

美國의 原電事故 豫防政策

美國 NRC는 現在 稼動中이거나 新規建設될 原電플랜트에 適用할 重大事故豫防 및 縮小에 關한 細部的인 政策案을 마련하여 施行中이다. 이를 위해서는 重大事故의 性格과 結果에 對한 徹底한 研究에 의해 뒷받침 되는 規制 가이드라인의 制定이 必要하다.

重大事故豫防에 關한 政策

NRC에서 1985年 7월에 發表한 重大事故豫防에 關한 政策要綱을 보면 稼動中인 모든 美國의 原電플랜트들은 Idcor와 NRC의 重大事故危險度 分析의 對象이 되었던 基準플랜트와 類似한 경우에는 既施工한 것 外에 더 以上 改造를 하지 않아도 充分한 安全度를 갖추고 있는 것으로 看做한다고 되어있다.

그러나 이러한 플랜트의 比較檢討에 있어서는 各個 플랜트의 重大事故 豫想危險도가 基準플랜트와 같다는 것을 確認할 것을 要求하고 있다. 따라서 어떤 必要한 改造를 위한 補完政策은 勿論이고 各個 既存플랜트 檢査를 위한 体系的인 方法을 提示하는 것이 NRC의 重大事故 豫防프로그램의 一部가 되어 있다.

이 外에 이 프로그램에는 앞으로의 플랜트에 適用될 確率論的인 危險度評價(PRA)에 對한 가이드라인 提示, 格納容器시스템의 性能基準 및 規則變更과 關聯된 Source Term의 設定, 外部事象의 取扱 등의 事項이 包含돼 있다.

既存플랜트에 對한 檢査

重大事故에 對한 플랜트의 脆弱性에 關한 体系的인 檢査는 NRC에서 一般的인 公文形式으로 發給되는 가이드라인에 따라 電力會社에서 實施하게 될 것이다. 이 公文은 빨라야 今年 3月中에 發給될 豫定이다.

이 檢査結果는 NRC에 報告될 것이며 나머지 關聯書類는 監査받을 수 있는 形式으로 作成하여 各 電力會社에서 保管하고 NRC에서는 어느 程度의 監査가 必要할 것인지를 나중에 決定할 것이다.

萬若 脆弱點이 發見되면 이에 對한 是正措置와 施行計劃을 NRC에 提出해야 한다.

NRC에서는 電力會社가 會社自體의 獨立的인 監査班을 設立할 것은 要望하고 있으며 NRC는 必要時에 플랜트 性能을 點檢하기 위해 限定된 監査를 實施하게 될 것이다.

이 公文은 또한 NRC가 받아들일수 있는 플랜트檢査方法도 提示할 것이다. 現在 NRC 委員들은 Idcor에서 開發한 「플랜트의 個別的인 檢査方式」(IPE)와 레벨 2 또는 3의 PRA를 包含해 다섯가지의 可能性 있는 方法을 考慮中이며 레벨 1 PRA는 또한 IPE와 關聯시켜 適用될 것이다. 單純化된 PRA의 形式도 適用할 수 있으나 이러한 경우에는 NRC는 事前承認하기를 願할 것이며 이 外의 다른 檢査技術에 關한 提案도 기꺼이 檢討할 것이다.

이 公文에는 添附書類로써 適用할 수 있는 基準플랜트의 評價資料가 包含돼 있으며 이 公文에 明示돼 있는 가이드라인과 基準은 電力會社들이 어느 程度까지 自體檢査를 할 것인지와 脆弱點으로 取扱되는 限界를 提示할 것이다.

各플랜트의 型式에 對해서는 아주 制限된 몇개의 가이드라인이 提示돼 있다. 例를 들면 Mark I 格納容器를 갖추고 있는 BWR에 對해서

는 8가지의 가이드라인이提示돼 있는데 이것이 第一 많은 편이다. 이 8가지의 가이드라인의項目은 다음과 같다: 格納容器 保全, 抑制푸을 保守, 隣接시스템의 冷却材喪失事故 發生頻度の 最少化, ATWS 事故의 減少, 發電所停電事故의 減少, 格納容器熱除去機能 喪失事故의 減少, 原子炉容器的 減壓性能 改善, 補助 시스템間的 相互依存度 調査 등이다.

原子炉容器 減壓性能 改善을 위한 基準에는 事故時의 自動減壓 能力, 減壓裝置의 手動調整을 위한 運轉員에 대한 訓練 및 節次, 事故時의 自動減壓裝置 動作狀態에 關한 事項들이 包含돼 있다.

레벨 2 또는 3 PRA에 該當되는 플랜트나 또는 IPE 試驗對象 플랜트의 檢査에는 6~12個月이 所要되며 그 外의 플랜트에 대해서는 12~18個月이 걸린다.

將來 建設工事に 있어서의 PRA의適用

美國의 建設許可規程은 앞으로 建設될 모든 플랜트에 대해서 PRA 評價를 施行할 것을 規定하고 있다. 그러나 PRA 評價에 있어 무엇을 해야 할 것인가에 대해서는 提示된 가이드라인 이 조금밖에 없다. 따라서 NRC에서는 Nureg 報告書를 發給할 豫定인데 여기에는 重大事故에 대한 評價基準으로서 決定的인 必須要件과 適切한 確率論的인 檢討와의 聯關性, PRA 評價의 範圍와 最少限의 內容을 概說하고 PRA 評價資料를 規制過程에서 어떻게 活用할 것인가에 대해 說明이 돼 있다. NRC의 1986年 中盤期의 安全度 目標에 關한 政策要綱은 重大事故豫防과 輕減側面에서 認可基準을 마련하는데 適用된다.

安全度の 目標로서 NRC는 어떠한 重大한 炉心損傷事故도 美國의 原電플랜트에서는 發生하지 않는다는 合當한 保證을 要求하고 있다. NRC에서는 重大한 炉心損傷事故 發生頻度の 目標을 年間 炉當 10萬分の 1 以下로 잡을 것을 期待

하고 있다.

이 外에 NRC는 將來플랜트의 格納容器 性能에 대한 基準을 마련할 豫定이다.

NRC의 規制適用에 關한 가이드라인은 「原子炉事故로 因한 放射性物質의 大氣로의 大量放出의 全体的인 平均 發生頻度は 年間 百萬分の 1 以下이어야 한다」고 되어 있다. 그러나 NRC는 「大量放出」에 대한 定義를 提示해야 한다. NRC 委員들은 이 가이드라인은 格納容器的 早期의 破損事故와 큰 格納容器 Bypass 事故의 發生確率에 매우 낮고 格納容器로부터 放出되는 가스가 濾過되는 경우에 該當된다고 하였다.

Source Term과 聯關되는 變更

Source Term과 聯關되는 規則變更에는 實際的인 Source Term을 認許可節次에 導入하는 것과 單純化된 Source Term의 設定 등이 包含된다.

大型乾式格納容器 PWR의 單純化된 Source Terms, 格納容器로의 放出量

	(破損時의 容器壓力)		
	高 壓	中 壓	低 壓
最初 1 時間			
Kr, Xe	1.0	1.0	1.0
Cs, I	0.3	0.45	0.6
Te	0.25	0.28	0.3
Sr, Ba	0.05	0.05	0.05
Ru, Ce, La	2.5×10^{-8}	2.5×10^{-8}	2.5×10^{-8}
1~3 1/2 時間 *			
Kr, Xe, Cs, I	0		0
Te	0.35		0.06
Sr, Ba	0.05		0.25
Ru, Ce, La	0.00 1		0.03

* Cavity가 채워져 있을 때는 모든 數值를 3으로 나눌것.

註)

- 放出時間: 原子炉冷却材시스템으로 부터 (1 時間), 炉心 / 콘크리트 相互作用으로 부터 (1~3 1/2 時間)

- 放出率은 放出時間中 一定함.

- 放出量은 原子炉 Cavity가 채워져 있든, 없든 關係없이 破損時의 容器壓力(高, 中, 低壓)에 따라 다름.

短期的인 規制變更으로는 PWR의 格納 容器 Spray 注入時에 化學藥品을 添加하지 않는 것, 核分裂生成物의 BWR 抑制푸울에서의 Scrubbing에 대한 保障, 單純化된 Source Term를 規制 가이드라인에 包含시키는 것 등이 包含된다. (이 規制가이드라인들은 BWR와 PWR에 同一한 가이드라인들을 適用할 수 있도록 綜合된다)

中期的인 規制變更은 格納容器的 높은 許容漏 出率, 制御室의 環境改善, 設備周圍 環境의 改善, 安全性 檢討, 緊急時 計劃 등과 關聯이 있는 것들이다.

長期的인 規制變更은 플랜트敷地 選定과 事故 모니터링과 關聯이 있는 것들이다.

外部 事象

Idcor와 其他, 이와 類似한 프로그램은 主로 内部的인 事象을 取扱해 왔다. 外部 事象의 取扱도 거의 같은 過程을 밟으나 1年 뒤늦게 進行된다.

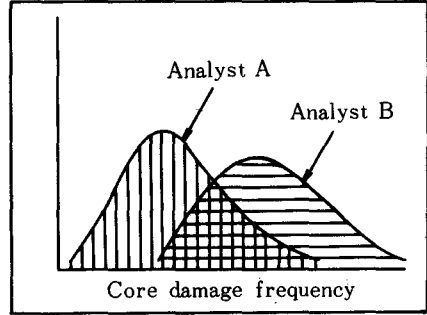
發生確率에 낮은 事象들은 考慮對象에서 除外될 것이다. 安全度 目標에 관한 NRC의 가이드라인은 發生確率에 낮은 事象들을 規定짓는 基準이 된다.

外部事象에 대한 計劃의 第1段階는 以前の 檢討內容을 再調査하고 脆弱性研究를 위해 外部 事象들을 分類하는 것이며 이 段階는 1987年 9月까지 完了돼야 할 것이다.

策2段階는 脆弱性研究를 위한 計劃을 樹立하고 이러한 研究들을 遂行하도록 要請하는 것이며 이 段階는 1988年 4月까지 完了되어야 한다.

格納容器的 加壓試驗

이글은 昨年 後盤期에 美國의 Sandia 國立 研究所의 Surtsey 設備에서 始作된 試驗中 重大 事故發生時 原電플랜트에서 일어나는 現象들을 運轉員들이 가장 잘 理解할 수 있도록 하기 위



確率論的인 危險度評價의 問題點은 分析者에 따라 結果가 많이 달라진다는 것이다. NRC에서는 이 問題에 대한 解決方案을 摸索해 왔으며 한 Nureg 評價書를 發給하여 輿論聽取하기를 希望하고 있다.

해 마련된 一連의 試驗內容이다.

Surtsey 設備는 直接的인 格納容器 加熱狀態를 模倣한 것으로 이러한 加熱狀態는 最惡의 事故時에 格納容器保全에 큰 危脅이 되는 것이다.

Surtsey 設備에서의 研究 目的은 3500~4500 °F (1926~2482°C)의 炉心殘骸, 가스, 蒸氣의 熱 및 化學的 에너지가 格納容器構造物을 損傷시킬 수 있을 程度로 壓力이 增加할 수 있는지 與否를 確認하는데 있다.

1963年 海底火山爆發로 아이슬랜드의 바로 南쪽에 形成된 1/4마일 크기의 섬의 이름을 딴 Surtsey 設備는 위, 아래가 Dome 모양의 鋼製容器이며 높이 34ft (10.2m), 直徑 12ft (3.27m)이다. 이 크기는 대충 大型乾式格納容器的 1/10 크기에 該當한다. 이 속에는 典型的인 BWR 壓力容器와 그 바로 밑에 位置한 콘크리트 Cavity의 1/10縮尺의 模型이 들어있다. 여기서 콘크리트 Cavity는 壓力容器的 底部에 熔接된 計裝用鋼管의 通路가 되는 것이다.

앞으로 2年間 Sandia 研究所의 研究員들은約 180 파운드 (82kg) 무게의 溶解殘骸푸울模型을 包含해 11회에 걸친 一連의 Surtsey 試驗을 통해 格納容器的 直接加熱事故 시나리오를 實驗할 것이다.

이事故進行狀況을 알아내기 위한 過去의 實驗은 훨씬 小規模(1/30 縮尺)이고 Surtsey 設備과 같은 設備도 없이 實施된 것이다. Surtsey 設備은 副作用을 捕捉하도록 돼 있으므로 더 正確하게 測定, 分析할 수 있다.

「溶解殘骸와 Aerosol의 作用에 관한 實相을 把握하기 위해서는 模型의 크기를 可及的 實際化하는 것이 大端히 重要하므로 Surtsey 設備의 큰 規模는 格納容器內部에서 가장 實際的인 構造物을 模倣할 수 있는 能力을 賦與하는 것」이라고 Surtsey 프로젝트 責任者 Bill Tarbell 은 말하고 「이러한 큰 規模는 우리로 하여금 炉心殘骸를 格納容器內로 運搬할 때 이로 인한 影響을 알수 있도록 하며 또한 큰 規模는 炉心殘骸가 갖고 있는 에너지를 더 典型的으로 大氣에 傳達할 수 있는 機會를 주는 것」이라고 하였다.

이 Surtsey 設備은 또한 研究員들로 하여금 이러한 種類의 事故로 인한 Aerosol 中에 含有된 放射性物質의 量을 計算할 수 있게 한다고 Tarbell 씨는 말했다.

Sandia 研究所의 最初의 Surtsey 試驗은 原子炉壓力容器 模型을 600Lb/in²까지 加壓 하고 이 模型炉의 44파운드(20kg)의 燃料溶解模型物(鐵 55%, 알루미늄 45%)을 4000°F (2205°C)까지 加熱하는 것이었다.

豫備的인 分析結果 既存의 컴퓨터 모델이 炉心殘骸로 부터 壓力容器空間에 傳達된 熱 및 化學的인 에너지를 正確히 豫告했던 것으로 나타났으나 또한 매우 많은 量의 溶解物質이 豫想보다 많은 量의 Aerosol을 發生시킨 것으로 나타났다. 「우리들의 繼續되는 實驗中에서 이러한 事實이 確認된다면 이는 매우 重要한 일이다. 왜냐하면 이것은 放射性 Source Term에 影響을 주기 때문」이라고 Tarbell 씨는 말했다.

Sandia 研究所는 原電플랜트의 格納容器的 效能性研究를 위해 1987 會計年度中에 約9百萬弗의 研究費를 받게 될 것이다. 이 研究는 NRC에서 支援하는 큰 作業이지만 또한 國際的인 後

援을 받는 重大한 燃料破損事故에 관한 研究事業의 一部이기도 하며 여기에는 美國, 日本, 台灣, 이탈리아, 캐나다, 西獨, 스웨덴, 네델란드, 벨기에, 스페인, 韓國 등이 包含돼 있다.

安全性 研究

TMI事故以前에 이미 Sandia 研究所의 技術者와 科學者들은 安全問題를 研究하는데 있어 그들의 獨特한 設備를 活用하는데 있어 專門家가 되어 있었다. 예를 들어 円型炉心研究用 原子炉에서의 試驗은 冷却材喪失事故(10ca)中에 燃料棒이 破損되는 樣相을 밝히고 特殊한 映像裝置를 통해 畫面으로 나타내기 위해 긴 過程을 거쳐왔다.

Sandia 研究所의 最近의 試驗은 TMI事故로 具体化된 安全問題에 力點을 두고 있다. 이 事故에서 나타난 한가지 重要한 問題는 格納容器 保全 問題였다. 「예를 들면 우리의 研究는 NRC로 하여금 重大事故發生時 格納容器가 效果가 있는지 與否를 決定할 수 있도록 하기 위한 技術的인 基準을 마련하는 것」이라고 이 研究所의 原子炉安全性 研究部長인 Walker 博士는 말하고 「이것은 우리로 하여금 可能한 限, 實際的인 條件下에서 物理的인 現象을 研究하도록 하고 格納容器的 作用을 信賴性 있게 豫測할 수 있는 컴퓨터·코드를 新規 開發 내지 改善하도록 한다」고 하였다.

國際的인 原電事業체들은 Sandia 研究所 試驗으로 부터 많은 것을 배웠으며 이 試驗들은 Flame, Fits, Large-Scale Melt Facility 라는 이름의 現場에서 過去 10年間 實施돼 왔다.

「우리는 Basement를 통해서 溶解되는 溶解炉心에 관한 古典的인 China Syndrome 보다 더 發生可能性이 많은 것으로 보이는 安全性에 대한 危脅을 規定지었다」고 Walker 部長은 말하고 「安全을 危脅하는 것은 構造物 콘크리트와, 冷却材喪失事故發生時의 熱과 爆發性 水素

의 發生으로 因한 溶解炉心殘骸와의 相互作用 이다. 萬一 過度한 量의 水素가 格納容器內에 果積되고 어떠한 일로 이 水素가 點火된다면 그 格納容器는 甚한 試驗을 받을 것이다"라고 하였다.

이 問題를 解決하기 위한 몇가지 Sandia 研究所 實驗으로 해서 이제는 NRC도 一部 플랜트 設計에 있어서는 格納容器內의 水素累積量이 危險한 濃度에 이르기 前에 이것을 体系的으로 減少시킬수 있는 能力을 갖추게 해야 한다고 말하고 있다.

蒸氣爆發 即 冷却材 물속에 溶解된 炉心殘骸가 떨어짐으로써 激烈하고 急速하게 蒸發하는 現象을 調査해 본 結果 複雜하고 때로는 當惑스러운 結果가 나왔다.

「우리는 이제 蒸氣爆發이 우리가 몇年前에 생각했던 것 보다 發生可能性이 더 많은 것으로 믿는다」고 Walker 部長은 말하고 「그러나 格納容器를 破損시키기에 充分한 에너지를 가지고 蒸氣爆發을 일으키기에 必要한 條件을 만든다는 것은 애당초 생각했던 것보다 더 어려울것 같다」고 했다.

格納容器 破損要件

Sandia 研究所는 早晚間 또다른 獨特한 安全 試驗設備를 公開할 豫定이다. 이 試驗設備는 鋼鉄Lining 이 돼있는 鉄筋콘크리트 構造의 格納容器의 1/6 縮尺 模型이다. 1987年의 1/4 分期中에 研究員들은 甚한 漏洩이나 破裂이 일어날 때까지 이 模型을 窒素가스로 加壓해 볼 豫定이다.

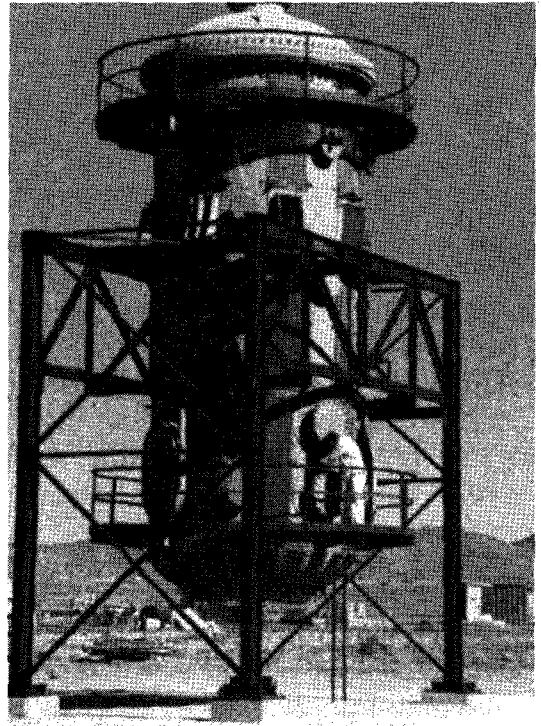
이러한 試驗이 必要한 理由는 格納容器의 設計方法은 彈力特性에 바탕을 두고 있기 때문이며 이러한 彈力特性은 重大事故時의 荷重에 대한 格納容器의 耐力를 豫測할 수 있도록 언제나 適切히 extrapolate 되는 것이 아니기 때문이다.

이러한 荷重은 材料의 降伏과 塑性現象을 가

●이제는 NRC도 一部 플랜트 設計에 있어서는 格納容器內의 水素累積量이 危險한 濃度에 이르기 前에 이것을 体系的으로 減少시킬수 있는 能力을 갖추게 해야 한다고 말하고 있다. ●

저오기에 充分한 內壓을 發生시키므로 格納容器가 危險하게 된다.

「따라서 이 研究를 推進하는 理由는 極端의 荷重을 지탱할 수 있는 格納容器의 耐力를 豫測하기 위해 高度의 複雜한 方法을 適用하게 되는데 여기에 必要한 設計데이터를 마련하기 위해서」라고 Sandia 研究所의 格納容器保全部의 Riesmann 部長은 說明했다.



Sandia 國立研究所의 Surtsey 現場에 있는 實驗用 格納容器 直接加熱設備.

Sandia研究所에서 建造中인 實驗用 1/6縮小型 鐵筋콘크리트造 格納容器. 이 設備은 高壓下에서의 格納容器的 狀態를 實驗하기 위해 使用되며 實驗時에는 設計壓力보다 15% 높은 53Lb/in²의 窒素가스로 加壓될 것이다.

略圖는 이 模型의 寸수를 나타내며 이 模型의 크기는 現在의 建造技術과 材料使用으로는 最小型의 것이다.

