

한중콘크리트의 부재 단면별 온도범위와 강도변화특성에 관한 실험적 연구

An experimental study on the difference of temperature and strength according to member size for cold weather concrete

김명원* 박광수** 조영권*** 이준구* 김관호*
Kim, Meyong Won Park, Kwang Su Cho, Young Kweon Lee, Joon Gu Kim, Kwan Ho

ABSTRACT

Discusses the results of an investigation of the relationship between maturity in field-cured specimens and that from the thinner dimension structure to thick, particularly at cold weather concrete. Tests were carried out on two different concrete mixes with 28 day compressive strengths ranging approximately 30MPa. Ready-mixed concrete was used, and test specimens were the conventional field-cured 10×20cm concrete cylinder with insulating materials and without them, and test structures were the thinner(width 20cm), the general(width 40cm), the thick dimension(width 60cm), respectively. Tests were performed at age of 3, 7, 14, 28 day. Analyses of test results show that the maturity of concrete for require compressive strength was suggested to be keep higher than 164D°D until at least from 8day to 10day

1. 서론

농한기인 11월부터 이듬해인 3월까지 겨울철이 아니면 공사가 불가능한 경우가 많은 농업기반정비 사업의 경우 한중콘크리트의 시공이 필수적이다. 이시기에 시공되는 콘크리트는 초기동해 피해와 수화 작용 및 응결경화시간 지연에 따른 강도저하를 고려하여야한다. 초기동해 피해는 콘크리트를 부어넣은 후 부터 경화의 초기단계에 있어서 동결 또는 수화의 동결융해 작용 반복에 따라 강도저하, 파손, 균열을 일으키는 원인이 된다. 이러한 초기동해와 수화작용 및 응결경화시간 지연은 초기 재령에서 콘크리트의 양생온도와 밀접한 관계가 있기 때문에 콘크리트 표준 시방서에서는 초기양생기간동안 콘크리트의 양생온도를 소요의 압축강도가(5MPa이상, 얇은 단면 10MPa이상)얻어질 때까지 일정온도를 유지하도록 소요양생일수를 추천하고있으나 얇은 단면 및 두꺼운 단면의 경우는 적절한 양생 소요일수가 정해져있지 않은 실정이다.

본 연구에서는 각 부재 단면별 평균온도 범위를 실험적 검토를 통하여 산출하고 이를 이용한 부재 단면별 구조체와 현장양생 공시체의 적산온도(Maturity) 및 현장양생공시체의 압축강도를 이용하여 한중콘크리트 시공시 초기양생 품질관리를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 현장 실험계획 및 방법

2.1 시험 요인 및 수준

콘크리트의 초기 양생온도는 구조물의 단면에 따라 표면부 부터 중심부까지 온도분포가 다르게 분포하기 때문에 적산온도개념을 도입한 소요양생일수는 단면 크기별 콘크리트 평균온도와 같은 위치의 온도이력을 택하는 것이 바람직할 것이다.

본 연구에서는 단면 크기별 평균온도 범위를 검토하기 위하여 표1 과 그림1과 같은 온도측정 시스템과 구조물별 온도측정 개소 및 위치를 정하여 실험계획을 수립하였다.

* 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 주임연구원
** 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 수석연구원
*** 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 책임연구원

본 실험에 사용된 콘크리트 강도는 레디믹스트 콘크리트로서 호칭강도 30MPa이며, 옥외에서 실험용 구조체를 부재 단면별로 제작하여 동결기에 현장양생을 하였다.

2.2 온도센서의 설치

본 연구의 부재 단면별 온도측정범위를 측정하기 위해 연속 자동 측정·기록이 가능한 양생온도 측정시스템을 사용하였으며, 온도측정시간은 매 1~2시간 시간마다 자동 온도 측정 및 기록을 할 수 있는 장치로 구성되었다. 각 부재 단면별로 연장의 1/2를 나누어 콘크리트를 타설하였고 나누어진 구조체에 각각 온도센서를 4개소 설치하였으며, 각 부재 단면별 실험용 구조체의 양생조건은 보온덮개를 덮은 것과 덮지 않은 것으로 나눠 양생을 실시하였다. 그 모식도는 그림 1과 같다.

표 1 부재단면별 온도측정을 위한 구조 실험체

호칭 (MPa)	구분	얇은단면 (20cm)	보통단면 (40cm)	두꺼운 단면 (60cm)	타설일
30	두께(t)	20cm	40cm	60cm	2004.12.15
	높이(h)	50cm	70cm	100cm	2005.1.25
	길이(l)	1.8m	1.6m	1.8m	

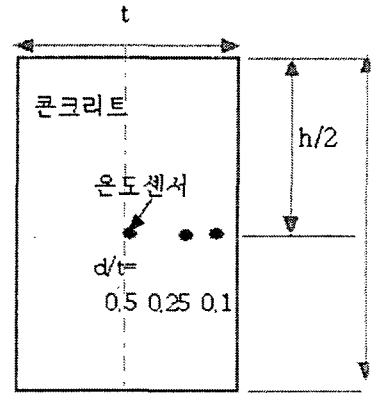
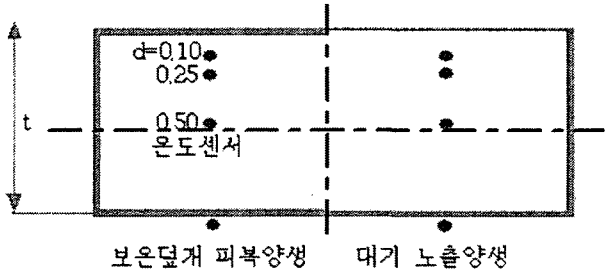


그림 1 부재단면별 온도측정 모식도

2.3 사용재료

본 연구에서 사용한 콘크리트는 안산지역에서 생산되는 U사의 레미콘을 사용하였고, 시멘트, 골재, 혼화제의 물리적 특성과 배합비는 표2, 표3에 나타내었다

2.4 압축강도용 공시체 제작

본 실험에 사용된 콘크리트 공시체는 표준원주형 공시체(10×20cm)를 사용하였으며 실험용 구조체의 양생조건과 비슷하게 관리하도록 하였으며, 보온덮개를 덮은 것과 덮지 않은 것으로 나눠 양생을 실시하였다. 실험 제령은 3, 7, 14, 28일이다.

표2 시멘트, 골재, 혼화제 물리적 특성

밀도(g/cm ³)	조립율	표건밀도	산지	조립율	표건밀도	산지	종류
3.15	2.88	2.60	인천 세척사	6.94	2.64	경기화성 부순돌25mm	AE제 (조강)

2.5 시험값의 획득

1) 받아들이기 품질

레디믹스트 콘크리트의 받아들이기 품질은 표4와 같다

2) 구조체의 각 단면별 양생온도 이력

표3 콘크리트의 배합설계표

콘크리트 양생기간 동안 일 평균기온과 일 최저 기온은 1차 타설시에는 콘크리트 타설후	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위량(kg/m ³)					
					물	시멘트	잔골재	굵은 골재	혼화제 ¹⁾ (C×%)	혼화제 종류
25-30-15	15±2.5	4.5±1.5	40.2	43.5	185	460	723	953	2.3	AE제

5일간 일 평균 기온이 4℃, 일 최저기온이 -2℃이상으로 한중콘크리트 시공기간 중 경미한 동결기에 해당하였으며, 2차 타설시에는 콘크리트 타설 후 5일간은 일 평균기온이 1~6℃, 일 최저 기온이 -3℃이하로 한중콘크리트 시공기간중 동결작용기에 해당하였다.

표4 받아들이기 품질

호칭강도	시험일	타설 회수	좁은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (mm)		공기량(%)		온도측정	
				기준	실측	기준	실측	콘크리트	외기온
30	04.12.15	1차	25	15±2.5	17	4.5±1.5	3.9	13.5℃	11℃
30	05.1.25	2차	25	15±2.5	18	4.5±1.5	3.5	11.0℃	7.5℃

그림2 및 그림3은 재령 14일까지 재령에 따른 공시체의 온도 이력을 나타낸 것으로 재령에 따른 콘크리트 온도 변화가 외기온이나 보온된 공간의 온도

변화에 의해 민감하게 변화함을 알 수 있었다. 그림4는 두꺼운 단면의 재령 3일까지 온도 센서 위치에 따른 콘크리트의 온도이력을 나타낸 것이다. 본 연구의 결과를 기준으로 볼 때 $a(d/t)$ 가 0.25일 경우 두꺼운 단면, 보통단면, 얇은 단면에서 부재 평균온도와 유사한 온도이력을 나타내었다. 구조체 콘크리트 각 단면별 외기온이나, 보온된 공간의 온도와 균형을 이루는 재령은 타설 후 보온덮개로 보호한 두꺼운 부재와 보통부재의 경우 재령 3~4일, 얇은부재는 0.8일에서 보온된 공간의 온도와 균형을 이루었다. 타설 후 외기에 그대로 노출시킨 경우는 두꺼운 부재와 보통부재의 경우 재령 2~3일, 얇은 부재는 0.8~1.8일에서 외기온과 균형을 이루었다.

한편 얇은 단면의 온도이력은 공시체의 경우와 유사한 이력을 나타내었다.

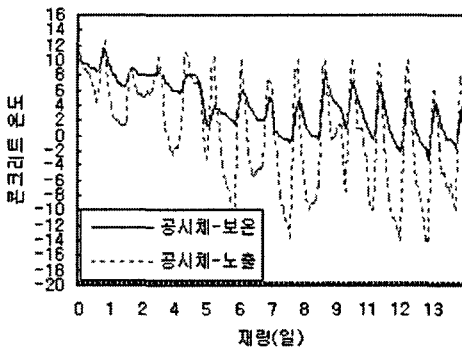


그림2 현장양생 공시체 온도이력(1차)

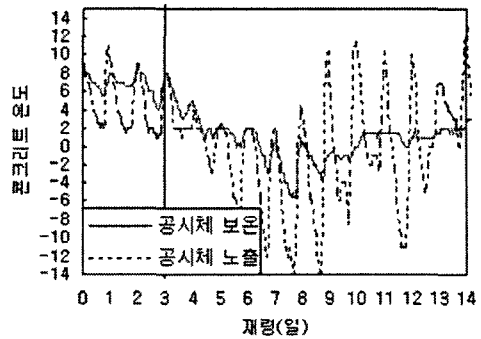


그림3 현장양생 공시체 온도이력(2차)

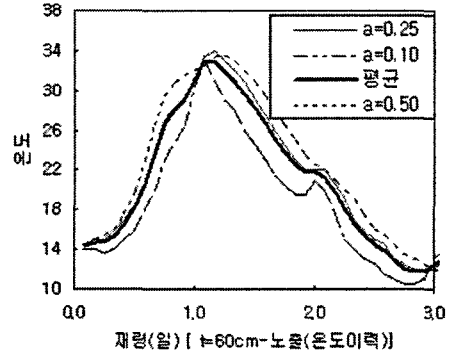
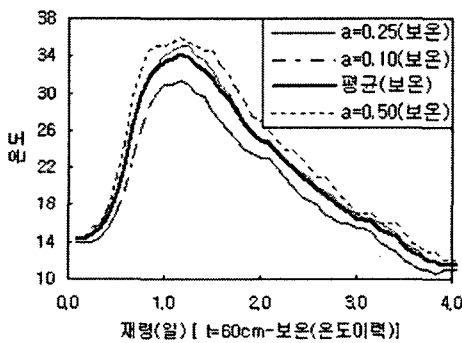


그림4 두꺼운 단면의 구조체 온도이력(보온/노출)

3) 압축강도와 적산온도

적산온도가 같을 때 소요강도 동일하다는 가정 하에 보온 및 노출양생 공시체의 압축강도와 소요강도(15Mpa)에 도달할 때의 적산온도를 분석하여 각 부재별 소요양생일수를 분석하였다.

그림 5은 04년12월15일과 05년1월25일에 타설시 제작한 공시체를 보온덮개로 양생하고 재령 3,7,14,28

일에서 6개의 공시체를 꺼내어 강도 시험을 수행하였다. 보온덮개로 보호한 공시체에서 획득한 온도이력을 이용하여 적산온도와 공시체 강도의 관계를 그림 5 같이 도시하고 식 1과 같은 회귀함수를 얻었다.

$$f_c = 72.04 \ln(M) - 216.55 \text{ -----(식1)}$$

($r^2 = 0.79$). (1)식을 이용하여 시방서에서 규정하는 초기동해 방지를 위한 소요압축강도는 15MPa 이상 이므로 보온덮개로 보호한 본 연구의 결과를 기준으로 하면 소요 적산온도는 부재의 단면별로 164D°D 이상이 되어야 할 것으로 판단되었다.

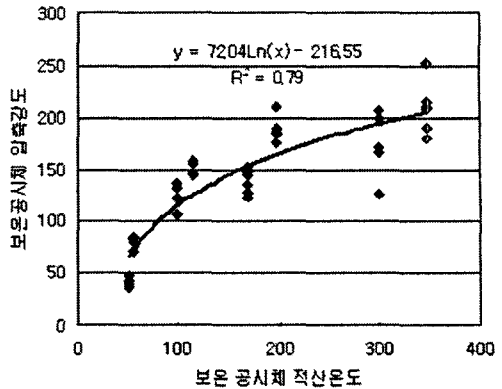


그림5 보온덮개 공시체 적산온도와 압축강도

4) 부재 단면별 소요양생일수

그림 6은 04년12월15일과 05년1월25일 2회에 걸쳐 제작한 구조체 단면별 보온덮개로 보호한 경우의 구조체의 재령별 적산온도를 분석한 것이다. 보온덮개로 보호한 경우에 있어서 두꺼운 부재, 보통부재, 얇은 부재별 소요압축강도 (15MPa)를 얻는 소요 적산온도(164D°D)에서 소요양생일수는 각각 8일, 9.3일, 9.9일을 나타내었다. 보통단면의 경우 시방기준에서 추천하는 소요양생일수(9일, 5°C)와 일치됨을 알 수 있었다.

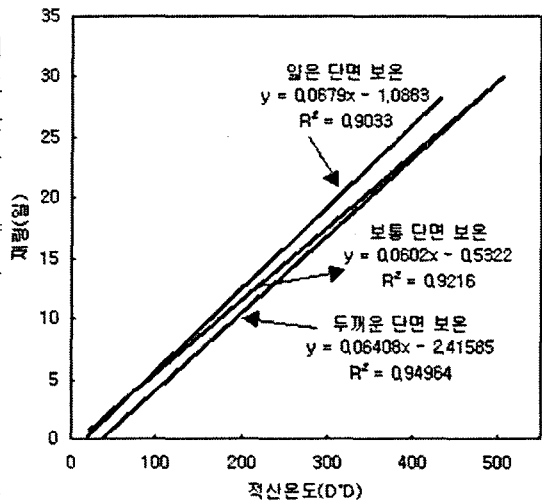


그림6 보온덮개로 보호한 부재 단면별 소요 적산온도에서 양생일수

3. 결론

한중콘크리트 시공시 부재 단면별 평균온도 범위와 단순한 시트양생에 의한 부재 단면별 구조체와 현장양생 공시체의 적산온도(Maturity) 및

현장 양생공시체의 압축강도 등을 분석한 이상의 연구에서 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 두꺼운 단면, 보통단면, 얇은 단면에서 a(d/t)가 0.25일 경우에 부재 평균온도와 유사한 온도이력을 나타내므로 각 단면별 대표적인 콘크리트 온도이력 측정은 a(d/t = 0.25)인 지점이 합리적이 위치라고 판단 할 수 있었다.
- 2) 보온덮개로 보호한 공시체에서 획득한 온도이력을 이용하여 적산온도와 공시체 강도의 회귀함수를 얻었으며 이를 이용하여 시방서에서 규정하는 초기동해 방지를 위한 소요 적산온도는 부재의 단면별로 164D°D 이상이 되어야 할 것으로 판단되었다.
- 3) 보온덮개로 보호한 경우에 있어서 두꺼운 부재, 보통부재, 얇은 부재별 소요압축강도(15MPa)를 얻는 소요 적산온도(164D°D)에서 소요양생일수는 각각 8일, 9.3일, 9.9일을 나타내었으며 이는 보통단면의 경우 시방기준에서 추천하는 소요양생일수(9일, 5°C)와 일치됨을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서 해설, 2003. pp. 288~304.
2. 한천구의, "기온과 콘크리트, 기문당, 2002