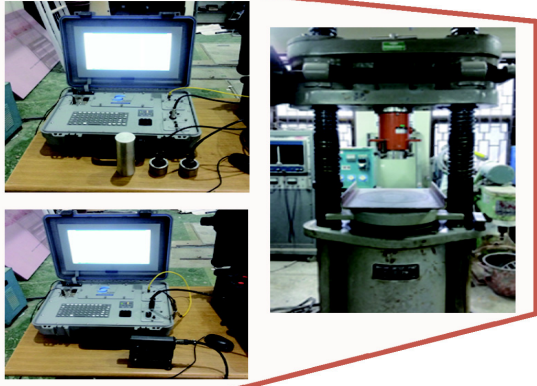


비파괴검사법을 이용한 황토콘크리트 품질관리 플랫폼

Quality Management Platform of Ocher Concrete using Nondestructive Tests



1. 머리말

최근 새집증후군에 대한 문제점으로 인하여 호흡기 및 피부질환 등 여러 문제점들이 발생하고 있음에 따라 친환경 건축재료가 대두되고 있다. 그 중 황토콘크리트는 구조재, 바닥재, 마감재 등 여러 부분에 사용되고 있지만, 유지관리 및 안정성의 확보가 중요한 과제로 떠오르고 있음에도 황토콘크리트의 품질관리에 관한 기법 연구가 미비한 상태이다. 건설재료로서의 콘크리트는 내구성능이 우수하고 반영구적이며 일반적인 환경 하에서 약 70년-100년의 수명을 가지는 것으로 보고되고 있으며, 건축 및 토목 구조물에 널리 사용되고 있다. 근래에 콘크리트 구조물이 구조적인 요인 이외의 염해, 중성화, 동결융해, 알칼리 골재 반응 등의 열화로 인하여 내구수명을 다하지 못하는 경우가 빈번히 발생하고 있다. 이러한 기존 건축물의 건전성을 파괴하지 않고 측정하기 위해 비파괴검사법이 적용되고 있다. 또한 기존 건축물뿐만 아니라 신축건축물의 구조 안전성 확인 및 기존 건축물의 리모델링 작업 시 내구성 측정을 위하여 비파괴검사법이 적용되고 있다.

비파괴검사란 대상이 되는 구조물을 파괴시키지 않고 그 건전성, 성능, 결함의 전재상태 등을 조사하기 위한 결함 검출기법을 말하며 적절한 비파괴 검사를 각각의 목적에 맞게 적용함으로써 건전성을 확인하고, 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 이러한 비파괴 검사를 신축건물에서는 경화된 콘크리트가 필요로 하는 설계 강도를 얻었는지, 기존 건물에서는 구조물진단을 통하여 수명평가·결함에 대한 적절한 보수체계를 채택, 리모델링 건물에서는 건축물의 부재의 건전성 평가 등에 적용할 수 있다. 또한 공사감리 시 타설된 부재의 두께가 도면과 일치하는지 비파괴검사를 통하여 평가할 수 있으며, 도면이 소실된 건축물의 경우 비파괴 검사를 통하여 부재두께를 측정함으로써 도면을 작성할 수 있다.

최근 사회적으로 환경문제가 대두됨에 따라 건축에서도 친환경을 주제로 하는 다양한 연구가 진행되고 있으며, 특히 친환경적인 재료를 사용한 친환경콘크리트에 대한 연구를 활발하게 진행되고 있다. 황토는 사회적 요구에 부합하는 친환경재료로 인식되어 건축에서는 콘크리트 혼화재료로 사용되며 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 황토콘크리트의 수요가 증가함에 따라 이미 현장에서 활발하게 시공이 진행되거나 이미 완료되어 사용 중인 반면에 황토콘크리트의 품질관리기법 관련 연구가 미비하여 품질관리에 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 응력파기반 비파괴검사법인 충격반향기법과 초음파속도법을 이용하여 황토콘크리



홍 성 옥

한밭대학교 건축공학과 연구교수



김 승 훈

한밭대학교 건축공학과 교수



김 성 엽

한밭대학교 건축공학과 학사과정

트의 압축강도 추정 및 포장두께 추정 실험 및 검증을 통하여 품질관리기법을 제시하고 자바스크립트를 이용하여 사용자 중심의 품질관리가 가능한 플랫폼을 구현하고자 한다. 자바스크립트 언어는 스크립트 언어 중 하나로 표현이 다양하며 비전문가들도 쉽게 사용할 수 있어서 웹 환경에서 클라이언트 사이드 프로그래밍 언어로 많이 쓰이고 있다. 특히 웹앱(Web App), RIA(Rich Internet Application)의 등장으로 인해 웹 환경에서 자바스크립트의 비중이 크게 증가하면서 자바스크립트 엔진의 수행 성능이 중요한 이슈가 되고 있다.

2. 문헌 고찰

2.1 기존 연구

비파괴검사법을 이용한 콘크리트 구조물의 품질관리기술에 관한 연구는 기존에도 진행되어 왔다. 슬래브 형태의 구조물에 충격반향기법의 적용 시 주파수영역 해석의 문제점 보완을 위한 연구(Kim, N., 2004), 충격반향기법을 통한 콘크리트 두께 추정에 관한 연구(Lee et al., 2014), 비파괴 검사법을 순환골재 고강도 콘크리트와 목재에 적용하여 품질을 평가하는 연구 등이 진행되고 있다(Cho et al., 2013; Hong et al., 2014). 그리고 콘크리트 부재에 비파괴검사법을 적용하여 내부 철근의 위치 추정, 슬래브 두께 추정 및 기둥 두께 추정 등의 관한 연구가 진행되었다. 비파괴검사법을 이용한 품질관리기법은 꾸준히 진행되어 왔으나 황토콘크리트에 적용된 사례가 미비하여 본 연구에서 황토콘크리트의 수요가 증가하는 시기에 맞추어 황토콘크리트의 품질관리기법을 제시하기 위하여 응력파기반 비파괴검사법을 황토콘크리트에 적용하고자 한다.

2.2 응력파기반 비파괴검사법

2.2.1 응력파의 종류 및 특성

매질을 따라 전파하는 응력파는 매질 내부를 따라 전파하는 체적파(P파, S파)와 매질 표면을 따라 전파하는 표면파로 나눌 수 있다. 이러한 파의 구별은 파의 전파 속도와 파가 전파되는 매질 입자의 거동 특성에 의해 구별된다. P파는 매질의 전단 변형없이 체적 변형만을 일으키며 매질 입자의 운동 방향은 파의 전파 방향과 같다. 측방향 변위가 구속되어 있는 경우 P파의 속도 V_p 는 매질의 탄성계수와 밀도에 의해서 다음 식 (1)과 같이 결정된다.

$$V_p = \sqrt{\frac{M}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

M : Constrained Modulus, E : Young's Modulus,
 ρ : Density, ν : Poisson's Ratio

만약, 측방향 변위가 허용되는 봉(bar)과 같은 형태의 매질을 따라 전파하는 경우, 다음 식에 의하여 P파 속도, V_C 를 식 (2)와 같이 결정할 수 있다.

$$V_C = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

S파는 P파와 달리 매질의 체적변형 없이 전단 변형만을 일으키며, 매질 입자의 운동 방향은 파의 전파 방향과 수직을 이룬다. S파의 속도 V_S 는 식 (3)과 같이 매질의 전단탄성계수 값과 밀도에 의해서 결정된다.

$$V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (3)$$

Shear Modulus : $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$

두 식을 비교하면, P파와 S파의 상대속도는 시험 대상 재료의 포아송비(ν)에 따라 다르다. 예를 들어 일반적으로 콘크리트의 포아송비를 0.2로 가정하면 S파의 속도는 P파 속도의 약 61%가 된다.

2.2.2 충격반향기법

충격반향기법은 탄성 충격에 의해 생성된 일시적인 응력파의 사용을 기반으로 한다. 표면에 기계적 충격을 가하면 구형의 파면을 가지고 실험체 내부로 전파되는 체적파(P, S파)와 실린더 형태의 파면을 가지고 실험체 표면을 따라 전파되는 표면파(R파)가 발생한다. 이때 체적파는 균열, 공동과 같은 불연속체나 이질 매질층간의 경계면을 만나면 반사되어 응력파가 발생한 표면으로 돌아온다. 균열, 공동과 같은 매질내의 불연속체나 이질 매질층간의 경계면에서 반사된 P파에 의한 표면변위가 S파에 의한 표면변위 보다 훨씬 크기 때문에 표면에서 감지되는 파형은 반사된 P파에 의한 파형으로 볼 수 있다.

충격반향기법을 이용해 매질내의 결함이나, 경계면의 위치를 파악 가능하고 실험체의 치수를 알고 있을 경우 콘크

리트의 불량도 추정가능하다. 또한 P파의 전파속도를 알 경우, 반사파의 도달시간을 측정하여 실험체 내부의 연속면 위치를 파악할 수 있다. 일반적으로 시간영역(Time domain)의 데이터를 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform, FFT)을 통하여 주파수영역(Frequency domain)의 데이터로 변환하여 데이터를 해석하게 된다.

변화된 데이터에서 첫 번째 모드의 주파수가 최대공진주파수가 되어 주파수 영역 데이터에서 공진주파수를 찾는 것이 용이한 것을 알 수 있다. 슬래브 구조에 대한 반사경계면까지의 거리 : d , 압축파속도 : v_p , 공진주파수 : f 로 파속도와 공진주파수를 이용하여 슬래브 두께를 식 (4)와 같이 추정할 수 있다.

$$d = \frac{v_p}{2f} \quad (4)$$

2.2.3 초음파속도법

콘크리트의 초음파 속도법은 경화된 콘크리트 내부로 전달되는 초음파의 전달속도로 일반적으로 콘크리트의 일정 거리를 통과하는 발신자와 수신자 사이의 통과 시간으로부터 초음파 속도를 구하는 것이다. 콘크리트의 밀도가 불균질하고 불특정하기 때문에 초음파는 많은 요인의 영향을 받게 되므로 초음파만으로 콘크리트의 압축강도를 양호하게 추정하는 것은 곤란한 경우가 많다. 다만 주요 조건이 비슷한 경우는 초음파과 강도 사이에 일정한 상관성을 나타내고 있어 어느 정도의 강도추정은 가능하다. 따라서 본 시험은 취성재료의 시험에 가장 적합한 50~60kHz의 펄스를 사용하여 재료의 밀도, 탄성 정도, 균질성, 공극이나 공동의 유무, 화학적 손상 및 노후화에 의한 열화 및 탄산화 현상 등을 측정할 수 있으며 콘크리트 강도시험에 적용할 수 있다.

2.3 자바스크립트

자바스크립트란 Netscape사가 자바를 개발한 Sun Microsystems사와 공동으로 개발한 웹문서 작성을 위한 객체지향 스크립트 언어(Object Oriented Script Language)로, 클라이언트 사이드 스크립트 언어(Client-side Script Language)에 해당하며 특수한 목적이 아닌 이상 모든 웹 브라우저에 인터프리터가 내장되어 있다. HTML, CSS와 함께 웹을 구성하는 요소의 하나로, HTML이 웹 페이지의 기본 구조를 담당하고, CSS가 디자인을 담당한다면 자바스크립트는 클라

이언트 단에서 웹 페이지가 동작하는 것을 담당한다. 브라우저 내에 스크립트 엔진이 존재하는 자바스크립트는 자바 가상머신을 이용하는 자바와는 구동 방식에서 완전히 다른 차이가 존재한다. 더불어 둘의 거의 유일한 유사점인 객체지향 조차 자바는 클래스, 자바스크립트는 프로토타입을 쓰는 객체지향이므로 전혀 다르다. 문법이 자바와 비슷한 이유는 자바와 자바스크립트는 C-Family 언어이기 때문이다. 중괄호로 구분하는 블록, 세미콜론으로 줄이 끝남을 알리는 것, 변수 쓰는 법, 연산자 사용법 등 기초적인 문법이 C 문법과 유사한 부분이 많다. 자바스크립트와 HTML은 웹문서를 작성하기 위한 언어라는 비슷한 부분이 있지만, 자바스크립트는 웹페이지의 외형뿐만 아니라 각각의 이벤트에 대한 이벤트 핸들러를 사용하여 웹문서의 내부까지 작성할 수 있다. 또한 자바스크립트는 객체를 사용하여 사용자가 입력한 자료가 클라이언트에서 바로 처리될 수 있다. 자바스크립트는 웹에서의 광범위한 사용처에 비해서 개발자가 적은 편으로, 주 용도가 클라이언트 측에서 작동하는 언어이기 때문에 오픈소스가 되어버린다는 점이 문제이다. 하지만 복잡한 자바스크립트를 이용한 대규모 웹 서비스들이 경쟁력을 인정받고 있는 추세로 다시 주목받고 있다.

3. 실험

3.1 실험 계획

황토콘크리트를 주로 산책로나 인도 등 사람이나 자전거가 다니는 길에 포장되는 용도로 사용되므로 품질 관리 요소를 황토콘크리트의 압축강도와 포장두께로 선정하였다. 이에 비파괴검사법 중 하나인 초음파속도법을 이용하여 황토콘크리트의 압축강도를 추정하고 충격반향기법을 이용하여 황토콘크리트의 포장 두께를 추정하는 실험으로 계획하였다. 황토콘크리트의 설계강도를 21MPa로 설정하고 배합비는 Table 1과 같다.

Table 1 Mixture proportions

Mixture Strength [MPa]	Unit weight(kg/m ³)						
	W	C	S1	S2	G	FA	AE
21	168	308	689	172	918	34	2.06

S1: Sand, S2: Crushed fine aggregate, G: Coarse aggregate

황토콘크리트의 품질관리를 목적으로 비파괴검사법을 이용한 측정시간은 타설 후 16시간, 20시간, 24시간, 48시간, 72시간, 7일, 28일 후에 각각 초음파속도법을 통한 파속도 측정 및 만능인장시험기를 통한 압축강도측정을 실시하였으며, 충격반향기법을 이용한 두께 추정은 28일에 측정된 데이터를 기준으로 적용성을 평가하였다. 실험체는 압축강도 추정용 실험체와 두께 추정용 실험체 두 가지로 제작하였으며 압축강도 추정용 실험체는 표준양생(Standard curing)과 대기양생(Air curing)으로 분류하여 타설 후 양생 시간별로 5개, 두께 추정용 실험체는 변수를 100mm, 150mm, 180mm, 200mm로 분류하여 대기양생을 실시하였다.

3.2 실험 방법

3.2.1 압축강도

황토콘크리트 압축강도 추정용 실험체의 압축강도와 초음파속도의 상관관계를 파악하기 위해 Fig. 1 (a)의 만능시험기로 파괴실험으로 압축강도를 측정한다. 황토콘크리트의 압축강도는 KS F 2405에 준하여 실시하였다.

3.2.2 초음파속도법

황토콘크리트 압축강도 추정을 위해 비파괴검사법 중 초음파속도법을 사용하여 초음파속도를 측정하였다. 본 실험에 사용된 장비는 미국 Olson사의 Freedom Data PC에 가진원과 발진원의 Trascducers(54 kHz)를 UPV Cables(3 Pin MS to Phone Plug)에 연결하여 KS F 2731에 준하여 실시하였고, KS F 2731에 언급된 바와 같이 1회당 20번 측정한 값의 평균으로 3회 실시하였다.

3.2.3 충격반향기법

황토콘크리트 포장두께 추정을 위해 응력파기반 비파괴



(a) Compressive (b) UPV (c) Impact Echo

Fig. 1 Photos for compressive strength, ultrasonic pulse velocity method and impact echo method

검사법 중 하나인 충격반향기법을 사용하였다. 본 실험에 사용된 장비는 미국 Olson사의 Freedom Data PC에 충격가진장치를 연결하여 ASTM C1383-04에 준하여, 실험체의 임의 위치를 선정하여 6회 실시하였다.

3.3 실험 결과

3.3.1 압축강도시험을 통한 압축강도 측정

압축강도시험 결과는 Table 2와 같이 나타났으며, 재령에 따라 압축강도가 증가하였다. 재령 28일 강도가 약 18 MPa로 설계강도 21 MPa의 90% 수준까지 강도가 정상적으로 발현되었다.

Table 2 Results of compressive strength

Time [hours]	Curing	1 [MPa]	2 [MPa]	3 [MPa]	Average [MPa]
16	Air	2.62	2.62	2.37	2.54
20	Air	3.12	3.37	2.87	3.12
24	Air	3.62	3.99	3.37	3.66
48	Air	5.86	6.49	6.24	6.20
	Standard	7.49	8.36	7.99	7.95
72	Air	8.24	7.49	7.74	7.82
	Standard	8.36	10.23	7.74	8.78
168	Air	11.60	9.11	11.23	10.65
	Standard	11.11	12.48	11.48	11.69
672	Air	14.60	12.73	11.48	12.94
	Standard	18.97	16.22	17.97	17.72

Air : Air curing, Standard : Standard curing

Table 3 Results of ultrasonic pulse velocity method

Time [hours]	Curing	1 [m/sec]	2 [m/sec]	3 [m/sec]	Average [m/sec]
16	Air	2482.20	2416.10	2392.20	2430.17
20	Air	2322.65	2551.35	2758.25	2544.08
24	Air	2845.20	2503.50	2457.90	2602.20
48	Air	2999.15	3064.90	3068.30	3044.12
	Standard	3289.70	3175.05	3408.85	3291.20
72	Air	3381.10	3379.00	3540.25	3433.45
	Standard	3515.65	3871.85	3515.65	3624.27
168	Air	3690.90	3643.60	3677.15	3670.55
	Standard	3976.90	3953.80	3908.15	3946.28
672	Air	3552.55	3610.60	3590.80	3584.65
	Standard	3946.10	4025.50	4051.60	4007.73

3.3.2 초음파속도법을 이용한 파속도 측정

초음파속도 측정 결과는 Table 3과 같이 나타났으며, 재령에 따라 파속도가 현저히 증가하다 어느 지점을 도달한 순간부터 일정하게 유지되는 것을 알 수 있었다.

3.3.3 충격반향기법을 이용한 포장두께 추정

초음파속도법을 이용하여 취득한 황토콘크리트의 매질 속도를 기반으로 충격반향기법에 적용하여 포장두께를 추정하였다. 포장두께 변수는 100 mm, 150 mm, 180 mm, 200 mm로 계획하여 실험체를 제작하였다. Table 4와 Fig. 7에 나타난 바와 같이 재령 28일 기준으로 각 두께에 따른 평균 오차율은 6.3%로 비교적 정확한 추정이 가능함을 알 수 있었다. 재령 7일의 경우 평균 오차율은 9.4%, 재령 3일의 경우 평균 오차율은 9.5%, 재령 2일의 경우 평균 오차율은 12.8%로 재령 28일의 경우가 포장두께 추정의 정확도가 높음을 알 수 있었다.

3.3.4 황토콘크리트 압축강도 추정

황토콘크리트의 재령에 따른 압축강도와 초음파속도의 상관관계를 도출하여 압축강도 추정식을 식 (5)로 제안하였으며, 황토콘크리트의 압축강도와 초음파속도의 상관관계를 Fig. 8과 같이 나타내었다.

Table 4 Results of impact echo method

Ages [days]	Thickness [mm]	Thickness measurement [mm]							Error [%]
		1	2	3	4	5	6	Ave	
2	100	122	100	123	122	100	100	111.17	11.00
	150	154	146	154	154	146	145	149.83	0.10
	180	169	169	169	169	165	124	160.83	10.60
	200	170	129	129	170	129	118	140.83	29.60
3	100	103	104	104	103	106	102	103.67	3.54
	150	152	155	154	141	154	151	151.17	0.77
	180	163	163	162	163	162	121	155.67	13.52
	200	165	165	167	167	167	126	159.50	20.25
7	100	122	122	122	122	153	124	127.50	21.57
	150	179	165	130	171	166	171	163.67	8.35
	180	190	143	192	182	139	186	172.00	4.44
	200	193	193	196	193	193	193	193.50	3.25
28	100	120	106	120	124	109	106	114.17	12.41
	150	179	152	159	176	155	176	166.17	9.73
	180	176	172	174	174	174	181	175.17	2.69
	200	194	203	209	203	194	203	201.00	0.50

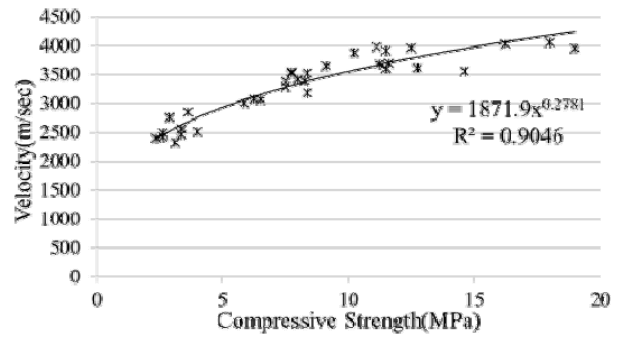


Fig. 2 Estimation equation of compressive strength

$$y = 1871.9x^{0.2781} \quad (R^2 = 0.9046) \quad (5)$$

4. 플랫폼 구현

4.1 소스 코드

플랫폼은 자바스크립트 언어를 기반으로 구현하였으며, 사용자가 필요로 하는 항목에 대한 데이터를 입력하면 함수의 계산식을 통하여 결과 값을 도출한다. 플랫폼 내에 구성되어 있는 함수는 실험 결과를 토대로 Fig. 3과 같이 구성되었다.

```
function processing4(){
    var Vd = Number(document.getElementById('Vd').value);

    var cValue = 102 * (Vd) - 117;
    var pValue = 10;

    if(pValue == 0){
        alert('수식 분모값 0');
        return ;
    }

    var value = cValue / pValue;

    var dddd = document.getElementById('value4');
    dddd.value = (value);
}

function processing5(){
    var Vd2 = Number(document.getElementById('Vd2').value);

    var cValue = 102 * ((Vd2)*0.5) - 117;
    var pValue = 10;

    if(pValue == 0){
        alert('수식 분모값 0');
        return ;
    }

    var value = cValue / pValue;

    var dddd = document.getElementById('value5');
    dddd.value = (value);
}
```

Fig. 3 Source code of function process



Fig. 4 Quality Management Platform of Ocher Concrete

4.2 플랫폼

황토콘크리트 품질관리 플랫폼은 Fig. 4와 같이 구현하였으며, 사용자 중심의 품질관리가 가능하도록 플랫폼의 기본 정보를 제공하는 내용을 포함하였다. 또한, 플랫폼에 적용된 충격반향기법 및 초음파속도법의 원리와 이를 이용한 품질관리방법에 대한 내용, 비파괴검사법 적용실험을 토대로 구성한 5가지 연산함수 관련 정보를 포함하고 있다. 이에 사용자는 플랫폼에서 필요로 하는 정보를 입력함으로써 황토콘크리트 품질관리를 위한 자료를 취득할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서 황토콘크리트의 품질관리를 위하여 응력파 기반 비파괴검사법 중 하나인 초음파속도법과 충격반향기법을 이용하여 황토콘크리트의 압축강도 및 포장두께 추정 실험 및 검증을 통하여 사용자 중심의 품질관리가 가능한 플랫폼을 구현하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 황토콘크리트의 압축강도와 초음파속도의 상관관계를 분석하여 압축강도 추정식을 제안하였으며, 이를 바탕으로 황토콘크리트의 품질관리기법으로의 유용함을 확인하였다.
- 2) 충격반향기법을 이용하여 황토콘크리트 실험체의 실험두께와 추정두께의 오차율 분석을 통하여 포장두께 추정

적용성을 확인하였다. 초기 재령 2일에서의 오차율은 12.8%, 재령 28일의 경우 6.3%로 재령이 증가함에 따라 포장두께 추정도가 정확하여 재령 28일을 기준으로 품질관리를 하던 것으로 판단된다.

3) 응력파기반 비파괴검사법 중 초음파속도법과 충격반향기법을 이용하여 황토콘크리트의 현장 품질관리 용이성을 확인하였으며, 또한 취득한 데이터를 바탕으로 자바스크립트와 연계해서 사용자 중심의 황토콘크리트 품질관리 시스템 플랫폼을 구현하여, 플랫폼으로 사용자 중심의 데이터를 취득할 수 있는 가능성을 확인하였다.

References

1. Kim, N. (2004), Time-Frequency Analysis for Impact-Echo Method, Ph.M. dissertation, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Department of Civil & Environmental Engineering.
2. M. Sansalone, W. B. Streett. (1997), Impact echo method : nondestructive evaluation of concrete and masonry, New York, Bullbrier Press.
3. Y. Lin, M. Sansalone, N. J. Carino. (1991), Impact echo response of concrete shaft, Geotech. test. J., 14(2), 121-137
4. Lee, Y.T., Hong, S.U., Na, J.H. (2014), Estimation of Slab Depth, Column Size and Rebar Location of Concrete Specimen using Impact Echo Method, Magazine of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, KSMI, 18(1), 37-41.
5. Y. K. S. (2013), Mechanical Characteristics of Blended Cement Concrete Using Ultrasonic Velocity Tests, Ph. M. dissertation, Seokyeong University, Department of Urban & Environmental System Engineering.
6. Y.S. Cho, S.K. Baek, Y.T Lee, S.H. Kim, J.H. Park, Hong, S.U. (2013), Estimation of Compressive Strength of High-Strength Concrete with Recycled Aggregate using Ultrasonic Pulse Velocity Method, Advanced Materials Research, 630, 226-229.
7. Hong, S.U., Park, J.H., Lee, Y.T., Kim S.H. (2014), Strength of Structural Timber using Ultrasonic Pulse Velocity Method, Journal of the Architectural Institute of Korea, AIK, 30(12), 21-29.
8. ASTM C1383-04. (2010), Standard test method for mea-

- asuring the P-wave speed and the thickness of concrete plates using the impact echo method, ASTM, west Conshohocken, PA, USA.
9. ASTM C597-09. (2009), Test method for pulse velocity through concrete, Developed by Subcommittee : C09·64, Book of Standards Volume : 04·02, ASTM, west Conshohocken, PA, USA.
 10. KS F 2731. (2013), Testing method for velocity of ultrasonic pulses to conclude compressive strength of concrete.
 11. Freedom Data PC with WinTFS (2012), Ver. 2.5.2, impact echo system reference manual, Wheat Ridge, CO, Olson Instrument, Inc.
 12. Namu.wiki|. (2015), JavaScript, <https://namu.wiki/w/JavaScript>
 13. Web Platform Technology Trends. (2011), Mobile Web Forum Technical Report, Mobile web forum 