

시험에 의한 글로브밸브의 동특성 비교 분석 Identification of Dynamic Properties of Globe Valve by Test

박 형 기*
Park, Hyung-Ghee

조 양 희*
Joe, Yang-Hee

ABSTRACT

This paper presents the results of structural identification of a safety-related valve for nuclear power plant by impact hammer test as well as shaking table tests by using broadband random wave and sine sweep excitation. The test specimen is a Y-type motor operated globe valve. The test was performed as a "support test" to validate the analytically obtained modal parameters of the valve during its seismic qualification process by analytical method. From the study results, it has been found that the shaking table test generally yields higher natural frequencies and lower damping values compared with those of impact hammer test. And it has been recognized that impact hammer test for modal identification of complex structures should be applied very carefully to get reasonable results.

1. 서론

원자력발전소의 방사선 안전관련 계통에 속하는 전기 및 기계기기는 정상 및 사고하중(지진포함)하에서 구조적 건전성과 기능작동성이 보장되어야 한다.⁽¹⁾⁽²⁾ 이에따라 안전과 관련된 배관계통을 구성하는 Y형 글로브밸브 본체의 내진검증은 해석적방법으로 이루어지고 보조시험을 수행하여 동특성을 확인하는 절차를 따르는 경우가 있다. 보조시험은 밸브조립체의 구조적 복잡성 때문에 해석모델의 신뢰성을 제고하기 위하여 모드파라미터(고유진동수, 감쇠비, 진동모드 형상)를 확인할 목적으로 이루어진다.

이에대한 연구로는 미국 Southwest Research Institute에서 IEEE 344⁽²⁾의 내용을 개선 보완시키기 위해 수행한 전기 및 기계기기와 부품에 대한 전반적인 연구결과⁽³⁾가 있다. 또한 밸브제작자가 자사의 제품에 대한 내진검증 작업의 일환으로 수행된 연구가 있으나 그 회사에만 한정되어 일반에 공유되지 못하고 있는 실정이다.

이 연구에서는 보조시험으로서 이루어지는 동특성 확인을 여러 종류의 시험으로 수행하고, 각 결과의 변동성과 각 시험방법의 장단점을 포함한 특징을 파악하고자 하였다. 실시된 시험으로는 진동대를 이용한 광대역임의운동시험과 정현파스위프시험, 그리고 충격햄머시험이다.

2. 시험모델 제작과 설치

시험대상인 글로브밸브는 공칭직경 60mm 배관에 장착되는 밸브구동장치인 모터가 달린 유량제어용 Y형 글로브밸브이다.⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 시험용 글로브밸브 본체는 사용될 밸브와 동일하게 별도로 제작되

* 인천대학교 공과대학 토목공학과 교수, 정회원

있으며 밸브구동장치는 실제와 동일한 진동특성을 모사할 수 있도록 설계 제작하여 밸브본체 상단에 장착시켰다. 밸브본체의 동특성에 배관의 영향을 배제시키기 위하여, 공칭직경 60mm(두께 20mm) 중공원형봉을 밸브의 유체를 끌어들이는 입구와 내보내는 출구에 용접시키고 이 원형봉을 4개의 브라켓으로 보강된 58.0mm 두께의 블록타입의 판에 8개의 흰을 사용하여 고정상태가 되도록 용접하였다. 또한 원형봉의 휨영향(피칭효과)을 방지할 목적으로 8개의 흰(fin)을 봉주위와 블록 타입판에 용접으로 부착시켰다. 이 블록타입의 판의 하부는 25mm 두께의 받침판에 용접 제작되었다. 이렇게 제작된 글로브밸브 시편을 시험방법에 따라 진동대나 고정 지지부에 볼트나 C형 쥘쇠를 사용하여 장착시켰다.

3. 진동시험

3.1 시험방법

공진진동수 검색에서 시험방법에 따른 영향을 검토하기 위하여 최대가속도 0.2g 수준의 진동대 시험(광대역임의운동시험과 정현파스위프시험) 및 충격햄머시험(충격햄머 5 lb와 14.5 lb를 사용)을 수행하였다. 진동대시험은 한국기계연구원의 대형 6자유도 지진모사시스템을 이용하여 이루어졌다. 시험은 가압상태와 비가압상태에서 이루어졌으며, 수평 2방향과 수직방향으로 수행되었다. 그 내용은 표 1에 보인 바와 같다.

표 1 밸브에 대해 수행된 공진탐색시험

시 험 내 용		비 고
진 동 대 시 험	광대역임의운동시험	가압상태와 비가압상태에서 시험수행 0.2g peak, 1.0~50.0Hz
	정현파스위프시험	비가압상태에서 시험수행 0.2g peak, 35.0~50.0Hz (6진동수/분)
충격햄머시험		비가압상태에서 시험수행 충격햄머(5lb와 14.5lb)를 사용

3.2 응답계측과 결과분석

계측은 밸브의 모드파라미터 추정에 필요한 정보를 얻을 수 있도록 진동대시험에서는 3축가속도계 7개를 사용하였으며⁽⁵⁾, 충격햄머시험에서는 그림 1에 보인 바와 같이 3개 곳에 충격을 가하는 방향으로 단축가속도계를 부착시켜 계측하였다.

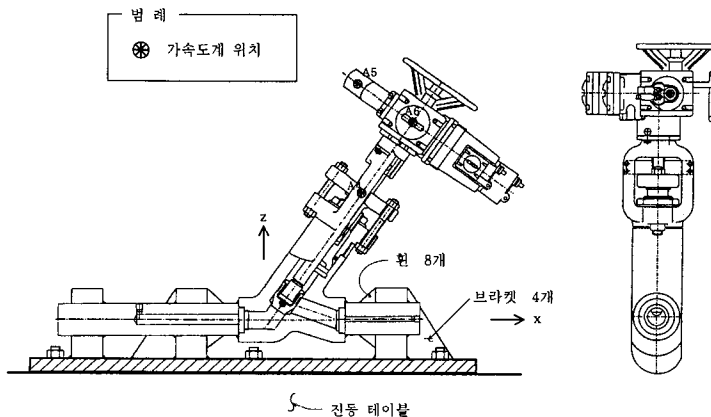
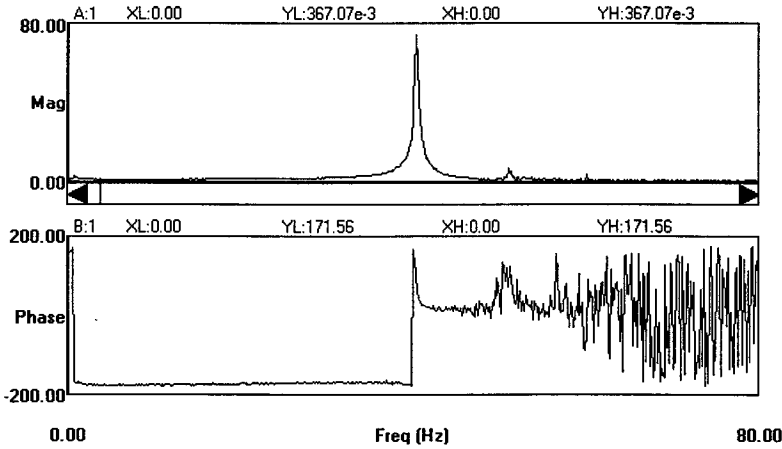
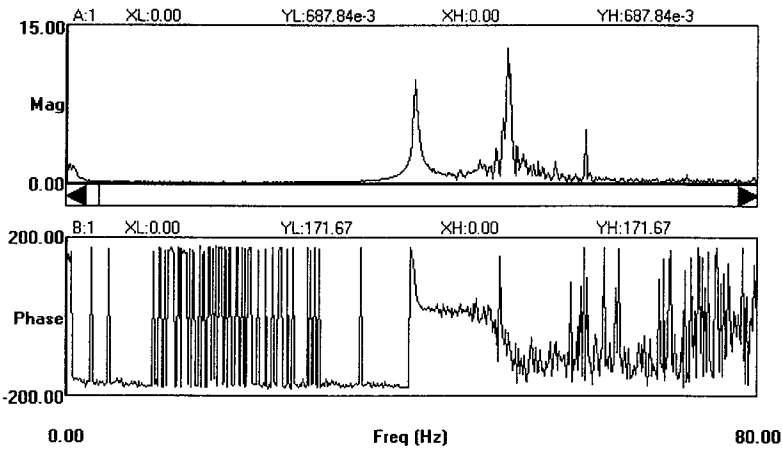


그림 1 밸브에 부착시킨 가속도계의 위치(충격햄머시험시)

광대역임의운동에 의한 진동대시험으로 얻어진 가속도시간이력을 전달함수로 변환시켜 이를 이용하여 1자유도법의 다항식 커브피트⁽⁶⁾로 모드해석을 수행하였다. 분석 결과는 그림 2와 표 2에 보인 바와 같다. 가압상태와 비가압상태의 모드파라미터는 크기가 거의 비슷하며, 직관으로 알수 있는 바와 같이 고유진동수는 가압상태가 조금 높고, 감쇠비는 반대로 비가압상태의 경우가 조금 높다. 또한 정현파스위프시험에 의한 동특성 확인시험 결과를 보이면 그림 3과 같다.



(a) 가속도계 A6의 x방향



(b) 가속도계 A6의 y방향

그림 2 비가압상태에서 수행된 진동대시험의 x방향의 가진에 대한 밸브 구동장치 위치(가속도계 A6)에서 얻어진 응답의 Bode선도

표 2 진동대시험에 의한 모드파라미터

(1) 가압상태

진동모드	방향성분	Residue		고유진동수 (Hz)	감쇠비 (%)	비고
		Mag.	Phase			
1	x	112.33	17.01	40.58	0.573	수직방향(z) 가진
	y	12.71	18.01		0.579	
	z	88.77	197.45		0.572	
2	x	199.96	193.73	40.67	0.437	배관측에 평행한 수평방향(x) 가진
	y	23.23	193.84		0.437	
	z	160.22	13.43		0.437	
3	x	137.92	200.90	51.83	0.382	배관측에 직각인 수직방향(y) 가진
	y	342.94	21.67		0.381	
	z	230.88	200.59		0.383	

(2) 비가압상태

진동모드	방향성분	Residue		고유진동수 (Hz)	감쇠비 (%)	비고
		Mag.	Phase			
1	x	115.4	12.66	40.32	0.718	수직방향(z) 가진
	y	15.11	12.48		0.717	
	z	94.66	193.17		0.725	
2	x	194.55	193.48	40.40	0.504	배관측에 평행한 수평방향(x) 가진
	y	25.07	193.47		0.492	
	z	-	-		-	
3	x	149.13	203.40	51.00	0.465	배관측에 직각인 수직방향(y) 가진
	y	352.85	24.04		0.464	
	z	232.36	203.06		0.464	

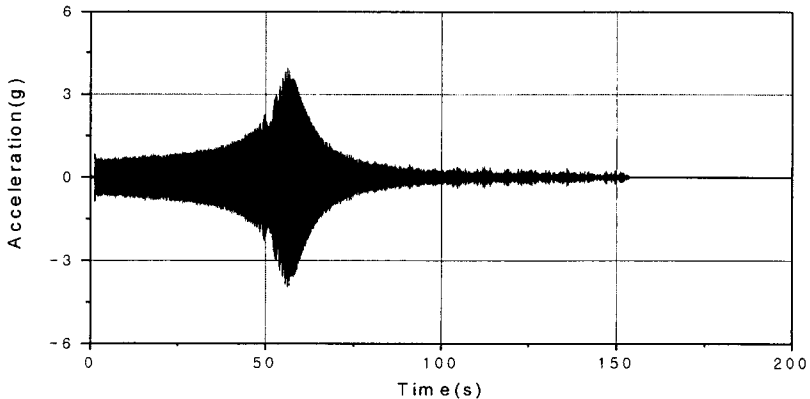
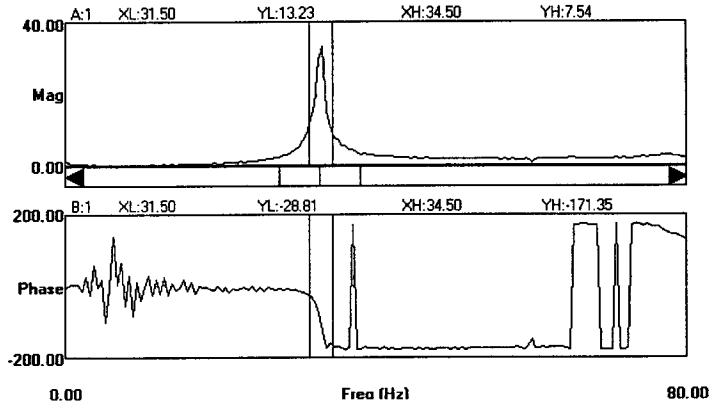
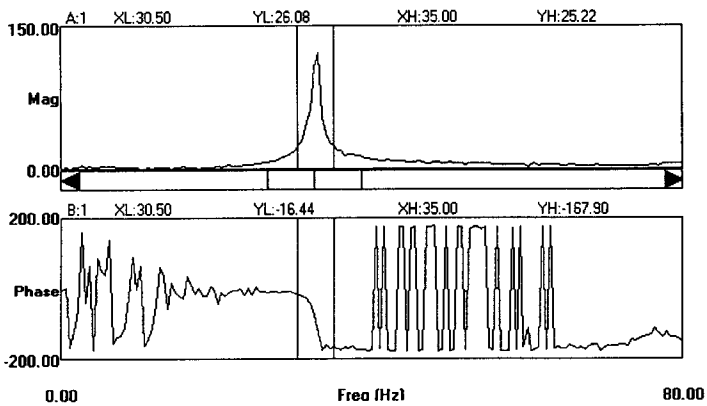


그림 3 진동대시험에 의한 x방향 정현파스위프시험시의 밸브구동장치 위치(가속도계 A6)에서의 x방향 응답시간이력

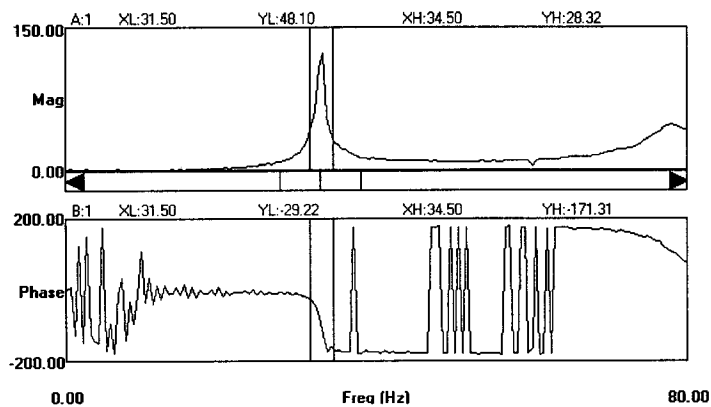
충격햄머시험 결과중 가속도계 A5위치에서 x방향으로 타격한 경우의 가속도계 별로 얻어진 응답에 대한 Bode선도는 그림 4에서 보인 바와 같고, 충격햄머시험 결과를 정리한 것은 표 3에 보인 바와 같다.



(a) 가속도계 A4



(b) 가속도계 A5



(c) 가속도계 A6

그림 4 가속도계 A5위치에서 x방향으로 타격한 충격햄머시험의 각 가속도계에서 얻어진 응답에 대한 Bode선도

표 3 충격햄머시험 결과에 의한 모드파라미터

타격위치	타격방향	모드파라미터		비고
		고유진동수(Hz)	감쇠비(%)	
A4	x	33.13	1.33	Bode선도에 두 개의 첨두점이 나타남
	y	37.76	1.26	
	z	34.0	1.20	
A5	x	32.83	1.23	
	y	37.6	1.62	
	z	37.19	1.18	
A6	x	32.88	1.15	
	y	37.51	1.38	
	z	37.43	1.49	

시험결과를 분석 고찰하면, 진동대시험은 충격햄머시험에 비해 진동수는 높게, 감쇠비는 낮게 추정되는 경향을 준다. 이 차이는 주로 충격햄머시험과 진동대시험 사이에 시편에 가해지는 에너지 수준과 가진 형식, 즉 진동대시험에서는 지지부 가진이며 충격햄머시험에서는 시편 내의 높은 위치에 가진된 결과로 판단된다. 또한 표 3에서 보인 가속도계 A4위치의 x와 z방향 타격 시험 결과로부터 햄머타격의 용이함이 충격햄머시험 결과에 중요한 영향을 미치는 것도 알 수 있다.

4. 결론

진동대를 이용하는 광대역임의운동시험과 정현파스위프시험은 동일한 고유진동수를 주나, 정현파스위프시험으로는 감쇠비의 결정이 어렵다. 또한 글로브밸브의 진동대시험으로부터 충격햄머시험의 경우보다 고유진동수는 높게, 감쇠비는 낮게 추정된 결과를 얻었다. 그러나 광대역임의운동시험과 충격햄머시험은 동일한 경향의 모드별 고유진동수를 주는 것을 알 수 있었다.

충격햄머시험시는 타격위치와 방향을 가능하면 전체 진동모드를 잡을 수 있도록 선정하고 충분한 에너지를 가해지도록 편하고 자연스럽게 타격해야 한다.

감사의 글

이 연구는 한국전력공사 전력연구원과 인천대학교의 연구비지원, 그리고 시험밸브제작을 담당한 (주) 서흥금속의 지원에 의해 이루어졌음을 밝히며 이에 감사드립니다. 또한 진동시험을 수행함에 있어서 협조를 아끼지 않은 한국기계연구원 관계자와 인천대학교 대학원 학생 여러분께도 감사를 표합니다.

참고문헌

1. IEEE-323-1983, "IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations."
2. IEEE-344-1987, "IEEE Recommended Practices for Siesmic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations."
3. Kana, D.D. and Pomerening, D.J., "Evaluation of Qualification Methodology for Line Mounted

Equipment", Southwest Research Institute, Texas, U.S.A., Report No. SwRI-6582-001-03, 1983.

4. 박형기, 조양희, 이종림, 김성택, "ASME III 글로브밸브의 내진검증을 위한 진동대 시험", 한국 지진공학회, 1998년도 춘계학술대회 논문집, pp.139~146.
5. 박형기, 조양희, 조석희, 김성택, "Y형 글로브밸브의 모드파라미터 추정", 대한토목학회, 1998년도 학술발표회 논문집, pp.623~626.
6. STAR User's Guide, Spectral Dynamics, Inc. 1996.