

콘크리트 양생 품질관리를 위한 증강현실 기반 임베디드 센서 위치인식 및 데이터 시각화 기술

Augmented Reality(AR)-based Embedded Sensor Location Recognition and Data Visualization Technique for Concrete Curing Quality Management

박승희 Seunghee Park
성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수

1. 머리말

실제 건설현장에서 콘크리트 강도를 추정하는 가장 확실한 방법은 강도 테스트를 수행하거나 코어를 채취해 코어 테스트를 하는 것이다¹⁾. 하지만 이러한 방법은 대상 콘크리트 구조물을 파괴해야만 하므로 사용 중이거나 양생 중인 구조물에 대해서는 적용하기 힘들다. 이에, 기존의 단점을 극복하는 콘크리트 강도 발현 비파괴 평가를 위하여 다양한 연구들이 진행되고 있다. 본 연구에서는 향후 건설 분야가 도래하게 될 Ubiquitous 환경에 맞는 건설·IT 융합기술을 적용한 실시간 무구속 콘크리트 강도 발현 모니터링의 실현가능성 검토를 위하여 기존 구조물 건전성 평가 방법으로 많이 연구되던 압전센서를 콘크리트 내부에 임베디드 가능한 형태로 제작하여 유도 초음파 기반의 콘크리트 강도 발현에 모니터링 기법을 활용하고자 한다.

최근 들어 스마트폰 등의 모바일 디바이스가 보급화되면서 현실세계에 실시간으로 가상세계를 합쳐 하나의 영상으로 보여주는 증강현실이 다양한 분야에서 응용되고 있는데, 이러한 증강현실 기술을 콘크리트 양생 품질관리를 위한 임베디드 센서 위치인식 및 데이터 시각화 기술로 개발시켜 기존의 콘크리트 강도 비파괴 평가 기술들의 한계를 뛰어넘는 새로운 개념의 건설·IT 융합 시스템을 제안하고자 한다.

2. 임베디드 초음파 센서모듈을 사용하는 콘크리트 양생 강도 품질관리 기술

2.1 기존 콘크리트 강도 평가방법의 문제점 및 개선방안

지금까지 연구된 반발경도법, 초음파속도법, 적산온도법은 그 정확도가 낮아 단독으로 콘크리트의 강도추정의 기법으로 사용되기 힘들다. 또한 강도 추정 시 계측에 제한이 많으며, 실시간으로 강도 추정을 하기 어렵기 때문에 기존의 연구를 토대로 민감도가 높은 압전 센서를 사용하여 강도 추정의 정확성을 높이고 콘크리트 내부에 센서를 매립하여 계측의 오차를 줄이고자 한다. 또한 측정 장치의 무선모듈화 및 앞서 설명한 증강현실 응용기술의 접목을 통하여 실시간 무구속 콘크리트 양생 강도 모니터링 기술을 개발하고자 한다.

2.2 임베디드 자율 감지형 초음파 센서 모듈 시스템

임베디드 자율감지형 콘크리트 강도 모니터링 기술의 기본 원리는 매립형 센서에서 계측된 유도초음파로 물리적 변화를 추정하는 것이다. 매질의 물리적인 특성에 따라 음파의 전달시간이 달라지는 유도초음파의 특성을 이용할 수 있는데, 이는 콘크리트 강도와 밀접한 관련이 있는 탄성계수가 양생 초기부터 빠르게 변화하기 때문이다²⁾. 본 연구에서는 <그림 1>과 같은 임베디드 자율 감지형 센서 및 계측 시스템을 적용하였다. 자율 감지형 계측 시스템은 임베디드 센서로 가진 신호(tone-burst 신호)를 입력하게 되면 구조물이 가진되고, 그 응답을 일정거리만큼 떨어져 있는 센서로 측정할 수 있다. 측정신호에서 출력된 전압을 웨이블릿 혹은 힐버트 변환 등의 신호 처리를 통해 노이즈를 감소시켜 최종적으로 콘크리트 강도 특성을 직관적으로 보여줄 수 있는 유도 초음파 신호를 얻게 된다.

한편, 콘크리트 양생 품질관리를 위해 강도발현 측정 시 초기 재령의 양생강도 모니터링은 매우 중요한 요소이다. 그러나 콘크리트의 내부에서 강도를 측정하기 위해서 센서를 매립시켜야 하는데, 본 연구에서 사용하고 자 하는 PZT센서는 취성이 강해 콘크리트 내부에 바로 매립할 경우 쉽게 부서진다. 이러한 문제를 해결하기 위해 콘크리트 내부에 매립할 수 있도록 하는 연구들이 진행되어 왔다^{3,4)}.

본 연구에서 개발한 센서는 콘크리트의 강도를 측정하기 위한 유도초음파 신호의 계측을 보다 선명하게 하도록 전달 경로를 철판으로 국한시켜 길이 30×300 mm의 철판에 전선을 납땀시킨 30×30 mm PZT를 좌·우측 가장자리에 접착시킨 후 방수처리로 마무리하여 <그림 2>와 같이 제작하였다.

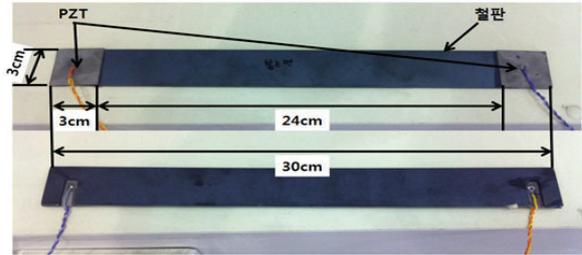


그림 2. 철판을 이용한 임베디드 압전 초음파 센서

2.3 유도초음파 기반 콘크리트 양생강도 모니터링 기술

Pitch-catch 기반 유도초음파 계측을 위하여 <사진 1>과 같은 콘크리트 실험체를 구성하였다. 임베디드 압전 초음파 센서를 정해진 위치에 놓여지도록 실험체에 매립하였으며, <사진 2>와 같이 콘크리트의 강도를 측정하기 위한 무선센서모듈을 제작하여 강도 모니터링 실험에 활용하였다. Pitch-catch 유도 초음파를 계측하여 콘크리트 양생 진행과정에서의 강도발현에 따른 유도 초음파의 변화를 살펴보았다. 비교대상을 만들기 위해 현장에서 동일조건으로 제조된 공시체를 1, 2, 3, 4, 7, 9, 11, 14, 23, 28일에 강도 시험을 실시하였다.

데이터 측정 결과 콘크리트의 양생이 진행되어 강도가 증가함에 따라 <그림 3>처럼 웨이브 패킷의 도달 시간인 TOF(time of flight)가 빨라짐을 알 수 있었다.

<그림 4>는 강도추정을 위하여 현장 봉합 양생 공시체를 1, 2, 3, 4, 7, 9, 11, 14, 23, 28일에 강도 실험한 결과 데이터 그래프이다. 실험체 계측 데이터를 통해 추출

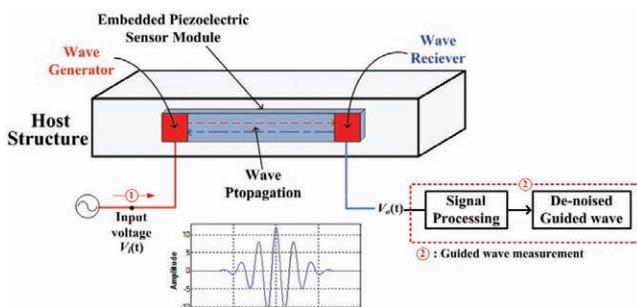


그림 1. Pitch-catch 기반의 유도초음파 계측법



사진 1. 시험체 모식도

사진 2. 데이터 계측 센서 모듈

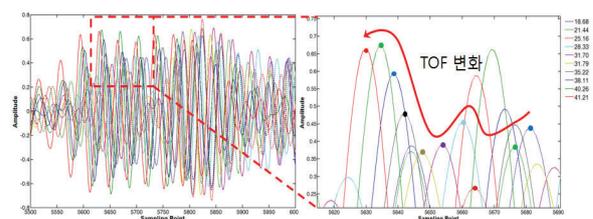


그림 3. Pitch-catch 기법을 이용한 유도초음파 계측 결과

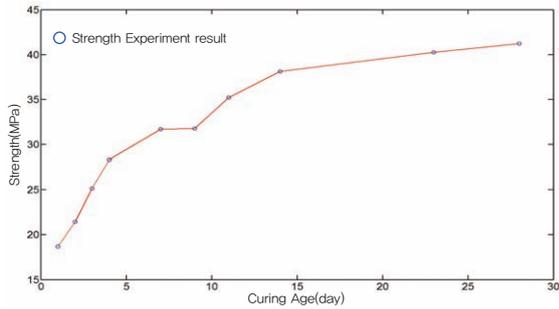


그림 4. 강도 시험 결과

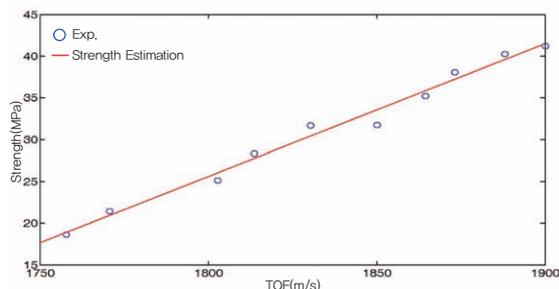


그림 5. 선형회귀 분석 결과

한 유도초음파 전파속도와 공시체의 압축강도 시험 데이터와의 관계를 선형 회귀분석하였는데, 그 결과는 <그림 5>와 같다. 콘크리트의 양생 강도가 점차 증가함에 따라 유도초음파의 전달시간(TOF)이 선형적으로 증가하였으며, 선형회귀분석을 통해 도출한 강도 추정식은 다음과 같이 얻어졌다.

$$S = 0.1589V_p - 260.4 \dots\dots\dots (1)$$

$$R^2 = 0.9856 \dots\dots\dots (2)$$

여기서, V_p 는 초음파의 전달 속도(m/s)이며, 이는 첫 번째 도달 웨이브 패키지의 TOF와 초음파 센서에서의 센서 간 거리(240 mm)로부터 구할 수 있다.

3. 증강현실(Augmented Reality, 이하 AR)기반 센서 위치인식 및 데이터 가시화

3.1 AR을 이용한 센서위치 인식 및 정보 시각화

AR은 사용자가 눈으로 보는 현실세계에 가상 물체를 겹쳐 보여주는 기술이다. AR 기술을 적용하기 위해서 지리, 위치 정보를 송수신하는 GPS 장치와 기율기 등을

측정하는 자이로 센서, 이 정보에 따른 상세 정보가 저장된 위치정보시스템, 그 상세 정보를 수신하여 현실 배경에 표시하는 AR 애플리케이션, 마지막으로 이를 디스플레이로 출력할 모바일 디바이스가 필요하다. 본 연구에서 활용되는 모바일 AR응용기술의 개념도가 <그림 6>에서 보이는데, 모바일 디바이스의 사용자로부터 위치 및 기율기 등의 GPS정보를 수신한 위치정보시스템은 해당 지역 또는 사물의 상세 정보를 자신의 데이터베이스에서 검색한 후 그 결과를 다시 모바일 디바이스로 전송한다. 이 데이터를 수신한 모바일 디바이스는 AR 애플리케이션을 통해 현 지도 정보와 매칭 시킨 후 실시간 화면으로 그 정보를 시각화해준다<그림 7>.

3.2 건설 분야에서의 AR 기술 응용 사례

건설 분야에서의 AR 기술 응용 사례는 국외에서는 건설 및 컴퓨터 그래픽스 분야 등에서 오래 전부터 연구가 되어 왔다. 하지만 국내의 건설 분야에서 AR연구가 그다지 활발하게 진행되고 있지 않지만, 최근 AR기술이 각광받으면서 국내외적으로 건설 분야에 증강현실을 이용한 연구가 활발하게 진행되고 있다.



그림 6. 모바일 증강현실 개념도



그림 7. 증강현실을 통한 위치 인식 및 정보 시각화

3.2.1 MARS(A Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environmen)

MARS는 콜롬비아 대학교에서 이루어진 프로젝트로 옥외공간에서 건물이나 기념비 같이 특정 오브젝트를 이용한 길 찾기 및 오브젝트의 정보를 제공받아 탐색할 수 있는 시스템에 대한 프로토타입 연구이다. 웨어러블 컴퓨터를 장착한 사용자의 위치가 GPS를 통해 인식된다. MARS는 캠퍼스 투어가이드 등의 교육용으로 활용될 수 있다. 또한 이 MARS의 응용 프로젝트로 Digital Design Mock-up이라는 연구도 진행되었는데, 일반적으로 사용되는 Design Mock-up과는 달리 AR 시스템을 이용하여 Mock-up이 실제 세계 영상과 함께 중첩되어 보이기 때문에 사용자는 건축될 건물이 주변 환경과 주변 건물과 어떠한 조화를 이루는지를 확인할 수 있게 된다. <그림 8>은 MARS의 Digital Design Mock-up 실현 화면을 캡처한 것이다.

3.2.2 Tinmith-Metro

South Australia 대학교의 Tinmith project팀에서 개발한 시스템으로, 건설 분야에서 AR 시스템을 응용해 실제 세계의 도시 및 실제 세계의 객체를 finger interface를 이용하여 가상의 3차원 모델로 변환해 준다.

여기서는 웨어러블 컴퓨터를 사용하여 손쉽게 실제 도시를 3차원 가상의 모델로 만들 수 있다는 것이 본 시스템의 특징이라 할 수 있다. <그림 9>은 시스템을 사용하고 있는 사용자와 finger interface, 그리고 이것을 이용하여 실제 도시의 객체를 복사한 3차원 가상 모델들을 나타낸다.

3.2.3 The Architectural Anatomy

The Architectural Anatomy 역시 콜롬비아 대학교에서 이루어진 연구로서, AR과 가상현실 그리고 인공지능이라는 세 가지 개념을 응용하여 건축 공간과 그 공간을 이루는 구조적

인 시스템과의 관계에 관해 탐구하였다. 본 연구에서는 HMD를 사용해서 건물의 구조 체계를 그래픽으로 재현한 모습을 건물 내 해당 공간에서 사용자가 HMD를 통해 볼 수 있도록 하였다. 이렇게 중첩된 가상현실은 콘크리트 보, 기둥 등은 물론 강화 철근과 같이 공간을 지지하는 구조체에 관한 추가정보를 AR을 이용해 얻을 수 있다. 또한 이때 상용화 가능한 구조 분석 프로그램 역시 디스플레이 가능하도록 하였다(그림 10).

3.3 Case Study : 콘크리트 양생 강도관리를 위한 AR기반 데이터 가시화

사용자가 스마트폰 등의 내장카메라로 구조물을 비추면 <사진 3>와 같이 GPS 수신기를 통해 사용자의 위치 정보 등이 스마트폰에 임시로 기록되고 인터넷을 통해 데이터 서버에 저장된 센서의 위치 정보를 가시화하게 된다.



그림 8. MARS 응용프로그램의 실행화면



그림 9. 사용자와 시스템 인터페이스 및 시스템 작동모습



그림 10. the Architectural Anatomy 시연모습

모바일 디바이스를 통해 가시화 된 센서를 선택하면 센서의 명칭, 위도, 경도, 강도 측정날짜 등의 센서관련 정보가 <사진 4>와 같이 나타나게 된다.

앞장에서 이미 설명된 선형 회귀분석에 의해 추정된 콘크리트의 강도데이터는 데이터 서버에 저장되며, 사용자의 위치정보와 데이터 서버로부터 들어오는 센서의 위치 및 측정 데이터를 통합하여 스마트폰 등의 모바일 디바이스에 전송하게 된다. 이때 서버와 모바일 디바이스는 RSS 방식으로 데이터를 수신하게 되며, 수신된 데이터를 파싱하여 각 센서 정보를 갱신하게 된다. 최종적으로 <그림 11, 12>와 같이 모바일 디바이스를 통해 실시간으로 시간별, 날짜별 센서 데이터를 액세스하여 사용자가 얻기 원하는 정보를 가시화 해주게 된다.

결론적으로 임베디드 초음파 센서와 AR을 이용하여 시간적, 공간적 제한 없이 건설 시공현장에서 콘크리트 구조물의 양생과정에서의 강도발현 모니터링을 실시간으로 할 수 있는 새로운 개념의 건설·IT 융합 시스템이 개발되었다고 할 수 있다.

4. 맺음말

본 연구에서는 AR을 이용하여 콘크리트의 양생 품질관리를 위한 데이터베이스에 쉽게 접근함으로써 콘크리트 강도 이력 정보를 언제 어디서나 실시간으로 확인할 수 있는 Ubiquitous 건설·IT 융합 시스템 기술을 소개하였다. 스마트폰 등의 모바일 기기에서 데이터 정보에 대해 쉽게 접근할 수 있도록 웹서버를 구축하였고, 강도 이력정보를 논리적이고 안전하게 유지관리하기 위해 데이터베이스를 구축하였다. 추후 연구에서는 다양한 실험을 통해 시스템에 필요한 관련 데이터베이스를 추가로 구축하고, 앞으로 시공될 사회기반시설물 주요지점에 다양한 종류의 스마트 센서들을 내장하여 콘크리트 양생 품질관리를 위해 강도뿐만 아니라 온도, 습도, PH 등의 품질관리를 위한 다양한 정보를 획득하여 보다 양질의 콘크리트를 유지관리 하는데 활용할 수 있도록 발전시킬 계획이다. □



사진 3. 증강현실을 이용한 센서 위치 인식

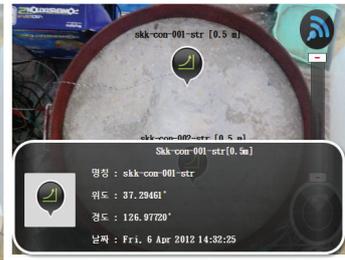


사진 4. 증강현실을 이용한 센서 데이터 정보정보

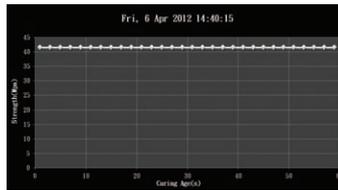


그림 11. 시간별 센서 데이터 가시화

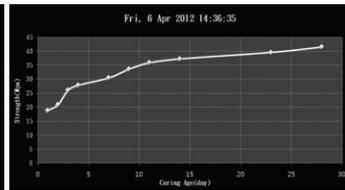
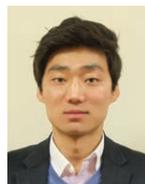


그림 12. 날짜별 센서 데이터 가시화

담당 편집위원 : 양근혁(경기대학교) yangkh@kyonggi.ac.kr

참고문헌

1. Irie, H., Yoshida, Y., Sakurada, Y. and Ito, T., "Non Destructive Testing Methods for Concrete Structures", NTT Technical Review, 2008, Vol. 6, No. 8, pp.1~8.
2. 박승희, 김동진, 홍석인, 이창길 '콘크리트 양생 강도 모니터링을 위한 매립형 지능형 센서의 적용성 연구', 한국콘크리트학회 논문집, 2011, Vol 23, No 2, pp.219 ~ 224.
3. Song, G., Gu, H. and Mo, Y.-L., "Smart Aggregates: Multi-Functional Sensors for Concrete Structures—a Tutorial and a Review", Smart Mater. Struct, 2008, Vol 17, No. 3.
4. Song, G., Gu, H., Mo, Y.L., Hsu, T.T.C. and Dhonde, H., "Concrete Structural Health Monitoring Using Piezoceramic Transducers", Smart Materials and Structures, 2007, Vol. 16, No. 4, pp.959 ~ 968.



박승희 교수는 한국과학기술원 건설 및 환경공학과에서 석/박사를 취득하고, 미국 Virginia Tech. 기계공학과에서 Post-Doc.과정을 밟은 후, 2009년에 성균관대학교 사회환경시스템공학과에서 근무하고 있다. 주요 연구 분야는 스마트 센서 및 재료기술, 구조건전성 모니터링 및 진동제어를 위한 비파괴 평가 기술, 건물에너지 관리기술 및 건설·IT 융합 설계 및 응용기술이다.
shparkpc@skku.edu