

## Stress Evaluation of PZR Central Cover for SMART by Using a 3D-FE Analysis

Se-Hwan Lee, Jong-In Kim, Kang-Soo Kim, Tae-Wan Kim, Sung-Kyun Zee <sup>a</sup>  
*a Korea Atomic Energy Research Institute, Mechanical Engineering Division,  
 150 DukJin-Dong, YuSung-Gu, DaeJun, Korea,  
 sehlee@kaeri.re.kr*

### 1. 서론

일반적으로 원자로 구조물의 설계시 응력평가는 ASME B&PV Code, Section III 의 해석적 방법에 의한 설계(design by formula)를 따른다. 그러나 현재 국내에서 개발중인 일체형 원자로의 경우는 구조적인 특성상 해석적 방법에 의한 평가나 2 차원의 등가 해석이 불가능한 구조물을 가지고 있다. 이러한 경우는 3 차원의 유한요소방법에 의한 평가가 요구된다. 그러나 기존 ASME Code 의 평가방법은 2 차원 응력해석 이론에 근거하므로 3 차원 유한요소 해석 결과를 직접 적용하기 어려운 문제점을 가지고 있다. 현재 ASME Subcommittee 의 subgroup 내에서 이러한 한계를 보완하고자 Non-mandatory appendix [1] 를 개발 중에 있다. 본 연구에서는 개발중인 SMART 연구로 가압기 중앙덮개 3 차원 응력해석의 적용성 검토와 아울러 그 결과를 현재의 설계와 향후 진행되는 최적설계에 이용하고자 한다.

### 2. 해석대상의 선정 배경

일체형 원자로인 SMART 연구로의 가압기 중앙덮개는 고온 고압을 지지하는 압력경계를 이루는 구조물이며 동시에 원자로 압력용기의 덮개역할을 한다. 또한 CEDM 노즐을 포함한 다수의 기기들이 통과하기 위한 관통부를 포함하고 있다. 이러한 관통부는 구조적으로 불가피하게 ASME Code, Section III [2]에서 제시하고 있는 등가판 이론을 적용할 수 없는 배열을 구성한다. 그러므로 위에서 언급한 3 차원 유한요소 해석에 의한 응력평가 방법의 도입이 필요하며 평가방법의 유효성의 입증의 요구된다.

### 3. 응력평가 절차 및 유한요소 해석

#### 3.1 해석 절차

유한요소 해석은 가압기 중앙덮개의 내압을 고려한 설계조건과 온도조건을 고려한 정상운전 조건으로 나누어 수행하였다.

온도조건을 고려한 해석절차는 열전달해석을 포함하여 아래와 같은 절차로 해석이 수행되며 사용된 재료물성은 온도에 의존하는 값을

적용하였다 [3]. 재료는 SA508 설계 압력은 17MPa 이다.

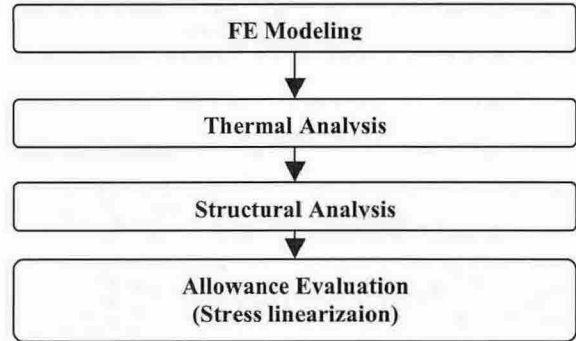


Figure 1. Schematics of stress evaluation procedures

#### 3.2 유한요소 해석 모델

3 차원 유한요소 해석 모델은 아래 그림과 같으며, 편의상 CEDM hole 과 대칭성을 고려한 1/2 모델을 사용하였다. 유한요소는 10-node quadratic tetrahedral 요소를 사용하였으며 개수는 37345 이며 절점수는 58660 개 이다. 온도 경계조건은 상단면 단열조건과 하단면에 온도 및 열대류 조건 그리고 측면온도는 310°C 조건을 적용하였다. 응력해석 경계조건은 17MPa 의 내압 조건과 측면의 일부를 상하방향으로 고정하였다.

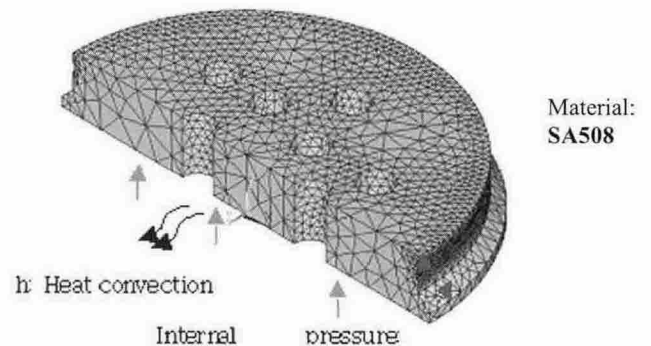


Figure 2. FE mesh generation and boundary conditions

4. 해석결과 및 응력평가 결과

온도분포 해석 수행 결과 아래 그림과 같은 정상상태 시의 온도분포를 얻었으며 중심을 기준으로 비대칭의 온도분포형상을 보였다.

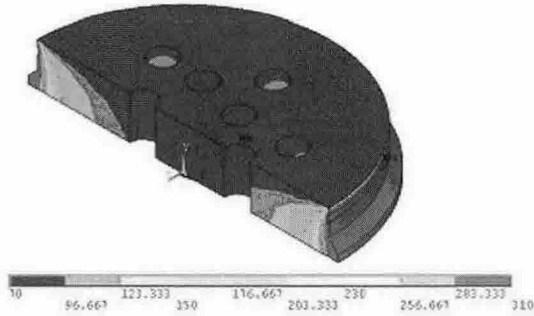


Figure 3. Result of the temperature distribution

응력평가 절차는 ASME 에서 제안하고 있는 3 차원 응력해석 방법[1]을 사용하였다. 설계조건과 정상운전 조건을 고려한 응력해석을 수행 한 후 응력선형화를 위한 응력구분선(stress classification line: SCL)을 정의한다. 응력구분선의 선정은 아래와 같이 주요부위와 CEDM hole 의 ligament 를 고려하여 6 개를 선정하였다.

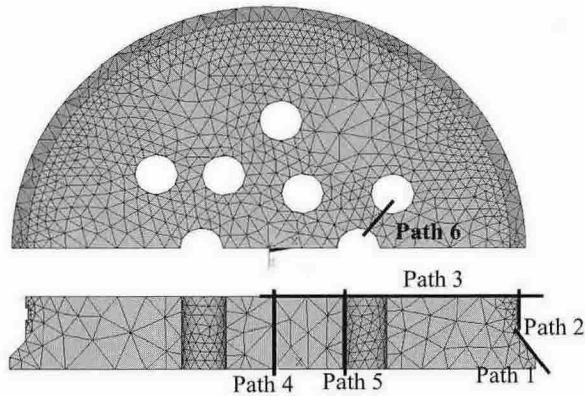


Figure 4. Definitions of the stress classification lines

내압을 고려한 설계조건에서 대한 응력평가는 열응력을 배제하고 일차응력만을 고려하여 평가하였다. SA508 재료의  $S_m$  은 142.03 MPa(at 204.4°C)이며 다음 식 (1)과 (2)를 만족하여야 한다[2].

$$P_L < 1.5 S_m \quad (1)$$

$$P_L + P_b < 1.5 S_m \quad (2)$$

설계운전 조건의 경우 path 1,2 의 경우를 제외한 나머지 부분은 앞에 제시한 조건을 모두

만족하였으며, path 1,2 의 경우는 구조적인 불연속 및 응력 집중부위로 응력구분선 선정부위 정의 [1]에 위배되며 응력 값을 참고로 제시하였다.

정상운전 조건의 경우는 온도분포 변화를 고려한 열응력과 내압에 의한 응력을 모두 고려한 경우로 식 (3) 을 만족하여야 하며 그 결과를 아래 표 1. 에 제시하였다.

$$P_L + P_b + Q + F < 3 S_m \quad (3)$$

Table 1. Results of the total stress for normal operation Unit: MPa

	Total stress	$3 S_m$
Path 1	292.44	368.19 (at 315.56°C)
Path 2	-	
Path 3	226.83	426.09 (at 204.4°C)
Path 4	166.81	
Path 5	340.88	
Path 6	295.08	368.19 (at 315.56°C)

위 결과에서 path 2 를 제외한 위치에서 응력기준을 만족한 결과를 얻었으며 앞에 설명한 바와 같이 path 1 과 2 는 참고 값으로 제시하였다.

5. 결론 및 제언

SMART 연구로 가압기 중앙덮개의 예비설계 과정에 3 차원 유한요소 해석을 적용하여 응력해석 결과를 얻었다. 응력구배를 고려하여 선정한 6 개의 응력구분선을 이용하여 응력선형화 결과를 고찰하였다. 설계조건과 정상운전을 적용한 응력해석 결과 국부적인 응력집중부위를 제외한 부분에서는 설계조건을 만족하였다. 그러나 국부적 응력집중이 발생하는 위치에 대한 응력구분선 선정에 대한 기준이 불분명하므로 응력평가시 이에 대한 객관적인 검토가 필요하겠다.

REFERENCES

[1] Subgroup on Design Analysis, Proposed Non-Mandatory Appendix for Section III & VIII : Guidelines on Processing Elastic Finite Element Analysis Results for Assessment of ASME Code Stress Limits, Rev. 15, 2003

[2] ASME Boiler and Pressure Vessel Codes, Sec. III, Nuclear Reactor Vessels, American Society of Mechanical Engineers, NY, 1998

[3] ASME Boiler and Pressure Vessel Codes, Sec. II Part-D, Nuclear Reactor Vessels, American Society of Mechanical Engineers, NY, 1998.