

이탈리아형 PWR

蒸氣發生器의 開發活動

信賴性和 安全性를 重視

이탈리아의 에너지計劃에 따르면 1990년까지 각각 1,000MWe級 標準型 PWR 2基씩인 原子力發電所 4個所를 建設할 예정이다. 이탈리아는 이탈리아型 標準 PWR을 開發하면서 信賴性和 安全性에 상당히 중점을 두었다. 그 결과 이탈리아型 原電에 適合한 蒸氣發生기를 設計하는 것이 필수적이 되었다.

PWR 蒸氣發生기에서는 여러가지의 튜브결합 문제가 發生하였었고 이것들은 NSSS業體와 電力會社에 의해 철저히 조사되었다. 이러한 노력으로 可用壽命과 運轉性能을 향상시킬 수 있는 短期間의 개선작업은 이루어졌으나 安全하고 또한 연속적으로 운전을 할 수 있는 長期間의 개선은 設計의 改良을 필요로 하였다.

Ansaldo DBGV는 4年以上 성공적으로 運轉되고 있는 西獨의 Unterweser 原電의 蒸氣發生기 4基를 設計, 製作한 經驗을 가지고 있으며 또한 이어서 이란의 原電에 設置하기 위하여 4 基를 더 제작하였었다.

Ansaldo DBGV는 이와같은 經驗을 기반으로 하여 다음과 같은 U 튜브蒸氣發生기의 개념 설계를 준비하여왔다.

- 튜브번들의 向上된 耐腐蝕性
- Ansaldo DBGV 製作實行과 라인에서의 技術의 特性을 결합

• 현재 進行되고 있는 研究·開發計劃에서 나오는 개선점들의 결합. 例를 들면 이중구조의 튜브지지그리드와 改良된 swirl-vane型 主汽水 分離器 등이 있다.

그외에 이 研究·開發計劃의 일환으로 研究되고 있는 기타 분야에는 蒸氣發生기의 舉動評價를 위한 코드의 향상과 확인, 채널헤드와 튜브시이트집합체에 대한 設計와 製作技術의 最適化, 튜브의 保存性評價, 슬러지 生成감소를 위한 改良된 유체동력학, 一體화된 노즐을 갖는 채널헤드의 開發 및 蒸氣發生기의 교체를 위한 엔지니어링 등이 있다.

튜브의 材料가 튜브번들의 耐腐蝕性을 결정하는데 關여하는 변수중의 하나라는 것은 잘 알려져 있다.

蒸氣發生기튜브의 재료를 선정할 때는 機械的 및 熱傳達 特性, 材料 固有의 耐腐蝕性, 運轉經驗, 코스트, 利用性 등 많은 要素를 고려하여 야 한다. 현재까지 축적되어 있는 튜브번들材料의 經驗은 다음과 같다.

• WH社와 Framatome社는 잘 알려져 있는 稼動上의 問題로 인해 열처리한 Inconel 600을 使用하는 傾向으로 옮겨가고 있다. 일련의 대규모 實驗室 테스트에서 이것은 向上된 耐應力腐蝕龜裂性을 갖고 있음이 판명되었다.

• KWU社는 첫번째 原電인 Obrigheim發電所를 제외하고는 언제나 밀어날과 表面 쇼트핀을

한 Incoloy 800을 사용하고 있다. KWU 증기발생기의 運轉經驗은 매우 좋으며 최근 AECL 도 신구 發電所에 Incoloy 800을 채택하기로 결정하였다.

이와같은 經驗을 기초로 이탈리아도 Inconel 600HT나 Incoloy 800중 하나를 선택할 예정이다. 그러나 이 선택은 시스템設計 및 BOP부분과 서로 相關되므로 아직 결정하지 못하고 있으나 빠른 시일내에 결정될 것으로 전망된다.

安全하고 信賴할 수 있는 증기발생기를 생산하려면 최신 데이터와 정확한 製作技術의 使用, 信賴性을 갖는 設備의 세부설계 및 제작과정을 확인하기 위한 엄격한 QA, QC 프로그램 등의 이 행이 필요하다.

Ansaldo DBGV는 항상 製作技術의 最適化를 강조하여 왔다. 새로운 이탈리아형 PWR의 증기발생기 설계는 다음을 포함하게 될 것이다.

- 튜브 번들을 지지하는 새로운 시스템은 以前의 특허인 Breda 개념에 기반을 둔다
- 개량된 튜브와 튜브시이트間 용접방법
- 稀釋현상과 언더클래드균열문제를 최소화하기 위한 튜브시이트의 플라즈마아아크피복
- 채널헤드와 튜브시이트를 결합시키는 球型링의 사용
- 一體화된 노즐을 가지는 채널헤드의 製作
- 튜브 번들 上部의 시각적인 稼動中 檢査를 위한 下部핸드홀과 上部檢査포트의 삽입

研究 · 開發計劃

PWR 증기발생기에 대한 설계변경은 그것이 아무리 작은 변경이라고 하더라도 알려져 있거나 또는 잠재적인 문제에 대한 사려깊은 심사와 신중한 주의가 요구되므로 Ansaldo DBGV는 1976년부터 Enea와 증기발생기의 개량에 관한

〈表〉 Enea/Ansaldo DBGV 증기발생기루프의 중요특성

Facility	Power (MW)	Pressure (bar)		Temperature (°C)		Flow device head (bar)		Flowrate (kg s ⁻¹)		Features
		Water line	Steam/air line	Water line	Steam/air line	Water line	Steam/air line	Water line	Steam/air line	
CFA	0.5	35	50	250	150	10	160	11	3.5	Freon-water loop. Centrifugal pump for water. Piston pump for Freon 12. Research fields: steady state; transient state; instability threshold
Lara	—	6	6	50	20	10	7	15	0.3	Air-water loop. Centrifugal pump for water. Air supplied by distribution network. Research fields: tests of scaled separators; development of measurement and fluid visualization techniques
Aramis	—	6	6	100	100	6	7	245	5	Air-water loop. Centrifugal pump for water. Two rotary compressors for air. Research field: performance of full scale separators
Erica	—	1	—	40	—	0.3	—	630	—	Water loop. Axial pump. Research fields: hydrodynamics near tube plate; sludge deposition
Ischia	0.021	150	70	325	285	—	—	0.14	0.012	Steam-water loop. Piston pump for primary water and feedwater. Research field: U-tube corrosion material selection and grid qualification
Gest-gen	20	180	100	357	311	6	80	92	11	Steam-water loop. Centrifugal pump for primary line water. Piston pump for feedwater. Research field: steady and dynamic behaviour in real operating conditions
Gest-sep	—	100	100	311	311	6	6	200	35	Steam-water loop. Two centrifugal pumps for water. Centrifugal compressor for steam. Research field: qualification of full scale separators in real operating conditions

共同開發計劃을 수행하고 있다.

이 계획의 총비용은 1984년까지 약3천만달러이며 原子炉壓力容器, 加壓器 및 주냉각재파이프배관작업도 포함하고 있다. 이 계획의 주요 내용은 다음의 세가지이다.

- 기초연구는 機器들의 순환방법 개선과 순환방법을 확인하기 위한 기초실험 데이터의 획득을 목표로 한다.

- 信賴性和 效率를 向上시키기 위하여 증기발생기의 内部部品들(튜브지지시스템과 主汽水分離器)에 대하여 개발한다.

- 機器가 충분히 만족스러우며 또 稼動되는 동안 증기발생기의 健全성을 계속 감시할 수 있는 適合한 檢査技術을 開發한다.

理論上的의 연구외에 主로 코드의 개발에 기반을 둔 實驗用테스트리그의 설계와 건설에 상당한 노력이 투구되고 있다.

기초연구에서 추구되는 주대상은 증기발생기 유체동력학의 개선, 성능분석을 위한 數 많은 코드의 향상과 확인 및 부식실험 등 이다.

증기발생기의 유체동력학에 관한 研究는 튜브시이트상에 슬러지析出과 정체구역을 감소시키는 것이 목적이며 Enea's Centro Ricerche E-

nergia Casaccia에 있는 원통형탱크(높이 5.2m, 지름 1.1m)로 구성된 테스트시설인 Erica루프에서의 實驗과 이론상의 연구로 성취되고 있다.

性能分析을 위한 數 많은 코드의 向上과 확인에 관한 연구는 改善된 效率, 信賴性 및 安全性을 위하여 더 나은 設計의 달성이 목적이다. 이를 위하여 포괄적인 계획이 수학적 모델링과 실험적 테스트로 進行되고 있다.

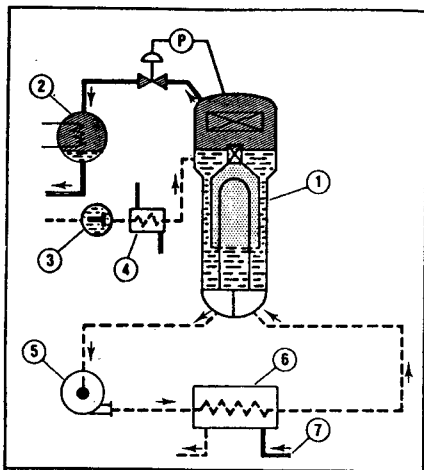
이 계획의 實驗부분은 물-프레온 CFA 루프와 스팀-물 Gest-gen 루프에서 수행될 것이다.

20MWt인 Gest-gen 시설은 實際의 운전조건 하에서 증기발생기의 舉動을 確立하는 유일한 實驗施設이다.

광범위한 古曲의이고 正確한 計裝은 重要한 物理量(壓力, 溫度, 壓力降下, 流動率, 증기의 特性 等)에 대하여 자세한 정보를 제공한다.

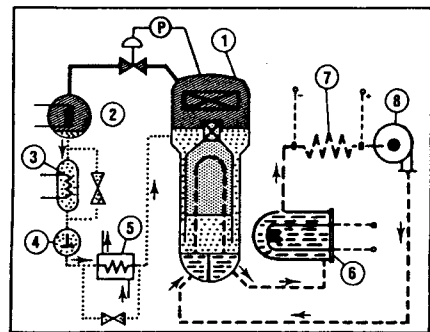
실험계획의 主目的은 정상상태 조건하에서와 過度조건하에서의 性能을 조사하는 것이다. 예정된 實驗中에는 사고조건을 모의하기 위하여 격렬한 과도현상의 분석이 포함되어 있다. Gest-gen 루프는 1984년초에 稼動될 것이다.

CFA루프(550KWt)는 각각 더운 물과 프레온 12가 흐르는 1차회로와 2차회로로 구성된다. 熱傳達은 증기발생기의 축소모델인 Fregene 실험 부분에서 일어난다.



1 Test section, 2 Condenser, 3 Feed pump, 4 Preheater, 5 Circulation pump, 6 Heat exchanger, 7 Steam supply.

〈그림 1〉 Gest-gen 루프의 계통도



1 Test section, SG overall length, 6.6m, SG shell diameter, 0.24m, 2 Condenser, 3 Refrigerator, 4 Freon pump, 5 Preheater, 6 AC Electrical heater, 7 DC Electrical heater, 8 Circulation pump.

〈그림 2〉 CFA Fregene 루프의 계통도

실험부분은 900MW급 증기발생기와 같은 피치(27. mm), 튜브직경(19. 05mm), 벽두께(1. 15mm)를 갖고 높이만이 축소된 튜브 배열을 再生한 Inconel 600製 15개의 튜브번들로 구성된다. CFA-Fregene 실험시설은 1983년말에 가동될 예정이다.

腐蝕實驗에 관한 연구는 튜브번들材料의 선택과 정확한 증기발생기의 설계를 확인하기 위하여 수행되는데 오토클레이브와 Ischia라 불리는 모델보일러를 사용한다.

Ischia 루프의 실험부분은 實際 증기발생기의 열수리학 조건을 재생하는 U 튜브모델보일러로 구성된다. 예정된 實驗中에는 여러가지의 冶金學, 設計, 製作에 관하여 U 튜브의 應力腐蝕균열에 대한 水化學의 영향을 연구하는 것이 포함되어 있다.

内部部品에 관한 研究 · 開發

短期間에 있어 内部部品에 관한 研究中 이탈리아型 증기발생기의 제작에 應用할 수 있을 것으로 기대되는 결과에는 새로운 튜브지지개념—2중구조의 튜브지지그리드, 개량된 swirl-vane

型 主汽水分離器와 一體化된 노즐을 갖는 채널헤드의 開發 등이 있다.

2중구조 그리드의 개념은 튜브 지지 부분에서의 어떠한 드라이아웃현상도 사실상 제거시킬 것으로 예상되며 또한 높은 구조적 강도와 좋은 耐震性を 갖도록할 것이다.

WH社와 共同으로 착수하고 있는 2중 구조그리드의 開發計劃은 바아의 스쿼어 패턴으로 특징지어지며, 이 바아는 Incoloy 800 스트립으로 제작된다. 이 설계는 튜브의 損傷을 방지할 것이다.

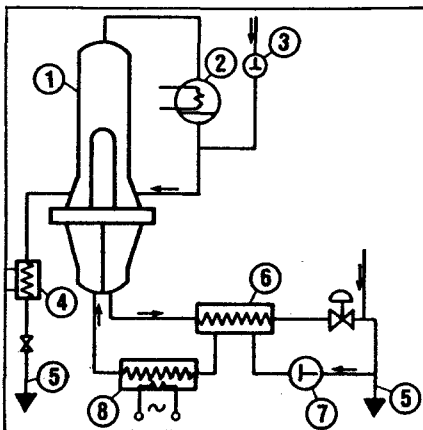
汽水分離器에 대한 실험에 의한 開發研究作業은 Lara, Aramis, Gest-sep 등 세계의 실험리그에서 수행된다.

Gest-sep 리그는 實際의 稼動條件下에서 汽水分離器를 실험할 수 있는 유일한 실험리그가 될 것이다. 實驗中에는 실규모 증기발생기가 壓力容器(길이 12. 5m, 외경 2. 2m)의 内部에 위치하게 되어 실제의 증기발생기분위기를 모의한다.

Gest-sep 루프는 分離器의 여러가지 상황에서 일어날 수 있는 流量의 분포를 자세히 밝히기 위해서 水와 증기에 과부하를 걸 수 있도록 설계되었다.

실규모 분리기의 性能은 캐리오우버, 캐리언더와 壓力降下를 정하는 파라미터를 측정함으로써 결정된다.

Aramis 시설은 共同믹싱裝置와 실험부분이 있는 탱크를 갖는 2개의 독립된 회로(水라인과 공기라인)로 구성된다. 이 시설은 실제의 증기발생기에서와 같은 分離器의 性能을 확인하는 작업조건범위내에서 운전된다. 조사되는 실규모 原型의 성능은 캐리오우버, 캐리언더 및 壓力降下를 정하는 파라미터를 측정함으로써 결정되며, 그외의 정보는 TV화면과 液膜두께를 측정하여 얻을 수 있다.



〈그림 3〉 Ischia 루프의 계통도

1 Test section, 2 Condenser, 3 Feed pump, 4 Heat exchanger, 5 Chemistry control, 6 Preheater, 7 Circulation pump, 8 Electrical heater.