

● 日本의 ●

CANDU爐 = 導入을 위한

技術檢討 = WORKING GROUP

日本原産提供

報告書

目 次

1. CANDU爐의 構造
 - (1) 開發의 經緯
 - (2) 現狀 및 運轉實績
 - (3) 大容量化 計劃
2. 600MW標準設計爐의 概要
 - (1) 原子爐本体構造
 - (2) 負荷時 燃料交換
 - (3) 燃料設計
 - (4) 爐心設計
 - (5) 安全設計
3. CANDU爐의 技術上의 特色 및 問題點
 - (1) 機器·構造設計
 - (2) 燃料設計
 - (3) 安全性
 - (4) 耐震性
 - (5) 運轉保守性
4. 日本의 基準등에 대한 適合性 및 研究課題
 - (1) 日本의 基準등에 대한 適合性
 - (2) CANDU爐를 導入하는 경우의 研究課題
5. 關聯分野의 開發
 - (1) 既使用燃料의 再處理
 - (2) 既使用燃料의 貯藏

本文은 日本原子力産業會議의 原子力資料 (79. 5. 14)의 것을 轉載한 것인데 日本이 CANDU 爐를 導入하기 爲해 어떻게 생각하고 있는가를 시사하는 것이다.

1. CANDU爐의 概要

(1) 開發의 經緯

Canada에서의 원자력의 연구·개발은 1945년 9월 쇼크·리버 研究所에 설치된 ZEEP 爐가 初臨界를 달성하므로써 제일步에 발을 디뎠다.

이 ZEEP爐에 의해서 CANDU爐개발의 기본 data가 얻어지고 NRX爐(1947년臨界), NRU 爐(1957년 임계)라고하는 연구용·실험용원자로의 개발, 다시 電氣出力25MW의 NPO爐(1962년 初發電)의 建設로 계속되었다.

이 NPD爐의 성공에 의해서 發電用 原子爐로서의 기술적 가능성이 實證됨과 함께 CANDU-PHW爐의 설계개념인 天然uranim重水減速 橫置 壓力管方式이 確立되어 1967년에 原型爐 더그러스·포인트 發電所(220MW)가 100% 出力을 달성하였다.

NPD爐와 더그러스·포인트 발전소에서 얻어진 설계경험·운전경험에 따라 2,160MW(540 MW×4基)라고하는 세계最大級의 피카링 A 발전소의 건설이 개시되었고 이어서 1971년~73년에 4基가 순차로 운전을 개시하였다. 이에 계속해서 부루우스 A 발전소(電氣出力791MW×4基)가 건설되고 현재 3호기까지 營業運轉을 개시하여 Canada에서는 CANDU-PHW爐가 商業用 발전소로서 큰 역할을 하고있다.

[表 III - 1] 運轉中 및 建設中의 CANDU-PHW 型發電所

	運 轉 中		建 設 中		合 計	
	基數	電氣出力(發電端)	基數	電氣出力(發電端)	基數	電氣出力(發電端)
Canada口內	9	4,780(MW)	15	약 11,200(MW)	24	약 15,960(MW)
Canada口外	2	360(MW)	7	약 2,400(MW)	9	약 2,760(MW)
合 計	11	5,140(MW)	22	약 13,600(MW)	33	약 18,740(MW)

[表 III - 2] 피카링 A 發電所설비 이용률 (%) 실적(온타리오電力자료에 의한)

	1971	주1) 1972	1973	1974	1975	1976	1977	平 均
1 號機	78.8	72.3	92.5	72.0	80.2	92.8	85.6	82.8
2 "	건설中	82.2	69.6	88.4	86.0	93.2	90.9	85.1
3 "	"	91.3	85.1	주2) 42.7	주2) 57.5	93.9	95.6	75.7
4 "	"	건설中	90.1	93.9	주2) 23.8	주2) 68.4	90.8	71.8
1~4 호 기 평균	—	—	83.4	74.3	61.9	87.1	90.7	79.3

주 1) Strike에 의한 정지기간(약 4개월)을 제외한 值

주 2) 壓力管 교체 작업에 의한 이용률低下

주 3) 운전개시일 1호기-1971. 7. 2호기-1971. 12 3호기-1972. 6 4호기-1973. 6

(2) 現狀 및 運轉實績

현재, 운전中 및 建設中의 CANDU-PHW 형 발전소는 [表III - 1]과 같다.

그리고 Canada國內에서 建設中인것은 쏘티 2 및 포인트·루프프가 있으며 어느것이나 Canada 原子力公社(AECL)가 標準設計를 確立한 600 MW級이다. 현재 이와 同型의 것이 韓國 및 Argentina에 수출되어 建設中이다. 또 Rumania도 도입을 계획하고 있으며 Italy도 關心을 기울이고 있다.

최초의 商業爐인 피카링A 발전소는 운전개시 이래 순조로이 가동하고 있으며 1977年末까지의 평균設備 利用率은 약 79%이다. [表III의 2] 또 800MW級の 부루우스A 발전소도 이미 3호기까지 運轉을 개시하여 순조로운 運轉을 행하고 있다.

(3) 大容量化評計劃

Canada는 標準設計爐로서 600MW級 unit의 설계를 確立하고 國內外에서 建設을 추진하고 있는데 國內에서는 이미 800~900MW級 unit의 운전·建設도 행하고 있다. 이 Canada에서의 大容量化는 온타리오電力이 中心이 되어 AECL와 의 협력下에 進行되고 있으며 현재 1,200 MW unit를 1990년대 前半에 運轉하는것을 目標로해서 계획을 進行시키고 있다. 이 Canada의 大容量化에 의하면 2000년경에는 4plant(20unit)의 1,200MW級 CANDU爐가 建設되게 된다. [圖III-1]

600MW級 標準爐와 비교한 大容量 unit의 主되는 爐心仕樣은 [表III - 3]과 같으며 大容量化에 따르는 설계上의 主要點으로서 calandria 兩端의 管板強度, 一次冷却系loop數, 燃料交換機의 取扱能力의 增強등에 대해서 검토가 進行되고 있다.

[表 III - 3] 600MW급 標準爐 및 大容量 unit의 主되는 爐心仕樣

項 目	600MW 級	800MW 級	1,300MW 級 2
Channel 數	380	480	716
爐 心 內 徑(m)	약 6.3	약 7.1	약 8.6
爐 心 長 이(m)	약 6.0	약 6.0	약 6.0

2. 600MW標準設計爐의 概要

CANDU는 天然uranium를 연료로 하고 減速材, 反射材 및 원자로 冷却材로서 重水를 사용하는 원자로로서 천연 uranium를 效率이 높게 연소시키는 것을 제 1의 목적으로 하고 있기 때문에 輕水爐등 他의 爐型과 다른 구조를 가진다.

CANDU爐의 원자로구조를 [圖Ⅲ-2]에, 또 設計의 主要諸元을 [表Ⅲ-4]에 표시한다.

(1) 原子爐本体 構造

(i) 원자로 본체는 橫置壓力管型이며 calandria라고 불리는 橫置円筒 shell구조의 本体와 다수의 壓力管集合體, 反應度·制御장치등 으로서 구성되어 있다.

(ii) calandria를 구성하는 calandria tank의 내부에는 減速材인 重水가 차 있으며 calandria tank의 兩管板을 연결시켜 水平으로 배열된 calandria管의 内部에는 壓力管이 收納되어 있고 이 속에 연료가 裝荷되어 있다. 이 calandria 구조의 채용에 의해서 감속재와 一次냉각재는 완전히 분리되어 있다.

(2) 負荷時燃料交換

(i) 연료교환은 負荷時連續方式이다. 壓力管이

옆으로 놓여있으므로 연료교환기가 爐心の 兩側에서 接近할 수 있다.

(ii) 연료破損이 일어났을 경우 壓力管型 이므로 channel마다의 연료과손의 檢出이 가능하며 연료교환기에 의해서 운전중에 破損연료를 끄집어낼 수가 있다.

(3) 燃料設計

(i) 연료集合體는 UO_2 pellet를 zircalloy-4의 被覆管에 收納한 연료要素를 同心円狀으로 37本 配列로 한 短尺연료 (1체의 길이 약 50cm)이다.

(ii) 電氣出力 600MW級の 원자로에서는 1本の 壓力管内에 연료집합체를 12本 배열시킨 연료 channel이 380本 있다.

(4) 爐心設計

(i) 원자로에서 發生한 열을 끄집어내는 一次冷却系는 爐心の 壓力管群을 세로로 2群으로 나눈 2loop로 되어있으며 各 loop는 증기발생기 2基一次冷却材 pump 2台 및 이들과 壓力管群을 연결하는 配管系로서 「8字」 loop形으로 冷却材가 흐르도록 구성되어 있다. 一次 冷却材로서는 重水를 사용하고 있으나 증기발생기에서 二次系의 輕水와 열교환을 행하여 輕水가 蒸氣가 되어 turbine으로 유도된다.

(ii) 一次냉각系가 「8字」 loop形으로 구성되어 있으므로 인접하는 壓力管内의 냉각재의 흐름이 서로 逆方向이 되어 核熱特性上的 balance

[表 Ⅲ - 4] 重水爐壓力管 · Calandria管의 主要諸元

		加 壓 水 型	重 水 爐	拂騰水 型 重 水 爐
		핏 카 링 A	600MW 標準爐	ATR (原型爐)
壓 力 管	① 材 料	CW·Zr-2.5% Nb	CW·Zr-2.5% Nb	HT·Zr-2.5% Nb
	② 內 徑 mm	103.38 (min)	103.8 (min)	117.8 (min)
	③ 壁 厚 mm	4.06 (min)	4.19 (min)	4.3 (± 0.32)
	④ 長 이 m	6	6	4.7
	① 材 料	Zry-2	Zry-2	Zry-2
	② 內 徑 mm	131	129.0 (min)	156.0 (min)
	③ 壁 厚 mm	1.55	1.39 (min)	1.9 (min)
	④ 長 이 m	5.9	5.9	4.9
冷却材壓力kg/cm ²		89.0 (爐出口 header)	101.9 (爐出口 header)	68 (drum)
冷却材溫度 ℃		(爐入口) (爐出口) 249 / 293	(爐入口) (爐出口) 266.5 / 312.3	(爐入口) (爐出口) 227 / 284

가 좋다.

(iii) 爐心の 過剩反應도가 작고 負荷時 연료교환을 行하게 하므로 원자로의 制御는 細密하게 行하고 있으며 이를위해 計算機直接制御 方式이 채용되고 있다.

(5) 安全設計

(i) 原子爐停止系는 통상의 원자로정지에 사용하는 反應度制御系와는 따로 獨立한 2系統 (停止棒 및 減速材속으로의 poison急速注入系) 이 설치되어 있다.

(ii) 壓力容器形과 比해서 高温의 一次냉각재의 保有量이 적으므로 一次系配管破損時의 放出에너지가 적으며 格納容器內의 壓力上昇이 비교적 적다.

3. CANDU爐의 技術上의 特色 및 問題點

(1) 機器 · 構造設計

(i) 原子爐本体

원자로본체 설비의 특징의 하나로서 中性子經濟를 向上시키기 위해 爐心에 배치되어 있는 壓力管 및 calandria管의 두께를 작게하도록 도모하고 있음을 들 수가 있다. [表Ⅲ-4]

원자로本体는 원칙으로 ASME 규격에 준해서 설계되어 있으며, ASME 규격에 없는 것은 실험에 의해서 確認을 하고 설계되어 있다.

(1) 壓力管의 直徑方向 creep에 대해서 Canada에서 채용되고 있는 評價式은 實機로 부터 얻어진 data와도 對比되고 있다.

또 軸方向 creep는 伸張吸取기구의 설계상 배려해야 한다는 것이다. 최근 軸方向 creep가 예상이상으로 크다는 것이 명백해졌는데 현재는 이 creep를 흡수할 수 있는 설계로 변경하고 있다.

軸方向 및 直徑方向 creep에 대해서는 Canada에서는 이미 10年以上 實機에서의 data가 축적되어 있으며 금후의 구체적 설계의 단계까지는 data 및 知見이 축적되게 될 것이라고 생각된다. 이들의 data도 포함해서 구조설계의 상세에 대

해서 검토할 필요가 있다.

(2) Canada에 있어서는 壓力管의 脆性특성에 대해서는 水素吸取材, 中性子照射材등을 사용해서 엄한 조건下에서 실험이 행해지고 있으며 그 結果 運轉溫度下의 限界龜裂 길이는 水素 흡수 및 중성자照射에 의해서 低下하지 아니할 것, 破斷前漏洩(Leak Before Break, 以下 LBB) 특성을 가짐이 확인되고 있다.

(3) 壓力管의 rolled joint에 대해서는 有限要素法에 의한 解析 및 실험에 따라서 설계 · 제작되고 있다.

(4) calandria管의 外壓設計에 대해서는 Canada에서는 實物에 의한 外壓座屈시험에 따라서 설계를 行하고 있다.

이들이 살이 얇은 管에 대해서는 外壓荷重 및 地震荷重에 대한 強度의 검토를 行할 필요가 있으나 資源에너지廳의 「新型爐技術基準等 確立調査」에서 검토가 행해지며 설계의 기초가 된 Canada의 실험data를 確認하기 위해 確證시험이 실시되기 시작하였다.

(ii) 一次冷却設備

一次냉각설비의 특징으로서 원자로出入口管 詳이 多數의 小口徑管으로서 구성되어 있다는 것, 炭素鋼의 大幅채용등을 들 수 있다.

(1) 원자로出入口管의 傳播破斷의 可能性에 대해서는 Canada는 energy balance 解析에 의해서 傳播破斷하지 않음을 표시하고 있으나 日本에 도입할 경우에는 다시 상세한 검토가 필요할 것이라고 생각된다. 이를위해 電源開發(株)은 動的彈塑性解析에 의해서 破斷한 配管이 인접배관에 미치는 영향을 평가함과 함께 抱束기구의 설치에 대해서도 검토를 行하기로 하고 있다.

(2) 炭素鋼의 채용에 대해서는 適正한 水處理등을 실시하며는 腐食生成物發生率, 殘留放射能등의 면으로 보아서 종래의 stainless鋼과 큰 差는 없는 것으로 생각된다.

(iii) 供用期間中 檢査

Canada에서는 檢査대상이 되는 機器의 사고에 의한 被曝量과 檢査에 따르는 被曝量의 合計를 最小로 하는 것을 기본사상으로 하고 同一機種에 대해서는 sampling 檢査를 인정하는 등

자의 ISI 기준을 가지고 있다. CANDU爐를 도입하는 경우에는, 예를 들면 重水爐의 특징적인 component인 壓力管 및 원자로出入口管에 대해서는 輕水爐의 實體를 base로 하고 新型 轉換爐의 事例, Canada의 ISI기준 및 최근의 ASME규격등을 참고로 해서 ISI기준의 정비에 대한 검토를 진행시킬 필요가 있다.

이에 대해서 壓力管의 內面 및 원자로 出入口管의 溶接部中 應力・波勞度의 觀點부터 엄한 사용조건下에 있는 대표적部分에 대해서는 sampling方式의 檢사를 行하게 되는데 대표적 部分의 선정 및 檢사의 구체적 方法에 대해서는 아직도 신중한 검토가 필요하다.

또 이들은 두께가 얇은 구조임을 考慮하여 LBB의 成立조건을 명확히 한 다음에 常時漏洩檢出장치를 設置하고 component全體의 健全성을 確認하는것도 고려되나 이들의 實證性에 대해서는 충분히 確認할 필요가 있다.

(iv) 工學的安全施設等

Canada에서의 安全確保의 思考方式은 日本에서의 輕水爐의 경우와 마찬가지로 多重保護의 思想을 채용하고 있으며 기본적으로는 차이가 없으나 電源開發(株)에서는 輕水爐와 同等한 설비로 하도록 以下에서와 같은 設計變更을 고려하고 있다. [圖Ⅲ-3]

(ㄱ) Canada의 一重格納方式을 半二重格納方式으로 變更하여 annulus 空氣再循環系를 新設함과 함께 格納容器 spray系, 격납용기隔離系등의 一部를 설계변경한다.

(ㄴ) Canada에서는 사고시에도 外部電源을 사용하는것이 가능하다고 생각하고 있으나 日本의 安全設計指針인 非常用所內電源系만으로서의 運轉下, 또는 外部電源系만의 運轉下에서의 單一故障 指針에 對處하기 위해 安全上 重要한 系統은 靜的 機器를 포함해서 完전한 多重設計로 변경하여 非常用所內電源系의 설계변경을 한다.

(ㄷ) 非常用爐心冷却設備(ECCS)에 대해서는 Canada의 原子力管理委員會(AECB)가 1976년에 各發電爐의 ECCS에 대해서 新解析 code에의 한 再평가를 실시시키고 있으며 그 結果 AECB는 다그라스·포인트 발전소 등에서는 公衆의 安全이 위협되는 걱정은 없으나 燃料被覆

管의 strain에 가장 영향이 큰 冷却材 喪失 사고(LOCA)의 경우 약간의 燃料피복관의 파손이 예측된다고 評價하여 다그라스·포인트 발전소에 대해서는 70%로 出力制限되고 있다.

日本의 電源開發(株)는 CANDU爐 조사의 초기단계부터 LOCA평가에 중점을 두고 있으며 그 檢討結果를 봐서 ECCS를 설계변경을 하기로 하고 있다. 즉, 종래의 설계에 있는것 같은 格納容器 頂部에 설치된 dousing水의 動落下注入方式을 바꾸어서 pump注入系와 蓄壓으로注入系를 組合시킨方式을 채용하기로 하고 있다. 최근 Canada에서도 同型爐의 ECCS를 이와 같은方式으로 변경할것을 계획하고 있다.

그리고, 원자로 냉각계통 配管파손시에는 水平壓力管型이므로 CANDU爐 特有의 熱流動學動을 나타낸다. 따라서 ECCS의 설계는 충분한 현상파악에 따라서 行하며, 다시 그 기능을 각종의 LOCA에 대해 確證하는 시험을 하여 LOCA에 있어서도 충분한 安全性이 確保되는 것을 확인하여야 한다.

(2) 燃料設計

CANDU爐의 燃料은 天然우라늄을 사용하므로 中性子經濟의 向上에 主眼을 둔 설계로 되어 있다. 燃料要素는 二酸化우라늄 pellet를 zircalloy-4로서 被覆한 것으로서 燃料集合體는 37本の 燃料요소를 円筒狀으로 배열하고 그 兩端을 2枚의 end support plate에 溶接한 구조로 되어 있다. [圖Ⅲ-4]

CANDU爐 燃料의 특징은 다음과 같다.

(i) 集合體는 短尺(約 50cm)으로서 설계가 단순하다.

(ii) 피복관은 살이 얇은 설계(두께 약 0.42mm)로서 코라프스 型이다.

(iii) 爐內滯在 時間이 짧다. (평균하여 1~1.5年 정도)

(iv) 負荷時에 燃料을 교환할 수 있다.

피커링A 발전소에서의 운전初기의 燃料 trouble는 負荷時 燃料교환 등에 의한 燃料의 出力急昇時에 燃料파손과 결손을 경험한 것으로서 出力上昇時의 燃料 pellet와 피복관의 相互作用이 原因임을 규명하였다. 그 對策으로서 燃料교환

操作의 개량을 행하는 동시에 급격한 出力變化에 대한 耐性を 보다 크게하기 위해 燃料피복관 内面に 黑鉛戶를 설치한 소위 CANLUB 燃料을 개발하고 현재 이것이 사용되고 있다.

그 結果, 최근에는 實爐에서의 燃料과손 率이 0.03%미만(燃料집합체 단위)으로 대단히 낮아지고 있다.

(3) 安全性

(i) 爐心特性

CANDU 爐의 운전시에서의 冷却材 void 反應度係數는 正이나 이에 關하는 過渡時 및 사고시의 안전성에 대해서는 다음과 같다. 이들의 點을 고려하여 구체적 설계에 대해서 신중하게 검토할 필요가 있다.

(ㄱ) 過渡時的 안전성

CANDU 爐는 다음에서 記述하는 바와같이 制御系の 誤操作이나 二次系の 영향등으로서 큰 反應度가 加하지 않으므로 出力變化가 완만하며 反應度係數에 正의것이 있더라도 安全 또한 容易하게 제어할 수 있다고 한다.

① 天然우라늄爐心이며 또한 負荷時 燃料교환을 행하기 때문에 爐心の 過剩反應도는 항상 작으며 만일 반응도제어 장치의 誤操作이나 誤操作이 발생하더라도 큰 反應度가 加해지는 일이 없다.

② 反應度係數의 絶對値는 작으므로 가령 二次系の 영향등에 의해서 一次냉각系の 온도, 壓力등에 변화한다 하더라도 큰 반응도가 加해지는 일은 없다.

(ㄴ) 事故時的 安全性

CANDU 爐 사고시의 安全性에 대해서는 다음에 記述하는 바와같이 固有의 動特性上的 특징을 가진다고 되어있으며 또 원자로 停止系를 多重化하는등의 노력이 실시되고 있다.

① 冷却材 void반응도 계수가 正이므로 냉각재 상실시 생겼을 경우 正의 반응도가 가해져서 원자로의 출력力이 상승한다. 그러나 中性子 壽命이 길고 遲發中性子發生 比率이 크다고 하는 固有의 特性을 가지고 있으므로 큰 반응도가 가해지더라도 爐心の 出力上昇은 완만한것이 된다.

② 통상의 運轉制御에 사용하는 反應度制御系

이들의 停止系는 常溫·常壓에 가까운 감속재 속에 있으므로 一次系の 높은 壓力이나 사고의 영향을 받기 어려우며 또 兩停止系에 연결되는 安全保主系는 각각 分離, 獨立, 多重化등에 의해서 作動신뢰성의 向上이 도모되고 있다.

(ii) 冷却材喪失事故

(ㄱ) CANDU 爐에서의 LOCA의 경우 破斷直後에 void反應度가 加해져서 出力上昇이 생기는 외에 爐心内 流動이 停滯하기 때문에 blow down 時に 燃料피복관 온도가 急상승하나 그 후의 냉각의 樣想에 대해서는 低流量에 의한 除熱現象이 가해서 수년전에 발견된 사고시 水平管 内戶 分離現象도 생기는것이 예상되므로 여기에 대해서 解析的으로도 또 실험적으로도 파악할 필요가 있다.

(ㄴ) LOCA 실험에 대해서는 Canada에서는 LOCA 分析의 檢證에 필요한 實驗의 全体를 실시할 계획이다. 그러나 日本에서는 水平壓力管의 원자로 냉각系統 破斷사고시의 熱流動舉動에 關하는 知見이 없으므로 냉각재상실 사고에 대해서 생각되는 모든 조건(破斷位置 및 破斷口徑 등)에 충분히 대처하기 위해 LOCA 현상의 상세 파악 및 이에 대처할 수 있는 안전성의 確證을 행하는것이 필요하다. 그리고 日本의 電源開發(株)는 Canada의 실험결과를 타당성을 확인하기 위해 日本口内에서의 LOCA 시험 계획을 진행시키고 있다.

(iii) 平常時 被曝

Canada의 平常운전시에서의 방사성 물질의 放出에 의한 敷地 주변 주민의 피폭 線量은 낮은 것으로서 킷카링A 발전소의 放出실적은(表Ⅲ-6)에서와 같이 日本의 線量 目標値를 만족하고 있다.

그러나 日本의 現行輕水爐는 세계에 先行한 방사선 放出低減對策이 具体化되고 있으므로 導入爐의 설비설계에 대해서는 日本의 輕水爐에서 채용되고 있는 기술을 기본적으로 받아들이는 것와는 별도로 완전히 獨立하고 있고 原理가 다른 원자로 停止系가 2계통 설치되어 있으며 兩停止系는 다같이 獨立해서 이상상태를 檢知해서 자동적으로 원자로를 정지시킬 수 있는 결과로 되어 있다.

이 된다. 日本의 電源開發(株)의 試算에 의하면 Canada와 日本의 생활관습이나 食習慣등의 相違등을 고려하더라도 日本의 線量目標値를 충분히 下回한다고 하고 있다.

또, CANDU 爐는 減速材 뿐만 아니라 冷却材에도 重水를 사용하고 있기때문에 tritium가 비교적 많이 발생하므로 이 處理處分策에 對해서 的 검토가 필요하다.

(L) 사고시 被曝

사고시에 對해서는 前述한 바와같이 안전上 중요한 계통의 多重化등의 대책이 필요로 하는데 이들의 變경을 實실험과 함께 설계의 타당성을 충분히 확인하여야 한다.

(4) 耐震性

(i) Canada에서의 耐震설계의 현상

CANDU 爐는 지진이 적은 Canada에서 개발된 爐이나 同國에서 상당히 엄한 耐震設計를 행하고 있으며 폰티 2號(685MW, 1980年運開)에서는 설계지진력을 200갈로해서 설계하고 있으며 최근에는 CANDU 爐의 新規地點 Italy로 수출하는 것에 대해 약 300갈의 조건으로 내진설계를 개시하고 있다.

(ii) 日本에 도입할 경우의 耐震設計의 現狀

CANDU 爐의 내진성에 對해서는 日本電源開發(株)는 주로 輕水爐와는 구조가 다른 爐心구조, 一次냉각계機器·配管, 연료교환기(연료교환時도 포함)에 對해서 검토를 行하고 있다.

日本의 電源開發(株) 및 資源에너지廳의 발전용 新型爐등 實用化調査 委員會에서의 조사검토 결과에 의하면 다음과 같다.

(1) 원자로 本体에 對해서는 calandria tank의 支持部의 補強에 의해서 耐震性이 확보될 展望이다.

爐心구조는 管群구조이며 이와 같은 水中管群의 振動舉動에 對해서는 日本에서는 壓力管의 縱型, 橫型의 差는 있으나 新型轉換爐에 관해서 이미 橫型실험이 행해져서 그 基本特性이 확인되어 있다. CANDU 爐의 壓力管, calandria 管의 應力評價의 결과에서는 全体應力에 占하는 지진荷重에 의한 應力の 비율이 비교적 작으며 許容應力內에 있음을 표시하고 있다.

또, 설계지진時에 calandria管과 制御棒案内管의 접촉이 예상되므로 지진時의 제어棒 挿入性에 對해서 보다 엄한 조건下에서 확인할 필요가 있으나 爐心 1/5縮尺모형의 의한 실험에서는 許容落下시간을 충분히 下回하는 결과가 표시되고 있다.

(L) 一次냉각계 機器配管中 CANDU 爐의 특징적인 것은 出入口管이다. 이와 같은 管郡의 耐震性은 新型轉換爐에서 상당히 크다는 것이 實證되고 있으며 이들의 經驗을 기초로해서 내진설계를 행하는 것이 가능하다고 생각된다. 또 其他의 一次系機器등에 對해서는, 輕水와 基本的인 차이는 없다.

(C) 연료교환기에 對해서는 Canada 에서도 최근 현저하게 내진성이 개선되고 있으며 원자로에 결합하고 있는 상태에서의 軸方向의 輕減策을 강구할 필요가 있다.

(iii) 耐震性確證試驗

日本의 電源開發(株)은 解析에 의한 검토평가와 並行해서 내진성에 萬全을 기하기 위해 以下에서와 같은 確證시험을 實施 또는 계획하고 있다.

(1) 爐心耐震性試驗

이 시험은 水平壓力管型원자로의 지진時에서의 管郡의 舉動을 파악하고 내진解析조건에 反映시키는 것과 또한 지진時에서의 制御棒挿入性을 확인하는 것을 目的으로 하고 그 一次 시험으로서 爐心 1/5縮尺모형에 의한 振動시험이 行해졌다.

一次시험에서 얻어진 결과를 다시 實機크기의 모형에서 확인하기 위해 二次시험으로서 다음의 2종류의 시험이 예정되고 있다.

① 爐心管群 진동시험

② 制御棒장치 耐震性試驗

(L) 원자로 出入口管의 實機振動試驗

원자로 출입구관의 減衰效果를 定量的으로 파악하기 위해 현재 Canada에서 건설中인 발전소의 出入口管을 사용해서 진동시험을 行할 것이 예정되고 있다. 그리고 연료교환기에 對해서도 설계 개량의 타당성을 실험적으로 확인하기 위한 시험(연료교환時도 포함)의 검토를 進行하고 있다.

이상과 같이 日本의 電源開發(株)은 解析에 의

한 검토평가와 병행해서 여러가지의 내진시험을 행하기로 되어 있으나 日本의 엄한 내진 설계의 요청에 대응하기 위해 충분한 검토를 행할 필요가 있다.

(5) 運轉保守性

(i) 機器의 信賴性

최초의 商用CANDU爐인 핏카링 A 발전소에서는 각 Unit마다 운전개시 후 1~3년은 初期 trouble이 발생하였으나 이들中 壓力管의 교환을 제외하고는 어느 것이나 短時間의 정지에 의해서 改修되고 있다.

(ㄱ) 壓力管에 대해서는 1974~75년에 핏카링 A 발전소의 3호기 및 4호기에서 漏泄이 생겨서 1 unit당 390本中 3호기는 17本, 4호기는 검사의 단계에서 未貫通crack가 발견된 壓力管을 포함해서 計 52本(이中 누설 2本)을 교환하고 있다. 漏泄管을 꺼내어 상세하게 조사한 결과 rolled joint部の 施工不良에 의해 높은 殘留應力이 發生하고 있음이 判明하였다. rolled joint部를 다수 試作하여 시험을 행한 결과 이것이

crack 발생의 원인임이 확인되었다.

이 대책으로서 rolled joint 工具의 개량, 壓力管延長管의 端部形狀의 개량등을 실시하고 있으며 그 후 壓力管漏泄은 發生하고 있지 않다.

(ㄴ) 壓力管의 軸方向 creep伸長에 대해서는 핏카링 A 발전소의 설계 당초에는 발전소수명 30년간 許容신장길이를 2 inch로 해서 설계上的 對策이 강구되어 있었다. 이 軸방향 creep가 당초의 豫算値를 上回한다는 것은 1970년부터 지적되기 시작하였으나 1974년의 핏카링 A 발전소의 압력관 교환時點에서 그 2배에 도달한다는 것이 뚜렷해졌다.

이를 위해 未着手였던 브루우스 A 4호기 以後는 이 사실을 고려하여 許容伸長길이를 6 inch로 하는 설계로 하고 있으며 600MW 표준설계爐도 같이 설계개량 되고 있다. 현재는 壓力管의 creep특성에 관해서는 10年以上 實機에서의 data가 축적되어 있으며 압력관 支持구조의 설계는 여기에 따르는 것으로 되어 있으나 금후 축적된 data 및 知見을 포함해서 3(1)(i)(ㄱ)에서 기술한 바와 같이 구조설계에 대한 상세한 검토가 필요하다.

그리고 핏카링 A 발전소의 4基 및 브루우스 A

[表 III - 5] 핏카링 A 발전소의 燃料사용 실적 (1972년 11월 1日~1978년 3월末)

	照射燃料集合体(本)	破損燃料집합체	破損率(%)
1 號機	20,698	10	0.048
2 "	26,350	1	0.004
3 "	20,766	6	0.029
4 "	18,180	4	0.022
合計	85,994	21	0.024

[表 III - 6] 핏카링 A 발전소에서의 放出量과 周邊區域 被曝線量

{ 原子爐 當을 표시한다.
放出量の單位 希gas Ci-Mev/年, 其他 Ci/年
被曝線量の單位 밀리 램/年(數地境界) }

			1974年		1975年		1976年	
			放出量	被曝線量	放出量	被曝線量	放出量	被曝線量
氣 体	希 gas	全身	1,460	0.24	1,280	0.27	700	0.15
	tritium	"	6,200	0.3	5,110	0.25	6,020	0.28
液 体	沃 素	甲狀線	0.0014	0.07	0.00024	0.016	0.00037	0.027
	tritium	全身	3,650	0.11	2,650	0.08	1,520	0.045
被曝線量 合計	기 타	"	0.66	0.36	0.24	0.12	0.2	0.11
	全身	全身	—	1.01	—	0.72	—	0.59
		甲狀線	—	0.07	—	0.016	—	0.027

발전소의 3기, 제 7기에 대해서는 금년에 와서 user인 온타리오電力이 交替를 포함한 改造계획의 검토를 결정하였다. 개조는 수명의 半이되는 1985년경부터 行하기로 되어 있다.

(c) 蒸氣發生器에 대해서는 細管에 漏泄이 발생한 사례는 적으며 현재까지 4件(NPD, 더그러스 포인트, 핏카링 A 2호기, 브루우스 2호기)이다. 운전실적이 좋은 이유는 당초부터 二次系의 水質관리에 보라타이루處理를 채용하고 있다는 點, 細管size를 小徑으로 한다든가 再순환比를 증대시켜 管板中央部에서의 滯流, 局部농축을 防止하고 있는 점 등에 의한 것이라고 생각된다.

[表Ⅲ-7]

(d) 발전소의 운전制御는 운전신뢰성 向上을 위해 2台的 digital制御計算에 의한 完全자동제어방식을 채용하고 있다. 핏카링 A 發電所에서는 운전개시 当初 program의 不良등에 의한 短시간 unit정지를 경험하였으나 최근은 양호한 운전실적을 기록하고 있다.

(e) 연료교환기는 운전中 연료교환을 行하는 system이므로 상당히 복잡한 機構를 가지고 있으며 이때까지 작은 trouble를 많이 경험하고 있으나 현재는 개량이 가해져서 연료교환에 관한 trouble에 의한 발전지장율은 극히 작다.

(f) 이상의 外의 一次냉각재 pump등의 機器에 대해서도 핏카링 A 발전소, 브루우스 A 발전소 등의 운전실적은 양호하다.

(ii) 負荷追從性

핏카링 A 발전소등 현재 Canada에서 운전中的 발전소는 base road 발전소로서 운용되고 있으나 다아링 턴발전소(약 900MW×4基, 1호기 1985년 운전개시 예정)은 16시간 定格出力, 8시간 低出力의 日間負荷調整을 하는 발전소로서 계획되고 있다. CANDU爐는 下記와 같이 양호한 負荷追從特性이 기대되므로 장래는 負荷追從 運動을 행하는 것도 가능하게 된다고 생각된다.

(g) 壓力管型重水爐는 輕水爐와는 달리 制御棒이 연료體와 떨어져 있는 減速材中에 설치되어 있으며 제어봉의 이동에 의한 연료集合體로의 영향이 작다.

(h) 원자로의 出力分布變動에 대한 제어는 제어봉과 같이 감속材中에 설치된 輕水貯藏 colume에 의해서 용이하게 行할 수 있는 설계로 되어 있다.

(i) CANDU爐 연료는 100%出力운전 中에 교환이 행해지고 있으며 이때에 받는 出力急變에 견딜 수 있는 설계로 되어있기 때문에 出力變化에 대한 耐性이 훌륭하다고 생각된다.

本格的으로 負荷追從型의 발전소를 論하는 경우에는 出力變動의 되풀이가 연료에 주는 영향의 實證이 今後の 課題라고 생각된다.

(iii) xenon override

CANDU爐는 天然우라늄爐心이며 또한 負荷時 연료교환을 行하기 때문에 爐心の 過剩反應도가 항상 작다. 이를 위해 원자로停止를 행했을 경우 시간경과와 함께 축적하는 xenon(Xe)에 의한 眞의 反應도가 커지며 일시적으로 爐心の 過剩反應도가 없어지는 것이 일어날 수 있다.

Xe override가능시간은 그때까지의 운전조건에 의하는데 CANDU爐의 경우 원자로 停止후 약 30分이다. 또, 再起動에 失敗하며는 Xe 축적에 의해서 약 40시간 起動不能이 된다. 따라서 turbine trip時 對策등 실제로 및 운전上的 배려가 필요하게 될 것이다.

핏카링 A 발전소의 30분정도로써 修復가능한 고장정지에서는 voision out에 도달하지 못하며 30분정도에서의 再起動에 성공하고 있다. 또 故障頻度는 비교적 많았던 운전개시후 1~2년은年 5回/unit정도이며 그 후는 年 1~2回/unit로 되어 있다. 그리고 turbine등 二次측의 고장의 경우에는 불필요한 원자로 정지를 피하기 위해서 10%의 turbine bypass系가 설치되어 있다.

[表 Ⅲ - 7] CANDU爐 蒸氣發生器의 傳熱管 漏洩實績

發電所名	傳熱管材質	漏泄本數	漏泄原因	漏泄年
N. P. D.	Inconel - 600	1本	侵食마멸	1969년
다그러스·포인트	Monel - 400	1本	"	1971년
핏카링 A 2號기	Monel - 400	1本	管板上方的 製作결함	1974년
브루우스 A 2號기	Inconel - 600	(調 査 中)		1978년

(iv) 발전소의 운전체제

온타리오 電力은 1plant 4unit구성, maker의 保守service체제가 불충분한 것등을 고려해서 自社要員 만으로서 保修業務를 실시하는 것을 원칙으로 하고 이를 위한 수단으로서 補修要員을 포함한 直體制를 채용하고 있다. (1直 90數名에 의한 5直 3交替制) CANDU爐를 日本에 도입하는 경우에는 日本의 電源開發(株)에서는 이 方式을 그대로 채용할 필요는 없다고 하며 日本의 輕水爐 方式에 비해서 1기당 10名정도의 연료교환의 要員이 追加된다고 하고있다.

(v) 定期檢査

Canada에서의 CANDU爐의 定期檢査 기간은 年間 約 1개월정도로 짧다. 이와 같이 정기檢査 기간이 짧은것은 주로 다음의 이유에 의한다고 생각된다.

(ㄱ) 輕水爐에서는 정기檢査시에 연료교환 및 연료檢査에 相當한 日數를 要하고 있으나 CANDU爐에서는 負荷時연료교환 方式이므로 그 필요가 없으며 정기檢査기간을 상당히 단축시킬 수 있다.

(ㄴ) 壓力管형인 CANDU爐에서는 輕水爐의 壓力容器두껍(蓋)의 開閉에 要하는 기간이 不要하다.

CANDU爐의 정기檢査기간을 PWR를 base로 해서 日本의 조건으로서, 評價하고 蒸氣發生器 傳熱管의 全數檢査등 日本의 規制의 實情을 고려하면 CANADA의 경우보다도 길어 질것이라고 예상된다.

(vi) 從業者被曝

핏카링A 발전소에서의 실적은〔表Ⅲ-8〕과 같으며 總被曝線量은 日本의 輕水爐의 例와 같은 정도의 値로 되어있다.

CANDU爐는 channel마다 연료破損의 檢出을

할 수 있으며 負荷時 연료교환기에 의해 끝파손 연료를 꺼낼 수가 있으므로 一次系를 淸淨 하게 유지할 수 있으며 다시 증기발생기를 거쳐서 二次系가 분리되어 있기 때문에 종사자 피폭이 低減된다.

한편, tritium에 의한 内部被曝量의 비율이 큰 것이 輕水爐의 경우와 다르나 환경으로의 방출량을 될수있도록 저감시킴과 함께 종사자의 피폭량을 적게하는 見地에서 Canada에서도 重水回水系의 強化가 계획되어 장래로서는 tritium除去장치의 설치등이 검토되고 있다.

日本으로 도입하는 CANDU爐에 대해서는 피폭량의 한층 더 低減化를 목표로 해서 tritium에 의한 피폭저감 대책을 강구하는 외에 현재 輕水爐에서 行해지고 있는 피폭저감 대책을 發판으로 한 검토와 구체화를 進行시키는 것이 바람직하다.

4. 日本의 基準등에 대한 適合性 및 研究課題

(1) 日本의 基準등에 대한 適合性

일본의 원자로 설비에 관한 諸基準은 주로 輕水爐를 대상으로해서 定해져 있으나 輕水爐特有의 규정을 제외하며는 모든 원자로설비에 대해서 적용할 수 있는것이다. 그러나 CANDU 爐特有의 事項에 대해서는 이에 適合한 기준의 검토가 필요하다고 생각 된다.

이때까지 기술한 바와같이 CANDU爐의 기술 特長 및 문제점을 일본의 기준등에 대한 適合性의 觀點에서 資源에너지廳의 발전용 新型爐등 實用化조사 위원회 및 電源開發(株)이 조사검토한 결과는〔表Ⅲ-9〕에서와 같이 된다.

그리고 이에 關連해서 電源開發(株)이 提起하

〔表Ⅲ-8〕 핏카링A 발전소에서의 從業者 被曝線量實績

	1971年	1972年	1973年	1974年	1975年	1976年	摘 要
總被曝線量(人·렘/年)	198	993	899	1,613	2,063	1,740	運轉開始日
内部被曝	48	175	266	483	483	459	1號 1971. 7
外部被曝	150	818	633	1,130	1,580	1,281	2號 1971. 12
							3號 1972. 6
人·렘/MWe·年	0.89	0.71	0.48	0.75	0.96	0.81	4號 1973. 6

고 있는 同爐의 설계변경에 대해서는 [付錄] 에서 표시한다.

(2) CANDU爐에 관한 研究課題

CANDU爐는 Canada에서 실용 운전에 들어간 원자로이나 이것을 日本에 도입함에 있어서는 前述한 바와같이 日本과의 耐震條件의 相違, 安全規制에 대한 사고방식의 相違등을 고려하면 CANDU爐는 部分的으로는 설계변경의 필요가 생긴다고 생각된다. 이를위해 소요의 確證시험등을 신중히 계획하고 이것을 실시하여 기술적 實證 data를 얻을 필요가 있다.

(i) 安全性에 관하는 確證試驗

一次냉각材 配管破斷 直後の void 反應度付가에 의한 局部 및 爐全体로서의 出力增加, 破斷位置와 과단口徑에 의한 流量停滯 發生의 條件의 大巾的인 相違, 水平管内에서의 尸分離의 발생 등 CANDU爐 특유의 사고현상을 가지고 있기 때문에 이들 사고事象에 대해서 全面的인 LOCA 舉動의 파악이 필요하게 된다.

Canada에서 현재 大型시험장치(RD-12)에 의한 LOCA 실험이 실시되고 있으나 여기서 얻어지는 data를 감안해서 日本으로서 필요한 LOC A data를 얻기위한 실험 및 解析 code의 確證이 필요하다. 다시 종래의 ECCS 설계를 변경할 필요가 있으므로 이 설계변경의 妥當性에 대해서는 日本으로서 獨自로 確證할 필요가 있다.

(ii) 構造設計에 關하는 確證시험

CANDU爐의 壓力管材(冷間加工 Zr-2 5w/o Nb材)는 日本에서는 사용경험이 없다는 것. calandria管(Zircalloy-2材)의 Canada 에서의 설계手法는 日本에서의 사고방식과는 다르다는 점 등으로 위해 재료特性등을 실제적으로 파악할 필요가 있다. 또 多數의 小口徑管이 원자로 냉각材壓力 boundary의 一部를 구성하는 구조상의 특징으로 이들 小口徑管의 健全성을 확증하기 위한 材料特性 試驗이 필요하게 된다.

(iii) 耐震性에 關하는 確證試驗

日本의 耐震設計 條件은 Canada에서의 보다 엄하므로 日本의 내진설계 조건에 의한 確證시험을 行할 필요가 있다. 이를 위해 이미 爐心の 1/5縮尺모형에 의한 실험이 행해지고 있는데 다

시 實大部分모형에 의한 水中管群振動시험, 지진時 制御棒 挿入性시험등에 의한 健全性確證시험이 필요하다.

이와 같이 日本으로의 CANDU爐를 導入할 경우는 안전성, 구조설계, 耐震性등에 대해서는 설계자의 입장에서 行해야만 하는 연구과제가 상당히 예상되며 나라 自体에서도 상당한 영구과제가 생길것이라고 생각된다.

이에 관해서 資源에너지廳 및 日本의 電源開發(株)에서 실시 또는 계획하고 있는것을 [表Ⅲ-10]에 표시한다. 또 장래 국내에 그 기술을 定着시키고 다시 機器의 信賴性的의 向上을 도모하는 등의 관점에서 새로운 연구과제가 생길것이라고 생각되나 이들은 今後的의 검토과제라 할 수 있다.

5. 關聯分野의 開發

(1) 既使用燃料의 再處理

日本에서 CANDU爐를 活用해 나갈 경우에는 日本의 核연료 cycle上 高速增殖爐, 新型轉換爐 등에서 plutonium를 아용하기 위해 그 既使用연료의 再處理가 필요하게 될 것이라고 생각된다.

CANDU爐의 既使用연료는 化學的인 面에서는 輕水爐의 既使用연료와 같으므로 현재 실용화 되어 있는 輕水爐既使用 연료用 再처리와 같은 Purex法으로 재처리할 수가 가능하다. 또 CANDU爐 既使用연료는, (i) 연료集合체가 小型輕量이고, 燃焼度도 낮으므로 취급이 용이하다. (ii) plutonium抽出까지의 臨界管理가 容易하다는 등의 특징이 있고 溶解工程에서의 大量 batch處理 또는 連續溶解 및 剪斷工程의 연속기계 처리등의 가능성이 있다. 다시 減損 우라늄의 濃度가 낮으므로 우라늄의 精製工程을 省略하는 것도 생각된다. 이들의 點으로부터 輕水爐의 既使用 연료의 경우보다 재처리가 쉬워질 것이라고 생각된다.

前處理工程의 簡略化, 우라늄精製 工程의 省略 등 CANDU爐의 既使用연료의 재처리에 적합한 system專用的 재처리 시설을 이용할 수가 있다며는, 既使用연료의 單位重量當의 재처리費는

輕水爐의 경우보다 값이 싸질 것으로 생각된다. 그러나, 發生電力量當의 既使用 연료의 양은 輕水爐에 比해서 약 4배이며 또한 減損우라늄의 가치가 없다는 것으로서 plutonium回收量 單位當으로 割當되는 재처리 비용은 plutonium의 生成量은 약 2배이나 輕水爐의 경우보다 높아지리라고 보여진다.

輕水爐연료로서의와 같은 것이며 既使用 연료를 pool저장하는 경우의 저장기술은 輕水爐 에서와 같은 것이나 長期 또한 大量의 사용濟 연료를 저장하는데에 관한 기술적 문제點에 대해서는 세계적으로도 검토되어가고 있으며 이들의 動向을 살펴볼 필요가 있다.

(2) 既使用燃料의 저장

CANDU爐 연료의 被覆材(zircally-4) 는

CANDU爐부터의 既使用연료의 量은 發生電力量當에서 보면 輕水爐의 4배정도가 되나 發熱密度가 작고 臨界의 가능성이 없다는 등의 이유로서 同一出力規模의 plant의 저장시설로서는 輕水爐에 비해 약간 크지는 정도라고 생각된다.

(付錄)

項 目	變 更 內 容
1. 工學的 安全시설 등	
1) 原子爐格納 方式	<ul style="list-style-type: none"> ● Canada의 一重格納 方式을 annulus空間을 가지는 二半重 格納方式으로 하고 annulus 空氣再 순환설비를 설치한다. ● 日本의 기준에 따라서 格納容器 貫通配管, duct등에 隔離valve를 追加設置한다.
2) 格納容器 spray설비	<ul style="list-style-type: none"> ● Canada 설계인 格納容器 上部 dousing tank 水의 動落下 spray方式을 別置之의 水源 tank 水의 pump spray方式으로 변경 한다.
3) ECCS	<ul style="list-style-type: none"> ● Canada의 종래설계인 重力注入 方式을 pump注入 方式으로 변경함과 함께 蓄壓注入系를 追加설치 한다. (최근의 Canada 설계에서는 이와 같은 설계로 변경되고 있다)
4) 원자로 補機冷却系	<ul style="list-style-type: none"> ● 單一고장 指針에 따라서 多重化 한다.
5) 蒸氣發生器보조 給水系	<ul style="list-style-type: none"> ● 單一고장 지침에 따라서 多重化한다. ● 단일고장 지침에 따라서 多重화함과 함께 短時間 全動力 電源상실을 고려한 turbine 구동 pump를 설치한다.
2. 耐震設計	
1) Calandria tank 支持部	<ul style="list-style-type: none"> ● 약간 강화하는 必要에서 支持bolt를 증가시킨다.
2) 원자로 出入口管	<ul style="list-style-type: none"> ● 지지구조물의 개량, 支持點의 병경에 의해 日本의 耐震설계조건을 만족시키는 것으로 한다.
3) 燃料交換機	<ul style="list-style-type: none"> ● 원자로와의 結合時에서 軸方向 荷重을 輕減하기 위해 연료교환기 head assy.의 軸方向 slide化 또는 flexible snout의 채용등을 고려한다.
4) PC 格納容器	<ul style="list-style-type: none"> ● 格納容器 円筒部 下部의 벽 두께를 약간 증가시킨다.
5) 其他의 機器	<ul style="list-style-type: none"> ● 日本의 輕水爐의 보기에 따라서 必要에 應해서 支持구조의 설계 개량을 행한다.
3. 廢棄物 處理 설비등	
1) 希 gas 低減對策	<ul style="list-style-type: none"> ● 輕水爐에 설치되어 있는 活性炭式 希 gas holdup 장치 또는 이것과 同等의 효과가 기대되는 장치를 설치한다. (Canada에서도 본 장치가 설치되어가고 있다)
2) 液体廢棄物 處理系	<ul style="list-style-type: none"> ● 日本의 現行輕水爐의 實蹟을 참고로 한 설비로 한다.
3) 固体폐기물 처리계	<ul style="list-style-type: none"> ● 日本의 現行輕水爐의 實蹟을 參考로 한 설비로 한다.
4) tritium對策	<ul style="list-style-type: none"> ● 重水取扱系를 強化하고 tritium에 의한 被曝의 低減化를 도모한다.

[表 III - 9] 日本의 基準에 대한 適合性 一覽表

發電用 新型爐等 實用化 調査委員會
中間報告書(78. 4)부터 資源에너지廳 作成

背 針 等	適 合 性
<p>1. 電源喪失에 대한 설계상의 고려</p> <p>원자력 발전소는 短時間의 全動力 電源喪失에 대해서 원자로를 안전하게 정지시키고 또한 정지후의 冷却을 확보 할 수 있는 설계일 것.</p>	<p>Canada는 本指針에 相當하는 설계조건은 고려되고 있지 않다. 이를 위해 예를들면 補助給水系에 2 loop分의 용량을 가지는 turbine驅動 pump系를 追加설치해서 短時間 電源喪失時에 主蒸氣系の 증기를 구동源으로 해서 증기발생기에 給水를 行할것을 고려하는 것이 필요할 것이다.</p>
<p>2. 固有의 安全性</p> <p>원자로의 爐心 및 여기에 관련하는 원자로 冷却系는 모든 운전 범위에서 急速한 固有의 負의 反應度 feed back特性을 가지는 설계일 것.</p>	<p>CANDU爐의 연료온도 係數는 輕水爐와 같이 負이므로 원자로 出力의 過渡變化時에 急速한 負의 feed back이 있어서 出力制御 效果를 가지나 冷却材 void反應度 계수는 正이기 때문에 正의 反應度가 feed back될때가 있다. 그러나 CANDU爐는</p> <p>① 減速材, 冷却材에 重水를 사용하고 있기 때문에 反應度 變化에 대한 出力應答이 本質的으로 完만하다.</p> <p>② 天然우라늄 연료를 사용해서 負荷時연료 교환 方式을 채용하고 있으므로 爐心の 過剩反應度는 항상 작다.</p> <p>라고 하는 성질이 있기때문에 운전시의 이상한 과도변화나 사고시를 포함해서 모든 운전下에서 원자로 制御의 容易性을 잊어버리는 일이 없다.</p>
<p>3. 원자로 冷却材壓力 boundary의 파괴방지</p> <p>원자로 냉각材壓力 boundary는 통상 운전시, 운전시의 이상한 過渡變化時, 保修時, 試驗時 및 사고時에 있어서 脆性的의 舉動을 나타내지 않으며 또한 急速한 傳播型 破斷이 생기지 않은 설계라야 한다.</p>	<p>CANDU爐에서 사용되고 있는 壓力管 材料에 관해서는 日本에서 는 실험적으로 評價된 실적이 없다. 이를 위한 評價를 위해 관련 기준의 준비와 實證시험의 준비가 進行되고 있다.</p>
<p>4. 非常用 爐心 冷却系</p> <p>비상용爐心 냉각계는 想定되는 配管破斷에 의한 냉각材喪失사고에 대해서 연료 및 연료被覆의 중대한 損傷을 방지할 수 있으며 또한 연료피복의 금속과 물과의 反應을 충분히 작은 量으로 制限하는 설계이라야 한다.</p>	<p>CANDU의 LOCA時的 舉動은 輕水爐와는 달리 破斷직후에 被覆管 溫度의 peak가 나타나나 계속시간이 극히 짧으며(10秒以下) 그 後는 再冠水 過程에 이르기 까지 경수로의 경우에 비교해서 낮은 온도에 있다는 특징이 있다. 이와같은 短時間의 高溫의 온도變化는 被覆管의 健全性에 큰 영향을 주는 것은 아니라고 생각한다. 이들에 대해서는 實證시험이 필요하다고 생각되나 導入初期의 CANDU爐에 대한 LOCA평가에 대해서는 本指針의 의도하는 것을 고려한 解析을 行하므로써 對處된다.</p>
<p>5. 格納容器 熱除去系</p> <p>格納容器熱 除去系는 想定되는 配管破斷에 의한 냉각材 喪失사고에 있어서 사고후의 想定되는 最大에너지 放出에 의해서 生</p>	<p>dousing方式에서 pump spray방식으로 변경한다.</p>

指 針 等	適 合 性
<p>는 格納容器內的 壓力 및 온도를 저하시키기 위해서 충분한 機能을 가지는 설계라야 한다.</p>	
<p>6. 格納容器的 機能 格納容器는 電線·配管등의 貫通部 및 出入口의 중요한 部分의 漏洩率시험 및 검사를 할 수 있는 설계라야 한다.</p>	<p>Canada의 설계에서는 貫通部の 局部漏洩率 시험에 대해서 충분한 고려를 하고있지 않기때문에 漏洩率 試驗, 檢査設備를 追加설치한다.</p>
<p>7. 格納施設 霧圍氣 淨化系 격납시설 분위기 淨화계는 냉각材 喪失사고시에서 환경에 방출되는 核分裂 생성물 및 기타의 물질의 농도를 감소시키는 기능을 가지는 설계라야 한다.</p>	<p>半二重格納 方式을 채용하고 annulus空氣再순환계를 설치한다.</p>
<p>8. 格納容器를 貫通하는 系 및 閉鎖된 系の 隔離 valve(前略) 原則으로서 格納容器的 內側에 1개, 外側에 한개의 自動 隔離 valve를 설치할것(後略)</p>	<p>本 指針에 따라 隔離 valve를 追加설치함과 함께 漏洩시험이나 動作시험을 할 수 있게 하는등 格納容器 貫通配管系의 설계변경을 실시한다.</p>
<p>9. 耐 震 性 원자로시설 및 一次냉각재 또는 二次냉각재에 의해 구동되는 증기 turbine 및 그 부속설비는 이들에 作用하는 地震力에 의한 損傷에 의해 公衆에 방사선 障害를 미치지 않도록 시설되어야 한다.</p>	<p>日本의 조건·기준에 맞추어서 耐震설계 한다. 즉, (i) 원자로 建物の 보강 (ii) calandria tank 支持구조의 일부보강 (iii) 연료교환기 스나우트 구조 또는 head 支持구조의 변경 (iv) 원자로 出入口管 지지방법 (v) 기타 설비의 지지방법(필요한 경우)</p>
<p>10. 재료 및 구조 원자로 시설에 속하는 용기 또는 管의 재료 및 구조는 別途로 告示하는 容器 또는 管의 區分에 따라 각각 따로 告示하는 規格에 適合한 것이라야 한다.</p>	<p>다음의 것에 대해서는 關聯規格과 法規의 정비가 필요하다. (i) 壓力管材料 (ii) calandria 管 재료, calandria assy·구조설계 (iii) rolled joint구조설계 (iv) 그레이록크 joint (v) 크로저·프러그 材料 및 구조설계 (vi) 壓力管延長管材</p>
<p>11. 監視試驗片 원자로시설에 속하는 容器이며 1Mev 이상의 中性子의 照射를 받아 그 재료가 현저하게 劣化할 우려가 있는 것의 内部에는 別途로 告示하는 감시시험편을 비치 해야 한다.</p>	<p>Canada에서는 다음과 같은 이유로 시험감시편의 설치는 不要로 하고 있으나 이 決定에는 검토가 필요하다. (i) 壓力管은 LBB특성이 있으며 또한 漏洩은 炭酸 gas 系로서 檢出할 수 있다. (ii) 運轉溫度에서의 限界龜裂 길이(CCL)가 水素吸收 및 照射에 의해서 低下하지 않는다. (iii) 單一의 壓力管이 破斷하더라도 人접壓力管은 傳播 破斷하지 않은 것이 실험적으로 확인되고 있다.</p>