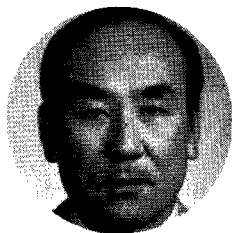


소련 체르노빌原子力發電所 事故에 비추어 본 國內 原子力發電所의 安全性



李 相 薰

〈韓國에너지硏·原子力安全센터長〉

1. 체르노빌原電 事故

소련 우크라이나共和國의 한 原子力發電所에서 最近 事故가 일어나 負傷者가 發生했다고 소련관영 타스通信이 4月28日 처음으로 이번 原子力事故에 대하여 發表하였다.

事故의 精確한 일시는 알 수 없으나 事故發電所에서 1,600km나 떨어진 스칸디나비아半島의 大氣中에서 定常值보다 最高 10배의 放射能을 探知한 점으로 보아 事故日時は 4月27日의 수일 전으로 추정된다. 그 후에 밝혀진 바로는 事故 原子爐는 체르노빌 4號機로서 爐型은 RBMK-1000으로 黑鉛을 減速材로 사용하는 沸騰水型 輕水爐로 알려졌다. RBMK는 高出力 壓力 튜브 原子爐를 뜻하고 1000은 1000MWe의 熱出力을 뜻한다. 소련의 原子力發電프로그램은 대체로 두 종류의 原子爐, 즉 WWER과 RBMK 原子爐에 기초를 두고, 原子力에 의한 電力生産은 전체 電力總生産의 14%를 차지하고 있으며, RBMK 原子爐에 의한 電力生産은 原子力에 의한 電力總生産의 64.5%를 차지하고 있다.

事故의 原因, 被害內容 등의 事件真相을 소련 측이 아직 公開하지 않고 있어 자세한 事故現況은 알 수 없지만 이번 事故는 原子力發電所에서

일어날 수 있는 最惡의 事故인 爐心熔融 (Melt-down) 事故가 아닌가 생각된다. 爐心熔融은 지난 1979年 미국 TMI-2事故에서 체험한 바와 같이 放射線遮蔽壁 및 爐心이 熔解되어 放射性物質이 大氣中으로 누출되는 事故에 해당한다.

이러한 爐心熔融을 초래케 한 原因에 대해서는 확실히 알 수 없으나 두 가지로 추정해 볼 수 있다. 첫째는 核燃料被覆材인 지르코늄합금이 물속의 산소와 結合하면 수소가 발생하는데 이 수소가 鎔接 등에 의해 폭발했을 가능성이 있다. 이는 事故原子爐의 뚜껑이 날아가고 原子爐壁이 손상당했다는 外信報道에서도 뒷받침하고 있다.

다음은 冷却水喪失事故로 冷却水循環系統에 異常이 생겨 冷却水가 喪失되어 爐心の 온도가 급격히 상승(2000℃ 以上)하여 爐心이 熔融되었을 가능성이 있다.

美國 原子力産業協會에서 最近에 보내온 情報에 따르면, 모스크바에서 事故調查責任者에 의해 발표된 新聞報道에서 事故는 冷却水喪失로부터 시작되었는데 이로 인해 原子爐채널의 온도가 상승하여 그 결과 壓力 튜브와 核燃料被覆材가 熔融되고, 이로 인해 수소가 생성되어 폭발하였으며 이는 黑鉛의 火災를 야기시켰다고 전

하고 있다.

外信報道에 의하면 이번 事故로 소련에서 2천명의 死傷者가 發生하였으며 1만5천여명의 주민들이 버스나 軍用기로 인근 “키에프”시로 安全待避했으며, 시내병원들은 放射能汚染症勢로 入院한 환자들로 붐비고 있다고 전한다. 한편 타스통신은 2명만이 死亡하였고 197명이 병원에 入院하여 49명은 檢診을 받은 후 퇴院하였으며, 18명이 중대한 상태에 있다고 보도하고 있다. 그러나 소련당국이 체르노빌지역 주변 30km지역을 보호구역으로 선포하고, 서독과 스웨덴에 原子爐의 火災를 진압하는 方法에 대해 도움을 요청하였으며 事故原子爐와 같은 類型의 原子爐 20機를 運轉停止시키는 등 일련의 措置內容으로 미루어 보아 事故規模와 被害範圍가 확산될 가능성이 있어 보인다. 더욱이 이번 事故로 누출된 放射性物質을 내포한 放射能大氣가 인접 스칸디나비아半島를 비롯 동유럽 상공까지 확산되었으며 8천km나 떨어진 일본에서도 5월4일 I-131 등 放射性物質이 檢出되었으며 우리나라에서도 5월 5일 밤에 충주지방에 내린 빗물에서 放射能汚染으로 추정되는 放射性物質 등이 처음으로 검출

되었다. 검출된 放射能의 量은 I-131이 2당 1,500 pCi, Ru-103이 900pCi, Co-60이 70pCi 정도였다. 이 정도의 放射能濃度를 함유한 빗물은 우리들의 건강에 별다른 영향을 미치지 않을 것으로 생각되나, 이번 事故는 많은 지역 특히 스칸디나비아半島와 동유럽국가들의 환경과 주민의 건강에 영향을 미칠 것 같다.

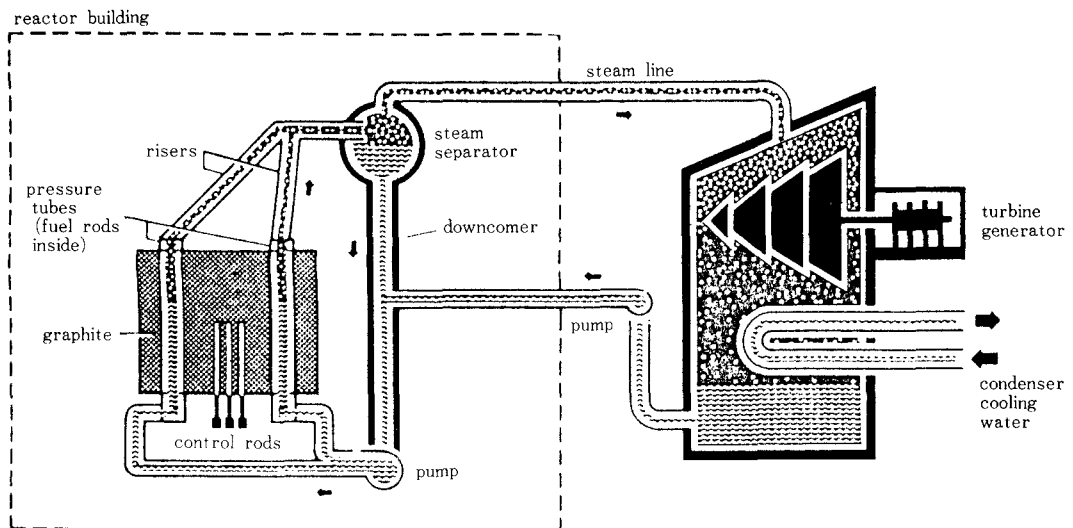
2. 체르노빌 4號 原子爐의 概要

체르노빌 4號機 原子爐의 개략도는 그림 1에 나타내었다.

原子爐心은 직경이 12.2m, 높이가 7m의 원통형으로서 원통측면은 1m 두께의 反射體(reflector), 윗면과 아랫면은 0.5m 두께의 反射體로 둘러싸여 있다.

爐心은 核燃料棒, 減速材, 制御裝置, 中性子束 感應信號裝置, 黑鉛溫度를 측정하기 위한 열전대쌍으로 구성되며, 密度가 1.67g/cm³인 흑연벽돌(크기 250×250mm)들로 차곡차곡 쌓아 내부를 채우고 있다. 이들 흑연벽돌안으로 수직구멍들이 뚫려 있어 대부분은 壓力 튜브(pressure tube)가 지나고 있고 몇몇 구멍들은 制御棒과 計

〈그림 1〉 체르노빌 4號 原子爐의 概略圖



測裝備의 통로를 제공한다.

여기서 흑연벽들은 減速材로서 역할을 하게 된다. 흑연벽들을 채우고 남은 爐心 内部空間은 不活性氣體(헬륨과 질소의 혼합물)로 꽉 채우게 된다. 爐心은 또한 金屬銲接構造物로 둘러싸여 있는데 이 구조물은 放射線遮蔽壁의 구실뿐 아니라 爐心の 무게를 콘크리트로 된 爐心 밀면 지지판으로 전달하는 역할도 맡고 있다. 밀면지지판과 윗면지지판은 熱遮蔽體 역할을 하는 물탱크 위에 위치하고 있다.

1,600여개의 壓力 튜브에는 核燃料集合體가 裝填되어 있으며, 冷却水가 그 안으로 흐르고 있다. 冷却水는 壓力 튜브에서 加熱되어 蒸氣가 발생하며 물과 증기의 혼합체가 분리된 1,690개의 配管(steam-to-water pipes)을 지나 증기분리기로 운반된다. 증기분리기는 증기가 터빈발전기에 도달하기 전에 증기에서 물을 제거한다. 제거된 물은 downcomer配管을 통해서 壓力 튜브 밑바닥으로 흘러들어와 다시 循環過程을 밟게 된다.

核燃料再裝填設備는 原子爐 윗부분에 위치하며 核燃料는 稼動中에 해당 壓力 튜브를 減壓하여 해당 核燃料채널을 교체하며 再裝填하게 된다. 각각의 壓力 튜브는 두개의 sub-assembly로 구성된 核燃料集合體를 위, 아래로 직렬배열하고 있으며, sub-assembly의 길이는 3.5m이고 sub-assembly사이의 간격은 약 20mm가 된다. sub-assembly은 18개의 核燃料棒으로 集合되어 있으며 각 核燃料棒은 직경이 11.5mm의 UO_2 펠렛을 지르코늄합금의 被覆材안에 담고 있다. 核燃料는 2% 濃縮우라늄을 사용한다. 制御棒驅動裝置는 原子爐 아래부분에 위치하고 있으며 211개 制御棒으로 구성되어 있다.

原子爐保護系統은 크게 두가지 機能을 가지고 있는데 하나는 필요시 原子爐를 긴급 정지시킬 수 있도록 停止系統에 신호를 보내는 일이고, 다른 하나는 工學的 安全設備系統에 작동신호를 보내는 일이다.

3. 國內 原子爐의 安全性

체르노빌 4號機 原子爐와 비교해서 國內 原子爐의 主要 安全性側面을 몇가지 살펴보면 다음과 같다.

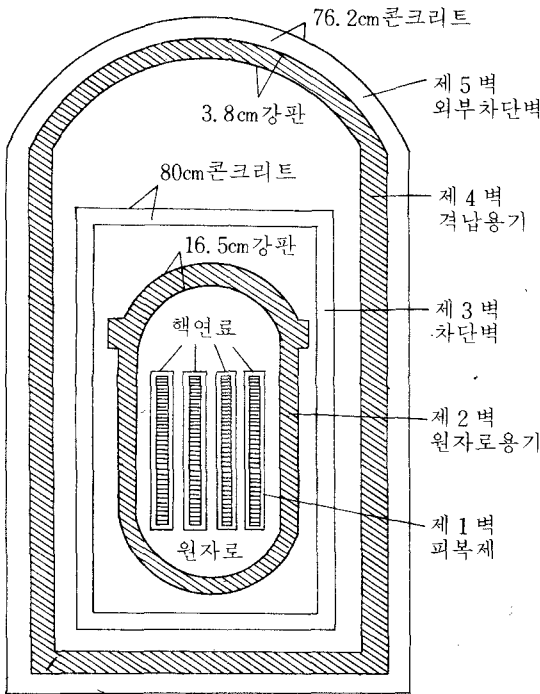
1) 國內 原子爐는 減速材로 輕水 또는 重水を 사용하고 있으나 체르노빌 4號 原子爐는 黑鉛을 사용하였다.

黑鉛은 “위그너”에너지라고 불리는 固體物理學的인 現象에 의하여 黑鉛의 내부온도가 상승함으로써 燃燒를 일으킬 가능성을 가지고 있다. 다시 말하면 黑鉛의 結晶構造가 빠른 中性子の 파폭으로 인하여 變更되었다가 熱處理過程에서 定常構造로 회복되면서 저장되어 있던 에너지가 갑작스럽게 放出됨으로써 내부의 온도가 급상승한다. 이 경우 黑鉛이 昇華現狀을 일으켜 氣體로 변하면서 폭발현상을 일으킬 수 있고 주위의 산소가 결합하여 火災를 초래할 수도 있다. 이와 같은 事故는 1957年 英國의 Windscale 原子力發電所에서 發生한 바 있다. 黑鉛을 減速材로 사용하는 原子爐設計概念이 초기에 서방세계에서 檢討된 적이 있으나 1950年代 이후로는 채택되지 않고 있다.

2) 國內 原子爐는 放射線의 최후 防護壁인 格納容器가 있으나 체르노빌 4號 原子爐는 없다.

우리나라 原子爐는 多重防禦概念을 채택하여 5重의 防護障壁으로 구축된 格納容器로 덮여 있다. 最惡의 경우인 冷却水喪失事故로 인한 爐心 熔融事故가 發生하더라도 放射性物質은 格納容器를 빠져 나오지 못하게 되어 있다. 多重防禦概念이란 原子爐에서 發生되는 放射性物質이 만약의 事故時 大氣로 漏出되어 一般大衆 및 環境을 汚染시키지 않도록 多重으로 防禦하여 原子爐를 設計하는 것을 말한다. 즉 그림 2와 같이 核燃料自體, 核燃料被覆材, 原子爐 壓力容器, 遮斷壁, 格納容器순으로 保護障壁이 설치되어 放射性物質이 大氣中으로 漏出되지 않도록 設計되어 있다. 이중 格納容器는 만약의 事故時 내부

〈그림 2〉 原子力發電所의 多重방호벽



의 壓力과 溫度에 견딜 수 있도록 設計되어 放射性物質이 大氣中으로 漏出되는 것을 막는 最後의 防護障壁으로 國內 原子爐의 경우 1m의 두께를 갖는 거대한 콘크리트구조물이다.

1979年 3월에 發生한 TMI-2事故時 格納容器 내부에 放射性物質을 가둬둠으로써 放射性物質의 外部漏出을 最大한 억제할 수 있었기 때문에 放射能에 의한 被害는 무시할 정도였다. 그러나 이번 事故는 格納容器가 설치되어 있지 않았기 때문에 많은 放射性物質이 外部로 漏出된 것 같다.

3) 國內 原子爐는 各種 原子爐安全設備를 갖추고 있다.

原子爐安全設備는 原子爐 運轉中 非正常過渡狀態가 發生할 때 原子爐를 安全하게 制御하고 放射能의 大氣放出을 最少로 줄이기 위한 設備들로 原子爐保護系統, 原子爐停止系統, 그리고 工學的安全設備系統이 이에 해당된다.

原子爐停止系統의 機能은 原子爐保護系統에서 전달된 신호에 의해서 制御棒을 낙하시켜 核物理的으로 原子爐를 緊急停止시키는 일이다. 工學的安全設備系統은 冷却水喪失事故와 같은 緊急事故時에 原子爐心을 非常冷却시키고 原子爐가 계속 安全停止狀態로 유지할 수 있도록 格納容器 내부의 공기를 冷却시킬 뿐만 아니라 格納容器 내부의 공기를 완전히 격리시킨다. 그밖에 原子爐는 도플러(Doppler)效果와 보이드(Void)效果에 의해 核分裂反應이 갑자기 증가하여 原子爐內의 온도가 급상승하면 核分裂反應이 자연히 억제되어 온도가 내려가는 原子爐 固有의 安全性을 가지고 있다. 끝으로 國內 PWR과 체르노빌 4號機 原子爐와의 주요 設計要素를 비교하면 表 1 과 같다.

4. 소련 原電事故에 따른 우리나라 原子力發電所의 安全對策

소련 체르노빌 原子力發電所의 事故가 發生하자마자 韓國에너지研究所 原子力安全센터에서는 蘇聯原電事故對策班을 구성하여 事故發電所에서 流出된 放射能落塵의 被害를 우려하여 全國 6個所 放射能測定所의 環境放射能測定을 強化하고 구미 각국과의 國際協力에 의한 情報를 계속 수집하여 事故의 原因과 被害現況을 追跡하여 放射能對策 및 우리나라 原子力發電의 安全對策 마련에 最善을 다하고 있다.

우선 이러한 安全對策의 일환으로 5월 8일부터 5월 20일까지 2周間에 걸쳐 科學技術處, 原子力安全센터, 韓國電力公社 合同으로 點檢班을 편성하여 가동 중인 國內 原子力發電所의 安全點檢을 실시할 계획이다. 이는 原子爐의 重大事故 發生可能性을 事前에 排除시키고 原子力事故로부터 國民保健 및 環境保護에 萬全을 期하기 위한 措置이다. 이번에 실시하는 安全點檢의 主要分野 및 點檢內容은 表 2 와 같다.

또한 長期對策으로는 外國 專門家와 共同으로

〈表 1〉 原子爐設計 比較

내용	발전소	국내 PWR	소련 체르노빌	비고
발전로형		Reactor Vessel Type PWR (수직형)	Boiling-Water High-Power Reactor (Channel-Type) Type RBMK(수직형, 10기 가동중)	
감속재		경수	Graphite(흑연)	
냉각재		경수	경수	
핵연료		UO ₂ (3% 농축)	UO ₂ (2.0% 농축)	
핵연료피복재		Zircaloy	Zircaloy	
핵연료장전		원자로정지후 재장전	출력운전중 각 Channel마다 교체	
제어봉계통		원자로상부에서 삽입, 인출	원자로 하부에서 삽입, 인출	
로심형태		핵연료집합체가 가압경수인 감속재/냉각재속에 채워져 있음. 증기발생기에서 증기발생(PWR)	흑연감속재 벽돌속에 핵연료가 장전되어 수직으로 설치되어 있음. 각각의 Pressure Tube에서 증기생산(BWR)	
격납건물구조		Reinforced Concrete Dome Containment(두께 1m, 그림 2)	Box형 지붕형태의 구조물 Confinement(그림 1)	
격납건물 DBN		Main Steam Line Break 사고(DBN 사고)시의 내부압력(62.5psia)에 견딜 수 있도록 설계	IAEA Safeguard Standards를 따르지 않음.	-DBN(Design Base Accident) 설계기준 사고
DBA 관련계통		공학적 안전설비 - 비상 노심냉각계통 - 격납용기 살수계통 - 보존급수계통 등	-Emergency Cooling Pump -Emergency, Feedwater Tube -Pressurizers of Emergency Cooling System	-사고방지를 위한 설비의 설치 및 기능은 적음
Safety Protection Philosophy (Defence in Depth) 사고 원인		핵연료, 핵연료피복재, 원자로 압력경계, 격납용기	핵연료, 핵연료피복재, 원자로 압력경계	-CHRENOBYL- 4에는 격납용기 없음.

國內 稼動中인 原子力發電所를 安全點檢할 계획이다. 國際原子力機構(IAEA)의 OSART(Operational Safety Review Team)을 초청하여 原子力5·6號機를 點檢할 方針이며 미국의 INPO(Institute of Nuclear Power Operations)의 專門家들을 活用하여 原子力3號機를 대상으로 1986年

度 後半期에 國內外 專門家로 된 安全點檢을 실시할 計劃으로 되어있다.

이러한 外國 專門家들에 의한 國內 稼動中인 原子力發電所들의 安全點檢을 이미 4次에 걸쳐 받은 바 있다. 즉 1980年 6月の Levy調查團, 1983年 8月に IAEA의 OSART, 同年 10月に 제

〈表2〉 稼動 중인 原子力發電所의 安全綜合點檢

點檢分野	點檢內容
工學的安全 設備系統의 安全性點檢	○補修維持 및 試驗實施 등의 關聯 組織 및 管理體制 評價 ○設計 및 故障實態點檢 ○補修狀況 및 裝備施設狀態點檢 ○各種 試驗實施狀態 및 計劃點檢과 主要器機試驗
格納設備 등 事故防護 能力評價	○重大事故 發生可能性 評價 ○事故發生時 設備의 對處能力 評價 ○事故發生時 被害程度 등 危險度 評價
火災防護 機能 확인	○火災發生 可能性 檢討 ○防護設備의 補修維持狀態 확인 ○火災發生時에 대처계획 및 體制點 檢
安全運轉 能力評價	○運轉員 運用狀況 및 事故對處能力 評價 ○非常運轉 節次書 등 事故對處狀況 評價 ○事故時 技術體制 및 能力評價
環境放射能 評價	○放射能 非常對策 檢討 ○발전소 주변 環境 放射能 監視 및 放射線管理體制 點檢 ○全國 環境 放射能 監視 및 管理體 制 點檢

1 차 INPO 專門家, 이어 1985年 6月에 제 2 차 INPO 專門家들의 安全點檢을 각각 받았는데 國內 原子力發電所의 安全水準이 國際水準에 도달하고 있다고 認訂받은 바 있다.

5. 結 言

소련 체르노빌 原子力發電所 事故는 소련은 물론 온 인류에게 비극적인 사건이 아닐 수 없다. 특히 유감스러운 것은 소련當局이 事件의 眞相과 被害內容을 소상히 밝히지 않아 세계각국이 이번 事故에 對應하기 위한 대책마련에 어려움을 겪게 되었다. 다행히 우리나라는 地域的으로

事故 原子爐로부터 상당히 멀리 떨어져 있어 事故로 인한 직접적인 피해는 거의 없을 것으로 판단된다.

앞에서도 언급했듯이 國內 原子力發電所는 加壓輕水型 또는 加壓重水型 原子爐로서 減速材로 輕水 또는 重水를 사용하기 때문에 減速材를 黑鉛을 사용한 체르노빌 原子力發電所와는 매우 달라 이번 事故와 같은 原子力事故가 원칙적으로 發生하지 않을 것이다. 특히 이번 事故 原子爐는 格納容器가 없어 事故의 被害가 큰 것으로 생각되는데 國內 原子爐는 多重防禦概念으로 設計되어 실령 原子力事故가 發生한다 하더라도 放射性物質의 外部漏出을 최대한 막을 수 있도록 설계된 格納容器가 설치되어 있다. 그리고 國內 原子力發電所는 세계에서도 가장 엄격한 미국 등의 安全基準에 따라 設計, 製作, 建設, 그리고 運轉되고 있어 그 安全性은 매우 높다 하겠다.

政府는 原子力發電所의 放射線非常時에 對備해 國家的 次元에서 綜合的이고 組織的인 防災體制를 갖추고 있으며 韓國에너지研究所 原子力安全센터에서는 放射線非常時 必要한 專門的이고 技術的인 技術支援을 위한 非常計劃을 마련하고 있다. 또한 原子力發電所들은 自體의 非常計劃을 수립하고 있으며 放射能 防災體制를 確立하고 對處能力을 向上시키기 위해 各 號機當年 2回 合同 放射線非常訓練과 年 1回 以上の 自體訓練을 실시하고 있다.

그러나 이번 체르노빌 原子力發電所 事故는 우리에게 原子力發電所의 安全性과 放射線非常對策의 重要性을 다시 한번 일깨워준 좋은契機가 되었다.

