

임베디드 자율감지형 모니터링을 이용하는 QR코드 기반 콘크리트 강도 라벨링 기술 개발

Development of a QR Code-based concrete strength labeling technique using embedded self-sensing monitoring

김 태 현* · 김 동 진** · 홍 석 인*** · 박 승 희****

Kim, Tae-heon · Kim, Dongjin · Hong, Seok-Inn · Park, Seunghee

요 약

국내외적으로 수주량이 증가하고 있는 대형 구조물의 건설 시 보다 정밀한 시공 및 유지관리 기술이 요구된다. 그 중 콘크리트의 강도는 대표적인 설계변수 중 하나로 정확한 강도 값의 측정 및 이력관리는 건설 프로세스에서의 비용절감과 효율적인 시공관리를 위해 매우 중요한 요구사항이다. 이에 본 논문에서는 최근 개발된 임베디드 자율감지형 콘크리트 강도 모니터링 기술을 유비쿼터스 시대에 적합한 건설 기술로의 향상을 위해 QR코드와 연동시킨 강도 라벨링을 개발하고 이를 통하여 콘크리트의 강도이력 DB를 언제 어디서나 실시간으로 확인 및 관리할 수 있는 콘크리트 Life-Cycle 품질관리 시스템을 제안한다.

keywords : 임베디드 자율감지, 콘크리트 강도, QR코드, 강도 라벨링, 시공관리

1. 서 론

최근 들어, 국내외적으로 초고층 건물이나 초장대 교량 등의 대형 사회기반시설물의 시공이 활발해지고 있다. 이러한 대형 사회기반시설물들은 건설 시 막대한 건설비용이 소요되고, 영향을 받는 변수가 많아서 보다 정밀한 시공 및 유지관리 기술이 요구된다. 하지만, 대표적인 배합설계 변수 중 하나인 콘크리트의 압축 강도는 그 측정 기술의 기술적인 한계로, 그동안 대략적인 값으로만 고려됐었다. 그러나 최근 임베디드 스마트 센서를 통한 자율감지형 센서가 개발됨(박승희, 2011)에 따라 이 같은 문제점을 극복할 방안이 대두된 실정이다. 한편, 바코드 기술은 지금까지 매우 간단한 정보를 표시하는 기술로 간단한 제품 정보나 가격, 재고 관리 등에 이용됐으나, 최근 2차원 코드의 등장으로 각종 모바일 기기에서 직접적으로 인식할 수 있는 기술로 개발되면서 교육과 관광, 지리정보 등의 여러 분야에 활용이 시도되며 유비쿼터스의 과도기적 기술로 인정받고 있다. 이에 본 논문에서는 콘크리트 강도이력 모니터링 및 시공관리를 위한 QR(Quick Response)코드 기반의 콘크리트 강도 라벨링 기술을 개발하여, 언제 어디서나 실시간으로 콘크리트의 강도 이력정보를 간편히 확인할 수 있는 유비쿼터스 건설 시공관리 기술을 제안하여 궁극적으로 일관성 있고 타당성 있는 효

* 학생회원 · 성균관대학교 u-city공학과 석사과정 tamasii@skku.edu

** 학생회원 · 성균관대학교 u-city공학과 석사과정 kd135@lycos.co.kr

*** 비회원 · 대우건설기술연구소 방재연구팀 차장 hongin@dwconst.co.kr

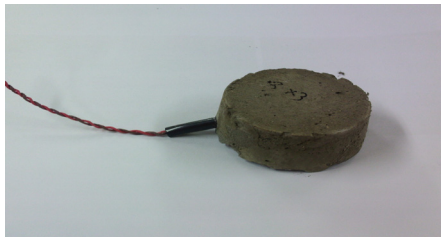
**** 종신회원 · 성균관대학교 사회환경시스템공학과 조교수 shparkpc@skku.edu

올직한 시공관리를 통한 콘크리트 생애주기 비용절감을 꾀하고자 한다.

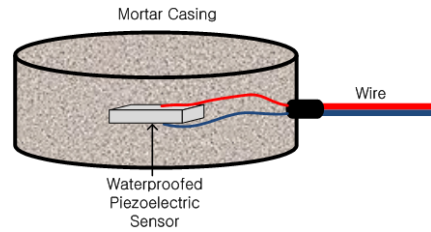
2. 임베디드 자율감지형 센서 콘크리트 강도 모니터링 기술

2.1. 임베디드 자율감지형 센서

시공 현장에서 콘크리트 양생 시 발현되는 강도를 모니터링하기 위한 방법으로 그동안 반발강도시험법이 나 코어채취시험법이 제시되어 왔으나 이들 방법을 이용하려면, 대상구조물을 파괴해야 정확한 강도를 측정할 수 있다는 단점이 있었다. 이에, 온도나 습도, 전기 특성, 자성, 광학 특성, 방사선 등의 비파괴 평가 방법을 이용한 방법들이 제시되었으나 고가의 장비를 필요로 하거나 복잡한 제안식을 이용해야 하므로, 현장적용에 있어 많은 제약이 뒤따랐다. 이러한 제약들을 극복하기 위해 최근 콘크리트 배합물 내부에 직접적으로 센서를 매립하여 자율적으로 콘크리트의 강도를 감지하는 기법이 제시되었다 (박승희, 2011). 임베디드 자율감지형 센서는 그림 1과 같이 압전 소자로 구성되며 외부의 충격과 양생시의 변형에 대응하기 위해 몰탈 케이싱을 하였으며, 수분으로부터 보호를 위해 방수 코팅이 되어 있다.



(a) 실제 사용된 자율감지형 센서 형태



(b) 자율감지형 센서 내부 구조

그림 1 임베디드 자율 감지형 센서의 형태와 구조

2.2. 콘크리트 강도 모니터링 기법과 양생 일자에 따른 유도초음파 신호 변화

콘크리트 강도 모니터링을 위해 재령 초기부터 빠르게 변화하는 매질의 물리적인 특성에 따라 음파의 전달 시간 및 그 크기가 달라지는 유도 초음파의 특성을 이용하였는데, 본 연구에서는 이를 위해 그림 2와 같은 임베디드 자율감지형 센서 및 계측 시스템을 적용하였다. 신호 계측 과정에서 신호 대 잡음비를 개선하기 위하여 대역통과필터를 이용하여 잡음을 제거하였으나 여전히 출력신호의 진폭이 미약하기 때문에 더욱 정확한 신호분석을 위하여 웨이블릿 변환을 사용하였다.

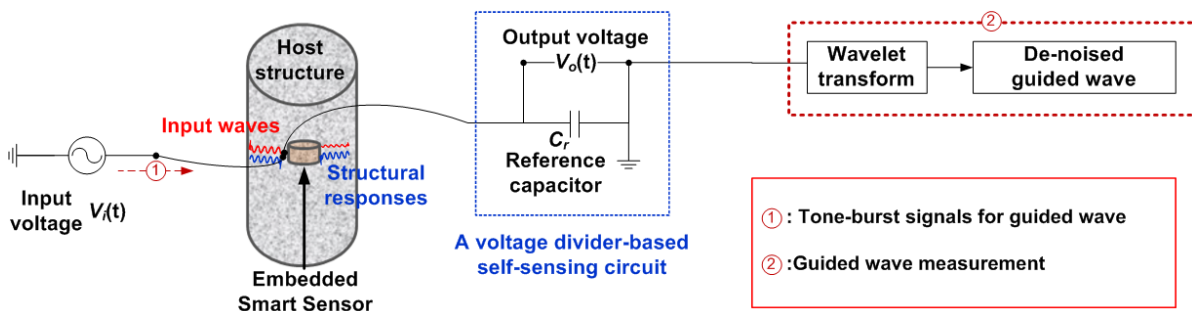


그림 2 자율감지형 센서기반 콘크리트 유도초음파 측정 기법

자율감지형 센서 기반 유도 초음파 측정기법의 특성상 초기 반사파는 입력신호에 가려져 측정이 어려우므로 입력 신호를 제외한 나머지 파형에서의 첫 번째 웨이브 그룹의 도달 속도를 유도초음파 전달 시간(TOF)으로 고려하여 그림 3과 같이 측정하였다. 각 양생일자에 측정된 유도 초음파 신호를 통해 양생이 진행됨에 따라 파의 전달 속도가 그림 4와같이 빨라지는 것을 볼 수 있다. 이는 양생이 진행됨에 따라 콘크리트 공시체의 강도가 증가하므로 그 증가량만큼 TOF가 감소한다고 볼 수 있다. 양생이 진행됨에 따라 TOF가 줄어들고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 초기 재령에서의 비약적인 강도 증가에 의해 유도 초음파의 전달 시간이 양생 시간에 따라 빨리 감소하기 때문이다. 또한, 양생 7일 이후부터는 강도 발현이 천천히 이루어지면서 유도초음파의 전달시간이 천천히 감소한다.

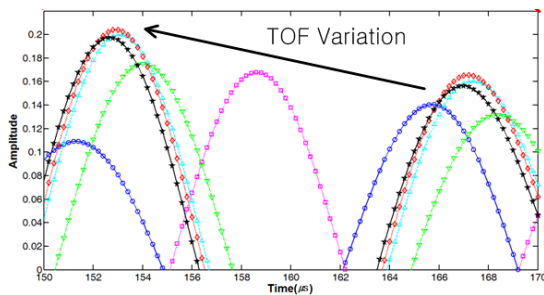


그림 3 재령에 따라 변화하는 유도초음파신호
(○:2일, □:3일, ▽:7일, △:14일, ◇:21일, ★:28일)

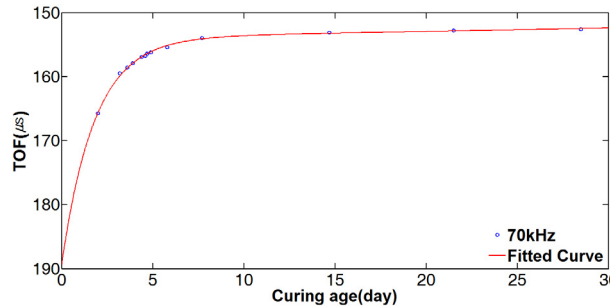


그림 4 재령에 따라 변화하는 TOF

3. QR코드를 활용한 콘크리트 강도 라벨링 개발

3.1. QR코드

QR코드는 2차원의 바코드의 일종으로 DENSO-WAVE社가 개발하여 1994년 발표하였다. 그림 5와 같이 기존 바코드는 빠른 인식속도와 정확성, 쉬운 조작성 등의 특징으로 널리 보급되어 왔다. 하지만, 2차원코드의 등장으로 가로, 세로 두 방향으로 정보를 가져 기록할 수 있는 정보 밀도가 증가하게 되었고, 정보량을 늘리기 위해서는 자릿수를 늘리거나 여러 바코드를 나열하는 등 표시면적의 제약에서 벗어날 수 없어 복잡한 독해작업을 수반하고, 인쇄비용도 상승시키는 1차원 코드의 문제를 해결하였다. 또한, 지난 2007년 10월 KS(한국산업규격)로 제정되어 산업 전반에 사용되고 있다. 현재 2차원 바코드는 유비쿼터스 기술의 핵심 중 하나인 RFID 적용의 과도기적인 대안으로 처리구조는 RFID와 유사하고, 높은 저장성과 고속 해독력, 쉬운 암호화 등의 장점을 가지고 있다.

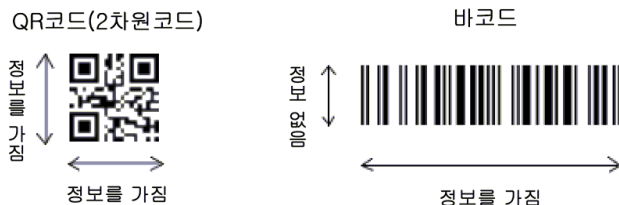


그림 5 바코드와 QR코드의 비교

Basic Data	Sensing Data
ID	ID
Page number	Sensing Date
Compressive Strength(Design)	Sensing Value
C	Sensor Number
W	Parent ID
S	
G	
AD	
AE	

그림 6 콘크리트 강도 라벨링 데이터베이스

3.2 QR코드 기반 콘크리트 강도 라벨링 개발

측정된 콘크리트의 강도를 더욱 쉽게 접근하기 위해 앞서 설명한 QR코드를 이용하였다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 각 콘크리트의 정보를 담은 데이터베이스와 데이터베이스를 사용자가 직접 접근할 수 있는 웹서버, 그리고 현장에서 보다 쉽게 데이터를 얻을 수 있는 QR코드로 구성된다. 콘크리트 타설과 함께 매설된 임베디드 자율감지형 센서기반 유도초음파 기법으로 측정된 콘크리트의 강도는 데이터베이스로 취합되고, 웹서버에서 이를 직접 확인할 수 있게 된다. 이때 사용자는 콘크리트의 라벨링 되어 있는 QR코드를 통해 게시된 웹서비스에 보다 빠르고 쉽게 접근할 수 있게 되는 것이다. 그림 6은 현재 연구를 목적으로 설계한 데이터베이스로 라벨링을 위한 콘크리트의 배합 데이터와 수집된 강도 이력 정보를 저장한다. 그림 7과 같이 본 연구에서 생성된 QR코드가 해당 콘크리트에서 라벨링되어, 사용자들은 스마트폰이나 태블릿PC를 활용하여 기 구축된 데이터베이스에 손쉽게 접근할 수 있다. 그림 8은 실제 운영 중인 웹서버로 접속하여 임베디드 자율감지형 센서를 통해 획득된 강도이력 정보를 보여주고 있다.



그림 7 제안된 QR코드 및 이를 활용한 제안 기술의 흐름도

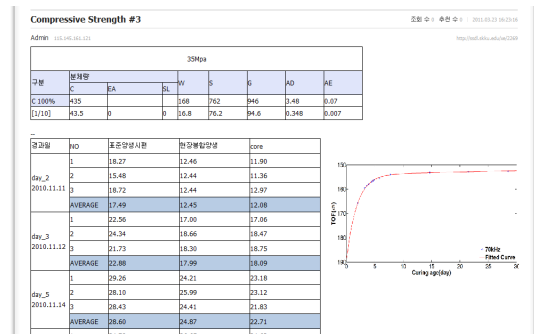


그림 8 제안 기술이 시현된 웹서버
<http://ssdl.skku.edu/xe/concrete/>

4. 결론

본 논문에서는 QR코드를 통해 간단히 콘크리트 생애주기 품질 유지관리를 위한 데이터베이스에 접근함으로써 콘크리트 강도 이력 정보를 언제 어디서나 실시간으로 확인할 수 있는 유비쿼터스 건설 시공관리기술을 제안하였다. 본 기술은 응용분야가 다양하며 사용방법이 간편하기 때문에 건설시공현장에서 널리 사용될 것으로 예상하며, 추후 연구에서 시스템에 필요한 관련 DB를 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

본 논문은 국토해양부의 u-City 석·박사 과정 지원사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

박승희, 김동진, 홍석인, 이창길 (2011) 콘크리트 양생 강도 모니터링을 위한 매립형 지능형 센서의 적용성 연구, 한국콘크리트학회 논문집 인쇄 중 (2011년 4월 게재예정).

<http://www.qrcode.com/>