흥인지문 인접 CIP공사시 진동 전달 특성 분석 및 평가 사례 연구

A Case Study of Analysis and Evaluation of Vibration by Construction of Cast in Place Concrete Pile in the Neighboring Areas of Heunginjimun

최 재 성† · 민 경 원*

Jae-Sung Choi and Kyung-Won Min

(2012년 6월 26일 접수 ; 2012년 8월 6일 심사완료)

Key Words : Heunginjimun(흥인지문), Vibration Criteria(진동 기준), Historic Structures(역사적 구조물), Construction Vibration(건설 진동), Natural Frequency(고유진동수), Dynamic Magnification Factor(동적증폭배율)

ABSTRACT

This paper analysed the effect on Heunginjimun of ground vibrations due to C.I.P. works during Heunginjimun restoration period. Vibration criteria and laws for historic structures was investigated. The vibration was measured under test construction in the field, analysed and evaluated. Because the ground vibration exceeded the vibration criteria, the restoration construction could not be go along. But as vibration was transferred to the upper structures, it was confirmed that vibration levels declined, because of differences between natural and forced frequencies. If the natural frequencies data-base of historic structures are established, it will help with management and preservation of cultural properties by an environmental vibration effects evaluation.

기 호 설 명

DMF : 동적 증폭 계수
 S_i : FFT의 진폭
 τ : 시간 상수
 V_{PVS} : 속도의 피크 벡터합

1. 서 론

흥인지문은 서울 성곽 8개의 문 가운데 동쪽에 있는 문으로, 동대문이라고도 불려진다. 도성의 8개 성문 중 유일하게 웅성을 갖추고 있으며, 1963년 1월 21일에 보물 제1호로 지정되었다⁽¹⁾.

† 교신저자; 정회원, 유노빅스이엔씨(주) 기술연구소
E-mail : phdr007@naver.com

Tel : (02)556-8466, Fax : (02)556-8460

* 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과

2000년 까지의 흥인지문의 모습은 일제 강점기 때 도시계획이라는 명분하에 훼손된 이후, 1990년대 까지 지속적인 여러 차례의 보수, 복원 공사에 의해 복원된 모습이다. 이후 지반 변형이 진행된다는 이유로 2001년 구조안전진단을 실시하였고 당시 내용이 부적절하다 판단되어 기초 구조를 일부 해체하여 지내력 등에 관한 조사를 보강하였다. 결과는 1호선 및 4호선 공사 시 실시한 차수벽이 제 기능을 못하는 것으로 조사되었으며, 4호선 공사 시 조사된 지하수위 보다 현재 수위가 낮아져 지반 내 공극화 현상이 발생할 수 있다는 가능성을 가지는 것으로 조사되었다. 이에 지반보강 및 일부 복원을 위해 2003년에 서북웅성 해체공사가 실시되었고, 2005년부터 2007년까지 추가해체 및 복원이 완료되었다⁽²⁾.

이 논문은 문화재 공사시 해당 문화재의 보존에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 영향 요인들 중에서

Table 1 Existing vibration criteria for historic and sensitive structures⁽⁴⁾

Reference	Maximum peak velocity(mm/s)	Vibration source type	Type and condition of structure	Comments
Rudder	2.5	Traffic	All	Threshold of structural damage
Esteves	2.5	Blasting	Special care and historical monuments	Loose and soft soils and rubble mixtures
	5			Medium to hard soils, uniform and well-graded sand
	10			Hard soils and rock
Whiffin and Leonard	5	Traffic	Normal House	Threshold of architectural damage
Ashley	8	Blasting	Ancient and historic monuments	
	13		Housing in poor repair	
Esrig and ciancia	13	Blasting and impact pile driving	Historic buildings in poor condition	Approximately 30 ft of soil cover over bedrock
Chae	13	Blasting	Old residential structures in very poor condition	Scaled distance criterion : 50 (ft/ $\sqrt{lb}$)
	25		Relatively old residential structures in poor condition	Scaled distance criterion : 30 (ft/ $\sqrt{lb}$)
Siskind, et al.	13	Blasting	Older residences, plaster on wood lath construction for interior walls	Frequency less than 40 Hz
	50			Frequency greater than 40 Hz

진동이라는 한 가지 영향요인의 관점만으로 분석하였다. 특히 지반보강을 위한 굴착공사 전 실시될 C.I.P(cast in place pile) 공사로 발생할 수 있는 진동의 영향을 평가하기 위해, C.I.P 시험 시공시 문루, 육축, 웅성 등에서 진동을 측정하여 분석 및 검토하였다.

여기서, 문루(門樓, the upper story of a castle gate)는 궁문, 성문, 지방관청의 바깥문 등의 위에 지은 건물을 의미하며, 성문을 축조하기 위하여 무사석 등 큰 돌로 축조한 성벽을 육축(陸築, the wall for a castle gate), 성문의 앞을 가리어 빙둘러 축조한 성문을 방어하기 위한 성을 웅성(甕城, the retaining-wall fortress)이라 한다⁽¹⁾.

2. 문화재 관련 규정

2.1 문화재보호법⁽³⁾

국가지정문화재의 현상을 변경하는 행위 또는 보존에 영향을 미칠 우려가 있는 행위에 대해서는 문화재보호법 제35조에 의해 문화재청장의 허가를 받아야 한다.

문화재보호법 시행규칙 제15조에 따르면 현상을 변경하는 행위는 국가지정문화재를 수리, 정비, 복구, 보존처리 또는 철거하는 행위(제1항 제1호), 소음·진동 등을 유발하는 행위가 포함된다(제1항 제3호).

보존에 영향을 미칠 우려가 있는 행위는 역사문화환경 보존지역에서 해당 국가지정문화재의 보존에 영향을 줄 수 있는 소음·진동 등을 유발하는 행위를 말한다(제2항 제1호).

문화재의 보존과 관리에 영향을 미치지 아니하고, 문화재의 역사문화환경을 훼손하지 아니할 경우에는 현상변경을 신청하여 허가를 받아야 한다(문화재보호법 제36조, 시행령 제22조, 시행규칙 제16조).

따라서 홍인지문의 서북웅성 해체공사는 현상변경 허가신청 대상이며, 특히 C.I.P 공사를 위한 공법은 진동의 영향이 없는 공법이 선정되어야 한다.

2.2 문화재 진동기준

진동에 의한 구조물, 특히 문화재의 구조 손상 발생 가능성을 평가하기 위한 기준 자료는 Table 1~3과 같다. Table 1은 외국의 연구자들이 제안한 교통 및 발파 등의 건설 진동에 대한 역사적 건물

Table 2 Structural vibration in buildings(effects on structures) - German, DIN 4150 Part 3, 1986⁽⁴⁾

Type of structure	Frequency range	Maximum peak velocity(mm/s)	Vibration type	Comments
Structure of their particular sensitivity to vibration and of great intrinsic value (e.g. building that are under a preservation order)	Less than 10 Hz	3	All	At foundation, short-term vibration
	10 to 50 Hz	3 to 8		
	50 to 100 Hz	8 to 10		

Table 3 Swiss Standard for vibration in buildings - SN 640 312a, 1992⁽⁴⁾

Type of structure	Frequency	Maximum peak velocity(mm/s)			Vibration type
		Less than 30 Hz	30 to 60 Hz	60 to 90 Hz	
Building class IV : construction very sensitive to vibration (objects of historical interest)	Sometimes	7.5	10	15	All
	Frequently	3	4	6	
	Continuous	1.5	2	3	

의 진동 기준을 정리한 것⁽⁴⁾이며, Tables 2, 3은 각각 독일, 스위스의 기준이다. 독일의 DIN기준이 근현대 및 역사적 구조물에 폭넓게 적용되고 있으며, 스위스 기준은 역사적 구조물에 대해서 가장 엄격한 기준이다.

국내 현실에 맞게 연구되어 만들어진 기준은 없으며, 실무에서 적용되는 관련 기준은 독일의 DIN 기준을 바탕으로 만들어진 것이며, 문화재에 대해서는 스위스 기준이 일부 적용되고 있다.

이 논문에서는 대상물의 중요성을 감안하여 스위스의 연속진동 기준으로 평가하였다.

3. 연구 방법

3.1 공사 개요

지반보강공사의 공정은 C.I.P 공사, L.W 공사, 가시설 공사, J.S.P 공사 등으로 구성되어 있다. 특히 C.I.P 공사의 천공 공정 중에는 진동이 크게 발생될 수 있다. 이에 공사 승인 조건 사항 중에는 천공시 무진동 무소음 공법을 사용 조건이 포함되어 있다.

일반적으로 C.I.P 공사는 Fig. 1과 같이 어스오거(earth auger)를 사용하여 일정 깊이까지 굴착(㉠, ㉡)하고 그 속에 motar를 타설하면서 오거를 인발한 후(㉢), 여기에 철근망 또는 H형강 등을 삽입(㉣)하여 말뚝을 연속적으로 축조하여 흙막이벽을 조성하는 공법으로 시공이 된다.

따라서 이 현장에서의 천공 작업시에는 건설장비에 트리콘 비트(tricone bits)를 설치하여 천공을 실시

Fig. 1 The construction procedure for the c.i.p method

하였고, 엄지말뚝은 마무리 향타없이 설치하였다. 트리콘 비트란 비트의 끝이 기어모양의 3조의 잇날로 되어있고, 드릴의 압력과 회전력에 의해 3조의 잇날이 각각 회전하여 굴진하는 비트를 의미한다. 천공시 air hammer가 많이 사용되고 있으나, air hammer를 사용하지 못할 경우에는 트리콘 비트를 많이 쓰고 있다. 또한 토공용 트리콘 비트는 주로 현장 주변의 민원 제기(소음과 진동 등으로) 등으로 시공상 어려움이 있을 때, 소음·진동 등을 저감시키기 위해 사용된다.

3.2 측정 방법

현장조사시 서북용성 석축은 해체된 상태였으며, 석축 복원을 위한 지반보강 공사를 진행하기 전에 현장에 적용 예정된 무진동 무소음 천공 공법의 진동 발생 수준 및 홍인지문에 대한 진동 영향성을 평가하기 위하여 C.I.P 시험시공을 실시하였다.

Fig. 2는 시험시공시 위치를, Figs. 3~5는 각 진동

Fig. 2 In-situ test location

Fig. 5 Arrangements of sensors in Moon-Ru

Fig. 3 The whole view of site and the tricone bits used in this test

Fig. 4 Site plan and arrangements of sensors

측정지점을 나타낸 것이다. 공사시 발생하는 지반 진동이 문루 및 옹성 상부로 전달되는 수준을 파악 하기 위하여, 문루 측에는 3대(blastmate III), 옹성 측에는 2대(minimate plus)의 진동측정장비로 위치 이동하며 측정하였다.

이 측정에 사용된 측정장비인 blastmate III와 minimate plus는 진동속도센서를 사용하고 본체에 데이터를 저장할 수 있다. 센서는 발생 진동원에 대하여 서로 직교하는 3축 방향성분(longitudinal : 종수평성분, vertical : 수직 성분, transverse : 횡수평 성분)의 진동을 측정할 수 있고, 최대입자속도(peak particle velocity), 피크치의 진동수, 최대가속도 및 변위와 함께 측방향 성분 및 벡터합 진동속도를 출력한다. 측정값은 모니터상에 나타나거나 프린트 할 수 있고 속도계의 감지 가능한 진동레벨 범위는 0.126~254 mm/s이다. 센서 1개가 개별 본체에 연결되어 휴대가 간편하나 다수의 장비를 사용시 개별 작동이 되므로 데이터 간의 동시성을 유지할 수 없다. 그러나 trigger cable을 별도로 사용하여 장비들을 연결하면 기존 장비에서 발생하는 trigger 신호에 의해 동시 작동된다.

진동센서 설치 위치는 Figs. 3~5에서와 같이 육축 인접지반(①), 육축 상부면에 해당하는 문루 1층 바닥(②), 문루 2층 하인방(③), 문루 2층 평방(④) 및 옹성 인접지반(⑤, ⑦), 옹성 상부(⑥) 등 이다. 이때 측정 장비 간 데이터의 동시성을 유지하기 위하여 트리거 케이블(trigger cable)을 연결하였으며, 지면

의 장비를 기준으로 동시 측정될 수 있도록 하였다.

지면의 센서는 지면에 단단히 고정될 수 있도록 센서에 세 개의 고정핀(ground spike)을 부착 후, 지면에 작은 구덩이를 파서 고정핀이 완전히 박히도록 설치하였으며, 주위 지면과 확실히 연결되도록 되메기 후 단단히 다졌다.

용성이나 육축, 문루에 설치되는 센서는 측정대상이 문화재인 관계로 손상을 주면 안되고, 먼지가 많아서 다소 큰 센서는 접촉 등의 방법으로는 부착이 불가능하여, 센서를 최대한 평평한 면 위에 놓고 무거운 추를 센서 위 올려 가급적 구조물과 같이 움직일 수 있도록 하였다.

또한 시험시공시 발생하는 진동에 의하여 홍인지문 육축부 석재 맞댄 면의 이격으로부터 파생된 단위 석재간 벌어진 폭의 동적 변화를 측정하기 위하여 위치 ⑧, ⑨ 등 2개소에 변위게이지(displacement transducers)를 설치하였다. 이 위치에는 장기간의 벌어진 폭의 변화 양상을 상시 모니터링하기 위한 변위게이지가 설치되어 있어 이전 측정자료들과 비교 분석할 수 있다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 진동 전달 특성 추정

홍인지문의 고유진동수 및 감쇠비는 참고문헌(5)~(7)에서의 측정값을 Tables 4, 5와 같이 참조하였다. 문루의 1차 고유진동수의 경우에 x방향(강축) 1.5 Hz, y방향(약축) 1.1 Hz로 나타났다. 용성은 x방향 4.8 Hz, y방향 5.5 Hz로 나타났다.

Table 4 The 1st natural frequencies⁽⁵⁾

Item	Natural freq.(Hz)		Damping ratio(%)	
	X	Y	X	Y
Moon-Ru	1.5	1.1	1.9	2.2
Ong-Seong	4.8	5.5	2.1	6.4

Table 5 Natural frequencies of Moon-Ru^(6,7)

Order of mode	Natural freq.(Hz)		Damping ratio(%)	
	X	Y	X	Y
1	1.5	1.1	3.2	2.2
2	-	1.3	-	2.2
3	-	4.2	-	0.8

식 (1)은 공진시 응답에 대한 시간상수(τ)로 단위는 시간(sec.)이다. 만약 구조물에 영향을 주는 강제진동 성분의 지속시간이 5τ 보다 크다면 연속진동, 작다면 과도진동으로 간주될 수 있다⁽⁹⁾. Tables 4, 5를 이용하여 계산한 홍인지문 문루의 x, y방향별 시간상수는 각각 약 6, 7초이고, 당 현장의 C.I.P 공사 진동은 1회 발생시 최소 10분 이상 1시간 이내로 지속되므로 해당 진동을 연속진동으로 간주하여 평가기준을 적용할 수 있다.

$$\tau = 1/(2\pi\xi f_n) \quad (\text{sec.}) \quad (1)$$

여기서, f_n 는 고유진동수, ξ 는 감쇠비를 의미한다.

지반으로 전달되는 공사진동을 단일 주파수의 정현파로 가정하고 홍인지문을 1자유도계의 단순계로 가정할 경우, 동적증폭배율(DMF) 곡선⁽¹⁰⁾을 Tables 4, 5의 감쇠비를 적용하여 강제진동수에 대하여 그리면 Fig. 6과 같다.

$$DMF = \frac{1}{\sqrt{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2}} \quad (2)$$

여기서, β 는 진동수비(=강제진동수/고유진동수)를 의미한다.

Fig. 6에서 알 수 있듯이 강제진동수가 고유진동수와 일치할 경우에는 동적증폭배율의 최대값이 30으로 매우 큰 값이 될 수 있다. 따라서 DMF값이 0.1 이하가 될 수 있는 지배적 진동수(dominant frequency) 범위를 나타내는 공법을 선정하거나 거의 무진동에 가까운 공법을 선정하는 것이 바람직하다.

문헌조사 결과, C.I.P 공사시 사용되는 오거(auger) 장비의 지반천공 작업시 발생하는 지반진동의 지배적 진동수 성분은 지층의 구성 및 상태, 진동

Fig. 6 Dynamic magnification factor curves

측정거리에 따라 다를 수 있으나 8 Hz 이상의 범위에서 주로 나타나는 것으로 파악되었다⁽¹¹⁾. 그리고 이는 Figs. 10, 11의 위치 ①에서의 데이터의 진동수 성분에서도 확인할 수 있다.

따라서 트리콘 비트를 사용함으로써 진동 발생수준도 줄어들 뿐만 아니라, DMF의 값이 1미만으로 예측되어 인접 구조물 상부로 전달되는 수준도 줄어들 것으로 예측된다.

4.2 배경진동 측정 및 분석

Fig. 7은 C.I.P 시험시공시 발생하는 진동을 대상 진동이라 할 경우, 배경진동으로서 홍인지문 및 성곽 주변의 지하를 통과하는 지하철과 인접도로의 차량 운행시 발생하는 진동을 측정된 결과를 나타낸 것이다. Fig. 8(a), (b)는 위치 ①에서의 배경진동의 시간영역 진동 신호 예시이다. 그래프에서 PVS는 식 (3)과 같이 각 측정지점에서의 최대 벡터합 진동속도를 나타내고, X, Y, Z는 PVS의 각 성분, 즉 횡수평(transverse, X)성분, 종수평(longitudinal, Y), 수직(vertical, Z)성분에 대한 진동속도 값을 나타낸다.

$$V_{PVS} = \sqrt{v_{x,peak}^2 + v_{y,peak}^2 + v_{z,peak}^2} \quad (3)$$

여기서, $v_{direction,peak}$ 는 방향별 최대 진동속도값(mm/s), V_{PVS} 는 X, Y, Z방향의 최대 벡터합 진동속도 값을 의미한다.

진동 측정결과, 육축 인접지반(위치 ①)은 0.14~2.24 mm/s, 문루 1층(위치 ②)은 0.13~0.45 mm/s, 문루 2층(위치 ③)은 0.11~0.24 mm/s의 수준이었다. 웅성 인접지반(위치 ⑦)은 0.24~0.63 mm/s, 웅성 상

Fig. 7 The status of background vibration levels

부(위치 ⑥)는 0.15~0.72 mm/s로 나타났다. 이는 스위스의 연속진동 기준 1.5 mm/s의 42 % 수준이다.

4.3 현장 C.I.P 시험시공 진동 측정 및 분석

C.I.P 시험시공은 매립토층~풍화암층 구간 천공(A단계), 풍화암층~연암층 구간 천공(B단계), 케이싱 관입(C단계), 케이싱 관입 후 천공 및 파일 삽입(D단계)의 순서로 진행되었으며, 단계별로 진동이 측정되었다.

Fig. 8(c), (d)는 위치 ①에서의 공사진동의 시간영역 진동 신호 예시이며, Fig. 9는 작업 순서별 발생진동의 최대값의 변화 양상을 나타낸다. 육축 인접지반(위치 ①)에서의 진동 수준은 시공 단계별로 큰 차이가 나지만 A, B단계에서는 스위스 기준을

(a) X-dir.

(b) Y-dir.

(c) X-dir.

(d) Y-dir.

Fig. 8 Vibrational signals in time domain

109~269 % 초과하고 있다. 일반적으로 건설공사 중 현장진동 계측관리시 진동 측정위치를 관리대상물의 인접 지반으로 선정함을 고려한다면 시험시공된 공법의 공사는 실시될 수 없다. 그러나 육축 등의 상부에서의 진동 수준은 1 mm/s 미만으로 수준으로 전달 과정에서 감쇠됨을 알 수 있다. 이는 앞서 예상 DMF값에 의해 예측한 양상과 동일한 것이다.

이러한 현상이 발생하는 주요 요인을 파악하기 위해 가장 문제가 되는 A단계에 전달되는 진동의 주파수 특성을 파악하였다. 측정횟수는 11회이다. 각 데이터에 hanning window를 적용하여 주파수 분석 후에 식 (4)와 같이 선형평균(linear average)을 하여 평균화된 양상부를 구하였다.

$$\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i(\omega) \quad (4)$$

여기서, $S_i(\omega)$ 는 i 번째 양상부의 주파수 분석 결과의 크기값이며, n 은 해당 데이터에서의 양상부 개수이다.

Figs. 10, 11은 위치 ①에서의 배경진동인 도로교 통 및 지하철 진동의 주파수 성분과 위치별 공사진동의 평균화된 주파수 성분 곡선을 X, Y방향별로 그린 것이다. 위치 ①의 지반에서의 주파수 특성을 보면 X, Y방향 모두 10 Hz 이상에서 지배적 성분이 나타났으나, 위치 ②, ④로 갈수록 해당 성분들의 크기가 대폭 줄어들을 알 수 있다. 그리고 지반으로부터의 입력 진동보다 진폭이 더 커지는 공진현상이 위치 ④의 X방향은 1.5Hz 부근, Y방향은 1.1~1.3 Hz,

Fig. 10 FFT results ('A' period, X dir.)

Fig. 11 FFT results ('A' period, Y dir.)

Fig. 12 Fluctuation of the gap between stones before the field test

Fig. 9 Vibration levels at each work stage

Table 6 The gap at each work stage(unit: μm)

Stage	Location ⑧			Location ⑨		
	Max.	Min.	Diff.	Max.	Min.	Diff.
A	3.81	-1.44	5.25	3.92	-5.39	9.31
B	8.07	-0.25	8.32	5.39	-0.19	5.58
C	5.53	-0.85	6.38	1.44	-11.81	13.25
D	1.82	-0.54	2.36	1.28	-1.51	2.79

4.2 Hz 부근에서 나타나고 있다(Tables 4, 5 참조). 그러나 이들 공진 성분들은 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 해당 주파수의 입력 진폭이 매우 작아 시간영역 상에서의 세 방향 벡터합의 전체적인 진폭 크기에는 크게 영향을 주지 못함을 알 수 있다.

4.4 석재 벌어짐 폭 변화 특성 분석

현장조사시 홍인지문에는 단위 석재간 벌어짐 폭의 변화량을 측정하기 위한 측정 시스템이 구축되어 있었다. 이 측정 시스템은 평상시에는 매일 2시간 간격을 두고 단위 석재의 정적인 상태를 측정하나, 시험시공시에는 10분 간격으로 측정하였다. 그리고 CIP 시험시공시에는 시공시 발생될 진동에 의한 벌어짐 폭의 동적인 변화량을 측정할 수 있도록 기존 측정 위치의 인접부에 동적 변위 게이지를 추가 설치하였다. 이때 측정장비는 1초에 30개의 변위 데이터가 측정되도록 설정하였다.

Table 6은 CIP 시험시공시 천공 단계에 따른 육축의 단위 석재간 폭 변화량을 측정한 결과로서 location ⑧은 최대 8.32 μm , location ⑨는 최대 13.25 μm 의 변화를 나타내었다. 이는 홍인지문 장기 계측 시스템의 2006년 8월 측정결과의 일일 최대 변화량을 나타내는 Fig. 9와 비교하였을 때 일상적 수준의 변화량임을 알 수 있다.

5. 결 론

이 논문은 문화재 공사시 해당 문화재의 보존에 영향을 줄 수 있는 여러 가지 영향 요인들 중에서 진동이라는 한 가지 영향요인의 관점만으로 분석하였다. 특히 지반보강을 위한 굴착공사 전 실시될 C.I.P 공사시 발생될 수 있는 진동수준을 평가하기 위해 분석, C.I.P 시험 시공시 문루, 육축, 웅성 등에서 진동을 측정하여 분석 및 검토하였다.

육축 인접지반(위치 ①)에서의 진동 수준은 시공 단계별로 큰 차이가 나지만 A, B단계에서는 스위스 기준을 109~269 % 초과하고 있다. 일반적으로 건설공사 중 현장진동 계측관리시 진동 측정위치를 관리대상물의 인접 지반으로 선정함을 고려한다면 시험시공된 공법의 공사는 실시될 수 없다. 그러나 육축 등의 상부에서의 진동 수준은 1 mm/s 미만으로 수준으로 전달 과정에서 충분히 감쇠됨을 알 수

있다. 이는 지반진동의 탁월 주파수 성분에서의 DMF값이 작아짐으로 인한 현상임을 확인하였다. 또한 육축의 단위 석재간 폭 변화량이 시험시공 시에도 일상적 수준의 변화량을 나타냄으로서 실제로 구조물에 미치는 영향이 미미함을 확인하였다.

이 연구사례와 마찬가지로 건축 문화재의 고유진동수를 조사하여 데이터베이스로 구축한다면, 진동 발생 상황에서 해당 진동이 대상물에 유해한 정도를 사전 또는 초기에 좀 더 정밀하게 파악하고 대처할 수 있을 것이다. 이는 보존 대상물의 효율적 관리뿐만 아니라 건설공사와 같이 진동을 유발시키는 공정을 진행해야 할 경우에 저진동 또는 무진동 공법을 선택함으로써 발생될 수 있는 추가비용을 절감시키는 경제적 효과도 얻을 수 있다.

후 기

이 연구는 문화재청 국립문화재연구소의 지원을 받아 2011년 문화유산융복합연구(R&D)사업(과제교유번호 : NRICH-1107-B14F)의 일환으로 이루어졌으며, 이에 감사드린다.

참 고 문 헌

- (1) Cultural Heritage Administration of Korea, <http://www.cha.go.kr>.
- (2) Jongno-gu Office and SAMBU Construction Co., Ltd., 2007, Report on Repair Works of Seoul Heunginjimun.
- (3) Ministry of Government Legislation, <http://www.moleg.go.kr>.
- (4) Konon, W. and Schuring, J. R., 1985, Vibration Criteria for Historic Buildings, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 111, No. 3, pp.208~215.
- (5) National Research Institute of Cultural Heritage, 2005, A Study on Assessments of Structural Capacity for Wooden Cultural Heritage, pp.121~124.
- (6) Choi, J.-S., Lee, S.-K., Min, K.-W., Yoon, W.-K. and Kim, D.-M., 2010, Investigation on Vibration Characteristics and Structural Reciprocity of

Heunginjinmun, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 4, pp. 338~347.

(7) Park, S.-A., Min, K.-W. and Choi, J.-S., 2011, Ambient Vibration Analysis of Heunginjinmun, Journal of The Architectural Institute of Korea: Structure & Construction, Vol. 27, No. 5, pp. 19~26.

(8) Hong, B.-K., Park, B.-C., Lee, J.-H., Kim, H.-W., Jang, K.-S. and Yoon, J.-W., 2009, A Study on the Dynamic Characteristics and Design Parameter of Wooden Structure, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 840~841.

(9) International Organization for Standardization, 1990, Mechanical Vibration and Shock – Vibration of Buildings – Guidelines for the Measurement of Vibrations and Evaluation of Their Effects on Buildings(ISO 4866:1990(E)), p. 2.

(10) Kim, D.-K., 2009, Dynamics of Structures, Chap. 2, Gu-mi Seo-Kwan Publisher, Korea, pp. 102~103.

(11) Korea Institute of Construction Safety Technology, 2006, Assessment Report of Noise and Vibration by Pile Driving for Gunsan Halla Vivaldi APT Construction Work.