

# 各國의 高速增殖爐 技術開發 動向

## — 高速增殖爐의 設計研究 —

### 1. 序 言

高速增殖爐(FBR)의 開發은 設計研究面에서 보면, 지금 하나의 轉換期를 맞이하고 있다. 實証化時代를 앞두고 FBR固有의 安全性을 한층 더 追求하고 經濟性的의 確立을 가능하게 하는 技術의 開發이 그 主題이다.

석유위기를 벗어나고 安定經濟成長을 追求해 온 10년간의 資源論과 經濟性的의 밸런스를 摸索하면서 FBR開發의 意義는 새삼스럽게 再認識되어가고 있다. 폭넓은 연구개발에 뒷받침받은 FBR플랜트의 운전경험의 蓄積(그림1)과 최근의 Super Phenix, SNR-300의 건설, 일본의 "몬주"의 착공 등의 경험이 그 認識의 기초가 되고 있다.

현재 實証化時代를 향하는 각 나라에서의 開發段階와 經濟條件에 對應해서 次期FBR플랜트의 설계연구가 행해지고 있는데 本稿에서는 이와 같은 최근의 研究設計를 概觀함으로써 FBR 技術開發의 動向을 알아보려고 한다.

### 2. 各國의 設計研究現況

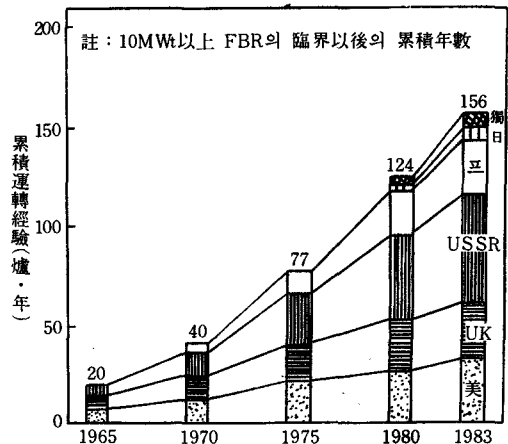
各國의 FBR은 그 나라의 開發概念이나 技術的인 어프로치의 방법에 따르고 있으며, 또 같은 나라에서도 大型化에 따라, 시대의 推移에 따라 새로운 技術이나 概念이 받아들여 지고 있다. 최근의 새로운 設計研究에서 세계공통의 特徵은 建設費低減과 원자로 고유의 安全性 追求를 標榜하고 있는 것이다.

물론, 各國의 開發단계와 사회조건에 따라 출력규모나 爐型式의 選擇 또는 연료싸이클의 檢討가 행해지고 있으며, 거기에는 共同開發과 協調의 布石과 함께 技術적으로 상당한 競爭의 存在가 느껴진다.

이것들은 各國의 實証爐·原型爐의 설계, 건설, 운전경험과 실적 및 그것을 지탱하고 있는 폭넓은 研究開發을 기초로 한 것이다. 유럽에서는 84년 1월에 프랑스, 서독, 이탈리아, 벨기에, 영국 등 5개국에 의한 FBR개발에 관한 協力覚書의 締結 등에 의해 장래의 방향 일치를 追求하고 있다. 爐型式에 대해서도 構成機器設計의 共同사용의 요구때문에 탱크爐型 一致를 追求하는 것 같이 보인다.

한편, 미국에서는 CRBR의 中止를 契機로 새로운 開發目標設定을 위해 DOE 주도하에 종래

〈그림 1〉 FBR 플랜트 運轉經驗趨勢



부터 추진되고 있던 advanced한 설계연구에 注目하고 있다. 이 새로운 노력은 미국사회 전체에 착실하게 퍼지고 있는 再活性化의 움직임이 FBR 개발면에 反映된 것이라고 보여진다. 日本

에서도 「常陽實驗爐」, 「文珠原型爐」에서의 설계, 건설, 운전경험을 바탕으로 基本仕様選定을 위해 각종 設計案이 檢討되고 있다. 表1에 최근 해외에서의 대표적인 설계연구에 대해 그 技

〈表1〉 最近의 海外의 設計研究

國	프랑 스	西 獨	英 國	美 國 的 現 狀					
原 子 爐	Super Phenix-II	SNR-II	CDFR	LSPB	Low Cost Plant	Power R. Inherently Safe Module	Sodium Advanced F. R.	Hybrid R.	
注 文 主	EdF	ESK	未 定	DOE, EPRI	自社研	自社研	自社研	自社研	
設計實施者	NOVATOME	INB	NNC	CoMo, W.RI. GE	WH	GE	RI	Stone & Webster	
出力 萬KWe	150	130	130	132	60~100	11×3基×4set	33×4基	140	
熱 効 力 %	42	38	40	38		32			
爐型式/ loop 數	tank/4	tank/4	tank/4	tank/4	tank	tank/1	tank/2	hybrid	
原子爐出入口 Na 溫度 °C	545/395	540/390	540/370	510/354		468/321	510		
主蒸氣溫度/ 壓力 °C/kg/cm <sup>2</sup>	490/180	495/170	490/173	452/155		284/70	457/160		
技 術 的 特 徵	爐心・燃料	○高信賴爐 停止system ○富은燃料pin	○制御棒-blanket 燃料의 少數化에 대한 爐心 compact化	○爐心拘束型 ○外側遮蔽體 固定 ○grid spacer	○非均質爐心 ○增殖比 내리고, 燃燒比 올린다.	○SASS ○燃料inventory 貯藏量 minimum	○強한 負의 溫度反應度係數 ○熱膨脹으로 爐停止	○爐心에酸化物, 金屬兩 燃料 使用 可能	○非均質爐心
	原子爐構造・燃取	○安全容器와 liner 合同 ○爐室水冷却 ○roof slug 空冷, 輕量化 ○EVST ○二重回轉 plug aent 式 또는 三重回轉直動式 ○A flame 式出入機	○EVST ○A flame 式出入機	○外側blanket 燃料用T/C 省略 ○EVST ○二重回轉plug ○A flame 式出入機	○EVST ○三重回轉plug 式出入機	○單回轉plug+ off set arm ○A flame 式出入機 ○使用後燃料 水中貯藏	○moduler 原子爐 ○hot plug ○燃取裝置 (또는 原子爐) 移動에 의해 燃取	○A flame 式出入機	○爐容器最小
	冷却系	○一體貫流helical Coil 型 SG1基/loop ○4DRACS+ IRACS ○二次系pump 下吸入式	○一體貫流 SG (helical coil 型 또는 直管) ○2DRACS	○DRACS 內藏 IHX ○二段式pump ○一體貫流J 型 SG (2基/loop)	○二次系bellows ○siphon breaker guard bessel 削除 ○Na-水反應生成物收納系 2 系統 ○DRACS	○一體貫流二重管SG ○Na-水反應生成物收納 容器削除 ○SGAHRs+ DRACS	○爐內設置IHX ○爐內設置電磁 pump ○單一pump spued ○二次系bellows ○爐容器등에空氣自然循環	○Passive RACS ○Passive DRACS ○BOR 을 原子爐級基準에서 제외	○配管最小化 ○Na中 bellows ○二重配管 guard vessel
總合的特徵 (設計의 目的)	建 物	○格納dome 削除 ○角形原子爐 建物 ○免震Pad	○concrete 格納容器 ○SG建物集中 配置 ○落下base mat	○低壓角型格納 容器 ○天井crane中止 大型機器移動 原子爐建物 hatch에서	○SG돌레BOP 를 原子爐級 基準에서 제 거시킨다. ○C/V最小로	○補強 concrete C/V ○落下base mat			
		○Super Phenix 의 step up 同一-size로 20 %出力 up ○燃料cycle close	○Super Phenix를 base로 tank 型的 適用 性檢討 ○增殖性에서 經驗性重視 ○FBR固有의 安全性重視	○cost低減化	○石炭火力 및 cost 發電 plant	○火力, LWR 보다 安い인 plant 確立 ○module 化에 의한 工場製作・工期短縮 ○開發費 minimum ○燃料cycle close	○트럭 輸送可 能한 module 化 ○原子爐工場製作 ○高稼働率 ○固有의 安全性 ○開發費 minimum ○燃料cycle close	○scale merit와 工場製作merit의 調和 ○工程短縮 ○고가동용・長壽命 ○固有의 安全性 ○開發費 minimum ○燃料cycle close	○tank・loop 長點採用 ○全體 module 化 ○工場製作: 工期短縮

術的面에서의 特徵을 나타내었다.

**프랑스** 프랑스에서는 120萬KWe의 Super Phenix의 건설이 推進되어 금년에 臨界에 도달할 예정이다. 이 實績을 발판으로 해서 出力150萬KWe의 Super Phenix-II (이하 SPX-II라 略稱)의 豫備設計를 規制側에 제출하여 安全性에 관한 概念 및 앞으로의 추진방식의 豫備審査를 받고 있다.

이것을 기초로 設計者인 NOVATOME社는 1986년 中반까지 건설을 위한 설계를 發注者인 EdF에 제출할 것을 목표로 작업을 추진하고 있으며, 현재까지의 설계를 재검토하여 건설비를 輕水爐의 1.6~1.8배로 하는 노력에 힘을 기울이고 있다.

主容器를 크게 하지않고 出力을 Super Phenix의 20% 증가시킬 목적으로 機器의 小型化, 나아가서는 사용후 연료의 爐內貯藏에 의해 燃料取扱系統의 簡素化를 도모하고 있다. 또, 原子爐主容器上部돔의 削除, liner를 부착시킨 콘크리트피트安全容器, 角型建物, 免震構造의 採用, 2次系統펌프의 소형화 등의 設計對應을 하고 있다.

安全評價에 대해서도 R & D의 실시를 전제로 HCDA를 殘留리스크로 취급하는 것의 양해를 얻는 등의 실적이 얻어지고 있다.

**西獨** 原型爐SNR-300은 1973년 着工 이래 많은 곤란을 극복하고 건설이 추진되고 있다. 이 實績을 바탕으로 SNR-300의 설계연구는 이미 루프형 및 Super Phenix의 설계를 自國으로 適用할 목적으로한 탱크型爐 두가지에 대해서 행해지고 있으며 또한 1988년 까지 詳細設計를 移行하려는 준비가 추진되고 있다.

爐型式은 탱크型으로 결정될 가능성이 크다고 보여지고 있다. 이들 설계에서 蒸氣發生器

(SG)는 helical型, 直管型 어느 것이나 채택가능한 配置設計로 하고 있다. SPX-II와 마찬가지로 爐心은 增殖比를 고려하더라도 建設費低減을 우선하기로 하여 大徑핀의 採用, 制御棒數의 減少, 블랭킷燃料의 縮小를 도모하고 있다.

한편, 非均質爐心에 대해서도 검토하고 있다. SNR-300에서의 경험을 기반으로 해서 SNR-2는 安全性의 概念이 承認된 다음에 건설에 들어가고자 規制側에 의한 검토가 추진되고 있다.

**英國** 영국내의 에너지 정책에 의해 FBR의 slow down이 불가피하므로 歐洲와 共同開發路綫을 취하기로 결의하고, 1984년 1월 정부사이의 協力覚書에 調印한 영국은 原型爐FBR의 경험을 기초로 130萬KWe의 CDFR의 설계를 추진하고 있는데, SPX-II 이상의 合理化를 달성하여 Compact CDFR이라고 칭하고 있다. 設計案은 그 후에도 설계의 재검토가 계속되고 있다.

建設費低減을 목표로 다음과 같은 연구가 실시되었다. 즉, 主容器는 直徑을 19.2m까지 축소시키고, 루프구조도 간략화하고 있다. 이를 위해서 半徑方向블랭킷燃料出口用 溫度計를 音響計로 바꿈으로서 上部機構를 축소화 할 수 있을 것으로 생각하고 있다.

中間熱交換器(IHX)는 胴과의 熱膨張差의 吸收를 傳熱管의 Vent에 의한 방식에서 胴側 bellows로 바꾸고 있다. 崩壞熱除去用 傳熱管 코일을 內藏한 IHX, 高回轉數 2段式펌프, 低位置主容器設置에 의한 地震床應答의 低減, J型一體貫法方式SG 채택 등의 연구가 행해지고 있다.

**美國** 종래부터 추진되어온 DOE 委託 COMO에서 整理한 LSPB의 설계연구와 병행해서 DOE는 CRBR프로젝트의 中止에 따라 1984년 3월 앞으로의 FBR 기술개발의 목표설정을 목적으로 메이커側에 "innovative

advanced LMFBR設計”의 提案을 모집했다.

이 제안에서 만족해야 할 조건은 ① 自然現象, passive한 機器의 利用에 의한 安全性의 確保, ② 플랜트壽命 40년 이상, ③ 設備利用率 80%이상, ④ 다른 電力源과 경쟁할 수 있는 경제성을 가지며, ⑤ 設計에서 運轉까지를 8년 이내에 달성할 수 있을 것 등이다. 이에 대해 WH社, GE社, RI社, Stone & Webster社外 1個社에서 부터 응모가 있었는데 앞의 4社의 提案이 受理되었다.

이들 제안의 공통적인 특징은 ① 탱크型設計가 表面化되었다는 것, ② 고온가스로개발과 같은 小規模容量으로 하며 module型 플랜트構成의 採用, ③ 최대한의 工場製作에 의한 現地工事의 短縮 등이다. 아직 이들 設計提案의 상세한 것은 알려지지 않았서 推定된 부분이 많기는 하지만 다음에 그 概要를 서술한다.

(1) LSPB

LSPB의 설계검토는 EPRI(美國電力研究所)의 增殖爐研究開發機關으로 설치된 COMO(Consolidated Management Office)를 調整役으로 DOE의 자금으로 1982년부터 실시되고 있다. 같은 규모의 石炭火力發電所와 경쟁할 수 있는 플랜트의 성립을 목표로 대폭적인 코스트저감을 위한 설계노력을 하여 그 목적을 달성해가고 있다.

최근 LSPB에서의 설계노력은 ① 爐停止熱除去系統을 SG를 사용하는 방법에서 直接爐心插入方式으로 변경했다는 것, ② 大型機器의 이동을 원자로건물에 설치한 hatch에 의해 행하기로 하여 천정크레인을 削除하고 格納容器的 천정을 낮게 하는 것, ③ 增殖比를 犧牲하여 燃燒度를 올릴 것, ④ 당초의 92萬KW에서 132萬KW로 대형화하여 Scale Merit를 살리는 것 등이다. 그리고 FY85년에는 LSPB-Pool에 이어서 계속 研究開發을 하려는 意向을 가지고 DOE에 예산요구를 하고 있다.

(2) Westinghouse社(LCP設計)

從來型 發電所와 경쟁할 수 있는 Low Cost Plant(LCP)로 設計案을 提示하고 있다. 原子爐蒸氣供給系統의 구조를 그림2에 표시하였다.

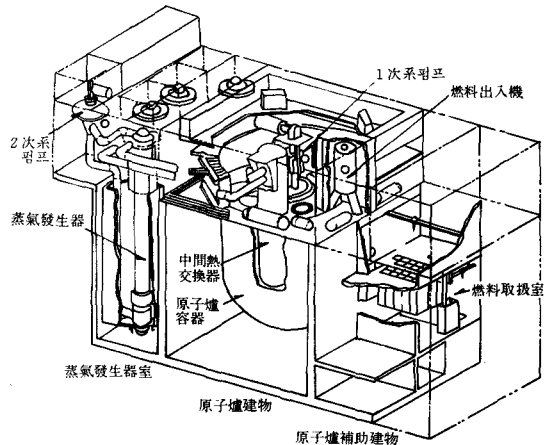
主容器는 單回轉plug-off set arm 燃料交換方式 등에 의해 Compact化되고 2次冷却系統도 2重管 SG의 채택에 의한 Na-水反應生成物收容系統의 削除 등이 도모되고 있다. 플랜트는 原子爐格納系統, 燃料取扱系統, 4개의 SG hill의 6構造體로 분할되고, 이것들은 다시 트럭수송이 가능한 module單位化되어 工場製作後 現地搬入된다. 이로 인해 工期는 從來方式에 비해 1/3이 단축되며 또한 運轉·補修性的 改良과도 연관된다.

이 설계의 또 하나의 특징은 동일 사이트에서 燃料의 製造·再處理 등의 一環사이클을 완성하여 플루토늄사이클의 自給體制를 確立하는데 있다. 이 플랜트에서는 11년동안 自給되며 그 이후는 블랭킷燃料로 減損우라늄을 공급하는 것만으로 바뀌게 되며 동시에 연료의 인벤토리를 7/5爐心으로 減한다. 이것은 동시에 核非擴散으로의 配慮도 높일 수 있게 한다.

(3) General Electric社(MRP設計)

대형플랜트를 소형module의 組合에 의해서 實現하려는 것으로 Modular Reactor Plant(MRP)

<그림 2> WH社 Low Cost Plant設計



라 부르고 있다. 이 플랜트의 구성을 그림3에, 原子爐module을 그림4에 표시하였다. 트럭에 의한 수송이 가능한 1unit의 出力 11萬KWe를 선정하여 3unit가 1基의 터빈과 組合되어 한 단위가 된다.

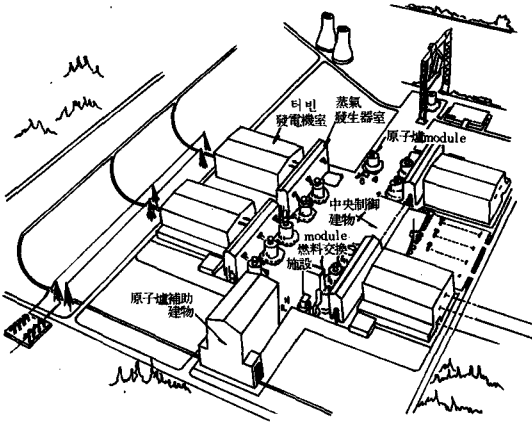
공장에서 内部構造를 조립한 原子爐容器를 운반하여 현지에서 遮蔽格納容器에 挿入함으로써 工期를 단축한다. 초기투자과 투자리스크를 최소로 하고 자금회수를 하면서 大出力 플랜트로 増設이 가능하게 된다. 崩壞熱除去는 主容器外面의 放射傳熱에 의해서 행해지며 固有의 安全性을 가진다. 이에 의해 2次系統 이후는 非原子爐級基準에 의할 수도 있어서 建設費低減을 도모한다.

燃料交換은 별도로 설치된 專用施設에서 原子爐主容器를 그대로 이동시키거나 또는 燃料交換施設을 이동시켜서 행한다. 實用化로의 프로세스는 소형임을 살려서 實規模의 unit에 의해서 實証試驗을 실시하면서 標準化를 도모해나감으로서 開發費의 최소화와 實証이 끝난 안전기술에 의한 플랜트의 實現을 指向하고 있으며, 燃料사이클施設을 사이트내에 갖는 설계로 되어 있다.

(4) Rockwell International社(SAFR設計)

이 設計案에서는 33萬KWe의 Power Pak이라

〈그림 3〉 GE社 Modular Reaction Plant 構成圖



고 부르는 單位原子爐를, 예를들면 4基로 하나의 發電所를 構成한다. 그 레이아웃을 그림5에 나타내었다. 機器의 輕量化에 의해 最大工場製作을 하여 現地工期의 短縮化를 도모한다.

原子爐建物は PS콘크리트收納構造로 하며 主容器를 落下式 base mat에 설치하여 地震床應答을 최소로 한다. 爐心은 酸化物, 金屬燃料 어느 것이나 使用可能하게 하고 있다. 동일 사이트에서의 燃料사이클의 完結도 검토하고 있는데, 이 경우는 金屬燃料가 유리하다고 한다.

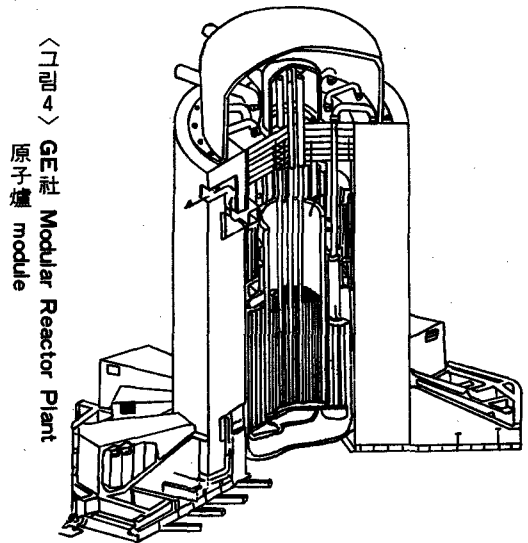
(5) Stone & Webster社(hybrid型設計)

이 設計의 重點은 루프型爐의 장점인 原子爐容器의 小型化와 탱크型爐의 장점인 1次型的 compact化를 합쳐서 實現하려는 것이다. 원자로 용기, 펌프 및 IHX를 主内容物로 하는 容器配管에 의해 接續한다.

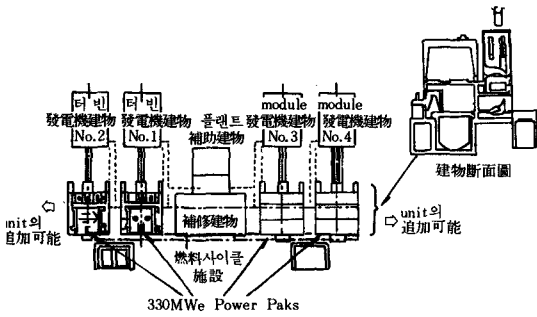
機器는 module化되어 最大限 工場製作한다. 掘削에서 건설까지 48개월로 가능하여 루프型에 비해 12~18개월, 탱크型에 비해 8개월정도 단축할 수가 있어서 建設費低減이 기대된다.

### 3. 設計研究面에서 본 技術開發動向

FBR開發도 본격적인 實証化의 단계를 향해



〈그림 5〉 RI社 Advanced Sodium FR 플랜트構成圖

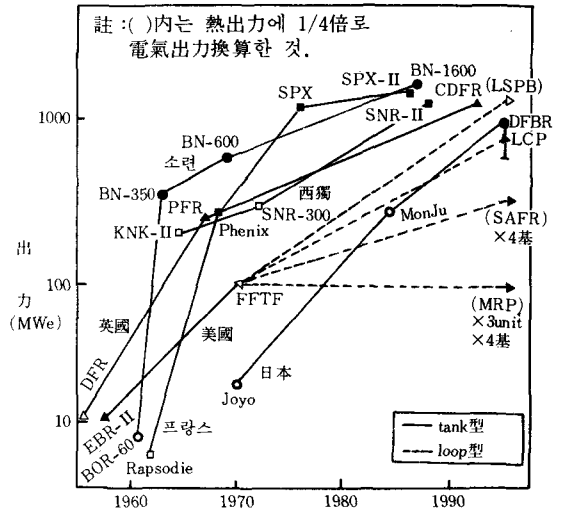


서 기술적인 면에서 경제적인 면으로 議論의 重點이 옮겨가고 있다. 資本費低減中 初期投資額 低減의 기본적인 방법은 직접·간접적인 物量削減, 특히 原子爐蒸氣供給系統(NSSS) 및 건물 的 縮小·輕量化, 工期短縮, module化에 의한 工場製作工程의 확대와 현장작업의 축소 및 單價 低減, 특히 機器種別의 낮은 범위(특히 BOP)의 확대이다. 동시에 各國은 모두 표1에서와 같이 各種의 새로운 技術, 概念의 積極적인 採用을 檢討하고 있다.

資本費低減의 또 하나의 기본적인 요인은 稼動率의 向上이다. 미국의 설계연구에는 module化에 의한 전체 플랜트의 효율적 운용(燃料交換, 定檢의 交互實施), 燃料取扱·貯藏方式의 검토, 爐心의 長壽命化라고 하는 장기운전의 실현을 위한 노력이 기울여지고 있다. 機器·系統의 簡素·輕量化는 保修하기 쉬운 觀點에서도 검토되고 있다. 사고를 미연에 방지하기 위한 ISI, 운전감시, 만일의 故障時 保修를 위한 로봇의 사용도 이들 설계연구중에서 검토되고 있다.

FBR의 특징을 충분히 살려서 어떠한 異常事象에서 爐心事故에 이르는 過程을 차단하는 수단으로 基本機能인 爐停止와 爐心冷却에 自然法則을 보다 직접적으로 이용하는 방법에 의해 실현하려는 노력이 이루어지고 있다. 이것은 사고예방능력의 강화를 목적으로 하며 종래의 방법외에 그 수단을 다양화하려는 것이다.

〈그림 6〉 世界の 高速爐大型化의 趨勢



爐停止方法으로는 自己作動型(SASS)과 기타에 의한 新型爐停止裝置가, 爐心冷却法으로는 原子爐容器中에 熱交換器를 直接插入하는 방법이나 原子爐容器를 外面에서 直接冷却하는 방법 등이 이들의 설계연구에 나타나고 있다.

그림6에 FBR의 出力規模趨勢를 나타내었다. 일반적으로는 기술적인 한계가 발생하지 않는 범위에서 스케일효과를 살리기 위한 대형화도모되고 있으며, 歐洲에서는 130~150萬KWe가 次期 플랜트의 목표가 되고 있다. 그러나, CRBR중단 이후 미국의 Advanced FBR의 設計案에서는 原型爐를 Skip하는 것으로의 配慮와 金利, user의 投資能力, 認許期間의 長期化 등에 대한 대책 등으로 中規模出力의 組合에 의한 大規模化가 提案되고 있다.

### 3.1 爐心

各國의 공통점은 爐容器의 縮小를 위해 平均線出力密度의 增大, 制御棒本數나 블랭킷燃料層數의 削除를 도모하며 한편으로는 플랜트의 가동율向上을 위해 燃燒度를 높게 하기 위하여 集合體當 本數를 많게하는 설계로 하고 있는 것이다.

또, 爐停止의 신뢰성을 보다 증대시켜 플랜트



의 경제성을 향상시키기 위해 爐停止用制御棒에 새로운 概念이 제안되고 있다. 燃料構造에 대해서도 集合體길이의 단축, 壓力損失低減의 意圖가 보이고 있다.

3.2 原子爐系統, 燃料取扱系統

原子爐容器的 Compact化를 위해 각 나라마다 綜合的인 觀點에서 여러가지의 연구를 하고 있다. SPX-II에서는 安全容器와 liner의 共同化, roof slab의 輕量化를 도모하고 있다.

사용후 핵연료의 저장방식으로 SPX-II에서는 IVST를 채택하고 있다. 탱크型爐의 경우, 爐容器內에 비교적 공간을 확보하기 쉬우므로 IVST의 이점이 크다고 생각되는데, 통일되기까지는 이르지 못하고 있다. 燃料交換機로는 2重回轉plug直動式, 3重回轉plug式, 單回轉 plug off set arm式 등의 概念이 並存하고 있으며 명확한 動向은 보이지 않는다.

그러나, 燃料出入機에 대해서는 경사suite方式 (A flame)을 선호하고 있다. GE의 MRP는 hot plug方式으로서 또한 연료취급裝置를 원자로의 위치까지 이동하여 연료취급을 하는 독특한 概念을 채택하고 있다.

3.3 冷却系統

機器·系統 및 配置의 簡素·輕量化를 도모하기 위해 여러가지의 檢討가 행해지고 있다. 1次系統의 siphon breaker, 2次系統의 bellows의 이용에 의한 配管의 短縮化, 2段式, 아래에서 빨아들이는 軸流式 등에 의한 나트륨펌프의 소형화, 一體貫流型SG 채택에 의한 SG基數의 削減 등이 도모되고 있다.

WH社의 LCP에서는 2重管의 채택에 의해 Na-水反應生成物收納系統을 省略하고 있다. 崩壞熱除去시스템으로는 SG의 이용, 2次系統 分岐方式외에도 原子爐容器內에 熱交換器를 直接插入하는 DRACS方式, MRP에서와 같이 爐容器를 外面에서 直接冷却하는 방식에 의해 固有의 安全性을 追求하려 하고 있다.

3.4 原子爐建物

原子爐建物の 크기와 構造는 全體 建設費低減에서 가장 중요한 부분의 하나로서 안전성의 합리화와 對應을 도모하면서 그 縮小化, 簡略化가 이루어지고 있다. 프랑스에서는 高信賴爐停止系統의 사용, HCDA를 설계기준 밖으로 하는 기본 생각아래 格納dome을 생략하고 건물도 角型收納構造로 하여 공간의 적절한 이용을 도모하고자 하고 있다.

LSPB, SAFR에서는 大型機器의 이동을 원자로건물에 설치한 hatch로 행하기로 하고 천정 크레인을 除去함으로서 건물의 높이를 축소하고 있다. 地震床應答의 低減을 위해 重心을 낮게 하는 落下式 base mat 또는 免震mat가 채택되고 있다.

4. 結 論

세계에서의 FBR開發은 實驗爐·原型爐 등과 相關연구기관의 성과위에서 實用化를 목표로 새로운 研究開發의 방향설정인 추진되고 있다. Super Phenix의 建設完了를 目前에 둔 프랑스 SPX-II계획은 그 나름대로의 비중을 갖고 흐름을 리드하고 있다고 할 수 있다.

그러나 현재는 商業化로 移行하는 前段階인 實証爐段階에 있으며 우라늄의 需給, Pu의 蓄積·利用狀況과 相關하여 이 흐름이 어떻게 변하는 가를 충분히 검토하여야 할 것이다.

開發의 過渡的 段階에서는 많은 타입이 존재할 것이나 언젠가는 輕水爐나 核力보일러에서 처럼 技術의 集約化가 행해질 것이다. 본격적인 實用化 段階에 도달하기 까지에 요구되는 기능도 많은 변천을 겪을 것이라고 생각되나 그 實現에는 扎实的 技術의 開發이 필요하다.

