

고강도 콘크리트 제조, 시공 및 품질관리

이 승 훈

(삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 선임연구원)

- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| I. 머릿말 | VI. 현장실물모형실험(Mock-Up Test) |
| II. 고강도 콘크리트의 현장적용 순서 | VII. 고강도 콘크리트의 현장타설 |
| III. 레미콘공장의 선정 | VIII. 고강도 콘크리트의 양생 |
| IV. 고강도 콘크리트의 실내배합 | 8.1 동절기 양생계획 |
| 4.1 품질기준 | 8.2 하절기 양생계획 |
| 4.2 실내배합비 도출 | IX. 맺음말 |
| V. 레미콘 Pilot Test | |

I. 머릿말

최근 강도, 시공성 및 내구성 등의 제반 특성이 우수한 고성능 콘크리트에 대한 연구개발 및 현장적용이 매우 활발하게 이루어지고 있다. 그 중에서도 고강도 콘크리트에 대한 연구는 가장 먼저 시작되어 국내에서도 상당한 수준에 도달해 있으며 그에 따른 현장적용도 활발하게 이루어지고 있다.

이러한 고강도 콘크리트의 사용이 활발하게 이루어지고 있는 이유는 구조물이 초고층화, 대형화(장지간 교량, LNG 탱크, 체육관 등) 그리고 특수화(해양, 지하공간 구조물, 원자력 발전 등) 되고 있기 때문이며, 이에 상응하는 재료성능향상, 구조 및 설계기술개발과 시공 능력 향상이 요구되고 있기 때문이다.

이 중 재료성능측면에서 보면 지구상에서 가장 보편적으로 이용되고 있는 콘크리트에 많은 관심이 집중되고 있으나, 콘크리트는 기본적으로 무게에 대한 낮은 강도에 따른 단면 확대, 그리고 비교적 낮은 내구성과 주변환경에 따라 품질 및 시공이 저하되는 점이 있어 구조재료로서의 근본적 문제점을 내포하고 있었다. 따라서 이러한 콘크리트 성능향상을 위하여 단면축소 및 장지간 스패를 가능하게 하는 고강도 콘크리트의 필요성은 당연한 것이었으며, 이미 선진국에서는 20여년 전부터 이를 위한 연구개발이 진행되어 왔다.

국내의 경우에는 각종 구조물이 점차 대형화 및 복합화 추세에 있는 반면에 노동력 부족, 숙련기능공의 부족, 3D 기피현상, 인건비의 급등 등으로 인하여 건설분야는 상당한 어려

음을 겪고 있으며, 콘크리트와 관련된 빈번한 대형사고로 건설공사 및 콘크리트 공사의 신뢰도가 크게 저하되어 있는 상황이다. 따라서 현 단계에서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 우선적으로 건설분야에 종사하는 모든 사람들의 품질을 위한 노력이 필요한 것이 사실이지만, 콘크리트 관련기술의 측면에서 무엇보다 우선되어야 할 것은 기능공과 시공조건에 영향을 덜 받는 고강도 콘크리트의 개발에 있다고 할 수 있다.

현재 고강도 콘크리트에 관한 연구는 대학 및 건설회사의 연구소를 중심으로 비교적 활발히 진행되어 왔으며, 연구분야와 시공분야에 대한 기술이 상당한 수준에 도달해 있다. 고강도 콘크리트에 대한 시공은 초기에 삼성건설이 건축구조물을 중심으로 주도적으로 선도하였으나, 지금은 여러 건설회사들이 고강도 콘크리트에 대한 시공실적을 확보하고 있으며, 점점 더 보편화되고 있는 추세이다.

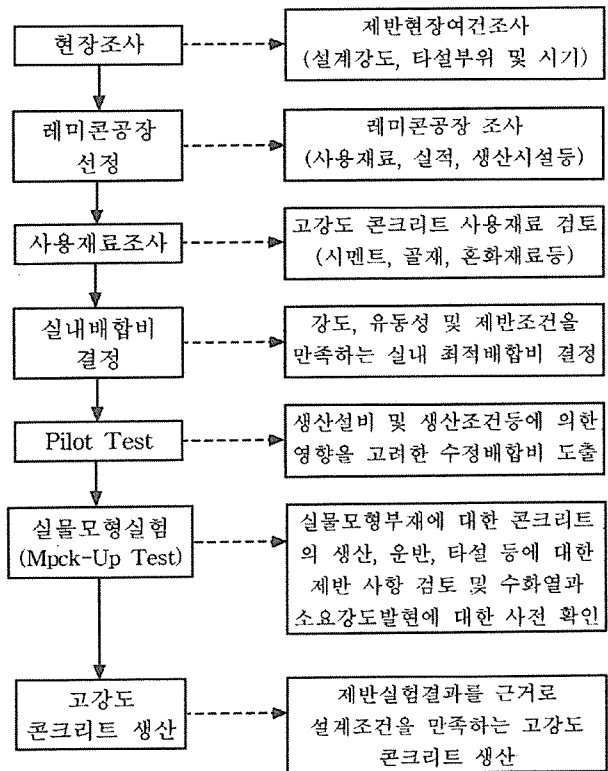
삼성건설의 경우 분당 신도시 삼성 시범단지의 지하 전체에 고강도 콘크리트를 시공한 후 양재동 삼성생명 사옥 (1993, 420 kg/cm²), 37층 규모의 RC 구조물인 신대방동 주상복합빌딩 (1994, 500 및 700 kg/cm²), 국내최초 콘크리트 충전강관 기둥을 적용한 삼성건설 기술연구소 (1996, 420 및 560 kg/cm²), 기흥 실버타운 (1997, 500 kg/cm²), 성균관대학교 600주년 기념관 (1998, 500 kg/cm²) 및 대구종합경기장 (1999, 460 kg/cm²)에 이르기까지 매년 고강도 콘크리트를 적용한 구조물을 시공해 오고 있다. 그러나 아직도 고강도 콘크리트가 보편화되기에는 많은 노력과 시간이 필요하며, 시공회사 뿐만 아니라 발주처, 설계 및 감리측에서도

고강도 콘크리트에 대한 더 많은 연구와 관심을 기울여야 할 것으로 생각된다.

본 원고에서는 고품질의 고강도 콘크리트를 현장에 시공하기 위하여 적정 레미콘공장의 선정, 사용재료의 검토, 소요강도를 만족하는 실내배합비 도출, 레미콘공장에서의 Pilot Test, 고강도 콘크리트의 운반 및 시공과 양생에 대한 전반적인 내용을 언급할 것이며, 이를 위하여 삼성건설에서 시공한 사례를 중심으로 관련 내용을 기술해 나갈 것이다.

II. 고강도 콘크리트의 현장적용 순서

고강도 콘크리트를 현장에 적용하기 위한 사전 준비과정, 생산 및 시공에 따른 제반 순서 및 세부사항은 [그림 1]과 같다.



(그림 1) 고강도 콘크리트 현장적용 흐름도

현장조사는 각 부재의 설계강도, 타설시기 및 타설물량을 조사하고 제반실험이 완료되어야 할 시점을 결정하기 위해서 가장 먼저 수행되어야 할 과정으로써 전체 실험 일정을 결정할 수 있다.

레미콘공장을 선정할 때는 우선 현장주변에 있는 레미콘공장을 2~3개 선정한 뒤 여러가지 조사항목에 의해서 가장 적합한 공장을 선정하도록 한다. 레미콘공장이 선정되면 그 공장에서 사용하고 있는 재료에 대한 사전검토가 이루어지고, 이를 근거로 적절한 실내배합을 수행하도록 한다. 실내 배합비의 선정은 기존의 자료를 근거로 그 공장에서 사용하고 있는 재료와 현장여건 등을 종합적으로 고려하여 결정하도록 하며, 굳지않은 콘크리트의 물성과 초기 재령 강도를 확인해가면서 수정해 나가도록 한다.

실내배합비가 결정되면 레미콘공장에서 시험생산을 실시한다. 이것은 실제 상황과 동일한 조건하에서 생산함으로써, 시험실에서 결정된 배합의 콘크리트 물성과 레미콘공장에서 생산된 콘크리트의 강도, 슬럼프 및 공기량과 같은 물성을 비교함으로써 실내배합비를 조정하기 위한 것이다.

이와 같은 제반조사 및 실험이 완료된 후 현장에 콘크리트를 타설하는 것과 동일한 상황속에서 레미콘 생산, 운반 및 타설을 검토하기 위한 현장실물모형실험(Mock-Up Test)이 수행된다.

현장실물모형실험에서는 장거리 운반에 따른 슬럼프 및 공기 손실량을 측정하며, 실제부재와 동일한 크기의 부재를 제작하여 거푸집 존치 기간 및 양생방법을 검토하고, 이를 위하여 부재내부에 온도센서를 설치하여 콘크리트의 온도를 측정하며, 재령별로 표준 수중양생 공시체와 코아 공시체의 강도를 측정하여 소요 강도의 발현 여부를 판단한다.

Ⅲ. 레미콘공장의 선정

고강도 콘크리트를 생산할 레미콘공장을 선정함에 있어 중요한 사항은 사용재료, 생산시설, 실적등 여러 가지가 있으나 무엇보다도 중요한 것은 고강도 콘크리트를 생산할 공장의 품질에 대한 의지로써, 이것은 고강도 콘크리트의 품질에 가장 큰 영향을 미치게 된다. [표 1]은 고강도 콘크리트를 생산할 레미콘공장의 선정을 위한 기초자료로써, [표 1]에 나타난 항목에 대하여 해당 레미콘공장의 고강도 콘크리트 생산에 대한 적합성 여부를 판단할 수 있다.

첫째, 생산설비 및 생산규모측면에서 가장 중요한 것은 बै치플랜트(batch plant)가 2대 이상이어야 한다. 콘크리트 제조업체는 공사현장에서의 고강도 콘크리트 타설일에도 타현장의 보통강도 콘크리트와 공사현장의 고강도 콘크리트를 함께 생산해야 하기 때문에 품질관리 측면에서 2대의 बै치플랜트(batch plant)는 고강도 콘크리트를 생산하기 위해서 반드시 갖추어야 할 조건이다. 또한, 여유혼화제 탱크(tank)와 플라이애쉬 사일로(silo)의 유무는 고강도 콘크리트의 제조에 반드시 필요한 고성능감수제의 사용과 고강도 매스구조물의 높은 수화열을 감소시키기 위한 플라이애쉬의 사용을 위한 저장장소를 확보하기 위한 것이다.

둘째, 사용재료 측면에서 가장 중요한 것은 사용골재(굵은골재 및 잔골재)의 품질이다. 굵은골재의 경우 마모율과 흡수율을 검토하는 것이 가장 중요하며, 잔골재는 고품질의 고강도 콘크리트를 생산할 수 있도록 조립율이 2.5~3.0 범위에 포함되는 것을 사용하도록 한다. 또한, 석산의 보유 여부는 골재의 품질을 일정하게 유지할 수 있도록 하기 위한 필요조건이 될 것이다.

셋째, 품질관리수준 측면에서 가장 중요한 것은 고강도 콘크리트의 생산실적과 해당 레

(표 1) 고강도 콘크리트 생산공장 선정기준 및 조사 예

| 선정기준 구분 | 세부사항 | 판단기준 | 대상업체 | | |
|-------------|---------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|
| | | | A사 | B사 | |
| 생산설비 및 생산규모 | B/P | 2기 이상 | 3기 | 2기 | |
| | 믹서 최대용량 | 2.5m ³ 이상 | 보유 | 보유 | |
| | 여유 혼합제 탱크 | 有·無 | 有 | 有 | |
| | 플라이애쉬 Silo | 有·無 | 有 | 有 | |
| | 보유 차량수 | - | 100대 이상 | 100대 이상 | |
| | 1일 최대생산량 | - | 4,000m ³ | 4,500m ³ | |
| | 년평균 생산량 | - | 100만 이상 | 100만 이상 | |
| 사용 재료 | 시멘트 | 사용업체 | 2개 이하 | 3개업체 사용 | 1개업체 사용 |
| | | 분말도 | 3,500전후 | 3,300 | 3,400 |
| | 굵은골재 | 조립율 | 6.5이상 | 6.7 | 6.7 |
| | | 마모율 | 15~25% | 27% | 21% |
| | | 흡수율 | 2%이하 | 0.9~1.2% | 0.4~0.5% |
| | 모래 | 조립율 | 2.5~3.0 | 3.1(기계사 80%) | 2.8~3.0(세척해사) |
| | | 석산보유여부 | 有·無 | 有 | 無 |
| 실 적 | 고강도 콘크리트 생산실적 | 有·無 | 有(420kg/cm ²) | 有(420kg/cm ²) | |
| 품질 관리 수준 | 품질관리수준 | | 上·中·下 | 中 | 上 |
| | 시험장비 | 실내믹서 | 강제식 | 강제식(50ℓ) | 강제식(80ℓ) |
| | | 강도시험기 | 100ton 이상 | 200ton | 100ton, 300ton |
| | 현중생산 | 물 | 가열有·無 | 有 | 有 |
| | | 콘크리트온도 | 7~15°C | 15°C 전후 | 10~15°C 전후 |
| | 서중생산 | 물 | 냉각有·無 | 無 | 無 |
| 콘크리트온도 | | 30°C 이하 | 32°C | 32°C | |
| 기타사항 | 고강도 콘크리트 생산의지 | | 上·中·下 | 中 | 上 |
| | 운반거리 | | - | 약 8km | 약 15km |
| | 운반시간 | | 60분 이내 | 약 40분 | 약 60분 |
| | 특수콘크리트 기술수준 | | 上·中·下 | 中 | 上 |

(표 2) 고강도 콘크리트 품질관리기준 예
(성균관대학교 600주년 기념관 현장 예)

| 구분 | 세부사항 | 콘크리트 품질기준 |
|----------------------|--------------|---|
| 압축강도 (기준재령 : 28일) | - 설계강도 | - 500 kg/cm ² |
| | - 배합강도 | - 600 kg/cm ² |
| | - 구조물강도 | - 현장 도착시 채취한 시료에서 제작한 공시체의 표준수중양생 강도 ≥ 500 kg/cm ² |
| 슬럼프 | - 생산시 | - 24±1cm |
| | - 생산후 1시간 경과 | - 22±1cm |
| 공기량 | - 펌핑 후 | - 3±1% |

미콘업체의 품질관리실 수준이라 할 수 있다. 고강도 콘크리트 생산실적은 고강도 콘크리트의 품질에 영향을 미치며, 또한 품질관리실의 수준은 업체 선정후 고강도 콘크리트의 생산에 필요한 인적·물적 기술수준을 의미하기 때문이다.

넷째, 그밖의 사항으로는 고강도 콘크리트를 생산하는 공장과 현장과의 운반거리 및 운반시간이다. 운반거리 및 운반시간에 따라 고강도 콘크리트의 사전 배합조건이 결정되며, 생산 중에도 고강도 콘크리트의 품질관리에 필요한 슬럼프 및 슬럼프 손실에 대한 변화가 고강도 콘크리트의 품질전반에 영향을 미치게 된다.

IV. 고강도 콘크리트의 실내배합

4.1 품질기준

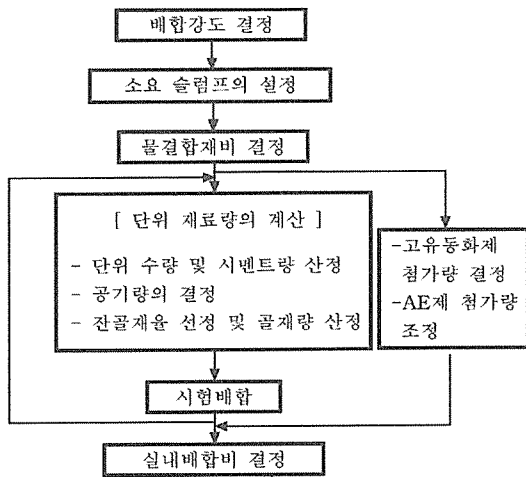
고강도 콘크리트의 실내배합비 도출은 고강도 콘크리트의 레미콘 생산 및 운반에 앞서 소요강도, 적절한 시공 슬럼프, 운반거리 및 시간에 따른 슬럼프 손실량을 최소화 할 수 있는 최적배합비를 도출하기 위한 것으로써, 가장 기본적인 사항인 압축강도, 슬럼프 및 공기량에 대한 품질기준을 만족할 수 있도록 해야 한다.

[표 2]는 성균관대학교 600주년 기념관 현장에 대한 고강도 콘크리트 품질기준을 나타낸 것이다.

4.2 실내배합비 도출

(1) 배합비 도출순서

고강도 콘크리트의 실내배합비를 도출하기 위한 순서는 [그림 2]와 같다. [그림 2]에서 실내배합에 앞서 우선적으로 결정해야 할 부분은 배합강도 및 물결합재비를 결정하는 것으로써, 배합강도와 물결합재비는 기존의 시공사례를 우선적으로 참고하도록 하며, 시공조건 및 사용재료의 여건에 따라서 부분적으로 조정하는 것이 편리하다. 그러나 기존의 생산실적이 없을 경우에는 설계강도에 100kg/cm²를 더하거나 또는 설계강도의 20%를 할증한 값을 배합강도로 결정하도록 한다.



[그림 2] 실내배합비 도출순서

(2) 실내배합비 결정

실내배합비의 결정은 현장에 고강도 콘크리트를 공급할 레미콘축이 고강도 콘크리트에 대한 생산실적이 있는 경우에는 레미콘축에서 제시한 배합을 검토한 다음 최종배합을 결정하도록 하며, 만약 고강도 콘크리트의 생산실적이 없을 경우에는 유사한 시공사례를 근거로 배합비를 결정하도록 한다.

실내배합비를 결정할 경우 가장 중요한 것은 고강도 콘크리트를 공급할 현장의 여건이다. 즉, 고강도 콘크리트가 적용될 부재의 종류, 타설시기, 운반거리등이 종합적으로 고려되어야 한다.

동절기에 타설할 경우와 하절기에 타설할 경우에 대해서는 강도에 대한 할증값을 다르게 하며, 콘크리트의 생산온도 및 생산시간등에 대한 사전검토도 철저히 이루어져야 한다. 또한 기동 부재에 타설할 경우와 대형 매트 기초 구조물에 타설할 경우와 대해서도 수화열에 대한 고려사항이 달라지며, 플라이애쉬와 같은 치환될 혼화 재료의 치환율도 달라지게 된다. 운반거리가 1시간이 초과할 경우에는 슬럼프 손실에 대해서 별도의 고려가 이루어져야 한다.

[표 3]은 운반거리가 1시간이 넘는 경우의 고강도 콘크리트 실내배합비의 예를 나타낸 것으로써, 이 배합에서 가장 중요한 것은 슬럼프 손실을 최소화 하여 1시간 경과 후에도 시공성을 유지하도록 하는 것이다.

[표 3] 고강도 콘크리트의 배합 예
(성균관대학교 600주년 기념관현장의 경우)

| 배합구분 | W/B (%) | S/a (%) | 단위재료량(kg/m ³) | | | | | Ad* |
|-----------|---------|---------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| | | | W | C | F/A | S | G | |
| 25-500-23 | 29.5 | 40.5 | 168.2 | 485 | 85 | 641 | 959 | 12.0 |

* 고성능 AE 감수제 지연형
- AE제 함량조정 : 고성능감수제량의 0.25%
- 지연제 함량조정 : 고성능감수제량의 2.0%

V. 레미콘 Pilot Test

실내배합에서 결정된 최종 배합비를 근거로 고강도 콘크리트를 생산할 레미콘공장에서 직접 시험생산하여 그 품질을 평가하는 Pilot Test를 실시한다.

레미콘 Pilot Test에서 특히 주의할 사항은

고성능감수제의 투여량을 정확하게 결정하는 것과 조골재 및 세골재의 흡수율을 정확하게 측정하는 것이다. 고성능감수제의 투여량은 각종 재료의 투입순서 및 배합장비의 영향을 받으며, 재료의 상태 또한 고성능감수제의 투여량을 변화시키는 원인이 된다. 또한, 고강도 콘크리트는 단위수량이 적기 때문에 골재의 흡수율 측정값이 정확하지 않으면 약간의 오차에 의해서도 큰 영향을 미칠 수 있으므로 매 타설일마다 정확하게 굵은골재 및 잔골재의 표면수를 측정하도록 해야한다.

만약 모래의 표면수 측정에 1%의 오차가 발생하면, 물-결합재비가 약 1% 정도 변하게 되어 고강도 콘크리트의 강도 및 시공성에 상당한 영향을 미치게 된다.

■ 레미콘 Pilot Test 예

레미콘 Pilot Test는 성균관대학교 600주년 기념관현장에 고강도 콘크리트를 공급한 레미콘업체에서 수행된 결과를 예로 들어 설명하고자 한다. 레미콘 Pilot Test에 사용된 배합표는 [표 3]과 같다.

Pilot Test는 레미콘공장에 있는 배치플랜트 중에서 성대 600주년 기념관현장에 실제 고강도 콘크리트를 공급할 때와 동일한 배치플랜트에서 수행하도록 하였다.

레미콘 시험생산에 앞서 모래의 함수비를 측정하였으며, 측정된 함수비는 6.5%로써 흡

수율 1.0%를 고려하여 함수비 조정 값은 5.5%로 결정하였다. Pilot Test 조건은 다음과 같다.

(Pilot Test 조건)

- Mixing Time = 90 sec
- 시험생산량 = 1.5 m³
- 압축강도 측정용 공시체 제작
→ 1, 3, 5, 7, 14, 28일 (총 24개 제작)
- 물성시험항목
→ 슬럼프 및 Loss, 공기량, 콘크리트 온도, 압축강도

상기의 조건에 따라 실시한 레미콘 Pilot Test 결과는 [표 4]와 같다.

레미콘 Pilot Test에서 나타난 고강도 콘크리트의 경화 전·후의 특성을 살펴보면, 슬럼프의 경우 생산시 24cm에서 90분 경과 후 22cm로서 슬럼프 손실은 2cm만을 나타내어 거의 슬럼프 손실이 없는 것으로 나타났다.

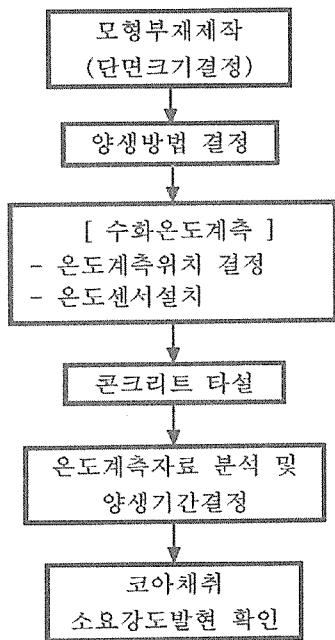
공기량은 5.0%에서 90분 경과 후 2.9%로 감소되어 감소폭이 다소 크게 나타났으나, 이것은 고강도 콘크리트의 결합재량이 증가하면서 자체 점성이 높아져 갇힌 공기가 증가했기 때문에 나타난 현상으로 시간이 경과함에 따라 갇힌 공기가 점점 빠져 나오면서 공기량이 크게 감소한 것으로 생각되며, 타설시 실제 공기량은 펌핑 및 다짐 작업등에 의해서 감소되어 기준 공기량 3±1%를 만족하였다.

[표 4] 레미콘 Pilot Test 결과 (성균관대학교 600주년 기념관현장에 예)

| 굳지않은 콘크리트의 특성 | | | | 경화콘크리트의 특성 | | | | | |
|---------------|--------|------|----------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 경과 시간 | 슬럼프 | 공기량 | Con'c 온도 | 압축강도 (kg/cm ²) | | | | | |
| | | | | 1일 | 3일 | 5일 | 7일 | 14일 | 28일 |
| 0분 | 24cm | 5.0% | 18.4°C | 87 | 306 | 331 | 431 | 446 | 517 |
| 30분 | 23cm | 4.4% | 18.4°C | 96 | 289 | 359 | 436 | 455 | 512 |
| 60분 | 22.5cm | 3.8% | 18.3°C | 76 | 275 | 368 | 392 | 484 | 535 |
| 90분 | 22cm | 2.9% | 18.0°C | - | - | 326 | 425 | 487 | 510 |
| 압축강도 평균 | | | | 86 | 290 | 346 | 421 | 468 | 519 |

관련자료에 의하면 공기량이 1% 증가할 경우 압축강도값은 약 4%정도 감소하는 것으로 나타나 있으므로 고강도 콘크리트의 경우 가능하면 공기량값을 3%전후로 맞추는 것이 구조물의 강도발현을 위해서도 좋을 것으로 생각된다. 그러나 공기량이 2% 이하로 감소할 경우 시공성이 나빠져서 고성능감수제의 투여량이 증가하게되어 다소 비경제적인 배합비가 될 수도 있다.

압축강도 측정결과는 재령 1일의 경우 평균값이 86kg/cm²로써 강도발현 정도가 다소 낮게 나타났으나, 이것은 슬럼프손실을 최소화하기 위해서 1시간 경과후의 슬럼프 손실이 2cm이 내가 되도록 경화속도를 조절하였기 때문으로써, 재령 7일 이후부터는 경화지연을 하지 않은 경우의 강도와 거의 유사한 값을 나타내었다. 재령 28일의 압축강도 측정값은 519kg/cm²로써 설계강도값의 103.8%를 나타내어 강도 측면에서도 매우 양호한 배합으로 생각된다.



(그림 3) 실물모형시험 흐름도

Ⅶ. 현장실물모형시험(Mock-Up Test)

레미콘공장에서의 Pilot Test 결과를 근거로 현장실물모형시험(Mock-Up Test)을 실시한다. 현장실물모형시험은 고강도 콘크리트의 타설에 가장 적합한 현장배합비를 결정하고, 장거리 운반에 따른 슬럼프 손실을 최소화하며, 거푸집 존치기간 및 양생방법을 결정하기 위한 것으로써, 현장상황과 동일한 조건속에서 수행하여 고강도 콘크리트의 현장 타설시 콘크리트의 품질에 문제가 발생하지 않도록 하기 위한 것이다. 시험은 실제 부재와 동일한 단면을 가지는 부재를 제작하여 적절한 거푸집 존치 기간 및 양생방법을 선정하기 위하여 시험 부재의 수화온도이력측정 및 소요강도의 발현을 확인하기 위한 각종 공시체(표준수중양생공시체 및 코아공시체)의 재령별 압축강도를 측정한다. [그림 3]은 실물모형시험을 수행하기 위한 흐름도를 나타낸 것이다.

■ 현장실물모형시험 예

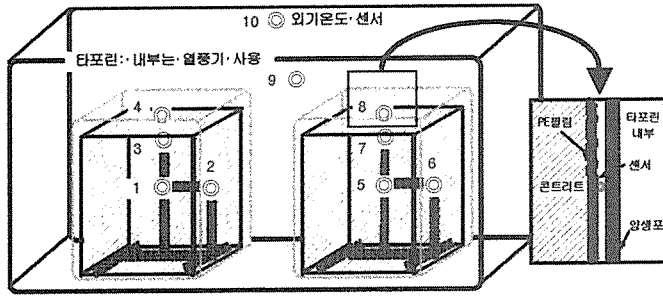
현장실물모형시험은 대구종합경기장 현장에 적용된 설계강도 360 및 460 kg/cm²인 고강도 콘크리트의 시험결과를 예를 들어 설명할 것이다.

(1) 부재크기의 결정

설계강도가 360 및 460 kg/cm²인 주각부 기초 및 주각부 기둥 모형 부재의 크기는 현장에서 실제 타설될 부재의 크기 및 수화온도 측정조건을 고려하여 1.5m×1.5m×H1.7m의 형태로 선정하였다.

(2) 수화온도측정 및 양생방법

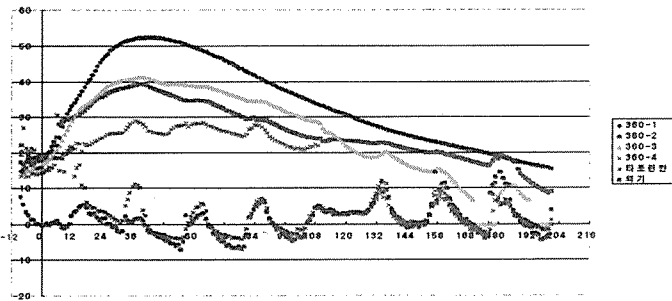
실물모형 부재의 수화온도 및 외기온도는 양생조건별로 온도센서 (Thermistor)를 부재의 내·외부에 설치한 후, 자동계측기(DT



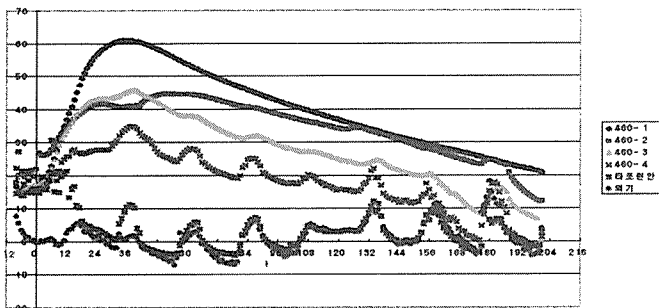
[그림 4] 실물모형 부재 내부의 온도센서 매립위치 (◎:센서위치)

[표 5] 실물모형부재의 양생방법

| | 매스 기동부재 | 매스 기초부재 |
|------------------|--|---|
| 양 생 방 법 | - 타설후 : 1일간 열풍기 사용 (실내온도:10~15℃ 유지) | - 타설후 : 1일간 열풍기 사용 (실내온도:10~15℃ 유지) |
| | - 타설후 : (윗면) 비닐+양생포 | - 타설후 : (윗면) 비닐+양생포 |
| | - 2일 후 : 거푸집 제거 (옆면) 2겹 양생포+비닐 (윗면) 비닐+양생포 | - 타설후 : (옆면) 거푸집 (전체) 양생가옥 |
| | - 5일 후 : 양생가옥 철거 | - 5일 후 : 거푸집 및 양생가옥 철거 (옆면) 2겹 양생포+비닐 (윗면) 비닐+양생포 |
| | - 8일 후 : 모두 제거 | - 8일 후 : 모두 제거 |



[그림 5] 매스 기초부재의 수화온도 측정결과 (설계강도 360 kg/cm²)



[그림 6] 매스 기둥부재의 수화온도 측정결과 (설계강도 460 kg/cm²)

615)를 이용하여 측정하였다.

본 시험에서는 콘크리트의 거푸집 탈형 시기를 결정하기 위하여 비닐(PE 필름)과 양생포로 거푸집을 1차 보양하고 그 위에 양생가옥을 설치한 후 1일 동안은 열풍기로 가열양생을 실시하였다. [그림 4]는 실물모형 부재내의 온도센서의 배치위치 및 양생방법을 도식화한 것이다.

실물모형부재의 양생방법은 현장조건, 부재크기, 시공시기 등을 고려하여야 하며, [표 5]는 모형부재의 양생방법의 한 예를 나타낸 것이다.

(3) 수화온도 측정결과

[그림 5] 및 [그림 6]은 실물 모형시험 부재의 수화온도 측정 결과를 나타낸 것이다.

(4) 압축강도 측정결과

실물모형부재에서 채취한 코아시편과 현장에서 제작한 공시체의 압축강도 측정결과는 [표 6]과 같다. 코아시편의 채취는 타설방향과 동일하게 부재의 상부에서 수직으로 채취하도록 하였다.

[표 6]에 나타난 제작 공시체 및 코아시편의 압축강도 측정결과를 보면 설계강도 360kg/cm² 및 460kg/cm²인 고강도 콘크리트의 표준수중양생 공시체의 경우 재령 28일 압축강도가 405kg/cm² 및 533kg/cm²로서 각각 설계

(표 6) 압축강도 측정결과

| 설계강도 (kg/cm ²) | 시편 구분 | 계 령 | | | | |
|-------------------------------|-------|------|-----|-----|-----|-----|
| | | 3일 | 7일 | 14일 | 28일 | |
| 360 | 코아시편 | - | 357 | 394 | 412 | |
| | 공시체 | 수중양생 | 150 | 290 | 350 | 405 |
| | | 현장양생 | 138 | 286 | 322 | 374 |
| 460 | 코아시편 | - | 479 | 541 | 558 | |
| | 공시체 | 수중양생 | 222 | 411 | 470 | 533 |
| | | 현장양생 | 203 | 365 | 376 | 485 |

기준강도의 112.5% 및 115.9%를 나타내었으며, 코아시편의 압축강도는 412kg/cm² 및 558kg/cm²로서 각각 114.4% 및 121.3%를 나타내었다. 또한 현장기건양생의 경우에도 각각 374kg/cm² 및 485kg/cm²를 나타내어 설계기준강도의 103.9% 및 105.4%를 나타내어 매우 양호한 강도발현 정도를 나타내었다.

고강도 콘크리트의 실물모형시험에서는 초기재령에서의 코아시편의 압축강도가 표준수중양생 공시체의 압축강도보다 크게 나타나는 데, 그 이유는 코아시편의 경우 실물모형부재가 초기에 상당히 높은 내부 온도에 의해서 가열 촉진양생이 되었기 때문이다. 이러한 결과는 보통강도 콘크리트나 두께가 얇은 벽이나 슬라브 부재에서는 일어나지 않으며, 고강도 콘크리트나 기초 및 기둥과 같은 매시브한 부재에서 나타난다.

그러나 장기재령에서는 그 차이가 상당히 좁혀지거나, 표준수중양생 공시체의 강도가 더 커지는 경향을 나타내기도 한다.

VIII. 고강도 콘크리트의 현장타설

고강도 콘크리트의 현장타설은 보통강도 콘크리트에 비해서 상당한 주의를 기울여야 하는데, 결합재량의 증가로 인해서 점성이 상당히 증가하므로 타설 장비를 사전에 점검해야 하며, 낮은 물-시멘트비로 인해서 시간의 경과

에 따른 슬럼프의 감소가 매우 빠르게 일어나므로 타설 및 마감작업이 빠른 시간내에 이루어 질 수 있도록 사전에 충분한 계획을 세워야 한다.

(1) 타설장비

고강도 콘크리트의 타설에 가장 일반적으로 사용되는 장비는 버킷과 펌프카이다. 버킷은 기둥부재와 같이 타설량이 작으면서 타설지점이 여러군데 분산되어 있는 경우에 많이 사용되며, 특히 고강도 콘크리트의 경우 보통강도 콘크리트와 함께 타설되는 경우가 많기 때문에 보통강도 콘크리트는 펌프카를 이용하고, 고강도 콘크리트는 버킷을 이용하여 타설하면 효율적인 시공관리가 이루어질 수 있다. 그러나, 버킷을 이용할 경우에는 타설시간이 상당히 지연되므로 기둥부재의 크기를 고려하여 1회 운반될 량을 사전에 결정한 다음 버킷의 용량을 결정하도록 한다.

펌프카는 고강도 콘크리트의 타설에 가장 보편적으로 사용되는 장비로써 기둥, 벽체 및 기초와 같이 모든 구조물에 사용될 수 있다. 펌프카를 선정할 경우에는 고강도 콘크리트의 시간당 생산량과 구조물의 크기를 고려하여 콘크리트 타설에 따른 경화 지연이 발생하지 않도록 한다.

(2) 시공계획

고강도 콘크리트의 시공에 있어서 사전에 점검해야 할 사항은 다음과 같다.

- 1) 생산공장의 타설 당일의 보통강도 및 고강도 콘크리트 생산계획
- 2) 현장에 공급될 보통강도와 고강도 콘크리트 물량 및 타설 계획
- 3) 고강도 콘크리트의 레미콘트럭 당 생산 시간 및 생산간격
- 4) 전체 타설 물량에 대한 시간당 공급량과

타설 장비 계획

- 5) 고강도 콘크리트 시험계획
- 6) 슬럼프손실에 따른 고성능감수제의 현장 투여 준비 등

VIII. 고강도 콘크리트의 양생

고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비해 높은 수화열을 발생하기 때문에 양생에 특별한 주의를 기울여야 한다. 또한, 우리나라의 기후조건은 동절기와 하절기를 모두 포함하고 있기 때문에 양생방법에 있어서도 기후조건에 맞는 적절한 대책이 마련되어야 한다.

8.1 동절기 양생계획

(1) 고강도 콘크리트의 온도관리

동절기 고강도 콘크리트의 생산 및 타설온도는 부재크기 및 외기온도의 영향을 받기 때문에 사전검토를 통하여 정확한 온도를 결정해줄 필요가 있다. 동절기의 경우 콘크리트의 생산온도가 너무 높으면 초기 수화열이 과도하게 발생하여 균열이 발생할 수 있으며, 또한 너무 낮게되면 초기동해의 영향을 받을 수도 있기 때문이다.

[표 7]은 부재 단면의 크기와 외기온도 조건에 따른 콘크리트 생산온도를 나타낸 것으로서, 가능한 한 [표 7]에서 제시한 온도 이상으로 콘크리트를 생산하는 것이 바람직하다. 그러나 고강도 콘크리트는 수화온도의 최대값을 가능한 한 낮추는 것이 좋으므로 적절한 보양조건만 구비되면 가능한 한 생산온도를 낮추는 것이 좋다.

예를 들어 타설 부재가 두께 2.0m인 매트 기초일 경우 레미콘공장에서 콘크리트의 최저 생산온도는 외기 온도가 -1℃ 이상일 경우 7℃, -1℃ 이하일 경우 10℃로 하며, 타설 전 콘크리트의 온도는 부재의 크기가 2.0m이므로 [표 7]에 따라 5℃ 이상을 유지해야 한다.

동절기의 콘크리트 온도를 높이기 위해서는 배합수를 가열해야 하지만, 60℃이상은 가열하지 않는 것이 바람직하며, 골재는 가열하지 않는 것을 원칙으로 한다.

한중에서의 운반시간에 따른 시간당 콘크리트의 온도저하는 회전식 드럼믹서를 사용하는 레미콘트럭의 경우 다음식에 의해서 계산할 수 있다.

$$T = 0.25(tr - ta)$$

여기서, T : 운반시간 1시간당 콘크리트의 온도저하 (℃)

[표 7] 콘크리트의 온도기준

| 종 류 | 기 온 | 단면크기(mm) | | | |
|--------------------------------|---------|----------|---------|-----------|--------|
| | | <300 | 300~900 | 900~1,800 | >1,800 |
| 콘크리트의 타설 및 양생온도의 최저값 | | | | | |
| 1 | - | 13℃ | 10℃ | 7℃ | 5℃ |
| 기상조건에 근거한 콘크리트 배합온도의 최저값 | | | | | |
| 2 | -1℃ 이상 | 16℃ | 13℃ | 10℃ | 7℃ |
| 3 | -1~-18℃ | 18℃ | 16℃ | 13℃ | 10℃ |
| 4 | -18℃ 이하 | 21℃ | 18℃ | 16℃ | 13℃ |
| 양생 완료후 최초의 24시간내에 저하해도 좋은 최대온도 | | | | | |
| 5 | - | 28℃ | 22℃ | 17℃ | 11℃ |

tr : 플랜트에서의 콘크리트 온도 (°C)

ta : 외기온도 (°C)

따라서, 콘크리트를 9°C로 생산할 경우 외기 온도가 1°C이고, 생산 후 1시간이 경과하면 콘크리트의 온도감소량은 2°C로서 타설시 콘크리트의 온도는 7°C가 될 것이다.

(2) 양생방법

고강도 콘크리트의 동절기 보양에 대해서 기동부재와 기초부재를 예를 들어 설명하고자 한다. 기동부재의 경우 콘크리트 생산온도는 앞서 설명한 바와 같이 부재크기 및 외기 온도 조건에 맞는 온도 값을 결정하며, 1일 평균 외기 온도가 0°C 이상일 경우에는 양생가옥만을 설치하고 부재는 양생포와 비닐로만 보양하는 비가열 양생방법을 채택한다. 그러나, 1일 평균 외기 온도가 0°C 이하일 경우에는 양생가옥을 설치하고 부재는 양생포와 비닐로만 보양하는

비가열 양생방법과 초기수화온도가 상승할 때까지 약 1일 정도만 양생가옥 내부를 가열해주는 가열양생 방법을 병용하여 적용한다.

기초부재의 경우도 기동부재와 동일한 방법에 의해서 양생계획을 수립하도록 하며, 타설 시간이 길어짐에 따라 콘크리트의 온도저하가 예상되므로 사전에 양생가옥을 설치해 두는 것이 좋다. [그림 7]은 기초부재의 보양 예를 나타낸 것으로서, 외기온도 조건에 따라 가열양생, 비가열양생 또는 두 방법을 병용하여 적용하도록 한다.

8.2 하절기 양생계획

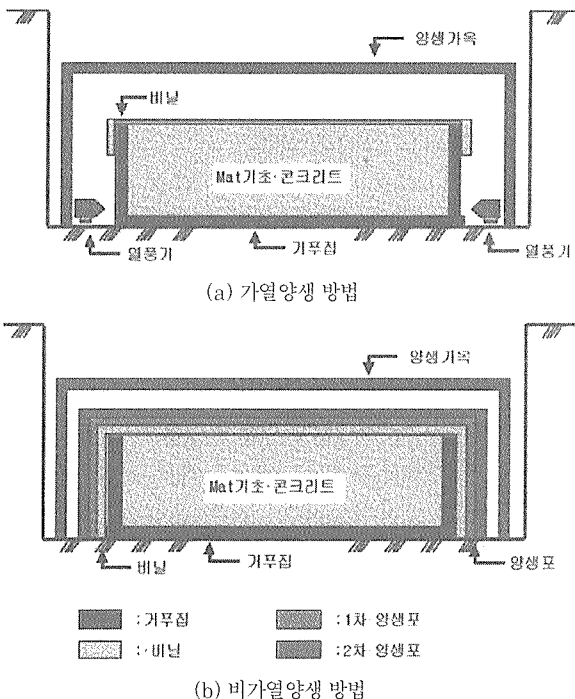
(1) 고강도 콘크리트의 온도관리

하절기 서중콘크리트의 생산 및 타설온도에 대한 일반적인 관리 규정은 다음과 같다.

- 레미콘 공장 출하시의 콘크리트 온도 → 30°C
- 현장 도착후 타설 직전의 콘크리트 온도 → 35°C

고강도 콘크리트의 경우도 보통강도 콘크리트와 마찬가지로 상기의 온도관리 규정을 따르면 된다. 그러나 하절기에 레미콘 공장에서의 콘크리트 온도를 30°C 이하로 맞추는 것은 쉽지 않으며, 대부분이 30°C를 넘게 된다. 따라서, 생산시의 콘크리트 온도를 낮추기 위해서는 사용수의 냉각, 골재에 대한 직사광선의 차단, 온도가 낮은 시멘트의 사용 등과 같은 여러 가지 방법을 사용하고 있으나, 각각의 재료에 대해서 온도관리를 하는 것은 쉽지 않기 때문에 가장 간단한 방법으로는 야간 타설을 통해서 각 재료의 온도를 함께 낮추어줌으로써 그 효과를 크게 하는 것이 가장 효과적인 방법이라고 할 수 있다.

다음은 콘크리트의 온도를 1°C 낮추는데



(그림 7) 고강도 콘크리트 매트기초의 동절기 양생 예

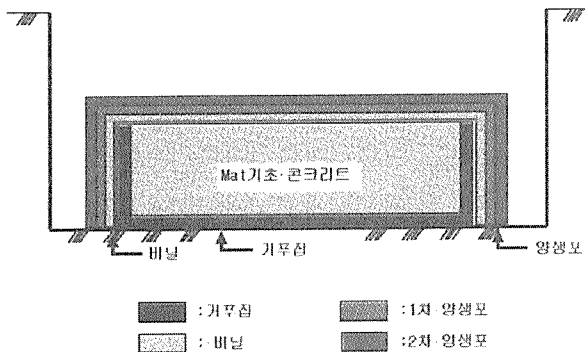
필요한 각 재료의 온도변화량을 나타낸 것이다.

- 시멘트 → 8℃
- 물 → 4℃
- 잔골재(모래) → 4℃
- 굵은골재 → 2℃

예를들어 배합수로서 지하수를 사용할 경우 하절기에 그 온도는 약 16℃ 전후가 된다. 따라서 이 물을 냉각장치를 설치하여 약 4℃까지 냉각하면 물의 온도는 12℃가 떨어지므로 이것은 콘크리트 온도를 3℃정도 낮출 수 있으므로 결과적으로 콘크리트 생산온도를 31~32℃에서 28~29℃로 낮출 수 있게 된다.

(2) 양생방법

하절기 고강도 콘크리트의 양생은 동절기와 유사하지만 가장 중요한 것은 표면에서 증발되는 습기를 차단하여 습윤상태를 유지해주는 것이며, 그 다음으로는 동절기와 마찬가지로 구조물 전체를 에워싸서 열이 외기와 접하지 않도록 하는 것이다. 그러나 동절기에 비해서는 외기온도가 상당히 높기 때문에 양생기간은 상대적으로 단축시킬 수 있으며, 양생가옥은 설치할 필요가 없다. [그림 8]은 기초부에



(그림 8) 고강도 콘크리트 매트기초의 하절기 양생 예

타설될 고강도 콘크리트의 양생 예를 나타낸 것이다.

9. 맺음말

지금까지 고강도 콘크리트의 생산계획에서부터 현장시공 및 양생에 이르기까지 단계별로 그 특성 및 품질관리 방안에 대해서 간단하게 기술하였다. 고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트와는 달리 사전준비와 생산단계에 있어서 세심한 주의를 기울여야 하므로 레미콘 공장에서의 품질관리는 무엇보다도 중요하다.

또한 레미콘공장에서의 품질관리가 효율적으로 이루어지면 현장에서의 하자발생 확률은 보통강도 콘크리트에 비해서 상당히 낮으며, 이에 따라 보통강도 콘크리트에 대한 품질관리도 자연스럽게 이루어지게 될 것이다.

현재 서울 및 경인지역에서 고강도 콘크리트에 대한 생산실적을 가진 레미콘공장은 차츰 증가 추세에 있으나, 지방의 경우 매우 드문 것이 사실이다. 물론 적용현장이 없거나 제반여건이 만족되지 못한 것도 이러한 현상을 나타나게 하는 원인이 된다.

그러나 앞으로는 대형 및 특수구조물의 시공이 점점 더 보편화되어가고 있는 추세이므로 고강도 콘크리트 외에도 특수 콘크리트에 대한 생산시설 및 기술이 구비되어 있지 않으면 이러한 여건 속에서 점점 더 경쟁력을 상실하게 될 것이다.

따라서 각 레미콘공장들은 고강도 콘크리트 및 특수 콘크리트에 대한 자체 생산기술 및 제반시설에 더 많은 관심을 기울여야 할 것이며, 이는 앞으로 각 공장들이 해결해야 할 가장 중요한 과제가 될 것이다.