

# 응결시간차를 활용한 매스콘크리트의 수화열 조절에 관한 기초적 연구

## A Fundamental Study on the Control of Hydration Heat of Mass Concrete Using Setting Time Difference

배정렬\*    ○윤치환\*\*    김기철\*\*\*    한민철\*\*\*\*    오선교\*\*\*    한천구\*\*\*\*\*  
 Pei, Zheng-Lie    Yoon, Chi-Whan    Kim, Gi-Cheol    Han, Min-Cheol    Oh, Sun-Kyo    Han, Cheon-Goo

### Abstract

Placing lift is applied to place mass concrete in order to reduce thermal cracks by hydration heat. But they results in cold joint between placing lifts, which bring about the loss of strength, water tightness and undesirable appearance. Therefore, in this paper, mechanical and hydration heat of mass concrete using super retarding agent developed through previous study are investigated in order to reduce the hydration heat and place it without place lift. According to test results, placing lifts combined with normal concrete and concrete containing super retarding agent have positive effects on reducing hydration heat. Especially, the crack index by thermal stress of the concrete containing super retarding agent less than a quarter, compared to that of plain concrete without placing lifts, and less than a half, compared to that of plain concrete with placing lifts.

키워드 : 초지연제, 매스콘크리트, 수화열, 응결시간,  
 Keywords : Super Retarding Agent, Mass Concrete, Hydration Heat, Setting Time

### 1. 서론

매스 콘크리트는 수화열에 의한 구조물의 온도균열 등의 피해를 저감시킬 목적으로 분리타설 공법을 이용하는 경우가 있다. 그런데, 이 경우 타설 구획간 콜드 조인트의 발생으로 구조체의 내력, 수밀성 저하 및 미관의 저해 등 장기적으로 구조물의 내구성능을 저하시킨다.

그러므로 본 연구에서는 본 연구팀에서 물에 당류계 초지연제 및 증점제와 AE제를 일정비율로 혼합하여 개발한 초지연제를 이용한 콘크리트를 분리타설하지 않고 수화열을 조절하여 구조체의 일체화 등 내구성 향상을 위한 방안을 마련 하고자 보통 콘크리트 및 초지연제를 혼합한 콘크리트의 타설 방법에 따른 수화열 특성 등을 비교 분석 하고자 하였다.

### 2. 실험계획 및 방법

#### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 먼저, 실험요인으로 W/C는 40%의 1 수준으로 하였고, 목표 슬럼프는 15±1cm, 목표 공

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/C(%)	1	40
	목표슬럼프(cm)	1	15±1
	초지연제 혼입률(%)	2	0(플레인) 0.2
모의부재	크기(cm)	1	80×80×80
	타설방법	3	A 일체 타설, 플레인
			B 분리 타설, 플레인
C 일체타설, 상부-플레인, 하부-0.2%			
실험사항	굳지않은 콘크리트	3	슬럼프, 공기량, 응결시간
	경화 콘크리트	3	• 코어강도(압축, 인장부착) • 수화열 측정 • 인장부착강도

표 2. 배합사항

W/C (%)	S/a (%)	AE 감수제 (%)	초지연제 혼입률 (C×%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	용적배합 (ℓ/m <sup>3</sup> )		
					C	S	G
40	44	0.45	0	185	147	274	349
			0.2		147	274	349

\* 정회원, 청주대 대학원, 석사과정  
 \*\* 정회원, 청주대 대학원, 박사과정  
 \*\*\* 정회원, 중부대 건설공학부 강의전담전임강사, 공학박사  
 \*\*\*\* 정회원, (주)선엔지니어링, 공학박사  
 \*\*\*\*\* 정회원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

기량은  $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하도록 플레인 배합을 결정하였다. 여기에 개발된 초지연제의 혼입률을 0 및 0.2%의 2수준에 대하여 콘크리트 타설방법을 A~C 3수준으로 실험계획 하였다. 실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량 및 응결시간을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 재령 28일의 코어 압축, 모의부재 인장부착강도 및 수화열을 측정하는 것으로 하였다. 단, 강도의 측정시기는 초지연제의 혼입률에 따른 응결시간이 큰 차이를 보이므로, 각각 종결시점을 기준으로 재령경과에 따라 측정하는 것으로 하였다.

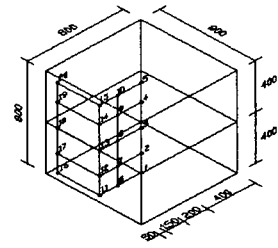


그림 2. 모의부재 열전대 매입도

## 2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로 시멘트는 국내산 S사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 골재로서 잔골재 및 굵은골재는 충북 청원군 옥산산 강모래와 부순 굵은골재를 사용하였으며, 초지연제는 기존 연구를 통하여 개발된 초지연제로써 국내 J사에서 시판되는 백셀탕과 증점제 및 AE제를 1:1:0.005로 혼합하여 사용하였는데, 각 재료의 물리적 성질은 표 3~5와 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,303	0.08	226	409	231	308	410

표 4. 골재의 물리적 성질

골재 종류	비중	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m <sup>3</sup> )	입형판정 실적율(%)	0.08mm 체 통과량(%)
잔골재	2.60	1.94	1,598	61.0	2.06
굵은골재	2.66	0.84	1,531	56.5	-

표 5. 혼화제의 물리적 성질

혼화제 종류	주 성분	색상 상태	비중 (20℃)	표준 사용량 (C×%)
초지연제	Sucrose, Poly ethylene oxide, Sodium lauryl sulfate	흰색 액상	1.2	0.05 ~ 0.2
AE 감수제	나프탈렌 설펜산, 포르말린 축합물	암갈색 액상	1.15	0.1 ~ 1.5

## 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하였으며, 모의부재는 매스 콘크리트로 가정하여 건축공사 표준시방서와 콘크리트 표준시방서에 표기된 부재단면의 최소치수 80cm에 근거하여 80×80×80cm로 제작한 후 표 1의 타설 방법에 따라 A는 플레인 콘크리트 일체 타설(이하 A라함), B는 플레인 콘크리트 2회 분리

단위 : 중앙부 인장부착 강도용  
↓ 코어 채취 위치

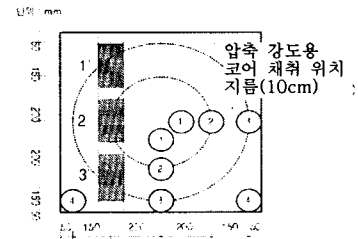


그림 3. 코어 채취 계획

그림 3. 코어 채취도

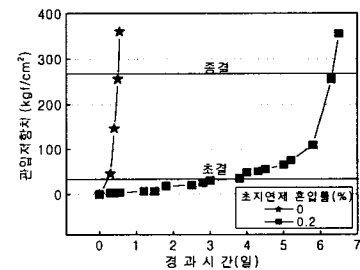


그림 4. 초지연제 혼입률 변화에 따른 응결시간

타설(1회 타설 3일 후 2회 타설)(이하 B라함), C는 하부에 초지연제 0.2%를 혼입한 콘크리트 및 상부에 플레인 콘크리트로 일체타설(이하 C라함)로 하였다. 타설 방법은 표 1의 타설방법에 따라 실시하였다. 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입저항 시험방법규정에 의거하여 측정하였다. 수화열의 측정은 그림 2처럼 모의부재의 수평 4개소, 수직 5개소로 하여 총 20개소에 열전대를 매입하여 10분 간격으로 측정하였다. 경화 콘크리트의 코어 압축 및 인장부착 강도는 재령 28일에서 그림 3에 표시된 위치에 따라 코어를 채취하여 KS F 2422에 따라 관리 한 다음 강도 시험은 KS F 2405 및 KS F 2423의 규정에 의거 실시하였다. 인장부착강도는 코어 강도와 마찬가지로 재령 28일에 실시하였다.

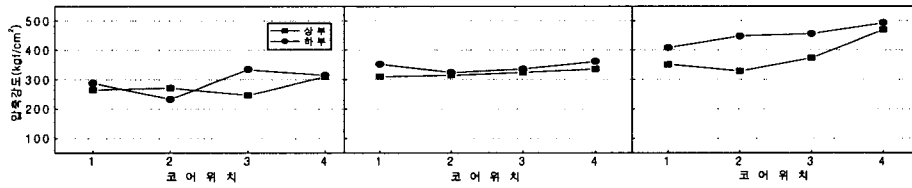


그림 5. 시험체 위치별 코어 압축강도

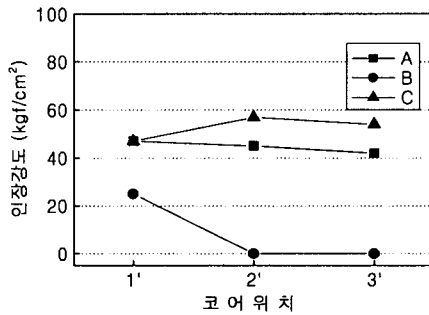


그림 6. 시험체 위치별 코어 인장부착강도

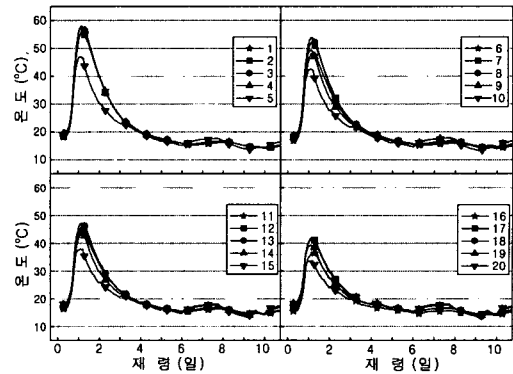


그림 7. 모의부재 온도 이력(A)

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지 않은 콘크리트

##### 1) 슬럼프 및 공기량

초지연제 0.2%를 혼입한 콘크리트는 플레인 콘크리트와 비교하여 슬럼프는 약간 증가하고, 공기량은 다소 저하하는 것으로 나타났으나, 품질상 오차 범위로 큰 차이는 없을 것으로 사료된다

##### 2) 응결시간

그림 4는 초지연제 혼입률별 시간경과에 따른 관입저항치를 나타낸 것이다. 먼저, 플레인 콘크리트의 응결시간은 초결 5.5시간, 종결 11시간으로 나타난 반면, 개발된 초지연제 0.2%를 혼입한 콘크리트의 응결시간은 초결이 3.5일, 종결이 6.5일로 응결이 크게 지연되었는데, 이는 개발된 초지연제의 주성분인 백설탕 중 수산기(-OH)가 시멘트 입자의 표면이나 극초기 수화반응물에 흡착하여 물과 접촉을 일시적으로 차단시켜 수화반응을 장시간 지연시킨 것으로 사료된다.

#### 3.2 경화 콘크리트의 특성

##### 1) 코어 압축 및 인장부착강도 특성

그림 5는 모의부재의 타설방법에 따른 코어위치별 상, 하부 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저, 타설방법에 따른

압축강도는 C가 가장 크고 B, A순으로 나타났다. 코어위치별 압축강도는 전반적으로 중심부(1)가 최외부(4)보다 다소 작게 나타났는데, 이는 중심부의 높은 수화열에 의한 수화반응 저하, 내부응력 등의 영향으로 저하된 것으로 분석된다. 또한, 상, 하부의 코어 압축강도에 있어 A의 경우는 상, 하부간의 큰 차이가 없었으나, B의 경우는 하부가 상부보다 미소하나마 크게 나타났다. 이는 상부 콘크리트의 종결시점을 기준으로 재령 28일에서 코어를 채취하여 압축강도를 측정함에 따라 상하부 간의 재령차이에 기인하여 나타난 것으로 분석된다. C의 경우는 상부보다 하부에 초지연제를 혼입한 경우가 크게 나타났는데, 이는 초지연제를 혼입한 콘크리트가 응결이 지연됨에 따라 내부는 더욱 밀실한 수화생성물이 생성되어 내부조직이 치밀하게 되는 것에 기인한 것으로 사료된다.

그림 6은 모의부재의 타설방법에 따른 이어붙기 위치별 코어 인장부착강도를 나타낸 것이다. 먼저, 코어위치별 인장 부착강도로써 A의 경우는 전반적으로 유사하게 나타났다. B의 경우는 타설 구획간의 콜드 조인트의 영향으로 작은 인장 부착강도를 나타냈는데, 특히 2와 3의 위치에서는 인장부착 시험을 실시하기 위하여 시험체를 고정하는 과정에서 접촉면이 파단되어 인장 부착강도를 측정할 수 없었다. C의 경우는 접촉면의 인장부착강도가 가장 크게 나타났는데, 이는 하부 초지연제를 혼입한 콘크리트의 경화지연으로 상부 보통 콘크리트와의 접촉면에 콜드 조인트가 발생하지 않고 일체화됨에 기인한 것으로 사료된다.

2) 온도이력의 특성

그림 7은 A의 경우를 모의부재의 재령에 따른 온도 이력으로 나타낸 것이다. 먼저, 수화열의 최고온도는 콘크리트 타설 후 1일(24시간)에 도달하였고, 이후 서서히 저하하여 3.5일 후 상온과 일치하였다. 또한, 온도 이력에서 상승 및 하강 곡선의 폭이 좁으며, 기울기가 급한 것으로 미루어 초기 구속 응력에 의한 온도균열과 후기 구속 응력에 의한 온도균열 발생 확률이 매우 큰 것으로 분석된다.

그림 8은 B의 경우를 모의부재의 재령에 따른 온도 이력으로 나타낸 것이다. B와 같은 2회 분리 타설은 현재 일부 매스 콘크리트 시공시 사용되는 방안으로써 A와 비교하여 9℃정도 수화열을 저감시키는 것으로 나타났지만, 내외부의 온도차 및 온도이력곡선의 기울기는 크게 나타났고, 후기 2회 타설한 콘크리트의 수화열 또한 1회 타설의 경우와 같이 유사한 경향으로 나타났다.

그림 9는 C의 경우를 모의부재의 재령에 따른 온도 이력으로 나타낸 것이다. 초기 플레인 콘크리트의 수화열에 의한 온도곡선 기울기는 급하지만, A의 일반 콘크리트 일체타설의 경우와 비교하여 최고점 온도를 20℃ 이상 낮추고 중심부와 외측면과의 기온 차는 약 10℃ 정도 낮게 나타났다. 또한, 후기 초지연제를 혼입한 콘크리트의 수화곡선은 완만한 기울기를 보이고 장시간에 걸쳐 분포되는 것으로 미루어 구속 응력에 의한 균열을 저감할 수 있는 것으로 분석되었다.

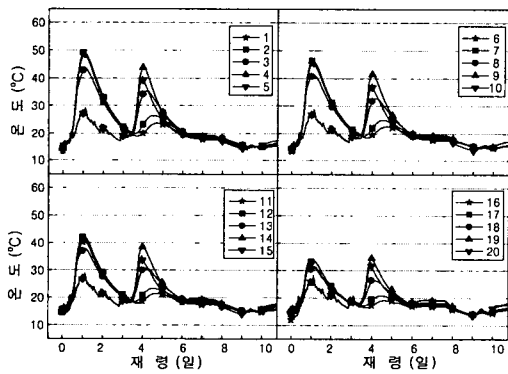


그림 8. 모의부재 온도이력(B)

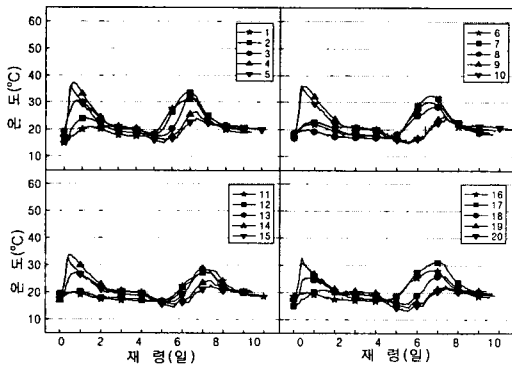


그림 9. 모의부재 온도이력(C)

표 6은 콘크리트 타설방법에 따른 모의부재의 내, 외부 온도 및 온도균열지수를 나타낸 것이고, 그림 10은 발생 확률을 나타낸 것이다. 온도균열지수는 건축구조물인 경우 내부구속이 지배적인 경우로 산정하여 식 1과 같이 구하였는데, 내외부 온도차가 가장 큰 A, B, C 순으로 온도균열지수가 작게 나타났다. 또한, 균열발생확률은 A의 경우 90%, B의 경우 60%, C의 경우 20% 정도로 A의 보통 콘크리트를 일체타설한 경우가 제일 크게 나타났고, C의 초지연제 혼입 콘크리트와 일반 콘크리트를 병용한 경우가 균열발생확률이 제일 적은 것으로 나타났다.

온도 균열지수 (내부구속이 지배적일 경우) =  $15/\Delta T_i$  ..... (1)

$\Delta T_i$ : 내부최고온도시의 내외온도차

그러므로 초지연제를 혼입하여 수화열 시간을 조정하는 방법은 콘크리트의 온도 응력을 감소시켜 온도 균열을 크게 저감시킬 수 있는 것으로 분석되었다

표 6. 온도균열지수

타설 방법	내부최고온도(℃)	표면온도(℃)	온도균열지수
A	58.1	33.8	0.617
B	49.1	30.4	0.8
C	37.4	25	1.2

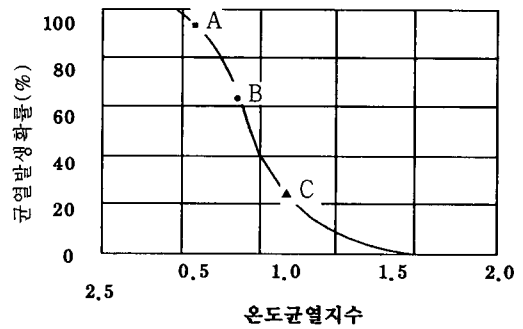


그림 10. 온도균열지수와 발생확률

4. 결론

개발된 초지연제를 매스 콘크리트의 수화열 조절에 적용한 경우 구조체 콘크리트의 코어 압축강도, 코어 인장부착강도 특성 및 온도 이력에 대하여 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 모의부재의 코어 압축강도는 전반적으로 중심부가 최외부보다 다소 작게 나타났는데, 이는 중심부 수화열 영향으로 저하된 것으로 분석되고, 특히, C의 코어 압축강도는 상부보다 하부에 초지연제를 혼입한 경우가 크게 나타났는데, 이는 초지연제를 혼입한 콘크리트가 응결이 지연됨에 따라 내부는 더욱 밀실한 수화물이 생성됨에 기인한 것으로 사료된다.

- 2) 모의부재의 코어 인장부착강도는 C, A, B 순으로 나타났는데, A는 전반적으로 비슷한 경향을 나타냈다. B는 낮은 인장부착강도를 나타내어 시험체를 고정하는 중에 파단되었고, C는 하부의 초지연제를 혼입한 콘크리트의 응결지연으로 인하여 상부와의 접촉면에 콜드조인트가 발생하지 않은 것에 기인하여 A의 경우보다도 높은 강도를 나타냈었다.
- 3) 온도이력은 플레인 콘크리트 일체타설 중심부의 최고온도가 가장 높고 외측면과의 차이도 큰 것으로 나타났고, 플레인 콘크리트의 분리타설은 중심부의 최고온도를 약간 저감하였다. 또한, 초지연제를 혼입한 콘크리트를 하부에 플레인 콘크리트를 상부에 타설한 일체타설의 경우는 수화열을 대폭적으로 저감 할 수 있어 매우 유리하였다.
- 4) 온도 균열지수는 초지연제를 혼입한 콘크리트를 일반 콘크리트와 병용하였을 경우 일반콘크리트 일체 타설의 1/4, 일반콘크리트 분리타설의 1/2정도의 온도 균열 발생 확률을 나타내었다.

#### 참고문헌

1. 한국 콘크리트 학회, 표준시방서, 1999
2. 강석화, 매스콘크리트의 온도균열제어를 위한 시공방법, 한국콘크리트 학회지, 1997. 6
3. 김진근, 양은익, 매스콘크리트의 수화열 및 온도응력에 대한 영향요인, 한국콘크리트 학회지, 1997. 6
4. 한천구, 한민철, 윤치환, 심보길, 초지연제를 이용한 시멘트 모르타의 응결 및 압축강도특성, 대한건축학회 논문집 구조계, 2001. 10
5. 일본건축학회, 건축공사표준사양서·동해설, 일본건축학회, 1997