

철근 콘크리트 구조물의 Access Floor 수평진동 제어를 위한 실험 및 해석

Experiment and Analysis for the Horizontal Vibration Control of Access Floor on Reinforced Concrete Structures

변근주*
Byun, Keun Joo

김문겸*
Kim, Moon Kyum

송하원**
Song, Ha Won

이호범***
Lee, Ho Beom

국문요약

본 논문은 철근 콘크리트(RC) 격자보위에 설치된 access floor의 진동 제어에 관한 연구이다. RC 격자보 위의 access floor에 발생하는 진동 중 수평방향 진동을 제어하기 위해 정밀 스프링 댐퍼를 이용한 실험을 통하여 수평진동 방진 시스템을 개발하였고, 대상 구조물의 진동해석을 위한 모델링과 그에 따른 해석을 수행하였다. 설계된 스프링 댐퍼 시스템의 방진효과를 알아보기 위하여 모형 구조물에 댐퍼를 설치하지 않은 경우, 설치시 댐퍼를 pedestal과 pedestal에 연결하여 설치한 경우 그리고 pedestal과 격자보에 연결하여 설치한 경우로 나누어 실험을 실시하였다. 각각의 경우에 대해 충격 가진 및 외부 진동을 가해 슬래브와 access floor에서의 가속도 응답을 측정하였다. 실험 결과 댐퍼를 설치한 경우에 공진 응답은 댐퍼가 없는 경우에 비해 응답 크기가 감소하고, 공진 최대치도 부분적으로 저진동수 대역으로 이동하는 경향으로 나타났다. 또한 저진동수 대역에서보다는 고진동수 대역에서 가속도 성분의 감소가 크게 나타나고 있고, 특히 외부 진동에 대해서는 상당한 효과가 있다는 것을 알 수 있었다. 대상 구조물의 진동해석을 유한요소법에 의해 실시하였으며 해석을 통해서도 스프링 댐퍼 시스템의 방진효과를 확인할 수 있었고, 실험과 해석의 결과가 잘 일치함을 알 수 있었다. 따라서 본 연구는 정밀 방·제진 시스템 및 미진동 제어 콘크리트 구조물 설계를 위해 유용하게 이용될 수 있으리라 판단된다.

주요어 : Access Floor, 철근 콘크리트 구조, 수평진동, 스프링 댐퍼 시스템, 진동실험 및 해석

ABSTRACT

This paper is on the vibration control of access floor installed on the frames of reinforced concrete structure. In this study, the horizontal anti-vibration system using precise spring damper was developed and modeling and vibration analysis of the RC structure was performed for the control of horizontal vibration caused by machinery and worker's moving. Experiment was done in three cases, no damper at the RC structure, dampers connecting pedestal to pedestal and pedestal to the structure, for the investigation of the effect of the system on designed RC structure. For each experiment, the acceleration responses on slab and access floor after giving impact wave and external vibration were measured. It was shown that the magnitude of resonance response of the system with dampers are smaller than that without damper and the resonance peak also partly moved to low-frequency range. Furthermore, it was shown that the acceleration components of the system with dampers decreased greatly in high-frequency range and the system was very much effective especially for external vibration. In order to verify the anti-vibration effect of the developed system, the vibration analysis was also done for the system by using the finite element modeling. The analysis results was in good agreement with experimental results. Thus, it is concluded that this study is useful for the design of precise anti-vibration system and micro-vibration control of concrete structures.

Key words : access floor, reinforced concrete structure, horizontal vibration, spring damper system, vibration experiment and analysis

* 정회원 · 연세대학교 토목공학과 교수
** 정회원 · 연세대학교 토목공학과 부교수
*** 정회원 · 삼성기술연구소 선임연구원

1. 서 론

초정밀 집적회로 생산공장 건물내의 진동원은 생산 기기 및 이에 대한 부대기기등이 다양하고, 그 크기 및 진동수대에 대해서는 매우 복잡한 양상을 띠고 있다. 이와 함께 설비 기기에 의한 진동은 정밀진동 차원 해석시 민감하게 고려되어야 한다. 수진점에 영향을 주는 진동원은 크게 내부진동원과 외부진동원으로 나누게 되며, 이러한 내·외부진동원에 대한 근본적인 방·제진 대책은 진동원과 격리된 현장의 선택을 기본으로 하고, isolator, spring damper, 부가질량 등을 이용한 진동 구조체의 고유진동수 조절법과 구조물의 중량 및 강성 확대를 이용한 일반적인 방법을 채택하고 있다. 이는 전형적인 방법이면서 나름대로 합리적인 방법이며, 정밀 진동해석이 요구되는 생산 라인의 구성을 위해서는 이와 같은 구조적 설계방법을 기본으로 하면서, 보다 새로운 방법이 채택되어야 효율적인 설계가 이루어진다. 초정밀 고집적 회로에 대응되는 구조는 정적하중에 대한 구조적 요구사항을 충족시켜 설계가 이루어지는 것을 기본으로 하면서 진동을 제어하기 위한 매시브 및 큰 강성을 갖는 구조물로의 설계 변환이 이루어지고 있기 때문에 추구되는 정밀도 목표에 따라 부재 크기 및 전체 프레임 형태, 기초 형태, 생산라인 배열에 따른 내부 구조 형상 등이 다르다. 진동 기준은 가속도에 대해서는 0.15gal~1.0gal, 변위에 대해서는 0.1 μ m~1.0 μ m 정도의 고정밀 기준을 요구하고 있고, 기계의 성능에 따라 기계 기초 구조물에서 최대의 정밀진동 제어가 점차 세밀하게 되어 수동 제어에서 능동 제어 상태로의 변환이 예상되고 있는 실정이다.^(1,2)

본 연구는 철근 콘크리트 격자보위에 설치된 access floor상에서 발생하는 수평방향 진동을 제어하는 것을 목적으로 한다. 따라서 access floor 하부의 steel frame supporter인 pedestal부에 대해 직렬형 스프링-댐퍼를 이용한 수평진동 방진 시스템을 개발하고, 대상 구조물의 진동해석을 위한 모델링 기법을 연구함으로써 대상 구조물의 동적 거동을 최대한 정밀하게 분석한다. 따라서 궁극적으로는 대상 구조물의 최적 댐퍼 시스템을 결정한 후 최적 통합 방진 시스템을 구축하는 것이 목적이다. 실험적으로 impact hammer를 이용한 충격 가진에 의한 실험적 모달 해석 및 응답량 변화에 대한 현상을 분석하고, 기지의 낙하물체를 자유 낙하시켜 외부 진동에 의한 진동량 전달 시그널 해석을 실시하였다. 실험은 댐퍼가 없는 경우와 댐퍼가 있는 경우로 나누어 실시하였고, 댐퍼

가 있는 경우는 다시 댐퍼를 pedestal과 pedestal에 연결한 경우와 pedestal과 격자보에 연결한 경우로 나누어 실시하였으며, 각 경우의 가속도 응답을 비교하여 스프링-댐퍼 직렬 시스템의 방진 효과를 확인하였다. 이를 위한 대상 구조물의 진동해석은 유한요소법에 의하여 실시하였다.

2. 방·제진 메커니즘

2.1 진동 제어 일반

진동문제를 구성하는 요소는 진동을 발생시키는 진동원, 진동을 전달시키는 전달매체 및 진동피해를 받는 수진체 등이다. 정밀환경 시설에 대한 진동 제어 방법은 발생시키는 진동원, 전달매체 및 진동피해를 받는 수진체 등에 따라 상이하하며, 대책수립은 진동원, 수진체 및 전달매체의 순서로 실시하는 것이 효율적이다. 건물내외에는 각종 진동원이 존재하며, 이러한 진동원으로는 외부진동, 내부진동 및 기타진동이 존재한다. 복잡한 진동문제에 있어서 진동의 원인을 정확히 고찰하고 체계적으로 분류하는 일은 진동실험의 기본자료 및 수치해석기법을 적용하는데 있어서 매우 중요한 사항이다. 따라서 이를 통하여 진동의 특성과 원인을 파악하고 그 가진력을 산정해야 한다.^(3,4) 현재 정밀 진동 제어용 구조물에서 가장 큰 진동원으로는 건물내부의 진동원을 들 수 있고, 이는 구조물 외부로부터 오는 외란 진동을 제외하고 일반적으로 설비진동에 의한 상시진동과 작업자 및 운반장비에 의한 간헐적 진동으로 분류된다. 이러한 진동중 충격력은 특히 access floor부와 같이 접촉면이 존재하는 곳에서 동적하중이 충격하중화되는 경우로 이로 인한 입력 가진력은 광대역의 일정한 에너지를 갖게 된다. 따라서 저진동수 영역으로부터 고진동수 영역까지 진동응답에 악영향을 미칠 수 있다. 기본적으로 고진동수 영역의 진동은 정밀진동 구조체에서 진동에 관해 큰 영향을 주지 않는다. 이는 생산 기기 특성상 낮은 진동수 영역에 영향을 받게 되고 이를 대처하기 위해 설비에 잘 정립된 제진대가 설치되어 있다. 그러나 그러한 장치도 바닥기초에서 야기되는 정밀진동의 규모에 따라 영향을 받게 되므로 초기에 기초에 전반적인 제진 기법을 총체적으로 연구 적용하도록 하여야 한다.⁽²⁾

2.2 진동제어 기법

구조물의 부재에서 감쇠를 증진시키는 목적은 부재들의 응답을 제어함으로써 초과 변형에 의한 피해를 피

하려는 데 있다. 감쇠가 없다면 구조물의 변형은 공진에 의해 무제한 증가한다. 구조진동의 제어방법으로서 우선적으로 고유진동수의 변화에 따른 응답크기 변환을 목적으로 할 때 구조물 강성개선, 부가질량 부착, 가새 설치, 시간의 축소, 지반개량 및 isolator의 설치 등 여러 가지 방법을 취함으로써 구조물의 진동 제어 효과를 찾을 수 있다.⁽⁵⁾ 이러한 방법은 매우 적극적인 방법이 되며 설계 초기에 고려하여야 하는 분야이다. 이와는 다른 방법으로 구조물 부재의 응답을 감소시키는 효과적인 방법중의 하나가 감쇠특성을 개선시키는 것이다. 이러한 진동제어 기법은 능동적 및 수동적 대치 범주로 구분된다. 능동적 진동제어 기법은 최근 많은 곳에서 연구되고 있으며 그 적용 사례도 점차 증가하고 있는 연구 분야이다. 수동적 진동제어에는 진동흡수기법, 진동댐퍼, 동조 감쇠기구, 표면 감쇠 처리 등이 있다. 수동적 진동제어는 몇몇의 기구들을 구조물 외부에 적용시켜 그 계의 감쇠를 증가시키거나 자유도의 수를 바꾸는 것이다. 일반적으로 진동흡수기법은 매우 작거나 무시할 수 있는 감쇠를 가진 계에 사용된다. 기본 개념은 외부에 한개 또는 다수의 진동흡수기구를 부착해서 그 계의 자유도를 변화시키는 것이다.^(6,7) 따라서 본 연구에서는 직렬형 스프링-댐퍼를 통하여 진동을 제어하는 진동흡수기법을 이용한다.

2.3 스프링 댐퍼의 선정

스프링은 외력에 의해 변형되는 역학적 요소이며, 변위는 가해진 힘에 비례한다. 실제의 스프링은 관성(또는 질량)과 댐핑을 가지고 있고 댐퍼는 관성과 스프링 효과를 가지고 있다. 그러나 구조계의 크기와 스프링 기능 또는 댐퍼 기능 portion의 규모에 따라 스프링 댐퍼의 역할은 달라지지만 매우 국부적인 진동 제어를 목적으로 할 때 거동은 스프링의 경우 관성과 스프링의 효과를 무시하고, 댐퍼의 경우 스프링 효과를 무시한 선형적인 힘-속도 법칙을 따르도록 가정한다.^(8,9) 정밀 진동을 요하는 일정한 계의 동적 거동을 목적에 따라 안정화시키고 신뢰성 있는 시스템을 구성시키는데는 1차적으로 구조물의 fundamental frequency를 30Hz~35Hz 이상으로 올리도록 구조물 자체의 강성과 질량을 조절한다. 다음으로 국부진동을 제어하기 위한 최적 damping system이 추가되어 비공진 지역(20Hz 미만)의 응답 스펙트럼의 크기를 작게 유도하므로써 전체 구조계의 효율적인 진동 제어 효과를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 silicon oil을 댐퍼액으로 사용하는 미국 ENIDINE사의 ADA series(Adjustable Double

Acting Hydraulic Series)중 ADA 525M을 댐퍼로 이용하였다. ADA series는 compression 및 tension mode에서 모두 작동하며 damping force를 조절할 수 있는 기능을 가지고 있다. 또한 경우에 따라 compression 또는 tension mode만 작동하게 할 수도 있고 free flow mode로도 이용할 수 있다. 여기서는 ADA 525M을 free flow mode로 사용하였으며, damping coefficient(C)는 1100N·sec/cm이다. 시스템 구성시 댐퍼를 spring constant가 32.27N/cm인 길이 5cm의 스프링과 직렬로 연결하여 설치하였다. 그림 1은 본 연구에서 사용된 스프링-댐퍼의 형상 및 제원을 나타내고 있다.

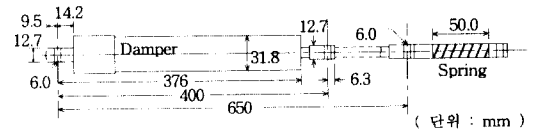


그림 1 스프링 댐퍼의 형상 및 제원

3. Access Floor 구조의 동적 실험

3.1 실험장치의 구성

access floor는 격자보위의 pedestal을 통하여 지지되는 것이 보통이며, aluminum판 위에 정전기 방지용 도료가 도포된 구조로 되어 있다. pedestal의 높이는 200~350mm로서 공장환경에 따라 ±150mm 범위에서 조정 가능하도록 되어 있다. 그림 2는 격자보의 형상 및 제원을 나타내고 있다. 본 연구에서는 격자보의 높이를 30cm로, 콘크리트의 압축강도는 180kg/cm²로 하였고, 기둥의 길이를 105cm로 하였다. 그림 3은 access floor를 포함한 실험모형의 형상 및 가진점과 수신점의 위치를 나타낸 것으로, pedestal의 상세도를 함께 나타내었다. 표 1은 각 case별 실험내용을 나타내고 있다.

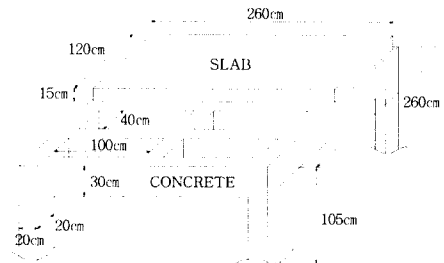


그림 2 격자보의 형상 및 제원

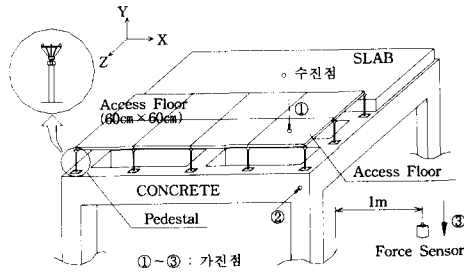


그림 3 실험 모형의 형상 및 가진점 과 수진점의 위치

표 1 Case별 실험 내용

Case	수진점	가진점	실험결과	비고
1	슬래브 중앙	①	그림 5.1~5.3	수직가진
2	슬래브 중앙	②	그림 5.4~5.6	수평가진
3	슬래브 중앙	③	그림 5.7~5.9	외부진동

pedestal과 access floor의 사이에는 접합점의 안정 위치를 확보하기 위해 고무패드를 삽입하였고, 댐퍼는 "X"자 형태를 갖도록 access floor와 격자보의 사이에 설치하였다. 실험은 댐퍼가 없는 경우(시스템 1)와 댐퍼가 있는 경우로 나누어 실시하였으며, 댐퍼가 있는 경우는 다시 댐퍼를 pedestal과 pedestal에 연결한 경우(시스템 3)등의 세 가지 시스템에 대하여 성능실험을 실시하였다. 실험시 가진은 impact hammer를 이용한 충격 가진 실험과 공시체를 기초면에 자유낙하시켜 외부가진하는 진동실험을 실시하였다. 충격가진 실험은 access floor 및 격자보 가진에 대한 슬래브에서의 frequency response function(FRF)변화를 보도록 하였다. sensor는 3축 가속도계를 이용하였으며, 신호처리 및 분석은 4채널 동적 신호분석기 (SD390)를 이용하여 슬래브에서의 가속도값 및 FRF의 변화 과정을 측정 분석하였다. 그림 4는 댐퍼 설치방법을 나타낸 것이고, 표 2는 실험장비에 관한 사항을 나타낸 것이다. 실험장비중 SD390은 FFT 분해능이 16bit이고 frequency interval을 0.25Hz의 상태로 setup하였고, sensor의 성능은 frequency range가 0.2Hz~500Hz 까지 신뢰성 있는 것을 선택하였다. Impact가 4ton-f를 줄 수 있는 것이다.

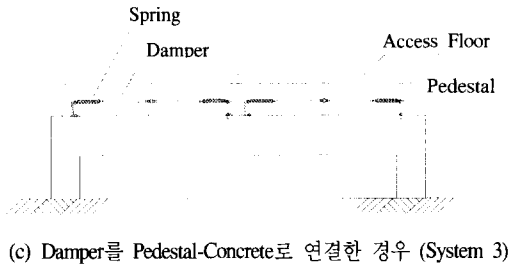
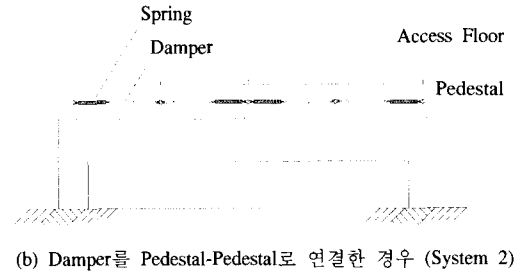
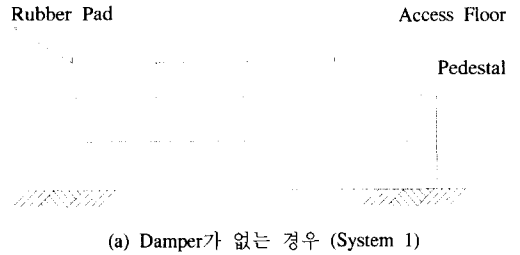


그림 4 Damper 설치방법

표 2 진동실험 장비

장비명	모델명	특 성	생 산 국
동적신호분석기	SD390	<ul style="list-style-type: none"> • 4 channel • 16 bit 분해능 • 2 channel 사용할 때 • DC 100KHz 측정 가능 	Scientific Atlanta (미국)
Impact Hammer	5802A 1255	<ul style="list-style-type: none"> • 범위:5000 lb-F • 최대가진력:8000 lb-F • Sensitivity:0.87mV/lb-F 	Dytran(미국)
	5803A 1199	<ul style="list-style-type: none"> • Sensitivity:0.97mV/lb-F 	Dytran(미국)
가속도계	3116A1	<ul style="list-style-type: none"> • 진동수 측정범위:0.2~500Hz • Sensitivity:500mV/G 	Dytran(미국)
	993A SN793	<ul style="list-style-type: none"> • Sensitivity(X):105mV/G • Sensitivity(Y):102mV/G • Sensitivity(X):103mV/G 	Wilcoxon Research
Force Sensor	1050V2 655	<ul style="list-style-type: none"> • 범위:50 lbs-F • Sensitivity:98.9mV/lb-F 	Dytran(미국)

3.2 충격 가진에 의한 Access Floor 구조의 방진 효과 실험 (Case 1~2)

본 연구소에서는 충격 가진에 대한 대상 access floor 구조의 방진효과를 알아보기 위해 impact hammer를 이용하여 충격 가진에 대한 실험을 실시하였다. Case 1은 access floor를 수직가진한 경우이고, Case 2는 격자보를 수평가진한 경우에 대한 슬래브에서의 진동특성을 측정하는 것이다. 진술한 세 가지 시스템에 대하여 실험을 실시하여 case별로 200Hz까지의 진동수 응답을 구하였다.

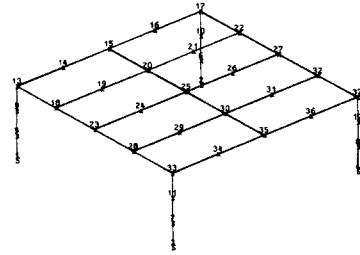
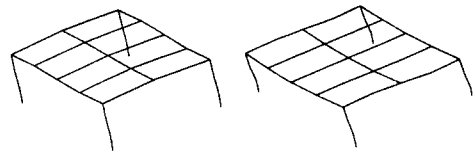


그림 5 격자보 해석 모형

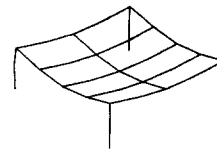
3.3 외부 진동에 의한 Access Floor 구조의 방진 효과 실험 (Case 3)

외부 진동에 대한 access floor 구조의 방진효과를 알아보기 위해 충격 가진의 경우와 동일한 조건으로 impact hammer 대신 15cm×15cm×55cm 콘크리트 공시체를 자유 낙하시켜 동적 응답을 측정하였다. 공시체의 무게는 30kg이며, 실험 구조물에서 1m 떨어진 곳 50cm의 높이에서 낙하시켰다. 낙하위치에 force sensor를 설치하여 임의의 가진력을 측정하였으며, 슬래브에 가속도계를 설치하여 FRF를 구하였다. 충격 가진 실험과 마찬가지로 스프링 댐퍼 시스템에 대한 슬래브에서의 진동특성을 규명하도록 계획하고, 그 세 가지 시스템 각각에 대하여 실험을 실시하여 각 경우의 결과를 비교하였다. 또한 각 전달함수는 5개의 sample을 averaging하여 구하였다.

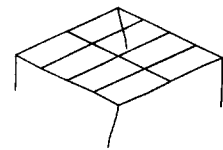


(a) 1차모드 31.52 Hz

(b) 2차모드 31.57 Hz



(c) 3차모드 46.86 Hz



(d) 4차모드 47.97 Hz

그림 6 격자보의 모드형상

4. Access Floor 구조의 동적 해석

4.1 격자보의 동특성 해석

Access floor의 지지 구조체가 되는 프레임, 즉 격자보의 동특성을 범용 유한요소 프로그램 GT-STRUDL을 이용하여 해석하였다. 해석 모형은 그림 5에 나타난 바와 같으며 절점수는 37개, 요소수는 44개이다. 각 요소는 6자유도를 갖는 보요소로 모형화하였고, 경계 조건은 기둥 4개의 절점을 모두 고정단으로 하였다. 여기서 경계조건 선정과정은 고정단 또는 soil spring에 의한 해석시 각각의 해석 특성과 실험특성을 비교하여 실험과 해석의 유사 경향을 갖는 고정단으로 결정하였다. 이는 가진력의 크기가 지반운동에 영향을 줄 수 있을 정도의 에너지를 갖지 않은 경우의 결과이다. 그림 6은 격자보의 모드형상을 나타낸 것이다.

4.2 전체(격자보-Access Floor-슬래브)구조의 동특성 해석

격자보와 access floor, 슬래브를 결합한 전체 구조의 모드형상을 구하였다. 해석 모형은 그림 7에 나타나 있으며 절점수 116개, 요소수는 보요소 88개, 판요소 40개로 모델링하였다. 모드형상은 그림 8에 나타나 있다.

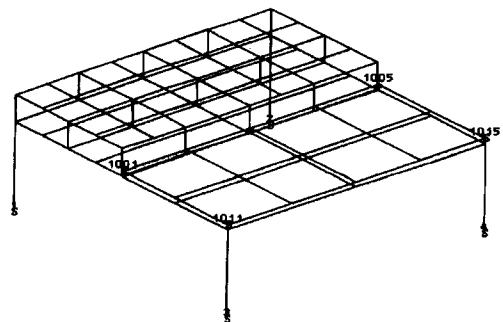


그림 7 전체 구조의 해석 모형

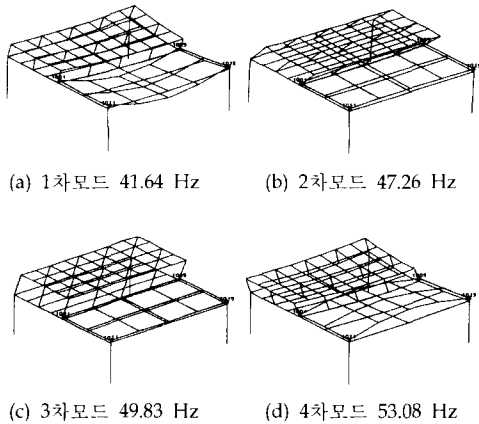


그림 8 전체 구조의 모드 현상

5. Access Floor 구조의 동적 실험과 해석 결과의 비교 분석 및 고찰

5.1 충격 가진에 의한 Access Floor 구조의 동특성 비교 분석

해석결과와 실험결과를 각 case별로 비교하였다. 표 3은 시스템 1과 시스템 2, 그리고 시스템 3의 경우에 대한 실험결과와 해석결과를 X, Y, Z 방향별로 비교한 것이다.

1) Case 1

Access floor를 수직가진하여 슬래브에서의 진동 특성을 측정된 결과 수평방향에서는 1차모드가 약 22Hz~24Hz, 2차모드가 40Hz~42Hz로 나타났고, 수직방향의 경우 1차모드가 약 41Hz~42Hz, 2차모드가 53Hz~57Hz로 나타났으며, 실험결과와 해석결과가 대체적으로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. X방향의 경우 0Hz~50Hz의 진동수대에서는 시스템 1, 2, 3이 거의 비슷한 경향으로 나타나고 있고, 50Hz~100Hz의 진동수대에서도 댐퍼의 효과가 크게 나타나지는 않으나, 100Hz~200Hz의 진동수대에서는 시스템 3의 가속도 성분이 감소하는 것으로 나타나 스프링 댐퍼 시스템의 효과가 고진동수대에서 나타나고 있는 것을 알 수 있다. Y방향(수직)의 경우에는 0Hz~40Hz와 70Hz~200Hz의 진동수대에서는 거의 비슷한 경향을 보이고 있으나, 1차모드와 2차모드가 나타나는 40Hz~60Hz에서 스프링 댐퍼 시스템의 감쇠 효과가 나타나 공진봉에서의 가속도 성분이 확실하게 감소하는 것을 알 수 있다. Z방향의 경우에도 0Hz~50Hz의 진동수대에서는 시스템 1, 2, 3이 거의 비슷하게 나타나거나 약간의 감소를 보이고 있고, 50Hz~100Hz의 진동수대에서도 댐퍼의 효과가 크게 나타나지는 않으나, 100Hz~200Hz의 진동수대에서는 시스템 3의 가속도

표 3 각 경우에 대한 해석결과와 실험결과와의 비교

Case	방향	모드	Damper	진동수(Hz)		가속도(gal/N)		
				실험	해석	실험	해석	
1	X	1차	System1	22.00	27.49	0.02322	0.0297	
			System2	22.00	24.12	0.02549	0.0331	
			System3	24.75	23.74	0.02207	0.0282	
		2차	System1	40.75	37.49	0.01541	0.0196	
			System2	40.75	37.24	0.01812	0.0237	
			System3	41.00	36.93	0.01357	0.0179	
		Y	1차	System1	40.75	37.49	0.40331	0.5240
				System2	40.75	37.30	0.36217	0.4640
				System3	41.75	36.93	0.26662	0.3440
	2차		System1	56.75	69.98	0.30507	0.3990	
			System2	54.00	68.69	0.26572	0.3530	
			System3	52.75	65.94	0.27539	0.3550	
	Z		1차	System1	22.50	24.99	0.03849	0.0500
				System2	22.50	24.57	0.03368	0.0430
				System3	24.50	23.74	0.03806	0.0495
		2차	System1	40.75	39.99	0.04341	0.0550	
			System2	39.75	38.51	0.04343	0.0564	
			System3	41.75	36.93	0.02810	0.0365	
2		X	1차	System1	21.50	27.49	0.02489	0.0319
				System2	21.25	24.12	0.02979	0.0387
				System3	21.50	23.74	0.02747	0.0363
	2차		System1	36.75	37.49	0.03422	0.0441	
			System2	36.75	37.24	0.03300	0.0429	
			System3	36.00	36.93	0.03473	0.0448	
	Y		1차	System1	40.50	37.49	0.05894	0.0778
				System2	40.25	37.30	0.06020	0.0801
				System3	40.75	36.93	0.06407	0.0833
		2차	System1	72.50	69.98	0.02150	0.0280	
			System2	73.50	68.69	0.02529	0.0326	
			System3	73.50	65.94	0.02088	0.0278	
		Z	1차	System1	22.00	24.99	0.11061	0.1440
				System2	22.25	24.57	0.10941	0.1420
				System3	22.25	23.74	0.11641	0.1490
	2차		System1	41.25	39.99	0.03709	0.0482	
			System2	41.25	38.51	0.03433	0.0453	
			System3	41.50	36.93	0.03471	0.0458	

성분이 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 50Hz 이하의 저진동수대에서 보다는 고진동수대에서 스프링 댐퍼 시스템의 효과가 잘 나타나고 있다는 것을 알 수 있었다. 그림 9, 10, 11은 각각 X, Y, Z방향의 가속도 전달함수를 나타낸 것이다.

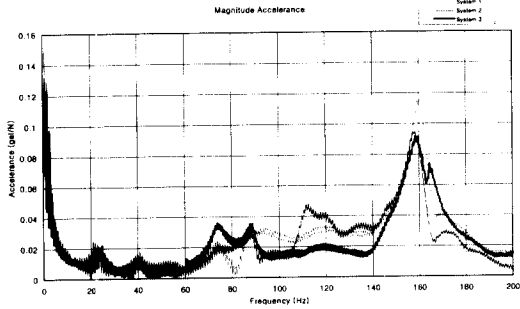


그림 9 Case 1(가진점 ①)의 X방향 가속도 전달함수

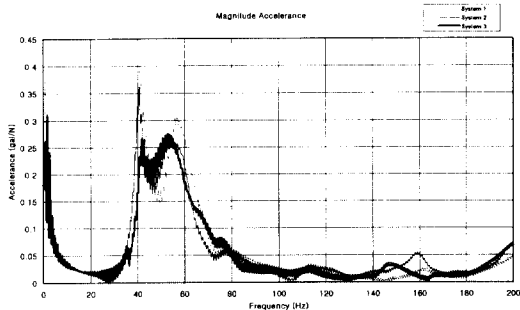


그림 10 Case 1(가진점 ①)의 Y방향 가속도 전달함수

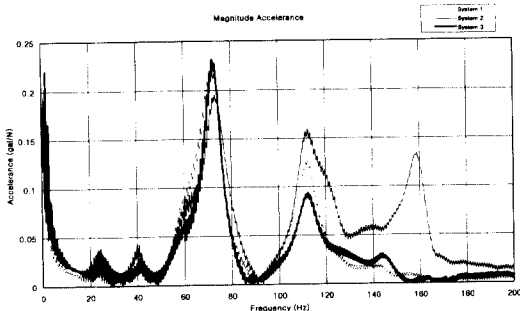


그림 11 Case 1(가진점 ①)의 Z방향 가속도 전달함수

2) Case 2

격자보를 수평가진하여 슬래브에서의 진동 특성을 측정된 결과 수평방향에서는 1차모드가 약 21Hz~22Hz, 2차모드가 36Hz~42Hz로 나타났고, 수직방향의 경우 1차모드가 약 40Hz~41Hz, 2차모드가 72Hz~73Hz로 나타났다. X방향의 경우 댐퍼의 효과가 크게 나타나고 있지 않아 비슷한 경향을 보이고 있지만 80Hz 부근과 160Hz 이상의 진동수대에서는 시스템 3의 가속도 성분이 감소하는 것을 알 수 있다. Y방향의 경우에도 시스템 1, 2, 3이 거의 비슷한 경향으로 나타나면서 약간의 감소 성향만 보이고 있고, Z방향의 경우에는 0Hz~50Hz의 진동수대에서는 스프링 댐퍼 시스템의 효과가 거의 나타나고 있지 않으나, 50Hz~100Hz의 진동수대에서는 약간의 효과를 보이고 있고, 100Hz~200Hz의 진동수대에서는 가속도 성분이 비교적 크게 감소하는 것으로 나타나 고진동수대에서 댐퍼의 감쇠 효과가 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 그림 12, 13, 14는 각각 X, Y, Z방향의 가속도 전달함수를 나타낸 것이다.

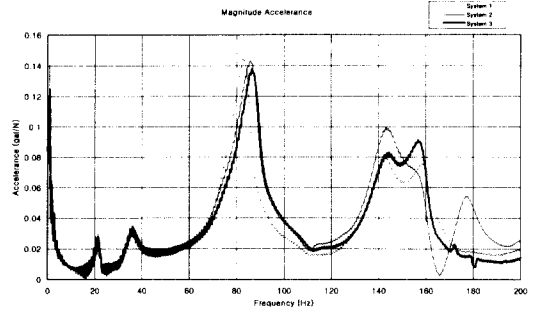


그림 12 Case 2(가진점 ②)의 X방향 가속도 전달함수

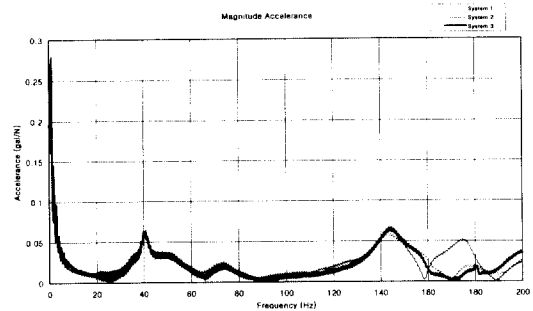


그림 13 Case 2(가진점 ②)의 Y방향 가속도 전달함수

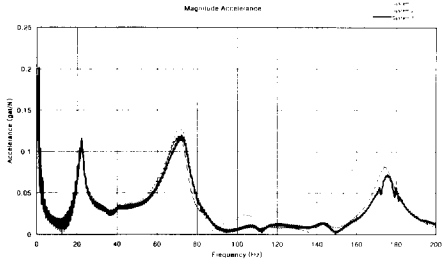


그림 14 Case 2(가진점 ②)의 Z방향 가속도 전달함수

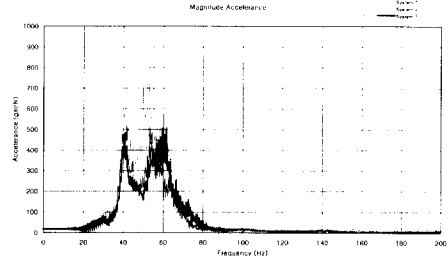


그림 16 Case 3(가진점 ③)의 Y방향 가속도 전달함수

5.2 외부 진동에 의한 Access Floor 구조의 동특성 비교 분석

30kg의 공시체를 자유 낙하시켜 외부 진동원으로 가정한 실험(Case 3)의 경우에도 충격가진의 경우와 비슷하게 수평방향의 경우에는 약 22Hz에서 1차모드가 나타났고, 수직방향의 경우에는 약 40Hz에서 1차모드가 나타났다. X방향의 경우 0Hz~20Hz의 진동수대에서는 비슷한 경향으로 나타나고 있고, 20Hz 이상의 진동수대에서는 전체적으로 댐퍼의 효과가 크게 나타나고 있으며, 특히 60Hz 부근에서는 가속도 성분이 크게 감소하는 것을 알 수 있다. Y방향의 경우에는 1차모드와 2차모드가 나타나는 40Hz~60Hz에서 가속도 성분의 감소가 확실하게 나타나고 있다. Z방향의 경우에도 0Hz~40Hz의 진동수대에서는 큰 차이 없이 거의 비슷한 경향을 보이고 있으나, 40Hz 이상의 진동수대에서는 가속도 성분의 감소가 잘 나타나고 있다. 외부진동의 경우에도 저진동수대에서 보다는 고진동수대에서 스프링 댐퍼 시스템의 효과가 잘 나타나고 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 댐퍼가 없는 경우보다는 시스템 2의 경우가, 시스템 2의 경우보다는 시스템 3의 경우가 가속도 성분이 대체적으로 작게 나타났고, 특히 공진봉에서의 감소 성향이 크게 나타나 외부 진동의 경우에도 댐퍼를 pedestal과 격자보에 고정시켰을 때 방진효과가 가장 좋다는 것을 알 수 있었다. 그림 15, 16, 17은 각각 X, Y, Z방향의 가속도 전달함수를 나타낸 것이다.

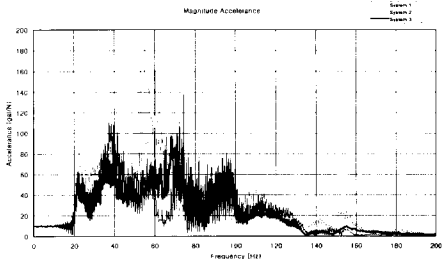


그림 15 Case 3(가진점 ③)의 X방향 가속도 전달함수

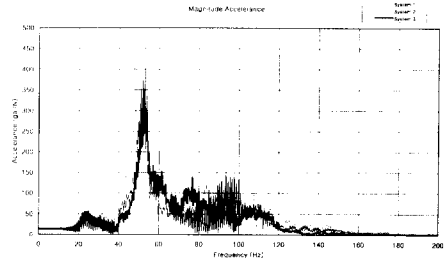


그림 17 Case 3(가진점 ③)의 Z방향 가속도 전달함수

6. 결론

본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 충격가진에 의한 철근 콘크리트 격자보 위의 access floor의 방진 효과 실험 결과 댐퍼를 설치한 경우의 공진 응답은 댐퍼가 없는 경우에 비해 응답 크기가 감소하고, 공진 최대치도 부분적으로 저진동수 대역으로 이동하는 경향으로 나타났다. 또한 수평방향의 경우 저진동수 대역에서 큰 변화 없이 비슷한 양상을 보이고 있으나 100Hz 이상의 고진동수 대역에서 댐퍼의 효과가 현저하게 보이고 있다. 특히 공진봉에서의 가속도 응답이 수평, 수직방향 모두 최대 35%까지 감소하고 있어 스프링 댐퍼 시스템의 효과가 잘 나타나고 있음을 알 수 있다.
2. 외부 진동에 의한 실험 결과도 충격가진에 의한 실험 결과와 비슷한 경향으로 나타났고, 댐퍼를 설치한 경우 공진봉에서의 가속도응답의 크기가 크게 감소하는 것을 볼 때 충격가진에 의한 경우보다 외부진동에 의한 경우에 스프링 댐퍼 시스템의 효과가 잘 나타나고 있다는 것을 알 수 있다.
3. 댐퍼를 "X"자 형태로 pedestal과 pedestal에 연결시킨 형태(시스템 2)와 pedestal과 격자보에 연결시킨 형태(시스템 3)의 시스템에 대해 각각 연구한

결과, 시스템 3의 경우가 대체적으로 가속도 응답이 작게 나타났다. 또한 부분적으로 공진 주파수가 다소 감소하는 경향이 나타났고 공진봉에서의 응답의 크기가 감소하는 경향을 보였다. 따라서 시스템 2보다는 시스템 3이 방진효과가 좋다는 것을 알 수 있었다.

4. 개발된 시스템에 대해 유한요소 모델링에 의한 진동해석을 실시하였다. 유한요소 해석 결과가 실험의 결과와 비교적 잘 일치함을 알 수 있었고, 해석적으로도 대상 access floor 구조에 대한 스프링 댐퍼 시스템의 방진효과를 확인할 수 있었다.

본 연구에서 개발된 수평진동 제어 시스템은 정밀 방·제진 시스템의 구성 원리를 이용하여 기초 구조의 역할을 하는 콘크리트 골조 구조물상 특정 구조계의 정밀 진동 특성 개선을 목적으로 한 것이며, 연구 범위 내에서는 효율적인 결과를 얻어냈다. 그러나 상사성 원리가 적용되어야 하는 실제 구조계에 있어서는 연구의 효율도가 그대로 적용되도록 좀 더 많은 연구를 수행하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 노병철, "콘크리트 슬래브의 미진동 해석 및 제시

시스템에 관한 연구," 박사학위 논문, 연세대학교, 1994, 213pp.

2. "콘크리트 구조물의 미진동 해석 및 제어시스템 개발," 연세대학교 부설 산업기술 연구소, 서울, 1993, 426pp.
3. Bachmann, H., and Ammann, W., "Vibration in Structures," IABSE - AIPC - IVBH, Zürich, 1987, 176pp.
4. Eriksson P., "Vibration of Low Frequency Floors," Doctoral Thesis, Chalmers University of Technology, 1994, 253pp.
5. Fertis, D. G., *Mechanical and Structural Vibrations*, Wiley-Inter Science, New York, 1995, 804pp.
6. Sun, C. T., and Lu, Y. P., *Vibration Damping of Structural Elements*, Prentice Hall, New Jersey, 1995, 372pp.
7. Lazan, B.T., *Damping of Materials and Members in Structural Mechanics*, Pergamon Press, Oxford, 1993, 317pp.
8. Ogata, G., *System Dynamics*, Prentice Hall, New Jersey, 1992, 712pp.
9. Paz, M., *Structural Dynamics*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1991, 561pp.