

기초매트 매스 콘크리트의 초지연제를 활용한 응결시간차공법의 현장적용

Field Application of the Difference of Setting Time of Improving Super Retarding Agent of Foundation Mat Mass Concrete

노상균* 백대현** 권해원*** 배연기**** 정성진***** 한천구*****

Noh, Sang-Kyun Baik, Dae-Hyun Kwon, Hae-Won Bae, Yeoun-Ki Chung, Sung-Jin Han, Cheon-Goo

Abstract

According to the recent tendency that the buildings in the downtown concerning rising land prices and efficient use of building are gradually Manhattanized mainly the grand scaled residential buildings, structure of the buildings relates to safety and so the very thick mat concrete is selected as the foundation of architectures. Because mat concretes can not be simultaneously pour in a great quantity due to the circumstance at the field, not only the questions on the unification between the concretes pour on the upper layer and the lower layer are presented but also the cracks by the internal force from the difference of hydration exothermic period are occurred because of the time lag. Thus, this study checked the efficiency to apply "The hydration heat controlling method of mass concrete for horizontal partition pouring construction" to the skyscraper sites under construction at Haiundai in Busan. After applying this method, the result of observation that the cracks by hydration heat in all over the placement surface did never be founded. Also, in case of the economic analysis that the hydration heat reduction method using super retarding agent by difference of setting time is approximately 80% cheaper than the hydration heat reduction method by pipe cooling in the construction expenses.

키워드 : 매트콘크리트, 초지연제, 응결시간, 온도이력

Keywords : Mat Concrete, Super Retarding Agent, Setting Time, Temperature History

1. 서론

최근 도심지의 건축물은 지가상승 및 건물의 효율적 활용과 관련하여 대단위 주거시설을 중심으로 초고층화하는 경향을 보이고 있다. 이와 같은 추세에 따라 건축물의 구조체는 안전성과 관련하여 매우 두꺼운 매트 콘크리트가 건축물의 기초로 채택되어 지는데, 매트 콘크리트는 현장여건상 다량의 콘크리트를 동시에 타설하기 힘들기 때문에 매트 콘크리트 상·하층간의 타설 시간차가 발생한다.

이러한 타설 시간차는 상·하층 콘크리트간의 일체성에 의문이 제기되는 것은 물론이고, 상·하층 타설 시간차에 따른 수화발열시간의 상위에 따른 내응력이 발생한다. 이때 타설초기에 상층 콘크리트는 충분한 경화가 진행되지 않은 상태이므로

내응력은 균열발생을 유발하며 수밀성 및 내구성의 큰 피해로 이어진다.

따라서 본 연구에서는 상기의 문제점을 해결하기 위해 매트콘크리트를 상·하층으로 분리하여 하부층에 초지연제량을 조정하여 타설하므로써 상·하층 타설 콘크리트간의 일체성을 확보하고, 상·하타설 시간차에 따른 내응력 발생을 원천적으로 해소시킬 수 있는 「초지연제의 응결시간차를 활용한 수평분할 타설 건축 매스콘크리트의 수화열 조정 공법」을 부산 해운대에 건설되고 있는 초고층 건축물의 현장에 적용하여 그 효율성을 확인하고자 한다.

2. 현장실험

2.1 실험계획

본 연구의 공사개요는 표 1과 같고, 현장적용 실험계획은 표 2와 같다.

먼저, 콘크리트는 설계기준강도 35 MPa에 대하여 목표 슬럼프 플로우 500±75 mm, 목표 공기량 4.5±1.5 %를 만족하도록

* 청주대학교 대학원 석사과정, 정회원
** 청주대학교 대학원 박사과정, 정회원
*** (주)렉스콘 연구개발팀 연구원, 정회원
**** (주)렉스콘 연구개발팀 선임연구원, 정회원
***** 두산건설(주) 해운대 두산 위브 더 제니스 현장 소장, 정회원
***** 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

표 1. 공사개요

공사명	해운대 두산 위브 더 제니스 신축공사
위치	부산광역시 해운대구 우동 1407번지
공사기간	2007. 12~2012. 1(50개월)
대지면적	42 476 m ²
건축면적	16 192 m ²
연면적	572 536 m ²
단면크기	3.8 m
규모	주거동 : 지하 5층, 지상 70~80층 3개동 비주거동 : 지하 5층, 지상 9층 1개동
레미콘 규격	25-35-500

표 2. 현장적용 실험계획

배합사항	설계기준강도 (MPa)	35
	목표 슬럼프 플로우 (mm)	500±75
	목표 공기량 (%)	4.5±1.5
타설방법	2단(1.69 m)	보통 콘크리트-28일 재령관리
	1단(2.11 m)	초지연 콘크리트-56일 재령관리
양생방법	이중 버블시트	
실험사항	굳지않은 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 슬럼프 플로우 공기량 염화물량
	경화 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> 수화열 온도이력 압축강도(7, 28일)

* 목표지연 시간 : 12시간

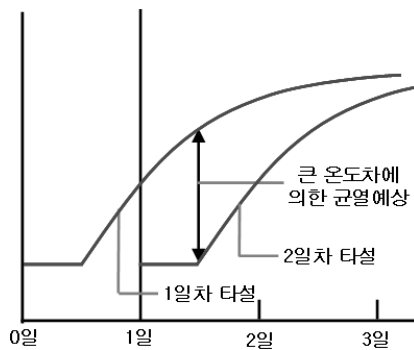


그림 1. 수화발열 모식도

록 제조하였다. 타설방법으로 매스 콘크리트는 현장 여건상 1일만에 타설할 수 없어 2일로 계획하였으나, 이 경우 1일차 타설 콘크리트와 2일차 타설 콘크리트의 일체화에 의문이 제기되는 것은 물론이고, 그림 1과 같이 1일차 타설 콘크리트와 2일차 타설 콘크리트의 수화발열시간의 상위에 따른 큰 온도차가 발생하여 초기재령에 균열발생이 예상된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 1단은 56일 관리재령으로 W/B 38.0

%의 초지연 콘크리트를 1일차에 타설하고, 2단은 28일 관리재령으로 W/B 36.5 %의 보통 콘크리트를 2일차에 타설하여 상하층 콘크리트간 일체성 확보 및 수화열에 의한 내응력을 해소시키고자 시공을 계획하였다. 단, 결합재는 고로슬래그 시멘트(이하 BSC) 75 %에 플라이애시(이하 FA) 25 %를 치환하여 사용하는 것으로 하였다. 양생방법은 타설완료 후 면정리 즉시 이중버블시트를 덮어 단열양생을 실시하였다. 실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프 플로우, 공기량 및 염화물량을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 수화열에 의한 온도이력 및 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용한 재료로 콘크리트는 품질관리와 원활한 공급을 위해 인근 두 곳의 레미콘을 이용하였으며, 레미콘의 배합사항은 표 3과 같다. 초지연제의 주성분은 당류계로서 블리딩 및 공기량 감소에 대응하기 위하여 특수제조 하였고, 목표지연시간에 따른 사용량은 기존 연구자료¹⁾에 근거한 회귀식에 의해 도출하였으며, 초지연제의 물리·화학적 성질은 표 4와 같다. 또한, 단열양생재의 경우 이중버블시트를 사용하였는데, 일정한 간격으로 에어캡(Air cap)이 형성된 PE시트 각2겹사이 에 PE시트 1겹을 열융착하는 것으로 구성되어진다.

표 3. 레미콘 배합사항

구분	목표지연시간	배합사항									
		W/B (%)	초지연제 혼입률* (%)	초지연제 혼입량 (kg/m ³)	S/a (%)	단위재료량(kg/m ³)					
						W	BSC	FA	S1**	S2***	G
2단	0	36.5	0	0	48	160	329	110	541	289	912
1단	12	38.0	0.23	0.668	48	157	310	103	551	295	929

* 종결시간 = 양생온도 42.5℃로 가정 : 8.514×exp(3.818×혼입률)

** 부순모래, *** 강모래

표 4. 초지연제의 물리·화학적 성질

주 성분	색상 및 형태	밀도 (g/cm ³)	pH	화학식	작용기
Sucrose, Poly ethylene oxide, Sodium lauryl sulfate	흰색 액상	1.2	7	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	-OH

2.3 시공 및 실험방법

본 실험과 관련한 모든 실험방법은 KS 규격에 따랐다. 수화열 온도이력은 그림 2와 같이 열전대 선을 평면상의 중앙부 및 단부 지점에 수직으로 5구간에 걸쳐 매설한 후 데이터 로그를 이용하여 측정하도록 하였다. 또한, 초지연제의 투입은 레미콘사에서 직접투입한 후 에지테이터 드럼을 중속으로 10회 회전한 후 현장으로 출발하였다.



사진 1. 온도이력 측정기 설치



사진 2. 콘크리트 타설

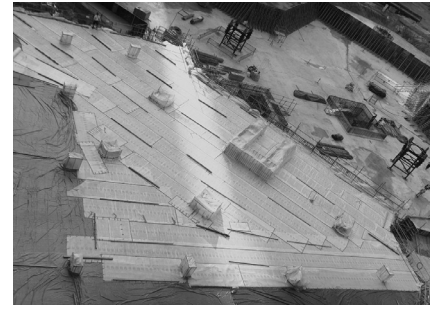


사진 3. 이중버블시트 설치

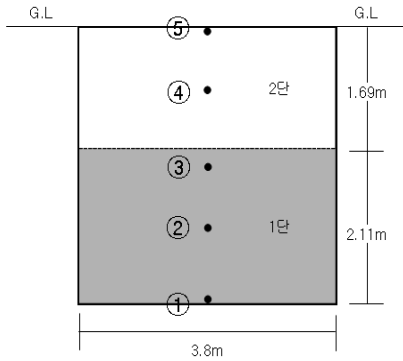


그림 2. 수화열 온도 측정위치

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 플로우, 공기량 및 염화물량은 레미콘의 배차시간에 따라 약간의 변동은 있었으나, 모두 목표치를 만족하는 것으로 나타났다.

3.2 수화열 온도이력 특성

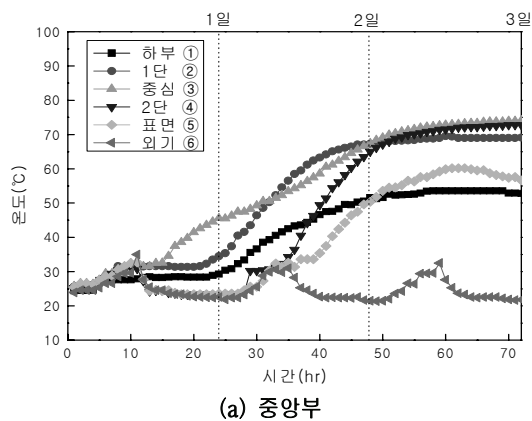
그림 3은 일반적인 건설공사 현장에서 수화열에 의한 균열이 주로 발생하는 시기인 최초타설 후부터 3일간의 수화열

온도이력을 나타낸 것이다.

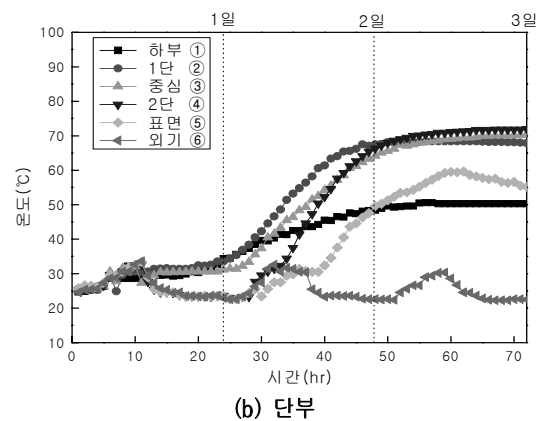
먼저, 중앙부의 경우 1단의 초지연 콘크리트는 약 24 시간부터 서서히 수화반응을 시작하여 81 시간에 최고온도 69.6℃를 나타내었고, 2단의 보통 콘크리트는 약 34 시간부터 서서히 수화반응을 시작하여 88 시간에 최고온도 73.3℃를 나타내었으며, 그 후 서서히 하강하였다.

단부의 경우 1단의 초지연 콘크리트는 약 26 시간부터 서서히 수화반응을 시작하여 64 시간에 최고온도 68.4℃를 나타내었고, 2단의 보통 콘크리트는 약 34시간부터 서서히 수화반응을 시작하여 72 시간에 최고온도 72.0℃를 나타내었으며, 그 후 서서히 하강하였다.

1단과 2단의 최고온도의 차이는 1단의 초지연 콘크리트가 약 3.5℃ 정도 낮았으며, 최고온도 도달시간은 1단의 초지연 콘크리트가 약 7.5 시간 정도 빨랐다. 그러나 1단과 2단의 22 시간의 타설시간차를 고려하면 1단의 초지연 콘크리트는 약 14.5시간 정도의 지연효과를 나타내어 수화열 온도이력 곡선이 상당히 일치하는 것을 알 수 있다. 이는 초지연제 혼입에 따른 수화잠복기간의 연장에 따라 응결이 지연되었으며, 이와 같은 응결지연 작용은 개발된 초지연제의 주성분인 슈크로스 성분 중 작용기인 수산기(-OH)가 시멘트 입자의 표면이나 극초기 수화반응물에 흡착하여 물과의 접촉을 일시적으로 차단함으로써 수화반응을 장시간 지연시킴에 기인한 것으로 판단된다.²⁾



(a) 중앙부



(b) 단부

그림 3. 경과시간에 따른 수화열 온도이력

또한, 충분히 경화가 진행된 후 표면부를 관찰한 결과 육안 상 확인되는 수화열 균열은 전혀 없었다.

3.3 압축강도 특성

그림 4는 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 그래프로서, 각 로트 별 측정 데이터를 평균한 값이다.

재령 28일의 압축강도는 초지연 콘크리트와 보통 콘크리트 모두 설계기준강도인 35 MPa를 만족하는 것으로 나타났다.

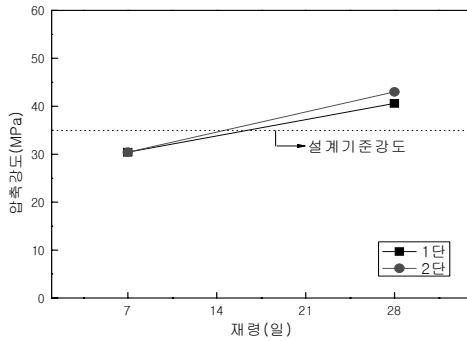


그림 4. 재령경과에 따른 압축강도

3.4 경제성 분석

표 5는 파이프 쿨링에 의한 수화열 저감공법과 초지연제를 활용한 응결시간차공법에 의한 수화열 저감공법에 소요되는 공사비를 비교한 것이다.³⁾

초지연제를 활용한 응결시간차공법은 시공적인 공법으로 가장 많이 사용되고 있는 파이프 쿨링 보다 1동을 기준으로 하였을 때 103 600 000 원(약 80 %)이 저렴하였다. 또한, 파이프 쿨링의 경우 시공상의 어려움이 있으며, 노무비 및 가설재에 소요되는 비용증가도 예상된다.

표 5. 수화열 저감공법 별 경제성 비교(1동기준: 13 000 m³)

구분	내용		단가	소계
파이프 쿨링	13 000 m ³		10 000 원	130 000 000 원
응결 시간차 공법	초지연제	7 100 m ³ ×0.64 kg/m ³ ≒4 600 kg	4 000 원/kg	26 400 000 원
	이중버블시트*	3 336 m ² ×1.2(할증) ≒4 000 m ²	2 000 원/m ²	

* 이중버블시트는 전용 10회 가능(단, 1회 사용시 5% 감가상각 발생 가정)

4. 결 론

본 연구에서는 초지연제를 활용하여 응결시간을 조정함으로써 상·하층 타설 콘크리트간의 일체성 확보 및 상·하층 타설 시간차에 따른 내응력 발생을 해소시킬 수 있는 「초지연제의 응결시간차를 활용한 수평분할타설 건축 매스콘크리트의 수화

열 조정 공법」을 부산 해운대에 건설되고 있는 초고층 건축물의 현장에 적용하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 수화열 온도이력 특성으로 중앙부의 경우 1단의 초지연 콘크리트는 81 시간에 최고온도 69.6℃를 나타내었고, 2단의 보통 콘크리트는 88 시간에 최고온도 73.3℃를 나타내었다. 단부의 경우 1단의 초지연 콘크리트는 64 시간에 최고온도 68.4℃를 나타내었고, 2단의 보통 콘크리트는 72 시간에 최고온도 72.0℃를 나타내었다.
- 2) 1단과 2단의 최고온도의 차이는 1단의 초지연 콘크리트가 약 3.5℃ 정도 낮았으며, 최고온도 도달시간은 1단의 초지연 콘크리트가 약 7.5 시간 정도 빨랐으나 타설시간차를 고려하면 1단의 초지연 콘크리트는 약 14.5 시간 정도 지연되었다.
- 3) 본 공법적용 후 매스 콘크리트타설 전체면에서 육안관찰한 결과 수화열에 의한 균열은 전혀 발견되지 않았다.
- 4) 경제성 분석으로 파이프 쿨링에 의한 수화열 저감공법과 초지연제를 활용한 응결시간차공법에 의한 수화열 저감공법에 소요되는 공사비를 비교하면 응결시간차공법이 약 80 % 정도 저렴하였다.

참 고 문 헌

1. 백병훈, 응결시간차를 활용한 전이보 매스 콘크리트의 수화열 저감에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 논문집, 제22권 제3호, 2006. 3
2. 심보길, 유동수, 윤치환, 한민철, 한천구, 당류계 초지연제의 개발에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집 제21권 제1호, 2001.4
3. 쌍용양회(주), 매스콘크리트의 온도균열 제어방안, 시멘트 콘크리트 기술자료집, 2005. 5
4. 전충근, 윤치환, 신동안, 오선교, 한천구, 초지연제의 응결시간차를 이용하여 수평분할 타설한 매스 콘크리트의 온도이력 특성, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 제23권 제2호, 2003. 10
5. 한민철, 고로슬래그를 사용한 초지연 콘크리트의 응결시간 예측, 대한건축학회 논문집 제22권 제12호, 2006.12
6. 한민철, 한천구, 김성중, 응결시간을 이용한 초지연 콘크리트의 강도증진 해석방법 제안, 대한건축학회 논문집, 제22권 제2호, 2006.2
7. 한천구, 오선교, 윤치환, 황인성, 초지연제의 응결시간차에 의해 구분타설된 매스 콘크리트의 수화열 저감 효과에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제19권 제7호, 2003. 7
8. 한천구, 한민철, 윤치환, 심보길, 당류계의 초지연제를 이용한 콘크리트의 응결 및 역학적 특성, 한국콘크리트학회 논문집 제14권 제4호, 2002