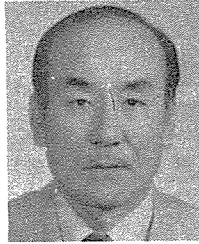


原電의 安全性確保와 그 對策



李 相 薰

(에너지研 原子力安全部長)

原子力發電所에서의 安全性確保라 함은 첫째는 放射線 또는 放射能에 대한 安全性이고, 둘째는 發電所 그 自體의 工學的的安全性 즉 大事故發生의 未然防止와 그에 대한 安全對策을 말한다.

原子力發電所는 電氣事業者가 健全한 裝置設計에 基礎를 두어 發電所를 建設하고 所有者 및 運轉者가 올바른 節次로 運轉 및 補修를 通하여 所定의 發電所機能을 遂行하고 一般住民이 어떠한 放射線障害도 全然 받지 않는다는 認識과 함께 이를 信賴할 수 있다고 볼 때 비로서 原子力發電所의 安全性이 確保된다고 본다.

특히 原子力發電所의 安全解析에서는 現實의 으로는 發生하지 않는 假想事故를 假定하여 이러한 破局的인 事故에 對備해서도 原子力發電所는 安全하다는 確信을 一般大衆에게 說得하게 되고 이에 대한 多重防護(Defence-in-depth) 概念인 安全設計를 하게 된다. 安全解析에서 假想事故는 原子爐一次系統의 冷却材喪失事故(Loss of Coolant Accident : LOCA)의 假定이며 이에 대한 妥當性評價와 工學的的安全性對策이 重要視되고 있다.

만일 原子爐一次系統의 主配管 破斷現象에 의한 冷却材喪失事故가 發生한다면 核燃料의 露出으로 인한 燃料熔融이 發生하고, 壓力容器的 衝擊荷重으로 燃料등 全體의 破壞를 가져오게 되며 高溫高壓의 冷却材는 “젯트” 흐름으로 流出되어 原子爐格納容器에 부딪쳐서 格納容器的 破損을 招來하는 등 一連의 連鎖反應이 發生하

게 된다.

이러한 連鎖의 事故의 擴大를 抑制하기 위해서 特殊한 工學的的安全性設備가 設置되었다. 즉 이것이 非常爐心冷却系統(Emergency Core Cooling System : ECCS)인 것이다. 즉 配管破斷口에서 급격한 冷却材의 流失과 同時에 爐心の 露出을 防止하고 燃料熔融을 抑制하기 위하여 壓力容器 內의 冷却을 目的으로 한 設備인 것이다. 最近에는 그 效果가 문제되어 安全性의 確證試驗 및 設備의 補強이 進行되고 있다.

事故가 發生하였을 때 한없는 連鎖의 想定은 이에 對처하는 安全防護設備의 必要性이 漸次的으로 뒤따른다. 또한 이들에 대한 그 效果를 確證하는 것이 原子力發電所의 安全性解析의 節次로 되어있는 것이다.

이와같은 “多重防護”의 概念을 설명하기 위하여 “3개의 安全性基準”이라는 一바적인 觀點부터 檢討하고자 한다.

(1) 安全性基準 ①

指針 : 設計에 있어 正常運轉時에는 최대한의 安全性을 유지토록 하고 故障時에는 최대한의 餘裕를 가질 수 있도록 배려해야 한다. 本질적으로 安全한 運轉을 지향하는 性質을 設計에 包含시켜야 한다. 長期的인 商業運轉에 관해서 이의 認可前과 發電所壽命을 통하여 品質, 器機의 餘裕度, 點檢性 및 試驗性등을 중요시해야 한다.

“基準1”의 要點을 要約하면 發電所의 높은

信賴性を 保有하고 또한 예정된 運轉을 保障할 수 있도록 設計 및 建設을 하여야 한다는 것이다. “基準 1”에서는 각 部品の 性質, 餘裕度, 試驗性, 點檢性 등 發電所設計의 本질적인 特性에 의해 事故를 防止한다는 의미를 띄고 있다. 原子爐 및 發電設備의 安全制禦와 關聯되는 器機들은 電源이 상실되는 등의 惡條件이 發生하더라도 安全한 狀態를 유지할 수 있도록 設計되어 있다.

(2) 安全性基準 ②

指針 : 設計, 建設 및 運轉에 관한 事前對策뿐만 아니라 事故의 可能性을 염두에 두어야 하며 이같은 事故가 發生하더라도 運轉員 및 一般住民들을 保護하고 또한 損害의 發生을 最小化시킬 수 있는 安全裝置들을 設置하여야 한다.

基準 1의 安全性에서는 發電所의 安全性이 안고있는 破損의 可能性 또는 運轉失手등을 防止하기 위한 여러가지 要件이 설정되어 있으나 原子力發電所의 稼動壽命期間중에는 어떠한 事故가 發生할 수 있다는 사실을 假定하는 것이 보다 正確한 態度라고 볼 수 있다. 運轉員, 一般住民 및 發電所에 대해 “基準 2”의 防護를 제공하기 위해서는 事故의 防止, 制禦 또는 安全에 대처할 수 있도록 設計된 信賴性이 높은 保護器機 및 系統을 설치해야 한다. 이와같은 保護系統은 發電所의 設計에 의해 安全하게 처리되지 않으면 안되는 正상이 아닌 運轉狀態를 야기시키는 여러가지 事態에 대비하기 위한 것이다. 이와 더불어 保護系統이 적절한 機能을 나타내고 있다는 것을 檢證하기 위해서는 廣範圍한 試驗項目이 마련되어야 한다.

(3) 安全性基準 ③

指針 : 事故發生과 同時에 이 事故를 制禦해야 하는 保護系統에 故障이 發生한 것으로 假定하여 假想事故의 影響을 檢討 및 이에 적절한 安全系統을 追加하여야 한다.

“基準 3”의 安全性은 거의 發生하지 않을 것으로 생각되는 狀態下에서 예상치 않았던 狀況이 發生하더라도 一般住民의 保護에 満足を 기하기 위하여 發電所의 設計에 보다 保證된 餘裕를 제공하자는 것이다(基準 2의 補強策이라고 볼 수 있다). 이 餘裕의 크기는 多重의 系統을 가지고 있는 保護系統이 制禦의 對象이 되는 事故가 發生함과 同時에 각각 故障이 生킨다고 假定하는 것과 같은 中대한 假想事故와 設計條件을 對比하여 算定한다. 이 假想的인 現象의 解析에 의해서 특정의 事故系列을 선택하고, 이것을 發電所의 性能 및 一般住民의 安全과 健康을 보호하기 위한 器機의 設計에 참고한다. 이같은 目的에 이용되는 事故系列을 “設計基準事故(D BA)”라고 한다.

(4) 國內外的 現況

美國, 西獨, 日本 및 프랑스가 輕水爐의 安全性研究에 1974년부터 1979년까지 投入한 예산은 다음과 같다.

年 間 豫 算

(單位 : 백만달러)

年度	西 獨	日 本	프랑스	美 國
1974	28.4	18.6	14.4	40.0
1975	37.3	39.1	29.1	51.0
1976	41.4	70.1	34.1	82.2
1977	52.6	80.7	37.6	66.0
1978	70.0	87.4	39.2	81.3
1979	80.0	86.8	40.8	95.6

1) 美 國

美國原子力規制委員會(NRC)의 輕水爐安全性研究分野는 다음과 같다.

① 假想事故와 關聯 故障限界內에서 燃料棒의 舉動을 研究함으로써 燃料被覆의 健全성을 確保하기 위한 研究

② 原子爐壓力容器 및 配管의 破壞靱성과 균열舉動을 研究함으로써 壓力容器 및 配管의 健

全性を 確保하기 위한 研究

③ 格納容器的 熱水力學的 舉動을 研究함으로써 原子爐格納容器的 健全性を 確保하기 위한 研究

④ 假想原子爐事故를 모의하는 동안 原子爐系統의 熱水力學的 舉動을 試驗함으로써 工學的 安全裝置들의 效率性과 假想原子爐事故의 事故過程을 훨씬 잘 이해하기 위한 研究

⑤ 設計安全性餘裕을 定量化함으로써, 最適概算(best-estimate) 電算코드를 開發하여 計劃된 代替保護概念을 評價함으로써 假想事故의 分析을 向上하는 研究

⑥ 火災防止, 裝置改良, 系統診斷과 人間工學등을 研究함으로써 發電所를 稼動하는 동안 原子爐安全性을 向上시키고 確實히하는 研究

⑦ 各種 假想事故들에 대한 確率論的 災害를 分析하는 研究

1979年3月 美國의 TMI (Three mile island) 發電所事故 이전에 輕水爐의 安全性評價는 가상적 大型冷却材喪失事故에 대한 것이었으나 TMI 事故 이후 冷却材 小型破斷事故에 대한 관심이 크게 증대하였다.

2) 日 本

日本은 여러면에서 美國과 유사한 原子爐安全性 研究計劃을 가지고 있다. 그러나 美國에 비해 훨씬 소규모적이다. 日本은 NRC와 安全性 研究에 관한 協定을 맺기 전에도, 美國이나 西獨에서 수행하는 研究計劃을 그대로 본받아 도입한 게 아니라 相互 補充하는 方向으로 研究計劃을 進行시켰다.

3) 韓 國

原子力發電所의 安全性確保는 一次的으로 電力會社가 責任을 지며 國家도 嚴密한 規制를 한다. 즉 電氣事業者가 原子力發電所 建設許可申請을 政府(科學技術處)에 提出하면 原子爐의 安全性에 대하여 原子爐安全審査委員會 및 原子力委員會등 우리나라를 代表하는 專門家의 技術的 檢討를 거쳐 充分히 安全性을 確保할 수 있다는 確認(安全審査)을 한 後, 建設해도 좋다는 判

斷下에 政府에서 建設許可를 發給한다. 發電所의 建設工事が 시작되면 主要器機設備의 工事工程마다 設計의 詳細와 實施方法에 대하여 國家의 檢査를 받으며 原子爐의 運轉 중에도 그 壽命期間 동안 一定한 規制를 받도록 되어있다.

原子爐에 관한 安全問題를 多角的으로 다루어 段階的으로 安全을 確認하여야 하는데 이렇게 하기 위해서는 安全基準의 設定, 安全設計의 強化, 安全評價에 의한 確認, 製作建設中の 品質保證 및 稼動期間中の 性能確認등의 安全性問題들을 하나의 "시스템"으로 보고 安全性確保를 다루어야 한다.

(5) 安全性確保의 改善

TMI 原子力發電所의 事故를 契機로 原子力發電所의 安全規制와 安全性確保問題는 美國 뿐만 아니라 世界 各國에 크나큰 問題點을 제시해주고 있다. 事故의 原因分析和 評價에 따르면 앞으로의 安全性確保는 短長期로 區分 再整備되어야 한다고 보고 있다.

1) 短期計劃

① 運轉員의 訓練強化

原子爐過渡現象에 대한 充分한 理解와 正確한 判斷을 내릴 수 있도록 再教育이 必要하다. 또한 앞으로는 高級技術顧問官을 各 發電所마다 中央制禦室에 固定配置시켜 非常事態時 諮問에 應하도록 하여야 한다.

② 事故頻度와 人間工學

TMI 事故 전에는 事故頻도가 가장 낮은 冷却材喪失事故에 대한 研究가 活潑히 進行되어 왔다. 그러나 TMI 事故는 릴리프밸브의 故障(事故의 主原因)確率이 10^{-2} /年, 運轉員의 誤作動(高壓注入系統의 閉鎖) 確率이 10^{-2} /年, 運轉員의 誤判(溫度壓力 放射能準位の 誤判讀)의 確率이 10^{-2} /年으로 종합적으로 이런 種類의 TMI 事故發生頻도는 10^{-6} /年으로써 設計基準事故(LOCA 등)의 發生確率 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ /年에 비하면 훨씬 자주 發生할 수 있는 頻도가 되며 不可抗力의 人 事故보다 過誤로 말미암아 發生한 것이다. 따라서 이러한 자주 發生할 수

있는 事故頻度에 대한 對策 特히 人間이 저지를 수 있는 過誤를 하나하나 除去하는 여러가지 努力을 하여야 한다.

③ 非常緊急退避計劃

原子爐의 重大事故로 인한 從事者 및 인근주민의 退避는 事故發生에 대한 被害를 極小로 줄일 수 있는 防禦手段의 하나인 것이다. TMI 事故時에는 5 마일 이내의 幼兒 및 妊婦에 대하여 緊急退避를 시켰으나 앞으로는 10 마일 이내의 모든 住居民은 이러한 狀況에서는 모두 退避시킬 수 있는 새로운 計劃을 마련하고 있으며 이를 위한 政府當局, 地方政府(道, 邑) 및 電氣事業者間에 有機的인 組織의 一元化가 있어야 하고 이에 대한 訓練이 뒤따라야 한다.

2) 長期計劃

① 中央制御室의 再設計

原子爐 運轉에서 가장 중요한 變數는 原子爐의 壓力, 出入口溫度, 熱出力準位를 들 수 있으며 이를 표시하기 위한 판넬은 20~25 個程度가 된다. 이렇게 많은 판넬배열은 일단 有事時 運轉員의 混亂을 일으키게 되어 可能한 限 빠른 時日內로 單純化내지 單一판넬로 再調整되어야 한다. 그 뿐만 아니라 計測調整의 自動化를 指向하고 事故事態의 診斷分析까지도 할 수 있는 中央制御室의 再設計를 하여야 한다. 또한 중요한 것은 運轉員의 資質을 높이기 위해 博士學位 所持者로 代替할 것도 考慮하고 있다.

② 敷地基準의 補完

原子力發電所敷地는 原子爐의 重大事故를 考慮하여 放射能被害를 極小化시키는데 가장 중요한 非居住地域의 設定이다. 從前에는 0.4 마일程度였던 것을 0.6 마일까지 延長할 것을 考慮하고 있다. 우리나라처럼 國土가 狹少한 나라

에서는 이 問題에 대해 앞으로 繼續 研究가 必要하다. 또한 만일 原子爐의 大型事故로 爐心이 溶融되어 核分裂物質이 生活圈(海洋, 河川)에 移動擴散되는 環境汚染問題를 고려한 敷地選定도 새로운 基準으로 追加補完되어야 한다.

③ 損傷된 爐心對策

爐心損傷을 防止하기 위한 追加的인 安全系統의 設備가 必要하다. 例를 들면 高壓注入系統의 改善을 들을 수 있다. 放射能과 水素氣體의 低減化를 위한 格納容器系統의 設備改善도 또한 重要하다. 즉 冷却系統의 設置, 水素再結合裝置의 設置, 原子爐壓力容器內에 코아캐처(Core catcher) 設置등 長期的인 研究課題가 있다.

安全性確保 改善의 要約을 들면 短期的으로는 原子爐의 安全運轉에 있어서 人間工學的인 측면을 再檢討하고 發生頻도가 잦은 過渡現象에 대한 充分한 對策을 세울 것을 勸告하고 있으며 長期計劃으로서는 敷地選定の 再評價와 住居民의 非常退避計劃의 充實化를 要求하고 있다.

(6) 結 論

TMI-2 原子爐事故로 商業用原子力發電所의 安全性確保問題는 再評價하게 되었다. 우리나라에서도 原子力發電이 唯一한 代替에너지로 計劃推進되고 있는 現時點에서 原子力發電所의 安全性確保問題는 에너지需給計劃에 못지않은 重大한 課題라고 본다. 이러한 安全性問題를 制度的으로 觀察하기 위한 獨自的인 規制基準의 制定이 가장 時急하며, 敷地選定, 運轉員의 訓練, 放射線防禦對策, 運轉經驗의 評價 및 活用, 原子力發電所 災害分析등 우리나라 實情에 맞는 短期計劃을 國家的인 次元에서 樹立해야 한다고 본다.