

# 초지연제의 응결시간차를 이용한 매스콘크리트의 수화열 저감 공법

## Hydration Heat Reduction Method of Mass Concrete Reflecting Setting Time Lag by Super Retarding Admixture



오선교\*  
Seon-Gyo Oh



신동인\*\*  
Dong-An Shin



전중근\*\*\*  
Chung-Keun Jeon

### 1. 들어가기

최근 건축공사는 초고층화, 대규모화 및 고심도화로 말미암아 건물 기초 매트콘크리트의 경우 매스콘크리트로의 시공이 불가피하여 수화열 저감 및 온도균열을 방지할 수 있는 효율적인 공법이 요구되고 있다. 그런데 기존에 개발된 매스콘크리트의 수화열 저감공법은 저발열 시멘트의 사용, 혼화재의 치환, 프리 쿨링 방법, 파이프 쿨링 방법 및 수평분할 타설 등으로 비교적 고가이고, 공기가 지연되는 등의 단점이 있다.

(주)선엔지니어링 종합건축사사무소에서는 매스콘크리트 구조물에서 발생하는 수화열을 효과적으로 저감하고, 공기지연 없이 저렴한 비용으로 가능하게 하기 위하여 신기술 353호 백설탕, PEO 증점제, AB제를 일정비율로 혼합한 당류계 초지연제의 응결시간차를 활용한 수평분할 타설 건축기초 매스콘크리트의 수화열 조정공법을 개발하였다. 또한 본 공법은 현재까지 20여개의 현장에 80회 이상 적용하여 온도균열 완벽히 제어한 바 있다. 그러므로 본고에서는 매스콘크리트의 수화열 저감에 효과적인 초지연제를 이용하는 응결시간차 공법에 대하여 소개하고자 한다.

### 2. 매스콘크리트의 온도균열 발생 기구

매스콘크리트란 건축공사 표준시방서의 경우는 「부재단면의 최소치수가 800 mm 이상이고, 수화열에 의한 콘크리트의 내부 최고온도와 외기온도의 차이가 25℃ 이상으로 예상되는 콘크리트」라고 정의하고 있다. 또한, 콘크리트표준시방서의 경우는 「부재 또는 구조물의 치수가 커서 시멘트의 수화열로 인한

온도상승을 고려하여 시공해야 하는 콘크리트」로서 해설에는 「대체적인 표준으로서 넓이가 넓은 슬래브에서는 두께 800 ~ 1,000 mm 이상, 하단이 구속된 벽에서는 두께 500 mm 이상」으로 설명하고 있다.

이와 같은 매스콘크리트의 균열발생원인은 <그림 1 및 2>와 같은 내부구속응력과 외부구속응력에 의한 균열 메커니즘으로 구분된다.

즉, 내부구속응력에 의한 균열은 <그림 1>과 같이 콘크리트 내부는 시멘트 수화열에 의하여 높고 표면은 외기온의 영향으로 낮아, 특히 외기에 면한 쪽에 인장응력이 작용하여 균열이 발생하게 된다.

외부구속응력에 의한 균열은 <그림 2>와 같이 기타설 바닥 콘크리트와 철근으로 연결되어 시공되는 두꺼운 벽부재 등과 같은 경우로 외부구속이 있을 경우 최고온도에 도달한 후 하강하여 외기온과 같아질 때 수축과정에서 균열이 발생한다.

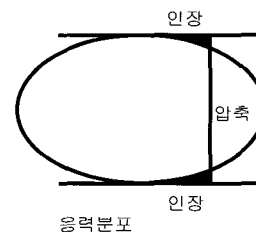
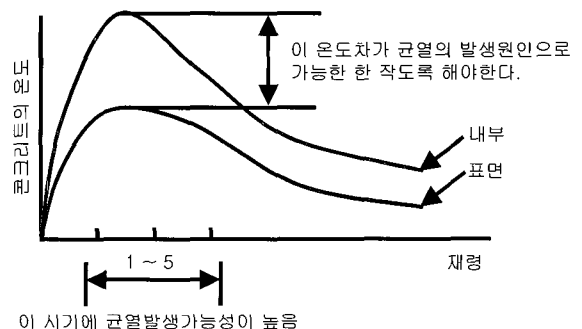


그림 1. 내부구속응력의 발생 기구

\* 정희원, (주)선ENG 대표이사, 공학박사  
skoh0103@seon.co.kr

\*\* 정희원, (주)선ENG기술연구소 소장, 공학박사

\*\*\* 정희원, (주)선ENG기술연구소 책임연구원, 공학박사

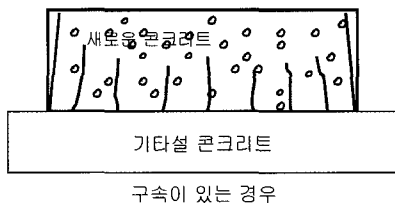
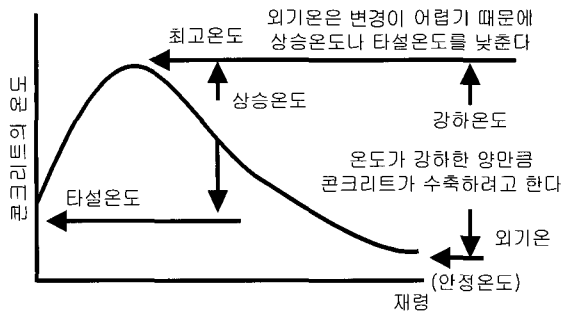


그림 2. 외부구속응력의 발생 기구

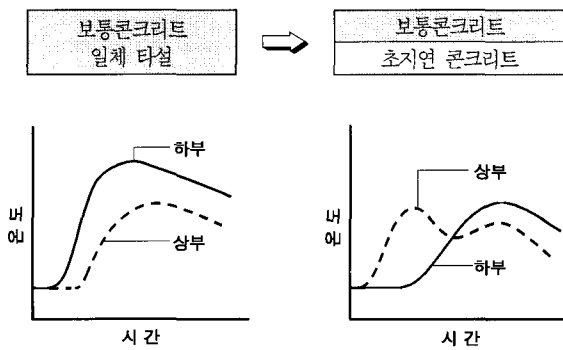


그림 3. 초지연제에 의한 응결시간 조정 공법

### 3. 초지연 콘크리트 공법의 개요

#### 3.1 수화열 조정 개념도

(주)선엔지니어링 종합건축사사무소에서 개발하여 건설교통부로부터 신기술 제 353호로 지정받은 초지연 콘크리트의 온도균열 제어 공법은 일반적인 콘크리트의 온도발현 현상을 역으로 도입하여 온도응력을 완화하는 공법이다.

즉, 초고층 건축물 등의 매트기초 콘크리트인 경우, <그림 3>과 같이 하부에 먼저 타설된 콘크리트 혹은 중앙부의 콘크리트에서 상승된 온도응력이 표면에 인장응력을 발생시킴으로서 균열을 유발하고 있지만, 하부에 초지연 콘크리트(응결시간을 수 시간에서 수일까지 지연시키는 콘크리트 : 초지연제 활용)를 타설하고 동시에 상부에 보통콘크리트를 타설하게 되면 상부에 인장응력을 발생시키지 않음으로서 균열을 획기적으로 저감하는 원리이다. 이와 같은 공법을 도입하게 되면 수화열 최

백설탕액	PEO증점제	AE제	=	초지연제 (슈퍼리에 : Superea)
물:백설탕 = 1 : 1	증점제:물 = 4 : 996	원액		
2	1	0.05		

그림 4. 초지연제의 제조

고온도를 낮추는 물론, 상층부의 양생시간 절감으로 공기도 단축되고, 또한, 저발열 콘크리트 배합에서 문제시되는 중성화 문제점도 해결할 수 있다.

#### 3.2 초지연제의 제조 방법

매스콘크리트에 활용할 수 있는 초지연제는 <그림 4>와 같이 분말상의 증점제를 교반기를 이용하여 상온의 물에 4/1,000로 혼합하고, 이렇게 희석한 증점제 용액 일정량을 AE제와 함께 물과 백설탕을 1:1로 용해시킨 액상 당류계 초지연제에 첨가한 후, 혼합하여 제조한다.

상기 초지연제는 당류계인 백설탕, 증점제는 폴리에틸렌 산화물(poly ethylene oxide), AE제는 나트륨 로릴 황산염(sodium lauryl sulfate)으로 이루어진다. 본 초지연제의 혼합비율은 품질, 1m<sup>3</sup>당 첨가량과 경제성, 유동화 효과를 고려할 때, 초지연제, 증점제, AE제를 2:1:0.05의 비율로 혼합하는 경우 고품질의 초지연제를 제조할 수 있다. 이때, 혼합한 후 시간경과에 따른 화학적 변화에 의한 품질 변화는 없다.

#### 3.3 초지연 응결시간차 공법 적용을 위한 준비 사항

기초 매스콘크리트의 수화열 조정에 있어 초지연제에 의한 응결시간차 공법을 적용하기 위한 사전 준비 사항은 다음과 같다.

첫째, 매스콘크리트의 두께 및 1일 콘크리트 타설물량을 확인하여 분할 타설높이를 결정하고, 예상 타설시간을 추정하여 하부 콘크리트의 수화반응 지연시간을 결정한다. 초지연제의 첨가량은 대기조건, 양생조건, 타설시간 등 현장여건을 조사하여 <그림 5>의 회귀식을 이용하여 약 0.15 ~ 0.2% 범위에서 결정합니다. 배합자료를 이용하여 1m<sup>3</sup>의 적정량을 결정한 후, 6배를 곱하여 레미콘 에지테이터 트럭 1대의 사용량으로 정밀 계량하여, 레미콘 트럭 1대에 초지연제 1통을 투입할 수 있도록 콘크리트 타설 1일전에 현장으로 운반하여 보관한다.

둘째, 초지연제 투입 및 혼합방법은 먼저, <그림 6>과 같은 흐름에 의하여 지정 레미콘사에 초지연제를 미리 배치시켜 후, 현장으로 이동 전 초지연제를 투입하고 에지테이터 트럭을 중

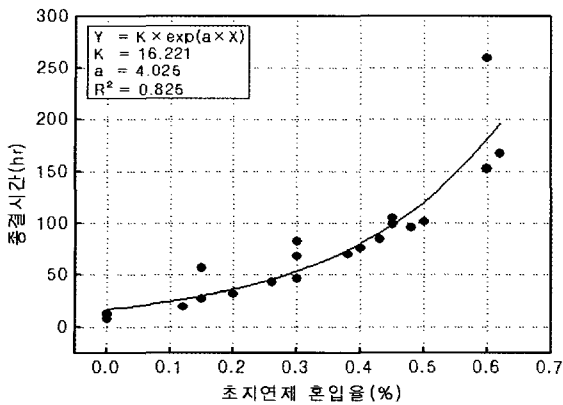


그림 5. 초지연제 혼입률에 따른 중결시간

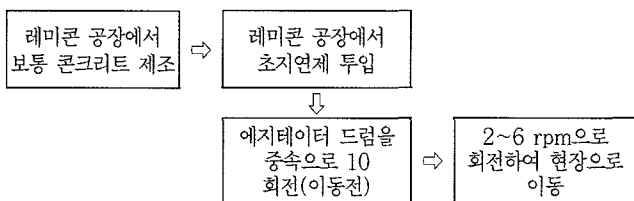


그림 6. 초지연 콘크리트의 제조

속으로 10회전 혼합하여 출발시킨다. 이때 현장으로 이동하면서 2~6 rpm으로 회전하여 현장으로 이동한 후 품질 검사를 규정에 따라 실시한 후 펌프카를 이용하여 타설한다.

#### 4. 초지연제 응결시간차 공법 적용 현장

##### 4.1 대전 가오지구 코오롱 하늘채 아파트 현장

###### 4.1.1 공사 개요

건물은 대전광역시 동구 가오동 택지개발지구에 위치한 코오롱 하늘채 아파트 신축공사 현장으로서 공사 개요는 <표 1>과 같고, <사진 1>은 조감도를 나타낸 것이다.

###### 4.1.2 현장실험 여건 및 실험사항

대전 가오동에 위치한 코오롱 하늘채 아파트 신축공사의 기초는 높이 1m인 매스콘크리트로 이루어져 있다. 콘크리트 규격은 25-24-12이었고, 초지연 콘크리트는 레미콘 차가 출발하기 전에 초지연제를 넣고, 2~6 rpm으로 회전하여 현장에 도착한 후 부어넣기를 실시하였다. 총 콘크리트 소요량은 2,100 m<sup>3</sup>이었고, 초지연 콘크리트 소요량은 810 m<sup>3</sup>이었다. 초지연제 첨가량은 1일 정도 지연되는 0.18%를 첨가하였다. 콘크리트 타설 방법은 상하부 수평으로 분할하여 타설하는 것으로 계획하였는데, 먼저 하부 초지연 콘크리트를 500 mm 부어넣은 후, 상부 보통콘크리트 500 mm를 부어넣었다. 실험 사항으로 곧

표 1. 공사 개요

공사명	가오지구 하늘채 아파트 신축공사
대지위치	대전광역시 동구 가오동 A6블럭
공사기간	2004. 08. ~ 2007. 03.
공사규모	아파트 16개동(지상 31층, 지하 1층)
주 용 도	아파트 및 부대복리시설
대지면적	76,653.22 m <sup>2</sup>
건축면적	12,520.05 m <sup>2</sup>
연 면 적	208,620.14 m <sup>2</sup>
구 조	철근 콘크리트 벽식 구조



사진 1. 가오지구 하늘채 아파트

지않은 콘크리트에서는 슬럼프 및 공기량을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 재령 7 및 28일에서의 압축강도 및 온도이력을 측정하였다.

###### 4.1.3 실험 결과 및 분석

본 대상 현장의 경우 굳지 않은 콘크리트의 실험 결과는 슬럼프와 공기량을 측정하였는데, 전반적으로 각각의 레미콘 사에 따른 차이는 있으나, 목표로 값을 만족하였으며, 경화 콘크리트의 실험 결과는 레미콘사별 재령 7일 및 28일에서의 압축강도를 측정하였는데 공히 주문자가 요구하는 호칭강도를 만족하였다.

###### 4.1.4 온도이력 특성

<그림 7>은 대전 가오지구 코오롱 하늘채 아파트 현장에서 구조체 단면높이 1m에 따른 매스콘크리트의 내부 수화열에 의한 온도이력을 나타낸 것이고, <사진 2>는 본 공법을 적용하여 부어넣기 한 것과 수화열 온도를 측정된 사진이다. 먼저, 매스콘크리트의 구조체 단면 높이에 따른 온도이력으로서, 부어넣기 높이 500 mm인 상부 중앙부 최고온도는 약 25.6 °C 정도로서 약 46 시간 이후에 나타났고, 이후 서서히 저하하였다.

부어넣기 높이 500 mm인 하부 중앙부 최고온도는 약 22시간 이후에 서서히 수화반응을 시작하여 73시간 이후 35.4 °C 정도 나타났다.

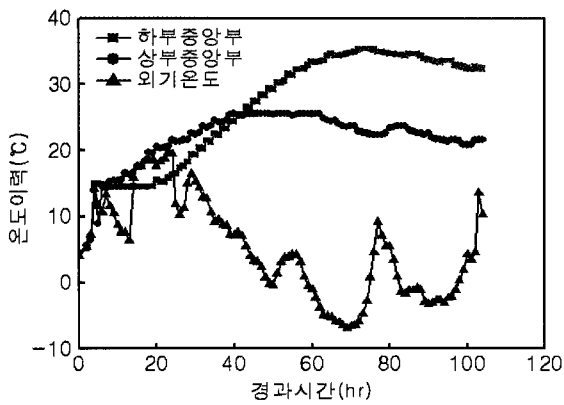


그림 7. 가오지구 하늘채 현장의 내부 수화열에 의한 온도이력

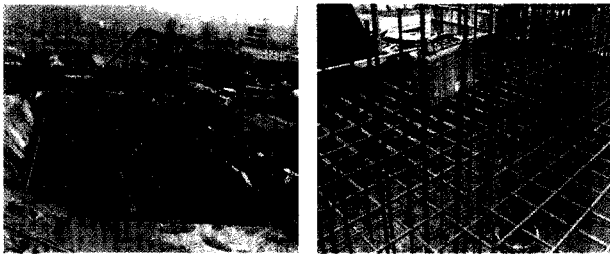


사진 2. 콘크리트 타설 및 온도 측정

**표 2. 공사 개요**

사업명	청주 사직 대원 칸타빌 아파트 신축 공사
대지위치	충북 청주시 흥덕구 사직동 808-6 번지
대지면적	38,169.00 m <sup>2</sup>
공사기간	2004년 10월 ~ 2007년 12월
주 용 도	아파트 및 부대복리시설
공사규모	아파트 11개동(지상 13~25층, 지하 2층)
건축면적	6,498.84 m <sup>2</sup>
연 면 적	122,931.00 m <sup>2</sup> (810 세대)
구 조	철근 콘크리트 벽식구조



사진 3. 사직 대원 칸타빌 아파트

## 4.2 청주 사직 대원 칸타빌 아파트 현장

### 4.2.1 공사 개요

대상 건물은 청주시 흥덕구 사직동에 위치한 현장으로서 공사개요는 <표 2>와 같고, <사진 3>은 조감도이다.

### 4.2.2 현장 실험 여건 및 실험 사항

청주 사직동 대원 칸타빌 아파트 현장의 지하구조는 높이 0.8m인 매스콘크리트 구조로 이루어져 있다. 특히, 평면이 길고 높이가 높은 매트콘크리트로 설계 되어있어, 이 경우 상하부 콘크리트 타설시간 차에 의한 상부표면의 인장균열 및 수화열에 의한 온도균열방지에 대한 검토로서 초지연체의 응결시간차를 이용한 수화열 조정공법을 도입을 고려하였다. 먼저 사직동 현장의 경우, 총 콘크리트 물량은 800 m<sup>3</sup>, 초지연 콘크리트 물량은 400 m<sup>3</sup>이었고, 초지연체 첨가량은 20시간 정도 지연되는 0.16%를 첨가하는 것으로 하였다. 콘크리트 타설 방법은 상하부 수평으로 분할하여 동시에 타설하는 것으로 계획하였는데, 먼저 하부 초지연 콘크리트를 400 mm 부어넣은 후, 상부 보통콘크리트를 400 mm를 부어넣었다. 실험 사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프 및 공기량을 측정하였으며, 경화콘크리트의 경우 온도이력 및 재령 28일에서의 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

### 4.2.3 실험 결과 및 분석

각 현장의 경우 굳지 않은 콘크리트의 실험 결과로서 슬럼프와 공기량을 측정하였는데, 전반적으로 슬럼프는 보통 및 초지연 콘크리트에서 목표 슬럼프를 모두 만족하였으며, 공기량은 보통 및 초지연 콘크리트 공히 건축공사표준시방서 규정인 4.5 ± 1.5%를 만족하는 것으로 나타났다. 경화콘크리트의 특성으로 각 레미콘사별 재령 7 및 28일에서의 압축강도를 측정하였는데, 재령 28일의 압축강도는 각 레미콘사 공히 콘크리트 종류에 따른 약간의 차이는 있지만, 주문자가 요구하는 호칭강도를 모두 만족하였으며, 초지연 콘크리트는 보통콘크리트에 비하여 약간 크게 나타났다.

### 4.2.4 온도이력 특성

<그림 8>은 청주 사직 대원 칸타빌 아파트 현장에서 구조체 단면높이 0.8m에 따른 매스 콘크리트의 내부 수화열에 의한 온도이력을 나타낸 것이고, 사진 4는 본 공법을 적용하여 초지연체를 레미콘 공장에서 첨가하는 것과 수화열 온도를 데이터 로그로 측정하는 사진이다. 먼저, 매스콘크리트의 구조체 단면높이에 따른 온도이력으로서, 부어넣기 높이 400 mm인 상부 중앙부 최고온도는 약 34.6°C 정도로서 약 39시간 이후에 나타났고, 이후 서서히 저하하였다. 부어넣기 높이 400 mm인 하부 중앙부 최고온도는 서서히 수화반응을 시작하여 65시간 이후 37.6°C 정도 나타났다.

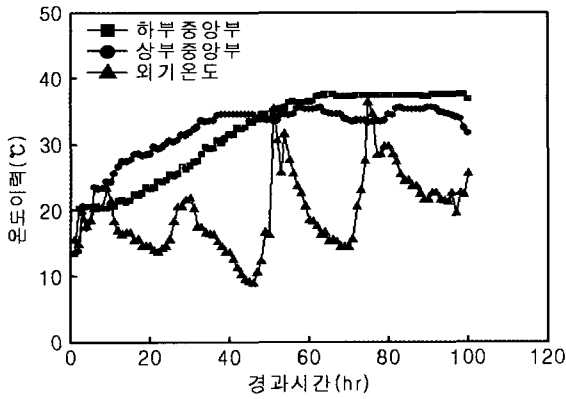


그림 8. 청주 사직 대원 칸타빌 현장의 내부 수화열에 의한 온도이력

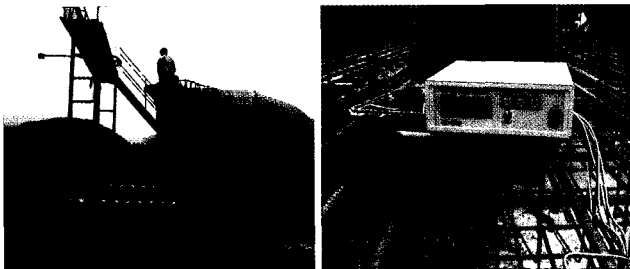


사진 4. 초지연제 투입 및 온도측정

공사명	청주 산남 대원 칸타빌 아파트 3-3 블럭 신축공사
대지위치	충북 청주시 흥덕구 산남3지구 3-3 블럭
대지면적	31,229.2 m <sup>2</sup>
공사기간	2004년 11월 ~ 2007년 4월
주 용 도	아파트 및 부대복리시설
공사규모	아파트 11개동(지하 2층, 지상11,12,14층)
건축면적	6,521.6788 m <sup>2</sup>
연면적	86,424.9678 m <sup>2</sup> (518 세대)
구조	철근콘크리트 벽식구조

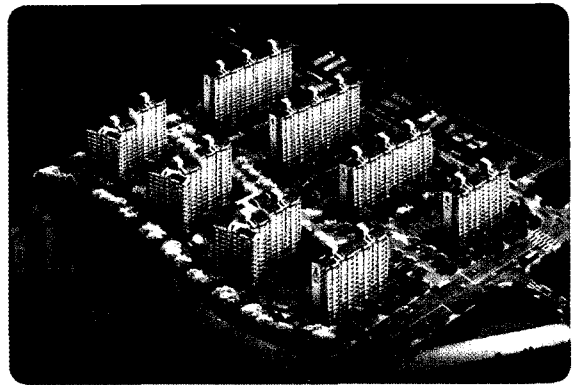


사진 5. 산남 대원 칸타빌 아파트 3-3블럭

4.3 청주 산남 대원 칸타빌 아파트 3-3블럭 현장

4.3.1 공사 개요

대상 건물은 청주시 산남 대원 칸타빌 아파트 3-3블럭 신축 공사로서 공사 개요는 <표 3>과 같고, <사진 5>는 조감도를 나타낸 것이다.

4.3.2 현장 실험 여건 및 실험 사항

청주 대원 칸타빌 아파트 3-3블럭 현장의 지하구조는 높이 0.8m이고, 콘크리트 규격 25-24-12이었다. 수화열에 의한 온도균열을 제어하고자 본 초지연제 응결시간차 공법을 도입하였다. 먼저, 산남동 3-3블럭 현장의 경우, 총 콘크리트 물량은 1400 m<sup>3</sup>, 초지연 콘크리트 물량은 600 m<sup>3</sup>이었고, 초지연제 첨가량은 20시간 정도 지연되는 0.16%를 첨가하는 것으로 하였다.

콘크리트 타설 방법은 상하부 수평으로 분할하여 동시에 타설하는 것으로 계획하였는데, 먼저 하부 초지연 콘크리트를 400 mm 부어넣은 후, 상부 보통콘크리트를 400 mm를 부어 넣었다. 실험 사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프 및 공기량을 측정하였으며, 경화 콘크리트의 경우 온도이력 및 재령 28일에서의 압축강도를 측정하는 것으로 하였다.

4.3.3 실험 결과 및 분석

각 현장의 경우 굳지 않은 콘크리트의 실험 결과로서 슬럼프와 공기량을 측정하였는데, 전반적으로 각각의 레미콘 사에 따른 차이는 있으나, 슬럼프는 보통 및 초지연 콘크리트에서 목표 슬럼프를 모두 만족하였으며, 공기량 또한 4.5±1.5%를 만족하는 것으로 나타났다. 경화 콘크리트의 특성으로 각 레미콘사별 재령 7 및 28일에서의 압축강도를 측정하였는데, 재령 28일의 압축강도는 주문자가 요구하는 호칭강도를 모두 만족하였으며, 초지연 콘크리트는 보통 콘크리트에 비하여 약간 크게 나타났다.

4.3.4 온도이력 특성

<그림 9>는 청주 산남 대원 칸타빌 아파트 3-3블럭 현장에서 구조체 단면높이 0.8m에 따른 매스콘크리트의 내부 수화열에 의한 온도이력을 나타낸 것이고, <사진 6>은 본 공법을 적용하여 초지연제를 레미콘 공장에서 첨가하는 것과 수화열 온도를 데이터 로그로 측정하는 사진이다. 먼저, 매스콘크리트의 구조체 단면높이에 따른 온도이력으로서, 부어넣기 높이 40cm인 상부 중앙부 최고온도는 약 44.6°C 정도로 약 26시간 이후에 나타났고, 이후 서서히 저하하였다. 부어넣기 높이 400 mm인 하부 중앙부 최고온도는 서서히 수화반응을 시작하여 36시간 이후 48.6°C 정도 나타났다.

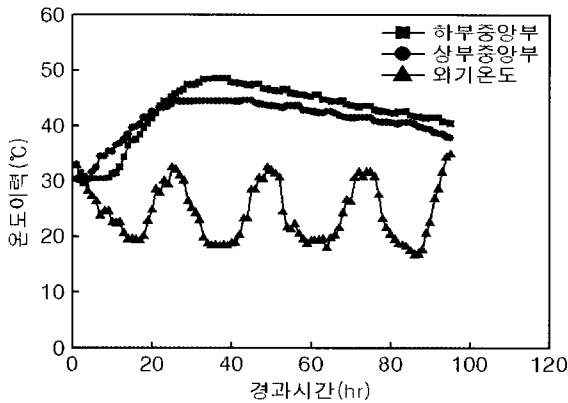


그림 9. 청주 산남동 3-3블럭 아파트 현장의 내부 수화열에 의한 온도이력

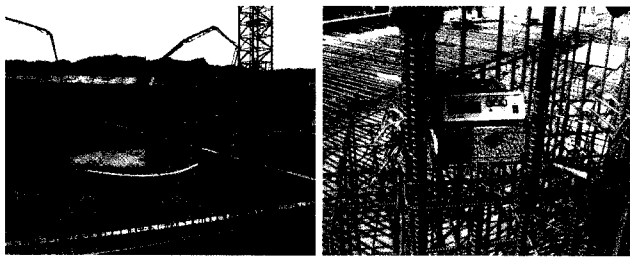


사진 6. 콘크리트 타설 및 온도측정

### 5. 초지연제 응결시간차 공법의 활용 실적

〈표 4〉는 본 신공법을 기 활용한 현장 및 현재 시공 중인 현장에 대한 활용실적을 나타낸 것이다. 아래 현장은 건물 기초

표 4. 초지연제 응결시간차 공법의 활용실적

활용년도	횟수	공사명	시공사	타설높이(m)	적용물량(m <sup>3</sup> )
2003년	1	청주대학교 새천년 종합정보관 신축공사	삼창토건(주)	0.8	2,300
	2	신수동 대원 아파트 신축공사	(주)대원건설	1	2,000
	3	삼성 홈플러스 금천점 신축공사	삼성물산(주)건설부문	1	2,000
	4	청주대학교 학생 기숙사 신축공사	삼성물산(주)건설부문	1	2,000
	5	청주 다목적 체육관 신축공사	(주)경보종합건설	0.8	700
	6	청주 용암 대림 e-편한세상 아파트 신축공사	대림산업(주)	1	5,600
	7	부천중동 대우마이벨 스위트 오피스텔 신축공사	대우차관(주)건설부문	1.5	1,500
	8	용산 한강로 메가트리움 신축공사	(주)백산건설	2	4,700
2004년	1	삼성 홈플러스 청주 가정점 신축공사	삼성물산(주)건설부문	1	1,500
	2	남양주 금호 어울림 아파트 신축공사	금호건설	1	3,000
	3	부산 양정 대원 칸타빌 멤버스 신축공사	(주)대원건설	2	10,700
	4	삼성 홈플러스 순천점 신축공사	풍림산업주식회사	1	6,900
	5	천안 안서 e-편한세상 아파트 신축공사	대림산업(주)	1	5,600
	6	현도 사회복지 대학 도서관 신축공사	두성기업(주)	1	1,100
	7	용인 동백지구 대원 칸타빌 아파트 신축공사	(주)대원건설	1	2,500
	8	분당 포스코 the # 스타파크 신축공사	포스코건설	1.1	700
2005년	1	대전 가오지구 코오롱 하늘채 아파트 신축공사	코오롱건설	1	16,000
	2	청주 사직 대원 칸타빌 아파트 신축공사	(주)대원건설	1	4,000
	3	청주 산남 영조 아름다운 나날 신축공사	영조주택	1	1,700
	4	청주 산남 대원 칸타빌 아파트 2-1블럭 신축공사	(주)대원건설	1	8,600
	5	청주 산남 대원 칸타빌 아파트 3-3블럭 신축공사	(주)대원건설	1	4,000
	6	울산 무거동 KCC 웰츠타워 신축공사	KCC건설	1.7	10,000
합계		총 22개 현장			총 적용 물량 97,100m <sup>3</sup>

### 참고문헌

1. 한천구, 한민철, 윤치환, 심보길, 유동수, “糖類系 超遲延劑 開發에 關한 基礎的 研究”, 大韓 建築學會論文集 構造系, 2001.
2. 심보길, 윤치환, 한민철, 김기철, 오신교, 한천구, “超遲延劑 를 利用한 매스 콘크리트의 水 和熱 調整에 關한 研究”, 韓國 콘크리트學會”, 學術發表論文集, 2001.
3. 한국콘크리트학회, “標準示方 書”, 한국콘크리트학회, 1999.

가 매스콘크리트로 이루어져 발주처, 시공사, 감리 등에 의하여 본 공법을 검토한 후 현장에 적용하여 수화열 저감 및 온도균열을 완벽히 제어하였다.

### 6. 결 언

초지연제의 응결시간차를 활용한 수평분할 타설 매스콘크리트의 수화열 조정공법으로 부어넣기한 현장을 대상으로 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 특성과 온도이력을 비교 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 슬럼프 및 공기량은 채취시간 별에 변동은 있었으나, 목표값 범위 이내의 양호한 품질을 나타내었다.
- 2) 경화콘크리트의 압축강도는 주문자가 요구하는 호칭강도를 모두 만족하였고, 초지연 콘크리트의 압축강도는 보통콘크리트에 비하여 약간 크게 나타났다.
- 3) 각 현장의 온도이력으로 하부 콘크리트는 모두 초지연제의 응결지연성능에 기인하여 약 20시간 정도 지연되는 것으로 나타나 초기에 발생하는 상부표면의 인장응력을 제어함으로써 수화열에 의한 온도균열을 완벽히 제어한 것으로 판단된다.
- 4) 매스콘크리트의 온도이력으로서 각 현장을 비교할 경우 단면높이, 부어넣기 시의 콘크리트 온도, 및 외기온에 따라 차이가 있는 것으로 나타났고, 육안에 의한 표면관찰 결과 수화열에 의한 온도균열은 발생되지 않았다. □