양생직후 초기재령의 콘크리트 내부 온도와 상대습도의 측정 및 분석

Investigation of Internal Temperature and Relative Humidity of Concrete Immediately After Mix and Placement

박철우* 박영훈** 박용걸***

Park, Cheolwoo Park, Young-Hoon Park, Yong-Gul

ABSTRACT

Concrete is still one most common construction materials even in railway structures. As structures become massive and mega-sized, the importance of early age concrete quality control becomes more significant. Among various factors, relative humidity and temperature are the primary factors governing the early age quality. Temperature raise due to cement hydration causes stress, which can develop to cracking with internal and/or external restraints. Exposure conditions including ambient temperature, humidity and wind also significantly affect the cracking behavior of early age concrete. Among many of studies on the early age concrete behavior, investigation on the variation of temperature and relative humidity internal of concrete is not common. That is in part because the difficulties in measuring the relative humidity and temperature inside the concrete. This study used a digital sensor with an appropriate logger to measure internal temperature and relative humidity. This direct measuring method is expected to provide more reliable and comprehensive data acquisition on the early age behavior of concrete.

1. 서론

철도시설물에 있어 고속전철의 도입 등으로 인하여 콘크리트 구조물의 사용이 지속적으로 증가하고 있으며, 고강도화, 고내구성화, 대형화되어가고 있다. 또한, 역사건물 등에 다양한 설계가 도입되어 구조물의 형태가 복잡해지고 있는 실정이다. 이러한 이유 등으로 인하여 콘크리트 구조물의 초기재령 균열의 발생가능성이 현저히 증가하게 되며, 콘크리트 구조물의 장기적 품질관리를 위해 양생초기 내부 수화열 분석 및 습도 거동에 대한 정확한 측정 및 분석은 구조물의 내구성 및 장기공용성의 향상을 위하여 필수적이라 할 수 있다 (2005 정진훈). 일반적으로 콘크리트 초기 재령시 수화반응에 의한 수화열은 내적 및 외적 구속을 받고 있는 콘크리트 구조체에 대하여 온도응력을 발생시켜 양생 초기 균열 및 지속적인 인장응력 영향을 가지게 한다. 또한 대기 온도 및 습도 그리고 콘크리트 양생환경에 의한 급속한 표면 및 내부습도 변화는 콘크리트 건조수축을 유발하며 온도응력과 더불어 초기 콘크리트 구조물에 피해를 좋지 않은 영향을 미쳐 내구성 및 장기공용성을 저하시킨다.

최근 이러한 초기 거동의 분석의 중요성이 인식되면서 초기 거동에 대한 많은 연구가 이루어져왔다. 하지만 수화열 분석에 비하여 수분분포 및 거동 분석에 대한 연구는 계측의 어려움으로 인하여 매우 미비한 실정이다. 또한 내부습도를 직접적이며 정확하게 측정하기보다는 대기습도 및 표면습도에 의한 내부습도 변화를 예측하는 연구가 진행되었었다. 본 연구에서는 콘크리트 초기 재령시 내부의 수화열에 의한 온도 분포 거동과 수화반응 및 건조에 의한 수분 분포 거동을 동시에 직접적으로 측정할 수 있는 편리하고 신뢰성 있는 측정 기법을 제시하고 그에 따른 콘크리트 구조물의 온습도 거동을 측정 분석하는데 있다.

* 책임저자, 정회원, 강원지부 총무, 강원대학교 공학대학 건설공학부 토목공학전공 교수 tigerpark@kangwon.ac.kr, Tel: 033-570-6515

** 정회원, 부천대학 토목공학과 교수

*** 정회원, 대외기획이사, 서울산업대학교 철도전문대학원, 교수

2. 온습도 계측 시스템 개발

콘크리트 타설 직후, 초기재령 시 내부의 직접적이고 세부적인 온습도의 정확한 계측은 최근 개발된 센서를 활용하여 가능하게 되었다. 기존의 습도측정방식은 내부의 습도를 추정하는 방식이거나 몇몇 부분에 대한 제한적인 측정 방식이 대부분이었다. 본 연구에서 개발한 온습도 계측 시스템은 계측을 담당하는 센서부와 디지털 신호를 처리하는 데이터 로거 및 컴퓨터로 구성되어 있으며 동시에 15개 채널의 데이터를 측정할 수 있다. 사용된 센서는 그림 1에 나타난 바와 같이 온습도 계측이 동시에 가능한 S사의 고정밀 온습도센서를 활용하였으며, 센서는 1.27mm 소켓용 핀 타입 패키지 센서로서 4개의 연결핀을 가지고 있고 기존의 전기저항식을 활용하는 아날로그 방식이 아닌 디지털 방식이다. 센서로부터 계측된 디지털 신호를 컴퓨터에 저장하기 위하여 본 연구에서는 센서에 적합하도록 마이크로 컴퓨터(ATMega128 Pro 개발키트 AB-M128-PRO-A)를 활용하여 직접 제작하였으며, 동시에 15개 센서의 측정이 가능하도록 하였다. AB-MI28-PRO-A 개발 킷의 구성은 그림 2와 같으며 외부 12V 입력, 내부동작 5V 단일 전원을 사용한다. 데이터로거를 통하여 측정된 데이터는 Labview S/W를 활용하여 제작한 프로그램을 통하여 ASCII 형태로 저장 가능하도록 하였다.

그림 1. 사용된 온습도 계측센서

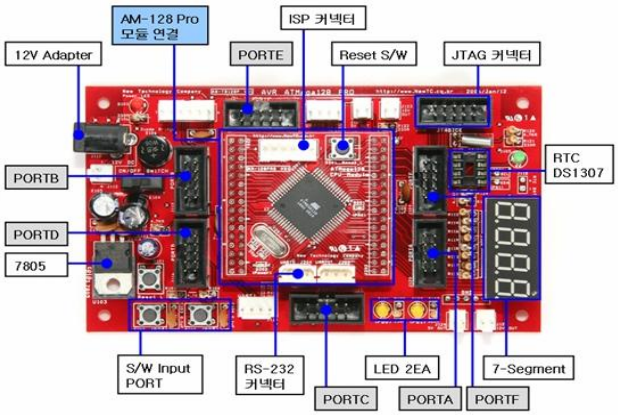


그림 2. 데이터로거 제작에 사용된 마이크로 컴퓨터

3. 시험 시편 계측

실험에 사용된 시험체는 80×120×20cm의 크기로 제작하였으며 (그림 3 참조) 사용된 콘크리트의 배합은 표 1과 같다. 콘크리트의 타설 직후부터 계측은 시작되었으며 그림 3은 시험체의 형상 및 매립된 온습도 센서의 위치를 나타내고 그림 4는 실험 전경을 보여주고 있다. 제작된 시험체를 실내온도 25℃, 습도 55%의 항온·항습실에서 양생하며 계측을 진행하였으며 센서의 계측은 타설 즉시부터 양생 9일까지 초기에는 매 10분 간격으로 측정하였으며, 양생기간이 증가함에 따라 측정 간격을 매 30분으로 증가하였다.

표 1. 사용된 콘크리트 배합표

D_{max} (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	단 위 량 (kgf/m^3)				
					W	C	F.A.	C.A.	AEA
25mm	4cm	5±1℃	45	38	147	326	692	1122	0.01%

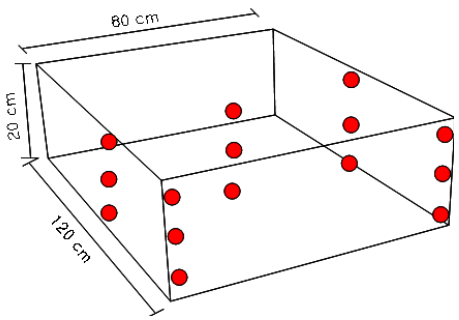
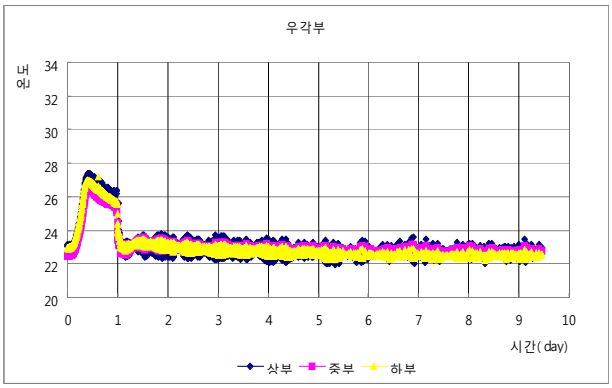


그림 3. 시험체의 제원 및 온습도 센서의 위치

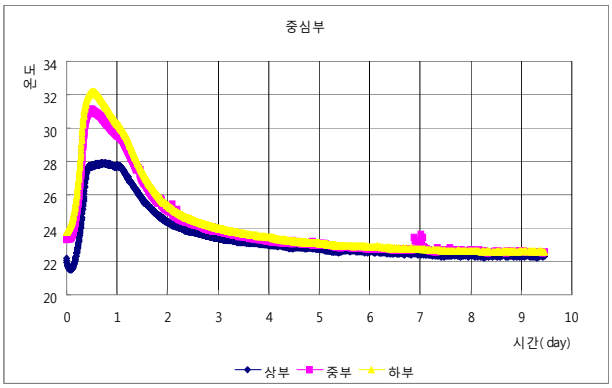
그림 4. 실험 전경

4. 계측 결과

그림 5는 시험체로부터 측정된 콘크리트의 초기 온도분포 결과이다. 시험체 우각부의 경우 발열이 자유로워 최대 발생 온도가 약 27℃ 정도로 측정되었고 우각부에서 상부, 중부, 하부의 부위별 온도 차이가 거의 발생되지 않는 것으로 나타났다. 반면에 시험체 중심부의 경우 최대 발생 온도가 상부 28℃, 중부 31℃, 하부 32℃로 측정되었다. 이는 중부와 하부에서 대기로의 발열이 진행되지 못하고 주위 콘크리트에 전도만 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다. 또한 우각부와 중심부의 최대 온도 차이가 5℃정도 발생하는 것으로 측정되었다. 이는 연구에 사용된 시험체의 크기가 크지 않고 일정한 온도 및 습도의 외부환경에 노출된 점을 감안한다면 실제 구조물에서는 내부와 표면의 온도차이에 의한 인장응력이 충분히 발생할 것으로 판단된다.



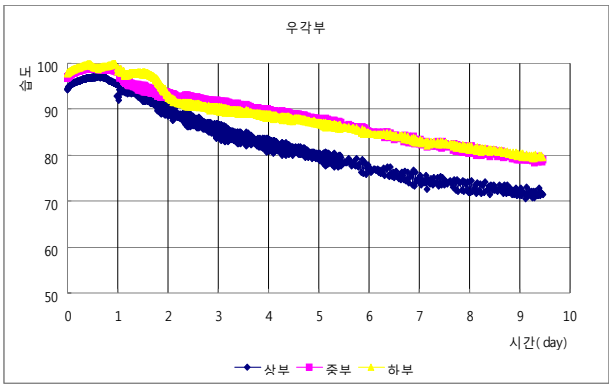
(a) 우각부 온도 분포



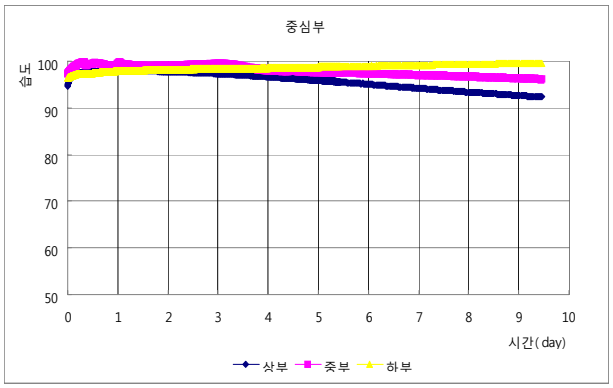
(b) 중심부 온도 분포

그림 5. 온도 측정 결과

습도분포 측정 결과 그림 6과 같은 분포를 나타내었으며, 우각부의 경우 3면으로 증발이 가능한 상부의 경우 양생 9일까지 약 28%의 수분손실을 나타내었고, 2면으로 증발이 가능한 중부와 하부의 경우 거의 동일한 거동을 나타내며 약 20%의 수분손실을 나타내었다. 중심부의 경우 역시 상부표면으로만 수분증발이 이루어짐으로 양생 9일까지 상부의 경우 약 8%, 중부의 경우 약 4%, 하부의 경우 2% 정도의 수분손실을 나타내었다. 양생초기 콘크리트 구조물은 우각부의 경우 양생 7일 경과시 표면부에서 약 25%, 중부와 하부의 경우 18%정도의 내부수분이 줄어드는 것을 확인할 수 있었고, 중심의 경우 양생 7일 경과시 표면부에서 약 5%, 중부에서 약 2.5%, 하부에서 1% 정도의 내부 수분이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 측정결과 양생시 건조수축이 우각부에서 집중적으로 발생할 것으로 판단된다.



(a) 우각부 습도 분포



(b) 중심부 습도 분포

그림 6. 습도 측정 결과

4. 결 론

기존 콘크리트 초기 거동 분석은 상대적으로 측정이 용이한 온도의 분석이 대부분이었으며, 습도 분석의 경우 대기습도와 콘크리트의 표면습도 계측을 통하여 내부습도를 예측하는 경우가 대부분이었다. 또한 기존 측정 방식은 온도와 습도를 따로 측정하여 측정 방식이 매우 번거로웠다. 본 연구에서는 콘크리트 내부의 온·습도 거동을 측정 가능한 계측시스템을 개발하고자하는 기초 연구로서 다름과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 신뢰성이 입증되어 있는 새로운 센서를 활용하여 콘크리트 내부 온·습도 거동을 직접적이고 세부적인 측정이 가능한 계측시스템을 개발하였다.
2. 양생시간에 따른 내부 온도 변화를 분석한 결과 우각부의 경우 발열이 자유로워 상부, 중부, 하부의 온도변화가 거의 동일한 양상을 나타내었으며, 중심부의 경우 상대적으로 발열이 자유로운 상부와 주변 콘크리트로의 전도만이 이루어지는 중부와 하부의 최대 온도차이가 4℃ 정도로 나타났다. 따라서 콘크리트 구조물의 중심과 표면의 온도차이로 인한 인장응력이 표면과 우각부에 전체적으로 발생하는 것으로 나타났다.
3. 양생시간에 따른 내부 습도 변화를 분석한 결과 수분의 발산이 자유로운 우각부의 경우 양생 7일간 상부 25%, 중·하부에서 18% 정도의 수분손실을 나타내었으며, 상부로만 수분의 발산이 가능한 중심부의 경우 상부 5%, 중부 2.5%, 하부 1% 정도의 수분손실을 나타내었다. 따라서 수분손실에 의한 콘크리트 구조물의 건조수축은 우각부 및 표면에서 집중적으로 발생하는 것으로 나타났다.
4. 시험체의 높이에 따른 온도 및 습도 변화가 명확하게 구분되어 측정되었으며, 이러한 결과를 활용하여 콘트리크 포장, 매스콘크리트 등의 초기재령 관리를 위한 연구가 지속적으로 수행되어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Grasley, Z. and Lange, D. A. (2004) A New System for Measuring the Internal Relative Humidity in Concrete, University of Illinois at Urbana-Champaign, IL USA.
2. 김성민, 남정희 (2005) 콘크리트도로 포장의 초기 온도분포분석, 한국도로학회 논문집, Vol. 7 No. 3, pp.79-91.
3. 정진훈 (2005) 타설 직후 건조하는 콘크리트의 표면습도 모형, 한국도로학회 논문집, Vol. 7 No. 3, pp.23-30.