



名國의 高轉換輕水爐 開發狀況

高轉換輕水爐란 轉換率, 즉 어미物質의 中性子捕獲에 의한 核分裂性物質生成量과 그 소비량의 比가 0.8~1.0의 범위에 있는 輕水爐로서 종래의 輕水爐 약 0.6과 비교하면 轉換率이 높은 것이 특징이다.

爐心部分만 改造

核燃料의 有効利用

〉思考方式과 目標〈

輕水爐가 原子力發電의 主流로 이용되는 기간이 예상보다 長期間이 될 것으로 전망됨에 따라, 中長期的으로 우라늄需要가 逼迫받을 가능성이 있다. 이와 같은 사태에 대비해서 충분한 대응력을 갖게 하기 위한 技術開發方向의 하나가 輕水爐의 核燃料利用效率을 높이는 것이다.

現行 輕水爐에로의 플루토늄 리사이클 이용이나 高燃燒度爐心에 의한 핵연료이용효율의 개선은 단기적으로 실현이 가능하나, 그 이용효율의 개선은 20~30% 정도이다. 그래서 中長期的으로 우라늄238→플루토늄239 전환율을 대폭 개선하여 核燃料利用效率을 현행 경수로의 數倍로 하는 高轉換爐의 開發이 기대되고 있다.

프랑스, 西獨 등에서 구체적으로 검토되고 있는 이와 같은 高轉換爐로서 高轉換加壓水爐(H-CPWR)가 있다. 이 HCPWR은 다음과 같은 점을 개발목표로 하고 있다.

◇우라늄238→플루토늄239 轉換率을 현행 P-

WR의 약0.5에서 적어도 0.9이상으로 하여 核燃料利用效率을 數倍 높인다.

◇現行 PWR플랜트 설계에 큰 변경을 가하지 않고 PWR의 轉用을 가능하게 한다. 변경은 원칙적으로 爐心에 限한다.

◇全出力은 現行 PWR과 같게 하고, 플랜트의 綜合運轉特性에 대해서도 現行 PWR과 거의 같게 한다.

◇安全性은 現行 PWR의 안전평가지침에 적합하게 한다.

◇燃料로는 비교적 富化度가 높은 이산화플루토늄-이산화우라늄을 사용하며, 연료사이클 전략상 플루토늄 버너임과 동시에 플루토늄 스토리지의 기능을 갖도록 한다.

◇燃料사이클確立의 과정에서 PWR燃料사이클의 先導的 役割을 하게함과 동시에 FBR의 導入初期에 FBR의 경제성 및 燃料增殖性이 충분하지 않을 경우에 그 파트너가 되어 HCLWR-FBR의 조합으로 전체적인 燃料利用效率과 經濟性을 높인다.

◇現用 立地의 리사이클使用을 용이하게 한다.

〉高轉換爐의 概要〈

PWR에서 HCPWR로의 근본적인 변경점은 燃料集合體에 있다.

일반적으로 輕水爐에서는 燃料格子的 水對燃料體積比를 적게 함에 따라, 즉 燃料봉의 간격을 적게 하고 格子를 稠密하게 함에 따라 核燃料轉換比는 커진다. 그러나 格子를 너무 稠密하게 하면 燃料의 냉각이 곤란해지므로, 이 관계를 감안해서 현재의 設計研究에서는 KWU社(西獨) 및 B&W社(美國) 모두 體積比, 약0.5, 轉換比 약0.95를 목표로 하고 있다. 한편 CEA(프랑스)에서는 좀 더 높은 轉換率을 목표로 하고 있다.

다음은 KWU社型 HCPWR을 例로 概要를 나타낸다.

〈燃料格子〉

〈6方稠密格子로의 變更〉

우라늄238의 共鳴吸收를 증가시켜 플루토늄 239로의 轉換을 높이기 위해서 格子에서 中性子減速을 저하시킨다. 格子의 水對燃料體積比를 충분히 작게 하기 위해 正方格子를 6方格子로 하고 燃料봉의 간격을 적게 하여서 稠密하게 한다.

〈이산화플루토늄-이산화우라늄의 利用〉

體積比를 적게 하면 增倍係數가 저하한다. 이것을 爐의 運轉에 필요한 값으로 유지하기 위해서는 燃料우라늄의 濃縮度를 높이거나 또는 비교적 富化度가 높은 이산화플루토늄-이산화우라늄연료를 사용할 필요가 있다.

燃料有效利用의 관점에서 플루토늄을 使用하며, 우라늄은 天然우라늄을 使用한다.

〈燃料棒 및 燃料集合體〉

〈SUS被覆管의 採用〉

稠密格子에서는 냉각을 확보하기 위해서 燃料봉의 간격을 정확히 유지할 필요가 있다. 이를 위해 헤리칼 핀이 붙은 SUS被覆管을 使用한다.

〈燃料有效길이(爐心有效길이)의 半減〉

格子를 稠密6方格子로 함에 따라 燃料集合體

〈PWR과 HCPWR의 比較(KWU型)〉

項 目	PWR	HCPWR
熱出力 (MW)	3,782	3,782
平均出力密度 (W/CM ²)	93	151
線出力 (W/CM)	206	155
核燃料平均比出力 (W/g)	36.4	31.0
1次系統壓力 (bar)	158	158
1次系統流量 (kg/s)	18,800	16,500
冷却材出入口溫度 (℃)	326/291	326/286
爐心有效長 (CM)	390	233
燃料材料	UO ₂	PuO ₂ -UO ₂
燃料濃縮度, 富化度(W/o)	²³⁵ U 3.2	²³⁹ Pu + ²⁴¹ Pu 7.5
總燃料裝荷量(U+Pu) (t)	103.5	121.5
燃料被覆管材料	Zircaloy-4	SUS304
燃料棒間스페이스	그리드	헤리칼 핀
燃料格子形狀	正方格子	六方格子
冷却材對燃料體積比	2.00	0.53
燃料集合體形狀	正四角柱狀	正六角柱狀
燃料集合體裝荷數	193	511 또는 235
制御要素材料	Ag-In-Cd	B ₄ C(濃縮材)
核燃料轉換比	0.55	0.95
平均燃料燒度 (MWd/t)	33,000	45,000

形狀을 4角柱狀에서 6角柱狀으로 변경한다. 이와 같은 格子에서는 現行 PWR格子보다 냉각재의 流動抵抗이 상당히 증가하여 現行 PWR 燃料의 길이 그대로는 충분한 냉각재 유량을 얻을 수 없다. 따라서 燃料有效길이를 現行的 1/2로 짧게 한다. 이로 인해서 爐心形狀은 現行 PWR과 거의 같으나, 有效길이는 약 반이 된다.

〈制御棒 및 制御棒클러스터〉

〈制御材의 變更〉

制御材로 붕소10을 60%정도까지 농축시킨 炭化붕소를 使用하며, 液體포이즌은 反應度 制御能力을 대폭 저하시키기 때문에 使用하지 않는다.

〈爐物理特性〉

中性子스펙트럼은 硬化하여 核分裂의 약반은 中性子에너지가 1KeV인 共鳴中性子領域에서 일



어한다. 熱中性子領域에서의 核分裂은 약15% 정도가 된다. 이로 인해 燃料轉換比가 0.9~0.95 까지 높아진다. 또 燃燒度는 現行的 3,300MW-D/T에서 45,000MWD/T까지 높이나, 이 사이의 反應度 減少는 대폭 적어진다.

〉熱水力特性〈

燃料有效길이를 약반으로 하기 때문에 爐心體積이 감소한다. 그러나 平均出力密度를 상승시켜서 全出力은 低下시키지 않는다. 燃料棒이 다소 가늘어지는 것과 本數가 증가함으로써 燃料表面平均流速은 현재보다 낮아진다.

冷却材流量, 爐内溫度上昇, 熱流速의 설계 배런스에 의해 2次系統出力을 되도록 低下시키지 않도록 한다.

爐特性 檢證이 必要

冷却性能確認도 重要

HCPWR은 形態上으로는 PWR에다가 LMFBR의 燃料集合體를 裝填시킨것 같으나, 核特性은 PWR, LMFBR과 다르다고 생각된다.

目標가 달성되면 대단히 값진 것이나, HCPWR의 概念이 성립될 것인지 여부는 앞으로 계산에 의한 評價 뿐만아니라 實驗의으로도 몇가지 重要한 特性을 확인할 필요가 있다.

〉爐物理的課題=中速中性子の 爐物理〈

HCPWR에서는 지금까지 그 중요성이 2次的이었던 共鳴中性子領域(1eV~1KeV)의 爐物理가 매우 중요해진다. 이를 위해 지금까지 사용되어 왔던 核데이터 및 核設計方法이 HCPWR에 대해서 어떤 精度를 갖고 있는가를 신중히 檢証할 필요가 있다. 특히 反應度係數가 運轉狀態에서 負(-)의 값을 유지하는 것은 爐의 自己安全性을 위해서 必然的의要條이며, 그 확인은

HCPWR의 爐概念 成立을 좌우하는 문제이다.

〉熱水力工學的課題=稠密格子的 冷却條件〈
格子的 稠密化에 의해 냉각재가 流路의 벽면에 접촉하는 면적이 커져서 저항계수가 크게 증가하는 것이 근본적인 문제이다.

爐出力, 主循環펌프를 변경하지 않는다는 방침하에서 爐心の 길이, 流路斷面積, 流速, 壓力損失, 流量, 熱流速, 冷却材溫度上昇, 抵抗係數 등 熱水力파라미터를 조화시키고 通常時, 異常時, 事故時 모두 냉각성능을 확보하여야 한다.

이 解析에 사용되는 모델의 HCPWR體系로의 적합성은 實驗的으로 檢證되어야 한다. 특히, 냉각능력의 여유를 나타내는 因子 DNB(核熱沸騰離脫)比에 대해서는 안전평가와 관련하여 중요하며 평가모델은 實驗的으로 檢證되어야 한다.

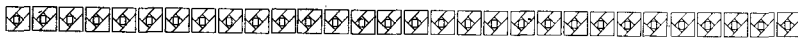
〉燃料·材料工學的課題=高温高壓水條件에서의 高速中性子照射效果〈

燃料棒에 대해서는 얇고 가는 被覆管으로 높은 번업을 달성할 것, 壓力容器를 포함한 構造材에 대해서는 한층 더 高温高壓水下에서 높은 強度의 고속중성자에 照射되는 것에 대한 健全性的의 확인이 기본적인 문제이다.

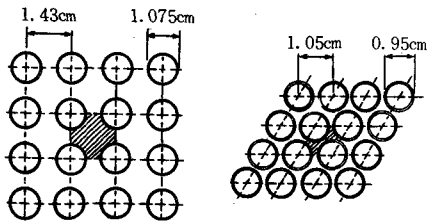
〉安全工學的課題=設計基準事故下的의 舉動〈

냉각재상실사고시의 연료 전진성과 냉각능력의 확보가 가장 중요한 문제가 된다. 燃料棒은 헤리칼 핀을 갖고 있으므로 연료봉간의 접촉에 의한 流路閉塞는 일어나지 않는다고 생각되나, 事故後의 냉각방법 확보는 불가피한 과제이다.

流路閉塞의 가능성과 燃料破損傳播의 가능성에 대해서는 충분한 검토를 하여야 하며, 壓力容器는 高速中性子에 의해 PWR보다 강하게 照射되므로 加壓下에서의 熱衝擊을 평가할 필요가 있다.



〈現行 PWR格子(左)와 HCPWR格子(右)〉



〉其他〈

高轉換爐의 경우 만은 아니지만 플루토늄을 多量으로 사용하는데 따르는 보장조치, 핵물질 방호문제, 高轉換爐燃料의 재처리, 재가공의 문제도 검토를 요한다.

임계실험장치에 의한 임계실험, Phase I 終了, Phase II(1984~4年間), 核計算, 熱水力計算

PWR-LMFBR路線의 가능성있는 代替案으로 HCPWR-LMFBR의 共存路線을 고려하고 있다.

〉프랑스〈

프랑스는 原子力에 의한 에너지自立을 國家基本路線으로 하고 있으며, 核燃料사이클의 확립과 관련하여 高速爐의 전망이 불확실한 점에서 高轉換爐를 이 기본노선에 따르는 것으로 하여 검토를 시작했는데, 1986年中에 結論을 내릴 예정이다.

佛、來년에 結論

西獨은 KWU社 中心으로

2~3年前부터 LMFBR 實用化의 지연이 전망되면서 高轉換輕水爐에 대한 관심이 높아졌다. LMFBR의 開發에 막대한 노력을 기울이고 있는 프랑스까지도 플루토늄利用의 면에서 高轉換爐의 概念檢討를 본격적으로 시작한 것은 주목할만하다.

〉西獨·스위스〈

政府의 경우 輕水爐의 研究開發은 민간이 담당하고 있으나, KFK가 KWU社와 공동연구하는 것은 간섭하지 않을 방침이며, 民間은 KWU社를 中心으로 다음과 같은 기관들이 상호협력하여 研究開發을 추진하고 있다.

- ◇KWU社 : 전체 전략의 진행·爐設計(核設計를 포함)
- ◇KFK : 核設計, 熱水力解析, 安全解析, L-OCA열전달실험(1982, 1984年), 材料照射準備中
- ◇GKSS(研究所) : 核設計, 熱水力解析
- ◇EIR(스위스原研) : PROTEUS(GCFBR의

이달의 到着資料

- ◇ Nuclear News<ANS> 6月號
- ◇ INFO<AIF> 6月號
- ◇ ATOM<UKAEA> 6月號
- ◇ Nuclear Europe<ENS> 6月號
- ◇ Atoms in Japan<JAIF> 5月號
- ◇ 原子力産業新聞<日本原産> 1287號, 1288號, 1289號, 1290號, 1291號
- ◇ 原子力工業<日本日刊工業新聞社> 7月號
- ◇ 原子力文化<日本原子力文化振興財團> 6月號
- ◇ Report of the Special Committee on Source Terms<ANS>
- ◇ ANS News<ANS> 5月號
- ◇ 原産의 活動과 計劃<日本原産> 1985年度
- ◇ 日本의 原子力關係機關<日本原子力文化振興財團>
- ◇ 世界の 原子力施設除染技術의 現狀<日本原産>
- ◇ 原子力關係映畫필름一覽<日本原子力文化振興財團> 1985年度版
- ◇ 原子力施設除染技術과 廢爐對策<日本原産> 1983年2月
- ◇ 第33回 事務系職員對象原子力세미나 教材<日本原産> 1985年度