

日本の 原子力安全體制

原子力 發電의 安全對策

日本經濟를 維持하고 있는 에너지源의 約 80%가 石油이며 그 大部分은 輸入에 依存하고 있는 實情이다. 그러나 最近 OPEC의 價格引上과 더불어 이란事態로 量的 制限까지 받게 되니 앞으로의 經濟維持向上을 위해서는 代替에너지源을 確保하지 않을 수 없다. 즉, LNG, 石炭의 開發, 輸入 등에 努力하는 한편, 특히 原子力發電의 開發에 重點을 두지 않으면 안될 것이다.

그러나 原子力發電에 대해서는, 昨年 美國의 原子力發電所에서 있었던 事故로, 國民들의 不安感은 아직도 가시지 않고 있으며, 또한 그 開發에 있어서도 반드시 所期한 目標達成에는 이르지 못하고 있는 實情인 것 같다. 그리고 무엇보다도 原子力發電에 있어서는 他產業에서는 볼 수 없을 정도의 嚴重한 安全對策이 取해져야 되는 것으로, 이 點에 대해서 住民들의 理解와 協力을 얻어 原子力發電을 推進하고 나아가 앞으로의 에너지源의 確保에 萬全을 期해야 할 것이다.

1. 原子力發電 安全設計의

基本的 方法

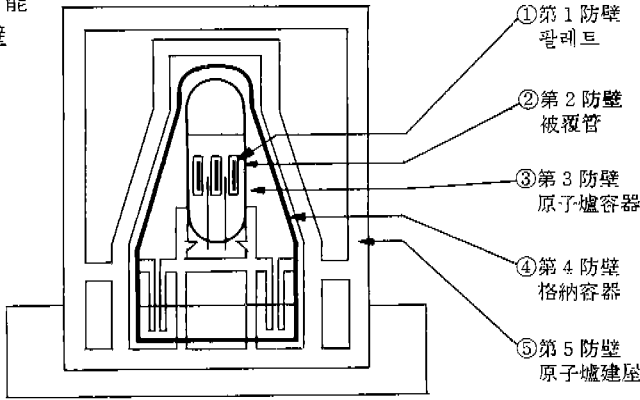
原子力發電에서는 開發의 初期段階부터 安全性 確保가 最優先의 으로 다루어져야 한다. 原子力發電所는 原子爐에서 우라늄235가 核分裂

할 때 發生하는 熱을 利用하여 發電하는 것이다. 우라늄의 核分裂時에 나오는 2~3개의 破片, 즉 核分裂生成物이 강한 放射性을 가지고 있으며 이들이 燃料의 中心에 쌓이게 된다. 그러므로 原子力發電所의 安全對策은 平常 運轉時나 萬一의 事故時에 燃料로 쌓여있는 放射能이 周圍 環境으로 放出되지 않도록 防止하는 것이다. 즉 (그림 1)과 같이 多重防壁으로 設置되어 있다.

첫째 燃料 自身이 放射能을 保有할 能力이 높은 酸化우라늄 燒結 팔레트燃料이며(第1防壁), 이것을 被覆管으로 密封하고 있다(第2防壁). 이것을 둘러싼 原子爐容器 및 1次冷却系는 閉回路로 되어 있으며 放射能이 燃料에서 冷却系로 漏出될 경우를 對備한 防壁이다(第3防壁). 또 이것을 둘러싸는 原子爐 格納容器(第4防壁) 및 原子爐建屋(第5防壁)이 있다.

原子力發電所의 安全對策은 平常 運轉時와 事故時의 安全對策으로 나눌 수 있다. 平常 運轉時의 對策으로는, 우라늄의 核分裂에서 發生하는 放射能의 一部分이 燃料에서 새어나오는 것과, 原子爐 1次系의 金屬이 冷却水에 녹아 나오는 것이 爐心에서 中性子和 衝突하여 放射能을 갖게 되는 경우가 있는데, 이들 放射能에는 氣體狀, 液體狀(冷却水에 含有된), 固體狀이 있다. 이 중에서 氣體狀은 活性炭貯留裝置에서 一定 時間 貯留시켰다가 放射能을 弱화시킨 다음 排

〔그림 1〕 放射能의 多重防壁



① 第 1 防壁 팔레트
우라늄을 燒結시킨 것으로, 放射能을 内部에 保有하는 힘이 強하다.

② 第 2 防壁 被覆管
完璧한 金屬으로 되어 있으며, 放射能이 外部로 새는 것을 防止한다.

③ 第 3 防壁 原子爐容器
被覆管에서 漏出되는 原子爐水에 混入된 放射能을 外部로 나가지 못하게 한다.

④ 第 4 防壁 格納容器
鋼鐵製 氣密容器이며, 萬一의 事故時에 放射能의 漏出을 防止한다.

⑤ 第 5 防壁 原子爐建屋
萬一의 事故時에 格納容器에서 漏出되는 放射能을 遮斷한다.

氣筒으로 放出시킨다. 液體狀은 필터나 脫鹽裝置로 깨끗이 濾過시켜 再使用하거나 蒸發濃縮器로 蒸發濃縮시켜 固體狀으로 하여 드럼 罐속에서 콘크리트로 固結시킨다. 洗濯廢液 등 極少量의 放射能은 直接 復水器 冷却水로 混게 하여 바다로 流出시킨다. 이와 같이 處理된 氣體狀, 液體狀의 放射能에 의한 敷地 境界의 住民들에 미치는 影響은 年間 自然放射線의 約 1/20인 全身 5 밀리렘 정도 以下로 抑制하고 있으며 人體에 대한 影響은 無視할 수 있다.

다음 事故時의 安全對策으로는, 소위 多重防護方法에 따르고 있으며, 그 要點은 다음 3가지이다.

(1) 異常事態發生 防止 對策

原子力發電所에 異常事態가 發生하지 않도록, 信賴性이 높은 材料, 機器를 選定하는 同時에 製作, 建設段階에서 嚴重한 試驗檢査를 거쳐 品質管理를 徹底히 한다. 또 運轉段階에서도 定期檢査時에 嚴重한 檢査를 하여 缺陥有無를 確認한다.

(2) 異常事態의 擴大防止 對策(安全保護裝置)

以上과 같은 對策으로서도 機器의 故障이나 誤動作이 全然 없다고는 할 수 없으므로, 이로 인한 異常事故의 發生을 未然에 防止하기 위하여, 異常事態를 初期段階에서 檢知하여 警報하고 또는 制御棒이나 緊急時 停止裝置로써 原子爐를 停止시키는 安全保護裝置를 完備하고 있

다.

(3) 萬一의 事故에 對備한 安全防護施設

以上の 두가지 對策을 講究함으로써 原子爐의 큰 事故는 일어나지 않을 것으로 생각되지만, 그러나 실제로 일어날 確率이 거의 없는 事故가 萬一의 경우 일어났다고 할 때에, 周邊住民에 對한 放射能災害對策이 多重으로 設置되어 있다.

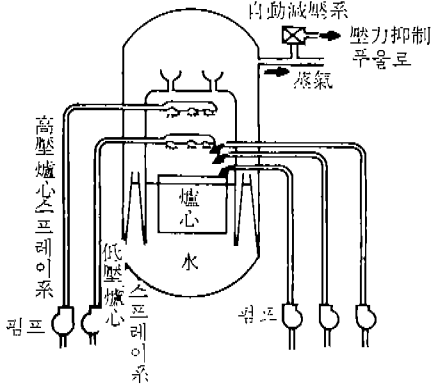
原子力發電所에서는 前述한 바와 같이 우라늄核分裂로 인한 放射能이 環境으로 放出되지 않게 하기 위하여 多重防壁을 設置하고 있으나, 萬一의 경우, 一次冷却配管의 破斷이나 主蒸氣配管의 破斷을 對備하여, 爐心에 물을 注入시켜 燃料를 冷却시키는 非常用爐心冷却系(ECCS)를 多重으로 設置하는 同時에, 放射能을 閉鎖시키기 위하여 1次冷却系를 둘러싸는 氣密性 鋼鐵製의 格納容器가 있다. 또 그 外側에는 氣密性: 原子爐建屋이 둘러싸고 있으며 格納容器에서 漏出되는 一部 放射能을 필터로 除去시킨 다음, 排氣筒으로 排내도록 設計되어 있다.

한 例로서 BWR의 非常用爐心冷却系를 [그림 2]에 表示하였다.

① 低壓爐心스프레이系—펌프로 爐心 위에서 물을 뿌어 燃料를 冷却시키는 裝置인데, 原子爐壓力이 約 20kg/cm² 以下로 되면 注水 可能하다.

② 低壓注水系—펌프로 原子爐 속으로 大量

(그림 2) BWR의 ECCS



의 물을 急速히 注水하여 爐心을 물에 잠기게 함으로써 燃料의 溶融을 防止한다. 原子爐壓力이 $8.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下에서 注水가 可能하다.

③ 高壓爐心스프레이系—原子爐壓力이 $70\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 사이에, 原子爐에서 나오는 蒸氣로 驅動되는 터빈 驅動점프로써 一定 流量의 冷却水를 爐内に 注水한다.

④ 減壓瓣—高壓爐心스프레이系가 作動하지 않을 경우, 減壓瓣을 통하여 原子爐의 蒸氣를 壓力抑制푸울로 放出시켜 原子爐의 壓力을 재빨리 低下시켜서 低壓爐心스프레이系 또는 低壓注水系를 作動시켜 爐心을 冷却시킨다.

II. 原子力發電所의 事故評價

原子力發電所에서는 앞에서 說明한 바와 같이 安全對策이 취해지고 있으며, 또한 安全에 萬全을 期하고 있으나, 萬一의 事故로 燃料 中에 모여있는 放射能이 外部로 放射되는 事態가 일어난다면 隣接住民에 放射線災害를 미치게 된다. 그러므로 萬一의 事故로 現實에는 일어나지 않는다고 생각되지만 最惡事故로 重大事故와 假想事故를 想定하여, 이들 事故가 일어났을 경우 隣近의 放射線의 影響을 推定評價하여 이것이 當初 定해진 基準線量에 比해 充分히 下廻함을 確認한 다음, 原子力發電所의 設置가 許可된다.

重大事故란 技術的인 面에서 보아 最惡의 경우 일어날지도 모른다고 생각할 수 있는 重大한 事故이며, 이와 같은 事故에 대해서는, 隣近住民에 放射線災害를 주지 않도록, 敷地 周邊의 外側에 있는 公衆들이 받는 線量이 어린이의 甲狀腺 150렘, 全身 25렘을 超過하지 못하도록 되어 있다.

다음 假想事故란 技術的으로는 일어날 것으로 생각되지 않는 重大事故를 上廻하는 事故이며, 이와 같은 事故에 대해서는 隣近住民에 甚한 放射線 災害를 주지 않도록, 敷地 周邊의 外例에 있는 公衆들이 받는 線量이 成人의 甲狀腺 300렘, 全身 25렘을 超過하지 못하도록 되어 있다.

그리고 重大事故, 假想事故는 다같이 一次系 破斷事故, 主蒸氣管破斷事故를 對象으로 하고 있으나 그 前提條件에서 若干의 差異가 있다.

III. 美國 TMI發電所의 事故와 日本 BWR와의 相違點

79年 3月 28日 美國 드리마일 아일랜드 原子力發電所(TMI 發電所)에서 일어난 事故의 經緯는 周知하는 바이나, 그 主要 內容을 들어보면 다음과 같다.

① 主給水系의 主給水펌프의 停止, 터빈은 自動적으로 停止.

② 補助給水펌프가 自動적으로 起動되었으나, 出口瓣이 닫혀 給水喪失.

③ 原子爐 1次系 溫度壓力이 上昇하여 加壓器 排出瓣이 열렸다.

④ 다시 原子爐壓力이 上昇하여 原子爐 緊急 停止.

⑤ 原子爐壓力이 低下되어 닫혀야 할 加壓器 排出瓣이 닫히지 않았다.

⑥ 原子爐壓力 低下로 ECCS 自動起動.

⑦ 加壓器의 高水位로, 運轉員은 原子爐 冷却系가 滿水가 되었다고 誤判斷하여, ECCS 펌프

를 停止시켰든가 또는 流量을 줄이든가 하였다.

⑧蒸氣發生器 드라이아웃. 運轉員이 補助給水펌프의 出口瓣이 닫혔음을 알고 손으로 열었다.

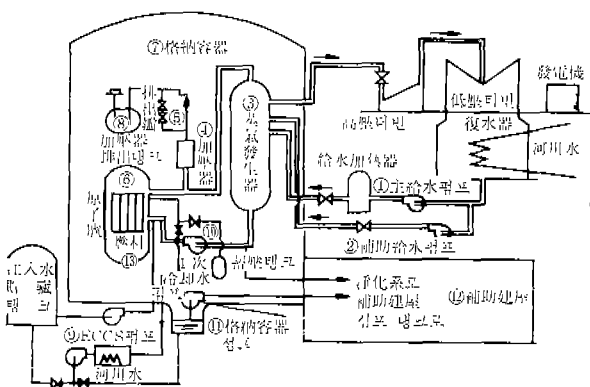
⑨原子爐壓力이 低下하여, 異常振動이 일어나 運轉員이 一次冷却材펌프를 停止시켰다.

⑩原子爐容器上部에 氣泡가 生기고 또 原子爐와 蒸氣發生器 間의 自然循環이 끊겨 燃料被覆管의 溫度가 上昇하여 鎔카로이水 反應으로 燃料被覆管이 破損되었다.

⑪運轉員이 加壓器排出瓣이 열려있음을 알고 元瓣을 닫았다.

⑫事故發生後에도 格納容器가 隔離되어 있지 않았으므로 破損된 燃料에서 새어나온 放射性物質이 含有된 一次冷却水는 一部 格納容器 바깥에 있는 淨化系로 나가고 있었다. 이 淨化系에서 一次冷却水가 補助建屋의 바닥으로 溢出되었으므로 一次冷却水에 含有되어 있는 放射性가스가 建屋內로 放出되어 필터를 통하여 排氣筒에서 外部로 放出되었다.

以上이 TMI事故의 經緯나 日本의 輕水爐는 設計構造가 이와 다르며, 이와 같은 事故는 發生되지 않으리라고 生覺되며, 特히 沸騰水型爐는 原子爐의 型式도 다르며 만일 그와같은 事故를 假想할 경우에도, 다음과 같은 經路로, 放



[그림 3] TMI原子力發電所

射能이 外部로 漏出되지 않는다.

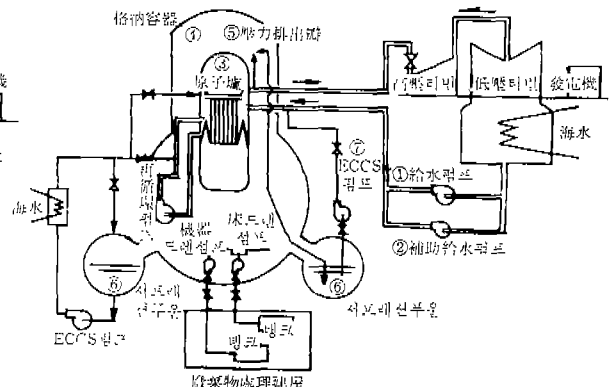
①給水펌프系統 및 補助給水펌프系統가 다같이 어떤 原因으로 停止되었다고 한다면, 原子爐의 水位가 내려가 原子爐가 緊急停止한다. 터빈도 自動적으로 停止한다. 이와 同時에 格納容器의 隔離瓣도 닫히고 格納容器는 隔離된다.

②其後 原子爐의 壓力이 上昇되어 壓力排出瓣이 作動하게 된다. 그러면 原子爐壓力이 降下되어 壓力排出瓣은 닫히게 되나 만일 이 安全瓣이 開放된 채로 닫혀지지 않았다 할지라도 TMI發電所의 경우와는 달리 一次冷却水의 蒸氣가 排出탱크를 통하여 格納容器로 직접 나가지 않고 壓力排出瓣의 配管에 의해, 原子爐格納容器의 一部로서 充分히 물을 저장할 수 있는 容量의 서프레션푸울(푸울水量2000~4000톤)의 물속으로 噴出된다.

③蒸氣가 계속 나옴으로써 原子爐의 水位는 低下되므로 ECCS가 作動하여 水位는 回復된다.

④水位計는 原子爐壓力容器에 直接 설치되어 있어 適正한 指示가 가능하며, 이로써 運轉員이 原子爐內의 狀態를 監視할 수 있으며, 原子爐의 스크럼, ECCS의 作動도 適正히 할 수 있다.

⑤蒸氣가 계속나옴으로써 서프레션푸울의 물의 溫度는 서서히 上昇하게 되나, 서프레션푸울의 물은 海水로 冷却되어 溫度의 異常上昇은



[그림 4] BWR原子力發電所

일어나지 않는다.

⑥以上과 같이 燃料가 溶融되거나, 燃料被覆이 破損되는 경우가 없다.

앞의 TMI 事故는 放出된 放射能은 微少하였음에도 불구하고 지금까지 볼 수 없었던 混亂을 일으켰다. 즉 敷地隣近住民이 받은 放射線量은 最大 100밀리렘 以下이고, 半徑 80km 以內의 平均放射線量은 1.5밀리렘 정도에 不過하며, 自然放射線에 比해 無視할 수 있을 정도 인데도 不拘하고, 原子力發電所 周邊에 固定式 모니터링 포스트가 없어, 몇몇 機關에서 제 나름대로 空間線量을 測定하여 그 結果를 無秩序하게 發表하여 人心을 動搖시켰고, 또 發電所에서는 燃料溶融의 念慮는 없었음에도 不拘하고 NRC 등과의 連絡이 不充分하여 待避勸告가 나오게 되어 더욱 混亂을 야기시켰다.

IV. TMI 事故에 對應한 對策

上述한 바와 같이 原子力發電所에서는 TMI 發電所의 이번事故를 貴重한 教訓으로 삼아 安全確保를 한층더 配慮함과 同時에 一般國民에게 周知시켜 理解를 얻도록 努力하여 原子力發電에 對한 不安感을 拂拭하는 것이 무엇보다도 緊要한 일이라 생각된다.

따라서 TMI 事故 直後에 非常用 爐心冷却系 機器, 排出安全瓣 및 非常用電源 등 安全設備의 點檢, 保守 및 操作基準 등의 遵守狀況의 確認, 事故時 操作順序의 再確認 등으로 問題 없음을 確認하였다. 그리고 또 다음과 같은 一連의 安全確保策에 對해 檢討하고 이를 採用하기로 하였다.

(1) 安全解析의 再檢

TMI 事故에서는 主給水系の 停止라는, 보통 發電所가 安全히 停止하게 되는 것과 같은 이른바 溫度變化가 發生했을 때에, 가끔 機器의 故障, 設備設計의 不備와 이에 따르는 運轉員의 操作미스가 쌓여 冷却材 喪失事故로 發展되

고 더욱이 加壓器水位가 低下되는, 從來에는 認識되지 않았던 事態가 發生하여 큰 事故로 變했다.

이와같은 事態를 教訓삼아 BWR에서도 이번 事故와 같거나 또는 類似한 事故를 中心으로, 豫想되는 溫度變化時的 機器의 故障, 人爲의 인미스의 多重發生 등을 假想, 冷溫停止에 이르기까지의 長時間을 解析하여, 이와 같은 경우에도 多重故障의 정도에 相應된 플랜트의 安全性이 確保되어 있는지를 檢討하였다. 이 때에는 機器의 故障이나 人爲의 인미스의 對象을 어디까지 할 것인지가 큰 문제이나, 이에 대해서는 過去의 故障事例, 機器의 設計, 時間的 餘裕 등을 考慮하여 그들의 發生確率을 推定하여 考慮해야 할 多重故障의 對象範圍를 定하였다.

그 結果로 現在의 BWR의 設計에서는 그 對象範圍의 多重故障이 發生하였다 할지라도 相應된 安全性이 確保되어 있음을 判明하였다.

또 冷却材 喪失事故에 對해서는 여러가지 配管의 破斷位置 및 破斷의 크기를 가정하여 解析한 結果, 從來의 解析에 따른 推定 以上으로 豫期치 않은 事態는 없으며 安全性도 確保되어 있다.

(2) 運轉管理体制의 強化

TMI 事故가 運轉管理의 不適에 起因된 것이라는 것을 감안, 當直長의 責任權限을 再考하여, 各中央操作室에 專任當直表를 配置하여 有事時에 迅速, 正確한 對策이 강구 되도록 하는 동시에, 當直管理者로서 將來에 原子力部門의 中堅人物이 될 수 있는 優秀한 人材를 育成配置하기로 하였다. 이와 함께 機器 設計, 運轉狀況의 正確한 把握, 設備不良狀態의 早期發見 豫防保全 등에 萬全을 期하고 또 運轉과 保守의 一体的 管理를 위하여 發電部에 發電課와 保修課를 두어, 그들의 有機的 結合을 도모하기로 하였다.

(3) 運轉員의 教育訓練의 強化

原子力發電所에서는 過去부터 運轉保守 全般

에 걸쳐 教育訓練을 하고 있으며, 특히 시뮬레이터에 의한·起動停止操作, 事故時의 對應 등에 대해서 反復해가면서 계획적인 訓練을 하여 왔다. 그러나 이번 事故를 감안할때 이번 事故와 類似한 경우를 對象으로 臨時 시뮬레이터 訓練을 追加 實施하기로 하였다.

또 當直長, 當直副長을 中心으로 安全解析의 內容把握, ECCS系의 設計와 그 機能의 理解, 事故時 操作順序의 反復習得 등에 대해서 相互研修를 實施함으로써 異常時, 事故時에 正確, 適正한 判斷 指示를 내릴 수 있는 能力의 維持, 向上에 힘쓰기로 한다.

(4)緊急時對應체제의 再檢討

原子力發電所의 事故時의 對策체제를 再考하여 事故의 影響이 發電所 敷地外에 미칠 危險性이 있는 「第3 緊急事態」가 發生했을 경우 社長을 本部長으로 하는 對策本部 設置의 體제를 確立하기로 한다.

또 TMI事故 直後, 初期情報의 傳達에 混亂이 發生하였다는 事實을 감안, 情報의 集中處理와 地域住民에 信賴받을 수 있는 情報 發表의 一元化에 대해서 地方自治制와 充分한 相議下에 體제를 確立하기로 하고, 當社로서도 發電所와 本店間에 各種 緊急通信 手段을 確保하기로 한다.

그리고 本店本部에서 支援活動, 緊急 醫療活動 등에 對處하기 위해 輸送用 헬리콥터의 緊急使用 體제를 整備함과 동시에, 萬一의 경우 現地緊急時 對策本部가 事故의 影響으로 부득이 移動해야만 될 때, 移動先에 通信設備 등 物의 裝備를 強化하도록 한다.

또 地方自治團體를 中心으로 한 地域防災계획에 對해서, 施設者로서의 專門的 知識, 技術的인 意見의 反映 등 積極的인 協力을 하는 同時에 萬一의 事故時에 環境서베이나 技術專門家의 派遣 등 體제 整備를 하기로 한다.



原子力發電所는 初期段階부터 安全性을 最優先으로 다루어 왔으나 이번 TMI事故를 契機로 安全對策 및 運轉管理面의 對策強化를 도모하여 安全에 萬全을 期하도록 하였다. 그러나 一部 住民들에게는 原子力發電에 대한 不安感이 남아 있으며 原子力發電의 開發은 반드시 圓滑하게 發展되고 있지는 않는 實情이다. 그러므로 電力會社로서는 政府와 地方自治團體의 協力을 얻어 原子力發電所에서 취하고 있는 安全對策에 대해서 住民들을 理解시키는데 努力하고 石油를 代身하는 에너지源의 中核으로서 原子力發電의 開發을 推進해 나가지 않으면 안될 것이다.

<1980年 2月에 當協會 情報센터가 購入한 圖書(2)>

도 서 명	발행소	가격	도 서 명	발행소	가격
最新變圧器	日刊工業新聞社	1,200圓	科學技術白書(昭和 54年版)	科學技術廳	1,500圓
水力發電	東京電機大學	3,500圓	通商白書總論(昭和 54年版)	通商産業省	2,300圓
火力發電	電氣學會	2,800圓	" 各論(")	"	3,300圓
原子力發電	"	2,700圓	中小企業白書(")	中小企業廳	1,500圓
工業計測	"	2,500圓	環境白書(昭和 54年版)	環境廳	1,500圓
電子機器·電氣機器·電力用	オーム社	2,700圓	原子力白書(昭和 53年版)	原子力委員會	1,000圓
ユニテナサ活用マニュアル	東京電機大學		建設白書(昭和 54年版)	建設省	1,500圓
昭和53年 機械統計年報	通商産業調査會	6,500圓			