

적산온도에 의한 동절기 콘크리트의 품질관리

Using the maturity method in quality control of cold weather concrete

이준구* 박광수** 조영권*** 김명원* 김관호*

Lee, Joon Gu Park, Kwang Su Cho, Young Kweon Kim, Meyong Won Kim, Kwan Ho

ABSTRACT

The prediction of the strength of cold weather concrete and the analysis of the insulating material effect were performed to apply the prediction function with maturity concept for quality control of them in this study. The several results driven from above processes were summarized as followings. First, the difference between the temperature of cylinder covered with insulating materials and that of cylinder without them was 4.5~6.0°C. Second, the maturity of concrete was suggested to be keep higher than 96~115°C · D until at least 7-day and the temperature of fresh concrete was suggested to be keep above 10°C directly after set.

1. 서론

콘크리트의 품질에 영향을 미치는 요인은 구성재료의 요인, 제조 및 양생의 요인, 그리고 사용환경의 요인으로 나누어 볼 수 있을 것이다. 콘크리트의 동절기 공사는 이들 요인 중 제조 및 양생의 요인에 가장 밀접하게 관련되어 있다. 콘크리트는 온도에 따라 물리적 성질과 역학적 성질이 민감하게 변화하며, 감수 등의 목적으로 사용되는 혼화제의 사용 시 더욱 그러하다. 제한된 환경과 공기내에 공사를 완료해야 하는 경우 동절기 콘크리트공사는 불가피하다. 물론 한중콘크리트공사 시 주의 사항과 지켜야 할 사항을 준수하여 공사하여야 함은 불문가지다. 하지만 밀폐된 공간의 구성이 가능한 경우와 달리 산간이나 평야부의 소형구조물 공사 시 이를 지키는 것은 쉽지 않은 일이다. 특히, 농업기반시설물의 일부는 농한기인 동절기에 공사현장까지 접근로도 제대로 갖추기 어려운 여건속에서 양생수와 보온시설을 구비하여 평야부 한복판의 소형구조물의 온도를 2일 혹은 그 이상 동안 0~5°C 이상을 유지하며 공사하기란 결코 쉽지 않다.

따라서 본 연구에서는 열악한 현장여건을 최대한 극복하며 양질의 콘크리트구조물 시공이 가능하도록 적산온도 방식(Maturity Method)을 이용한 콘크리트 품질관리에 대한 실험적 검토와 현장에서 가장 흔히 사용되는 부직포 보온덮개의 효과에 대한 실험적 분석을 수행한다. 또한, 김³⁾ 등의 연구에서는 양생온도를 일정하게 유지하여 적산온도와 강도의 관계를 규명하고 있으나 현장에 설치되는 실 구조물의 경우는 주야 그리고 기상조건에 따라 온도가 달라지게 된다. 따라서 본 연구에서는 양생기간동안의 기온이력에 따라 동일 성숙도임에도 불구하고 강도가 달라질 수 있음을 보인다.

2. 실험방법 및 사용재료

2.1 실험방법

실험실 밖 대기에 노출되고 눈비를 피할 수 있는 공간에 한번의 길이가 30cm인 입방체와 직경이 10cm인 원주형 공시체에 각각 온도센서를 설치하고 압축강도 측정을 위한 직경 10cm의 원주형 공시체를 제작하였다. 그림 1과 같이 동일한 입방체와 원주형 공시체를 복수로 제작하여 한곳은 보온덮개를 덮고 한곳은 보온덮개를 덮지 않고 양생하였다. 온도센서의 명명은 보온덮개 내부의 구조물을 모형화한 시험체, 구조물1에 설치한 온도센서의 이름은 ICS, 원주형 공시체 내부의 온도센서명은 ICC, 보온덮개

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

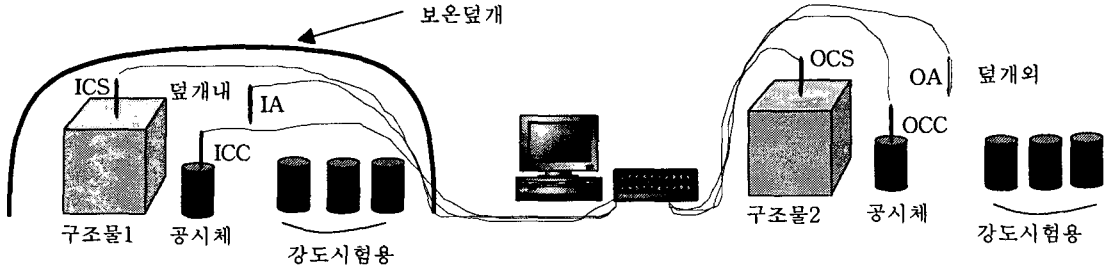


그림 1 실험장치 개요도

내부의 기온을 측정하기 위한 온도센서의 이름은 IA로 하였다. 보온덮개의 재질은 건설현장에서 많이 사용되는 부직포를 사용하였다.

2.2 사용재료

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 사용하였으며 그 품질시험결과는 표1과 같다. 골재는 잔골재로 여주산 하천사를, 굵은골재로 25mm 안성산 쇄석을 사용하였으며, 그 품질시험 결과는 표2와 같다. 콘크리트 배합비는 표3과 같으며, 농업용수로구조물에 주로 사용되는 레미콘 대표 배합비로 호칭강도 24MPa를 선정하였다.

표 1 시멘트 품질시험 결과

항목 구분	물리적 성능								수화열 미소열량계 (72hr) cal/g	화학적 성분			시멘트 종류
	비중	분말도		용결시간		압축강도				산화마그네슘 %	삼산화황 %	강열감량 %	
		Blaine cm ³ /g	BET m ² /g	초결 분	종결 시:분	3일 MPa	7일	28일					
단위	-	cm ³ /g	m ² /g	분	시:분	MPa			cal/g	%	%	%	-
1	3.14	3,338	1.2	228	6:14	19.0	21.8	31.0	77.17	2.71	2.50	1.17	OPC

표 2 골재 품질시험 결과

구분	굵은골재 최대치수	비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (kgf/m ³)		No.200체 통과율 (%)	조립율 F.M.	마모율 (%)
				호트러진상태	다진상태			
잔골재	-	2.62	1.08	1,402	1,560	1.80	2.56	-
굵은골재	25mm	2.66	0.73	1,455	1,643	-	6.71	12.0

표 3 콘크리트배합설계표

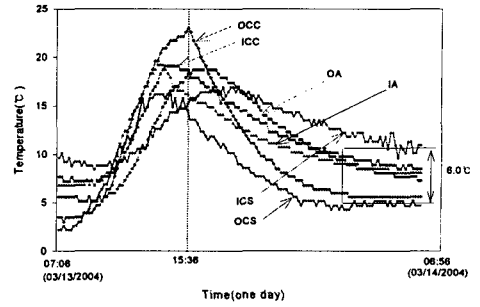
물/시멘트비 W/C (%)	굵은골재최 대치수 (mm)	슬럼프의 범위 (mm)	공기량의 범위 (%)	잔골재율 s/a (%)	단위량 (kg/m ³)				
					물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G	혼화제(%) AE감수제
51.2	25	15±2.5	5±1.5	45	181.2	354.0	785.3	974.4	0.5

3. 적산온도에 따른 강도 변화

3.1 보온덮개의 효과

보온덮개의 보온효과분석을 위해 동절기 4개월간 5회에 걸쳐 7, 10, 13, 16, 28일 재령에서 10개씩의 공시체를 꺼내어 압축강도실험을 수행하였다. 그림 2와 같이 온도센서로부터 읽어들이는 온도의 변화를 일일단위로 분석한 결과 원주형 공시체가 받는 온도(ICC, OCC)의 경우 하루 중 최저온도를 기록하는 시점에서 보온덮개의 유무에 따라 4.5~6.0℃의 온도차가 발생한 것으로 나타났다. 표 4와 그림 3에서 보는 바와 같이 온도센서로부터 받아들인 온도의 이력으로부터 계산된 적산온도와 해당재령의 압축강도 결과를 ICC와 OCC에서 비교한 결과, 동절기 중 가장 혹한기인 2004년 1월 19일 배합한 No.4의 경우 7일 재령까지 충분한 적산온도를 얻지 못해 나머지 4개의 경우에 비해 현저하게 낮은 강

도발현을 나타내고 있다. 보온덮개를 덮은 경우 28일 재령에서 적산온도 357.7℃·D, 압축강도 17.1MPa인 반면, 덮지 않은 경우 적산온도 280℃·D, 압축강도 10.6MPa를 나타내었다. 따라서 본 연구의 결과를 기준으로 볼 때 7일 이전의 재령에서 96~115℃·D이상의 적산온도를 유지해야 할 것이며, 시방서¹⁾의 기준과 같이 얇은 단면의 부재에서 콘크리트의 최저온도는 10℃정도로 확보되어야 할 것으로 판단된다. 즉, 초기 동해를 받은 콘크리트의 경우 장기재령에서 적산온도를 확보하더라도 제대로 강도발현이 되지 않음을 확인할 수 있었다. 또한 열악한 환경에서도 반드시 보온덮개를 덮어 콘크리트를 양생해야 할 것으로 판단된다.



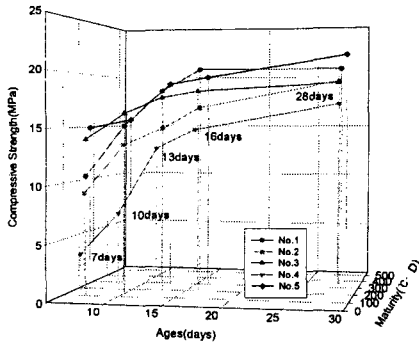
(3/13/2004~3/14/2004)

그림 2 양생온도 이력

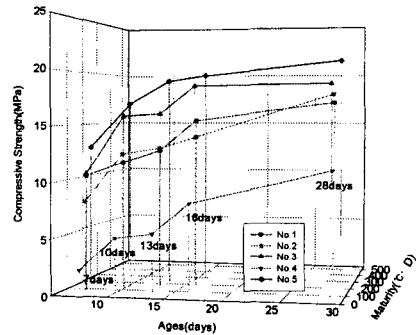
표 4 적산온도와 압축강도

cover	ICC										OCC									
	1('03.12.10)		2('03.12.22)		3('03.12.30)		4('04.01.19)		5('04.02.17)		1('03.12.10)		2('03.12.22)		3('03.12.30)		4('04.01.19)		5('04.02.17)	
Temp.	2℃		3℃		3℃		0.5℃		10℃		2℃		3℃		3℃		0.5℃		10℃	
Age	M	f_c	M	f_c	M	f_c	M	f_c	M	f_c	M	f_c	M	f_c	M	f_c	M	f_c	M	f_c
7	104.1	10.6	95.9	9.1	104.3	13.9	72.2	3.8	133.7	15.0	84.5	10.4	76.3	8.1	83.2	10.6	39.9	2.1	114.9	13.0
10	145.7	15.2	139.4	13.5	146.5	16.2	103.3	7.3	192.6	15.6	117.7	11.6	111.4	12.4	119.1	15.8	59.2	4.9	169.2	16.9
13	187.5	18.3	185.4	14.8	185.0	17.7	139.3	13.1	255.2	19.0	151.1	12.7	149.0	12.9	152.0	16.0	88.9	5.2	232.2	19.1
16	232.0	20.3	229.6	16.8	211.0	18.3	182.5	14.7	309.6	19.7	187.2	15.4	183.5	13.9	176.0	18.6	122.5	7.9	280.1	19.7
28	402.0	20.6	364.2	19.4	336.3	19.2	357.7	17.1	515.1	22.2	322.4	17.1	305.0	17.9	262.5	18.9	280.0	10.6	464.0	21.4
S_28	560.0	22.8	560.0	23.4	560.0	24.9	560.0	19.1	560.0	24.0	560.0	22.8	560.0	23.4	560.0	24.9	560.0	19.1	560.0	24.0

※ M: maturity(℃·D), f_c :콘크리트압축강도(MPa), ICC:보온덮개내부, OCC:보온덮개 외부, S_28:표준양생, Temp.:콘크리트 초기온도



(a) ICC



(b) OCC

그림 3 적산온도에 따른 재령별 강도변화

3.2 적산온도에 의한 강도추정

적산온도는 시방서에서 제시하는 Nurse-Saul 함수를 이용하여 계산하였으며, 적산온도를 이용한 압축강도 추정함수인 Logistic, Gompertz 곡선식, Freiesleben-Hansen 식 등을 검토하고, 현장의 구조물이 받는 온도이력에서 얻은 적산온도(M)와 해당 재령에서의 콘크리트 강도(f_c)의 관계를 그림 4와 같

이 도시하고 현장에서 쉽게 적용할 수 있도록 식1과 같은 회귀함수를 얻었다. 함수의 상관관계(r^2)는 0.84로 나타났다. 시험번호 4(No. 4)와 같이 초기재령에서 충분한 적산온도를 확보하지 못하고 초기동해를 받은 경우 장기재령에서 적산온도를 확보하더라도 제대로 강도발현이 이루어지지 않기 때문에 추정함수를 적용할 경우 품질관리에 오류를 범할 우려가 있는 것으로 나타났다. 따라서 적산온도를 이용한 강도추정함수에 의해 동절기 콘크리트 공사의 품질관리를 실시할 경우 초기동해의 여부를 반드시 확인하여야 할 것으로 판단되었다.

$$f_c = -23.65 + 43.5(1 - e^{-0.0145M}) \quad (\text{식 1})$$

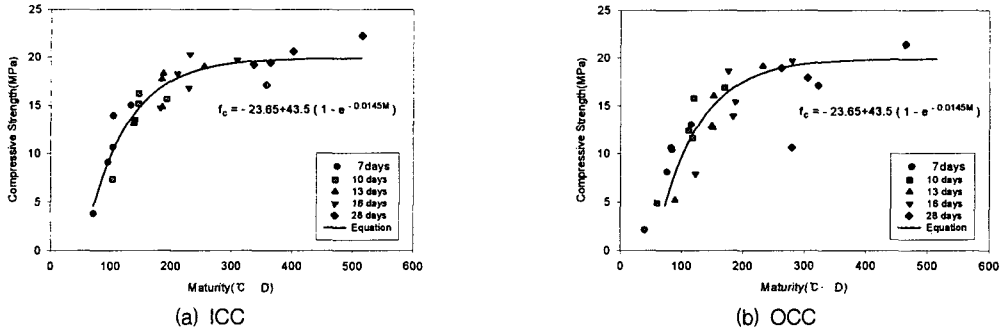


그림 4 적산온도를 통한 콘크리트 압축강도 추정함수

4. 결 론

동절기 콘크리트 공사 시 보온덮개의 효과분석과 적산온도에 의한 강도추정함수의 적용 시 주의해야 할 사항 등을 분석하는 이상의 연구에서 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

1. 동절기 콘크리트 공사 시 흔히 사용되는 보온덮개의 보온효과는 덮지 않은 경우보다 약 4.5~6°C의 보온효과가 있는 것으로 초기 동해의 방지에 효율성이 높은 것으로 나타났다.
2. 본 연구의 결과를 기준으로 볼 때 7일 이전의 재령에서 96~115°C·D 이상의 적산온도를 유지해야 할 것이며, 시방서의 기준과 같이 얇은 단면의 부재에서 타설 시 콘크리트의 최저온도는 10°C 정도로 확보되어야 할 것으로 판단되며, 초기 동해를 받은 콘크리트의 경우 장기재령에서도 제대로 강도발현이 되지 않음이 확인되었다.
3. 초기재령에서 충분한 적산온도를 확보하지 못하고 초기동해를 받은 경우 장기재령에서 적산온도를 확보하더라도 제대로 강도발현이 이루어지지 않기 때문에 적산온도에 의한 강도추정함수를 적용할 경우 품질관리에 오류를 범할 우려가 있는 것으로 나타났다.
4. 현장 콘크리트의 양생온도이력자료를 획득하여 관리할 경우 품질관리를 보다 효율적으로 할 수 있을 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서 해설, 2003. pp. 288~304.
2. 길배수의, 적산온도 방식을 이용한 고강도 콘크리트의 강도예측, 1999, pp. 259~264.
3. 김무한외, 적산온도방식에 의한 고유동콘크리트의 강도관리에 관한 실험적 연구, 2000, pp. 79~87.
4. 권영진외, 적산온도방식을 이용한 고성능콘크리트의 강도추정방법, 1995, pp. 66~73.