原子力發電所의 安全性 確保

李 相 薰
〈韓國原子力研究所 安全工學部長〉

1. 緖 論

原子力에너지 開發의 安全을 둘러싼 論議는 실로 심각하다. 原子力開發을 强力하게 推進하고자 하는 立場에서는 TMI 사고발생전 까지는 「現在의 에너지事情은 切迫한 狀態이고 化石燃料에 대신하는 大量에너지源으로서는 原子力에너지 以外에는 없다. 原子力技術의 安全性은 매우 重要하지만 다른 그 業部門과는 比較도 않되는 努力을 기울였다. 나머지 未確認된 問題는 今後의 開發과 並行하여 確證하면 되고 不備한 點은 改良한다. 過去에도 大事故는 發生하지 않았고, 將來에도 發生될 確率은 매우 낮다」라고 主張을 하는데 反하여 原子力開發體制의 批判이 되고 反核運動이 擡頭되고 있는 主張은 「原子力技術은 아직 未熟한 狀態임으로 强力히 推進해서는 않된다. 安全性이 確認될 때까지 技術을 向上시키는 努力을 集中하고 그후에 原子力發電所의 建設에 着手하면 좋다. 開發優先의 現行體制는 危險하다. 특히 TMI—2號機의 原子力發電所의 큰 事故가 發生된 後에는 原子力의 安全規制, 原子爐의 安全設計 및 放射線의 防禦對策等 補完하여야 할 점이 많이 있다.」는 등 그 나름대로의 說得力을 가지고 있다. 雙方의 論議는 「이데올르기」를 包含한 政策論爭이나 體制論으로 發展하는것이 常例이지만 우리나라는 核軍備를 保有하지 않고 있을 뿐만아니라 에너지資源으로서는 全無한 狀態임으로 우리나라 獨自的인 原子力開發에 대한 短長期計劃이 있어야 한다. 原子力發電所는 電氣事業者가 健全한 裝置設計에 基礎를 두고 發電所를 建設하고, 所有者 및 運轉者가 옳바른 節次書로 運轉 및 補修를 通하여 所定의 發電所機能을 遂行하고 一般大衆이 어떠한 放射線障害를 全然 받지 않는다는 認識을 하고 信賴할 수 있다고 볼 때 비로소 原子力 發電所의 安全性이 確保된다고 본다.

이러한 過程은 比較的 긴 時日을 必要로 한다. 現在 우리가 使用하는 電氣가 社會的으로 별 문제 없이 받아들이는 것도 關聯技術開發이 100年 가까이 所要되었다. 原子力의 경우는 아직 유감이나 그만한 技術蓄積의 歷史가 未洽하다. 따라서 化石燃料의 代替 에너지로써 原子力은 大規模로 利用開始하여야 함으로 그에 대한 安全性을 一般大衆에게 알려줄 必要性이 생긴다.

特히 原子力 發電所의 安全解析에서는 現實的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對한 深層防禦槪念인 安全設計를 하게 된다.

原子力發電所에서 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 工學的安全性 即 大事故發生의 未然防止와 그에대한 安全對策을 말한다. 安全性解析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 이에대한 妥當性評價와 工學的安全對策이 重要視되고 있다.

萬一에 原子爐一次系의 主配管의 瞬間破斷現

象에 의한 冷却材喪失事故가 發生한다면 核燃料의 露出로 因한 核燃料의 溶融이 發生하고, 壓力容器의 衝擊荷重으로 燃料等全體의 破壞를 가져오게 되며 高溫高壓의 冷却材는 "젯트"흐름으로 流出되여 原子爐格納容器에 부딪혀서 格納容器의 破損을 招來하게 되는 等 一連의 連鎖反應이 發生하게 된다.

이러한 連鎖的事故의 擴大를 抑制하기 위하여는 特殊한 工學的인 安全設備가 設置되도록 되여 있다. 즉 이것이 緊急爐心冷却裝置(Emergency Core Cooling System: ECCS)인 것이다. 즉 配管破斷口에서 急激한 冷却材의 流失과 同時에 爐心의 露出을 防止하고 核燃料의 溶融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 問題가 되어 安全性의 確證試驗 및 設備의 補强이 進行되고 있다.

事故가 發生되었을 때 限없는 連鎖的 想定은 이에 對處하는 安全防禦設備의 必要性이 漸次的으로 뒤따른다. 또한 이들에 대한 그 效果를 確認하는 것이 原子力發電所의 安全性解析의 節次로 되어있는 것이다.

原子力開發의 歷史는 아직 짧다 하지만 근 30年을 經過하고 있다. 現在의 油類波動 및 에너지資源의 枯渴을 눈 앞에 두고 原子力技術을 에너지 代替를 위하여 早期에 定着化하기 위하여는 原子力發電所의 健全性, 信賴性을 감안한 보다 새로운 安全性評價 및 解析이 進行되어야 한다.

特히 우리나라는 原子力發電所를 2000年代까지 40餘機를 建設할 長期計劃이 마련 되었으며 最近에 美國에서 發生된 Three Mile Island 原子力發電所 第2號機(TMI-2)의 事故를 감안할 때 原子力發電所의 安全規制와 安全性確保 問題는 매우 重要한 課題라고 본다. 本 解說은 우리나라 原子力發電計劃에 따른 原子爐의 安全性問題를 全般的으로 記述하고자 한다.

2. 우리나라의 原子力發電計劃

1973年의 石油波動으로 世界經濟가 진통을 經驗한 이래 지난 10年間 油價는 26倍 以上 뛰어올라 石油節約은 各國의 에너지政策의 基本原則으로 굳어져 가고 있고 더구나 昨今에 와서는 單純히 價格上의 問題뿐만 아니라 必要한 物量의 供給自體가 問題視됨으로써 급기야는 「脫石油」를 에너지政策의 基調로 삼기에 이르렀다.

1960年代 末期에 우리나라가 古里原子力1號機를 推進할 當時 파운드當 6~7$의 저렴한 우라늄 價格과 아직도 美政府 補助金에 依하여 運營되던 原價 以下의 濃縮費에 힘입어 石油火力과의 經濟的 競合性을 維持할 수 있었던 原子力發電이 10年後인 오늘날 世界에너지 事情의 변천에 따라 古里1號機의 原子力發電原價는 石油發電原價에 比하여 Kwh當 10원 程度가 저렴한 것으로 나타나고 있어 發力經濟에 있어서 原子力의 意義는 매우 重要한 양상을 띠고 있다. 古里1號機의 1979年度 年間平均利用率은 61.3%를 記錄하고 있고 앞으로 初期年度의 機器故障原因을 除去함에 따라 利用率은 앞으로 더욱 向上될 展望이지만 平均 60%만 잡아도 年間發電量은 30億Kwh에 이르고 이에 依한 發電原價 節減效果는 300億원에 達하게 되어 5年만 運轉하면 初期 投資費가 回收될 수있다는 計算으로 되어 있다. 때마침 世界의 原子力市場은 認許可節次上의 까다로운 規制와 一部 先進國에서의 反核輿論 내지 抵抗에 부딪혀 新規發注가 거의 없고 旣發注分도 取消되는 事例가 많아 購買者에게 有利한 Buyer's Market를 形成하고 있다.

에너지 貧國인 우리나라는 石油代替 에너지로써 原子力을 推進할 수 밖에 없으므로 市場 事情이 有利한 時期를 十分 活用하여 可能한 限 多數機를 早期에 發注함으로써 原子力長期計劃 推進의 有利한 高地를 占有함이 바람직한 일이 아닌가 생각된다. 다만 Three Mile Island 原子力發電所의 核事故이래 安全性에 대한 全面再檢討가 進行中 이므로 새로운 安全基準과 變動되는 工業標準을 反映하도록 조심스러운 檢討를 繼續하여야 할 것이다.

1979年末 現在의 우리나라의 發電設備容量은 7,623MW에 이르고 이중 68.7%에 해당하는 5,237MW가 石油發電所이며, 11.6%에 해당하는

877MW가 石炭發電所이며, 原子力은 587MW로써 7.7%를 占하고 나머지는 水力 9.4% 揚水 및 其他가 2.6%이다.

앞으로 石油發電所는 建設中에 있는 10機 2,630MW로 마무리지을 豫定인 것으로 알려졌으며 新規發注를 하지 않을 方針이며 原子力과 石炭을 主로하는 電源開發을 推進하도록 計劃되어 있다. 原子力은 1986年에 7機가 追加되어 14號機까지 竣工되면 原子力發電施設은 11,016Mw가 되어 系統의 34.3%를 占有하게 될 것이다. 또한 經濟的으로 最適發電系統을 찾아내는 電算프로그램인 WASP를 使用하여 試算한 結果에 依하면 우리나라는 2000年까지는 約 40機의 原子力發電所 建設이 要請되고 있다.

原子力發電所는 秒當 40t에 해당하는 莫大한 量의 冷却水가 必要로 하고 있고 相當한 量의 放射能을 가지고 있어 敷地의 選定이 다른 水火力發電所敷地와 判異하게 다르다. 現在 우리나라의 原子力敷地로 確保된 地點은 古里, 月城, 靈光, 蔚珍 等 4個地點이고 其他 11個 後補地點에 對하여 豫備調査를 進行中에 있다. 우리나라처럼 國土가 狹少한 立場에서는 制限된 國土面積을 考慮하여 1個地點에 4~6機의 多數機 建設을 推進할 方針이고, 2000年까지의 原子力計劃을 推進하기 爲하여는 總 10個 地點의 敷地確保가 要請되어 每年 1~2個地點의 新規 敷地確保가 重要한 問題로 되어 있다.

表 1. 電源開發計劃

(79. 12. 31 現在)

源別 \ 年度		1979	1981	1986	1991
水力	MW	712	802	1,362	1,812
	%	9.4	7.7	6.9	5.6
揚水	MW	200	400	1,600	3,200
	%	2.6	3.9	8.2	10
潮力	MW	—	—	—	400
	%	—	—	—	1.2
石炭	MW	887	950	4,170	6,970
	%	11.6	9.3	21.3	21.7
石油	MW	5,237	7,647	7,765	7,765
	%	68.7	73.6	39.6	24.1
개스	MW	—	—	—	1,000
	%	—	—	—	3.1
原子力	MW	587	587	4,716	11,016
	%	7.7	5.6	24.0	34.3
總計	MW	7,623	10,386	19,613	32,163

表 2. 原子力建設計劃

號機	位置	竣工年度	施設容量(MW)	原子力容量合計(MW)	原子力占有率(%)
古里#1	慶南古里	78. 4	587	587	8.5
月城#1	慶北月城	83. 4	678.7	1,266	9.3
古里#2	慶南古里	83. 12	650	1,916	14.1
原子力#5	〃	84. 9	950	2,866	18.4
〃 #6	〃	85. 9	950	3,316	21.9
〃 #7	全南靈光	86. 3	900級	4,716	24.0
〃 #8	〃	87. 3	900〃	5,616	25.5
〃 #9	慶北蔚珍	87. 12	900〃	6,516	29.5
〃 #10	〃	88. 12	900〃	7,416	30.4
〃 #11	未定	89. 3	900〃	8,316	31.2
〃 #12	〃	89. 12	900〃	9.216	34.6
〃 #13	〃	90. 9	900〃	10.116	34.8
〃 #14	〃	91. 9	900〃	11,016	34.3

表 3. 原子力發電所敷地條件

項目	條件	備考
地盤및地質	· 8km以內에 活性斷層이 없을 것 · 岩盤持耐力 10kg/cm²以上일 것	
用水源	· 日當 8,000ton以上	900MW 2機基準
冷却水	· 秒當 85ton以上	〃
人口	· 人口密集地域에서 멀리 떨어질 것	
國土利用計劃	· 農地, 港灣, 文化財等 政府의 綜合計劃과 相衡되지 않을 것	
敷地面積	· 約 100萬坪	900MW 4機基準
非居住地域	· 放射線被曝線量(2時間以內) · 全身25rem, 甲狀腺300 rem	650m
低人口地帶	· 放射線被曝線量(30日以內) · 全身25 rem, 甲狀腺300 rem	5km

3. 安全規制 및 技術基準

3.1 安全規制

原子力發電所의 安全對策에 關한 基本的인 思考方式은 첫째 事故를 일으키지 않고 安全하게 原子爐를 平常運轉할 수 있도록 維持를 하여

야 하고 둘째 萬一의 경우 事故가 發生하였다 하더라도 그 事故에 대한 영향을 最少限으로 防止하고 一般大衆에게는 被害를 주어서는 않된다. 原子爐에 關한 安全問題를 多角的으로 다루어 段階的으로 安全을 確認하여야 한다. 이렇게 하기 위하여는 安全問題를 하나의 「시스템」으로 보고 安全性確保를 다루어야 한다.

(1) 安全基準의 設定

첫째 設計目標가 되는 安全基準을 定하여야 한다. 여기에는 安全設計基準, 敷地基準, 放射線防禦安全基準, 環境基準등 關聯基準의 制定이 매우 重要하다.

(2) 安全設計의 强化

原子力施設의 設計에서 모든 安全基準을 滿足시킬 必要가 있지만 어떻게 하면 安全性을 增大시킬 수 있나 하는 問題를 設計者의 立場에서 努力하여야 한다.

(3) 安全評價에 의한 確認

原子力施設의 設計는 獨立的으로 第三者가 平常時 및 事故時의 施設周邊에의 影響을 再評價하여 安全性을 確認하도록 되어 있으며 原子力施設의 設置에 있어서도 事前에 敷地의 環境評價를 하며 發電所壽命期間동안 계속 調査分析을 하여야 한다.

(4) 製作建設중의 品質保證

原子力施設의 系統, 機器, 部品들이 設計대로 製作 建設되고 있나를 確認하기 위하여 工程中에 많은 試驗과 檢査가 進行된다.

(5) 稼動期間中의 性能確認

運轉開始 후에도 系統과 機器가 所定의 性能을 保有하고 있나 隨時確認한다. 이를 위하여 數많은 定期的試驗과 稼動期間中檢査가 實施된다.

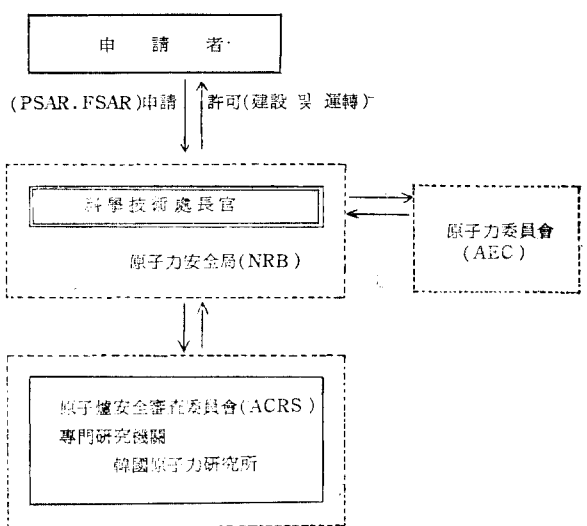
原子力發電所의 安全規制는 國家의 責任下에서 이들의 安全性確保에 대한 努力이 遂行된다. 이를 위하여는 (1)에서 말한바와 같이 安全基準을 制定할 必要가 있다. 安全基準에는 大綱을 規制하는 "基準"(Criteria) 設計作業目標를 規定하는 "標準"((Standard) 및 具體的인 細目을 定해주는 "코드"(Code)등이 있다.

原子力發電의 實用期를 맞이하여 發電所爐의 基數가 增加함에 따라 이들 安全基準을 補完 내지는 整備擴充할 必要가 생기게 된다. 그 理由로써는 첫째 機數가 增加함에 따라 安全規制를 效率的이고도 適格하게 遂行하자면 可能한 限 많은 安全基準이 定해져 있는 것이 바람직하다. 둘째 퍼브릭 액셉탠스(Public Acceptance)를 위해서도 原子力安全에 대한 國家的인 考慮를 安全基準의 形式으로 規定할 必要가 있다.

3.2. 安全審査

一般大衆의 健康과 原子爐의 安全性 確保를 위하여 우리나라 미국 일본등 여러나라에서는 原子力發電所建設許可와 運轉免許를 關係當局(韓國—科學技術處, 美國—原子力規則委員會, 日本—產業通商局)으로부터 關聯 規則 및 技術基準에 立脚한 原子力施設의 安全審査를 表 4와 같은 節次를 밟게 된다.

表 4. 安全審査節次



PSAR: Priliminary safety Analysis Report
FSAR: Final Safety Analysis Report
NRB: Nuclear Regulatory Bureau
AEC: Atomic Energy Commission
ACRS: Advisory Committee on Reactor Safety

우리나라 에서는 原子力施設의 法規制에 대하여 唯一한 責任을 지고 있는 政府行政機關은 科學技術處이다. 原子力發電所의 許可節次는 建設前에 遂行되는 建設許可와 施設의 建設이 거의

終了되는 時期 即 核燃料裝塡前에 遂行되는 運轉免許로 2 段階로 分類된다.

(1) 建設許可

原子力發電所의 建設段階에서는 建設許可를 얻기 위하여 「原子爐의 建設 및 運營管理등에 關한 規定」에 立脚하여 所定의 申請書를 提出하여야 한다. 同 申請書는 一般的인 事項과 技術的인 事項으로 되어 있으며 後者에 關한 것으로는 豫備安全性分析報告書(Preliminary Safety Analysis Report: PSAR)로써 發電所敷地의 安全評價, 核蒸氣發生系統(Nuclear Steam Supply System:NSSS)에 대한 構造, 構成機器, 系統等의 說明內容과 또한 事故解析에 대한 假定 評價內容等이 記述되어 있다.

(2) 運轉免許

施設의 建設이 거의 完了되는 時機 즉 核燃料裝塡前에 運轉許可申請을 하게되며 必要한 技術的인 提出書類는 建設許可段階 때와 類似하다. 즉 PSAR대신에 FSAR(Final Safety Analysis Report)가 되며 그 內容은 建設許可 段階以後에 얻어진 情報등을 基礎로 하여 安全設計 및 安全解析에 대한 詳細記述을 하여야 하며 特히 發電所의 運轉指針 放射線의 防禦指針 運轉者資格指針도 包含되어야 한다.

(3) 審 査

電氣事業者는 建設許可段階의 PSAR 및 運轉免許段階의 FSAR의 關係書類를 當局에 提出할 때 PSAR 및 FSAR에 대한 專門機關의 安全評價書(Safety Evaluatin Report)를 同時에 提出하도록 規定 되어 있다.

申請書를 接受받은 關係當局(NRB)는 同報告書(PSAR, FSAR 및 安全評價書)에 대한 評價를 獨自的으로 하고 또한 諮問機關인 原子爐安全審査委員會(ACRS) 및 韓民原子力研究所의 安全審査評價書를 別途로 받게 된다. 科學技術處長官의 原子力分野 諮問機關인 原子力委員會(AEC)는 安全審査評價書등을 綜合審議하여 發電所建設 및 運轉에 대한 認許可發給의 最終諮問을 하게 된다.

3.3. 技術基準

原子力發電所의 設計, 製作, 試驗 및 稼動에 있어서 標準化에 이바지할 수 있는 活動을 우선적으로 支援, 奬勵하는 政策을 써야 하겠다. 標準化에는 많은 利點이 同伴하게 된다. 즉 大衆의 健康 安全 및 環境에 대한 保護를 增大시키고 信賴性 稼動率 및 이로인한 全般的인 經濟性을 향상시키며 安全性關聯研究의 촉진, 産業體와 政府의 資源利用率의 增大등에 寄與한다. 標準化를 推進하기 위하여는 適用될 수 있는 技術基準 및 規格의 體制를 開發하고 安全性分析報告書(PSAR, FSAR) 環境報告書등 建設認許可申請에서 提出되는 資料들의 形式과 內容의 標準化가 있고 發電所의 設計와 그 發電所의 引受如否를 評價하기 위한 解析方法 및 節次의 標準化를 들수 있다.

認許可過程에서 認定된 規格을 使用하면 關係當局 뿐만아니라 對象, 設計者, 申請者 모두에게 유리하다. 規格으로 커버되는 特別한 事項의 安全性의 側面은 현안의 申請에 구애됨이 없이 이미 규정에 따라 完全한 檢討가 이루어지고 있음으로 政府當局에서 認定된 規格에따라서 設計되었다면 安全性은 增加되고 基本的인 安全問題는 이미 解決된거나 마찬가지가된다. 미국의 경우 標準規格은 專門機關이나 規格制定機關에 의해 開發되어, American National Standards Institute(ANSI)의 承認을 받으면 美國原子力規制委員會가 이들을 原子力發電所에 적용할 것인가를 철저히 평가하게 된다. 그리고 規制委員會의 規制要求條件에 부합되는 規格들은 規制法規 및 또는 規制指針속에 적당하게 추가된다.

原子力發電所의 建設 및 運轉免許申請에 있어서 우리나라는 規制基準이 아직 未備되어 있는 점이 많아 아직도 미국의 重要한 法, 規制法規 標準 및 코—드를 그대로 適用하고 있는 부분이 많다. 이들에 대한 그 內容을 記述하면 다음과 같다.

(1) 美國原子力委員會의 法과 規制法規
(NRC Rules and Regulations)

聯邦規制法規(Code of Federal Regulation:

CFR)中 Title 10은 모든 NRC의 活動에 있어 基本이 되는 原子力法令文書이다. 다음 'Part' 들은 電氣事業者들이 原子力發氣所를 建設하고 運轉하는데 重大한 影響을 미치는 것 들이다. 그 中 重要한 規制法規는 다음과 같다.

(가) Title 10 CFR, Part 50: Licensing of Product and Utilization Facilities.

原子力發電所와 關聯된 法과 法規中 가장 主要한 part이며 免許의 分類, 免許申請書의 內容, 免許取得의 前提條件과 그 免許를 지속하기 위한 要求條件등을 提示하고 있다. 특히 重要한것으로는 豫備安全性分析報告書(PSAR)와 最終安全性分析報告書(FSAR)에 대한 要求事項이다.

(나) Title 10 CFR, Part 20 Standard for Protection Against Radiation.

電氣事業者 從事者와 一般大衆을 原子力施設에서 發生하는 放射線으로부터 保護하는 데 要求되는 規制基準이다.

(다) Title 10 CFR, Part 100 Reactor Site Criteria

原子力發電所敷地의 妥當性을 評價하고 原子爐의 假想事故에 따른 放射線障害度를 考慮한 規制基準이다.

(3) 工業規格 및 技術基準

美國原子力規制委員會에서는 정도의 차이는 있지만 原子力發電所에 가장 많이 適用되는 工業規格과 技術基準들 中 安全性과 品質에 關聯된 重要한 것들은 다음과 같다.

(가) ASME Boiler Pressure Vessel Code.

이 技術基準은 오랫동안 動力, 化學, 石油工業分野에 있어서 設計를 위한 標準이 되어 왔다. 11個의 主要 Section과 그에 다른 附錄(Appendix)으로 되어 있는 데 그 中 다음 部分만이 原子力發電所에 直接 適用되고 있다.

- Section Ⅱ, Material Specifications.
- Section Ⅲ, Naclear power plant Components.
- Section Ⅴ, Nondestructive Examination.
- Section Ⅷ, Pressure Vessel, Alternative Rules for Pressure Vessels.
- Section Ⅸ, Welding, Brazing Qualifications.
- Section Ⅺ, In-service Inspection of Nuclear Power Plant Components.

(나) ANSI-標準

ANSI에서 여러 分野에 걸친 많은 規格들이 ANSI-Standards로 制定되고 있다. 이들은 ANSI에 依해 開發된 것이다, 다른 專門機關에서 開發되어 ANSI의 承認을 받은 것이다.

- ANSI N45.2 Quality Assurance Program Requirement for Nucrlear Power Plants.
- ANSI Series Standards.

(다) IEEE-標準

IEEE는 1970年 原子力關係規格의 開發에 있어서의 IEEE의 도든 努力을 計劃, 構成, 促進調整하기 위하여 原子力規格에 과한 合同委員會를 만들었고 그 후 많은 原子力規格을 制定하고 있다. 重要한 것으로는 다음과 같은 것이 있다.

- IEEE Standards 729-Criteria for Protection System for Nuclear Power Generating Stations.

(3) 其 他

이상에서 說明한 法과 法規 및 技術基準과 規格 이외에도 規制要求事項解釋과 認許可시에 必要한 資料를 準備하는 데 도움을 줄수있는 많은 文書들이 있으며 이 文書는 原子力發電所 所有主가 NRC의 要求事項에 부응할 수 있는 方法을 提示 하거나 NRC의 意想를 反映한 指針書가 있다.

(가) NRC 規制指針書

(NRC Regulatory Guides)

規制法規上 細部指針이 確立되지 않은 分野에 대해 NRC가 만든 一連의 規制指針書를 말하고, 그 內容은 安全性과 관련된 問題에 대하여 規制當局과 原子爐安全審査委員會(ACRS)가 수락할 수 있는 解決策들을 記述하고 있으며 原子力發電所의 安全規制過程에서 자주 發生하는 問題들을 廣範圍하게 다루고 있다.

(나) 安全分析指針書

(Standard Review Plan)

이 指針書은 規制當局(NRC)이 安全分析報告書(PSAR, FSAR)를 檢討하는 데 있어서 主要觀點, 檢討節次, 合格基準등을 安全性分析報告書의 各節 및 章과 對應하여 만든 評價指針書가 된다.

4. TMI—2號機 原子爐事故

1979年 3月 28日 美國 東部 Pennsylvania州 Middle Town市 近郊에 있는 TMI-2號機 原子力發電所(電氣出力 95.9萬kW)는 出力 98%로 運轉中이 었다. 試驗運轉開始 이래 一週年을 經過하였다. 午前 4時(美國東部時間) 突然 警報가 울리기 시작하였고 數많은 赤信號가 點滅하기 시작하면서 事故가 連續的으로 發生하였다.

금번 發生한 TMI事故는 數많은 要因이 겹쳐서 事態를 深刻하게 만들었다. 事故經路의 概略은 表 5와 같다.

표 5. TMI事故經過

(二次給水停止)
↓←……補水給水系不作動
(一次系溫度壓力上昇)
↓
(Relief valve開)
↓
(原子爐停止)
↓←……Relief valve계속 열림
(爐心部蒸氣水素發生)
↓
(ECCS作動)
↓←……Sump pump作動 補助給水作動
(ECCS停止)
↓
(ECCS再作動)
↓
(一次系飽和狀態)
↓
(一次循環pump停止)
↓
(溫度計指示不能)
↓←……Relif valve作動回復
(格納容器內H_2爆發)
↓
(一次循環pump再作動)
↓
長期化

事故原因 중에서도 運轉員의 訓練未熟에 의한 機器의 操作과 重要한 系統機器의 設計不良에 의한 誤動作을 들 수 있다.

그 狀況을 보면 다음과 같다.

i) 二次系主給水停止
ii) 補助給水系給水不能
iii) 加壓器릴리프 밸브 開閉不能
iv) 加壓器水位計 指示不能
v) ECCS(高壓注入系)一時停止
vi) 一次循環펌프 一時停止
vii) 蒸氣發生器(S.G)破損
viii) 格納容器살푸 펌프作動 開始

等을 들 수 있다. i)과 ii)過程이 겹침으로 S.G에의 二次給水가 完全停止가 되었다. 이런 事態는 設計 당시는 생각하지도 못하였고 따라서 이에 對應하는 安全防禦系統은 없다. 二次給水가 停止하면 一次系의 餘熱을 除去못하게 되어 溫度가 急上昇 原子爐는 緊急停止되나 原子爐心의 破損은 免할 수가 없다.

iii)의 릴리프 밸브가 故障이 생겨 自動的으로 닫혀지 지 않으므로 事態가 惡化되었으나 한편으론 밸브가 正常的이어서 設定壓力 부근에서 開閉를 반복하게 되어 一次系壓力이 降下하지 않기 때문에 ECCS가 作動하지 않게 되어 事態은 더욱 惡化되었을 것이다. 壓力低信號에 의해 ECCS가 自動的으로 作動한 後 加壓器水位計가 指示不能(iv)이 되어 運轉員은 ECCS를 手動으로 停止하였다(v). 加壓器水位計는 一次系水位를 判斷하는데 必要하며 水位計의 指示不能으로 高壓注入系를 停止한 것은 當然한 措置이다. 금번 事故는 過渡狀態下에서는 水位計가 一次系의 水位를 正確히 反映할 수 없다는 것이 判明되었다. 이것은 計測系統의 設計不良에 의한 欠陷이며 運轉員의 責任은 아니다. 高壓注入系는 二개의 系統이 있는 데 同時에 停止한 것은 30~90秒의 時間사이 였다. 원래 高壓注入系는 一系統만으로도 充分히 機能을 할 수 있도록 設計되어 있어 一分程度의 中斷이 事態를 重大化시켰다고는 볼 수 없다. (vi)에서의 一次循環펌프停止는 펌프에 空洞渦流(Cavitation)가 發生하였기 때문이다. 즉 펌프가 破壞되어 보다 大規模의 一次冷却水喪失을 發生하게 되어 破局的인 事態를 招來할 憂慮가 있었기 때문이였다. (v)(vi)에 대하여는 一部에서 運轉員의 誤操作으로 判斷되

고 있다. 그러나 一連의 經過에 의한 判斷에서 보면 오히려 冷靜한 操作으로 볼 수도 있다. (vii) (viii)은 放射能을 周圍環境에 放出하는 經路의 一部로 되었다. S.G細管의 破損은 平常運轉시에도 빈번히 發生되어 TMI의 경우와 같이 一双이 破損되는 것은 考慮할 수도 있다.

섬프 펌프는 格納容器內에 넘쳐 흐른 一次冷却水를 自動的으로 補助建物에 퍼냈다. 그러나 5時間後 內壓上昇에 의한 自動隔離를 할 수 없었던 것은 格納容器隔離系의 設計欠陷이 있었던 것이 明白한 事實로 밝혀 졌다. 以上과 같이 TMI 事故의 一連의 經過에는 많은 要因이 關係되고 있다. 原子力發電所가 매우 複雜한 系統으로 構成되어 있는 이상 事故時에는 많은 要因이 內包되는 것은 當然하지만 많은 要因이 重疊되었다고 하여 事態가 重大하게 되었다고는 볼 수 없다. 安全防禦裝置의 第一의 目的인 爐心의 破損을 防止하는 觀點에서 볼때는 (i)과 (ii)가 同時에 發生하였다는 것은 決定的인 要因이 될 수 있다. (iii)以下의 現象은 事故가 連鎖的으로 發生되는 經路 및 分岐點이 될 수 있다고 보며 爐心의 破損을 防止할 수 있는 分岐點이 아니라는 것은 明白하다.

事故가 發生하자마자 事故收拾對策을 위하여 美國議會調査團, 大統領特別調査團이 構成되어 調査에 着手하였으며 原子力委員會의 自體調査委員會(Bulletins & Orders Task Force Group, Special Inquiry Group, Special Review Group, ACRS Group)가 獨自的으로 TMI事故分析을 하였고 여러가지 勸告指摘事項들을 提起하였다. 그중에서도 Carter大統領의 TMI事故特別調査委員會報告書(Kemeny Report)은 매우 重要하다. 事故가 發生한 2週後 4月 11日 Dartmouth大學長 Kemeny博士를 主軸으로 特別調査委員會가 發足 事故의 原因分析, 事故의 深刻性結論 및 七個項目의 勸告事項을 담은 報告書가 10月 30日 大統領에 提出되었다. 七個項目의 勸告事項要旨는 다음과 같다.

(1) 原子力規制委員會의 改革

現在 5人制의 原子力委員會를 廢止하고 獨立된 行政機構로 改編 原子力安全 監視委員會를 設置 年1回 大統領에 原子力發電所의 安全性確保에 대한 報告를 할 것.

(2) 電力事業者 및 製造業界

上級經營陣에 安全性檢討團을 設置할 것을 勸誘하며 原子爐運轉員의 賃金水準을 높이고 監督官을 配置할 것.

(3) 運轉員訓練

運轉員 및 同監督者를 訓練 하기위한 새로운 機關을 NRC를 대신하는 새로운 機構에 設置할 것.

(4) 技術評價

運轉員의 事故防止를 신속히 하고 事故發生時에도 直時이에 對備할 수 있는 施設設備에 대한 再檢討가 必要하다.

(5) 從事者 및 大衆의 健康과 安全

放射能의 健康에 미치는影響에 대한 廣範圍하고도 組織的인 研究를 繼續實施할 것.

(6) 緊急事態對備

事故에 對備한 緊急事態計劃書를 作成하여 保健關係者 電力會社關係者들이 放射能被曝에 대한 有機的인 行動을 明確히 區分 熟達시켜야 한다.

(7) 大衆에의 弘報活動

關係當局과 電力會社는 放射能危機가 發生時 大衆에게 適時에 正確한 情報를 알려야 하고 報導機關은 專門要員을 顧用 訓練을 시킬 必要가 있다.

5. 安全性確保의 改善

Three Mile Island(TMI-2號機)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 문제점을 제시해주고 있다. 事故의 原因分析과 評價에 따르면 앞으로의 安全性確保는 短長期로 區分 再整備되어야한다고 보고 있다.

5.1. 短期計劃

(1) 運轉員의 訓練强化

原子爐過渡現象에 대한 充分한 理解와 正確한 判斷을 내릴 수 있도록 再敎育이 必要하다. TMI

事故에서는 加壓器의 水位指示計가 높게 나타난 것은 爐心內의 氣泡가 發生한 것을 마치 一次系의 液相水位가 높은 것처럼 誤判하게 된것이 큰 잘못이었다. 이런 現象은 가장 基本的인 物理的現象인 것이다. 現在 運轉員을 위한 "시뮤레이터"(Simulator)敎育을 많이 하고 있지만 一次系에서의 氣一液相으로 된 狀態에서의 眞의 一次系水位指示를 判讀할 수 있는 敎育은 할 수 없었다. 또한 앞으로는 高級技術顧問을 各發電所마다 中央制禦室(Control room)에 固定配置시켜 非常事態시 諮問에 應하도록 해야 한다.

(2) 事故頻度와 人間工學

TMI事故전에는 事故頻度가 가장 낮은 冷却材喪失事故(LOCA)에 대한 硏究가 活發히 進行되어 왔다. 즉 一次系의 配管兩端破裂, 電力喪失 및 單一故障事故가 겹쳤을 때는 爐心의 溶融까지 몰고갈 수 있는 設計基準事故(Design basis accident)로 보고 그 發生確率은 10^{-7}~10^{-8}/年으로 매우 發生頻度가 稀薄하다고 보았고 이에 대한 工學的인 安全設備가 마련되어 있다. 그러나 TMI事故는 릴리프 벨브의 고장(事故의 主原因)確率이 10^{-2}/年, 運轉員의 誤作動(高壓注入系의 閉鎖)確率이 10^{-2}/年 運轉員의 誤判(溫度 壓力 放射能準位의 誤判讀)의 確率이 10^{-2}/年으로 綜合的으로 이런 種類의 TMI事故의 發生頻度는 10^{-6}/年으로써 設計基準事故(LOCA등)에 比하면 훨씬 자주 發生할 수 있는 頻度가 되며 不可抗力的인 事故보다 過誤로 말미암아 發生되었 던 것이다. 大統領特別調査委員會는 原子力發電所 自體는 安全하지만 이것을 運轉, 管理하는 人間이 더 不安全하였다고 報告되었다. 따라서 TMI事故 後에는 이러한 자주 일어 날 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. 美國原子力規制委員會에서는 새로운 "工學的시뮤레이터"(Engineering Simulator)로써 從來 있을 수 있는 人間過誤를 고려한 새로운 "모델"을 選定, 開發할 計劃으로써 3000 내지 5000만 $의 豫算까지 策定해 놓고 있다.

(3) 非常緊急退避計劃

原子爐의 重大事故로 因한 從事者 및 隣近住民의 退避는 事故發生에 대한 被害를 極少로 줄일 수 있는 防禦手段의 하나인 것이다. TMI 事故時는 5마일 이내의 幼兒 및 妊婦에 대하여 緊急退避를 시켰으나 앞으로는 10마일 이내의 모든 住居民은 이러한 狀況에서는 모두 退避시킬 수 있는 새로운 計劃을 마련 하고 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.

5.2. 長期計劃

(1) 中央制禦室의 再設計

原子爐의 安全運轉에서 가장 중요한 "파라메타"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내로 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 中央制禦室의 再設計를 하여야 한다. 또한 重要한 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 極少化시키는 데 가장 중요한 非居住地域(Exclusion area)의 設定이다. 從前에는 0.4마일 程度였던 것을 0.6마일까지 延長할 것을 考慮하고 있다. 우리나라처럼 國土가 狹少한 나라에서는 이 問題에 대하여 앞으로 繼續硏究가 必要하다. 또한 人口密集地帶 근처에 發電所를 세울 수는 없다. 人口分布, 人口成長추세 등을 考慮해야 한다. 또한 萬一 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

TMI事故로 因하여 核分裂物質의 유출로 放

(359페이지에 계속)