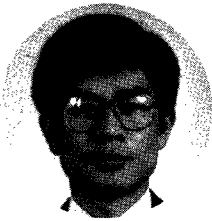


原電에 關聯된 先進國의 規制基準現況

Summary of Current Foreign Regulatory Standards

— 敷地 및 土木·構造分野를 中心으로 —



趙 良 熙 (韓國電力技術(株) 前任技術員)

1. 序 論

현재까지의 美國 및 先進 各國들의 原子力發電所 關聯 規制基準은 주로 敷地選定과 새로운 發電所 建設에 관한 事項이 主種을 이루고 있다.

그러나 현재 建設中인 發電所들이 대부분 完工段階에 있는 한편 세계적으로 새로운 發電所 建設計劃이 急激하게 減少되는 趨勢이기 때문에 今後の 規制基準 發展方向은 稼動中檢査나 資材의 Aging에 關聯된 分野 등과 같이 주로 發電所 稼動에 영향을 미치는 分野 등에 置重되어야 한다는 것이 일반적인 주장이다.

2. 敷地選定 要求條件

地質과 地震分野를 除外한 敷地選定 要求條

筆者註：本稿는 美國을 비롯한 先進 各國의 原子力發電所 建設에 關聯된 規制基準의 現況을 敷地 및 土木·構造分野를 中心으로 紹介한 것으로 “Nuclear Engineering and Design”誌의 1984年5月 特別號에 掲載된 J. D. Stevenson의 論文을 要約한 것이다.

件은 明確한 基準에 의하지 않고 그때 그때 位置에 따라 決定되고 있다.

대부분의 나라에서 地震에 대한 詳細한 基準이 設定되어 있지 않고, 특히 현재는 敷地選定에 대한 基準의 重要性에 대한 認識이 減少되는 趨勢에 있기 때문에 앞으로 더 이상 發展될 가능성이 적다.

2.1 地理, 人口統計 및 産業, 運途, 軍事施設

프랑스, 日本, 서독에서는 放射能 漏出防止를 위해 美國, 캐나다, 스웨덴보다 二重格納容器的 選擇率이 높다.

이와같은 趨勢로 부터 人口密度가 높은 나라들이 二重防壁格納容器的을 選擇하는 傾向이 높은 것으로 判斷할 수 있으며 이는 特記할 만한 事實이다.

서독에서는 0.3~0.45Bar의 爆發荷重值를 設計에 適用하고 있으며, 이는 대부분의 原子力發電所가 강변에 位置해 있고 강에는 揮發性 炭化水素를 실은 배들의 왕래가 빈번하기 때문이다.

한편 美國에서는 0.07Bar이상의 爆發荷重值를 設計에 適用하고 있다.

2.2 氣象, 大氣擴散 및 突風

세계 각국의 氣象과 大氣擴散에 대한 規制基準은 美國에서 考慮되고 있는 것과 큰 差異가 없다.

그러나 突風(Tornado)荷重을 設計基準에 포함시키고 있는 나라는 美國을 비롯하여 캐나다, 스웨덴, 이탈리아 뿐이다. 美國과 캐나다(달링턴州)에서는 그 發生確率が $10^{-7}/yr$ 이상일 때 考慮하는 것에 비하여 스웨덴에서는 $10^{-5}/yr$ 이상의 높은 確率일때만 考慮한다. 여기서 美國에서 考慮되는 突風の 發生確률이 地震(SSE)의 發生確率보다 훨씬 낮은 $10^{-7}/yr$ 를 選擇하고 있다는 事實이 特記할 만하다.

2.3 洪水

세계 각국의 洪水設計 要求條件은 나라별로 큰 差異를 보이고 있다.

美國에서는 發生確률이 $10^{-7}/yr$ 를 超過하는 洪水를 設計에 考慮하도록 하는 가장 嚴格한 基準을 設定하고 있으며, 日本에서는 降雨로 인한 設計尖頭洪水량을 $150mm/hr$, 基底率을 $60mm/hr$ 로 設定해놓고 있다. 한편 서독에서는 歷史적으로 記錄된 最大洪水량을 考慮하며, 스웨덴에서는 洪水設計 要求條件으로서 30年間の 最大水位를 設計에 使用하고, 英國에서는 發生確률이 $10^{-4}/yr$ 이상의 洪水를 設計에 考慮하고 있다.

2.4 耐震要求條件

美國에서는 10CFR100 App. A와 10CFR50 App. A의 GDC(General Design Criterion)에서 地質 및 地震에 대한 基準과 規制 要求條件을 規定하고 있으며, 그 내용을 보면 安全關聯構造物, 系統 및 機器 등은 地震, 暴風, 颱風, 洪水, 쓰나미(Tsunami), 세이쉬(Seiches) 등과 같은 自然現象 發生時에도 원래의 機能이 維持되도록 設計되어야 한다고 規定하고 있다. 또 原子力發電所의 耐震解析 및 設計에 대한 특별한 要求事項을 規制機關 혹은 産業體에서 실제

作成, 使用하고 있는 56個의 서로 다른 基準에서 각각 規定해 놓고 있다.

캐나다, 日本 및 서독에서는 原子力發電所의 耐震設計에 대한 독자적인 規制基準이 制定되어 있는 반면, 프랑스에서는 아직 耐震設計에 대한 特別 適用基準은 없이 다만 RCC基準에 일반적으로 包含되어 있다. 또 스웨덴은 發電所의 耐震設計에 있어 대부분 美國의 NRC要求條件을 따르고 있으며, 英國에서도 아직 획일적인 耐震設計基準이 준비되어 있지 않은 實情이다.

《地質과 地震》

地震은 地盤의 움직임으로 인하여 發生하며 地盤의 움직임은 斷層으로 부터 비롯된다. 그러나 모든 斷層이 地震을 誘發하는 것은 아니며 단지 그들이 發電所 壽命期間동안 活動할 可能性이 있는 경우에만 地震危險要素로 고려대상이 된다.

세계 각국중 단지 美國과 日本만이 많은 活性斷層 可能地域을 가지고 있기 때문에 이들 두 나라에서 만이 明確한 活性斷層에 대한 基準을 發展시켜 왔다.

美國과 日本間에는 定義된 根本 耐震要求條件에 대해 많은 差異가 있다.

美國에서는 SSE를 독립적으로 定義하고 OBE는 SSE의 1/2를 취하고 있고, 日本에서는 S_1 地震을 독립적으로 定義하고 S_2 는 $1.5S_1$, S_B 는 $0.5S_1$ 을 취하고 있다. S_1 地震은 敷地内에서 妥當性있게 發生할 수 있을 것으로 豫想되는 最大地震으로 定義되며, S_2 地震은 敷地内에서 發生 可能性이 있는 最大上限地震이며, S_B 地震은 等級B 構造物 및 機器의 耐震設計를 위한 基準地震이다.

日本에서 設計에 使用되고 있는 ZPGA(Zero Period Ground Acceleration)值를 美國에서 使用되는 것과 比較해 볼때 岩盤地域에서는 日本의 S_1 값이 美國의 OBE값과 비슷하고, S_2 값은 SSE값보다 작다. 그러나 日本에서는 美國에서

適用되지 않는 地盤에 따른 割増値를 考慮하고 있기 때문에 실제 日本의 S_1 값은 OBE보다 조금 크고 S_2 는 SSE와 비슷한 값을 가지게 된다.

《設計地震準位》

모든 나라들이 美國에서의 마찬가지로 2個以上の 設計地震準位를 設定해 놓고 있다. 그러나 이것은 耐震設計가 要求되는 모든 構造物 혹은 機器가 2個以上の 地震準位에 대해 동시에 設計되어야 한다는 意味는 아니다. 캐나다에서는 2個의 地震 즉 設計基準地震과 敷地設計地震이 定義되어 있지만 그중 하나만이 特定한 構造物 혹은 機器의 設計에 使用된다.

日本에서는 S_1 , S_2 , S_B , S_C 등과 같이 4個의 地震이 原子力發電所 設計目的으로 定義되어 있는데, A_S 로 區分된 構造物과 機器만이 S_1 과 S_2 의 2個 地震에 대하여 設計가 될 뿐 A, B, C로 區分되는 構造物 및 機器는 각각 S_1 , S_B , S_C 地震中 1個의 地震에 대해서만 設計된다. 또, 프랑스에서는 SMS와 SNA의 2個 地震이 耐震設計를 위해 定義되어 있지만 SMS만이 프랑스 規制機關의 公式인 設計要求條件이 되고 SNA는 設計에 거의 考慮되지 않고 있다.

스웨덴과 英國에서도 SSE 외에 OBE가 定義되어 있긴 하지만 실제 設計에는 큰 意味를 가지지 못한다.

《設計地震의 入力運動》

캐나다, 프랑스, 스웨덴 및 서독에서는 다소의 融通性이 있긴 하지만 標準設計 地盤應答스펙트럼을 選定해 놓고 이를 耐震設計時 入力運動으로 使用하도록 規定하고 있다. 日本에서는 敷地水平스펙트럼을 地震規模 및 震央距離에 따라 決定하는 標準節次가 規定되어 있으며, 英國에서는 Parkfield地震(1966年6月)을 標準設計 入力運動으로 使用하고 있다.

각 나라의 각 모드 및 空間成份에 대한 調査 방법은 美國의 節次와 大同小異하다. 1973年前까

지 美國을 비롯한 모든 나라에서 最大水平方向 地震을 合力으로 使用하였다. 즉 N-S 또는 E-W方向의 水平地震을 각각 垂直方向의 地震과 合成하고 그 중 보다 큰 경우를 設計基準地震의 合力으로 取扱하였다.

그러나 1973年 美國에서는 地震의 두 水平成分 및 垂直成分을 SRSS(Square Root Sum of the Squares)하여 設計에 使用하도록 하였으며 이어서 캐나다, 프랑스, 日本, 스웨덴 등도 美國의 方法을 따르게 되었다. 그러나 서독과 英國은 계속해서 從前의 方法을 固守하고 있다.

地震의 垂直ZPGA값에 대해서는 日本과 서독에서는 水平ZPGA값의 1/2을 取하는 반면 美國을 비롯한 기타 國家들은 水平ZPGA값의 0.67 倍를 取하고 있다.

3. 極限自然災害에 대한 設計安全餘裕值

極限自然災害에 대한 設計安全餘裕値는 設計基準災害의 程度를 決定하는 方法, 즉 決定論的인 方法과 確率論的인 方法, 또는 이 두 方法을 混用하는 方法 등에 따라 큰 差異가 있게 되며 直接的인 比較가 困難하지만 各國別로 일반적인 趨勢는 다음과 같다.

美國에서는 設計基準 自然災害 發生確率의 일반적인 限界를 $10^{-7}/yr$ 로 設計해 놓고 있지만, 惟獨 地震의 境遇만 SSE에 대하여 $10^{-3}/yr \sim 10^{-4}/yr$ 의 確率값을 選擇하고 있으며, 이는 特記할만한 事實이다. 캐나다, 스웨덴, 英國에서는 地震을 비롯한 모든 自然災害의 設計基準確率을 $10^{-4}/yr \sim 10^{-5}/yr$ 로 規定하고 있는데, 이는 美國의 規定보다 더 合理的인 것으로 判斷되고 있다.

4. 設計基準事故

4.1 冷却材喪失事故(LOCA)

地震荷重과 함께 原子力發電所 設計에 가장 큰 影響을 미치는 荷重은 設計基準事故(DBA,

Design Basis Accident) 荷重이다. 이 荷重은 모든 나라에서 原子爐 冷却系統의 破壞에 의한 事故荷重으로 制限하고 있지만 서독에서는 P-WR의 二次側 系統의 破壞荷重도 여기에 包含시키고 있다.

이 荷重은 1963年初 原子爐 冷却系統의 二段 破裂을 設計에 適用하면서 부터 考慮되기 시작하였다. 美國에서는 1967年頃 부터 原子爐 冷却系統의 設計에 DBA荷重과 地震荷重을 調合하기 시작했으며, 現在는 프랑스도 이를 따르고 있다.

그러나 다른 國家들은 DBA荷重에 대하여 美國보다 더 安全側의 設計값을 使用하고 있기 때문에 DBA荷重과 地震荷重의 調合은 要求하고 있지 않다. 그러나 格納容器의 設計에는 모든 나라가 한결같이 DBA荷重과 地震荷重을 調合시키고 있는데, 이는 格納容器에 作用하는 DBA荷重의 持續時間이 冷却系統보다 훨씬 길기 때문이다.

美國에서는 1972年12月부터 DBA의 範圍를 모든 高에너지管(最大溫度 200°F이상 혹은 最大壓力 275psig이상)에까지 擴大하였다. 그후 스웨덴은 美國과 거의 類似한 基準을 選擇하고 있고 캐나다와 서독은 比較的 독립적인 基準을 使用하고 있다.

4.2 터빈 및 回轉體에 의한 飛散物

터빈 및 回轉體에 대한 飛散物에 대해서는 세계 각국에서 多重統制裝置에 의한 過負荷 防止, 資材의 改善 및 週期的인 稼動中檢査를 통하여 飛散物 發生을 防止하는 方向으로 發展되어 왔다.

4.3 航空機 衝擊荷重

航空機 衝擊荷重을 敷地에 無關하게 設計에 適用하는 나라는 서독과 프랑스뿐이다. 서독에서는 軍用飛行機를, 프랑스에서는 商業用 輕飛行機인 Lear와 Cessna가 衝擊設計를 위한 航空機로 定해져 있다. 英國은 航空機衝擊에 대

한 明確한 設計要求條件이 현재까지는 設定되어 있지 않다.

美國을 비롯한 기타 國家들은 商業用 飛行場에서 8km이상 떨어진 發電所에서의 航空機 擊突事故의 確率이 $10^{-7}/yr$ 이하라는 判斷하에 이 項目을 設計基準에서 제외시켜 고려대상이 되지 않고 있다.

5. 結 論

以上과 같이 檢討된 先進 外國의 原子力發電所 建設 및 稼動에 關聯된 規制基準을 檢討한 結果를 要約하면 다음과 같다.

(1) 規制基準의 主된 發展對象이 새로운 發電所의 稼動쪽으로 轉換되고 있다. 따라서 敷地 및 構造物에 適用되는 規制基準의 發展이 鈍化되고 있다. 그러나 發電所 稼動中 補修 및 交替가 要求되는 機械 및 電氣機械와 流體普及系統 등에 대해서는 新規 設置 및 建設에 대한 基準의 繼續的인 發展과 이를 뒷받침할 研究가 要求되고 있다.

(2) 지금까지의 세계각국에서의 設計經驗을 토대로 判斷하면 현재 美國의 OBE에 대한 設計要求事項을 緩和 혹은 削除하는 문제가 考慮되어야 한다.

(3) 세계각국에서의 設計經驗을 토대로 判斷하면 美國에서는 原子爐 冷却系統뿐만 아니라 格納容器의 設計時에 DBA荷重과 地震荷重을 分離 適用하는 문제를 考慮해 볼 必要가 충분히 있다.

(4) 美國에서 選好하는 대형의 堅固한 파이프 打撃防止構造物(Pipe Whip Restraint)은 溫度에 의한 變位를 制限하고, 檢査가 不便해지고, 疲勞壽命을 短縮시키는 등의 短點이 있으므로 서독이나 캐나다와 같이 稼動中檢査나 破壞前 漏出(Leak-before-break) 概念을 導入하여 P-WR의 숫자를 줄이도록 하는 과제가 검토되고 있다.