

## 보도교 상판의 감쇠율 분석

### Analysis of Damping Ratio of Foot-bridges

윤성원\*

Yoon, Sung-Won

문상현\*\*

Moon, Sang-Hyoun

#### Abstract

In Seoul, total 27 places of foot-bridges were chosen to evaluate the damping ratio through vibration measurement by mobile-phone application. Model vibration test was performed to compare the natural frequency and damping ratio between the conventional accelerometer and mobile-phone application. Measured average damping was compared with the one of Bachmann. The relation between the damping ratio and span was also investigated. Measured average damping ratio was greater than that of Bachmann. It was shown that there is no distinct trend between damping and span.

*Keywords : Damping ratio, Mobile-phone, Vibration measurement, Foot-bridges*

#### 1. 서론

최근 보도교는 산업발전에 힘입어 경량화와 도로의 폭이 넓어짐에 따라 보도교는 장경간화의 경향을 나타내며 주변 경관을 고려한 미관중심으로 가설되고 있다. 구조적인 형태는 점차 세장하고 심미적인 경향을 나타내고 있다. 그러나 보도교는 일반적으로 폭이 좁은 구조이고 단위질량이 작아 보행자의 통행에 의해 진동이 쉽게 발생할 가능성이 있다. 특히, 보행자의 보행이 보도교의 고유진동수와 근접할 경우 공진현상에 의해 큰 진폭이 발생하여 보행자에게 불안감을 조성시킬 수 있다.<sup>[1],[2],[9]</sup>

보행자가 4차선 이상의 도로상에 설치되어 있는 보도교의 경간이 40m인 경우는 노후화로 인한 심한 진동과 처짐이 발생하여 민원이 늘어나고 있는 현실이다. 이러한 보도교의 진동문제를 해결하기 위하여 구조물의 강성을 증가시키거나 교각을 증설하

는 방안 등이 있으나 근본적인 해결방법이 되지 못하고 있는 현실이다.<sup>[3]</sup>

서울시 시설물·시공 및 유지관리 편람<sup>[4]</sup>에서는 경간별 고유진동수를 제시하여 보도교 설계 시 참고자료로 제시하고 있다. 또한 수직 보행진동수의 평균치는 2Hz이며, 보행진동수의 95%는 1.65~2.35Hz 사이에 분포하므로 보도교 설계시 보행 시 공진을 피하기 위하여 서울시에서 제시한 수직 고유진동수를 고려하여 설계하고 있다.<sup>[8]</sup> 경우에 따라서는 보행진동수의 2배수와 3배수인 4Hz, 6Hz의 보도교에서도 진동문제가 발생하는 경우도 있다.

보행자의 진동에 대한 사용성 설계는 보도교의 고유진동수를 기준으로 하지만, 최근의 구조적으로 효율적인 강구조 보도교에서는 감쇠율의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 보행시에 진동이 급격히 증가하면서 진동의 커지면 감쇠율도 증가하면서 진동을 제한시키는 역할을 하기도 한다. Bachmann의 강재 보도교의 감쇠율 계측치는 최소값이 0.2%이고 평균값은 0.4%로 제시하고 있다. 그런데 계측 결과에 의하면 가속도 제한치인  $0.7m/s^2$ 는 감쇠율이 0.6% 이상의 보도교에서는 발생하지 않은 점을 지적하고 있다. 이와같이 감쇠율의 보도교의 고유진동수 만큼 보도교의 사용성을 판단할 때 매우 중요한 요소임을 알 수 있다.

\* 정회원, 서울과학기술대학교 건축학부 교수, 공학박사  
Seoul National University of Science & Technology School of Architecture, Professor  
Tel: 010-2650-6587 Fax: 02-979-6587  
E-mail : swyoon@seoultech.ac.kr

\*\* 학생회원, 서울과학기술대학교 건축학과 석사과정  
Seoul National University of Science & Technology School of Architecture, Department of Architectural Engineering

따라서 이 논문에서는 휴대용 진동계측기를 이용하여 서울시에 가설된 27개소의 보도교를 대상으로 제자리 뛰기(10~20회)를 2~5회 실시하여 공진발생에 따른 자유진동실과형에서 감쇠율을 분석하였다. 계측된 감쇠율은 경간별, 고유진동수별 상관관계식을 제안하였다.<sup>[2]</sup>

## 2. 실험연구분석

### 2.1 국내연구

1990년 소비자보호원 안전조사보고서<sup>[4]</sup>에서는 보도교의 불안전한 구조와 불충분한 관리로 인한 피해로부터 보행자의 안전을 도모하고자 서울 및 전국 5개 광역시의 총 367개소 보도교 중 66개소에 대해 면접조사, 실태조사, 자료조사 등을 실시하였다. 조사결과 <Table 1>과 같이 보도교 중 서울 23개(35%)와 지방 8개(12%)가 진동에 대해 문제점이 있다고 조사되었다. 또한 보도교 관련 법규의 통합 및 법규내용의 보완이 필요하며 보도교의 안전점검 및 보수에 대한 강화가 필요하다고 지적하였다.<sup>[2],[8],[9]</sup>

<Table 1> Vibration survey<sup>(4)</sup>

	Seoul	Other 5 major cities	Total
Vibration	23(35%)	8(12%)	31(47%)
No vibration	23(35%)	12(18%)	35(53%)
Total	46(70%)	20(30%)	66(100%)

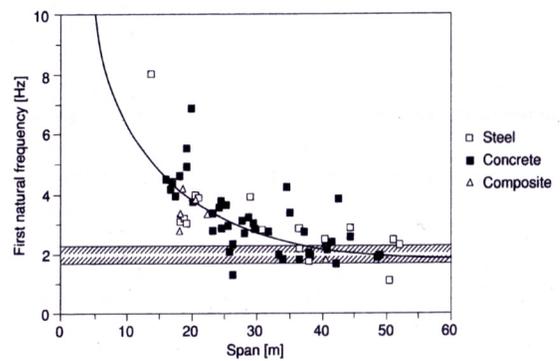
김창현(2008)은 해외 각국의 진동사용성 기준을 조사하고 그 적용방법을 비교분석하여 설계자가 보도교에 대한 적합한 기준을 선택할 수 있도록 연구하였다. 지인권(2007)은 보도교 준공 후 통행 시 진동에 의한 보행자가 불안감 및 불쾌감 발생 등이 발생한 보도교에 대하여 고유주기 조사와 상시진동 및 강제진동에 대한 동적거동을 평가 검토하고 이론적인 해석결과와 비교분석하였다. 성증수 등(2007)은 국내·외 보도교 진동사용성 기준검토와 진동제어방법 중에 하나인 TMD의 기존 설치 사례를 분석하였으며 화성동탄 보

도교에 대한 TMD 적용성을 연구하였다.<sup>[2],[8],[9]</sup>

도기영 등(2013, 2014)는 휴대폰 진동계측기를 이용하여 보도교에 대한 고유진동수 등의 진동특성을 분석하였다. 또한 국내 65개의 보도교의 경간별 고유진동수식을 제안하였으며, 이를 보도교의 구조시스템별로 각각 고유진동수식을 제안하였다.

### 2.2 해외연구

Bachmann et al.(1995)<sup>[5]</sup> 등은 세계 각국의 보도교의 진동계측 데이터를 바탕으로 <Fig. 1>과 같은 재료형식별 경간장과 고유진동수와의 상관관계를 분석하였으며 <Table 2>와 같이 재료형식에 따른 고유진동수의 관계식을 제시하였다.



<Fig.1> Footbridge fundamental frequency as a function of span<sup>(5)</sup>

<Table 2> Relationship according to construction types<sup>(5)</sup>

Construction types	Relationship	Quantity	Quantity hatched area
Concrete	$f = \frac{39}{L^{0.77}}$	45	12
Steel	$f = \frac{35}{L^{0.73}}$	16	3
Composite	$f = \frac{42}{L^{0.84}}$	6	1

Pimentel et al.(2001)은 Europe과 Canada에서 적용하고 있는 보도교의 수직하중에 대한 진동사용성에 대한 규정을 비교 분석하였고 설계지침의 진동사용성에 대한 문제점을 바탕으로 3개소 보도교를 실험을 실시하였다. Hartley et al.(1999)은 경간

이 35m인 케이블지지 보도교를 대상으로 수정된 유한요소모형화와 진동실험을 수행하고 보행하중에 의해 보도교에 발생하는 가속도를 구할 때 수정된 유한요소모형을 사용하여 수치해석 결과와 실험을 통해 얻은 결과를 비교하여 유한요소모형의 적용성을 검토하였다. Zivanovic et al.(2005)은 보도교 진동관련 200편의 논문을 분석하여 진동의 원인, 보행자가 느끼는 진동, 동적특성, 인체와 보도교의 동적 상호관계, 설계절차와 지침들을 분석하였다.<sup>[5],[9]</sup>

### 3. 진동계측 장비 및 방법

#### 3.1 진동계측장비

이번 보도교 진동계측은 <Fig. 5>와 같이 현장에서 전원없이 간단하고 편리하게 계측할 수 있는 휴대용의 진동 App을 이용하여 진동계측(이하 휴대용 진동계측기)을 실시하였다. 휴대용 진동계측기는 x, y, z의 3축 방향(2방향 수평가속도와 1방향 수직가속도)에 대한 실시간 계측을 할 수 있으며, 동적특성도 모니터 상에서 해석이 가능하다. 휴대용 진동계측기 장비에는 MEMS의 가속도계가 내장되어 있어 3축의 가속도계는 약 0.02g 감도와 최대 ±2G 까지 계측이 가능하다. 또한, 휴대용 진동계측기 App은 0~100Hz 파형의 범위에서 Sampling rate를 설정 할 수 있다.<sup>[7],[8],[9]</sup>

일반진동계측기의 구성은 가속도계와 동적신호처리기로 구성되어 있다. 가속도계는 1g까지 계측할 수 있으며, 사양은 <Table 3>과 같다.<sup>[7],[8]</sup>

<Table 3> Specification of vibration system

	Item	Specification
ICP accelerometer (Dytran 3191 A)	Capacity	±1g
	Output voltage	±5V
	Volt sensitivity	5,000 mV/g
	Transverse sensitivity	4.2%
DYNAMIC ANALYSER (Signalcalc Mobilyzer)	Channel	4
	Filter	90db
	Acquisition	5 Hz ~ 80 kHz

#### 3.2 휴대용 진동계측기의 적용성 검토

휴대용 진동계측기를 이용한 수직진동수의 정밀도를 검토하기 위하여 보도교와 유사한 단순지지 플레이트 모형 중앙에 가속도계와 휴대폰 진동계측기를 설치하여 진동계측을 실시하였다. 모형의 재질은 발사재를 사용하였다. 모형의 제원은 각각 0.167cm<sup>T</sup>x 10.2cm<sup>W</sup>x 61.0cm<sup>L</sup>와 같다. 단순지지를 위한 지지점은 5mm 각의 발사재 목재를 사용하였다.

<Fig. 2>는 실험 전경이다. 자유진동을 주기 위한 가진은 실험모형의 정중앙에서 연필로 충격하중을 주었다. 휴대용 진동계측기와 가속도계는 가진 범위 좌우 1cm 위치하는 곳에 설치하였다. 계측조건은 1 앙상블의 Sampling rate는 80Hz이며, 50.96sec 동안 계측을 실시하였다. <Fig. 3>과 같이 파워스펙트럼에서 고유진동수를 산정하였으며, 가속도계의 경우에는 8.38Hz, 휴대용 진동계측기는 0.39Hz로서 오차는 0.12%로서 거의 오차 없이 정확함을 알 수 있다. <Fig. 3>은 가속도계와 휴대용진동계의 파워스펙트럼이다.

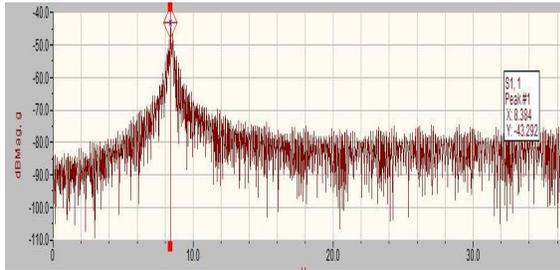
감쇠율의 경우는 <Fig. 4>와 같이 가속도계와 휴대폰 진동계측기와 동일구간에서 10개의 피크를 대수 감소법으로 산정하였다. 가속도계와 휴대폰 진동계의 오차는 3개의 자유진동파형에서 각각 산정한 결과 오차는 0.98%~4.47%이며, 실험조건상 가속도계와 휴대폰진동계가 정확히 좌우 대칭이 아님으로 인한 진폭차이로 감쇠율의 오차가 발생한 것으로 추정된다.

<Table 4> Comparison of ICP accelerometer with mobile-phone type

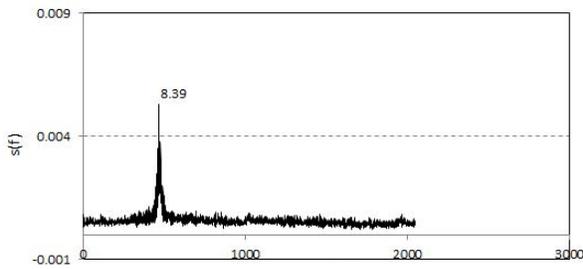
	Natural frequency (Hz)	Damping ratio(%)		
		1	2	3
① Accelerometer	8.38	1.06	1.02	1.02
② Mobile phone	8.39	1.01	1.05	1.03
Error(①-②)/①x100 (%)	0.12	4.47	2.94	0.98



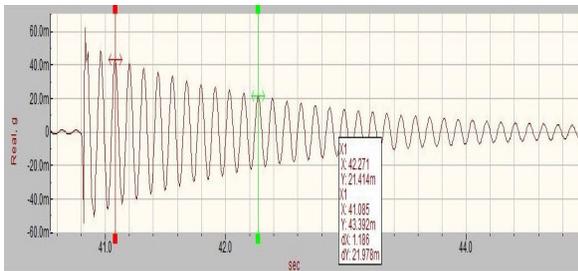
〈Fig. 2〉 Mobile test Configuration



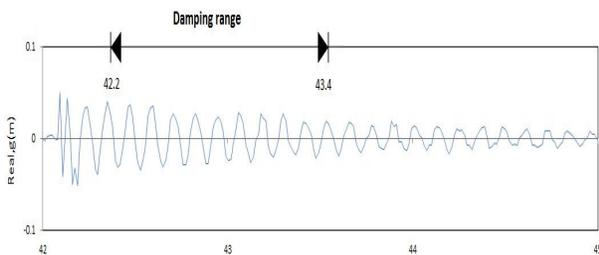
(a) ICP accelerometer



(b) Mobile-phone App  
〈Fig. 3〉 Power spectrum



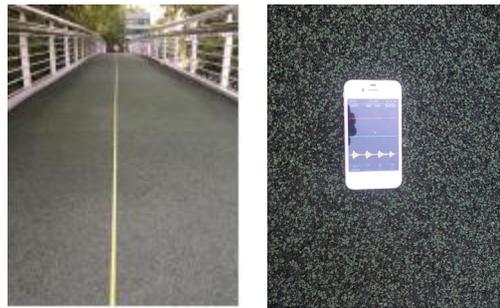
(a) ICP accelerometer



(b) Mobile-phone App  
〈Fig. 4〉 Free vibration time history

### 3.3 진동계측 방법

보도교의 진동 계측을 위하여 우선 〈Fig. 5〉와 같이 경간을 측정하였다. 보도교 제원은 보도교의 기둥과 기둥 중앙을 중심을 기준으로 하였다.<sup>[2],[8],[9]</sup> 계측시에는 Aliasing을 방지하기 위하여 샘플링주파수는 〈Table 5〉의 (1)~(8)번 보도교까지는 20Hz, (9)~(27)번 보도교까지는 10Hz로 계측하였다.



〈Fig. 5〉 Measured span and location<sup>(7),(8)</sup>

휴대용 진동계측기를 보도교의 상면에 부착한 후에, 〈Fig. 6〉과 같이 한명 또는 복수의 인원이 상하방향으로 10~20회 제자리 뛰기를 하였다. 보도교의 진동발생이 고유진동수가 2.0Hz 전후에서 발생하므로 〈Fig. 6 (a)〉와 같이 2.0Hz부터 서서히 가진진동수를 증가시켜 보도교에 공진을 발생시켰다. 자유진동파형이 명료하게 형성되지 않는 경우에는 파워스펙트럼에서 산정한 고유진동수에 동조한 전자박자계를 이용하여 〈Fig. 6 (b)〉와 같이 보도교의 공진파형을 다시 획득하였다. 이를 위하여 1차에 계측된 고유진동수를 전자박자계에 설정하여 박자계에서 발산되는 신호음에 맞춰 다시 제자리 뛰기를 하여 휴대용 진동계측기에 보도교의 공진을 발생시켰다.<sup>[2],[8],[9]</sup>

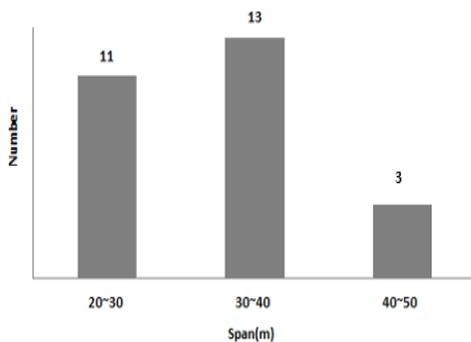


(a) Vibration with mobile phone (b) Vibration with metronome  
〈Fig. 6〉 Vibration method<sup>(8)</sup>

## 4. 보도교 진동계측

### 4.1 계측 대상 보도교 현황 및 구조시스템

단경간 65개소 보도교 중 자유진동파형이 명료한 27개소의 보도교를 선정하였다. 보도교의 디자인 또는 보강공사로 인한 경간이 다르기 때문에 경간을 실측하였다. 경간 20m ~ 30m가 11개, 30m ~ 40m가 13개, 40m를 초과하는 것이 3개이다. <Fig. 7>과 같이 계측대상 보도교를 경간별로 분류하였다.<sup>[2]</sup>



<Fig. 7> Span of foot-bridge

구조시스템은 <Fig. 8 (a)>와 같이 보도교의 메인 보가 수평으로 가설된 Box형식 또는 Pipe형식의 보도교를 강구조보(Steel beam)로, <Fig. 8 (b)>와 같이 구조물의 기본적인 뼈대로 기둥과 보의 절점이 강접합으로 하나로 이루어진 보도교를 강구조 라멘(Steel rahmen)으로 분류하였다. 구조시스템을 정리한 결과, 강구조 보의 구조시스템이 17개소로 가장 많으며 강구조 라멘은 10개소이다.<sup>[2]</sup>



(a) Steel beam (b) Steel rahmen

<Fig. 8> Structure type<sup>(2),(9)</sup>

### 4.2 보도교 진동계측 결과

휴대용 진동계측기를 통하여 진동계측 대상 보도교 27개소에 대하여 2차례 자유진동실험을 실시하였다. 공진으로 인한 자유진동파형의 파워스펙트럼을 분석하여 나온 고유진동수의 결과는 <Table 5>와 같으며 경간순으로 정리하였다. 계측대상 보도교의 시설명은 이 논문에서는 제외하기로 하였다.

<Table 5> Summary of the foot-bridges<sup>(2)</sup>

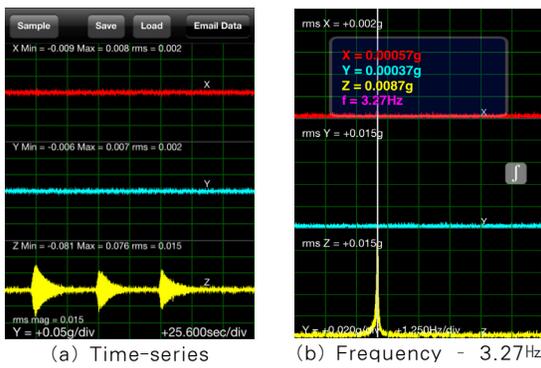
No.	Length [m]	Structure type	Span [m]	Frequency	Damping (%)
1	22.6	Steel beam(box)	20.3	5.35	0.685
2	24.6	Steel beam(box)	22.2	4.54	0.736
3	29.8	Steel rahmen	22.8	4.53	0.721
4	26.0	Steel beam(box)	25.5	4.02	0.776
5	27.3	Steel beam(box)	26.0	4.07	0.726
6	29.8	Steel rahmen	26.6	6.09	0.646
7	32.6	Steel beam(box)	27.0	4.41	0.677
8	29.6	Steel beam(box)	27.4	3.68	0.644
9	30.0	Steel rahmen	27.5	3.17	0.509
10	30.0	Steel rahmen	28.4	3.15	0.645
11	30.0	Steel beam(box)	29.0	3.45	0.445
12	32.6	Steel beam(box)	30.3	3.38	0.774
13	48.1	Steel beam(pipe)	32.0	3.67	0.492
14	34.8	Steel rahmen	33.4	3.38	0.764
15	37.0	Steel beam(box)	34.8	2.83	0.429
16	38.5	Steel beam(box)	35.3	3.09	0.520
17	33.9	Steel beam(box)	35.5	3.45	0.574
18	39.0	Steel beam(box)	36.0	2.14	0.624
19	40.6	Steel beam(box)	37.0	2.46	0.750
20	44.0	Steel beam(box)	37.5	2.03	0.860
21	39.0	Steel beam(pipe)	37.7	2.12	0.772
22	40.0	Steel rahmen	38.0	3.44	0.748
23	44.0	Steel rahmen	38.6	3.43	0.687
24	40.0	Steel rahmen	38.7	3.27	0.576
25	70.2	Steel rahmen	40.4	3.38	1.002
26	53.6	Steel beam(pipe)	46.0	3.55	0.851
27	48.7	Steel beam(box)	46.4	2.29	0.598

<Fig. 9>는 No.24 보도교의 계측사례로서 자유진동실험을 실시한 결과 공진에 의한 시계열 파형을 나타내고 있다. 1차모드만의 감쇠율을 산정하기 위하여 <Fig. 10~11>과 같이 고차모드가 혼입되지 않은 구간만을 대상으로 하였다. 이를 위하여 매트릭스를 이용하여 보도교의 고유진동수와 동조시켜서 자유진동파형을 발생시켰다. 감쇠율은 식 (1)의 대수감소법에 의하여 산정하였다.

$$\zeta_n = \frac{1}{2\pi n} \ln \left( \frac{X_n}{X_{n+2}} \right) \times 100 \quad (1)$$

### 4.3 진동 계측결과 분석

Bachmann et al.(1995)<sup>[5]</sup>이 세계 각국의 보도교의 진동계측 데이터를 바탕으로 제안한 재료형식별 감쇠율과 서울시 27개 보도교의 감쇠율을 비교하였다. Bachmann이 제안한 강재 보도교의 감쇠율의 최소값 0.2%와 평균값 0.4%와 비교함은 물론이고, 계측된 감쇠율의 경간과 고유진동수와와의 상관관계를 분석하였다. 또한 구조시스템별 경간과 고유진동수 별 감쇠율의 상관관계를 분석하였다.<sup>[2]</sup>

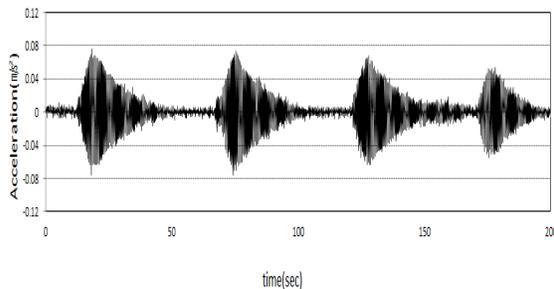


<Fig. 9> An example of vibration tests (No.24)<sup>(9)</sup>

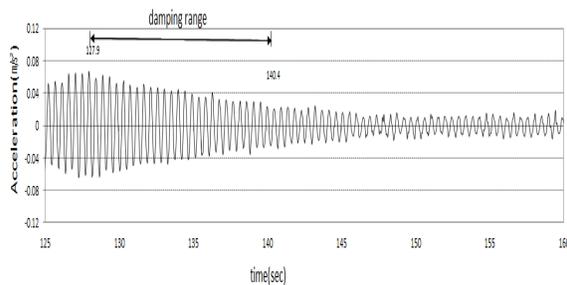
#### 4.3.1 감쇠율의 평균값

27개의 보도교 감쇠율은 최소값이 0.429%, 최대값은 1.002%로서 평균값은 0.675%이다. 평균값 0.675%는 Bachmann의 평균값 0.4%보다는 큰 값을 나타내고 있다.

또한 Bachmann의 사용성 가속도 제한치인 0.7m/s<sup>2</sup>는 감쇠율이 0.6% 이상의 보도교에서는 발생하지 않는 점을 지적하고 있다. 27개의 보도교 중에서 20개의 보도교는 0.6%의 감쇠율을 보이는 것을 확인하였다.



<Fig. 10> Time history of free vibration



<Fig. 11> Range of damping analysis

<Table 6> Damping ratio<sup>(3)</sup>

	Minimum (%)	Average(%)
Bachmann	0.20	0.40
Measured value	0.43	0.68

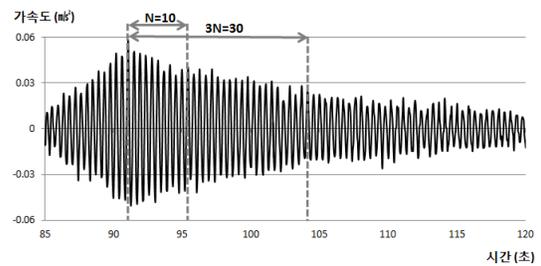
#### 4.3.2 감쇠율의 경간과 고유진동수와와의 상관관계

서울시의 27개소 보도교의 감쇠율 계측결과 <Fig. 12>와 같다. 감쇠율을 함수식으로 표현하기에는 너무 데이터의 편차가 심하였으며, 상관계수의 자승(R<sup>2</sup>)도 0.0256으로서 감쇠율과 경간과의 상관관계를 찾기 어려웠다. <Fig. 12>는 감쇠율과 고유진동수와와의 상관관계를 분석하기 위한 그래프이다. 상관계수의 자승(R<sup>2</sup>)는 0.0003으로서 감쇠율과 고유진동수는 상관관계가 거의 없는 것을 알 수 있다.

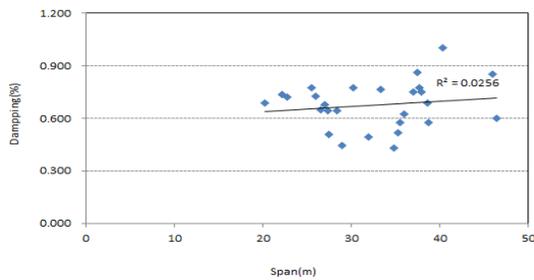
일반적인 초고층건물이 건물의 높이가 증가함에 따라서 감쇠율이 작아지고, 고유진동수가 증가함에 따라서 감쇠율의 증가하는 경향과는 다른 결과를 보이는 것을 알 수 있다. 이 이유는 보도교의 경우에는 감쇠율의 경간과의 상관관계 보다는 감쇠율의 진폭의존성이 더욱 중요한 요소이기 때문인 것으로 판단된다.

감쇠율의 진폭의존성을 5개소 보도교에 발생한 공진에 대하여 진폭의존도를 고차모드가 혼합되지 않은 범위 내에서 감쇠율을 <Fig. 13>과 같이 계산하였다. 감쇠율의 산정은 두가지 영역으로 나누어서 진폭이 제일 큰 영역중에서 1차모드만으로 구성된 10개의 피크(N=10)와 30개의 피크(3N=30)에 대하여 각각 감쇠율을 산정하였다. 이 결과를 정리한 것이 <Table 7>과 같다.

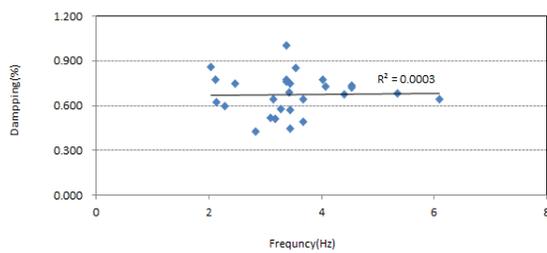
<Table 7>에 의하면 진폭이 상대적으로 큰 구간으로 구성된 자유진동파형(N=10)의 감쇠율이 진폭이 상대적으로 작은 구간을 포함하고 있는 구간보다 감쇠율이 명료히 큰 것을 확인할 수 있었다. 5개 보도교의 감쇠율 진폭의존성을 보면 진폭이 큰 구간이 진폭이 상대적으로 작은 구간에 비교하여 1.028~1.678배 큰 것을 확인할 수 있었다.<sup>[10]</sup> 이와같이 감쇠율의 진폭의존성을 명확히 확인할 수 있었다.



<Fig. 13> Amplitude dependency<sup>[10]</sup>



(a) Relation of damping to span



(b) Relation of damping to frequency  
<Fig. 12> Relation of damping

<Table 7> Foot-bridges damping<sup>[10]</sup>

Name	Natural frequency (Hz)	Peak N		Damping (%)	(1)/(2)
		(1)	N=20		
연희 초교	6.46	(1)	N=20	0.787	1.678
		(2)	3N=60	0.496	
남산 입구	6.09	(1)	N=20	0.778	1.641
		(2)	3N=60	0.474	
삼육대	3.27	(1)	N=20	0.535	1.218
		(2)	3N=60	0.439	
단국대	3.09	(1)	N=10	0.508	1.126
		(2)	3N=30	0.451	
노원 상정담	2.29	(1)	N=10	0.964	1.028
		(2)	3N=30	0.938	

## 5. 결 론

본 연구에서는 휴대용 진동계측기를 이용하여 서울시의 27개소의 보도교를 대상으로 진동계측을 실시하였다. 자유진동과형에서 감쇠율을 산정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 휴대용 진동계측기의 고유진동수 정밀도는 기존의 가속도계와 오차가 0.12%로 거의 동일한 값을 제시함을 알 수 있다. 또한 휴대용 진동계측기의 감쇠율은 기존의 가속도계와 오차가 0.98%~4.47%로서 진동계측기로서 적용성을 검토하였다.

둘째, 27개의 보도교 감쇠율은 최소값이 0.429%, 최대값은 1.002%로서 평균값은 0.675%이다. 평균값 0.675%는 Bachmann의 평균 감쇠율 0.4%보다는 큰 값을 나타내고 있다.

셋째, 감쇠율과 보도교의 경간과의 상관계수의 자승(R<sup>2</sup>)는 0.0256으로서 감쇠율과 경간과의 상관관계를 찾기 어려웠다. 또한 감쇠율과 고유진동수 사이의 상관계수의 자승(R<sup>2</sup>)가 0.0003으로서 감쇠율과 고유진동수는 상관관계가 거의 없는 것을 알 수 있다.

### 감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2013R1A2A2A01067872)

### References

1. Yoo, M. S., Yoon, T., Y. and Kurabayashi, H. Effective Vibration Control of Pedestrian Bridge Using Tuned Mass Damper, Journal of Korean Society of Steel Construction, KSSC, Vol. 15, No. 3, 2003, pp. 24-31 (in Korean).
2. Do, K. Y., Analysis of Natural Frequency through Vibration Measurement of Foot-bridges, M.S. dissertation, Seoul National University of Science and Technology, 2014. 2, Korea (in Korean).
3. Kim, C. H., A Study on the Decreasing Method and the Effects of Vibrations to the Human Body in Pedestrian Bridge, M.S. dissertation, Chonnam National University, Korea, 2008 (in Korean).
4. Korea Consumer, Safety Situation of Foot-bridges, Survey Report, Korea. 1999
5. Bachmann. H., Pretlove. A. J., and Rainer. H., Vibration Problems in Structures: Practical Guidelines, Birkhauser Verlag Publications, Basel. 1995
6. Seoul, Facility Design, Construction and Maintenance Manuals, Research Report, 2001, pp. 151~206, Korea.
7. Yoon, S. W., Do, K. Y., Ryu, J. H. and Ju, Y. K., Vibration Measurement of Steel Foot-Bridge using Mobile Phone, Applied Mechanics and Materials, Vol. 470, 2014, pp. 777-780.
8. Do, Ki-Young, Yoon, Sung-Won, Kim, Do-Hyun, Vibration Measurement of Foot-Bridge using Mobile Phone, J of the Korean Association for Spatial Structure Vol. 14, No1, 2014, pp. 61-68.
9. Do, Ki-Young, Yoon, Sung-Won, Analysis of Natural Frequency according to Span of Foot-bridges, J of the Korean Society of Steel Structure (in press)
10. Jung, Eun-Bi, Yeom, Hee-Jin, Yoon, Sung-Won, Analysis on Damping Ratio of Steel Pedestrian Bridges by Beam Shape and Span Length, Proceedings of KASS Symposium, May. 23. 2014

- Received : August 01, 2014
- Revised : September 10, 2014
- Accepted : September 19, 2014