



# 콘크리트 생애주기 품질관리를 위한 QR 코드 기반 강도 라벨링 기술

김태현<sup>1)</sup> · 김동진<sup>1)</sup> · 박승희<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>성균관대학교 u-city공학과 <sup>2)</sup>성균관대학교 사회환경시스템공학과

## QR Code-Based Strength Labeling Techniques for Concrete Life-Cycle Quality Maintenance

Tae-Heon Kim,<sup>1)</sup> Dong-Jin Kim,<sup>1)</sup> and Seunghee Park<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of u-City Design Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

<sup>2)</sup>Dept. of Civil & Environmental and Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

**ABSTRACT** In recent years, numerous mega-sized and complex civil infrastructures are being constructed all over the world. Therefore, more precise construction and maintenance technologies are required for these complicated construction projects. Especially, exact strength measurement and curing process monitoring of the concrete structures are very crucial to confirm the safety and effectiveness of these complicated structures. In this paper, a new Quick Response (QR) code-based concrete strength labeling technique using embedded self-sensing monitoring system is introduced. It is important to note that the QR code-based concrete labeling technique enables easy access of the databases related to the concrete strength at anytime, anywhere, and any smart PC devices. Finally, by integrating the proposed QR code-based concrete labeling with the concrete strength databases already prepared at a designated web-server, a feasibility of the current system is investigated for a next generation concrete life-cycle quality maintenance.

**Keywords :** embedded self-sensing, concrete strength, QR code, strength labeling, construction management

### 1. 서 론

최근 들어 우리나라는 물론 세계 각국마다 경제 산업 발전을 위한 사회기반시설의 확충으로 사회 공공 핵심 구조물이 늘어나고 있으며 건설의 규모는 계속 대형화·복잡화되고 있다. 특히 초고층 건물이나 초장대 교량 등의 대형 사회기반시설물과 플랜트 시설과 같은 대규모 구조물의 건설이 활발해지고 있는데, 이러한 대규모 구조물의 건설은 막대한 초기 건설 투자는 물론 건설 후 유지관리에도 큰 비용이 소요되고 있으며 또한 이들 대형 구조물 건설이 늘어남에 따라 기존의 콘크리트 구조물보다 압축강도를 높여 부재 단면을 축소하고 자중을 감소시키기 위해 낮은 W/C 비를 달성하여 콘크리트의 내구성 향상을 기대할 수 있는 고강도 콘크리트의 사용이 늘어나고 있다. 그와 발맞추어 설계 단계에서부터 콘크리트의 품질을 바람직하게 유지시키기 위하여, 고강도 콘크리트의 배합설계 프로그램을 제작하고 서버를 갖추어 해당 콘크리트에 대한 관련 데이터베이스를 공유하려

는 노력도 진행 중이다. 하지만, 시공 현장에서 서버에 저장된 데이터베이스에의 접근이 쉽지 않아 설계자 간의 이용에 그치고 있는 실정이다.<sup>1,2)</sup> 또한, 타설 단계에서는 효율적인 타설을 위하여 콘크리트 품질관리 및 거꾸집/동바리의 제거시기 결정에 활용하기 위한 자동화된 콘크리트 강도발현 모니터링이 필수적이며, 유지관리 단계에서도 고강도 콘크리트의 강도 및 내구성 평가를 통한 실시간 상시계측 모니터링을 통하여 이상 거동을 감지하고, 적절한 조치를 함으로써 시설물 붕괴를 사전에 방지할 필요성이 대두되었다.

실제 현장에서 콘크리트 강도를 측정하는 가장 확실한 방법은 반발 강도 테스트를 수행하거나 코어를 채취해 코어 테스트를 하는 것이다.<sup>3)</sup> 하지만, 이 방법들은 대상 콘크리트 구조물을 파괴해야만 하므로 사용 중이거나 양생 중인 구조물에 대해서 적용하기 어렵다. 이 단점을 해결하기 위해 콘크리트의 강도 발현 비파괴 평가를 위하여 온도, 음파, 전기 특성, 자성, 광학 특성, 방사선 촬영, 물성과 같은 여러 가지 특성들을 이용한 여러 가지 방법이 연구되었다.<sup>4,7)</sup> 이 평가 방법들은 수학적 모델링에 의해 제안된 이론적 공식뿐만 아니라 실제 실험을 수행하거나 경험에 근거한 식의 형태로도 제안되고 있는데, 고가의 장비가 필요하거나 제안된 공식 자체가 복잡하고

\*Corresponding author E-mail: shparkpc@skku.edu

Received March 22, 2011, Revised July 4, 2011,

Accepted July 21, 2011

©2011 by Korea Concrete Institute

또한 수동적인 계측을 할 수밖에 없어 현장에서 크게 활용되지 못하고 있었다.

이런 실정에서, 최근 IT 융합기술을 적용한 임베디드 자율 감지형 고강도 콘크리트 강도 발현 모니터링 기술이 개발되었는데,<sup>8)</sup> 기존 구조물 건전성 평가 방법으로 많이 연구되던 유도초음파 기법을 지능형 압전 센서를 이용하여 콘크리트 강도 발현 모니터링에 적용하였다. 유도초음파 기법은 유도초음파가 전달될 때 매질의 상태 변화에 따라 그 신호가 변화하는 특성을 이용하는 방법으로 그동안 주로 구조물의 균열이나 파손과 같은 손상 진단을 위한 방법으로 연구되어 왔다. 유도초음파 기법으로 콘크리트의 강도를 측정하기 위해 외부에서의 탐촉자를 사용하여 콘크리트의 강도를 측정하는 방법도 제시되었으나 외부에서의 가진 및 측정을 통한 강도 추정은 그 정확성이 떨어져 탐촉자를 콘크리트 내부에 매립하여 콘크리트의 강도 및 손상을 모니터링하는 연구가 진행되었다.<sup>9,10)</sup>

한편, 지금까지 바코드 기술은 간단한 제품 정보나 가격, 재고 관리 등에 이용할 수 있는 매우 간단한 정보를 표시하는 기술이었으나, 최근 각종 모바일 기기에서 2차원 코드를 직접적으로 인식할 수 있는 영상처리 기반 기술이 개발되어 보급 속도를 가속화시키고 있으며, RFID (radio frequency identification)에 비해 매우 경제적인 생산 가격은 교육과 관광, 지리정보 등의 다양한 분야에 활용이 시도되도록 하는 발판이 되었으며 현재는 유비쿼터스의 과도기적 기술로 인정받고 있다.

이 논문에서는 콘크리트 강도이력 모니터링 및 시공관리를 위한 배합설계 변수부터 강도이력 정보 등의 각종 콘크리트 품질정보를 데이터베이스화하고 QR(quick response) 코드를 제작하여 이를 통해 콘크리트의 정보를 얻을 수 있는 콘크리트 강도 라벨링 기술을 개발하여 언제 어디서나 실시간으로 콘크리트의 강도 이력 정보를 간편히 확인할 수 있는 유비쿼터스 건설 시공관리 기술을 제안하고 궁극적으로 일관성 있고 타당성 있는 효율적인 시공관리를 통한 콘크리트 생애주기 비용 절감을 꾀하고자 한다.

## 2. 임베디드 자율 감지형 콘크리트 강도 모니터링 기술

### 2.1 임베디드 자율 감지형 센서

콘크리트 양생 강도 발현 측정 시 초기 재령의 양생 강도 모니터링은 매우 중요한 요소이다. 하지만, 기존의 표면 부착형 압전소자를 사용한 양생 강도 추정법은 콘크리트의 표면이 경화되는 시간과 콘크리트 표면과 압전소자의 부착 시간 등의 이유로 최초 측정이 3 일차 양생이 지난 후부터 사용이 가능하였다.<sup>8-10)</sup> 이러한, 기존 연구의 단점을 해결하기 위해 콘크리트 배합물 내부에 직접적으로 압전 소자의 설치가 제안되었다.<sup>8)</sup>

Table 1과 같은 압전 소자를 신호 입력력을 위한 도선과 모듈화하고 외부 충격과 양생할 때의 변화나 내부 골

Table 1 Material specifications of PZT sensor

Size (mm)	20 × 20
Thickness (mm)	0.15
Piezo electric charge constant ( $d_{31}$ ) (m/V)	$-190 \times 10^{-12}$
Elastic modulus ( $Y^E$ ) (N/m <sup>2</sup> )	$6.6 \times 10^{10}$
Curie temperature (°C)	350
Capacitance (nF)	33

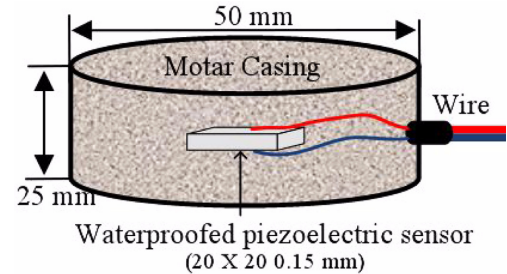


Fig. 1 Diagram of smart sensor

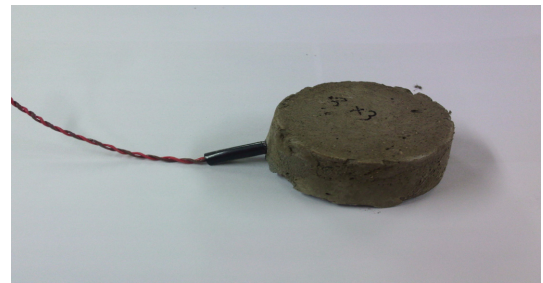


Fig. 2 Embedded smart sensor-prototype

재 등으로부터 보호를 위해 콘크리트와 가장 비슷한 성질을 지닌 모르타르로 케이싱을 하였으며, 양생되지 않은 콘크리트에 설치되는 특성상 센서 주변에서 내부로 유입되는 수분으로부터 압전소자를 보호하기 위해 방수 코팅을 실행하여 소정의 특성 저하 및 망실을 예방한 Fig. 1과 같은 구조의 콘크리트 내부에 삽입할 수 있는 지능형 센서를 제작하였으며, 그 실제 제작된 모습은 Fig. 2와 같다.<sup>8)</sup>

### 2.2 유도 초음파 기반 콘크리트 강도 모니터링 기법

콘크리트 강도 모니터링 기술의 기본 원리는 유도초음파로 물리적 변화를 추적하는 것인데, 매질의 물리적인 특성에 따라 음파의 전달 시간 및 그 크기가 달라지는 유도초음파의 특성을 이용하는데, 이는 구조물의 강도와 밀접한 관련이 있는 탄성계수가 양생 초기부터 빠르게 변화하기 때문이다.

이 연구에서는 Fig. 3과 같은 임베디드 자율 감지형 센서 및 계측 시스템을 적용하였다.<sup>11)</sup> 자율 감지형 계측 시스템은 임베디드 센서로 가진 신호(tone-burst 신호)를 입력하게 되면 구조물이 가진되고, 그 응답을 바로 임베디드 센서로 측정할 수 있다. 즉, 하나의 센서를 통해 가진

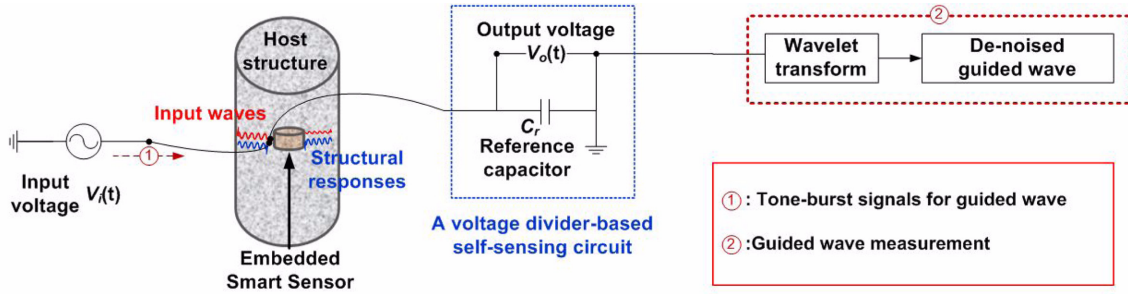


Fig. 3 Scheme of self-sensing based guided-wave measurement

과 검출을 동시에 함으로 사용되는 센서의 수량을 줄여 계측에 필요한 비용을 절감시키는 장점이 있어 현장 적용을 높일 수 있다.

측정되는 신호는 많은 잡음이 포함하게 되는데, 신호 대 잡음비의 개선을 위하여 신호 계측 후 대역통과필터를 이용하여 잡음을 제거하였다. 여기에 더욱 정확한 신호 분석을 위하여 웨이블릿 변환(wavelet transform)을 사용하였다.

$$Wf(u, s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \psi_{u,s}^*(t) dt \quad (1)$$

$$\psi_{u,s}^*(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-u}{s}\right)$$

연속 웨이블릿 변환 함수( $Wf(u,s)$ , 식 (1))는 하나의 mother wavelet( $\psi_{u,s}^*$ , 식 (2))을 위상( $u$ )과 진폭( $s$ )을 변화시켜 측정 신호와의 상관도를 도출하고 mother wavelet과 유사하지 않은 잡음은 제거한다.<sup>12)</sup>

해당 연구에서는 mother wavelet으로 식 (3)과 Fig. 4에서 나타낸 Morlet wavelet을 사용하였다.<sup>8)</sup>

$$x(t) = A \times \exp\left\{-\left(\frac{\omega t}{p}\right)^2 \frac{1}{2}\right\} \times \cos(\omega t) \quad (3)$$

여기서,  $A$ 는 진폭이며,  $\omega$ 는 주파수,  $p$ 는 첨두점의 개수이다.

하나의 센서로 가진과 계측을 하는 이 기법의 특성상 계측 초기의 반사파는 입력 신호가 유입되어 분리할 수 없으므로 입력 신호를 제외한 나머지 파형에서 중 첫 번

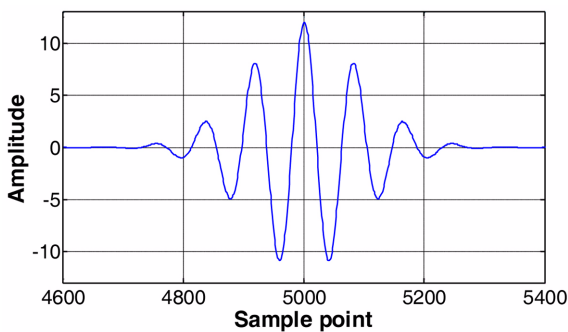


Fig. 4 Morlet wavelet signal

째 웨이브 그룹의 유도초음파 도착 시각을 기준으로 유도초음파 전달 시간(time of flight, TOF)을 Fig. 5와같이 측정하였다.<sup>8)</sup> 측정된 각각의 유도초음파 전달 신호는 시간이 지날수록 빨라지고 있으며, 2 일차의 신호는 28일의 신호에 비하여 약  $3 \mu s$  정도 전달 시간이 빨라졌다.

유도초음파의 전달 시간의 양상을 Fig. 5의 확대된 그래프를 통해 살펴보면, 모든 위치에서 초기 재령인 2일과 3일, 7일은 각각 약  $1 \mu s$ 의 매우 큰 변화를 보이고 있으며, 그 후 양생이 진행될수록 그 변화폭이 줄어들고 있으며, 유도초음파의 도달 시간은 점차 짧아지고 있다. 이 모습은 콘크리트의 양생할 때 이루어지는 강도 변화 추세와 매우 닮았다. 재령 초기에 콘크리트의 강도가 비약적으로 증가하며, 양생 약 7일 이후부터는 강도 발현이

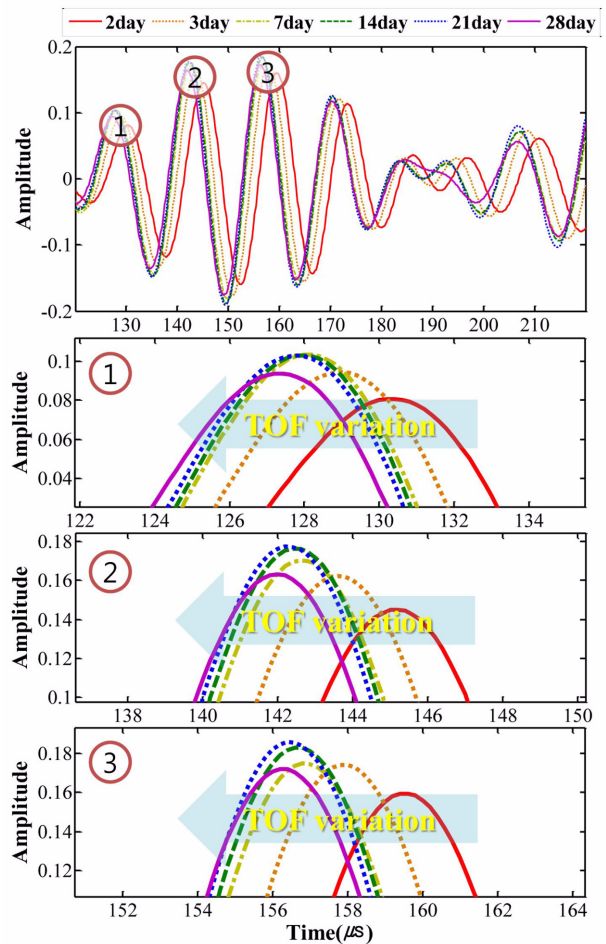


Fig. 5 Guided-wave variation according to the curing age

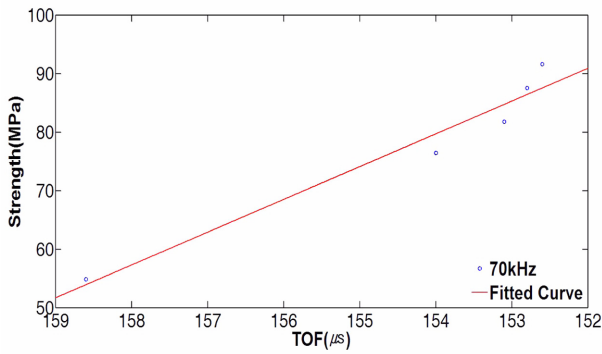


Fig. 6 Relationship between TOF and concrete strength

천천히 이루어진다. 즉, 양생이 진행됨에 따라 콘크리트의 강도가 증가하고, 그 증가량에 따라 유도초음파의 전달 시간이 감소한다고 가정할 수 있다.

이러한 가정을 토대로 각 양생 일자에 측정된 공시체들의 압축 강도와 유도초음파 도달 시간의 관계를 Fig. 6에 나타내었고, 콘크리트 강도와 유도초음파 도달 시간이 근소한 오차로 선형 상관관계를 띄고 있음을 알 수 있었다.<sup>8)</sup>

계산된 선형 상관관계를 기준으로 강도와 유도초음파 전달 시간과의 식 (3)을 추론하였다. 여기서  $S$ 는 콘크리트의 강도(MPa)이며,  $t_f$ 는 유도초음파의 전달시간( $\mu s$ )이다. 해당 식을 통하여 유도초음파의 전달 시간을 측정함으로써 직접적으로 콘크리트 공시체의 강도를 추정할 수 있다.<sup>8)</sup>

$$S = -5.6t_f + 942.1 \quad (3)$$

### 3. QR 코드를 활용한 콘크리트 강도 라벨링 기술 개발

#### 3.1 QR 코드의 제작

QR 코드는 D사가 개발한 2차원의 바코드의 일종으로 1994년 발표되었다. 기존의 1차원 코드(바코드)는 빠른 인식 속도와 정확성, 쉬운 조작성 등의 특징으로 널리 보급되어 왔다. 하지만, 정보량을 늘리기 위해서는 자릿수를 늘리거나 여러 바코드를 나열하는 등의 단순한 방법으로 표시면적의 제약에서 벗어날 수 없으므로 복잡한 독해작업을 수반하게 되고, 인쇄비용도 상승시키는 단점이 있다.

2차원 코드는 Fig. 7에서 보이듯이 가로, 세로 두 방향으로 정보를 가지고 있어, 기록할 수 있는 정보 밀도가 비약적으로 증가하게 되었으나 여전히 빠르게 인식할 수 있어 1차원 코드를 대체하는 기술로 떠오르게 되었고, 지난 2007년 10월에는 KS(한국산업규격, Korean Industrial Standard)로 제정되었다.<sup>13)</sup> 현재 2차원 바코드는 휴대전화나 스마트폰, 태블릿 PC 등의 휴대용 기기에서 영상처리 기법으로 인식이 가능해지며 인기를 얻기 시작하였으며, 곧 유비쿼터스 기술의 핵심 중 하나인 RFID 적용의 과도기적인 대안으로 선택되었다. 그 이유는 처리 구조가 RFID와 유사하고, 높은 저장성과 고속 해독력, 쉬운 압



Fig. 7 Comparison of QR code and barcode

호화, 오류 복원 기능 등의 다양한 장점을 가지고 있기 때문이다. 현재는 각종 기업에서 프로모션과 이벤트에 사용되고 있으며, 관광과 교육, 제조, 물류, 유통, 결제 등 다양한 분야에 여러모로 적용되고 있다.

Fig. 8은 이 연구에서 제작한 QR 코드 중 한 가지로, 연구를 위해 해당 콘크리트에 라벨링 하였다. QR 코드는 한번 작성되면 새로 작성하지 않는 한 내장된 데이터를 변경할 수 없기 때문에 이 코드에는 실험에 사용된 콘크리트 공시체의 기본적인 배합정보와 웹서버로의 접근을 위한 콘크리트의 고유번호가 들어 있다.

이 고유 번호를 통해 사용자들은 각자 소유한 휴대용 기기를 활용하면 별도의 추가 소프트웨어 없이 기 구축된 데이터베이스에 손쉽게 접근할 수 있다. 해당 코드는 한국산업규격을 따라 제작되어 휴대용 기기에서 제공되는 일반적인 프로그램으로 쉽게 읽을 수 있으며, 각 프로그램과 각 기기의 성능에 따라 해석 속도는 다를 수 있다.

#### 3.2 콘크리트 강도 이력 데이터베이스 구축

측정된 콘크리트의 배합정보와 강도 이력을 수집하여 공유와 등록 및 수정, 업데이트, 표준화, 보안성 등 관리와 사용의 편의성을 증대하기 위해 데이터베이스 운영 시스템(database management system)을 도입하였다. Fig. 9는 이 연구에서 설계한 데이터베이스의 E-R 다이어그램이다.

‘기본 데이터’ 테이블은 각 배합설계된 콘크리트의 기본 정보를 저장하기 위한 테이블로 설계한 압축강도와 콘크리트, 물 등의 데이터를 입력할 수 있다. ‘측정 데이터’ 테이블은 스마트 센서로 측정되는 실시간 정보를 저장하기 위한 테이블로 측정 일과 측정값 등을 기록할 수 있다. ‘측정 데이터’ 테이블과 ‘기본 데이터’ 테이블은 고유 번호로 상호참조 하도록 설계하여 지속적으로 발생하는 측정 데이터를 효율적이고 논리적으로 유지관리 할 수 있도록 하였으며, 각 테이블이 의미하는 내용은 Table 2에



Fig. 8 A QR code for the proposed system

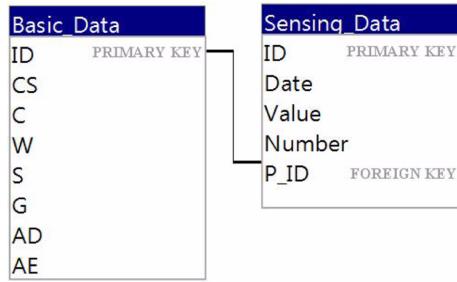


Fig. 9 Database structure of the proposed system

정리하였다.

강도측정 시스템은 측정된 값과 데이터베이스 프로그램의 통신은 ‘측정 데이터’ 테이블의 각 필드의 순서를 기준으로 탭(tab)을 구분자로 한 문자열 방식을 사용했다. 예컨대, 다음 텍스트의 의미를 보자면 “13 [←→] 01 [←→] 03”은 3번 시편의 1번 센서에서 측정된 강도의 값이 13 MPa이다. 이때, ID와 날짜는 데이터베이스 프로그램에서 자동으로 관리하기 때문에 입력할 필요가 없다.

### 3.3 QR 코드 기반 콘크리트 강도 라벨링 기술

이 시스템의 하드웨어는 Fig. 9와 같이 콘크리트의 정보를 측정하는 센서와 콘크리트 강도 측정(DAQ, data acquisition) 시스템과 각 콘크리트의 정보를 담은 데이터베이스, 데이터베이스를 사용자가 직접 접근할 수 있는 웹서버, 그리고 현장에서 더욱 쉽게 데이터를 얻을 수 있는 QR 코드로 구성된다.

Fig. 10은 이 논문에서 제안하는 시스템으로 콘크리트의 배합설계 시 QR 코드를 작성하게 되고, 콘크리트 타설과 함께 완성된 QR 코드를 콘크리트에 부착하는 한편, 스마트 센서를 매설하고 콘크리트 강도 모니터링 시스템을 설치하게 된다. 이때 강도 모니터링 시스템은 자율 감지형 유도초음파 기법을 주기적으로 측정하여 콘크리트의 강도

Table 2 Description of the database structure

Table name	Column name	Description
Basic data	ID	Identification number
	CS	Compressive strength
	C	Concrete
	W	Water
	S	Sand
	G	Gravel
	AD	Admixture
	AE	Air-entrained
Sensing data	ID	Identification number
	Date	Measuring date
	Value	Measuring value
	Number	Sensor number
	P_ID	Linked identification number of basic data

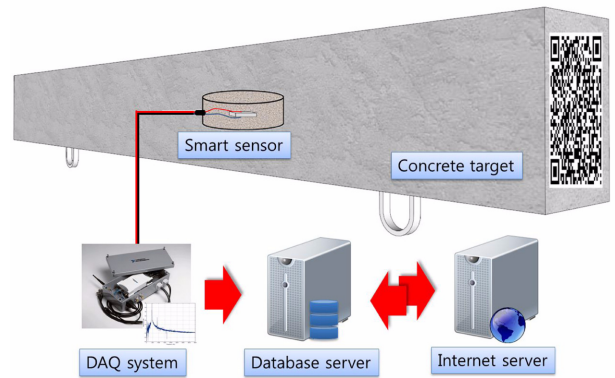
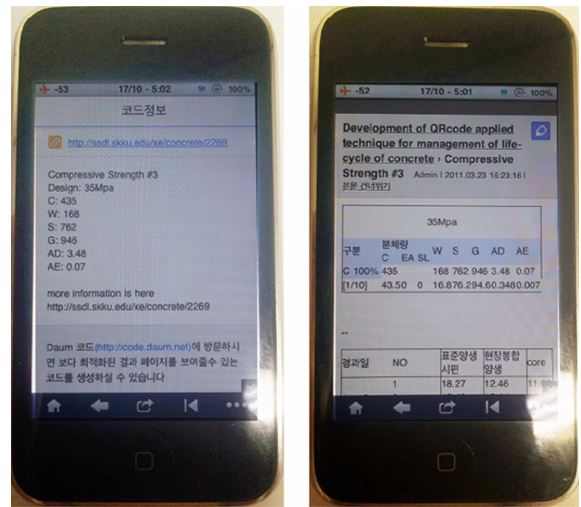


Fig. 10 Diagram for QR code-based concrete strength labelling technique



(a) A mobile device can get the simple information from the code

(b) More information is available at the web

Fig. 11 The information on QR code and integration to web pages

정보를 고유번호를 구분하여 데이터베이스로 저장한다.

콘크리트의 강도를 즉각적으로 확인하기 위해서 사용자는 휴대용 기기로 콘크리트에 라벨링 되어 있는 QR 코드를 통해 빠르게 정확하게 웹서버의 데이터베이스에 접근할 수 있게 한다. Fig. 11은 스마트폰을 이용하여 해당 코드를 인식한 모습이며, 한 번의 클릭으로 오른쪽 그

35Mpa							
구분	분체량	W	S	G	AD	AE	
C	100%	435	168	762	946	3.48	0.07
[1/10]	43.5	0	16.876	294.60	348.007		

경과일	NO	표준양생시편	현장양생시편	core
day_1	1	18.27	12.46	11.90
	2	15.48	12.44	11.26
	3	18.72	12.44	12.97
AVERAGE		17.49	12.45	12.08
day_3	1	22.56	17.00	17.06
	2	24.34	18.66	18.47
	3	21.73	18.30	18.75
AVERAGE		22.88	17.99	18.09
day_5	1	29.26	24.21	23.18
	2	28.10	25.99	23.12
	3	28.43	24.41	21.83
AVERAGE		28.60	24.87	22.71
day_7	1	34.79	26.65	24.63
	2	32.85	25.30	24.12
	3	32.16	27.29	24.28
AVERAGE		33.27	26.41	24.34

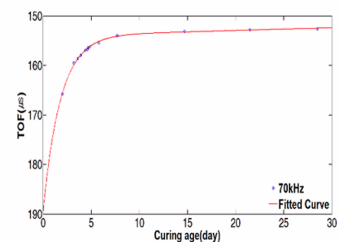


Fig. 12 The actual web page of the web server (http://ssdl.skku.edu/xs/concrete/)

림과 같이 강도 이력을 열람할 수 있다.

휴대용 기기를 이용하지 않고 PC로도 실제 운영 중인 웹서버(<http://ssdl.skku.edu/xe/concrete/>)에 접속하여 가능하며, PC는 물론 휴대용 기기에도 최적화된 페이지로 구성하였다. Fig. 12는 PC를 통해 얻어진 웹서버 페이지를 보여주고 있는데, 해당 콘크리트에서 임베디드 자율 감지형 센서를 통해 상시 계측되는 강도 이력 곡선을 포함한 콘크리트 품질관련 정보들을 살펴볼 수 있음이 확인된다.

#### 4. 결 론

이 논문에서는 QR 코드를 통해 간단히 콘크리트 생애주기 품질 유지관리를 위한 데이터베이스에 접근함으로써 콘크리트 강도 이력 정보를 언제 어디서나 실시간으로 확인할 수 있는 유비쿼터스 건설 시공관리기술을 제안하였다. 이때 모바일 기기 비롯한 다양한 기기에서 쉽게 접근 할 수 있도록 웹서버를 구축하였고, 모바일용과 PC용 웹 페이지를 각각 구성하였다. 또한, 강도 이력 정보를 논리적이고 안전하게 유지관리하기 위해 데이터베이스를 구축하였다. 이 기술은 응용 분야가 다양하며 사용 방법이 간편하기 때문에 건설 시공 현장에서 널리 사용될 것으로 예상하며, 추후 연구에서 시스템에 필요한 관련 DB를 추가로 구축하고, 사회기반시설물 주요 지점에 다양한 스마트 센서를 내장하여 콘크리트의 강도뿐만 아니라 탄소 배출과 중성화 등의 정보를 포함한 콘크리트 생애주기 품질 유지관리에 활용할 수 있도록 발전시킬 계획이다.

#### 감사의 글

이 논문은 국토해양부의 u-City 석·박사 과정 지원사업의 지원과 2010년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 원자력연구사업(2010-0025889)의 지원 및 2010년 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 연구과제(2010161010004J)지원을 받아 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 유승엽, 최동호, 이상래, 구자술, 강석화, “40~60 MPa급 고강도 콘크리트 배합설계 프로그램 개발,” 한국콘크리트학회 봄 학술대회 논문집, 20권, 1호, 2008, pp. 401~404.
2. 최재진, “콘크리트 배합설계 프로그램 개발 연구,” 한국산학기술학회 논문집, 1권, 1호, 2000, pp. 63~72.
3. Irie, H., Yoshida, Y., Sakurada, Y., and Ito, T., “Non-Destructive-Testing Methods for Concrete Structures,” *NTT Technical Review*, Vol. 6, No. 8, 2008, pp. 1~8.
4. Mehta, P. K. and Monterio, P. J. M., *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials 3rd ed.*, Mc Graw Hill Companies, New York, 2006, pp. 387~443.
5. ACI Committee 228, *In-Place Methods to Estimate Concrete Strength*, Report No. 228. 1R-03, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2003, pp. 1~35.
6. Tawie, R. and Lee, H. K., “Piezoelectric-Based Non-Destructive Monitoring of Hydration of Reinforced Concretes an Indicator of Bond Development at the Steel-Concrete Interface,” *Cement and Concrete Research*, Vol. 40, No. 12, 2010, pp. 1697~1703.
7. Lamond, J. F. and Pielert, J. H., *Significance of Tests and Properties of Concrete & Concrete-Making Materials*, ASTM International, New York, 2006, pp. 125~141.
8. 박승희, 김동진, 홍석인, 이창길, “콘크리트 양생 강도 모니터링을 위한 매립형 지능형 센서의 적용성 연구,” 콘크리트학회 논문집, 23권, 2호, 2011, pp. 219~224.
9. Song, G., Gu, H., and Mo, Y. L., “Smart Aggregates: Multi-Functional Sensors for Concrete Structures - A Tutorial and a Review,” *Smart Materials and Structures*, Vol. 17, No. 3, 2008, Art. No. 033001.
10. Gu, H., Song, G., Dhonde, H., Mo, Y. L., and Yan, S., “Concrete Early-Age Strength Monitoring Using Embedded Piezoelectric Transducers,” *Smart Materials and Structures*, Vol. 15, No. 6, 2006, pp. 1837~1845.
11. Lee, S. J., Sohn, H., and Hong, J. W., “Time Reversal Based Piezoelectric Transducer Self-Diagnosis under Varying Temperature,” *Journal of Nondestructive Evaluation*, Vol. 29, No. 4, 2010, pp. 75~91.
12. Park, H. W., Sohn, H., Law, K. H., and Farrar, C. R., “Time Reversal Active Sensing for Health Monitoring of a Composite Plate,” *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 302, Nos. 1-2, 2007, pp. 50~66.
13. <http://www.qrcode.com>.

**요 약** 국내외적으로 수주량이 증가하고 있는 대형 구조물의 건설 시 보다 정밀한 시공 및 유지관리 기술이 요구된다. 그 중 콘크리트의 강도는 대표적인 품질관리 변수 중 하나로, 정확한 강도 값의 측정 및 이력관리는 건설 프로세스에서의 공기단축을 통한 비용 절감 및 효율적인 시공관리를 위해 매우 중요한 요구 사항이다. 이에 이 논문에서는 유비쿼터스 시대에 적합한 건설시공기술로의 발전을 위해 최근 개발된 임베디드 자율 감지형 콘크리트 강도 모니터링 기술을 데이터베이스화하고 이를 QR(quick response)코드와 연동시키는 콘크리트 강도 라벨링 기술을 소개한다. 이를 통하여 콘크리트 구조물의 강도 이력 DB를 언제 어디서나 실시간으로 확인하고 이를 바탕으로 보다 정밀하고 경제적인 시공 및 유지관리할 수 있는 차세대 콘크리트 생애주기 품질관리 시스템으로의 실현 가능성에 대해 고찰해본다.

**핵심용어** : 임베디드 자율 감지, 콘크리트 강도, QR 코드, 강도 라벨링, 시공관리