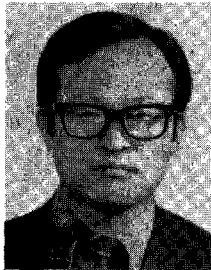


月城重水炉의 炉物理試驗과 韓國에너지연구소와의 協力



金 聖 年

(韓國에너지연구소 原子炉系統研究室長)

1. 序 論

月城에 建設된 原子力發電炉는 캐나다에서 開發한 CANDU (CANada Deuterium Uranium) 型이다. 이 原子炉의 特徵은 冷却材와 減速材가 重水 (D₂O) 이기 때문에 重水炉라고도 부르며, 重水の 特性으로 因하여 天然우라늄을 核燃料로 使用할 수 있다. 이밖에도 原子炉의 構造에서부터 核燃料交替方法에 이르기까지 여러面에서 古里의 輕水炉에 比하여 많이 다르다.

그러나 輕水炉와의 다른 點에 대해서는 다른 報告書에 많이 發表되어 있기 때문에 여기서는 省略하고 原子炉를 稼動하기 전에 遂行된 炉物理試驗과 月城原子炉의 炉心管理에 대한 韓國에너지연구소와의 協力에 대하여 記述하겠다.

2. 炉物理試驗

原子力發電所를 設計·建設하는데 있어서는 機器와 裝置가 設置될 때 이들 個個의 機能을 試驗한다. 그리고 각각의 裝置가 設置된 뒤에 이들로 構成된 系統의 性能을 綜合적으로 試驗하게 되는데 이 과정을 지나면 原子炉를 稼動前에

試運轉한다.

原子炉의 試運轉은 原子炉의 綜合的인 性能을 試驗하는 것이 우선적인 目的이 되겠으나 原子炉의 設計 및 構造에 대한 特性을 確認하고 點檢하는 것도 매우 중요한 목적중의 하나이다. 특히 原子炉를 設計할 때 사용했던 電算코드의 正確度는 設計仕様대로 原子炉를 建造한 후에 測定値와 比較함으로써 確認할 수 있다. 그리고 最少의 放射線이 照射된 狀態에서 原子炉의 制御裝置들의 性能과 이들이 炉心に 裝填된 狀態에서 炉心特性의 변화도 측정하는데 이러한 試驗을 총괄하여 炉物理試驗이라 한다.

月城原子炉에서는 設計出力의 100億分の 1에서 初期臨界가 되었고 100萬分の 1에서 炉物理試驗이 遂行되었다. 특히 原子炉의 初期臨界란 火力發電所에 비유하면 初期點火와 相應되는 것으로 月城原子炉에서는 1982年 11月 21日이 原子炉의 點火日이 되는 셈이다.

그런데 이 初期臨界가 되기 전에 原子炉는 G-SS (Guaranteed Shutdown State)로 維持되어야 한다. 이 GS狀態란 炉心に 核燃料가 完全히 裝填된 條件에서 原子炉를 停止시킬 때 쓰이는 安全棒 (Safety Rods)이 炉心에서 除去된 狀況

에서도 原子炉의 停止를 유지할 수 있도록 強한 中性子吸收體를 重水減速材에 희석시킨 狀態이다. 그러면 이 狀態에서부터 炉物理試驗까지의 과정과 중요한 結果 몇가지를 정리해보겠다.

2.1 初期臨界達成

初期臨界를 얻기 위하여 月城原子炉에서는 減速材에 희석되어 있던 強한 中性子吸收體를 漸次히 除去하였다. CANDU炉에서는 天然우라늄을 核燃料로 使用하기 때문에 炉心の 剩餘反應度(excess reactivity)가 적다. 그러므로 減速材에 희석되어 있는 中性子吸收體의 量도 적어 이 小量의 吸收體를 測定하고 制御하는데 많은 주의와 노력이 필요하다. 그림 1에 月城原子炉에서 測定한 中性子計測率을 重水減速材에 희석되어 있는 中性子吸收體量의 函數로 圖示하였다.

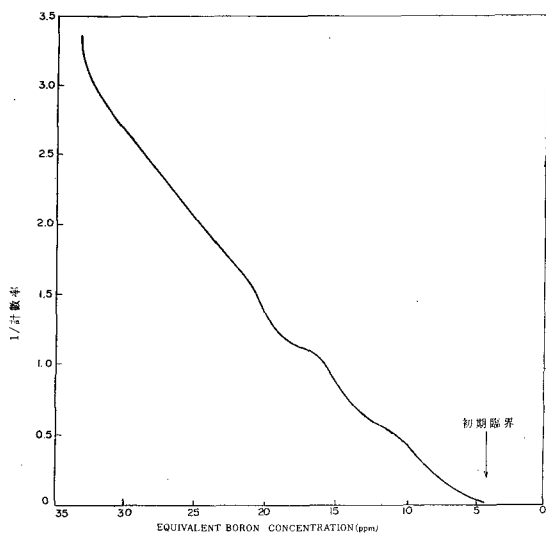


그림 1 1/k對 硼素濃度

2.2 制御裝置의 反應度價測定

原子炉의 初期臨界가 達成된 후에 계속하여 出力을 100萬分之 1에서 100萬分之 1로 增加시킨 狀態에서 地域調節裝置 (Zone Control Units)의 反應度價를 測定하였다. 月城原子炉에서 測定한 結果와 計算값은 그림 2와 같으며, 이 값은 原子炉의 制御裝置들의 反應度價를 調査하

는 基本이 된다. 이 값을 正確히 測定함으로써 相對的으로 調整棒, 吸收棒, 그리고 安全棒들의 反應度를 測定하게 된다.

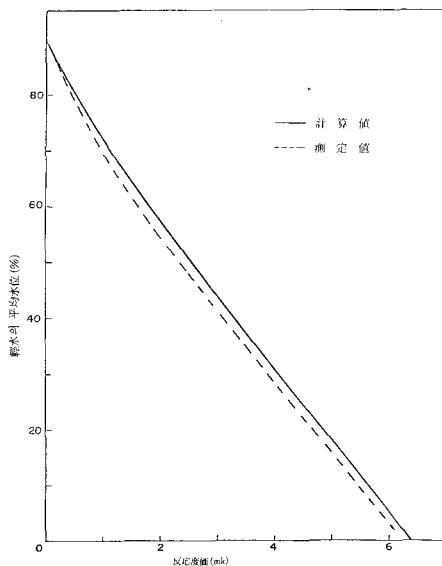


그림 2 地域調節裝置의 反應度價

2.3 中性子分布 및 溫度係數

앞에서 記述한 反應度制御裝置들이 전부 또는 部分的으로 炉心に 裝填되면 炉心の 中性子分布는 變하게 된다. 月城原子炉에는 調整棒 28個와 吸收棒 4個가 反應度를 制御하는데 특히 吸收棒은 出力을 크게 變化시키는데 쓰인다. 그림 3에 吸收棒의 一部가 炉心に 삽입되었을 때 測定된 中性子分布를 計算값과 比較하였는데 이

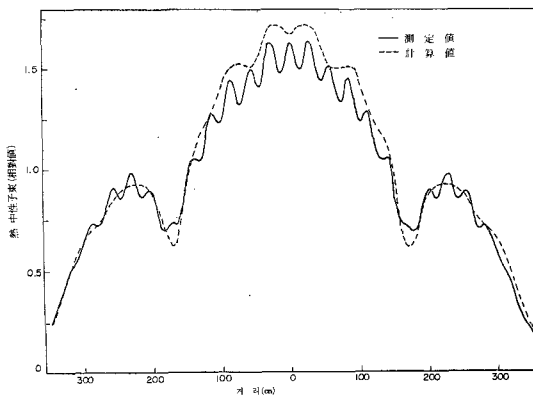


그림 3 熱中性子束分布(半徑方向)

의 여러 결과는 參考資料에 發表된바 있다(註 1).

原子炉의 温度係수는 安全性面에서 중요하게 考慮되는 因子이다. 특히 CANDU炉는 冷却材와 減速材系統이 分離되어 있어 이들의 温度係수는 分離하여 測定해야 한다. 다시말해서 만약 冷却材喪失事故가 發生했을 경우에는 加壓輕水炉에서와는 다르게 減速材는 炉心に 남아 있다. 따라서 冷却材가 喪失되어도 原子炉에서는 核分裂이 계속 일어날 수 있다.

이러한 경우는 原子炉가 매우 위험한 狀態가 되기 때문에 冷却材와 Void의 反應度係수를 測定해야 한다. 특히 Void係수에 대하여는 CANDU炉 開發國인 캐나다에서도 아직까지 계속하여 特性實驗을 遂行하고 있다.

그림 4에 月城原子炉에서 測定한 冷却材의 温度係수를 나타내었는데 計算에서 예측한대로 係수가 負의 값을 가진다. 즉 冷却材의 温度가 增加할 경우에 炉心の 反應度を 줄이는 效果가 있어 原子炉는 安全하다.

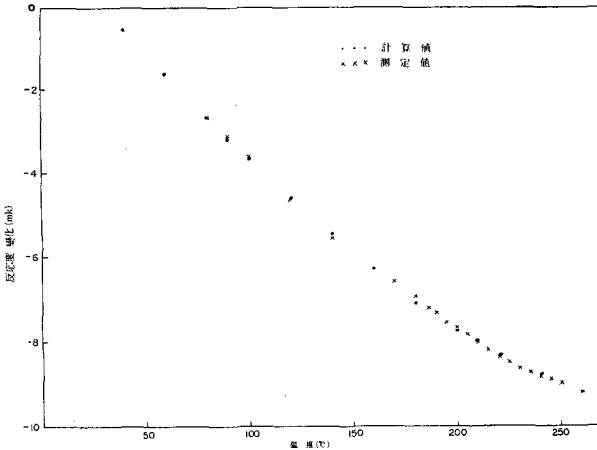


그림 4 冷却材 温度係數

이상에서 記述한 것은 月城原子炉의 炉物理試驗에서 遂行한 試驗內容과 結果중에서 一部를 정리한 것이다. 그리고 測定値와 計算값들이 매우 잘 一致하고 있음을 볼 수 있는데 이 計算값

들은 冷却材의 温度係수를 제외하고는 전부 韓國에너지研究所에서 獨自의로 生産된 것이다. 따라서 韓國에너지研究所에는 CANDU型 原子炉의 炉心特性을 分析할 수 있는 技術과 이에 所要되는 電算코드의 一部가 確保되어 있음을 알 수 있겠다.

3. 韓國에너지研究所와의 協力

CANDU炉는 캐나다原子力公社(AECL)에서 開發하였고 原子炉의 建設과 運營은 電力會社인 OH(Ontario Hydro)社, New Brunswick Power Commission 또는 Hydro Québec社에서 한다. 캐나다의 電力會社중에 原電을 建設할 能力을 가지고 있는 會社는 OH社 뿐으로서 CANDU炉에 대한 運轉경험도 가장 많으며 稼動実績도 대단히 좋다.

예를 들면 CANDU炉로서 最大容量으로 設計된 OH社의 Bruce原子炉는 年間負荷因子(annual load factor)가 96%로서 1982年度에 세계 여러 原子炉중 最上位를 차지하였다(註 2).

그러나 이러한 記錄을 CANDU炉를 처음으로 稼動하는 立場에서 기대할 수는 없으나 이 原子炉는 稼動중에 核燃料을 交替하므로 炉心管理를 잘 하게 되면 어느정도 稼動率을 높일 수 있다.

이와 같이 炉心管理를 잘 하기 위하여는 우선 필요한 電算코드를 確保하여 計算結果의 信賴性이 높도록 코드를 整備해야 하고 다음에는 分析하고자 하는 原子炉狀態를 model化하여 計算하는 技術이 필요하다. 특히 炉心狀態를 model化하는 技術은 原子炉의 特性을 확실하게 理解하고 파악하여야 하며 코드에서 활용되는 計算組織 뿐만 아니라 核的인 特性에 대하여 정확한 지식이 있어야 한다.

캐나다의 OH社에는 炉心分析 및 計算센타가 設置되어 있어 OH社에서 運轉하는 原子炉에 대

註 1 : 月城原子炉 初臨界 및 炉物理試驗, 韓國原子力學會誌, 1983

註 2 : Nucleonics Week, January 20, 1983

한 炉心解析과 核燃料交替方案을 전달하여 수행함으로써 앞에서와 같이 稼動率을 높이는데 寄與하고 있다. 물론 이외에도 電氣出力이 22 MW급인 NPD炉를 사용하여 運轉要員을 철저하게 훈련시키고 또한 發電所에 근무하는 補修要員에게도 原子炉의 設計特性을 理解시켜 補修에 도움을 줌으로써 原子炉의 稼動率을 높이는데 큰 도움을 주고 있다. 그러나 OH社 스스로가 해결하기 힘든 문제나 核燃料管理를 最適化하는 方案研究 등은 AECL의 技術을 지원받거나 共同으로 研究를 遂行한다.

CANDU炉를 처음으로 導入하여 稼動하는 韓國電力公社에서는 月城原子炉를 공급한 AECL社에서 제공하는 자료에 의하여 原子炉를 운전하게 될 것이다. 그리고 他機關과의 協力로서는 캐나다의 OH社와 운전경험 및 이에 關聯되는 技術을 교환하는 계약이 있어 月城原子炉를 운전하는데 많은 도움을 얻을 것으로 展望된다.

그러나 CANDU炉는 發電容量에 따라 炉心の 設計特性이 약간씩 다르다. 따라서 月城原子炉와 同一容量의 原子炉가 없는 OH社의 經驗과 자료의 活用에는 限界가 있을 것이다. 그러므로 月城原子炉의 固有特性을 알아야 하며 이 特性은 炉心管理 및 核燃料交替分析에 필히 考慮되어야 한다. 그런데 이 固有特性은 炉物理試驗에서 基本的인 것이 밝혀지고 原子炉의 炉心이 平衡狀態가 될 때까지 稼動시키면서 찾아 내야 한다.

韓國에너지研究所에서는 “月城炉用 核燃料 國産化技術開發”에 대한 研究를 遂行하는데 있어 月城原子炉의 設計와 運轉特性을 分析하는 技術을 開發하여 왔다. 그리고 이 研究에 參與하는 研究員들은 月城原子炉의 初期臨界 및 炉物理試驗 과정에 參與하여 자료를 生産하고 分析하였다. 이 結果 月城原子炉의 炉心設計特性을 파악하게 되었고 原子炉가 定常으로 稼動될 때의 炉心解析과 核燃料交替方案 뿐만아니라 異狀炉心を 正狀炉心으로 再構成하는데 필요한 技術도 確保하게 되었다. 그리고 이 技術은 앞으로 月城原子炉의 運轉資料를 分析 및 檢討하여

炉心特性을 파악하고 이를 바탕으로 月城原子炉 稼動에 필요한 資料를 생산하는데 많은 도움을 줄 것으로 기대된다.

4. 結 論

月城原子炉의 初期臨界와 炉物理試驗을 簡略하게 서술하였으며, 앞으로 原子炉稼動에 있어서 필요한 炉心管理와 核燃料交替分析에 關聯되는 技術現況을 記述하였다. 특히 月城原子炉는 캐나다의 Pt. Lepreau炉와 Gently-2炉와는 特性이 비슷하나 OH社가 保有하고 있는 原子炉와는 特性이 달라 月城原子炉의 固有特性에 맞는 炉心管理와 核燃料交替의 設定이 필요함을 言及하였다.

그리고 韓國電力公社에서는 月城原子炉의 定常運轉과 稼動率을 높이기 위하여 AECL과 OH社와의 協力關係를 가지고 있는 것도 記述하였다. 그러나 좀더 效率적인 측면에서 考慮해 볼 때 韓國電力公社와 아주 비슷한 立場에 있으며, 炉心の 設計特性이 거의 같은 原子炉를 稼動하는 New Brunswick電力會社와도 協力關係를 가지는 것이 바람직하다고 생각된다.

以上에서 記述한 것은 캐나다機關과의 協力關係이다. 따라서 月城原子炉를 稼動하는 初期에는 原子炉의 認·許可에 關聯된 문제에서부터 定常稼動에 이르기까지 도움이 많을 것이다. 그러나 月城原子炉의 炉心管理와 核燃料交替方法에 대한 分析은 月城發電所의 炉心管理班과 韓國에너지研究所의 重水炉 炉心分析팀이 서로 協力하여 遂行하는 것이 매우 바람직하다. 그 이유로서는

첫째, 韓國에너지研究所에는 原子炉의 運轉資料를 分析하는 技術에서부터 炉心を 再構成하는 技術까지 確保되어 있어 이 技術을 月城發電所의 炉心管理要員이 쉽게 活用할 수 있으며

둘째, 韓國에너지研究所에서는 開發된 技術을 月城原子炉에 活用함으로써 궁극적으로 炉心管理에 關聯되는 分析技術을 캐나다로부터 빠른 時日內에 獨立하게 되고 原子炉의 稼動率提高

에 대한 研究도 遂行할 수 있다.

그런데 이러한 結果를 얻을 수 있는 協力關係는 지금과는 다르게 좀 더 다른 차원에서 이루어 져야한다. 예를 들어 AECL社와 캐나다의 電力會社와의 協力關係이다. 즉 研究機關에서 技術을 研究·開發하면 이 技術의 活用에 있어 대

범해야 하겠다. 이것은 충분한 檢討를 거쳐 얻은 結果라도 實質적으로 적용했을 때 예기하지 못한 것이 발생할 가능성도 있기 때문이다. 그리고 이러한 協力關係에서만 技術이 蓄積되고 開發될 수 있으며, 그 結果가 결국에는 國益에 보탬이 된다.

第4次 太平洋沿岸國 原子力會議 案內

第4次 太平洋沿岸國 原子力會議(4th Pacific Basin Nuclear Conference)가 오는 9月 11日 부터 15日 까지 5日間 캐나다 밴쿠우버市的 Hyatt Regency에서 開催됩니다. 이 會議는 原子力의 平和利用 增進을 爲해 2년마다 太平洋沿岸國에서 美國原子力學會(ANS)의 後援으로 열리는 會議로서 原子力에 關한 研究論文, 開發政策,

安全對策, 關聯産業振興策 등이 發表, 討議되며 太平洋沿岸國 뿐만 아니라 世界 各國 原子力關聯人士의 國際的 交流를 兼하고 있습니다, 특히 우리나라는 85年度 第5次 會議의 開催國으로 확정되어 있어 當會議에서는 이번 會議에 大規模 參加團을 구성, 參觀하여 科學外交를 추진할 예정인바, 많은 參加를 바랍니다.

(프 로 그 램)

9月 11日

Get-acquainted Reception

9月 12日

Opening Ceremony

Session 2: Nuclear Power-The Need

Session 2A: A Pacific Basin Energy and Economic Perspective

Session 2B: Nuclear Power Programs in the Pacific Basin-Status and Prospects

9月 13日

Session 3: The Fuel Cycle

Session 3A: Uranium Supply

Session 3B: Uranium Enrichment and Heavy Water Production

Session 3C: Fuel Recycle-Confidence in Future Fuel Supply

Session 3D: Waste Management

9月 14日

Session 4: Seismicity

Session 4A: Seismic Criteria Related to Siting and Site Investigation

Session 4B: Recent Development in Criteria and Practice

Session 4C: Seismic Operating Experience

Session 4D: Experimental Seismic Verification

Session 5: Radionuclides-Their Production and Application

9月 15日

Session 6: Issues Affecting Nuclear Goals

Session 7: Closing Session