

原子力開發의 展望

폴레뜨 르비네
유럽원자력학회 회장

원자력계는 최근 핵분열연쇄반응 50주년을 자축한 바 있다. 원자력은 지난 30년간의 산업화 과정을 거쳐 전세계 특히 유럽에서 괄목할 만한 성과를 거두었다. 그러나 원자력은 이제 그 개발의 전환점에 와 있다.

유럽의 대들보적 위치

1991년말 현재 전세계 25개국에서 420기의 원자력발전소(이하 원전)가 가동하여 전력생산의 17%를 담당하고 있으며 76기의 원전이 건설중에 있다.

14개국에서는 전력수요의 25% 이상을 원자력발전에 의존하고 있다. 그 중에서 11개국이 유럽 국가인데 프랑스는 75%로 의존도가 제일 높으며 전세계 원자력발전량의 1/7을 차지하고 있다(표 1). 유럽 경제공동체(EEC)만을 보면 원자력

〈표 1〉 각국별 원자력발전 점유율 (25% 이상)

(단위: %)

국 가	원자력발전 점유율
프 랑 스	73
벨 기 에	60
스 웨 덴	52
헝 가 리	48
한 국	47
스 위 스	40
臺 灣	38
스 페 인	36
불 가 리 아	34
핀 란 드	33
옛 체 코	29
독 일	28
日 本	27
슬로베니아	25

자료: AIEA Figures(1991)

발전량의 비중이 30%이다.

원자로 수명누적년수를 따진다면 1991년 12월말 현재 서유럽은 단 한 건의 사고도 없이 총 2,300원자로-년을 달성했고 미국은 총 1,800원자로-년을 기록했다. 14개 주요 원전 보유국가 중에서 3개국이 태평양지역에 위치하고 있는데 바로 한국(47%), 臺灣(38%) 그리고 日本(27%)이다. 이러한 자료로부터 판단하건대 유럽과 태평양지역 국가들이 앞으로 원자력계에서 계속 대들보적 위치를 고수할 것이다.

한편 EEC내의 국가별 원자력여건은 다음과 같이 비교적 비슷한 조건하에 있다. 즉 1. 그들은 첨단 기술과 고도의 숙련된 기술인력을 보유하고 있다 2. 모든 국가에 해당되는 것은 아니지만 일부 국가는 상당한 규모의 천연자원을 갖고 있으며 에너지자립이 에너지정책 결정의 주요한 요소이다 3. 경제개발의 선결조건은 경쟁력 있는 에너지 생산 뿐만 아니라 에너지수요의 성장이다.

그러나 어떤 에너지정책을 택하느냐에 따라 원자력의 추진에서는 큰 차이를 보이고 있다. 서유럽 국가들은 대략 다음 3가지 부류로 구분지을 수 있다.

첫째 원자력에 의존하지 않는 나라들로 오스트리아, 덴마크, 그리스, 아이슬란드, 아일랜드, 룩셈부르크, 노르웨이, 포르투갈 등이다.

둘째 원전을 건설했으나 원자력을 더이상 추진하지 않기로 결정한 나라들로 이탈리아와 스웨덴이 범주에 속한다.

이탈리아에서는 원자력을 이용한 전력생산을 완전히 중단했다. 그러나 새로 입안할 에너지계획에서 이탈리아 정부는 원자력의 필요성을 호소할 조짐을 나타내고 있다.

스웨덴에서는 1980년 국민투표를 통해 원자력시설을 더이상 추가하지 않기로 결정했으며 의회는 12기의 원전을 2010년까지 전부 폐쇄하기로 결정했다. 그러나 1990년의 여론조사 결과 국민의 58%가 원자력을 옹호하는 것으로 나타났으며 1991년에는 원전의 운전종료일을 구체적으로 설정하지 못하도록 하는 결의안을 의회에서 채택했다.

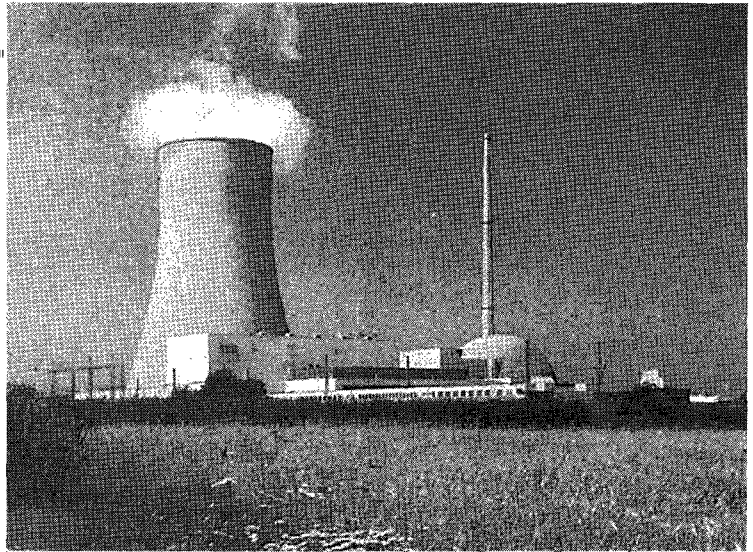
원자력에 대하여 극단적인 조치를 취했던 이 두 나라의 사례로부터 우리는 낙관은 금물이지만 원자력에 미래가 있음을 확신하게 된다.

셋째 원자력에 의존하는 국가들로 대부분의 국가가 원전을 가동중에 있으나 일부 국가(스위스, 독일)는 운전기간 연장이나 신규원전 건설에 어려움을 겪고 있다.

신규원전의 필요성이 불황기에 갑작스럽게 대두되지 않는다면 원전의 건설에는 대략 6~7년이 소요된다. 내일 전력을 생산하기 위해서는 오늘 결정을 내려야만 하는 것이다.

단지 2개 국가만이 원전을 건설중에 있는데 영국의 Sizewell B 원전과 프랑스의 Civaux 1, 2호기가 바로 그것이다. 핀란드는 5번째 원전건설의 가능성을 계속 열어 놓고 있다.

원자력은 중부 및 동유럽의 전력생산에 있어서 중요한 비중을 차지



한다. 헝가리(48%), 불가리아(34%), 옛 체코(29%), 슬로베니아(25%) 등인데 이들 국가들의 여건은 다음과 같은 문제들로 인하여 더욱 복잡하다.

1. 원전의 안전운전에 대한 의문 제기 2. 원자력이든 아니든 간에 신규 설비투자에 있어서의 경제성 문제 3. 환경보전 문제 등이다.

그러나 우선순위는 먼저 가동중인 기존원전에 두어야 하며 건설중인 원전의 안전성 향상은 두번째 문제이다. 다음 세기에 사용할 설비는 국민들이 민주적으로 수용하는 에너지정책을 통하여 결정되어야 한다.

원자력의 승부수

원자력이 이렇게 짧은 기간 동안에 괄목할 만한 성과를 이룬데에는 그럴만한 이유가 있다. 근본적인 이유는 원자력이 현대적이라는 점인데 좀 더 구체적으로 말하면 현실적이라는 점이다. 즉 원자력은 오늘날 세계가 당면하고 있는 많은 문제를 해결해 주는 대안이라는 뜻이다.

1. 증가하는 에너지수요

에너지수요의 증가는 경제개발의 전제조건이고 경제개발은 선진국보다는 개발도상국에서 더욱 절실하다. 세계 인구는 앞으로 50년 이내에 90억명에 도달할 것으로 현재 예측되고 있다. 이 많은 인구의 평균적인 생활수준을 미국 국민의 절반이라고 가정하고 에너지절약으로 전력수요의 증가가 GNP 증가의 절반이라고 가정한다 하더라도 전력수요는 오늘날의 3배가 될 것이다. 우리가 아무 생각없이 화석연료를 사용하여 에너지를 생산한다면 우리 지구는 더욱 심각한 위험에 처하게 될 것이다.

2. 온실효과 감소

화석연료에 의존한 에너지생산은 탄산가스 방출로 인한 온실효과를 초래하게 된다. 대기중의 탄산가스 증가는 21세기를 맞는 우리 인류가 해결해야 할 중요한 과제 중의 하나이다. 온실효과는 에너지의 생산과 사용에 따라 발생하는 불가피한 현상이다.

온실효과를 줄일 수 있는 첫번째 방법은 산업시설, 가정 및 수송부

문에서 에너지를 더욱 효과적으로 사용하는 것이다. 두번째 대책은 원자력발전량을 더욱 늘리는 것이다. 이러한 점에서 원자력이 없었다면 EEC 내에서 전력생산에 따른 탄산가스 방출은 지금보다 2/3 정도 증가했을 것인데 원전은 연간 7억톤의 탄산가스 방출을 감소시켜왔다. 따라서 원전의 규모에 따라서 탄산가스 방출은 줄기도 하고 늘어나기도 할 것이다.

유럽원자력학회(ENS)의 계산에 따르면 만약 2010년까지 원전을 모두 없애고 석탄이나 가스화력발전소로 대체한다면 유럽의 전력생산 과정에서 발생하는 탄산가스의 양은 현재 연간 22억톤 규모에서 연간 52.5억톤 규모로 2.5배 늘어나게 될 것이다.

반면 2010년까지 원전의 규모를 두 배로 늘린다면 독립국가연합을 포함한 유럽의 전력생산과정에서 발생하는 탄산가스의 양은 현재 연 22억톤에서 14.2억톤으로 55%가 줄어들 것이다(표 2).

3. 원자력은 청정에너지

(1) 폐기물 문제

최근 지구 차원의 또다른 관심사는 폐기물관리 문제이다. 이러한 점에서 원자력산업은 하나의 모범적인 사례가 될 수 있다. 원자력산

업은 산업이 추구해야 할 중요한 목표 중의 하나가 폐기물관리임을 보여준 첫번째 산업분야이다. 애초부터 원자력산업은 폐기물의 안전한 관리와 영구처분을 선결조건으로 내세웠다. 방사성폐기물은 핵연료주기 전과정에 걸쳐서 정확하게 등록, 관리되어 우리 생활세계로부터 격리된다.

서방세계의 원자력산업계는 폐기물을 회석하고 확산하는 대신에 농축하고 격리하는 철학을 가진 첫번째 산업분야이다. 방사성폐기물은 다른 어떤 발전방식에서 발생하는 폐기물보다도 그 양이 적다.

인구 70만명의 도시에 전력을 공급할 수 있는 100만kW급 원전의 경우 매년 고준위 폐기물 약 2~3입방미터, 중준위 폐기물 약 10입방미터, 저준위 폐기물 40입방미터가 발생한다. 동일 규모의 석탄화력발전소는 여과망에 걸린 양을 감안하지 않더라도 매년 20만입방미터의 석탄재를 발생시킨다.

(2) 사용후연료 재처리

원자력산업은 사용후연료를 재처리하여 천연자원인 우라늄을 절약하는 기술도 개발했다. 다른 천연자원과 마찬가지로 우라늄도 제한된 연료자원이다. 재처리되는 사용후연료는 97%가 핵분열이 가능한

물질인데 이 중 96%는 우라늄이고 1%는 플루토늄이다. 꼭 알아 두어야 할 점은 플루토늄 1그램으로 생산할 수 있는 에너지는 석유 1백만그램의 그것과 같다는 것이다.

또 회수한 우라늄과 플루토늄은 원전에 다시 사용할 수 있다(가압경수로와 고속중수로). 사용후연료 재처리시설을 모든 원자력국가가 가진 것은 아니다. 영국과 프랑스는 이 분야에서 선도적 위치에 있으며 다른 외국에 대해서 사용후연료 위탁 재처리 서비스를 제공하기도 한다.

사용후연료를 재처리한 후 방사성폐기물은 적절한 방법으로 처리하여 폐기물의 부피를 줄인다. 예를 들어 우라늄 1톤을 재처리하게 되면 고준위 폐기물 1,400리터가 발생하지만 사용후연료를 직접 영구처분하면 우라늄 1톤당 고준위 폐기물 2,000리터가 발생한다. 재처리공정을 더욱 개량하면 발생량은 더욱 줄어든다.

프랑스 원전은 매년 주민 1인당 1kg 꼴로 방사성폐기물을 발생시키는데 그 중에서 20g이 핵분열생성물이다. 이 양은 주민 1인당 매년 2,500kg 정도 발생하는 산업폐기물과 좋은 대조를 이룬다. 발생된 방사성폐기물의 90%가 저준위 및 중준위 폐기물인데 반감기가 짧으므로(300년) Manche 처분장(Manche 소재)이나 Soulaines 처분장(Soulaines 소재)의 지표면에 저장된다. Soulaines 처분장은 1991년에 가동을 개시하여 앞으로 30년간 운영될 것이다.

〈표 2〉 전 유럽 발전소의 연간 CO₂ 배출량

(단위 : 백만톤/년)

시나리오	1988	2000	2010
실 제	2,200	-	-
원전이 없는 경우	2,900	4,100	5,250
계 획	-	3,000	3,240
원전용량을 배가하는 경우	-	-	1,420

4. 원자력의 경제성

경제성은 오늘날 원자력이 당면한 여러 과제 중에서 매우 중요한 과제이다. 원자력의 경제성은 프랑스에서 뿐만 아니라 원자력과 다른 전원간에 공정한 비교가 이루어진다는 것을 전제로 한다면 대부분의 유럽 국가(벨기에, 핀란드, 스웨덴)에서도 입증되고 있다. 원자력은 자본비는 매우 크지만 연료비는 매우 낮다(표 3), (표 4).

에너지비용 구성요소에 대해서는 좀 더 자세히 언급하고자 한다.

(1) 천연가스 공급은 시장가격 변화에 따라 좌우되며 화석연료는 지정학적 여건에 따라 더욱 큰 폭으로 변한다. 이러한 면에서 본다면 우리나라는 전세계에 조금은 더 골고루 퍼져 있으며 사용후연료의 재처리 및 우리나라와 플루토늄의 재순환을 고려하면 지정학적 압력에 대처할 수 있는 자원으로서의 역할을 충분히 할 수 있다.

(2) 화석연료발전소의 자본비용

〈표 3〉 발전방식별 기저부하 발전원가

(단위 : 프랑스 상티 / kWh)

에너지원	발전원가	91년 발전원가
원자력	21~22	24~25
석탄	27~32	30~35
복합사이클천연가스	28~43	31~47

자료 : DIGEC - Edition 90

〈표 4〉 발전방식별 kWh당 평균원가비율

(단위 : 단위 : %)

발전방식	설비투자비	운영비	연료비	계
원자력	48	22	30	100
석탄(수입)	27	18	55	100
석탄(국산)	19	11	70	100
석유	18	15	67	100

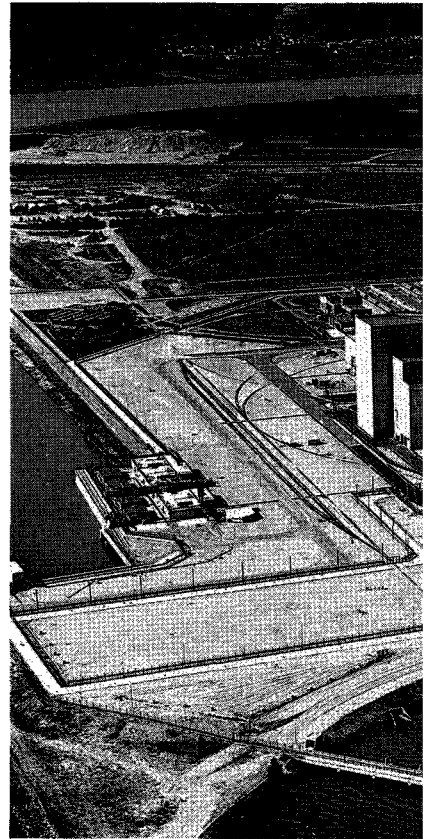
자료 : OPEN Study 1987

은 환경규제가 강화됨에 따라 앞으로 더욱 늘어날 것이다.

(3) 원자력발전 단계에는 원전해체의 철거비가 포함되어 있다. 프랑스 EdF社에서는 원전철거비로 건설비의 15%를 고려하고 있다. 전 보유국가별로 다양한 형태의 재원확보조치를 통하여 원전철거비가 필요할 때 사용될 수 있도록 하고 있다. 전체적으로 보면 원전철거비는 대형 원전의 경우 연간 발전비용의 2~5% 정도인데 철거비는 발전원가(kWh)에 포함하는 것이 보통이다.

(4) 원자력의 경우 환경, 폐기물, 원전해체와 같은 비용을 발전원가의 일부로 처음부터 고려하고 있으나 다른 에너지의 경우 이러한 비용을 발전원가 이외의 별도 비용으로 간주한다.

원전해체는 21세기에 각광을 받는 사업이 될 것이다. 그러나 오늘날에도 실제로 세계 여러나라에서 해체가 이루어지고 있다. 원전사업



자는 원전을 어떻게 해체할지를 알고 있으며 그 근간이 되는 기술을 갖고 있는데 이러한 근간기술과 작업절차는 이미 국제적으로 인정받고 있다.

국제원자력기구(IAEA)는 원전해체를 다음과 같이 3단계로 구분하여 정의하고 있다.

(1) 제1단계

감시하의 잠정적인 보관

(2) 제2단계

제한적인 부지의 개방

(3) 제3단계

부지의 조건없는 완전개방

각각의 단계에 대해서는 원전, 연구로 및 핵주기시설별로 이미 기



초가 국제적으로 확립되어 있다.

경제협력개발기구 원자력기관(OECD/NEA)의 협력프로그램하에 19개 원자력시설의 해체작업이 진행중에 있다. 그 중 원자로가 13기, 6개가 핵주기시설이다. 원자로 7기는 제3단계까지 작업이 완료된 바 있다. 21세기가 시작될 무렵에는 60기 이상의 원전과 250기 이상의 연구로가 해체, 철거될 것이다.

5. 원자력협력

원자력이 그 미래를 확실히 보장 하려면 원자력산업계의 전폭적인 지지를 먼저 구하여야 한다. TMI 및 체르노빌사고 이후 원자력개발

의 침체, 원자력의 자본집약적 특성과 잠재적 고객의 제한 등으로 말미암아 원자력은 다른 모든 산업계와 마찬가지로 세계시장을 개척하지 않을 수 없게 됐다. 원자력산업을 더욱 발전시키려면 참된 의미에서의 협력정신이 필요하다.

동유럽 국가들과 진행중인 협력은 다음과 같다.

(1) 원전운영자단체인 세계원자력발전사업자협회(WANO)는 기술 지원 및 교류를 통하여 서구 및 동구 원전의 안전수준을 동등하게 만들고 있다.

(2) AIEA나 EURATOM은 방문을 통하여(INSAG) 원자력안전

에 필수적인 객관적 감시압력을 보 증하고 있다.

(3) EEC의 PHARE나 TACIS 프로그램에 따른 재정지원으로 원전을 지원하고 개량한다.

(4) 유럽 안전규제 담당기관들은 동유럽이 서유럽과 대등한 수준의 안전규제기준을 설정하도록 협력하고 있다.

전력회사들도 동유럽 원전개선에 활발히 참여하고 있으며 또한 원전의 안전성 향상에도 노력하고 있는데 최근 프랑스 EDF社가 불가리아 Kozloduy 원전을 지원한 경우가 대표적 사례이다. 그리고 동유럽에 신규원전을 건설하기 위한 상호 합작투자를 추진하고 있다.

6. 미래형 원자로

원자력협력은 미래형 원전연구에도 적용된다. 설비공급자 단독으로 혹은 전력회사 단독으로 미래형 원자로 개발을 추진하던 시대는 이미 지났다. 물론 서구의 원자로가 매우 높은 수준의 안전성을 성취했지만 경수로의 설계, 운전 및 유지보수를 더욱 단순화할 여지는 있다.

앞으로 위험부담은 경수로와 고속중식로의 설계단계에서 적절한 방법을 강구함으로써 은연중에 고려될 것이다. 유럽 전력회사들은 원자력개발을 위해서 서로 협력하여 「유럽전력회사설계요건협회(EUR)」를 결성했다. 한편 프랑스와 독일의 전력회사들은 지멘스社, 프라마뎀社 및 그들의 자회사인 NPI社와 함께 유럽형 가압경수로(EPR)를 개발중이다.

미국과 日本 사이에 이루어지고

있는 비슷한 국제협력도 상품을 전 세계에 팔려면 다국적 차원의 협력이 필요함을 보여주며 확신시킨다는 점에서 매우 중요하다.

그리고 마지막으로 고속증식로에 대한 유럽 차원의 협력은 향후 20년간 계속되어야만 원자력의 지속적인 개발이 가능하게 되고 에너지 시장에서 원자력이 계속 주도적인 역할을 할 수 있게 된다고 믿는다. 공동연구의 또다른 분야는 핵융합에 대한 연구이다.

국민이해, 원자력의 과제

많은 국가에서 원자력의 미래는 국민대중과 정치권으로부터 어떻게 이해를 구하느냐에 달려 있는데 이는 대중 정보전달 시대의 민주화된 사회에서는 불가피한 일이다.

원자력은 경제적 및 환경측면에서 여러가지 과제를 해결해야만 한다. 원자력은 국민과 정치권으로부터 반드시 필요한 에너지라는 인정을 받아야만 한다. 원자력이 개선해야 할 주요분야는 바로 대중홍보에 있다.

원자력시설을 운영함에 있어서 숨기는 것이 없고 투명성을 증가시키는 것이 반드시 필요하다. 이는 여론조사 결과 확인된 바 있다. 예를 들면 1991년에 프랑스 여론조사와 원자력에 대한 국민의식 조사결과 원자력을 선호하는 가장 중요한 이유는 에너지자립(37%), 경제발전(21%) 그리고 발전원가(19%)의 순이었다. 57%가 프랑스의 에너지정책을 지지했지만 체르노빌과 같은 사고 위험과 방사성폐기물 문제

(40%)가 원자력을 반대하는 주된 이유였다.

원자력안전과 폐기물 문제는 세계적 관심사로서 행동과 조치에 있어서 투명한 의사소통이 필요하다. 방사성폐기물에 대해서는 오랜기간 동안 저장해야 한다는 점과 지표면에 저장해서는 안된다는 점이 문제의 핵심이다. 따라서 안전하게 처분하기 위한 전제조건인 안정된 지하지층이 존재한다는 사실을 국민들에게 공개하고 입증해야 한다.

원자력안전에 관해서는 그동안 많은 개선이 있었고 또 진행중임에도 불구하고 원자력계는 그 개선내용을 제대로 또 적절한 방법으로 알리지도 못한 것으로 보인다. 따라서 국민을 향해 투명성을 알리는 대중전달방식이 더욱 개발되어야만 한다.

지금까지 이룩한 개선은 다음과 같다.

1. 원전사고고장등급평가지침(INES)의 설정이 첫번째 노력이다.
2. 원자력시설을 국민에게 개방하는 것이 그 둘째 노력이다.
3. 원자력에 대해 전세계적인 팩시밀리 정보교환서비스인 NucNet을 개설했는데 이는 언론매체와 국민홍보를 위한 세번째 노력이다.
4. 지역홍보 및 원자력시설을 건설하기 위해 원전운영자가 지역별로 기울이는 정책적 노력이 매우 중요하며 이것이 네번째 노력이다.
5. 프랑스에서는 EdF社나 Cogema社 등이 포스터, TV 광고 등을 통하여 국민들에게 원자력을 홍보하기 시작했는데 이것이 또다른 노력의 하나이다.

목표 지향적인 정보교류 채널은 모든 원자력 구성원들이 개별적으로 혹은 집단내부적으로나 더욱 개발해야 한다. 특히 다음과 같은 구체적인 목표를 설정해야만 한다.

1. 여성

지난 93년 1월31일 Karlovy Vary에서 열렸던 홍보자료교환회의(PIME)에서 에너지계의 여성(WIN)을 창설하는 등 새로운 움직임이 일어나고 있다.

2. 학교 학생들

3. 젊은 사람들

4. 원자력시설 인근주민들

5. 정치가, 교사, 의사와 같은 여론형성 주도층

국민홍보가 원자력개발의 최대관건으로 원자력이 절실히 필요하며 위험부담은 별로 없다는 인식이 들도록 하여야만 국민들의 이해를 얻을 수 있다.

결과적으로 의사전달을 위한 노력을 더욱 더 기울여 원자력안전과 폐기물에 대해 우리가 확신하는 바를 제대로 알려야 한다. 지역 라디오방송, 원자력 옹호단체 등의 지역규모 및 국제규모의 움직임을 충분히 지원할 수 있도록 하는 행동계획을 세워야 한다.

결론

지난 50년간의 개발 초기단계에서 원자력은 무수한 기술적 난관을 극복했다. 국제적인 차원에서 원자력의 미래기술은 이미 개발중에 있다. 앞으로 해야 할 일은 안전문화를 세계적으로 진흥하고 국민이해를 위해 노력하는 일이다.■