

합성강관 충전용 고강도-초유동 콘크리트의 현장적용에 관한 연구

Study on High Strength and High Flowable Concrete to be
Filled in Steel Tube Columns for Practical Application

최 응규* 윤 영수* 이 승훈* ○ 성 상래** 백 승준** 박 원구***
Choi, E. K. Yoon, Y. S. Lee, S. H. Sung, S. R. Baek, S. J. Park, W. G.

ABSTRACT

This paper presents a series of tests to produce the high quality concrete to be filled inside the steel tube columns. This concrete filled steel tube system requires not only the high strength, but also the high flowable concrete.

Laboratory test has been performed to clarify the material characteristics and to produce the optimal mix design proportion. Full-scale site mock-up test has been then carried out to simulate the actual construction conditions including the production of concrete at the remicon batch plant, transportation to the construction site, proper workability and man-power required.

1. 서 론

콘크리트 충전형 합성강관기둥은 철골과 콘크리트의 특성을 살린 합리적인 구조형식으로 최근 주목을 받고 있는데, 강관의 구속효과(Confinement Effect)에 의해 충전콘크리트의 내력상승과 충전콘크리트에 의한 강관의 국부좌굴 보강효과에 의해 부재내력이 상승하고, 뛰어난 변형 성능을 발휘한다. 그리고, 일반구조체에 비해서 기둥의 강성이 높으므로 태풍 및

지진시의 움직임에 대한 사용성의 개선도 가능하며, 시공시 강관은 거푸집 역할을 하므로 기둥부재의 철근 거푸집공사가 배제되어 인건비의 절감 및 시공공정 측면에서도 공기단축이 가능하리라 판단된다.

그러나, 충전되는 콘크리트는 강도측면에서는 넓은 유효공간의 확보를 위한 기둥단면적의 감소로 인해 보다 고강도가 요구되고, 시공성 측면에서는 강관내 주입 콘크리트의 다짐이 불가능하며 상당한 높이의 펌프압송이 불가피함으로써 초유동 측면이 동시에 만족되어야만 하는 어려움을 내포하고 있다.⁽¹⁻⁴⁾

-
- * 삼성물산 건설부문 기술연구소
 - ** 삼성물산 건설부문 중앙시험실
 - *** 기흥 삼성 건설기술연구소 현장소장

본 연구는 국내에서는 처음으로 적용되는 콘크리트 충전형 합성강관기둥의 시공에 앞서 압축강도가 420 및 560 kg/cm² 이고, 슬럼프 및 플로우가 각각 26±1 cm, 60±7 cm인 고강도-초유동 콘크리트에 대해서 소요강도와 유동성을 모두 만족할 수 있는 최적배합비를 도출하고⁽⁵⁻⁶⁾, 이를 근거로 현장에서 실물크기의 강관기둥을 제작하여 생산에서부터 타설에 이르기까지 실물모형실험을 실시하여 현장적용시 일어날 수 있는 문제점을 해결하고자 하였다.

2. 실내 시험

2.1 사용재료의 물성

본 실내시험에서 시멘트는 A레미콘사에서 사용하고 있는 D사 제품인 보통 포틀랜드시멘트로서 지난 6개월간의 시험성적서를 검토한 후 결정하였으며, 플라이애쉬는 충남 보령산의 유연탄계를 사용하였다. 또한, 조골재는 경기 일원에 납품되고 있는 골재로서 고강도-초유동 콘크리트의 제조에 적절한 품질을 가지고 있었으며, 세골재는 인천해사(세척사)로서, 조립율 및 No. 50 및 No. 100을 통과하는 양이 적으므로 부배합에서 유리한 것으로 판단되었다.

고성능 AE 감수제는 본 시험에서 요구하는 고강도 및 초유동 성분을 함유하는 콘크리트를 제조하기 위해서 시중에서 구입 가능한 국내의 제품중에서 실내시험을 수행한 후 필요한 유동성, 강도, 퍼짐 정도 및 응결시간 등을 가장 만족하는 제품을 선정하였다.

본 실내시험에서 사용된 재료들의 물성은 표 1과 같다.

2.2 실내시험의 기준 및 측정장치

본 실내시험에서는 고강도-초유동 콘

표 1 사용재료의 물성

| 사용재료 | 물성시험결과 |
|-------------------------|--|
| 시멘트 | 분말도(3220), 비중(3.16) 응결시간(초결:185분, 종결:5시간20분) 압축강도(7일:295kg/cm ² , 28일:380kg/cm ²) |
| 플라이애쉬 | 비중(2.18), 분말도(3623) 강입감량(2.6%) |
| 조골재 | 비중(2.70), 흡수율(0.64) 조립율(6.8), 마모율(18.5%) |
| 세골재 | 비중(2.61), 염화물함유량(0.018%) 흡수율(0.81), 조립율(2.94) |
| 고성능 AE 감수제 (나프탈렌 설폰산염계) | 비중(1.13), PH(8.2), 고형분(38.2%) |

크리트를 현장에 적용하기에 앞서 필요한 강도, 유동성, 분리저항성 및 충전성 등에 대해서 원하는 품질을 만족할 수 있는 최소의 규정을 정의하였으며, 슬럼프, 플로우, L형 플로우, U형 플로우 및 공기량에 대해서 시험을 수행하였다. 표 2는 5가지 시험항목에 대한 콘크리트의 품질기준을 나타낸 것이다.

표 2 콘크리트의 품질기준

| 구분 | 콘크리트의 품질기준 |
|------------|------------|
| Slump | 26±1 cm |
| Slump Flow | 60±7 cm |
| L형 Flow | 35cm 이상 |
| U형 Flow | 높이차 1cm 이내 |
| Air | 2.5±1.0 % |

2.3 시험배합

시험배합은 강제식 믹서를 사용하였으며, 각 변수에 대해서 상대비교시험을 실시하여 그 성능을 판정한 후, 결정된 배합에 대해서 최종적으로 확인시험을 통해서 최적배합비를 결정하였다.

2.3.1 시험변수

표 3은 실내시험의 변수를 나타낸 것이며, 그림 1은 고강도-초유동 콘크리트의 최적배합비를 구하기 위한 흐름도를 나타낸 것이다.

표 3 시험변수

| 시험요인 | 수준 |
|---------------------------|---------------|
| 시멘트의 종류 | 보통포틀랜드시멘트 |
| 물결합재비 (%) | 28, 30, 32 |
| 단위수량 (kg/m ³) | 170, 175, 180 |
| 잔골재율 (%) | 50, 53 |
| 플라이애쉬 치환율 (%) | 10 |

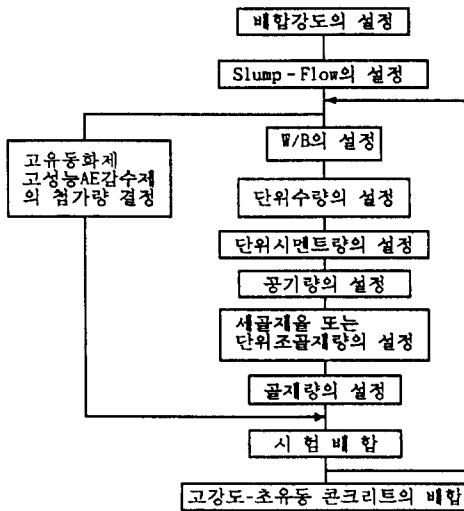


그림 1. 고강도-초유동 콘크리트의 최적배합비 도출 흐름도

2.3.2 재료의 투입순서 및 배합시간

강도 및 유동성에서 소요의 품질을 만족하는 고강도-초유동 콘크리트를 제조하기 위해서 재료의 투입순서 및 배합시간을 변수로 시험을 실시하였다. 그림 2는 재료의 투입순서 및 각 단계별 최적배합시간을 나타낸 것이다.

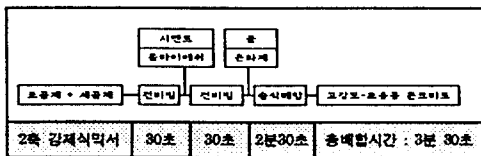


그림 2 재료의 투입순서 및 각 단계별 최적배합시간

2.3.3 각 등급별 배합표 및 시험결과

표 4는 시험배합표를 나타낸 것이고, 표 5는 각각의 배합에 대해서 굳지않은 콘크리트의 물성 및 초기재령에서의 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다.

표 4 실내시험 배합표

| | W/B (%) | S/A (%) | F/A (%) | 단 위 량 (kg/cm ³) | | | | | |
|----|---------|---------|---------|-----------------------------|-------|--------|-------|------|-----------|
| | | | | 물 | 시멘트 | 플라이 애쉬 | 굵은 골재 | 간 골재 | 혼화제 (C×%) |
| 1 | 28 | 50 | 10 | 170 | 546.3 | 60.7 | 790 | 780 | 3.30 |
| 2 | 28 | 50 | 10 | 175 | 562.5 | 62.5 | 776 | 766 | 2.56 |
| 3 | 28 | 50 | 10 | 180 | 577.8 | 64.2 | 761 | 752 | 2.41 |
| 4 | 28 | 53 | 10 | 170 | 546.3 | 60.7 | 743 | 827 | 2.60 |
| 5 | 28 | 53 | 10 | 175 | 562.5 | 62.5 | 729 | 812 | 2.42 |
| 6 | 28 | 53 | 10 | 180 | 577.8 | 64.2 | 716 | 797 | 1.82 |
| 7 | 30 | 50 | 10 | 170 | 510.3 | 56.7 | 808 | 798 | 2.05 |
| 8 | 30 | 50 | 10 | 175 | 524.7 | 58.3 | 794 | 784 | 1.49 |
| 9 | 30 | 50 | 10 | 180 | 540.0 | 60.0 | 780 | 770 | 1.39 |
| 10 | 30 | 53 | 10 | 170 | 510.3 | 56.7 | 759 | 846 | 1.54 |
| 11 | 30 | 53 | 10 | 175 | 524.7 | 58.3 | 745 | 831 | 1.49 |
| 12 | 30 | 53 | 10 | 180 | 540.0 | 60.0 | 733 | 817 | 1.39 |
| 13 | 32 | 53 | 10 | 170 | 477.9 | 53.1 | 768 | 855 | 1.75 |
| 14 | 32 | 53 | 10 | 175 | 492.3 | 54.7 | 755 | 841 | 1.58 |
| 15 | 32 | 53 | 10 | 180 | 506.7 | 56.3 | 742 | 827 | 1.43 |

표 5 콘크리트의 물성 및 압축강도

| | 굳지않은 콘크리트 | | | | 압축강도 (kg/cm ²) | |
|----|-----------|----------|---------|-------------|----------------------------|-----|
| | 슬럼프 (cm) | 플로우 (cm) | 공기량 (%) | 콘크리트 온도(°C) | 3일 | 7일 |
| 1 | 18.0 | 31.0 | 2.5 | 29 | 53 | 502 |
| 2 | 17.0 | 34.0 | 2.3 | 29 | 487 | 539 |
| 3 | 19.0 | 31.0 | 2.0 | 29 | 434 | 567 |
| 4 | 24.5 | 43.0 | 2.4 | 29 | # | 465 |
| 5 | 23.0 | 41.0 | 2.2 | 29 | # | 598 |
| 6 | 28.0 | 70.0 | 1.6 | 26 | 458 | 565 |
| 7 | 26.5 | 63.0 | 1.9 | 26 | 394 | 459 |
| 8 | 26.0 | 60.0 | 2.0 | 26 | 523 | 539 |
| 9 | 27.0 | 66.0 | 1.9 | 26 | 517 | 596 |
| 10 | 27.5 | 66.0 | 2.4 | 26 | 409 | 518 |
| 11 | 26.5 | 70.0 | 2.2 | 26 | 477 | 534 |
| 12 | 26.0 | 64.0 | 2.7 | 26 | 487 | 588 |
| 13 | 26.0 | 64.0 | 3.2 | 26 | (2일) 269 | 394 |
| 14 | 26.0 | 62.0 | 3.4 | 26 | (2일) 387 | 519 |
| 15 | 25.0 | 56.0 | 3.7 | 26 | (2일) 373 | 481 |

측정하지 않음

2.3.4 확인배합

상기 과정을 통해서 결정된 배합으로부터 420 및 560 kg/cm² 강도에 대해서 유동성, 경시변화 및 강도를 재확인하여 이 결과로부터 최종적으로 현장에 적용할 최적배합을 결정하였다. 표 6은 420 및 560 kg/cm² 강도의 최종 확인배합을 위한 배합표를 나타낸 것이고, 표 7은 각각에

대한 실내시험결과를 나타낸 것이다.

표 6 최종배합표

| 규격 (kg/cm ³) | W/B (%) | S/A (%) | F/A (%) | 단위재료량 (kg/m ³) | | | | | |
|-----------------------------|------------|------------|------------|----------------------------|-----|-----|---------|----------|--------------|
| | | | | W | C | F/A | 잔 골재 | 굵은 골재 | 혼화제 (C×%) |
| 420 | 32 | 53 | 10 | 175 | 493 | 54 | 841 | 755 | 2.42 |
| 560 | 30 | 53 | 10 | 180 | 540 | 60 | 817 | 733 | 2.06 |

표 7 물성시험결과

| 시험 종류 | 유동성시험 | | | | 경시변화시험 | | | 압축강도 | |
|----------|---------------|-----------------|-------------|-------------|--------|------|------|------|-----|
| | Slump (cm) | Flow (cm×cm) | U형관 (cm) | L형관 (cm) | 즉시 | 30분 | 60분 | 3일 | 7일 |
| 420 | 26.5 | 63×66 | 1.0 | 68.0 | 26.5 | 26.0 | 23.5 | 458 | 604 |
| | | | | | 64.5 | 60.0 | 45.0 | | |
| 560 | 27.0 | 67×67 | 1.0 | 72.0 | 27.0 | 25.5 | 24.0 | 481 | 626 |
| | | | | | 67.0 | 53.0 | 46.0 | | |

3. 현장 실물모형실험

현장에 적용될 420 및 560 kg/cm³ 강도의 고강도-초유동 콘크리트의 실물모형 실험을 위해서 현장에 적용될 강관기둥과 똑같은 강관기둥을 사용하였다. 실제 공사에서는 강관에 채워진 콘크리트가 굳고난 후의 표면상태나 공극의 발생정도를 파악하는 것은 불가능하기 때문에 본 실험에서는 콘크리트의 경화 상태를 파악하고, 또한 연속되는 3차례의 실험을 위해 다시 사용할 수 있도록 강관기둥 제작시에 수직으로 양분한 후 볼트로 연결함으로써 콘크리트 양생이 끝난 후에 강관을 떼어낼 수 있도록 하였다.

본 실험에 사용될 고강도-초유동 콘크리트는 사용재료나 운반거리 등을 종합적으로 고려하여 A 레미콘에서 제작하도록 하였다. 현장까지의 운반거리는 40~50분 정도가 소요되는데 슬럼프 및 플로우의 손실이 매우 작기때문에 타설에는 아무런 영향을 미치지 않았다. 또한, 현장에 도착한 레미콘은 장거리 압송에서의

워커빌리티의 손실정도를 알아보기 위해서 직경이 150mm인 파이프를 약 200m 정도 배관하여 콘크리트가 그 관을 통과한 다음 강관기둥에 타설되도록 하였다.

이와같이 압송된 고강도-초유동 콘크리트는 강관기둥의 아래쪽으로부터 압송하여 위쪽으로 충전시킨다. 이것은 강관기둥의 아래로부터 압송하는 것이 재료분리를 막을수 있으며, 콘크리트의 지중에 의한 영향 때문에 다짐정도가 매우 좋아지기 때문이다. 그림 3은 실물모형실험을 위해서 제작한 강관기둥과 콘크리트 주입부의 배관상태를 나타낸 것이며, 그림 4는 배관된 파이프의 배치상황을 나타낸 것이다.

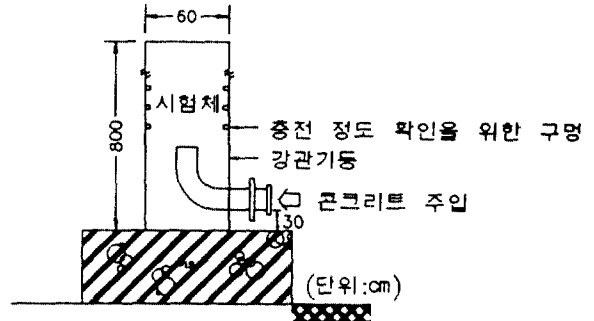


그림 3 강관기둥과 주입부의 배관상태

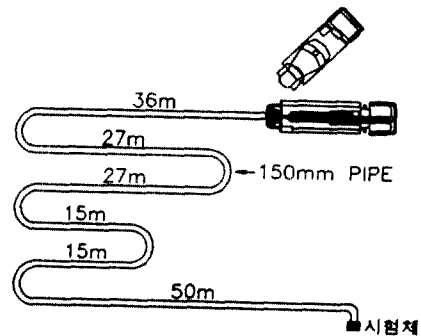


그림 4 배관 파이프의 배치

3.1 실험개요

본 실험에 사용된 기둥은 두께가 16mm이고 높이 8m, 직경 600mm인 원형 강관기둥으로써, 강관은 위에서 설명한 바와 같이 수직으로 양분한 후 볼트로

연결되어있다. 콘크리트의 타설을 위한 콘크리트 펌프는 슈빙사의 BP 3000기종을 사용하였다.

3.2 실험결과

1차 현장 실물모형실험에서는 420 kg/cm², 2차에서는 560 kg/cm² 강도의 고강도-초유동 콘크리트에 대해서 생산, 운반, 타설 및 제반물성에 관한 실험을 실시하였다. 그리고, 1차실험의 경우 약 200m의 파이프를 배관하였고, 2차실험의 경우는 약 170m의 파이프를 배관한 것외에는 똑같은 조건속에서 실험을 수행하였다.

1차실험의 경우 A 레미콘사에서 출발한 레미콘 트럭이 현장에 도착하기까지는 약 40분이 소요되었으며, 도착당시의 콘크리트의 온도는 32℃였다. 또한, 출발전에 측정된 슬럼프 및 플로우는 각각 28cm, 68cm였으며, 도착 직후에 측정된 슬럼프 및 플로우는 각각 26cm, 56cm로서, 약 40분이 경과한 동안에 슬럼프는 2cm, 플로우는 12cm정도의 감소가 발생하였다.

표 8은 시간의 경과에 따른 슬럼프, 플로우 및 콘크리트의 온도변화를 측정된 값을 나타낸 것이고, 표 9는 현장도착시에 제작한 원주형 공시체의 재령에 따른 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다.

표 8 슬럼프, 플로우 및 콘크리트 온도의 변화

| 구분 시간 | 슬럼프 (cm) | 플로우 (cm) | 콘크리트 온도(℃) | 비고 |
|----------|-------------|-------------|---------------|----------------|
| 11:12 | 28.0 | 68.0 | 32 | 레미콘공장 에서 출발 |
| 11:52 | 26.0 | 56.0 | 32 | 현장도착 |
| 11:59 | 26.0 | 56.0 | 32 | 감관기들에 펌핑시작 |
| 12:01 | -- | -- | -- | 감관기들에 펌핑완료 |
| 12:21 | 25.5 | 49 | 32 | 펌핑시험개시 |
| 12:31 | 24.5 | 41 | 35 | -- |
| 12:46 | 21.0 | 36.5 | 40 | 펌핑시험완료 |

표 9 현장제작공시체의 압축강도

| 재령 강도구분 | 3일 | 7일 | 28일 |
|------------|-----|-----|-----|
| 19 - 420 | 347 | 443 | 512 |

2차실험의 경우 현장에 도착하기까지는 약 50분이 소요되었으며, 도착당시의 콘크리트의 온도는 28℃였다. 또한, 출발전에 측정된 슬럼프 및 플로우는 각각 27cm, 61cm였으며, 도착직후에 측정된 슬럼프 및 플로우는 각각 25.5cm, 47cm로서, 약 50분이 경과한 동안에 슬럼프는 1.5cm, 플로우는 14cm정도의 감소가 발생하였다.

2차 실험의 경우 슬럼프와 플로우의 시간에 따른 손실량은 측정하지 않았으며, 표 10은 560 kg/cm²의 경우 각 재령에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

표 10 현장제작공시체의 압축강도

| 재령 강도구분 | 7일 | 14일 | 28일 |
|------------|-----|-----|-----|
| 19 - 560 | 570 | 622 | 661 |

현장에 타설될 420 및 560 kg/cm² 강도의 고강도-초유동 콘크리트의 생산, 운반, 타설 및 소요강도의 발현 등에 관한 제반 실험의 결과로부터 강도의 발현 측면이나 장거리 펌핑을 한 후의 시공성 측면에서도 매우 우수함을 알 수 있었다.

그러나, 3차 현장 실물모형실험에서는 앞서의 1차, 2차실험의 결과와는 다소 다른 결과가 얻어졌다. 물론 타설까지의 결과는 앞서의 1차 및 2차실험의 결과와 유사했지만, 타설후 24시간이 경과한 후에도 콘크리트의 경화에 문제가 있음이 발견되었다.

타설당일의 평균 대기온도는 약 15℃ 정도였으나, 타설한 날 저녁부터는 온도가 많이 떨어져서 거의 3℃ 이하를 기록

하여 콘크리트의 경화에 지장을 주었으며, 콘크리트가 타설된 기둥은 강관으로 제작되어 있으므로 주변의 대기온도보다 강관표면의 온도가 더 낮아지게 되어 콘크리트의 경화를 상당히 지연시켰을 것으로 판단되었다. 그리고 실제 현장에서 고강도-초유동 콘크리트가 타설될 시기가 동절기이므로 3차실험 당시보다 대기온도가 더 낮을 것이 예상되고 이로 인해 콘크리트의 경화는 더욱 더 지연될 것이다.

사진 1은 1, 2차 실험이 끝난 후 강관을 제거한 콘크리트 기둥과 3차 실험에서 콘크리트를 충전시킨 후의 강관의 모습이다.

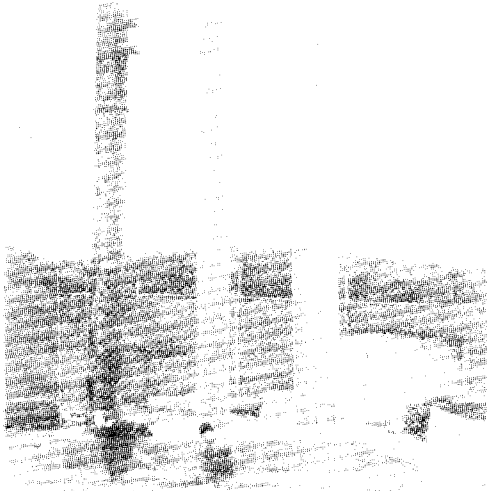


사진 1 실험기둥의 모습

5. 결론

본 연구에서는 콘크리트 충전형 합성 강관기둥을 현장에 적용하기에 앞서 강도 및 유동성을 동시에 만족하는 고강도-초유동 콘크리트의 최적배합비 도출을 위한 실내시험과 현장 실물모형실험을 수행하였으며, 그 결과를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

설계강도가 420 및 560 kg/cm² 인 합성강관 충전용 고강도-초유동 콘크리트의

최적배합을 얻기위한 배합시간은 3분 30초가 적절한 것으로 나타났으며, 유동성 측면에서 슬럼프는 각각 26.5cm, 27cm, 플로우는 63×66cm, 67×67cm였고, 강도 측면에서는 현장제작공시체는 재령 28일에서 각각 512 및 661kg/cm²로서 활중율은 각각 1.22 및 1.29로 나타났다.

참고 문헌

1. 岩清水陸 외 5인, “シリカフェーム 超高強度コンクリートを用いた 충전型鋼管柱の實大壓入施工實驗 : (その1) 調査選定のための豫備實驗”, 日本建築學會大會學術講演集, 1994.9, pp. 727-728.
2. 光枝 良 외 5인, “シリカフェーム 超高強度コンクリートを用いた 충전型鋼管柱の實大壓入施工實驗 : (その2) 實驗概要とフレッシュコンクリートの性状”, 日本建築學會大會學術講演集, 1994.9, pp. 729-730.
3. 高畑顯信 외 5인, “シリカフェーム 超高強度コンクリートを用いた 충전型鋼管柱の實大壓入施工實驗 : (その3) 鋼管柱が受ける影響と壓入後のコンクリートの性状”, 日本建築學會大會學術講演集, 1994.9, pp. 731-732.
4. 米澤敏男 외 5인, “シリカフェームを用いた 超高強度コンクリートの鋼管壓入施工”, 日本コンクリート工學, Vol. 31, No. 12, 1993. 12, pp. 22-33.
5. 윤재환 외 5인, “고유동 콘크리트의 제조에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회, 가을학술발표회 논문집, 제 7권 2호, 1995. 11, pp. 50-55.
6. 건설교통부, “국내 실정에 맞는 고강도 콘크리트의 개발 및 실용화 연구”, R&D / 94-0015, 1995. 10, 286p.