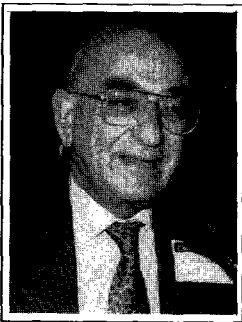


프랑스 원자력산업의 현황과 전망

J. Panossian

프랑스원자력학회(SFEN) 부회장



프랑스 원자력 산업의 성공 요인

프랑스 원자력 산업의 성과는 그동안 많이 알려져 왔으며 또한 그 성공 요인에 대해서도 많은 논의가 있어 왔다.

이같은 논의에서 공통적으로 꼽는 프랑스 원자력 산업의 성공 요인은 다음과 같다.

- 정권 교체와 정당간의 서로 다른 정치적 입장 차이에도 불구하고 프랑스의 최고 정치 권력은 원자력에 대한 지속적이고도 흔들리지 않는 의지를 가지고 있다.
- 각 기관간의 명확한 역할 분담을 통한 효율적인 원자력 산업 구조를 가지고 있다.
- 원전 표준화 사업을 위한 다양한 단위의 법률·기술·재정적 정책 결정이 뒷받침되었다.
- 대다수 국민의 지지가 있다.

이와 함께 프랑스 원자력 산업 성공의 주인공들을 언급하지 않을 수 없다. 프랑스전력공사(EDF)는 세계 최

대의 원자력 발전 회사로, 현재 56기의 고도로 표준화된 가압경수로(PWR)를 운영하고 있다.

이들 PWR의 구성은 90만kW급 34기, 130만kW급 20기와 최신형인 'N4' 시리즈 145만kW급 2기 등이다.

이들 PWR의 평균 가동 연수는 13년이며, 97년도에 평균 83% 정도의 원전 이용률을 보였다.

또한 앞으로도 전력 생산 비용 면에서 충분한 경쟁력을 갖출 것으로 예상되고 있다.

이 중 16기의 원전 유니트가 기저부하(基底負荷)가 아닌 전력 수급의 변화에 대응하여 발전하는 부하추종(負荷追從) 방식으로 운영되고 있으며, 얼마 전까지 14기에 혼합산화물(MOX)연료가 장전되었다.

한편 EDF는 전체 전력 생산량의 약 15%를 이탈리아·스위스·영국 등 인근 국가에 수출하였다.

프라마툼(Framatome)은 지난 25년간 다른 공급 업체에 비하여 더 많은 원자로 설비를 국내외에 공급하

한 국과 프랑스는 에너지원이 되는 부존 자원이 부족하다는 점과 원자력 발전에 대한 강한 신념을 갖고 있다는 공통점이 있다.

그 결과 양국은 꾸준히 원자력 산업을 육성·발전시켜 왔다.

이러한 공통점은 본인이 이번 제 13회 한국원산/원자력학회 연차대회에 초청을 받아 이처럼 기초 강연을 하게 된 중요한 이유라는 점을 먼저 밝히고자 한다.

여 왔다.

지금 프라마툼의 제조 공장은 교체 용 증기발생기 제작과 중국 링아오(嶺澳)원전에 공급할 원자로 설비 조립 작업으로 매우 바쁜 시간을 보내고 있다.

또한 프라마툼은 코제마와 협력하여 유럽과 미국 등지에도 설비를 가진 세계 최대의 원전 연료 제조 업체이기도 하다.

코제마(COGEMA)는 세계의 핵주기 산업을 선도해 온 업체로서 다른 협력 업체와 더불어 우라늄 원광의 개발 및 거래, 농축 서비스, MOX 연료를 포함한 원전 연료 제조 및 공급 등의 사업을 수행하고 있다.

또한 후행 핵주기와 관련해서는 사 용후 연료의 재처리 및 수송 등의 업무를 수행하고 있고, 라아그(La Hague) 재처리 단지로 대표되는 후행 핵주기 시설을 보유하고 있다.

프랑스 원자력청(CEA)은 원자력 연구 개발의 중추적인 기관으로서의 역할을 수행하고 있다.

원전 및 핵주기 시설에 대한 기자재와 절차 등의 안전성 개선을 위한 실험과 광범위한 연구 사업을 진행하고 있다. 그 밖에도 EDF, 코제마, 프라마툼 등과의 공동 연구와 정부 기금에 의한 연구 사업도 병행하고 있다.

성공의 결과물

원자력 산업 성공의 결과로 프랑스

는 전체 발전량의 약 75%를 원자력이 담당하고 있으며, 전력 생산 비용도 경쟁력 및 안정성을 유지하게 되었다.

이러한 긍정적인 결과는 앞으로도 계속 지속될 것으로 보인다.

수력 발전의 도움을 다소 받기는 했지만 원자력 발전을 통하여 프랑스는 에너지 국산화율을 73년의 22% 수준에서 현재 수준인 55%까지 끌어 올릴 수 있었다.

지구 온난화 가스의 감축과 관련하여 원자력의 도움으로 프랑스는 다른 선진국과 비교하여 최저 수준인 국민 1인당 7톤/년 미만의 이산화탄소를 배출하는 것으로 조사된 바 있으며, 질소산화물·황산화물 등 산성비의 원인이 되는 유해 가스의 배출도 지난 20년간 70%의 감축을 실현하였다.

또한 후행 핵주기 정책의 확정을 통하여 많은 부수적인 이득을 얻을 수 있었다.

첫째, 라아그 재처리 시설은 지금까지 11,000톤U 이상의 경수로(LWR) 사용후 연료를 재처리한 실적을 갖게 되어 이 분야에서 주도적인 위상을 공고히 할 수 있었다.

연간 1,600톤HM 규모의 이 시설은 프랑스 및 다른 나라의 경수로 연료 재처리에 이용되고 있다.

둘째, 지난 83년 프랑스가 광범위한 핵주기 정책을 채택, MOX 연료 이용을 결정한 이래 프랑스는 사용후

연료를 MOX 연료로 이용하는 사례의 '표준'으로 자리매김 할 수 있었다.

이에 따라 프랑스는 지금까지 50 원자로·년의 MOX 연료 이용 경험을 축적할 수 있었으며, 앞에서 언급한 14기의 프랑스의 경수로 외에 독일(8기)·스위스(3기)·벨기에(2기) 등 유럽 지역의 13기에 코제마의 MOX 연료를 장전하게 되었다.

MOX 연료는 서로 다른 디자인으로 설계된 카다라슈(Cadarache), 벨고뉴클리에르-데셀(Belgonucléaire-Dessel), 멜록스(MELOX) 등 3개의 공장에서 생산되고 있으며, CEA는 규제 기관이 요구하는 이상의 안전성 확보와 고연소화를 위하여 MOX 연료에 대한 일련의 실험을 CABRI 연구로를 통하여 수행하고 있다.

셋째, 재처리 우라늄의 이용·개발이다.

이 재처리 우라늄은 재농축을 통하여 재생 가능한 핵물질을 96%까지 잔존시킬 수 있는데, 현재 재처리 우라늄은 COMURHEX 시설에서 육불화우라늄(UF₆)으로 변환되어 프랑스의 몇몇 원자로에 이용되고 있으며, 벨기에·일본·독일 등에 수출되고 있다.

MOX 연료와 재처리 우라늄의 원자로에서의 이용은 지금까지 매우 만족스러운 결과를 가져다 주었다.

이처럼 원자력 산업의 성공에도 불

구하고 현재 프랑스의 원자력 산업이 처한 몇 가지 현안을 지적하고자 한다.

프랑스 원자력 산업의 현안

1. 신규 원전의 미건설

현재 프랑스 국내에 신규 원전 발주에 따른 새로운 원자력 시장은 존재하지 않는다.

현재의 원자력 발전 설비는 프랑스 국내의 전력 수요를 충족시킬 뿐만 아니라 생산량의 15%를 해외에 수출하고 있다.

또한 현재 수력 발전이 10% 정도의 전력 생산을 담당하고 있다는 점을 고려할 때, 원자력은 전체 전력 생산량의 75% 정도를 유지하면서 더 이상 그 점유율을 높이지 못할 것으로 판단되고 있다.

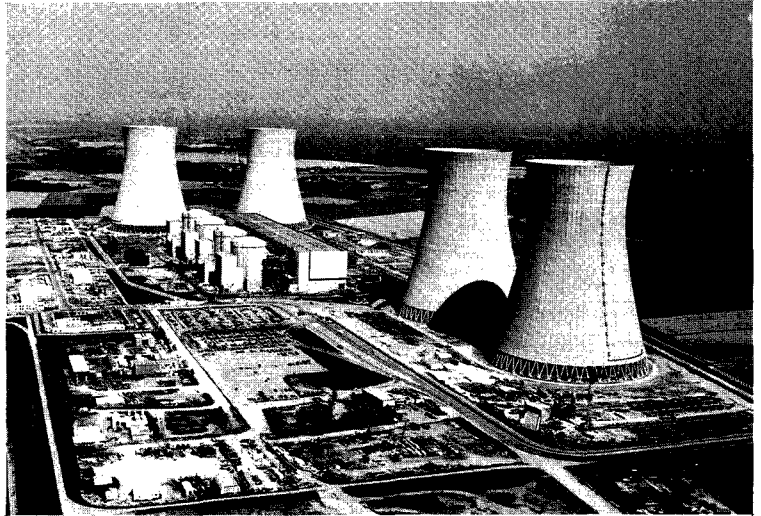
프랑스의 전력 소비량 증가율도 연간 1~2%로 안정되어 있으며, 현재 가동중인 원전의 평균 가동 연한도 13년에 불과하여 새로운 원전 건설의 필요성이 대두되지 않고 있다.

2. 안정된 에너지 수급

현재 저렴한 천연 가스의 소비가 급속히 증가하고 있으며, 그 자원의 수급에도 아무런 문제가 없는 상태이다.

또한 원유도 과잉 생산이 문제가 될 정도로 가격이 안정적이다.

이에 따라 에너지 위기에 따른 불



프랑스의 Dampierre-en-Burly 원전. 프랑스 원자력 산업의 성공 요인은 프랑스 정부 당국의 원자력에 대한 지속적인 의지, 각 기관간의 명확한 역할 분담, 원전 표준화를 위한 정책, 대다수 국민의 지지 등이다.

안정 요인이 전망되지 않고 있어, 정책 담당자들은 아무런 위기감 없이 장기적인 안목에서 관련 산업과 연구·개발을 위한 유용한 투자 계획을 수립할 수 있게 되었다.

3. 정치적인 변화

지난 97년 프랑스 총선 사상 처음으로 전통적으로 원자력에 반대하는 녹색당이 의회 진출에 성공하였다.

또한 그들 중 한 사람은 환경부 장관으로 임명되기도 하였다.

새로운 정부도 25년간 유지해온 원자력 산업 정책을 견지해 나갈 것이라는 데 아무런 의문이 없다.

실제로 지난 97년 일본을 방문한 크리스티앙 피에르 산업부 장관은 “과거에 수립된 여러 분야의 원자력 정책은 수정되지 않을 것이며, 미래

의 프랑스 원자력의 위상도 어떠한 의문 없이 확고히 유지될 것”이라고 밝히고 “원자력은 경쟁적인 에너지원일 뿐만 아니라 에너지 자립화를 위한 필수 에너지원”임을 강조한 바 있다.

그러나 현재 녹색당의 반원전 정책이 국민 다수의 반대로 실현되지 않고 있지만, 녹색당의 주장에 어느 정도 영향을 미치고 있다.

슈퍼피닉스(Superphenix)의 폐쇄 결정이 그 대표적인 예이다.

4. 슈퍼피닉스의 문제

120만kW급 고속증식로 실증로인 슈퍼피닉스의 건설과 운영은 지난 70년대초 유럽의 공동 연구 과제로 추진되어 왔다.

그 당시는 많은 원전의 신규 발주

가 있었기 때문에, 그 결과로 유용하고 저렴했던 우라늄 가격이 앙등하지 않을까하는 우려가 높았던 시기였다.

또한 '중식로'라는 개념이 같은 우라늄으로 기존의 원자로보다 최소 10배의 에너지 생산이 가능하다는 것이었기 때문에 각광을 받을 수 있었다.

그러나 그 후 많은 원전 건설 계획이 취소되었으며 이로 인해 실제 원전은 생각보다 훨씬 적게 가동되게 되어 우라늄 수급의 불안은 다음 세기의 과제가 되고 말았다.

또한 슈퍼피닉스 자체의 문제도 드러났다. 성공적인 운전을 위한 기술적인 난제 하나가 해결되면 또 다른 난제가 나타났던 것이다.

결국 슈퍼피닉스는 가동 후 최악의 정치적·법률적 곤경에 부딪치게 되었으며 반핵 단체의 표적이 되고 말았다.

슈퍼피닉스의 96년도의 이용률 향상은 향후 고속중식로의 상업적 이용에 대한 기대감을 높였으나, 97년 정부는 정치적인 이유로 이 원자로의 운전 허가서를 취소하였으며, 98년초 정부는 '경제적인 이유'로 슈퍼피닉스의 폐쇄를 결정했다.

5. 폐기물 처분 문제

원자력을 에너지원으로 이용한 이래 장수명 방사성 폐기물 처분 문제는 매우 중요한 문제로 대두되어 왔다.

지난 91년 의회를 통과한 「폐기물

법(Waste Act)」에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 고준위 방사성 폐기물 처분을 위한 여러 가지 방안을 연구하여 오는 2006년까지 의회에 제출하도록 명문화하였다.

이 보고서의 결과를 토대로 의회는 장수명 폐기물 처분 방안을 결정하게 된다.

그러나 이러한 연구를 수행하는 데 장애가 되는 다음의 두 가지 문제점이 제기되었다.

가. 교환핵반응의 문제

CEA는 조사(照射)를 통하여 고준위 장수명 핵종을 단수명 핵종으로 교환핵반응(transmutation)시키는 일련의 산업적 응용 연구를 고려하고 있었다.

이런 연구는 원래 슈퍼피닉스의 고속 중성자속(fast neutron flux) 조건 하에서 수행하도록 계획되어 있었다.

그러나 이미 언급한 바와 같이 슈퍼피닉스의 폐쇄 결정으로 다른 연구 방법을 강구해야 할 처지에 놓이게 되었다.

이에 따라 정부는 프랑스 최초의 고속중식로 원형로인 '피닉스(Phenix, 25만kW)'의 재가동을 결정하고 재가동에 필요한 1억달러의 예산을 마련하였다.

그러나 피닉스가 이러한 연구에 유용하게 사용될 수 있을지에 대한 의문이 남아 있으며, 재가동의 시한도 2004년까지로 되어 있다.

나. 지하 실험실 선정의 문제

프랑스의 방사성 폐기물 관리를 책임지고 있는 방사성폐기물관리국(ANDRA)은 장수명 방사성 폐기물 처분을 위한 부지 조건, 암반 및 처분 기술에 대한 조사와 연구를 수행할 세 곳의 지하 실험실 후보지를 예비 선정하였다.

그러나 정부는 지난 97년말로 예정되었던 이 지하 실험실 부지 결정을 연기하였다.

향후 개발 과제와 전망

1. 유럽형 경수로의 개발

유럽형 경수로(EPR)는 EDF 등 프랑스와 독일의 전력 회사 지원 아래 프라마토프과 시멘스(Siemens)가 공동 개발하고 있다.

EPR은 프랑스와 독일의 규제 기관의 요구에 공통적으로 적용되어야 한다는 원칙에 따라 그 개발이 진행되고 있으며, 다음 세기에는 프랑스와 독일 및 그 밖의 다른 나라에서도 상업적으로 이용될 수 있을 것으로 기대되고 있다.

현재 EPR 개발을 위해 프랑스·독일 양국의 원자력 안전 담당 기관인 원자력안전방호연구소(IPSN)와 원자로안전협회(GRS)는 다른 규제 기관과 더불어 지난 20년간 공동 연구를 수행하여 왔다.

따라서 EPR의 공동 개발을 통하여 양국은 서로 다른 안전 기준을 면밀하게 검토할 수 있는 기회가 제공

되어, 앞으로 유럽의 단일한 원자로 안전 기준을 제정하는 데 필요한 중요한 일보를 내딛을 수 있게 하였다.

또한 이 원자로로는 50% 이상의 MOX 연료를 장전할 수 있어 원전 연료에 관한 신축적인 운영을 도모할 수 있도록 설계되었다.

2. 원전의 경쟁력 확보

현재 프랑스에서 가동중인 원전은 다른 전원에 비해 높은 경쟁력을 갖추고 있으며 이는 다른 유럽 국가도 마찬가지이다.

그러나 현재 새로운 전원을 개발하는 입장에서 천연 가스를 연료로 한 발전 방식은 매우 매력적으로 보이고 있다.

천연 가스는 매우 저렴한 가격으로 인한 장점을 가지고 있을 뿐만 아니라, 지난 20년간의 연구 결과로 천연 가스 및 복합 화력 발전은 보다 더 경쟁력을 갖추게 되었다.

이에 따라 원자력은 지금의 높은 안전성을 유지하면서 이를 보다 더 향상시키고 동시에 다른 전원과 경쟁하기 위하여 운전비의 절감을 위한 구체적인 방안을 마련하지 않으면 안 될 시기에 직면했다.

특히 규제가 완화되어 개방된 전력 시장에서 앞으로 이는 절박한 문제로 다가올 것이다.

3. 후행 핵주기 기술의 고도화

프랑스 최고 당국은 원자력 개발을

시작한 이래 후행 핵주기 산업 육성 정책을 견지하여 왔다.

그 결과 프랑스는 자체 우라늄 광산의 생산량을 제한할 수 있게 되었으며, 라아그 재처리 시설이나 멜룩스 MOX 연료 공장 같은 대규모 후행 핵주기 시설을 건설할 수 있었다.

EDF의 예측에 따르면, 앞으로 몇 년 후에는 연평균 1,300톤HM의 사용후 연료가 나올 것으로 예상되고 있으며, 그 중 약 1,000톤 가량의 사용후 연료나 플루토늄 함유 물질만이 재처리되거나 재이용될 수 있을 것으로 보고 있다.

MOX 연료로 재이용이 가능한 나머지 발생량은 재처리되지 못하고 라아그 단지의 저장조에 보관될 예정이다.

현재까지는 약 100기의 원자로에서 나오는 사용후 연료를 재처리하고, 다양한 노형(경수로·가스냉각로·전환로·증식로 등)에서 발생하는 사용후 연료를 재처리하기 위한 라아그 단지의 시설 증설 계획은 없다.

따라서 현재 가동중인 재처리 시설은 재처리 과정에서 나온 최종 폐기물의 부피 감소와 독성 완화, 최소 단위의 우라늄과 플루토늄까지도 회수할 수 있는 보다 진보된 최종 폐기물 관리 기술의 개발이 요구되고 있다.

비등수형 경수로(BWR)용 MOX 연료 생산을 위한 보조 설비를 포함한 멜룩스 공장의 증설은 곧 이루어

질 전망이다.

21세기 초에는 연간 250톤HM의 PWR 및 BWR용의 MOX 연료 공급이 가능할 것으로 보인다.

후행 핵주기 정책의 효율을 극대화시키고 앞으로의 시장 상황에 대처하기 위하여 프랑스 원자력 산업계는 신형 연료와 새로운 재처리 기술을 위한 연구와 산업적 이용 개발에 대한 투자를 진행중에 있다.

특히 MOX 연료와 관련된 이러한 투자의 목표는 다음과 같다.

① 제한된 MOX 연료의 연소도를 기존 이산화우라늄(UO₂)연료의 수준으로 끌어올린다

② 이미 사용된 MOX 연료의 재처리 등 다양한 핵주기 기술을 개발한다(사용후 MOX 연료의 재처리는 이미 92년 11월 라아그 시설에서 실증된 바 있다).

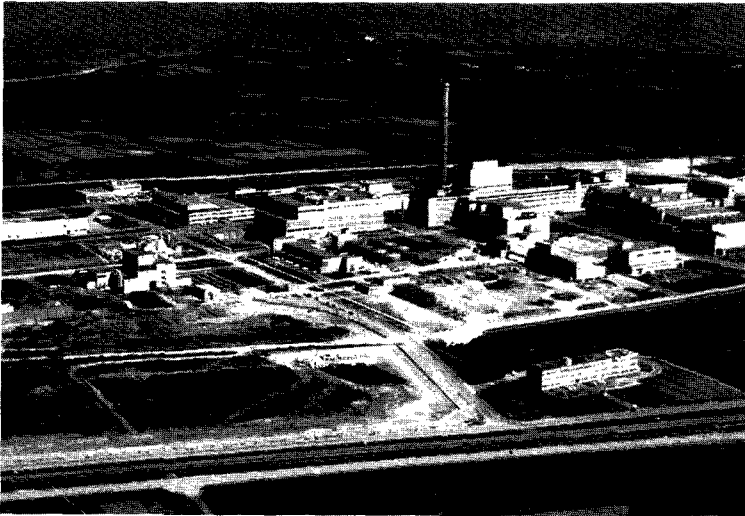
③ 모든 원자로의 노심에 MOX 연료를 장전할 수 있도록 한다

4. 고준위 방사성 폐기물의 처분

이미 언급한 바와 같이 91년도의 「폐기물법」에 따라 2006년까지 고준위 방사성 폐기물 처분 방안에 대한 보고서를 의회에 제출하여야 한다.

최근 고준위 폐기물 처분 방안과 관련하여서는 법에서 권고하고 있는 교환핵반응과 천층 처분, 심지층 처분 방안 외에도 지층 처분에 대한 방안이 추가되었다.

또 CEA는 CAPRA(고속로에서의



프랑스의 La Hague 재처리 시설. 프랑스 최고 당국은 원자력 개발을 시작한 이래 후행 핵주기 산업 육성 정책을 견지해왔다.

플루토늄 연소), NACRE(넵투늄 소각) 등의 연구 과제를 수행하고 있다.

그러나 정작 프랑스에서 최근에 대두되고 있는 중요한 이슈는 “과연 고준위 방사성 폐기물 최종 처분장 건설이 가능할 것인가?”이다.

5. 원자력 시장의 확보

당분간 프랑스는 신규 원전 건설 계획이 없을 것으로 보이며, 해외 시장은 매우 제한적이며 경쟁도 치열하다.

또한 거대한 원자력 시장으로 등장한 아시아 지역도 최근의 경제 위기로 원전 건설 계획이 연기되고 있다.

그럼에도 불구하고 기존의 원자력 설비를 증설하거나 원자력을 도입하고자 하는 많은 나라들은 프랑스가 그들과 협력하고자 한다는 사실을 잘

알고 있다.

따라서 프랑스의 원자력 미래를 장담하기 위해서는 중국에 대한 원전 건설 및 일본에 대한 재처리 시설 건설 프로젝트와 같이 다른 국가와의 ‘산업 동맹’ 구축이 중요한 과제로 등장하고 있다.

국제 협력

국제 협력은 원자력 기술을 보다 광범위하게 발전시키기 위한 중요한 열쇠가 된다.

프랑스는 피에르 산업부 장관이 언급한 바와 같이 핵주기 시설을 포함한 그간의 원자력 시설의 건설 및 운영 경험을 바탕으로 국제 협력에 적극적으로 이바지하였으며 앞으로도 그럴 것이다.

실제로 코제마는 핵무기급 플루토늄에 대한 해결책을 제시하기 위하여 독일 시멘스와 러시아 원자력성(MINATOM)과 함께 공동 연구팀을 구성한 바 있다.

얼마 전 덴버에서 열린 G8 정상 회담에서는 “G8 국가들은 이번의 프랑스·독일·러시아간의 공동 연구와 같은 국제 협력을 지속해 나간다”고 언급하여 이번의 공동 작업에 대해 공식적인 지지를 얻기도 하였다.

또한 미국도 이와 같은 국제 협력에 대해 직접적으로 언급하였다.

지구 온난화에 대한 교토 기후변화 회의(COP3)는 원자력계가 새로운 도전에 직면하는 계기를 마련하였다. 즉 온실가스 감축과 청정 에너지원 확보를 위한 위한 최종 대안으로서 원자력의 역할이 전혀 언급되지 않았던 것이다.

그러나 이번 회의에 프라마툼, 일본원자력산업회의, 미국원자력에너지협회(NEI) 등은 공동으로 ‘비정부 조직’으로 참가하여 경제적인 효율성 뿐만 아니라 지구 환경을 위해서도 원자력이 필요하다고 강력하게 주장하였다.

비록 이번 COP3에서는 원자력이 대안으로 제시되지 못했지만 98년말에 아르헨티나의 부에노스 아이레스에서 열린 COP4에서는 지구 온난화의 방지 대책으로서 원자력이 채택될 수 있을 것으로 기대하고 있다. ☞