

간편 배합설계방법을 통한 중간강도 자기충전 콘크리트의 특성

Properties of Medium Strength Self-Compacting Concrete with Simple Mix design Method

최연왕* 조선규** 최욱*** 김경환**** 안성일*****
Choi, Yun Wang Cho, Sun Kyu Choi, Wook Kim, Kyung Hwan An, Sung Ill

ABSTRACT

In this paper, the medium strength self-compacting concrete with simple mix design method was manufactured and investigated about the properties of flowability and strength. Two types of binders like as fly-ash and RP(rock powder) were contained to the SCC in order to obtain the target medium strength of 270~350kgf/cm². The experimental tests about slump-flow, reaching time to the slump-flow of 50cm, V-funnel and U-box were carried out in accordance with the specified by the Japanese Society of Civil Engineering(JSCE). The mechanical properties such as compressive strength, splitting tensile strength and static modulus of elasticity were checked with the requirements specified by KS.

1. 서론

최근 콘크리트 구조물은 다양하고 복잡한 형상을 지니고 있으며, 내진 설계의 강화에 따라 과밀 철근으로 배근된 구조물이 증가하고 있는 실정이다. 또한 이러한 구조물들은 콘크리트 타설시에 충전성의 저하 및 재료분리 현상과 다짐불량 등으로 인해 구조물의 표면 불량 및 초기 균열 등의 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구의 일환으로 국내·외적으로 자기충전 콘크리트(Self-Compacting Concrete:이하 SCC로 약함)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{1,2)}

일반적으로 SCC라 함은 굳지 않은 상태에서 유동성과 재료분리에 대한 저항성이 우수하며, 별도의 다짐작업 없이 콘크리트 자중만으로 복잡한 구조물을 용이하게 충전시키는 특성을 가지고 있으며, 국내에서는 이러한 SCC제조 방법 중 가장 대표적인 분체계 SCC를 주로 제조하고 있다. 그러나 분체계 SCC는 유동성과 점성을 확보하기 위해 다량의 분체와 SP제를 사용하여 400kgf/cm² 이상의 고강도 영역에만 적용되고 있으며, 원가 상승과 배합설계방법이 매우 까다롭고 복잡하다는 문제점을 안고 있다.^{3,4)}

본 연구에서는 위와 같은 기존의 분체계 SCC의 문제점을 보완하기 위하여 골재 채움율(Packing Factor, 이하 PF라 약함)을 사용한 간편 배합설계방법을 통하여 SCC를 제조한 후 일본 토목학회(JSCE)에서 제시한 성능평가 기준안을⁵⁾ 따라 유동성능 및 충전성능을 평가하였다. 또한 플라이 애쉬와 석분을 사용하여 270~350kgf/cm²의 중간강도 SCC를 제조하기 위해 SCC의 성능평가 및 역학적 특성에 대하여 고찰하였다.^{6,7)}

* 정회원, 세명대학교 토목공학과 부교수

** 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 조교수

*** 정회원, 한국시설안전기술공단 차장

**** 정회원, M.B.T Korea 부장

***** 정회원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

2. 실험개요

2.1. 사용재료

(1) 시멘트 및 분체계 결합재 : 시멘트는 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC라 약함)를 사용하였으며, 분체계 결합재로는 플라이 애쉬(이하 FA라 약함)와 남양주지역 석산에서 발생하는 석분Cake(이하 RP라 약함)를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

(2) 골재 : 굵은 골재는 최대치수 20mm인 부순 골재를 사용하였으며, 잔골재는 여주산 강모래로 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 1 시멘트 및 분체계 결합재의 화학성분 및 물리적 성질

| Items Types | SiO ₂ (%) | Al ₂ O ₃ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO ₃ (%) | Specific gravity | Specific surface area(cm ² /g) |
|----------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|------------------------|---------------------|--|
| OPC | 21.6 | 6.0 | 3.1 | 61.4 | 3.4 | 2.5 | 3.15 | 3,539 |
| F A | 61.3 | 23.1 | 6.4 | 4.1 | 1.1 | 1.0 | 2.27 | 3,753 |
| R P | 60.5 | 16.47 | 3.6 | 3.8 | 1.7 | 0.02 | 2.67 | - |

표 2 골재의 물리적 성질

| Items Types | G _{max} (mm) | Specific gravity | Absorption (%) | F.M. | Organic impurities | Unit weight (kgf/m ³) | Solids by weight (%) |
|----------------|--------------------------|---------------------|-------------------|------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| Coarse agg. | 20 | 2.67 | 0.86 | 7.15 | - | 1,321 | 49.5 |
| Fine agg. | - | 2.58 | 1.82 | 2.73 | O.K | 1,444 | 56.0 |

2.2. 실험계획 및 실험방법

2.2.1. 실험계획

그림 1과 같은 간편 배합설계방법을 통해 목표로 하는 중간강도(270~350kgf/cm²) SCC를 제조하기 위한 실험계획을 정리하면 다음과 같다.

- (1) PF 결정방법에 따라 사용골재의 특성을 반영한 PF를 결정(그림 2)
- (2) 간편 배합설계방법을 통해 OPC만을 사용한 기준배합 결정
- (3) 기준배합에 대하여 분체계 결합재로 FA와 RP를 사용한 중간강도 SCC 배합 결정

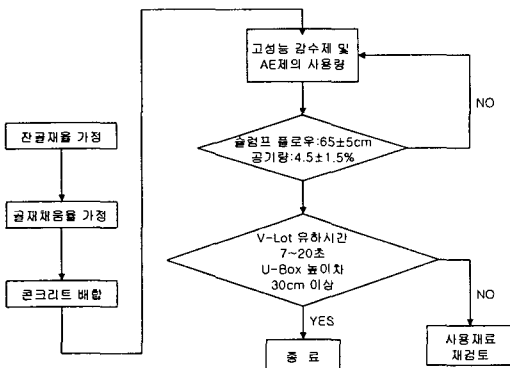


그림 1 본 연구에서 제시한 배합설계방법

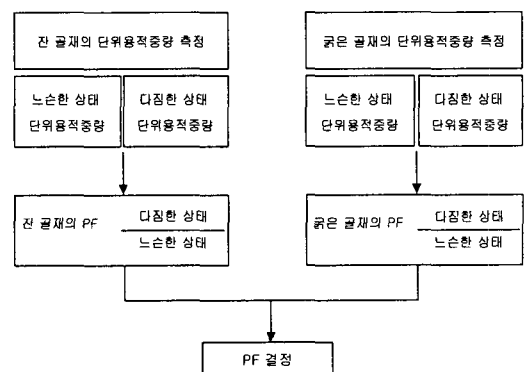


그림 2 PF 결정방법

2.2.2. 실험방법

1) SCC 성능 평가

SCC의 성능평가는 JSCE의 “자기충전형 고유동 콘크리트의 시험방법(안)”⁵⁾에 의해 Slump-flow, Slump-flow 50cm 도달시간, V-Lot 유하시간 및 U-Box 충전시험을 실시하였다. 표 3에 JSCE에 제시된 성능평가 기준안을 나타내었으며, 본 연구에서는 일반적인 철근 콘크리트 구조물의 조건인 2등급 SCC를 기준으로 평가하였다.

표 3 JSCE에 제시된 SCC의 성능평가 기준안

| Items | | Grade | 1 | 2 | 3 |
|----------------|-----------------------------|-------|---------|---------|---------|
| 건설 조건 | 최소 철근 간격 (mm) | | 30-60 | 60-200 | ≥200 |
| | 철근량 (kg/m ³) | | ≥350 | 100-350 | ≤100 |
| 유동성 | Slump flow (mm) | | 650-750 | 600-700 | 500-650 |
| 재료분리저항성 | V-lot 유하시간 (sec) | | 10-20 | 7-20 | 7-20 |
| | Slump flow 500mm 도달시간 (sec) | | 5-25 | 3-15 | 3-15 |
| U-Box 높이차 (mm) | | | ≥300 | ≥300 | ≥300 |

2) 경화한 콘크리트

ø10×20cm 원주형 공시체를 제작하여 20±3℃에서 표준양생하고 재령 3일, 7일, 28일에서 각 재령별 로 KS F 2405에 의거하여 압축강도를 측정하였으며, 조깅인장강도 및 정탄성계수는 각각 재령 28일에 KS F 2423, KS F 2438에 따라 측정하였다.

3) 콘크리트 배합

콘크리트의 기준배합은 PF를 3단계, S/a를 3단계로 변화시켜 결정하였으며, 이때 물-시멘트비는 38%로 고정하였다. 또한 중간강도 SCC를 제조하기 위한 배합은 기준배합의 단위시멘트용적에 대하여 FA의 혼합률 3수준(10, 20, 30%), RP의 혼합률 3수준(10, 20, 30%)의 총 6수준으로 혼합하여 결정하였다. 배합 결정을 위한 콘크리트의 배합표는 표 4, 5 및 6과 같다.

표 4 기준배합 결정을 위한 배합표

| Mix. No. | PF | S/a (%) | W/C (%) | Unit Weight(kg/m ³) | | | | SP (C×%) |
|----------|------|---------|---------|---------------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | | | | W | C | S | G | |
| N1 | 1.18 | 0.53 | 0.38 | 181 | 476 | 904 | 728 | 1.0 |
| N2 | 1.18 | 0.50 | 0.38 | 182 | 479 | 853 | 774 | 1.0 |
| N3 | 1.18 | 0.50 | 0.38 | 182 | 479 | 853 | 774 | 1.0 |
| N4 | 1.20 | 0.50 | 0.38 | 178 | 467 | 865 | 785 | 1.0 |
| N5 | 1.19 | 0.52 | 0.38 | 178 | 469 | 895 | 750 | 1.1 |
| N6 | 1.19 | 0.52 | 0.38 | 178 | 469 | 895 | 750 | 1.0 |
| N7 | 1.19 | 0.52 | 0.38 | 178 | 469 | 895 | 750 | 1.05 |
| N8 | 1.19 | 0.53 | 0.38 | 178 | 468 | 912 | 734 | 1.05 |

표 5 FA 혼합 배합표

| Mix. No. | PF | S/a (%) | FA/(OPC+FA) (%) | W/B (%) | W/C (%) | W/(OPC+FA) (%) | Vw/Vp (%) | Unit Weight(kg/m ³) | | | | SP (C×%) | |
|----------|------|---------|-----------------|---------|---------|----------------|-----------|---------------------------------|-----|----|-----|----------|------|
| | | | | | | | | W | P | | S | | G |
| | | | | | | | | | C | FA | | | |
| N8 | 1.19 | 0.53 | 0 | 38 | 38 | 38 | 120 | 178 | 468 | 0 | 912 | 734 | 1.05 |
| P1 | 1.19 | 0.53 | 10 | 39 | 42 | 39 | 120 | 178 | 421 | 33 | 912 | 734 | 0.95 |
| P2 | 1.19 | 0.53 | 20 | 40 | 48 | 40 | 120 | 178 | 375 | 65 | 912 | 734 | 0.85 |
| P3 | 1.19 | 0.53 | 30 | 42 | 54 | 42 | 120 | 178 | 328 | 98 | 912 | 734 | 0.75 |

표 6 RP 혼합 배합표

| Mix. No. | PF | S/a (%) | RP/(OPC+RP) (%) | W/B (%) | W/C (%) | Vw/Vp (%) | Unit Weight(kg/m ³) | | | | | SP (C×%) |
|----------|------|---------|-----------------|---------|---------|-----------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|
| | | | | | | | W | P | | S | G | |
| | | | | | | | | C | RP | | | |
| N8 | 1.19 | 0.53 | 0 | 38 | 38 | 120 | 178 | 468 | 0 | 912 | 734 | 1.05 |
| P4 | 1.19 | 0.53 | 10 | 39 | 42 | 120 | 178 | 421 | 40 | 912 | 734 | 1.23 |
| P5 | 1.19 | 0.53 | 20 | 39 | 48 | 120 | 178 | 375 | 79 | 912 | 734 | 1.40 |
| P6 | 1.19 | 0.53 | 30 | 40 | 54 | 120 | 178 | 328 | 119 | 912 | 734 | 1.60 |

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 굳지 않은 SCC의 성능평가

본 연구에서 제시한 간편 배합설계방법을 통해 기준배합을 결정하기 위한 배합의 SCC 성능평가에 대한 결과를 나타낸 것이 표 7이다. 표 7의 결과 SCC 2등급의 조건을 모두 만족하는 배합은 2, 8번 배합이며, 건조수축을 고려하여 단위수량이 보다 적은 8번 배합을 기준배합으로 결정하였다.

또한 본 연구에서 목표로 하는 중간강도 SCC를 제조하기 위해 기준배합의 단위시멘트용적에 대해 분체계 결합재를 혼합한 배합의 성능평가에 대한 결과를 나타낸 것이 표 8이다.

표 7 기준배합(OPC)을 결정하기 위한 성능평가 결과

| Mix. No. | PF | S/a (%) | Slump-Flow(mm) | 50cm Reaching Time(sec) | V-Lot Dropping Time(sec) | U-Box Level(mm) | SP (C×%) |
|----------|------|---------|----------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|----------|
| N1 | 1.18 | 0.53 | 560 | 9.8 | 27 | 310 | 1 |
| N2 | 1.18 | 0.50 | 610 | 6.0 | 14 | 330 | 1 |
| N3 | 1.18 | 0.50 | 550 | 8.3 | 25 | 230 | 1 |
| N4 | 1.20 | 0.50 | 560 | 9.2 | 56 | 220 | 1 |
| N5 | 1.19 | 0.52 | 520 | 12.8 | 54 | 280 | 1.1 |
| N6 | 1.19 | 0.52 | 600 | 6.3 | 21 | 300 | 1 |
| N7 | 1.19 | 0.52 | 640 | 5.3 | 26 | 280 | 1.05 |
| N8 | 1.19 | 0.53 | 620 | 6.0 | 15 | 330 | 1.05 |

표 8 분체계 결합재를 혼합한 콘크리트의 성능평가 결과

| Mix. No. | PF | S/a (%) | FA/ (C+FA) (%) | RP/ (C+RP) (%) | Slump-Flow (mm) | 50cm Reaching Time(sec) | V-Lot Dropping Time(sec) | U-Box Level(mm) | SP (C×%) |
|----------|------|---------|----------------|----------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|----------|
| N8 | 1.19 | 0.53 | 0 | 0 | 620 | 6.0 | 15 | 330 | 1.05 |
| P1 | 1.19 | 0.53 | 10 | 0 | 640 | 5.8 | 18 | 330 | 0.95 |
| P2 | 1.19 | 0.53 | 20 | 0 | 600 | 8.1 | 17 | 340 | 0.85 |
| P3 | 1.19 | 0.53 | 30 | 0 | 600 | 10.3 | 16 | 330 | 0.75 |
| P4 | 1.19 | 0.53 | 0 | 10 | 600 | 7.91 | 13 | 320 | 1.23 |
| P5 | 1.19 | 0.53 | 0 | 20 | 630 | 6.74 | 19 | 345 | 1.40 |
| P6 | 1.19 | 0.53 | 0 | 30 | 610 | 6.64 | 12 | 330 | 1.60 |

표 8의 결과, 분체계 결합재를 혼합한 콘크리트의 경우 혼합률에 관계없이 SCC 2등급 조건을 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 특히 FA의 혼합률이 증가할수록 SP제의 사용량은 감소하는 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과는 FA의 혼합률이 증가할수록 단위시멘트량이 감소하여 SP제의 시멘트에 대한 분산작용 효과가 증대되었을 뿐만 아니라, FA의 물리적 특성에 기인하여 나타난 것으로 판단된다. 그러나 RP를 혼합한 콘크리트의 경우 혼합률이 증가할수록 동일한 유동성을 확보하기 위해서는 SP제의 사용량이 증가하는 것으로 나타났으며, 이와 같은 결과는 RP를 Cake상으로 생산하기 위해 응집제를 사용하였기 때문인 것으로 판단된다.

3.2. 분체계 결합재를 혼합한 SCC의 역학적(강도) 특성

3.2.1. 압축강도특성

FA의 혼합률에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이 그림 3이다. 그림 3의 결과 FA를 혼합한 SCC의 경우 FA의 혼합률이 증가함에 따라 재령별 압축강도가 감소하는 결과를 나타내었다. 특히 재령 28일에서 FA 혼합률이 10% 및 20%인 SCC의 압축강도는 기준 SCC의 압축강도와 비교하여 각각 약 6% 및 19%정도 감소되었고, FA 30%의 경우 최대 37%정도 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 중간강도의 SCC를 제조하기 위한 FA의 적정혼합률이 존재함을 알 수 있다.

그림 4는 RP의 혼합률에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. 그림 4의 결과 초기재령 3일, 7일에서 RP의 혼합률 10%의 경우 기준 SCC와 동일한 압축강도특성을 나타내었으며, 혼합률 10%를 제외한 나머지의 경우 혼합률이 증가함에 따라 비례적으로 감소하는 결과를 나타내었다. 또한 재령 28일에서 RP의 혼합률 10%의 경우 기준 SCC보다 약 7%정도 강도증진현상을 나타내었으나, RP의 혼합률 20% 및 30%의 경우 약 6% 및 17%정도 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 중간강도의 SCC를 제조하기 위해서는 단위시멘트용적에 대한 RP의 혼합률을 30%이하로 혼합하는 것이 적절함을 알 수 있다.

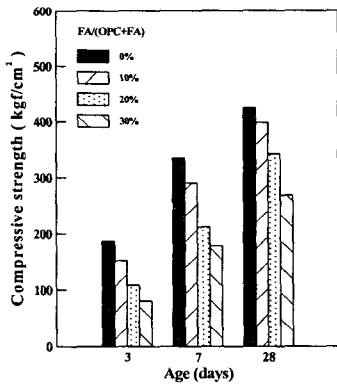


그림 3 FA 혼합률에 따른 재령별 압축강도 특성

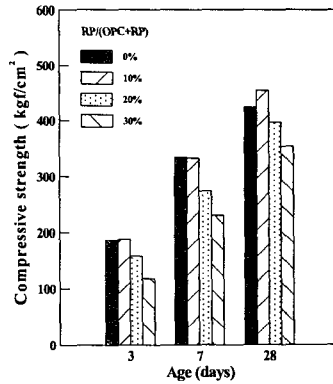


그림 4 RP 혼합률에 따른 재령별 압축강도 특성

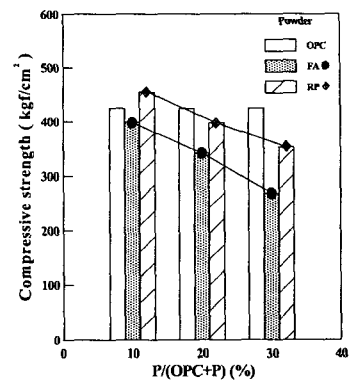


그림 5 분체계 결합재의 혼합률별 재령28일 압축강도 특성

그림 5는 분체계 결합재의 혼합률별 재령 28일 압축강도를 비교하여 정리한 것이다. 그림 5의 결과로부터 FA를 혼합한 SCC의 경우 FA 10% 및 20%에서 재령 28일 압축강도가 각각 398kgf/cm², 342kgf/cm²로 나타나 목표로 하는 중간강도범위를 확보하고 있음을 알 수 있다. 또한 RP를 혼합한 콘크리트의 경우 혼합률 10%를 제외한 20% 및 30%에서 각각 397kgf/cm², 353kgf/cm²로 나타나 목표 중간강도범위를 확보하고 있음을 알 수 있다.

3.2.2. 쪼갬인장강도 및 정탄성계수

그림 6은 분체계 결합재의 혼합률에 따른 SCC의 압축강도와 쪼갬인장강도 및 탄성계수와의 관계를 나타낸 것이다. 그림 7의 결과 압축강도와 쪼갬인장강도와의 관계에서 RP의 혼합률 10%를 제외한 나머지의 경우 압축강도가 증가함에 따라 쪼갬인장강도가 선형적으로 증가하였다. 또한 압축강도와 탄성

계수와와의 관계는 압축강도가 증가함에 따라 탄성계수도 선형적으로 증가하여 SCC의 역학적 특성이 보통콘크리트와 동일하게 나타남을 알 수 있다.

4. 결론

1) 본 연구에서 제시한 간편 배합설계방법의 주요 설계 변수인 PF는 현장에서 변화되는 골재의 특성을 반영한 것으로 PF 1.19, S/a 53%에서 최적의 배합이 결정되었다. 또한 결정된 기준 배합의 단위시멘트량은 468kg으로 기존의 분체계 SCC의 단위시멘트량보다 약 100kg 정도 감소하였음을 알 수 있다.

2) 결정된 기준배합에 대하여 플라이 애쉬를 혼합할 경우 유동성은 증가하여 동일한 유동성을 확보하기 위한 SP제의 사용량을 감소시킬 수 있음을 알 수 있으며, 혼합률 변화에 관계없이 모든 배합에서 JSCE의 SCC 2등급 기준안을 만족함을 알 수 있다. 또한 플라이 애쉬의 혼합률이 증가함에 따라 압축강도는 비례적으로 감소함을 알 수 있다.

3) 기준배합에 대하여 석분을 혼합할 경우 혼합률 10%를 제외한 20% 및 30%의 압축강도는 감소하였으며, 동일한 유동성을 확보하기 위한 SP제의 사용량은 증가하였으나, 혼합률 변화에 관계없이 모든 배합에서 JSCE의 SCC 2등급 기준안을 만족함을 알 수 있다.

3) 목표 중간강도(270~350kgf/cm²)범위를 확보할 수 있는 분체계 결합재의 혼합률은 플라이 애쉬의 경우 단위시멘트용적의 10% 및 20%이며, 석분의 경우 단위시멘트용적의 20% 및 30%임을 알 수 있다.

4) 이상의 실험결과를 종합해 볼 때 본 연구에서 제시한 간편 배합설계방법을 통해 SCC의 최적 배합 결정이 가능하였으며, 또한 분체계 결합재인 플라이 애쉬와 석분을 사용함으로써 단위시멘트량의 감소효과 및 각 결합재의 적정혼합률에 따라 중간강도범위의 SCC 제조가 가능함을 알 수 있다.

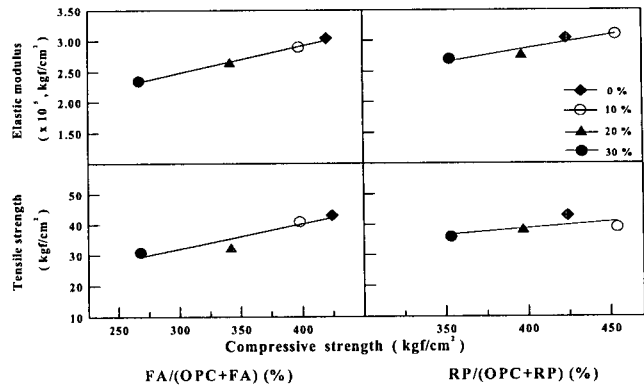


그림 6 압축강도와 활렬인장강도 및 탄성계수의 관계

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 기술혁신사업과제 「ET 신기술 경량골재를 이용한 고강도 경량 프리캐스트 바닥판 및 시공시스템 개발」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최연왕 외 3인, “중탄산칼슘을 이용한 자기충전형 콘크리트의 특성에 관한 연구”, 한국 콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제 14권 1호, 2002, pp. 73~78.
2. Violeta Bokan Bosiljkov, “SCC mixies with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler”, Cement and Concrete Research 2292, 2003.1, pp. 1~8.
3. 岡村甫 外 3人, “ハイパフォーマンスコンクリート”, 技報堂出版, 1993.
4. 김상철 외 2인, “배합조건에 따른 고유동콘크리트의 성상에 관한 실험적 연구”, 한국 콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제 7권 1호, 1995, pp. 19~24.
5. JSCE, “高流動コンクリート施工指針”, 2000.
6. 최연왕 외 4인, “골재채움율과 잔골재 용적비를 고려한 자기충전형 콘크리트의 최적배합”, 한국 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제14권 2호, 2002, pp. 549~554.
7. Nan Su, Buquan Miao, “A new Method for the Mix Design of Medium Strength Flowing Concrete with Low Cement Content”, Cement and Concrete Composite 25, 2003.