

콘크리트용 초지연제를 사용한 초대형 매트기초 매스콘크리트의 온도균열 저감공법

The Reduction Method of Thermal Crack Using Super Retarder in the Mat Foundation Mass Concrete



이재삼*
Jae-Sam Lee



김대권**
Dae-Kwon Kim



한천구***
Cheon-Goo Han

1. 서론

최근 국내 콘크리트 구조물은 협소한 부지를 효율적으로 활용하기 위하여 초고층화 되는 추세에 있다. 이렇게 건물이 초고층화가 되면 기존 중·저층 건물에 비해 상부하중이 증가하게 되고, 이것을 지지하는 기초의 크기 또한 변하게 된다. 특히 매트기초는 초고층화 됨에 따라 면적이 넓어지고 두께가 두꺼워지게 된다.

이러한 대단면 기초의 시공은 한 층의 타설 높이를 0.4 ~ 0.5 m로 하고, 각 층마다 충분히 다짐을 실시하여야 하므로 시공면적이 넓을 경우 허용이여치기 시간을 초과해 시공줄눈이 발생할 수 있으며, 콘크리트 펌프의 배치 조건, 레미콘 생산성, 최소 리프트 등에 의해 일체타설의 어려움이 생길 수 있다. 뿐만 아니라 매트 두께가 두꺼워 수화열에 따른 온도균열이 발생할 수 있으므로 이러한 시공상의 복합적인 조건들을 분석하여 이에 적합한 타설 계획을 수립하여야 한다¹⁾.

이 때, 초지연제는 환경과 특성에 따라 첨가량을 조절함으로써 콘크리트의 응결 및 경화시간을 몇 시간 혹은 수일까지 지연시킨다. 또한 그 후의 강도발현에는 악영향을 미치지 않는 혼화제로 콘크리트를 부어넣기 할 때 이음부위의 일체화 및 매스콘

크리트의 수화열 조절에 의한 균열 저감 등 다양화되는 각종 시공법에 있어 콘크리트의 품질 및 시공성 개선을 위한 한 방안으로 적용할 수 있다. 뿐만 아니라 제조된 콘크리트를 산이나 바다 등 먼 거리에 있는 구조물로의 장시간 수송하거나 예기치 못한 상황으로 인한 장시간 대기할 경우 등의 대안으로 그 활용 가능성이 기대되는 재료이다. 특히 본 내용에서는 초대형 매트구조물에 적용되어진 초지연제 콘크리트의 개념과 현장적용사례를 소개하고자 한다.

2. 초지연 콘크리트의 제조방법

초지연제는 쉽게 구할 수 있는 백설탕과 물, 증점제와 AE제 등을 특별한 비율로 조합한 것으로 일정시간 시멘트의 반응을 지연시키는 특성을 가지고 있다²⁾.

이러한 특성의 초지연제는 콘크리트의 배합과 양생환경조건에 따른 지연시간을 확인할 필요가 있어 초지연제의 혼입률을 0 ~ 0.6%, 콘크리트의 양생온도를 5 ~ 65°C까지 변화시켜 종결시간을 측정하는 실험을 실시하였다. 실제 양생온도는 65°C를 초과하는 경우가 많지 않으므로 그 이상은 제외하고, 20°C 표준온도 조건에서 다양한 초지연제량 변화에 따른 종결시간 경과와 초지연제 혼입률에 따른 종결시간의 변화를 실험하였다<그림 2, 3>. 또한 초지연제 혼입률에 따른 종결시간 결정에 관한 회귀식 및



그림 1. 현장 조감도

* 정희원, (주)렉스콘 기술연구소 소장
jslee62@doosan.com

** 두산건설(주) 해운대 두산위브 더 제니스 현장 상무

*** 정희원, 청주대학교 건축공학과 교수

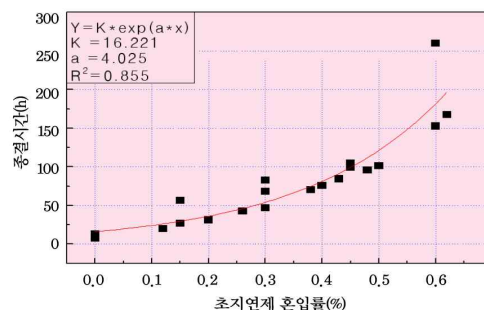


그림 2. 초지연제 혼입률에 따른 종결시간

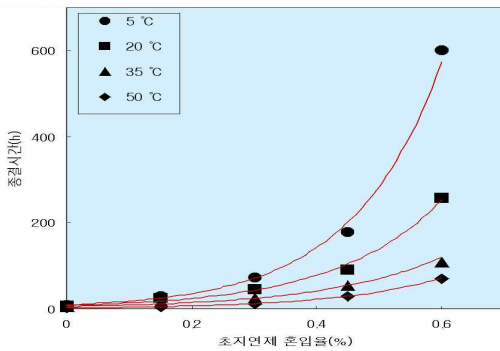


그림 3. 초지연제 혼입률에 따른 종결시간

종결시간에 상응할 수 있는 초지연제 혼입률은 다음 <표 1, 2>를 통해 종결시간 계획에 정확한 초지연제 사용량을 결정할 수 있다. 초지연제 투입 방법은 보통 콘크리트를 초지연 콘크리트로 제조하기 위한 첨가량을 배합설계 자료를 이용하여 적정량을 산출하고, 레미콘 트럭 1대의 사용량으로 결정한다<사진 1>. 이렇게 결정된 초지연제는 레미콘 트럭 1대분 사용량에 맞게 용기에 담아 투입하여 레미콘 생산설비에서 별도의 계량 장치 없이 쉽게 적용할 수 있으며, 초지연 콘크리트의 제조는 다음과 같이 제작할 수 있다<그림 4>.

- (1) 레미콘 공장에서 일반조건외의 보통 콘크리트를 제조한다. 단, 레미콘 공장은 소정의 제조방식에 따라 소요품질의 콘크리트를 제조할 수 있는 제조설비와 품질관리 능력을

표 1. 초지연제 혼입률에 따른 종결시간 추정 회귀식

| 양생온도 (°C) | 회귀식 | Y=K·exp(a·x) | | R2 |
|-----------|-----|--------------|-------|-------|
| | | K | a | |
| 5 | | 15.057 | 6.001 | 0.996 |
| 20 | | 13.317 | 4.899 | 0.991 |
| 35 | | 9.806 | 4.043 | 0.988 |
| 50 | | 7.222 | 3.592 | 0.994 |

표 2. 양생온도 및 초지연제 혼입률에 따른 종결시간

| 양생온도 (°C) | 초지연제 혼입률에 따른 종결시간(h) | | | | | | |
|-----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 % | 0.1 % | 0.2 % | 0.3 % | 0.4 % | 0.5 % | 0.6 % |
| 5 | 15 | 27 | 50 | 90 | 166 | 302 | 549 |
| 20 | 13 | 21 | 35 | 58 | 95 | 154 | 252 |
| 35 | 9 | 15 | 22 | 33 | 50 | 74 | 108 |
| 50 | 7 | 10 | 15 | 20 | 30 | 44 | 63 |



사진 1. 초지연제 계량 및 투입

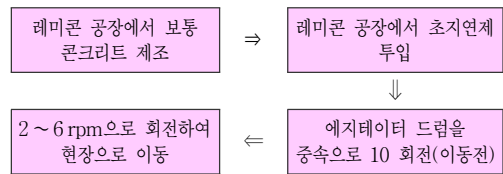


그림 4. 초지연 콘크리트의 제조단계

갖추고 있어야 한다.

- (2) 현장으로 출발 전에 레미콘 공장에서 에지테이터 트럭 후미에서 차량 1대분으로 계량하여 준비한 플라스틱 용기로 초지연제를 투입한다.
- (3) 현장으로 이동 전 에지테이터 드럼을 중속으로 10회 회전하여 혼합한다.
- (4) 초지연 콘크리트를 2~6 rpm으로 회전하여 현장으로 이동한 후 품질검사를 규정에 따라 실시하고 펌프카를 이용하여 타설한다.

3. 초지연 콘크리트를 사용한 초대형 기초매트 매스콘크리트의 온도균열 저감공법 개념

보통 콘크리트로 매스콘크리트를 시공할 경우 <그림 5-(a)>와 같이 먼저 타설된 하부의 콘크리트가 수화반응을 하고 이후에 시공되는 콘크리트가 단열제 역할을 함으로써 하부의 콘크리트는 단시간에 높은 온도를 보이게 된다. 상대적으로 늦게 타설

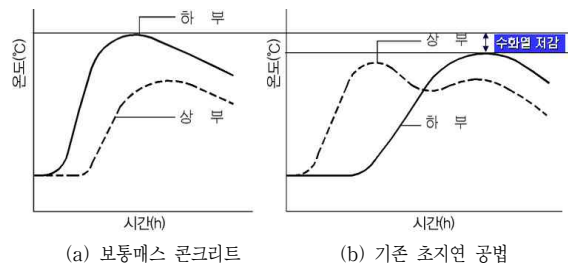


그림 5. 보통 콘크리트와 기존 초지연 공법

된 콘크리트는 외기에 접하여 방열되므로 낮은 온도에 의한 온도차가 발생하게 된다. 하지만 기존 초지연 공법은 먼저 타설된 콘크리트에 초지연제를 상당량 투입함으로써 하부의 수화반응이 표면보다 늦게 발생하도록 한다. 이 공법은 중심부 최고온도를 낮추고 수화열에 의한 온도차를 저감효과가 탁월하나 상당량의 지연제가 필요하게 된다. 하지만 수화열 해석결과나 기존 시공 사례 등에 따라 중심부의 최고온도가 안정적인 수준에 도달하거나 초지연 콘크리트의 지연시간을 후타설 보통 콘크리트와의 타설 시간 차이만큼 지연시킨다면 <그림 6-(a)>와 같이 매트기초 매스콘크리트에서 상·하타설 시간차에 의해 발생하는 내응력을 최소화시킬 수 있다³⁾. 이러한 개념으로 매스콘크리트의 온도균열 발생확률을 저감시키는 것이 본 공법의 특징이라 할 수 있다.

4. 외국 유사기술과의 비교

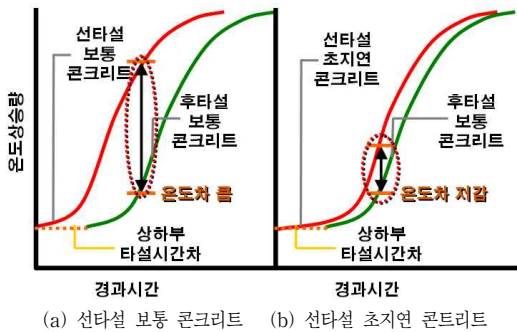
초지연제는 일본, 미국 등의 선진국과 우리나라에서도 많이 알려져 있으나 이전의 기술과는 달리 본 공법은 콘크리트의 품질변동 및 저하를 방지하고 간단한 배합의 조정으로 손쉽게 적용할 수 있다는 것이다.

특히 초지연제의 응결시간차를 활용한 매스콘크리트 수화열 조정공법은 기존 매스콘크리트의 수화열 저감 방법에 모두 활용이 가능하면서도 분할시공에 따른 접합부의 일체화가 가능하고 공기단축에 따른 경제적인 효과도 얻을 수 있는 장점이 있다.

최근 일본에서 보고된 초지연제를 이용한 수화열 저감 공법과의 특징은 <표 3>과 같다. 이와 같이 실무 적용성면에서 캡슐에 따른 인텔리전트 공법은 다소간의 장점을 보이고 있으나 경제성, 공사기간 및 품질면에서는 본 공법이 앞서고 있고, 특히 실용적 측면에서 우수한 것으로 사료된다<사진 2, 3>.

5. 현장적용 사례

적용 현장 80, 75, 70층 3개동 매트기초 매스콘크리트에 대해



(a) 선타설 보통 콘크리트 (b) 선타설 초지연 콘크리트
그림 6. 온도균열 저감공법 원리(단열상태로 가정된 경우)

표 3. 인텔리전트 공법과 본 공법의 비교

| 항목 | 인텔리전트 공법 | 본 공법 |
|--------|---|--|
| 실무 적용성 | · 층을 구분하지 않아도 되므로 품질관리가 간단함. | · 층을 구분하여야 하므로 세심한 주의가 필요 |
| 경제성 | · 캡슐 제작비 고가 | · 저렴함. |
| 공사 기간 | · 전체적으로 수화열이 조정되므로 상층부 강도가 약간 늦게 발휘되어 공기가 지연되는 경향 | · 상층부가 먼저 수화반응하고, 순차 하층부로 수화반응이 진행됨에 상층부 후속작업이 빠름. |
| 품질 | · 수화열 조정시 캡슐부 초지연제가 누출되어 부분적으로 고농도의 초지연제가 작용되는 점 · 내부 캡슐부의 공극이 콘크리트의 품질에 영향을 줄 수 있음. | · 초지연제가 하층부 전 콘크리트에 전체적으로 작용하여 품질에 문제점이 없음. |



사진 2. 초지연 콘크리트 응결상태 확인



사진 3. 타설 익일 콘크리트 응결상태

여 <표 4>와 같이 콘크리트 물량과 기초두께를 가지고 있으며, 협소한 부지 상황에 따른 콘크리트 타설장비 배치가 제한적이다 <사진 4>.

서두의 문제점과 같이 초기에 타설된 콘크리트의 발열에 의해 중층부 및 상층부에 타설되는 콘크리트의 수화반응 가속화와 콘크리트 상층부 표면이 충분한 인장강도를 확보하기 전 중·하층부 콘크리트의 팽창에 의한 표면균열의 극대화를 막고, 인근민

표 4. 매스콘크리트 기초 높이 및 콘크리트 물량

| 구분 | 층수 (층) | 지정 | 기초두께 (m) | 콘크리트 물량(m ³) |
|----------|--------|--------------|----------|--------------------------|
| 101동(2차) | 80 | Face Mapping | 3.8 | 12,200 |
| 102동(2차) | 75 | Face Mapping | 3.8 | 12,200 |
| 103동 | 70 | RCD | 3.5 | 13,000 |



사진 4. 현장타설 전경

원에 의한 야간작업 중단에 따른 선·후타설 콘크리트의 부착강도를 확보하기 위하여 본 공법을 적용하였다. 또한 본 공법 적용 전에 현장과 유사한 최소단면 두께가 4.0m인 실물대 실험을 실시하여 수화온도를 측정하고 60시간 경과사까지의 중심부와 표면부 온도차를 <그림 7>에 나타내었다. 실험은 초지연 콘크리트의 지연시간을 후타설 보통 콘크리트와의 타설 시간 차이만큼을 2단계로 구분한 경우와 4단계로 세분화한 경우 그리고 기존 보통 콘크리트로 타설한 경우 3가지로 하였다.

측정결과 1단 타설의 경우는 중심부와 표면부간 온도차가 20.2℃(24시간 경과시)로 가장 크게 나타났으며, 2단 타설의 경우는 9.6℃(36시간 경과시), 4단 타설의 경우는 7.1℃(51시간 경과시)를 보여 상기에 밝힌 적용기술의 개념이 그대로 나타난 것을 확인할 수 있었다.

실물대 실험 결과를 검토한 결과 4단 타설의 경우가 가장 우

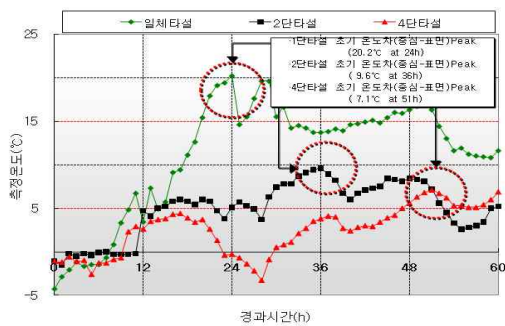


그림 7. 타설 방법 별 중심부 및 표면부 온도차(재령 60h)

수한 것으로 확인되었지만 시공편이성, 경제성 및 온도차 저감 효과를 종합적으로 고려하여 현장적용은 2단 타설로 하였다.

현장 시공 관련 사항을 살펴보면 <그림 8> 및 <그림 9>에 서와 같이 안전율과 현장상황을 고려하여 2단 타설 공법으로 1차 타설 콘크리트는 8시간 응결을 지연시킨 초지연 콘크리트를 타설하였으며, 상황에 따라 이동식 펌프카는 5~6대를 설치하도록 하였다. 또한 1차 타설종료 후 약 13시간이 경과한 시점에 1차 타설된 콘크리트의 응결경화 상태를 점검하고, 2차 타설을 실시하였다<사진 5>.

현장 적용결과 <표 5>와 <그림 10>과 같이 모두 목표 온도 균열지수 0.7 이상을 확보하였으며, 중심부 최고온도 70℃ 미만을 보여 안정적인 성능을 확보한 것으로 확인되었다.

6. 결론

콘크리트용 초지연제를 사용한 초대형 매트기초 매스콘크리트의 온도균열 저감공법의 적용원리와 제조방법을 확인하고 현장에 적용한 결과 <사진 6>을 통해 아래와 같은 결론을 얻었으며, 또 초지연제의 활용에 따른 기대효과 및 활용분야를 아래에 기술하였다.

- (1) 실물대 실험결과 신, 구 콘크리트의 온도차 저감을 위한 타설간격을 줄여주는 개념의 초지연 콘크리트 효과는 유효한 성능을 발휘하는 것으로 판단된다.
- (2) 실구조체의 온도이력 측정결과는 응결시간 지연 정도, 온도상승 경향, 최고상승온도 등에서 실물대 실험결과와 유

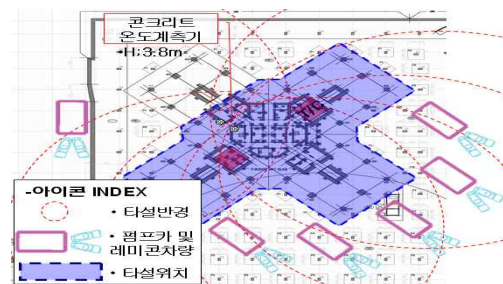


그림 8. 이동식 콘크리트 펌프배치계획(102동 2차)



그림 9. 타설높이 및 온도 계측 위치



사진 5. 현장 시공과정



사진 6. 현재 공사현장 전경(2010.12)

표 5. 응결시간차 2단공법의 현장적용결과

| 구분 | 101동 (2차) | 102동 (2차) | 103동 | |
|--------------|--------------------------|--------------|-------|-------|
| 기초두께(m) | 3.8 | 3.8 | 3.5 | |
| 타설방법 | 응결시간차 2단공법 | | | |
| 타설 1 일차 | 총타설량(m ³) | 6,000 | 6,042 | 8,629 |
| | 타설시간(h) | 10 | 11 | 15 |
| | 타설량(m ³ /h·대) | 90~100 | 85~90 | 85~95 |
| 타설 2 일차 | 총타설량(m ³) | 3,334 | 4,278 | 5,249 |
| | 타설시간(h) | 12 | 11 | 11 |
| | 타설량(m ³ /h·대) | 90~100 | 85~90 | 85~95 |
| 보양방법과 기간 | 이중버블시트 7일간 보양 | | | |
| 최고온도 도달시점(h) | 102~103 | 116~125 | 111 | |
| 온도균열 지수(Icr) | 0.71 | 0.70 | 0.71 | |

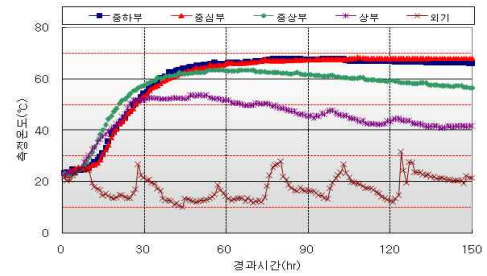


그림 10. 초지연 콘크리트의 3.8 m 매트기초 매스콘크리트의 현장 적용시 온도계측결과

사한 경향을 나타내어 현장적용시에도 제안된 방법의 효율성이 검증되었다.

- (3) 본 공법 적용 후 타설된 매스콘크리트 타설 전체 표면을 육안으로 관찰한 결과 수화열에 의한 균열은 전혀 발견되지 않아 온도균열 저감 효과가 탁월한 것으로 사료된다.

상기의 결과 외에도 초지연제는 폐기 처리될 수 있는 콘크리트를 재활용 할 수 있고, 운반시간 제약을 완화시켜 도서벽지 등 장거리 수송을 가능케 할 수 있을 것으로 기대되며, 기타 많은 용도로 활용이 가능할 것으로 사료된다.☑

참고문헌

1. 「콘크리트 표준시방서 해설」, 한국콘크리트학회, 2009.
2. 초지연 콘크리트의 응결시간차를 활용한 수평분할타설 건축기초 매스 콘크리트의 수화열 조정 공법, 건설교통부 신기술 제353호, 2002.
3. 한천구, 오선교, 윤치환, 황인성, ‘초지연제의 응결시간차에 의해 구분타설된 매스 콘크리트의 수화열 저감 효과에 관한 연구’, 대한건축학회 논문집(구조계), Vol. 19, No. 7, 2003. 7, pp. 79~86.
4. 이계삼, 응결시간차 및 저발열 배합공법을 복합한 대형 매트기초 콘크리트의 현장적용, 청주대학교 박사학위논문, 2010. 06.
5. 한천구, 이계삼, 이종서, ‘초지연 콘크리트와 수평분리타설을 활용한 매스콘크리트 매트기초의 현장적용성’, 대한건축학회 논문집, 2010. 05.
6. 박영석, 이해출, 김경민, 조창식, 임홍철, ‘초고층 건축물의 대단면 매트기초 시공사례와 분석’, 한국건축시공학회 기술논문발표회 논문집, 2010. 05.
7. 김진근, 양은익, ‘매스 콘크리트의 수화열 및 온도응력에 대한 영향요인’, 한국콘크리트학회지, Vol. 9, No. 3, 1997. 06, pp. 15~23.

담당 편집위원 : 이한승(한양대학교) ercleehs@hanyang.ac.kr