pISSN 1598-2033
eISSN 2233-5706

J. Korea Inst. Build. Constr. Vol. 21, No. 1 : 021-029 / Feb, 2021
https://doi.org/10.5345/JKIBC.2021.21.1.021

www.jkibc.org

한중시공에서 2중 버블시트 포설에 따른 단열 효과분석 및 무선센서 네트워크에 의한 초기 품질관리

Insulation Effect of Double Layered Bubble Sheet Application in Cold Weather Concrete and Initial Quality Control by Wireless Sensor Network

한 민 철[1] 서 항 구[2*]

Han, Min-Cheol[1] Seo, Hang-Goo[2*]

Professor, Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, Naduk-Dong, Cheongju-City, 28503, Korea [1]

Doctor Course, Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, Naduk-Dong, Cheongju-City, 28503, Korea [2]

Abstract

The objective of this study is to evaluate the effect of the application of double layered bubble sheet on the curing of slab and wall concrete placed at the job site in cold weather and to offer a feasibility of Concrete IoT Management System(CIMS), which is wireless sensor network developed by the authors, to manage early age quality of the concrete in terms of temperature, maturity and strength development. Test results indicated that the application of bubble sheet enhances the insulation performance, which results in an increase of the temperature by around 1~20.6℃. It is found that CIMS can gather the temperature, maturity and strength development data from the sensors embedded from 30 m far from CIMS successfully. Predicted compressive strengths by CIMS had good agreement with measured ones within 2 MPa error level until 7 days. It is thought that the combination of the bubble sheet application for cold weather protection and CIMS for quality management tool in cold weather concreting contributes to shorten the time for the form removal by one day.

Keywords : bubble sheet, concrete IoT management system, maturity, cold weather concrete, strength development

1. 서 론

일평균 기온 4℃ 이하인 한중 콘크리트 적용 기간에서는 초기동해 방지 및 저온에 따른 강도 지연 발현대책을 마련하고 시공하여야 한다[1]. 한편, 우리나라에서 건설되고 있는 주거시설로서 아파트인 경우는 벽식구조가 주류를 이루고 있다. 특히, 한중 콘크리트 시공시 외부 비계 주위에 보호막 겸 바람막이로 시트류를 감싸주고 콘크리트 타설 층 하부에서 갈탄을 피워주는 가열 보온양생 방법을 주로 채택하고 있다.

그러나, 최근 들어 버블시트를 이용한 단열보온양생방법이 소개됨에 따라 다수의 한중시공현장에서 버블시트를 이용한 단열보온 양생을 적용하고 있으며, 벽식 아파트 구조의 경우 버블시트의 단열보온 양생과 최소한의 가열보온양생을 복합한 보온양생방법을 채택하고 있다.

한편, 최근 4차 산업혁명과 연관한 IoT, AI 및 빅데이터

Received : October 6, 2020
Revision received : November 26, 2020
Accepted : December 23, 2020
* Corresponding author : Seo, Hang-Goo
[Tel: 82-43-229-8484, E-mail: 3369shk@cju.ac.kr]
ⓒ2021 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

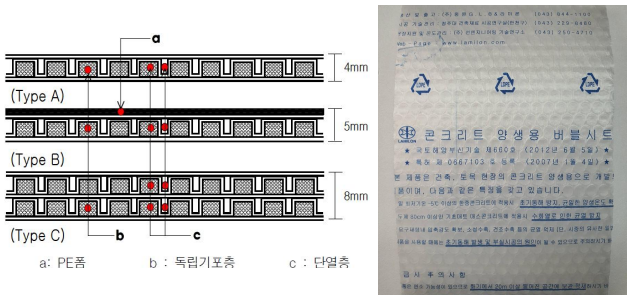


Figure 1. Bubble seet

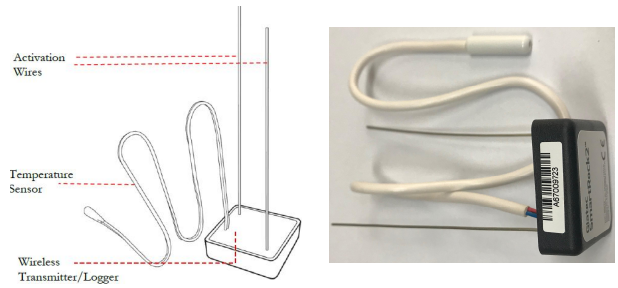


Figure 2. SmartRock2™

Figure 3. Concrete IoT management system

등 각종 발전된 기법을 실무에 도입하고자 노력하고 있다. 따라서 본 연구진에서는 캐나다에서 IoT 기술로 개발한 SmartRock2™의 문제점을 개선하여 발전시킨 콘크리트 IoT 관리 시스템인 Concrete IoT Management System (CIMS)을 개발한 바 있음에[2] 이를 실무에 적용하여 그 효과를 검증할 필요가 제기된다.

그러므로 본 연구에서는 무선센서 네트워크기반의 온도이력 및 강도 추정시스템인 CIMS를 이용하여 한중 환경에서 갈탄을 이용하여 가열 보온양생하는 실무의 벽식구조 아파트 슬래브 상부 표면에 버블시트를 포설한 복합 보온양생방법 적용에 따른 콘크리트의 온도이력, 적산온도 및 압축강도를 실시간으로 모니터링 및 추정하고자 한다. 아울러 CIMS를 이용한 추정의 정확성을 고찰하며 궁극적으로 이를 이용한 강도관리 타당성을 실증적으로 확인하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 버블시트

최근 건설공사는 공기단축의 중요성이 강조됨에 따라 연중시공이 필수적으로써 한중 콘크리트의 필요성이 강조되고 있다. 이에 따라 국내에서는 우리나라 실정에 적합한 콘크리트 표면 피복 양생재인 버블시트를 개발한 바 있다. 종류로는 1중~4중의 두께 변화와 투명, 백색, 알루미늄 증착 등 다양한 표면층 변화로 다양한 목적에 사용되고 있다. 즉, 겨울철 초기동해 방지 목적으로는 투명 2중 버블시트, 매스콘크리트 수화열방지 목적으로 투명 4중 버블시트, 건조균열 방지를 목적으로 1중 백색 버블시트 등이 있다[3].

이때 버블시트는 다중 에어캡 구조로 Figure 1과 같이 구성되어 시멘트 자체에서 발생하는 수화열의 유출을 방지하고, 독립기포 층으로 열의 전도를 최소화하여 최저기온 -5℃ 이상의 한중 콘크리트에서는 초기동해 방지, 균일한 양생온도 확보, 소정의 재령에서 소요강도를 확보할 수 있는 단열 보온양생 방법이다.

2.2 CIMS

캐나다 G사에서는 Figure 2와 같은 SmartRock2™라고 하는 IoT 기술을 이용한 제품으로 콘크리트의 품질관리에 활용하고 있다.

하지만 이전 연구에서 SmartRock2™를 국내의 모 아파트 건설 현장에 적용하여본 결과[4-7] 콘크리트에 매립되어 간편하게 관리될 수 있는 장점이 있지만, 제품이 비교적 고가이고, 재사용이 불가능하며, 알루미늄 거푸집에 적용된 부분에서는 난반사로 인해 데이터의 송·수신에 오류가 발생하는 등 문제점이 발견되었다. 이에 본 연구진은 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 새로운 콘크리트의 품질관리 기술로서 Figure 3과 같은 CIMS 제품을 전문가의 도움을 받아 개발하였다. CIMS는 SmartRock2™보다 편리성, 경제성, 안정성 등의 측면에서 향상된 성능을 검증하였으며, Mock-up 실험을 통해 사용 가능성 및 정확성을 검증한 바 있다[8,9].

Table 1. Overview of construction site

Items	Details
Project title	○ ○ Olympic park new construction
Construction location	Seongnae, Seoul
Structure type	Reinforced concrete wall structure
Land area	405 620 m^2
Total area	11 555.85 m^2
Building area	1 251.05 m^2
Building scale	2 buildings with 1 basement level and 8 to 13 floors above ground, number of households 89

Figure 4. Bird's-eye view of construction site

기기 구성으로는 블루투스 제어, 온도 측정이 있고, 데이터 저장 모듈은 전원부, 온도센서, 온도 측정 인터페이스, 블루투스 모듈, MCU(Micro controller Unit), 안테나, RTC(Real-time clock) 등으로 이루어져 있다. 블루투스(B/T) 제어 모듈에는 5개의 온도센서를 연결하도록 하고 스마트폰과 블루투스 간의 통신거리는 30 m이다.

3. 공법적용 공사현장의 개요

본 연구에서 한중시공 적용 대상 공사현장의 개요는 Table 1과 같고, 조감도는 Figure 4와 같다.

4. 현장적용 계획 및 실험방법

4.1 현장적용 계획

본 연구의 현장적용 실험계획은 Table 2와 같다. 먼저 타설 레미콘 규격은 25-21-150으로 한중조건을 고려하여 OPC 100 %인 콘크리트를 사용하였다. 양생방법은 대칭되

Table 2. Experimental plans

Factors		Levels
Ready mixed concrete specification		· 25-27-150
Binder composition(%)	1	· OPC 100
Curing temperature(℃)		· Outdoor temperature
Curing conditions	2	· Bubble sheet application · No Bubble sheet
Location of CIMS	5	· 2 spots(Slab) · 2 spots(Wall) · 1 spot(Outdoor)
Temperature measurement period	1	· 0~7days
Specimens cured at the job site	1	· Compressive strength

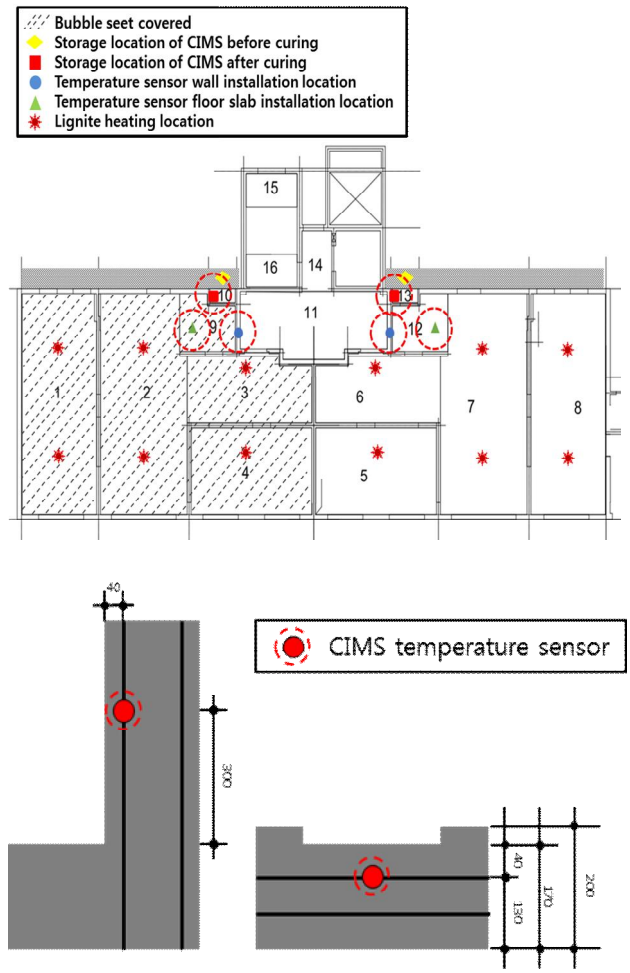
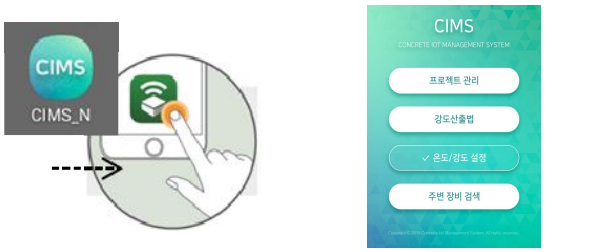


Figure 5. Location of CIMS

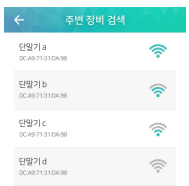
는 구조에서 한쪽은 버블시트를 포설하고, 다른 한쪽은 미포설 하였다. 시험적용 기간은 2019년 12월 27일부터 2020년 1월 22일까지 동절기 시공으로써 주위는 블루시트로 막고, Figure 5의 평면도와 같이 갈탄을 사용하여 가

Figure 6. Installation of CIMS



① Download and install the app.

② Turn-on the sensor



③ Tag sensors

④ Install sensors-continued

⑤ Retrieve sensor data

Figure 7. Procedure to activate CIMS

열 보온양생을 실시하였다.

온도측정은 Figure 5 및 6과 같이 최불리 조건이라고 사료되는 벽체와 슬래브 철근에 CIMS의 온도센서를 버블시트 포설 및 미포설 부분에 각각 1개씩, 외부 기온 측정 위한 온도센서 1개를 설치하고, 콘크리트의 온도 및 내부 온도를 재령 0일부터 7일까지 측정하였다. 이때 CIMS 메인센서 보관위치는 타설 작업시 방해가 되지 않도록 외벽 비계발판 위에 보관한 다음 바닥 콘크리트 경화 후 슬래브 위로 위치를 변경하였다.

측정 횟수는 7층부터 9층까지 총 3회로 하였다. 이때 버블시트는 콘크리트 타설 후 익일인 12시간 정도를 표면 피복 양생하는 것으로 하였다.

4.2 실험방법

버블시트 포설 여부에 따른 CIMS를 이용한 구조체 콘크리트의 내부온도 측정 및 관리는 Figure 7과 같은 순서에 의해 설치 및 작동시킨다. 먼저 CIMS_N 어플리케이션을 스마트폰 단말기에 설치한 후, 프로젝트관리 창을 통해 새 프로젝트를 기입한다. 이후 온도 측정 부위에 온도센서를 결속시킨 후 CIMS의 온도 측정 작업 등을 스마트폰으로 확인하고, 모든 설치 및 통신상태 확인이 마무리되면 콘크리트를 타설한다. 타설된 콘크리트에서 실시간으로 측정된 온도 데이터를 스마트폰 어플리케이션으로 수신하여 확인한다.

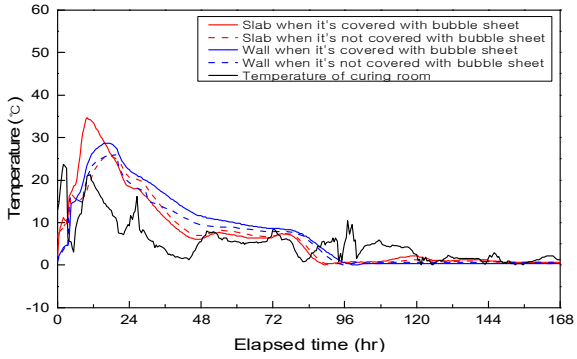
5. 현장적용 결과 및 분석

5.1 버블시트의 효과분석

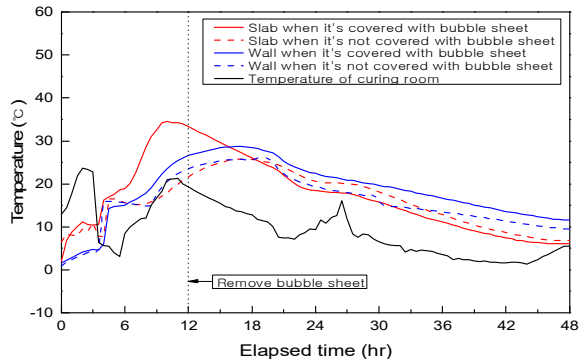
먼저, Table 3은 측정 기간의 기상청 외기온을 나타낸

Table 3. Schedule and outdoor temperature

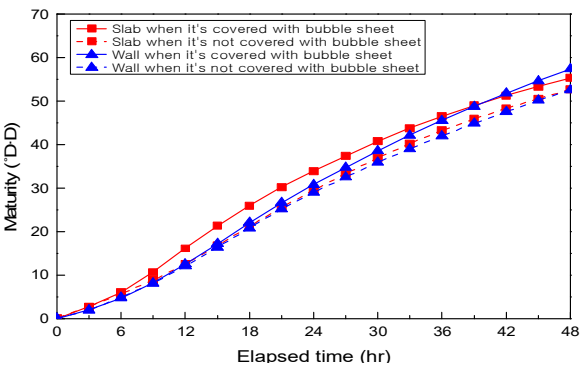
Date		December								…	January													
		27	28	29	30	31	1	2	3	…	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
construc-tion period	Building 8th floor(No.1)																								
	Building 9th floor(No.2)																								
	Building 10th floor(No.3)																								
Highest temperature(℃)		2.6	6.1	6.2	6.8	-4.5	0.3	3.8	4.6	…	8.9	2.0	4.2	3.9	2.8	0.2	-2.3	2.2	3.2	4.9	5.9	5.3	5.5	5.5	7.8
Lowest temperature(℃)		-4.6	-3.6	1.1	-5.7	-10.9	-6.5	0.7	-3.4	…	-0.4	-3.1	-4.3	-2.6	-3.5	-4.7	-5.7	-6.4	-5.5	-4.8	-4.1	-0.4	-3.3	-5.6	-0.1
Average temperature(℃)		-1.7	1.1	3.8	2.7	-7.9	-2.2	1.0	-0.1	…	2.4	-1.2	-0.6	-0.1	-0.1	-2.9	-2.3	-2.7	-1.7	-0.6	0.3	1.9	0.7	-0.4	3.0



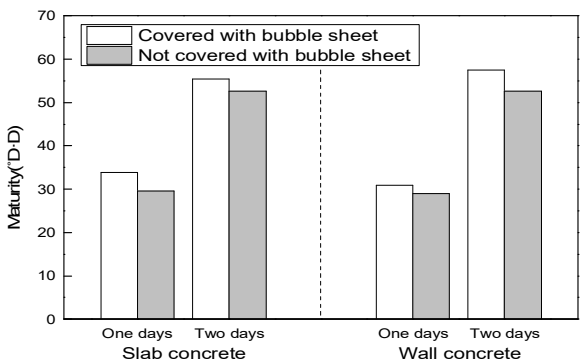
(a) Temperature history over time(7 days)



(b) Temperature history over time(2 days)



(c) Maturity evolution over time



(d) Maturity of slab and wall according to age depending on bubble sheet

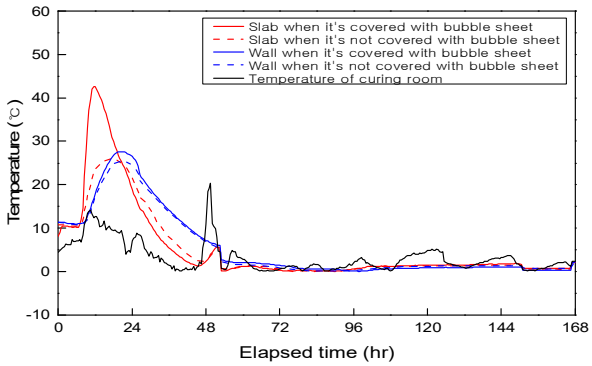
Figure 8. Temperature and maturity profiles of building 7th floor(No.1) – 2019.12.27.~2020.1.3

것이고, Figure 8~10은 건물 7층부터 9층(1~3회)의 CIMS에 의한 측정데이터를 나타낸 것이다. Figure 8~10의 (a)는 시공기간 중 재령 7일 동안 버블시트 포설과 미포설에 있어 슬래브와 벽체에 타설된 콘크리트의 시간 경과에 따른 온도이력을 나타낸 것이다. 전반적으로 재령 초기 콘크리트 내부 온도는 부재종류에 관계없이 수화열에 의해 상승하였고 특히 버블시트를 적용한 경우 수화열 및 단열 복합효과에 의해 적용하지 않은 경우보다 최고 온도가 높게 나타났다. 이후 재령경과에 따라 온도가 낮아지는 것으로 나타났는데, 초기양생종료 이후 대기조건에 노출되어 외기온도와 유사한 온도를 유지함을 확인할 수 있었다.

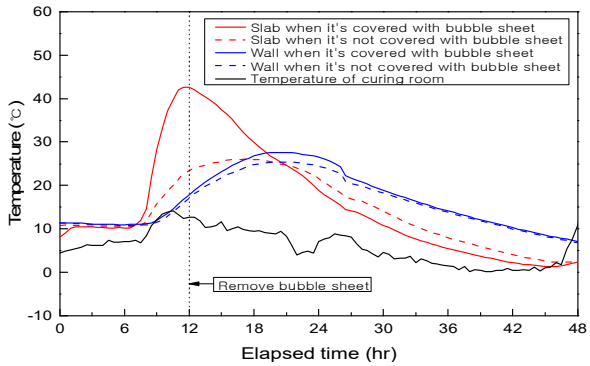
(b)는 (a)의 경우 중 재령 2일 동안의 버블시트 포설과 미포설에 있어 슬래브와 벽체에 타설된 콘크리트의 시간 경과에 따른 온도이력을 나타낸 것이다. 콘크리트의 온도는 버블시트를 제거하는 시간부터 낮아졌으며, 외기온의 영향에 따라 온도가 계속적으로 저하하였다. 한편, 2중 버블시트를 사용하였을 경우는 콘크리트 내부 온도가 최대 20.6℃까지 높게 나타났다. 이는 2중 버블시트의 단열효과로 콘크리트 내부 수화열이 외부로 손실되는 것을 방지함에 나타난 결과로 판단된다.

(c)는 (b)의 온도데이터를 적산온도로 분석하여 나타낸 것이다. 이때, 2중 버블시트를 사용하였을 때 적산온도가 높게 나타났다. 이는 2중 버블시트로 인해 내부의 열이 보존되어 평균온도가 높게 나타났기 때문으로 판단된다. 또한, 1회차부터 3회차까지의 시간에 따른 적산온도는 모두 다르게 나타났다. 특히, 외기온이 급격히 변화하는 시간은 적산온도도 비례하여 동일하게 급격히 변화하였다.

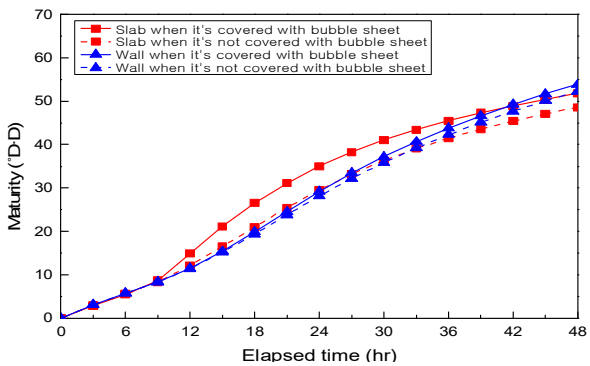
(d)는 (c)의 적산온도 데이터를 구체적으로 비교할 수 있도록 재령 1일과 2일에서의 적산온도를 나타낸 것이다. 이때, 재령 1일에서 슬래브의 경우는 버블시트를 포설한 콘크리트가 포설하지 않은 콘크리트보다 평균 4.5°D·D로 약 14.2 % 높게 나타났으며, 벽체의 경우는 버블시트를 포설한 콘크리트가 포설하지 않은 콘크리트보다 평균 1.1°D·D로 약 3.9 % 높게 나타났다. 재령 2일에서는 슬래브의 경우는 버블시트를 포설한 콘크리트가 포설하지 않은 콘크리트보다 평균 3.4°D·D로 약 6.7 % 높게 나타났으며. 벽체의 경우는 버블시트를 포설한 콘크리트가 포설하지 않은 콘크리트보다 평균 2.6°D·D로 약 5.1 % 높게 나타났다. 버블시트의 포설 및 미포설에 따른 적산온도의 차이는 슬래브 콘크리트가 벽체 콘크리트보다 더 높게 나타났다. 이



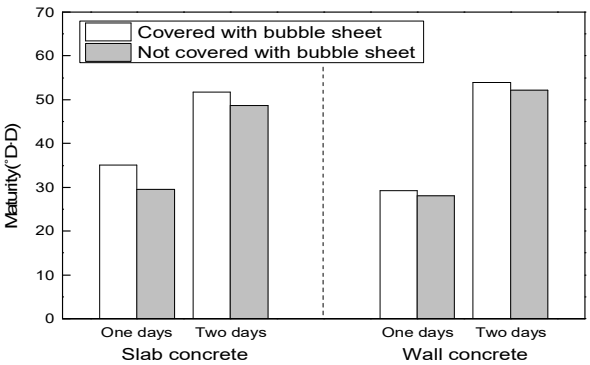
(a) Temperature history over time(7 days)



(b) Temperature history over time(2 days)

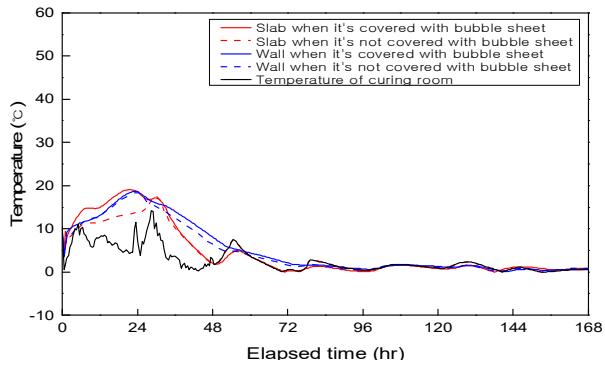


(c) Maturity evolution over time

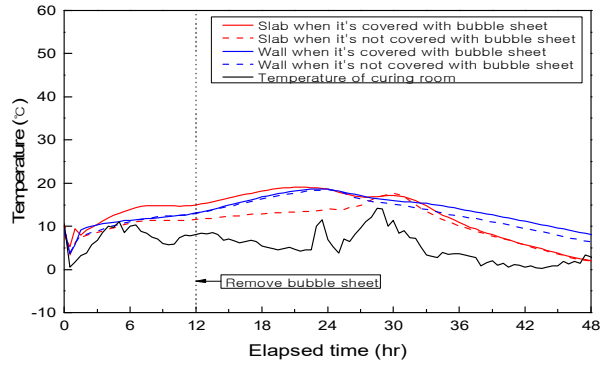


(d) Maturity of slab and wall according to age depending on bubble sheet

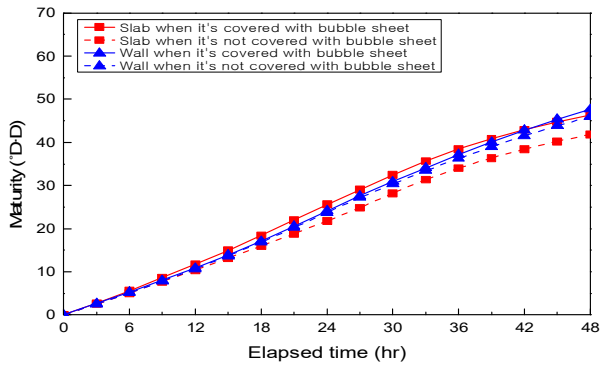
Figure 9. Temperature and maturity profiles of building 8th floor(No.2) - 2020.1.8.~2020.1.15



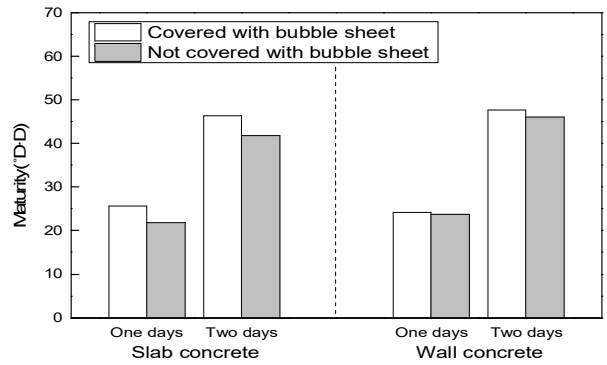
(a) Temperature history over time(7 days)



(b) Temperature history over time(2 days)

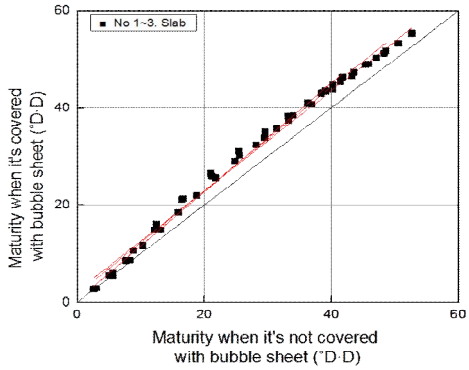


(c) Maturity development over time

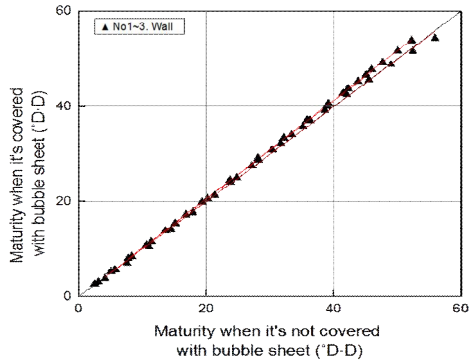


(d) Maturity of slab and wall according to age depending on bubble sheet

Figure 10. Temperature and maturity profiles of 9th floor of the building(No.3) - 2020.1.15.~2020.1.22



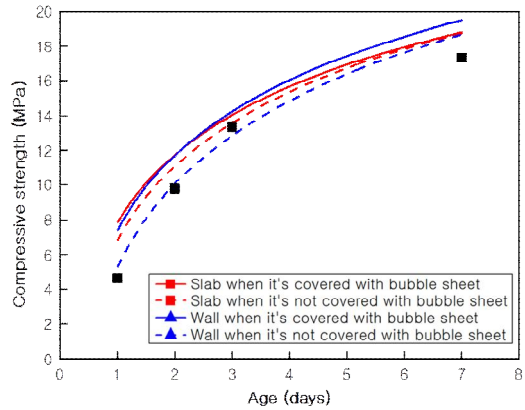
(a) Slab



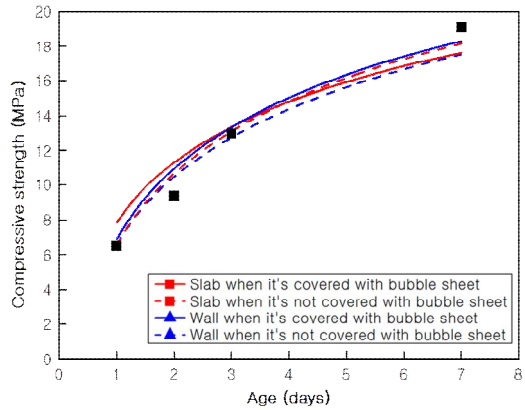
(b) Wall

Figure 11. Comparison of maturities with and without bubble sheet

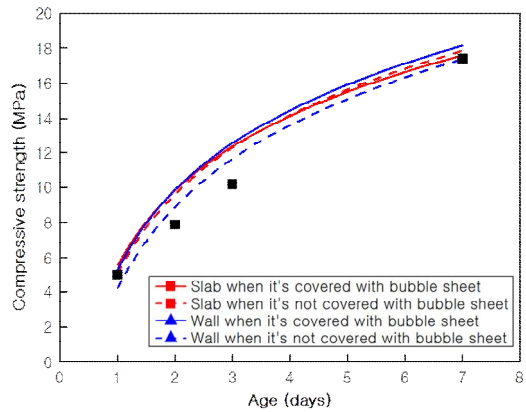
Figure 12. Temperature and maturity collected from CIMS



(a) Strength development with bubble sheet of 7th floor(No.1)



(b) Strength development with bubble sheet of 8th floor(No.2)



(c) Strength development with bubble sheet of 9th floor(No.3)

Figure 13. Strength development with age

는 2중 버블시트로 양생하는 면적이 벽체보다는 슬래브 콘크리트가 넓음에 따라 온도 차이가 크게 나타난 것으로 판단된다.

Figure 11은 버블시트 포설한 슬래브 및 벽체 콘크리트와 버블시트를 미포설한 슬래브 및 벽체 콘크리트의 적산온도 상관관계를 나타낸 것이다. 온도 경향과 유사하게 버

블시트를 포설한 슬래브 및 벽체 콘크리트의 적산온도가 더 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

5.2 CIMS의 초기 품질관리

Figure 12는 CIMS를 통해 얻어진 온도, 적산온도 및 추정 압축강도를 나타낸 것이다. SmartRock2™의 경우는 콘크리트를 갈탄으로 가열 보온양생 하는 위치까지 가야만 데이터 수신 및 관리가 가능하였으나(송신거리 8m), CIMS는 그 아래층에서도 수신이 가능하여(송신거리 30m) 가스 중독 등의 안전사고 문제가 발생하지 않았고, 알루미늄 거푸집의 난반사에 의한 데이터의 송·수신 오류도 발생하지 않았으며, 센서 교체만으로 저렴하게 운용되고, 온도의 경우도 특별한 문제없이 송·수신되는 것을 확인할 수 있었다.

Figure 13은 재령에 따른 구조체 관리용 공시체(동일한 배합의 콘크리트로 현장 봉합양생 공시체)의 압축강도와 CIMS로 추정한 압축강도를 나타낸 것이다. 이때, 1회~3회차 모두 2중 버블시트를 포설한 부분이 미포설한 부분보다 추정된 압축강도가 더 높은 값으로 나타났다. 또한, 추정된 압축강도와 이를 검증하기 위해 측정한 구조체 관리용 공시체의 압축강도의 오차는 약 2 MPa 이내로 측정되었다. 따라서 CIMS를 활용한 압축강도 추정 방법이 비교적 정확하다는 결과를 토대로 거푸집 탈형 가능 시점을 실시간으로 확인한 결과 거푸집 존치기간을 1사이클 당 약 1일 정도 단축해 공정관리 측면에서도 효과적인 것으로 판단되었다.

6. 결 론

본 연구에서는 한중 콘크리트 시공에서 갈탄을 이용하여 가열 보온양생하는 벽식구조 아파트 신축공사 현장에서 슬래브 및 벽체 콘크리트 타설 후 상부에 2중 버블시트 포설에 따른 단열 효과분석 및 해당현장의 한중 콘크리트를 무선센서 네트워크인 CIMS를 이용하여 콘크리트 초기 품질관리 가능성을 분석하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 건설 현장에 타설된 한중 콘크리트의 온도는 대체로 재령 초기에는 콘크리트의 수화열에 의해 콘크리트의 내부 온도가 상승하였고, 이후 외기온에 의해 감소하였다. 특히 벽체와 달리 슬래브의 경우 버블시트를 포설한 경우는 미포설한 경우보다 버블시트의 단열성능에 기인하여 온도가 상승하였는데, 외기온 및 갈탄 보온양생 위치에 따른 영향에 의해 작게는 1~2℃에서 큰 경우는 20.6℃까지 다양한 온도 상승을 나타났다.
2) CIMS로 측정한 온도를 기반으로 버블시트를 포설한 콘크리트와 포설하지 않은 콘크리트의 적산온도를 비교한 결과 재령 1일은 버블시트를 포설한 콘크리트의 적산온도가 슬래브의 경우 4.5°D·D로 약 14.2 %, 벽체의 경우 1.1°D·D로 약 3.9 % 더 높게 나타났으며, 재령 2일의 슬래브의 경우 3.4°D·D로 약 6.7 %, 벽체의 경우 2.6°D·D로 약 5.1 % 더 높게 나타났다.
3) CIMS의 경우는 콘크리트 내부온도 전송거리가 SmartRock2™의 8 m보다 30 m로 더 멀리 전송될 수 있어 갈탄을 태우는 연소가스에 따른 안전문제를 해결할 수 있었으며, 알루미늄 거푸집의 난반사에 의한 데이터 송·수신 오류도 발생하지 않았고, 센서만의 교체로 저렴한 방법이 되며 온도의 경우도 특별한 문제없이 송·수신되는 것을 확인할 수 있었다.
4) CIMS로 추정한 압축강도와 구조체 관리용 공시체의 압축강도를 분석한 결과 추정된 압축강도와 구조체 관리용 공시체의 압축강도간의 오차는 7일 재령까지 약 2 MPa 이내로 측정되었다. 또한 2중 버블시트를 포설한 부분이 미포설한 부분보다 추정된 압축강도가 더 높은 값으로 나타났는데, 이 방법을 도입함으로써 버블시트의 단열효과까지 포함하여 실무에서는 거푸집 존치기간을 1사이클 당 1일 정도 단축하는 공정관리 측면에서의 효과를 얻을 수 있었다.

이상을 종합하면 한중 시공시 버블시트를 이용한 단열 보온양생을 적용한 현장을 대상으로 저자 등이 이전 연구를 통해 개발한 무선센서 네트워크인 CIMS를 이용하여 온도이력 및 실시간 압축강도를 추정한 결과 CIMS에 의한 온도이력 추정 및 압축강도 추정이 기존 열전대와 구조체 강도관리 공시체를 이용한 방법과 비교하여 동등 이상의 정확도를 갖게 됨을 확인할 수 있었다. 나아가 강도의 실시간 확인으로 거푸집 존치기간의 결정과 설계기준강도 발휘 여부를 기존 측정방법보다 빠르게 확인할 수 있는 효과적인 방법이 될 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 한중 환경에서 가열 보온양생을 실시한 벽식 구조 아파트의 슬래브 상부 및 벽체를 대상으로 2중 버블시트 포설에 따른 온도이력 및 강도발현 특성을 저자 등에 의해 이전 연구에서 개발된 무선센서 네트워크인 Concrete IoT Management System(CIMS)를 이용하여 실시간 모니터링 및 추정하고자 하였다. 분석결과 버블시트의 단열성능에 기인하여 구조체 콘크리트의 온도가 높게 나타났다. 또한, CIMS의 경우는 콘크리트 내부온도를 30 m까지 양호하게 무선센서 네트워크로 스마트폰에 전송되어 적산온도 및 실시간 압축강도 측정으로 효율적인 초기 품질관리가 가능할 수 있음을 알 수 있었다. 초기 품질관리 결과로서 압축강도는 7일 이내에서 약 2 MPa 이내의 오차로 추정될 수 있음에 따라 버블시트의 단열효과까지 포함하여 실무에서는 거푸집 존치기간을 1사이클 당 1일 정도 단축하는 공정관리 측면에서 효과도 얻을 수 있었다.

키워드 : 버블시트, 콘크리트 초기 품질관리 시스템, 적산온도, 한중콘크리트, 강도발현

Funding

Not applicable

ORCID

Min-Cheol Han, http://orcid/0000-0002-2555-673X
Seo, Hang-Goo, https://orcid.org/0000-0003-1398-5403

References

1. Koh KT, Park CJ, An GH, Ryu GS, Kim DG, Lee JH. Investigation on the minimum compressive strength to prevent early frost damage from the viewpoint of durability. Proceeding of Korea Concrete Institute; 2013 May 11-13; Seoul (Korea). Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2013. p. 87-8.
2. Giatec Scientific Inc; Setting a New Standard for Concrete Testing Equipment [Internet]. Giatec: Ontario, Canada; 2020 Jan [updated 2021 Jan 1; cited 2021 Feb 10]. Available from: https://www.giatecscientific.com/.
3. Lee JH, Kim MS, Moon BY, Lee SU, Han MC, Han CG. Influence on temperature of concrete by various kind of surface covered materials. Proceeding of Architectural Institute of Korea; 2017 Oct 17-18; Seoul (Korea). Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2017. p. 773-4.
4. Lee YJ, Kim TW, Lee JJ, Lee SW, Han MC, Han CG. Strength monitoring by equivalent age method with wireless sensor network for concrete slab using insulated form work. Proceeding of Architectural Institute of Korea; 2018 Mar 21-22; Jeju (Korea). Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2018. p. 658-9.
5. Lee YJ, Hyun SY, Kim TW, Lee SW, Han MC, Han CG. Strength monitoring of the wall concrete using insulation formwork and unreinforced formwork using maturity based wireless sensor network. Proceeding of Korea Concrete Institute; 2018 May 12-14; Kyungju (Korea). Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2013. p. 325-6.
6. Lee YJ, Hyun SY, Lee JJ, Lee SW, Han MC, Han CG. Strength monitoring of the wall concrete with insulation form and non-insulation form with wireless sensor network with equivalent age method. Proceeding of Korea Concrete Institute; 2018 May 12-14; Kyungju (Korea). Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2018. p. 659-60.
7. Kim SM, Sin SJ, Seo HG, Kim J, Han MC, Han CG. Prediction of strength development of the wall concrete at jobsite applying wireless sensor network (CIMS) based on maturity. Proceeding of Architectural Institute of Korea; 2020 Mar 26-28; Seoul (Korea). Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2020. p. 397-8.
8. Kim SM, Sin SJ, Hyun SY, Kyoung YH, Han MC, Han CG. Prediction of strength development of concrete at jobsite applying wireless sensor network (CIMS) based on maturity. Proceeding of Korea Concrete Institute; 2018 May 13-14; Seoul (Korea). Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2020. p. 403-4.