

# 콘크리트와 온도

## 1. 서론

콘크리트는 시멘트, 자갈, 모래, 혼화제 등 여러 가지 재료가 혼합되어 하나의 재료로 형성되는 건축재료이다. 따라서 혼합되기 전의 각 구성재료에 대한 물성, 콘크리트로 혼합되는 과정 및 직후의 물성, 실제로 거푸집 내에서 구조체를 형성하는 초기단계 즉, 굳지 않은 상태의 물성, 경화되는 과정의 물성, 그리고 설계에서 고려한 성능을 발휘하는 단계에서의 물성 등 각 단계별로 수많은 재료시험과 검토가 레미콘 공장, 건설공사 현장, 실험실 등에서 수행되고 있다.

콘크리트공사 과정에서 여러 가지의 시험과 검사가 건설현장에서 수행되고 있으며 특히, 요즈음과 같이 사용자의 관심이 높은 상태에서는 규정에 의한 검사와 시험은 건설기술인들이 지켜야 할 필수사항이라 할 수 있다. 그리고, 일반적으로 추구하고 있는 고품질시공을 위해서는 한층 더 중요한 항목이 된다.

콘크리트 공사에 대해 건설현장에서 접하게 되는 여러 가지 고려사항 중에서 본 내용에서는 온도에 관련된 고려사항을 중심으로 기술하였다. 일반적으로 굳지 않은 콘크리트는 온도에 따라 다른 성질을 보여주며 굳은 콘크리트도 모든 재료가 그러하듯이 온도신축현상을 보인다. 더구나 굳지 않은 콘크리트는 굳어가는 과정에서 수화열이라는 발열현상을 나타낸다.

이러한 사항을 고려하여 본 고에서는 크게 수화열, 동절기 콘크리트 공사, 하절기 콘크리트 공사에 관련한 내용을 실제 시공상황과 함께 온도에 관련하여 기술하였다.

## 2. 콘크리트의 수화열

콘크리트의 기본 구성 재료인 시멘트는 활성상태(외부 조건(물)에 대한 반응성 상태)로 존재하기 위해 1450~1500°C의 고온으로 소성하여 제조되고 대략 시멘트 클링커 1g 당 450cal의 열에너지를 가지게 된다. 이러한 잠재 열에너지는 시멘트가 물과 만나 반응(수화반응)을

하는 과정에서 안정상태로 변이하면서 방출되며 이 때 발생하는 콘크리트의 열을 일반적으로 수화열(hydration heat)이라 한다.

수화열에 의한 문제점은 일반적으로 발생하는 열 자체보다는 콘크리트 내외부간의 온도차이, 온도변형에 대한 구속(억제)에서 주로 발생하며 수화반응이 높은 양생 초기단계에서 균열 등의 형태로 콘크리트 내부, 외부에 존재하게 된다.

### 2.1 검토 대상

수화열 검토의 발단은 주로 매스콘크리트가 사용될 경우이다. 구조물의 고층, 대형화 및 설계하중의 상태에 따라 부재치수가 특별히 큰 부재가 발생하는데 이 부분에 사용된 콘크리트를 매스 콘크리트라 지칭한다.

매스 콘크리트로 취급되는 구조물의 치수는 구조형식, 사용재료, 시공조건에 따라 다르므로 일반적으로 정하기는 어렵지만, 콘크리트 표준시방서(1999)에 따르면 대체로 넓이가 넓은 판(슬래브)의 경우 두께가 80cm 이상, 하단이 구속된 벽의 경우 두께가 50cm 이상으로 규정하고 있다.

이러한 문제는 고층, 대형 구조물 설계에서 기초, 기둥, 벽체, Transfer Girder, 대형보 등에서 흔히 발생하고 시공자는 철저한 사전준비와 대응책을 바탕으로 접근해야 하며 필요할 경우 계측관리가 요망된다. 본 내용에서는 계측방법과 대응책을 중심으로 기술하였으며 대응방법에서는 실제 적용사례를 예로 들었다.

### 2.2 계측방법

#### 2.2.1 사전검토

수화열 계측은 주로 온도에 대한 계측이며 필요시 온도응력의 상태를 확인하기 위하여 응력계를 사용하기도 하며 대체로 시공전후로 계측을 수행함이 바람직하다.

첫째로는 시공전에 샘플을 별도로 제작하고 이에 대한 수화열 계측을 하여 실제 구조물에서 콘크리트가 발생하게 될 수화열을 미리 예측한다. 이 경우 온도해석기법을 동원하면 샘플의 크기에 크게 관계없이 실제구조물에 발생할 온도를 예측할 수 있으나 이것이 어렵다면

이세웅 쌍용건설 기술연구소 소장  
장동운 쌍용건설 기술연구소 선임연구원  
삼지훈 쌍용건설 기술연구소 주임연구원

실제 구조물이나 시공과정을 고려하여 적절한 샘플의 크기를 설정해야 한다.

둘째로, 실제 시공되는 구조물에서 수화열을 계측한다. 특히, 시공전 별도의 시험없이 온도해석에만 의존한 경우라면 시공자는 품질관리의 목적을 위해서라도 온도계측을 수행하여 온도균열에 대비하는 것이 바람직하다.

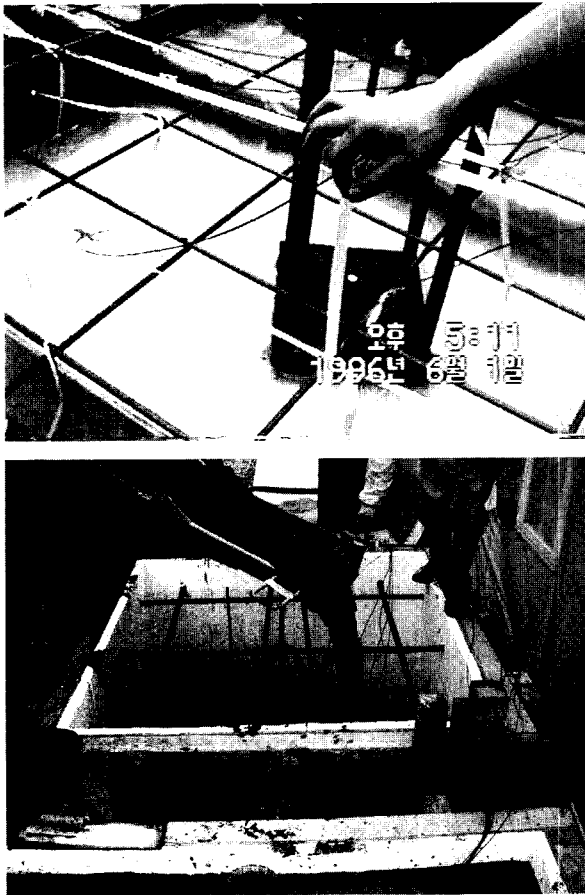


사진 1. 샘플 구조물 수화열 측정

### 2.2.2 계측준비

수화열 계측장비, 온도센서 등 장비에 대한 계획과 샘플 시공이 포함되는 경우엔 부재의 제작관련 내용, 센서의 설치위치, 센서 설치방법, 계측기간 등 충분한 사전계획이 필요하다. 참고로 실제 적용한 예를 들면 다음과 같다.

표 1. 계측 계획예

|      |                             |
|------|-----------------------------|
| 계측장비 | UCAM-70A                    |
| 온도센서 | 열전대 T 형                     |
| 샘플부재 | 1,200 1,200 1,200 (mm)      |
| 계측위치 | 중심2개, 중앙4개, 상하표면부4개, 외부온도1개 |
| 계측기간 | 10 일                        |

### 2.2.3 온도센서

수화열 온도계측센서는 콘크리트에 묻히기 때문에 접촉속도를 채택하게 된다. 국내에서는 주로 열전대 T, K 형을 사용하는데 실용온도계의 종류와 특징을 살펴보면 다음과 같다.

표 2. 실용온도계의 종류와 특징

| 종 류   | 범위(℃)        | 응답           | 기록  | 비용 |    |
|-------|--------------|--------------|-----|----|----|
| 유리    | -50 ~ +650   | 보통           | 부적합 | 저렴 |    |
| 바이메탈식 | -50 ~ +650   | 느림           | 적합  | 저렴 |    |
| 액체충만식 | -50 ~ +650   | 보통           | 적합  | 저렴 |    |
| 증기압식  | -50 ~ +650   | 보통           | 적합  | 저렴 |    |
| 백금저항  | -50 ~ +650   | 보통           | 적합  | 고가 |    |
| 서머스텝  | -50 ~ +650   | 빠름           | 적합  | 보통 |    |
| 열전대   | R (PR)       | -200 ~ +1200 | 빠름  | 적합 | 고가 |
|       | K (CA)       | -200 ~ +1200 |     |    | 보통 |
|       | E (CRC)      | -200 ~ +1200 |     |    |    |
|       | J (IC)       | -200 ~ +1200 |     |    |    |
|       | T (CC)       | -200 ~ +1200 |     |    |    |
| 광온도계  | -200 ~ +1200 | -            | 부적합 | 보통 |    |
| 광전방사  | -200 ~ +1200 | 빠름           | 적합  | 고가 |    |
| 전방사   | -200 ~ +1200 | 보통           | 적합  | 고가 |    |
| 2색    | -200 ~ +1200 | 빠름           | 적합  | 고가 |    |

표 3. 열전대의 특징.

| 장 점  | 단 점   |
|--|---|
| 1. 작은 곳 온도추정가능<br>2. 지연이 적게 가능함.<br>3. 진동,충격에 견고함.<br>4. 온도차 측정에 편리. | 1. 기준접점이 필요.<br>2. 기준접점,보상도선에 대한 오차 고려.<br>3. 보정에 주의. |

주로 쓰이는 열전대 K, T 형의 내용을 개략적으로 살펴보면 다음과 같다

① K 열전대

1960년에 호스킨스에서 개발된 비금속 열전대로 니켈을 주로 하는 합금을 사용하고 내열성, 내식성이 우수하고 온도 직선성이 양호하여 많이 쓰이고 있으나 고온영역에서 다소의 문제가 있는 것으로 나타나 유의해야 한다.

② T 열전대

+각에 구리, -각에 동-니켈 합금을 사용한 것이며 CC 열전대, 동/콘스탄탄 열전대라고도 한다. 저렴하고 가공성, 열전기력특성이 양호하여 저온영역대에서 널리 사용되고 있다. 그러나, 상용온도한계가 낮고 전기저항차와 열전도 오차, 지연 등의 문제가 발생하기 쉽다.

2.3 수화열 저감방법

수화열을 계측하고 나면 향후 대책이나 방안에 대한 재검토가 필요한데 주로 수화열로 인한 문제점을 해결하는 방법들은 대체로 다음과 같으며 경우에 따라 적절한 방안을 모색한다. 이 중 수화열이 발생하는 기본적인 요인이 시멘트이므로 시멘트를 저발열형으로 배합조정하는 것이 대체로 바람직한 방법이다. 최적조건을 선택하더라도 시공시의 오차나 품질관리를 위해 시공중 수화열관리도 중요한 절차이다.

2.3.1 시멘트량과 단위수량의 감소

(1) 시멘트의 사용량 감소 및 저발열 시멘트의 사용(2종-중용열, 4종-저열)

시멘트계열의 혼화제(플라이 애쉬, 고로 슬래그)를 대체하여 사용한다. 동일한 시멘트량을 사용할 경우에는 시멘트의 종류에 따라 최대단열온도 상승량은 큰 차이가 없지만 반응속도면에서 차이가 있어 최대온도에 이르는 시차가 있다.(표4. 참조) 시멘트량을 줄이기 위해 콘크리트의 설계기준강도를 하향 조절하는 것도 고려한다.

이 중 국내에서 개발한 저열 시멘트의 경우 토목구조물인 LNG 지하저장탱크의 지중연속벽, 지하철6호선 공사 일부구간 등 토목공사에서는 적용한 사례가 있다.

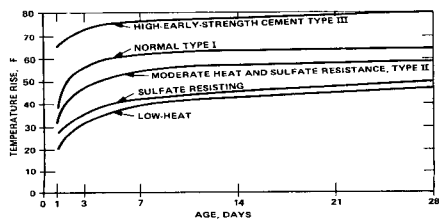


그림 1. 완전단열시의 콘크리트의 온도상승. 시멘트량 223kg/m³

표4. 시멘트, 혼화제의 적용에 따른 수화온도상승량 (부재단면 1.0 ~ 1.5m)

| 시멘트, 혼화제 명     | 발열량 (cal/g), 28일 | 시멘트증가(시멘트 100kg 증가시)에 따른 수화온도상승 (°C), 콘크리트 1m³당 |
|----------------|------------------|---|
| 보통포틀랜드 시멘트(노출) | 95 ~ 100         | 11 ~ 13   |
| 보통포틀랜드 시멘트(단열) | 95 ~ 100         | 11.5 ~ 13.5                                     |
| 2종 중용열 시멘트     | -                | 8 ~ 11  |
| 5종 내황산염 시멘트    | 85 ~ 90          | 8 ~ 11  |
| 저열 시멘트         | 70 ~ 75          | 6 ~ 7   |
| 플라이 애쉬 20% 대체  | -                | 9 ~ 11  |
| 플라이 애쉬 30% 대체  | -                | 7 ~ 9, 대체율은 35%이하로 한다.                          |
| 고로 슬래그 30% 대체  | -                | 10 내외   |
| 고로 슬래그 50% 대체  | -                | 6 ~ 8, 대체율은 70%이하로 한다.                          |

(2) 단위수량의 감소

단위수량의 감소를 위해서는 적절한 혼화제의 사용, 슬럼프의 저감, 조골재 최대치수의 증대, 세골재율의 감소 등의 방법을 활용한다.

(3) 해외건축현장 적용사례

현대건설과 공동으로 건설한 싱가포르의 SUNTEC City 45층 사무실 빌딩은 현관천정을 높이 처리하기 위해 5층 높이까지는 빈공간으로 처리되어 있어 5층 높이에서 너비 2m, 높이 9.8m, 전체길이 90m (자체중량 3600톤)의 RC Transfer Girder가 설치되어 있다. 5층 높이에서의 초중량물을 지지하기 위한 가설, 수화열 제어, 고강도 콘크리트 등의 문제가 있었다. 이 때 사용 콘크리트의 조건은 압축강도(550kgf/cm², 56일), 단위시멘트량(360 kgf/cm³), 최대온도차이(27.7°C)여서 고강도 저수화열 콘크리트를 요구하는 상태였다.

콘크리트는 현지 레미콘공장, 시멘트공장과 협의하고 얼음물을 사용하는 등의 방법을 동원하여 결정된 배합비 중 저열형시멘트를 이용한 배합비는 위와 같으며 크기는 2m x 4.9m로 2단계로 나누어 분리타설하였다.

콘크리트 온도변화의 확인을 위해 온도계이지를 부위

| 시멘트*<br>(C, kg) | 실리카퓌<br>(SF, kg) | 물<br>(W, kg) | 굵은 골재<br>(G, kg) | 모래<br>(S, kg) | 혼화제1**<br>(ml/100kg) | 혼화제2**<br>(ml/100kg) | 슬럼프<br>(cm) |
|-----------------|------------------|--------------|------------------|---------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 350             | 15               | 140          | 1030             | 840           | 350                  | 1200                 | 20          |
| 320             | 30               | 140          | 1040             | 840           | 350                  | 1200                 | 20          |

\* 시멘트 : PBFC-B (Portland Blast Furnace Cement, 고로시멘트)  
 \*\* 혼화제1,2 : Pozzolith 300N, Rheobuild 1000 (고성능 감수제)

별로 32개소에 설치하고 계측을 실시한 결과 최대온도는 62 ~ 69.2℃ 였고 최대온도차는 28.4℃로 나타나 사전조건을 약간 상회하는 양호한 결과를 보였다.

판단되어 적용한 결과 현재까지도 양호한 상태를 보이고 있다.

### 2.3.2 혼화제(Cheical Admixture)의 사용

- ① 감수제 또는 유동화제 : 동일한 품질을 유지하면서도 단위수량을 줄일 수 있어 수화열 저감에 도움이 된다.
- ② 응결 지연제 : 콘크리트의 응결시간을 조절하여 조기에 다량의 수화열이 발생하는 것을 방지할 수 있다.
- ③ 적용사례

신축중인 월드컵 경기장의 MAST 하부 매스 콘크리트가 수화열의 영향으로 인한 문제점이 발생할 수 있는 것으로 예상되어(최소단면:1.2m) 일반배합, 저열배합의 2가지 종류의 콘크리트를 적용한 Mock-up 시험체를 제작, 수화열 측정을 하여 콘크리트의 수화열 특성을 확인하였다. 해당부위의 콘크리트부재의 크기를 고려하여 1500×1500×1200 의 시험체를 제작하고 다음 배합비로 제작된 콘크리트를 적용하였다.

시험결과, 저열배합의 경우 최대온도가 65℃정도이고 최대온도차이가 20℃내외이므로 큰 부리가 없을 것으로

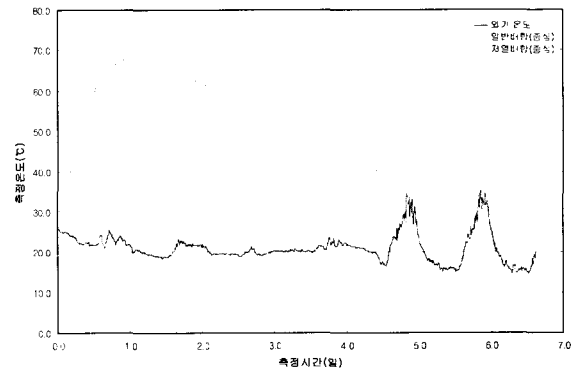


그림 2. 시간에 따른 최대온도 변화

### 2.3.3 타설온도의 조절

현장에서 콘크리트를 배치 플랜트로 제조할 경우엔 다음과 같은 방법으로 콘크리트 자체의 타설온도를 줄이는 방법을 활용한다. 그러나, 도심지 공사에는 보통 레미콘을 이용하는 경우가 대부분이므로 중요 부재의 콘크리트 타설에는 레미콘 공장과 미리 협의할 필요가

#### ① 일반배합 콘크리트 ( 25 - 270 - 18 )

| 항목 | 골재 | 슬럼프 | 공기량 | W/C  | S/A  | 단위재료량 ( kg/m3) |     |     |     |      |     |
|----|----|-----|-----|------|------|----------------|-----|-----|-----|------|-----|
|    |    |     |     | (%)  | (%)  | W              | C   | S   | G25 | A1   | A2  |
| 시방 | 25 | 18  | 4.5 | 43.0 | 46.0 | 180            | 419 | 770 | 918 | 1.26 | 0.0 |
| 현장 | 25 | 18  | 4.5 | 43.0 | 46.0 | 131            | 419 | 843 | 894 | 1.26 | 0.0 |

#### ② \*저열배합 콘크리트 ( 25 - 270 - 18 )

| 항목 | 골재 | 슬럼프 | 공기량 | W/C  | S/A  | 단위재료량 ( kg/m3) |     |     |     |     |     |
|----|----|-----|-----|------|------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|    |    |     |     | (%)  | (%)  | W              | C   | S   | G25 | A1  | A2  |
| 시방 | 25 | 18  | 4.5 | 45.2 | 44.8 | 165            | 365 | 795 | 978 | 7.7 | 91g |
| 현장 | 25 | 18  | 4.5 | 45.2 | 44.8 | 124            | 365 | 859 | 955 | 7.7 | 91g |

\* 여기서의 저열배합 콘크리트는 고성능 AE감수제를 사용하여 단위시멘트량, 단위수량을 줄이면서도 동일한 성능의 콘크리트를 제조한 것이다. 수화열에 영향을 주는 단위시멘트량을 줄여 수화열 저감효과를 유도한 콘크리트이다.

표 5. 콘크리트 온도변화를 위한 영향인자 및 조절방법

| 영향인자 | 콘크리트 온도 10C 변화를 위한 영향인자 조절 | 조절 방법   |
|------|----------------------------|---|
| 골재   | 2°C                        | 직사광선을 피하고 냉각수 살수<br>냉각수 살수와 더불어 습윤저장하면 5 ~ 6 oC 감소                                  |
| 배합수  | 4°C                        | 물탱크, 수송관의 직사광선 방지처리, 지하수 사용<br>깁 얼음의 사용 (모두 녹은 후 타설)                                |
| 시멘트  | 8°C                        | 생산후 2 ~ 3일 저장하여 식힌 후 사용   |
| 레미콘  | -                          | 현재 도심공사 대부분을 레미콘으로 운반하고 있으며<br>운반중 콘크리트 온도의 상승 우려가 있다.<br>레미콘 차를 단열처리하는 것도 효과적인 방법임 |

있다. 매스 콘크리트의 경우 타설되는 시점의 콘크리트의 온도는 보통 15 ~ 16 °C 이하로 하는 것이 바람직하다. 콘크리트는 날씨와 대기온에 많은 영향을 받으므로 하절기의 콘크리트 타설시에는 특히 주의하여 기온이 높은 시간대의 타설을 피한다. 그러나, 골재를 식히는 방법은 해당 레미콘 공장에서 별도의 설비나 여유공간이 필요하여 일반적으로 쉽지 않으므로 사전 확인이 필요하다.

**2.3.4 온도팽창계수가 낮은 골재, 경량골재의 사용**

보통 콘크리트에서 콘크리트 구성성분 중 골재가 차지하는 비율이 70% 정도이므로 콘크리트의 온도팽창계수는 골재의 온도팽창계수에 큰 영향을 받는다. 따라서, 온도팽창이 적은 골재를 사용하면 수화열에 의한 균열문제를 해결할 수 있다. 국내에서는 경량골재를 이용한 경량콘크리트가 구조부재보다는 단열, 방음 등 비구조용 콘크리트로 사용되고 있으므로 매스콘크리트에 활용될 가능성이 낮다.

그러나 건물의 고층화, 대형화 추세로 구조물의 경량화에 대한 요구가 계속 발생되고 있으며 현시점엔 구조용 경량골재의 적용이 적은 편이지만 향후 사용증가가 기대된다. 경량골재는 크게 천연골재와 인공골재로 나뉘는데 보통 인공경량골재인 팽창고로슬래그, 퍼라이트(perlite), 발포 폴리스티렌 골재 등을 사용한다.

**2.3.5 섬유 보강재(fiber reinforced materials)의 사용**

섬유 보강재(강섬유, 유리섬유)가 어느 정도 수화열에 의한 영향의 억제에 효과가 있다. 그러나, 레미콘 제작시에 일반적인 레미콘 제조방법으로는 균질한 배합(mixing)을 얻기 힘들고 그 결과 콘크리트 내의 섬유가 제대로 분산되기 어려워 타설중에 섬유 뭉치(fiber ball)

가 형성되어 펌프카의 관을 막게 하는 경우가 발생하기 쉽다. 섬유 뭉치의 발생이 많을 경우엔 섬유 사용을 금지한다.

**2.3.6 거푸집 재료 및 양생**

특히 중요하다고 판단될 경우 거푸집의 재료를 바꾸는 것도 한 방법이다. 일반적인 부재의 경우엔 온도상승을 적게 하기 위해서는 방열성이 높은 거푸집이 좋으나 콘크리트 표면에서 온도차가 커지므로 중요하거나 대형인 부재에는 보온성이 좋은 거푸집을 사용하여 최대온도에 이르는 시간을 지연하는 것이 오히려 바람직하다. 수화열관리를 하는 콘크리트 부재에 대해서는 거푸집 존치시간을 보통때보다 길게(1.5배 내외) 하는 것을 원칙으로 하고 탈형 후에도 표면의 급랭을 방지하기 위해 보온재(부직포) 등으로 일정기간 보온한다.

**2.3.7 온도균열에 저항할 수 있는 온도철근의 적절한 배치**

일반적으로 콘크리트는 온도 뿐 아니라 건조수축, creep 등에 의해 균열이 발생할 수 있다. 철근으로 균열을 제어하는 방법은 같은 양의 철근이라도 직경이 작은 철근을 다량 사용하는 것이 유효하다는 것을 염두에 둔다.

**2.3.8 콘크리트의 분리타설**

부재의 최소 단면이 2m 이상인 중요부재의 경우 한번에 타설하지 않고 적정 크기별로 나누어 타설하는 것도 바람직한 방법이다. 이 경우엔 1차 타설 후 콘크리트의 수화열이 어느 정도 감소된 후 다시 타설해야 하므로 5 ~ 7일 정도 양생한 후 2차 타설해야 한다. 여러 번 나누어 타설하면 공기가 상당히 늘어나므로 이에 주의하고 1회 타설가능량도 미리 예측하여 공정 및 타설 계획에 문제가 없도록 한다. 또한, 역학적으로 분리타설

된 수평면에서 전단흐름(shear flow)현상이 발생할 수 있으므로 수직철근으로 적절히 보강한다.

2.3.9 파이프 쿨링

(1) 일반

일반적으로 콘크리트가 타설된 후에는 발생하는 수화열에 대해 대응하기가 쉽지 않은데 파이프 쿨링법은 미리 냉각관을 콘크리트 부재내에 설치해두고 콘크리트가 타설된 후 냉각수를 이용하여 수화열을 강제로 저감하는 적극적인 방법이다.

냉각관의 크기와 단면내에서의 위치, 간격 등을 고려하기 위해 사전에 부재크기와 사용 콘크리트의 물성을 고려한 해석이 필요하다. 대체로 내부온도가 20~30℃ 정도까지 냉각을 목표로 2~4주 정도로 실시하고 냉각관은 외경 25mm 내외, 냉각수 순환율은 15~17 l/분 정도로 한다.

(2) 적용사례

교회 신축현장에서 폭2.4m, 높이 1.7m, 길이 30m의 PT보(Post Tensioning Beam, 콘크리트강도 300kgf/cm<sup>2</sup>)가 있어 이에 대해 파이프 쿨링을 적용하게 되었다.

파이프쿨링 온도해석은 연구기관의 도움을 받아 온도 측정과 함께 다음 그림과 같은 단면으로 시공하였으며 부가적으로 측면에 단열 스티로폴 설치(50mm), 상부에는 보양포를 덮어 외기를 차단하였다.

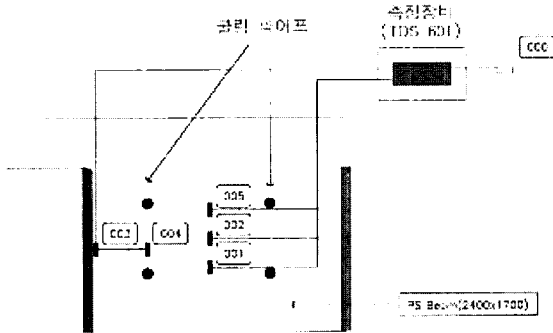


그림3. PT보 단면 및 쿨링 파이프/온도계이지 설치 위치도

그 결과 콘크리트 타설후 약 120시간 정도 시점에서 최대온도 72℃, 내외부 온도차가 12℃가 되었으며 상당 기간 동안 관찰결과 균열은 확인되지 않았다. 참고로 2주동안 냉각수가 최고50℃정도의 온수로 유출되었으며 쿨링 파이프는 시멘트 페이스트로 그라우팅을 실시했다.

2.3.10 시공중의 대응방법

매스콘크리트에 사용되는 콘크리트는 대량으로 연속타

설되고 물성이 슬럼프가 작고 시멘트량이 적은 경우가 많으므로 시공에 주의한다. 콘크리트 타설중에 일반적으로 주의할 사항과 문제해결방법은 표6과 같다.

이러한 이론적 배경과 경험치를 바탕으로 콘크리트의 수화열에 영향을 받을 수 있는 부재에 대한 온도 제한치로 최소한 대략 다음과 같은 기준이 성립될 수 있다.

콘크리트 내부 최대온도 : 70 ℃ 이하

콘크리트 내외부간 최대온도차 : 30 ℃ 이하

콘크리트 타설 및 양생중의 표면부 대기 온도 : 최대 온도 30 ℃ 이하

표 6. 시공중의 문제점과 대응방법

| 문제점        | 원 인                                | 대 응 방 법  |
|------------|------------------------------------|--|
| Cold Joint | 기온이 높은 경우 무계획적인 타설 (넓은 지역)         | 타설전에 콘크리트 타설계획을 수립하여 콘크리트가 연속타설되게 한다. 특히 이어치기 허용 시간 준수                   |
| 재료 분리      | 콘크리트 배합의 문제 기온이 낮은 경우 부재의 두께가 큰 경우 | 콘크리트의 상태를 살핀 후 재다짐을 한다. 콘크리트의 선정시에 콘크리트가 어느정도 점성을 갖도록 하고 타설시 타설높이를 준수한다. |
| 표면 건조      | 콘크리트 내부온도 상승                       | 충분히 습윤양생한다.  |

3. 동절기 콘크리트

3.1 동절기 콘크리트의 특징

일반적으로 국내의 경우 12월~2월이 동절기에 해당하며 현장여건에 따라 발주처나 감독관의 요구로 일시 주요공사진행을 중단하기도 한다. 그러나, 공사기간이나 각 현장의 특수여건에 따라 공사가 계속 진행되고 있으며 동절기의 낮은 온도에 대한 철저한 사전준비와 대책이 구비되면 심각한 문제점은 없다고 본다.

특히 콘크리트는 낮은 온도에서는 양생이 지연되거나 동결할 수 있으므로 온도의 영향에 대해 좀 더 유의해서 대처하도록 한다. 다음은 일반적인 동절기 콘크리트 공사의 대처사항이며 소홀히 할 경우 균열 등의 2차적인 문제가 아니라 설계에서 요구하는 콘크리트 자체의 강도가 크게 부족하게 되는 결과를 도래하게 된다.

3.2 초기 동해의 방지

(1) 개념

동절기 콘크리트 시공시 가장 주의해야 할 항목이라

표 7. 동절기 콘크리트의 주요 특징

| 항 목          | 내 용  |
|--------------|--|
| 적용범위         | ① 일일 평균기온이 4℃이하로 예상될 때<br>② 3일간 연속해서 * 일일 평균기온이 5℃이하일 때<br>* 하루 중 12시간의 평균기온이 10℃이하일 때   |
| 적용목적         | 초기 동해를 방지하면 지속적으로 강도가 발현 가능<br>시공, 탈형 등에 필요한 최소강도를 유지<br>급격한 온도변화의 제한 (온도차이에 의한 균열방지)<br>구조물의 사용성, 내구성 보장  |
| 적용원칙         | 50kg/cm <sup>2</sup> 이상의 강도를 발휘하면 지속적으로 강도 발휘 가능<br>조기에 강도를 발현시킬 필요가 있을 때 10℃이상을 유지한다.<br>방풍시설과 열풍기를 사용하면 수분공급이 필요하다.<br>염화칼슘은 사용하지 않는다.   |
| 사전준비         | 철근, 거푸집의 눈, 얼음을 제거하고 다시 생기지 않도록 한다.(철근과의 부착력이 저하됨)<br>타설전 콘크리트 온도는 표8의 ‘타설전의 콘크리트 온도’ 참조<br>철물 단면적이 6.5cm <sup>2</sup> 이상이면, 콘크리트 온도를 13℃이상으로 한다.<br>삽입용 철물이 크면(D29이상의 철근, 강관충진 콘크리트 기둥 등) 국부적으로 온도가 감소됨.<br>동결된 지반위에는 콘크리트 타설, 거푸집 설치를 하지 않는다. (침하방지) |
| 사용재료<br>조치사항 | AE콘크리트를 사용하는 것을 원칙으로 한다. (내동결성 증가)<br>슬럼프를 10이하로 한다. (수분함량 감소)<br>골재는 동결되어 있거나 빙설이 혼합되어 있지 않아야 한다.<br>골재를 가열할 경우에는 물과 골재(조골재,세골재)만을 가열한다.  |

고 본다. 초기동해는 초기 양생 기간(압축강도가 50kgf/cm<sup>2</sup>가 되기까지의 기간)에 콘크리트가 동결하는 피해를 입었을 경우라고 정의할 수 있다. 즉, 콘크리트가 외적 피해에 저항할 수 있는 자체의 성능이 갖추어지기 전에 동결이라는 피해를 입은 상태이며 수화가 중단되고 따라서 경화가 중지된 상태이다.

콘크리트 시방서(1996, 콘크리트표준시방서, 건설교통부제정)에 의하면 초기동해를 입은 콘크리트는 그 후 적절한 양생을 실시해도 강도를 회복하는 일이 없으며, 내구성, 수밀성 등이 몹시 저하된다고 설명이 되어 있다. 이는 공사도중의 마감 등에도 영향을 주겠지만 내려져 하로 건물 사용중 균열, 누수의 발생이 명백하므로 철거 등의 조치가 필요해진다. 그러나, 타설 후 시간이 상당히 경과하였거나 여건상 철거가 곤란할 경우엔 콘크리트의 상태를 주기적으로 조사하고 나서 추후조치를 취할 필요가 있다. 초기동해를 입은 경우에도 곧이어 보온, 방풍양생조치를 확실히 하여 콘크리트의 성능을 어느 정도 회복하는 것은 가능하지만 즉시 판단은 어렵다.

(2) 실제 사례

1995년 12월 모 현장에서 초기동해현상이 발생했다. 새벽까지 콘크리트를 타설하던 중 작업이 완료되는 시점에서 갑자기 대기온이 영하로 떨어지면서 동결이 시작되었다. 5일 정도 경과시점에서 시편을 채취하여 조건이 양호한 시험실에 보관후 45일정도 지난 시점에서 얻은 결과이다.

| 재 령 (day)                   | 45        | 45        | 정상 콘크리트 수치      |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------------|
| 추정강도 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 76.5      | 80.2      | 210             |
| 전자현미경                       | 다소 Porous | 다소 Porous | -               |
| 기공율                         | 0.1176    | 0.1158    | 0.1198 ~ 0.1522 |

시험결과 압축강도 추정치는 설계기준강도의 50% 이하였으며 전자현미경(SEM) 관찰에서는 일반 정상적인 콘크리트에 비해 수화조직이 공극이 많은 상태였다. 즉, 이러한 결과는 초기동해를 극심하게 입은 콘크리트

는 양호한 조건으로 환경이 복구되어도 정상적으로 회복되지 않는다는 것이다.

(3) 대응책

다음은 일반적인 대응책이며 각 현장에서 적용가능한 최대한의 방법을 동원한다. 레미콘 공장의 콘크리트 출하상태를 확인해 보는 것도 좋은 방법이다.

①콘크리트 타설 즉시 보온조치를 취한다.

②타설전의 콘크리트 온도는 표8의 '타설전의 콘크리트 온도'을 참조한다.

③보온양생 기간은 표9의 기간 이상으로 한다.

④시멘트량이 적을 경우에는 보온양생기간을 더 길게 한다.

⑤콘크리트의 강도는 표10의 소요압축강도를 얻을 때까지 충분히 양생한다.

3.3 양생

양생은 모든 콘크리트 공사에서 일반적인 개념이지만 동절기 콘크리트 공사에서는 특히 다음과 같은 점을 유의한다.

①방풍시설을 철저히 한다. (바람은 온도를 강하시키고, 수분을 건조 시킨다.)

②슬래브나 벽체의 모서리나 단부는 3중으로 단열한다.

③열풍양생시에는 거푸집을 제거하지 않는다.(표면의 수분이 건조될 수 있다.)

④거푸집이 없는 바닥표면은 덮개를 덮거나 살수양생(수분의 급격한 건조 방지)

⑤부재양면 온도차가 10℃이하가 되도록 한다. (온도구배가 크면 균열이 발생한다.)

⑥열풍양생 내부의 온도는 표 8의 '양생시의 콘크리트 온도' 이상이 되도록 한다.

⑦열풍기의 열풍이 콘크리트면에 직접 닿지 않게 하고, 적당하게 환기를 한다.

⑧배기구가 없는 열풍기는 배기가스가 바닥을 오염시킬 수 있으므로 주의한다.

⑨열풍양생을 종료한 후에는 최초 1일간의 콘크리트 온도감소량이 표8의 '콘크리트의 온도감소 허용량'을 넘지 않게 한다.

3.4 거푸집 해체

①거푸집은 좋은 단열 효과를 나타내므로(철제 거푸집 제외), 보온양생 기간내에 해체하지 않는 것을 원칙으로 한다.

②수압을 받는 벽체 거푸집을 조기에 해체하면 강도

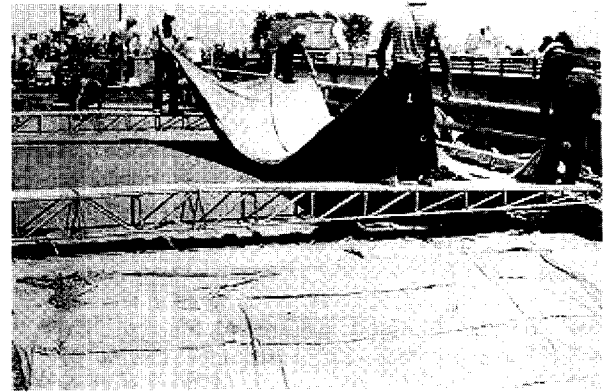
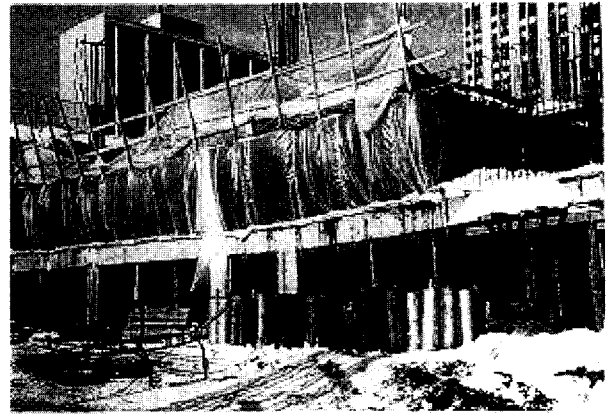


사진 2. 동절기 콘크리트 양생

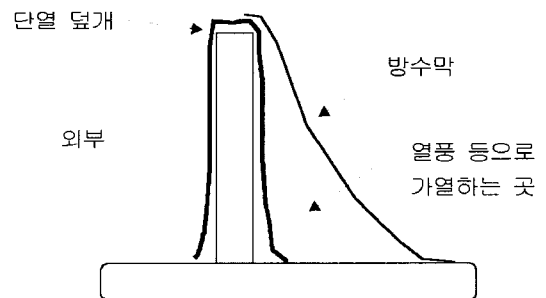
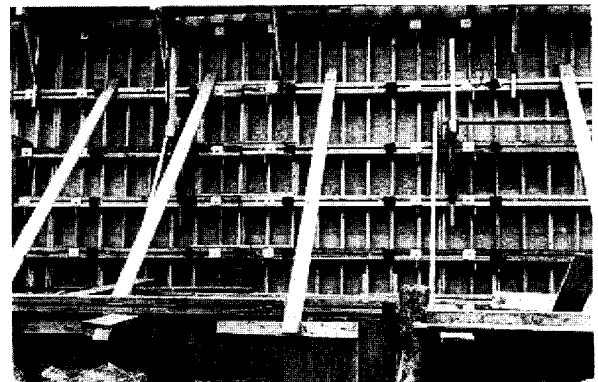


그림 4. 벽체의 동해 방지 방법



발현 이전에 누수될 수 있다.

3. 거푸집 해체를 조기에 할 경우에는, 콘크리트에 적당할 보온조치를 취한다.

4. 콘크리트의 강도는 표10 을 이용하여 추정할 수 있다.

5. 거푸집의 해체시기는 표10 의 추정강도보다는 타설된 콘크리트와 동일한 조건으로 양생된 공시체 시험을 우선으로 한다.

6. 시공하중이 재하되는 일반적인 콘크리트의 경우에는 거푸집 존치기간 규정에 의한 최소강도를 유지한 후에 해체한다.

표 8. 콘크리트 온도

| 구분                | 기온       | 부재단면의 크기(mm) |         |          |         |
|-------------------|----------|--------------|---------|----------|---------|
|                   |          | 300 이하       | 300~900 | 900~1800 | 1800 이상 |
| 1 타설직의 콘크리트 온도    | 4℃ 이하    | 13℃          | 10℃     | 7℃       | 5℃      |
| 2 비법 콘크리트의 온도     | 1℃ 이상    | 16℃          | 13℃     | 10℃      | 7℃      |
|                   | 1℃ ~ 18℃ | 18℃          | 16℃     | 13℃      | 10℃     |
|                   | 18℃ 이하   | 21℃          | 18℃     | 11℃      | 13℃     |
| 3 양생시의 콘크리트 온도    | 4℃ 이하    | 13℃          | 10℃     | 7℃       | 5℃      |
| 4 콘크리트의 온도감소 허용량* |          | 28℃/일        | 22℃/일   | 17℃/일    | 11℃/일   |

\* 보온양생을 종료한 후 콘크리트의 급냉을 방지하기 위한 조치

표 9. 동해방지를 위한 보온양생 기간(일)

| 구분                    | 보온양생 기간(일)<br>(표1의 '양생시의 콘크리트 온도' 를 유지할 경우) |         |
|-----------------------|---|---------|
|                       | 1,2종 시멘트의 경우                                | 기타의 경우* |
| 1 하중재하가 없고, 노출되지 않은 곳 | 2   | 1       |
| 2 하중재하가 없고, 노출된 곳     | 3   | 2       |
| 3 부분적으로 재하가 되며, 노출된 곳 | 6   | 4       |
| 4 시공하중이 재하되는 곳        | 거푸집 존치기간에 준수                                |         |

\* 3종시멘트, 조강제를 사용하거나, 배합비보다 60kg/m<sup>3</sup>의 시멘트를 더 사용한 경우

표 10. 추정강도(28일 강도 대비)를 얻기위한 양생기간

| 강도<br>발현비율 | 10℃ 양생 |        |        | 20℃ 양생 |        |        |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            | 1종 시멘트 | 2종 시멘트 | 3종 시멘트 | 1종 시멘트 | 2종 시멘트 | 3종 시멘트 |
| 50%        | 6      | 9      | 3      | 4      | 6      | 3      |
| 65%        | 11     | 14     | 5      | 8      | 10     | 14     |
| 85%        | 21     | 28     | 16     | 16     | 18     | 12     |
| 95%        | 29     | 35     | 26     | 23     | 24     | 20     |

표 11. 심한 기상작용을 받는 콘크리트의 양생종료시 소요압축강도 (kg/cm<sup>2</sup>)

| 구조물의 노출<br>상태               | 단면 두께 |        |        |
|-----------------------------|-------|--------|--------|
|                             | 얇은 경우 | 보통의 경우 | 두꺼운 경우 |
| 계속해서 또는 자주 물로 포화되는 부분       | 150   | 120    | 100    |
| 보통의 노출상태에 있고 (1)에 속하지 않는 경우 | 50    | 50     | 50     |

표 12. 소요의 압축강도를 얻는 양생일수의 표준

| 구조물의 노출<br>상태                | 단면      |            |                   |          |
|------------------------------|---------|------------|-------------------|----------|
|                              | 시멘트의 종류 | 보통포틀랜드 시멘트 | 조강포틀랜드+보통포틀랜드+축진제 | 혼합시멘트 B종 |
| 계속해서 또는 자주 물로 포화되는 부분        | 5℃      | 9 일        | 5 일               | 12 일     |
|                              | 10℃     | 7 일        | 4 일               | 9 일      |
| 보통의 노출 상태에 있고 (1)에 속하지 않는 경우 | 5℃      | 4 일        | 3 일               | 5 일      |
|                              | 10℃     | 3 일        | 2 일               | 4 일      |

### 3.5 적산온도 관리

콘크리트 치기온도, 외기온도, 기상조건 등을 기록해 두며 양생중 콘크리트 온도 또는 보온된 공간의 온도를 계속 측정 및 기록한다.

양생완료시기, 거푸집 존치시기는 동일한 상태의 공시체 강도시험 또는 콘크리트 온도기록에 의한 적산온도에서 추정된 강도에 의해 정한다.

$$M = \sum (\theta + A) \Delta t$$

( $\theta$  :  $\Delta t$  (일 또는 시) 시간중의 콘크리트 온도(℃),  
A : 정수, 일반적으로 10℃사용)

### 3.6 운반중 온도 감소

#### (Temperature Loss During Delivery)

공장에서 적절한 온도로 제작된 레미콘이라도 현장까지 운송하다 보면 콘크리트의 온도는 감소한다. 한중콘크리트의 공사를 위해 필요한 타설시의 콘크리트 온도를 확보하기 위해서는 이러한 온도감소를 예상하여 현장에서 제작해야 한다.

Drum Mixer형의 온도 감소량은 다음과 같이 예상할 수 있다.

$$T = 0.25(t_f - t_a) \quad T : \text{운송시간 1시간동안에 예상되는 온도감소량}$$

$$t_f : \text{타설전의 콘크리트 온도 ((표8)의 1항)}$$

$$t_a : \text{대기온도}$$

즉, 타설전에 필요한 콘크리트 온도가 10℃이고 대기온도가 -5℃이면, 1시간동안에 예상되는 온도감소량은  $T = 0.25[10 - (-5)] = 3.75℃$ 이 되므로, 공장에서 생산되는 콘크리트 온도는 13.75℃ 이상이 되도록 해야 한다. (2시간일 경우의 온도감소량은 3.75℃ 2시간 = 7.5℃ 가 된다)

## 4. 하절기 콘크리트

일반적으로 하절기는 공사가 왕성히 진행되는 시점이며 국내의 경우 우천시가 아니면 공사중단은 거의 없다. 동절기와는 달리 콘크리트가 경화하는 과정에서는 온도가 높고 습도가 높은 하절기는 아주 좋은 환경이지만 콘크리트를 타설하는 면에서는 오히려 불리하다. 시공연도가 시간의 경과에 따라 급격히 저하하며 이는 슬럼프 로스(slump loss)에서 확인된다. 그리고, 양생중의 급격한 수분증발은 초기 수축(plastic shrinkage, drying shrinkage)현상을 일으켜 균열로 나타난다.

### 4.1 고온, 건조 또는 바람이 많은 날씨의 경우의 문제점

① 슬럼프 저하가 증가하여 콘크리트 타설을 더욱 어렵게 한다.

② 응결시간을 촉진하여 마무리 작업시간이 충분하지 못하게 된다.

③ 소성 수축 균열에 대한 잠재 에너지를 증가시킨다. (균열 발생 가능성 증가)

④ 공기연행제를 사용하지 않으면 공기량이 감소한다.

⑤ 슬럼프 저하를 막기 위해 가수를 하면 강도가 저하한다.

### 4.2 대응책

1. 레미콘 생산업자와 함께 콘크리트 냉각, 수화열 저

감 대책과 혼화제 (감수제, 응결지연제)의 사용에 대하여 협의한다.

② 콘크리트 타설전 냉각수를 거꾸집, 철근, 지반에 분무한다.

③ 임시 방풍막과 차양막을 세운다.

④ 이른 아침, 저녁 또는 야간의 콘크리트 타설작업을 고려한다.

⑤ 시공 중에는 공사의 지연을 방지하기 위해 충분한 작업원을 투입한다.

⑥ 대기시간을 최소로 하는 레미콘 트럭 스케줄을 잡는다.

⑦ 마무리를 하는 중에 콘크리트를 양생한다.

⑧ 최종 마무리 후에 바로 최종 양생작업을 한다.

## 4.3 마무리 작업이 진행되는 중의 양생

① 임시로 콘크리트 표면에 습윤을 함유한 분자막이 형성되도록 조치한다.

② 흰 플라스틱 시트나 습윤 삼베 포대로 덮는다.

③ 계속해서 습기를 분무하여 습윤층이 형성되도록 한다.

## 5. 맺음말

이상과 같이 콘크리트의 시공에서 온도에 관련된 현상과 이에 대한 대응책에 대해 일부 시공사례와 함께 간단히 소개하였다. 흔히 이야기하는 균열(균열은 일반적으로 내구성 문제로 연결된다)은 현장시공기술자에게 모든 책임이 있는 것이 아니며 재료자체의 성질, 설계, 사용관리 등 외적 요인도 많다. 그러나, 본 내용에서 소개한 항목에서 시작된 것일 수 있으며 그 콘크리트를 처음 다루었다는 책임을 안고 가야 한다. 따라서, 최소한 사전준비와 대응책 마련을 가지고 콘크리트 공사에 임해야 그 부담을 줄일 수 있다. 본 고의 내용은 이미 현장에서 경험한 내용일 수도 있고 알고 있는 내용도 많을 것이다. 이러한 경험과 자료를 바탕으로 고품질시공의 바탕이 되었으면 한다.

### 참 고 문 헌

1. 싱가포르 선택시티 현장 리포트, 건설기술/쌍용, 1996, 4호
2. 수화열에 의한 콘크리트 균열의 제어에 관한 연구, LG건설, 1996
3. 콘크리트 표준시방서, 한국콘크리트학회, 1999
4. 건축시공 이야기, 김광만 외, 1999