

지진하중 하에서 주증기 안전밸브의 내진성능 평가

장정범 ^a, 서용표 ^b

^a 전력연구원, 구조연구실, 내진기술그룹, 대전광역시 유성구 문지동 103-16, jbjang@kepri.re.kr

^b 전력연구원, 구조연구실, 내진기술그룹, 대전광역시 유성구 문지동 103-16, ypsuh@kepri.re.kr

1. 서론

국내 원자력발전소의 기술자립이 95 % 이상 이루어진 현시점에서도 주증기 안전밸브 (Main Steam Safety Valve, MSSV) 는 외국으로부터 전량 수입되고 이에 따라 정비 및 유지보수에서도 외국 제작업체의 기술지원에 의존하고 있다. 따라서, MSSV 의 수입 뿐만 아니라 유지보수를 위한 해외비용 지출이 지속적으로 발생하고 있어 MSSV 의 설계, 제작 및 정비기술의 국산화 개발이 시급한 실정이다. 본 연구에서는 국내 기술력으로 자체 제작된 MSSV 의 내진검증을 통하여 지진하중 작용 시 MSSV 의 안전성 및 작동성을 평가하고자 한다.

2. 내진검증요건

본 연구에서 대상으로 하는 MSSV 는 ASME Code Class 2 에 해당하며, 설계압력은 92.5 kgf/cm², 설계온도는 304 도이다. MSSV 는 밸브 작동환경에서 설계하중 작용시 밸브의 가동성 (Operability) 을 증명할 필요가 없는 수동형 밸브이기 때문에 IEEE 344 에서 제시하는 내진검증방법 중 수치해석적인 방법으로 내진검증을 수행하였다.

또한, MSSV 의 내진검증시 운전기준지진 (Operating Basis Earthquake, OBE) 이나 안전정지지진 (Safe Shutdown Earthquake, SSE) 과 같은 지진하중 이외에도 ASME Code 에서 규정하는 Service Limit Level B, C, D 에서 요구하는 하중들, 즉 Steady state 나 Pipe break transient 사고시 발생하는 하중들을 고려하였다.

본 연구에서 대상으로 하는 MSSV 의 내진검증을 위하여 한국수력원자력(주) 의 구매시방서에서 요구하는 표 1 의 지진하중을 고려하였으며, 또한 Pipe break transient 사고시 발생하는 동적가속도를 표 2 와 같이 고려하였다.

표 1. 지진가속도 (g)

구 분	수평 1 방향	수평 2 방향	수직방향
OBE	4.0	4.0	4.0
SSE	5.0	5.0	5.0

MSSV 의 내진검증을 통하여 증명하여야 하는 내용은 다음과 같다.

표 2. 동적가속도 (g)

수평 1 방향	수평 2 방향	수직방향
15.0	11.0	13.0

첫째, MSSV 의 1 차 고유진동수가 33 Hz 이상인 것을 증명하여야 한다. 둘째, ASME Code 의 다양한 하중조건 (Service Limit Level B, C, D) 에서 고려하는 지진하중과 Pipe break transient 사고로 인하여 발생하는 하중에 대해 동적 및 정적해석을 통하여 밸브구조체 주요 부위에서의 부재력, 모멘트, 변위 및 응력을 결정하고, 이들의 합응력이 하중조건별로 ASME Code 의 NC 3592 에서 규정하는 허용응력과 표 3 의 변위기준을 만족함을 증명하여야 한다.

표 3. 허용 변위기준

위 치	변위 (mm)
Stem 과 Bonnet	0.5
Guide 와 Disk Holder	0.1

3. 수치해석

3.1 해석모델

MSSV 의 내진검증을 위한 수치해석을 수행하기 위하여 범용 구조해석 프로그램인 ABAQUS 를 사용하였다. MSSV 의 유한요소모델을 구축하기 위하여 MSSV 를 구성하는 7 개의 부품, 즉 Body, Guide, Holder, Disk, Stem, Bonnet 및 Seat 등을 4 절점 고체요소를 사용하여 그림 1 과 같이 모델링하였으며, 3 차원 해석을 수행하였다. 표 4 는 각 부품별 재료물성을 나타낸다.

3.2 모드해석

MSSV 의 내진검증요건 중 하나인 1 차 고유진동수가 33 Hz 이상인지의 여부를 평가하기 위하여 모드해석을 수행하였다. 모드해석 방법으로는 Lanczos 방법을 사용하였으며, 모드해석결과, MSSV 의 1 차 고유진동수가 63.2 Hz 로 나타나 밸브의 내진검증요건을 만족하는 것으로 나타났다. 그림 2 는 MSSV 의 1 차 및 2 차 모드형상을 나타내고 있다.

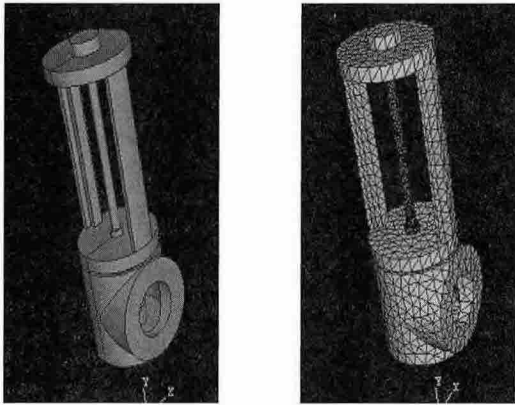


그림 1. MSSV 의 유한요소모델

표 4. 부품별 재료물성

부품명	재질	허용응력 (kgf/cm ²)
Body	A105	1,230
Guide	A743	1,230
Holder	A420	1,230
Disk	Inconel X750	3,690
Stem	A564	2,310
Bonnet	A216	1,230
Seat	A479	886

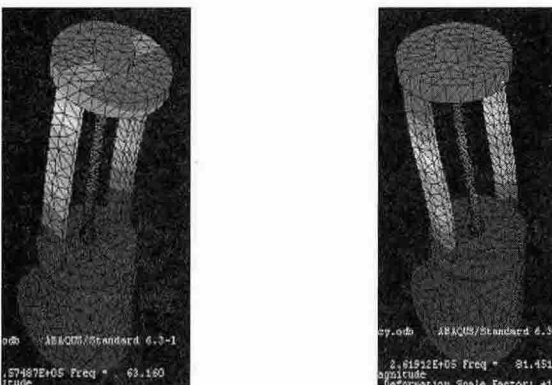


그림 2. 주요 모드형상

3.3 응력해석결과

본 연구에서는 ASME Code 의 NC 3592 에서 규정한 Service Limit Level B, C, D 에 대하여 모든 수치해석을 수행하지 않고 Service Limit Level D 의 하중에 대한 수치해석결과를 Level B 의 허용응력과 보수적으로 비교함으로써 MSSV 의 내진검증요건 만족여부를 확인하였다. 따라서, Service Limit Level D 의 내진검증하중으로서 안전정지지진하중, Pipe break transient 사고시

발생하는 동적 가속도하중, MSSV 의 사하중 및 Pipe end load 를 고려하기 위한 설계압력하중 92.5 kgf/cm² 을 적용하였다.

안전정지지진하중과 Pipe break transient 사고로 인한 동적 가속도하중에 의해 MSSV 에 발생한 응력은 SRSS (Square Root of the Sum of the Squares) 방법에 의하여 조합하였다.

수치해석결과, 내진검증하중에 대해 MSSV 의 모든 부품에 발생하는 합응력과 변위가 ASME Code 에서 규정하는 허용응력과 MSSV 의 가동성을 보장하는 허용변위 이내에 있음을 확인할 수 있었다. 따라서, 본 연구에서 대상으로 하는 MSSV 는 지진하중 발생시에도 안전하게 그 고유의 기능을 수행할 수 있는 것으로 평가되었다.

4. 결론

본 연구에서는 MSSV 의 내진검증을 통하여 지진하중 발생 시 MSSV 의 구조적 건전성 및 가동성을 평가하였다.

MSSV 의 내진검증요건인 1 차 고유진동수와 ASME Code 에서 규정하는 Service Limit Level D 에서 각 부품들의 응력 및 변위를 수치해석을 통하여 평가한 결과, MSSV 의 1 차 고유진동수는 63.2 Hz 로 나타났고, Service Limit Level D 하에서 각 부품들의 최대 합응력은 허용응력을 만족하는 것으로 나타났다. 또한, Service Limit Level D 하에서의 변위도 MSSV 의 가동성을 보장하는 허용 변위기준을 만족하는 것으로 나타나 본 연구에서 대상으로 하는 MSSV 는 지진하중 발생시에도 구조적 안전성을 확보하면서 정상적으로 작동함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 한국전력기술, *Technical Specification of Safety Relief Valve at Ulchin 5 & 6*, 1999.
- [2] ASME, *ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section III Div. 1, Subsection NC - Class 2 Components*, 1986.
- [3] Dresser Valve & Controls, *Environmental & Seismic Qualification of Dresser Main Steam Safety Valve Actuators for Wolsong 2, 3, 4*, 1996.
- [4] Edward Valves Inc., *Qualification for Main Steam Isolation Valve Actuators Korea Electric Yonggwang Units 5 & 6*, 1995.
- [5] Edward Valves Inc., *Seismic Report 26x24x26 Special Class 900 Pressure Seal Equiwedge Gate Valve with an A-290 Actuator Korea Electric Yonggwang Units 5 & 6*, 1995.
- [6] IEEE, *IEEE Recommended Practices for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations, IEEE Standard 344-87*, 1987.