Coil Spring & Viscose Damper System의 동적거동특성분석

Mechanical Characteristics Analysis of Coil Spring & Viscous Damper System

김민규* 전영선**
Kim, Min Kyu Choun, Young Sun

ABSTRACT

This paper presents the results of experimental studies of the mechanical characteristics of the Coil Spring and Viscous Damper system. The Coil Spring and Viscous Damper systems were selected for the isolation of Emergency Diesel Generator (EDG) which is located in Nuclear Power Plant (NPP). The Coil Spring and Viscous Damper systems were developed for the operating vibration isolation and seismic isolation for scaled Model EDG System. The damping properties of the viscous damper changes as the variation of velocity. As a results, nonlinear damping characteristics of viscous damper system were evaluated.

Key word : Coil Spring and Viscous Damper system, Emergency Diesel Generator (EDG), Nuclear Power Plant (NPP), velocity dependent damping property

1. 서 론

Coil Spring과 Viscous Damper가 결합된 형태의 면진장치는 일반적으로 회전기계의 진동저감용으로 널리 사용되는 장치로서 진동저감장치로서는 가장 오래전부터 사용하여왔다. 원자력발전소에도 대표적인 회전기계로서 원자력발전소의 안전과 직접적인 영향을 미치는 비상디젤발전기에 이와 같은 장치가 설치되어 있다 (김민규 등, 2005). 그러나 Coil Sping과 Viscous Damper가 결합된 형태의 면진장치는 대상구조물을 지탱하기 위한 연직강성을 유지하기가 용이하지 않으므로 지진력 저감을 위한 장치로는 널리 사용하지 않는 것이 일반적이다.

Coil Spring과 Viscous Damper의 면진효과에 관한 사례연구로서 Makris 와 Deoskar (1996)의 연구결과가 있다. Makris와 Deoskar는 1994년 미국의 Northridge지진시 미국의 Los Angels 지역에 존재하고 있던 3개의 면진된 구조물중에 인근 철도에서 발생하는 진동 저감을 위해서 Coil Spring과 Viscous Damper를 사용하여 면진된 구조물의 거동에 대한 연구를 수행하였다. 이 건물에서는 USGS에 의해서 지진계가 설치되어 있었으므로 각 층에서의 가속도 응답을 측정할 수 있었다. 면진된 구조물의 3층에서의 최대응답은 0.63g가 관측된 반면 수치해석에 의해 이 건물이 면진되지 않았을 경우의 최대응답을 추산해 본 결과 1.0g의 응답이 계산되었다. 이러한 결과는 Coil

* 한국원자력연구소 종합안전평가부 선임연구원, 공학박사, 정회원
** 한국원자력연구소 종합안전평가부 책임연구원, 공학박사, 정회원

Spring과 Viscous Damper를 이용한 면진을 통해서도 효과적으로 지진력을 저감시킬 수 있다는 것을 보여주고 있다.

따라서 본 연구에서는 원전의 비상디젤발전기를 대상으로 한 Coil Spring과 Viscous Damper 시스템을 개발하였다. 실제 기존의 원전에 설치되어 있는 Coil Spring과 Viscous Damper시스템은 지진력 저감은 고려하지 않았으므로 연직강성만 고려하여 비상디젤발전기의 가동시 진동저감만을 목표로 하여 설치되었으나 본 연구에서는 진동저감과 지진력 저감효과를 동시에 고려할 수 있도록 제작하였다. 제작된 면진장치는 모형시험을 위한 장치로서 실제 비상디젤발전기의 중량은 기초를 포함하여 400ton에 이르는 대형 구조물이므로 약 4ton의 실험용 모형을 제작하여 그에 적합한 면진장치를 제작하였다. 본 논문에서는 제작한 면진장치의 수평 2방향 및 연직방향에 대한 특성시험결과를 분석하여 실제 면진장치로서의 적용성 여부만을 분석하였다. 분석결과 입력지진파의 주파수 특성에 따라서 다른 결과가 나타나겠지만 시험대상에 적용하였을 경우 진동저감 및 지진력 저감효과를 충분히 발휘할 수 있는 장치인 것으로 판단된다.

2. 실험개요

2.1 실험대상 비상디젤발전기

실험대상의 비상디젤발전기는 SEMT Pielstick사의 16PC2-5V 400모델로서 국내 원전에 가장 많이 설치되어 운영하고 있는 모델이다. 국내에 본 비상디젤발전기를 설치하고 있는 원전은 영광 5&6호기, 울진 3&4호기, 5&6호기 그리고 월성 3&4호기로서 전체 8기의 원전에 각 호기별로 2대의 비상디젤발전기가 설치되어 있다. 본 모델은 정격출력이 7000kW, 정격속도는 514RPM으로서 각 호기별로 약간씩 차이가 나지만 1개월 주기로 1시간씩 시험가동을 수행하여 비상시에 대비하고 있다. 실제 영광 5호기 원자력발전소에 설치되어 있는 비상디젤발전기는 그림 1에 제시하였다.

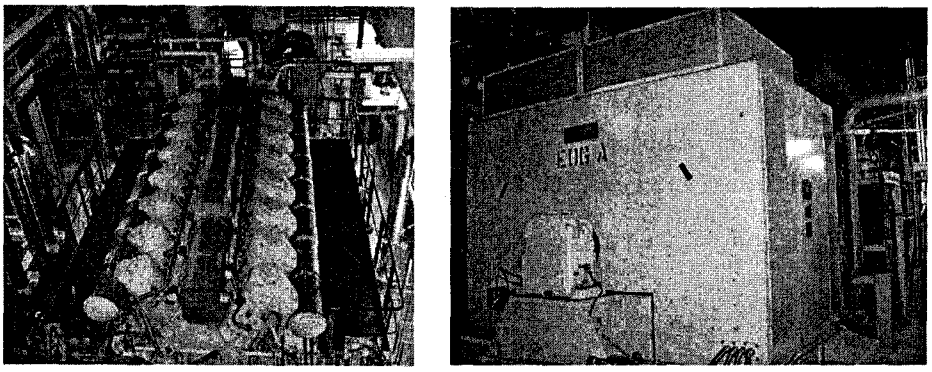


그림 1. 영광원자력발전소 5호기의 비상디젤발전기

비상디젤발전기는 크게 엔진부분과 발전기 (Generator)부분 그리고 기초부분 이렇게 세부분으로 구분되어 있다. 각 부분의 대체적인 무게는 표 1에 정리하였다.

표 1. 비상디젤발전기의 주요부 무게

Part	Weight
Engine	93 ton
Generator	40 ton
Foundation	252.3 ton
Total	385.3 ton

2.2 축소모형 설계

2.1 절에 제시한 바와 같이 실험대상 모델은 실제 실증시험이 불가능한 크기와 무게를 가지고 있으므로 최대 4ton에 맞추어서 모형을 제작하였다. 모형의 제작시에는 전체 크기에서 무게중심의 위치를 일치시키도록 노력하였으며, 강체블록과 콘크리트 블록을 이용하여 제작하였다. 모형 제작을 위한 도면은 그림 2에 도시하였고 모식도는 그림 3에 제시하였다. 실험모델의 주요부의 무게는 표 2에 정리하였다.

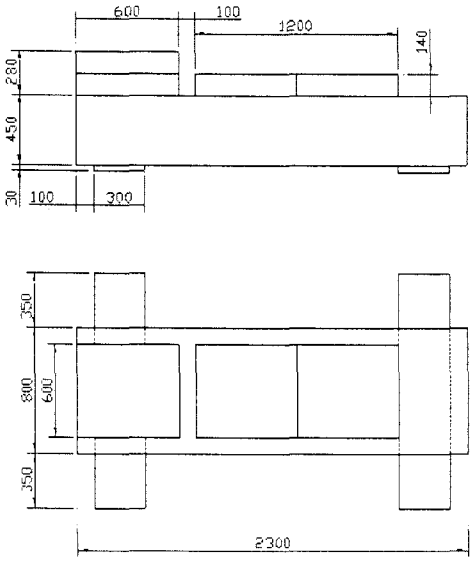


그림 2. 실험대상 모형의 도면

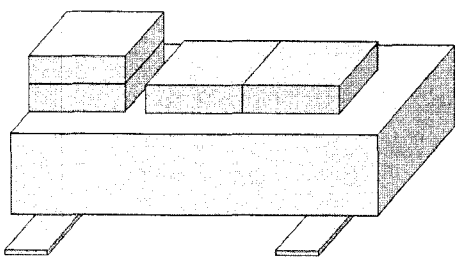


그림 3. 실험모형의 모식도

표 2. 실험모형의 주요부 무게

	Material	Weight (ton)	Model
W1	Steel	0.8	Generator
W2	Steel	0.8	Engine
W3	Concrete	2.0	Foundation
W4	Steel	0.1	-
W5	Steel	0.1	-
Total		3.8	

2.3 Coil Spring & Viscous Damper 시스템 제작

결정된 실험모형의 제원에 적합한 면진장치를 제작하였다. 면진장치는 Coil Spring과 Viscous Damper시스템 제작업체로서 국내 원전에도 도입된 바가 있는 GERB사에 의뢰하여 제작하였으며 수평강성의 목표는 1Hz로 선정하였다. 면진장치는 실험모형의 네군데 모서리에 하나씩 설치하는 것으로 하였으며, Coil Spring 2개와 Viscous Damper 1개가 결합된 형태로 제작하였다. Coil Spring과 Viscous Damper시스템의 도면은 그림 4에 제시하였으며, 수평 및 연직 강성과 감쇠값은 표 3에 정리하였다. 이 표에서 제시하고 있는 값은 제작사가 제공하고 있는 값으로서 시간의존 거동특성을 나타내지 않고 있으므로 정확한 물성치를 파악하기에는 충분하지 않은 것으로 판단된다. 또한 실제 제작된 면진장치는 그림 5에 제시하였다.

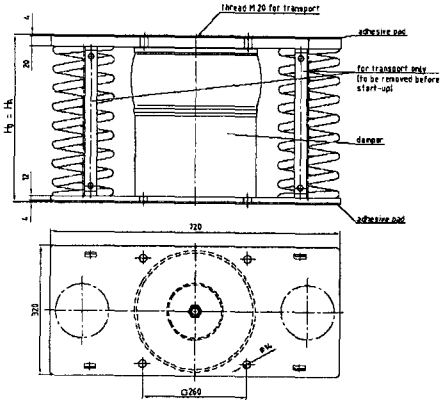


그림 4. 면진장치 설계도면

표 3. 면진장치 물성

Item	Properties	
Load Capacity	15 kN	
Stiffness	Vert.	0.144 kN/mm
	Hori.	0.04 kN/mm
Damping Coefficient	Vert.	3.5 kNs/m
	Hori.	4.0 kNs/m
Height	410mm	

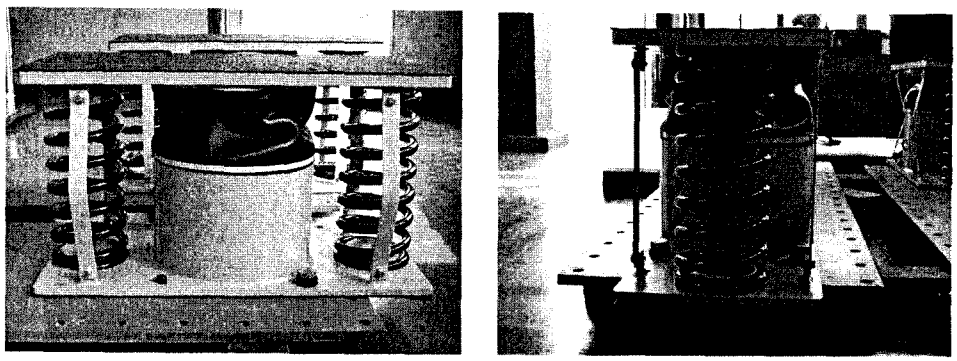


그림 5. 제작된 면진장치

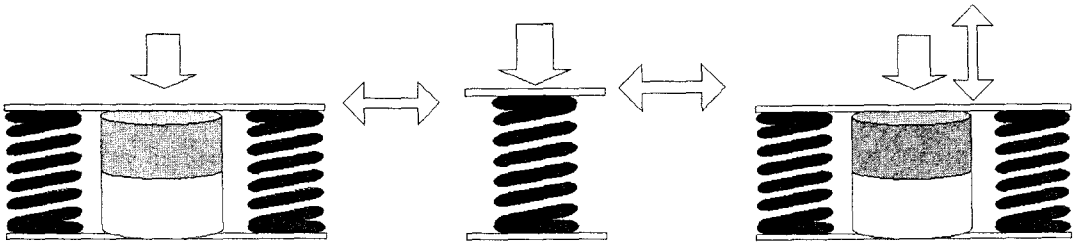
2.4 실험 방법

Viscous Damper의 감쇠특성은 속도에 의존하여 변화하는 것으로 알려져 있다. 따라서 Coil Spring과 Viscous Damper가 결합된 형태의 면진장치는 가진속도에 따라서 강성과 감쇠특성이 변화하게 된다. 이러한 영향을 정확하게 이해하고 뿐만아니라 수치해석에 효과적으로 반영시키기 위해서 속도변화에 따른 동특성변화를 알기 위한 실험을 수행해야 한다. 따라서 제작된 면진장치의

허용 거동변위 내에서 속도에 따른 동특성 실험을 수행하였다. 면진장치의 한계허용변위를 고려하여 변위는 40mm로 고정하였으며 속도의존성을 파악하기 위해 속도를 변화시키면서 각 속도별로 5회씩 반복해서 실험을 수행하였다. 수평방향의 경우는 종방향과 횡방향의 경우를 별도로 하여 실험을 수행하였으며 연직방향에 대해서도 동일한 방법으로 실험을 수행하였다. 연직하중의 경우 개별 면진장치가 실제로 받게 되는 하중을 고려하여 1ton으로 유지되도록 하였다. 속도에 따른 실험순서는 다음의 표 4에 정리하였고 실험방법에 대한 모식도는 그림 6에 제시하였다.

표 4. 면진장치 특성시험 순서

	속도(mm/sec)	횟수(cycle)
1	20	5
2	40	5
3	60	5
4	80	5
5	100	5
6	150	5
7	200	5
8	250	5
9	300	5
10	400	5
11	500	5



(a) 수평종방향 (b) 수평횡방향 (c) 연직방향

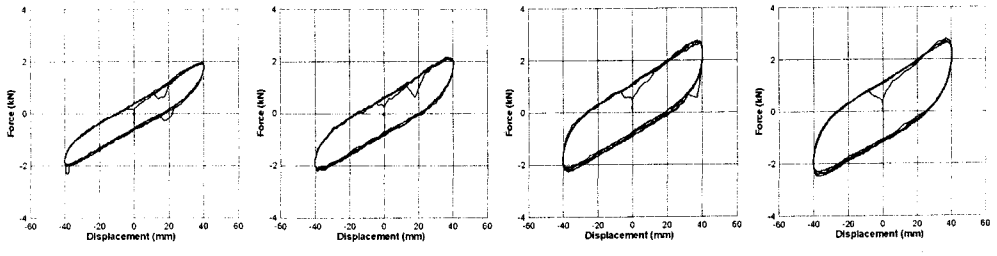
그림 6. 방향별 면진장치 특성시험 방법 모식도

3. 실험 결과

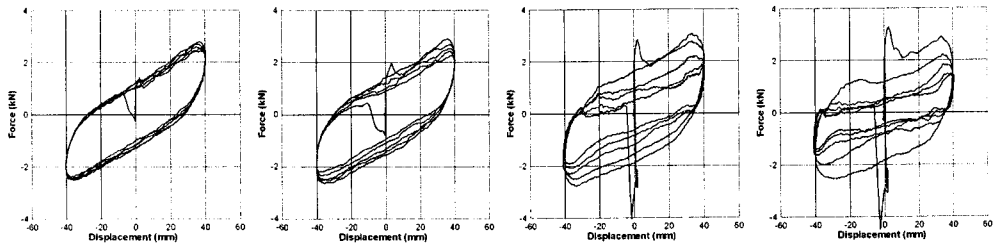
3.1 수평 종방향 실험결과

수평 종방향의 경우에 대한 특성실험을 수행하여 변위-하중 이력곡선을 다음의 그림 7에 도시하였다. 그림 7에 도시한 수평 종방향 결과를 보면 가진속도가 증가함에 따라서 강성이 다소 증가하지만 강성의 증가는 일정속도에서 수렴하며 감쇠값도 일정 속도 이상에서는 수렴하는 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 150mm/sec 이상의 속도에서는 반복시험에 따라서 강성과 감쇠비가 현저하게 감소하는 모습을 보이는 것을 볼 수 있다. 또한 실제 실험은 500mm/sec까지 수행했으나 250mm/sec이상의 속도에서는 결과로 활용하기가 적절하지 않은 정도의 결과가 산출됐으므로 본

그림에서 제시하지 않았다. 이유는 본 실험에 사용한 가력기의 용량이 실험체의 크기에 비하여 상당히 크기 때문에 발생한 것으로 실험결과의 경향으로 비추어 보아 그 이상의 결과는 별 의미가 없는 것으로 판단된다. 또한 속도가 증가할 경우 반복시험에 따라 강성이 감소하고 감쇠값이 현저하게 감쇠하는 것은 Viscous Damper의 감쇠력이 반복거동에 따라서 감소하기 때문인 것으로 판단된다.



(a) 20mm/sec (b) 40mm/sec (c) 60mm/sec (d) 80mm/sec

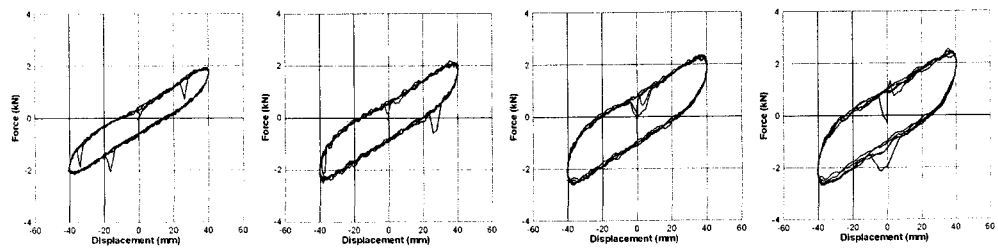


(e) 100mm/sec (f) 150mm/sec (g) 200mm/sec (h) 250mm/sec

그림 7. 속도에 따른 변위-하중 이력곡선 (수평 종방향)

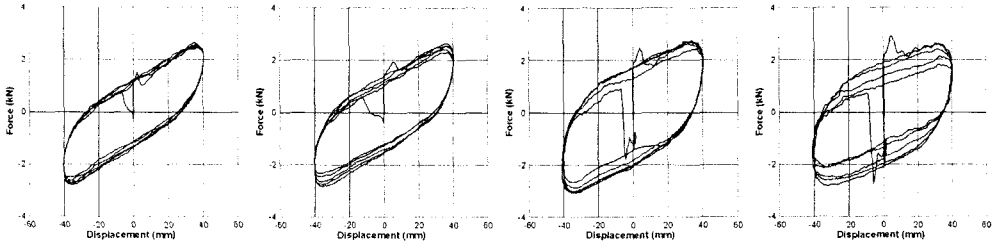
3.2 수평 횡방향 실험결과

동일한 방법으로 수평횡방향에 대한 실험을 수행하여 그 결과를 그림 8에 도시하였다. 변위-하중 이력곡선은 종방향의 경우와 거의 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다.



(a) 20mm/sec (b) 40mm/sec (c) 60mm/sec (d) 80mm/sec

그림 8 속도에 따른 변위-하중 이력곡선 (수평 횡방향)(계속)

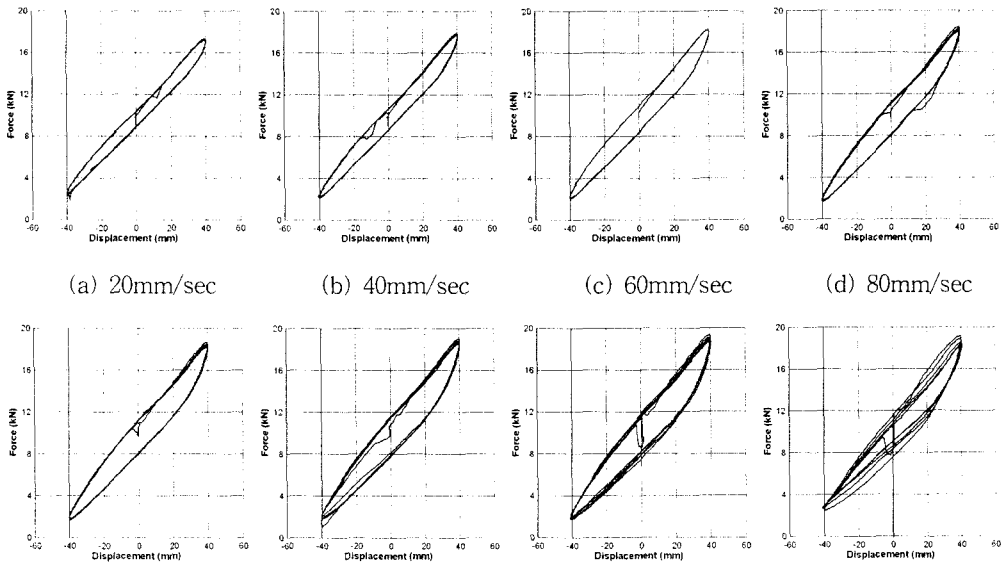


(e) 100mm/sec (f) 150mm/sec (g) 200mm/sec (h) 250mm/sec

그림 8. 속도에 따른 변위-하중 이력곡선 (수평 횡방향)

3.3 연직방향 실험결과

연직방향의 경우에도 동일한 방법으로 실험을 수행하여 그 결과 변위-하중 이력곡선을 그림 9에 도시하였다. 연직방향의 경우 Coil Spring의 영향으로 수평방향에 비하여 강성은 크게 평가되고 있으며, 속도 변화에 따른 강성의 변화는 두드러지게 나타나지 않고 있다. 감쇠의 경우도 속도변화에 따른 거동이 현저하지 않은 것으로 보인다.



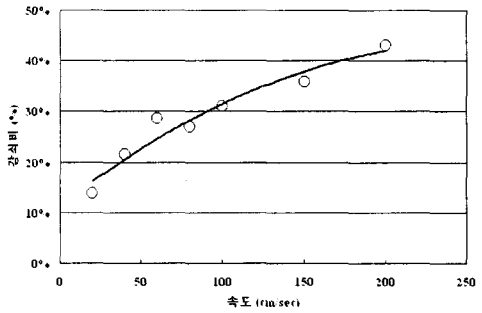
(a) 20mm/sec (b) 40mm/sec (c) 60mm/sec (d) 80mm/sec

(e) 100mm/sec (f) 150mm/sec (g) 200mm/sec (h) 250mm/sec

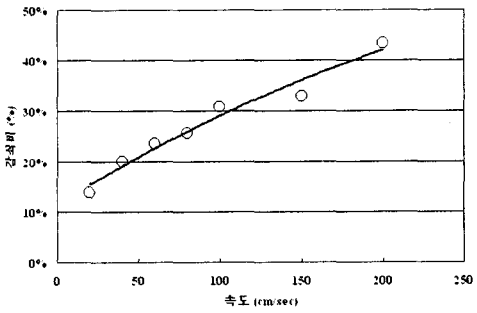
그림 9. 속도에 따른 변위-하중 이력곡선 (수평 횡방향)

4. 결과분석

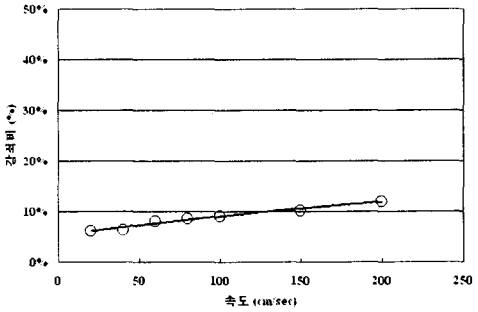
특성시험 결과를 이용하여 가진속도에 따른 감쇠특성을 비교하였다. 결과는 그림 10에서 가진방향별로 정리하였다. 그림에서 보는 바와 같이 수평방향의 경우 종방향과 횡방향의 차이에 관계없이 유사한 감쇠값을 갖는 것을 알 수 있으며, 연직방향의 경우 감쇠특성이 거의 선형거동을 하는 것을 알 수 있다.



(a) 수평종방향



(b) 수평횡방향



(c) 연직방향

그림 10. 가진속도와 방향에 따른 감쇠비의 변화

5. 결론

본 연구에서는 원전의 비상디젤발전기에 적용하기 위해서 개발한 Coil Spring과 Viscous Damper 시스템의 동특성 분석을 위한 실험을 수행하였다. Viscous Damper 의 경우는 가진 속도에 따라서 그 특성이 다르게 나타나기 때문에 그 영향을 평가하여 진동저감과 지진력저감효과를 동시에 고려할 수 있는 장치로서의 성능을 평가하고자 하는 것이다. 실험결과 수평방향의 경우 속도의존 비선형 거동이 두드러지게 나타나고 있는 반면 연직방향은 그러한 특성이 미미한 것으로 나타났다. 결과적으로 진동과 지진력 저감에 적용가능한 시스템인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 실험은 과학기술부 원자력 중장기연구사업의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

1. Kim, Min Kyu, Choun, Young Sun, Kwon, Hyoung Oh, Seo, Jeong Moon, (2005). Evaluation of a Spring-Viscous Damper Vibration Isolation System by Measuring the Vibration of the Emergency Diesel Generator, 한국원자력학회 2005 춘계학술발표회 논문집.
2. Makris, N. and Deoskar, H. (1996). Prediction of Observed Response of Base-Isolated Structure, Journal of Structural Engineering, Vol. 122, No. 5, pp.485-493.