

# 내한축진제를 사용한 한중콘크리트의 현장적용

## Application of Cold Weather Concrete using Accelerator for Freeze Protection

○ 박 상 준\*    원 철\*\*    이 상 수\*\*\*  
 Park, Sang-Joon    Won, Chul    Lee, Sang-Soo

### ABSTRACT

When fresh concrete is exposed to low temperature, the concrete may suffer frost damage due to freezing at early ages and strength development may be delayed. One of the solution methods to resolve these problems is to lower freezing temperature of concrete by the use of chemical admixture called Accelerators for Freeze Protection. In this study, it was the results of applying cold weather concrete using Accelerator for Freeze Protection in the Daewoo Trump world field. Before the application of the cold weather concrete using accelerator for freeze protection, we executed the some test in the laboratory and mock-up test in the field. We examined the manifestation of compressive strength complying with the amount of Accelerators for Freeze Protection and curing conditions, and then made a selection of most suitable amount of Accelerators for Freeze Protection.

키워드 : 한중콘크리트, 내한축진제, 동해, 양생조건

Keywords : cold weather concrete, accelerator for freeze protection, frost damage, curing condition

### 1. 서 론

한중콘크리트 공사에 있어 가장 중요하면서도 어려운 문제는 굳지 않은 콘크리트가 동결하지 않고, 소요의 압축강도를 발휘하도록 하는 것이다. 즉, 초기동해방지를 위한 압축강도(5N/mm<sup>2</sup> 이상)를 가능한 조기에 발휘하도록 하는 것이다<sup>1)</sup>. 이러한 이유로, 현행 대부분의 건설현장에서는 소요의 압축강도를 얻기 위해 콘크리트를 타설한 후, 양생막 또는 양생지붕을 설치하고, 막내부를 가열하는 등의 방안이 주로 채택되고 있는데, 이 방법은 수행과정이 번거로울 뿐 만 아니라, 공사비 증대 그리고, 구조체 콘크리트의 품질수준에 대한 신뢰성 확보 측면에서도 많은 어려움이 있어, 긴급공사를 제외하고는 크게 활용되지 못하고 있는 실정이다. 따라서, 최근에는 한중콘크리트 공법중 중 재료적인 측면으로 콘크리트 자체에 내한성능을 부여함으로써 가열·보온양생이 불필요한 효과적인 내한축진제의 활용성에 대하여 적극적으로 검토되고 있다.

내한축진제를 사용한 한중콘크리트는 배합사항에 따라 상이하나, 일반적으로 콘크리트중의 수분이 -3℃ 정도까지도 동결하지 않고, 저온환경하에 있어서도 커다란 응결지연효과 없이 지속적으로 수화반응이 진행될 뿐 만 아니라, 동결온도 이하의 조건하에서도 상당량의 수분이 동결하지 않은 채로 존재하기 때문에, 일반콘크리트에 비해 저온환경하에서의 강도발현성이 우수하게 되는 특징을 갖고 있다<sup>5)</sup>. 즉, 이러한 특성을 갖는 내한축진제를 한중콘크리트에 적절히 활용할 수만 있다면 동절기 콘크리트공사에 있어 매우 유용하다 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 내한축진제를 사용한 한중콘크리트를 실구조물에 적용하기에 앞서 실내배합시험과 모의부재시험<sup>2)</sup>을 수행하였으며, 그 결과를 바탕으로, 실제 서울 여의도에 신축중인 주상복합 건축물의 3개층(41층, 42층(penthouse), 지붕층)에 시험적용 하였는데, 본 고에서는 현장적용사례를 중심으로 그의 결과를 정리하고자 한다.

### 2. 현장적용계획

적용구조물은 지하 5층, 지상 41층 규모의 순수 철근콘크리트 구조로 건설되는 주상복합 구조물로서 적용 콘크리트의 규격, 적용부위 및 타설량 등은 표 1 및 그림 1과 같다.

표 1. 한중콘크리트의 적용계획

| 회수 | 적용시기     | 적용부위    |                        | 콘크리트 종류   | 타설량 (m <sup>3</sup> ) |
|----|----------|---------|------------------------|-----------|-----------------------|
| 1차 | 2001.12. | A동 41층  | slab, wall             | 25-240-18 | 168                   |
|    |          |         |                        | 25-300-18 | 105                   |
| 2차 | 2001.12. | B동 Roof | helliport slab         | 25-300-18 | 137                   |
| 3차 |          | A동 41층  | slab, wall (outrigger) | 20-300-50 | 306                   |
| 4차 | 2002. 1. | A동 Roof | helliport slab         | 25-300-18 | 118                   |

\* (주)대우건설 기술연구소, 전입연구원, 공학박사

\*\* (주)대우건설 기술연구소, 선임연구원

\*\*\* (주)대우건설 기술연구소, 선임연구원, 공학박사

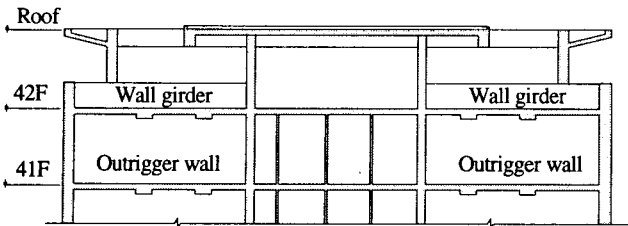


그림 1. 한중콘크리트의 적용부위(A동 부분단면도)

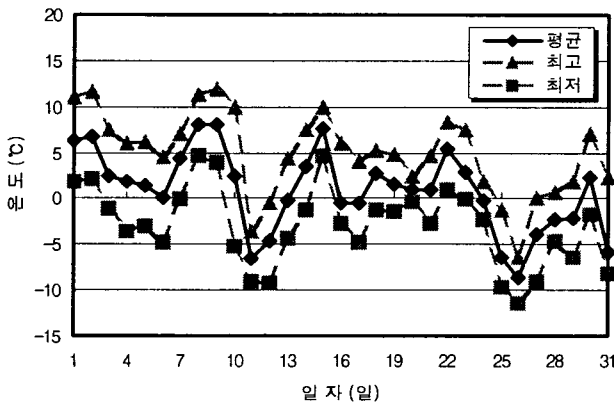


그림 2. 2000년 12월 서울지역의 기온(기상청 자료)

한편, 적용시기는 당 현장의 구조체가 마무리되는 2001년 12월중으로, 이 시기의 서울지역 과년도 기온은 그림 2와 같이 조사되었다. 즉, 평균기온은 초순 4.2℃, 중순 0.4℃, 하순 -1.8℃이며, 일 최저기온은 -3.7℃에서 -11.4℃까지 낮아지는 것으로 나타나, 기온의 변동폭이 매우 큰 것으로 조사되었고, 대부분이 한중콘크리트로 적용해야 하는 기간에 해당될 뿐만 아니라, 일본 한중콘크리트 시공지침<sup>4)</sup>에서 규정하고 있는 「일 최저기온 -3℃ 이하의 동결작용기」에 포함되고 있었다.

### 3. 콘크리트의 배합 및 사용재료

#### 3.1 콘크리트의 배합

먼저, 대상부재에 적용할 콘크리트 종류는 25-240-18(A), 25-300-18(B), 20-300-50(C)의 3종류이며, 이를 만족하기 위한 콘크리트의 배합사항은 실제 적용에 앞서 수행된 실내배합시험의 결과와 함께 일본 북해도 개발국 개발 토목연구소에서 제시하고 있는 내한축진제의 사용기준(안)<sup>3)</sup> 등을 고려하여 표 2와 같이 정하였다.

즉, 내한축진제의 사용량은 -2.5℃의 양생조건에서 실시된 실내배합시험에서 4ℓ/C=100kg의 경우 매우 우수한 성능을 발휘하는 것으로 평가되었기 때문에, 실내시험의 외기온에 비해 다소 높을 것으로 예상되는 당 현장의 외기온(-1.8℃)를 고려하여 3ℓ/C=100kg를 적용하는 것으로 하였다.

#### 3.2 사용재료

시멘트는 1종 포틀랜드 시멘트, 플라이애쉬는 충남 보령산

플라이애쉬를 사용하였고, 잔골재는 남양만산 세척사, 굵은골재는 경기도 파주산 쇄석을 사용하였다. 내한축진제는 국내 K사에서 제조된 무염화무알칼리형을 사용하였으며, 각 재료의 물리·화학적 성질은 표 3~6과 같다.

표 2. 콘크리트 종류별 배합표

| 콘크리트 종류 | W/C (%) | S/a (%) | 단위중량(kg/m <sup>3</sup> ) |    |     |     |     |      | SP** (%) |
|---------|---------|---------|--------------------------|----|-----|-----|-----|------|----------|
|         |         |         | C                        | FA | W   | NF* | S   | G    |          |
| A       | 42.6    | 45.1    | 376                      | -  | 149 | 15  | 801 | 1001 | 0.9      |
| B       | 40.0    | 44.1    | 400                      | -  | 148 | 16  | 774 | 1008 | 0.9      |
| C       | 37.0    | 44.0    | 406                      | 45 | 154 | 18  | 739 | 966  | 1.5      |

\* 내한축진제의 사용량 : 3ℓ/C=100kg

\*\* SP : 고성능 AE감수제(폴리카르본산계)

표 3. 시멘트의 물리적 성질

| 비중   | 비표면적 (cm <sup>2</sup> /g) | 안정도 (%) | 응결시간 (h:m) |      | 압축강도(N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |
|------|---------------------------|---------|------------|------|--------------------------|------|------|
|      |                           |         | 초결         | 종결   | 3일                       | 7일   | 28일  |
| 3.15 | 3,200                     | 0.12    | 3:40       | 5:20 | 26.1                     | 30.7 | 39.6 |

표 4. 플라이애쉬의 물리·화학적 성질

| 비중   | 비표면적 (cm <sup>2</sup> /g) | 단위수량비 (%) | 압축강도비 (%) | 강열감량 (%) | 습분 (%) | SiO <sub>2</sub> (%) |
|------|---------------------------|-----------|-----------|----------|--------|----------------------|
| 2.30 | 3520                      | 100       | 90        | 2.59     | 0.20   | 53                   |

표 5. 내한축진제 및 고성능 감수제의 물리적 성질

| 구분            | 주성분     | 비중(20℃)   | 동결온도 | 형상 | 색상  |
|---------------|---------|-----------|------|----|-----|
| 내한축진제         | 합질소화합물  | 1.34±0.02 | -30℃ | 액상 | 암갈색 |
| 고성능 감수제 (표준형) | 폴리카르본산계 | 1.24±0.02 | -    | 액상 | 연갈색 |

표 6. 골재의 물리적 성질

| 골재종류  | 입경 (mm) | 표준 비중 | 흡수율 (%) | 단위용적중량 (kg/ℓ) | 실적율 (%) | 조립율 (F.M) |
|-------|---------|-------|---------|---------------|---------|-----------|
| 잔골재   | 5       | 2.57  | 0.04    | 1.58          | -       | 2.89      |
| 굵은 골재 | 20      | 2.65  | 0.68    | 1.56          | 58.2    | 6.64      |
|       | 25      | 2.63  | 0.81    | 1.52          | 57.8    | 7.08      |

### 4. 현장적용결과

#### 4.1 배처플랜트 배합시험

표 7은 현장 타설 5일전에 실시한 배처플랜트 배합시험의 결과를 나타낸 것이다. 즉, 슬럼프는 경시 60분에 1.5cm정도, 슬럼프 플로우는 4.0cm 정도 낮아졌고, 공기량은 대략 1.2% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 공기량의 경우는 다소 상향조정하여 적용하는 것으로 하였다.

표 7. 배척플랜트 배합시험결과

| 콘크리트 종류 | W/C (%) | S/a (%) | 경과 시간 | slump (flow) (cm) | 공기량 (%) | 압축강도(N/mm <sup>2</sup> ) |     |      | 외기 온도 (°C) |
|---------|---------|---------|-------|-------------------|---------|--------------------------|-----|------|------------|
|         |         |         |       |                   |         | 1일                       | 2일  | 3일   |            |
| A       | 42.6    | 45.1    | 직후    | 20.0              | 3.7     | 0.19                     | 5.0 | 13.2 | 2.0        |
|         |         |         | 30분   | 19.5              | 2.7     |                          |     |      |            |
|         |         |         | 60분   | 18.5              | 2.5     |                          |     |      |            |
| B       | 40.0    | 44.1    | 직후    | 21.0              | 4.5     | 0.51                     | 6.2 | 13.9 |            |
|         |         |         | 60분   | 54×54             | 4.0     | 0.06                     | 6.2 | 13.1 |            |
| C       | 37.0    | 44.0    | 직후    | 54×54             | 4.0     |                          |     |      |            |
|         |         |         | 60분   | 51×49             | 2.6     |                          |     |      |            |

한편, 초기동해 방지를 위한 압축강도인 5N/mm<sup>2</sup>를 얻는 시기는 모든 배합조건에서 동일하게 2일(33.3° DD)정도인 것으로 나타났는데, 이는 실내배합시험에서 나타난 결과에 비해 1일 정도 빠른 결과이다. 즉, 배척플랜트 시험일로부터 3일간의 외기온(최저 -2.4°C, 평균기온 0.5°C)이 실내배합시험의 양생조건(평균 -2.5°C)보다 다소 높게 되는 온도조건이었기 때문에 기인한 결과로 분석되었다.

4.2 콘크리트 타설 및 양생

표 8은 각각의 타설회수에 따른 평균치로서 레미콘 공장 및 받아들이기 지점에서 실시한 시험결과를 나타낸 것이다.

표 8. 레미콘 공장 및 받아들이기 지점에서의 시험결과

| 타설 회수 | 콘크리트 종류 | 구분      | 슬럼프 (플로우) (cm) | 공기량 (%) | 콘크리트 온도(°C) | 평균 외기온 (°C) |
|-------|---------|---------|----------------|---------|-------------|-------------|
| 1회    | A       | 레미콘공장   | 22.5           | 5.0     | 19.5        | -1.4        |
|       |         | 받아들이기시점 | 17.5           | 4.0     | 16.3        |             |
|       | B       | 레미콘공장   | 21.0           | 5.1     | 19.0        |             |
|       |         | 받아들이기시점 | 18.0           | 4.4     | 17.4        |             |
| 2차    | B       | 레미콘공장   | 22.0           | 4.6     | 18.0        | 1.9         |
|       |         | 받아들이기시점 | 17.5           | 4.0     | 14.9        |             |
| 3차    | C       | 레미콘공장   | (56.0)         | 5.0     | 14.0        | -0.7        |
|       |         | 받아들이기시점 | (51.0)         | 4.2     | 12.8        |             |
| 4차    | B       | 레미콘공장   | 22.5           | 5.4     | 14.4        | 2.7         |
|       |         | 받아들이기시점 | 18.0           | 4.6     | 13.6        |             |

시험결과, 레미콘 공장에서 현장까지의 운반시간에 따른 슬럼프 손실은 평균 4.3cm, 슬럼프 플로우는 약 4.0cm 정도인 것으로 나타났으며, 공기량은 약 0.78% 정도 감소하는 것으로 나타났다.

한편, 콘크리트 구조체의 강도를 평가하기 위한 공시체의 양생은 간이단열양생방법, 외부봉합양생 및 표준양생을 실시하였으며, 양생기간은 구조체 콘크리트의 강도관리 재령인 28일까지로 하였다.

4.3 온도이력

표 9와 그림 3은 타설된 구조체 콘크리트 및 강도측정용 공시체의 온도측정결과를 나타낸 것이다.

즉, 외기온이 -2.5~5°C인 조건임에도 불구하고 두께가 40cm인 outrigger의 경우는 외기온 변화에 관계없이 초기 48시간 정도까지는 5°C 이상을 유지하는 것으로 나타났는데, 이는 콘크리트 자체의 수화열이 콘크리트 초기동해방지에 어느 정도 유효하다는 것을 시사하는 것이다.

한편, 초기재령에 있어 측정부위별 온도이력을 근거로 적산온도를 산정하였는데, 그 결과 표 10에서와 같이, 실제 구조체의 적산온도가 현장봉합양생보다 간이단열양생을 실시한 공시체의 적산온도에 더욱 근접하는 것으로 평가되었다.

따라서, 향후 한중콘크리트를 적용함에 있어 각 건설현장에서 어렵지 않게 적용할 수 있는 간이단열양생 공시체를 이용하면 구조체 콘크리트의 강도를 보다 신뢰성 있게 평가할 수 있을 뿐 만 아니라 공기단축 측면에서도 매우 유리할 것으로 판단되었다. 그러나, 실제 구조체의 압축강도를 더욱 정밀하게 평가하기 위해서는 일본건축학회의 寒中コンクリート施工指針(同解説4)에서 제안하고 있는 구조체 콘크리트의 온도추종양생에 따른 강도관리용 공시체의 양생방법 등을 활용하는 방안이 요구된다.

표 9. 구조체 및 강도측정용 공시체의 온도측정

| 타설회수 | 콘크리트 종류 | 측정부위                                 |                  | 측정개소 (points) |
|------|---------|--------------------------------------|------------------|---------------|
|      |         | 구조체                                  | 공시체              |               |
| 3회   | C       | ·Slab 상, 중<br>·Outrigger 상, 중<br>·외기 | 외부봉합 및<br>간이단열양생 | 7             |

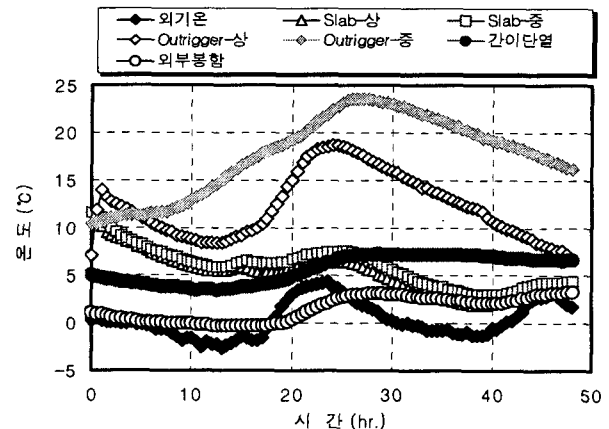


그림 3. 구조체 콘크리트의 온도이력(3차 타설)

표 10. 측정부위별 온도이력곡선에 의한 적산온도

| 타설 회수 | 재령 | 적산온도(° DD) |      |   |           |      |       |       | 외 기 온 |
|-------|----|------------|------|---|-----------|------|-------|-------|-------|
|       |    | Slab       |      |   | Outrigger |      | 양생방법  |       |       |
|       |    | 상          | 중    | 하 | 상         | 중    | 외기 봉합 | 간이 단열 |       |
| 3회    | 1  | 16.7       | 17.3 | - | 21.6      | 17.7 | 10.4  | 14.4  | 10.1  |
|       | 2  | 30.3       | 31.9 | - | 44.3      | 55.4 | 23.1  | 31.3  | 20.8  |

표 11. 양생방법에 따른 압축강도 측정결과

| 타설 회수 | 콘크리트 종류 | 양생방법 | 압축강도(N/mm <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |       |       |  |
|-------|---------|------|--------------------------|------|------|------|------|-------|-------|--|
|       |         |      | 1일                       | 2일   | 3일   | 5일   | 7일   | 14일   | 28일   |  |
| 1회    | A       | 표준양생 | 8.6                      | 17.5 | 20.8 | 25.2 | 27.2 | 30.1  | 34.4  |  |
|       |         | ° DD | 30                       | 60   | 90   | 150  | 210  | 420   | 840   |  |
|       |         | 외부봉합 | 2.0                      | 14.6 | 16.0 | 18.7 | 21.6 | 26.5  | 30.3  |  |
|       |         | ° DD | 15.9                     | 31.3 | 38.7 | 48.1 | 62.2 | 115.3 | 222.3 |  |
|       |         | 간이단열 | 9.0                      | 20.2 | 23.9 | 24.8 | 25.3 | 27.4  | 34.1  |  |
| 2회    | B       | 표준양생 | 9.6                      | 17.2 | 21.7 | 27.0 | 29.7 | 33.4  | 37.0  |  |
|       |         | 외부봉합 | 2.7                      | 11.7 | 13.1 | 17.1 | 19.5 | 26.5  | 27.8  |  |
|       |         | ° DD | 15.4                     | 22.8 | 27.7 | 38.9 | 51.4 | 110.8 | 209.8 |  |
|       |         | 간이단열 | 9.7                      | 17.3 | 19.7 | 22.0 | 22.3 | 28.5  | 31.2  |  |
| 3회    | C       | 표준양생 | 4.1                      | 9.9  | 18.6 | 28.9 | 33.0 | 40.8  | 49.4  |  |
|       |         | 외부봉합 | 1.2                      | 3.6  | 8.6  | 23.4 | 27.9 | 31.3  | 37.5  |  |
|       |         | ° DD | 11.4                     | 21.0 | 29.6 | 46.6 | 59.9 | 107.0 | 297.5 |  |
|       |         | 간이단열 | 3.5                      | 8.3  | 13.9 | 25.7 | 28.3 | 34.6  | 41.2  |  |

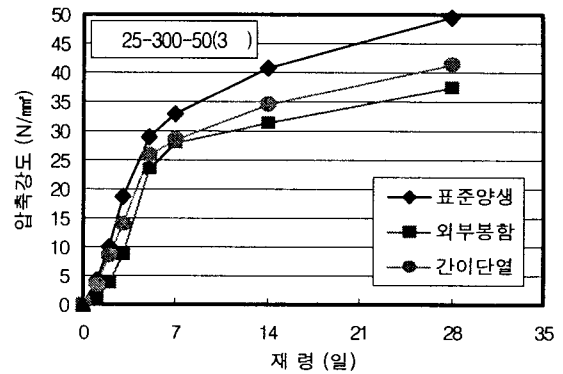


그림 5. 구조체 강도평가용 공사체의 압축강도

#### 4.4 압축강도 측정결과

타설회수 및 콘크리트 종류에 따른 각종 양생조건별 압축강도 측정결과는 표 11 및 그림 5와 같다.

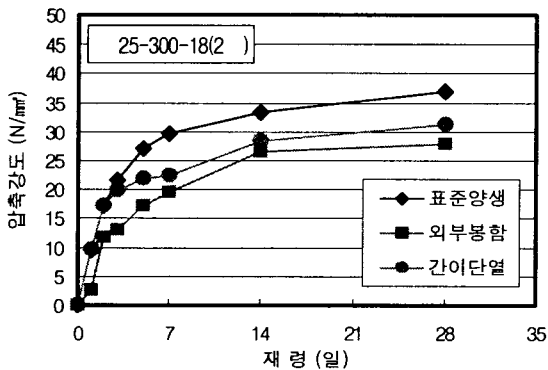
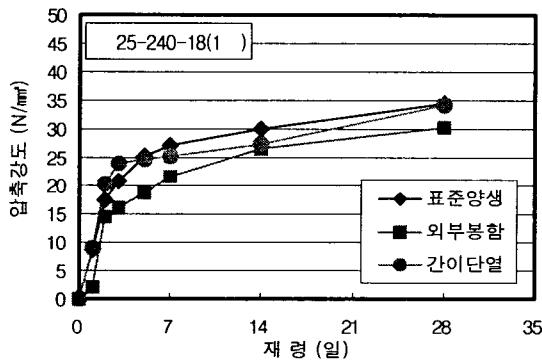
즉, 저온환경하에서 적용된 내한축진제를 사용한 한중콘크리트의 강도증진성상은 일평균기온 및 양생조건에 따라 크게 상이한 것으로 나타났는데, 특히 초기재령에서의 적산온도가 현장봉합양생에 비해 구조체와 비교적 유사한 것으로 평가된 간이단열양생의 경우 표준양생을 실시한 경우와 봉합양생을 실시한 경우의 중간정도에 해당하는 압축강도를 나타내고 있어 적산온도와 압축강도간에는 밀접한 상관관계가 있다는 것을 다시 한번 확인할 수 있었다.

한편, 배합사항에서 플라이애쉬를 사용하지 않은 콘크리트 종류 A와 B의 경우 초기동해방지를 위한 압축강도(5N/mm<sup>2</sup> 이상)를 확보하기 위한 적산온도가 간이단열양생에서 16° D-D(1일) 이하인 것으로 나타났는데, 이는 앞서 수행된 실내배합시험에서 나타난 2.6일(W/C 40%)에 비해 크게 단축된 결과이다. 즉, 콘크리트의 배합조건 및 내한축진제의 사용량을 결정하는 과정에 적용된 양생온도가 평균 -2.5℃(최저온도 -12℃)였던 것과는 달리, 실제 구조체에 적용할 당시의 외기온도가 평균 0℃(최저온도 -5.5℃) 이상이었던 점 그리고, 콘크리트 타설작업을 외기온이 상승하기 시작하는 오전중에 완료한 점등에 기인하여 초기동해방지를 위한 재령이 단축된 것으로 분석되었다.

#### 5. 결 론

동절기에 시공되는 한중콘크리트의 초기동해방지와 시공효율을 향상시킬 목적으로 초고층 주상복합 구조물에 적용한 내한축진제를 사용한 한중콘크리트의 적용사례를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 가열 또는 보온양생을 실시하지 않은 구조체 콘크리트(슬라브 상부)의 온도이력은 -2.5℃ 정도까지 낮아지는 외기온의 조건하에서도 타설 후, 약 30시간 정도까지는 5℃ 이상을 유지하는 것으로 나타났다.



- 2) 한중콘크리트로 적용된 구조체 콘크리트의 강도관리용 공시체의 양생방법으로는 현행 제안하고 있는 현장봉함양생 공시체보다 구조체와 비교적 유사한 온도이력을 나타내는 간이단열양생 공시체를 대상으로 하는 것이 효율적인 것으로 나타났다. 그러나, 실제 구조체 콘크리트의 압축강도를 더욱 정밀하게 평가하기 위해서는 온도추종방법을 적용하는 것이 타당할 것으로 판단되었다.
- 3) 당 적용현장에서는 내한촉진제를 사용한 콘크리트를 사용함으로써 평균 외기온이 0℃이고, 최저온도가 -5.5℃인 조건 하에서도 간단한 비닐양생만으로 초기동해방지를 위한 압축강도(5N/mm<sup>2</sup>이상)를 재령 1일(1.6° DD) 정도에 얻을 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트표준시방서, 1999.
2. (주)대우건설 기술연구소, 내한촉진제를 이용한 겨울철 콘크리트의 개발에 관한 연구, 2001.
3. (財)北海道建築指導センター, 耐寒促進劑の品質標準および施工ガイド, 楡印刷(株), 1997.
4. 日本建築學會, 寒中コンクリート施工指針・同解説, 1998.
5. 浜 幸雄, 耐寒促進劑による寒中コンクリート施工技術に関する研究, 博士學位論文, 1998.