

# Coil Spring & Viscous Damper System의 동특성분석

## Mechanical Characteristic Analysis of Coil Spring & Viscous Damper System

김민규<sup>1)</sup> · 전영선<sup>2)</sup>

Kim, Min-Kyu · Choun, Young-Sun

**국문 요약 >>** 본 연구에서는 Coil Spring과 Viscous Damper 시스템의 동특성 분석을 위한 특성실험을 수행하였다. Coil Spring과 Viscous Damper 시스템은 원자력발전소 비상디젤발전기의 진동저감 및 지진력 저감을 위한 장치로 선정되었다. Viscous Damper 가진 속도에 따라서 그 특성이 다르게 나타나기 때문에 그 영향을 평가하여 진동저감과 지진력 저감효과를 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. 강성과 감쇠 모두 설계값보다 고평가 되고 있는 것으로 나타나서 전체 시스템의 면진 및 진동저감시 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다.

**주요어** Coil Spring과 Viscous Damper 시스템, 비상디젤발전기, 원자력 발전소, 속도의존 비선형 거동

**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. Through this research nonlinear damping characteristics and the effective stiffness of coil spring and viscous damper system were evaluated.

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

### 1. 서론

#### 1.1 연구목적 및 연구방법

Coil Spring과 Viscous Damper가 결합된 형태의 면진장치는 일반적으로 회전기계의 진동저감용으로 널리 사용되고 있는 장치로서 가장 오래전부터 사용하여 왔다. 원자력발전소에도 대표적인 회전기계로서 원자력발전소의 안전과 직접적인 영향을 미치는 비상디젤발전기에 이와 같은 장치가 설치되어 있다<sup>1)</sup>. 본 연구에서는 Coil Spring과 Viscous Damper

가 결합된 형태의 면진장치를 이용하여 비상디젤발전기로부터 발생하는 진동을 감소시키고 지진력을 저감시키기 위한 연구를 수행하였다. 본 연구의 목적은 발생가능한 수준을 넘어서는 지진에 대해서도 비상디젤발전기의 안전성을 유지시킬 뿐 아니라 면진을 통하여 원전전체의 안전성에 영향을 미치는 노심손상빈도를 효과적으로 낮추기 위함이다<sup>2)</sup>. 또한 가동중 발생하는 진동저감효과도 동시에 고려하고 있다.

이러한 연구를 수행하기 위하여 원전 비상디젤발전기의 거동을 모사할 수 있는 실험모형을 제작하였다. 원전의 비상디젤발전기는 기초를 포함한 전체시스템의 고유진동수가 33Hz를 넘는 구조물이므로 실제로 지진시 강체거동을 한다고 볼 수 있다. 따라서 콘크리트 블록과 강체블록을 이용하여 실험모형을 제작하고 제작된 실험모형에 적합한 면진장치를 설계 제작하였다. 제작된 면진장치의 강성특성 및 시

<sup>1)</sup> 정희원·한국원자력연구소 종합안전평가부 선임연구원, 공학박사 (대표저자: minkyu@kaeri.re.kr)

<sup>2)</sup> 정희원·한국원자력연구소 종합안전평가부 책임연구원, 공학박사

본 논문에 대한 토의를 2007년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

간의존 감쇠특성을 살펴보기 위한 특성실험을 수행하였다. 속도 의존 감쇠특성을 분석하기 위하여 가진속도를 20mm/sec 부터 500mm/sec 까지 11단계에 대한 실험을 수행하였으며 가력기의 가진방향을 수평 종방향, 횡방향 그리고 연직방향에 대하여 실험하였다. 실험을 통하여 각 가진 속도와 방향에 따른 변위-하중 이력곡선을 도출하였으며, 도출된 이력곡선을 통하여 등가 감쇠비와 등가 강성 및 감쇠계수를 산정하였다. 산정된 면진장치의 물성치는 설계변수와 비교하여 적절히 제작되었는지의 여부를 분석하고 제작된 변수를 이용하여 전체시스템의 동적거동특성을 예측하였다. 최종적으로 본 연구에서 제작한 Coil Spring & Viscous Damper System이 진동저감 및 면진장치로서의 역할을 수행할 수 있는지 판단하였다.

## 1.2 Coil Spring & Viscous Damper System의 연구동향

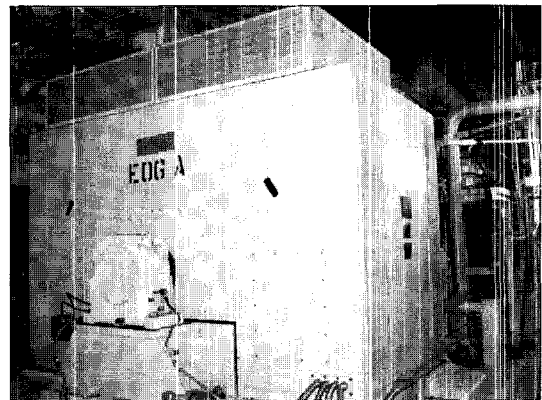
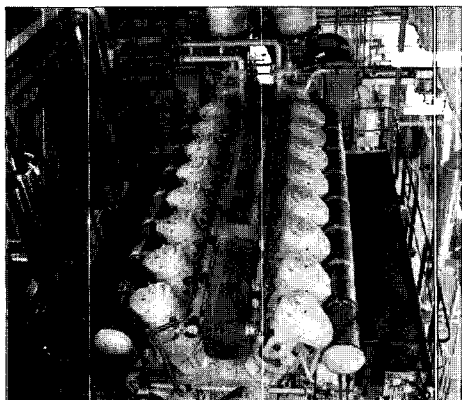
Coil Spring & Viscous Damper System의 지진력 저감장치로서의 타당성을 검토한 연구는 Hüffmann<sup>(4)</sup>에 의해서 시작하였다. Hüffmann은 위 연구에서 기존에 진동저감용으로만 사용하는 Coil Spring & Viscous Damper System이 지진력 저감장치로 사용할 수 있다는 것을 이론과 더불어 진동대 실험을 통하여 밝힌 바 있다. 또한 Hüffmann<sup>(5)</sup>은 Coil Spring & Viscous Damper System을 기기의 지진력 저감을 위한 장치로서 연구하여 대표적으로 공기조화기에 적용하여 효과적으로 지진력 저감이 가능함을 밝혔다. Makris와 Contantinou<sup>(7)</sup>는 Coil Spring & viscous Damper System을 지진력저감과 진동저감용으로 사용하기 위하여 특성시험 결과를 바탕으로 한 수학적 모델을 제시하기도 하였다. 실제 구조물에는 Los Angeles 지역의 건물을 대상으로 하여 Makris 등<sup>(9)</sup>이 viscous Damper를 설계하여 설치하였다. 건물에는 11개의 Coil Spring 시스템과 6개의 Coil Spring

& Viscous Damper System이 설치되었다. 이후 면진장치가 설치되어 있는 3개의 건물중 1개의 건물에 USGS에 의해 지표면과 각 층에 가속도계가 설치되었는데 1994년에 발생한 Northridge 지진시 지표면과 각 층에서의 가속도를 관측할 수 있었다. Northridge 지진시의 관측기록을 분석하여 Coil Spring & Viscous Damper System의 면진효과를 분석한 연구결과가 Makris 등<sup>(8)</sup>에 의해서 발표되었다. 이 구조물은 3층 구조물이며 규모 6.7의 Northridge 지진의 진원과는 24km 떨어진 곳에 위치하고 있었다. 지표면 최대가속도는 0.4g를 넘어서는 큰 규모의 지진이었다. 면진된 구조물의 3층에서의 최대응답은 0.63g가 관측되었지만 수치해석에 의해 이 건물이 면진되지 않았을 경우 3층에서의 최대응답을 추산해 본 결과 1.0g 이상의 응답이 계산되었다. 이러한 결과는 Coil Spring과 Viscous Damper를 이용한 면진을 통해서도 효과적으로 지진력을 저감시킬 수 있다는 것을 보여주고 있다.

## 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.

2.2 축소모형 설계

표 1에서 제시한 바와 같이 비상디젤발전기는 실제 실증 시험이 불가능한 무게를 가지고 있을 뿐만 아니라 대략적인 크기는 길이가 10.5m 이고 폭이 3.5m에 이르는 대형 기기이다. 따라서 국내에서는 본 비상디젤발전기에 대한 실증시험이 현실적으로 불가능한 것이 사실이다. 따라서 시험의 목적에 맞게 축소모형을 통한 실험을 진행하였다. 실험모델은 전체 시스템의 무게를 1/100로 하여 제작하였다. 무게의 비가 1/100로 정해질 경우 길이비는 1/10로 결정되는 것이 동적 실험에서의 일반적인 상사율이지만 그렇게 될 경우 무게와 길이를 동시에 충족시킬 수 있는 모델의 제작이 불가능해진다. 따라서 무게는 1/100로 고정시킨 후 길이는 사용하고자 하는 진동대의 크기에 맞추어서 제작을 하였다. 다만 디젤엔진과 발전기의 위치에 의해서 결정되는 무게중심은 전체 크기의 비율에 맞추어서 조정하였다. 제작된 실험모델에 맞추어서 면진장치의 특성치를 결정하였으므로 축소모형의 상사율은 문제가 없는 것으로 판단된다. 실험대상 모델은 최대 4ton에 맞추어서 제작하였으며, 강체블록과 콘크리트 블록을 이용하여 제작하였다. 모형 제작을 위한 도면은 그림 2에 도시하였고 모식도는 그림 3에 제시하였다. 실험모델의 주요부의 무게는 표 2에 정리하였다.

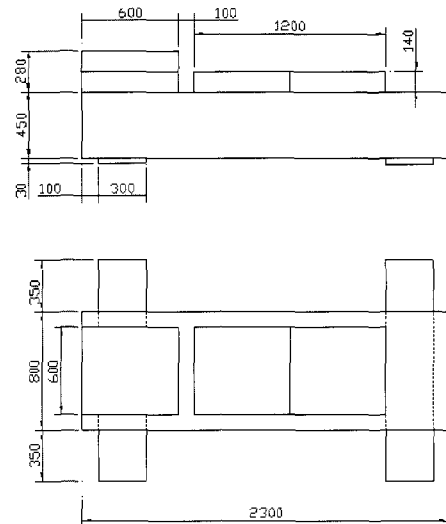
2.3 Coil Spring & Viscous Damper 시스템 제작

결정된 실험모형의 제원에 적합한 면진장치를 제작하였다. 면진장치는 Coil Spring과 Viscous Damper시스템 제작업체로서 국내 원전에도 도입되어 있는 GERB사에 의뢰하여 제작하였으며 수평강성의 목표는 1Hz로 선정하였다. 실제로 국내 원전의 설계지진인 NRC Reg. Guide 1.60의 스펙트럼과 비교하면 충분한 면진이 이루어지기 위해서는 수평강성을 0.5Hz까지 낮추는 것이 필요하지만 Coil Spring의 경우는 수평강성을 낮출 경우 연직강성도 동시에 감소하

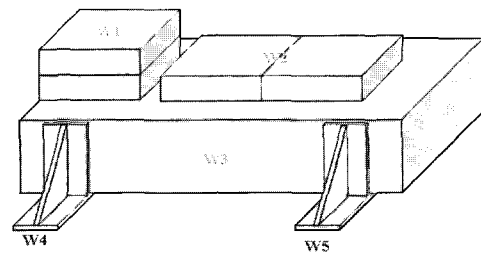
므로 연직강성이 너무 낮아지면 전체 시스템의 정적안정성에도 영향을 미치게 된다(Macinate, 1984, GERB, 2000). 연직지진력에도 면진효과를 발휘하기 위해서는 동일하게 1Hz 정도의 고유진동수를 갖는 것이 필요하지만 연직고유진동수를 1Hz로 유지하기 위해서는 25cm의 정적변위가 발생하게 된다. 연직방향 고유진동수와 정적변위와의 관계는 다음 식 (1)과 같은 단순한 관계에 의해서 결정할 수 있다.

$$f_z = \frac{5}{\sqrt{z}} \tag{1}$$

여기서  $f_z$ 는 연직방향 고유진동수이고,  $z$ 는 연직방향 변위를 의미한다. 연직방향 고유진동수는 2Hz로 결정하고 식



〈그림 2〉 실험대상 모형의 도면



〈그림 3〉 실험모형의 모식도

〈표 1〉 비상디젤발전기의 주요부 무게

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

〈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	

(1)을 이용하여 그 때의 정적변위가 6.25cm 가 되는 것을 확인할 수 있다. 결정된 수평 및 연직 고유진동수에 의해서 스프링 시스템의 강성은 다음 식 (2)를 이용하여 구할 수 있다.

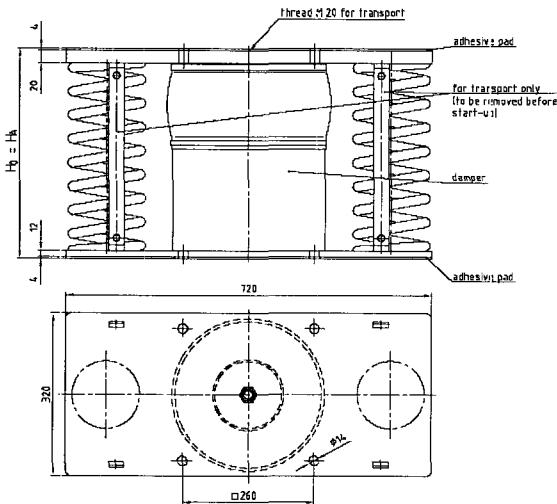
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{k_b}} \quad (2)$$

여기서  $m$ 은 상부구조물의 중량이며,  $k_b$ 는 면진장치의 강성이다. 면진장치는 실험모형의 내군데 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. 실제 제작된 면진장치는 그림 5에 제시하였다.

2.4 실험 방법

Viscous Damper의 감쇠특성은 속도에 의존하여 변화하는 것으로 알려져 있다<sup>(9)</sup>. 따라서 Coil Spring과 Viscous Damper가 결합된 형태의 면진장치는 가진속도에 따라서 강성과 감

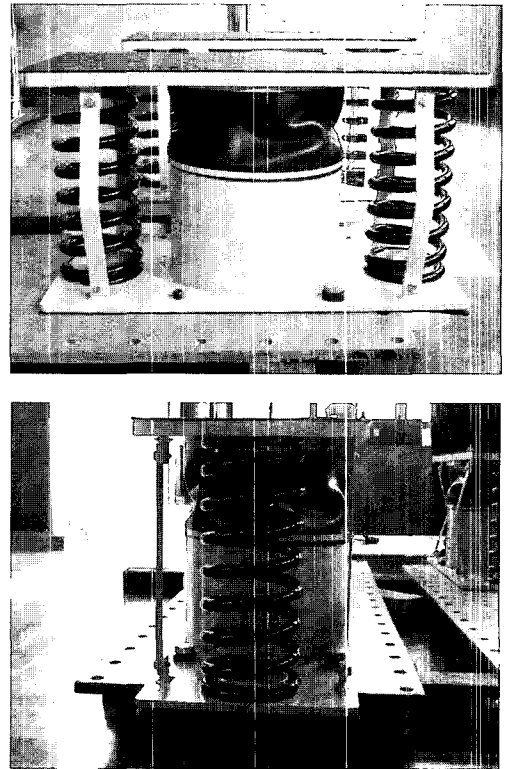
쇠특성이 변화하게 된다. 이러한 영향을 정확하게 이해하고 뿐만 아니라 수치해석에 효과적으로 반영시키기 위해서 속도변화에 따른 동특성변화를 알기 위한 실험을 수행하였다. 면진장치의 한계허용변위를 고려하여 변위는 40mm로 고정하였으며 속도의존성을 파악하기 위해 속도를 변화시키면서 각 속도별로 5회씩 반복해서 실험을 수행하였다. 수평방향의 경우는 종방향과 횡방향에 따라 별도로 실험을 수행하였으며 연직방향에 대해서도 동일한 방법으로 실험을 수행하였다. 연직하중은 개별 면진장치가 실제로 받게 되는 하중을 고려하여 1ton으로 유지되도록 하였다. 속도에 따른 실험순서는 다음의 표 4에 정리하였고 실험방법에 대한



〈그림 4〉 면진장치 설계도면

〈표 3〉 면진장치 물성

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



〈그림 5〉 제작된 면진장치

〈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

모식도는 그림 6에 제시하였다.

### 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 따라 강성이 다소 증가하지만 강성의 증가는 일정속도에서 수렴하며 감쇠값도 일정 속도 이상에서는 수렴하는 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 150mm/sec 이상의 속도에서는 동일속도의 실험에서 반복수행에 따라 강성과 감쇠비가 현저하게 감소하는 모습을 보이는 것을 알 수 있다. 실제 실험은 500mm/sec까지 수행했으나 250mm/sec이상의 속도에서는 결과로 활용하기가 적절하지 않은 정도의 결과가 산출됐으므로 본 결과에 제시하지 않았다. 이유는 본 실험에 사용한 가력기의 용량이 실험체의 크기에 비하여 상당히 크기

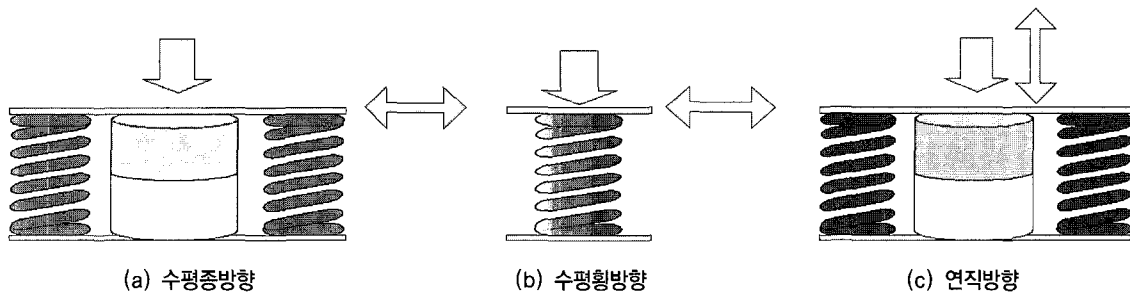
때문에 발생한 것으로 실험결과와 경향으로 비추어 보아 그 이상의 결과는 별 의미가 없는 것으로 판단된다. 또한 속도가 증가할 경우 반복시험에 따라 강성이 감소하고 감쇠값이 현저하게 감소하는 것은 Viscous Damper의 감쇠력이 반복 거동에 따라서 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

#### 3.2 수평 횡방향 실험결과

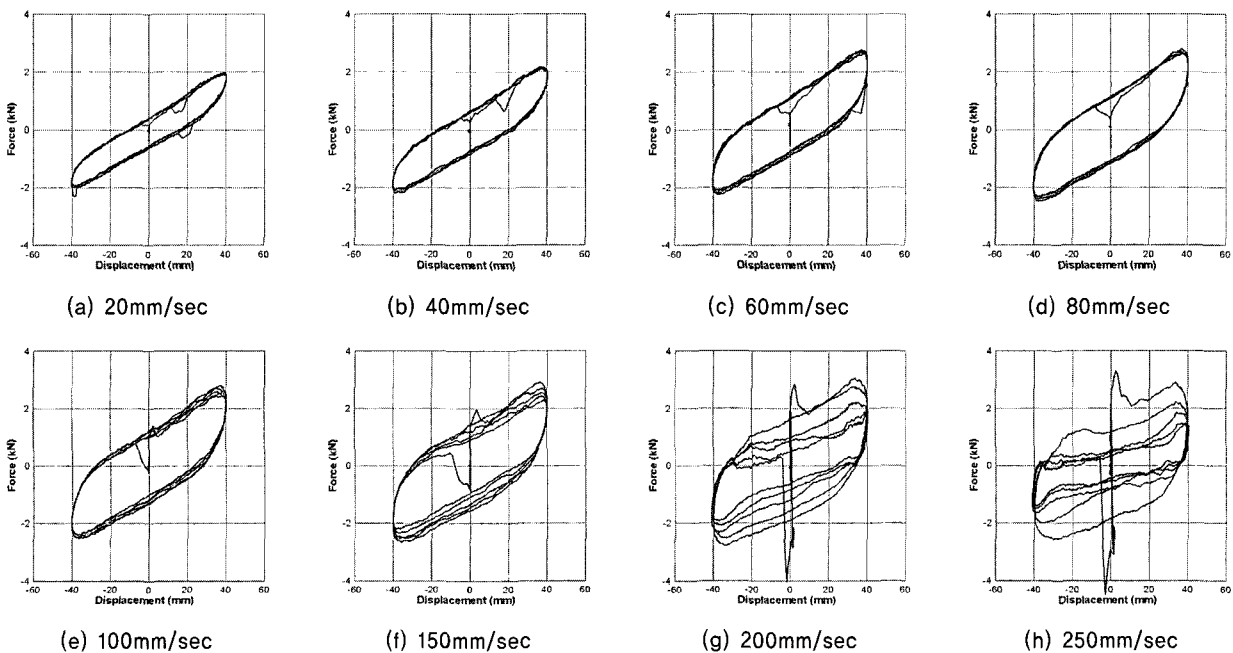
동일한 방법으로 수평횡방향에 대한 실험을 수행하여 그 결과를 그림 8에 도시하였다. 변위-하중 이력곡선은 종방향의 경우와 거의 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

#### 3.3 연직방향 실험결과

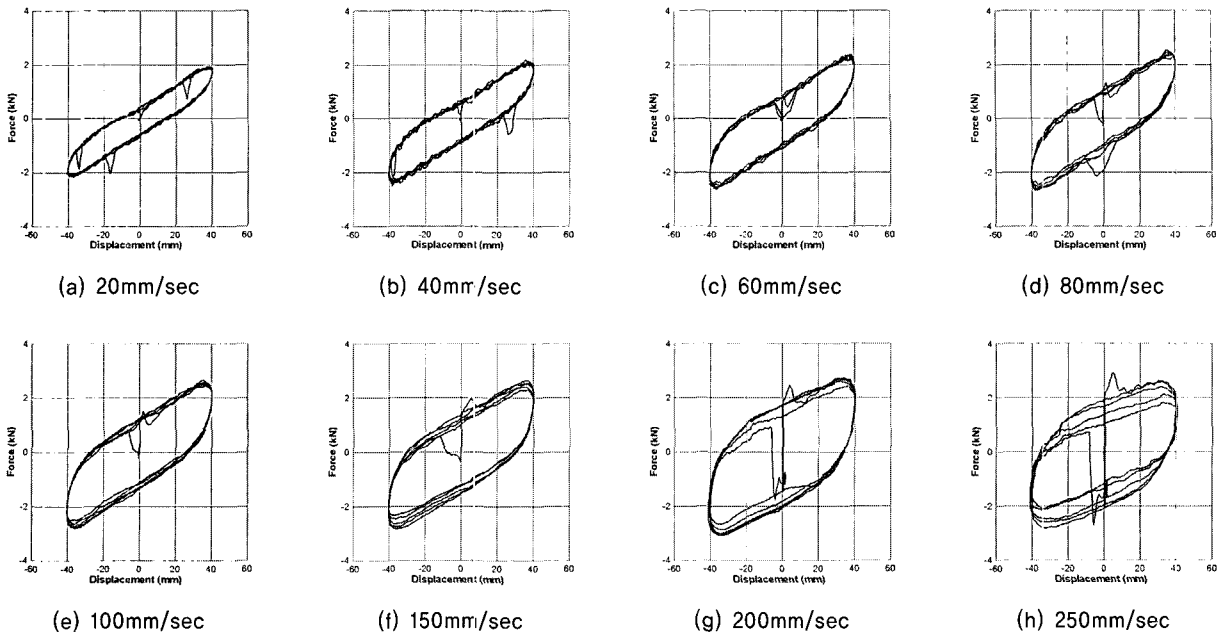
연직방향의 경우에도 동일한 방법으로 실험을 수행하여 그 결과 변위-하중 이력곡선을 그림 9에 도시하였다. 연직방향의 경우 Coil Spring의 영향으로 수평방향에 비하여 강성은 크게 평가되고 있으며, 속도 변화에 따른 강성의 변화



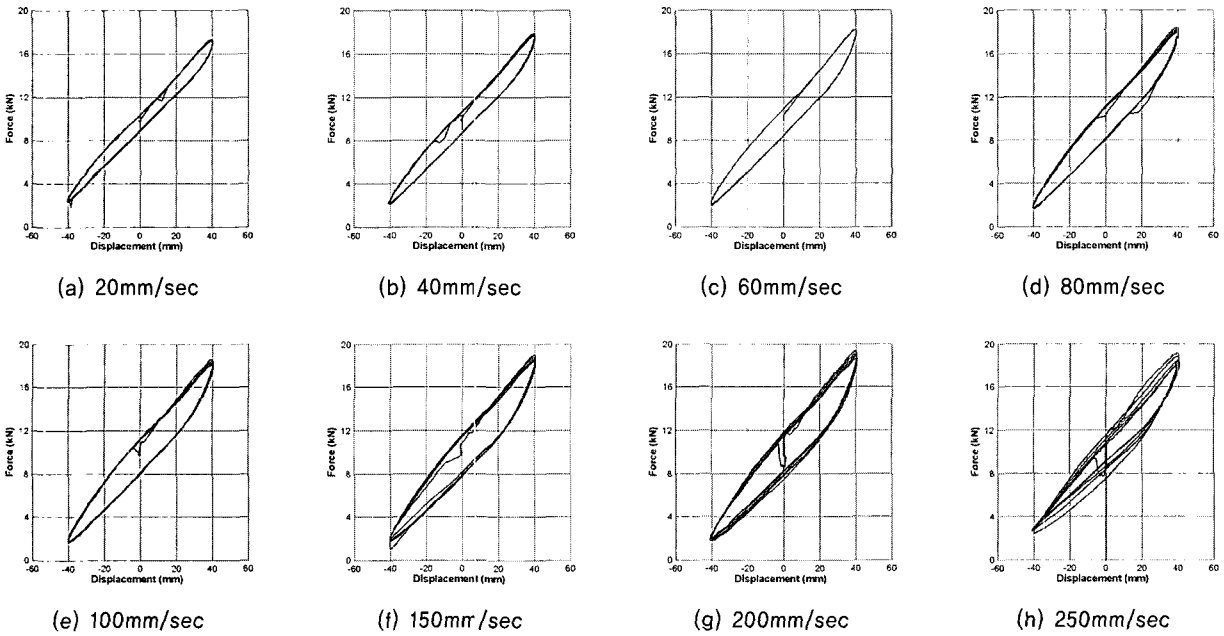
〈그림 6〉 방향별 면진장치 특성시험 방법 모식도



〈그림 7〉 속도에 따른 변위-하중 이력곡선(수평 종방향)



〈그림 8〉 속도에 따른 변위-하중 이력곡선(수평 횡방향)



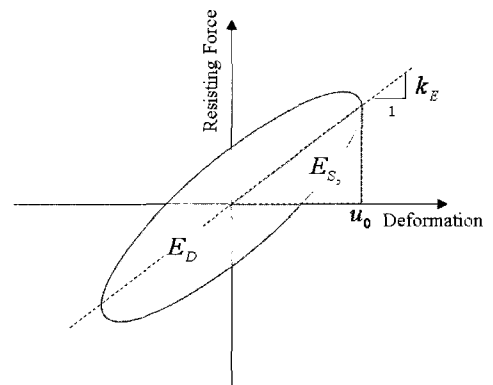
〈그림 9〉 속도에 따른 변위-하중 이력곡선(수평 횡방향)

는 두드러지게 나타나지 않고 있다. 감쇠의 경우도 속도변화에 따른 거동이 현저하지 않은 것으로 보인다.

#### 4. 결과분석

##### 4.1 감쇠비의 변화

특성시험 결과를 이용하여 가진속도에 따른 감쇠특성을 비교하였다. 감쇠비는 그림 10과 같은 변위-하중관계에서 등가감쇠비로 정의된 식 3에 의해서 산정하였다. 계산결과



〈그림 10〉 변위-하중 관계의 정의

는 가진방향별로 정리하여 표 5에 정리하였으며 동일한 결과를 그림 11에 그래프로 도시하였다. 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.

$$\zeta_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_S} \quad (3)$$

### 4.2 감쇠계수의 변화

본 특성실험은 코일스프링과 점성댐퍼가 결합된 시스템에 대한 실험이므로 순수 점성댐퍼만의 감쇠계수를 계산하는 것은 불가능하지만 스프링에서의 감쇠계수는 매우 작을 것으로 판단되고 또 장치가 실제 사용될 때 스프링과 댐퍼가 결합되어서 사용되는 것이므로 감쇠계수를 산정하였다. 잘 알려진 구조물의 운동방정식은 다음과 같다.

$$F = m\ddot{u} + c\dot{u} + ku \quad (4)$$

여기서,  $F$ 는 하중이고  $m$ ,  $c$ ,  $k$ 는 각각 질량, 감쇠, 강성을 나타내며  $u$ 는 변위를 나타낸다. 가속도와 변위를 고려하지 않고 감쇠만을 고려할 경우 감쇠계수  $c$ 는 하중을 변위로 나

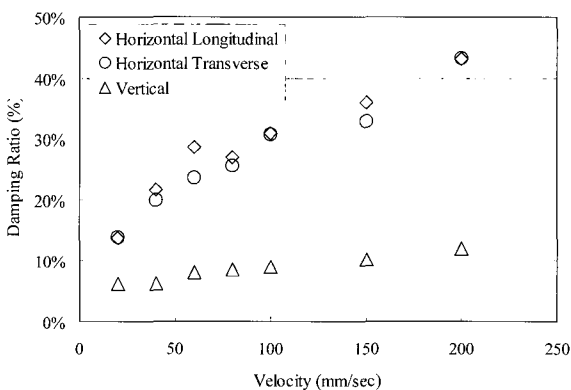
누어 줌으로써 구할 수 있게 된다. 본 실험에서의 하중은 복원력으로서 변위가 없는 경우의 하중절편 값이므로 실험결과를 이용하여 산정할 수 있다. 계산된 감쇠계수는 다음의 표 6과 그림 12에 정리하였다. 표 1에 제시한 바와 같이 본 면진장치 감쇠계수의 설계값은 수평방향의 경우 4.0kNs/m 이고 연직방향의 경우 3.5kNs/m이다. 그러나 실험결과로 나타난 값을 보면 그 값이 속도가 증가함에 따라서 점점 감소하고 있음에도 불구하고 설계값과는 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이와 같이 설계변수와 실제 면진장치의 물성이 차이가 나는 것은 지진응답 실험결과에도 큰 영향을 미칠 수 있는 것으로 판단된다.

### 4.3 유효강성

선택한 면진장치의 유효강성은 가진속도에 영향을 받는 장치는 아니지만 실제 점성감쇠기와 병렬로 연결이 되어 있으므로 가진속도에 전혀 영향을 받지 않는다고 할 수는 없다. 따라서 속도에 따른 변위-하중 이력곡선을 근거로 하여 유효강성을 산정하여 다음의 표 7과 그림 13에 정리하였다. 유효강성은 그림 10에서 제시한 방법으로 구할 수 있다. 그림과 표에서는 보는 바와 같이 유효강성은 예상한 바와 같이 속도의존성이 거의 없는 것으로 나타났다. 연직방향의

〈표 5〉 가진속도에 따른 감쇠비의 변화

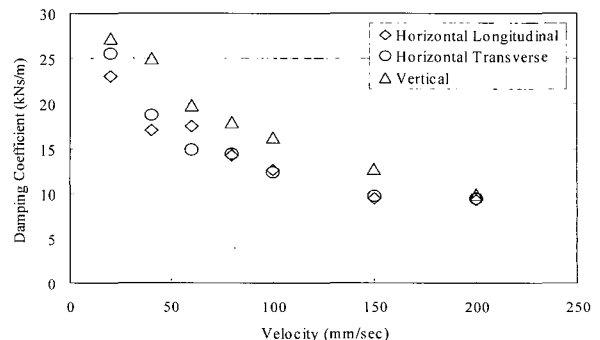
속도 (mm/sec)	Horizontal Longitudinal	Horizontal Transverse	Vertical
20	13.8%	13.9%	6.2%
40	21.6%	20.0%	6.3%
60	28.7%	23.6%	8.0%
80	27.0%	25.6%	8.6%
100	31.0%	30.8%	9.0%
150	35.9%	32.9%	10.2%
200	43.1%	43.4%	12.0%



〈그림 11〉 가진속도와 방향에 따른 감쇠비의 변화

〈표 6〉 속도의존 감쇠계수

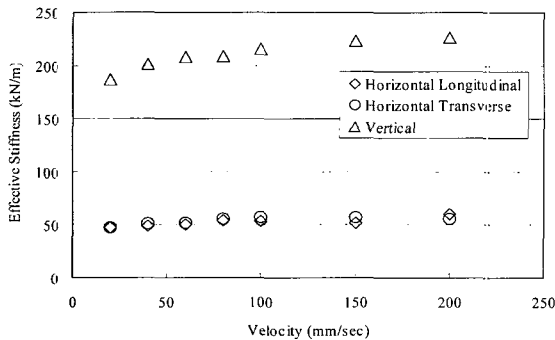
속도 (mm/sec)	수평종방향 (kNs/m)	수평횡방향 (kNs/m)	연직방향 (kNs/m)
20	23	26	27
40	17	19	25
60	18	15	20
80	14	14	18
100	13	12	16
150	9	10	13
200	9	9	10
설계값	3.5	3.5	4.0



〈그림 12〉 속도의존 감쇠계수의 변화

〈표 7〉 속도의존 유효강성의 변화(단위:kN/m)

속도 (mm/sec)	Horizontal Longitudinal	Horizontal Transverse	Vertical
20	46.9	47.6	187.1
40	48.4	50.9	201.4
60	50.5	51.8	208.2
80	54.4	55.4	208.7
100	53.3	56.9	215.3
150	52.0	57.1	223.1
200	60.3	55.8	226.6
설계변수	40	40	144



〈그림 13〉 속도의존 유효강성의 변화

경우 가진속도에 따라서 유효강성이 다소 증가하는 경향을 보이지만 이것을 속도의존성이라고 보기에는 적절하지 않은 것으로 보인다. 설계변수와 비교해 보면 표에 정리한 바와 같이 본 면진장치의 설계강성은 연직방향과 수평방향에 대하여 각각 144kN/m과 40kN/m으로 설계되어 있는 것을 고려하면 실제 실험결과는 설계값보다 크게 상회하고 있는 것을 알 수 있다. 강성의 변화는 면진된 시스템의 전체 고유주기의 변화를 가져오므로 면진효과에 큰 영향을 미칠 수 있는 것으로 판단된다. 특별히 설계강성보다 큰 값을 갖는 것은 전체 시스템의 고유진동수를 고주파수로 이동시키므로 입력을 사용한 지진력의 공진역에 근접시키는 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

**5. 결론**

본 연구에서는 원전의 비상디젤발전기에 적용하기 위해서 개발한 Coil Spring과 Viscous Damper 시스템의 동특성 분석을 위한 실험을 수행하였다. Viscous Damper의 경우는 가진 속도에 따라서 그 특성이 다르게 나타나기 때문에 그 영향을 평가하여 진동저감과 지진력저감효과를 동시에 고려할 수 있는 장치로서의 성능을 평가하고자 하는 것이다.

감쇠비의 경우 수평방향은 가진속도에 따른 비선형 거동이 크게 나타날 뿐 아니라 가진속도에 따라 감쇠비의 값도 크게

차이가 발생하는 것을 알 수 있었다. 가진속도가 20mm/sec인 경우와 200mm/sec인 경우 감쇠비의 차이는 3배 이상 나타나는 것으로 나타나서 실제 사용하고자 하는 구조물에 가해지는 진동특성에 따라 감쇠비 효과가 상당히 다르게 나타나게 되므로 이에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 일반적으로 면진용으로 사용할 경우 발생가능한 지진파의 속도범위를 고려하지 않는 경우가 많은데 점성댐퍼를 이용하여 적절한 감쇠력을 발휘하고자 할 경우에는 해당 부위에서의 발생가능한 지진의 속도범위를 반드시 고려해야 할 것으로 판단된다. 또한 유효강성의 경우는 속도의존성은 작지만 설계변수보다 수평방향의 경우 25%, 연직방향의 경우 39% 고평가 되고 있으므로 전체시스템의 고유진동수를 고주파수 쪽으로 이동시킬 수 있는 것으로 판단된다. 실제 설계에 의해서 제작된 면진장치의 동특성이 설계요구값과 상이한 부분들이 있으므로 실제 적용시에는 이에 대한 검토가 반드시 이루어져야 할 것으로 판단된다.

**감사의 글**

본 실험은 과학기술부 원자력 중장기연구사업의 일환으로 수행되었음.

**참고 문헌**

1. 김민규, 전영선, 권형오, “기초형식에 따른 비상디젤발전기의 진동저감효과 분석”, 2005년도 대한토목학회 정기 학술대회, 제주, 2005.
2. 전영선, 최인길, “원전기기의 지진력 저감이 노심손상빈도에 미치는 영향 평가”, 한국원자력학회 추계학술발표회, 2002.
3. GERB Schwingungsisolierungen GmbH & Co KG, Vibration Isolation Systems. Essen, Germany, 2000.
4. Hüffmann, G.K. “Full Base Isolation for Earthquake Protection by Helical Spring and Viscodamper,” *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 84, 1985, pp. 331-338.
5. Hüffmann, G.K. “Protection of Spring Supported Equipment Against Seismic Excitation,” PVP-Vol. 222, *Seismic, Shock and Vibration Isolation*, ASME, 1991, pp. 45-50.
6. Macinate, J.A., *Seismic Mountings for Vibration Isolation*, John Wiley & Sons, 1984.
7. Makris, N. and Constantinou, M.C. “Spring-Viscous Damper Systems for Combined Seismic and Vibration Isolation,” *Earthquake engineering and Structural Dynamics*, Vol. 21, 1992, pp. 649-664.
8. Makris, N. and Deoskar, H. “Prediction of Observed Response of Base-Isolated Structure,” *Journal of Structural Engineering*, Vol. 122, No. 5, 1996, pp. 485-493.
9. Makris, N. Constantinou, M.C. and Hüffmann, G.K. “Testing and Modeling of Viscous Dampers,” PVP-Vol. 222, *Seismic, Shock, and Vibration Isolation*, ASME, 1991, pp. 51-56.