

원자력 발전소 배관 관통부의 내진 건전성에 관한 연구 A Study on the Analytical Estimation of Structural health for penetration pipe in Nuclear Power Plant

*황재덕¹, #김재실², 강승희³

*J. D. Hwang(dukiga@changwon.ac.kr)¹, #C. S. Kim², S. H. Kang³

¹창원대학교 진동내구성연구센터, ²창원대학교 기계공학과, ³창원대학교 대학원 기계공학과

Key words : Feedwater, ASME, Normal, Upset, Emergency, Faulted, Seal Plate, Structural Analysis

1. 서론

원자력 발전소에서 쓰이는 배관 관통부는 원자로 내부 건물과 터빈 건물에 설치되어 있으며 공기 분리기(deaerator)에서 공기가 제거된 368°F(186.67°C)의 물을 저장탱크로 운반하는 역할을 한다. 이러한 배관 관통부 사이에는 Seal Plate로 고정을 해주는데 지진이라는 유사시에도 이 부분에서의 파괴가 일어나지 않아야 배관 관통부의 파괴가 일어나지 않는다.

많은 배관 중에서 본 논문에서 쓰인 파이프는 3개의 관통부로 이루어져 있으며 내진 건전성을 확보하기 위하여 Normal, Upset, Emergency, Faulted 조건에서 해석을 수행하였다. 해석을 수행할 때 ASME Boiler and Pressure Vessel-Code, Section III을 기준으로 하였다.

2. Structural Analysis

본 연구에서 쓰인 관통 배관부는 순서대로 1W-76, 2W-77, 16W-81이며, 이 3개의 파이프의 재원은 Length 12inch, Thickness 1.313inch, Pressure 17.99psi, Modulus of Elasticity 29.5(10⁶)psi이고, Material은 CS ASTM A106 Gr.B를 사용하였다.

파이프 모델링은 ANSYS를 이용하였고, Table 2은 각 파이프의 Loading condition에 따른 Force와 Moments를 나타내었다. 각 Loading condition은 Normal과 Upset은 Gravity+Thermal, Emergency는 Gravity+Thermal+Seismic을 마지막으로 Faulted는 Gravity+Thermal+Seismic+SAM(+Misc.)로 설정하였다. Fig. 1은 유한요소 적용 후 Boundary Plot을 설정한 것이다. Table 1은 각 파이프의 Seal Plate에 가해지는 힘과 모멘트를 표시해 놓은 것이다. Table 1에서 보여지 듯 Faulted condition의 값이 가장 높다.

Table 1 Piping loads for Building Seal Plate

Line No.	Loading Condition	Forces(lbs)			Moments(ft-lbs)		
		F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
1W-76	Normal	9	28	0	14	5	19
	Upset	9	28	0	14	5	19
	Emergency	10	32	12	58	13	20
	Faulted	10	32	12	58	13	20
2W-77	Normal	194	63	5	26	89	234
	Upset	194	63	5	26	89	234
	Emergency	194	64	20	52	89	234
	Faulted	194	64	20	52	89	234 </td
16W-81	Normal	4083	5398	2030	2929	2703	9608
	Upset	4083	5398	2030	2929	2703	6908
	Emergency	9413	7927	3778	3715	7439	16139
	Faulted	10583	17462	4554	4038	9445	40406

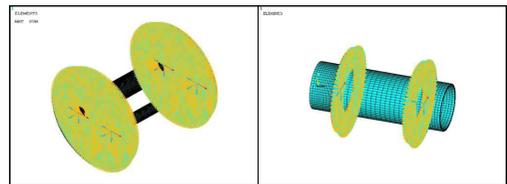


Fig. 1 Boundary plot of Building Seal Plate

3. Significant Results

Fig. 2는 배관 관통부와 Seal Plate사이에서 각각 maximum stress location을 1W-76/2W-77은 A~F로 16W-81은 A~D로 나타낸 모습이다.

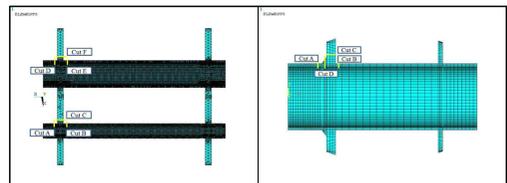


Fig. 2 Structural model and cutting locations

각 하중조건에 따른 Location에 대한 Structural Analysis 결과는 Table 2와 Table 3에 나타난 바와 같으며 Fig. 3은 해석 결과 Stress distribution을 보여 주고 있는 것이다. 해석 결과는 faulted condition만 첨부하였는데 그 이유는 다른 조건보다 높은 힘과 모멘트가 걸리기 때문이 faulted condition조건이 안정하다면 상대적으로 다른 조건들도 안정하다고 할 수 있기 때문이다.

Table 2 1W-76/2W-77 Evaluation for faulted condition

Cut	Max. Stress	Stress analysis (ksi)	Allowable (ksi)	
A	P_M	1.497	16.1	
	P_L+P_b	Inside	2.045	22.65
		Outside	0.970	
B	P_M	3.554	16.1	
	P_L+P_b	Inside	2.355	22.65
		Outside	6.430	
C	P_M	2.395	16.1	
	P_L+P_b	Inside	3.345	22.65
		Outside	3.796	
D	P_M	2.281	16.1	
	P_L+P_b	Inside	4.316	22.65
		Outside	4.060	
E	P_M	0.1203	16.1	
	P_L+P_b	Inside	0.1207	22.65
		Outside	0.1203	
F	P_M	14.34	16.1	
	P_L+P_b	Inside	14.46	22.65
		Outside	9.437	

Table 3 16W-81 Evaluation for faulted condition

Cut	Max. Stress	Stress analysis (ksi)	Allowable (ksi)	
A	P_M	0.7997	45.71	
	P_L+P_b	Inside	1.07	68.57
		Outside	0.5297	
B	P_M	22.34	45.71	
	P_L+P_b	Inside	20.20	68.57
		Outside	32.08	
C	P_M	8.263	45.71	
	P_L+P_b	Inside	5.461	68.57
		Outside	12.16	
D	P_M	6.996	45.71	
	P_L+P_b	Inside	8.955	68.57
		Outside	6.049	

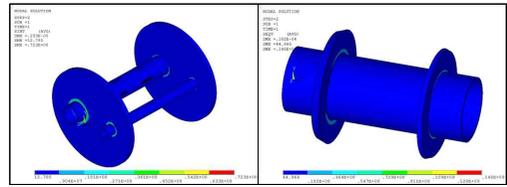


Fig. 3 Stress distribution for faulted condition

4. 결론

본 연구에서는 원자력 발전소에서 쓰이는 배관 관통부에 내진 건전성을 확보하기 위하여, 먼저 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 3차원 모델을 구축하였다. 그리고 구조해석을 위해서 Normal, Upset, Emergency, Faulted condition에 대한 힘과 모멘트를 입력하였고 그에 따른 Location의 Max. Stress를 알아본 결과 제일 큰 힘과 모멘트가 가해진 Faulted 조건에서 Allowable을 넘지 않으므로 건전성을 확보하였다고 할 수 있다.

후기

본 연구는 창원대학교 진동내구성연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. ASME Boiler and Pressure Vessel-Code, Section III
2. 이현, 김연환, "원자력 발전소 1차계통 배관 건전성 평가", 한국소음진동공학회, 318-321, 1995.