공한 것이다.

그러나 불행하게도 인간이 원자력의 자기제어에 성공한 이후 처음으로 나타난 것이 원자폭탄이다. 페르미의

원자로는 핵분열이 천천히 일어나 인간의 원하는 에너지를 얻을 수도 있지만 이 과정에서 핵무기의 원료가 되는 인공원소인 플루토늄이 생겨나기도 한다.

미국은 페르미의 원자로 계획을 원자폭탄을 만드는 맨하탄계획의 일환으로 연구를 진행시켰다. 페르미가 성공시킨 원자로는 플루토늄을 생산하기 위한 것이었다. 원자핵분열의 연쇄반응을 제어하는데 성공한 것은 페르미에게는 큰 기쁨과 영광을 안겨 주었고, 맨하탄계획의 성공으로 이어졌다. 이 실험의 성공소식은 곧 맨하탄 계획의 총 책임자였던 하버드 대학 기초과학연구소장인 코넬트 박사에게 암호로 보고됐다. 보고는 야금연구소장인 아서 콤프톤이 했다.

콤프톤 : 이탈리아의 배에 탄 사람들은 지금 신세계에 도착했습니다. 예상보다 쉽게.....

코넬트 : 그런데 원주민은 우호적입니까?

콤프톤 : 예 모두 무사히 상륙하였습니다.

결국 핵분열반응의 제어 성공은 미국 서해안에 있는 워싱턴 주의 핸포드에 플루토늄제조공장 건설로 이어졌고 여기서 생산한 플루토늄은 일본의 나카사키에 떨어진 원자폭탄의 원료로 사용되었다.

페르미의 연쇄반응 제어 성공은 그가 1938년 스톡홀름에서 노벨상을 받자마자 미국으로 망명한지 4년만의 일이다. 이탈리아 태생인 그는 노벨식장에서 무솔리니의 파시스트 제복을 입고 무솔리니식 인사를 강요한 파시스트 정권이 싫어 미국으로 망명했다. 그러나 미국도 1941년 이탈리아에 대해 선전포고를 해두고 있는 상태였기 때문에 그는 적성외국인이면서도 동료들의 추천에 의해 맨하탄계획에 참여하여 결국 원자력의 자기제어 및 인공원소인 플루토늄의 생산에 성공한 것이다.

페르미는 실험을 하기 위한 첫날 아침 책상위에 가로 세로 10cm, 길이 40cm의 흑연 덩어리를 올려놓았다. 의례적인 행사는 아무것도 없었으나 이것이 세계 최초 원자로 기공식 행사의 전부였다. 그는 이 흑



〈엔리코 페르미의 CP-1 원자로〉

연을 이용하여 연쇄반응에서 생기는 중성자를 흡수시킴으로써 마침내 연쇄반응을 조절하면서 플루토늄 생산에 성공한 것이다.

플루토늄은 천연우라늄(그 속에서 핵분열을 일으키는 우라늄235가 0.3%가량 들어 있으며 나머지는 우라늄238이다)을 원자로 속에 넣고 핵분열을 일으키면 우라늄235는 쉽게 분열하면서 중성자를 내는데 이때 속도가 느린 중성자들은 우라늄238에 흡수되면서 우라늄238의 일부가 플루토늄으로 변하는 것이다. 인류 최초의 원자로는 이처럼 플루토늄을 생산하는데 맨 먼저 쓰여졌다.

실제로 원자력이 평화적으로 이용된 것은 페르미가 CP-1이란 원자로를 개발한 후 12년이 지난 1954년 1월 미국의 코네티컷 주 그로턴에서 세계 최초의 핵잠수함 노틸러스호가 잠수하면서부터였다.

이 잠수함은 시속 20노트로 5만km를 항진할 수 있었고 50일 이상 잠항이 가능하여 종전에 디젤을 사용하던 것과는 비교도 안되는 우수한 성능을 갖게 된 것이다.

이때부터 세계의 거의 모든 잠수함은 원자로를 이용한 핵잠수함으로 대체되었고 세계 최대의 항공모함인 엔터프라이즈 호도 핵연료를 사용하면서 5대양을 누비고 있다. 그리고 오늘날 많은 군사 첩보위성들도 그

동력을 원자력에 의존하고 있다.

## 4. 지킬 박사와 하이드

영국의 작가 스티븐슨의 중편소설에 '지킬 박사와 하이드'가 있다. 1886년에 간행된 이 책의 줄거리는 현대인의 성격 분열을 통해 인간의 이중성의 문제를 다룬 것이다. 그 줄거리는 대략 이렇다.

런던에 사는 지킬 박사는 학식과 인품으로 사람들의 존경을 받는 인물이었다.

어느날 그는 먹기만 하면 도덕심이 없는 추악하고 잔인한 인간(하이드)으로 변신하는 약을 개발한다. 선과 악의 두 성질이 한 인간에게 공존하는 것이 불행의 근원이라고 생각한 지킬 박사는 그 선과 악 가운데 한 쪽의 인간만을 생각한 것이다. 그 약을 복용하는 횟수가 거듭되면서 약을 쓰지 않아도 하이드의 모습으로 변신하게 되고 마침내는 그는 영원히 지킬 박사로 돌아갈 수 없게 되어 비참한 최후를 맞는다. 현대인의 성격 분열과 인간의 이중성 문제를 다룬 대표적인 소설이다.

원자력은 이처럼 지킬 박사와 하이드로 비유되기도 한다. 철저하게 양면성을 가지고 있기 때문이다. 날로 고갈되어 가고 있는 석유, 석탄 등을 대신할 새로운 에너지원으로 각광받는가 하면, 핵무기로 사용될 경우 온 지구를 핵겨울로 만들어 지구상에서 생명의 씨앗을 모두 쓸어버릴 위험도 갖고 있기 때문이다.

원자력은 양면을 가진 야누스의 얼굴에 비유되기도 하고 또한 장미꽃에 비유되기도 한다. 장미는 아름다운 꽃을 가졌으나 한편으로는 따가운 가시도 지니고 있다. 원자력의 평화적인 이용은 장미꽃에 해당되고 전쟁에 쓰이는 핵무기는 가시와 같다. 장미꽃송이보다 가시가 많은 것처럼 원자력의 이용분야에서도 평화적인 이용을 위한 원자력발전보다 핵탄두가 훨씬 많다.

원자력이 하이드적 마성(魔性)을 처음 인류에 선보

인 것은 1945년 8월 일본 히로시마와 나가사키에 각각 떨어진 원자폭탄에서 비롯된다. 이 때문에 원자력은 인류복지의 증진수단으로 각광을 받을 수 있는 긍정적인 측면이 크게 희석됐다. 그래서 원자력은 인류

의 멸망을 재촉하는 악마로 지구인의 뇌리에 못박히기 시작하였다.

아직도 세계는 핵무기의 악몽에서 깨어나지 못하고 있다. 실제로 핵무기의 위협은 계속 우리 주위에 상존

〈세계의 원자력발전 현황〉

(단위 : 만kW, Gross 전기출력, 1995년 12월 31일 현재)

순위	국 명	운 전 중		건 설 중		계 획 중		합 계	
		출력	기수	출력	기수	출력	기수	출력	기수
1	미 국	10,351.0	109	121.8	1			10,472.8	110
2	프랑스	6,101.5	56	608.0	4	303.0	2	7,012.5	62
3	일 본	4,163.6	51	389.2	3	165.0	2	4,717.8	56
4	독 일	2,319.4	20					2,319.4	20
5	러시아	2,124.2	29	360.0	4	869.6	15	3,353.8	48
6	캐나다	1,580.5	21					1,580.5	21
7	우크라이나	1,444.0	16	500.0	5			1,944.0	21
8	영 국	1,412.6	35					1,412.6	35
9	스웨덴	1,039.8	12				4	1,039.8	12
10	한 국	961.6	11	410.0	5	400.0		1,771.6	20
11	스페인	741.7	9					741.7	9
12	벨기에	591.4	7					591.4	7
13	대 만	514.4	6			260.0	2	774.4	8
14	불가리아	376.0	6					376.0	6
15	스위스	320.0	5					320.0	5
16	리투아니아	260.0	2					260.0	2
17	핀란드	240.0	4					240.0	4
18	중 국	226.8	3			1,066.8	12	1,293.6	15
19	남아공	193.0	2					193.0	2
20	인 도	184.0	10	880.0	4	488.0	10	760.0	24
21	헝가리	184.0	4					184.0	4
22	체 코	176.0	4	196.2	2			372.2	6
23	슬로바키아	172.0	4	172.8	4			344.8	8
24	멕시코	135.0	2					135.0	2
25	아르헨티나	100.5	2	74.5	1			175.0	3
26	슬로베니아	66.4	1					66.4	1
27	브라질	65.7	1	132.5	1			198.2	2
28	네덜란드	53.9	2					53.9	2
29	아르메니아	40.8	1					40.8	1
30	파키스탄	13.7	1	32.5	1			46.2	2
31	카자흐스탄	0.9	1					0.9	1
32	이 란			229.3	2	152.0	4	381.3	6
33	루마니아			140.0	2			140.0	2
34	터 키					274.6	3	274.6	3
35	북 한					200.0	2	200.0	2
36	이집트					187.2	2	187.2	2
37	이스라엘					66.4	1	66.4	1
	합 계	36,154.4	437	3,454.8	39	4,432.6	59	44,041.8	535

주 1: 순위는 운전중인 원전의 설비용량순을 원칙으로 하고 순차적으로 건설중·계획중의 용량순으로 함.  
 자료: IAEA, Nuclear Power Reactors in the World(1996). 일본원자력산업회의, 세계원자력개발 동향 (1995년차 보고)

하고 있기 때문이다. 최근들어 핵무기가 인류를 멸망시킨다는 핵위기의식이 세계를 지배하면서 서서히 핵무기해제의 분위기가 감돌기 시작하고 있으나 앞으로 이 지구상에서 어느 정도로 핵무기가 제거될지는 의문이다. 왜냐하면 오늘날 핵무기의 보유는 국력의 상징이 되고 있으며 각 나라마다 국가보위의 최고수단으로 핵무기를 가지려 하고 있기 때문이다. 그러나 지난 1991년 12월 구 소련의 붕괴되고 힘의 대결구조가 와해되면서 이를 뒷받침하던 핵무기의 감축도 이루어지고 있다.

한편으로는 원자력이 인류의 복지와 번영에 기여하고 있는 것은 원자력발전과 방사성동위원소의 이용이다. 특히 원자력의 평화적인 이용 가운데 현재 가장 각광을 받고 있는 분야는 발전분야다. 1995년 말 현재 세계에서 운용, 건설, 계획되고 있는 원자력발전소는 535기에 이르고 있으며 특히 프랑스, 일본 등이 원자력발전강국으로 부상하고 있다.

프랑스는 드골 대통령시대부터 원자력정책에 힘을 기울여 현재세계 제일의 원자력발전국으로 소요전력의 65%가량을 원자력에 의존하고 있다.

우리나라도 40%가량을 원자력에 의존하고 있다. 그러나 원자력발전소부지와 방사성폐기물의 처리장 확보가 일부 주민의 반대로 주요문제로 제기되고 있다.

어쨌든 세계는 원자력에서 에너지를 얻으려는 연구를 늦추지 않고 있다. 원자력을 미래의 에너지원으로 삼으려는 것은 시대의 큰 흐름이기도 하다. 결국 원자력은 막대한 에너지원으로 이것을 쓰는 사람에 따라 그 양면성을 드러낼 뿐 그 자체는 언제나 선량하게 이용되기를 바라고 있다.

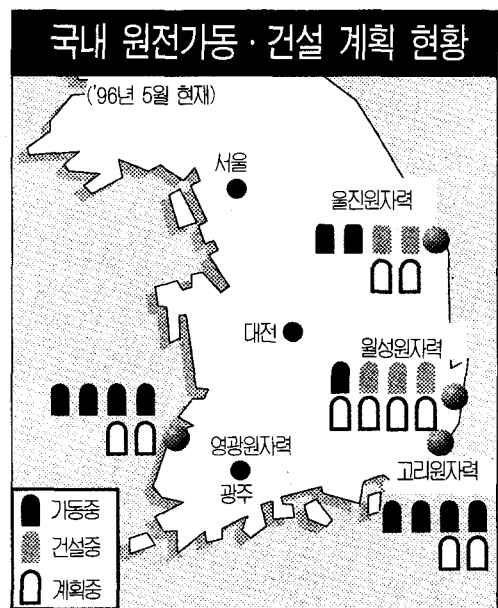
날로 고갈되고 있는 석유, 석탄 등 화석연료의 의존에서 탈피하여 새로운 에너지원을 찾아야 한다는 인류의 소망은 원자력발전에서 꽃피워지고 있다. 화석연료의 대체에너지원으로서 원자력이 처음으로 인류에 기여하기 시작한 것은 지난 1956년 발전용량 180MW 짜리인 영국의 콜더 홀 원전이 가동되면서였다. 그 다

음 해에 미국의 쉬핑 포트 발전소(60MW)가 가동되면서부터 원전은 뿌리내리기 시작했다.

세계 원자력발전 현황을 보면 1995년 말 현재 세계 31개국에서 437기의 원자력발전소가 운전중에 있고 39기가 건설중에 있다. 또 12개국에서 59기의 원자력발전소를 건설할 계획을 가지고 있다. 이 가운데는 북한의 신포지역의 원전도 포함되어 있다.

국내에서도 이미 지난 1978년에 고리원전이 가동되어 한때 국내 전기수요의 절반가량을 충당했다. 현재 고리 1, 2, 3, 4호기와 영광 1, 2, 3, 4호기, 울진 1, 2호기 및 월성 1호기가 가동중에 있고 울진 3, 4호기 및 월성 2, 3, 4호기가 건설중에 있다. 통상산업부가 오는 2010년까지 계획하고 있는 원전은 고리에 2~4기, 월성에 4기, 영광에 2기, 울진에 2기 및 제3의 부지로 거론되고 있는 곳에 2기를 지어야 그때 필요한 전력을 공급할 것으로 보고 있다.

전통적으로 가장 값싸게 전기를 얻을 수 있는 방법은 수력이었다. 현재 국내 수력발전은 전체 발전량의 7.2%를 차지하고 있다. 수력의 발전단가(1kWh의 전



〈전력 원가〉

(단위 : 원/kWh)

구 분	석 탄	중 유	LNG	수 력	원자력
1990	30.95	37.88	40.89	23.06	23.75
1991	30.79	27.84	37.44	29.24	22.62
1992	28.50	25.00	35.25	31.50	25.31
1993	29.29	27.11	34.99	28.16	24.57
1994	32.64	28.44	57.28	39.68	22.70
1995	32.09	30.25	37.38	42.06	25.17

한국전력공사 제공

기를 생산하는데 드는 비용)는 '90년 23.06원에서 '95년에는 42.06원으로 크게 올라 수력발전 입지시설이 점점 어려워지고 있음을 보이고 있다. 이것은 국내에서 이용 가능한 수자원은 이미 대부분 이용되고 있어 앞으로 수자원에 의한 발전은 거의 기대할 수 없는 실정이기 때문이다. 댐 건설에 따른 환경파괴도 심각한 문제로 제기되고 있다.

원자력발전소가 건설되기 전까지만 해도 국내 사용 전기의 대부분은 기름을 태워 얻은 것이었다. 1977년에는 전체발전량의 86.8%를 기름에 의존하여 최고를 기록했다. 당시 기름에 의한 발전단가는 115원이었다.

1988년 석탄에 의한 발전비율은 21.4%로 이 가운데 국내에서 생산되는 석탄은 3.6%에 불과하여 전력 생산에 사용되는 석탄도 대부분 수입에 의존하고 있다. 수입탄 및 국내탄의 발전단의 발전단가를 보면 수입유연탄 1t에 34원, 국내탄은 62원이나 되어 국내에서 생산되는 석탄이 얼마나 많은 정책적인 보호를 받고 있는지 알 수 있다.

원자력발전의 가장 큰 매력 중의 하나는 발전단가가 다른 전원에 비해 싸다는 점이다. 한 때 수력과 원자력은 비슷한 발전단가를 기록했으나 수력발전의 입지여건이 어려워지면서 원자력과의 비교우위를 잃고 있다. 더욱 수입에 의존하는 석탄이나 중유 및 LNG보

다는 kWh당 각각 7원, 5원, 17원 정도 싸 이들 연료보다 절대적인 우위를 누리고 있다.

원자력은 머리를 써서 만들어내는 에너지라는 점도 다른 에너지원이 갖지 못하는 장점이다. 즉 핵분열을 일으킬 수 있는 기술만 있으면 에너지자립이 가능해진다는 점이다. 원자력기술만 자립하면 에너지국산화는 가능하다고 보는 것이 원자력학계의 견해다. 실제로 한국원자력연구소는 원자력기술의 자립화를 95% 달성하였으며, 이것을 발판으로 북한에 경수로를 지원하는 길을 열어놓게 됐다. 더욱 원자력기술의 확보는 핵물리, 화학, 기계, 전기, 전자, 토목, 건축, 엔지니어링 등 관련 기술의 발달을 가져와 결국 국가과학기술 수준을 높여 기술선진국에 이르는 발판까지도 마련하게 된다.

원자력발전의 필요성은 무엇보다도 머지 않아 바닥 날 화석연료에 미리 대비하자는 것이다. 또 한편으로는 다른 용도로써 무한한 가치를 지닌 석유자원을 아껴 보다 유용하게 쓰자는 인류공동의 바람도 있다. 즉 오늘날 일상생활에서 흔히 쓰이고 있는 신발, 옷가지, 가구용품, 건축자재, 농약, 의약, 화공약품 등 거의 모든 물건들이 석유를 원료로 한 것이기 때문에 기름을 태워 없앨 것이 아니라 후손들이 석유화학공업의 원료로 사용하여 먼 훗날까지도 인류복지에 이바지하도록 하자는 것이다. 현재처럼 석유의 소비가 증가하면 오는 2050년 경에 지구촌의 석유는 동이 난다는 과학자들의 연구보고가 있기 때문에 인류는 후손에게 물려줄 유산으로 석유자원을 더 이상 태워없애 버리는 잘못을 범하지 말아야 한다는 것이다.

그러나 무엇보다도 원자력의 필요성은 대기오염의 주범이 되고 있는 화석연료를 대체할 수 있다는 데 있다. 화석연료가 내뿜는 오염물질에 의한 지구생태계의 파괴는 산림의 황폐, 사막의 확장, 대기기온의 상승 등으로 뚜렷이 나타나 인류의 생존마저 위협하고 있어 이를 막기 위한 전략의 모색은 오늘날 인류가 당면하고 있는 가장 심각한 과제가 되고 있다.