

# 原電 1 號機 爐心內裝構造物의 上向流 設計變更

*Reactor Internals Modification for Up-Flow Conversion  
in Korea Nuclear Unit 1*

崔 長 東 (韓電·古里原子力發電所 所長)

현재 6주기에 있는 고리 1 호기는 BAFFLE BARREL 영역에서의 냉각수 하향식 흐름에 기인한 BAFFLE JOINT 부위의 BAFFLE JETTING으로 운전중 핵연료봉 손상을 경험하였다. 가장 심한 핵연료봉 손상은 3 주기말 핵연료 재장전시 발견되었던 바, 당시 8개의 핵연료봉 다발이 BAFFLE JETTING 흐름에 의해 손상을 입었다. 그 방지책으로서 BAFFLE JOINT의 틈을 줄이기 위해서 BAFFLE JOINT 부위를 PEENING 작업을 하고, JOINT 부위의 핵연료봉을 스테인레스 강(STAINLESS STEEL)봉으로 대체 설치하였다.

그러나 문제의 완전한 해결은 못되어, 한국 전력은 근본적인 원인을 제거하기 위해 FARLEY 1 발전소의 성공적인 작업결과와 한국에너지연구소 및 웨스팅하우스가 공동으로 수행한 안전분석 결과를 토대로 1984년 5 주기말 핵연료 재장전시에 원자로 내부구조물을 개조하기로 결정하였다.

개조작업은 CORE BARREL에 있는 직경 2.078인치의 구멍 16개를 막고, 직경 2.500인치의 새로운 구멍 8개를 TOP FORMER PLATE 위에 가공 설치하였다. 6 주기의 운전개시 이래 지금까지 아무런 핵연료 손상이 탐지되지

않고 있다.

## 1. 概 要

1978년에 상업운전을 개시한 587MWe의 용량인 고리 1 호기는, BAFFLE JOINT 부위를 통한 냉각수의 CROSS-FLOW JETTING에 의한 유체유인진동으로 핵연료봉 손상을 경험했다.

이러한 형태의 핵연료 손상방지를 위해 1981년 2 주기말기 핵연료 재장전시 BAFFLE GAP을 측정, PEENING 작업을 하였다.

그러나 계속 핵연료 손상이 탐지되어, 근본적인 해결을 위해 1984년 5 주기말기 핵연료 재장전기간중에 내부구조물 개조작업을 수행했다.

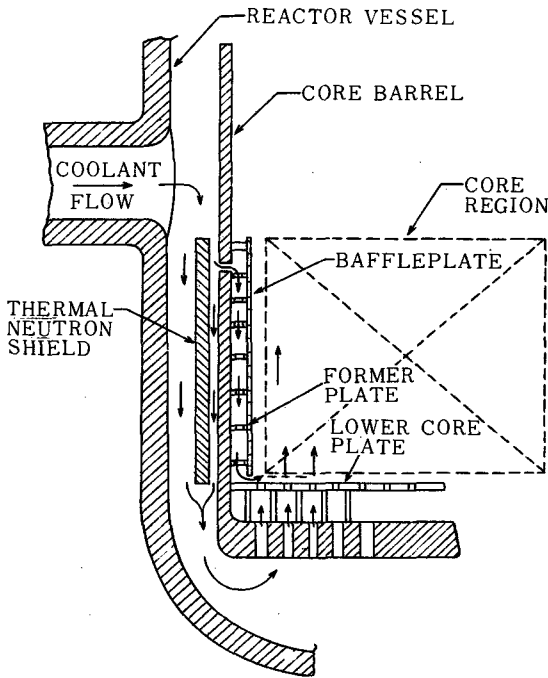
## 2. 古里 1 號機의 核燃料損傷內譯

1 주기 운전중 BAFFLE JETTING에 의해 핵연료봉이 손상되었다.

2 주기 시운전전 사고위치에 영역 4 의 2 개의 새 연료봉이 스테인레스 연료봉으로 교체되었다. 그 결과, 2 주기말 핵연료장전시 검사결과가 스테인레스 연료봉은 양호한 상태였다.

3 주기의 핵연료장전전 냉각수 흐름에 의한 핵연료봉의 고진동을 줄이기 위해 BAFFLE JOINT GAP을 줄이는 PEENING 작업을 하였다.

〈그림 1〉 Downflow Configuration Flow Path (Conceptual)



3주기말 핵연료장전기간중에 전체적인 핵연료 검사를 실시하였다. 그 결과 8개의 핵연료 다발이 BAFFLE JOINT FLOW에 의해 손상을 입었음이 발견되었다. 이러한 현상을 없애기 위하여 BAFFLE JOINT 주위에 설치되는 핵연료봉을 스테인레스봉으로 교체하였다. 그 결과 4주기말 핵연료 검사시 BAFFLE JOINT 주변에 위치한 두 개의 연료봉이 파손됐음이 발견되었다.

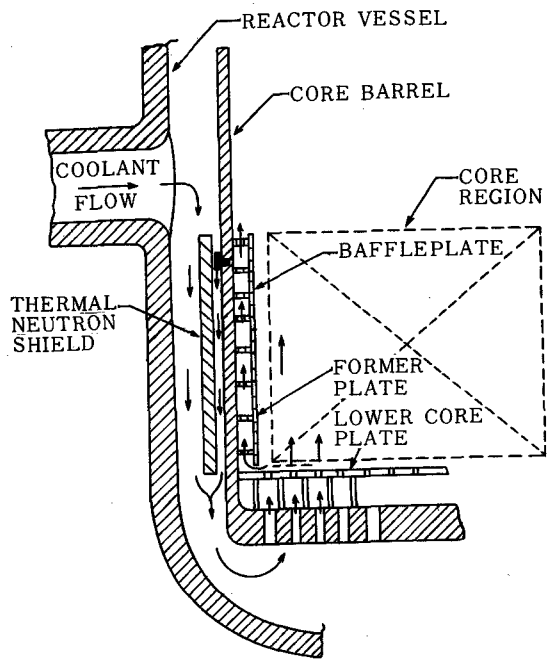
### 3. 構造變更作業

#### 가. 技術事項

CORE BARREL에 있는 2.078인치 직경의 구멍 16개를 막고, TOP FORMER PLATE에 2,500인치의 새로운 구멍 8개를 가공설치하여 냉각수의 하향흐름을 상향흐름방식으로 개조하였다(그림 1, 2참조).

이 개조작업의 어려웠던 점은 방사능의 방출 때문에 수중에서 원격조종에 의한 작업을 해야

〈그림 2〉 Upflow Configuration Flow Path (Conceptual)



만 하는 것이었으며 또한 PLUGGING작업시 발생하는 부스러기들을 철저히 통제, 수집하여 처리하여야 하는 점이다.

#### 나. 準備過程

발전소가 COLD SHUTDOWN후 원자로 상부 뚜껑과 상부 내부구조물을 제거하고, 핵연료를 완전히 제거한 다음 하부의 내부구조물 집합체를 원자로용기에서 부터 분리하여 재장전 CAVITY내의 저장조위에 안치시킨다.

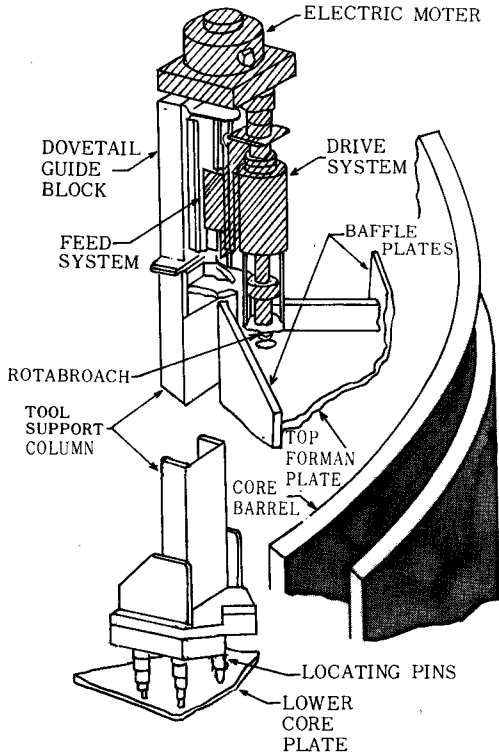
#### 다. FORMER PLATE 加工

FORMER PLATE MACHINING 장비는 그림 3과 같으며 DEBURRING 등 모든 수중작업시에는 찌꺼기처리(CHIP COLLECTION) 제통을 가동시킨다.

#### 라. PLUG設置作業

CORE BARREL의 구멍에 적당한 크기의 PLUG를 선정, 구멍에 설치를 하고 소형 H-HAND PUMP를 사용 서서히 가압하여 구멍에 완전히 고착시킨다.

〈그림3〉 Former Plate Machining Tooling



마. BAFFLE JOINT 檢査 및 틈 좁힘

FORMER PLATE에 구멍설치 작업후, 0.0015 인치를 초과하는 BAFFLE JOINT GAP을 유압식 충격해머에 의해 작동되도록 특수설계된 CHISEL을 사용 GAP을 줄였다.

바. 原子爐容器的 清掃

원자로 내부구조물의 재설치전에 원자로용기의 바닥에서 부터 부스러기들을 제거하였다.

4. 改造作業遂行

가. 組織

한전의 지원하에 W가 작업을 수행하였다. W는 두가지 작업조로 구분하여 수행하였던 바, BAFFLE PEENING 작업조와 상향류(UP-FLOW)방식의 개조작업조로 나누어 하루 10 시간씩 2개조로 나누어 작업을 수행하였다.

나. 工程

작업공정은 원래 39일을 계획하였으나, 실제로는 30일이 걸려 끝마쳤다.

다. 放射能制御

작업종사자의 방사능피폭을 줄이기 위하여 납 차폐를 하였으며, 방사성폐기물은 수중에서 사용후핵연료저장조로 운반되어 저장되었다. 작업기간중 최대 개인의 방사능 최대피폭량은 1,154m-rem이었고, 전체 종사자에 대한 방사능 조사량은 22.392man-rem이었다.

5. 上向流方式에 對한 安全分析

가. 熱水力學的分析

최소핵비등이틸율(DNBR)이 BAFFLE BARREL 영역으로 흐르는 BY-PASS양의 증가에 따라 다소 감소(정상운전시; 2,426~2,405, 운전과도상태; 1,884~1,865)하나, 기준하한치 1.30보다 크게 나타나 아직 충분한 설계여유치가 있다.

나. 冷却材喪失事故分析

LARGE LOCA사고에 대한 W의 분석결과치는 PEAK CLAD TEMP는 2,198.8°F이었고, 한국에너지연구소의 분석결과치는 2,188.0°F로서, ECCS 승인조건인 2,200°F의 제한치보다 낮아 대형 냉각재상실사고시에도 발전소의 안전성은 유지된다고 인정되었다.

다. 技術仕様書變更

HEAT FLUX PEAKING FACTOR(FO)의 제한치를 2.16에서 2.13으로 감소시켰다.

6. 結 論

상향류방식의 설계변경으로 고리 1 호기의 향후 운전중 유체유인진동에 따른 핵연료봉 손상은 없으리라고 기대되며, 6주기 운전개시이래 현재까지 핵연료 손상이 탐지되지 않고 있으므로 6주기말 핵연료 재장전시 검사결과가 주목된다.