

프랑스 원자력산업의 장기전망



작 꾸뛰르

프랑스원자력산업회의 회장

서론

국내의 부존에너지자원이 풍부하지 못한 공업국가에서 경제개발을 지속적으로 추진하는데 불가결한 전력의 안정된 공급확보를 위해 원자력발전은 없어서는 안 될 실행가능한 대체에너지원이다. 이와 같은 상황은 한국과 프랑스 두 나라 모두에 해당된다. 프랑스는 한국의 경우와 마찬가지로 국내에 화석연료자원을 갖고 있지 않다. 석유의 생산도 없고, 석탄매장량도 거의 없다. 그리고 수력발전은 이미 개발가능한 포장용량을 거의 다 개발했다.

그렇지만 프랑스에서의 전력수요는 꾸준한 성장을 보이고 있다. 1973년 석유파동이 일어나기 전의 연간 10%라는 높은 증가율보다는 둔화되었지만 그래도 연간 2~3%의 전력수요 성장률을 기록하고 있다. 한편 한국에서는 1991년에 세계에서 유례를 찾아볼 수 없는 16%의 전력수요증가율을 기록했다는 발표를 들었다.

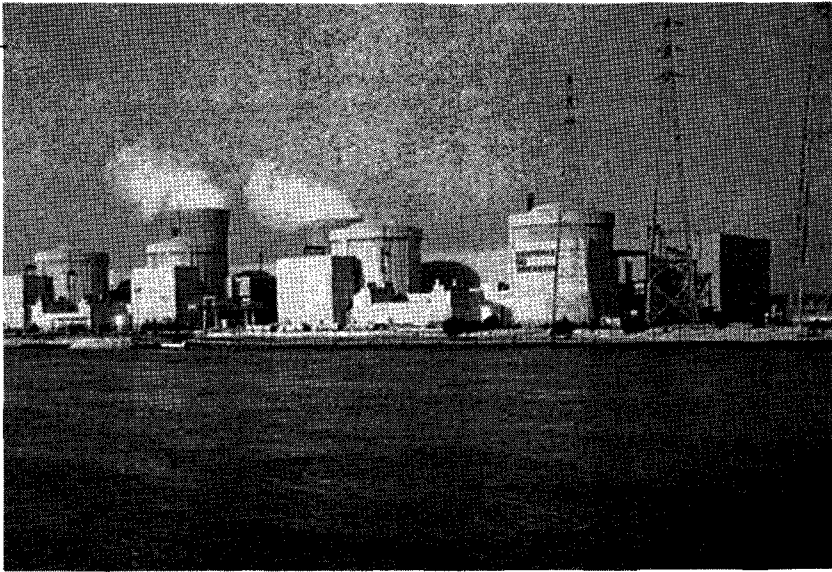
국내에너지의 상당 부분을 해외에서 수입합

으로써 점차 정치색이 짙어지는 석유시장으로부터 받게 되는 영향의 폭을 최소화시키고, 석탄화력발전으로 인한 환경오염을 방지하면서, 늘어나는 전력수요에 대처할 수 있는 유일하고 현실적인 방법은 원자력발전이다. 다행스럽게도 한국과 프랑스 양국에서는 원자력발전사업이 양호하게 운영되고 있다.

1. 프랑스에서는 1990년도 원자력발전량이 300TWh에 달해 총발전량의 75%를 차지함으로써 원자력발전점유율에서 세계 제1위가 됐다. 한편 한국은 원자력발전점유율이 50%로 세계 제4위를 기록하고 있다.

2. 프랑스의 원자력발전소들은 우수한 운전기록을 보이고 있다. 그동안 프랑스에서는 중대사고가 1건도 발생하지 않았으며, 1990년도에는 34기의 900MWe급과 17기의 1,300MWe급 가압경수로를 포함해서 운전중인 55기 원자로 전체의 평균가동률이 74%를 기록했다. 그리고 1기의 가압중수로(PHWR)는 75%가 넘는 가동률을 보였다.

3. 프랑스 원자력발전소의 kWh당 발전원가



는 프랑스내의 어떤 발전원보다 저렴하며, 유럽 전체로 보아도 가장 싼 발전원 중 하나이다. 한편 한국에서는 1973년 석유파동 이후 수년동안 전력요금이 10배 상승하였으나, 원자력발전량의 증가에 힘입어 전력요금은 절반 이상 인하됐다.

의욕적인 원자력발전개발계획은 갖고 있었지만 자원빈국이었던 프랑스가 에너지분야에서 어떻게 오늘날과 같은 수준의 에너지자립국가 가 되었는가. 그리고 앞으로의 상황은 어떻게 될 것인가. 다음은 프랑스 원자력산업의 상황과 관련하여 프랑스가 원자력발전프로그램을 지속적으로 성공시킬 수 있는 주요한 6가지 요소에 관해 논의하고자 한다.

에너지수요

원자력발전개발에 성공하려면 원자력을 필요로 하는 확실한 요구가 있어야 한다. 한국이나 프랑스와 같이 국내부존자원이 거의 없는 나라의 경우에 특히 원자력추진에 대한 동기유발이 강하다. 앞을 내다볼 줄 아는 선견지명이 있는 국가는 국내자원으로 에너지를 공급하는데 비용이 너무 많이 들어 비경제적이 되거나, 새로운 자원을 개발하기에는 환경오염이 심각해질 것에 대비하여 미리 계획을 세운다. 에너지수요는 에너지정책을 창출하고 에너지정책은 에너지프로그램으로 구체화된다.

에너지정책

건설한 전력산업을 배경으로 하는 강한 경제라고 하는 프랑스의 비전은 1973년 석유파동으로 심각하게 흔들렸다. 이러한 상황을 타개하기 위해서 프랑스 정부는 에너지절약과 원자력발전의 조화를 통해 수입에너지의 과감한 감축을 요구하는 원대한 에너지정책을 수립했다. 그 당시 프랑스는 1차에너지의 77%를 수입에 의존하고 있었으며, 전력수요는 연간 10%의 성장을 보이고 있었다.

늘어나는 전력수요를 충족시키면서 동시에 에너지정책에 의해서 확정되어 있는 목표를 달성하기 위해서 대규모 원자력발전개발프로그램이 요구됐다. 이것은 지금까지의 자원개발에서 그 전례를 찾아볼 수 없었던 새로운 시도였다. 계획이 수립되고, 조직이 구성되고, 투자가 이루어지고, 예정대로 발전소가 운전에 들어갔다. 어떤 때는 1년에 6기 또는 7기가 준공됐다. 그 결과 오늘날 프랑스는 1차에너지의 절반만을 수입하고 있다. 프랑스의 원자력발전소들은 석유 7,400만톤 상당의 에너지를 생산해내고 있다.

산업능력

프랑스는 기술능력을 극대화시키기 위해서 소수의 조직에 원자력자원을 집중시켰다. 강력

한 연구개발기구인 CEA, 핵중기공급계통(NSS)의 유일한 공급업체인 Framatome, 단일전력회사인 EDF, 핵연료공급업체인 Cogema와 방사성폐기물관리기구인 Andra 등이 그것이다. 정부정책에 의해서 통제되는 이 기구들은 일사분란하게 한 방향으로 나아갔다. 이들 기구의 1차적인 목표는 프랑스의 원자력발전프로그램을 지원하는 것이었지만, 현재 해외에 기술, 재료 및 용역 등을 제공하고 있다.

1. 연구개발(CEA)

프랑스원자력청(CEA)은 1945년 전반적인 국가기구재편성계획의 일환으로 설립됐다. 프랑스의 원자력개발프로그램 초창기에는 원자로와 핵연료주기기술개발 및 그 첫번째 시설운전에 대해 정부는 주로 CEA에 의존하였다. 이때의 시설에는 연구용 원자로, 원형로, Marcoule과 La Hague에 있는 UP1과 UP2 재처리공장 등이 있으며 그밖에 많은 관련 연구소와 실험실들이 있다.

초기에 CEA는 성숙되어 가는 원자력발전프로그램에 기술과 운전경험을 이전시키기 위해서 산업계와 밀접한 협조체제를 갖추고 지원했다. CEA는 EDF의 첫번째 PWR원자로설계에 인푸트를 제공했으며 CEA의 핵연료주기프로그램이 Cogema의 효시가 됐다. 그 결과 Cogema의 설비에서 현재 이용하고 있는 프랑스의 농축, 재처리 및 유티고화공정의 개발을 가져왔다.

또한 CEA는 계속해서 개량형 원자로모델과 레이저우라늄농축분야에서 연구개발의 주역을 담당했다. 최근에 CEA는 원자로해체 및 제염, 환경회복, 로봇응용 등 원자력산업계가 관심을 갖는 새로운 분야에 대해서도 연구개발노력을 경주하고 있다. 그리고 원자력안전성분야에서 CEA의 능력과 경험은 전세계적으로 인정받고 있다. 확고한 연구개발의 기반은 프랑스 원자력발전프로그램의 성공에 크게 기여하고 있다.

2. 원자로공급자(Framatome)

Framatome은 PWR의 핵중기공급계통(NS

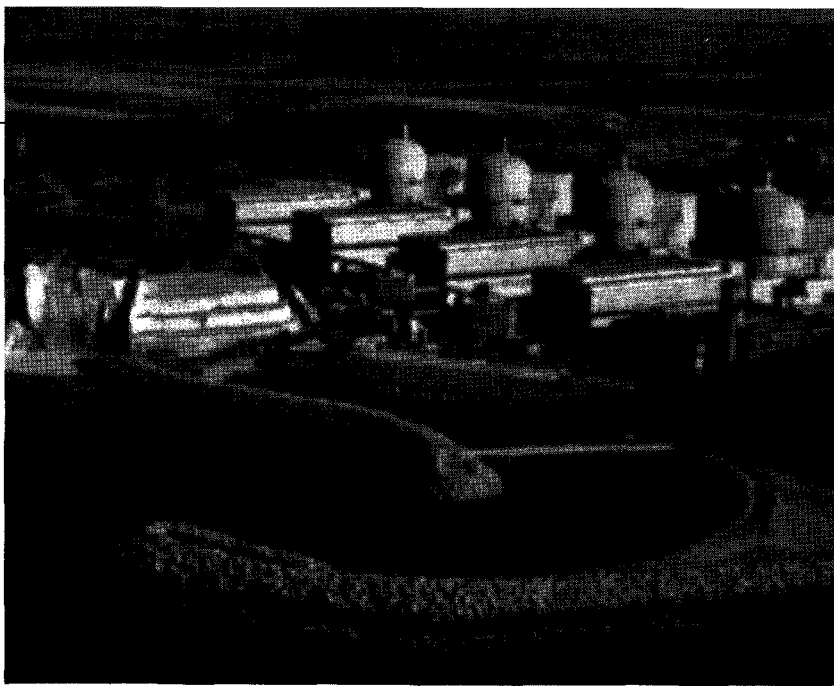
SS)의 설계, 조립, 설치 및 시운전을 전담하며, Alsthom은 원자력발전소의 재래식 부문을 공급했다. 처음에는 입증된 기록을 고려해 웨스팅하우스가 개발한 900MWe급 PWR이 프랑스의 원자력발전프로그램으로 선택됐으며, 표준원자로설계가 채택되어 인허가절차가 상당히 용이해졌다.

현재까지 60기 이상의 인도실적을 갖고 있는 Framatome은 세계 제1의 NSSS공급자이다. 900MWe급 시리즈의 경우 프랑스 국내에 34기가 설치되어 있고, 그밖에 해외에 9기가 공급됐다. 벨기에에 3기, Alsthom과 Spie Batignolles와 함께 턴키사업으로 참여하여 완공한 남아프리카의 2기, 한국 울진의 2기, 中國 大亞灣에 거의 완공단계에 있는 廣東原電 2기 등이 다.

Framatome은 규모면에서의 경제성을 얻기 위해서 1,300MWe급 개량형 PWR설계인 P4 원자로를 개발했으며, 현재 프랑스내에서 18기가 운전되고 있다. 그리고 가장 최신의 Framatome원자로설계는 1,500MWe급인 N4원자로로서 TMI사고에서 얻은 경험과 교훈을 반영하여 원자력안전성개념을 증진시켰는데, 특히 중앙제어실설계와 Man-Machine Interface분야에서 개선이 이루어졌다. 현재 3기의 N4원자로가 프랑스내에서 건설되고 있으며 앞으로 많은 발주가 기대되고 있다.

Framatome은 유럽, 아시아 및 미국에서의 원자력프로그램의 부활을 전망하고 있으며 Siemens /KWU 역시 이런 견해에 동조하고 있다. 따라서 Framatome과 Siemens /KWU는 앞으로의 세계시장수요에 부응할 수 있는 PWR설계를 공동으로 개발하기로 결정했으며, 이를 위해 합작회사 NPI에 그들의 자원과 경험을 공동 출자했다.

NPI는 프랑스와 독일의 규제기관 및 전력회사들과 협력하면서 그들의 공동개발활동을 조정할 것이다. 특히 신형의 PWR은 REP2000프로그램과 관련하여 EDF와 유럽의 여러 전력회사들이 개발하고 있는 새로운 기준을 만족시킬 것이다. 이 신형의 PWR이 결국 프랑스내의



N4원자로와 독일의 Convoy원자로를 대체할 것이다. 이 NPI원자로개발프로그램에 한국을 비롯한 많은 나라들이 관심을 가질 것으로 믿어 의심치 않는다.

3. 전력회사(EDF)

현재 57기의 원자력발전소를 운전하고 있고 또 수기를 건설하고 있는 EDF의 원자력발전소 건설 및 운전경험은 세계에서 견줄만한 예가 없다. EDF는 표준화된 원자로설계, 용량증대에 따른 경제성향상 그리고 자체 A/E 등으로 자금을 축적함으로써 10년 이상 국가의 보조없이 운영되고 있다.

EDF는 지금까지 어떤 원자력발전소에서도 중대사고가 1건도 발생하지 않은 우수한 안전성기록을 가지고 있다. 한국도 발전소표준화프로그램에 착수했으며 그 첫번째 성과를 이미 영광 3, 4호기의 설계에 반영시킨 것으로 알고 있다.

1991년도에 EDF의 원자력발전소들은 총 316TWh를 발전하여 프랑스 전체발전량의 거의 73%를 공급했다. 1991년말 현재 운전중인 34기의 900MWe급 원전과 18기의 1,300MWe급 원전은 311TWh를 발전했다. 900MWe급 원전의 평균가동률은 73%였고, 1,300MWe급은 71%였다. 마지막으로 남은 천연우라늄 가스 냉각핵연감속원자로 2기는 1992년과 1994년 각

각 운전중단할 예정이다.

원자력발전소는 일단 완공이 되고 나면 발전원가는 국제에너지시장의 변동에 큰 영향을 받지 않는다. 핵연료비의 비중은 kWh당 발전원가의 약 30%를 차지하며, 우라늄비용은 발전원가의 10% 미만이다.

프랑스산업성이 1989년에 수행한 「2000년의 에너지원가비교연구」에 따르면 원자력의 경우 kWh당 21~22centime인데 비해 석탄은 kWh당 27~32centime, 천연가스는 28~43centime 이었다.

여기서 특기할 사항은 원자력발전원가에는 발전소해체비용, 재처리비용 및 폐기물처분비용이 포함되어 있다는 사실이다. 이 발전원가는 1990년에 UNIPEDE가 시산한 결과와 잘 일치하고 있다.

EDF의 원자력발전소들이 높은 가동실적을 보임과 아울러 경제성장이 당초 예상했던 것보다 다소 낮음으로 인해서 현재 프랑스에서는 발전능력이 소비전력량을 상회하는 상황이다. 프랑스의 기저부하발전원가가 인접국가의 발전원가보다 20~30% 낮기 때문에 1990년에는 EDF가 생산한 전력의 거의 12%를 서유럽국가들에게 수출했고, 1991년에는 합계 53TWh를 수출하였다. 또한 가까운 장래에 EDF의 서유럽국가 수출전력량은 70~80TWh에 이를 전망이다. 그리고 만약 배전네트워크가 동유럽국가들

과 접속된다면 전력의 추가수출잠재력은 더 높아질 것이다.

한편 EDF는 신규 발전소건설이 지연될 경우 전력을 수입해야 할 사태의 가능성을 배제하지 않고 있다. 기저발전설비용량에 대한 수요가 재개될 때까지는 신형의 1,500MWe급 N4원자로인 Civaux원자력발전소가 EDF의 마지막 대형 건설사업이 될 것이다.

기저부하에 대해서 EDF는 높은 융통성과 신뢰성을 가지고 있는 PWR에 계속 의존할 것이다. 머지않아 신형의 N4원자로가 계통에 병입될 예정이다. 현재 EDF는 N4시리즈 다음에 21세기의 원자로를 위한 기준을 개발하고 있다. 그동안에는 핵연료의 설계와 노심관리, MOX 핵연료의 사용 그리고 노심설계의 개선 등을 포함한 핵연료의 최적이용에 연구개발활동이 집중될 것이다.

MOX프로그램은 전원의 비용효과를 가져오며 플루토늄의 재고량을 줄인다. EDF는 MOX 핵연료사용허가를 받은 16기 원자로의 지원하에 플루토늄재순환프로그램에 착수했다. 1992년 중반까지 17개의 재장전용 MOX핵연료가 5기의 EDF원자로에 장전될 것이다.

장기적으로는 감손우라늄을 재순환할 수 있는 새로운 고속증식로가 중요한 역할을 담당할 것이다.

4. 핵연료(Cogema)

Cogema는 핵연료주기회사로서 사업범위는 우라늄채광에서부터 시작하여 사용후연료를 재처리하여 분리해낸 핵물질의 재순환까지이다. Cogema는 핵연료물질의 주공급자로서 EDF에 핵연료를 공급하고 있으며 전세계 60개 전력회사가 소유하고 있는 150기의 원자로에 대해서도 핵연료를 공급하고 있다. 이것은 자유시장경제에 있는 운전중인 원자로 전체의 40%에 상당한다.

(1) 우라늄채광

Cogema그룹은 1990년에 프랑스에서 2,400톤의 우라늄을 생산했고 해외에서 5,000톤을 생산했다. 이는 서방세계 총생산량의 20%에 해당된

다.

(2) 우라늄농축

Cogema는 프랑스내에서 Georges Besse농축공장을 소유, 운영하고 있는 Eurodif(1천80만SWU/년)의 대주주이다.

(3) 핵연료성형가공 및 재순환

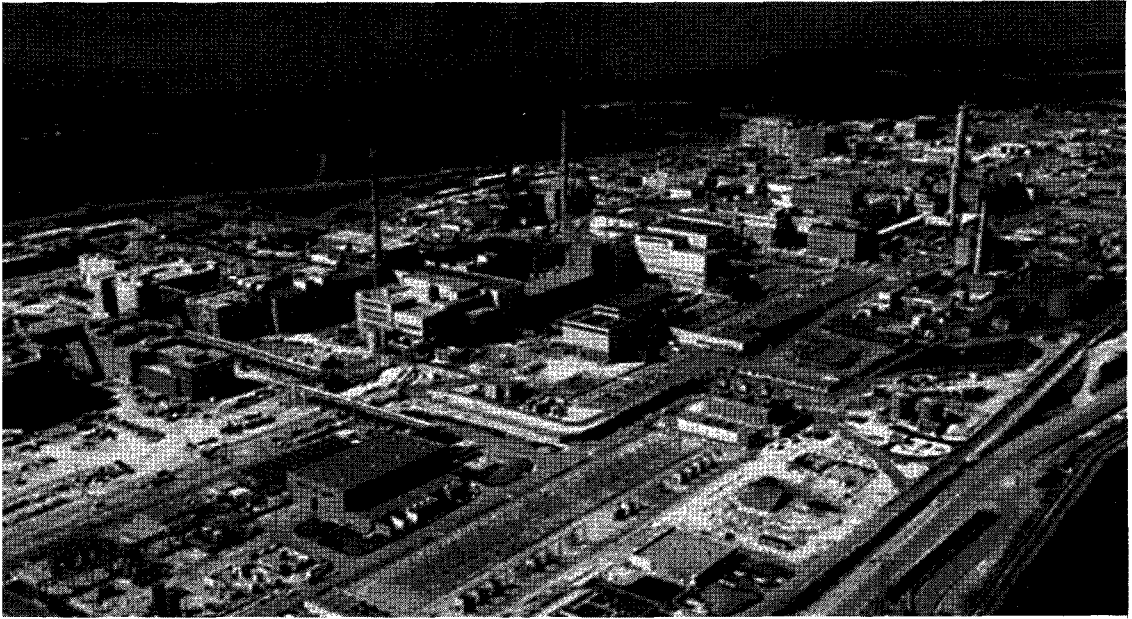
Framatome과 Cogema의 합작자회사인 Framagma에서 연간생산능력 1,500톤인 FBFC가 성형가공한 PWR핵연료집합체를 설계 및 판매하고 있다. MOX핵연료는 Commox를 통해 성형가공되어 PWR과 BWR을 운영하고 있는 전력회사에 판매되고 있다. Dessel의 새로운 공장 P1과 Marcoule의 MELOX가 조업에 들어가면 Cogema의 MOX핵연료성형가공능력은 현재의 35톤/년에서 200톤/년으로 증가될 것이다.

(4) 사용후핵연료재처리

재처리하여 사용후핵연료에 포함되어 있는 에너지물질을 회수, 재순환시키는 것이 프랑스의 정책이다. Cogema는 La Hague에 UP2와 UP3재처리공장을 소유, 운영하고 있는데 현재의 1,200톤 규모에서 1994년까지는 1,600톤 규모로 증설될 예정이다. 재처리산업에서의 규모 경제성은 대용량의 La Hague공장건설로 이어졌는데 70~80기의 대형 원자로를 감당할 수 있는 능력이다. La Hague공장은 현재 금세기 말까지 EDF와 해외의 전력회사들이 의뢰한 15,000톤 이상의 재처리계약이 맺어져 있으며 지금까지 4,000톤 이상의 경수로핵연료를 재처리했다.

5. 폐기물관리(Andra)

Andra는 저준위 또는 고준위, 민간 또는 국방을 망라한 모든 방사성폐기물의 처분시설에 대한 부지, 설계, 인허가, 건설, 운영과 상세한 폐기물수용기준의 개발 및 폐기물관리에 관한 연구개발을 위해 1979년에 프랑스 정부에 의해서 설립됐다. 1991년말 고준위폐기물에 관한 법률이 의회에서 제정됨에 따라 Andra의 업무가 정부직령에 의해서 국가저장소후보부지가 있는 지방자치단체로 이관됐다.



Andra는 저준위방사성폐기물을 위한 전층처리시설인 Centre de la Manche를 운영하고 있는데, 현재 용량이 거의 포화상태에 Andra는 새로운 저준위폐기물처리시설인 Centre de l'Aube의 부지를 물색했는데 이 시설은 1992년 1월13일부터 운영을 시작했다. Centre de l'Aube시설은 프랑스 전역에서 발생하는 폐기물 1,000만m³를 처분할 수 있어서 30~40년간 프랑스 국내의 폐기물처분을 담당할 것이다.

1991년에 제정된 폐기물법에 의해서 앞으로 15년 동안의 연구개발목표가 명확하게 설정됐다. 고준위폐기물처분을 위한 지층의 적합성을 실험하기 위해서 2개의 지하실험실건설 및 운영에 관한 임무가 Andra에 위임됐다.

안전성

프랑스의 원자력발전프로그램은 원자로운전과 핵연료주기운영면에서 우수한 안전성기록을 갖고 있다. 총 420원자로/년 동안 1건의 중대사고도 발생하지 않았고, 또한 불행한 사건없이 1991년말 현재 La Hague에서 4,000톤 이상의 경수로핵연료를 재처리했다. 한국도 이에 상당

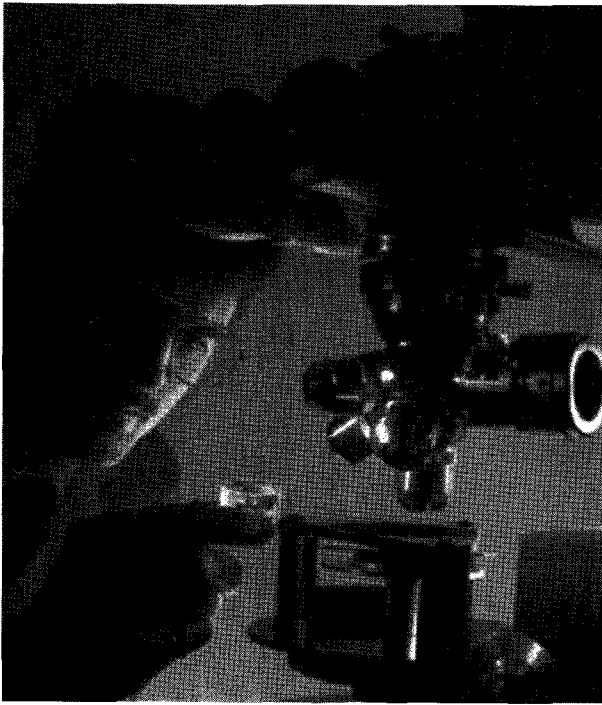
하는 원자로운전안전성기록에 자만하지 말고 발전소설계 및 운전절차의 개선을 꾸준히 도모해야만 한다.

원자로의 개발은 발전소설계에서 안전성향상을 위한 추구의 좋은 예이다. Framatome과 EDF가 개발한 1,500MWe급 N4원자로는 미국 TMI사고의 영향과 원인을 심층분석하여 얻은 교훈을 반영하고 있다. 그때까지 인적요인의 중요성이 발전소설계에 충분히 고려되고 있지 않았다. TMI사고 이후에 일어난 중요변화의 하나는 중앙제어실제어반의 재배열이었다.

환경보존

프랑스가 원자력발전프로그램에 착수한 주된 동기는 에너지자립과 경제안정이었지만, 지구환경보존에도 크게 기여함을 인식하게 됐다. 원자력에너지는 깨끗한 에너지이다. 1,000MWe급 석탄화력발전소를 원자력발전소로 대체할 경우 분진 6,000톤, SO₂ 40,000톤, NO_x 40,000톤, CO₂ 800만톤의 환경오염을 줄일 수 있다.

원자력발전소건설로 프랑스의 화력발전소에서 방출되는 CO₂, 분진, NO_x, 유황산화물의 양



이 줄어들어 1980년 수준과 비교할 때 전반적으로 30% 이상 줄어들었다.

현재 프랑스의 원자력발전소와 핵연료주기시설에서 방출되는 방사성물질은 국제수준 이하로 잘 운영되고 있다. 원자력발전소와 핵연료주기시설은 규제기관으로부터 감시를 받고 있다. 프랑스 국민들은 Minitel Telephone 정보네트워크를 통해 이러한 활동상황을 항상 접할 수 있다. 그 결과 정상운전중인 원자력시설은 주변 환경에 영향을 미치지 않는다는 사실을 전반적으로 인식하고 있다.

최근의 로마클럽성명에는 다음과 같은 내용이 포함되어 있다. 「우리 대다수는 원자력의 위험성과 방사성폐기물의 저장문제로 원자력발전소의 확대에 관해 오랫동안 우려하여 왔다. 그렇지만 현재는 석탄과 석유사용으로 인한 이산화탄소의 방출이 사회에 대해서 원자력발전보다 더 위험하다는 사실을 인정하고 있다」

PA

PA에서 얻은 교훈의 하나는 일반국민들에게 올바른 지식을 제공해야 한다는 것이다. 원자력 에너지가 무엇인지, 방사선이 무엇인지, 왜 원자력에너지가 필요한지, 원자력발전소가 얼마

나 안전한지, 원자력시설에서 발생하는 폐기물이 우리 사회에 미치는 영향 등에 관해서 정확하게 알려주어야 한다. 원자력에너지에 관한 지식수준이 높아질수록 일반국민들은 원자력을 점점 더 신뢰하고 받아들이게 된다. 이것은 원자력시설이 위치하고 있는 인접지역에서 원자력을 지지하는 비율이 더 높다는 사실로 입증되고 있다.

결 론

한국과 마찬가지로 프랑스에서 원자력발전프로그램이 성공을 거둘 수 있었던 것은 확고하고 정확하며 일관성있게 정책을 추진하였기 때문이다.

원자력에너지는 산업의 성장을 가져왔다. 원자력은 최소한 에너지자립, 경제경쟁력, 환경보존 및 안전성면에서 타에너지원보다 월등한 이점을 제공하고 있다.

프랑스 원자력발전프로그램에서 발생하는 고준위방사성폐기물은 원자로당 연간 2m³로서 다행히 그 양이 무척 적다. 그리고 우리는 이러한 폐기물에 대해서 입증되고 신뢰할 수 있는 관리 방법을 확보하고 있다. La Hague 공장을 방문한 사람들은 최종처분시까지 중간저장되어 있는 유리고화폐기물저장소의 위를 걸어다닐 수 있다.

한국도 낮은 발전원가와 환경오염을 줄이기 위해서 프랑스에 필적할만한 원자력발전프로그램에 착수하고 있다. 한국 원자로의 안전성과 가동실적은 탁월하다.

우리 원자력산업계가 해야 할 일은 많다. 앞으로 원자력산업계는 진정한 문화형성을 위해 여러 분야에서 노력하여야 한다.

1. 원자로 및 핵연료주기시설의 안전성향상
2. 폐기물고화와 부피감소의 개량
3. 원자력에너지에 관한 국민이해획득

마지막으로 원자력에너지는 오늘날 완전히 실증된 산업임을 다시 한번 강조하고자 한다. (끝)