

美國의 21世紀 原子力展望

本稿는 지난 11月 15日 韓國에너지研究所 講堂에서 열린 「開所 30周年 記念行事」에서 前 美國原子力規制委員會(USNRC) 委員長이었던 Joseph M. Hendrie氏가 “A US Perspective on Nuclear Prospects for the 21 Century” 라는 제목으로 特別講演한 內容이다.

KAERI 30年, 우라늄發見 2백주년

1989년은 한국에너지연구소(現 한국원자력연구소) 설립 30주년을 기념하는 해이기도 하지만, 실은 우라늄발견 2백주년이 되는 뜻깊은 해입니다. 1789년 Martin Klaproth라고 하는 독일의 화학자가 독일의 쾰른과 보헤미아 지방에서 채광한 피치블렌드로부터 지금까지 알려지지 않았던 새로운 원소를 발견했다고 공식발표했습니다.

실제로 Klaproth가 새로 발견했다고 하는 것은 피치블렌드에서 2산화우라늄을 분리해낸 것입니다. 그후 반세기가 지나서야 우라늄금속이 본격적으로 생산되기 시작했습니다.

어쨌든 Klaproth의 발견은 매우 의미있는 것이었으며, 그런 뜻에서 Klaproth를 우라늄 최초 발견자로 인정해도 이의가 없습니다.

Klaproth에서 Einstein까지

그후 약 백년동안 우라늄은 사진, 도료, 유리제품 등 별로 이렇다할 분야에서 이용되지

않았습니다. 그러다가 19세기 말에 들어서서 원자력과학은 급속한 진보를 보이게 되었습니다.

Roentgen과 Becquerel이 우라늄 유리와 소금에 대한 X-선 실험을 하던중 전혀 새로운 형태의 방사선을 발견하였습니다. Marie와 Pierre Curie 부부는 폴로늄과 라듐이라고 이름붙인 두 종류의 새로운 원소를 발견했습니다. Curie 부인은 이들 원소에서 나타난 새로운 현상에 대하여 “방사능”이라고 불렀습니다.

곧이어 1905년 Einstein이 두 편의 귀중한 논문을 발표했습니다. 하나는 「光電効果와 빛의 量子化」에 대한 것이었으며, 다른 하나는 「특수 상대성 원리」이었습니다. 저 유명한 $E=mc^2$ 이라는 공식은 바로 이 상대성 원리에 포함되어 있는 것입니다.

核分裂發見 50주년

1차대전으로 인하여 원자력과학 연구는 잠시 주춤했습니다. 그러나 전쟁이 끝난후 원자력이라는 새로운 학문에 대한 연구열은 곳곳

에서 뜨겁게 일어났습니다.

먼저 Rutherford가 인공적 핵붕괴에 성공하였습니다. 우라늄의 자연적 방사성붕괴에 대하여는 과거 몇년동안 여러 과학자들이 관찰하여 왔습니다마는 인공적으로 유도한 방사성 붕괴는 처음있는 일이었습니다. 이 실험은 원자력이 에너지로서 이용될 수 있다는 것을 제시해준 것이었습니다.

대공황이 세계를 휩쓸던 때인 1932년 Chadwick이 캠브리지의 Cavendish 연구실에서 전기적으로 중성이며 투과력이 대단히 강한 새로운 입자를 발견했습니다. “中性子”였습니다. 이로 부터 약 1년후, Frederic Joliot와 Irene Joliot-Curie 부부가 알파입자를 이용하여 여러 원소에서 방사능을 유도해 냈습니다. 방사성동위원소의 최초 탄생이었습니다.

로마에서는 Fermi가 이런 보고서들을 읽고 만일 Chadwick의 새로운 입자, 즉 中性子로 다른 여러 원소를 충격해 보면 매우 흥미있을 것이라고 생각했습니다. Fermi는 저속중성자는 다른 원소에 흡수되며, 고속중성자와 알파입자와 같은 荷電입자는 그렇지 못하다는 사실을 알아냈습니다. 1934년까지 Fermi는 수없이 많은 원소에 중성자를 충격시키는 실험을 했으며, 그러던 중 92번째 우라늄에서는 중성자를 흡수하고 몇개의 베타입자를 내놓는 것을 발견했습니다. Fermi는 93번째 원소에도 같은 실험을 하였으나 그런 현상은 일어나지 않았습니다.

Fermi는 분명히 超우라늄원소를 만들어낸 것으로 생각되지만 그런 사실을 인식하지 못했고, 다만 그후 Fermi가 우라늄 핵분열현상을 처음 발견한 것으로 알려지게 되었습니다.

連鎖反應의 可能性

Fermi 방식에 의한 실험은 유럽의 여러 곳에

서, 특히 베를린에서 활발히 반복되었습니다. 1939년 1월 베를린의 Hahn과 Strassman, 그리고 스톡홀름과 코펜하겐에 있던 Meitner와 Frisch가 저속중성자 흡수에 의한 우라늄 핵분열에 대한 논문을 각각 발표했습니다.

이들의 실험과 이론은 프랑스의 Joliot-Curie, Halban, Kowarski에 의하여 즉각 재차 확인되었습니다. 이들은 우라늄 핵분열의 과정에서 흡수했던 중성자 보다도 몇개 더 많은 중성자가 나오는 것을 알아냈습니다. 연쇄반응의 가능성을 제시해준 것이었습니다.

Einstein의 書翰

2차대전의 검은 구름은 이같은 새로운 발견을 더 이상 구체적으로 진전시키지 못하였습니다.

그러나 1939년 8월 Einstein이 Roosevelt대통령에게 서한을 보내어 연쇄반응의 가공할 위력에 대하여 설명했고, 이에 따라 Manhattan 계획이 착수되었습니다.

이런 뜻에서 본다면 1939년은 핵분열이 시작된 해이며, 올해는 핵분열 50주년으로서 의미가 있습니다.

CP-1의 成功

전쟁중 미국에서 뿐만 아니라 독일에서도 원자력 연구계획이 추진되었지만, 미국에서의 노력이 보다 더 집중된 것이었으며 성공적이었습니다. 왜냐 하면, 유럽에서 활약하던 많은 과학자들이 미국으로 건너왔기 때문입니다.

1942년 12월 Fermi를 중심으로 한 일단의 과학자들은 시카고대학교 한구석에서 역사상 처음으로 원자로임계에 성공하였습니다.

이것은 인간이 원자핵의 연쇄반응을 처음으로 자기제어시킨 것이었으며, 이로써 원자로

이용의 문이 열리게 되었습니다.

2차대전 중에도 그랬지만, 그후에도 한동안은 세계 원자력 활동의 중심이 미국이었습니다. 그리고 그러한 활동의 결과가 오늘날 우리에게 전달되어 왔다고 생각합니다.

물론 2차대전후 세계 각국에서 원자력이용에 관한 중요한 개발사업이 많이 진척되어 왔지만, 그런 내용을 모두 설명하기는 어려우므로 여기에서는 미국의 경우에 한정하여 말씀드리고자 합니다.

美國 AEC의 設立

전쟁중 원자로는 핵물질 생산용으로 주로 이용되었습니다만, 이와 관련하여 몇가지 민간프로그램으로 발전시킬 수 있는 유용한 기술도 개발되었습니다. 그렇지만 민간이용은 전쟁이 끝나야만 했습니다.

전쟁이 끝나자 미국에서는 원자력에 대한 논란이 상당히 있었습니다. 이렇듯 이상하고, 엄청나며, 어떤 경우에는 가공스럽기까지한 원자력, 그리고 그에 관한 기술을 도대체 어떻게 할 것인지에 대한 논란이었습니다.

결국 1946년 原子力法이 제정되어 원자력개발에 대한 책임이 軍部로부터 민간기구로 이양되었습니다. 새로 설립된 기구는 “原子力委員會”(AEC)였습니다.

DOE와 NRC로 改編

AEC는 원자력에 관한 모든 정보, 물질, 사업을 관장하였습니다. 당시만 하더라도 원자력기술정보에 대한 접근이 어려웠기 때문에 산업계의 원자력산업 참여는 상당한 제한을 받았습니다. AEC는 원자력의 군사적 이용업무까지도 관장하였습니다. 뿐만 아니라 민간개발사업과 그러한 사업의 안전규제업무도 동

시에 맡았습니다.

한 기관이 개발과 규제업무를 같이 맡고 있다는 것은 정치적으로도 논란이 되어 결국 약 30년후인 1970년대 중반에 AEC는 ERDA(후에 DOE)와 NRC로 분리되었습니다.

선박용 原子爐에서 出發

1940년대 말부터 AEC는 기초핵물리연구, 재료시험, 실험로 건설 및 운전 등을 통하여 원자로개발사업을 지원했습니다.

1946년부터 1963년 상용 원자력발전시대로 접어들때까지 가장 성공적이었던 사업은 유명한 Rickover제독 지휘하에 추진되었던 해군원자로(선박용 원자로)사업이었습니다. 해군용 PWR의 개발 성공은 그후 미국정부가 지원한 최초의 원자력시범발전소인 Shippingport가 PWR을 선택하는데 큰 영향을 준 것이었습니다. 뿐만 아니라 그후 미국 상용 원자로 개발에도 PWR은 매우 중요한 역할을 하게 되었습니다.

어쨌든 그로 부터 40여년이 지난 오늘 한국의 원자로프로그램만 보더라도 가동중인 9기 중 8기가 PWR이며, 2기가 더 건설되는 것으로 알고 있습니다. 이것만 보아도 PWR개발사업이 어떠한 의미를 갖고 있는지 알 수 있습니다.

政府主導로 시범사업 추진

1954년에 이르기까지 Eisenhower정부는 원자력의 평화적 이용이 국가목적에 중요하다는 점을 강조하여 왔습니다. 그리하여 1954년 原子力法이 수정·보완되어 통과되었습니다. 한편, 제1차 제네바 원자력의 평화이용회의가 제안된 것도 이때였습니다.

1954년의 原子力法은 오늘날까지 미국의 모든 원자력업무를 지배하는 母法이 되고 있

습니다. 1954년 原子力法에 따라 원자력발전소와 같은 원자력시설의 민간소유가 허용되었으며, 핵연료를 목적으로 하는 핵물질의 민간 이용도 허용되었습니다. 그당시 사람들은 1954년 原子力法으로 민간의 원자력기술정보 접근이 쉬워졌기 때문에 원자력발전사업에 민간기업들이 너도나도 달려들 것으로 걱정했으나 실제로는 그렇지 않았습니다.

그래서 AEC는 일련의 발전용 원자로 시범사업을 펼쳐 민간전력회사와 제조업체를 원자력사업에 끌어들이려는 노력까지 했던 것입니다.

1단계에 4개 프로젝트

1단계 시범계획은 1955년 초부터 시작되었습니다. 그 결과 4개의 프로젝트가 착수되었습니다.

PWR인 Yankee, FBR인 Fermi, 나트륨냉각·흑연감속재를 사용한 Hallam, BWR인 Dresden이었습니다.

Dresden은 민간기업인 Commonwealth Edison (ComEd) 전력회사가 투자한 것으로 사업이 순조롭게 진척되었습니다. 나머지는 정부가 투자한 것입니다.

그렇지만 Yankee 하나만이 승자로 남게 되었습니다. 해군 원자로계획의 경험을 충분히 살렸기 때문에 성공했습니다.

重水爐는 캐나다로

2단계 시범계획은 1955년 후반부터 착수되었습니다. 1단계 계획이 난항을 거듭하던 시기였습니다. 2단계 계획에서도 두개의 실패작이 나왔습니다. BWR인 Elk River와 有機物냉각 및 감속재 원자로인 Ohio의 Piqua였습니다.

3단계는 1957년 초부터 시작되었습니다. 5개의 신규 프로젝트가 추진되었습니다. 그중에는 최초의 고온가스냉각로(HTGR)인 Peach Bottom과 대형PWR인 San Onofre 1호기가 포함되어 있었습니다. 이 2기의 원자로는 성공적으로 완성되었습니다. 나머지 세 프로젝트 중 그래도 성공적이어서 아직까지 가동되고 있는 것은 BWR인 Big Rock Point입니다. 또 다른 BWR인 Pathfinder는 실패했습니다.

3단계의 마지막 프로젝트인 Carolina-Virginia 중수로로는 성공하지 못했습니다. 이 중수로프로젝트는 그후 캐나다로 넘겨져 CANDU를 출범시키게 했습니다.

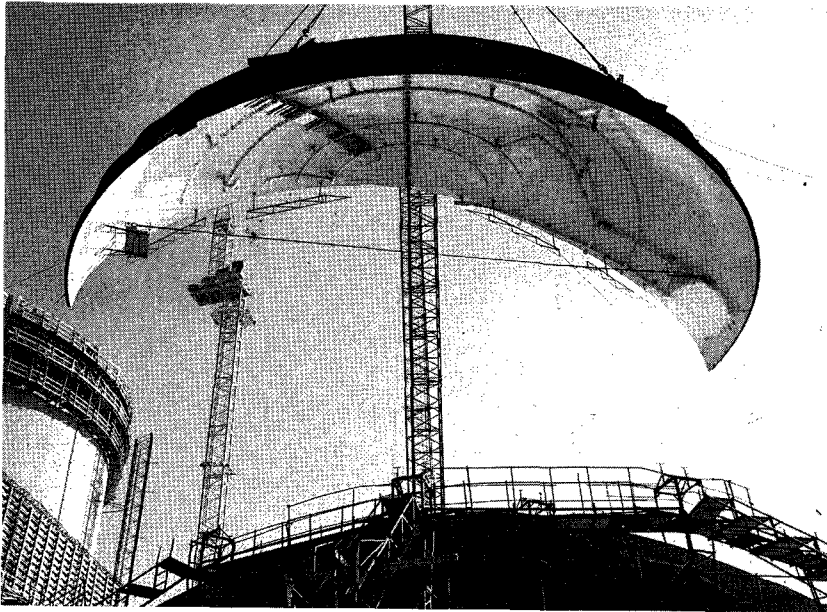
미국에서 이와 같은 일련의 시범계획이 추진되고 있던 1950년대말에 한국도 원자력사업에 본격 착수하여 1958년에는 한국의 原子力法이 공포되었고, 다음 해 1월에는 원자력연구·개발을 전담하는 기구로서 “原子力院”이 창설되어 오늘에 이르렀다고 알고 있습니다. 이처럼 한국도 초기에 원자력연구의 선구자가 되었습니다.

BNL과 ORNL에서도 推進

미국에서는 1962년초 3단계 계획을 보완하여 다시 추진하게 되었습니다. 대표적인 것은 Connecticut Yankee와 California Malibu를 들 수 있습니다. PWR인 Conn. Yankee는 아직도 훌륭하게 가동되고 있지만, Cal. Malibu는 지진문제와 지역주민의 반대에 부딪쳐 난항을 겪었습니다.

이와 같은 때인 1962년 한국에서는 최초의 연구용 원자로인 TRIGA Mark-II가 가동되었습니다. 신생 연구소로서는 괄목할 만한 업적이 아닐 수 없습니다.

시범계획과는 별도로 몇몇 국립연구소에서는 자체적인 원자로개념을 개발하고 있었습니



다. Brookhaven에서는 액체금속냉각로를 개발하고 있었고, Oak Ridge에서는 용융염(溶融鹽) 원자로를 개발하고 있었습니다.

1950년대와 1960년대초 그때에는 흥미와 흥분에 넘쳐있었고, 모든 것이 가능하다고 생각되던 때였습니다.

初期에는 國家威信을 더욱 생각

AEC가 발전용 원자로 시범계획(PRDP)을 추진하다 보니 이런 결과 저런 결과를 모두 경험하게 되었습니다. 어떤 것은 성공적이었고, 또 어떤 것은 아직까지 결실을 얻고 있지 못한 것도 있습니다. 그러나 어쨌든 多重 접근 방법으로 거의 같은 시기에 추진함으로써 그중 가장 우수한 개념을 골라내게 되었고, 또 잘못된 개념의 상용화를 피하게도 되었습니다. 물론 많은 프로젝트가 실패하기도 했습니다.

선정한 기술을 상용화로 제대로 연결하는데 어려움이 많았습니다. 왜냐 하면, 실제로 시범로를 설계·건설하다 보니 우선 해결하고 넘어가야 할 기술적 문제가 상당히 발견되었기 때문입니다. 더구나 초기의 발전용 원자로 개발은 미국이 다른 나라에 뒤떨어지면 안된

다는 국가이익을 우선 생각하여 추진한 것이지, 전력수요에 따른 원자력발전용량의 필요성 때문은 아니었습니다. 즉, 기술적 우월성을 보이자는 것이 주목적이었으며, 실제로 전력 생산사업에는 적용하기 어려운 개발사업이었다고 할 수 있습니다.

따라서 기자재와 설계의 신뢰성을 확보하고 이를 종합하여 원자력발전소 건설, 운전, 보수를 간편하게 하는데에는 그다지 신경쓰지 않았던 것입니다.

政府支援의 發電所 建設

그렇지만 시범계획은 원자력사업 면에 있어서 몇가지 좋은 결과를 던져준 것이었습니다. 우선 현실적으로 가장 바람직한 원자로형이 어떤 것이어야 하는지를 제시해 주었으며, 또 제조·건설 등 원자력관련 산업체에 귀중한 지식과 경험을 제공해 주었습니다.

그러나 사업자에게 원자력발전의 경제성을 분명히 확인해 주지는 못했습니다. 그래서인지 원자로공급자(제조업체)의 판매노력은 실패했습니다. 단, 웨스팅하우스만이 1962년과 1963년에 San Onofre 1호기 및 Conn. Yankee 계약을 따냈을 뿐입니다. 물론 연방정부의

지원을 받지 않을 수 없었습니다. 이것을 제외하고는 1960년까지 미국의 자유시장조건 아래에서 발전용 원자료가 판매된 일은 없습니다.

첫 契約者는 GE

그러다가 1963년 원자로서장을 한번 흔들어 놓기 위해서인지, 하여튼 GE가 640MWe급 Oyster Creek 원자력발전소를 6천6백만달러에 계약하는 일이 일어났습니다. GE가 확정가격으로 일괄건설하는 터키계약이었습니다.

웨스팅하우스가 뒤를 이어 역시 확정가격으로 발전소를 일괄건설하고 가동률을 보장하겠다는 오퍼를 몇군데에 냈습니다.

GE나 WH 어느 회사도 첫번 시작하는 터키사업으로 돈을 벌겠다는 생각은 하지 않았습니다. 그렇다고 물론 적자를 내면서까지 사업을 추진할 생각도 없었던 것 같습니다.

市場公開原則에 의한 판매

1963~1966년 기간동안 전력회사들이 GE와 WH 원자료를 터키조건으로 10여기 사게 되었습니다. 또 같은 기간중에 20여기가 새로 발주되었습니다. 시장공개원칙에 의한 판매활동이었습니다. 이들 원자로의 용량은 450~1,100MWe급이었습니다.

이렇게 수십기를 판매하게 되니 원자력발전소의 자본비가 대략 어느 정도 되는지 거의 정확하게 산출할 수 있었으며, 그 결과 원자력이 석탄화력에 비하여 발전단가 면에서 경쟁력이 있는 것으로 나타났습니다.

그러나 1960년대 말에 가서 원자력 자본비가 상당히 잘못 추정되었다는 것을 알게 되었습니다. 1960년대 초에 비하여 자본비 추정치가 거의 배나 뛰어 올랐습니다. 전기요금도

높게 책정되지 않을 수 없었습니다. GE와 WH는 터키건설에 따른 손실을 감수할 수 밖에 없었습니다. 아마 수억달러는 될 것입니다.

년턴키 발전소의 경우에는 전력회사(사업자)가 추가자본비를 감당할 수 밖에 없었습니다. 몇몇 사업자는 자본비를 조정받아 손실을 줄이기도 했습니다. 그렇지만 1963년 이후에 건설된 첫 20 내지 30기의 원자력발전소는 경제성이 전체적으로 그다지 바람직한 것이 아니었습니다.

에너지源의 多元化가 奏効

미국의 원자력발전사업은 그때에 타격을 받을 수 있었습니다. 그런데 다른 문제가 일어났습니다. 1960년대 말부터 석탄값이 오르기 시작했습니다. 사업자로서는 앞으로를 위하여 다른 방안을 찾아야 했습니다. 원자력발전이 다시 경쟁력을 갖게 되었습니다.

한편, 1960년대 말부터 전력회사들은 너무나 연료에만 의존하는 것은 위험부담이었다고 생각하기 시작했습니다. 가격이 뛰어오르면 속수무책이 될 것이기 때문이었습니다. 특히, 석탄은 수송비가 날이 갈수록 큰 부담이 되고 있었습니다.

결과는 간단했습니다. 1960년대 말과 1970년대 초에 원자력발전소 주문이 상당히 많게 되었습니다.

石油波動은 原電事業 촉매제

그때에 발주된 것이 오늘날 운전되고 있는 것들입니다. 1970년대 중반까지 모두 2백여기 이상의 원자료가 발주되었습니다. 그중 반수 정도는 취소되기도 했습니다.

1973~1974년의 석유파동으로 미국 전력회사들은 석유와 석탄값이 치솟고 또 미래에 대

한 불확실성 때문에 전력성장을 억제하지 않을 수 없었습니다. 전력회사들은 수입이 현저하게 떨어졌습니다. 자금이 부족했기 때문에 석탄화력이든 원자력이든 이미 발주했던 발전소의 건설을 계속하기 어렵게 되었습니다. 뿐만 아니라 추가발전용량도 필요없다는 것을 알게 되었습니다.

현재 미국에서는 110기의 원자력발전소가 가동되고 있으며, 총용량은 약 104GWe가 됩니다. 건설중인 원자력발전소도 있어서 앞으로 수년안에 대여섯 기가 새로 상업가동될 것입니다.

운전중이든 건설중이든 이들 원자력발전소는 모두 1970년대 중반 이전에 발주되었던 것입니다. 전부 경수로 입니다. 다만, 1기가 가스냉각로인데 곧 폐쇄될 계획으로 있습니다.

인플레이션에 의한 建設費의 앙등

1980년 이래 완공된 원자력발전소는 모두 심각한 자본비 영향을 받은 것입니다. 인플레이션, 건설노임과 자재값의 앙등, 규제 지연, 새로운 요건 때문에 전체 건설비가 막대하게 올랐던 것입니다. 그중에서도 TMI 후속조치로 나온 안전규제요건이 가장 심각한 영향을 미친 것이었습니다. 체르노빌은 그다지 큰 영향을 준 것이 아니었습니다.

최근 완공된 원자력발전소의 자본비는 KW당 1,000달러에서 5,000달러까지나 됩니다. 1987년도 달러값으로 계산하면 KW당 평균 2,500달러가 됩니다. 이것은 1963~1966년에 발주된 초기의 원자력발전소에 비하여 거의 10배 이상 가격이 오른 것입니다.

과거의 經驗은 오늘의 敎訓

이제까지 원자력과 관련된 여러 일들을 되

돌아 보았습니다. 그리하여 오늘 우리는 한국 에너지연구소 30주년, 우라늄발전 2백주년, 핵분열성공 50주년, 그리고 원자력상업발전 25주년을 기념하게 되었습니다.

우리는 이런 모든 사건을 통해서 많은 것을 배울 수 있다고 생각하며, 특히 앞으로 다가올 21세기에 대비하여서 과거의 교훈을 쓸모있게 적용할 수 있을 것이라고 생각합니다. 이제 가장 중요하다고 생각되는 몇가지 교훈을 함께 생각해 보겠습니다.

安全性과 經濟性의 사이에서

첫째, 어떤 대형 프로젝트를 새로 착수하려면 그전에 관련되는 기술을 정확히 잘 이해해야 할 것입니다.

둘째, 프로젝트에 따라 규모와 복잡성을 단계별로 미리 주의깊게 고려해야 하며, 또 프로젝트는 처음부터 너무 크게 잡아서 안될 것입니다.

셋째, 상용 건설사업을 착수하기 전에 안전성과 경제성 사이의 어떤 타협점을 모색해야 할 것입니다. 너무 한쪽 면만 치중하다 보면 안정과 평형이 유지되기 어렵습니다.

넷째, 자본비 예측이 잘못되지 않으려면 특별한 관리노력과 사업의 일관성이 있어야 합니다.

다섯째, 당초의 예측은 대개 잘못될 수 있으며, 최소 두배나 뛰어오를 것이라고 보아야 합니다.

電力消費와 GNP의 관계

이제 미래에 대한 전망을 미국의 견지에서 살펴보도록 하겠습니다.

우선 전력수요의 증가에 대한 것입니다. 석유파동 이후 16년간 미국의 에너지 GNP비율

은 점차 하향추세를 보였습니다. 즉, 사용한 에너지가 적는데 비하여 GNP는 성장하였으므로 단위에너지당 GNP는 높았다고 할 수 있습니다. 보수적인 관점에서 본다면 종전 보다 적은 에너지로 많은 GNP를 올렸다고도 할 수 있습니다. 이같은 추세는 당분간 계속될 것으로 보입니다.

그러나 그같은 지속적인 추세 속에서도 전력 사용은 증가했고, 반면 다른 에너지형태의 사용은 떨어졌습니다. 실제로 미국에서 전력소비와 GNP는 양등과 반락을 거듭하면서 서로 거리를 좁혀갔고, 앞으로도 계속 그렇게 될 것입니다.

21世紀에는 200基 必要

이러한 추세로 본다면 21세기 초에 가서는 1GWe급 발전소 100 내지 200기가 더 필요하게 될 것입니다. 신규발전소 수자가 정확치 않은 것은 전력수요 증가를 확실히 판단하기 어려우며, 또 오래된 발전소를 폐쇄하는 비율도 불확실하기 때문입니다.

현재 전체 전력의 4분의 3분이 석탄과 원자력에서 나오고 있습니다. 원자력 20%, 석탄 50%, 가스 10%, 수력 8%, 석유 5%, 기타 2%입니다. 이러한 비율이 앞으로 어떻게 될지는 알 수 없습니다.

反對運動은 언젠가 사라질것

다만 원자력과 관련하여 예상할 수 있는 일은 과거에도 줄곧 그랬듯이 사회가 보다 발전하고, 종교문제가 더욱 복잡해지며, 기술도 두드러지게 개발되면 될수록 이에 부응하여 원자력기술에 대한 소란스런 반대운동 역시 더 활발해질 것이라는 점입니다. 역설적으로 생각한다면 그것은 원자력의 성공을 뜻하는 것입니다.

왜냐 하면, 지금까지 보면 대개 우수하게 성공한 기술개발일수록 狂의일 정도의 반대를 받아왔기 때문입니다.

우리 모두는 환경운동에 대하여 깊이 이해하고 뜻을 같이하고 있습니다. 그런데 그 운동이란 것이 환경적으로 혜택을 주는 에너지源을 반대하고 있다는 것은 참으로 모순이 아닐 수 없습니다.

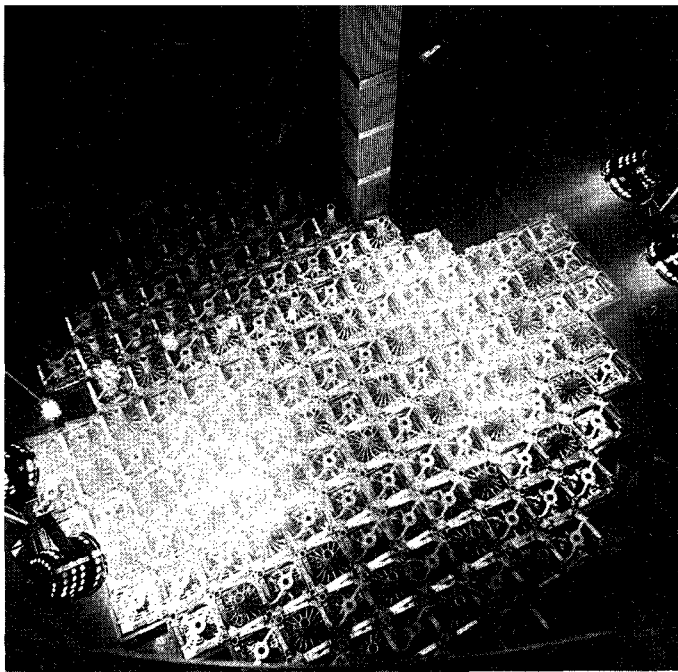
反原電운동은 오늘에 있어서와 마찬가지로 21세기에 있어서도 잘못 이해되어 있는 소란스런 운동으로 계속될 것이라고 생각합니다. 그러나 과거 다른 반대운동에 대한 결과를 예로 비추어 보아 反原電운동도 그렇게 될 것으로 생각하여 위안을 삼고자 합니다.

영국에서는 증기기관이 처음 실용되었을때 이 新技術에 대한 반대 때문에 증기기관차가 다닐 때에는 기관차 앞에 등불을 든 사람이 미리 걸어가도록 하는 법을 통과시키기 까지 했습니다. 기관차 앞을 지나가는 마차에게 경고를 해야 한다는 이유에서 였습니다. 얼마후 이 법은 사라졌습니다. 마찬가지로 원자력반대운동도 어느때 가서는 사라질 것입니다. 당장 기대하기는 어렵지만 말입니다.

10年 이내에는 新規發注 없어

미국의 원자력발전은 어디로 향하고 있는 것일까요? 누구도 확실한 대답을 하기 어렵습니다. 사람마다 견해가 다르기 때문입니다. 본인의 의견을 말씀드리겠습니다.

앞으로 5년이나 10년 이내에는 신규 원자력발전소의 발주가 없을 것으로 생각됩니다. 21세기에 들어선 몇해까지도 그럴 수 있을 것입니다. 그런 속에 몇몇 용기있는 전력회사가 우선 몇기를 잠정적으로 발주할 것입니다. 이어서 공급자가 감당할 정도의 신규발주가 계속될 것입니다. 그러다가 다른 여러 전력회사들도



결국 석탄에 비하여 원자력을 더욱 選好하지 않을 수 없는 방침으로 나올 것입니다. 그래서 2020년까지는 50 내지 100GW의 원자력발전용량을 건설·가동하게 될 것입니다.

그런 연후에 오래된 원자력발전소를 차례로 교체해야 하고, 또 전력수요의 증가에 맞추기 위하여 여러 基가 더 건설될 것입니다.

經濟的 規制問題 해결해야

분별력이 충분히 있다면 지금이야 말로 신규 원자력발전소를 발주하고 건설에 착수해야 할 시기라는 것을 알 것입니다. 이미 여러 州에서 어느 정도 추가용량이 필요하게 되었고, 고참 원자력발전소의 은퇴도 생각하지 않을 수 없기 때문입니다.

그러나 세상은 분별력있는 사리만으로 움직이는 것은 아닙니다. 실체가 그렇습니다. 수많은 장애물이 있기 마련입니다. 안전규제에 있어서 현재 어느 정도 진전을 보이고 있지만 아직도 어떤 기본적인 합의와 요구사항의 현실적인 整備는 이루어지지 않았습니니다. 다시 말하여 우리는 불행하게도 「經濟的 規制」사항에 대하여 전혀 어떠한 진전도 보지 못하고 있는 것입니다.

이 문제와 관련하여 대부분 미국 전력회사의 신규발전소프로젝트에 대한 분위기는 그저 잘못되었다고 밖에 말할 수 없습니다.

Prudency Proceeding의 問題

최근 완공된 원자력발전소의 비용은 엄청난 것이었습니다. 이 때문에 심각할 정도의 사회적·정치적 어려움이 야기되었습니다.

미국의 전력사업자에 대한 經濟的 規制시스템은 다분히 지방자치적입니다. 50개 각 주마다 Public Service Commission이 구성되어 있어서 이 위원회에 거의 모든 권한이 주어져 있습니다. 위원회는 대부분 매우 정치적입니다. 사업자가 새로 발전소를 건설하고 투자비용을 상환하기 위하여 전력요금 인상을 요청하면, 위원회는 우선 인상요인을 피하기 위한 방법부터 찾게 됩니다. 대체적으로 어느 정도의 중간타협안에 도달하게 됩니다. 전력회사는 파산을 면할 정도의 요금인상을 허락받습니다. 신규 발전소 비용의 큰 몫은 전력회사 자체예산에서 떨어져 나갑니다. 株主들의 호주머니에서 충당되는 셈입니다. 이러한 과정을 미국에서는 “Prudency Proceeding”이라고 합니다. “신중한 조치”라고나 할까요... 어쨌든 이러한 조치 때문에

전력회사 경영진은 “탄환충격증” (근처에서 파열한 폭탄으로 인하여 일어나는 기억력이나 시각 등의 상실증)에 걸려있다고 하였습니다.

그 결과 전력회사 경영진들은 추가 발전용량의 필요성을 인정할지는 모르지만, 신규 프로젝트를 추진하는 일은 전혀 엄두도 못내고 있습니다.

결단력있는 電力需要豫測을

전력회사 기획부서는 전력수요예측을 잘 하지는 못하지만, 사장이나 최고경영진의 눈치를 살피는 일은 썩 잘하고 있습니다. 그래서 기획부서에서 나온 예측을 보면 최소의 성장이거나, 그렇지 않으면 제로성장으로 되어있기가 일수입니다. 신규 발전용량이 필요없다는 것입니다. 이런 계획서가 나오면 회사 사장이나 최고경영진은 만족해 합니다. 따라서 다른 사람들도 모두 만족해 합니다. 그러는 가운데 電力負荷는 계속 증가하고, 낡은 발전소는 더 낡아져 유지 보수하기가 더 어렵게 됩니다.

부하증가가 누적되어 어쩔 수 없는 상태에 까지 이르고, 또 오래된 발전소를 더 이상 어떻게 할 수 없을 정도까지 되려면 앞으로 약 10년은 더 있어야 할 것입니다. 뿐만 아니라 현재의 전력회사 최고경영진이 은퇴하려면 앞으로도 10년쯤은 더 있어야 합니다. 그때에 가서 우리는 전력공급문제를 실질적으로 다룰 수 있을 것이며, 신규 원자력발전소 몇기도 발주할 것으로 생각합니다. 그때까지는 재래식 화력발전이 상당 수 건설될 것입니다. 이렇게 하여 전력 부족을 어느 정도 극복할 수 있지만, 막대한 연료비는 어떻게 할 수 없을 것입니다.

신규 발주의 시기가 오면 그때의 爐型은 어떤 것이 될까? 제2세대의 원자력발전은 과연 어떤 기술적 특성을 갖게 될 것이며, 어떤 형태로 나타날 것인가? 이런 주제는 전문가들

이 신이 나서 얘기할 수 있는 제목입니다.

분명한 것은 현재의 PWR과 BWR이 개선된다는 점입니다. 안전성, 신뢰성, 운전과 보수의 편의성, 그리고 희망적인 사항으로서 경제성, 이 모든 것들이 현재 보다 개선될 것입니다.

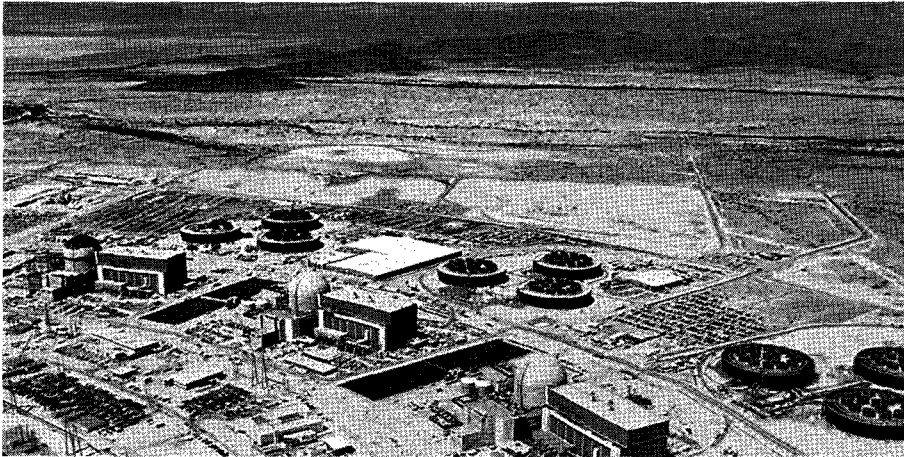
進化的 概念의 設計

현재 미국에서는 이러한 모든 요건에 구색을 맞추는 노력이 진행되고 있습니다. EPRI는 모든 신규 발전소에 필요하다고 생각되는 설계 및 운전상의 세부요건을 충분히 파악하여 정리해 놓았습니다. NRC의 규제요건까지 감안하여 내놓은 EPRI의 요건은 새로운 원자로 설계의 테두리를 형성해 주는 것입니다.

새로운 설계 노력은 두가지로 나눌 수 있습니다. 새로운 LWR과 가스냉각/액체금속냉각로입니다.

새로운 LWR 설계에는 두가지가 있습니다. 첫째는 “進化的”(evolutionary) 설계로서 900~1,300MWe 용량의 대형 경수로를 개량하는 것입니다. 이 설계의 특성은 여러 시스템을 통합한 것으로 설계가 간편하고 건설, 운전, 보수를 쉽도록 한 것입니다. 설계개량은 PWR과 BWR 양쪽에 걸쳐 진행하고 있습니다. ABWR이라고 하는 BWR개량설계사업은 GE가 일본의 Hitachi와 Toshiba, 스웨덴의 ASEA-Atom, 이탈리아의 Ansaldo와 함께 추진하고 있습니다. 東京전력회사가 이 설계에 의한 원자로 2기를 발주했으므로 설계의 성공여부를 곧 알 수 있을 것입니다. 1,350MWe급 Kashiwazaki 1, 2호기입니다. 내부재순환펌프가 있고, 電氣力學 제어봉구동장치를 설치토록 했으며, 보수할때에 내부접근을 쉽게 하고 방사선피폭을 최소로 하기 위한 기기배치설계입니다.

개량형 PWR은 WH와 CE가 설계사업을 공동으로 맡아 하고 있습니다. WH는 일본 Mit-



subishi 및 Kansai 전력과 합작하였습니다. CE는 잘 알려진 System 80 설계를 기본으로 하여 개량형 PWR을 개발하고 있습니다. 개량형 PWR은 대용량의 1차 및 2차계통 用水를 보유하도록 되어 있기 때문에 가압기의 규모가 상당히 큽니다. 이렇게 한 것은 현재의 발전소에서는 어려운 여러 과도상태를 극복할 수 있기 때문입니다.

또 다른 형태의 LWR은 종래의 것 보다 소형이고, 보다 단순화 된 300~600MWe급의 원자로입니다. 이른바 수동적 안전특성을 반영한 것입니다. 즉, 현재의 펌프 대신에 重力과 자연 대류방식을 도입한 것입니다. WH, GE, CE 모두 이 형태의 설계를 추진하고 있습니다. 이 소형 신형로는 자체의 수동적 안전특성 때문에 규제요건을 감소할 수 있어서 건설비가 적게 든다고 합니다. 상당히 바람직한 일입니다. 그렇지만 규제기관이 또 무엇이라고 할지는 두고 보아야 할 일입니다.

앞으로는 FBR時代

미국으로서는 좀 이색적인 것이기는 하지만 가스냉각 및 액체금속냉각조에 대한 개량설계도 하고 있습니다. 비교적 소규모 용량이어서

100~150MWe급입니다. 그렇게 소형으로 설계한 것은 잔열을 운전원의 조작이나 밸브 또는 펌프의 작동없이 수동적으로 대기중에 방출하여 제거할 수 있기 때문입니다. 이것은 참으로 놀라운 안전특성입니다. 그렇지만 규제기관이 무엇이라고 최종적으로 말할지가 문제입니다. 설계에서 안전요건을 감소한 것이 경제적으로 보상받을 수 있는 것인지는 분명치 않기 때문입니다.

이상 여러 형태의 소형로 중에서 어떤 것이 미국에서 처음 건설될지는 모르는 일입니다. 본인은 신형 LWR이 첫번 주자가 되지 않을까 생각합니다. 전력회사들에게는 낯익은 것이기 때문입니다. 신형 LWR중에서 대형이 될지, 소형이 될지는 그때에 가서 발전가격이 어느 것이 더 유리하냐에 달려 있을 것입니다.

이들 신형로는 21세기 이전에는 상용화되지 않는다고 생각합니다. 그전에 적어도 한번은 예선을 거쳐야 할 것이라고 생각합니다. 한편, 장기적인 안목에서 본다면 FBR시대가 올 것이라고 생각합니다. 현재의 액체금속냉각로개념은 FBR의 전초라고 볼 수 있습니다.

현재 추진하고 있는 모든 작업이 미래에 어떤 형태로 나타날지는 매우 흥미있는 일입니다.