

초지연제의 응결시간차에 따라 분할타설된 매스 콘크리트의 수화열 저감

Reduction of Hydration Heat in Division-Placed Mass Concrete Considering the Difference of Setting Time in Super Retarding Agents

지 석^{*} 배정렬^{*} 황인성^{**} 윤치환^{**} 김기철^{***} 한천구^{***}
Suck Gi Zheng-Lie Pei Yin-Seong Hwang Chi-Whan Yoon Gi-Cheol Kim Cheon-Goo Han

ABSTRACT

This study is designed to reduction of hydration heat of 4 layer division-placed mass concrete considering the difference of setting time of super retarding agent. According to the results, peak temperature of plain concrete by hydration heat show 63°C around the age of 1 days. Hydration heat is lowest in the bottom layer, and highest in the middle of 3rd layer from the bottom. Hydration heat of mock up structure, which is division-placed at the same interval of 1 and 2 days by setting time difference of super retarding agent, is highest in the bottom layer because after peak temperature of 4th layer, hydration reaction progresses in order of 3rd, 2nd and 1st layer. But in mock up structure which is division-placed at the various interval, peak temperature by hydration heat is reduced by about 13°C, compared with plain concrete because after first peak hydration heat of 4th layer (plain concrete), hydration reaction progresses after the drop of hydration heat in order of 3rd, 2nd and 1st layer.

1. 서 론

최근 건축물이 초고층화, 대형화되어짐에 따라 하부 매트기초는 부재단면이 상당히 두꺼운 매스 콘크리트로 이루어지고 있는데, 이러한 매스 콘크리트의 최대 고려사항은 수화열에 의한 균열문제이다. 따라서, 매스 콘크리트의 품질을 확보하기 위해서는 온도균열의 제어대책을 수립하여야 한다.

현재 매스 콘크리트의 온도균열 제어대책으로는 혼화재 또는 저발열 시멘트의 사용 및 단위시멘트량을 가능한 적게 사용하도록 하는 배합적인 방법과 2층 이상 분리타설 또는 파이프쿨링 등의 시공방법 등이 행해지고 있다. 그러나, 배합적인 방법은 단위시멘트량을 적게 사용하도록 배합설계하여도 역시 수화열이 문제가 되는 경우가 있고, 파이프쿨링 시공방법은 너무 지나치게 고가이고 복잡하며, 2층 이상 분리타설을 하는 경우는 구조체의 일체화를 도모하기 어렵고, 공기지연 등의 문제점이 지적되고 있다. 따라서, 본 연구팀에서는 선행연구를 통하여 매스 콘크리트의 수화열 저감을 위한 초지연제를 개발한 바 있고, 개발된 초지연제의 응결시간차를 이용하여 수화열 저감효과를 검토한 결과 우수한 효과를 확인하였으나¹⁾, 부재단면이 상당히 두꺼운 매스 콘크리트에 대하여 다중 분할타설에 의한 수화열 저감효과에 대한 검토의 필요성이 제기되었다.

그러므로, 본 연구는 초지연제의 응결시간차를 이용한 매스 콘크리트의 수화열 저감에 관한 연구의

* 정회원, 청주대학교 대학원, 석사과정

** 정회원, 청주대학교 대학원, 박사과정

*** 정회원, (주)선ENG 연구개발부 선임연구원, 공학박사

*** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사

일환으로 선행연구에서 개발한 초지연제²⁾의 응결시간차에 따라 4층으로 분할타설된 매스 콘크리트의 수화열 저감효과에 대하여 검토하므로써, 향후 매스 콘크리트의 수화열 저감을 위한 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 실험요인으로는 W/C 40%에 대하여 목표 슬럼프 15±1.5cm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하는 플레인 배합을 결정한 후, 선행연구에서 개발한 초지연제를 혼입하지 않은 플레인과 초지연제 혼입률을 응결시간차에 따라 1일, 2일의 등간격 및 가변간격의 4수준으로 수화열 저감 특성을 분석하도록 실험계획 하였다. 실험사항으로 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트(비중 3.15, 분말도 3.418cm²/g)를 사용하였고, 잔골재는 충북 청원군 부강산 강모래(비중 2.57), 굵은골재는 충북 옥산산 20mm부순 굵은골재(비중 2.64)를 사용하였다. 혼화제는 AE감수제로 국내산 J사의 나프탈렌계를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 혼합하였고, 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 실험은 KS 및 기타 표준적인 방법으로 실시하였다.

시험체의 제작으로 모의부재는 매스 콘크리트로 가정하여 30×30×80cm의 부재에 대하여 6면을 100mm 단열재로 밀봉하였고, 그림 1의 응결시간과 초지연제 혼입률간의 관계에서 얻어진 선행 연구결과¹⁾를 토대로 실험계획된 응결시간차에 따라 그림 2와 같이 초지연제를 혼입하여 4개 층으로 나누어 부어넣었으며, 바이브레이터로 다짐하여 제작하였다. 이때, 모의부재 각 층별 중심부에 열전대를 매설하고, 데이터로거로 수화열 온도이력을 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

그림 3은 초지연제 혼입률 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량을 나타낸 것이다.

표 1. 실험계획

실험요인				실험사항	
W/C (%)	목표 슬럼프 (cm)	목표 공기량 (%)	타설방법 (4분타설)	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
40	15±1.5	4.5±1.5	· 플레인 · 1일 등간격 · 2일 등간격 · 가변간격	· 슬럼프 · 슬럼프플로우 · 공기량 · 단위용적중량	· 압축강도* (28일) · 코어압축강도* (28일) · 수화열 온도

* 압축강도 및 코어압축강도는 종결 이후 재령으로 측정

표 2. 배합사항

W/C (%)	단위 수량 (kg/m ³)	S/a (%)	AE 감수제 (%)	초지연제 혼입률 (%/C)	절대용적배합 (ℓ/m ³)			중량배합 (kg/m ³)		
					C	S	G	C	S	G
40	175	44	0.45	0~0.6	139	282	359	438	725	948

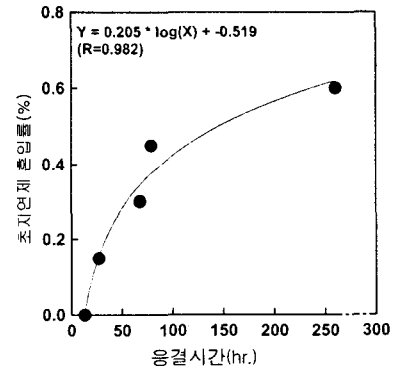


그림 1 응결시간과 초지연제 혼입률과의 관계. (양생온도 20℃)

	플레인	1일간격	2일간격	가변간격
4층	0%	0%	0%	0%
3층	0%	0.20%	0.30%	0.26%
2층	0%	0.30%	0.43%	0.48%
1층	0%	0.38%	0.50%	0.62%

그림 2 구분층수에 따른 초지연제 혼입률.

먼저, 플레인의 경우 목표 유동성 및 공기량을 만족하였고, 초지연제 혼입률 증가에 따른 유동성은 다소 증감의 차이는 있으나, 플레인과 비교하여 큰 차이는 없는 것으로 분석되며, 초지연제 혼입률 변화에 따른 공기량은 3~6%의 범위로 목표 공기량을 모두 만족하였다.

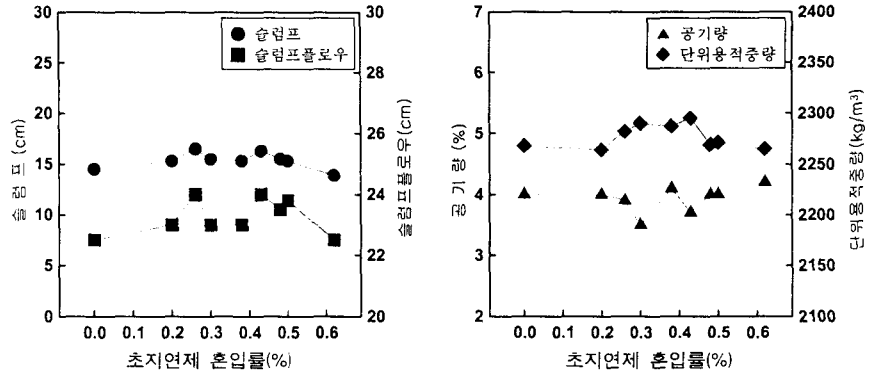


그림 3 초지연제 혼입률 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량.

3.2 수화열 특성

그림 4는 초지연제를 혼입하지 않은 플레인 콘크리트와 응결시간차에 따라 4층으로 분할타설된 모의부재의 층별 온도이력을 나타낸 것이다.

먼저, 초지연제를 혼입하지 않은 플레인 콘크리트를 일체타설한 경우의 수화열 최고온도는 재령 1일을 전후해서 약 63°C 정도로 나타났고, 최하층 부분의 수화열이 가장 낮게 나타났으며, 하부로부터 3층 부분의 중심부 수화열이 가장 높게 나타났다.

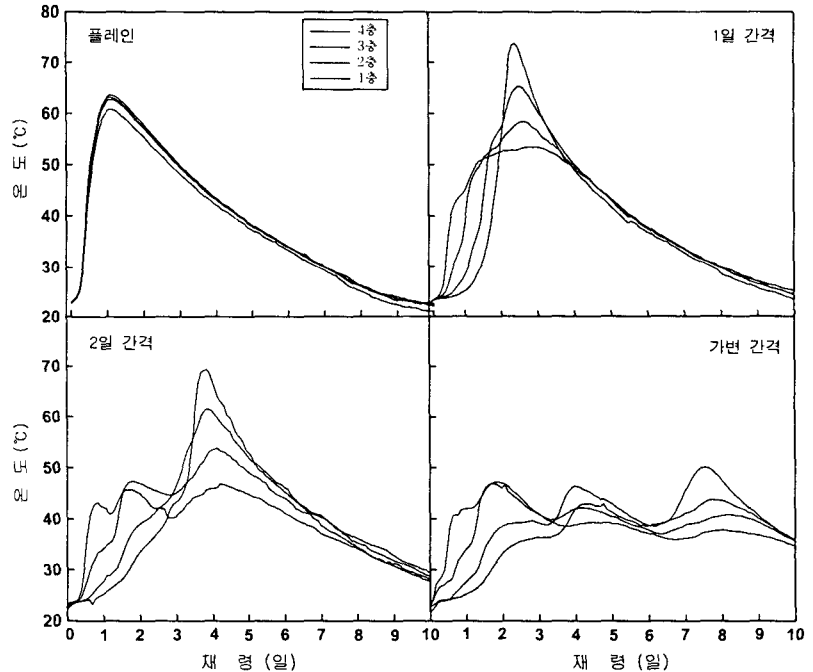


그림 4 타설방법별 재령 경과에 따른 수화열 온도이력.

초지연제의 응결시간차에 따른 수화열 특성으로 응결시간차 1일 간격으로 초지연제를 혼입하여 분할타설한 모의부재의 수화열은 초지연제의 혼입률에 따라 응결시간이 지연되었으나, 4층의 플레인 콘크리트가 가장 먼저 수화발열 피크온도에 도달한 후 3층, 2층, 1층 순으로 나타났는데, 최고상승온도는 초지연 콘크리트의 연속 수화반응에 따른 수화열 상승작용에 의해 최하층의 피크온도에서 가장 높게 나타났으며, 플레인과 비교하여 수화열이 약 10°C 정도 높게 나타났다. 그러나, 매스 콘크리트의 수화열 균열과 관련하여 4층 타설 플레인 콘크리트는 응결시간차에 의한 후기 수화열 피크 이전에 충분한 강도가 발현되었기 때문에 플레인 콘크리트의 수화열에 의한 균열발생은 없을 것으로 사료된다.

또한, 응결시간차 2일 간격으로 분할타설한 경우는 4층 플레인 콘크리트의 1차 수화열 피크후 1일 간격보다 응결시간은 다소 지연되었으나 온도가 충분히 하강하기 전에 3층 초지연 콘크리트의 수화반

응에 의한 온도상승으로 2차 수화열 피크를 이루었고, 이후 2층, 1층 순으로 초지연 콘크리트의 연속 수화반응에 따른 수화열 상승작용에 의해 1층 타설부위의 최종 수화열 피크온도가 플레인보다 7℃ 가량 높게 나타났다. 또한, 1층 타설부분 초지연 콘크리트는 4층, 3층, 2층 등 내부 온도상승으로 수화반응이 촉진되어 2층 부분과 동시에 수화반응을 일으켜 수화열 저감을 위해 사용한 초지연제의 응결지연효과가 충분히 발휘되지 못하고 중첩되어 높은 온도가 나타난 것으로 사료된다. 한편, 1.5일 가변간격으로 초지연제를 혼입하여 4분 타설한 모의부재의 수화열은 4층 플레인 콘크리트가 1차 수화열 피크후 3층 초지연 콘크리트의 수화반응에 의해 2차 수화열 피크온도를 이루었고, 이후 충분한 응결시간차에 따라 수화열이 하강한 후 2층, 1층의 초지연 콘크리트가 3차, 4차 수화열 피크를 이루었기 때문에 수화열 최고온도가 약 50℃로 플레인과 비교하여 13℃ 정도의 저감효과가 있는 것으로 나타났다.

따라서, 2층 이상 다층으로 초지연제의 응결시간차를 활용하여 매스 콘크리트의 수화열을 조정하는 경우는 상층부의 높아진 수화열에 의해 하층부 초지연 콘크리트의 온도가 상승하여 목표한 초지연 효과를 발휘하지 못함에 충분히 고려할 필요가 있음을 알 수 있었다.

그림 5는 초지연제 혼입률 변화에 따른 종결이후 재령 28일의 표준공시체 압축강도 및 모의부재의 코어압축강도를 나타낸 것이다. 초지연제 혼입률 변화에 따른 종결이후 재령 28일의 압축강도는 표준공시체가 코어 공시체보다 전반적으로 크게 나타났고, 초지연제의 혼입률이 증가함에 따라 약간 크게 나타났는데, 이는 초지연제를 혼입한 경우 응결지연작용에 의해 수화반응이 서서히 진행되고, 이로인해 밀실한 수화생성물이 생성되어 내부 조직이 보다 치밀화 한 것에 기인된 것으로 사료된다.

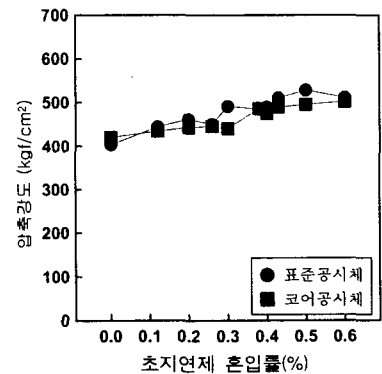


그림 5. 초지연제 혼입률 변화에 따른 재령 28일의 표준 및 코어공시체의 압축강도

4. 결 론

초지연제의 응결시간차에 따라 4층으로 분할타설된 매스 콘크리트의 수화열 저감에 관한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 초지연제를 혼입하지 않은 플레인 콘크리트는 수화열 최고온도가 재령 1일을 전후해서 약 63℃ 정도로 나타났고, 1층인 최하층 부분의 수화열이 가장 낮게 나타났으며, 3층 부분의 중심부 수화열이 가장 높게 나타났다.
2. 초지연제의 응결시간차에 따른 수화열 특성으로 응결시간차 1일 및 2일 간격으로 분할타설한 모의부재의 수화열은 4층의 플레인 콘크리트가 피크온도에 도달한 후 3층, 2층, 1층 순으로 초지연 콘크리트의 연속 수화반응에 따라 수화열 상승작용에 의해 최하층의 피크온도가 가장 높게 나타났다.
3. 하부 콘크리트로 갈수록 응결시간을 더욱 길게하는 방법의 가변간격으로 초지연제를 혼입하여 분할타설한 모의부재의 수화열은 4층 플레인 콘크리트의 1차 수화열 후 3층, 2층, 1층 순으로 수화열이 충분히 하강한 후 수화가 진행되어 수화열 최고온도가 플레인 콘크리트와 비교하여 약 13℃ 정도 저감하는 효과가 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 배정렬, 윤치환, 김기철, 오선교, 한민철, 한천구 ; 초지연제 혼입률 및 양생온도 변화에 따른 콘크리트의 응결 및 역학적 특성, 대한건축학회춘계학술발표논문집, 제22권 제1호, pp. 261~264, 2002. 4.
2. 심보길, 유동수, 윤치환, 한민철, 한천구 ; 당류계 초지연제의 개발에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 춘계학술발표논문집, 제21권 제1호, pp. 309~312, 2001. 4.