

원자력 과학기술 발전사

글 • 김효정 / 한국원자력안전기술원 규제기술연구부, 부장
e-mail • kimhj@kins.re.kr

이 글에서는 우리나라 국가경제 발전의 안정적 에너지 공급원으로서 역할을 담당하고, 또한 방사선 및 방사성동위원소의 이용을 통하여 국민복지에 기여하여 온 우리나라 원자력 과학기술의 발전사를 소개하고자 한다.

원자력 또는 핵에너지는 원자핵이 반응할 때 방출되는 모든 종류의 에너지를 말한다. 여기에 근거하면 우리 인류는, 아니 인류가 나타나기 전부터 지구의 에너지 역사는 원자력의 역사였다. 왜냐하면 우리가 음식에서 섭취하는 열량, 불어오는 바람, 파도의 출렁임, 석유 및 석탄과 같은 화석에너지의 근원은 모두 태양에너지이며 이 태양에너지는 태양 내의 핵융합반응에서 자연적으로 발생하는 에너지인 까닭이다.

인류는 20세기 초기에 이르기까지 핵반응 에너지의 원리를 이해하지 못하였으나, 아인슈타인의 에너지-질량 등가원리가 그 유명한 $E = mc^2$ 이라는 공식으로 규명되자 이 거대한 에너지를 인공적으로 생산하고자 시도를 하게 되었다. 그러나 주지하다시피 이 원초적이고 거대한 에너지는

2차 세계대전이라는 인류사의 비극 기간을 통해 핵무기라는 가공할 무기로 그 첫 모습을 드러내었다. 2차 대전을 종국으로 몰고 간 히로시마에 투하된 우라늄 폭탄인 '작은 소년(Little Boy)' 과 나가사키에 투하된 플루토늄 폭탄인 '똥똥한 아저씨(Fat Man)' 였다. 그러나 작은 소년은 귀엽지 않았고 똥똥

한 아저씨는 예상과 달리 인자하지 않았으며 다만 존재하는 모든 것을 파괴하는 대량 살상무기에 지나지 않았다.

핵무기의 가공할 위력에 대한 충격과 그 반성으로 인류는 원자력은 평화적으로만 이용될 때 그 값어치가 있음을 절감하고, 마침내 1953년 원폭투하의 당사국인 미국의 아이젠하워 대통령은 국제연합(UN) 총회에서 '원자력의 평화적 이용(Atoms for Peace)' 을 제안하게 된다. 즉 원자력의 가공할 파괴력을 산업과 생활의 에너지원으로 전환시키고자 하는 노력이 경주되었으며 1956년 영국에서 콜더홀(Calder Hall) 원자력발전소가 세계 최초로 가동함에 따라 원자력발전의 역사가 시작되었다. 지금은

전 세계 31개국에서 432기의 원자력 발전소가 가동되고 있으며 전 세계 전력수요의 17%를 담당하고 있다. 또한 원자력과 항상 동반하는 방사선을 함께 길들인 인류는 방사선의 특징을 잘 활용하여 암치료, 품종개량, 살균 등의 다양한 분야에 응용하고 있다.

우리나라 원자력 기술개발의 변천

1950년대와 1960년대에 아시아에

〈인류는 20세기 초기에 이르기까지 핵반응 에너지의 원리를 이해하지 못하였으나, 아인슈타인의 에너지-질량 등가원리가 그 유명한 $E = mc^2$ 이라는 공식으로 규명되자 이 거대한 에너지를 인공적으로 생산하고자 시도를 하게 되었다.〉



서 빈국(貧國)이었던 우리나라는 부존자원은 빈약하나 우수한 인력이 풍부하다는 장점에 가장 잘 부합되는 기술집약형 에너지인 원자력발전에 일찌감치 관심을 가지고 개발에 참여하였다. 결과적으로 이는 올바른 선택이었음이 이후의 눈부신 경제성장과 국민복지의 증대가 증명하고 있다. 지금 우리나라는 18기의 원자력발전소가 가동되어 총발전량 대비 약 40%의 전력을 담당하고 있으며 방사성동위원소(RI)나 방사선발생장치(RG)를 사용하는 기관(의료기관, 산업체, 연구기관, 교육기관, 공공기관 등)도 2003년 7월 현재 2,055개에 이르고 있다.

이러한 원자력의 우리나라에서의 기술개발 변천사는 크게 1960년대 및 1970년대의 '기술 태동기', 1980년대의 '기술 자립기', 1990년대 이후의 '기술 성숙기'의 3 단계로 구분할 수 있다.

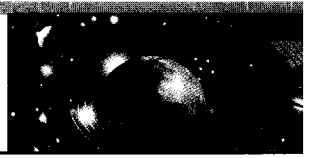
새로운 출발 : 기술 태동기(1960~1970년대)

1953년 미국 아이젠하워 대통령의 원자력의 평화적 이용에 대한 제안은 세계 각국의 협력을 가능케 하였으며, 미국, 영국 등 선진국 기술의 개방을 활성화하는 계기가 되었다. 우리나라는 전쟁의 폐허가 아직 가시지도 않은 1956년 2월 미국과 '원자력의 비군사적 이용에 관한 한·미간의 협력 협정'을 체결하고 원자력 개발의 첫 걸음을 내딛었다. 그 해 교육인적자원부 기술교육국 내에 '원자력과'가 신설되어 원자력의 연구·개발 및 이용에 관한 업무를 담당하게 되었고, 1958년 3월 11일 법률 제485호로 원자력법이 제정 발효되었다. 이러한 제도적 기초 위에 마침내 백발이 성성한 이승

만 대통령이 1959년 7월 첫 삼을 품으로써 연구용원자로의 기공식이 거행되었다. 이때 건설에 들어간 열출력 100kW급인 TRIGA Mark-II 연구로는 1962년 첫 임계에 도달하였으며 이후 원자력 관련 각종 기초연구와 응용연구를 가능하게 하였다. 1960년대 후반에 접어들어 원자로 이용연구가 활성화되고 방사성동위원소 수요가 증가되면서, 1972년 5월 열출력 2MW급의 TRIGA Mark-III 연구로를 추가로 건설·가동하였다.

TRIGA 연구로에 의한 원자력연구가 활성화되는 한편으로는 대규모 전력생산을 위한 상업용원자로 건설이 꾸준히 추진되었다. 1968년 3월 우리나라 최초의 상업원자로인 고리 1호기의 건설 추진방침이 확정되고, 1969년 당시 한국전력은 미국의 웨스팅하우스 사로부터 가압경수로형(600 MWe급)인 고리 1호기의 도입계약을 체결하였으며 이듬해에 착공에 돌입하였다.

고리 1호기가 건설에 들어간 이후인 1973년 10월 중동전쟁으로 야기된 제1차 석유파동이 발생하였다. 당시까지 지칠 줄 모르는 성장을 거듭해온 한국경제는 에너지 수요의 약 54%를 중동의 석유에 의존하고 있었으며, 따라서 석유파동으로 인해 호된 몸살을 앓아야만 했다. 그러나 우리나라는 이 석유파동을 계기로 지속적인 경제발전을 위해서는 한편으로는 탈석유정책을, 다른 한편으로는 석유에너지를 보상할 저렴하고 안정된 에너지원의 확보가 중요하다는 것을 깨달았다. 이후 우리나라의 원자력 개발은 당초의 계획을 앞당겨 진행되었으며, 1975년 1월 캐나다 원자력공사(AECL)로부터 국내 최



초로 천연우라늄과 중수를 이용하는 캔두형 가압중수로인 월성 1호기(600MWe급)의 도입이 추진되었다. 연이어 미국의 웨스팅하우스 사로부터 가압경수로형 원자력발전소인 고리 2호기(600MWe급), 3호기 및 4호기(900MWe급)가 순차적으로 도입이 추진되었다. 마침내 1978년 4월 우리나라 최초의 상용 원자력발전소인 고리 1호기가 전기출력 587MWe으로 운전을 개시하였고, 1978년과 1979년에 걸쳐 건설이 시작된 월성 1호기 및 고리 2·3·4호기도 1983년~1986년에 걸쳐 완공되어 상업운전을 개시하였다.

1970년대만 해도 국내 산업계는 원자력발전소의 계통 및 기기를 설계 및 제작할 수 있는 기술능력과 설비를 갖추지 못했고, 경험도 일천한 상태였다. 따라서 당시에 건설이 시작된 원자로 중 고리 1호기, 월성 1호기 및 고리 2호기까지는 외국 원자력회사가 모든 책임을 지고 기기를 공급하는 일괄 수주(turn-key)방식으로 진행되었다.

우리 기술의 성장 : 기술 자립기(1980년대)

1980년대에 들어 국가산업 발전이 가일층 가속화됨과 동시에 신규 원자력발전소의 건설이 증가함에 따라 기술 국산화의 필요성도 더욱 절실했다. 아울러 이 시기에는 원자로에 공급되는 핵연료의 국산화사업과 다목적 연구용 원자로의 개발 등 상용 원자력발전소 건설 이외의 분야에서도 기술자립화 노력이 병행하여 추진되었다.

이 기간 중 프랑스의 프라마툼 사로부터 900MWe급인 울진 1호기 및 2호기와 미국의 웨스팅하우스 사로부터 역시 900MWe

급인 가압경수로형 원자력발전소인 영광 1호기 및 2호기(900MWe급)가 도입되었으며, 미국의 컴버스천엔지니어링 사로부터 1,000MWe급인 영광 3호기 및 4호기(900MWe급)가 도입되었다. 특기할 것은 울진 1·2호기의 도입부터는 국내 관련 산업기술의 육성을 촉진하고자 처음으로 분할발주방식을 도입하여 국내 기술진이 시공 및 현장 설계개발에 부분적으로 참여하게 되었다는 사실이다.

이러한 참여 경험을 바탕으로 정부의 원자력발전 기술의 자립계획에 따라 1987년 영광 3·4호기 건설부터 표준형 원자력발전소로 설계사업을 착수하였으며, 국외 하도급자인 미국의 컴버스천엔지니어링 사에 우리나라 과학기술진을 파견하여 기술전수 및 원자로계통 설계에 공동으로 참여하게 되었다. 이를 통하여 영광 3·4호기가 완성될 즈음 1,000MWe급 원자로계통 설계기술은 95%까지 기술자립 목표에 달성하게 되었다. 우리나라 과학기술진들은 영광 3·4호기 원자로계통 설계에서 체득한 기술을 더욱 개량·발전시켜, 1990년대에 후속 호기인 울진 3·4호기 설계에 반영함으로써 한국표준형 원자력발전소의 설계를 완성하였으며 원자로계통 설계사업의 자립을 마침내 이룩하게 되었다.

한편 원자력발전소의 국산화와 병행하여 중수로핵연료에 대한 국산화사업을 1982년 국가주도형 특정연구로 추진하게 되었다. 본 연구를 통해 중수로 핵연료 설계, 우라늄분말 제조, 핵연료 제조, 핵연료의 시험 및 평가, 조사후시험 등에 대한 자체 기술이 개발되어 1987년 7월부터 중수로핵연료

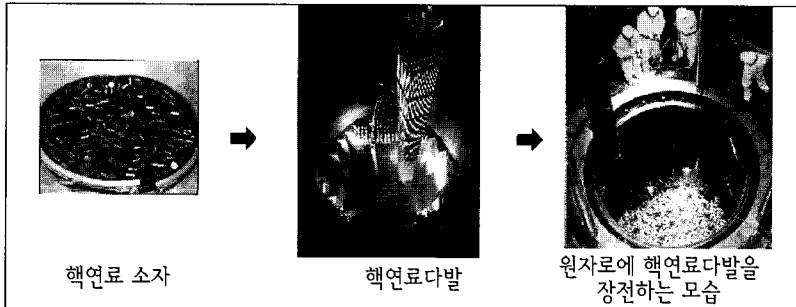
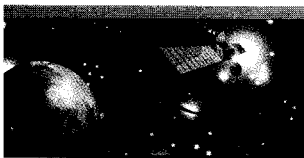


그림 1 핵연료의 제작에서 장전까지

의 양산이 개시되었으며 그해 말부터는 월성 1호기에 국산 핵연료를 공급하게 되었다.

또한 중수로핵연료의 국산화에 이어 경수로핵연료의 국산화를 위해 1983년 7월 경수로핵연료제조공장의 건설과 핵연료 설계기술개발을 독일 Siemens-KWU사와 공동으로 착수하였다. 4년에 걸친 공동 설계과정을 통하여 독자적인 핵연료 설계능력을 확보한 우리나라는 1989년부터 독자적으로 경수로 국산핵연료를 양산하기 시작했으며, 첫 제품이 고리 2호기에 장전되어 성공적으로 그 기능을 수행함으로써 원자력발전소의 국산화에 이어 핵연료를 자체적으로 설계·제작·공급할 수 있는 기술력을 확보하게 되었다.

세계속의 한국 원자력 : 기술 성숙기 (1990년대 이후)

우리나라는 초기부터 부존자원이 빈약한 국내 여건을 감안한 에너지안보 강화와 자본집약적 산업에서 기술집약적 산업으로의 전환이라는 전략적 목표 아래 원자력기술 자립에 총력을 기울여 왔다. 1980년대에 기술자립의 토대를 확고히 한 우리나라는 1990년대 들어 원자력기술 발전의 비약적

인 전개를 거듭하였다. 우리나라는 국내 기술로 완성된 한국표준형 원자로를 1,000MWe급으로 올진 3·4·5·6호기, 영광 5·6호기 등 여섯 기의 원자로로 건설하였다. 또한 신 고리 1·2호기, 신 월성 1·2호기 등 네 기의 추가

원전의 건설이 추진 중이다. 이러한 기술적 자립과 성숙으로 인해 우리나라가 북한 경수로 사업의 주체가 되는데 대해 국제사회는 아무런 이의를 제기하지 않았으며, 이는 우리 기술이 국제적으로 인정받는 수준임을 여실히 보여주고 있는 것이다.

한걸음 더 나아가서 우리나라는 기존 한국표준형 원자로보다 경제성과 안전성이 한 단계 업그레이드된 1,400MWe급 차세대원자로(APR-1400)의 설계를 자체 개발하는데 성공하였다. 차세대원자로는 신 고리 3·4호기라는 이름으로 2005년부터 건설에 들어가기로 예정되어 있어, 우리나라는

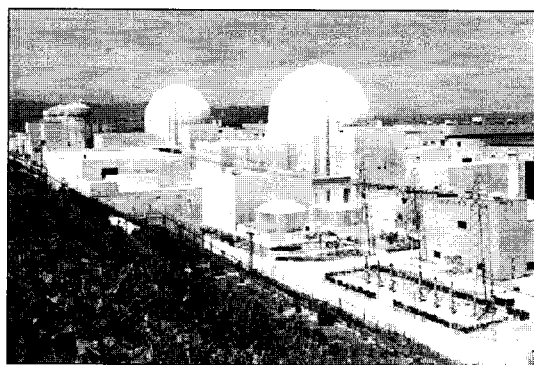


그림 2 우리나라 원자력기술 자립의 상징 올진 원자력 3·4호기

신형원자로를 독자적으로 설계 및 건설할 수 있는 세계 5대 원자력 선진국의 지위를 확보하였다. 이로 인해 우리나라는 중국의 광동원자력발전소 및 진산원자력발전소의 운영, 보수, 시공감독, 시운전분야에 진출하는 등 국제사회에서 우리나라의 원자력 기술을 높이 발휘하고 있다.

생활 속의 과학: 우리나라 방사선산업 기술의 발전

방사성동위원소 및 방사선발생장치를 이용하는 산업(이하 방사선산업)은 1963년 교육기관의 연구용과 의료기관의 진단용으로 단 두 곳에서 사용하기 시작한 이래 연평균 10% 이상의 경이적인 발전을 이룩하면서 2002년 마침내 사용 기관의 수가 2,000개를 넘어섰다. 그 사용 분야도 의료, 농업, 분석, 계측, 투과검사, 소비자제품 등 우리 생활의 모든 분야로 확장되었다.

먼저 의료분야에서는 인체 내부의 이상 유무를 확인하는 엑스레이 기기에서 시작되어 보다 정확한 진단을 가능하게 하는 컴퓨터단층촬영(CT) 사용이 일반화 되었으며, 이제는 인체 내의 5mm 이상의 어떤 암종 양도 찾아 낼 수 있는 양전자단층촬영(PET) 시대로 접어들어 암의 조기 발견과 치료 성공률을 획기적으로 높이고 있다. 또한 요오드-131의 갑상선 암치료, 방사성 홀륨의 간암 치료 등 다종다양한 방사성동위원소가 환자들의 암치료에 이용되고 있다.

농업분야에서는 방사성동위원소를 조사하여 해충의 불임을 유도하고 품종을 개량하며 토양의 수분 측정 등에도 활용하고 있

다. 또한 방사선이 물질을 투과하는 성질을 이용하여 철근 구조물의 내부 구조를 파악하고 항공기 날개 등 용접부위의 결함을 파악하는 데도 활용되고 있으며 공항의 폭발물 검색 등에도 이용되고 있다.

방사선은 또한 두께나 밀도 등을 측정하는 데 탁월한 장점을 가지고 있다. 이를 이용한 산업으로는 철강공장의 철판두께 자동 측정, 제지공장의 종이 두께 및 밀도 측정, 석유화학단지에서의 유체의 수위측정 등을 들 수 있다.

그 외에 자동차 타이어나 전선 등 고분자 구조에 방사선을 조사하여 두께는 얇지만 고품질의 타이어 및 전선을 생산하고, 환경 분야에 응용하여 잔류 농약의 함량이나 공해물질의 농도 등을 파악할 수 있다. 또한 대형 토목공사의 경우 댐의 누수, 유속, 누설 및 막힘 탐사를 하는 추적자(tracer)로 사용되며, 가정의 연기감지기와 비상구 표시등과 같이 소비자 제품으로도 이용되고 있다.

그러나 다양한 분야에서 방사선이 응용되고 있음에도 불구하고 방사선산업은 아직도 원자력발전업에 비하면 그 매출액이 9:1에 지나지 않고 있다. 따라서 정부는 미래지향적

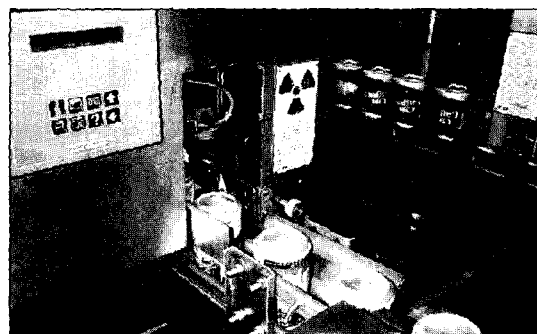


그림 3 방사성동위원소를 이용하여 캔 속에 음료나 맥주가 적정량이 들어 있는지를 측정하는 모습



인 방사선산업(RT : Radiation Technology)을 국가정책적으로 육성하여 2010년 이후 원자력발전과 비교하여 7:3의 매출비율로 성장시키고자 2002년 12월에 방사선 및 방사성 동위원소 이용진흥법을 제정·공포하였다.

한정된 화석 연료, 더워지는 지구 앞에서

산업혁명 이후 인류의 에너지 소비는 급격히 증가하여 왔으며 그 대부분을 화석연료에 의존하여 왔다. 그러나 한정된 화석연료를 무한정 공급받을 수 없는 것이 인류의 당면한 문제이며, 현대 문명의 총아라고 하는 컴퓨터도 에너지공급이 없으면 한낱 고철덩어리에 불과하다. 따라서 인류가 한정된 에너지자원을 효율적으로 활용하고 새로운 대체 에너지를 개발하지 못한다면 인류는 현재의 물질문명을 포기하여야 할 것이다. 또한 화석연료 연소 시 온실가스의 발생으로 인한 지구온난화를 고려한다면 새로운 대체에너지는 온실가스를 방출하지 않는 친환경적 에너지여야 한다.

화석연료를 대체할 수 있는 것으로는 태양열, 풍력 등 자연에너지원과 수소에너지와 핵융합에너지 등과 같은 기술에너지원이 있다. 자연에너지원은 소지역·소규모 에너지원으로는 이용가능하나 기술적, 경제적, 환경적인 제약요건으로 인해 대규모 에너지원으로서 상업화가 어려운 실정이다. 미래 기술에너지원인 수소에너지와 핵융합에너지는 아직 기술개발이 진행 중에 있어 21세기 중반이나 되어서야 그 실용화 여부가 밝

혀질 전망이다. 따라서 당분간은 상업적 에너지로서 유용성이 입증된 원자력만이 현실적으로 이용가능한 대규모 대체에너지원으로서 유일하다고 할 수 있다.

원자력은 원자핵이라는 극미의 세계에 갇혀 있던 엄청난 에너지를 과학적 이론에 기초하여 꺼내 쓰는 21세기형 에너지원이라는 점에서, 향후의 인류문명을 지탱하는 데 필요한 에너지원이다. 또한 원자력은 연소 시 산소가 필요하지 않다는 점과 한 번의 연료장전으로 장기간 운전이 가능하다는 장점에서 우주선의 동력원으로, 심해 탐사선, 잠수함, 항공모함 등 선박의 동력원으로 활용이 더욱 확대될 전망이다. 한편 환경보존이라는 측면에서도 원자력은 온실가스를 배출하지 않는다는 뚜렷한 장점이 있다. 전 세계는 지금 원자력발전으로 인하여 연간 23억 톤의 이산화탄소 배출을 감축하고 있으며, 이는 전 세계 이산화탄소 배출량의 약 10%에 해당하는 것이다.

원자력이 지니고 있는 에너지의 안정적 공급, 국제수지의 개선 및 환경보존 등의 버릴 수 없는 매력 때문에 향후 수십 년간은 원자력이 우리나라의 에너지를 이끌어 나아갈 것이다. 또한 그 과정에서 원자력 관련 기술도 발전에 발전을 거듭해 나아갈 것임은 자명하다고 할 수 있다. 그러나 현재 우리나라의 원자력산업은 방사성폐기물 처분장 확보 등 사회적 현안을 가지고 있다. 따라서 원자력이 사회적 친화성이 있는 에너지원으로 자리매김 하기 위한 지속적인 노력도 필요하다.