

서중 고강도 레미콘 제조 및 품질관리

(Production and Quality Control of Hot Weathered Ready-Mixed High Strength Concrete)

조 일 호 * 한 정 호 * 방 회 상 ** 박 기 청 ***
Cho, Il-Ho, Han, Chung-Ho, Bang, Hee-Sang Park, Ki-Chung

Abstract

High strength concrete was placed at the mass concrete slabs, walls, pillars of RC building from august till august. And the construction is going on now.

This paper presents mix design, production, quality control and experience with field application of high strength ready-mixed concrete under hot weathered conditions.

It is shown to be possible to produce high strength concrete that has 45MPa compressive strength using superplasticizer and cement replaced with 20% fly-ash with appropriate control.

1. 첫머리에

최근 국내에서도 고강도 콘크리트에 관한 활발한 연구와 함께 시공사례도 점차 증가하고 있다.^(1~3) 당사에서는 1989년 고강도 콘크리트 관련 연구를 시작, 실구조물 대상의 수건의 현장 적용에 성공하였으며 1994년 1월에는 압축강도 650kgf/cm²의 한중 고강도 콘크리트를 사일드에 시공하기도 하였다.

본 보고는 고강도 콘크리트 구조로 설계된 모 건축물에 1994년 3월부터 실험을 거쳐 당사 안양공장에서 8월부터 계속 출하 중인 배합강도 450kgf/cm²의 고강도 서중 레미콘 제조 및 품질관리 결과이다.

2. 공사 및 품질관리 개요

금번 고강도 레미콘 시공 대상인 건축물 부재는 바닥 슬래브의 경우 두께 2.4m, 면적 40×25m의 매스 콘크리트이며 타설이 여름철에 시작되어 서중 매스 콘크리트 대책이 필요하여 다음 사항을 고려하여 실험을 실시하고 레미콘 배합 결정, 제조, 품질관리를 시행하였다.

- (1) 레미콘 28일 압축강도 450kgf/cm²
- (2) 타설시 레미콘 슬럼프 약 180mm 이상
- (3) 레미콘 제조 후 1시간까지 작업성 유지
- (4) 콘크리트 수화열응력 안전대책 수립
- (5) 콜드조인트 발생 억제를 위한 연속 타설

실내실험을 통하여 결정된 배합설계에 대하여 단열온도 상승실험을 실시하고 시공대상 부재의 수화열응력 발생 정도 및 균열 발생 여부를 컴퓨터로 모사해석 하였다.

실시공 전에 공장 배치 플랜트에서 레미콘을 시험제조하여 모의부재 타설실험을 실시하고 물성 및 수화열 발생정도를 측정하는 것으로 배합설계를 확인하였다.

3. 실내실험 및 수화열응력 해석

3.1. 실험개요 및 사용재료

수화열 저감을 위하여 플라이애쉬를 20% 치환한 시멘트를 사용하여 슬럼프가 약 200mm 이상의 작업성이 우수한 고강도 레미콘 제조를 위한 콘크리트 배합실험을 1, 2차로 나누어 실시하였으며, 결정된 배합 콘크리트에 대해 단열온도 상승 실험을 실시하였다.

콘크리트 제조는 수평 2축식 강제믹서(용량 100ℓ, 1회 실험시 콘크리트량 30리터)를 사용하였다. 믹서내에 골재, 시멘트, 플라이애쉬를

* 동양중앙연구소, 주임연구원

** 동양시멘트, 안양공장 품질관리실장

*** 동양중앙연구소, 수석연구원

투입하여 30초간 건비빔하고 SP제가 희석된 배합수를 투입하여 90초간 믹싱한 후 배출하여 물성을 측정하고 공시체를 제작하였다.

본 실험에 사용된 사용재료는 표 1 과 같다.

표 1. 사용재료 물성

| 종 류 | 물 성 |
|-------------|---|
| 1종 OPC | 비중 3.15, 블레인 3,180cm ² /g, 28일 압축강도 406kgf/cm ² |
| 보령산 fly-ash | 비중 2.17, 블레인 4025cm ² /g, SiO ₂ 53.3%, 강열감량 2.68% |
| 고성능 감수제 | 나프탈렌 설폰산염계 비중 1.2, 고형분 40.9% |
| 25mm 조골재 | 비중 2.62, 조립율 6.71, 실적율 58.1% |
| 세척사 세골재 | 비중 2.58, 조립율 2.66, 실적율 58.3% |

3.2. 1차 콘크리트 배합실험

W/(C+F)비 30~39%의 슬럼프가 20cm이상인 작업성이 우수한 콘크리트가 되도록 세골재를 및 고성능감수제 첨가량을 조절하였으며 공시체를 제작하여 3일, 7일, 28일 재령에서의 압축 및 인장강도와 탄성계수를 측정하였다.

표 2에 배합설계 내용 및 콘크리트 온도, 슬럼프 측정결과를, 표 3에 콘크리트 강도 및 탄성계수 실험결과를 나타내었다.

3.3 2차 콘크리트 배합실험

1차 실험결과를 기초로 하여 2차 실험에서는 서중 레미콘을 고려하여 콘크리트 온도가 배합 후 30°C 이상이 되도록 온수 및 온도를 높인 시멘트를 사용한 W/(C+F)비 33, 35, 37%의 작업성이 우수한 콘크리트를 제조하여 7일 및 28일 압축강도를 측정하였다.

콘크리트 배합설계 및 슬럼프, 콘크리트 온도 측정결과를 표 4에, 경화 콘크리트 압축강도 측정결과를 표 5에 나타내었다.

고강도 콘크리트는 온도가 증가할수록 동일한 슬럼프 및 작업성 유지를 위하여 고성능감수제 첨가량을 증가시킬 필요가 있는 것으로 나타났다.

표 2. 1차 실험 콘크리트 배합설계표

| W/B (%) | Unit Weight (kg/m ³) | | | S/A (%) | SP (Bx%) | slump (mm) | 온도 (°C) |
|---------|----------------------------------|-----|-----|---------|----------|------------|---------|
| | W | C | F | | | | |
| 30 | 160 | 427 | 106 | 42 | 1.8 | 240 | 23 |
| 33 | 170 | 412 | 103 | 42 | 1.3 | 227 | 28 |
| 36 | 175 | 389 | 97 | 43 | 1.0 | 192 | 26 |
| 39 | 175 | 359 | 90 | 44 | 0.8 | 199 | 26 |

표 3. 경화 콘크리트 물성시험결과(1차실험)

| 측정항목 | 재령 | 물결합재(%) | | | |
|--|-----|---------|-----|-----|-----|
| | | 30 | 33 | 36 | 39 |
| 압축강도 (kgf/cm ²) | 3일 | 386 | 372 | 353 | 290 |
| | 7일 | 480 | 497 | 478 | 397 |
| | 28일 | 587 | 652 | 623 | 564 |
| 인장강도 (kgf/cm ²) | 3일 | 50 | 49 | 48 | 42 |
| | 7일 | 49.5 | 52 | 50 | 46 |
| | 28일 | 52.3 | 50 | 55 | 48 |
| 탄성계수 (×10 ⁹ kgf/cm ²) | 3일 | 50 | 49 | 48 | 42 |
| | 7일 | 50 | 52 | 50 | 46 |
| | 28일 | 52 | 50 | 55 | 48 |

표 4. 2차 콘크리트실험 배합설계표

| W/B (%) | S/A (%) | SP (%) | Unit Weight (kg/m ³) | | | slump (mm) | Air (%) |
|---------|---------|--------|----------------------------------|-----|-----|------------|---------|
| | | | W | C | F | | |
| 33 | 42.0 | 1.8 | 170 | 412 | 103 | 210 | 1.6 |
| 35 | 42.0 | 1.6 | 175 | 400 | 100 | 225 | 1.9 |
| 37 | 42.5 | 1.5 | 175 | 378 | 95 | 235 | 1.7 |

표 5. 경화 콘크리트 압축강도(2차 실험)

| 재 령 | 물결합재비(%) | | |
|-----|----------|-----|-----|
| | 33 | 35 | 37 |
| 7일 | 456 | 416 | 409 |
| 28일 | 546 | 501 | 487 |

(단위 kgf/cm²)

3.4 단일온도상승실험 및 수화열응력 해석

타설에 적용할 콘크리트의 배합을 W/B 37%로 하여 콘크리트 단일온도상승 실험을 실시한 결과를 그림 1에 나타내었다.

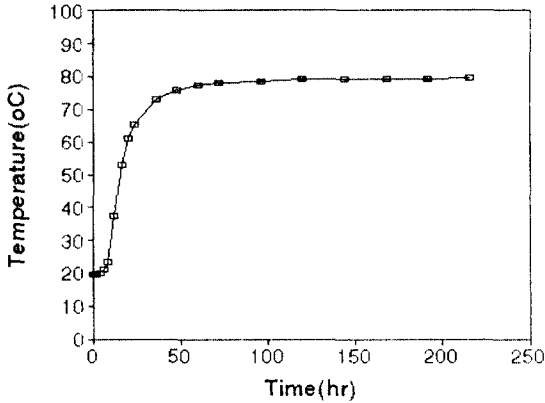


그림 1. 콘크리트 단일온도상승 실험결과

콘크리트 단일온도상승 및 각 재령에서의 콘크리트 인장강도, 정탄성계수 실험결과를 사용하여 컴퓨터 모사에 의한 유한요소해석을 시행한 결과, 시멘트 380kg/m³, 플라이애쉬 95kg/m³ 콘크리트의 경우, 금번 조건에서는 타설두께를 1m 미만으로 하여야 안전한 것으로 나타났다.

4. 모의부재 실험

실내실험 및 수화열응력 해석 결과에 따라 W/B 37%의 배합으로 당사 안양공장에서 제조된 실제 레미콘의 제반물성과 실제 구조체 발생 수화열에 대한 검토를 목적으로 수화열 측정용 열전대를 매립한 모의부재(높이 1.0m × 길이 2.5m × 폭 2.5m) 타설실험을 실시하였다.

레미콘 6.5m³를 3회로 나누어 제조하였으며 세골재 표면수는 6~8%로 보정하였다. 모든 재료가 레미콘 믹서내에 투입된 후의 교반시간은 60초간으로 하였다. 운반시간을 고려하여 SP제 첨가량은 1.6%로 하였다.

제조된 레미콘의 물성 측정결과를 표 6에 나타내었다. 실내실험 보다 강도가 낮아진 것은 실제 단위수량이 증가(슬럼프가 커짐)하여 실제 W/(C+F)비가 증가하고 콘크리트의 온도가 실내실험시보다 높은 것때문으로 사료된다.

표 6. 모의부재 실험 레미콘 물성

| 슬럼프 (cm) | 공기량 (%) | 압축강도(kg/cm ²) | | | |
|-------------|------------|---------------------------|-----|-----|-----|
| | | 3일 | 7일 | 28일 | 56일 |
| 23.5 | 1.7 | 251 | 325 | 441 | 506 |

레미콘 온도가 높아도 콘크리트 유동성이 크므로 작업시간이 1시간 이내일 경우 슬럼프프로스에 대한 특별한 대책은 필요 없었다.

수화열 측정결과는 단일온도상승 실험 및 유한요소해석에 의한 결과와 잘 일치하였다.

실기 레미콘으로 실험한 콘크리트의 강도 및 수화열 측정결과가 예상된대로 확인되어 실제 시공시의 배합도 원안대로 결정하였다.

5. 출하 및 품질관리

5.1. 개요

금번 고강도 레미콘이 타설된 대상 건축물 소재 현장은 당사 안양공장으로 부터 운반거리가 약 15~30분이 소요되는 거리에 위치하고 있다.

고강도 레미콘 총 타설 물량은 3800m³으로 1차로 8월말경에 지하 슬래브에 약 680m³를 타설하였고, 이후 7일 간격으로 하여 약 80m³~50m³의 물량을 4회 타설하여, 현재까지 총 1,000m³ 이상의 레미콘을 기둥, 벽과 슬래브에 타설하였다.(배합표는 표 7 참조)

콘크리트의 수화열 발생 상황 점검을 위해 1차 타설시 지하 슬래브 내부의 중앙과 벽면 부근에 온도 센서를 매립하여 온도를 측정하였다.

당일 최초 레미콘 출하에 앞서 현장의 세골재 표면수를 직위선 수분계로 측정하고 표면수를 보정하여 최초 레미콘을 제조하여 슬럼프 및 작업성 적합 유무를 확인하고 이후 레미콘 출하를 계속 실시하였다.

오후에 레미콘의 온도가 더욱 높아져 SP제량을 결합제×1.6%에서 1.7%로 증가하였다.

콘크리트 타설은 최대토출량 110m³/h의 분무식 펌프차 2대를 사용하였고, 다짐은 2체의 봉형 진동기(φ50)로 실시하였다.

레미콘 타설의 지연을 막기 위하여 레미콘 제조간격을 5분에서 20분 사이로 현장 사정에 따라 조절하였다. 레미콘 제조부터 타설까지의 소요시간은 대부분이 1시간 이내였다.

펌프압송, 다짐작업을 포함한 타설이 순조롭게 진행된 고강도 레미콘은 페이스트층의 자유수의 이동이 매우 느려 블리딩이 거의 발생하지 않고 고집성인 관계로 표면 마무리작업시에 일반 콘크리트에 비하여 능률이 떨어졌다.

표 7. 고강도 레미콘 현장 배합설계표

| 목표 작업성 | | 실시 배합 | | | | | | | |
|----------|----------|---------|---------|-------------------------|--------|-----|-------|-------------------|----------------|
| 슬럼프 (cm) | 플로우 (cm) | W/B (%) | S/A (%) | 단위량(kg/m ³) | | | | 플라이애쉬 치환량 (결합재×%) | 고성능감수제 (결합재×%) |
| | | | | 물 | 시멘트 | 세골재 | 조골재 | | |
| 20±2 | 40±5 | 37 | 44 | 175 | 378.38 | 725 | 992.3 | 20 | 1.6 |

5.2 품질관리 결과

고강도 콘크리트의 품질관리는 출하시 생산자와 현장도착 후의 시공자 모두에 의해서 수행되는 것이 바람직하며 이 두가지가 만족되어야 좋은 품질의 콘크리트를 얻을 수 있다.

품질변동 요인을 최소로 하기 위하여 당사 안양공장 배처플랜트 2기 중, 1기를 고정하여 사용하였고, 레미콘 작업성 및 강도에 가장 큰 영향을 미치는 세골재의 표면수량을 수시로 체크하여 배합보정을 실시하였다.

1회 믹싱량은 2~2.3m³으로 하였으며 모든 재료가 믹서 내부에 투입된 후, 판넬의 믹서 전류계 눈금이 안정되는 시각으로 부터 혼합시간을 60초로 결정하였다.

공장에서 품질을 확인하고자 할 때마다 레미콘 물성을 측정하고 현장에서도 임의의 레미콘에 대하여 슬럼프 및 플로우 및 온도를 측정하고 $\Phi 10 \times 20$ 일회용 몰드를 사용하여 콘크리트 공시체를 제작하였다.

(1) 균지않은 콘크리트 물성시험결과

표 7~9에 레미콘 제조 및 물성시험 결과를 나타내었다.

현재까지 타설된 약 1,000m³ 총 레미콘의 현장 도착시 슬럼프 평균은 213mm, 슬럼프 플로우 평균은 434mm로 나타났다.

1차 타설시의 콘크리트 내부온도 계측결과를 그림 2 에 나타내었다. 내부온도는 타설후, 약 14시간 경과 후에 기둥 중앙부에서 최고온도 72℃를 기록하였고, 타설 3일 후에는 외기온도 수준으로 떨어졌다.

1차 타설 부재는 균열이 발생하여도 구조설계상 큰 문제가 없어 수화열응력 타설한계 높이인 1m로 타설한 결과 슬래브 일부에 수화열응력에 의한 미세한 균열이 일부 나타나 향후 타설두께를 0.8m 이하로 변경하기로 하였다.

표 8. 1차 타설 레미콘 물성시험결과

| 출하 번호 | 측정 장소 | 물성시험결과 | | |
|-------|-------|----------|----------|---------|
| | | 슬럼프 (mm) | 플로우 (mm) | 온도 (°C) |
| 1 | 공장 | 200 | 350 | 35.0 |
| | 현장 | 160 | 260 | 32.1 |
| 3 | 공장 | 225 | 430 | - |
| 4 | 현장 | 210 | 375 | - |
| 5 | 현장 | 210 | 375 | 32.0 |
| 6 | 현장 | 200 | 380 | - |
| 8 | 공장 | 220 | 440 | 35.0 |
| 9 | 현장 | 200 | 350 | 32.0 |
| 13 | 현장 | 220 | 385 | 33.0 |
| 15 | 현장 | 195 | 330 | 33.5 |
| 17 | 현장 | 210 | 350 | 33.0 |
| 21 | 현장 | 200 | 330 | 34.0 |
| 32 | 공장 | 245 | 530 | 37.5 |
| | 현장 | 220 | 380 | 35.5 |
| 33 | 현장 | 196 | 370 | 35.5 |
| 46 | 현장 | 180 | 355 | 35.5 |
| 50 | 현장 | 210 | 365 | 35.5 |
| 55 | 현장 | 215 | 405 | 37.0 |
| 61 | 현장 | 190 | 300 | 36.0 |
| 67 | 현장 | 210 | 330 | 36.5 |
| 76 | 현장 | 240 | 450 | 36.0 |
| 77 | 공장 | 245 | 470 | 37.0 |
| 84 | 현장 | 228 | 475 | 36.5 |
| 94 | 현장 | 230 | 480 | 36.0 |
| 96 | 현장 | 230 | 400 | 35.8 |

- * 1~34번 까지 믹싱타임 55초 적용, 35~103번 까지 믹싱타임 55초 적용
- ** 1~70번 까지 SP제 1.6% 첨가, 71~87번까지 SP제 1.7% 첨가, 88~103번 까지 1.65% 첨가
- *** 1차 타설 현장도착 레미콘 슬럼프 평균 208mm, 플로우 평균 372mm, 온도 32~37.5℃
- **** 콘크리트 공기량은 약 1.5% 정도

표 9. 2~5차 타설 레미콘 현장시험결과
(SP제 1.6% 사용)

| 순서 | 슬럼프 (mm) | 플로우 (mm) | 온도 (°C) | 비고 | |
|--------------|-------------|-------------|------------|------|-----------------------|
| 2차 (9/7) | 1 | 235 | 500 | 33 | |
| | 2 | 193 | 390 | 34.5 | |
| | 3 | 225 | 500 | 34 | |
| | 4 | 230 | 510 | 33.8 | |
| | 5 | 225 | 510 | 33 | |
| | 6 | 215 | 500 | 33.5 | |
| 3차 (9/15) | 1 | 210 | 360 | 31 | |
| | 2 | 220 | 420 | 32 | |
| | 3 | 200 | 390 | 32 | |
| 4차 (9/24) | 1 | 180 | 300 | 31 | SP제 후첨가 (0.2~0.3%) |
| 5차 (10/4) | 1 | 220 | 450 | 28 | |

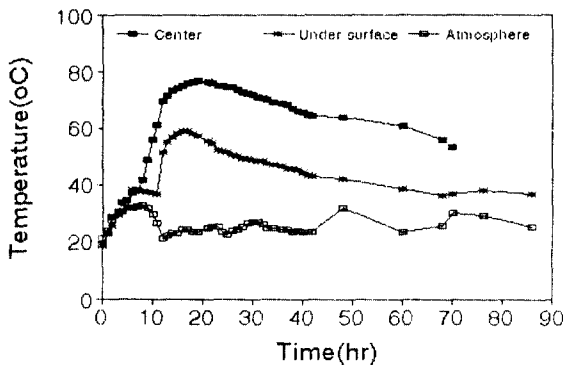


그림 2. 부재 내부온도 재측결과

(2) 경화 콘크리트

표 10, 11, 12 에 지하 슬래브 및 기둥, 벽에 타설된 레미콘의 재령에 따른 압축강도 및 탄성계수 측정결과를 나타내었다. 모든 시험된 레미콘의 재령 28일 수중 양생 콘크리트의 압축강도는 평균 484kgf/cm² 으로 목표 배합강도를 충분히 만족하였다.

수중양생 재령 7일 및 28일 압축강도 관계는 다음 그림 3 과 같다.

6회 측정한 7일 재령 압축강도 공시체의 정탄성계수 평균값은 2.87×10⁵kgf/cm² 으로 측정되었다.

표 10. 1차 타설 공장 제조 공시체 압축강도
(단위 : kgf/cm²)

| 재령 | 공시체 번호 | | | | | 평균 |
|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | B | E | |
| 3일 | 364 | - | 269 | - | - | 317 |
| 7일 | 399 | 380 | 365 | 373 | 402 | 384 |
| 28일 | 527 | 481 | 478 | 478 | 524 | 498 |

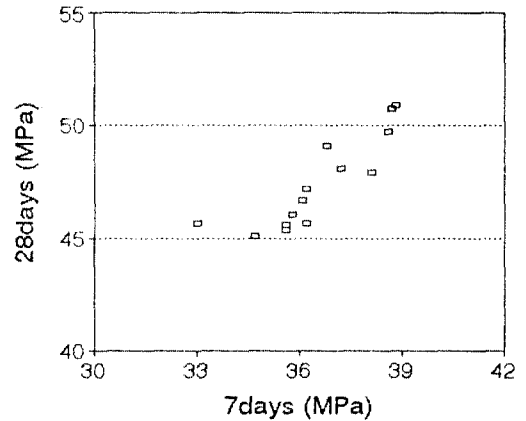


그림 3. 7일 및 28일 압축강도 관계

표 11. 1차 타설 현장 제조 공시체 인장강도
(단위 : kgf/cm²)

| 재령 | 공시체 번호 | | | 평균 |
|-----|--------|------|------|----|
| | No.3 | No.4 | No.9 | |
| 3일 | 30 | 29 | 34 | 31 |
| 7일 | 30 | 31 | 29 | 30 |
| 28일 | 30 | 28 | 34 | 31 |

표 12. 2~5차 현장 제조 공시체 압축강도
(단위 : kgf/cm²)

| 재령 | 공시체 번호 | | | | | | 평균 |
|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 2차 | | 3차 | 4차 | 5차 | | |
| | 2-1 | 2-2 | 2-3 | 3 | 4 | 5 | |
| 1일 | 182 | - | - | 106 | - | - | 144 |
| 3일 | 283 | 283 | 277 | - | 266 | 289 | 278 |
| 7일 | 356 | 361 | 347 | 387 | 347 | 386 | 364 |
| 28일 | 456 | 467 | 451 | 507 | - | - | 470 |

표 13. 1차(1994년 8월 24일) 타설 현장 제조 공시체 압축강도 및 동탄성계수

| 측정항목 | 재령 | 공시체 번호 | | | | | | | | | | 평균 |
|--|-----|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| | | No.1 | No.2 | No.3 | No.4 | No.5 | No.6 | No.7 | No.8 | No.9 | No.10 | |
| 압축강도 (kgf/cm ²) | 1일 | - | - | - | - | - | 198 | 184 | 170 | - | - | 184 |
| | 3일 | 323 | 310 | - | - | - | - | - | 292 | - | - | 308 |
| | 7일 | 372 | 362 | 358 | 320 | 381 | 356 | 368 | 362 | 386 | 388 | 365 |
| | 28일 | 481 | 457 | 461 | 457 | 479 | 454 | 491 | 472 | 497 | 509 | 476 |
| | 56일 | 541 | 516 | - | - | 526 | - | - | - | - | 557 | 535 |
| 동탄성계수 ($\times 10^5$ kgf/cm ²) | 7일 | - | - | 3.66 | 3.64 | 3.65 | 3.63 | 3.66 | 3.64 | 3.73 | 3.69 | 3.66 |
| | 28일 | 4.21 | 4.19 | 4.10 | 4.10 | 3.96 | 4.06 | 4.28 | 4.21 | 4.38 | 4.25 | 4.17 |

6. 맺음말

당사 안양공장에서 1994년 3월부터 9월말 까지 실내실험 및 모의부재 실험을 거쳐 국내 최초로 고강도 콘크리트 RC조로 설계된 수원시 소재 모 건축물에 타설된 배합강도 450kgf/cm² 고강도 서중 레미콘 제조 및 품질관리 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 고강도 콘크리트 실내실험 결과를 현장에 적용할 경우, 콘크리트 온도를 고려하여야 한다. 콘크리트 온도는 고성능감수제의 효과 및 강도발현에 큰 영향을 미친다.
- (2) 적절한 품질관리가 시행된다면 현행 설비만으로도 안정적인 고강도 레미콘 제조 및 품질관리가 가능하다.
- (3) 고강도 콘크리트의 품질변동 요인을 최소화하기 위한 지속적인 골재 표면수 보정이 필요하다.
- (4) 고강도 콘크리트는 페이스트 중의 자유수 이동속도가 느려 불리당이 거의 발생하지 않고 집성이 높으므로 일반 콘크리트에 비해 표면 마무리 작업 능률이 떨어진다.
- (6) 플라이애쉬는 원료 유연탄의 물성에 따라 물성 변동이 심할 수 있으므로 사전 검토가 필요하나 서중 고강도 레미콘용 혼합제로 효과적이다.

참고문헌

1. 정재동 외 3인, "650kgf/cm² 고강도 콘크리트 한중 시공 사례", 콘크리트 학회지, Vol.6, No.2, pp.59-67, 1994. 4.
2. 박칠림, 권영호, "건축구조물에 고강도 콘크리트 현장적용", 콘크리트 학회지, Vol.5, No.4, pp. 54-65, 1993
3. 이승훈 외 3인, "사무실 건축물에 플라이애쉬를 사용한 500kgf/cm² 이상의 고강도 콘크리트 시공", 콘크리트학회지, Vol.5, No.2, pp.83-93 1993. 6.

감사의 글

본 고강도 레미콘 시공에 많은 도움을 주신 건설현장 관계자 여러분과 당사 안양레미콘 공장 품질관리실 인원, 당 중앙연구소 실험실 인원에게 깊은 감사를 드립니다.