

SMART 연구로 중앙덮개 열응력 해석

김강수, 김종욱, 박근배

한국원자력연구소

kskim5@kaeri.re.kr

1.0 개요

SMART 연구로의 중앙덮개는 원자로 압력용기의 덮개이며, 여러 개구를 포함하고 있다. 즉, 수위측정관들, 압력 측정관들, 온도 측정관들, 가압기냉각관들 그리고, 질소가스관이 지나간다. 이 개구(opening)들은 지름이 작고 깊이 때문에 피복하기가 어렵다. 중앙덮개의 피복문제를 극복하기 위해 중앙덮개 재질을 스테인레스강으로 선정하였다. 이 논문에서는 중앙덮개가 설계압력 17 MPa 과 주위온도의 열하중에 견딜 수 있는지 여부를 IDEAS 코드와 ANSYS 코드로 해석하고 응력강도 값들이 ASME 코드[1]의 설계조건을 만족하는지를 확인하였다.

2.0 2 차원 축대칭모델로 해석

중앙덮개는 지름 1,636 mm, 최소 두께 210 mm 이고 덮개 아랫부분이 타원형의 곡률을 가졌으며 중앙덮개를 관통하는 많은 개구(opening)를 가진다. 중앙덮개는 ASME 코드의 설계조건(Design Condition) , 그리고 정상조건(Level A Condition)을 만족해야 한다(ASME Section III NB3221, NB3222)[1].

$$p_m < S_m, \quad P_L < 1.5 S_m, \quad P_L + P_b < 1.5 S_m$$

$$P_L + P_b + P_e + Q < 3 S_m$$

설계하중 및 재료성질은 다음과 같다.

설계압력: 17 MPa, 중앙덮개의 상부온도: 70 °C,
 중앙덮개의 하부온도 : 120 °C, 중앙덮개의
 측면온도(환형덮개와 접하는 부위) : 300 °C

SA 240 Type 321 의 열전도도 : $k=17000$ W/mm.K,
 대류계수 : $h=4.233$ W/ m².K,
 항복강도 : 205 MPa, 탄성계수 : 173103 MPa,
 응력강도 : 138 MPa(150 °C), 110 MPa(350 °C)

중앙덮개를 IDEAS 코드를 사용하여 모델링한 후, 그 모델을 ANSYS 입력자료로 변환하였다. 그리고, ANSYS 입력자료를 완성한 후, 응력해석을 하였다. 그림 1 는 ANSYS 유한요소 코드로 모델링한 2 차원 축대칭(axisymmetric) 모델을 보여준다. 열응력 해석시 경계조건은 매우 민감한 요소이기 때문에 3 가지의 경우로 선택하여 해석하였다. 즉, Case 1 인 경우는 중앙덮개에 걸쇠가 물리는 절점의 모든 변위(x, y,

z 방향)를 구속하고 torus ring 이 용접되는 절점에 수직방향(y 방향)으로 변위를 허용하고 수평방향(x, z 방향)의 변위는 구속하였다. Case 2 인 경우는 걸쇠가 물리는 절점의 y 방향을 구속하고 torus ring 에 y 방향으로 변위를 허용하고 x, z 방향의 변위는 구속하였다. Case 3 인 경우는 걸쇠가 물리는 절점의 y, z 방향을 구속하고 torus ring 에 x, y 방향으로 변위를 허용하고 z 방향의 변위만 구속하였다.

참고문헌[2]의 ARTICLE A-8000, A-8132.4 (15)식에 의해서 다공판을 구멍이 없는 등가 탄성평판으로 변환할 수 있다. 실제 중앙덮개에 지름 90 mm 의 구멍이 12 개 있으나 ASME 코드의 공식을 적용하기 위해 지름 90 mm 의 구멍이 19 개, 구멍배열은 삼각형 배열로 가정한다.

등가탄성계수는 $E^*=0.67E=115979$ MPa, $\nu^*=0.28$ 이다.

열응력 해석을 위해서 먼저 중앙덮개의 열전달 해석이 먼저 수행되었다. 중앙덮개 상부온도는 70 °C, 하부온도는 120 °C, 측면온도(중앙덮개와 환형덮개가 접하는 부위)는 300 °C이며 ANSYS 코드로 해석한 결과는 그림 2 와 같다.

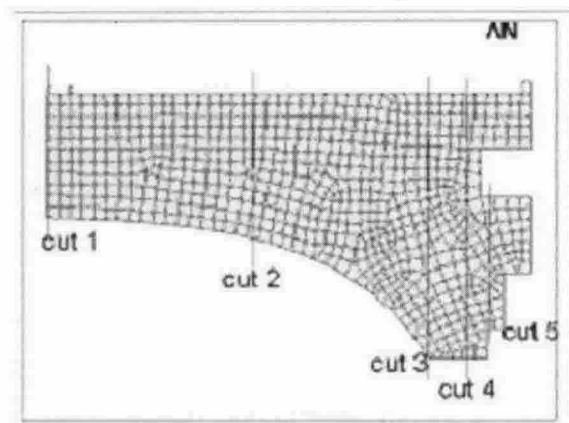


그림 1 이차원 축대칭 모델

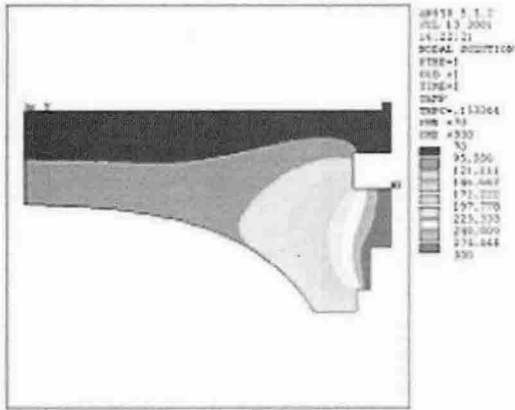


그림 2 열전달 해석 결과

참고문헌

[1] ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section III, Division 1, Subsection NB, Class 1 Components, 1955

[2] ASME Section III Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components Division 1 - Appendicies, 1989 Edition.

후기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

3.0 해석 결과 및 결론

내부압력 17 MPa 과 열하중을 적용하여 해석한 결과는 표 1 과 같다. 그림 3 은 case 3 의 응력강도 분포를 보여준다. 경계조건이 가장 현실에 가까운 case 3 의 경우 cut 5 에서 최고 응력강도 값인 202.3 MPa 이 나타났으며 이것은 중앙덮개의 재질인 SA240 의 허용응력 강도값 $3S_m = 330 \text{ MPa}$ 아래에 있다. 따라서, 스테인레스 중앙덮개는 주어진 압력 17 MPa 과 주어진 열하중에서 건전하다고 평가할 수 있다.

	case 1	case 2	case 3
Cut 1	287.2	59.80	109.6
Cut 2	208.4	32.38	81.47
Cut 3	235.3	79.00	82.32
Cut 4	226.5	129.4	137.0
Cut 5	552.6	216.2	202.3

표 1 ANSYS 모델 해석결과

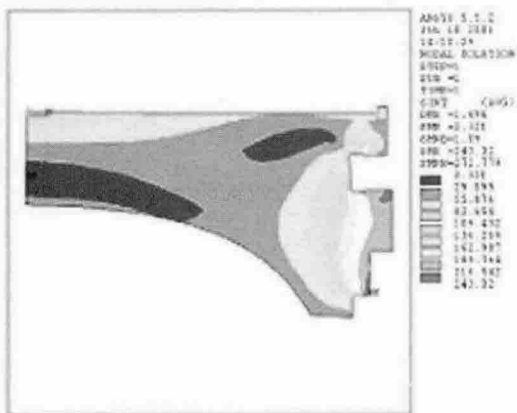


그림 3 case 3 의 응력강도의 분포