

콘크리트 양생 모니터링을 위한 거푸집 일체형 무선센서네트워크(WSN) 시스템

Form Integrated Wireless Sensor Network for Monitoring of Concrete Curing

이 성 복 박 원 준* 조 명 원 이 승 업 이 한 승
Lee, Sung-Bok Park, Won-Jun Cho Myoung-Won Lee Seung-Yeop Lee Han-Seung

Abstract

Temperature during concrete curing can be effectively used to predict the early age strength of concrete. However, various current methods have limits to provide the temperature data in real time due to harsh working environment including frequent cutting of wires. This paper presents the results of our investigation of an all-in-one Wireless sensor network (WSN) for the management of the curing temperature of in-placed concrete at early curing stages. Also, the network device for transmission can be easily separated from the probe sensor part and reused consistently. The field experiment entailed measuring the curing temperature of concrete using the WSN. After fresh concrete was poured into the formworks, the signals were measured at a 150 m radius from the field office. The signal was acquired for 28 days without any dispersion or interruption at the construction site; therefore, this study confirms the applicability of the proposed system to a construction site.

키 워 드 : 콘크리트, 양생온도, 무선센서 네트워크, 초기강도
Keywords : concrete, curing temperature, wireless sensor network, early age strength

1. 서 론

콘크리트는 경화전이나 양생 중의 온도변화에 의해서 강도 및 내구성 등에 많은 영향을 받는다. 우리나라 동절기와 같이 일평균 외부기온이 4°C이하로 내려가는 환경에서는 결합수의 동결 등에 의하여 내구성 및 수밀성의 저하가 발생하며, 또한 양생온도 관리의 어려움으로 인한 콘크리트의 경화 속도 저하 및 초기강도 발현 저하 등의 문제가 발생 할 수 있다. 기존의 동절기 공사시 타설된 콘크리트의 일반적인 양생온도관리는 타설층에서 자기온습도계나 일부 써머커플(Thermocouple)을 활용한 관리와 함께 최근에는 무선센서가 활용되고 있다. 하지만 전자의 경우 최적의 양생조건을 제공하기 위한 관리보다는 사후 확인 차원이며, 후자의 경우 타설 전후 센싱장치 설치 및 관리상의 어려움으로 실제 콘크리트의 온도관리 및 강도예측에는 한계가 있다 할 수 있다

본 연구에서는 타설 콘크리트의 온도를 무선센서 방식으로 현장(반경 150미터)에서 직접 간편하게 계측할 수 있는 올인원(All-in-one) WSN를 개발하고, 실험실 및 현장레벨의 테스트를 실시하였다. 이를 통하여 향후 시공현장사무실 및 본사 등에서 실

시간 온도에 대한 이력관리를 할 수 있는 유비쿼터스 기반의 첨단 품질관리시스템 구축에 기여하고자 한다.

2. 무선온도센서시스템 성능평가

2.1 WSN 개발

본 연구에서 개발한 거푸집 일체형 WSN 장치는 그림 1과 같은 기존의 온도측정 방식(유선/준무선)에서 완전히 탈피하여 그림 2와 같이 센서와 전송장치가 일체화 된 시스템으로 설계되었다. 따라서 그림 3과 같이 거푸집의 종류 및 두께에 상관없이 탈부착이 가능토록 설계되어 거푸집의 해체 등 현장 특성에 효율적으로 대응토록 하였다. 최종적인 사용 후에는 온도센서 부분과 무선전송장치가 분리됨에 따라 온도센서는 콘크리트에 매설되고 무선전송장치는 재사용이 가능토록 고안되었다.

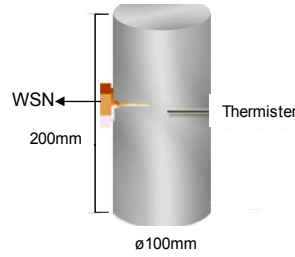
2.2 실험계획

표 1과 같은 21MPa, 27MPa 두 종류의 콘크리트 배합에 대해서 본 연구에서는 실내 및 현장 실험을 실시하였다. 먼저 실내 실험의 경우 표 2처럼 상온 및 저온 양생조건하에 성능평가를 실시하였다. 그림 4와 그림 5처럼 기존의 센싱장치(열전대/준무선센서)와 비교평가를 위하여 시험체를 제작하고 온도측정을 하였다(그림 6).

* 한양대학교 ERICA, 친환경건축연구센터, 공학박사
이 논문은 2012년도 정부재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 20120000740, No. 2012044430)



(a) Cable wire type (b) Probe type (c) Specimen test
그림 1. 기존 콘크리트 온도 측정방식(예)



(a) Schematic diagram (b) Concrete placement

그림 5. 개발된 WSN 및 기존 WSN 장착 시험체

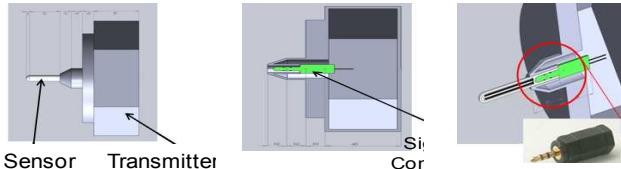


그림 2. All-in-one 센서

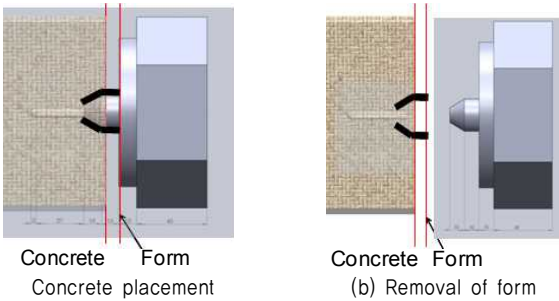


그림 3. 거푸집 일체형 개념도

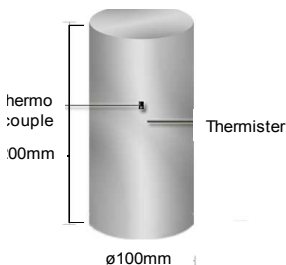
표 1. 콘크리트 배합

Specimen name	Designed strength (MPa)	W/C (%)	S/A (%)	Mix composition (kg/m ³)				
				W	C	S	G	SP
OPC-21	21	58.8	53, 4	17, 3	294	969	856	2.0, 58
OPC-27	27	49.4	50, 0	17, 0	344	891	901	2.5, 8

*Air entraining agent: 0.059 kg/m³

표 2. 양생조건

Cement type	Designed strength	Curing temperature	Curing age (days)
OPC	21 MPa	20 °C, 10 °C	3, 7, 28
	27 MPa	20°C±1 (in water)	



Schematic diagram



(b) Concrete placement

그림 4. 열전대 및 기존 WSN 장착 시험체



(a) Curing



(b) Data measurement

그림 6. 저온 양생 및 온도측정

2.3 실험결과

앞서 표 1과 표2에서 제시한 등온 양생온도별 기존 센싱장치 및 개발된 WSN에 의한 측정된 온도변화를 그림 7과 그림 8에 일부 나타낸다.

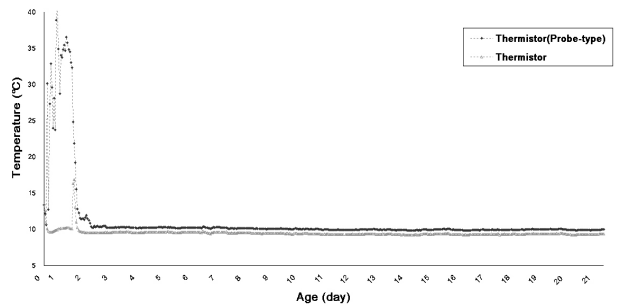


그림 7. 등온양생 (21MPa, 10±1°C)

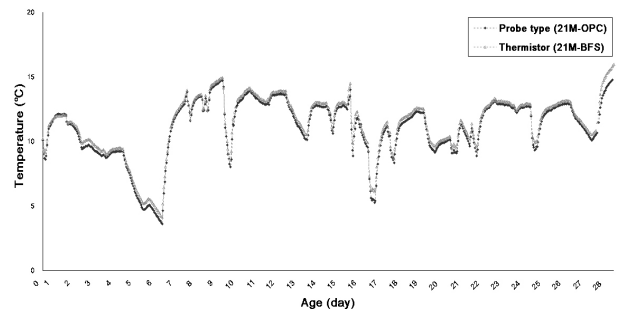
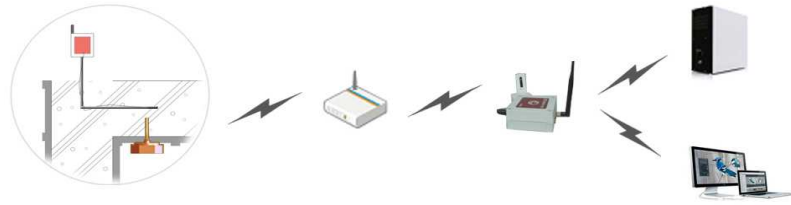


그림 8. 기중 양생 (21MPa, Air curing)



센서별 온도 측정	측정 온도 취합	원거리 송신	현장(외부) 수신
Sensor Setting (End Device)	Router/Sensornode	Gateway	현장(외부) 컴퓨터
센서별 개별 온도 측정	부재별 측정온도 취합	취합 데이터 외부 송신	실시간 품질관리

그림 11. 무선네트워크 시스템 구성도

온도에 센서에 따라 측정되는 온도 차이는 약간 있지만 1°C 이하이며, 특히 현장에서의 활용성을 고려하여 제안된 WSN시스템은 효율적으로 온도를 측정하고 전송할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

2.4 현장 적용성 실험

본 연구에서는 개발된 WSN시스템의 현장 적용성 평가를 위하여 경기도 수원시의 L현장의 아파트 시공현장에서 실험을 실시하였다.

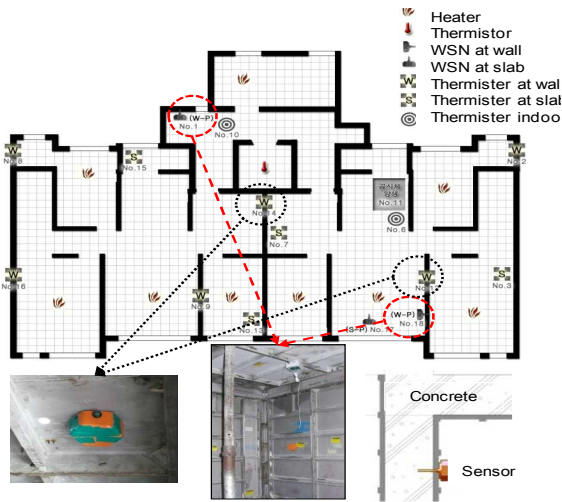


그림 9. 현장실험 계획

현장실험계획은 그림 9와 같이 1개층 내에 기존의 센서와 WSN을 벽체 및 슬래브에 장착하고 7일간의 온도 측정을 실시하였다. 실험현장의 동절기 공사관리 현황은 갈탄을 사용한 급열양생과 가설천막이 사용되고 있었다. 각 측정 부위별 온도이력은 그림 10과 같다.

이상의 결과로부터 유·무선센서네트워크에 의한 온도측정 및 전송은 콘크리트의 온도변화에 관계없이 효율적으로 이루어진 것으로 나타났다. 이에 따라, 현장에서 타설되는 콘크리트는 어떤 환경변화에서도 본 시스템을 효율적으로 활용할 경우 실시간 양생도관리를 통하여 콘크리트의 품질성능을 제고시키는데 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

3. 결 론

본 거푸집일체형의 무선센서네트워크 장치를 이용하여 콘크리트의 동일한 양생조건 및 상이한 양생조건에서 온도를 측정할 결과, 기존의 유선방식과 동일한 온도분포를 보였다. 상기의 결과에서와 같이, 개발된 무선센서네트워크 장치를 현장에서 사용할 경우(그림 11), 현장 사무실에서의 정량적인 콘크리트 온도관리는 효율적으로 이루어 질 것으로 판단되며, 감라감독업무의 생산성 향상과 더불어 전반적인 콘크리트 구조체의 품질에 크게 기여할 것으로 판단된다. 향후 적산온도를 활용한 콘크리트 강도예측을 통하여 양생온도와 초기강도 관리가 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 이성복, 건설공사 현장에서의 RFID/USN 활용실태 및 적용에 관한 기초연구, 주택도시연구원, 2007
2. 이용균, 조호규, 강경인, 무선온도 계측을 통한 매스콘크리트 양생관리 효율화 방안에 관한 연구, 대한건축학회논문집(구조계), 제21권, 제7호, pp.99~106
3. 한국전산원, 건설현장의 콘크리트 구조물 양생이력검사를 위한 USN 적용, 2006

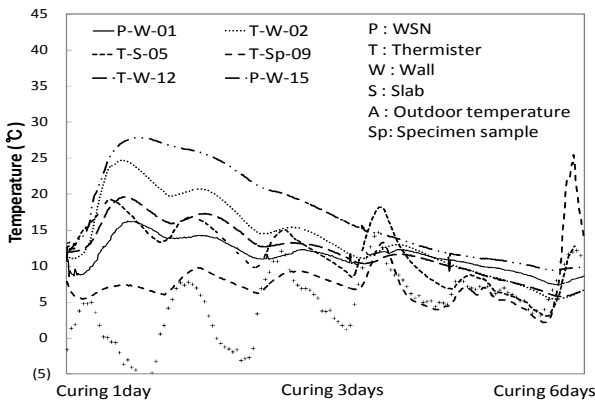


그림 10. 각 측정부위별 온도이력