

콘크리트 온도 측정을 위한 거푸집 일체형 무선센서네트워크 장치 개발

Development of Integrated Wireless Sensor Network Device with Mold for Measurement of Concrete Temperature

이 성 복¹⁾ 박 성 식^{2)*}
Lee, Sung Bok Park, Seong Sik

Abstract

Temperature of fresh concrete can be effectively used to predict the strength of concrete being cured and make an informed decision for stripping the molds. A hygrothermograph and thermo-couple sensors that require an extensive wiring have been applied to measure a temperature of concrete at the early stage of the curing process on site. However, these methods have limits to provide the temperature data in real time due to harsh working environment including frequent cutting of wires. Therefore, this study is aiming at developing a device based on wireless sensor network to measure the temperature of concrete being cured in formwork. The result showed that the wireless sensor with probe type thermistor which is developed had the same temperature data compared to the existed wire type thermistor, and we confirmed the temperature history of concrete in real time for 28 days throughout the gateway by wireless network that collects the temperature data measured from specimens in laboratory. Also, the network device for transmission can be easily separated from the probe sensor part and reused consistently. If the wireless sensor network device developed uses in the field, the temperature management of concrete will be systematically conducted from at the early stage of the curing, and especially be effective for cold weather concrete construction. In addition, it will contribute to the establishment of advanced quality control system for concrete and productivity of supervisors on site will be increased in the future

Keywords : Device, Wireless sensor, Network, Concrete temperature, Thermistor, Gateway, Construction

1. 서론

콘크리트는 시멘트, 골재, 물과 혼화재 등 다양한 재료가 혼합되기 때문에 재료간의 물리적 특성 뿐만이 아니라 환경조건에 따라서도 일정 변형을 가지며, 특히 경화 전이나 양생 중의 온도변화에 의해서 강도 및 내구성 등에 많은 영향을 미친다. 동절기와 같이 1일평균 외부기온이 4℃ 이하로 내려가는 환경에서는 결합수의 동결 등에 의하여 내구성 및 수밀성의 저하가 발생하며, 콘크리트의 내부 수화열에 의한 내·외부의 온도 차이에 의하여 균열 발생 가능성도 있다. 또한 양생온도가 낮으면 콘크리트의 경화 속도 또한 저하되므로, 동절기 공사에서는 무엇보다도 콘크리트의 양생온도 관리가 중요하다 할 수 있다.

반면, 동절기 공사시 타설된 콘크리트의 일반적인 온도

관리는 타설 해당층에서 자기온습도계나 일부 써머커플(Thermo-couple)을 활용한 데이터로거 등에 의한 관리를 하고 있다. 이는 최적의 양생조건을 제공하기 위한 관리보다는 사후 확인을 중심으로 관리를 하고 있기 때문에 온도이력에 의한 실시간 구조체의 품질관리와는 다소 많은 차이를 보이고 있다. 또한 적산온도개념을 활용하여 동절기 콘크리트를 관리하고 있으나, 이는 콘크리트의 직접적인 온도변화보다는 일일 평균양생온도와 양생기간에 대한 평균값으로 실제 콘크리트의 온도관리 및 강도예측에는 한계가 있다 할 수 있다

이에 따라 본 연구에서는 타설 콘크리트의 온도를 무선센서 방식으로 현장에서 직접 간편하게 측정할 수 있는 장치를 개발하고, 무선 전송네트워크시스템을 통하여 현장사무실 및 본사 등에서 실시간 온도에 대한 이력관리를

1) 정회원, LH 토지주택연구원 연구위원

2) 정회원, LH 토지주택연구원 수석연구위원, 교신저자

* Corresponding author : spark72@lh.or.kr 042-866-8424

• 본 논문에 대한 토의를 2012년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2012년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

할 수 있는 유비쿼터스 기반의 첨단 품질관리시스템 구축에 기여하고자 한다.

2. 무선센서네트워크시스템의 구성 및 거푸집일체형 온도측정 장치

2.1 무선온도센서 성능평가

2.1.1 성능평가 방법

사용된 온도센서는 반도체에서 사용되는 고감도용 써미스터(Thermistor)를 선정하였으며, 거푸집에 안정적으로 부착될 수 있도록 기존의 유선형(Cable wire type thermistor)에서 막대타입의 스텐레스 프로브형(Probe type thermistor)으로 제작하였다. 제작된 센서의 정확도를 측정하기 위하여 레미탈을 사용하여 모르타르 내부에서 온도를 측정하였다. 센서는 모르타르 표면으로부터 5cm, 10cm의 깊이로 각각 2개씩 매립하였고, 온도측정 시스템의 온도이력 확인을 위하여 상온에서 1개의 써미스터를 사용하여 외기온도를 측정하였다. 측정기간은 약 3일간, 5분 주기로 측정하였으며, 온도측정 및 측정데이터 전송장치는 총 5개를 사용하고, 각각 2개 센서에 연결하여 사용하였다.

Table 1 Properties of temperature sensor

Sensor type	Properties
Cable Wire type Thermistor	<ul style="list-style-type: none"> • Model name : DSC-502F • Sensor type : NTC 5kΩ at 25$^{\circ}$C • Range : -20$^{\circ}$C ~ 120$^{\circ}$C • Accuracy : \pm1% at 25$^{\circ}$C
Probe type Thermistor	<ul style="list-style-type: none"> • Model name : DPR-TH1-P6D-100L • Sensor type : NTC 5kΩ • Range : -50$^{\circ}$C ~ 105$^{\circ}$C • Accuracy : \pm0.3$^{\circ}$C at 25$^{\circ}$C • Sheath : \varnothing6 \times 100mm, SUS • Cable : 2C \times 0.5mm, sus-mesh shield tefron

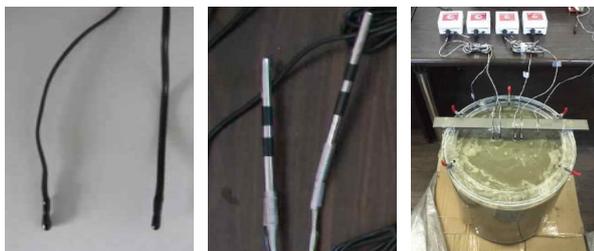


Photo 1 Measurement of temperature in mortar

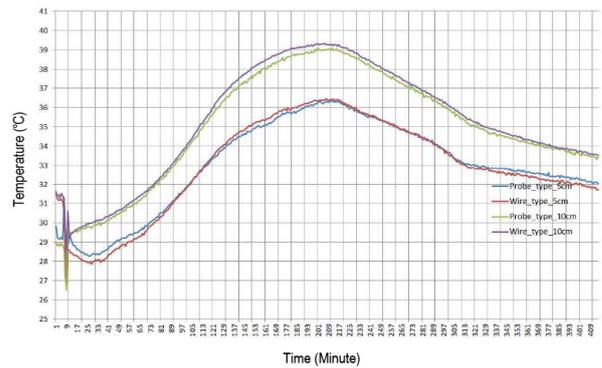


Fig. 1 Temperature distribution each type and depth of sensor

2.1.2 성능평가 결과

거푸집 부착용으로 개발된 프로브형 센서는 Fig. 1에서와 같이 기존의 유선센서와 같이 거의 동일한 온도 측정 결과를 보이고 있으며, 측정오차는 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 센서의 매립 깊이별 온도 측정결과, 표면으로부터 10cm 깊이와 5cm 깊이에서의 온도 측정값 차이는 최대 2.5~3 $^{\circ}$ C 인 것으로 나타났으며, 이는 표면보다는 중심부에서 수화반응이 활발하게 이루어져 온도가 높아진 것을 알 수 있었다. 이상의 결과로부터 거푸집 부착용으로 개발된 프로브타입의 온도센서는 기존의 유선형 센서와 동일한 특성을 보였으며, 현장에서의 콘크리트 온도 센서로서의 효율적인 활용을 기대할 수 있다.

2.2 거푸집일체형 온도측정 장치 개발

거푸집 일체형 무선온도 측정 장치는 Fig. 2와 Photo 2에서와 같이 기존 유선방식에서 완전히 탈피하여 콘크리트 타설 전 거푸집에 설치하는 방식으로 설계되었다. 거푸집의 종류 및 두께에 상관없이 사용 가능하도록 설계되었으며, 온도측정 부분인 프로브형 센서와 무선 전송장치(Zigbee)를 분리 가능하도록 설계하여 거푸집의 해체 등 현장 특성에 효율적으로 대응토록 하였다. 또한 불필요한 배터리 소모를 줄이고 현장에서의 작동여부 확인을 위하여 LED 장치를 추가적으로 부착하였다. 이들 온도센서 부분과 무선전송장치가 분리됨에 따라 온도센서는 콘크리트에 매설되고 무선전송장치는 재사용이 가능토록 고안하였다.

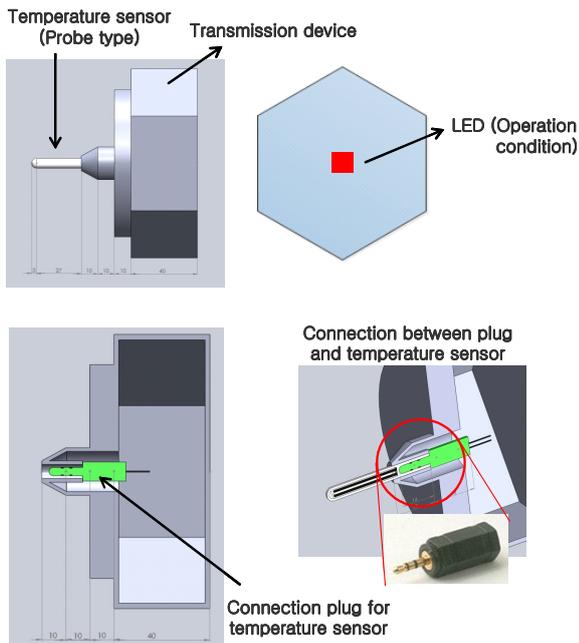


Fig. 2 Structure of wireless transmission device for temperature measurement



Photo 2 Experimental product for temperature measurement and transmission by wireless

2.3 무선센서네트워크시스템 구성방법

일반적으로 유비쿼터스 기반의 무선센서네트워크시스템의 구성은 기본 센서가 설치되어 있는 센서노드(Sensor Node)로부터 데이터의 중계역할을 하는 라우터¹⁾(Router)와 인터넷으로 정보를 액세스 할 수 있는 게이트웨이²⁾(Gateway) 등으로 구성되어 있다(이성복 등, 2011).

본 연구에서는 Fig. 3과 Fig. 4에서와 같이 콘크리트

- 1) 라우터(Router, 중계기)는 base board, 전원 공급부, 지그비 모듈로 구성되며, 시험체에 설치된 센서로부터 측정된 온도측정데이터는 지그비 모듈을 통하여 게이트웨이로 전송하는 역할을 한다. 실험실 및 현장여건상 송신거리가 짧은 경우 중계기를 생략하고 온도센서노드에서 게이트웨이로 직접 송신할 수도 있다.
- 2) 게이트웨이(Gateway, 데이터수집기)는 무선네트워크의 최상위 장치로서 데이터의 송·수신 및 네트워크 자체 관리 기능을 가지고 있으며, 센서노드나 중계기로부터 측정된 온도측정데이터를 서로 다른 종류의 통신망(Wi-Fi, Wibro 및 CDMA)를 통하여 장거리에 있는 사무실 등으로 전송하는 역할을 수행한다.

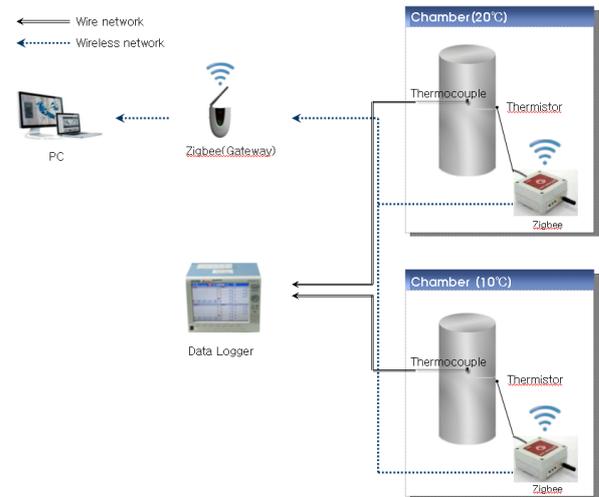


Fig. 3 Wireless sensor network system I

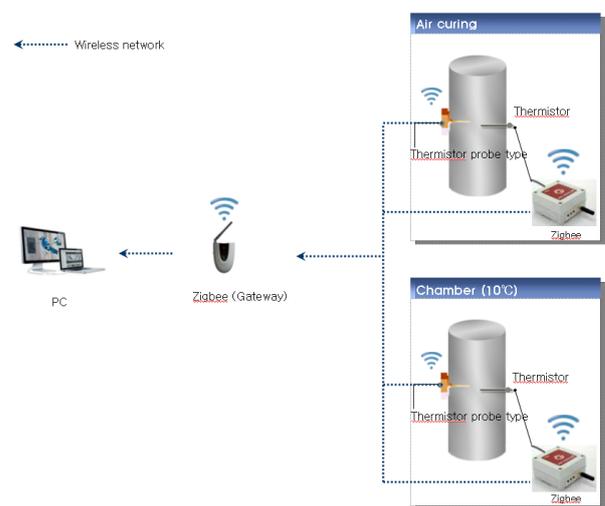


Fig. 4 Wireless sensor network system II

시험체내 설치된 센서로부터 온도데이터를 측정하고 난 후 지그비(Zigbee, 2.45KHz)통신을 통하여 게이트웨이로 무선 송신하고, 송신된 이들 데이터는 CDMA(장거리영역무선통신)를 통하여 사무실내 인터넷에서 수신하는 방법으로 진행하였다. Fig. 3은 기존의 데이터로거에 의한 유선방식의 써머커플 온도측정 방법과 지그비통신에 의한 무선방식의 온도측정 방법에 대한 개념도를 나타낸 것이다. 또한 Fig. 4는 유선방식을 배제한 일반적인 써미스터 방식과 개발된 거푸집 일체형 프로브형 무선센서에서 수집한 데이터를 상호 비교하여 거푸집 일체형의 무선센서에 대한 적합성 및 현장 적용성 등을 검토코자 실시한 구성도를 나타낸 것이다.

3. 무선센서네트워크에 의한 콘크리트 온도계측 실험

3.1 실험개요

공사현장에서 콘크리트의 양생온도를 효율적으로 측정하고자 개발된 무선센서 및 네트워크에 대한 신뢰도를 검토코자 설정한 실험인자 및 수준은 Table 2에서와 같다. 먼저 콘크리트 종류는 보통콘크리트와 초기 수화열 저감 효과를 가지는 저발열 콘크리트(고로슬래그 30% 혼입

를 사용하였으며, 이들의 압축강도는 현장에서 주로 사용하고 있는 21MPa, 27MPa로 정하였다. 양생온도는 기준이 될 상온(20±3℃)과 콘크리트 수화 반응에 필요한 최소 온도 조건인 저온(10℃) 그리고 수중양생으로 설정하여 양생 챔버 및 수조에서 등온·기건·수중 양생을 하였으며, 압축강도는 3, 7, 28일 등 총 3회에 걸쳐 측정하였다. 콘크리트 온도 측정센서는 유선형 써머커플과 무선형 써미스터 그리고 거푸집 일체형 프로브형 써미스터를 사용했으며 상온과 저온의 시험체에 각각의 센서를 설치하여 콘크리트의 내부온도를 측정하였다.

Table 2 Summary of experiment

Factors	Levels	Remarks
Concrete type	• Ordinary concrete • Low heat concrete	• Low heat concrete is the one which includes 30% of Blast-Furnace Slag power
Compressive strength	• 21 MPa, 27 MPa	• Strength used on site
Curing Temperature	• Ordinary (20±3℃) • Low (10±3℃) • Water (20±3℃)	• Use constant Temperature and Humidity Chamber
Curing period	3, 7, 28 days	
Sensor type	• Thermocouple(wire) • Thermistor • Probe type thermistor	• Set 2 sensors each specimen - Thermocouple + Thermistor - Thermistor+ Probe type thermistor

3.2 콘크리트 배합 및 시험체 제작

3.2.1 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트 및 골재의 특성은 Table 3, Table 4에서와 같다.

3.2.2 콘크리트 배합

배합은 일반 레미콘 공장에서 생산하고 있는 콘크리트 호칭강도에 부합하는 배합기준을 고려하여 Table 5에서와 같이 설정하였다. 목표 슬럼프는 150±25mm로 설정하였으며, 저발열콘크리트의 경우 고로슬래그를 30% 중

Table 3 Physical and chemical properties of cements

Cement type	Specific gravity (g/cm ³)	Fineness (cm ² /g)	igloss (%)	Compressive strength(MPa)			Vitalization index(%)			Component (%)	
				3 days	7 days	28 days	7 days	28 days	91 days	MgO	SO ₃
OPC	3.15	3,327	1.8	30.2	40.9	51.4	-	-	-	2.58	2.03
BFS	2.89	4,510	0.15	-	-	-	90	112	125	6.20	2.65

Table 4 Physical properties of aggregates

Type	FM	Density(g/cm ³)		Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Absolute volume (%)	Stability (Na ₂ SO ₄ %)
		Surface dry	Oven dry				
Fine	2.81	2.59	2.56	1.16	1.569	54.5	3.9
Coarse	6.59	2.61	2.59	0.75	1.531	59.0	3.4

Table 5 Mixture proportions of concrete

Conc.	Design strength (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)						
				W	C	BFS	S	G	SP	AE
Ordinary	21	58.8	53.4	173	294	-	969	856	2.058	0.0588
	27	49.4	50.0	170	344	-	891	901	2.58	0.0688
Low Heat	21	58.8	53.4	173	206	88	966	853	2.058	0.0588
	27	49.4	50.0	170	241	103	887	898	2.58	0.0688

량 치환하여 혼화재료로 사용하였다.

3.2.3 시험체 제작 및 양생

콘크리트 시험체(Φ10×20cm) 중앙의 내부온도를 측정하기 위하여 Photo 3에서와 같이 플라스틱 몰드에 구



Photo 3 Installation of sensors in specimen

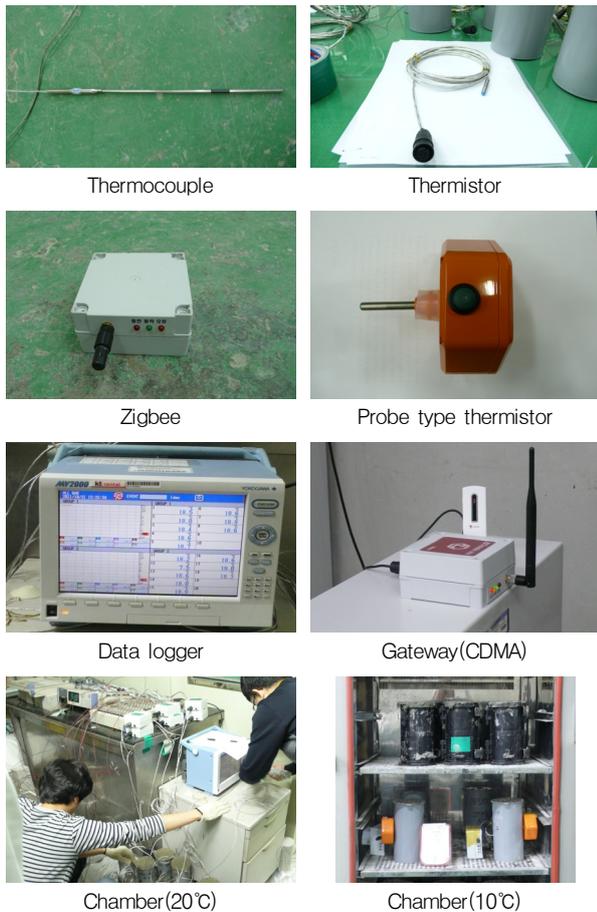


Photo 2 Temperature sensors and measurement equipments

멍을 뚫어서 써머커플과 써미스터 및 프로브형 써미스터를 설치한 후에 콘크리트를 타설하였다. 제작된 시험체는 배합조건으로 구분하여 항온·항습실(20°C 양생조건)과 저온챔버(10°C 양생조건) 및 실험실의 수증상태에서 양생하여 각각 공시체의 내부 온도를 측정하였으며, 측정된 데이터는 유·무선네트워크에 의한 데이터 로거 및 게이트웨이를 통하여 외부 사무실에서 공시체의 온도이력을 확인하도록 하였다.

3.2.4 압축강도 측정결과

콘크리트 종류 및 온도변화에 따라 참고적으로 측정된 압축강도 분포는 Table 6에서와 같다.

3.3 실험결과 및 분석

3.3.1 유·무선 센서에 의한 온도측정

Fig. 5는 보통콘크리트 21MPa를 20°C에서 28일간 등

Table 6 Test result of compressive strength

Concrete	Design strength (MPa)	Curing Temperature (°C)	Curing period (day)	Compressive strength (MPa)
Ordinary	21	10	3	9.2
			7	18.1
			28	27.0
		20	3	15.0
			7	22.2
			28	30.9
	27	10	3	11.7
			7	22.9
			28	32.4
20		3	22.4	
		7	29.2	
		28	38.8	
Low Heat	21	10	3	5.7
			7	14.3
			28	23.8
		20	3	10.2
			7	17.7
			28	27.9
	27	10	3	7.9
			7	18.41
			28	29.2
20		3	16.5	
		7	25.2	
		28	36.8	

온 양생한 공시체의 온도이력에 대하여 유·무선센서로부터 측정된 것이다. 무선센서네트워크에 의한 측정온도 데이터는 게이트웨이로의 전송이 원활히 이루어졌으며, 또한 게이트웨이에서 CDMA 방식으로 외부 서버가 있는 사무실로 측정 데이터가 효율적으로 전송된 것을 알 수 있었다. 두 센서간의 온도이력 측정값의 비교 결과, 써머커플에 비하여 무선방식의 써미스터가 약 0.3~0.5℃ 정도 높은 온도 분포를 보여 센서간의 약간의 차가 발생한 것으로 나타났다. 하지만 두 센서에 의한 28일간의 온도이력을 비교해보았을 때, 최대 1℃ 이하의 오차범위를 가지는 것으로 나타나 효율적인 무선온도센서 네트워크가 구성될 것으로 판단된다.

Fig. 6은 보통콘크리트 21MPa를 10℃에서 등온 양생한 공시체의 온도이력에 대하여 써미스터와 프로브형 써미스터로 측정된 온도이력에 대한 그래프이다. 재령 2일까지는 일부 센서네트워크의 통신문제로 높아졌으나, 재령 2일 이후부터는 양생온도 10℃를 유지하면서 두 센서 모두 정상적으로 측정된 것을 알 수 있었다. 두 센서간의 온도이력을 비교해보면 약 0.5℃ 정도의 차이로 프로브형이 일반형의 써미스터에 비하여 약간 높은 온도이력을 보였다. 이상의 결과로 볼때, 센서에 따라 측정되는 온도 차이는 약간 있지만 1℃ 이하이며, 특히 현장에서의 활용

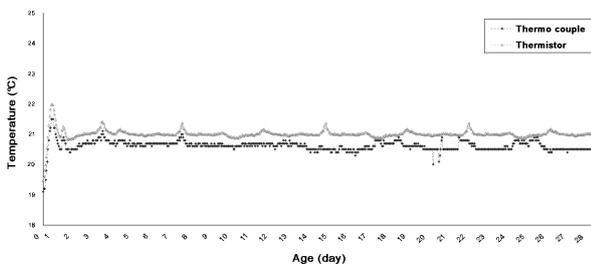


Fig. 5 Temperature distribution of concrete each sensor type (21MPa, 20±1℃)

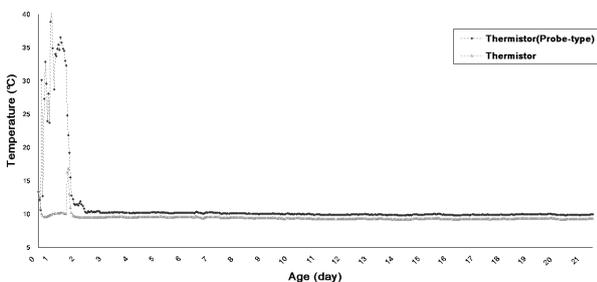


Fig. 6 Temperature distribution of concrete each sensor type (21MPa, 10±1℃)

성을 고려하여 제안된 프로브형 써미스터 센서는 무선네트워크를 기반으로 하여 효율적으로 온도를 측정하고 전송할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

3.3.2 써미스터 종류별 온도측정

Fig. 7과 Fig. 8은 현장에서의 변화가 심한 콘크리트의 온도변화에 대비하기 위한 예비실험으로서 등온상태가 아닌 일반 기중상태에서 양생한 공시체의 온도를 측정하였다. 동결기 특성상, 실외에서 콘크리트를 양생하면 결함수 등의 동결로 인하여 수화반응에 영향을 미칠 수 있기 때문에 결함수의 빙점(0℃) 이상을 만족하는 조건에서 양생하였다. Fig. 7에서와 같이 기중에서 양생한 21MPa의 보통콘크리트 및 저발열콘크리트 공시체의 온도이력 분포로서 보통콘크리트에는 프로브형 써미스터를 저발열콘크리트에는 일반형 써미스터를 설치하였다. 측정결과, 두 센서에서 측정된 온도이력 분포는 거의 동일한 것으로 나타났으며, 두 센서간의 편차 또한 거의 없는 것을 알 수 있었다. 또한 Fig. 8은 Fig. 7에서와 같이 기중에서 양생한 27MPa의 보통콘크리트 및 저발열콘크리트 공시체의 온도이력 분포를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 측정결과 편차가 거의 없었던 21MPa의 경우와는 다르게 보통콘크리트가 저발열콘크리트에 비하여 전체적으로 0.5~

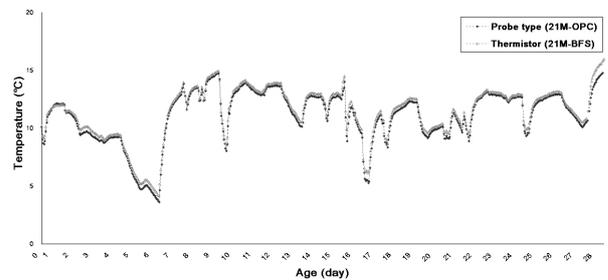


Fig. 7 Temperature distribution each concrete type (21MPa, Air curing)

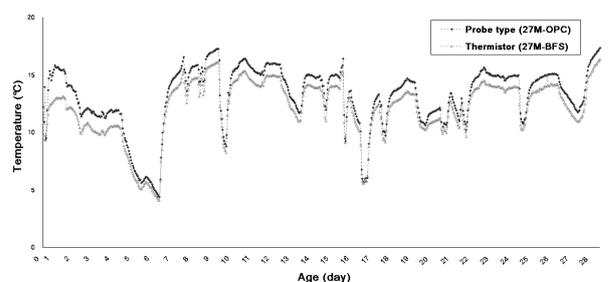


Fig. 8 Temperature distribution each concrete type (27MPa, Air curing)

1°C 정도 높은 것으로 나타나 고로슬래그 미분말 등 혼화 재료 첨가율에 따라 내부 수화열의 차이가 발생한 것을 알 수 있었다.

이상의 결과로부터 유·무선센서네트워크에 의한 온도 측정 및 전송은 콘크리트의 온도변화에 관계없이 효율적으로 이루어진 것으로 나타났다. 이에 따라, 현장에서 타설되는 콘크리트는 어떤 환경변화에서도 본 시스템을 효율적으로 활용할 경우 무선센서네트워크 기반의 콘크리트 온도관리를 실시간 정량적으로 실시하여 콘크리트의 품질성능을 제고시키는데 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

4. 결 론

현장 타설 콘크리트의 품질관리에서 가장 중요한 초기 콘크리트 온도를 실시간 측정하기 위하여 개발한 거푸집 일체형 무선센서네트워크 장치에 대한 검토 결과는 다음과 같다.

- (1) 무선센서네트워크시스템의 기본이 되는 온도센서는 콘크리트 타설시 보다 안정적으로 측정될 수 있도록 무선방식의 프로브형으로 제작하였으며, 모르타르를 대상으로 검토한 내부 온도 측정값은 기존의 유선센서와 유사한 것으로 나타났다.
- (2) 타설콘크리트의 온도를 효과적으로 측정하기 위하여 거푸집에서의 탈부착이 간편하고 장기간의 내장전력공급이 가능한 거푸집일체형의 무선센서네트워크 장치를 개발하였다.
- (3) 무선센서네트워크시스템의 구성은 센서노드와 라우터, 게이트웨이 및 CDMA 통신방식으로 구성하였으며, 라우터를 생략하여도 외부사무실에서의 무선네트워크에 의한 측정 온도자료 송신이 이루어졌다.
- (4) 본 거푸집일체형의 무선센서네트워크 장치를 이용하여 콘크리트의 동일한 양생조건 및 상이한 양생조건에서 온도를 측정할 결과, 기존의 유선방식과

동일한 온도분포를 보였다

- (5) 상기의 결과에서와 같이, 개발된 무선센서네트워크 장치를 현장에서 사용할 경우, 현장 사무실에서 정량적인 콘크리트 온도관리는 효율적으로 이루어 질 것으로 판단되며, 감리·감독업무의 생산성 향상과 더불어 전반적인 콘크리트 구조체의 품질에 크게 기여할 것으로 판단된다

감사의 글

이 연구는 한국토지주택공사 토지주택연구원의 지원하에 수행된 연구결과임

참고문헌

1. 이성복, 건설공사 현장에서의 RFID/USN 활용실태 및 적용에 관한 기초연구, 주택도시연구원, 2007.
2. 이성복, 배기선, 이도현, “무선센서네트워크에 의한 콘크리트 양생온도 측정에 관한 현장 적용성 연구”, 한국건축시공학회지, 제11권 3호, 2011, pp.283-291.
3. 이웅균, 조호규, 강경인, “무선온도 측정을 통한 매스콘크리트 양생관리 효율화 방안에 관한 연구”, 대한건축학회논문집(구조계), 제21권 7호, pp.99-106.
4. 진상윤, “IT기반의 건설관리 패러다임 변화”, 대한건축학회지, 제49권, 4호, 2005, pp.63-67.
5. 한국전산원, 건설현장의 콘크리트 구조물 양생이력검사를 위한 USN적용, 2006.
6. 日本建設情報總合センター, ICタグの建設分野での活用に関する研究会活動報告書(平成16年度概要版), 2005.
7. 日本建築學會, 建築工事標準仕様書・同解説, JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 1997.
8. Julian H. Kang, Jasdeep Gandhi, “Readability test of RFID temperature sensor embedded in fresh concrete”, Journal of Civil Engineering and Management, vol. 16, No. 3, 2010, pp.412-417.
9. Richard Jackson, Wireless sensor Application in the Construction and Buildings Industry, U-건설국제컨퍼런스, 2007, pp.21-22.

(접수일자 : 2012년 6월 25일)

(수정일자 : 2012년 8월 10일)

(심사완료일자 : 2012년 8월 13일)

요 지

본 연구는 타설 콘크리트의 온도를 무선센서 방식으로 현장에서 직접 간편하게 측정할 수 있는 장치를 개발하고, 무선 전송네트워크시스템을 통하여 현장사무실 및 본사 등에서 실시간 효율적 온도이력관리를 할 수 있는 시스템을 구축하는데 목적이 있다. 실험결과, 우선 무선센서네트워크시스템의 기본이 되는 온도센서는 콘크리트 타설시 안정적으로 측정될 수 있도록 무선방식의 막대타입의 스텐레스 프로브형으로 제작하였으며, 거푸집에서의 탈부착이 간편하고 장기간의 내장전력공급이 가능한 거푸집일체형의 무선센서네트워크 장치를 개발하였다. 또한 무선센서네트워크시스템의 구성은 센서노드와 라우터, 게이트웨이 및 CDMA 통신 방식으로 구성하였으며, 콘크리트의 동일한 양생조건 및 상이한 양생조건에서 온도를 측정된 결과, 기존의 유선방식과 동일한 온도분포를 보였다. 향후, 개발된 무선센서네트워크 장치를 현장에서 사용할 경우, 현장 사무실에서의 정량적인 콘크리트 온도관리가 효율적으로 이루어 질 것으로 판단되며, 감리·감독업무의 생산성 향상과 더불어 전반적인 콘크리트 구조체의 품질에 크게 기여할 것으로 판단된다.

핵심 용어 : 무선센서네트워크, 콘크리트 온도, 썬미스터, 지그비, 센서노드, 게이트웨이
