

美國TMI

原子力發電所의

事故가 남긴 敎訓

安全對策의 強化를 위하여

日·調査團의 最終報告書

미국의 Three Mile Island 原子力發電所의 사고는 이미 6개월이 지났다.

이 사고는 매스컴에서 過大하게 報導되었다고 모두들 입을 모아 말하고 있기는 하나 어떠한事故가 난 것만은 엄연한 사실이다.

설령 TMI의 原發이 WH社型이 아니고 B & W社의 것이라고 하나 우리나라의 WH社型 加壓水型 輕水爐와 같은 加壓水型 輕水爐인 만큼, 우리는 이와 같은 미국의 原發事故를 敎訓삼아 우리들이 稼動中이고 또한 建設中인 輕水爐에 대한 安全對策을 더욱 向上시키도록 努力을 傾注해야 할 것이다.

여기에 日本 TMI사고 조사단의 최종 보고서를 中心으로 사고의 교훈을 총정리해 보고자 한다.
(編輯部)

1. 美國原子力發電所의 事故에 關한 調査

1.1 TMI - 2号爐에 關한 考察

1.1.1 TMI - 2号爐의 概要

이번에, 사고를 일으킨 Three Mile Island(TMI) 原子力發電所는 미국 펜실바니아州에 있으며 워싱턴의 西北西 100마일, 펜실바니아州의 하리스버그 東南 약 10마일 地点에 있다. 同발전소는 사스케허너江의 큰 강속의 섬에 설치되어 있으며 사고발생 당시 2基의 原子爐가 稼動中이었다. 이번에 사고를 일으킨 것은 그중의 2号爐이다.

同발전소는, 이 지방에 전력을 공급하고 있는 電力3社의 連合體인 제너럴·퍼브릭·유틸리티즈의 所有이며, 운전은 3社中에서 메트로포리탄·에디슨社가 담당하고 있었다.

TMI - 2号爐는, 1号爐와 같이 바브록·앤드·윌콕스社(B & W社)가 설계한 것으로서, 電氣出

力 959MW, 熱出力 2,772MW이다. 同爐는, 이번 사고보다 1년전인 1978년 3月 28日 初臨界에 도달하고 그후 出力上昇 시험을 거쳐 1978년 12월 30일부터 상업운전에 들어갔다.

1·1·2 B & W社 原子爐(特히 TMI - 2号爐)의 특징

B & W爐는 WH社나 CE社의 爐에 比해서 같은 PWR에 속한다고는 하나 그 설계의 겨눔이나 原統器機등의 구성에 상당한 相違가 있는데 그 主되는 특징은 다음과 같다.

(1) 貫流型 증기발생기를 가지는 過熱증기 공급系인 동시에 傳熱量當의 2次側 保有水量은 U字型 증기발생기를 가지는 WH爐의 약 1/2이다.

(2) 負荷變動등에 대해서 熱出力 등을 종합적으로 제어하는 綜合制御系를 비치하고 있다.

(3) 2次系의 이상에 의한 스크램 信號가 없다.

또, B & W爐의 문제점은

(1) 증기발생기의 위치가 낮고(디비스벳시 - 1号爐는 除外) 自然循環冷却에 不利하다.

(2) 加壓器와 hot leg를 연결하는 서지관은 U字管 구조로 되어 있으며, 加壓器 水位가 냉각재 保有수량은 代表하지 못하는 경우가 U字관 구조가 아닌 것보다 많아진다.

(3) 비상용爐心 냉각설비는, 格納容器 壓力高信號 혹은 1次系 壓力 低信號에 의해서만 起動한다.

(4) 制御用 空氣系가 所內用 空氣系와 共用되고 있다.

(5) 補助給水 펌프의 出口밸브는, 펌프 起動信號에 의해서 自動開로는 되지 않는다.

(6) 一部の 爐를 제외하고는 格納容器 隔離는 格納容器 壓力高信號에 의해서만 行해진다.

(7) 릴리이프 밸브는 先驅밸브付 릴리이프 밸브이며, 制御室에는 先驅밸브의 소레노이드의 電流의 상태가 표시되며 밸브本體의 開閉狀況이 直接表示되지 않는다.

1·1·3 B & W社 原子爐의 給水系 異常에 관하는 일반적 고찰

B & W社 원자로의 給水系에 起因하는 過度變化는, 1978年 3月부터 1979年 3月의 사이에 9發電所에서 27回(3回/爐·年) 일어나고 있으며, 他社의 PWR에 比해서 그 빈도가 약 60% 높다. 또, 1979年 9月 24日에는 다비스벳시 - 1号爐(B & W

爐)에서 TMI - 2号爐와 같은 給水系 停止에 의한 加壓器 릴리이프 밸브 開固着에 이르는 이상事象이 경험되고 있다. 다시 B & W爐의 小口徑破斷 LOCA에 관한 보고가 마이켈손에 의해서 行해지고 있으며, B & W爐의 小口徑破斷 LOCA時의 문제점이 지적되고 있다.

1·2 事故의 經過

1·2·1 事故의 經過와 그 考察

1979年 3月 28日 午前 4時에 시작된 TMI - 2号爐의 사고의 經過에 대해서 주요한 點을 요약하면 다음과 같다.

(1) 사고발생전, 발전소는 定格의 97% 出力으로서 운전중이었다. 器機의 운전상황중, 사고에 직접 關連하는 중요한 것으로서 다음의 點이 지적되고 있다.

(i) 加壓器 릴리이프 밸브 또는 安全밸브로부터 약 6gpm(약 1.4m³/時)의 漏洩이 있었고 이 상태로 長期間 운전을 계속하고 있었다는 점.

(ii) 補給給水 펌프의 出口밸브가 두개다 閉로 되어 있었다는 점.

(iii) 復水脫鹽系의 樹脂移送라인이 막혀서, 사고전 약 11시간에 걸쳐서 수지를 移送시키는 作業이 行해지고 있었다는 점.

(2) 事故의 발단은, 樹脂移送用의 물이 空氣系에 들어가서 復水脫鹽系의 밸브가 단치고 그 결과 給水펌프가 정지해서 主給水가 상실하였다는 것이다. 보조급수 펌프가 突 起動했으나 出口밸브가 닫혀 있었기 때문에 運転員이 이 밸브를 열기까지의 8分間, 給水가 완전히 상실하였다.

(3) 給水펌프의 정지에 따라 터빈이 정지하고, 1次系의 壓力이 상승하여 加壓器 릴리이프 밸브가 열리고 다시 원자로는 긴급 정지하였다. 이로 인해 壓力은 低下하고 加壓器 릴리이프 밸브가 닫혀지는 壓力에 도달하였으나 밸브가 開固着하였다.

이로써 1次냉각재의 流出이 계속하고 1次系 壓力은 다시 低下하였으며 加壓器 水位는 急上昇하였다. 릴리이프 밸브 開固着은 당초 운전원에 의해서 인식되지 못하여 약 2시간 20분후에 릴리이프 밸브가 닫혀질 때까지 1차 냉각재의 流出이 계속되었다.

(4) 一次系 圧力の 低下에 의해서 高压注入系가 作動했으나, 운전원은 加压器 水位計를 보고 系가 滿水되어 있다고 믿고 펌프를 정지 시킨다든지 流量을 조절한다는 등으로 長時間에 걸쳐 충분한 注水를 행하지 않았다.

(5) 1次 냉각재가 不足하여 1次系에 蒸氣泡가 생겼으며 냉각재 펌프가 振動을 일으켜 심하게 흔들렸기 때문에 운전원은 펌프를 정지시켰다. 이 결과, 爐心上部가 증기중에 露出하고 온도가 상승해서 연료의 대규모의 損傷이 생겼다. 이로 인해 대량의 방사성 물질이 1次 냉각계중에 방출되었고 또 金屬-물 反應에 의한 水素가 발생하였다. 爐心の 냉각은, 사고 발생후 16시간에서 냉각재 펌프를 再起動할 때까지 불충분한 상태에 있었다고 생각된다.

1.2.2 長期間 冷却

TMI-2 号爐는 사고후 안전하게 냉각이 행해지고 있으나 損傷爐心の 長期間에 걸친 냉각을 안전하게 행하기 위한 검토, 評價 및 여기에 따르는 냉각系의 改造가 行해졌다.

長期間에 걸친 爐心冷却에서 검토·평가의 주요한 대상은 다음의 두가지 点이다.

① 臨界防止

② 自然순환의 확립과 그 代替策

輕水爐에서는 從來 再臨界의 문제는 거의 없다고 되어 있었으며, 이번의 사고에서도 이것이 現實의 문제로는 되지 않았으나, 制御棒, burnable poison 棒 등이 완전치 못했고 연료도 一部 debris (破片) 狀으로 되어 있었을 것이라고 推定되므로 冷却材中の boron 濃度와의 關係에서 검토가 加해졌다. 그 결과, 万全을 期하여 boron 濃度の 增大등의 조치가 취해졌다.

損傷爐心の 자연순환 냉각에 대해서는 爐心の 流動抵抗을 評價하고 자연순환에 의한 長期冷却이 충분히 가능하다는 것을 확인해 두는 외에 強制 순환으로부터 자연순환으로의 移行時期, 自然循環 喪失時의 回復對策 및 代替가 될 수 있는 자연순환으로의 移行시기, 자연순환 상실시의 회복대책 및 代替가 될 수 있는 냉각방식을 검토평가하여 그를 위해 필요한 설비의 개조를 行하였다.

1.2.3 爐心損傷에 대해서

爐心の 손상상황에 대해서는 앞으로의 본격적 조사에 의해서 정확한 정보가 얻어질 것이 기대되나, NRC로부터의 예비적인 정보, EPRI (Electric Power Research Institute 電力中央연구소)의 원자로 安全性解析센터에 의한 보고서에 의해서 대체적으로 推定된다.

연료펠렛으로부터의 核分裂 生成가스인 Xe-133의 放出率로부터 연료온도는 露出部에서는 2,000℃ 이상으로 達했던 부분이 있다고 推定된다.

爐心에서의 水素發生은, 질코늄-물 反應에 의한 것이 대부분이며 그 양은 약 3,800Nm³이며, 연료領域의 질카로이가 약 40% 酸化했는데 対応된다고 推定되고 있다.

爐心上部 약 1/3은 debris 狀으로 되었으며, 연료集合體, 제어棒 등의 爐心上部에 있는 부분은 상당한 高温에 놓여있다고 推定된다.

그리고, 爐心露出에 대해서는, NRC에 따르며는 노출回數를 3회라고 단정하고 있으나 EPRI에 의하면 명확한 단정을 하지 않고 爐心 노출의 횟수를 2~3회라고 표현하여 명확한 解析을 앞으로 미루고 있다.

1.3 運轉 및 運轉員의 訓練등에 관한 考察

이번의 사고를 擴大시킨 主要因의 하나에 운전원의 판단·操作上的 문제가 있다는 것은 이미 많이 지적되었다. 미국에서 운전원의 熟練度는 일반적으로 상당히 높으며 여러가지의 조사에서도 정상시의 운전에 대해서도 충분한 레벨에 達했다고 한다. 그러나, 스트레스가 높은 비상사태에서는 誤判斷, 誤操作을 일으킬 가능성이 높다는 것도 알려져 있으며, simulator (模擬運轉裝置)에 의한 긴급사태 対応훈련을 重視하는 등의 운전훈련 프로그램의 개선이 제안되고 있다. 또, 운전順序書의 재검토와 개선, 또한 긴급시에의 운전원의 판단을 도와줄 수 있는 人間工學的 配慮上에 立却한 計裝의 개발·채용이 示唆되고 있다. 참고로 3月 28日의 TMI-2 號爐의 給水喪失 사고의 경과를 운전操作의 면에서 검토하면, 사고初期에서의 운전상의 명백한 人爲的 미스로서 예를 들면 다음의 事項이 NRC로부터 지적되고 있다.

(i) 2台的 보조급수 펌프 밸브가 「閉」로 되어

있었다는 것. 또 「閉」로 되어 있는 것을 운전원이 몰랐고 약 8분간 이것을 방치해 두었다는 것.

(ii) 1次系 压力이 高压注入系 起動設定 压力을 명백히 下廻하고 있었는데도 高压注入 펌프를 中止시켰다는 것.

(iii) 1次系가 減压하고 있는 것에 대해 주의 를 하지 않고 또 이 減压의 원인이 무엇인가를 규명하기 위해서 설비의 parameter를 系統的으로 조사하지 않았다는 것.

(iv) 自然循環이 확립되었다는 것을 확인하지 않은채 냉각재 펌프를 중지시켰다는 것.

(v) 給水喪失이나 1次系 压力 低下 등에 관하는 긴급 順序書를 사용하지 않았다는 것.

(vi) 加压器 릴리프 밸브의 開固着을 모른채 長期間 방치했던 것(그런데, 元밸브가 달려진 것은 2시간 후였다).

1·4 周邊環境으로의 영향과 作業從事者의 被曝

1·4·1 放出放射能

(1) 環境으로의 방사성 물질의 放出量 (氣體狀 放出 放射性 物質).

主된 것은 希가스와 沃素이다. 3月 28日부터 4月 30日까지의 각각의 방출량은 다음과 같다.

希가스 1×10^7 Ci (γ 線 實効에너지 0.5MeV 換算 1.9×10^6 Ci)

I-131 約 14Ci

希가스에 대해서는 TLD에 의한 環境線量 測定値와 氣象條件으로 부터, I-131에 관해서는 모 니터링 結果로서 계산하였다. (液体放出物) 排水 모 니터의 指示値 등에서 산출한 방출량은 3月 28日 4時부터 3月 30日 24時동안 I-131이 72.56m Ci였다.

(2) 放射性 物質의 放出徑路

氣體狀 방사성 물질은 現時点에서는 1次 냉각재 抽出·充填系의 탱크류의 vent 밸브나 릴리프 밸브로부터 보조전물로 방출된 가능성이 강하다고 하고 있다.

1·4·2 環境 모 니터링

(1) 모 니터링 活動

DOE가 中心이 되어 EPA, HEW, NRC 등의

연방정부 각기관 및 州가 모 니터링 活動을 行하였다.

(2) 外部 被曝線量의 評價結果

周邊 50마일 以内의 주민 약 216万명에 관해서 TMI의 주변 15마일에 배치된 TLD의 測定値를 기초로 해서 항공 測定値로 부터의 평가를 참고로 行하였다.

① 주변公衆의 個人最大被曝線量

TMI부지에 가장 가까운 居住區域에 있었던 個人의 최대피폭선량은 100밀리렘以下이다. (이 値는, TMI의 東北東 0.8km에서의 TLD의 측정치 의 積算値 83밀리렘에 기초를 두고 公衆 個人이 3月 28日~4月 7日의 全期間 屋外에 있었다고 假定하고 測定精度를 고려해서 얻어진 値이다).

② 集團線量 評價値

또, 50마일 以内 住民의 集團線量이 3,300人렘(個人平均 1.5밀리렘)로서 公衆의 健康에는 영향이 없는 정도임이 명백해졌다.

(3) 環境試料의 測定結果

① 空氣中 방사성 沃素濃度

주변環境에서의 공기에 대해서는 오브저베이션·센터(PR館, 展示館 등) 및 居住區域에서 捕集 測定이 行해졌다. 이 측정으로서 小兒 甲狀腺線量을 2.3밀리렘이라고 평가하고 있다.

② 牛乳中 방사성 沃素濃度

우유에 대해서 3月 28日부터 4月 4日까지의 사이에서 採取측정이 행해졌다. 우유중의 I-131 농도의 최대치는 4pCi/l(山羊의 젖의 値)이었다. 이 4pCi/l의 농도의 우유를 1日 1ℓ 마시는 乳兒의 甲狀腺線量은 최대 5밀리렘이라고 평가된다. (成人의 甲狀腺線量은 0.5밀리렘이라고 算出된다)

1·4·3 周邊住民의 健康에 미치는 영향의 평가

3月 28日~4月 7日까지의 環境모 니터링 結果에 따라서 주변住民의 健康에 주는 潛在的 影響의 평가를 행하고 있다. 그 概要는 다음과 같다.

(1) 外部全身被曝의 健康에 미치는 영향

TMI사고에 의한 50마일(80km)이내의 주변주민의 平生에서의 健康에 미치는 影響을 평가하고 자연의 암發生率 및 유전적 影響과 비교해 본 결과에 따르면 이번 사고에 의한 健康에의 影響은

무시할 수 있을 정도이다.

(2) 外部全身 被曝以外の 영향

① 甲状腺 피폭의 건강에 미치는 영향

방사성 沃素에 의한 갑상선 피폭 선량은 우유 섭취에 의한 乳兒의 갑상선 선량이 최대 5 밀리렘 (成人: 0.5 밀리렘), 吸入에 의한 小兒의 갑상선 선량은 최대 2.3 밀리렘이라고 평가되고 있다. 이들의 値는 ICRP의 일반公衆(小兒)의 갑상선에 대한 線量限度 1,500 밀리렘/년에 비해서 300분의 1 이하이다.

② 피부피폭의 건강에 미치는 영향

放出 방사성 希가스 各核種의 組成과 그 방출 방사선의 특성으로부터 γ 線에 의한 全身피폭선량 100 밀리렘의 경우의 $(\beta + \gamma)$ 線에 의한 피부 피폭선량은 380 밀리렘이라고 算出되고 있다 (이번의 사고에 의한 公衆 개인의 최대 피폭선량).

이 値는, BEIR 보고서에 보고되어 있는 피부암의 誘發線量 450,000 밀리렘의 1,000분의 1 이하이며, ICRP의 일반公衆의 피부에 대한 선량 한도 5,000 밀리렘/년에 비해서 적다.

1·4·4 플랜트(시설)에서의 방사선 관리

(1) 건물內 및 헬리콥터에 의한 스틱상空的 방사선 레벨

원자爐 건물의 방사선레벨은, 3월 28일 6시 22분경 보조건물內的 같은 레벨은 同日 6時 38分경부터 급격히 상승하였다.

헬리콥터에 의한 측정에서는, 3월 29일 14時 10分에는 스틱上 15피트(4.5m)에서 $(\beta + \gamma)$ 로서 3 R/時, (1時間當의 照射線量) γ 로서 400 mR / 時가 측정되었다. 다시 3월 30일 7時 50分~同8時 1分에는 2號爐 보조 건물의 130피트(3Pm)상空에서 $(\beta + \gamma)$ 로서 1,000~1,200 mR/時가 검출되었다. (再測定時에는 이와 같은 높은 値는 검출하지 않았다고도 보고되고 있다)

(2) 방사선 작업 종사자들의 피폭

4월 26일까지의 TMI종업원의 全身피폭선량(r 線)의 内譯은 다음 表에 나타난 것과 같다.

表 個人外部 被覆線量(4월 26일 현재)

全身被曝線量 範圍(밀리렘)	사람數
100~250	157
251~500	76
501~750	14

750~1000	9
1001~2000	2
2001~3000	0
3001~4000	2*
>4000	1*

注目해야 할 피폭으로서는 다음과 같은 것이 있다.

① 보조건물 운전원 3,170 밀리렘. 3월 28일 21:00 코어 프라트 탱크의 窯素压을 올리는 作業에 의한 피폭

② 化學主任 4,115 밀리렘 3월 29일 16:15 一次冷却水 샘플採取 作業에 의한 피폭**

③ 原子力技術者 3,140 밀리렘 3월 29일 23:00 물 漏洩의 探查, 폐기물系의 상태 체크 作業에 의해서 피폭

** 이 작업에 의한 局部피폭(손가락)은 50~147렘, 피부선량은 6~13렘이다. 또 동시에 작업한 방사선 방호주임의 局部피폭은 44~54렘 외부 전신 피폭선량은 ~800 밀리렘이라고 推定되고 있다.

그리고, 作業者의 内部피폭에 관해서 NRC가 全身計測의 데이터를 조사한 바에 의하면 許容限도를 넘는 피폭은 認知되지 않았다.

[참고] : TLD = thermo luminescence dosimeter, 熱 螢光線量計

1·5 緊急時의 措置

TMI-2號爐 사고에서 미국연방정부의 「放射線 防護援助計劃」에 참가하고 있는 10개의 정부 기관이 모니터링 등 각각의 定해진 임무를 수행하였다.

이번의 사고에서 特異한 조치의 하나로서 펜실 버니아 州知事에 의한 住民의 退避 권고 가 있었다. 이것은 사고상황의 解析에 따르는 NRC의 판단과 州에 대한 示唆을 바탕으로 州知事가 예방적 수단으로서 행한 권고로서 결과적으로는 피폭선량의 面에서는 대피의 필요가 없었던 것이 명백해졌다. 주민들의 대피 自体는 큰 혼란이 없이 행해졌다.

긴급시의 계획에 대해서는, TMI-2號爐 사고에서의 실제의 경험으로부터 NRC에 의해서 다음과 같은 敎示가 지적되고 있다. 즉, ① 조직상

의 책임을 명확히 하며, 협동계획을 한층 더 개선할 것. ② 사고의 상황에 적합한 각 기관의柔軟한 対応能力을 向上시킬 것. ③ 「방사선 방호 원조계획」 관계기관 이외의 기관에 의한 모니터링의 참가의 필요성. ④ 同 계획 全般의 定期的인 재검토 등이다.

1-6 美國 NRC의 対応

NRC는, 원자력발전소의 설치, 운전의 許認可와 規制에 대한 권한과 책임을 가지고 있으며, TMI사고에서는 主管官廳으로서 즉시로 対応하고 지원, 조사, 대책등의 활동을 행하고 있다. NRC本部 및 TMI를 管轄하는 第1地域 사무소에 설치되어 있는 「事故対応센터」가 정보의 入手, 처리, 弘報活動 등에 도움을 주고 있다.

발전소에 대해서는, 기술적 원조를 行하기 때문에 원자로 規制局長 멘돈以下 제일 많을 때에는 100명을 넘는 기술직원을 보냈고 또한 중요한 기술상의 문제에 관해서는 널리 미국 本土로부터 전문가를 動員하였다. 사고의 經緯·原因을 説明하고 대책을 세우기 위해서 内部에 검토 그룹을 설치하여 이들의 그룹은 이미 사고경과의 詳細나 原因의 전반적 고찰을 公표하고 있다.

또, 사고를 일으킨 B&W爐의 運轉을 정지시켜 安全点檢을 行했을 뿐만 아니라 다른 輕水爐에 대해서도 즉시로 취해야 할 조치를 통지·명명으로서 지시하였으며 또한 실시시키고 있다. 특히 사고에서 교훈을 抽出하는 검토그룹은 当面實施해야 할 23項目의 改善策을 公表하고 있으며, NRC는 適宜 이것을 規制化할 것이 예상된다. 이 그룹은 또 長期的대책에 관하는 권고항목의 검토를 進行시키고 있다.

NRC의 권한, 기능, 책임등에 대해서도 内部 조사가 進行되고 있으며 대통령 자문위원회에 의한 조사결과와 相符시켜 NRC의 기능이 더욱 강화될 것이 기대되고 있다.

2. 安全確保対策에 反映시켜야

할 事項

2-1 基準·審査關係

TMI-2의 사고를 거울삼아, 원자로 시설에 관하는 安全審査 指針등에 대해서는 아래 (1)의 여러점을 검토해서 필요에 따라 現行指針등의 詳細化 또는 改訂, 追加등을 하여야 할 것이라고 생각한다. 또, 이와 같은 指針의 改訂등이 실시될 때까지 안전심사에 있어서는 아래의 (2)의 여러점에 특히 유의할 필요가 있다고 생각된다.

(1) 基準關係

① 安全設計審査 및 關聯技術基準

(가) 安全上 중요한 系統 및 器機의 分類

TMI-2의 경우, 爐心溫度計, 加熱器 히터, 加壓器 릴리이프밸브등 安全系에 넣어두지 않았던 계통 및 器機의 重要性이 再인식되고 있다.

이와 같은 사실을 거울삼아 안전상 중요한 계통 및 器機의 역할을 검토하고 이들의 계통 및 器機를 重要度에 따라 한층 더 명확히 구분할 필요가 있다.

(나) 원자로 計測制御系 및 프로세스 計測制御系の 信賴性

TMI-2의 경우, 爐心溫度計의 指示가 測定범위를 넘고 있으며, 이 지시에 의문을 가지게 되었다고 생각되는 사실이 있다. 또, 1次系가 포화상태임에도 불구하고 加壓器 水位部計의 지시에 따라서 1차계 냉각재 inventory(保有量·殘存量)를 판단한 사실이 있었다.

이와 같은 것들은 異常時에서도 원자로 計測制御系 및 프로세스 計測制御系の 신뢰성이 종합적으로 확보할 수 있다는 것을 확인해 둘 필요가 있다.

(다) 사고시에 필요로 하는 계통 및 器機

TMI-2의 경우, 일시 長期冷却을 行하기 위해서 余熱除去系の 사용을 검토하였으나 同系の 차폐가 충분치 못했다는 것과 漏洩이 생긴 경우의 대책에 不安이 있는 것을 고려해서 이것을 사용하지 않았다.

이와 같은 사실에서 사고시에 필요로 하는 계통 및 器機에 대해서는 그 운전이 곤란하게 되지 않도록 필요한 조치를 검토해 둘 필요가 있다. 특히 長期冷却 시스템의 確保는 중요한 것이다.

(라) 긴급시 中央司令所

TMI-2의 경우, 사고시 제어실에 사람이 모여 혼란을 가져오게 했다고 한다. 이와 같은 일은 긴급시에 있어서 部內의 제어실 이외의 適當한

곳에서 필요한 대책의 指令을 낼수 있는 中央司
令所를 설치할 수 있도록 미리 검토해 둘 필요
가 있다.

(마) 可燃性 가스濃度 制御系

TMI-2의 경우, 발생한 水素를 처리하기 위해
수소濃度 제어장치가 附加되었다. 이와 같은 것
으로 보아 水素농도 제어方策이 어떻게 해야 하
는가에 대한 검토가 필요하다.

(바) 制御室

TMI-2의 경우, 制御室內에 방사능 汚染이 미
쳐서 防護마스크를 着用했기 때문에 指揮傳達에
지장을 가져온 사실이 있다. 또 사고시에는 제어
실내로 要員들이 出入할 필요도 생각되므로 제어
실으로의 接近可能性, 出入門의 開閉에 대한 제
어실內正圧의 유지등, 제어실의 淸淨 상태의 유
지 기능에 관하는 사항의 타당성에 대해서 확인
할 필요가 있다.

② 安全評價 審査指針

(1) human credit(긴급시의 人間の 능력에 대한
신뢰성) 및 單一고장

TMI-2의 경우, 긴급시에서는 운전원의 熟練
度도 문제이거니와 短時間에 正確한 판단을 하고
확실한 操作을 행하는 것이 곤란한 点이 있는 것
같이 생각된다. 이와 같은 사실에 대하여 운전원
에 요구되는 필요한 操作의 內容을 把握하고 安
全評價上 human credit를 어떻게 생각하는가에 대
해서 검토할 필요가 있다.

또, 事故解析에 있어서는 現指針에서와 같이
安全系에 대해서 그 機能別로 單一故障를 想定하
면 安全評價上 충분히 하든가 또는 고장의 重
量에 대해서도 想定해야 하는가 등을 검토할 필
요가 있다.

(나) 운전시의 異常한 過渡變化 및 解析조건

TMI-2의 경우와 같이 異常事象을 過渡변화
및 사고의 解析조건에 加해야할 것인가 아닌가에
대해서 上記 ② (1)의 검토결과 등도 반영시키면
서 검토할 필요가 있다.

③ ECCS 安全評價 指針

ECCS 安全평가지침에 대해서는 원자로 안전기
준 專門部에서 검토하여 評價모델의 검토시, TM
I-2의 경우의 加壓器 릴리이프 밸브로부터의 漏
洩이라는 것같은 小破斷 事象에 대해서도 유의할
필요가 있다.

(리) 審査關係

① 安全上 중요한 系統 및 器機의 自動作動
안전보호系의 신호에 의해서 안전상 중요한 계
통 및 器機가 확실하게 自動作動 하도록 설계되
어 있는가를 다시 신중히 심사할 필요가 있다.

또, 手動操作이 요구되는 것은 human credit를
고려해서 확실하게 작동하는가를 다시 신중하게
심사를 행할 필요가 있다.

② 기술적能力 및 운전관리 体制

原子爐主任 技術者, 當直責任者, 운전원 등이
시설의 안전확보상 직무를 正確하게 수행할수 있
는 体制로 하는 것이 필요하다. 이점에 대해서는
설치 허가 단계에서 심사를 行하여야 하며 그
방침을 그後の 운전등의 단계에서 다시 충분히
확인할 필요가 있다.

③ 制御室으로의 接近可能性 및 居住性

사고시에서의 制御室으로의 접근가능성 및 居
住性の 確保上 중요한 제어실의 차폐, 換氣등에
대해서 신중한 심사를 行할 필요가 있다.

④ 사고시에 필요로 하는 器機등

格納容器內 모니터링 및 격납용기內 水素농도
제어를 하는 방법, 長期冷却系 및 sumpling의 차
폐 등의 방법에 대해서도 신중히 심사를 行할 필
요가 있다.

2.3 設計關係

TMI-2의 사고에 대하여, 원자로시설의 설계
에 反映시킬 사항으로서는 아래의 여러점을 검토
할 필요가 있다고 생각된다.

(1) 小破斷事象時的 安全性

원자로 냉각재 壓力境界의 小破斷事象시의 안
전성을 다시 상세히 확인함과 함께 加壓器 氣相
部로부터의 냉각재 상실현상에 대처할 때의 安
全性を 보다 向上시키기 위한 조치에 대해서 검
토할 필요가 있다.

(2) 1次冷却材의 상태의 감시방법

사고시 또는 異常한 過渡變化時에 1次냉각재
의 상태 및 爐心冷却의 狀態를 보다 잘 파악하기
위한 수단, 예를 들면 加壓水型 輕水爐의 1次냉
각재가 subcool 상태(冷却材가 未飽和(沸点以下)
의 상태에 있는 것)에 있다는 것을 운전원이 常
時 감시할 수 있는 장치(display 등)의 설치 등의

검토를 행할 필요가 있다.

(3) gas对策

1차계 内에서의 gas發生量을 파악하는 수단 및 trap된 gas를 제거하는 방법에 대해서 검토할 필요가 있다.

(4) 制御室의 配置 등

운전제어를 보다 한층더 쉽게 하기 위해서 제어실에서의 장치의 주요한 parameter의 표시의 방법에 대해서 검토하며, 또 制御盤 등의 배치에 관해서도 人間工學的 観点에서도 검토를 행할 필요가 있다.

(5) 事故時에서의 방사선 및 방사성 물질의 측정

사고시에서의 1차 냉각재의 sampling, 格納용기 内등의 방사선 측정, 격납용기내 零圍氣의 sampling 및 放出放射能 측정방식을 검토할 필요가 있다.

(6) 밸브의 신뢰성

밸브의 閉固着이라는 現象에 대하여 밸브의 材料의 품질, 밸브의 기능의 신뢰성 向上에 대해서 검토를 加할 필요가 있다.

(7) 운전원의 誤操作防止 대책

운전원의 誤조작 방지대책에 관해서 설계상의 思考方式을 좀더 명확하게 합과 동시에 수단, 방식 등에 대해서 검토할 필요가 있다.

2·4 運轉管理 關係

TMI-2의 사고에 대하여, 원자로 시설의 운전 관리에 反映시켜야 할 사항으로서 아래의 여러점을 검토할 필요가 있다고 생각된다.

(1) 格納容器的 隔離에 대한 運用

격납용기의 격리방식에 대해서 재검토 할 필요가 있다. 예를 들면, 격납용기 sump 系의 밸브는 현재 常時 “開” 運用되고 있는 것이 많으나 방사성 물질을 系外로 放出하는 일이 없도록 한 万全의 조치를 取한다는 観点에서 밸브의 閉開運用의 개선에 대해서 검토할 필요가 있다.

(2) ECCS作動時에서의 1次冷却材 펌프의 作動조건

加壓水型 輕水爐의 경우, ECCS 作動 시대는 현재의 설계로서는 1차 냉각재 펌프는 정지하는 설계로 되어 있는 것이 많다.

TMI-2 사고에서는 1次 냉각재 펌프의 起動, 정지가 爐心의 냉각에 크게 영향하고 있으므로 ECCS 作動時에서의 1차 냉각재 펌프의 作動條件에 대해서 검토해 들 필요가 있다.

(3) ECCS의 停止操作 및 切换操作

ECCS가 作動하는 각종의 상황에서 원자로 시설의 안전상의 여러 문제를 발판으로 해서 ECCS의 自動停止化 문제를 포함해서 정지조작 및 切换 조작에 대한 신뢰성을 보다 높이기 위한 폭넓은 검토를 行하여 가는 것은 필요한 것이다.

(4) 保修時에서의 点檢頻度

保安規定에 明記되어 있는 保修時에서의 보안에 관하는 사항, 특히 보수시에서의 점검 빈도에 대한 思考方式의 재검토를 행할 필요가 있다.

(5) 手動밸브의 管理方式

수많은 手動밸브의 管理方式에 대해서, 예를 들면 鍵管理의 方式, 保修作業 中에서의 中央制御室에서의 系統上의 表示方式 등에 대해서 改善을 加해야 할 요소가 있나 없나를 검토할 필요가 있다.

(6) 운전원의 長期養成計劃

운전원의 자질 向上, 여유를 가진 운전원의 배치, 보충을 도모하기 위해 운전원의 양성 계획에 관해서 長期的 観点으로 부터의 검토를 행할 필요가 있다.

(7) 운전원의 誤操作 防止対策

운전원의 誤조작, 誤判斷을 적게 하기 위해 현행의 誤조작 방지대책의 향상, 誤조작 방지에 관한 교육, 훈련의 방법 등에 대해서 검토할 필요가 있다.

또, 운전원의 사고시에 誤판단을 일으키기 쉽다고 생각되는 異常事象에 대해서 가능한 한 검토를 행하며, 운전 조작要員 등을 다시 충실하게 할 필요가 있다.

(8) 시설의 운전관리体制

원자로 主任기술자의 위치고정 및 그 권한과 책임에 관해 특히 긴급시에 대해서 검토할 필요가 있다. 또, 운전当直長을 기술적으로 원조할 体制를 검토할 필요가 있다.

(9) 보고해야 할 異常事象

TMI-2의 경우, 이번의 사고전에도 같은 종류의 異常事象이 발생하고 있었으며, 이상 사상의 파악은 극히 중요하다. 현재, 규제당국에 의해

서 사소한 異常事象도 報告徵収가 行해지고 있으나 보고해야 할 이상사상의 구체적 내용, 양식등을 다시 정비함과 함께 이들의 기술 정보를 集積, 평가하고 설계, 운전관리면에 반영할 수 있도록 검토할 필요가 있다.

(10) 긴급시의 방사선 측정기 및 방호용 機材의 점검, 정비

긴급시에 있어서 시설내의 방사선레벨을 파악하기 위해, 高線量測定器(遠隔測定 가능한 것을 포함하는 것이 바람직하다), 高線量까지 直讀 가능한 개인피폭線量計(個人 alarm meter 등) 및 손등의 局部 피폭선량계 등 긴급시用的 측정기를 点檢, 정비함과 함께 긴급시의 작업에 종사하는 者의 피폭을 적절히 방호하기 위한 防護具類를 점검, 정비함이 필요하다.

2.5 防災關係

TMI-2의 사고를 敎訓으로 하여 원자력 발전소 등 주변의 防災대책에 관하는 전문적 사항의 조사, 심의 및 防災업무 계획의 원활한 수행에 반영시켜야 할 사항으로서 아래의 諸點을 검토할 필요가 있다고 생각된다.

(1) 防災대책에 관한 전문적 사항의 조사審証에 대해서

① 방재계획 立案地域의 범위

방재계획의 立案에서는 미리 防災 계획은 생각해 둘 지역의 범위에 대해서 검토할 필요가 있다.

② 防災활동상 필요한 대책指標

가스狀 방사성 氣團(프룸)으로부터의 직접 방사선에 의한 全身피폭 및 吸入에 의한 甲状腺 등의 内部피폭의 회피를 위한 방호활동, 오염된 음식물의 섭취에 의한 갑상선 등의 내부피폭의 회피를 위한 방호활동에 관해서 그 対策指標(지표線量, 지표濃度)를 명백히 해 둘 필요가 있다.

③ 긴급시의 환경모니터링 指針의 作成

긴급시에 있어서는, 다수의 환경試料의 신속한 分析 등 평상시와는 다른 면이 많으므로 긴급시에서의 환경방사선 모니터링의 사항, 방법 및 器機 등에 관하는 指針을 정비할 필요가 있다. 그리고, 이와 같은 경우, 평상시의 환경 모니터링 시스템의 기능을 擴大할 수 있도록 배려

하는 것이 바람직하다.

④ 환경방사능 予測시스템의 개발

긴급시에서 환경으로의 방사능 방출량의 예측을 신속하게 行함과 동시에 사고의 推移에 따르는 원자력 발전소로부터의 放出經路 등에 따라 氣象조건 등을 고려해서 일반 公衆에게의 영향을 신속하고도 또한 明確히 예측하는 시스템을 개발할 필요가 있다.

(2) 防災업무 계획의 원활한 수행에 대해서

① 긴급시 組織

원자력 발전소 등의 災害에 대해서는 現地에서만 対処할 수 없는 경우가 고려되기 때문에, 긴급시의 지원體制로서 국가의 技術助言 組織, 모니터링 조직등을 정비함과 동시에 이들의 조직이 유효한 지원활동을 行할 수 있도록 필요한 설비를 충실하게 해 둘 필요가 있다.

② 모니터링 설비

현재, 원자력 발전소에 있어서는 site 주변에 배치된 모니터링·포스트에 의해서 통상 운전시에 있어서의 線量 및 선량률의 연속 측정값시가 行해지고 있으나 긴급시에도 対処할 수 있는 환경 모니터링·시스템의 방법(모니터링·포스트의 배치, 측정 렌즈 등)에 대해서 검토를 加하는 것이 중요하다. 또, 긴급시에서 방사성 氣團의 方向 등의 변화에 대해서 明確히 대응하기 위해 이동·휴대측정기나 沃素 sampler 등의 긴급시用的 측정기의 정비를 도모함과 함께 이들을 사용 가능한 장소에 常時 점검해서 配備할 필요가 있다.

③ 一般公衆의 被曝線量の 評價

긴급시에서의 일반 공중의 피폭선량의 予測의 결과 및 지역固有의 상황에 따라서 방호 조치를 실시에 관계되는 판단의 자료로 하기 위한 평가를 행하고 또 실제의 피폭선량을 종합적으로 평가하는 體制에 대해서 검토해 두는 것이 중요하다.

④ 긴급시 연락

긴급시에서는, 전화回線이 타버리는 것이 생각되므로 미리 중요한 機關과의 사이에 專用回線을 설치해 두는 것이 필요하며, 또 전화回線 以外の 통신연락 방법에 대해서도 아울러 검토해 둘 필요가 있다. 한편, 일반 公衆에 대한 退避 등에 관하는 通報의 방법에 대해서 검토해 두는 것도 중요하다.

⑤ 輸送手段의 확보

防災上 필요한 人員 및 機材의 운반이나 일반 公衆의 대피등에 필요한 수송수단을 확보할 수있도록 검토해 둘 필요가 있다.

⑥ 교육·훈련

긴급시에서의 환경 모니터링의 실시, 연락망의 정비, 수송수단의 확보 등을 맡는 者에 對해 防災上 必要한 教育·훈련을 充分히 行할 必要가 있다.

2·6 安全研究 關係

TMI-2의 사고에 對하여, 아래의 연구테마의 실시가 必要하다고 생각된다.

(1) 關連하는 事象의 解析과 對應기술의 確立

이번 사고에서는, 2次 냉각제 의 故障에서 端을 發하여 加壓器 릴리프 밸브로부터의 1次 냉각水 의 리이크, ECCS 및 1차 냉각재펌프의 手動停止 에 對하는 爐心 냉각기능의 低下, 질코늄-물 反應에 의한 水素의 발생과 그 영향, 格納容器內의 1次 냉각水 의 移送에 對하는 揮發性 방사성 物質의 放出등 의 事象이 일어나고 있다.

이들의 事象에 對해서는, 종래에도 검토되고 있었으며, 안전설계에 反映되고 있으나 安全余裕度 의 確인의 精度를 다시 높이기 하기 爲해, 또한 이들의 事象에 유사한 사고事象의 發生을 없애기 爲해 다음과 같은 연구를 行할 必要가 있다.

① small LOCA時의 二相流의 實驗 및 解析

1次 냉각제 의 中小破斷時의 증기발생기內, 1차 냉각제配管內에 生기는 一成分 및 二成分 二相流 의 거동에 對해서 예상되는 사고경과와의 關連을 포함해서 연구하며, small LOCA 의 現象을 解析하는 code 의 개량의 資料로 한다.

② 自然循環 爐心冷却에 關한 研究

爐心 의 강제 냉각이 行해지지 않은 경우에 1차 냉각제內의 자연순환이 성립되는 조건 및 이에 의한 爐心 냉각 기능에 對해서 研究한다.

③ 流量停滯시에서의 爐心 냉각 기능에 關한 研究

유량停滯시에서의 爐心 냉각 기능에 對해서 研究한다.

④ LOCA條件下의 格納容器內 器機의 신뢰성 의 研究

motor, cable, 端子盤 등 格納용기內의 器機의 高溫度, 高放射線 등의 環境下에서의 신뢰성을 確인한다.

⑤ 壓力容器 nozzle 部의 thermal shock 에 對한 신뢰성 의 研究

ECCS의 작동에 對하는 thermal shock 에 對한 압력용기 nozzle 部의 신뢰성에 對해서 특히 破斷이 있을 경우를 想定해서 研究한다.

(2) 人爲的인 誤操作에 의한 사고의 發生을 막기 爲한 研究

이번의 사고가 커진 原因은, 시설의 상태를 운전원 이 充分히 파악할 수 없어서 판단을 잘못된 점에도 있다고 한다.

이를 爲해, 운전원 의 誤操作에 必要한 시간에 對해 人間工學的인 觀點에서 검토를 行함과 함께 다음과 같은 연구를 行할 必要가 있다.

① 施設의 狀態 파악에 必要한 研究

시설의 狀態를 充分히 파악하기 爲해서 계산기 프로그램·시스템, 감시 display 方式 또는 제어실 表示盤 등의 적절配置 에 對해서 必要한 연구를 行한다.

(3) 輕水爐 施設의 信賴度解析 研究

이번의 사고에 關해서 輕水爐 施設에서의 사고의 risk 는 어느 정도인가를 明確히 파악하고 그 結果에 對해서 현재의 안전연구가 充分한가를 검토해 둘 것이 必要하다.

이와 같은 연구는, 종래에도 조금씩 行해져 왔으나 우리나라의 원자로의 실태에 適合한 연구를 추진하는 것이 必要하다.

이를 爲해, 故障 data bank 의 설치에 對해서도 검토함과 동시에 다음과 같은 연구를 할 必要가 있다.

① 施設구성 器機의 신뢰성 의 研究

시설구성 기기의 故障를, 故障평균 시간등에 關하는 data 의 蓄積에 對해서 시설구성기기의 신뢰성에 對한 연구를 行한다.

② 신뢰도 解析研究

고장정보를 분석해서 어떠한 사고가 予想되는 가에 對해서 우리나라 輕水爐 施設의 디자인 및 運用형태, 운전원 의 行動樣式 등을 고려하면서 검토함과 동시에 경수로 施設의 신뢰도를 解析하는 방법에 對해서 研究한다.

③ 定量的 risk 평가연구

우리나라 原子力 발전소의 立地등을 고려해서 輕水爐 시설의 risk를 정량적으로 평가하는 方法에 대해서 연구한다.

(4) 事故時 対策에 관한 연구

이번의 사고를 제기로 해서 만일 輕水爐 시설에 사고가 일어나서 주변에 방사성 물질이 放出되는 경우의 대책을 충분히 검토하여 필요한 조치를 강구해 두는 것이 강하게 요청되고 있다. 이를 위해 다음과 같은 연구를 행하는 것이 필요하다.

① 사고시 対策用 data bank system에 관한 연구

사고시에서의 시설 상태의 解析에 필요한 시설의 설계등에 관한 data, 방출되는 방사성 물질의 거동 解析에 필요한 back ground 등의 data, 防 災 대책의 立案에 필요한 주변지역의 교통 사정 등의 data를 수집, 분류, 정리해 두기 위한 data

bank system에 대해서 그 기능, 入力 data의 내용 및 형태, 액세스의 방법, 설치 형태등의 검토를 행한다.

② 사고시 방사성 물질 放出量 解析 system에 관한 연구

시설의 설계등에 관한 data 및 시설의 計測 data로부터 사고시의 시설의 상태를 明確히 파악함과 동시에 그 後의 사고推移를 예상하고 방사성 물질의 방출량의 예측을 신속히 行하는 方法 및 시스템에 대해서 연구한다.

③ 환경방사능 예측시스템에 관한 연구

방사성 모니터링 데이터 및 氣象 데이터로부터 방출되는 방사성 물질의 그 後의 拡散 상황을 예측하고, 또 주변주민의 생활양식 등의 데이터를 참고해서 피폭線량을 예측하는 方法 및 시스템에 대해서 연구한다.

原子力의 躍進에 貢獻하는

原子力用

高純度化學藥品·工業藥品

◆ 同位元素

- 硼素同位元素
- 리튬同位元素

◆ 硼素二次製品

- PWR Chemical Shim用

● PWR ICRS用

- 汚染處理用

◆ 高純度 化學藥品

- 燃料再處理用
- 燃料轉換用
- 燃料 成型加工業

◆ 再處理用 工業藥品

◆ 放射能 除染劑

- 放射性 廢棄物 洗濯用
- 實驗器具 除染

宝星商社

서울시 중구 입정동 175-1
전화 : 261-3308