

高速増殖炉 開發現況과 展望

閔 丙 墩
(韓電(株)原子力企劃部次長)

I. 序 論

高速増殖炉의 特性은 우라늄資源의 供給 및 需要에 對한 均衡을 維持시켜 나갈 수 있다는 것과 核에너지의 安定的 供給을 期할 수 있는 點이다.

에너지源으로서의 石油은 地理的으로 偏在되어 있는 실정이고, 1973年 이후 每年 계속되는 産油國들의 油價 引上으로 石油 輸入國들에 對한 資金負擔을 強要하고 있어서 에너지源으로서의 機能에 問題點이 대두되고 있다. 더구나 現 世界에너지源의 主役割을 擔當하고 있는 石油의 埋藏量은 限界性을 보이고 있다. 이런 問題點 때문에 各 國家에서는 에너지源의 石油 依存性 脫皮 및 長期的으로 供給이 可能한 代替 에너지源 開發에 力點을 두고 있다.

이에 부응하여 原子力 發電이 代替에너지源으로서 浮刻되었으나, 長期的으로 에너지를 供給하는데 있어 天然우라늄中에 核分裂性 物質인 U-235가 0.7%밖에 包含되어 있지 않아 우라늄에 依한 核燃料 資源의 限界性이 노출되고 있다. 따라서 世界各國은 새로운 方式에 依한

에너지 供給의 安定化를 摸索하게 되었으며, 그러한 方案中에서 高速増殖炉에 依한 에너지 供給이 有力한 方案으로 대두되고 있다.

高速増殖炉는 天然우라늄 資源中에 99.3%를 차지하고 있는 U-238을 燃料로 使用할 수 있어 資源利用에 極大化를 期할 수 있고, 지금까지 開發되어온 原子力 技術을 利用할 수 있다는 長點을 갖고 있다.

現在 世界 先進國들은 實驗炉 및 實証炉 段階를 지나 商業炉를 建設하고 있는 狀況임을 考慮하여 볼 때 멀지 않아 高速増殖炉의 實用化가 이루어질 것이며, 우리나라도 1990年代 高速増殖炉 導入에 對備하여 專門要員을 訓練시킬 계획을 가지고 있다. 本稿에서는 高速増殖炉의 간략한 技術的인 概要와 世界 主要國의 高速増殖炉 開發現況 및 展望, 우리나라의 高速増殖炉 導入對備 등에 對해서 記述하고자 한다.

II. 高速増殖炉 概要

發電을 하면서 소모된 核燃料보다 더 많은 核燃料을 生産하는 原子炉를 増殖炉라 한다. 増殖

이런 燃料가 더욱 늘어 나간다는 뜻이다.

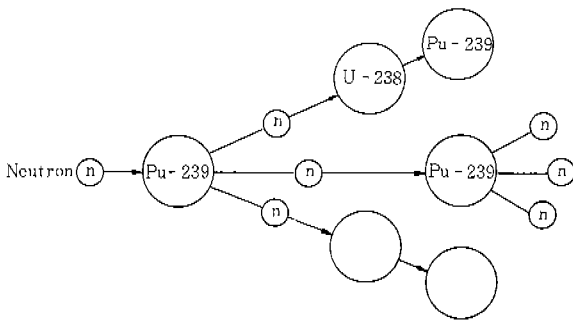
그러면 高速이란 무엇일까? 이것은 中性子の 速度를 말한다. 즉, 속도가 빠른 中性子를 利用하여 運轉 過程에서 일부는 원자력 발전에 이용하면서 核燃料를 生産하여 나가는 原子炉를 의미한다.

原子炉가 계속적인 核分裂을 지속하는 과정을 連鎖反應이라 한다(그림 1 參照). 연쇄反應이 일어나는 原理는 다음과 같다.

한개의 核이 中性子 한개를 흡수하여 核分裂을 하면 平均的으로 約 2.5개의 中性子が 産出된다. 이중에 최소한 1개의 中性子が 다시 核分裂物質에 흡수되어 核反應을 일으켜야 다음 단계의 核分裂이 가능한 것이다. 中性子は 빠른 速度로 運動하다가 核分裂 物質이 아닌 다른 물질에 흡수되기도 하고, 原子炉 밖으로 달아나기도 하기 때문에 최소한 한개의 核分裂物質에 흡수시켜 連鎖反應을 지속시키는데도 어려움이 따른다.

增殖炉는 連鎖反應의 持續이라는 原子炉의 기본조건 외에 한개의 燃料物質의 核이 分裂할 때 燃料物質의 核이 다시 生産되어야 한다는 것이다.

中性子에 대하여 좀더 구체적으로 설명한다면 核分裂時에 생산된 2.5개의 中性子中 한개는 連鎖反應으로 쓰이도록 해야 하고 한 개의 中性子が 核分裂을 일으킬수 없는 U-238과 結合하여 核分裂을 일으킬수 있는 플루토늄生産 用으로 쓰이도록 해야한다는 것이다.



(그림 - 1) 連鎖反應의 原理

이것은 中性子の 損失을 最小限으로 줄여야만 가능한 것이므로 감속되기 前의 中性子를 使用하게 되는 것이다. 中性子の 速度를 高速으로 維持하기 위해서는 冷却媒体로서 물을 使用할 수 있고 原子爐이 비교적 큰 물질을 用해야 하므로 熱傳達 特性이 좋고, 中性子の 吸收率이 낮은 物質을 물색한 끝에 소듐을 冷却材로 使用하게 되었다.

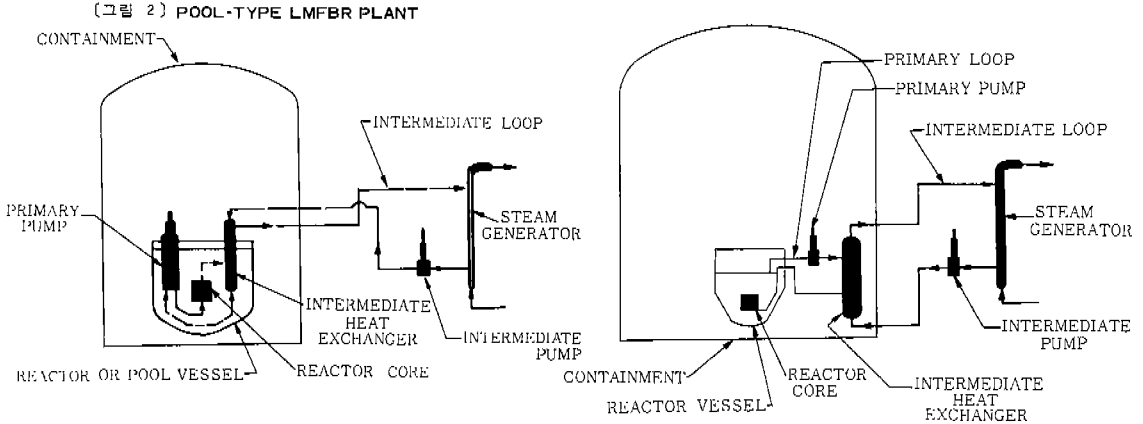
現 段階에서 導入 가능한 高速增殖炉는 液体金屬冷却炉(LMFBR)가 有力視된다. 이는 現在 主로 가동되고 있는 輕水炉보다 熱效率이 높고, 또 冷却材로서 液体金屬 소듐을 使用하고 있으므로 소듐이 漏泄되었을 때 소듐과 물이 反應하지 않도록 中間熱交換器 設置가 必要하다.

液体金屬 冷却炉에서는 炉心과 中間熱交換器가 하나의 커다란 容器에 들어있는 풀(Pool) 型과 이것들을 따로 분리시켜 파이프를 통하여 冷却材를 移送하는 루프(loop)型的 두가지로 區分된다(그림 2.3參照). 프랑스는 主로 풀型을 開發하고 있는데 反해 美國은 루프型을 開發하고 있다. 풀型和 루프型的 概略的인 技術資料를 [表-1]에 比較하였다.

(表-1) Pool-Type과 Loop-Type 比較

項 目	Pool-Type	Loop-Type	備 考 (古里#1)
冷却材	소듐	소듐	물
1次系統壓力	5.4kg/cm ²	12kg/cm ²	156kg/cm ²
1次系統溫度	545°C	535°C	319°C
蒸氣壓力	180kg/cm ²	102kg/cm ²	52.663kg/cm ²
蒸氣溫度	487°C	482°C	267°C
熱交換段階	2 段階	2 段階	1 段階
	(中間熱交換器) (蒸氣發生器)	(中間熱交換器) (蒸氣發生器)	(蒸氣發生器)
設計基本概念			
○ 中間熱交換器	原子炉内部	原子炉外部	
○ 原子炉容器	大	小	
○ 原子炉建物	小	大	
○ 소듐配管	少	多	
○ 原子炉内部	複 雜	簡 單	

[그림 3] LOOP-TYTP LMFBR PLANT



III. 世界 主要國의 高速增殖炉 開發現況 및 展望

現在 全世界에서 高速增殖炉를 開發하고 있는 國家로는 프랑스, 西獨, 英國, 日本, 美國 및 蘇聯 등이며 原子力 開發계획을 樹立하고 있는 그외의 國家들도 核燃料의 增殖을 戒할 수 있다는 觀点에서 高速增殖炉의 開發 및 購入에 觀心을 갖고 있다.

表-2에 世界各國의 高速增殖炉 開發現況을 요약하였다. 表에서 보는 바와 같이 高速增殖炉 開發은 世界各國이 모두 實驗炉-原型炉-大型實證炉의 開發過程을 採択하고 있으며 原型炉는 25~50万KWe, 大型 實證炉는 100万~150万KWe 規模로 계획 또는 建設하고 있다.

初期의 實驗炉는 比較的 小出力으로서 高速增殖炉의 技術的 經驗의 取得이 主目的이었으나, 最近의 小型 高速增殖炉 建設의 主目的은 炉心의 動特性 實驗 및 核燃料 材料의 照射試驗 등을 行하여 大型 高速增殖炉 建設의 技術的인 뒷받침으로 活用키 위하여, 設計, 建設되는 傾向을 보이고 있다. 初期 高速增殖炉의 核燃料은 金屬燃料가 主宗을 이루었으나 現在는 옥사이드 核燃料 使用으로 開發路綫이 바뀌었다.

美國이 世界에서 가장 먼저 高速增殖炉 開發에 着手하였음에도 불구하고, 現在로서는 原型炉 建設 및 大型 高速增殖炉의 建設段階에서 프랑스, 英國, 蘇聯 등에 뒤지고 있으나, 美國은

長期間의 풍부한 技術經驗 및 技術蓄積을 바탕으로 高速增殖炉의 早期 實用化를 이룰수 있는 底力을 가지고 있을 것으로 豫想된다.

가. 프랑스의 高速增殖炉 開發現況

現在 프랑스에는 液体 소듐 冷却 高速增殖炉 2機가 가동중에 있다. 實驗炉 Rapsodie는 核燃料의 性能限界를 測定하기 위한 熱出力 40 MWt의 炉로서 1967年 가동을 시작하였다.

Rapsodie의 技術的 經驗에 依하여 프랑스는 高速增殖炉 Phenix를 建設하였으며, 이는 장래의 商業用 高速增殖炉 및 이에 對한 基盤으로 5万KWe의 中間規模 發電炉이다. Phenix는 1973년에 臨界에 倒達한후 成功的인 運轉을 繼續하고 있으며, 이의 成功的 運轉 結果와 지금까지의 技術的 經驗의 蓄積으로 自信을 얻은 프랑스는 大型 商業發電用의 實証炉로서 120万 KWe級 Super-Phenix를 Crey-Malville에 建設하고 있으며, 1983年 가동을 目標로 하고 있다.

프랑스의 高速增殖炉 開發계획은 1992년까지 8~10GWe 程度를, 2000년까지 原子力에너지의 20%를, 2025년까지 70%를 高速增殖炉로 充當할 계획이다.

나. 日本의 高速增殖炉 開發現況

現在 日本에서 高速增殖 實驗炉 Joyo가 가동되고 있으며, 原型炉 Monju가 建設되고 있다. Joyo는 Loop型 소듐冷却 高速增殖 實驗炉로서 出力은 100MWe이고 核燃料 照射試驗 施設

로 利用될 것이다. 30万KWe級 Monju는 商業規模의 高速增殖炉 發電을 爲한 安全性과 信賴度 및 經濟的인 價格의 妥當性을 實証하기 爲해 1979년에 建設이 始作되었으며, 1985년에 臨界 倒達을 目標로 하고 있다.

日本은 1967年 核燃料 開發事業團(PNC)이 設立된 이래 高速增殖炉 開發을 爲해 많은 費用과 人員을 投入하고 있다. 日本은 高速增殖炉의 商用化를 1990年代 中半으로 目標를 두고 있으며, 2000年 까지의 高速增殖炉 發電容量은 1000万KWe를 넘어설 것으로 展望하고 있는 동시에 最近에는 日本 原子力委員會가 高速增殖炉 開發에 力點을 두기로 確認한 바 있다.

다. 美國의 高速增殖炉 開發現況

1940年代 末頃에 美國은 高速增殖炉 技術開發 (表-2) 世界의 高速 增殖炉 開發계획

發에 着手하였으며, 실제로 世界 最初의 電力을 生産한 原子炉는 美國의 소듐 冷却高速增殖炉였다.

1962年の 「原子力 平和利用—大統領에의 報告書」는 重要한 政策發表로서 高速增殖炉의 開發과 研究 強化를 要請하였으며, 數年後에는 研究結果로서 液体金屬冷却 高速增殖炉에 依한 原子力 開發계획을 強化하도록 하였다.

1960年代에 EBR-II와 SEFOR이 순조롭게 運轉을 始作하였으며 高性能의 核燃料 試驗裝置인 FFTF(Fast Flux Testing Facility)의 建設계획 및 380MWe의 原型炉 CRBR(Clinch River Breeder Reactor)의 建設계획이 決定되었다.

1971年 大統領은 高速增殖炉 계획에 最于先權을 附與하였으며, 第二 實証炉 계획의 支持

原 子 炉		45	51	56	61	66	71	76	81	86	91
		50	55	60	65	70	75	80	85	90	100
美	實驗炉 Clementine(25KWt)	☒							폐쇄		
	" EBR-I(1.2MWt)	☒							가동		
	" LAMPRE(1.0MWt)			☒			○○○○		건설		
	" EBR-II(20MWe)								계획		
國	" E. FERMI(66MWe)			☒							
	" SEFOR(20MWt)				☒						
	" FFTF(400MWt)						○○○○○○				
原型炉 CRBR(380MWe)											
英	實驗炉 DFR(15MWe)			☒							
	原型炉 DFR(250MWe)										
	實證炉 CDFR(1,320MWe)										
소	實驗炉 BR-10(10MWt)										
	" BOR-60(60MWt)										
	原型炉 BN-350(350MWe)										
	" BN-600(600MWe)						○○○○○				
實證炉 BN-1600(1,600MWe)											
프	實驗炉 Repsodie(40MWt)										
	原型炉 Phenix(250MWe)										
	實證炉 Super Phenix(1,200MWe)							○○○○			
西	實驗炉 KNK-II(20MWe)										
	原型炉 SNR-300(300MWe)						○○○○○○				
獨	實證炉 SNR-2(1,300MWe)										
伊	實驗炉 PEC(118MWt)						○○○○○○○○				
印	" FBTR(16.5MWt)						○○○○				
日	實驗炉 Joyo(100MWt)										
	原型炉 Monju(300MWe)										
	實證炉 (1,000~1,500MWe)										

및 液体金屬冷却 高速增殖炉의 商業發電炉로서의 實証炉 完成時期를 1980年代로 할것을 決定하였다.

그러나 1971年~1974年 사이에 高速增殖炉의 早期商業化에 關한 많은 重大한 障碼가 發生하였으며 그 事項은 다음과 같다.

① 原子力의 環境및 社會的 影響에의 感受性 增加

② 美國의 풍부한 資源에 따른 高速增殖炉의 必要性 減少

③ FFTF 및 CRBR 계획의 所要經費 增額이 큰 問題로 擡頭

1972년에 美國의 原子力委員會는 美國 聯邦法院으로부터 液体金屬冷却 高速增殖炉의 環境에 미치는 綜合報告書의 作成을 命令받았으며, 1976년에 綜合계획을 作成하였는데 그 主要內容은 다음과 같다.

① 液体金屬 冷却 高速增殖炉의 主要한 環境, 技術및 經濟問題 등을 1986년까지 解決

② 1980년에 高速增殖炉의 開發을 決定할 境遇를 對備한 準備段階를 完了

美國의 우라늄 資源은 370萬tU₃O₈ 程度이며 2000年の 原子力 發電容量을 6億KW로 假定할 경우 우라늄 再處理 없이는 核燃料 不足으로 1990年代初 이후에는 輕水炉型의 建設 契約은 거의 없어질 것이다. 그러나 輕水炉型에서 高速增殖炉의 移行은 갑자기 이루어지는 것이 아니며, 順次的으로 開發되어 最初의 大型商業發電炉가 1993년에 運轉을 開始한다고 해도 2000年 高速增殖炉 發電容量은 3000萬KWe에 이를 것으로 豫想된다.

이러한 前提條件으로서 綜合계획이 마련되었으나, 1977年 4月에 카터美大統領은 商業用 核燃料 再處理와 플루토늄 增殖炉의 實証試驗을 延期하였으며, 동시에 美國內 에너지需要를 充足시키기 위하여는 輕水炉型을 推進하기로 決定하였다.

이러한 美國의 新政策의 基礎는 첫째로 高速增殖炉의 美國內 利用에 對한 緊急性이 減少되

었다는 点이다. 1976年の 계획으로는 2000年에 原子力發電量은 6億KW로 推定되었으나, 그후 2~3年 동안에 輕水炉型에 對한, 發注가 減少되었으며, 이에 따라 2000年の 原子力發電容量은 3億8千萬KWe까지 낮게 推定되었다. 이에 必要的인 2000년까지의 우라늄 資源은 再處理하지 않을 境遇에는 260萬tU₃O₈ 程度로서 美國內 우라늄 埋藏量 370萬tU₃O₈으로 充分히 堪當할 수 있다는 것이다.

둘째로 高速增殖炉의 開發을 遲延시키는 理由는 核擴散에 對한 憂慮이다.

核燃料의 再處理는 高速增殖炉에서는 必須不可缺한 事實이며, 이 境遇의 플루토늄 取扱에 依한 核擴散에 對한 憂慮때문에 카터美國大統領은 原子炉의 核燃料 週期에서 核擴散을 最少로 하는 技術的, 制度的 方法을 講究하도록 檢討하기 위해서 지금까지의 再處理 技術및 高速增殖炉 開發계획의 일단 중지를 요구하였다.

이에 따라 現 美國의 增殖炉 開發계획은 增殖炉에 對한 광범위한 基礎研究, 특히 熱傳達, 核燃料의 安全性및 核擴散 憂慮가 없는 再處理 技術 등에 집중적 개발에 주안점을 두고 增殖炉 必要時 즉각 實用化할 수 있도록 準備를 갖추고 있다.

IV. 結 論

지금까지 高速增殖炉의 必要性, 技術的 概要와 世界主要國의 開發現況및 展望에 對해 살펴 보았다.

前述한 바와 같이 高速增殖炉는 우라늄資源의 最大限 利用과 한 國家가 이를 採擇함으로써 在來式 에너지 依存度를 줄일 수 있다는 長点과 核에너지를 增殖하며 使用할 수 있는 長点을 갖고 있다. 現存 段階에서의 高速增殖炉 技術水準은 高速增殖炉 開發國들에 依해 그 可能性이 立証되고 있으며 1990年代에 商業炉가 立証되어 實用化될 것으로 展望된다.

(P. 16에 계속)

다벨딩이며 大韓民國 樹立後 1948年 8月부터 商工部廳舍로 使用하다가 現在는 서울信託銀行 本店建物로 改築)새 골목안 20m地點右側에 서 있는 三層建物로 移動하였다.

筆者는 業務報告次 金千代會館 建物에 가꿈 出入하여 電氣課 幹部들을 만났으나 霸氣에 찬 先輩上司를 거의 모실 機會를 갖지 못했다. 解放後인지라 모든 職員들은 愛國獨立精神은 넘쳐흘렀으나 電氣技術公務員으로서의 國家的 使命이 무엇인지 제대로 認識하는 先覺者가 없었던 것 같았다.

그 後 筆者가 渡美研究를 斷念拋棄하고 차분하게 電氣課勤務를 專念하려고 決心한 47年봄, 技術係長의 補職을 正式으로 發令받아 全國水力地點調查台帳을 챙겨볼 찬스가 到來하였다.

世宗路 電氣試驗所 앞길에서 車를 내려 단숨에 三層에 뛰어올라가 보았더니 房이 텅텅 비어있고 水力地點調查書와 書架 一切가 보이지 않았다. 놀란 感情을 억지로 鎮靜 시키며 守衛室에 달려가 그 行方을 물었으나 精確하게 說明해주는 사람이 하나도 없었다.

알만한 職員을 모조리 찾아다니며 물어본 끝에, 數週日前 金千代會館으로 運搬한 物件이 있다는 情報를 入手하게 됐다. 그 말을 듣자마자 金千代會館으로 달려가 電氣試驗所에서 運搬해온 古文書의 受領 및 保管現況을 關係官에게 물어본 結果 虛亡하기 짝이 없었다. 金千代會館에는 保管할 場所가 마땅치 않아 麻浦刑務

所로 轉送했을 것이라는 消息을 들은 瞬間 맥이 빠지고 落望의 함정에 빠지고 말았다. 그러나 한가닥의 希望은 比較的 場所가 넓은 刑務所(特히 解放後 出獄者가 많은 關係로)에는 保管할 자리가 틀림없이 있을 것이라는 생각이었다.

그러나 그 다음날에 麻浦刑務所 所長을 만나 複雜한 確認節次를 거치면서 採知해낸 結果는 憤하고 悲痛한 終末이었다. 刑務所當局 말에 依하면 「니—다室」(古紙, 破紙를 化學藥品 處理하는 熔液槽)에 이미 投入해 버렸다는 衝激的인 說明이었다. 追跡은 여기서 끝이 났다.

아아!! 憤하고 슬펐도다.

이 珠玉같은 全國水力地點調查設計資料가 무참하게도 再生紙로 둔갑해버렸다니 누구를 怨望 하리오.

朝鮮總督府가 日本의 國益을 위해 오랜 歲月에 걸쳐 莫大한 豫算을 投入하여 調查作成한 圖書와 맞먹는 水準의 全國水力地點基本 調查書와 DAM設計台帳 一切를 우리들의 國力으로 作成하자면 果然 幾年後에 完成될 것인지 寒心하기만 했다.

無慈悲하게도 罪없는 어린아이를 희생시켜 鑄造했다는 옛적의 에밀레鐘은 아직도 殷殷한 餘韻을 永世에 퍼져올려 人間濟度에 기여하고 있을텐데, 貴重한 水資源調查圖書가. 둔갑하여 變形된 再生紙는 우리들에게 무슨 이바지를 하고 있을까 想像하니 悲痛하기 그지없다.

[P. 13에서 계속]

2000년까지 우리나라의 原子爐 導入機數를 40機 內외로 假定하면 經濟的인 側面에서 보더라도 2000년까지 輕水爐型에 依해 生産되는 플루토늄은 상당한 量이 될 것이며 이의 高速增殖爐에 依한 活用이 바람직하게 될 것이다. 資源이 豊富한 美國을 除外한 西유럽 및 日本과 같은 에너지資源 主要輸入國들은 高速增殖爐에 依한 에너지의 對外 依存率 減少에 큰 期待를 걸고 있다.

앞으로 프랑스가 1984년에 Superphenix를

運轉할 것이고, 또한 프랑스 政府가 電力公社(EDF)에 1985年 以前에 大型 高速增殖爐 2機를 發注토록 承諾하고 있고 電力公社도 經濟性만 맞으면 推進하겠다는 立場을 취하고 있다.

앞으로 우리나라도 先進諸國에서 高速增殖爐의 技術性 및 經濟性이 立証되었을 때 즉각적으로 이를 導入할 수 있도록 꾸준하게 先進技術에 關한 情報를 蒐集하고 또 과감하게 技術要員을 先進國에 派遣하여 專門要員을 養成하여야 할 것이다.