

# 응결시간조정에 의한 매트기초 매스 콘크리트의 온도균열저감 공법적용의 Mock-up Test

## Mock-up Test of Temperature Crack Reduction Method Application by Setting Time Control of Mat Foundation Mass Concrete

한 천 구\*

Han, Cheon-Goo

이 재 삼\*\*

Lee, Jae-Sam

노 상 군\*\*\*

Noh, Sang-Kyun

### Abstract

Recently, the number of high-rise buildings being built in Korea by major construction companies for residential and commercial use has been increasing. When constructing a high-rise building, it is necessary to apply massive amounts of concrete to form a mat foundation that can withstand the huge load of the upper structure. However, it is of increasing concern that due to limitations in terms of the amount of placing equipment, available job-sites and systems for mass concrete placement in the construction field, it is not always possible to place a great quantity of concrete simultaneously in a large-scale mat foundation, and for this reason consistency between placement lift cannot be secured. In addition, a mat foundation is likely to crack due to the stress caused by differences in hydration heat generation time. To derive a solution for these problems, this study provides test results of a hydration heat crack reduction method by applying placement lift change and setting time control with a super retarding agent for mass concrete in a large-scale mat foundation. Mock-up specimens with different mixtures and placement lifts were prepared at the job-site of a newly-constructed high-rise building. The test results show that slump flow of concrete before and after adding the super retarding agent somewhat increases as the target retarding time gets longer, while the air content shows no great difference. The setting time was observed to be retarded as the target retarding time gets longer. As the target retarding time gets longer, compressive strength appears to be decreased at an early stage, but as time goes by, compressive strength gets higher, and the compressive strength at 28 days becomes equal or higher to that of plain concrete without a super retarding agent. For the effect of placement lift change and super retarding agent on the reduction of hydration heat, the application of 2 and 4 placement lifts and a super retarding agent makes it possible to secure consistency and reduce temperature difference between placement lifts, while also extending the time to reach peak temperature. This implies that the possibility of thermal crack induced by hydration heat is reduced. The best results are shown in the case of applying 4 placement lifts.

Keywords : Mat Foundation, Mass Concrete, Super Retarding Agent, Setting Time

### 1. 서 론

초고층 건축물의 기초는 안전성과 관련하여 매우 두꺼운 매트 콘크리트가 필수적이다. 그러나 대규모의 매트·매스 콘크리트는 현장여건상 다량의 콘크리트를 동시에 타설하기 어렵기 때문에 상·하층간의 타설시간차가 발생하여 상·하층 타설 콘크리트간의 일체성에 의문이 제기되는 것은 물론이고, 그림 1과 같이 수화 발열시간의 상위에 따른 온도응력으로 균열이 발생하여 수밀성

및 내구성에 큰 피해로 이어지는 경우가 있다.<sup>1)</sup>

따라서 본 연구에서는 초대형 매트기초 매스 콘크리트의 수화 열에 의한 온도균열을 제어하기 위해 초지연제를 사용한 응결시간조정공법의 현장적용을 위한 Mock-up test를 진행하였다. 그 결과를 토대로 상·하부 타설 콘크리트간의 일체성 확보 및 타설 시간차에 따른 온도응력을 해소하기 위해 신기술 제353호 「초지연제의 응결시간차를 활용한 수평분할타설 건축 매스 콘크리트의 수화열 조정 공법」<sup>2)</sup>의 2단 혹은 4단 분할타설 방법 중 최적의 방법을 결정하고자 하였다.

\* 청주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

\*\* 청주대학교 대학원 박사과정, 정회원

\*\*\* 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원, 공학석사, 정회원

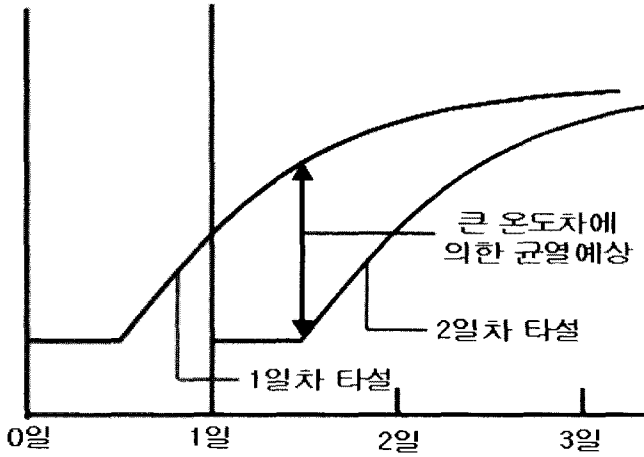


그림 1. 수화발열 모식도

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉 보통 콘크리트는 설계 기준강도 35 MPa(하부는 관리재령 56일로 W/B 38.0 %, 상부는 관리재령 28일로 W/B 36.5 %로 함)에 대하여 목표 슬럼프 플로우 500±75 mm, 목표 공기량 4.5±1.5 %를 만족하도록 배합설계한 후 레미콘으로 제조하였다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험항목	
부재 크기 (m)	타설방법	표면보양방법	실험항목
3.8×3.8×3.8 (지반굴착)	보통 콘크리트 일체 타설	2중 버블 시트	균지 않은 콘크리트 경화 콘크리트 수화열 온도이력 압축강도 슬럼프 플로우 공기량 응결시간 표준양생 공시체 (3, 7, 28일) 구조체 관리용 공시체 (3, 7, 14, 28, 56일) 코아 공시체(14일) 균열발생여부
	응결시간차 2단 타설 응결시간차 4단 타설		
	2단 : 38.0-0 (1일차 타설) 전량 타설 1단 : 38.0-8 (1일차 타설) 1단 : 38.0-24 (1일차 타설)	4단 : 36.5-0 (2일차 타설) 3단 : 36.5-6 (2일차 타설) 2단 : 38.0-18 (1일차 타설) 1단 : 38.0-24 (1일차 타설)	

타설방법 중 「-」 앞의 숫자는 W/B를 뒤의 숫자는 목표 지연시간을 의미함

또한 Mock-up 시험체는 사진 1과 같이 3.8×3.8×3.8 m의 크기로 지반을 굴착하여 제작하였고, 타설방법으로는 보통 콘크리트 일체 타설, 응결시간차 2단 타설 및 4단 타설로 3수준을 실험계획하였다. 타설방법의 설정근거로 보통 콘크리트 일체 타설의 경우는 응결시간차 타설과의 비교를 통한 효율성을 확인하기 위한 것이고(플레인 조건), 응결시간차 2단 타설은 1일차에 타설할 수 있는 예상 높이인 2.11 m를 기준으로 나눈 것이며, 응결시간차 4단 타설의 경우는 3.8 m의 매우 두꺼운 기초로 인하여 응결시간차 2단 타설로는 충분한 효과를 나타내지 못할 경우를 가정하여 응결시간조정을 더욱 세분화하여 4단으로 계획하였다.

표면보양 방법은 타설완료 후 면정리 즉시 그림 2 및 사진 4와 같이 이중버블시트를 덮어 단열양생을 실시하였다.

실험사항으로 균지 않은 콘크리트에서는 슬럼프 플로우, 공기량 및 응결시간을 측정하는 것으로 하였고, 경화 콘크리트에서는 수화열 온도이력, 압축강도 및 균열발생여부를 측정하는 것으로 하였다.



사진 1. 지반 터파기



사진 2. 초지연제 투입 및 타설

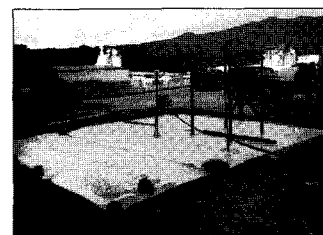


사진 3. 이중버블시트 양생

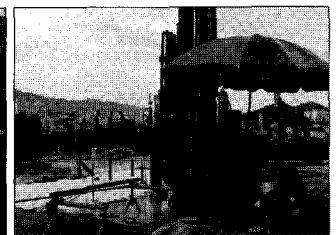


사진 4. 코아 공시체 채취

### 2.2 사용재료 및 배합

본 연구에 사용한 콘크리트는 경남 양산에 위치한 (주)D레미콘사에서 사용하는 일반적인 레미콘을 사용하였으며, 배합사항은 표 2와 같다. 또한 목표 지연시간에 따른 초지연제 혼입률은 선행 연구에 의해 개발<sup>2)</sup>된 것으로 종결시간에 따른 초지연제 혼입률을 기존 연구자료에 근거한 회귀식에 의해 결정하였다. 초지연제의 물리·화학적 성질은 표 3과 같다.

또한 표면보양재의 경우는 이중버블시트를 사용하였는데, 일정한 간격으로 에어캡(Air cap)이 형성된 PE시트 2겹 사이에 PE시트 1겹을 열융착하는 것으로 구성되어지며, 단면구성과 작용원리는 그림 2와 같다.

표 2. 콘크리트 배합사항

규격	목표 지연시간	배합사항						단위재료량(kg/m³)					
		W/B (%)	초지연제 혼입률* (%)	초지연제 혼입량 (kg/m³)	S/a (%)	고성능 AE 감수제	W	BSC	FA	SI**	S2***	G	
25-35-500 (56일재령 관리)	0	38.0	0	0	48	1.15	157	310	103	551	295	929	
	8		0.177	0.557									
	18		0.302	0.951									
	24		0.356	1.121									
25-35-500 (28일재령 관리)	0	36.5	0	0	48	1.05	160	329	110	541	289	912	
	6		0.143	0.478									

\* 초지연제 혼입률(양생온도 42.5℃로 가정) =  $-0.550 + 0.261 \times \ln(\text{응결시간})$ , \*\* 부순모래, \*\*\* 강모래

표 3. 초지연제의 물리·화학적 성질

주 성분	색상 및 형태	밀도 (g/cm³)	pH	작용기
Sucrose, Poly ethylene oxide, Sodium lauryl sulfate	미백색 액상	1.2	7	-OH

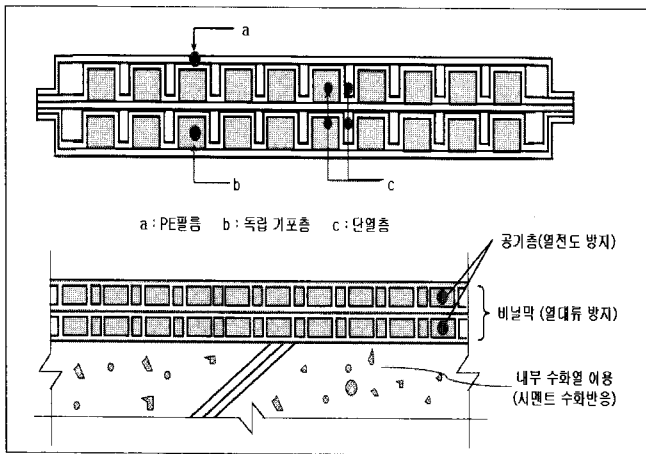
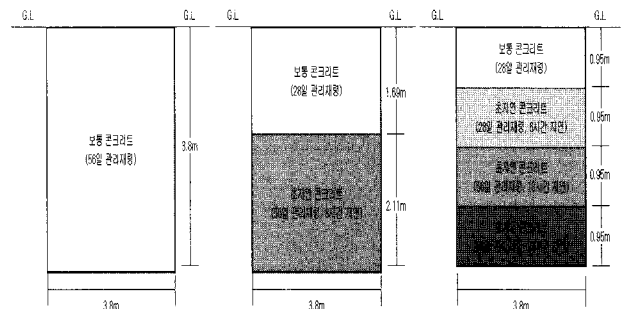


그림 2. 이중버블시트의 단면구성과 작용원리

### 2.3 타설 및 실험방법

타설방법은 그림 3과 같이 보통 콘크리트 일체 타설의 경우는 56일 관리재령 콘크리트를 2시간 간격으로 연속타설하여 12시간에 걸쳐 완료하였다. 응결시간차 2단 타설의 경우는 1단에 8시간 지연시킨 56일 관리재령 콘크리트를 타설하고, 1일 경과 후 2단에 28일 관리재령 콘크리트를 타설하였다. 응결시간차 4단 타설의 경우는 1단에 24시간 지연시킨 56일 관리재령 콘크리트를 타설하고, 2단에 18시간 지연시킨 56일 관리재령 콘크리트를 타설한 후, 1일 경과 후 3단에 6시간 지연시킨 28일 관리재령 콘크리트 및 4단에 초지연제를 첨가하지 않은 28일 관리재령 콘크리트를 타설하였다.

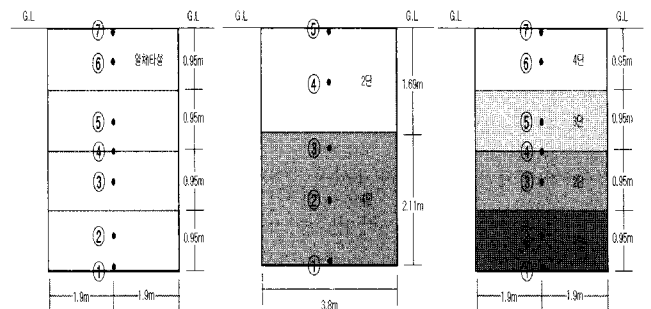


보통 콘크리트 일체 타설 응결시간차 2단 타설 응결시간차 4단 타설

그림 3. 타설방법 단면도

굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프 플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421, 응결시간은 KS F 2436의 규정에 따르며, 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 규정에 따라 실시하였다. 코어 공시체는 재령 14일에 수직으로 각단 타설 중심 및 각단 이음부 위치에서 채취하였다. 또한 수화열 온도이력은 그림 4와 같이 열전대 선을 평면상의 중앙부에 매설하였는데, 보통 콘크리트 일체 타설 및 응결시간차 4단 타설은 수직으로 7구간, 응결시간차 2단 타설은 수직으로 5구간에 걸쳐 데이터 로그를 이용하여 측정하였고, 수화열에 의한 균열발생여부는 재령 14일에서 육안으로 관찰하였다.

초지연제의 투입은 사진 2와 같이 레미콘차에 직접투입한 후 에지테이터 드럼을 증속으로 30회 회전한 후 타설하였다.



보통 콘크리트 일체 타설 응결시간차 2단 타설 응결시간차 4단 타설

그림 4. 타설방법에 따른 수화열 온도 측정위치

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

##### 1) 슬럼프 플로우 및 공기량

그림 5 및 그림 6은 W/B 및 목표 지연시간에 따른 초지연제 투입 전·후 슬럼프 플로우 및 공기량을 나타낸 그래프이다. 초지연제를 혼입하지 않은 보통 콘크리트는 목표 슬럼프 플로우 500±75 mm 및 목표 공기량 4.5±1.5 %의 범위를 만족하는 것으로 나타났다.

초지연제 투입 전·후를 비교해 보면 목표 지연시간 증가에 따른 슬럼프 플로우의 경우는 약간 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 목표 지연시간이 길어질수록 혼입되는 초지연제의 양이 증가하기 때문에 실제 배합에 사용되는 액체 양의 증가 및 초지연제의 지연 효과 때문으로 사료되며, 추후 실무구조체에 적용할 경우 단위수량 및 감수제량을 약간 감소시키면 유동성 보정은 가능할 것으로 판단된다. 또한 공기량의 경우는 38-24인 경우를 제외하면 큰 차이는 없는 것으로 분석된다.

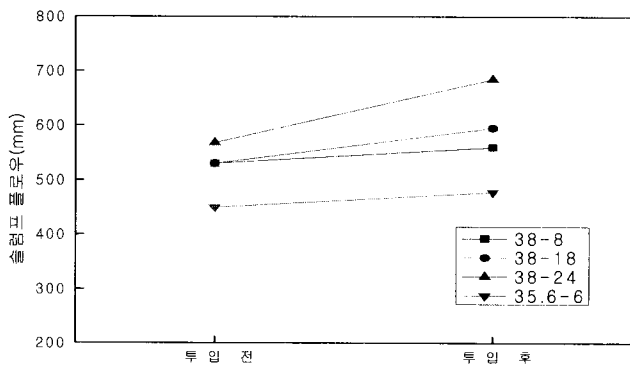


그림 5. W/B 및 목표 지연시간 따른 초지연제 투입 전·후 슬럼프 플로우

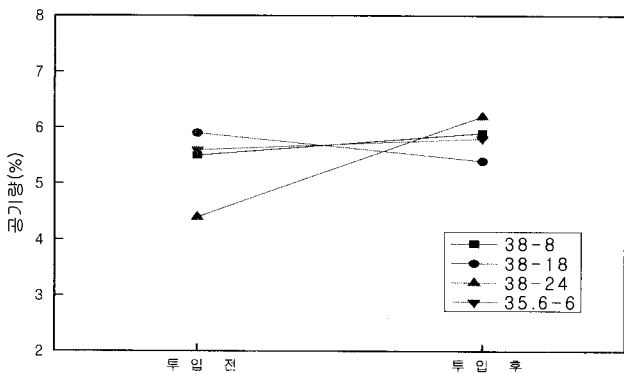


그림 6. W/B 및 목표 지연시간 따른 초지연제 투입 전·후 공기량

##### 2) 응결시간

그림 7은 W/B 및 목표 지연시간 별 경과시간에 따른 외부기상

조건에서의 관입저항치로 응결시간을 나타낸 그래프이다. 전반적으로 목표 지연시간이 길어질수록 응결시간은 지연되는 것으로 나타났는데, 이와 같은 응결지연 작용은 개발된 초지연제의 주성분인 슈크로스 성분 중 수산기(-OH)가 시멘트 입자의 표면이나 극초기 수화반응물에 흡착하여 물과의 접촉을 일시적으로 차단함으로써 수화반응을 장시간 지연시킴에 기인한 것으로 판단된다.<sup>3)</sup>

구체적으로 W/B 38.0 %에서 목표 지연시간 8시간의 경우는 약 8시간 정도 지연되었고, 목표 지연시간 18시간의 경우는 약 31시간 정도, 목표 지연시간 24시간의 경우는 약 44시간 정도 지연되었다. 또한 W/B 36.5 %에서는 목표 지연시간 6시간의 경우는 약 4시간 정도 지연되었다. 단 이 경우 Mock-up 시험체의 내부온도는 최고온도가 약 70 ℃전·후로 예상됨에 외부기상 조건에 따른 응결시간(외기온 최고온도 약 35 ℃)보다는 크게 단축될 것으로 판단된다.

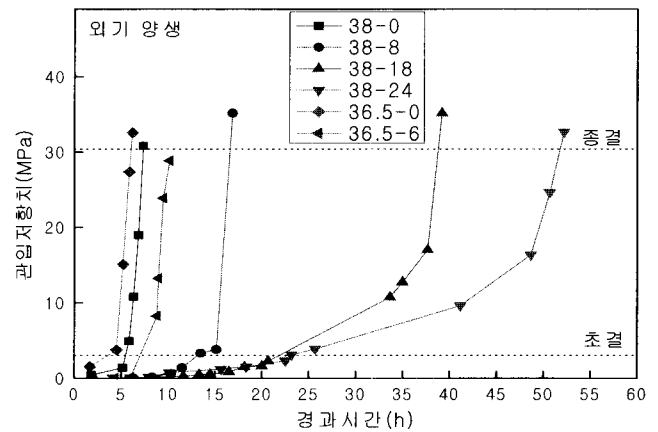


그림 7. W/B 및 목표 지연시간 별 경과시간에 따른 관입저항치

#### 3.2 압축강도 특성

그림 8은 W/B 및 목표 지연시간 별 재령경과에 따른 표준양생 공시체 및 구조체 관리용 공시체의 압축강도를 나타낸 그래프이다. 전반적으로 각 W/B에서 초지연제를 사용하지 않은 보통 콘크리트에 비해 초지연제를 혼입한 콘크리트는 초기재령의 경우 지연작용에 기인하여 압축강도가 작게 나타났으나, 재령이 경과함에 따라 강도발현폭이 크게 나타나 재령 28일부서는 보통 콘크리트보다 동등 혹은 그 이상의 강도값을 나타냈다. 즉, 구조체 관리용 공시체 38-24의 경우 재령 3일에서는 14.8 MPa로 가장 작게 나타났음에도 불구하고 재령이 경과함에 따라 강도증진 현상이 크게 발휘되어 재령 56일에서는 51.7 MPa로 가장 큰 값을 나타냈다. 이는 수화초기 응결지연작용에 의해 수화반응이 서서히 진행하게 되면, 수화생성물의 확산이 충분하게 되고, 시멘트 입자의 주변에 불투수층을 생성하는 것을 방지하며, 미세구조내부 수화 겔의 분포가 균일하게 되는 것에 기인하여 밀실한 수화생성물이 형성되어 내부조직이 보다 치밀화한 것으로 분석된다.<sup>4)</sup>

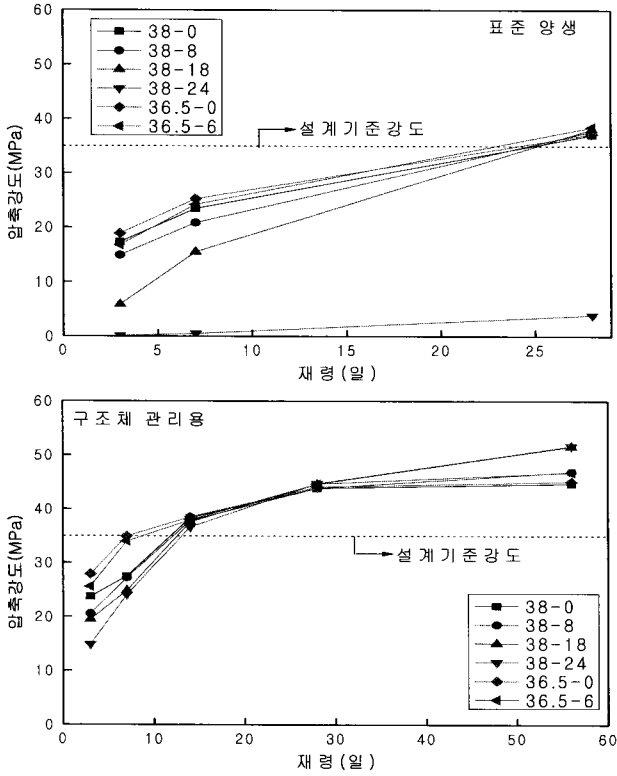


그림 8. W/B 및 목표 지연시간 별 재령경과에 따른 압축강도

표 4. 코어 공시체의 압축강도(재령 14일)

(단위 : MPa)

보통 콘크리트 일체타설	1단	1~2단 이음부	2단	2~3단 이음부	3단	3~4단 이음부	4단
	38.3	36.9	38.6	35.7	39.5	38.7	53.7
응결시간차 2단 타설	1단		1~2 단 이음부		2단		
	39.4		45.4		38.6		
응결시간차 4단 타설	1단	1~2단 이음부	2단	2~3단 이음부	3단	3~4단 이음부	4단
	40.9	42.9	39.9	43.3	40.0	36.8	38.6

한편 표준양생공시체 38-24의 경우는 재령 28일이 경과하였 음에도 압축강도는 현저히 작게 나타났다. 이는 예상양생온도보 다 표준양생의 경우 온도가 낮음에 따른 강도발현 지연현상의 영 향으로 판단된다. 따라서 재령 28일 압축강도의 경우는 표준양생 공시체 38-24의 경우를 제외하면 모두 설계기준 강도인 35 MPa 을 충분히 만족하는 것으로 나타났다.

표 3은 재령 14일 코어 공시체의 압축강도를 나타낸 표이다. 각 타설방법 모두 설계기준 강도인 35 MPa을 충분히 만족하였고, 이음부 역시 설계기준 강도를 만족하여 양호한 일체성을 확인 할 수 있었다.

### 3.3 온도이력 특성

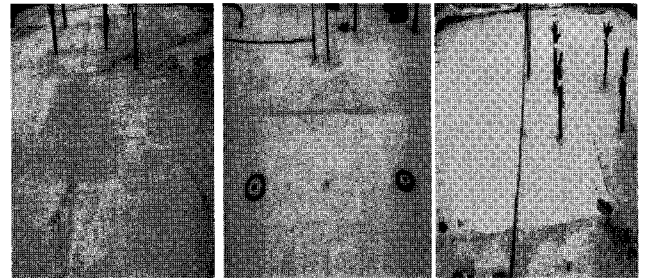
그림 9는 타설방법 별 경과시간에 따른 수화열 온도이력을 나타 낸 것으로 좌측은 360시간(15일)의 온도변화, 우측은 이중 3일간 의 온도변화를 나타낸 것이다. 보통 콘크리트 일체 타설의 경우는 약 20시간 전·후에서 수화열에 의한 온도차 피크점을 형성하였는 데, 이때 온도차이는 약 26 °C를 나타냈다. 최고온도는 타설 후 약 66시간에서 80 °C를 나타냈으며, 그 후 서서히 하강하였다.

응결시간차 2단 타설의 경우는 약 36시간 전·후 수화열에 의 한 온도차 피크점을 형성하였으며, 온도차이는 약 23 °C를 나타 내었다. 최고온도는 타설 후 약 98시간에서 70 °C를 나타내었으 며, 그 후 서서히 하강하였다.

응결시간차 4단 타설의 경우는 약 35시간 전·후 수화열에 의 한 온도차 피크점을 형성하였는데, 온도차이는 약 8 °C를 나타내 었다. 최고온도는 타설 후 약 120시간에서 71 °C를 나타내었으며, 그 후 서서히 하강하였다. 수화열에 의한 온도차 피크점 형성시간 과 중심부 최고온도 도달시간은 보통콘크리트 일체타설, 응결시간 차 2단 타설 및 4단 타설의 순으로 지연되었는데, 이는 초지연제 혼입에 따른 수화잠복기간의 증가에 따른 것으로 분석된다.

### 3.4 균열발생여부

사진 5는 재령 14일에서 타설방법에 따른 표면부 균열발생여 부를 나타낸 사진으로, 육안 관찰결과 확인되는 수화열 균열은 모 든 시험체에서 전혀 발견되지 않았다.



보통 콘크리트 일체 타설    응결시간차 2단 타설    응결시간차 4단 타설

사진 5. 타설방법에 따른 표면부 균열발생 여부

## 4. 결 론

본 연구에서는 국내 모처에 건설하고 있는 초고층 건축물을 대 상으로 초대형 매트·매스 콘크리트 기초의 수화열에 따른 온도 균열을 제어하기 위해 저발열 배합 및 초지연제에 의한 응결시간 조정 공법 등을 적용하여 상·하부 타설 콘크리트간의 일체성 확 보 및 타설 시간차에 따른 온도응력 해소를 목적으로 2단 혹은 4 단 분할타설 방법 중에서 Mock-up test를 통해 최적의 방법을 결정하고자 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

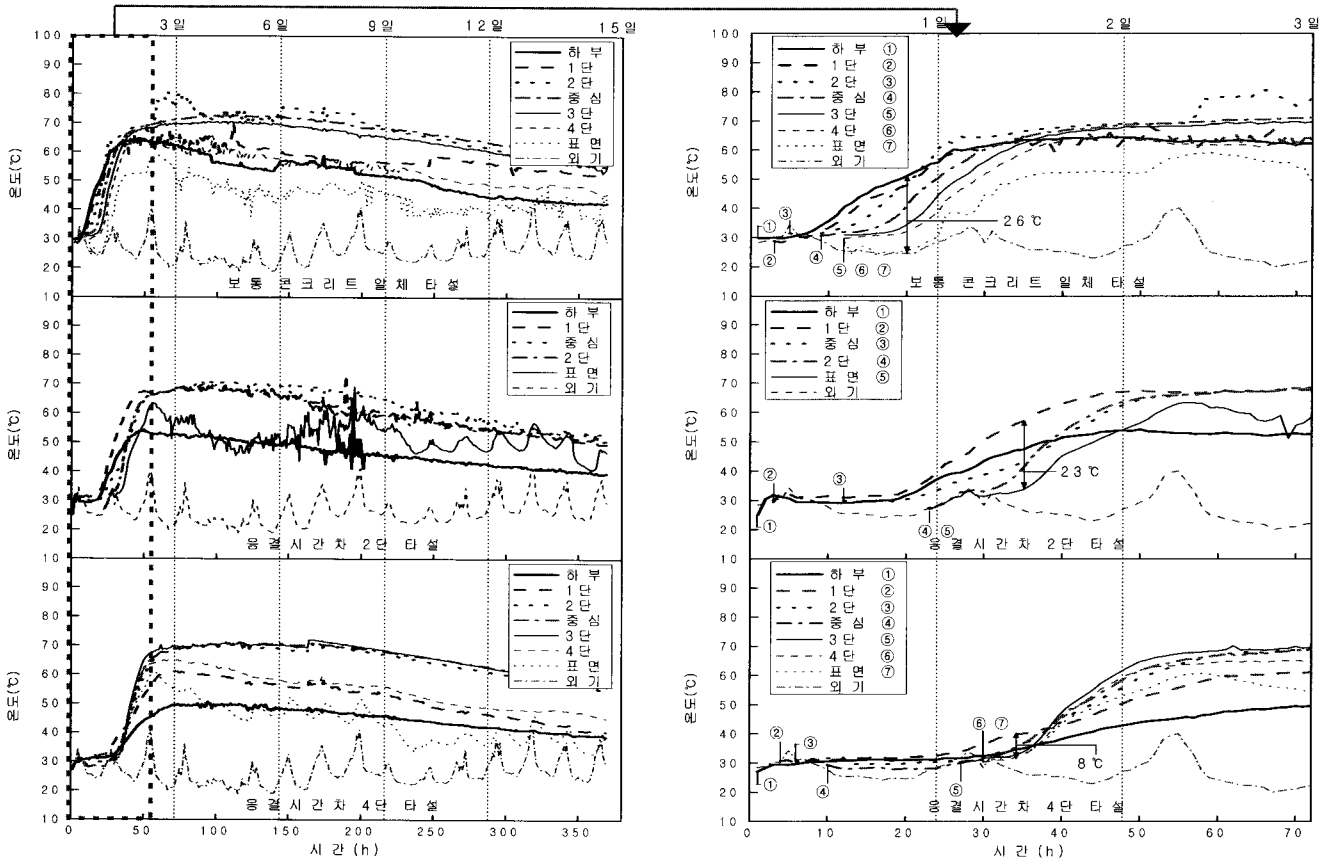


그림 9. 타설방법 별 경과시간에 따른 수화열 온도이력

- 1) 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 초지연제 투입 전·후 슬럼프 플로우는 목표 지연시간이 길어질수록 다소 증가하는 경향을 나타내어, 추후 실구조체에 적용할 경우 단위수량 혹은 감수재량을 감소시키는 배합보정을 검토할 필요가 있었다. 공기량은 38-24를 제외하면 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 2) 응결 특성으로 목표 지연시간이 길어질수록 초지연제의 혼입율이 증가하기 때문에 크게 지연되었다.
- 3) 압축강도 특성으로 목표 지연시간이 길어질수록 초기재령에서는 압축강도가 작게 나타났으나, 재령이 경과할수록 강도 증진 폭이 크게 되어 재령 28일에서는 보통 콘크리트보다 동등 혹은 그 이상을 나타냈다.
- 4) 온도이력 특성으로 수화열에 의한 온도차 피크점 형성시간과 중심부 최고온도 도달시간은 보통콘크리트 일체타설, 응결시간차 2단 타설 및 4단 타설의 순으로 지연되었으며, 중심과 표면의 온도차는 응결시간차 4단 타설의 경우가 가장 작은 값을 나타내어 균열발생 확률이 가장 낮음을 알 수 있었다.

이상을 종합하면 본 연구의 대상인 초대형 매트·매스 콘크리트 기초에 저발열 배합으로, 상·하부 관리재령 조정, 유동성 향상관리 등으로 수화열을 최대한 낮춘 상태에서 이중버블시트로 단열하며, 초지연제의 4단 조정 응결시간차공법을 채택하면 거의

온도균열 없는 완벽한 매스 콘크리트의 시공이 가능할 것으로 분석되었다.

### 참고 문헌

1. 김진근 외, 매스 콘크리트의 수화열 및 온도응력에 대한 영향요인, 한국콘크리트학회지, 제9권 제3호, pp.15~23, 1997, 7
2. (주)선엔지니어링종합건축사사무소 외, 백설탕액, PEO 증점제, AE제를 일정비율로 혼합한 당류계 초지연제(슈퍼리에 : Superea)의 응결 시간차를 활용한 수평분할타설 건축기초 매스콘크리트의 수화열 조정 공법, 신기술 제353호, 2002, 11
3. 한천구 외, 초지연제의 응결시간차에 의해 구분타설된 매스 콘크리트의 수화열 저감 효과에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제19권 제7호, pp.79~86, 2003, 7
4. 한민철, 고로슬래그를 사용한 초지연 콘크리트의 응결시간 예측, 대한건축학회 논문집, 제22권 제12호, pp.87~95, 2006, 12
5. 伊藤真純 外, 遅延および超遅延のメカニズム, セメント・コンクリート, No.472, pp.31~37, 1986
6. 椎葉大和, 超遅延劑, 콘크리트工学, Vol.16 No.3, pp.50~54, 1988
7. J. F. Young, A Review of Mechanisms of Set-retardation in Portland Cement Paste Containing Organic Admixture, Cement and Concrete Research, Vol.2, pp.415~433, 1972

(접수 2009. 3. 30, 심사 2009. 5. 25, 게재확정 2009. 6. 15)

## 요 약

현재 국내의 건설공사현장에서는 도심부에 대형 건설사를 중심으로 초고층 건축물의 시공이 진행 중에 있다. 그런데 이러한 초고층 건축물의 기초는 상부의 큰 하중을 지지하기 위해 매우 두꺼운 매트 콘크리트가 필수적이다. 그러나 이와 같은 매스 콘크리트는 현장여건상 다량의 콘크리트를 동시에 타설할 수 없기 때문에 일체성에 의문이 제기되는 것은 물론이고 수화발열시간의 서로 다름에 따른 내응력에 의한 균열발생 가능성이 증가한다. 따라서 본 연구에서는 상기의 문제점을 해소시키고자 국내 모처에 건설되고 있는 초고층 건축물을 대상으로 초지연제의 응결시간차를 활용한 수평분할타설 건축 매스 콘크리트의 수화열 조정공법을 실제 건축현장에 적용하고자 Mock-up test를 통하여 그 효율성을 확인하였다. 실험결과 초지연제 투입 전·후 슬럼프 플로우는 목표 지연시간이 길어질수록 다소 증가하였고, 공기량은 큰 차이는 없는 것으로 나타났으며, 응결시간은 목표 지연시간이 길어질수록 지연되었다. 목표 지연시간이 길어질수록 초기재령에서는 압축강도가 작게 나타났으나, 재령이 경과할수록 강도증진 폭이 크게 되어 재령 28일에서는 보통 콘크리트보다 동등 혹은 그 이상을 나타내었다. 또한 2단 및 4단으로 초지연제에 의한 응결시간차공법을 활용한 경우 하부와 상부간 콘크리트의 일체화 및 온도차를 낮추고, 수화열 피크시점이 후기로 늦어짐에 따라 균열발생가능성을 저하시키는 효과를 확인할 수 있었는데, 특히 4단 타설에서 가장 양호한 효과가 나타남을 확인할 수 있었다.

키 워 드 : 매트기초, 매스 콘크리트, 초지연제, 응결시간