

한중시공시 단열양생방법 변화에 따른 슬래브 콘크리트의 온도이력 특성

Temperature History of Slab Concrete Depending on Insulation Curing Method in Cold Weather Concreting

김종백* 임춘근** 박구병*** 김성수**** 한천구****
Kim, Jong-Back Lim, Choon-Goun Park, Koo-Byoung Kim, Seoung-Soo Han, Cheon-Goo

Abstract

This paper reported the temperature history of concrete placed at deck plate slab under cold climate condition by varying with surface insulating type. No curing sheet and simple insulation curing including non-woven fabric, double layer bubble sheet, the combination of double layer bubble sheet and non-woven fabric dropped temperature below zero within 24 hours, which caused frost damage at early age. On the other hand, the combination of double layer bubble sheet and non-woven fabric and double layer bubble sheet and styrofoam maintained minimum temperature above 4℃ and 8℃, respectively. Based on core test results, compressive strength of concrete with the combination of double layer bubble sheet and non-woven fabric and double layer bubble sheet and styrofoam was higher than those with other curing method due to good insulation effect.

키워드 : 한중콘크리트, 데크플레이트, 2중버블시트, 단열양생

Keywords : Cold Weather Concrete, Deck Plate, Double Layer Bubble Sheet, Insulating curing

1. 서론

최근의 건축물은 초고층화, 대형화함에 따라 공기준수 문제가 중요하여 한중콘크리트 시공이 증가하고 있다. 이러한 한중콘크리트는 초기동해 방지를 위한 보온양생, 배합계획시의 강도보정 및 관리재령의 연장 등 효율적인 품질관리 대책이 필요하게 된다.

그러나, 선진국의 경우 초기동해 방지대책으로는 한중시공의 효율화를 위하여 각종 보온양생 방법이 개발 및 활용되어지고 있으며, 특히 단열양생만을 실시하여 소요강도를 발현시키는 방법도 연구되고 있으나, 국내의 경우는 한중콘크리트의 타설시 주로 가열양생에만 의존하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 한중환경시 데크플레이트 상부에 타설되는 콘크리트를 대상으로 단열양생방법 변화에 따른 온도이력 및 강도증진 특성을 검토하므로써, 한중콘크리트 공사의 경제성 향상 및 효율적인 품질관리를 위한 방안을 제안하고자 한다.

* 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 청주대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 시설안전 기술공단, 공학박사

**** 정회원, 청주대학교 교수, 공학박사 정회원

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 먼저, 실험요인으로 W/C는 45%의 1수준에 대하여, 목표 슬럼프 150±15mm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계를 실시하였다. 표면양생제 종류로는 I(노출), II(부직포), III(2중 버블시트), IV(2중 버블시트+부직포), V(상부-2중 버블시트+부직포, 하부-2중버블시트), VI(상부-2중 버블시트+부직포, 하부-스티로폼)의 6수준으로 실험계획 하였다. 이때, 굳지않은 콘크리트와 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다.

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로써, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 충북 청원군 옥산산 강모래와 25mm 부순 굵은골재를 사용하였으며, 혼화제는 나프탈렌계 고성능감수제를 사용하였는데, 각각의 물리적 성질은 표 3-5와 같다. 표면양생에 사용한 단열재는 국내에서 시판되는 것으로 표 6의 재료를 사용하였다.

표 1. 실험계획

배합요인	실험요인	실험수준	
	W/C(%)	1	45
목표 슬럼프(mm)	1	150±15	
목표 공기량(%)	1	4.5±1.5	
실험사항	표면양생 방법	6	<ul style="list-style-type: none"> · I (노출) · II (부직포) · III (2중 버블시트) · IV (2중 버블시트+부직포) · V (상부-2중 버블시트+부직포 하부-2중버블시트) · VI (상부-2중 버블시트+부직포 하부-스티로폼 5T)
	굳지않은 콘크리트	2	<ul style="list-style-type: none"> · 슬럼프 · 공기량
	경화 콘크리트	2	<ul style="list-style-type: none"> · 온도이력 · 압축강도 - 표준양생(1, 3, 7, 14, 21, 28일) - 코어압축강도 (14, 28일)

표 2. 배합사항

W/C (%)	W (kg/m ³)	S/a (%)	AE계 (%)	SP/C (%)	용적배합 (l/m ³)			중량배합 (kg/m ³)		
					C	S	G	C	S	G
45	170	45	0.008	0.4	120	299	366	378	760	955

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도 (MPa)		
			초결	중결	3일	7일	28일
3.15	3,303	0.08	226	409	231	308	410

표 4. 골재의 물리적 성질

종류	밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	단위용적 질량(kg/m ³)	입형판정 실적율(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.60	1.94	1,598	-	2.06
굵은골재	2.66	0.84	1,531	56.5	-

표 5. 혼화제의 물리적 성질

종류	색상 및 형태	이온성	고형분	밀도 (g/cm ³)	점도 (cp)	표준사용량 (C×%)
고성능 감수제	암갈색 액상	음이온성	33%	1.15	25	0.1~1.5

표 6. 표면 양생재용 재료의 물리적 성질

용도	종류	두께 (mm)	기포 크기(mm)	열전도율 (Kcal/mh°C)
표면 양생재	버블시트	0.05	10	0.20
	부직포	2	-	0.12

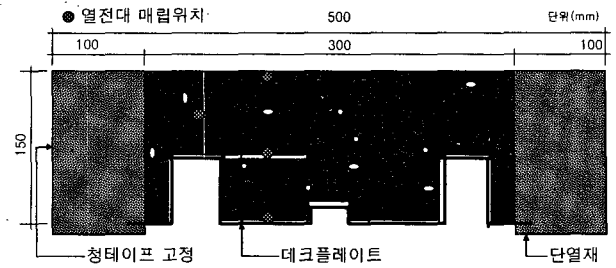


그림 1. 시험체 단면도

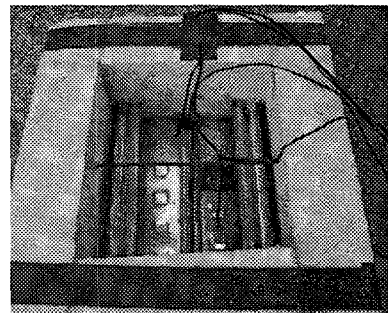


사진 1. 열전대 설치



사진 2. 콘크리트 타설



사진 3. 양생실 반입

2.3 실험방법

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량 시험은 KS F 2421, 단위용적질량 시험은 KS F 2409, 경화콘크리트의 실험으로 압축강도 시험은 KS F 2405 규정에 의거하여 실시하였다.

데크플레이트 모의부재 슬래브 두께는 150mm를 가정하여 300×300×150mm인 시험체를 제작하였는데, 이때 측면은 슬래브가 연속된다고 가정하여 T=100mm인 스티로폼으로 밀봉

하였다. 양생조건은 청주지역 한중기간의 일평균 최저기온을 고려하여 시험체 제작후 평균기온 -5°C 에서 7일 동안 양생한 다음, KS F 2422 에 의거하여 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ 코어를 채취하고 14, 28일 압축강도를 측정하였다.

표면 단열양생 종류별 내부 온도이력은 시험체의 표면, 중심부 및 하부, 테크중앙에 온도 측정용 열전대 (T-type)를 매입한 후 Data logger로 1시간 간격으로 온도를 기록하여 양생 중의 콘크리트 내부 온도를 측정하였다

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

굳지않은 콘크리트의 특성으로 슬럼프 및 공기량은 $150 \pm 15\text{mm}$ 와 $4.5 \pm 1.5\%$ 의 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

3.2 온도이력 특성

1) 표면양생재 종류별 콘크리트의 온도이력

그림 2는 표면 단열양생 방법별 온도이력을 나타낸 것이다. 먼저 I(노출)의 경우, 타설후 시간이 경과함에 따라 콘크리트의 온도가 급속히 저하하여 콘크리트 타설 후 약 8시간 이후부터 0°C 이하로 저하되었다. 따라서 노출의 경우 초기 24시간 이전에 약 -3°C 까지 저하함에 따른 온도저하에 의해 초기동해 피해가 발생할 것으로 사료된다. 또한 II, III, IV의 경우는 약 13~20시간 이후부터 0°C 이하로 저하하여 I과 비슷한 온도이력 성상을 보여 이 또한 초기의 온도 저하에 의해 초기동해피해가 발생하였을 것으로 사료된다.

반면 V, VI의 경우에는 콘크리트 내부 및 표면 온도가 초기 24시간 이전에 0°C 이하로 저하하지 않았고, 이 기간동안 최저 온도가 각각 4°C , 8°C 이상을 유지하므로써 초기동해 방지는 물론 I 및 II, III, IV와 비교하여 우수한 단열효과를 발휘하는 것을 알 수 있었다. 따라서, 한중콘크리트 테크플레이트 시공시 상부-2중버블시트+부직포, 하부를 2중버블시트나 스티로폼을 이용한 보온 양생을 실시한다면 콘크리트의 초기동해를 방지할 수 있을 것으로 사료되어진다.

또한, 24시간 이후 0°C 도달시간을 보면 V와 VI, III과 IV, II, I의 순으로 약 72시간, 20시간, 13시간, 8시간 후에 도달하였는데, 이는 각 단열방법의 단열성능을 평가할 수 있는 것으로써 V, VI의 단열양생 방법이 단열효과가 우수하다는 것을 시사해주는 것이다. 특히, 본 실험에서 사용된 버블시트는 기존의 양생포를 이용하는 방법보다 운반, 보관 및 철근주위의 단열시공성 측면에서도 매우 용이할 것으로 사료된다.

종합적으로 한중 테크플레이트 콘크리트 시공에서 구조체 표면의 단열재 변화에 따른 단열효과만을 고려하면 VI(상부-2중 버블시트+부직포, 하부-스티로폼)이 가장 우수한 것으로 분석되지만, 경제적인 측면 및 시공성 까지도 복합적으로 고려한다면 V(상부-2중 버블시트+부직포, 하부-2중버블시트)의 조합이 가장 적합할 것으로 사료된다.

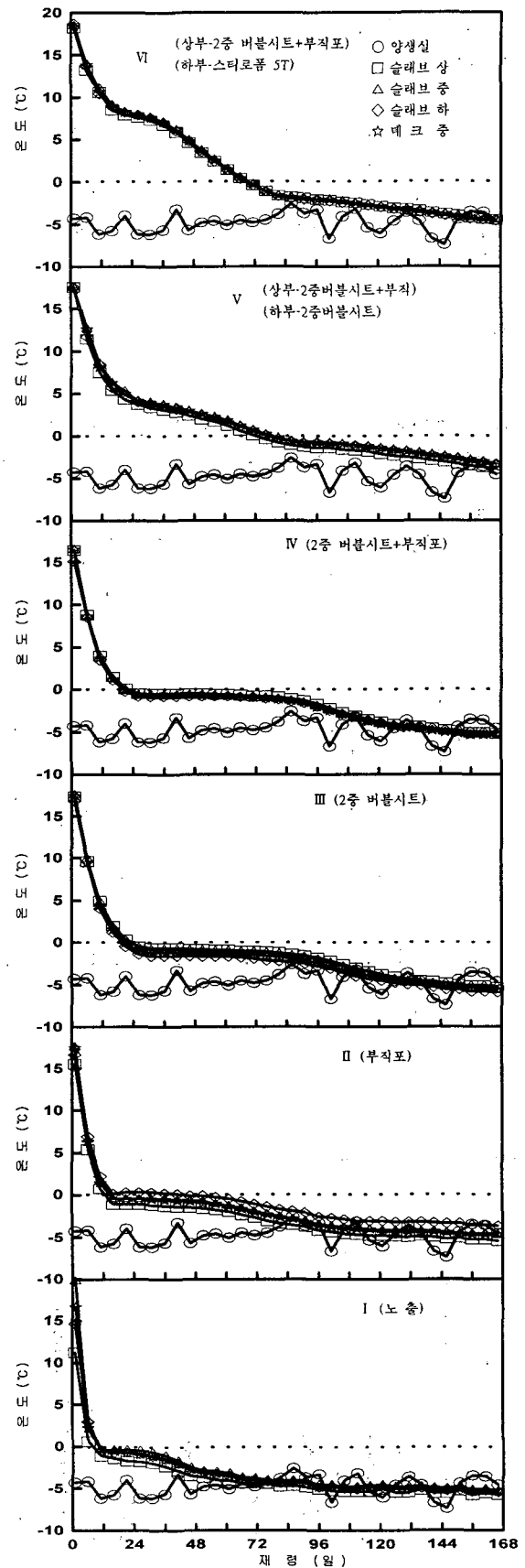


그림 2. 단열방법 종류별 온도이력

3.3 압축강도 특성

1) 압축강도증진

그림 3은 로지스틱 곡선식을 이용하여 표준양생공시체의 적산온도에 따른 강도증진성상을 나타낸 것으로, 전체적으로 해석치가 매우 양호하게 측정치를 추정하는 것을 알 수 있었다.

한편 구조체관리용 공시체의 경우 동일적산온도에서 표준양생 공시체에 비하여 매우 낮은 강도발현을 보이고 있는데, 이는 초기동해 및 낮은 양생온도에 기인된 결과로 사료된다.

2) 코어 압축강도

그림 4는 단열양생 종류별에 따른 14일, 28일 코어 압축강도를 나타낸 것이다.

먼저 양생방법 I 및 II, III, IV는 V, VI 단열양생과 비교하여 강도가 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 초기 24시간 이전에 콘크리트가 초기동해를 입었기 때문이라고 사료된다.

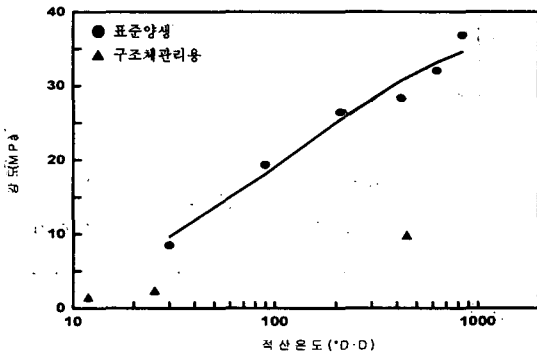


그림 3. 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석

표 7. 회귀분석을 통한 로지스틱 모델의 실험상수

W/C (%)	실험상수항목	실험상수 값	결정계수
45	F0	41.20	0.949
	k	1.97	
	m	4.10	
	R2	0.97	

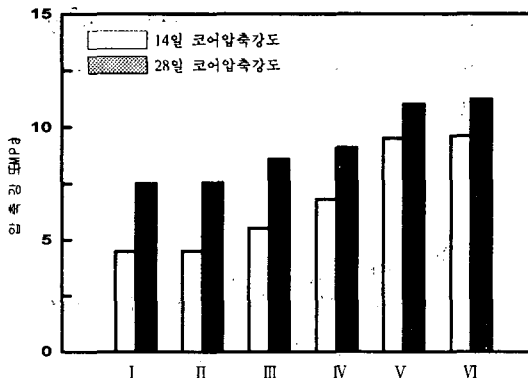


그림 4. 14일 및 28일 코어 압축강도

4. 결 론

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

1) 한중 테크플레이트 콘크리트 시공에서 콘크리트 표면단열재 조합별 콘크리트의 내부 온도이력을 측정된 결과, I(노출) 및 II(양생포), III(2중버블시트), IV(2중 버블시트+부직포)의 경우에는 초기 24시간 내에 온도가 영하로 저하하여 초기동해가 발생하였지만, V(상부-2중 버블시트+부직포, 하부-2중버블시트), VI(상부-2중 버블시트+부직포, 하부-스티로폼 5T)의 단열양생의 경우는 초기 24시간 내에 최저온도가 영상을 유지하므로써 양호한 단열효과를 나타내었다.

2) 콘크리트 표면 단열재 조합별 콘크리트의 14일 및 28일 코어 압축강도를 측정된 결과, V(상부-2중 버블시트+부직포, 하부-2중버블시트), VI(상부-2중 버블시트+부직포, 하부-스티로폼 5T)의 경우가 가장 큰 강도를 나타내었다. 그러나, 단열성능, 경제적인 측면 및 시공편이성 등을 종합적으로 고려해볼 때 한중콘크리트 테크플레이트 시공에서 효율적인 표면 단열양생재의 조합은 V(상부-2중 버블시트+부직포, 하부-2중버블시트)인 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 고경택, 김성욱 ; 단열재 거푸집을 이용한 콘크리트의 특성에 관한 기초적 연구, 한국 구조물진단학회 학술발표 논문집, Vol. 4, No. 2, 2000
- 김경민, 원 철, 이한주, 오선교, 한천구 ; 한중콘크리트용 단열거푸집의 개발에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제21권 제1호, 2001
- 김경민, 원 철, 김기철, 오선교, 한천구 ; 내한제 및 단열거푸집에 의한 한중콘크리트 시공의 효율화에 관한 기초적 연구, 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol 13, No 1, 2001
- 김경민, 원 철, 김기철, 오선교, 한천구 ; 한중콘크리트에 있어서 페부동액을 이용한 내한제의 효율성에 관한 기초적 연구, 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol 13, No 1, 2001
- 한국 콘크리트학회, 최신 콘크리트 공학, 2005
- 日本建築學會 ; 寒中コンクリート施工指針-同解説, 1998
- 日本土木學會, コンクリート標準示方書, 1998
- 韓國建設技術研究院 ; 寒中 및 暑中콘크리트에 관한 研究, 1986