

이중 버블시트 및 수화발열량차 공법에 의한 한중매스콘크리트의 현장적용 연구

A Case Study on Field Construction of Cold Weather Mass Concreting Using Double Bubble Sheets and Hydration Heat Difference Method

김 종* 윤재령** 전충근*** 신동안**** 오선교***** 한천구*****
Kim, Jong Yoon, Jae-Ryung Jeon, Chung-Keun Shin, Dong-An Oh, Seon-Gyo Han, Cheon-Goo

Abstract

The test result of mat concrete applying both hydration heat difference and insulation curing method on new construction of Cheongju university educational building are summarized as following. Both fresh concrete and compressive strength properties were satisfied in aimed value. Setting time of concrete incorporating 15% of fly ash(FA) retarded 1.2 hour than control concrete. Temperature history of mass concrete indicated that the highest temperature of center was exhibited at 12.6° C after 51 hours while the highest temperature of upper section was 10.6° C after 46 hours. Temperature Difference between center and surface was managed at less than 6℃ during whole curing period. In addition the temperature of upper section secured more than 3.3° C while the temperature of outside was indicated at less than -10℃. Maturity by parts of construction secured more than 30° DD higher than outside at 3 days. The more number of times, applying insulation curing method by double bubble sheets, increased, the higher economic effect was secured. Overall it was clear that applying both double bubble sheets and hydration heat difference method on this new construction can resist hydration heat crack, early frost damage and strength decrease. It also significantly contributed quality improvement of cold weather concreting

키 워 드 : 매스콘크리트, 수화열, 이중 버블시트, 한중콘크리트, 온도이력

Keywords : Mass Concrete, Hydration Heat, Double Bubble Sheet, Cold Weather Concrete, Temperature History

1. 서 론

오늘날의 건축구조물은 고층화로 인하여 기초매트의 경우 매스콘크리트로 시공되는 경우가 많아지고, 공기단축의 중요성이 강조됨에 따라 연중시공이 요구되어 한중콘크리트의 시공이 불가피한 실정이다.

이러한 상황에 따라 실무현장에서는 한중콘크리트와 매스콘크리트가 복합적으로 적용되는 경우가 발생하는데, 일반적으로 한중콘크리트 시공은 가열설비를 통한 가열보온양생이 주를 이루고 있으며, 매스콘크리트 시공은 혼화재의 치환, 프리 쿨링 방법, 파이프 쿨링 방법 및 수평분할 타설 등이 활용되고 있으나, 이들은 서로 반대되는 경향이므로 자칫 콘크리트의 품질에 큰 해가 될 수 있으므로 반드시 검토되어야 할 사안이다.

한편, 본 연구팀에서는 선행연구로 매스콘크리트의 온도균

열을 제어하는 수화발열량차 공법을 개발한 바 있다. 즉, 건물 매트 기초콘크리트의 하층부 콘크리트는 플라이애시(이하 FA라 칭함), 고로슬래그 등을 사용함으로써 응결지연시킴과 동시에 전체적인 수화열을 저감시키고, 상층부 콘크리트는 혼화재를 치환하지 않은 보통 콘크리트를 타설함으로써 상하부 콘크리트가 동시에 수화발열할 수 있도록 하여 궁극적으로 상하부 콘크리트 사이의 발열량차를 축소시켜 온도 균열을 제어할 수 있는 공법이다.

또한, 한중콘크리트의 초기동해 방지 및 소요강도를 확보방안으로는 이중 버블시트에 의한 단열보온양생공법을 개발한 바 있다. 즉, 단열에 효과적인 독립기포층을 갖고 있는 버블시트를 이용하여 한중콘크리트 시공시 타설 완료 후 콘크리트 상부면을 덮어 주는 방법으로 양생하는 단열보온양생공법이다.

그러므로, 본 현장적용 연구에서는 기 개발된 이중 버블시트에 의한 단열보온양생공법과 매스콘크리트의 수화발열량차 공법을 복합 적용함으로써 한중매스콘크리트의 제반물성과 온도이력에 대하여 검토하고, 아울러 경제성을 분석함으로써 본 공법의 효율성을 검증하고자 한다.

* (주)선 ENG 기술연구소, 연구원, 청주대 박사과정

** 현대건설(주) 청주대 교양관 현장소장, 청주대 석사과정

*** (주)선 ENG 기술연구소, 책임연구원, 공학박사

**** (주)선 ENG 기술연구소, 소장, 공학박사

***** (주)선 ENG 대표이사, 공학박사

***** 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

2. 한중매스콘크리트의 현장 적용

2.1 공사개요

본 공법을 적용한 청주대학교 교양관 신축공사 현장의 공사 개요는 표 1과 같고, 조감도는 그림 1과 같다.

표 1. 공사 개요

- 공사 명	청주대학교 교양관 신축공사
- 공사기간	2005년 6월 ~ 2006년 11월 (17개월)
- 발 주 처	청주대학교
- 설 계 자	(주)단우건축사 사무소
- 감 리 자	(주)선엔지니어링 종합건축사사무소
- 시 공 자	(주)현대건설
- 현장위치	충북 청주시 상당구 우암동 37-1
- 대지면적	467,992.00m ² (141,567.58평)
- 건축면적	3,377.27m ² (1,021.622평)
- 연 면 적	14,770.47m ² (4,468.10평)
- 규 모	교양관동 - 지하 1층 ~ 지상 6층

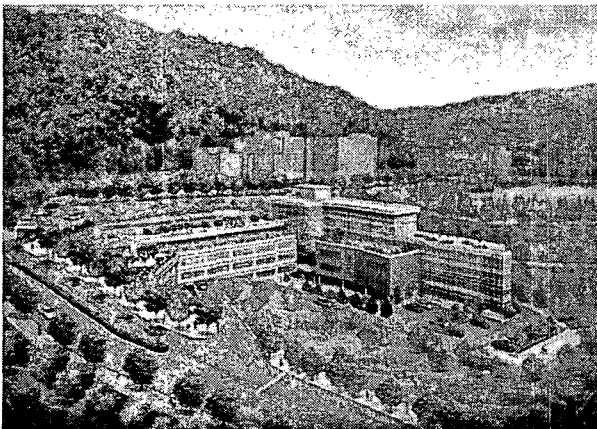


그림 1. 청주대학교 교양관 신축공사 조감도

2.2 한중매스콘크리트의 품질 및 경제성 확보 방안

청주대학교 교양관 신축공사 현장의 한중매스콘크리트 품질 및 경제성 확보방안으로 먼저, 수화열 균열방지방안은 콘크리트 배합상 하부층은 플라이애시 15%를 치환하여 타설하며, 상부층은 보통콘크리트를 타설함으로써 상하부 콘크리트간의 발열량차를 축소하여 온도균열을 방지한다. 초기동해 방지, 설계기준강도 확보는 이중 버블시트를 이용한 단열보온양생 공법을 구조체 슬래브 상부표면부 전체에 적용한다.

따라서 한중매스 콘크리트 시공시 나타날 수 있는 품질저하 및 공사비 증가의 문제점을 해결하고자 한다.

2.3 실험계획 및 방법

2.3.1 실험계획

청주대학교 교양관 신축공사는 일평균 기온 4℃이하의 한중 콘크리트 적용기간에 높이 1m의 매스 콘크리트를 시공해야 되므로, 이중 버블시트에 의한 단열양생공법과 수화 발열량차 공법을 복합 적용한다.

그림 2는 실험대상 매스 콘크리트의 평면도를 나타낸 것으

로서 지하매트 A구간에 적용하였고, 총 콘크리트 소요량은 1,400m³ 이었다. 본 연구의 구조체적용 시공의 실험계획은 표 2와 같고, 배합사항은 표 3과 같다.

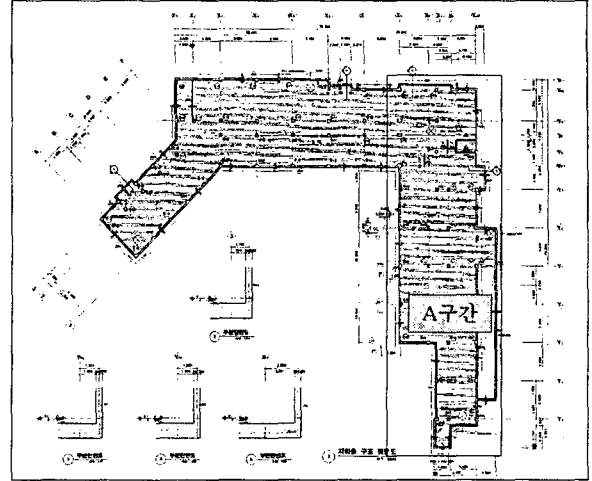


그림 2. 지하층 평면도

표 2. 구조체 적용시공의 실험계획

배합 사항	설계기준강도(MPa)	24
	목표 슬럼프 (mm)	150±25
	목표 공기량 (%)	4.5±1.5
타설 방법		<ul style="list-style-type: none"> ■상부(50cm)-보통콘크리트 ■하부(50cm)-FA 15%치환 콘크리트
실험 사항	균지않은 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> ■슬럼프 ■공기량 ■염화물량 ■콘크리트 온도 ■응결측정
	경 화 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> ■온도이력 측정 (하부중양, 중앙부, 상부중양, 상부, 외기온도)
	FA15%(하부)	<ul style="list-style-type: none"> ■압축강도 측정 -표준양생(3, 7, 28, 91일) -구조체관리용공시체 (1, 2, 3, 7, 28, 91일)

표 3. 콘크리트의 배합사항

배합	W/C (%)	단 위 수 량 (kg/m ³)	S/a (%)	AE 감수제 (%)	질량배합 (kg/m ³)			
					시멘트	FA	모래	자갈
FA 0	46.8	170	48.2	2.5	363	0	833	920
FA 15				2.3	309	54	824	909

먼저, 배합사항으로 구조체용 콘크리트는 설계기준강도 24MPa의 1수준에 대하여 목표슬럼프 150±25mm, 목표공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 제조하였다. 콘크리트 타설방법은 상하부 수평으로 분할하여 타설하는 것으로 계획하였는데, 먼저 하부 FA 15%치환 콘크리트를 50cm 부어넣은 후, 상부 보통 콘크리트를 50cm 부어넣었다.

실험사항으로 균지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 염화물량, 콘크리트 온도 및 응결시간을 측정하였고, 경화 콘크

리트에서는 압축강도(구조체관리용, 표준양생)와 온도이력을 측정하였으며, 콘크리트의 양생은 타설 후 마무리 작업이 종료된 다음 이중 버블시트를 포설하여 실시하였다. 사진 1~3은 콘크리트 품질시험 및 시공전경을 나타낸 것이다.

2.3.2 사용재료 및 실험방법

당 현장에 사용한 재료로 콘크리트는 인근지역 KS업체인 레미콘을 사용하였고, 이중 버블시트는 독립기포층을 형성하도록 제작된 것을 사용하였다. 온도이력은 온도 측정용 열전대를 구조체에 매입한 후 데이터 로거를 이용하여 1시간 간격으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트

굳지않은 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 염화물량 및 콘크리트 온도는 모두 목표치를 만족하는 것으로 나타났고, 응결시간은 그림 3에서처럼 FA 0%의 종결시간이 약 12시간으로 나타나, FA 15%의 13.2시간 보다 약 1.2시간 정도 빠른 것으로 나타났다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 4는 재령경과에 따른 표준양생 공시체와 구조체관리용 공시체의 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 표준양생공시체의 압축강도가 구조체관리용 공시체의 압축강도보다 큰 것으로 나타났는데, 이는 공시체가 받은 양생온도이력에 의한 적산온도 차이에서 기인된 결과로 판단된다.

또한, 구조체관리용 공시체의 경우 초기동해를 면하는 5MPa의 압축강도는 대략 재령 3일 이후에 발휘되는 것을 알 수 있었으며, 재령 28일경에 설계기준강도를 확보하는 것으로 나타났다.

3.3 온도이력 특성

그림 5는 청주대학교 교양관 현장의 구조체 단면높이(1m)에 따른 매스 콘크리트의 내부 온도이력을 나타낸 것이다. (단, 이중 버블시트에 의한 단열보온양생은 3일간 실시하였다.)

온도이력 측정결과, 콘크리트 타설 후 중앙부 최고온도는 12.6℃로써 51시간 이후에 나타났고, 이후 서서히 저하하였으

며, 상부의 최고온도는 10.6℃로 46시간 이후로 나타났다. 또한, 중앙부 온도가 최고 일때, 상부와의 온도차는 약 2.5℃로 나타났고, 그 이후의 온도차도 약 6℃정도에 불과했다.

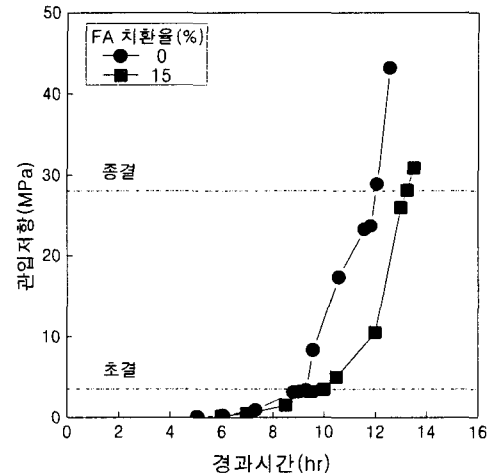


그림 3. 경과시간에 따른 관입저항

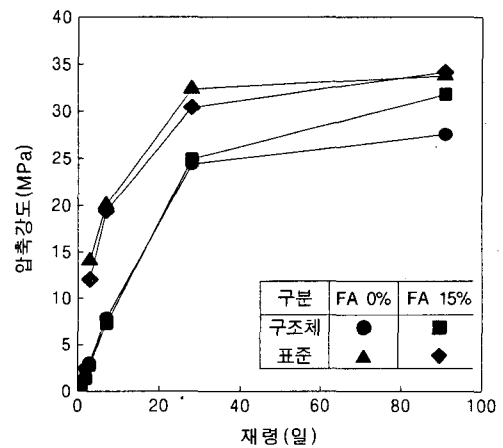


그림 4. 재령경과에 따른 압축강도

또한, 재령 20시간에서 60시간 사이의 온도이력에서 매스콘크리트의 부위별 온도차가 거의 없이 동시에 수화발열함으로써 중앙부와 표면부간의 온도차를 줄여줌에 의하여 궁극적으로 균열발생확률이 낮아짐을 알 수 있었다. 또한 재령경과에 따라 매스 콘크리트 표면부를 육안 관찰한 결과 상부 표면부에서의 수화열 균열은 전혀 발견되지 않았다.

외기온도의 경우는 최저-10℃까지 저하하였고, 이중 버블시



사진 1. 콘크리트 품질시험

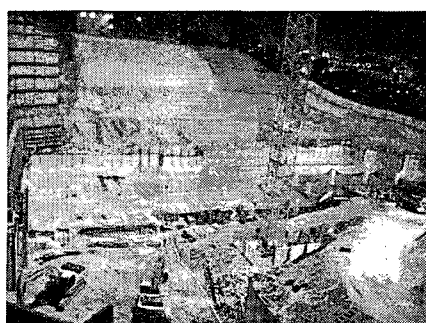


사진 2. 이중 버블시트 시공전경

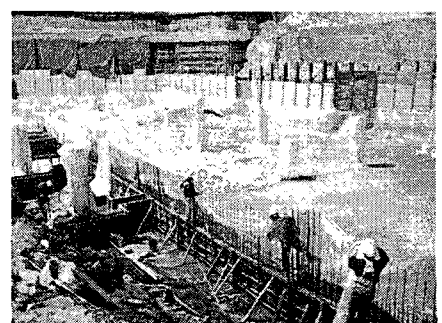


사진 3. 이중 버블시트 시공완료 전경

트에 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 상부콘크리트의 온도이력에서도 3.3°C 이상으로 유지됨에 따라 이중 버블시트에 의한 한중콘크리트 단열보온양생 효과가 높은 것이 입증되었다.

그림 6은 3일 동안 매스콘크리트 부위별 적산온도 및 평균양생온도를 나타낸 것이다. 먼저, 지하매트 구조체의 부위별 적산온도는 50.6~56.5 °D·D로 나타났는데, 이는 외기 적산온도가 20.0 °D·D인 것으로 비교해 볼 때, 외기보다 30 °D·D 이상 높은 적산온도를 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 각 부위별 평균양생온도로서 외기의 경우는 -3.3°C로 나타났다. 반면 구조체 각 부위의 경우는 6.7~8.7°C로 나타나 약 10°C 이상 높은 양생온도를 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 이는 이중 버블시트에 의한 충분한 단열효과에 기인한 것으로 분석된다.

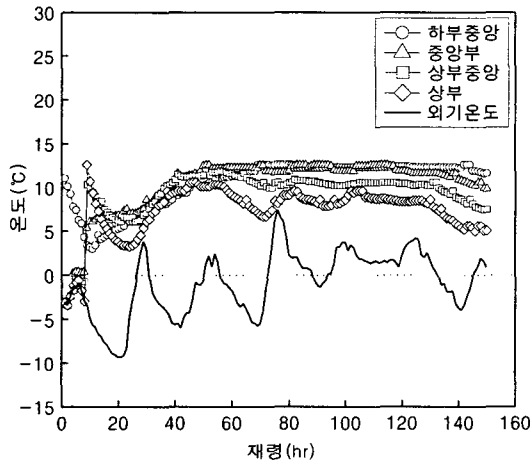


그림 5. 콘크리트 타설높이(1m)에 따른 내부 온도이력

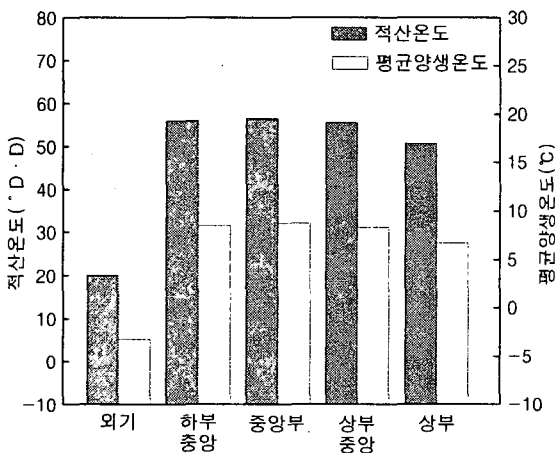


그림 6. 매스콘크리트 부위별 적산온도 및 평균양생온도(3일간)

3.4 경제성 분석

표 4는 제트히터에 의한 가열보온양생 방법과 이중 버블시트에 의한 단열보온양생 방법에 대하여 공사비 중 자재비만을 비교하였다.

표 4. 보온양생 방법별 경제성 비교 <1,500m²기준> (단위 : 원)

구분	제트히터에 의한 가열보온양생 (24시간 가동)			이중 버블시트에 의한 단열보온양생			
	임대비 (4대)	연료비	설치, 이동 및 유지비	합계	단가 (m ² 당)	수량 (m ²)	합계
1회	600,000	912,000	840,000	2,352,000 (1,568/m ²)	1,000	1,500	1,500,000 (1,000/m ²)
6회	36,000,000	5,472,000	5,040,000	14,112,000 (1,568/m ²)	1,000	1,950	1,950,000 (217/m ²)

※ 본 경제성 분석에서는 양생온도확보를 위한 자재비만을 비교함.
※ 이중 버블시트의 경우는 전용 10회까지 가동함.
(단. 1회 적용시 5%의 감가상각이 발생하는 것으로 계산함)

이중 버블시트에 의한 단열보온양생 방법은 가열보온양생 방법과 비교하여 1회 적용시 m²당 568원 저렴한 것으로 나타났고, 적용 횟수가 증가될수록 소요비용이 매우 저렴해 지는 것으로 나타났다. 또한 공법 적용이 간편하여 기타 경비 및 노무비를 절감할 수 있어 본 공법이 충분한 경제성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

청주대학교 교양관 신축공사 현장의 기초 매트콘크리트에 수화 발열량차 공법과 이중 버블시트에 의한 단열양생공법을 복합 적용함에 있어 굳지않은 콘크리트 및 압축강도 특성과 온도이력을 분석한 결과는 다음과 같이 요약된다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 슬럼프, 공기량, 염화물량 및 콘크리트 온도는 채취시간 별에 변동은 있었으나, 목표 값 범위 이내의 양호한 품질을 나타내었고, 응결시간은 FA 15%치환에 따라 보통 콘크리트 보다 약 1.2시간 늦어 지는 것으로 나타났다.
- 2) 경화 콘크리트의 압축강도는 표준 및 구조체 관리용 공시체 모두 주문자가 요구하는 호칭강도를 만족하였다.
- 3) 매스콘크리트의 온도이력은 중앙부 최고온도는 12.6°C로써 51시간 이후에 나타났고, 상부의 최고온도는 10.6°C로 46시간 이후로 나타났는데, 양생기간 동안 구조체 부위별 온도차는 약 6°C 이내로 나타났다. 또한 초기동해에 피해를 입기 쉬운 상부 콘크리트의 경우, 외기온이 최저 -10°C까지 낮아지는 시기에도 3.3°C 이상의 양생온도를 확보할 수 있었고, 부위별 적산온도는 3일 동안 50.6~56.5 °D·D로 나타나 외기보다 약 30 °D·D 이상 높은 적산온도를 확보할 수 있었다.
- 4) 경제성 분석 결과는 이중 버블시트에 의한 단열보온양생 공법 1회 적용시 568원/m² 저렴한 것으로 나타났고, 적용 횟수가 증가될수록 높은 경제성을 확보할 수 있는 것이 나타났다.

종합적으로 본 수화 발열량차 공법과 단열보온양생공법을 복합 적용함으로써 수화열 균열 방지, 초기동해 방지 및 소요 강도를 확보함으로써 한중매스콘크리트의 품질확보에 우수한 효과가 입증되었다.