

高速 増殖爐

開發体制의 確立

= 開發部 =

1. 머리말

高速増殖爐는, 海外先進 여러나라에서 일찍부터 그 개발이 진행되어, 이미 實用化의 단계에 이르렀다.

우리나라에서도 輕水爐에 이어 고속증식로를 이용하는 것이 원자력 開發 利用의 基本路線이라고 많은 사람들이 생각하고 있기 때문에, 이의 기술도입을 위한 연구개발이 추진되고 있으며, 政府의 프로젝트로 착수할 날도 머지 아니할 것이다.

그러나, 최근 미국에서는 核拡散 防止라는 관점에서 고속증식로의 개발이 늦어지는 듯하며 이는 또한 다른 나라에도 적지 않은 영향을 주고 있다. 그러나, 에너지源의 選擇肢가 많은 미국 이외의 나라에서는 국가의 계획에서도 고속증식로의 개발은 역시 必要 不可欠한 것으로서 이미 일본에서는 「JOYO」가 당초의 목표出力 50MW에 달하여 고속로 기술의 중요한 부분을 手中에 넣고 있다.

실험爐의 다음에는 原型爐를 개발해서 發電爐로서의 實証을 얻게 되는데 이것도 건설 후보地인 福井縣에서 건설 추진의 소리가 높아가고 있으며 수속도 순조롭게 진행되고 있다고 한다.

原型爐에 있어서는 實証爐를 건설하는 것이 實用化에의 중요한 一段階이나, 精神面에 있어선 대체적인 合意가 얻어지고 있으나 아직도 국가의 프로젝트로서의 位置定立이 되어 있지 않고 開發主体도 명확치 않은 것이 우리나라의 실정이다.

識者의 의견만으로서서는 具體策에 未洽한 것이겠지만, 장래의 우리나라 에너지源의 확보上 最優先해야 할 高速増殖爐開發을 실질적으로 추진하기 위해서 진지한 論議를 일으켜서 확고한 開發方向을 얻지 않으면 아니될 것이다.

이를 위한 한 방법으로서 海外에서의 개발상황들을 일본을 中心으로해서 고속증식로 實用化에 관련되는 여러 문제를 정리, 提言을 試圖하는 바이다.

圖 1-1 世界の高速爐開發 스케줄 概況

原 子 爐	45~50	51~55	56~60	61~65	66~70	71~75	76~80	81~85	86~90	91~95
實驗爐 Clementine (25kWe)	☒									
實驗爐 EBR-I (1.2MWt)		☒								
實驗爐 EBR-II (벙크) (20MW _e)			▨							
實驗爐 E-FERMI (66MW _e)				▨						
實驗爐 SEFOR (벙크) (20MWt)						☒				
實驗爐 FFTF (루프) (400MWt)							▨			
實驗爐 CRBR (루프) (380MW _e)								▨		
大型爐									▨	
實驗爐 DFR (루프) (15MW _e)				☒						
原形爐 PFR (벙크) (250MW _e)						▨				
大型爐 CDFR (벙크) (1300MW _e)								▨		
實驗爐 BR-10 (10MW _e)				▨						
實驗爐 BOR-60 (루프) (12MW _e)					▨					
原形爐 BN-350 (벙크) (150MW _e +殼爐)						▨				
原形爐 BN-600 (벙크) (1600MW _e)							▨			
大型爐 BN-1600 (벙크) (1600MW _e)								▨		
實驗爐 Rapsodie (루프) (40MW _e)				▨						
原形爐 Phenix (벙크) (250MW _e)						▨				
大型爐 Super Phenix (벙크) (1200MW _e)								▨		
實驗爐 KNK-II (루프) (20MW _e)						▨				
原形爐 SNR-300 (루프) (300MW _e)							▨			
大型爐 SNR-2 (루프) (1300MW _e)								▨		
實驗爐 PEC (120MWt)							▨			
實驗爐 FBTR (15MWt)							▨			
實驗爐「常陽」(루프) (100MWt)						▨				
原形爐「MONJU」(루프) (300MW _e)								▨		
大型爐 (1000~1500MW _e)									▨	

註：棒線은 建設開始부터 初臨界까지를 표시

▨ 實驗爐 ▨ 原形爐 ▨ 大型爐 ☒ 閉鎖

2. 各國의 開發 現況

현재, 고속증식로의 개발에 착수하고 있는 나라는 소련, 프랑스, 英國, 西獨, 美國, 日本이며 구라파에서는 國際協力이 強力하게 행해져 있으므로 이태리, 네덜란드, 벨지움 등도 개발에 참가하고 있다고 할 수 있다.

여기서, 그 주요국의 개발상황을 살펴 보기로 한다.

그림 1-1은 各國의 고속증식로의 개발상황을 나타낸 것이다.

(1) 소 련

고속증식로의 개발에서 실용단계에 가장 가까운 거리에 와 있는 나라는 소련이다.

1947년에 고속증식로 연구에 착수해서 오늘까지 착실하게 연구개발이 진전되고 있다. 지금까지 건설되어 온 고속로는 BR-1, -2, -3, -5 (10), BOR-60, BN-35, BN-600이다.發電爐는 BOR-60이후이며 또 BN-350에서는 電氣出力 150MWe의 外에 12萬t/日로서 海水脫塩도 行하고 있다. BN-600은 곧 臨界에 달하려 하고 있으며 그 후의 大型爐로서 BN-1600의 건설계획도 착실하게 進行되고 있는 것 같다.

소련의 高速爐 개발에 특징적인 것은 미국에서의 安全性 確保와는 달리 현실적인 기술에 뿌리를 박은 사고방식을 기초로 해서 進行되고 있다는 사실이다.

예를 들면, 미국에서는 안전성 확보의 最重点으로서 假想的爐心 崩壞事故(HCDA)에 대한 配慮에 큰 比重을 두고 있다. 이로 인해 플랜트의 경제성을 크게 손상시키는 결과를 가져와서 결과적으로는 통상운전에 대한 安全性에 영향을 주는 것 같은 制約까지도 가져오게 되었다. 소련에서는 이와 같은 假想的사고에 대한 配慮를 기술의 베이스없이 설계에 받아 들이는 것은 어리석은 일이라는 인식아래서 통상 운전시에 예상되는 여러가지의 トラブル에 대해서 그 대책을 검토하고 있다.

BOR-60에 있어서는, 1978年 6月の 時點에서 燃燒度 180,000MWD/T에 달하는 곳까지 照射 경험을 쌓고 있으며 연료의 照射에 따르는 스웨

링이나 연료의 破損의 狀況檢出計의 움직임이나 파손연료를 가진 상태에서의 운전경험 등, 기술적으로 不明한 點은 개발途上에 있는 발전용 원자로 속에서 확실히 파악해야 할 點을 얻고 있다는 것이다.

또, 예를 들면 고속爐에서의 主要器機인 증기 발생기에 대해서 보면, 소련에서는 처음 BOR-60에서 순조로히 운전할 수 있었으나 BN-350에서는 큰나트륨-물反應을 일으켜 버렸다. BOR-60에서 성공했음에도 왜 BN-350에서는 실패했는가 현시점에서의 최대의 문제로 인식되고 있다. 현재로서는 BN-350증기 발생기의 물 누설은 용접결함으로 보고 있으며, 제조사의 검사 기술이 충분했는가 라는 것을 반성하고 있는 중이다.

소련에서는 리크를 생기게 하지 않는다는 點에 큰 노력을 하고 있으며 리크後의 안전성 확보라는 點에 대해서는 힘을 크게 기울이지 않는 것 같다.

BN-600에서는 모듈타입의 증기 발생기로서 한대의 증기발생기에서 리크가 생기더라도 그 증기발생기를 곧 隔離시켜 高稼動率의 발전소운전을 목표로 하고 있다.

(2) 프랑스

자유세계 중에서 고속증식로 개발의 최선단을 걸고 있는 프랑스는 實驗爐 라프소디에 계속하여 原型爐 페닉스(Phoenix)(250 MWe)를 성공시키고 현재 大型實証爐라고 말할 수 있는 슈퍼 페닉스(1,200MWe)를 한창 건설하고 있는 중이다.

페닉스爐는 탱크 원자로 구조개념을 채용하고 1次系를 콘팩트하게 정리하여 경제성을 追求하고 있다. 이 개념에서는 器機에 인터넨스가 방사성 물질 취급의 관점에서 큰 難點으로 생각되고 있으나 마침 中間熱交換器에 리크가 생겼을때 이것을 쉽게 修復시킬 수가 있어서 이 點에 곤란이 없음을 실제로 알 수가 있다. 이 一大難點을 克服한 사실로서 탱크型 개념의 利點을 다시 誇시하게 되었다.

그러나, 페닉스爐의 약점은 이와 같은 성공이 반드시 大型爐의 성공을 약속하는 것인지 알 수 없다는 點이다. 즉, 페닉스爐에서는 증기발생기에 독특한 설계 내용을 채용하고 있는 것, 그리

고 그 方法은 小容量의 경우에는 성공한다 하더라도 大容量化 했을 경우에는 경제성이 成立하지 않는다는 전망에서 슈퍼 페닉스爐에서는 日本에서 채용하고 있는 형식과 같은 개념으로 변경하고 있다.

증기발생기의 信賴性을 그 실험장치를 포함해서 세계의 原型爐 증기발생기에서 볼때 일본의 50MWe에 시험장치用 이외는 모두가 고장을 일으킨 것으로 보아 위에서의 새로운 개념을 채용한 프랑스가 앞으로 성공할 수 있을런지는 두고 보아야만 할 것이다.

프랑스는, 이때까지 기초 연구에 힘을 쏟는 것보다도 실제의 플랜트 건설 경험을 축적하여 빨리 고속증식으로 발전소를 실용화시켜 장래 에너지 자원의 安定化를 얻고자하는 戰略을 채용해 왔으나 자칫 잘못하여 미국식의 安全性 重視의 소리에 눌려서 연구자의 의식도 좀더 기초를 단단히 하는 것이 어떠할까 라는 變化를 가져오게 될 것 같다.

그렇더라도 전체로서 빠른 베이스로서 연구개발이 진행되어 슈퍼 페닉스爐는 순조롭게 건설이 진행되고 있는것 같다.

(3) 英 國

영국은, 프랑스에 이어 1974년에 原型爐 PFR를 臨界에 도달시켰다. 각국 고속爐 기술자를 한 자리에 모은 영국원자력학회 주최의 소위 런던會議에서 그 발표를 한 것은 印像의이었다. PFR는 그후 펌프의 고장, 증기 발생기의 고장으로 고속爐 分野의 최선진국의 지위로부터 크게 후퇴해 버렸다. 長期間의 定格운전도 달성하지 못한채 새로이 증기발생기를 再設計하여 이것을 앞으로의 大型爐用의 모델로서 PFR에서 테스트 한다는 것으로서 再出發하려고 하고 있다.

「우리들은 종래의 기술분야를 그대로 踏襲하여 PFR를 건설해 왔다. 그 종래의 기술분야에서 고장이 생긴 것은 不得已한 일이며 연료를 포함한 爐心설계에서는 특히 중대한 고장이 생기지 않았음은 우리들로서는 만족한다. 많은 사고 경험을 얻었다는 것은 아무것도 하지 않다가 나중에 실패하는 것보다는 잘된 일이라고 생각하고 있다」라고 약간 合理化 시킬려고 하는 인상의 發言도 들린다.

(4) 西 獨

先進諸國이 착실하게 실험로에서 原型爐로 개발을 진행시킨데 대해 서독만은 自國에서 實驗爐의 건설 경험을 얻지 않고 한꺼번에 原型爐로 進行시켜 왔다. 그러나 그 배경에는 프랑스의 실험爐 라프소디, 미국의 SEFOF 계획에 참가하여 고속爐 기술을 습득하여 늦으나마 KNK-1을 고속爐 爐心으로 개조하여(1974년 10월) 기초 기술을 튼튼히 다져왔다.

原型爐 SNR-300 프로젝트는 당초부터 국제 협력에 의해서 진행되고 있는 것이 특색있는 점이다. 서독에서는 벨지움, 네덜란드의 기술을 굳이 빌리지 않아도 되는 것 같은데 膨大한 개발 자금을 한나라에서 부담하는 것은 상당히 곤란하다고 판단했기 때문인 것 같다.

SNR-300의 概念설계는 1960년에 개시되었고 1966년부터 詳細설계에 들어가 1973년 봄에 착공하였다. 安全심사의 단계에서 假想的 事故의 취급을 둘러싼 許認可上의 문제로서 원자爐 건물의 건설工事が 일시 中斷되었으나 1976년 10월에 再開되어 1977년 末까지는 콘크리트 구조물의 약 90%가 완성되었다.

SNR-300의 건설에서 크게 장애가 된 것은 1976년 以來, 原發건설에 대한 住民의 반대운동이 激化하여 재판소가 계속해서 原發건설의 中止命令을 내고 있었던 시기에 부딪혔다는 일일 것이다. 건설 사이트의 주민으로 부터의 SNR-300의 건설허가는 違法이라는 항의에 대해 州의 上級 行政裁判所는 現行 原子力法이 基本法에 저촉되는 의심이 있다고 하여 이 문제의 판단을 연방재판소에 위임하였다. 1978년 12월 8日, 연방헌법 재판소는 「현행 원자력法(1959년에 설정)은 서독국민의 기본적 人權을 침해하고 있다고는 말할 수 없으며, 인간의 과학적 지식에는 한계가 있고, 상상할 수 있는 모든 위험을 제거시킬 수가 없는以上 국민은 社會 通念上 타당하다고 볼수 있는 위험 부담을 甘受하지 아니하면 안된다」라고 하여 연방기본法(헌법)에 위반되지 않는다는 판단을 내렸다. 다시 연방議會가 건설을 승인하는 결의를 하게 되므로서 여러가지의 困難과 부딪치면서도 다시 건설이 촉진될 것이라고 예상된다.

(5) 美 國

세계에서 최초로 高速爐를 개발한 미국은, 1960년대까지는 세계의 고속로 개발의 리더였으나 프랑스가 Phoenix爐를 완성시킴으로서 發電플랜트의 건설에서는 한걸음을 처지고 말았다.

주요한 원자로 건설의 현황을 살펴보면 EBR-II (62.5MWe)에 의한 탱크型爐의 건설이 있다. 이것은, 1961년에 臨界에 도달한 이래 오늘날까지 순조롭게 운전되어 각종의 시험을 행하여 高速爐 기술의 蓄積에 공헌하고 있다. 1964년부터 14년간에 걸쳐 hot 상태가 유지되었으며 잠깐 멘테넌스를 위해 400°F로 내리게 한 경험이 있을 뿐이라고 한다.

이 EBR-II에서는 蒸氣發生器에 2重管을 사용하고 있으며, 그 信賴性으로서 EPRI가 메이커에 發注해서 進行시켜 온 PLBR 프로젝트에서의 設計概念 選定에 큰 영향을 주고 있다.

다음에 Enrico Fermi爐(61MWe)의 건설이 있다. 이 계획에 대해서는 이웃나라 日本에서도 電力中央研究所에 펠미爐 委員會를 설치하고 기술자를 펠미爐에 파견하여 기술의 習得에 크게 이바지 할 수가 있었다. 유감된 일은 燃料溶融사고를 발생시켰던 것이 發端이 되어 그 後 再運轉에 이르지 못하고 廢爐가 되어 버렸다는 事實이다. 다만, 廢爐의 方法에 대해서 Na冷却爐에서도 実績을 쌓을 수 있었던 것은 장래를 위해 크게 이바지 된다고 생각된다.

그後, SEFOR(20MWe)에 의한 大型 PuO₂-UO₂爐의 經驗(현재閉鎖)을 겪은 後 FFTF의 건설로 進行되고 있다. 이 FFTF에 이르러서는 미국은 輕水爐에 채용되어 있는 여러가지의 安全性의 概念, 설계기준을 채용하고, 또한 高速爐에서의 假想的 사고인 HCDA(假想爐心 崩壞事故)에 대한 대책을 여러가지로 검토하게 되어 폭대한 연구개발로 擴大해 갔다. 그로 因하여, FFTF自身은 당초의 建設工程에서 대폭으로 遲延되게 되어 겨우 1979년에 臨界予定이라는 단계에 와 있는 상태이다.

FFTF의 完成에 이어지는 것이 CRBRP(380MWe)이나 이것도 카터 대통령의 核拡散 防止 정책에 의해서 현재 그 계획이 중지되고 있으며 새롭게 1981년에 의논을 하자는 타협안이 의회에서

의논되고 있다. 그동안, CRBRP의 器機에 대해서는 메이커에서 製作되어 一部 安全性上 중요한 문제에 대해서는 NRC도 의논을 進行시켜 이것들과 並行하여 Conceptual Design Study (CDS)를 실시하여 1981년 3월 이들에 대한 大体的인 結論을 가지고 의회에서 검토하려고 하고 있다.

實用化로 유도하기 위해서는, 原型爐(CRBRP) 이후 PLBR, CBR-1이라고 하는 계획도 있으나 어느 것이나 高速增殖爐 建設을 遲延시키려 하는 카터 政權下에서는 建設계획은 뜻이 없는 것으로 되어 있다.

그러나, R & D 계획은 여전히 방대한 예산의 뒷바침을 받아서 進行되고 있으며 항상 FBR를 에너지政策上的 保險으로서 때가 왔을 때에는 이용할 수 있도록 配慮되고 있는 점을 잊어서는 아니될 것이다.

(6) 日 本

에너지資源이 빈약한 日本에서는 原子力 發電이 不可欠하며, 輕水爐로 부터 高速增殖爐로의 轉換을 基本路線으로 하여 原子力 에너지 利用의 体制의 實現에 政府 및 民間의 總力을 傾注하고 있는 단계에 있다.

1967년 10월에, 動力爐·核燃料開發 事業團을 發足시켜 官民一體的 내쇼널 프로젝트로서 高速 實驗爐「常陽」및 高速增殖爐 原型爐「文珠」의 개발을 추진하기로 하였다. 그리고, 그 최초의 목표인 실험로「常陽」은 1977년 4월에 臨界가 되었고 1978년 7월 5일에는 당면 목표인 出力 5万kW를 달성하였다. 금후, 7.5万kW으로의 出力上昇 후 다시 爐心을 바꾸어서 10万kW의 照射用 爐心으로서 照射試驗을 續行할 예정이며 그를 위한 變更許可도 나오고 있다.

原型爐「MONJU」(電氣出力 約 30万kW)에 대해서는 필요한 R & D가 순조롭게 進展되어 1978년 11월 14일에 建設予定地인 福井縣에서 환경영향 심사에 관하는 설명이 행해졌으며 現地에서의 合意가 얻어지면 安全審査를 거쳐서 1980年度에 着工이 예정되고 있다. 實用化까지는 原型爐에 이어서 實証化단계가 必要하나 이점에 대한 검토도 이미 행해졌으며 原型爐以後 實用化까지는 1,000MWe級 實証爐 및 같은 규모의 複數基의 初期實用爐의 建設이 필요로 하고 있다.

海外先進國의 FBR 開發에 日本이 따라온 상황인데, 미국이 實用化라는 관점에서 크게 후퇴하고 있는 현재, 西獨이나 日本의 當面의 목표가 되지 않을까 하고 생각된다.

그러나, 西獨도 SNR-300이 대폭적으로 遲延되고 있는 현실에서 日本의 「MONJU」(300MWe)가 꼭 着工이 되면 건설에 관하는 許認可上 속의 용이한 점 등으로 보아 日本의 경우가 스무스하게 건설이 진행되리 라고도 고려할 수 있음으로 日本이 西獨에 뒤떨어진다고 하더라도 1~2年이라는 가까운 거리가 될지도 모르는 일이다.

英國이나 프랑스가 탱크형 概念을 채용하고 있으며 最先進國인 프랑스가 Supper Phoenix 爐에서 새로이 日本型의 蒸氣發生器를 개발하고 있으므로, 경우에 따라서는 프랑스가 日本의 技術레벨에 가깝지 않나하고 想定되기도 한다.

그러한 뜻에서 이제 한발자욱만 더 가면 日本도 先進國에 들어설 수 있을 것이다. 다만, 日本의 경우는 歐洲 여러나라와는 달리 開發 資金을 國家에서 전적으로 부담하고 있으므로 앞으로의 開發을 現狀대로 進行시키기 위해서는 상당한 努力이 필요할지 모른다.

3. 高速增殖爐 開發의 將來動向

세계 각국의 앞으로의 高速增殖爐 開發計劃을 展望해 보기로 한다.

美國에서는, 현재 카터 대통령의 核擴散 防止 政策에 의해서 長期的 計劃은 不確實하나 1979年 予算부터 大型플랜트의 설계연구를 진행시켜 1981年 3월에 그 결론을 議會에 보고하기로 되어 있다. 그동안 이와 並行해서 CRBRP用 器機의 제작을 계속하여 테스트할 예정이며 一部 安全審査도 계속할 예정이다.

이 並行的 作業속에서는 결국 FBR關聯 기초 연구가 계속되게 되는 것이며 메이커도 CRBRP用의 器機를 계속해서 제작할 수가 있고 NRC측에서도 規制사이트에서 작업을 행할 수 있으므로 FBR 開發을 위한 포텐셜이 유지되는 것은 明白하다. 그래서 FBR를 早期에 건설하고 電力源으로서 확립할 필요가 그다지 없다면 出資金을 別途로 하면 CRBRP의 건설을 中止한다 하더라도 損害보는 사람은 아무도 없을 것이다.

이와 같은 상황아래서는 1981년에 FBR의 개

발을 進展시킨다는 의견이 議會의 大勢를 占한다 하더라도 FBR 大型 플랜트의 概念설계 연구가 행해지지 않을까 예상된다. 이때, 예를 들면 CR BRP에서는 루프형 원자로의 구조였던 것이 탱크형 원자로 구조를 채용하므로써 장래 탱크에서나 루프에서도 어느 것이나 좋아하는 것에 따라서 설계를 선택할 수 있다 라는 상태가 만들어지지 않을까.

에너지권이 予算을 얻어서 大型爐의 설계를 진행시키려면 현재까지 진행시켜 왔던 EPRI의 P LBR 연구는 中止되고 에너지권의 계획으로 移行하게 되는 것처럼 계획이 쉽게 변경할 수 있는 것이 미국의 특징일 것이다. 이와 같은 상황에서 長期的인 動向을 탐색하는 것은 어렵지 않으나 安全性 研究는 당분간은 계속된다고 생각되므로 1990년대에서의 이들 연구의 收束狀況에는 充分히 주목해 둘 필요가 있을 것이다.

다시, 長期的으로 보면, 미국에서도 論理的이나 환경面에서도 化石연료에 의한 공급은 제한되므로 원자력에 의한 電力수요를 충족하는 비중은 증대해진다. 전력회사는 수요에 따르기 위해서 輕水爐를 主力으로 하겠지만 우라늄 가격면에서 공급면에 지장이 생긴다고 생각되며 增殖爐 개발의 필요성은 점차로 높아지리라고 예상된다.

또, 미국내의 수요에만 맞도록 개발해 나가서는 海外와의 경쟁에서 뒤떨어지게 됨으로 海外市場을 잃고 나아가서는 코스트고에 연결될 우려가 있어서 이와 같은 경우 장래의 核融合으로의 이음으로서 高速增殖爐, 加速增殖爐, 核融合, 核分裂 混合爐의 順으로 개발해 나가는 것이 바람직하다는 의견도 있어서 이와 같은 계획 속에서의 高速增殖爐 개발이라는 면이 새롭게 논의되어 오리라는 것에도 주목할 필요가 있다.

소련에서는, 순조롭게 개발이 진행되고 있으므로 장래의 계획에서도 그 延長線上에서 진행되리라고 예상하면 1980年경 BN-600이 運開될 것이다. 그후, BN-1600이 실현될 것으로 보이는데 이것은 빠르면 1980년 또는 1981년에 착공하여 늦어도 1985年 또는 80年代 後半까지는 完成시킬 계획이라고 한다.

원자력은, 電力利用 뿐만 아니라 난방용이나 각종 工業의 熱源으로서의 이용이 활발하게 진행되는 方向에 있다. 즉, 冬期の 난방용으로서 석

탄, 가스, 石油의 소비가 증대해 왔기 때문에 1980年代에는 이들이 代替하는 지역 난방용으로서 원자력을 사용하려는 思考方式이다.

프랑스에서는, 1981년에는 Super Phoenix 이후의 實用爐의 건설계획을 결정하겠다고 말하고 있다. Super Phoenix 이후의 FBR의 예비 설계가 이미 1975년부터 개시되었으며 Super Phoenix 보다도 건설코스트를 저감시키기 위한 설계, 제조, 건설의 연구도 행해지고 있다. 이와 같은 연구는, EDF, NOVATOME 및 CEA에 의해서 行해지는 것인데, CEA는 이들의 예비연구에서 명백해진 사항을 기초로 해서 R & D 프로그램을 작성하고 있다.

1978년에 들어서 개시된 예비연구는 EDF의 의뢰에 의해서 시작되어 EDF 自体는 발전소의 在來部分의 설계를 담당하며, NSSS의 예비 연구는 NOVATOME가, 이태리의 NIRA를 포함해서 CEA의 支援아래서 행하기로 되어 있다. 예비연구에 의해서 出力을 크게하는 것이 기술적으로 가능하다는 것이 알려져 있으므로 1200MWe 이상이 되겠는데 1,200MWe보다 그다지 크지는 않을 것이라고 한다.

英國에서는, CDFR(The Commercial Demonstration Fast Reactor)를 1992년에는 運開시키고 그 운전 경험을 얻고난 뒤에 1990年代 늦게 다시 實用爐의 運開를 예정하며, 2000년에는 증식로에 의해서 5000MWe를 系統에 넣으려는 의견도 있으나 반대의견도 있고해서 개발은 상당히 늦어질 것으로 보인다.

西獨에서는 SNR-300에 이어서 SNR-II의 계획이 있다. 1300MWe의 소위 實証爐라고 불리워지는 규모의 것이다. LMFBR의 경제적 안정성, 優位性を 確立하기 위한 스텝이며, SNR-300의 全出力 운전개시부터 1년 지난 후 최초의 부분 건설허가를 얻을려고 하고 있다. 運開는 1990년경을 목표로 하고 있으며, SNR-II에 대해서는 프랑스와의 協力에 의해서 진행시킬 예정이다

4. 開發上의 여러問題

實驗爐를 定格運轉시키고 原型爐를 순조롭게 건설하게 되었다고 하면 앞으로의 개발에서는 어떠한 문제가 있을 것인가. 몇가지 主되는 것을

들면 아래와 같은 것들일 것이다.

- 開發方針上의 문제
 - 고속증식로의 필요성
 - 고속증식로의 경제성에 대한 전망
- 기술적 문제
 - 大型化에 따르는 문제
 - 信賴性向上(稼動率의 向上)을 위한 改善策
 - 운전·保安上의 문제
 - 경제성追求와 라이선스빌리티의 문제
 - 설계概念 選定上의 문제
- 開發体制
- 연구개발의 進行방법

(1) 必要性和 經濟性에 대한 要求

核燃料 資源의 有効利用이라는 視点에서 고속증식로의 필요성을 論한 자료는 수없이 많이 있으나 여기서는 일본의 원자력 개발의 최근의 상황을 예로서 高速增殖爐의 早期實用化에 대해서 記述해 보겠다.

日本에서의 원자력발전 설비용량의 伸長에 대해서는 1985년에 33GWe, 2000년에 100GWe로 하여 「對策促進 케이스」의 展望을 고려하고 있다. 이렇게 되면 2030년에는 260GWe가 되는데 이것을 모두 輕水爐로서 充當한다면 2030년까지의 天然우라늄의 累積所要量은 165萬stU₃O₈에 달한다. NEA-IAEA의 천연우라늄 자원량에 관한 최근의 자료에 의하면 採蘊코스트가 \$30/lbU₃O₈ 이하의 확인 매장량의 合計는 380萬stU₃O₈이며, \$80/lbU₃O₈이하의 것을 포함하면 480萬stU₃O₈이 된다.

이때까지의 실적을 참고로 하면 일본이 구입할 수 있는 天然우라늄量은 이것의 약 10%라고 전망된다. 이와 같은 것을 생각하면, 앞으로의 探蘊에 기대한다 하더라도 上述의 소요량을 확보하는 것은 不可能하다고 생각된다.

이 對策으로서 여러가지의 新型爐의 實用化가 重要하게 되는데, 특히 고속증식로의 實用화가 중요한 개발 과제가 된다. 현재의 고속증식로 개발전망에 의하면 실용화는 2000년이라고 假定하고 그후의 導入패턴을 表1-1과 같다고 하면 2030년까지의 天然우라늄 累積 소요량은 76萬stU₃O₈

로 억제되며 輕水爐만의 体系에 비해 54%나 削減된다. 이와 같이 고속증식로 實用化의 메리트가 큰 것은 明白한 것이다.

輕水爐에 이어서 輕水爐에서의 플루토늄 利用을 行해서 고속증식로로 이어간다는 体系를 생각하고 고속증식로 實用化 時期에 의해서 2030년까지의 天然우라늄 累積 所要量의 변화하는 상황을 조사해 보면 圖 1-2와 같이 된다. 이 圖에서 명백한 것처럼 천연우라늄 누적 所要량은 고속증식로 실용화 시기에 극히 敏感하다고 하겠다.

天然우라늄을 포함해서 에너지 자원이 빈약한 나라에서는 경제활동에 대한 安全性을 확보하기 위해서는 고속증식로의 早期實用化는 不可欠

하다고 생각된다. FBR의 경제성에 대해서는 不確定要素가 대단히 많으며, 現時点에서 精度가 높은 예측을 하는 것은 쉬운 일이 아니다.

따라서, FBR의 여러 코스트가 얼마나 되는가를 문제로 하는 것이 아니고 LWR系와 LWR - FBR系의 累計費用이 균형이 되는 FBR系의 여러가지 비용을 고속증식로의 경제성에 대한 최소한의 요구라고 생각해서, 이 面으로부터 FBR의 건설비 등이 어떻게 되어야 하는가를 검토해야 할 것이다.

爐型시스템은, LWR-FBR系 및 이 비교대상으로서의 LWR系에 限定한다.

表 1-1 高速增殖爐 導入패턴

FBR實用化 후의 年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11年 以後
運開量 GWe	1	2	3	3	4	4	5	5	6	6	無制限 (註)

[註] 단, Pu밸런스에 따른다.

2000年 以後의 原子力發電 設備容量은, 日本에너지 經濟研究所 予測值 「超長期 에너지 需給의 展望」(1977. 11. 30)에 의함.

圖 1-2 高速增殖爐 實用化時期와 2030年 累積所要量 까지의 우라늄

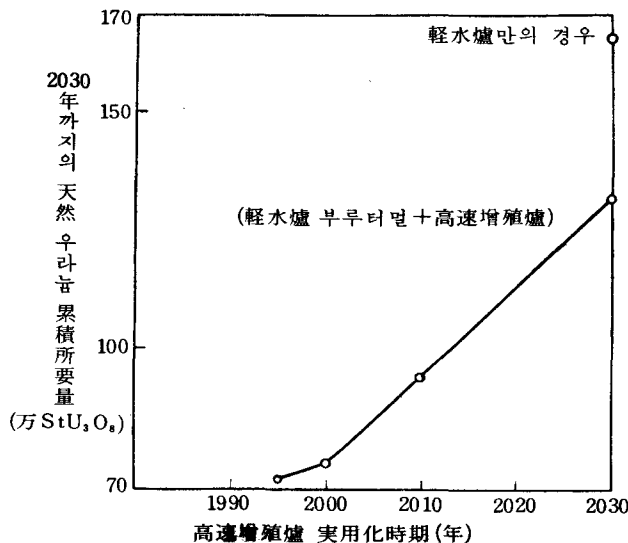
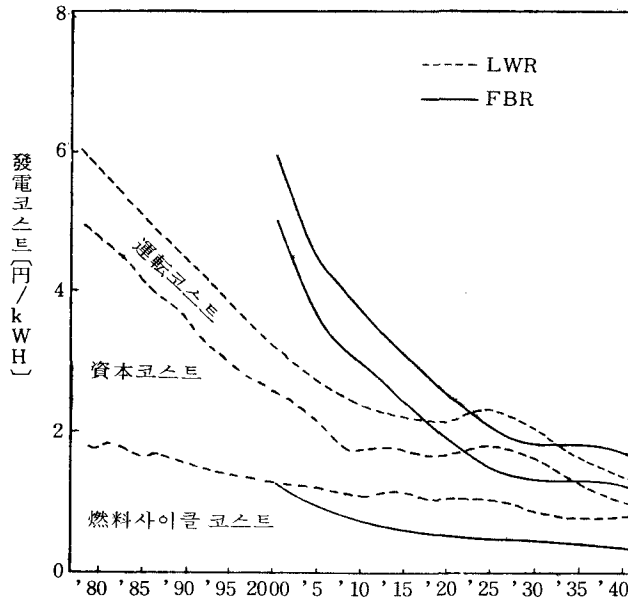


圖 1-3 發電コスト 構成



(2) LWR-FBR系 發電コスト의 일반적특징

FBR 導入年이 2000年의 LWR 및 FBR의 발전 코스트의 推移, 발전 코스트 구성의 추이, 累計 비용의 추이에 대해 圖 1-3, 1-4에서 표시한다. 이 圖들에서 알 수 있는 것같이 FBR 발전코스트는 LWR 발전 코스트보다 상당히 비싸나 시간의 경과에 따라서 後者に 접근하는 경향이 있다. LWR의 基本코스트는

(가) 건설비가 싸다는 것.

(나) 이것이 먼저 되면 償却이 끝난 爐의 비용이 높아지므로 FBR의 資本코스트보다 항상 싸다. 연료사이클 코스트는 FBR의 경우, 이것이 먼저되면 LWR에서의 Pu를 사용하는 비율이 적어지고 FBR에서 生成한 Pu를 사용하는 비율이 높아지므로 LWR의 연료사이클 코스트보다도 내림세가 크다. LWR-FBR系는 FBR導入後 一定의 기간은 LWR만의 系보다도 累計비용이 높으나 그 뒤에는 반드시 싸게되는 것을 알 수 있다. 또, FBR의 導入이 빠를수록 peak時의 累計費用 差가 적으며 또한 빠른 시기에 LWR系보다도 有利하게 된다.

(3) FBR 建設費

2030年 時点에서 FBR 건설비가 LWR 건설비와 같게 되며, 또한 FBR가 2000년에 商用화된

다고 가정했을 경우에 대해서 이 누계비용이 같아지는 FBR 건설비를 산출해 보면 2000年 時点에서의 FBR 건설비는 LWR 건설비의 약 1.75배 정도라도 좋다는 것을 알 수 있다(그림 1-5 참조).

(4) 技術的 問題

日本은, FBR의 原型爐「MONJU」의 실제경험을 발판으로 實証爐의 설계로 나아가려는 現단계에서 당면하고 있는 技術적 문제는 경제적 실용화로의 중요한 요소가 되는 것으로서 크게 구분하면 다음의 다섯개의 카테고리로 정리하고 있다

구분	기 술 적 문 제
1.	大型化에 따르는 문제
2.	信賴性 向上(稼働率 向上)을 위한 개선책
3.	운전保守上的 문제
4.	경제성追求와 라이선스빌리티의 문제
5.	설계概念 選定上的 문제

카테고리別로 以下에서 좀더 상세히 검토해보자.

카테고리-1.....大型化에 따르는 문제

일반적으로, 목표로 하는 전기出力의 선정은, 시스템 및 器機의 大型化요구에 큰 영향을 주게 되는데, 逆으로 大型화된 기기의 신뢰성의 전망,

圖 1-4 LWR系の累計費用差

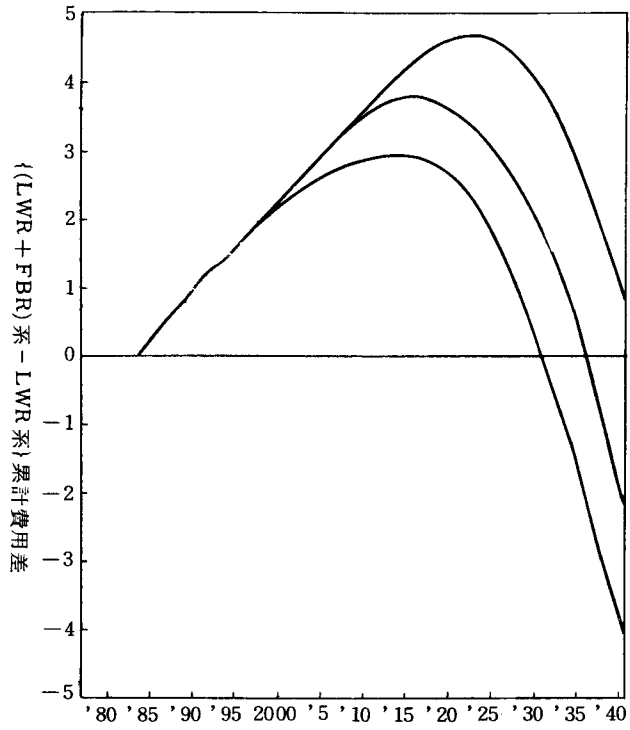
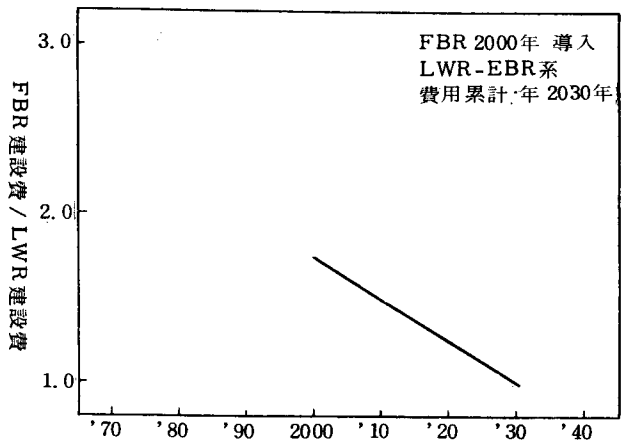


圖 1-5 LWR系 累計費用과 LWR-FBR系 累計費用이 均衡하는 FBR 建設費



또는 大型化에 따르는 리스크의 보는 눈에 따라 목표 출력이 결정되는 面도 있다.

実証爐出力의 선정에서는 특히,

○原型爐로 부터의 스케일업의 리스크가 적다는 것

○경제성이 높다는 것

○実用化로의 스케일업(scale up)의 포텐셜(potential)이 크다는 것

등이 주되는 因子가 될 것이다.

스케일업의 리스크의 검토를 하는 것은 새롭게 개발하는 器機에 대해서 대단히 곤란하며 결국 과거 개발의 경험으로부터 類推하는 수 밖에 없다고 생각된다. 예를 들면, 熱輪選系의 예에 대해서 PWR의 스케일업의 역사와 FBR의 것을 비교하여 보면 圖 1-6이 얻어진다. 이 예에 있어서는 輕水爐에서의 스케일업보다도 FBR에서의 스케일업 쪽이 약간 낮은 듯하며 이 점에 대해서는 無理한 스케일업은 아닐 것이라고 생각된다.

카테고리-2信賴性的의 向上(稼働率의 向上)을 위한 改善策

플랜트의 신뢰성을 가동율이라는 尺度로 표시했을 경우, 그 向上對策은 Na 冷却爐의 경우 주로 증기발생기의 물의 누설(leak)防止 對策으로서 대표된다.

증기발생기는, 熱傳達特性을 좋게 하는 観点에서 近年에는 1重管 傳熱管을 채용하고 있는 것이 보통이나, 미국의 大型実証爐 플랜트에서의 증기발생기의 설계예에서는 신뢰성 向上을 위해 2重管 傳熱管을 채용하려고 하고 있다. 이 설계의 發端이 된 사고방식은 EBR-II의 증기발생

기가 오랫동안 순조롭게 가동하고 있으며 그것이 2重管 이었다는데 기인하는 것 같다. 그러나, 여기서 잘 검토해봐야 할 것은 증기 발생기에서 고장이 생긴 예는 거의 熔接 欠陥이라고 하며, 신중하게 용접施工한 것에서는 고장이 생기는 일은 없으며, 그러므로 과거에서 생긴 고장은 증기 발생기의 型式에 依存하는 것이라고는 斷定할 수 없다는 것이다.

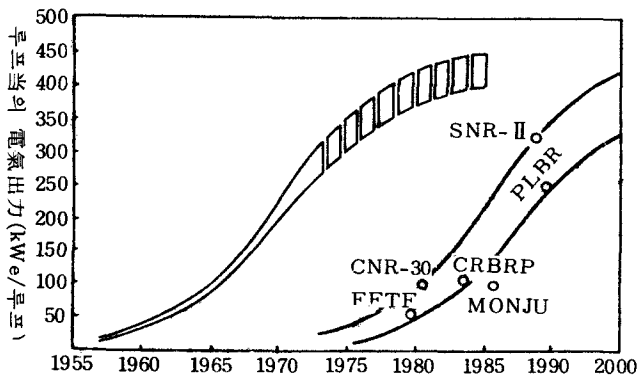
2重管이라 하더라도 그 제조방법이나 용접 시 공법에 따라서는 도리어 용접 個所數가 증가하므로 물의 리이크에 結付될 우려는 없다 하더라도 內側管의 리이크가 발생하는 비율이 증가할 것도 예상된다. 內側管에 리이크가 발생했을 경우, 플랜트는 역시 정지시키지 아니할 수 없다면, 그 發生頻度를 낮게 하도록 努力을 아니할 수 없는 것은 명백한 일이다.

EBR-II 증기발생기는 ANL에서 제작한 것이라고 하는데 이와 같이 연구실 규모의 제작에 의해서 신중하게 手工的으로 만든 것은, 공장에서 대량 생산적으로 제작하는 경우보다도 결과적으로 신뢰성이 높은 것을 만들 수 있는 것 같으며, 현재 증기발생기 메이커가 EBR-II의 증기발생기와 같은 신뢰성이 있는 것을 만들 수 있는지의 문이 남는다.

카테고리-3運轉保守上の 문제

Na 冷却爐 特有的의 문제로서, 액체 Na에 接하는 器機의 保守補修의 문제가 있다. 高温의 액체 Na은 대단히 드레인이 잘 된다고 하기는 하나, 원자로를 정지시키고 그 후 이것을 밖으로 내서 검사한다든가 하면 液膜狀에 부착해서 殘存하는 Na

圖 1-6 熱輸送의 scale up의 例



은 1次系の 경우에서도 방사능에 대해서도 문제가 되기는 하나, 酸化나 腐食의 발생원인이 되기 쉽다는 것도 알려져 있다. Na에 接하는 器機는 그 壽命中 고장이 발생하지 않는다면 無保守에 의해서, 그리고 가스零圍氣에 닿지 않게 하는 것이 메리트가 아닐까 하고 생각된다.

특히 1次系 펌프등, 点檢을 위해 빼낸다는 것을 실제적으로도 메리트가 있다고는 생각되지 않으며 신중한 검토가 필요할 것이다.

카테고리- 4 ……經濟性 追求와 licensability 의 問題

경제성은, 실용화 단계에 들어가서도 追求할 과제일 것이나, 實証爐라는 中間位置에서는 수시로 어떤 범위가 정해진 것이다. 경제성에 대해서는 무엇을 목표로 하느냐가 문제가 될 것이나, 예를 들면 實用爐의 코스트가 輕水爐와 같은 수준이 되었다고 하면 하나의 목표가 設定되는 것이다. 그렇게 되면, 實証爐에 대해서는 그 후의 코스트다운도 고려에 넣어 적절한 가격을 생각할 수가 있다.

한편, 實用爐가 社會에 받아들여지게 하기 위해서는 安全設計基準, 構造設計基準, 耐震設計 基準등의 여러 설계기준이 정비되고 이것들이 원자력위원회에서 충분히 검토되어야 할 것이다.

實証爐를 설계할 경우에는 이와 같은 점에 대해서 다른 爐型과의 밸런스도 고려해야 하며, 한편으로서는 개발하는 경우의 리스크와의 關聯에 대해서도 그 타당성이 앞당겨서 명백히 되어 있는 것이 바람직한 것이라고 생각될 하고 있다.

새로히 개발하는 원자로는 주어진 요구에 따르도록 설계하는 것은 容易하나 一面으로는 不確定 要素속에서의 決定으로서 너무 마아진을 追求하면 명백히 코스트증대에 結付되어 다른 여러 외국의 것과의 비교에서도 過大한 설계를 課할 우려가 없다고는 할 수 없다. 規制面으로부터의 검토를 하는 경우에는, 세계의 개발상황, 설계기준 연구개발의 내용을 충분히 擬集시키는 것이 타당한 판단에 필요한 것이다. 또, 安全審査의 단계에 들어가서 처음으로 新型爐에 대한 안전성 평가 기준등이 의논된다고 하면 이것은 明白하게 에너지 資源面에서 필요로 하는 工程을 지연시키게 하는 결과가 되므로 이의 원활한 활동이 기대될 수 있도록 배려를 잊어서는 안될 것이다.

카테고리- 5 ……設計概念 選定上의 問題

FBR의 설계개념을 선정함에 있어서, 아직도 結論을 얻고 있지 못한 「탱크型爐가 좋을가, 루프型爐가 좋을가」라는 문제이다.

日本의 경우는 약 10년전 原型爐 「MONJU」의 설계에 있어서 表 1-2에서와 같이 当初에 하나의 整理를 行하여 루프型爐를 推進해 온 經緯가 있다.

表 1-2 日本이 「MONJU」에서 loop 型을 採用한 主되는 理由

- 탱크型的 경우, 구조上 기술적으로 不確 實한 點이 많으며, 短期間에 開發할 경우에는 障害가 될 우려가 있다.
- 運轉, 保守의 面에서는 各部로의 接近性 이 좋은 點에서 루프型에 利點이 있다.
- 安全性에 대해서는 일반적으로 탱크 型이 좋다고 하나, 기로틴破斷과 같은 극단적인 경우를 생각하지 않는다면 특히 결정적인 優劣은 없다.
- 耐震설계에서도 탱크 및 탱크內的 내진설 계와 루프型的 경우의 配管의 내진설계를 比較해 보면 특히 優越을 가릴 수 없다.
- 大型爐로의 外挿性에 대해서는 루프型이 優越하다고 하고 있으나 탱크型에서도 설 계上的 고려에 따라 탱크의 大型化를 制限할 수 있으므로 특히 優越은 없다.
- 연구개발의 면에서 比較할 경우, 實驗爐技 術 및 그 開發手法이 利用될 수 있다는 것, 各 器機, 部品의 개발이 分離하여 獨立的으로 할 수 있다는 點으로서 루프型 쪽이 보다 効果적으로 進行시킬 수가 있다고 생각된다.
- 탱크型的 연구개발비는 루프型에 比해서 尙히 크다.
- 原型爐는 개발단계에 있기 때문에 器機의 補修, 改良이 必要할 것인데 이와 같은 경우에는 接近性이 좋은 루프型이 優越하다.

프랑스, 영국에서는 탱크型을 채용하였으며, 미국, 서독에서는 루프型爐, 소련에서는 탱크, 루프兩型式을 채용하고 있는 것이 原型爐단계의

상황이다. 그러나 상세히 보면 實驗爐에서는 탱크형을 채용하고 있는 미국이나, 루프형을 채용한 프랑스라고 말하는 것같이 각국에서 경험을 얻는 방법에 상이가 있다는 느낌이 들기도 한다.

최근 미국에서는 EPRI가 中心이 되어 PLBR 설계 연구를 진행시켜 왔으나 그중에서도 EBR-II의 성공을 베이스로 하여 탱크형爐의 신뢰성을 높게 평가하고 있으며, 프랑스의 Phoenix爐의 성공에 자극되어 WH社도 獨自의 연구로서 탱크형爐의 연구를 진행시키고 있다고 한다. 소련에서도 최근의 論文에서 大型爐에 대해서는 탱크형爐가 유리하다고 발표하고 있다. 소련의 이와 같은 의견은 비교를 위해 兩爐型을 건설한 경험에서 큰 가치를 가진다고 하겠다. 어느 것이나, 중국에서는 기술적으로 大差가 없는 것이 아닐까.

다음에, 蒸氣사이클의 選定의 문제를 보면 高温의 액체 Na을 사용하는 FBR에서는 고온에 견디는 재료를 필요로 하는 점이 신뢰성의 큰 요인이 되고 있다. 이를 위해 低温으로 하여 재료의 強度面으로부터 여유를 取하려고 하면 터빈도 飽和蒸氣 사이클 터빈을 사용하는 쪽이 좋다는 것이 되어 플랜트의 全体시스템 概念을 결정하는데 영향을 받게 된다.

미국 EPRI가 行하고 있는 PLBR 설계에서는 出口Na 온도를 875°F로 내려서 輕水爐에서 사용 실적이 있는 飽和蒸氣 사이클 터빈으로 하고 있으며, 신뢰성의 見地에서 高温사이클 보다는 좋다고 생각하고 있다. 이 설계의 기초는 GE社에 의한 것이나 WH社는 同社의 설계 出口온도 935°F는 다른 외국에서 실적이 있는 溫度以下 이므로 高温이라 하더라도 충분히 신뢰성이 있는 것이라고 反論하고 있다.

(5) 開發體制

原型爐이후의 개발 목표에 대해서는, 日本의 경우는 「高速增殖爐 개발을 위한 實施方策 研究會」에서 협의되고 있다. 여기에 따르면 原型爐에 있어서 1986년에 出力 100万kW級の 實証爐를 着工할 目標을 세웠다. 또한, 實証爐 건설착수의 4년 후를 指標로 數基 單位의 實用爐 건설에 착수하여 事實上의 商業化 時期에 들어간다고 한다.

1990年代에 고속증식로의 實用化를 겨냥한 것은 前述한 바와 같이 필요한 것이라고 생각된다.

그러나, 현실의 문제로서 輕水爐 발전소 건설기간 및 안전심사의 長期化, 立地難의 문제를 가지고 있으며, 多少의 改善이 있다하더라도 新型爐인 고속증식로의 개발이 前述의 展望에서와 같이 急tempo로 진전한다고는 생각되지 않는다.

약간 멋대로의 豫상을 한다면 實証爐의 운전기간이 1990年代 中半, 이에 계속되는 實用化단계의 爐는 實証爐와 並行하여 建設을 진행시킨다고 하더라도 2000年경이 運轉開始일 것이라는 것이 현실적인 것으로 생각된다. 따라서 前述의 豫상은 어디까지나 政策目標라고 생각해야 할 것이나 연구개발은 그대로 앞으로 나가는 것이 좋은 일이 아닐까라고 생각도 된다.

현재의 고속증식로 개발의 문제점은 그 필요성에 대한 지식이 극히 概念的이며 原型爐 이후는 이를 별도로 생각하는 것같이 생각된다.

고속증식로는 에너지資源이 결핍한 나라에서는 必需的인 것은 前述한 바와 같다. 이와 같은 것은 일본이나 프랑스에서도 강하게 인식되고 실천하고 있다. 이들 나라는 고속증식로의 개발에 좀더 能動的이 좋치 않을까 라고도 생각들 하고 있다.

日本에서의 實驗爐의 개발체제는, 仕様決定, 기준확립, 설계, 연구개발 및 개발관리의 거의 모든 것을 動燃事業團에 集中시켜 왔다. 또, 메이커들은 共同受注라는 形으로 建設을 淸부해왔다. 이 방법은 개발단계의 초기의 것으로서는 부득이한 것이었다.

그러나, 實用爐의 시대에 와서는 다른 體制로서 建設이 行해질 것인데, 일본에서도 빠른 시기에, 즉 원형爐의 建設을 포함해서 새로운 體制로의 移行을 도모할 필요가 있다고 생각들 하고 있는 것 같다. 그 하나로서 메이커의 共同體인 「FBR 엔지니어링 事務所」가 發足하였다. 그런데, 實用化 단계까지는 그렇게 많은 建設은 없을 것이고 또한 되도록 빨리 國際競争力을 높이기 위해서도 현재 輕水爐에서 취하고 있는 것과 같은 體制는 부적당하다는 것은 명백할 것이다.

그렇다면 어떠한 方策이 적당할까. 日本에서는 하나의 案으로서, 基本的으로는 發注側, 受注側 및 연구개발의 3分野를 獨立시키고 또한 각각 실시하는 것이 必要할 것이라고 생각하고 있다. 즉,

① 發注側

電力會社가 中心이 되고 動燃의 一部分의 協力を 얻어 發注 仕様の 決定 및 연구개발의 要求를 行한다. 플랜트의 건설 및 운전에 관하는 一切의 管理를 行한다.

② 受注側

메이커의 共同體이며, 또한 母體의 메이커로부터 獨立한 強한 權限을 준다. 여기서는, 「FBR 엔지니어링 事務所」에서 行하고 있는 시스템 엔지니어링을 발전시켜 強化시킨다. 組織으로서는 「事務所」의 發展이 円滑하게 되는 것을 기대한다. 各 메이커는 이 메이커 共同體로 부터 器機를 競爭해서 受注한다.

③ 研究開發

安全性 시험등 설계기준, 안전성 평가의 確立에 投資하는 研究개발, 장래의 性能向上을 목적으로 하고 實驗爐 등을 이용한 長期的이면서도 방대한 資金을 가지는 研究개발을 실시하는 國營기관으로 한다. 이 母體는 動燃事業團의 大洗工學 센터로 한다.

여기서는 다시 器機開發에 필요한 목크업 試驗연구의 실기기관으로서의 역할도 맡는다. 이 研究개발의 관리는 3者 共同下에서 行한다. 그 외에 發注側, 受注側 다같이 각각의 요구에 따르는 研究 개발이 필요할 것이다.

이상의 體制는 實証爐의 설계단계부터 實現하며 이때까지의 動燃의 成果를 메이커 및 電力會社에 早急히 繼承시킬 필요가 있다. 어느 것이나, 새로운 開發體制의 確立이 早期에 이루어질 것을 強調하고 있다.

參考로서 여러 外國에서의 開發體制를 정리해 보면 表 1-3과 같이 모두가 實証爐 단계에 이르러서는 그때까지 研究機關이 主体였던 것이 電力을 中心으로 하도록 變化해 있는 것을 알 수 있다.

日本의 경우는 民間 電力會社가 實用爐를 메이커에 發注할 수 있게 되려면 現狀의 原型爐단계에서 實証爐, 초기 실용爐, 실용爐로 민간 전력으로의 기술 이전이 확실하게 행해져야 한다고 한다. 이를 위한 조직과 各 爐가 해야할 역할을 명백히 해둘 必要가 있을 것이다. 여기서는 그 하나의 思考方式을 表 1-4에 表示한다.

(5) 研究開發의 進行方法

實驗爐를 포함해서 大型 高速 增殖爐에 대한 요구는 기술적 문제 의 項에서도 記述하였으나

① 高稼動率의 達成(信賴性의 向上, 定檢補修등 停止期間의 短縮)

② 經濟性의 向上(建設費의 低減) ③ 運轉 保守性의 向上(被曝低減, 單純化, 標準化)

④ licencability의 確立

등이다. 이들에서 유도되는 플랜트 概念은 상당히 기술적으로 신중하게 스케일업을 부담하게 될 것이다.

또, 前述한 바와 같이 實証爐에서는 되도록 빨리 운전개시를 할 必要가 있다. 이를 위해 實証爐로 向한 研究개발에 있어서 원형爐에서의 경험을 최대한 活用한 것으로서 短기간 또한 低費用으로 실현 가능한 내용에 한정되어 버린다고 생각된다.

이상에 의해 實証爐는 原型爐의 기술을 충분히 살린 약간 變換한 것이 될 것이며 고속증식로로서의 기대되는 고성능이 약간 희생이 된것으로 될 것이라고 생각된다.

이를 위해 장래의 플루토늄의 需給의 屢박이나 高効率에 대한 기대의 增大 등에 對應하는 기술개발은 고속증식로 實用化 후에 남겨져 버리고 만다. 그래서, 일본의 動燃事業團을 中心으로 한 研究 개발은,

① 實証爐를 대상으로 한 약간 變更된 研究개발(短期的)

② 將來爐를 대상으로 한 고성능화를 위한 研究개발(長期的)

의 두개로 나누어서 실시하며 서로 補完하면서 進行시키는 것이 바람직한 것으로 보고 있다.

미국에서는, 核擴散防止 面에서 FBR를 늦추려고 하고 있으며, 실험 耐擴散性 연료를 사용한 爐心설계가 되었다 하더라도 外國에 그것을 보여 주고 外國의 개발을 늦추고자 하는 경향으로 나오는만큼, FBR發電 플랜트를 早急히 건설하려는 움직임은 쉽게 될것 같지도 않게 보인다. 그러나, 그동안 FBR에 부수하는 안전성 研究(안전성 평가상의 研究)는 크게 進行될 것이다.

예를 들면, FBR爐心에서 反應度 挿入에 의한 연료용융에 의해서 被覆材中으로부터 冷却材 속으로 熔融燃料가 流出하는 現象을 엄밀히 追求하는 실험을 爐內실험으로서 行하려고 하는등 우리나라에서는 도저히 생각도 할 수 없는 研究 계획이 實行되어 가리라고 생각된다.

日本에서는, 앞으로 건설되는 FBR에 대해

表 1-3 海外의 FBR開發狀況

國	名	R & D主体	發注者	運轉者	設計者 또는 受任者	資金源	備考
프랑스	原型爐 Phenix	CEA	CEA	EDF (CEA)	原子爐 maker CAAA	全額政府出資 CEA 80% EDF 20%	
	実証爐 Super-Phenix	CEA	國際 consortium NERSA	國際 consortium NERSA	新會社 NOVATOME(佛) SCHNEIDER 40% ALSTHOM 30% CEA 30% NIRA(伊) Aginrcleire Ansaldo Eiat	國際共同出資 EDF 51% ENEL 33% SBK 16%	
영국	原型爐 PFR	UKAEA	UKAEA	UKAEA	元來 現在 TNP NPC	全額政府出資	
	実証爐 CDFR	UKAEA	CEGB(予定)	CEGB(予定)	設計者 NPC	全額政府出資	
西獨	原型爐 SNR-300	서독, 벨지움, 네덜란드 3國政府機關	3國電力 consortium SBK	3國電力 consortium SBK	maker consortium INB	國 1566DM 電力 121 maker 11 計 1698	但, 建設 cost 改定中이다.
	実証爐 SNR-II	서독, 벨지움 政府機關	國際電力 consortium ESK 서독, 벨지움, 이테리	國際電力 consortium ESK	maker consortium INB	不 明	
미국	実証爐 (demoplant) CRBR	DOE	DOE (PMC)	TVA (DOE)	主契約者 WH sub GE AI	國 1442~1462 \$ m 電力 254 maker 20~42 計 1736	但, 建設 cost 改定中이다.
	大型原型爐 PLBR	DOE (設計者 EPRIDOE)	未 定	未 定	未 定 設計段階에서는 GE WH AI 로서 個別로 設計+	未 定	계속해서 高減速 (C DR)

表 1-4 FBR設計·建設主体移轉의 一案(日本의 경우)

	發注者(資金分擔)	電力會社의 役割	maker의 役割
原型爐	動燃 (大羊會 國家資金)	建設施工管理応援	FBREO 發足 設計研究
實証爐	動燃 및 電力會社의 FBR 新組織 (大羊會 國家資金)	電力會社의 FBR 組織 實質的으로 技術的인 發注主体로서의 役割 設計管理研究	FBR Engineering 會社 發足 設計手法의 研究
初期實用爐 # 1	電力會社의 FBR 組織 (國家資金의 援助)	設計管理 建設管理	設計手法의 標準化研究
初期實用爐 # 2	電力會社	turnkey發注 工程管理研究 電力會社의 FBR 組織 에 技術援助를 받으면 서 推進	標準設計 標準建設 但, turnkey受注困難 risk를 정부로부터 R & D費로서 받을 수 있도록 配慮
實用爐	電力會社	turnkey發注 工程管理	turnkey受注

서 現實味가 있는 事故事象에 焦點을 맞추어서 安全性을 충분히 검토해가며, 실제上的의 大事故가 일어나지 않을 플랜트를 목표로, 또한 그와같은 플랜트의 건설, 운전경험을 쌓고 있는 中으로서, 그 안전성을 실적으로서 나타내는 것이 현명할 것이라고 생각들을 하고 있는 것 같다.

한편 미국이 생각하고 있는 것같은 假想的 事故事象에 마춘 熔融연료挙動을 追蹟하는 R & D에 대해서도 FBR開發의 保險으로서 미국과 協力해 가는 中에서 미국의 실험 정보를 얻는 것이 바람직할 것이다.

5. 日本의 앞으로 갈길

高速增殖爐는 日本의 原子力開發의 基本路線에 그 位置를 잡고 있으며, 日本의 動燃 事業團이 實驗爐, 原型爐를 각각 銳意開發中에 있다. 그리고, 基本的으로는 그後, 實証爐, 初期實用爐, 實用爐로 進展해 가며 2000년에는 최초의 實用爐가 運開될 계획이다.

이와 같은 계획下에서 지금까지 검토해온 각종

의 문제점을 해결해 나가는 길이 그들이 取해야 할 길이라고 그들은 생각하고 있다. 이때 선진여러 外國의 개발동향을 참고로서 검토하는 것은 중요한 일일 것이다.

고속증식로 개발에 있어서 가장 중요한 것은 그 開發体制이며, 또 그중에서도 開發主体이다. FBR개발의 필요성을 충분히 인식하고 책임을 가진 개발이 행해져야 할 것이며 自主技術에 의한 개발이라는 의식도 잊어서는 안될 것이다.

그런데, 이상의 사고를 밑바탕으로 하여 일본 사람들은 결론적으로는 다음과 같은 사항을 들고 있다.

- ① 電氣事業者의 積極的 參加
- ② 國家資金의 大量導入
- ③ 要員의 確保
- ④ 立地의 確保
- ⑤ 메이커의 一元化体制 확보
- ⑥ FBR 엔지니어링 기술, 제조기술에 의한 發展 途上國으로의 輸出

(1) 電氣事業者의 積極的 參加

近年, 더욱 에너지需給이 逼迫化의 方向에 있

고 고속증식爐의 인식이 높아져 왔기는 하나, 방대한 연구개발 자금을 요하는 것으로서 電力會社의 対応하는 태도의 弱化는 눈에 띈다.

장래, 電力會社가 高速增殖爐를 實用化하는 것이 明白하므로 risk가 크다고 하더라도 언제까지나 개발을 국가에 맡기는 것은 民間企業 으로의 自主性이 점차로 잃어버리는 결과가 되지 않을까, 즉, 국가자금의 投入에 의해서 實用爐에 거의 가까운 100万kW라고 하는 큰 플랜트를 實用爐라 하더라도 국가에만 맡겨서 만들고 있어서는 이것을 기초로 해서 그後 건설해가는 初期實用爐 혹은 實用爐를 電力會社가 建設하는 것은 기술적인 면에서도 곤란하게 될 우려조차 있다.

그를 위해 전력회사는 발전 플랜트를 운전해 온 오랫동안의 경험을 FBR 설계에 집어 넣어서 일본의 엔지니어링 能力 向上에 기여해간다는 관점에서 프로젝트에 적극적으로 참가하여 전력회사가 實用爐를 早期에 建設發注할 수 있도록 기술을 축적해 가야 할 것이다.

(2) 國家資金의 大量導入

實用爐의 개발에는 연구개발에 약 2,000 億円, 플랜트 건설에 5~6,000 億円이 든 것이라고 한다. 건설비를 輕水爐와 비교하면 2倍 이상이며, 더구나 이것은 予想値로서 設想 실험爐의 경험은 이미 받아들여졌다 하더라도 아직도 상당히 증가할지도 모른다.

또, 当面은 원형爐 建設비의 官民分擔이 논의 중이며 이것도 상당히 방대한 금액이 되고 있다. 자금분담에 대해서는 民間이 그 부담에 응할 수 있도록 合理的인 틀을 만들 필요가 있으며, 逆으로 정부가 부담해야 할 論理的인 근거도 필요하게 된다.

原型爐에 대해서 지난날에 생각되었던 官民折半이라는 案은 現實로는 뜻이 없는 것이 되어 버

렸다. 원형爐에 대해서는 개발 리스크도 크므로 외국의 예에서 보는 것처럼 그 대부분은 國家資金에 의할 것이 필요하다.

그러나, 實証爐에 대해서는 경제적으로 實用爐라고는 할 수 없으나 기술적으로는 실용爐에 가까운 것으로 생각되므로 民間도 상당한 정도로 부담할 필요가 있을 것이다. 가령, 그것을 輕水爐 정도로 보더라도 輕水爐 정도를 넘는 부분 및 앞으로 증대할지 모르는 부분에 대해서는 그 대부분을 국가자금에 의할 필요가 있다.

자금 부담의 결과가 開發体制의 方向에 영향을 주고 있으나 고속증식로 개발에서와 같은 巨大한 내셔널 프로젝트는 長期的 展望에서 좀더 合理的이고 또한 냉정히 대처할 필요가 있다고 생각된다. 예를 들면, 에너지 기술개발에 투입되고 있는 日本政府의 자금을 보면 表 1-5와 같이 先進國 隊列에서는 낮은 편이다.

장래의 에너지가 기술 集約的인 것임을 고려하면 對國民 總生産에서나 對人口에서도 보다 많은 노력을 結集해야 할 것이다.

특히 安全保障이라는 문제는 원래, 국가적 관심사이므로 民間이 獨自로, 종합적, 長期的인 입장에 서서 기술개발을 행할 것을 요구하는 것은 無理가 있으며, 보다 많은 국가자금이 민간기업의 利潤動機를 자극하고 또한 産業間의 罅(gap)을 메우며 사회와의 조정을 도모하는 형태로서 나타나게 되는 것이 바람직하다.

(3) 要員의 確保

輕水爐에 의한 發電은 앞으로도 증대하며, 그를 위해서는 電力의 建設운전 보수要員, 메이커에서의 설계제조 建設보수 요원은 증가의 一路를 걸을 것이다.

특히, 발전플랜트의 증대에 따라 保守補修 要員은 방대한 수가 되리라고 예상된다. 이것을 완

表 1-5 先進國의 에너지 技術開發에 투입되어 있는 國家資金의 比較 (77年)

國 名	子 算 額 (달라)	人 口 (億人)	에 너 지 自 給 率
日 本	33, 590	1. 20	10%
英 國	22, 530	0. 56	~50
西 獨	58, 600	0. 61	~50
美 國	166, 530	2. 20	80

화하기 위해 器機의 除染이나 補修의 自動化가 추진될 것이다. 그렇다 하더라도 2000년경의 원자력발전 설비용량을 1億kW로 하면 건설중인 플랜트가 20基를 넘으므로 현장에서의 건설운전 補修요원은 수萬명에 달한다. 이밖에도 메이커의 제조 부문에서도 역시 몇萬명의 기술자가 필요하게 될 것이다.

이들의 기술자를 양성 확보한 다음에 新型爐로서 高速增殖爐를 개발하게 되므로 상당히 면밀한 계획이 필요하다. 그를 위해 앞으로 개발하는 고속증식로는 기술요원의 過不足이 생기지 않도록 스케줄이 짜여져야 한다.

(4) 立地의 確保

현재의 원자력개발의 상황을 보면 立地確保는 자금문제보다 오히려 더 중요한 문제이다. 輕水爐 발전소의 立地확보에도 근본적인 해결책을 찾지 못하는 限, 2000년에 1億kW라는 발전설비용량은 達成 不可能하다고 생각된다. 初期의 高速증식으로 발전소는 輕水爐에서 충분히 実績을 쌓 海岸地上 立地가 될지 모르나 新立地 方式에도 충분한 対応이 될수 있는 것으로 해야 할 것이다.

또, 현재까지 灣岸을 이용한 火力발전소 건설에 의해 수요지에 비교적 접근한 電源構成을 가능하게 하며, 그것이 現行의 九電力 体制의 기초를 만들고 있다고 생각되나 장래의 원자력 발전이 발전전체에 占하는 비율이 증가해지면 그때는 現行의 일본의 아홉개의 電力會社 体制 그대로로서도 좋다고는 말할 수 없게 될 것이다.

그것은, 원자력 발전이 人口密集地, 즉 수요中心地로부터 떨어져서 電源構成上 바람직하지 못한 장소에 건설하지 아니할 수 없는 것에 依存하고 있기 때문이다. 이 해결책으로서는 現行 九電力 体制를 약간 수정한 것으로서 민간의 고속爐發電會社를 사이트(site)마다에 설립하고 수요中心을 기초로 해서 區分되는 九電力會社에 발전한 전기를 都賣할 구조도 생각된다.

(5) 메이커의 一元化体制 確保

日本은 高度의 技術은 있지만 資源이 없는 惡條件下에 있는 것이므로 그 資源이 없는 것을 어떻게 메꾸어 나가는가가 문제이며, 「輕水爐-FBR 路線」을 早期에 확실히 함으로써 하지 않으면 안

된다. 資源이 없고 또한 기초가 되는 기술이 없는 나라들에서는 先進 여러나라가 先行한 FBR 路線으로의 努力을 集中하여 先進 여러나라가 에너지에 대한 이니셔티브를 자유로히 빼앗아가지 않도록 戰略을 세우는 것이 필요하다.

솔레없이 爐型의 多樣化에 따르지 않도록 人的 資源을 포함해서 有效한 國力의 活用이 요망된다 원자력 산업이 경영적 기반에 있어서 극히 弱體라는 것이 가끔 입에 오르내리고 있다.

그것은, 마켓트가 대단히 制約되고 있으며 그로 인해 원자력 산업부문의 경영적 自立性이 흔들려 기술개발의 포텐셜리티가 잃어져 가고 있기 때문이라고 말한다. 多幸히도, FBR가 日本에서 自主技術 개발이 早期에 主唱되어 현재 FBR 엔지니어링 事業所가 개설되고 있으며, 메이커의 힘을 일체로 하여 合理化되어 가고 있다.

이와 같이 하므로서 우선 日本의 시장속에서 自立하고 기술을 確立하여 産業体制로서 確立되어 가는 것이라고 생각된다.

이와 같은 体制속에서 先進 여러나라에 對抗하면서 그리고서도 自國의 에너지確保가 安定해지는 것이 아닐까. 輕水爐에서의 PWR와 BWR와 같이 메이커体制를 2分하는 것같은 일은 FBR에서는 있어서는 안된다고 警告한다.

이 점에서 FBR는, 日本은 産業界가 總力を 집결하고 이와 씨름을 하는때는 아주 형편이 좋은 편이다. 큰 플랜트를 分割하여 受託해가며 이것을 集成하는 소프트·엔지니어링이 完備해 있으면 그것이 가능하다. 장래의 FBR 수요는 膨大할 것이며 산업계의 총력을 結集한다 하더라도 아직도 남을만한 수요를 內包하고 있으므로 메이커는 안심하고 기술개발에 달려들수 있는 것이 큰 利点이다. 이와 같은 힘에서 생겨나는 FBR를 장래의 輸出産業으로서 育成해야 한다는 것을 日本 사람들의 來日의 産業으로서 꿈이 부풀고 있다.