

세계의 고속증殖爐 開發現況

고속증殖爐(FBR)의 비약적인 發展이 전망되던 에너지 狀況이 지난 10여년 동안에 크게 변화되었다. 本稿에서는 고속증殖爐를 적극적으로 개발하고 있는 나라들의 現狀況과 그들 國家의 開發計劃을 概觀하고, 유럽고속爐(EFR) 計劃과 그 협력체제를 소개하였다.

에너지狀況과 FBR에 대한 展望

1970년대에 원자력발전의 급속한 신장은 금세기가 끝나기 전에 우라늄자원의 고갈을 가져올 것으로 예견되었다. 따라서 우라늄자원의 유효이용기간을 연장시키기 위해서 효율적인 높은 전환(증식)비율을 갖는 고속증식로 개발에 노력이 경주되었다.

그러나 경제성장의 둔화, TMI사고 이후 원자력발전계획의 축소, 우라늄자원에 대한 상황 평가 등으로 인해 예상되는 우라늄자원 고갈시점이 뒤로 미루어졌다. 경제협력개발기구(OECD)와 국제원자력기구(IAEA)가 공동으로 조사연구한 결과에 의하면 경제성있는 확인매장량을 기초로 할 경우 고갈시기는 2015년에서 2030년 사이, 전체 추정매장량을 고려할 경우에는 2040년에서 21세기 말 사이에 우라늄자원이 고갈될 것으로 추정하였다. 이처럼 고갈시기는

다소 늦추어질 것으로 보여지지만, 고속증식로와 관련이 있는 몇가지 요소는 고려되어야 한다.

- 신규 발전소의 경우 건설을 결정하기 전에 그 발전소의 전수명(30~40년)기간을 통해 공급조건 확보의 필요성
- 우라늄자원이 없거나 또는 있어도 그 부존량이 빈약한 국가에 있어서는 우라늄시장 경쟁의 잠재적인 가능성
- 현추세로 개발이 지속되면 가까운 장래에 충분히 경쟁력있고 경제성을 갖는 개량된 고속증식로의 실현 가능성
- 핵연료재처리공장에서 생산되는 플루토늄의 효율적인 관리 예상
- 방사선피폭과 방사능 방출의 관점에서 특유의 이익

현재 고속증식로는 운전되고 있는 원자력발전소를 교체할 수 있는 실현 가능한 에너지생산시

설로서는 유일한 대체수단으로 여겨지고 있다. 또한 새로운 환경보존규제가 더욱 엄격해짐으로써 에너지생산을 위한 화석연료의 이용이 제한을 받게 되어 가까운 장래에는 원자력발전의 확대 필요성이 점점 증대되고 있다.

탄화수소에너지자원이 부족하여 원자력에너지 외에는 대체에너지원이 없는 프랑스에서는 기존 원자로를 2010년에서 2015년 경에 현행 가압경수로(PWR) 기술을 더욱 향상시킨 노형으로 교체할 예정이다. 이때 고속증식로의 경쟁력과 시장전망에 따라서 새로 건설되는 발전소중 수%는 고속증식로가 될 것이다. 프랑스원자력청(CEA)과 프랑스전력청(EdF)은 공동으로 그때까지 승인받은 경쟁력있는 고속증식로모델을 실용화시킨다는 목표를 설정해 놓고 있으며, 이것은 추가비용이 개량핵연료주기코스트로 거의 상쇄할 수 있는 투자의 20~25%로 제한될 수 있음을 의미한다.

유럽에서 서독과 영국이 각각 수행한 분석은 고속증식로의 도입시기가 상당히 지연될 것이라는 사실을 감안하더라도 고속증식로의 잠재력과 계속 개발의 이점에 대해서는 유사한 결론을 내리고 있다.

일본은 자국의 원자력시설 교체계획에서 고속증식로에 대해 큰 비중을 두고 있으며, 또한 이를 위한 연구개발프로그램의 수행에 많은 노력을 기울이고 있는 선진공업국이다.

일본과 프랑스는 에너지 의존도가 매우 유사하다. 즉, 모든 분야에서 공업화가 이루어져 있으나 국내부존 화석연료자원이 빈약하고, 일본의 경우는 국내에 우라늄자원도 없다. 따라서 일본과 프랑스는 고속증식로 개발프로그램을 꾸준히 추진하고 있다.

國家別 開發計劃과 成果

유럽에서 영국, 서독 및 프랑스는 지난 30

년간 거의 같은 경로를 밟아왔다.

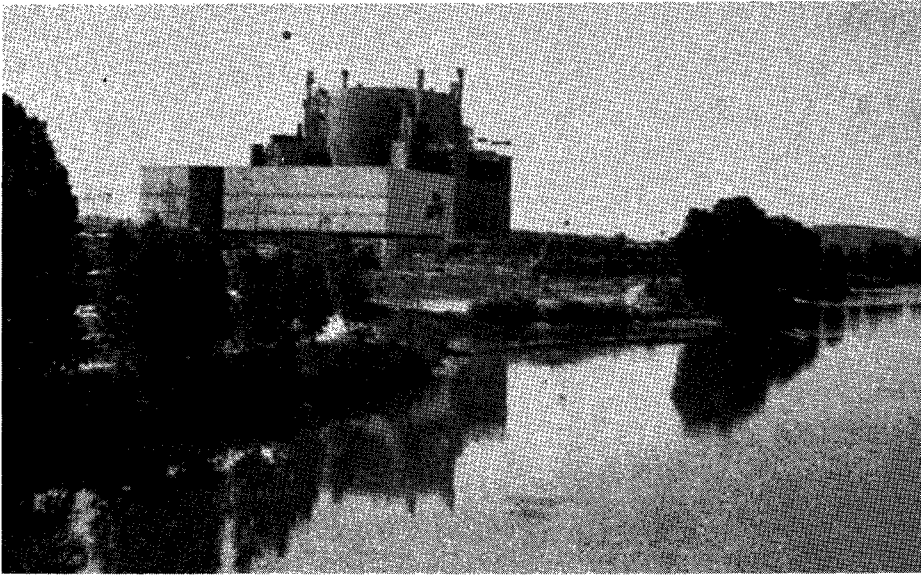
- 실험로의 건설(DFR, Rapsodie, KNK-2).

- Phénix 및 PFR 과 같은 실증로. 15년 이상의 운전경험으로 그 기술적인 실현 가능성이 입증되었다. 영국의 PFR은 경제성으로 인해 1994년에 폐쇄될 예정이지만, 프랑스의 Phénix는 발전과는 별도로 노심과 핵연료의 성능 등을 망라한 광범한 실험을 예정대로 수행하고 있다. 서독의 SNR-300은 완공된 상태이나 아직 당국으로 부터의 핵연료장전허가를 기다리고 있다.

- 유럽협력의 첫단계를 기록한 상업규모 발전소인 Creys-Malville (Superphénix-SPX-1). 이 발전소는 프랑스가 주체가 되고 이탈리아와 DeBeNe가 공동협력을 하였다. Creys-Malville의 건설 및 시운전 경험과 설계성능의 검사는 앞으로의 고속증식로설계를 위해 귀중한 정보를 제공하고 있다. 1987년에 원자로부품 일부를 수용하고 있는 2개의 핵연료저장탱크 사이에서 누설이 발생하였으며, 현재는 발전소설계를 개조하여 이 탱크를 제외시켰는데 이 새로운 설비는 1991년이 되어야 운영에 들어갈 수 있을 것으로 보인다. 그렇지만 그때까지 2년 동안은 부분적인 제한은 받겠지만 아주 운전정지를 하지는 않을 것이다. 이 사고는 궁극적으로 보수 및 검사기술에 대해 유용한 정보를 제공하였으며, 또한 앞으로의 설계에서 고려되어야 할 기술사양의 재평가 계기가 되었다.

- 상업용 규모의 발전소설계(CDFR, SNR-2, SPX-2)와 최근에 공동사업으로 진전된 EFR.

- 이와 병행하여 프랑스와 영국은 고속증식로 핵연료의 재처리에 관한 국제경험을 수집하고 있는데, 이는 고속증식로 핵연료주기에서의 증식가능치와 현행의 재처리비용을 확인하여 기존의 대형 재처리공장에서 고속증식로핵연료



▲ 1,200 MWe급 고속증식로 Superphenix전경

를 재처리할 것인지, 아니면 별도로 전용설계의 재처리공장에서 재처리를 행할 것인지 정확하게 결정하기 위함이다.

일본은 일본원자력위원회가 확정한 장기계획에 따라 고속증식로 개발을 적극적으로 추진하고 있다. 실험로 Joyo가 1977년부터 운영되고 있으며, 원형로 Monju의 건설도 2/3가 완료된 상태인데 기능실험은 1991년5월부터 시작될 예정이다. 동시에 1,000MWe급 상용실증로에 대한 설계도 건설비(가압경수로의 1.5배 이하), 안전성 및 유지보수성 등에 중점을 두어 진행되고 있는데, 건설개시는 1996년이 목표이다.

소련 역시 고속증식로 건설에 있어서는 선두 주자이다. 照射실험로 BR-10과 BOR-60 이외에 2기의 원형로 BN-350과 BN-600이 각각 1972년과 1980년부터 운전을 계속하고 있다. 그밖에 신규의 800MWe모델 BN-800이 곧 수개 부지에서 건설될 것이다. 그러나 체르노빌 사고로 인한 국민여론의 악화와 국가에너지성장 전망의 개정 등으로 특히 안전성 면에서의 심도 있는 재평가가 이루어질 것이며, 이에 따라

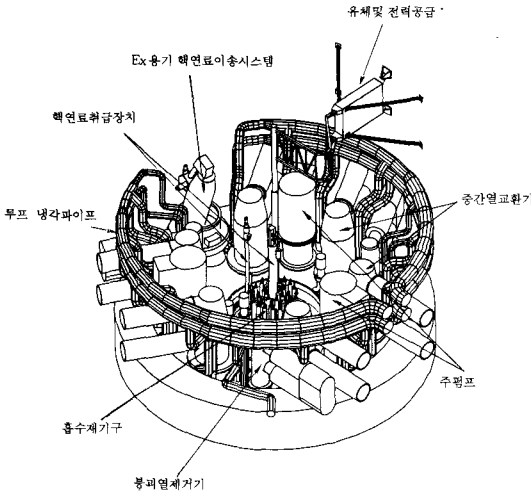
고속증식로 건설계획은 상당히 지연될 것으로 보인다.

미국은 2기의 실험로 EBR II와 FFTF를 운영하고 있으며, 350MWe의 Clinch River 발전소는 1983년 건설도중에 취소되었다. 따라서 그 이후에는 실험과 설계연구만이 수행되고 있다. 현재 에너지성(DOE)이 심의하고 있는 고속증식로설계(PRISM)는 초기의 고유안전성 목표는 달성할 수 없더라도 안전성에 대해서 극도의 초점을 맞추고 있다. 따라서 이 설계는 매우 경비가 많이 소요되기 때문에 상업용으로 실용화되기는 어려울 것으로 보인다.

인도는 17MWe의 소형 원자로인 Kalpakkam의 시운전을 계속하고 있는데, 많은 어려움을 겪고 있다. 또한 500MWe 설계인 PFBR도 가까운 시일내에 건설될 것 같지는 않다.

開發傾向의 分析

각국에서 추진되고 있는 고속증식로설계를 상세히 평가해 보면, 특히 상업용 규모의 원자



〈그림 1〉 유럽고속로 (EFR) 설계도

로의 경우 기본원칙과 연구방향이 매우 유사성을 보이고 있다.

- 냉각재로 나트륨 사용
- 높은 전기출력
- 개량핵연료가 개발될 때까지 산화물 핵연료의 사용. 현재의 120,000MWd/t 연소도에서 150,000MWd/t 이상으로 향상시키기 위해 지속적인 노력이 경주되고 있다.

- 풀방식과 계통 및 부품의 콤팩트화
- 붕괴열 제거를 위한 액티브 및 패시브시스템을 망라한 안전성 확보 방법. 이 점에 대해서는 아직까지 광범위한 연구가 진행되고 있다.

이러한 공통적인 경향에서 크게 벗어난 나라는 미국 한나라 뿐인데, 아직 미국은 접근방법이 구체화되어 있지 못하다.

유럽에서 고속증식로 개발 방향이 하나로 모아지는 것은 앞으로의 협력을 위해서는 필수적이며, 또한 일본과도 개발노선이 동일한 것은 고무적인 일이다.

EFR計劃

유럽협력은 1989년2월 영국, 서독, 프랑스가

엔지니어링, 라이선싱 및 연구개발협정에 서명함으로써 인준되었다. 이 협력이 점점 정착되어 자리를 잡게 되는 동안 각 국가의 연구개발계획이 서로 조화를 이루어 하나로 일치되어 공동 개념설계가 시작되었다.

이 유럽협력의 목표는 높은 안전수준을 유지한채 종전의 고속증식로설계 보다 경제성의 면에서 더욱 경쟁력을 갖춘 유럽 공동의 고속증식로설계를 개발하는 것이다. 개념설계를 1990년3월까지 완료하고, 이어서 5년간 이 옵션을 깊이있게 평가하여 상세설계를 수행한다.

조직은 각국의 균형을 맞추어 설립되었으며, 설계·건설·운전에 관한 정보를 모두 교환하고 있다. 임무와 책임은 설계·건설회사와 연구개발기관 별로 명확하게 구분·할당되어 있다. 종국적인 목표는 하나의 통합된 팀을 구성하는 것이다.

結 論

원자력에너지 이외에는 대체에너지원이 없는 국가의 경우에는 원자력개발이 필연적이지만, 우리나라의 고갈에 따른 고속증식로의 급진적인 개발 필요성은 종전의 분석에서 보다 많이 저하되었다.

물론 현재의 고속증식로 개발추세가 계속 지속되고, 또한 환경문제 등과 같은 외적 요인의 변화에 의해서 고속증식로가 가압경수로와 경쟁이 가능하게 되면 신규 원자력발전소 건설시 고속증식로의 비율이 상당한 부분을 이루게 되는 시기를 앞당길 것이다.

유럽에서는 원대한 포부를 갖고 유럽 공동의 고속증식로설계를 개발하는데 밀접하게 협력하고 있다. 앞으로는 이러한 취지에 따르는 해외의 여러 국가들을 포함하여 협력의 범위를 더욱 확장시킬 계획이다.