

2중 버블시트를 이용한 한중 콘크리트의 단열보온양생 공법

The Insulating Curing Method of Cold Weather Concreting Using Double Bubble Sheets



한천구*
Cheon-Goo Han



오선교**
Seon-Gyo Oh



신동인***
Dong-An Shin



전충근****
Chung-Keun Jeon



김종*****
Jong Kim

1. 서 언

현대 건축물은 고층화, 대형화 및 복잡화 추세로 다양한 시공기술과 새로운 재료의 개발이 요구되어지고 있다. 특히, 초고층 건축물의 경우는 건설공기의 중요성이 강조됨에 따라 연중시공이 요구되며, 한중 콘크리트의 필요성이 부각되고 있다. 한중 콘크리트란 콘크리트를 부어넣은 후의 양생기간에 콘크리트가 동결할 염려가 있는 경우에 시공되는 콘크리트를 의미한다. 이 시기에 콘크리트를 타설 할 경우에는 타설 초기에 콘크리트의 동결에 따른 초기동해가 발생되고, 응결 및 경화지연에 따른 강도발현 저하의 문제점이 생기게 된다.

현재, 한중 콘크리트 시공시에는 전술한 문제점을 해결하기 위하여 가열보온양생, 배합 계획시의 강도보정 고려 등 부가적인 조치를 강구하고 있는데, 이는 공사비를 크게 증가시키거나 혹은 시공관리의 소홀로 인한 초기동해로 콘크리트의 품질저하 등이 문제시되기 때문에 되도록 동절기에는 콘크리트의 타설을 피하려는 경향이 뚜렷하다.

그러나, 한중 콘크리트 공사와 관련하여 콘크리트의 동결온도를 낮출 수 있는 내한제를 사용하는 방법은 단가가 비싸다는 점과 염화물의 과다함유 문제 등으로 극히 일부공사에서만 사용되고 있는 실정이다. 가열보온양생을 실시하는 경우에도 현재, 국내의 건축공사 현장에서는 가열설비 등을 이용한 가열보온양생을 실시하고 있는데, 이는 궁극적으로 비경제성을 갖는다는 문제점이 제기되어 왔다. 선진 외국의 경우는 단열보온양생을 실시함으로써 구조체 자체의 수화열만으로 콘크리트를 양생

하여 소요강도를 발휘하는 방법이 연구되고 있는 실정이다. 따라서, 우리나라의 경우에도 한중시공의 활성화를 위해서는 이러한 방법의 채택을 신중히 고려할 필요성이 제기되고 있다.

그러므로, 본 고에서는 단열보온양생과 관련한 2중 버블시트로 구성된 슬래브용 표면 양생재 개발과정과 추후 실무조건에서 저렴하면서도 품질향상까지 확보할 수 있는 새로운 한중 콘크리트 시공법을 소개하고자 한다.

2. 한중 콘크리트

한중 콘크리트를 타설 할 경우에는 타설 초기에 콘크리트의 동결에 따른 초기동해가 발생되고, 응결 및 경화지연에 따른 강도발현 저하 등의 문제점이 발생하여 결국 콘크리트 자체 내 구성을 저하시키게 된다. 따라서, 초기동해 방지 및 기준재령내에서 소요강도를 확보할 수 있도록 양생을 실시하도록 한다.

2.1 한중 콘크리트의 적용기간

2.1.1 대한건축학회

한중 콘크리트의 적용기간에 대한 규정으로 KASS 5에는 「한중 콘크리트의 적용을 받는 기간은 특기시방에 따른다」라고 되어있다. 그러나, 우리나라 대부분의 경우 시방서에서 이 부분에 대하여 거의 언급되고 있지 않으며, 일반적인 판 및 민간 시공관계자의 사고는 공사를 중지하여야 하는 것으로 알려지고 있다.

2.1.2 일본건축학회

일본건축학회에서 제정한 건축공사표준시방서 제 5장 철근 콘크리트공사에서 정한 한중 콘크리트 적용기간은 KASS 5와 같으나 단, 일본건축학회의 「한중 콘크리트 시공지침 및 동해설」에 기록된 한중 콘크리트의 적용기간은 「기상청에 의해서

* 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사
cghan@chongju.ac.kr

** 정회원, (주)선엔지니어링기술연구소 대표이사, 공학박사

*** 정회원, (주)선엔지니어링기술연구소 소장, 공학박사

**** 정회원, (주)선엔지니어링기술연구소 책임연구원, 공학박사

***** 정회원, (주)선엔지니어링기술연구소 연구원, 청주대 박사과정

일별 평균기온을 평활평년치로 한 재령 28일까지의 적산온도 M 이 $370^{\circ}D \cdot D$ 이하로 되는 날을 포함한 순의 초일과 종일까지를 적용기간의 시작과 끝으로 한다」라고 설명하고 있으며 「이 기간 이외에서도 일별 최저기온 평활평년치가 $-2^{\circ}C$ 이하가 되는 기간에는 가능한 본 지침을 준용하고 초기동해방지를 위해 적절한 시설을 설치하는 것이 요망된다」라고 규정되어 있다.

즉, <그림 1>은 시공일로부터 28일간의 적산온도의 평년치 곡선을 모식도로 나타낸 것이다. 그림 중의 수직선은 적산온도(M) = $370^{\circ}D \cdot D$ 의 선을 의미하는데, 이 수직선보다 좌측에 있는 부분이 적산온도가 $370^{\circ}D \cdot D$ 이하이며 이 부분부터 한중 콘크리트 시공의 적용기간을 의미한다. 이 그림에서 기간의 초일은 그 순의 초일, 기간의 종일은 그 기간 순의 종일로 정하는 것을 원칙으로 한다.

2.1.3 한국콘크리트학회 및 일본토목학회의 규정

한국콘크리트학회 및 일본토목학회에서는 「하루의 평균기온이 $4^{\circ}C$ 이하로 예상될 때에는 한중 콘크리트로 시공하여야 한다」라고 규정이 되어 있다.

2.1.4 ACI의 규정

ACI 규정은 한중 콘크리트의 적용기간을 「일평균 온도가 $40^{\circ}F$ 이하로 예상되는 기간」으로 규정하고 있다. 또한, 한중시공기간은 일반적으로 가을에 시작해서 봄까지 계속되는 것으로 규정하고 있다.

2.2 한중 콘크리트의 양생방법

한중 콘크리트의 양생계획은 타설초기 동해방지 및 기준소요 강도 확보할 수 있도록 초기양생과 계속양생을 실시하도록 한다. 초기양생의 경우는 한중 콘크리트를 타설할 경우 반드시 필요한 것으로서 보온양생을 실시하도록 한다. 보온양생 방법으로 가열보온양생, 단열보온양생 및 양자를 병용하는 방법이

이용되어 지고, 계속양생의 경우에는 초기양생보다 낮은 온도로 실시한다.

2.1.1 가열보온양생방법

가열양생의 경우는 외기온이 수일간 $0^{\circ}C$ 이하로 될 우려가 있을 때, 외기온이 $-10^{\circ}C$ 이하로 예상될 때 실시하는 경우가 일반적으로서 계획양생온도는 $5^{\circ}C$ 이상으로 실시하며, 공간가열방법, 표면가열방법 및 내부가열방법 등이 이용되어진다<그림 2, 3>.

2.1.2 단열보온양생방법

단열보온양생은 콘크리트가 계획된 온도를 유지하며, 국부적으로 차겨워지지 않도록 단열재 또는 단열재를 병용한 거푸집의 두께를 적절히 정한다.

단열보온양생은 저온, 바람, 눈으로부터 콘크리트를 보호하고, 계획된 양생온도를 유지하며, 방열을 적게 하기 위하여 단열에 의해 초기양생에 필요한 적산온도와 강도가 얻어지도록 하는 양생법으로 지속적인 보호양생법으로서 이 방법이 많이 사용된다. 이 방법은 외기온이 매우 낮지 않는 경우나 매스 콘크리트 등에서는 간단한 단열재를 써서 단독으로 행해지지만, 외기온이 일시적으로 $0^{\circ}C$ 이하로 예상되는 경우에는 가열양생법과 병용하는 예가 많다.

단열재료로 널리 쓰이는 재료로는 발포성 폴리스티렌 시트, 발포성 우레탄, 발포성 비닐 브랭킷, 광섬유 혹은 셀룰로스섬유 및 벚짚 등이 이용되어지고 있다.

3. 2중 버블시트를 이용한 단열양생 공법개발

3.1 버블시트를 이용한 열손실 방지 원리

일반적으로 열은 다른 물체나 온도가 같은 물체라도 부분적으로 온도차가 있을 때는 고온부에서 저온부로 흐른다. 열전달 방식으로는 열전도, 대류, 복사의 3가지 형태가 일반적이는데, 먼

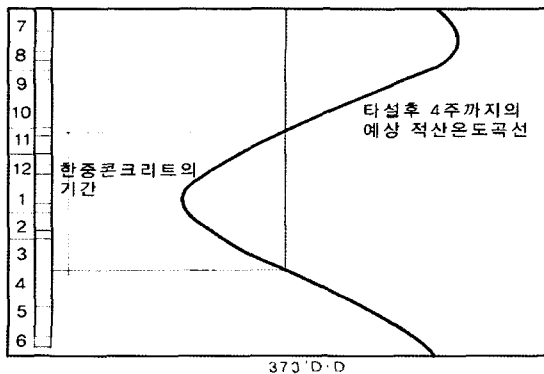


그림 1. JASS 5에서 한중 콘크리트 기간을 정하는 방법

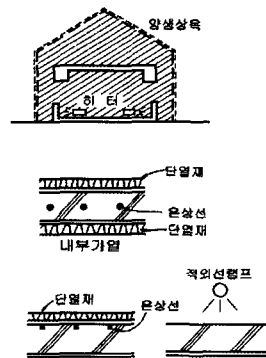


그림 2. 가열방법의 종류

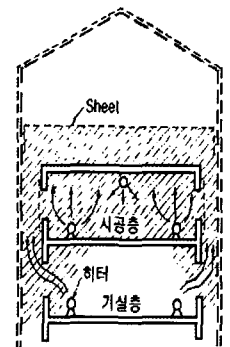


그림 3. 외부하벽 가열 예

저 열전도는 열이 물체 속에서 순차적으로 전달되어 가는 현상으로, 이때 열의 전달속도는 물체 단위 길이당 온도차(온도기울기)에 비례하지만, 물체의 재질에 따라 그 속도가 달라진다. 이와 같이 열 전달속도의 대소를 나타내는 것을 열전도율이라 하는데 그 값은 물질에 따라 다르다. 보통 금속은 열전도율이 크지만 액체나 기체는 전도율이 낮다.

열의 대류는 물체 자체가 유동적으로 움직여 열이 운반되는 현상으로 액체나 기체에서 일어나는 열전달 현상이고, 열의 복사는 서로 떨어져 있는 물체 사이(공간)를 열선의 형태로 고온의 물체로부터 복사되는 현상이다. 열복사의 세기는 물체의 종류와 온도에 따라서 결정되는데, 온도가 높을수록 커진다.

본 공법은 위에 설명한 열 손실 및 이동을 <그림 4>와 같이 시공함으로써 <그림 5>와 같은 개념으로 방지할 수 있다.

먼저, 열의 전도는 열전도율이 가장 낮은 독립기포층으로 구성된 버블시트를 단열재로 사용하므로써 열전도율을 최소화시켰고, 버블시트와 콘크리트를 밀실하게 부착시켜 덮어 주므로 열대류 현상을 축소 할 수 있는데, 이는 끓는 물에 뚜껑을 닫아 수증기의 방출을 막아 주는 효과로 볼 수 있다.

본 기술은 시멘트 자체에서 발생하는 수화열을 버블시트로 열의 유출손실을 방지하고, 이동을 차단시켜 주므로 충분한 양생온도를 확보 시킬 수 있다.

3.2 슬래브 상부용 표면단열재 개발

3.2.1 실험 계획

슬래브 상부용 표면단열재 개발의 실험계획은 <표 1>과 같고,

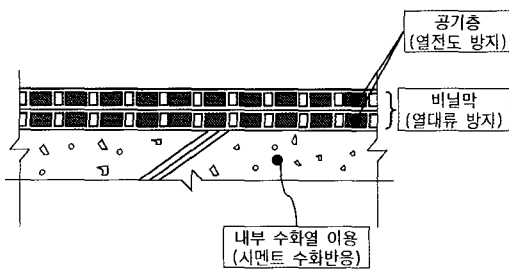


그림 4. 버블시트로 시공한 구조체 단면도

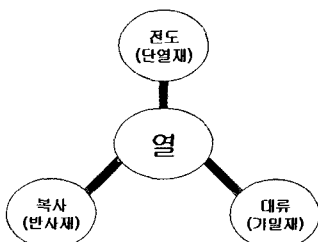


그림 5. 열이동 방지 개념

배합사항은 <표 2>와 같다. 먼저, 실험요인으로 W/C 40%에 대하여 목표 슬럼프는 15 ± 1.5 cm, 목표공기량은 $4.5 \pm 1.5\%$ 로 하였다. 시험체는 벽식구조의 120 mm 두께 슬래브로 가정하고, 표면양생 방법 종류로는 I(노출), II(버블시트 1겹), III(버블시트 2겹), IV(버블시트 1겹 + 부직포), V(버블시트 2겹 + 부직포)의 5수준으로 실험 계획 하였다.

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프 및 공기량을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 적산온도 20, 30, 60, 120, 180, 300, 840°D·D에서 압축강도를 측정하였으며, 표면 단열양생법 종류별에 따른 온도이력 및 재령 7 및 28일에서 코어 압축강도를 측정하였다.

3.2.2 사용 재료 및 시험 방법

(1) 사용 재료

본 실험의 사용재료로 시멘트는 국내산 보통포틀랜드시멘트(비중 : 3.15, 분말도 : $3,303 \text{ cm}^2/\text{g}$)를 사용하였다. 골재로서 잔, 굵은골재는 충북 청원군 옥산산 강모래(밀도 : 2.6, 입형판정실적률 : 61)와 20 mm 부순 굵은골재(밀도 : 2.66, 입형판정실적률 : 56.5)를 사용하였다. 혼화제는 나프탈렌계 AE 감수제를 사용하였다.

(2) 실험 방법

슬럼프 시험은 KSF 2402, 공기량 시험은 KSF 2421에 의거 실시하였다.

단열거푸집 평가용 공시체는 벽식구조 건축물의 열악한 상태의 슬래브로서 두께 120 mm를 가정하여 $30 \times 30 \times 12$ cm인 시험

표 1. 슬래브 상부용 표면단열재 개발 실험계획

실험요인	실험수준				
W/C(%)	1	40			
목표슬럼프(cm)	1	15 ± 1.5			
목표 공기량(%)	1	4.5 ± 1.5			
배합사항	표면양생 종류	5	· I(노출) · II(버블시트 1겹) · III(버블시트 2겹) · IV(버블시트 1겹+부직포) · V(버블시트 2겹+부직포)		
		실험사항	굳지 않은 콘크리트	2	· 슬럼프, 공기량
				경화 콘크리트	3

표 2. 콘크리트의 배합표

W/C (%)	W (kg/m ³)	S/a (%)	AE 감수제 (%)	용적배합 (ℓ/m ³)		
				C	S	G
40	185	44	0.45	147	274	349

체를 제작하였는데, 이때 측면은 슬래브가 연속된다고 가정하여 $T = 100 \text{ mm}$ 인 스티로폼으로 밀봉하였고, 하부는 <사진 1>에 나타낸 것과 같은 단열거푸집을 사용하였다.

양생조건은 우리나라 겨울철의 열악한 시공 조건을 고려하여 -10°C 의 항온조에서 7일 동안 양생하였다. 양생 완료 후 $\phi 100 \text{ mm}$ 의 코어를 채취하고 양쪽면을 유황 캐핑한 후 7일 압축강도를 측정하였고, 그 이후 시험체는 20°C 에서 표준양생 한 후 28 일째 다시 코어를 채취하여 압축강도를 측정하였다.

표면 단열양생법 종류별 내부 온도이력은 시험체의 표면, 중심부 및 하부에 온도측정용 열전대(T-type)를 매입한 후 data logger로 10분 간격으로 온도를 기록하여 양생중인 콘크리트의 내부온도를 측정하였다.

3.2.3 실험 결과 및 분석

(1) 굳지 않은 콘크리트 특성

슬럼프 및 공기량은 $1.4.50 \text{ mm}$ 및 4.2% 를 나타내어 모두 계획한 목표 유동성과 목표 공기량의 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

(2) 경화 콘크리트의 특성

① 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석

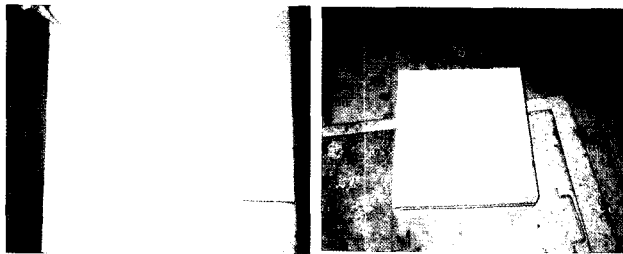


사진 1. 단열거푸집 모습

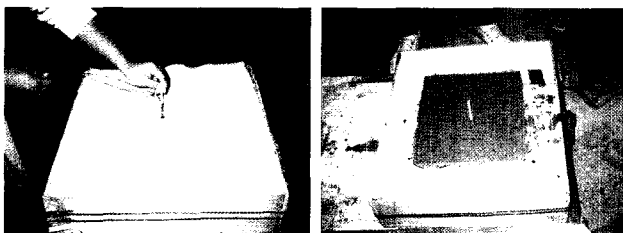


사진 2. 표면양생제 및 열전대 매입 모습



사진 3. 거푸집 탈형 및 코어채취 모습

<표 3>은 회귀분석을 통한 로지스틱 모델의 실험상수를 나타낸 것이고, <그림 6>은 로지스틱 모델식을 이용하여 표준양생 공시체의 강도증진성상을 나타낸 것이다. 모델식의 결정계수는 0.98 이상, 표준편차는 16.27 N/mm^2 이하의 양호한 상관성을 나타내고 있으며, 적산온도 증진에 따른 압축강도의 양호한 증진경향을 알 수 있다.

② 코어 압축강도

<그림 7>은 버블시트와 부직포를 조합한 시험체의 채령 7 및 28일의 코어 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저, 7일 코어 압축강도에서 단열양생법 I 및 II는 다른 단열양생법과 비교하여 크게 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 초기 24시간 이전에 초기동해 피해를 입었기 때문이라고 사료된다. 또한, 단열양생법의 코어 압축강도는 V, IV, III 순으로 강도가 작게 나타났는데, 이는 버블시트와 부직포의 열전도율 차이에 의한 적산온도의 변화에 기인한 것으로 분석된다. 28일 코어 압축강도는 단열양생법 I의 경우가 여타의 단열양생법과 비교하여 제일 작은 것으로 나타났는데, 이는 7일 코어 압축강도의 분석과 동일하다.

③ 표면 단열양생법 종류별 콘크리트의 온도이력

<그림 9>는 슬래브 하부 거푸집을 PP + 스티로폼 + 합판으로 고정하고, 상부를 단열양생법 종류별로 구분한 조건에서 -10°C 일정온도 조건인 냉동고 속의 채령 7일까지 시간 경과에 따른 표면, 중심부 및 하부의 콘크리트 온도 이력을 나타낸 것이다. 먼저, 각 표면 단열양생법 조건 변화별 표면, 중심부 및 하부간의 온도차는 거의 없는 것

표 3. 회귀분석을 통한 로지스틱 모델의 실험상수

W/C(%)	최종도 달강도	실험 상수	실험 상수값	결정 계수	표준 편차
	F_∞	-	42.5		
40	-	k	3.49	0.98	16.27
	-	m	5.19		

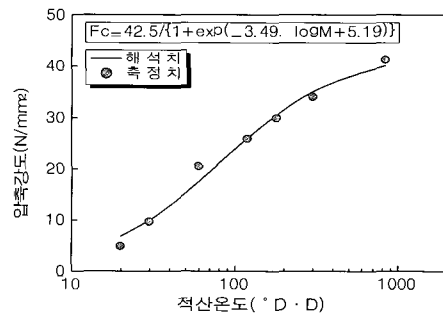


그림 6. 로지스틱 모델에 의한 강도증진 해석

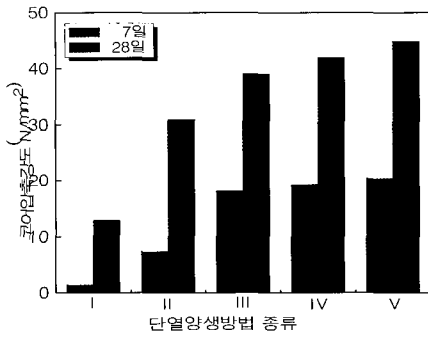


그림 7. 단열양생법 종류별 7일 및 28일 코어 압축강도

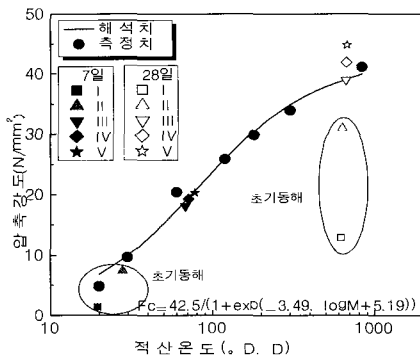


그림 8. 로지스틱 모델에 의한 해석치와 코어 압축강도 측정치 비교

을 알 수 있었는데, 이는 부재가 얇은 슬래브 두께로 가정하였기 때문이라고 분석된다.

표면 양생방법종류에서 I(노출)의 경우는 시간이 경과함에 따라 콘크리트 내·외부 온도가 급속히 저하하였는데, 콘크리트 타설 후 약 5.7시간 이후부터 0℃ 이하로 저하하였다. 따라서 콘크리트 표면을 노출시킨 경우는 초기 24시간 이전에 약 -7℃ 까지 저하함에 따른 급속한 온도저하에 의해 초기동해 피해가 발생하였을 것으로 사료된다. 다음으로 II(버블시트 1겹)의 경우는 약 12시간 이후부터 0℃ 이하로 저하하여 노출과 비교하여 약 6시간의 단열성능이 있었으나, 이 또한 초기의 급속한 온도저하에 의해 초기동해 피해가 발생하였을 것으로 사료된다. 반면, III, IV, V의 경우에는 콘크리트 내부 및 표면 온도가 초기 24시간 이전에 0℃ 이하로 저하하지 않았고, 최저온도가 각각 9, 10 및 11℃로 영상의 온도를 유지하므로써, I 및 II와 비교하여 우수한 단열효과를 나타내었는데, 즉 버블시트 2겹+부직포, 버블시트 1겹+부직포, 버블시트 2겹 순으로 단열성능이 우수한 것으로 나타났다. 따라서, 한중 콘크리트 시공시 버블시트와 부직포를 이용한 표면보온양생을 실시한다면 콘크리트의 초기동해를 방

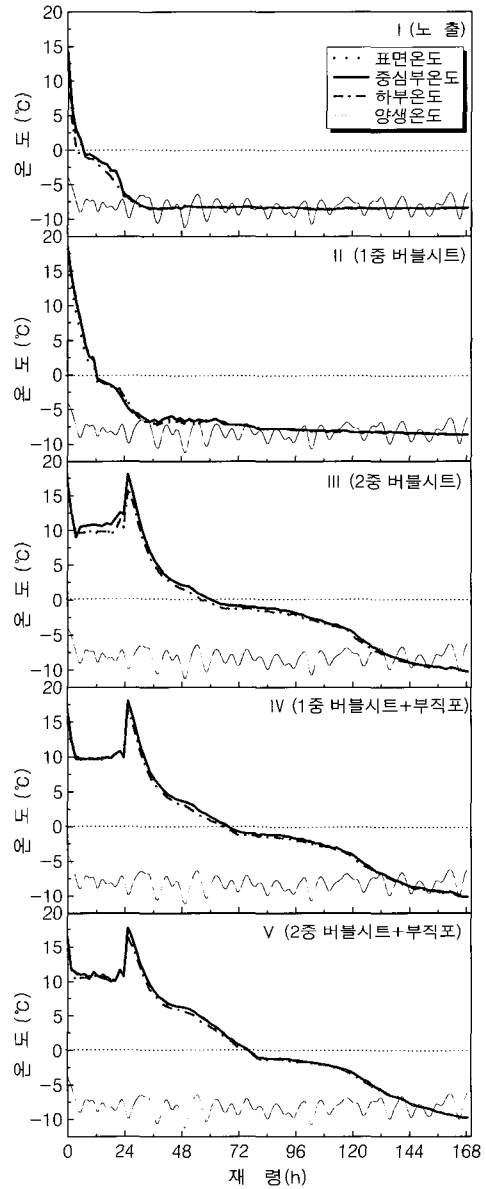


그림 9. 단열양생법 종류별 온도이력

지할 수 있을 것으로 사료된다.

〈표 4〉는 표면단열 양생법 종류별에 따른 각종 특성치로서 상부, 중앙부, 하부의 데이터를 평균하여 나타낸 것이 것이다.

4. 2중 버블시트를 이용한 단열양생공법 현장 적용

4.1 공사개요

대상 건물은 충북 청주시 청주대학교 내에 위치한 청주대학교 교양관 신축공사 현장으로서 공사개요는 〈표 5〉와 같고, 〈사진 4〉는 조감도를 나타낸 것이다.

표 4. 표면 단열양생법 종류별에 따른 특성

구분	I	II	III	IV	V
0℃도달시간(h)	5.7	12.0	58.8	68.0	75.4
0℃도달시간까지 적산온도(°D·D)	16.5	18.2	48.4	49.5	64.8
0℃도달 적산온도에 따른 예측압축강도(N/mm ²)	5.8	6.5	15.1	15.3	18.5
수화발열에 따른 피크온도시간(h)	-	-	25.4	25.4	25.4
수화발열에 따른 피크온도(℃)	-	-	17.4	17.6	17.3
재령 7일까지 구조체 평균온도(℃)	-7.2	-6.1	-0.5	-0.1	1.0
재령 7일까지 외기온 평균온도(℃)	-8.2				
재령 7일까지 적산온도(°D·D)	19.6	27.3	66.5	69.3	77
재령 7일까지 외기온 적산온도(°D·D)	12.6				
재령 7일까지 적산온도에 따른 예상강도(N/mm ²)	7.0	9.4	18.8	19.3	20.6
재령 7일 실측강도(N/mm ²)	1.3	7.3	18.1	19.2	20.3
재령 7일에서 예측강도에 대한 실측강도비(%)	18.6	77.7	95.8	98.9	99
재령 28일까지 구조체 평균온도(℃)	13.2	13.5	14.9	15	15.2
재령 28일까지 외기온 평균온도(℃)	12.9				
재령 28일까지 적산온도(°D·D)	649.6	658	697.2	700	705.6
재령 28일까지 외기온 적산온도(°D·D)	641.2				
재령 28일까지 적산온도에 따른 예상강도(N/mm ²)	39.0	39.1	39.3	39.4	39.4
재령 28일 실측강도(N/mm ²)	12.8	30.9	39	41.9	44.8
재령 28일에서 예측강도에 대한 실측강도비(%)	32.7	78.6	98.9	106.3	113.7

표 5. 공사 개요

- 공사명	청주대학교 교양관 신축공사
- 공사기간	2005년 6월 ~ 2006년 11월 (17개월)
- 발주처	청주대학교
- 설계자	(주)단우건축사 사무소
- 감리자	(주)선엔지니어링 종합건축사사무소
- 시공자	(주)현대건설
- 현장위치	충북 청주시 상당구 우암동 37-1
- 지역지구	도시자연녹지 / 최고고도지구
- 대지면적	467,992.00 m ² (141,567.58평)
- 건축면적	3,377.27 m ² (1,021.622평)
- 연면적	14,770.47 m ² (4,468.10평)
- 규모	교양관동 - 지하 1층 ~ 지상 6층



사진 4. 청주대학교 교양관 신축공사 조감도

4.2 현장실험 여건

청주대학교 교양관 신축공사 현장은 기초매트 콘크리트 시공이 2005년 12월부터 시작되어 일평균 기온이 4℃ 이하의 한중 콘크리트 시공이 불가피 하였다. 또한, 당 현장의 기초 콘크리트는 두께 1m의 매스 콘크리트로, 중심부와 표면온도차에 의한 온도균열과 상부 표면부의 초기동해 문제에 대한 대책을 강구해야 되었다. 그런데, 일반적으로 사용되어지는 가열보온양생의 경우 매스 콘크리트의 품질에 악영향이 우려되고, 비용이 추가되므로 당 현장은 콘크리트 자체의 수화열로 양생되어지는 2중 버블시트에 의한 단열보온양생공법을 적용하였다.

〈그림 10〉은 실험 대상건물인 지하층 평면도를 나타낸 것이다. 당 현장에서는 1개층을 하루에 시공하기 어려우므로, 〈그림 10〉과 같이 A, B구간으로 나누어 시공하도록 하였다.

4.3 실험계획 및 방법

4.3.1 실험계획

본 연구의 구조체적용 시공의 실험계획은 〈표 6〉과 같고, 배합사항은 〈표 7〉과 같다. 먼저, 배합사항으로 구조체용 콘크리트는 설계기준강도 24 MPa의 1수준에 대하여 목표슬럼프 150 ± 25 mm, 목표공기량 4.5 ± 1.5%를 만족하도록 제조하였다. 콘크리트 타설은 기둥, 보, 슬래브 순으로 계획하였다. 실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 염화물량, 콘크리트 온도 및 응결시간을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 압축강도(구조체관리용, 표준양생)와 온도이력을 측정하였으며, 콘크리트의 양생은 타설 후 마무리 작업이 종료된 다음 2중 버블시트를 포설하는 것으로 하였다.

4.3.2 사용재료 및 실험 방법

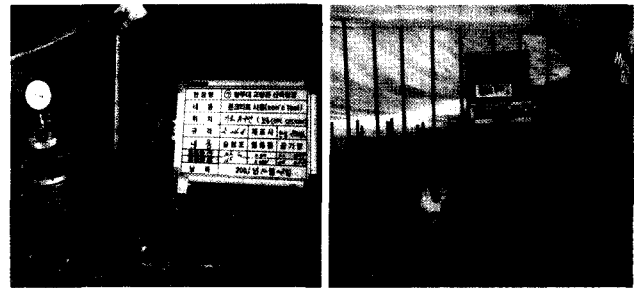
당 현장에 사용한 재료로 콘크리트는 인근지역 KS업체인 레

표 6. 구조체 적용시공의 실험계획

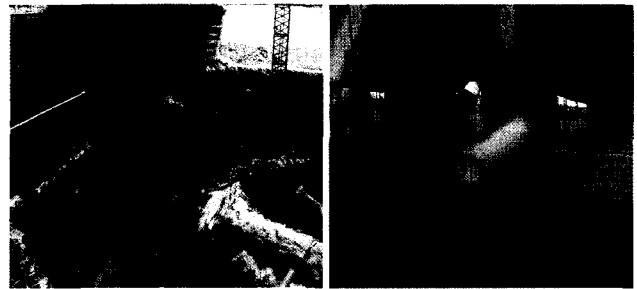
배합사항	실계기준강도(MPa)	24
	목표 베이스 콘크리트	120 ± 25
슬럼프	(mm)	180 ± 25
	목표 공기량(%)	4.5 ± 1.5
실험사항	굳지 않은 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> • 슬럼프 • 공기량 • 염화물량 • 콘크리트 온도 • 응결축정
	경화 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> • 온도이력 측정 • 압축강도 측정 - 표준양생(3, 7, 28, 91일) - 구조체 리용 공시체 (1, 2, 3, 7, 28, 91일)

표 7. 콘크리트의 배합사항

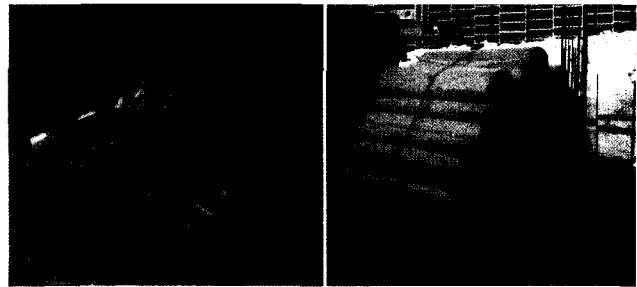
배합	W/C (%)	단위 수량 (kg/m ³)	S/a (%)	AE 감수제 (%)	질량배합(kg/m ³)			
					시멘트	FA	모래	자갈
FA0				2.5	363	0	833	920
FA15	46.8	170	48.2	2.3	309	54	824	909



(a) 콘크리트 반입 후 품질시험 (b) 온도이력 측정을 위한 데이터 로그 설치



(c) 콘크리트 타설 (d) 콘크리트 마감 작업 후 버블시트 포설



(e) 시공 완료 후 계속 양생 (f) 양생 종료 후 버블시트 해체 후 정리

사진 5. 버블시트를 이용한 단열보온양생 공법 시공 순서

미콘을 사용하였고, 2중 버블시트는 독립기포층이 형성되도록 공장에서 제작된 것을 사용하였다.

실험방법으로 베이스 콘크리트는 레미콘사의 베퉀 플랜트에서 제조하는 것으로 하였고, 유동화 방법은 현장에서 첨가하고 현장에서 유동화하였다. 온도이력은 온도 측정용 열전대를 구조체에 매입한 후 데이터 로거를 이용하여 1시간 간격으로 측정하였다.

4.4 실험 결과 및 분석

4.4.1 현장적용 내용

지하층 매트 콘크리트의 상부는 A, B 구간 모두 2중 버블시트를 이용하여 단열보온양생 하도록 하였는데, 단열보온양생은 A, B 구간 모두 72시간 정도 실시하였다. <사진 5>는 버블시트를 이용한 단열보온양생공법의 시공 순서를 나타낸 것이다.

4.4.2 현장적용 결과

콘크리트버블시트를 이용하여 지하매트 A, B구간의 단열양생 공법 적용 결과는 다음과 같다.

먼저, 굳지않은 콘크리트는 모두 목표로 하는 값을 만족하는 것으로 나타났고, 압축강도는 28일 재령에서 표준 및 구조체판

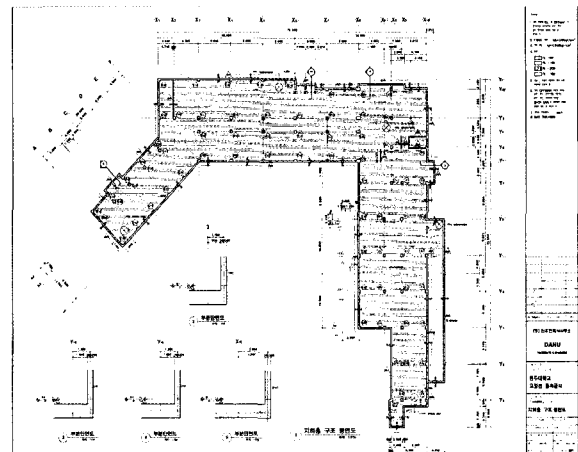


그림 10. 지하층 평면도

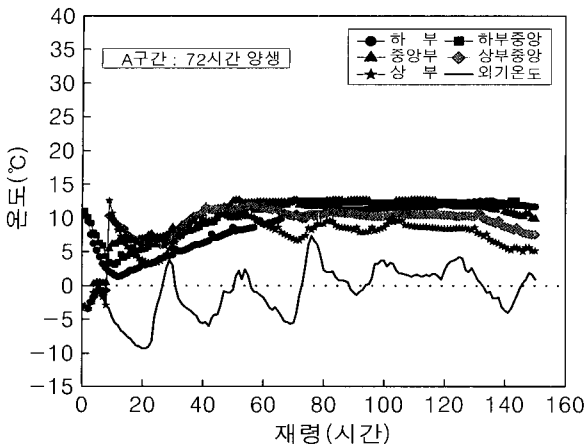


그림 11. 지하층 A구간 온도이력

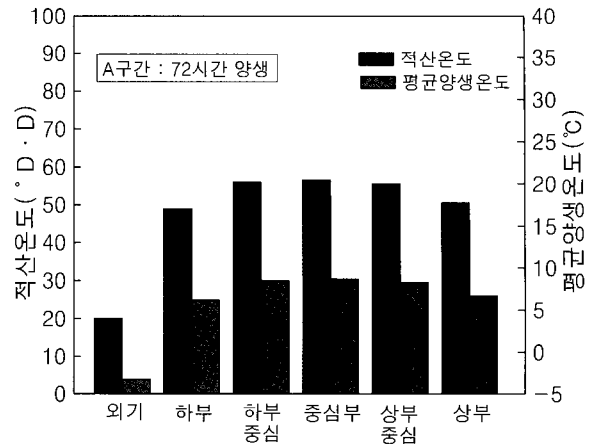


그림 13. 지하매트 A구간의 적산온도 및 평균양생온도

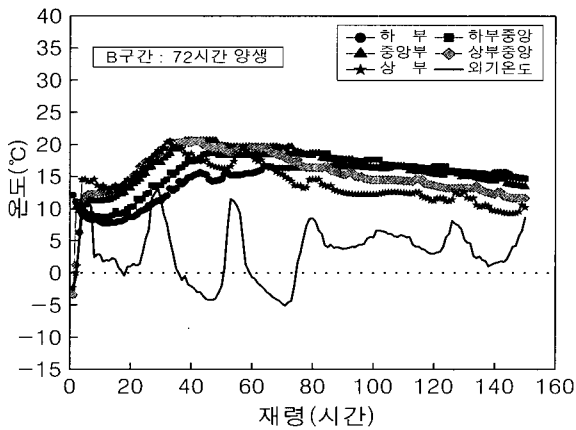


그림 12. 지하층 B구간 온도이력

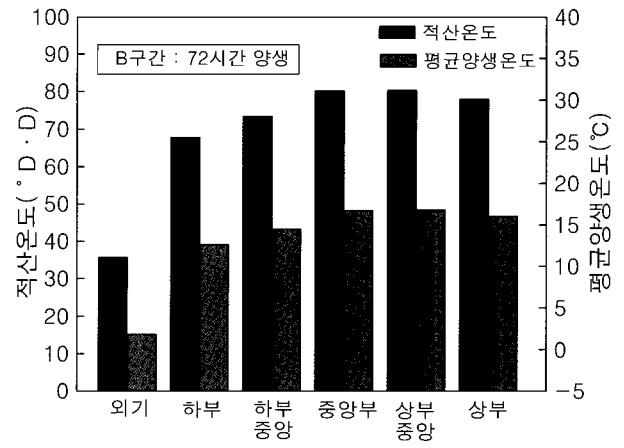


그림 14. 지하매트 B구간의 적산온도 및 평균양생온도

리용 공시체 모두 24 MPa 이상의 값으로 나타났다. 단 초기재령에서 다소 차이를 보이는데, 이는 공시체가 받은 양생온도이력에 의한 적산온도 차이에 의한 것으로 판단된다. <그림 11, 12>는 지하층 A, B 구간의 온도이력을 나타낸 것이다.

온도이력 측정 결과, 지하층 A구간의 경우, 외기온은 최저 -10°C까지 저하하였고, 2중 버블시트에 의한 단열보온양생 기간(3일간)중 평균 외기온은 -3.3°C로 나타났다. 반면 구조체 내부 온도는 최초 타설되는 시점부터 약 8~12시간 정도 저하하다가 그 이후로는 시멘트의 수화반응에 의하여 점증적으로 온도가 상승하는 것으로 나타났다. 특히, 외기와 가장 가까운 상부 콘크리트의 온도이력에서도 3.3°C 이상으로 유지됨에 따라 2중 버블시트에 의한 한중 콘크리트 단열보온양생 효과가 높은 것이 입증되었다.

지하층 B구간의 경우 외기온은 최저 -5°C까지 저하하였고, 단열양생기간 중 평균 외기온은 1.8°C로 나타났다. 구조체 내부 온도는 먼저 타설된 하부 및 하부 중앙 부분의 경우 2~3°C정도 8시간까지 저하한 후 수화열에 의하여 온도가 상승하는 것으로

나타났고, 여타 부분에서는 타설 직후부터 온도가 유지되거나 상승되는 것으로 나타났다. 특히 외기와 가장 가까운 상부 콘크리트 온도에서도 양생기간 동안 약 16°C로 충분한 양생온도를 확보할 수 있어 버블시트에 의한 단열양생 공법이 효과적인 것으로 나타났다. <그림 13, 14>는 부위별 적산온도 및 평균양생온도를 나타낸 것이다.

먼저, 지하매트 A구간의 경우는 구조체 부위별 72시간 동안의 적산온도는 48.9~56.5°D·D로 나타났는데, 이는 외기 적산온도가 20.0°D·D인 것과 비교해 볼 때, 외기보다 28.9°D 이상 높은 적산온도를 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 평균양생온도는 적산온도와 비슷한 경향으로 나타났는데, 외기의 경우는 -3.3°C로 당 현장에 본 기술 적용에 있어서 가장 낮은 외기온도로 나타났다. 반면 구조체 각 부위의 경우는 6.2~8.7°C로 나타나 약 9.5°C 이상 높은 양생온도를 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

지하매트 B구간의 경우는 구조체 부위별 적산온도는 67.8~80.4°D·D로 나타나 외기 적산온도 35.6°D·D와 비교할 때, 35.2°D 이상 높은 것으로 나타났다. 평균양생온도는 각 부위별

12.6 ~ 16.8℃로 나타나 부위별 온도차는 크지 않은 것으로 나타났고, 외기평균온도는 1.8℃로 나타나 본 공법을 적용 시 약 10.8℃ 이상 높은 양생온도를 확보 할 수 있음을 알 수 있었다.

지하매트 A, B구간에 본 기술을 도입함으로써 충분한 보온양생이 실시되어, 초기양생 완료 후, 육안으로 관찰한 결과 콘크리트의 균열 및 초기동해 피해는 없는 것으로 나타났다. 또한 지하매트 매스 콘크리트의 부위별 온도차가 거의 없는 것으로 나타나 중앙부와 상부간의 온도차를 줄여 주어 수화열 균열 방지 및 내구성 향상에도 큰 효과가 발휘된 것으로 판단된다.

5. 결 언

버블시트를 이용한 단열보온양생공법의 개발 및 시공한 결과, 초기 동해 방지, 재령 내 소요강도 확보, 공사비 절감, 안전성 및 내구성 확보가 가능하였다. 특히, 본 공법은 한중 콘크리트 뿐만 아니라 일반적인 콘크리트의 양생에 적용할 경우, 수분증발 방지효과로 소성수축 균열 및 건조수축 균열이 완전히 방지되어 무균열시공이 성취될 수 있으므로, 앞으로 콘크리트 양생에 범용적인 공법으로 활용될 것으로 판단된다. □

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트 공학, 1997.
2. 한천구, 한천구의 콘크리트 실무가이드 100, 2006.
3. 日本建築學會, 寒中コンクリート施工指針・同解説, 1998.
4. 韓國建設技術研究院, 寒中 및 暑中콘크리트에 관한 研究, 1986.
5. 한천구, 한민철, 적산온도방식의 콘크리트 강도증진 해석에 의한 기온보정강도의 검토, 대한건축학회 논문집, Vol.11, No.11, 1999, pp. 71 ~ 78.
6. 김경민, 원철, 김기철, 오선교, 한천구, 내한제 및 단열거푸집에 의한 한중콘크리트 시공의 효율화에 관한 기초적 연구, 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol.13, No.1, 2001, pp. 617 ~ 622.
7. 김중, 윤재명, 전충근, 신동안, 오선교, 한천구, 이중 버블시트 및 수화 발열량차공법에 의한 한중매스콘크리트의 현장적용 연구, 한국건축시공학회 학술발표회 논문집, Vol.6, No.1, 2006, pp. 15 ~ 18.

원고 모집 안내

「한국콘크리트학회지」는 콘크리트 관련 학문과 기술에 대한 정보를 제공하기 위해 발행되고 있습니다. 본 학회지를 통해서 자신의 연구 결과, 경험한 사례 등을 콘크리트 관련 기술자들과 함께 나누길 원하시는 분께서는 다음과 같은 형태로 참여하실 수 있습니다. 여러분의 옥고를 기다리겠습니다.

- 원고 주제 : 포토에세이(사진, 서예, 시 등), 특집기사, 기술기사, 공사기사, 문헌기사, 해외번역기사, 해외연구소 소개, 국제학술대회 참가기, 현장탐방, 논단, 우리회사소개* 등
- 원고 분량 : 4매 ~ 6매 내외(A4용지 기준)
- 제출처 : TEL : (02)568-5985~7 FAX : (02)568-1918 E-mail : kke@kci.or.kr

우리회사소개 원고 모집

우리회사소개 코너는 우리 학회의 6,000여 회원 및 단체에게 회사를 홍보할 수 있는 기회입니다. 우리회사소개란에 소개하고자 하는 회사나 단체, 연구소, 벤치기업 등은 아래와 같이 원고를 투고하실 수 있습니다.(단, 지난 5년 동안 우리회사소개나 벤치기업소개 란에 소개되었던 회사는 제외하오며, 학회 특별회원사에게 우선권을 부여 합니다.)