

경계조건과 형태 기반으로 구성된 5개 와이어웨이시스템의 진동대 실험을 통한 내진성능 검증

(Seismic performance evaluation of 5 different wireway-pulley system
subjected to shaking table test)

진수민* · 트란 반 한* · 김성찬** · 신지옥*** · 이기학****

(Su Min Jin · Han Van Tran · Sung Chan Kim · Jiuk Shin · Kihak Lee)

Abstract

This paper presents the results of an experimental seismic investigation performed on prototypes made of a pulley-wireway system with four different boundary conditions and an existing lighting structure support, a one-way system, through a tri-axial shaking table test. The attention of this study focused on evaluating the seismic qualification of the prototypes based on ICC-ES AC 156. In particular, the influence of the mounting position of prototypes at the ceiling, steel frames, walls, and beam or column on the seismic response of the building was also discussed in detail. The seismic performance in terms of acceleration and displacement response was also evaluated by power spectral density-based (PSD), and root mean square-based (RMS), which showed a better seismic response of H-beam frame type than other types of pulley-type wireway system. Finally, it was determined that the newly developed lighting support with the addition of a pulley is capable of dissipating seismic energy more effectively than the previous lighting equipment system.

Key Words : Wireway-pulley system, coefficient of friction, finite element analysis, vibration attenuation, damage prevention

* 정희원, 딥러닝건축연구소, 세종대학교 건축공학과, 석사과정

Deep Learning Architecture Research Center, Dept. of Architectural Engr., Sejong University

** (주)세홍, 대표이사

Sehong Inc., Ltd.

*** 경상국립대학교 건축공학과, 조교수

Dept. of Architectural Engr., Gyeongsang National University

**** 교신저자, 딥러닝건축연구소, 세종대학교 건축공학과, 교수

Deep Learning Architecture Research Center, Dept. of Architectural Engr., Sejong University

E-mail : kihaklee@sejong.ac.kr

Received :

Revised :

Accepted :

1. 서 론

1.1 연구의 배경

우리나라에서 지진발생은 2016년 경주 9.12지진을 비롯하여 3.0 이상의 지진이 크게 증가하여 지난 10년간 연평균 41회를 상회하고 있다. Fig. 1과 같이 2016년과 2017년에 국내 지진(규모 2.0 이상) 발생 횟수는 크게 증가하여 사회적, 경제적으로 지진재해에 대한 준비가 필요함을 알려주었다. 2017년에 발생한 지진 중 가장 큰 규모의 지진은 11월 15일 경북 포항시 북구 북쪽 8km 지역에서 발생한 규모 5.4 지진이다. 이 지진으로 전국 대부분의 지역에서 지진을 감지하였으며, 경북지역에서 최대 진도 VI로 기록되었고, 강원, 경남, 대구, 부산, 울산, 충북지역에서도 진도 IV가 감지되었다. 2016년 경주 9.12지진(규모 5.8) 및 2017년 포항지진(규모 5.4)의 발생은 지진재해에 대한 국민 불안감을 증대하였고 국가차원에서 지진재난으로부터 국민의 생명과 재산을 보호하고 피해를 최소화할 수 있는 대책이 필요함을 알려주었다.

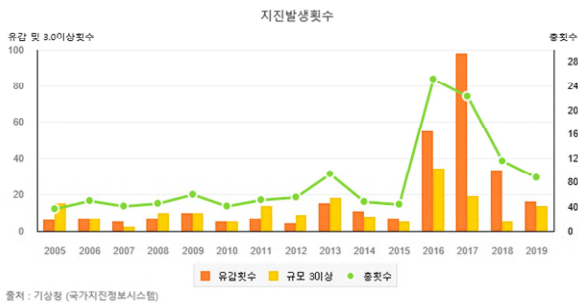


Fig. 1. Occurrence rate of earthquakes in South Korea(Korea Meteorological Adm.,2019)

지금까지 건축물에 대한 내진설계는 인명안전이나 붕괴방지 등의 구조체의 성능에 관한 부분만 중심으로 중요성이 강조되어 왔다. 그러나 중약진지역에 위치한 우리나라의 경우 지진의 특성상 대규모 지진보다 중간규모의 지진이 발생할 확률이 훨씬 크고 이는 가속도와 변위의 초기 값에 민감한 비구조체의 피해를 크게 가져올 수 있다. 실제로 지난 2016년 경주지진과 2017년 포항지진에서 대부분의 피해는 건축물의

붕괴나 전파보다는 비구조체의 손상과 탈락 등이 집중된 것을 통해 확인할 수 있다. 관련 조사문헌에 따르면 경주지진 피해 9,352건 중 4,678건(50% 이상)이 비구조요소 손상으로 조사되었다.^[1] 지진피해 규모는 구조요소보다 비구조요소의 손상으로 인한 피해가 3배 이상 크고, 자체 손상, 낙하 및 전도로 직·간접적인 인명과 재산 피해뿐만 아니라 건물내부의 낙하물 및 설비의 전도나 파손으로 대피 경로가 차단되거나 방해될 수 있다. 또한 설비 및 중요 장비의 파손은 건축물의 기능 수행이 중지되고 2·3차로 피해가 확대되므로 지진에 대한 안전성이 반드시 확보되어야 한다.

이를 위해 정부에서는 관련 기준을 정비하면서 지난 2018년 11월에 국토교통부가 "전기 및 기계 비구조요소의 내진설계 관련 규칙"을 법령으로 강화시켜 "건축물의 구조기준 등에 관한 규칙"으로 개정하고 시행령(제 555호)으로 공포하였다. 이 개정령에는 "비구조요소"에 대하여 건축물을 설계 및 시공함에 있어 건축법 제 48조 및 동법 시행령 제 32조에 따라 "구조안전 및 내진설계 확인서"를 의무제출하도록 하였다. 국토부는 2019년 3월 'KDS 41 17 00' (건축물의 내진설계 기준)을 통해 건축은 물론 기계 및 전기, 통신, 소방시설의 비구조요소에 대한 내진설계기준과 절차 및 방법을 구체적으로 제시하였다. 이에 따르면 (1) 지진이 발생한 이후에도 인명안전을 위해 기능이 유지되어야 하는 시설물 (2) 지진발생으로 손상이 발생되면 피난대피 경로에 영향을 주는 시설물 (3) 정부나 지자체에서 발주하는 모든 건축물에 시공되는 시설물 (4) 응급실이나 수술실을 보유한 병원 등의 모든 비구조요소는 중요도계수(I_p) 1.5로 분류되며 내진설계가 수행되어야 한다. 본 연구에서는 건축물의 비구조요소에서 지진 발생 전후의 기능 수행에서 중요한 역할을 차지하는 천장용 조명설비 와이어웨이스시스템의 내진성능을 진동대실험을 수행하여 내진성능을 검증하였다. 와이어웨이 조명설비 시스템의 구체적인 내진성능 목표는 ① 재해발생 전후 균등한 조도유지의 성능을 확보해야하며 ② 현수상태를 단단하게 고정하여 진동에 따른 흔들림을 제어해야하고 ③ 설계된 내진성능을 균등하게 확보하는 것으로 고려할 수 있다.

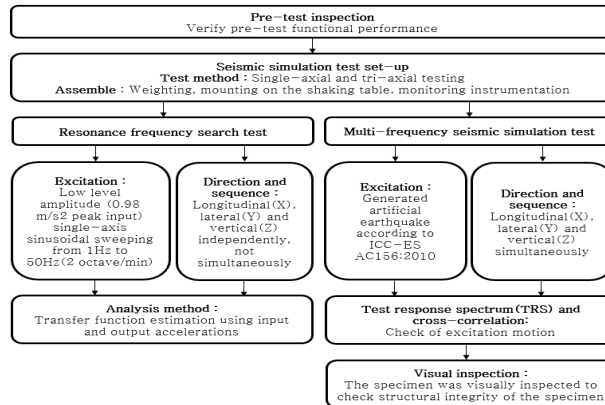


Fig. 2. Procedure of shaking table test for wireway system

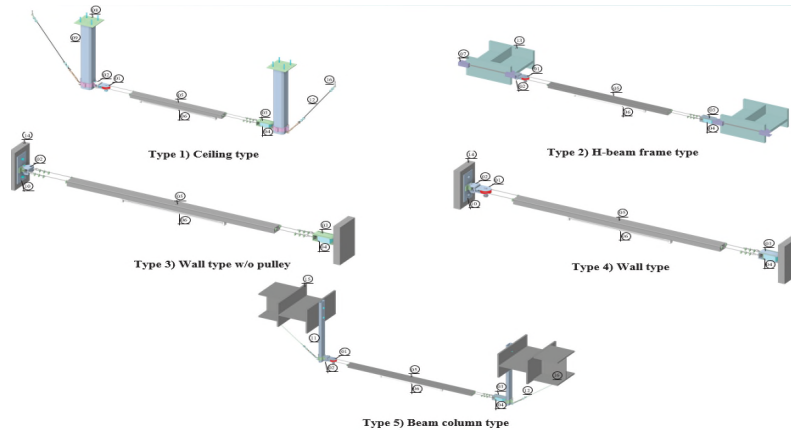


Fig. 3. Five types of wireway system configuration

2. 5개 와이어웨이시스템의 구성과 특성

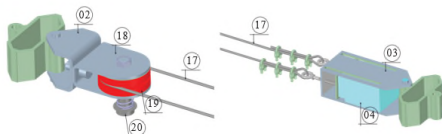


Fig. 4. Details of both ends of the wireway system

Fig. 2는 본 실험연구의 전체적 흐름을 플로우차트를 통해 보여주고 있다. 진동대실험 실시 전에 (1) 시험 전 성능 검증 (2) 진동대 실험 (3) 공진주파수를 찾기 위한 가진실험 (4) 다진 주파수를 통한 내진성능실험 (5) 실험응답스펙트럼(TRS)에 따른 다진 주파수의 유효성 확인 (6) 진동대 실험 계측 결과를 통한 내진성능분석 및 평가 (7) 실험 종료 후 육안검사 등의 순서로 진행되었다.

Fig. 3은 진동대 실험에서 고려된 5개 와이어웨이시스템에 대해서 보여주고 있다. 구성과 경계조건을 달리하여 Type 1에서 5까지 구성되며 각각의 특징은 (1) 천장고정형 (2) H형강 골조형 (3) 벽체고정형(기본형) (4) 벽체고정형(풀리 추가형) (5) 보-기둥골조형으로 총 5개의 와이어웨이시스템이 구성되었다. Fig. 4는 풀리가 배치된 와이어웨이시스템의 양쪽 단부를 보여주며 반대쪽은 케이블의 장력을 고정하고 계측할 수 있도록 구성되어 있다.

Table 1은 각각 와이어웨이시스템의 구성 요소를 보여주고 있다. 2번과 3번 시작유닛과 끝점유닛을 와이어웨이시스템을 통해 연결되어 있으며 두개의 와이어웨이에 덕트를 통해서 조명설비가 놓이게

된다.

Table 1. Composition of five types of wireway system

No.	Part name	No.	Part name
1	Pulley part	11	Beam-column connection
2	Connector 1	12	Cable brace
3	Connector 2	13	H-beam column
4	Tension towing machine	14	Wall
5	Duct	15	Beam
6	Lights	16	Anchor bolt
7	H-beam column connection	17	Cable
8	Ceiling connection	18	Pulley clamp
9	Pole	19	Pulley
10	Wall connection	20	Pulley shaft

3. 진동대실험 실험결과와 구성

와이어웨이조명시스템에서 지진 발생시 허용범위 이상의 변위와 가속도의 발생은 정상적인 기능 수행에 손상을 가져올 수 있으며 이러한 기능의 상실은 2차, 3차 피해를 추가적으로 가져올 수 있다. 조명설비의 파손은 비상시 대피로 등에서 조명기능을 상실할 수 있으며 이는 피난과 구호에 막대한 지장을 줄 수 있다. 진동대 실험 조건에서는 와이어웨이시스템이 건축물 구조요소에 고정되어 있는 것으로 가정한다. 건물에서 발생 가능한 횡 변위에 대해 충분한 변형성을 가지고 있는지를 통해 내진성을 평가하였다. 일반적으로 구조체의 실험은 낮은 주파수의 진동으로 유압액츄에이터를 이용하여 힘을 가하고 변위를 유발하게 하며 그 성능을 검토하게 된다. 반면에 조명설비 등은 설치된 위치에서 작용하는 지진가속도에 의해 주된 영향을 받으므로 수평지진력에 저항할 수 있도록 고정된 설치 장치, 즉 앵거나 고정 마운트, 버팀대, 전단보강부재 등의 안정성을 검토하게 된다. 지진가속도에 의해 영향을 받는 설비는 고유진동수에 영향을 받기 때문에 비교적 고주파의 진동시험이 요구되

고 주파수 대역폭이 넓은 지진파형의 특성을 반영하기 위해 진동대를 이용한 시험법이 활용된다.^[5]

현재 진동대실험에 대한 절차 및 구성요소에 대한 요구사항은 미국 ICC-ES AC156-2010^[6]과 SPS-F KOCED 0007-7419^[7]에서 명시하고 있고 이에 기반하여 진동대 실험이 수행되었다. 와이어웨이시스템의 동적 특성을 검증하기 위해 초기에 공진탐색 실험이 먼저 수행되었으며 주파수 소인시험을 통해 3개의 축 방향에 대해 수행되었다. 가중 주파수는 1~50Hz 대역을 포함하며 진동대 바닥에서 출력된 가속도와 지그 프레임, 와이어웨이 지지대와 본체에서 측정된 요구응답스펙트럼을 적용하여 내진성능을 계측하고 이를 시험응답스펙트럼과 비교하였다. 요구응답스펙트럼은 와이어웨이가 설치되는 층에 대해 ICC-ES AC 156에서 요구하는 층 응답스펙트럼을 사용하였다. 시험에 적용되는 요구응답스펙트럼은 Fig. 5의 형태를 가져야 하며 식 (1)~(4)에 나타낸 것과 같이 단주기 설계스펙트럼 가속도(S_{DS})와 높이계수비(z/h)의 함수에 의해 요구응답스펙트럼의 크기가 결정되었다.

$$A_{FLX-H} = S_{DS} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) \quad (1)$$

$$A_{RIG-H} = 0.4 S_{DS} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) \quad (2)$$

$$A_{FLX-V} = 0.67 \times S_{DS} \quad (3)$$

$$A_{RIG-V} = 0.27 \times S_{DS} \quad (4)$$

요구응답스펙트럼에 대해 계측된 내진성능결과는 시험응답스펙트럼을 만족하는지 판단되었고 이는 ICC-ES AC 156에서 제안하는 기준에 따라 평가되었다. 시험응답스펙트럼은 요구응답스펙트럼의 감쇠비 5%와 동일한 감쇠값을 사용하여 계산되었으며 1.3Hz~33.3Hz의 주파수 범위내에서 최대 1/6 옥타브 대역폭분해성을 기반으로 요구응답스펙트럼과 비교하였다. 이를 통해 요구응답스펙트럼의 130% 이상을 초과하지 않는 것을 확인하였다. Table 2는 전체 실험 절차에 대해 표로 정리하여 보여주고 있다. 총 3단계의 실험 과정을 통해 구성과 경계조건을 달리한 5개 와이어웨이시스템에 대해 진동대 실험을 통해 공진시험과 지진하중 가력 실험을 실시하였다. 진동대 실험

은 부산대 양산캠퍼스 지진방재연구센터에서 수행되었다. Fig. 6은 와이어웨이 실험을 위한 진동대 실험 셋업 모습을 보여주고 있다.

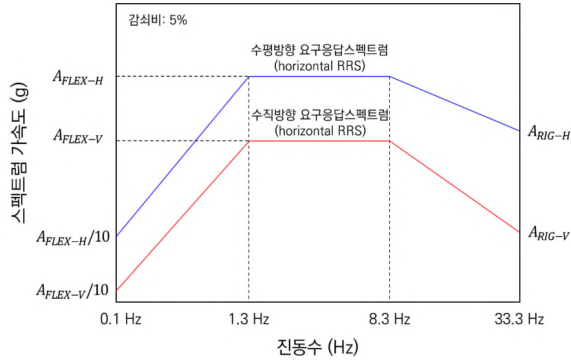


Fig. 5. Response spectrum for use of shaking table test

Fig. 7은 각각 와이어웨이시스템에 대한 소인파 가속에 대한 공진주파수 실험의 결과를 보여주고 있다. 19.75Hz의 횡하중 가력 주파수에서 진동전달율은 $38 m/s^2$ 에서 $2.8m/s^2$ 으로 측정치를 보여주었다. 천장 고정형(Type 1)은 H형강 골조형(Type 2)보다 더 큰 진동전달율을 가지고 있는 것으로 평가되었다. Fig. 8은 시간에 따라 지진하중 적용을 통한 가속도 값을 측정한 것을 보여주고 있으며 강체 구조물의 가속도 값을 비교 대상으로 보여주고 있다. 또한 오른쪽의 그래프는 시험에서 측정한 요구응답스펙트럼과 시험응답스펙트럼의 90%와 130%의 값을 보여주고 있다. 진동대 실험에서 와이어웨이시스템에 가한 요구응답스펙트럼의 값이 90%와 130%를 초과하는 것을 보여주어 이를 통해 진동대 하중 가력의 유효성을 검증하였다.



Fig. 6. Experimental setup for shaking table test

Table 2. Test plan of 5 wireway systems

Test phase	Test No.	Specimen under test	Input motion	S_{as} (g)	z/h	Input PGA (g)				
						X-dir	Y-dir	Z-dir		
Test 1	1	Ceiling type and H-beam frame type	Single-axis sinusoidal sweeping* from 1-50 Hz(2 octave/min)	-	-	0.1±0.05	-	-		
	2					-	0.1±0.05	-		
	3					-	-	0.1±0.05		
	4					0.96	1	1.52	1.03	0.5
	5					0.96	1	1.49	1.07	0.46
	6					1	1	1.63	1.14	0.5
Test 2	1	Wall type and wall type w/o pulley	Artificial earthquake	0.3	1	0.46	0.43	0.17		
	2		Single-axis sinusoidal sweeping* from 1-50 Hz(2 octave/min)	-	-	0.1±0.05	-	-		
	3		-	-	-	0.1±0.05	-			
	4		-	-	-	-	0.1±0.05			
	5		Artificial earthquake	1	1	1.52	1.13	0.46		
Test 3	1	Beam-Column type	Single-axis sinusoidal sweeping* from 1-50 Hz(2 octave/min)	-	-	0.1±0.05	-	-		
	2					-	0.1±0.05	-		
	3					-	-	0.1±0.05		
	4					1	1	1.49	1.1	0.45
	5					1	1	1.54	1.12	0.47

* investigation natural frequencies of cable system

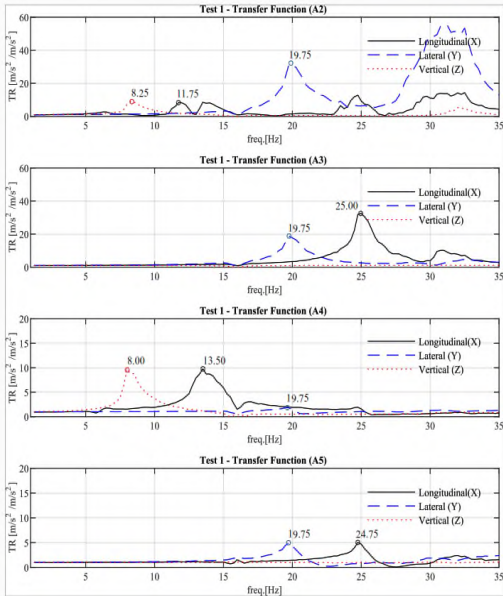


Fig. 7. The results of transfer function accelerated resonance frequency test

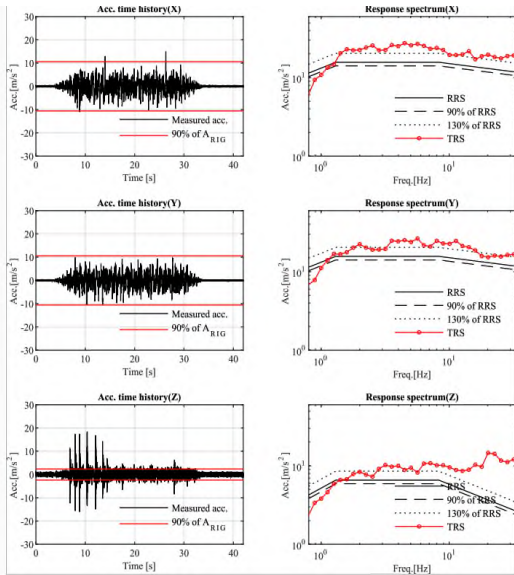


Fig. 8. Base acceleration of shaking table and comparing between TRS vs. RPS

4. 풀리 설치에 의한 진동 저감 효과

4.1 PSD 기반 진동 저감 효과

본 절은 3절에서 조사된 진동대실험 결과를 바탕으로 조명 와이어웨이시스템의 풀리 적용에 의한 진동 저감 효과를 조사하였다. 이를 위하여 진동대 실험 결과에서 풀리의 적용 여부에 따른 성능 변화를 관찰할 수 있는 Table 2의 Test 2에 나열된 벽체형(Wall type) 와이어웨이 시스템의 동적 응답을 비교하였다. 풀리 설치에 의한 진동 저감 효과를 검증하기 위하여 진동대 실험을 통하여 시간과 가속도 관계(시간 영역, time domain)로 측정된 동적 응답을 파워스펙트럼 밀도(power spectrum density, PSD) 함수를 이용하여 주파수 영역(frequency domain)으로 전환하였다. 각 주파수에 따른 가속도 응답의 분포를 나타내는 PSD는 진동대 실험을 통해 측정된 응답을 식 (5)에 제시된 푸리에 변환(Fourier transform)을 통해 산정하였다.^[8] 여기서 N 은 자료의 샘플수 이며, Δt 는 샘플링 비율이고, $2\Delta t/N$ 은 정규화 요소(normalization factor), $x(t)$ 는 시간에 따른 측정 응답을 의미한다.

$$PSD(f) = \frac{2\Delta t}{N} \left| \int_0^T x(t) e^{-2i\pi ft} dt \right|^2 \quad (5)$$

Fig. 9는 PSD 함수를 통하여 계산된 벽체형 와이어웨이시스템의 X-, Y- 그리고 Z-방향에 대한 주파수 응답을 보여준다. 풀리 적용에 따른 응답 차이를 조사하기 위한 목적으로 풀리가 적용되지 않은 와이어웨이시스템의 주파수 응답을 함께 제시하였다. 그림에 제시된 것과 같이 모든 방향에 대하여 낮은 주파수 영역대에서 벽체고정형(Wall type w/o pulley)과 풀리가 추가된 벽체고정형(Wall type)의 응답은 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 주파수의 크기가 증가할수록 풀리 적용에 의한 응답 차이를 보였다.

Test 2의 벽체형 와이어웨이시스템의 고유 진동수는 각 방향에 대하여 12.5 Hz(교축방향), 19.0 Hz(길이방향) 그리고 8.25 Hz(수직방향)으로 조사되었으며, 해당 실험체의 방향별 고유 진동수에 상응하는 지진하중에 대한 와이어웨이시스템의 응답 가속도는 Table 3에 나타냈다. 여기서 진동 저감 효과는 풀리가 적용된 와이어웨이시스템의 응답과 풀리가 적용되지 않은 와이어웨이시스템의 응답 차이를 나타낸 것이다.

Table 3에 제시된 것과 같이 진동 방향에 관계없이 전반적으로 풀리가 설치된 와이어웨이시스템의 스펙트럼 응답이 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히, X-방향(수평 방향)과 Z-방향(수직 방향)에 대하여 풀리 적용 여부에 따른 가속도 응답은 최대 50%까지 감소하는 것으로 나타났다. 이는 풀리가 설치된 와이어웨이시스템은 지진에 의해 와이어와 풀리 사이의 움직임이 발생하고, 이때 풀리와 와이어 사이에 발생한 마찰력에 의해 지진에너지를 효과적으로 소산시켰기 때문으로 사료된다.

Table. 3. Acceleration of response to pulley application(g^2/Hz)

Direction	$S_{ds} = 0.3 g$		$S_{ds} = 1.0 g$	
	w/ pulley	w/o pulley	w/ pulley	w/o pulley
X-dir.	0.020	0.010	0.060	0.035
Y-dir.	0.001	0.001	0.006	0.004
Z-dir.	0.002	0.001	0.030	0.015

4.2 RMS가속도 기반 지진에너지 저감효과

Fig. 10은 진동수와 RMS(root mean square) 가속도의 관계를 나타낸 것이다. RMS가속도는 지진에 의하여 구조물에 누적된 에너지와 관련된 지표로서, 풀리 설치에 의한 시스템에 작용하는 지진 에너지의 저감 효과를 검증하기 위하여 활용하였다. RMS가속도는 일정 시간(샘플링 시간) 동안의 가속도 응답 제곱의 평균 제곱근을 의미하며, 이는 식 (6)을 활용하여 계산할 수 있다.^[9] 여기서 $a(t)$ 는 시간에 따른 가속도 응답을 나타낸 것이며, t_0 는 최초 시간, T_d 는 진동 측정 시간을 의미한다.

$$S_a = \left[\frac{1}{T_d} \int_{t_0}^{t_a + T_d} a^2(\tau) d\tau \right]^{1/2} \quad (6)$$

Fig. 10에 제시된 진동수와 RMS 가속도의 관계를 살펴보면, Fig. 10(a)에 제시된 S_{ds} 가 0.3g가 작용했을 때 풀리 적용에 따른 와이어웨이시스템의 지진에너지의 변화는 미미한 것으로 나타났지만, S_{ds} 가 1.0g에

도달할 때 풀리 적용에 의한 X-와 Z-방향에 대한 지진에너지의 변화는 진동수 크기에 따라 큰 폭으로 감소하는 것을 볼 수 있다(Fig. 10(b) 참고). X-와 Z-방향의 RMS 가속도는 와이어웨이시스템의 고유 진동수 값(X-방향: 12.5 Hz, Z-방향: 8.25 Hz) 이후에 큰 폭으로 변하는 것으로 나타났다. 이를 통해 장력을 가진 케이블과 이에 연결된 풀리의 적용은 지진 가속도의 발생 시 와이어웨이시스템에 작용하는 지진 에너지를 풀리와 케이블의 마찰력을 통해 효율적으로 감소시킬 수 있음을 보여준다.

5. 결론

본 연구는 천장용 조명 설비의 내진성능 향상을 목적으로 개발된 와이어웨이시스템의 유형별 진동대 실험에 대한 결과를 제시하였으며, 동적 실험을 통해 측정된 가속도 응답을 바탕으로 와이어웨이시스템의 풀리 적용에 의한 지진 응답 저감 효과를 검증하였다. 본 실험 연구에서 도출된 결과는 아래와 같다.

1) 진동대 실험을 통하여 조명 와이어웨이시스템은 설치 유형(경계 조건)에 따라 진동 전달율에 차이를 나타내는 것으로 조사되었다. 특히, 와이어웨이시스템의 양단부를 효과적으로 고정할 수 있는 H형강 골조형은 진동 전달율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 이는 진동 제어에 대해서 다른 시스템에 비해 효율적임을 의미한다.

2) 벽체 고정형 시스템에 대하여 진동대 실험에서 측정된 가속도 응답을 바탕으로 풀리 적용에 의한 PSD 가속도 변화를 살펴봤을 때 진동수 증가에 따라 풀리에 의한 진동 저감 효과가 두드러지게 나타나는 것으로 조사되었다.

3) RMS 기반의 풀리 적용에 따른 와이어웨이시스템에 작용하는 지진에너지의 응답은 PSD 가속도의 변화와 유사하게 진동수 증가에 따라 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났다.

4) 진동대 실험을 통하여 측정된 응답을 바탕으로, 새롭게 개발된 조명 와이어웨이시스템은 풀리 적용에 의하여 기존의 조명 설비 시스템에 비하여 효과적으로 지진 에너지를 소산할 수 있는 것으로 나타났다.

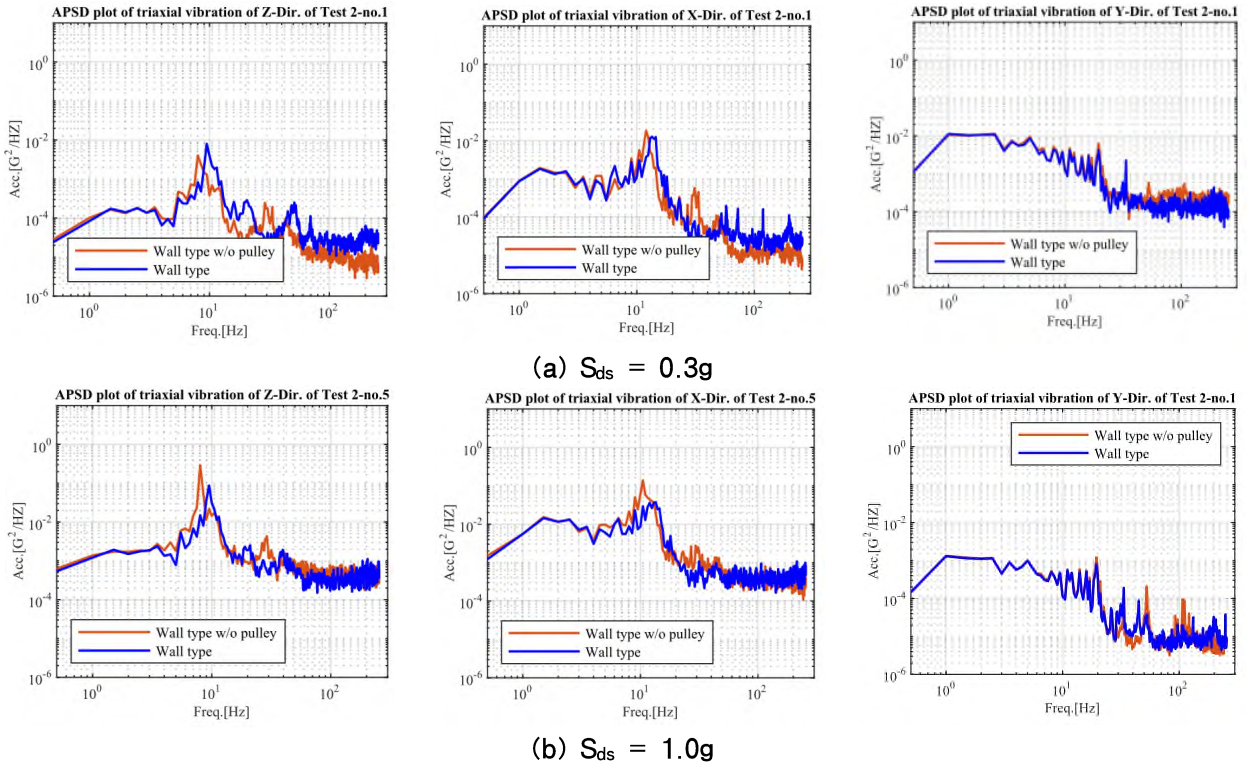


Fig. 9. PSD plots of tri-axial vibraion of X-, Y- & Z-directions

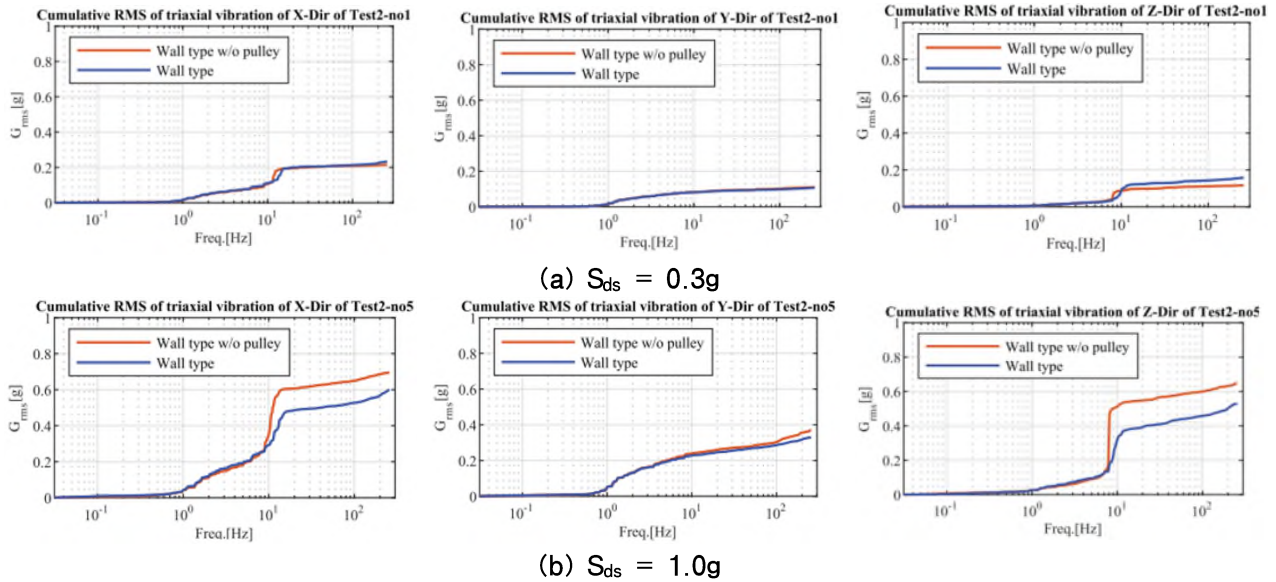


Fig. 10. RMS responses in X-, Y- & Z-directions

이는 풀리와 와이어 사이에 발생한 마찰력에 의해 유입된 지진에너지가 소산되고 이를 통해 와이어의 최대 변형과 진폭이 감소되는 진동감쇠효과를 발휘하게 된다.

5) 현 내진설계기준에서 전기조명시스템이 지진 발생 시 요구되는 기본적 내진성능뿐만 아니라 비상시 대피를 위해 기능수행의 성능목표를 반드시 확보해야 함을 고려할 때 본 와이어웨이시스템이 진동과 변위를 효율적으로 제어하고 손상을 억제할 수 있음을 보여주었다.

감사의 글

이 논문은 2020년도 (주)세홍의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- [1] Lee Soo-hyun; Cho Tae-gu; Im Hwan-taek; Choi Byung-jung "Due to damage from the 9.12 earthquake in Gyeongju and earthquake-resistant design standards for non-structural elements/ Damage of Gyeongju 9.12
- [2] Earthquakes and Seismic Design Criteria for Nonstructural Elements" Journal of Korea Earthquake Engineering Society, Vol.20 No.7 (No. 113) (2016-12)
- [3] Rules on structural standards, etc. of buildings (abbreviated as Building Rescue Standards Rules) [Enforcement 2020. 11.9] [National Territory Traffic Decree No. 777, 2020. 11.9, Partial Revision] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Department of Building Safety)
- [4] Revision of Building Seismic Design Standards (KDS 41 1700) (2019-3) Ministry of Land, Infrastructure and Transport
- [5] Peter R. Boyce, Human Factors in Lighting, 2nd Edition, Lighting Research Center, 2003.
- [6] Woo-young Jung, Shaking Table Test Examples for Seismic Performance Evaluation of Nonstructural Components, Journal of KSNVE 28(3), 2018.5
- [7] ICC, 2006. International building code.
- [8] Petrone, C., Magliulo, G., Manfredi, G., 2014. Shake table tests for the seismic assessment of hollow brick internal partitions. Engineering Structures 72, 203-214.
- [9] McNamara, D. E. and Boaz, R. I., 2005, Seismic noise analysis system, power spectral density probability density function: stand-alone software package, U.S. Geological Survey openfile No. 2005-1438.

- [9] Housner, Generation of artificial earthquakes, ASCE, 1964
- [10] Code, A.K.B., 2016. Kbc 2016. Architectural Institute of Korea, Seoul, Korea .
- [11] Code, P., 2005. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance-part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels: European Committee for Standardization .
- [12] Kasai, K., Mita, A., Kitamura, H., Matsuda, K., Morgan, T.A., Taylor, A.W., 2013. Performance of seismic protection technologies during the 2011 tohoku-oki earthquake. Earthquake Spectra 29, 265-293.

Biography

저자소개는 최종본 제출시 기재

(소속기관 및 직위, 학력, 경력 구체적 표기 / 생년월일 제외)

Gil-Dong Hong (bold 10pt)

He received B.S degree in electrical engineering from Yonsei university. His research interests are robust control, filtering and signal processing