

美国原電에서의 压力容器 照射脆化

Connecticut Yankee 원電을 爲始한 미국 13基의 PWR 원電의 壓力容器 鋼材는 中性子照射에 의해 급격히 脆化되고 있으며, 몇基의 원電은 82년말에는 安全하게 운전할 수 없을 가능성도 있다 — 이러한 NRC 담당관의 衝擊的인 발언을 소개한 「The New York Times」(이하 NY Times)의 9월 27일 字 記事는 즉시 世界 여러 나라에서 보도되었다.

또 NRC 위탁으로 오크리지 國立研究所(ORNL)가 연구한 「加壓下에서의 熱衝擊評價」라는 제목의 報告도 中性子에 의한 照射脆化의 문제와 관련되고 있다. 이에 따르면 中性子照射에 의해 脆化된 鋼材는 LOCA時 緊急 爐心 冷却水가 注入될 경우 급격한 온도변화로 爐벽의 손상이 한꺼번에 進行되어 원자로수명이 끝나기도 전에 壓力容器가 파괴되는 큰 사고로 발전할 우려가 있다는 것이다.

이러한 NRC측의 발언과 報告에 대해 電力 會社측에서는 反論이 가해지고 있다. 그 상세한 推移에 대해서는 잘 알수 없으나 여기서는 「NY Times」 記事의 개요를 소개하면서 이 문제를 알아보겠다.

压力容器와 限界溫度

원자로에서 그 爐가 충분히 튼튼한가를 측정하는데에는 爐材料가 파괴에 대한 저항을 잃는 온도가 어느정도 낮나 하는 것이 중요한 기준이 된다. 이 온도를 限界溫度(reference temperature)라고 하며, 이 온도가 낮을수록 爐가 튼튼하다. 그런데, 爐心으로 부터 끊임없는 中

性子照射에 의해 壓力容器의 鋼材는 서서히 劣化되어 容器의 內側에 작은 금이 생길 가능성이 있다. 그렇게 되면, 限界溫度는 상승된다.

특히 運轉經歷이 긴 原電에서는 中性子照射의 영향을 많이 받는 壓力容器의 內벽을 중심으로 한계온도가 상승되는 경향이 있으며, 이 현상은 일찍부터 관계자 사이에서 주목되어 왔다. 10여년 以前부터 IAEA등에서 이 문제에 관한 専門가회의가 정기적으로 개최되며 서독, 프랑스 및 일본등이 시험재료를 제공하는 국제 공동연구도 현재 행해지고 있다. 또, 미국은 물론 일본에서도 試驗片을 壓力容器속에 넣어 정기적으로 檢査를 하고 있다. 그러나, 현재까지 이들을 통해서 특히 긴급을 요하는 문제가 제기된 경우는 없었다.

嚴한 NRC의 対応

「壓力容器가 예상이상으로 脆化가 進行되고 있음이 최근 壓力容器내에 넣어둔 試驗片에 의한 surveillance 시험에 의해 명백해졌다」는 것이 이번에 NRC의 주장이다. NRC는 미국의 46基의 원자로가 이러한 照射脆化의 문제를 갖고 있으며, 이 중에서 限界溫度가 200°F(93°C) 이상이 되는 원자로가 13基 있다고 지적하였다. Connecticut Yankee의 한계온도는 현재 230°F이고 Robinson 2와 Turkey Point 3은 290°F에 달하고 있다고 한다. (現在 照射脆化의 한도를 유도하기 위해 몇가지의 計算式이 사용되고 있으나 NRC가 이중 어느式을 사용해서 이번 문제를 提起했는지는 명백하지 않다).

「NY Times」에 의하면 NRC의 安全技術部長 T. Murley氏は 「현재 이용할 수 있는 정보에 의하면 앞으로의 사태는 대단히 신경을 써야할 상태에 있다고 생각하여 취급하고 싶다」고 말하였다.

이 문제에 대한 NRC側の 対応은 전체적으로 상당히 嚴한것 같다. 원자로안전성技監 D. L. Basdekas氏도 이러한 문제를 가지고 있는 원자로에서의 냉각수 누설시의 급격한 온도변화에 관심을 표시하고 그때의 압력용기는 “a glass jar”로 표현할 수 있는 상태라고 말하고 있다. 또 다른 담당관은 장래 炉心溶融과 같은 파국적인 사고가 될 가능성을 부정하지 않았다고 한다. 그리고 NRC는 문제를 갖고있는 原電中 몇基는 본격적인 보수가 필요하다고 지적하였다. (어떤 高官은 82년末까지에는 炉의 운전정지가 필요한 발전소도 있다고 말하였다)

電力会社の 反論

모든 關聯 電力会社는 NRC에 대해서 異議를 제기하고 있다.

전력측의 反論은 다음과 같다. 이 문제에 대해서는 多額의 연구투자를 하여 이미 안전을 확인하고 있다. 또 원자로에 균열이 생긴다는 것이 想定되면 발전소를 운전하지 않는다는 것이다.

Northeast발전회사의 G. Doughty氏 (公報담당)는 「全혀 걱정하지 않고 있다」고 壯談 하고 있으며, E. Debarba氏 (技術者)는 「어느정도 올바르게 健全性の 여유가 있는가」를 재평가해 보려는 계획이라고 말하며 補修의 필요는 인정하지 않았다. 嚴하게 脆化문제를 지적당한 Florida전력회사도 균열이 압력용기를 貫通해서 퍼져나갈 일은 없다고 하며 제 1차 分析에서도 최저 4년이상은 충분히 안전하다고 보고하였다. (물론 NRC도 지금 당장 원자로가 균열을 일으킬만큼 脆化 되었다고는 생각하지 않고 있다고 反論하고 있다). 兩側의 주장은 다음 표와 같다.

NRC主張의 要点	發電会社 反論의 要点
(1) 82年末까지 운전을 정지해야 할 원자로가 생길지도 모른다.	(1) 이문제는 多額의 연구투자를 해서 안전을 확인하고 있다.
(2) 46基의 원자로가 脆化 문제를 갖고 있으며 限界온도가 200°F (93°C) 이상이 되는 원자로가 13基이다.	(2) 원자로에 균열이 생기게 되면 운전을 정지한다
(3) 예상한 以上の 限界溫度上昇이다.	(3) 원자력발전소는 최저 4년 이상의 안전성을 가지고 있음이 分析에서 확인되었다 (Florida Power & Light Co.)
(4) 限界溫度를 260°F (127°C)로 하는 새로운 基準을 설정한다.	(4) 균열이 생기더라도 확대되는일은 없다. (Florida Power & Light Co.)
(5) 증기발생의 교환은 어려운 문제이기는 하나 가능하지만 압력용기는 전혀 교환이 불가능한 문제이다.	
(6) 照射脆化와 熱應力の 重畳을 걱정한다.	

Rancho Seco 1의 사고

「NY Times」는 劣화된 압력용기에서 균열이 일어날 가능성으로 78년에 Rancho Seco 1에서 발생한 사고를 例로 들고 있다.

이것은 計測系의 고장으로 LOCA가 된 사고인데 냉각수는 1시간이내에 정상의 590°F에서 280°F로 저하되었다. 그리고 냉각수와 접촉하는 압력용기 내벽과 고온을 유지하고 있던 외벽과의 온도차에 의해서 높은 熱應力이 발생하였다. 이 原電은 운전을 시작하지 얼마 안되는 새 炉였는데 「10~15년 全力운전한 압력용기 였더라면 균열이 생겼을지도 모른다」 (Murley氏)고 하였다. 여기서는 ORNL의 보고에 있었던 것 처럼 급격한 溫度勾配가 중요한 factor로 되어 있음을 알 수 있다. 이러한 상태를 잘 알고 있는 숙련된 運轉員은 위기에 처했을 경우 熱衝擊을 방지하기위해 冷却水의 양을 조절하려고 할지 모른다. 그러나 TMI사고 이후의 새로운 運轉指示書에는 어떠한 상태에서도 冷却系를

정지시켜서는 안된다고 지시되고 있다고 同紙는 비판하고 있다.

이 문제에 대해서는 물론 材質도 밀접하게 관련되어 있다. 문제의 많은 부분이 압력용기를 구성하는 鋼板의 용접部位에 있다. 그 곳은 용접할때 銅이나 燐 등의 불순물이 혼입되기 쉽다. 따라서 미국이나 일본등에서는 지금까지 불순물의 존재를 감소시키는 노력이 취해져 왔다. (일본의 경우 원자로 鋼材의 성분에 銅이 들어갈 余地가 적고 또 불순물혼입의 규제도 엄해서 미국과 동등하게 論할 수 없다는 일본사람의 의견도 있다) 이곳에 작은 균열이 생겨 있어도 ISI (供用期間中檢査)에서는 발견이 곤란하다는 점도 이 문제를 더욱 어렵게 만들고 있다.

NRC의 앞으로의 対応

NRC는 이러한 문제에 대처하기 위해 신규의 원자로에서는 엄한 기준을 설정하고 있다. 압력용기는 40년수명에서 內壁의 限界온도가 260°F (127°C) 이상 상승해서는 안된다는 것이다. 또한 NRC는 몇가지의 追加요구를 고려하고 있다

고 한다. 즉 炉心の 外周의 照射를 감소시키기 위한 核연료의 재배치, 저온에서의 再加圧을 방지하기 위한 自動制禦系의 변경, 또는 炉心을 꺼내 재료를 처리하는 등 새로운 계획도 검토되고 있는것 같다. 同時에 전력회사에 대해서 문제해결을 위한 활동과 계획의 지시를 요구하며 운전을 유지하기위한 分析도 요구하고 있다.

美国에서의 앞으로의 推移가 매우 걱정되므로 우리나라도 이에 대한 対応이 필요하게 될지도 모른다.

[參考] NRC의 規制値는 試驗炉를 사용해서 얻어진 計算式에 따른 것으로 생각되는데, 이외에도 실제의 플랜트를 사용해서 얻어진 경험적인 계산식과 ASTM (미국재료시험학회) 이 준비하고 있는 계산식등이 있다. 또, WH社와 B&W社도 未公開이기는 하나 独自の 계산식을 가지고 있다고 하며 電力側의 NRC에 대한 反論의 근거의 하나가 試驗炉의 경우와 実原子炉의 경우에서 얻어지는 데이터에 相異가 있다고 하는 점이다.

核融合의 未來像

美国의 「Star Fire」

최근 몇년동안 핵융합 연구개발은 눈부시게 진전되어 핵융합반응의 臨界Plasma조건이 1980년대 후반에 실현될 것이 거의 확실하다.

또한 핵융합로 개념의 연구가 진척되어 핵융합炉를 건설할때의 기술·공학상의 문제에 대한 이해도 깊어졌으며 이들을 현실적으로 생각할 수 있게 되었다. 이러한 시기에 미국에서 행해진 TOKAMAK방식을 사용한 핵융합商業炉에 관한 종합적인 개념설계연구가 Star Fire 계획이다.

設計에는 電力会社도 参加

Star Fire계획은 미국 에너지省의 위탁연구로 18개월의 기간과 300만달러의 경비를 소비하여 1980년 10월에 종료되었으며 그 성과는 다음의 핵융합原型炉의 개념설계연구(1982년에 끝날 예정)에 인계된다.

Star Fire의 직접 설계작업은 알콘느 국립연구소, 막다넬 더그러스社, 제네랄 일렉트릭社 및 걸프M·피슨즈社가 담당하며 그 외에 대학, 국립연구기관, 민간기업, 전기사업자등의 설계팀이