

한중콘크리트 시공시 표면 단열재 변화에 따른 콘크리트의 온도이력 특성

The Properties of Temperature History of Concrete with Surface Insulating Material in Cold Weather Concreting

○ 文 學 龍* 신 동 안** 김 경 민*** 김 기 철**** 오 선 교***** 한 천 구*****
 Wen, Xue-Long Sin, Dyong-An Kim, Kyoung-Min Kim, Ki-Cheon Oh, Sun-Kyo Han, Cheon-Goo

ABSTRACT

This study investigate the hydration heat history with variation of surface insulating material in cold weather concreting. According to the results, the temperature of concrete lowers below zero in 24hours, so early frost damage occurs in the case of exposure and 1 fold bubble sheet, but the lowest temperature keeps above zero, so a adiabatic effect is very favorable in the case of double bubble sheet and 부직포. Compressive strength of core specimen at 7 and 28 days is highest in the case of double bubble sheet and 부직포. But, considering convenience of construction and economical efficiency, it is thought that the most effective surface insulating material is 1 fold bubble sheet + blanket.

키워드 : 한중콘크리트, 표면 단열재, 온도이력, 초기동해.

Keywords : Cold Weather Concreting, Surface Insulating Material, Temperature History, Frost Damage at Early Age.

1. 서 론

초고층 건물과 같은 현대 건축물은 건설공기가 중요하게 취급됨에 따라 연중시공이 필수적으로서 한중콘크리트의 필요성이 강조되고 있다. 그런데, 우리 나라의 한중콘크리트 공사에서는 보온양생, 배합계획시의 강도보정의 고려 등 부가적인 조치를 강구해야 함에도 불구하고, 이는 공사비의 증가로 이어져, 경제적인 시공만을 강조하다보면 시공관리의 소홀로 인한 초기동해 피해 및 강도저하 등 콘크리트의 품질저하가 문제시되고 있다.

그러나, 선진 외국의 경우는 가열보온 양생이나 단열보온 양생을 실시하므로써 소요강도를 발휘하는 방법이 연구되고 있는데, 우리 나라의 경우도 한중시공의 활성화를 위해서는 이러한 방법의 채택을 신중히 고려할 필요성이 제기되고 있다. 따라서 한중콘크리트 공사시 가장 효율적일 것으로 사료되는 단열양생에 관한 연구로써 선행 실험에서 단열거푸집(PP+스티로폼+합판)을 개발¹⁾하였고, 내한제와 단열거푸집을 병용하여 벽체를 가정한 모의부재 실험을 통하여 콘크리트에 미치는 단열거푸집의 효율성을 검토²⁾한바 있다.

그러므로 본 연구에서는 선행연구에 대한 일련의 실험으로 슬래브 상부 양생방법에 관한 실험을 통하여 한중 환경하에서의 콘크리트에 미치는 단열효과 및 강도증진 특성 등을 분석하므로써, 한중콘크리트의 효율적인 시공 방안을 제안하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
	W/C(%)	1	40
배합사항	목표 슬럼프(cm)	1	15±1.5
	목표 공기량(%)	1	4.5±1.5
	표면양생재 종류*	4	• I (노출) • II (1중 버블시트) • III (2중 버블시트) • IV (1중 버블시트+부직포) • V (2중 버블시트+부직포)
실험사항	굳지않은 콘크리트	2	• 슬럼프, 공기량
	경화 콘크리트	3	• 적산온도별 압축강도 (20, 30, 60, 120, 180, 300, 840 D>D) • 온도이력 • 코어 압축강도 (7, 28일)

* 하부 단열거푸집으로 고정함

* 정희원, 청주대 대학원 석사과정
 ** 정희원, 청주대 대학원 박사과정
 *** 정희원, 한국 고려산업개발(주) 연구개발실, 연구원
 **** 정희원, (주)선엔지니어링 연구개발팀 책임연구원
 ***** 정희원, (주)선엔지니어링 종합건축사사무소, 공학박사
 ***** 정희원, 청주대 건축공학부 교수

즉, 실험요인으로 W/C 40%에 대하여 목표 슬럼프 15±1.5cm, 목표 공기량 4.5±1.5%로 하였다. 표면양생재 종류로 I(노출), II(1중 버블시트), III(2중 버블시트), IV(1중 버블시트+부직포), V(2중 버블시트+부직포)의 5수준으로 실험계획 하였다.

이때, 굳지않은 콘크리트와 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다.

표 2. 배합사항

W/C (%)	W (kg/m ³)	S/A (%)	AE 감수제 /C(%)	용적배합 (ℓ/m ³)			중량배합 (kg/m ³)		
				C	S	G	C	S	G
40	185	44	0.45	147	274	349	463	713	928

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로써, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 잔골재는 충북 청원군 옥산산 강모래와 20mm 부순 굵은골재를 사용하였고, 혼화제는 나프탈렌계 AE감수제를 사용하였는데, 각각의 물리적 성질은 표 3~5와 같다. 단열거꾸집 및 표면양생에 사용한 단열재는 국내에서 시판되는 것으로, 표 6 및 7의 재료를 이용하여 그림 1 및 표 1과 같이 제작하였다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

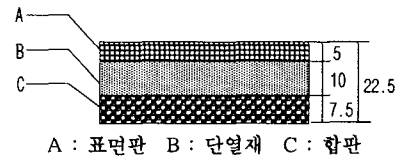
비중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도 (N/mm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,303	0.08	226	409	23.1	30.8	41.0

표 4. 골재의 물리적 성질

종 류	비중	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m ³)	입형판정 실적율(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.60	1.94	1,598	61.0	2.06
굵은골재	2.66	0.84	1,531	56.5	-

표 5. 혼화제의 물리적 성질

종류	색상 및 형태	이온성	고형분	비중 (20℃)	점도 (cp)	표준사용량 (C×%)
AE 감수제	암갈색 액상	음이온성	33%	1.15	25	0.1~1.5



A : 표면판 B : 단열재 C : 합판
그림 1. 단열거꾸집 단열재 구성

표 6. 단열거꾸집용 재료의 물리적 성질

용 도	종 류	두께 (mm)	열전도율 (Kcal/mh℃)	비중
단열거꾸집	PP	5	0.03	1
	스티로폼	10	0.031	0.02
	합판	7.5	0.15	0.65

표 7. 표면 양생재용 재료의 물리적 성질

용 도	종 류	두께 (mm)	기포 size	열전도율 (Kcal/mh℃)
표면 양생재	버블시트	0.05	10	0.20
	부직포	2	-	0.12

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 혼합하였다. 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량 시험은 KS F 2421에 의거하여 실시하였다.

단열거꾸집 평가용 공시체는 그림 2에 나타난 것처럼, 일반적인 슬래브로서 두께가 12cm인 것으로 가정하여 30×30×12cm인 시험체를 제작하였는데, 이때 측면은 슬래브가 연속된다고 가정하여 T=100mm인 스티로폼로 밀봉하였다. 양생 조건은 우리나라 겨울철의 열악한 시공 조건을 고려하여 -10℃의 항온조에서 7일동안 양생하였다. 양생 완료 후 ø10×20cm의 코어를 채취하고 양쪽면을 유황 캐핑한 후 7일 압축강도를 측정하였고, 그 이후 시험체는 20℃에서 표준 양생 한 후 28일째 다시 코어를 채취하여 압축강도를 측정하였다.

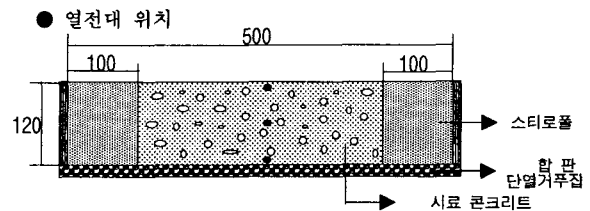


그림 2. 시험체 단면도

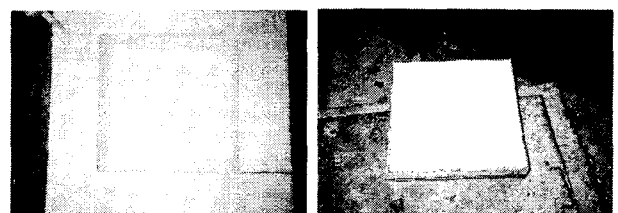


사진 1. 단열거꾸집 모습

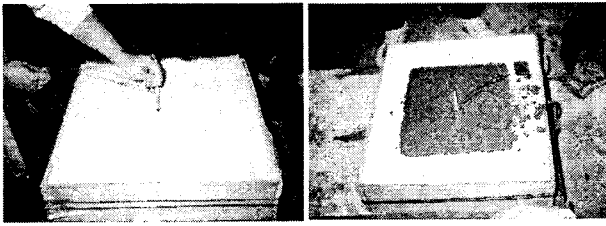


사진 2. 표면양생재 및 열전대 매입 모습

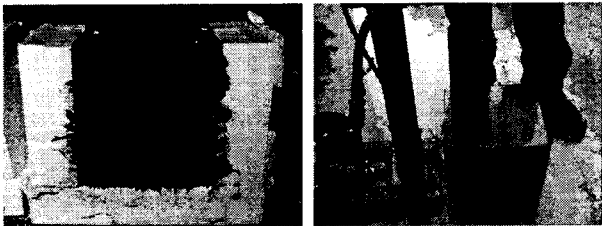


사진 3. 거꾸집 탈형 및 코어채취 모습

표면 단열양생 종류별 내부 온도이력은 시험체의 표면, 중심부 및 하부에 온도 측정용 열전대 (T-type)를 매입한 후 Data logger로 10분 간격으로 온도를 기록하여 양생중의 콘크리트 내부 온도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

슬럼프 및 공기량은 모두 계획한 목표 유동성(15±1.5cm)과 목표 공기량(4.5±1.5%)의 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

1) 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석

그림 3은 로지스틱 곡선식을 이용하여 표준양생공시체의 강도증진성상을 나타낸 것으로, 적산온도 증진에 따른 압축강도의 증진경향을 알 수 있다.

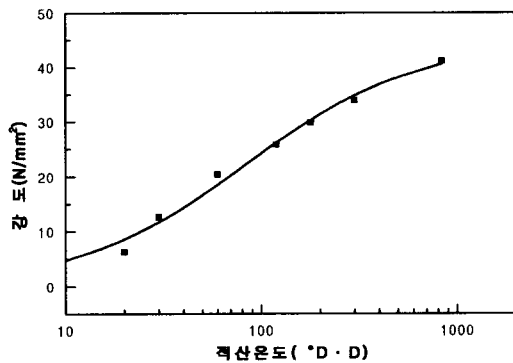


그림 3. 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석

표 8. 회귀분석을 통한 로지스틱 모델의 실험상수

W/C (%)	실험상수항목	실험상수 값
40	F_{∞}	44.75
	k	2.29
	m	4.42

2) 코어 압축강도

그림 4는 버블시트와 부직포의 조합에 따른 7일, 28일 코어 압축강도를 나타낸 것이다.

먼저 양생방법 I 및 II는 다른 단열양생과 비교하여 크게 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 초기 24시간 이전에 콘크리트가 초기동해를 입었기 때문이라고 사료된다. 또한, V, IV, III의 순으로 강도가 크게 나타났는데, 이는 버블시트와 부직포의 열전도율 차이에 의한 것으로 분석된다.

그림 5는 로지스틱 모델에 의한 강도 해석치와 7일, 28일 코어 압축강도 측정치를 비교한 것으로서 전반적으로 유사한 강도치를 나타내고 있지만, I 및 II의 경우는 해석치와 큰 차이를 보이고 있다. 이는 초기동해로 강도가 저하되게 나타난 결과로 분석된다

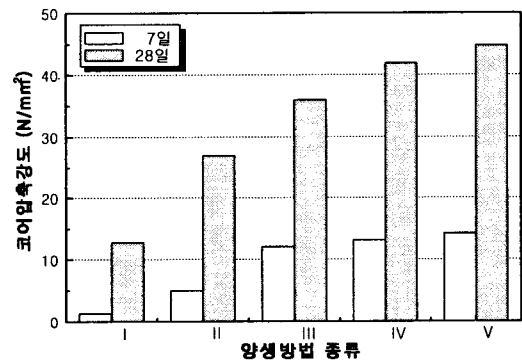


그림 4. 7일 및 28일 코어 압축강도

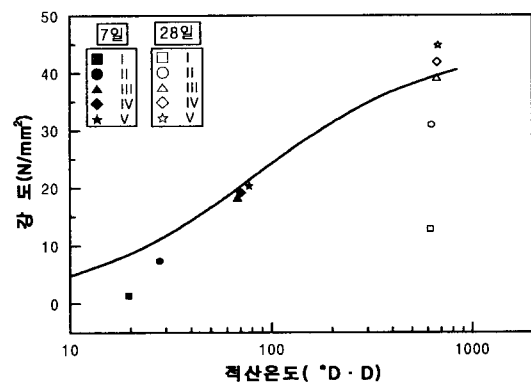


그림 5. 로지스틱 모델에 의한 해석치와 코어 압축강도 측정치 비교

3) 표면양생재 종류별 콘크리트의 온도이력

그림 6은 표면 단열양생 종류별 온도이력을 나타낸 것이다.

먼저 I(노출)의 경우, 시간이 경과함에 따라 콘크리트 내, 외부 온도가 급속히 저하하여 콘크리트 타설 후 약 6시간 이후부터 0°C이하로 지속되었다. 따라서 노출의 경우 초기 24시간 이전에 약 -7°C 까지 저하함에 따른 급속한 온도저하에 의해 초기동해 피해가 발생하였을 것으로 사료된다. 또한, II(1중 버블시트)의 경우는 약 13시간 이후부터 0°C이하로 저하하여 노출과 비교하여 약 7시간의 단열성능이 있었으나, 이 또한 초기의 급속한 온도저하에 의해 초기동해피해가 발생하였을 것으로 사료된다.

반면, III, IV, V의 경우에는 콘크리트 내부 및 표면 온도가 초기 24시간 이전에 0°C이하로 저하하지 않았고, 최저온도가 각각 9°C, 10°C, 11°C로 영상을 유지하므로써, I 및 II와 비교하여 우수한 단열효과를 나타내었다. 따라서, 한중콘크리트 시공시 버블시트와 부직포를 이용한 표면 보온양생을 실시한다면 콘크리트의 초기동해를 방지할 수 있을 것으로 사료되어진다.

또한, 24시간(피크온도) 이후 0°C 도달시간을 보면 V, IV, III, II의 순으로 약 74시간, 69시간, 56시간, 13시간 후에 도달하였는데, 이는 각 단열방법의 단열성능을 평가할 수 있는 것으로써 V, IV, III, II의 순으로 단열효과가 우수한 것으로 나타났다. 특히, 본 실험에서 사용된 버블시트는 기존의 양생포를 이용하는 방법보다 운반, 보관 및 철근주위의 단열시공성 측면에서도 용이할 것으로 사료된다.

종합적으로 한중콘크리트 시공에서 구조체 표면의 단열재 변화에 따른 단열효과만을 고려하면 V(2중 버블시트+부직포)가 가장 우수한 것으로 분석되지만, 경제적인 측면 및 시공성 까지도 복합적으로 고려한다면 IV(1중 버블시트+부직포)인 조합이 가장 적합할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 한중콘크리트 시공시 표면 단열재 변화에 따른 콘크리트의 온도이력 특성을 분석한 것으로 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 한중콘크리트 시공에서 콘크리트 표면단열재 조합별 콘크리트의 내부 온도이력을 측정된 결과, I(노출) 및 II(1중 버블시트)의 경우에는 초기 24시간 내에 온도가 영하로 저하하여 초기동해가 발생하였지만, 2중 버블시트 및 부직포와의 조합인 단열양생의 경우는 초기 24시간 내에 최저온도가 영상을 유지하므로써 양호한 단열효과를 나타내었다.
- 2) 콘크리트 표면 단열재 조합별 콘크리트의 7일 및 28일 코어 압축강도를 측정된 결과, V(2중 버블시트+부직포)의 경우가 가장 큰 강도를 나타내었다. 그러나, 단열성능, 경제적인 측면 및 시공편이성 등을 종합적으로 고려해볼 때 한중콘크리트 시공에서 효율적인 표면 단열양생재의 조합은 IV(1중 버블시트+부직포)인 것으로 사료된다.

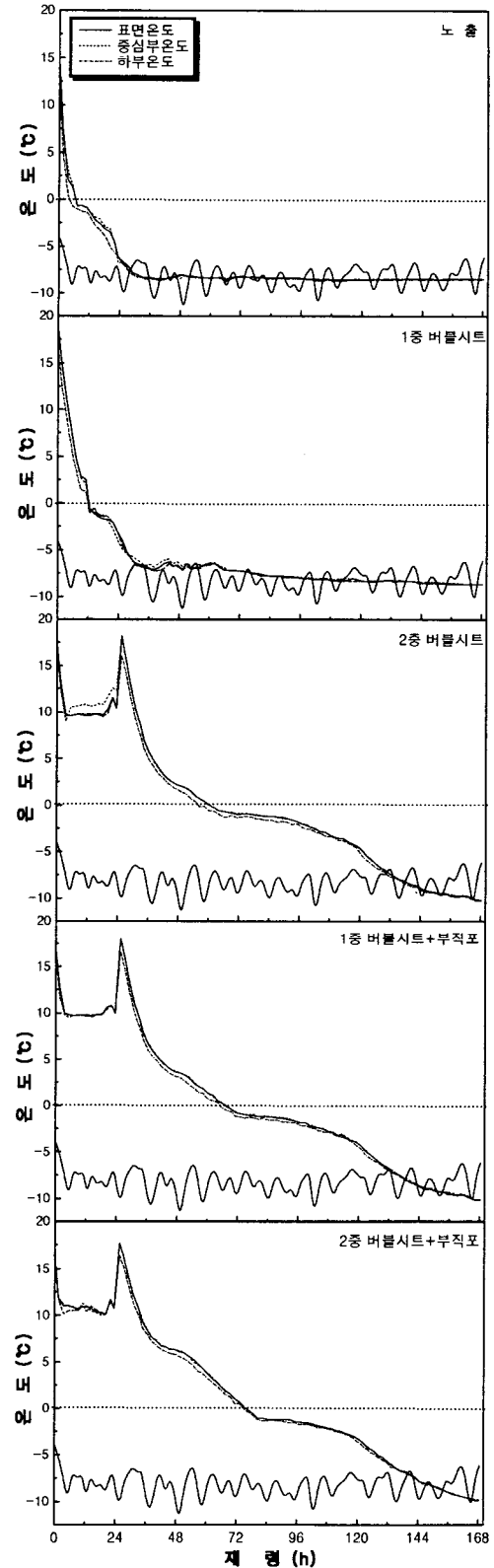


그림 6. 단열방법 종류별 온도이력

참 고 문 헌

1. 申永千 ; 한중 및 서중콘크리트의 온도양생에 관한연구, 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 1980
2. 寒國建設技術研究院, 寒中 및 暑中콘크리트에 관한 研究, 1986
3. 한국 콘크리트학회, 최신 콘크리트 공학, 1997
4. 日本土木學會, 콘크리트標準示方書, 1998
5. 日本建築學會, 寒中ンクリト施工指針同解説, 1998
6. 고경택, 김성욱 ; 단열재 거푸집을 이용한 콘크리트의 특성에 관한 기초적 연구, 한국 구조물진단학회 학술발표 논문집, Vol. 4, No. 2. 2000