

일라이트 미분말을 혼입한 고유동 콘크리트의 유동성 및 충전성에 관한 연구

이동운¹, 이맹교¹, 박현정^{2*}
¹동서대학교 건축토목공학부, ²신라대학교 건축학부

A Study on Fluidity ability, Filling ability Properties of High Fluidity Concrete with Illite Powder

Dong-Un Lee¹, Maeng-Gyo Lee¹, Hyun-Jung Park^{2*}

¹Division of Architecture & Civil Engineering, Dongseo University

²Division of Architecture, Silla University

요약 본 연구에서는 고유동 콘크리트에서 일라이트 미분말을 대체한 콘크리트의 유동성과 충전성 및 압축강도 특성을 조사하기 위한 것이다. 이러한 목적으로 일라이트 미분말을 고유동 콘크리트에 5, 10, 15, 20%를 대체한 후 치환율에 따른 콘크리트의 특성을 알아보았다. 콘크리트 배합 후 굳지않은 콘크리트에서 슬럼프 플로우 시험, 500mm플로우 도달시간 및 O-lot 시험을 실시하였으며, 굳은 콘크리트의 특성으로 재령 28일에 고유동 콘크리트의 압축강도를 측정하였다. 시험결과 고유동 콘크리트의 유동성 및 충전 높이는 일라이트 미분말 10%를 대체하였을 때까지 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 고유동 콘크리트의 압축강도 특성을 살펴본 결과에서도 일라이트 미분말 10%를 대체하였을 때까지 강도증진이 발생하였다. 따라서 본 실험결과 일라이트 미분말의 혼입율이 10%일 때 최적 치환율이 되었음을 확인할 수 있었다.

Abstract This study is to be investigate properties of workability, compacting and compressive strength replaced by the illite powder in high fluidity concrete. For this purpose, illite powder has replaced the binder of high fluidity concrete of 5%, 10%, 15%, 20%. After concrete mixing, slump flow test, reach time slump flow 500mm, O-lot test were conducted on fresh high fluidity concrete. And compressive strength was determined 28 days for the hardened high fluidity concrete specimens. According to the test results, the workability, filling height of high fluidity concrete were increased in 10% replacement of illite powder. Furthermore, the compressive strength of high fluidity concrete was increased in 10% replacement of illite powder.. It was possible to confirm that optimal mixture ratio of illite powder seems to exist, and it is shown to be 10% according to our experimental results.

Keywords : Compressive strength, Filler, High fluidity concrete, Illite powder, O-lot

1. 서론

지하 기초 매스부위와 초고층 부위에 타설되는 콘크리트의 경우 재료의 분리 없이 일정기간 동안 유동성을 확보할 수 있는 고유동 콘크리트가 사용되고 있다. 그리고 이러한 고유동 성능을 확보하기 위해 새로운 재료와

기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1].

고유동 콘크리트는 플라이애시나 석회석 미분말과 같은 고미분말 충전재를 사용하여 유동성은 확보하면서 점성과 재료분리 저항성을 가질 수 있도록 한 것이 특징이다. 따라서 고유동 콘크리트의 경우 철근 간격이 좁은 부재 등에 진동다짐을 하지 않고 타설할 수 있어 우수한

*이 논문은 2015년도 동서대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 이루어진 것임

*Corresponding Author : Hyun-Jung Park(Silla Univ.)

Tel: +82-51-999-5724 email: phj@silla.ac.kr

Received August 20, 2015

Accepted December 4, 2015

Revised (1st October 15, 2015, 2nd November 5, 2015)

Published December 31, 2015

콘크리트 구조물의 품질확보가 가능하다[2,3,4]. 또한 충전제의 사용으로 인해 시멘트 사용량을 감소시킬수 있으며, 수화열 저감효과 및 수축으로 인한 균열 감소와 작업성을 향상시키고 골재와 공극사이를 충전시켜 수밀성 있는 콘크리트를 제조할 수 있는 이점이 있다[5,6].

고유동 콘크리트를 제조하기 위해서는 유동성을 확보 하면서 재료분리 저항성이 높아야 하기 때문에 소성점도를 크게 할 필요가 있다. 이를 해결하기 위해 기존의 연구에서는 단위 시멘트량을 증가시키는 방법과 증점제를 사용하는 방법을 이용하였다[7,8]. 그러나 단위시멘트량을 증가시킬 경우 수화열이 많이 발생하며 수축이 크게 나타나기 때문에 균열이 발생하는 단점이 있다. 또한 증점제를 사용할 경우 응결이 지연되고, 단위수량 및 공기량이 증가되기 때문에 내구성이 저하되는 단점이 있다[9].

이러한 문제점들을 해결하고자 국내에서 다량으로 생산되고 있는 일라이트 미분말을 충전제로 사용하여 고유동 콘크리트를 제조하고자 한다. 일라이트는 전세계적으로 우리나라를 포함한 4개국에서만 생산되는 광물이며, 국내에서 515만 6천 톤으로 가장 많은 매장량을 보유하고 있어 높은 경제성을 가지고 있으나 이에 대한 관련 연구는 미비한 실정이다. 그리고 일라이트 미분말의 경우 비표면적이 80~150m²/g이며 입경이 매우 균등하고 미세하기 때문에 고유동 콘크리트의 충전제로 사용할 경우, 강도의 큰 저하 없이 점성을 증가시켜 재료분리 저항성을 높일 것으로 예상되며 콘크리트의 생산단가 절감에 이점이 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 일라이트 미분말을 활용하여 고유동 콘크리트의 제조 가능성을 알아보기 위해 굳지 않은 특성인 유동성, 재료분리 저항성 및 충전성을 측정하고 경화 후 특성으로 압축강도를 측정하여, 일라이트 미분말이 고유동 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 실험인자 및 평가

본 연구에서의 배합설계는 크게 2가지로 나누어 실시하였다. 2가지 배합모두 단위결합재량은 500kg/m³로 설정하였으며, 물-결합재비를 35%로 고정하였다. 그리고 혼화제의 경우 고성능 감수제를 결합제의 1.2%로 고정하여 사용하였다.

시리즈 I의 경우 시멘트만 단독으로 사용함으로써 일라이트 미분말을 시멘트 중량으로 5%, 10%, 15%, 20%로 치환하여 치환율에 따른 영향을 파악하였으며, 시리즈II의 경우에는 일라이트를 단독으로 사용할 경우 단위시멘트량의 감소로 인하여 강도감소가 다소 발생할 것으로 예상되어 일라이트 미분말을 10%, 20%로 치환율을 고정한 후 고로슬래그 미분말을 10%, 20%치환하여 치환율에 따른 영향을 파악하였으며, 실험인자 및 평가항목은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Experiment factor and tests

| Experiment factor | W/B ratio(%) | 35 |
|-------------------|---|------------------|
| | Cement content(kg/m ³) | 500 |
| | Illite powder(%) | 0, 5, 10, 15, 20 |
| | Ground granulated blast furnace slag(%) | 0, 10, 20 |
| Tests | Slump flow(mm) | Fresh concrete |
| | Flow time(sec) | |
| | O-LOT(sec) | |
| | Compressive strength(day) | 3, 7, 14, 28 |

2.2 시편의 제작

본 연구에서 실시한 배합설계의 경우 질량배합으로 실시하였으며, 물과 고성능 감수제를 제외한 각 재료의 전량 투입→ 건비빔 30초→ 물+고성능 감수제 투입→ 1분 혼합→ 상태확인 후 2분 혼합→ 배출 후 실험을 실시하는 순서로 진행하였다. 시험용 시험체 제작은 원주형 몰드(Ø100mm×200mm)를 사용하여 KS F 2403에 따라 실시하였으며, 모든 시험체는 타설 후 24시간 양생 후 탈형하고, 20±3℃의 온도로 유지되는 수조에 침지하여 소정의 재령까지 양생하였고 배합설계는 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Mixture proportion of concrete

| Series | Specimen | W/B (%) | Cement (kg/m ³) | Ground granulated blast furnace slag (kg/m ³) | Illite powder (kg/m ³) | Super-plasticizer (kg/m ³) | Aggregate (kg/m ³) | |
|--------|----------|---------|-----------------------------|---|------------------------------------|--|--------------------------------|-----|
| | | | | | | | S | G |
| I | plain | 35 | 500 | | - | 6.0 | 816 | 831 |
| | I-5 | | 475 | | 25 | | 813 | 830 |
| | I-10 | | 450 | | 50 | | 813 | 828 |
| | I-15 | | 425 | | 75 | | 811 | 826 |
| | I-20 | | 400 | | 100 | | 809 | 824 |
| II | I10-S10 | 35 | 400 | 50 | 50 | 6.0 | 814 | 827 |
| | I10-S20 | | 350 | 100 | 50 | | 813 | 825 |
| | I20-S10 | | 350 | 50 | 100 | | 811 | 823 |
| | I20-S20 | | 300 | 100 | 100 | | 810 | 822 |

2.3 실험재료

2.3.1 시멘트

본 연구에서 사용한 시멘트의 물리화학적 성질을 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Chemical and physic composition of cement

| Type | | Type I Portland cement | | | |
|------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|-------|
| Fineness(cm ² /g) | | 3,266 | | | |
| Density(g/cm ³) | | 3.15 | | | |
| Chemical composition (%) | SiO ₂ | 20.71 | Compound composition (%) | C ₃ S | 48.20 |
| | Al ₂ O ₃ | 5.56 | | C ₂ S | 23.00 |
| | Fe ₂ O ₃ | 3.03 | | C ₃ A | 9.60 |
| | CaO | 62.25 | | C ₄ AF | 9.20 |
| | MgO | 3.40 | | | |
| | SO ₃ | 2.50 | | | |
| | L.O.I | 1.42 | | | |

2.3.2 골재

본 연구에 사용된 골재의 물리적 특성은 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Physical properties of aggregate

| Aggregate | G | S |
|--|---------------|------------|
| Maximum size of aggregate(mm) | 19.0 | 5.0 |
| Fineness modulus | 6.80 | 2.85 |
| Specific gravity | 2.69 | 2.56 |
| Absorption(%) | 1.32 | 2.33 |
| Bulk density of aggregate (kg/m ³) | 1,690 | 1,670 |
| Note | Crushed stone | River sand |

2.3.3 일라이트 미분말

본 연구에 사용된 일라이트 미분말은 K지역에서 생산된 것으로 특성은 Table 5와 같다.

Table 5. Chemical and physical composition of illite powder

| Type | | Illite powder |
|------------------------------|--------------------------------|---------------|
| Fineness(cm ² /g) | | 80,520 |
| Density(g/cm ³) | | 5.32 |
| Chemical composition (%) | SiO ₂ | 52.01 |
| | Al ₂ O ₃ | 30.5 |
| | Fe ₂ O ₃ | 2.30 |
| | K ₂ O | 7.26 |
| | CaO | 0.01 |
| | Na ₂ O | 0.43 |
| | Etc | 7.49 |

2.3.4 고로슬래그 미분말

고로슬래그 미분말은 국내산 H사의 콘크리트용 고로 슬래그 미분말(3종)을 사용하였고, 물리 화학적 특성은 아래의 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Chemical and physical properties of blast furnace slag

| Chemical composition | Compo-sition | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | Ig.loss |
|----------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|---------|
| | Content (%) | 31.82 | 17.48 | 0.52 | 43.79 | 4.44 | 3.79 | 0.36 |
| Physical properties | Fineness (cm ² /g) | Density (g/cm ³) | Flow ratio (%) | Activity coefficient(%) | | | | |
| | | | | 7d | 28d | 91d | | |
| | 4,420 | 2.90 | 103 | 68 | 98 | 126 | | |

2.3.5 고성능 감수제

본 연구에 사용된 고성능 감수제의 물리적 성질은 Table 7과 같다.

Table 7. Physical composition of water reducer agent

| Color | Dark brown |
|-----------------------------|------------|
| Density(g/cm ³) | 1.22 |
| State | Liquid |
| pH | 7±1 |

2.4 실험방법

본 연구의 실험항목으로는 시멘트의 일부분을 일라이트 미분말로 치환한 고유동 콘크리트의 굳지 않은 특성을 알아보기 위해 슬럼프 플로, 슬럼프 플로 500mm도달 시간, O-Lot유하시험을 실시하였고, 경화 후 콘크리트의 특성에 대해서는 재령별 압축강도를 측정하였다.

2.4.1 슬럼프 플로 및 500mm도달시간

각 배합별 바닥모르타르의 유동성 측정을 위하여 KS L 5111에 따라 슬럼프 플로 시험을 실시하였다. 배합된 모르타르를 틀에 채우고 진동을 주지 않은 상태에서 모르타르 콘을 들어올렸을 때 퍼진 형상을 대각선으로 측정하여 평균값을 구하였다. 그리고 슬럼프 플로 500mm도달시간을 측정하여 재료분리 저항성에 대하여 평가하였다.

2.4.2 O-Lot유하시험

O-Lot유하시험은 KSCE 2003-03. “갈대기를 사용한 유하 시험방법”에 따라 시험을 실시하였다. 슬럼프 플로 500mm 도달시간과 더불어 고유동 콘크리트의 재료분리 저항성을 알아보기로자 O-Lot 유하시간 시험 기구를 이용하여 시료를 시험 기구에 채운 후 입구부분을 개방하여 시료가 완전히 흘러내렸을 때까지의 시간(초)을 측정하였다.

2.4.3 압축강도 측정

압축강도 공시체는 제작은 $\Phi 100 \times 200$ mm의 원주형 몰드에 다짐 작업을 하지 않고 시편을 제작하여 24시간 후 몰드를 탈형하였다. 그리고 소정의 재령까지 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 온도에서 수중양생을 실시하였다. 압축강도 시험은 재령 3, 7, 14일 및 28일에 KS F 2405 “콘크리트의 압축강도 시험방법”에 따라 실시하였다.

3. 실험결과

3.1 슬럼프 플로

Fig. 1, Fig. 2는 일라이트 미분말을 함유한 고유동 콘크리트의 유동성 측정을 위한 슬럼프 플로 측정결과를 나타낸 것이다. 시리즈 I에서는 Plain의 슬럼프 플로 값은 630mm로 나타났으며, 일라이트 미분말을 5%~20%까지 치환할 경우 각각 650mm, 665mm, 670mm, 680mm으로 나타났다. 따라서 일라이트 미분말의 치환율이 증가할수록 슬럼프 플로는 증가하는 경향을 나타내었다.

시리즈II에서의 슬럼프 플로는 일라이트 미분말의 치환율이 동일하였을 때, 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 슬럼프 플로값이 증가하였다. 그리고 고로슬래그 미분말의 치환율이 동일하였을 때, 일라이트 미분말의 치환율이 증가할수록 슬럼프 플로값이 증가하였다.

이러한 결과가 나타난 이유는 일라이트 미분말과 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 결합재의 단위용적이 증가하기 때문에 유동성 향상이 나타난 것으로 판단된다.

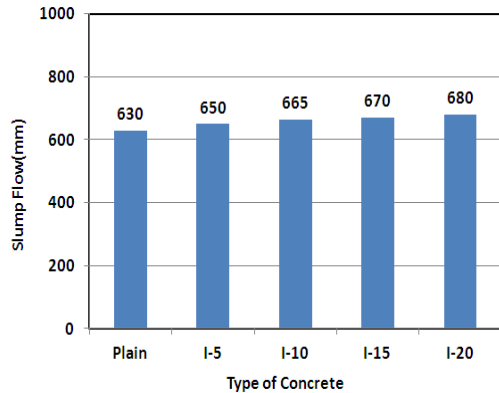


Fig. 1. Results of slump flow test - series I

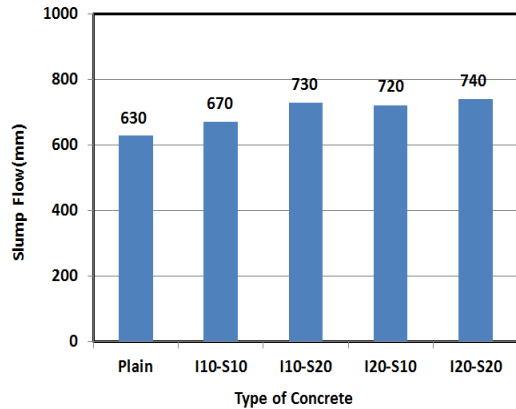


Fig. 2. Results of slump flow test - series II

3.2 슬럼프 플로 500mm 도달시간

Fig. 3, Fig. 4는 고유동 콘크리트의 재료분리 저항성을 평가하기 위하여 슬럼프 플로 500mm 도달시간을 나타낸 것이다. 시리즈 I의 경우 슬럼프 플로 500mm 도달시간은 Plain의 19.1초와 비교하였을 때 일라이트 미분말의 치환율 5%~15%까지는 0.6초~1.6초로 단축되었으나, Plain과 비교하였을 때 큰 차이는 나타나지 않았다.

시리즈II에서는 일라이트 미분말의 치환율이 동일할 경우 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가될수록 슬럼프 플로 500mm도달시간은 Plain의 19.1초와 비교하여 크게 단축되었다. 특히, I10-S20, I20-S20 시편의 경우 각각 6.8초, 6.5초로 Plain의 19.6초 대비 12초 이상 단축되었다.

일라이트 미분말과 고로슬래그 미분말을 혼합하여 사

용하면 슬럼프 플로 500mm 도달시간이 단축되어, 고유동 콘크리트 타설시 작업성에 도움이 될 것으로 판단된다. 이는 일라이트 미분말과 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가하면서 점성에 기여하는 단위 시멘트량이 감소하였기 때문으로 판단된다.

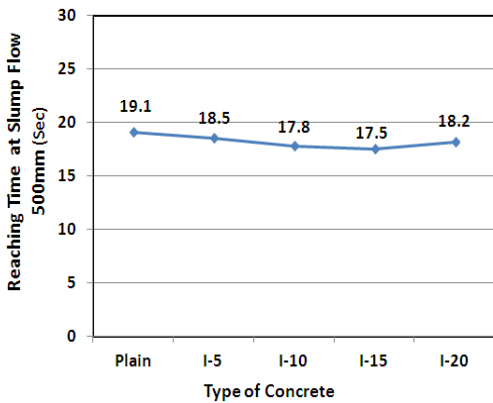


Fig. 3. Results of reaching time at slump flow 500mm - series I

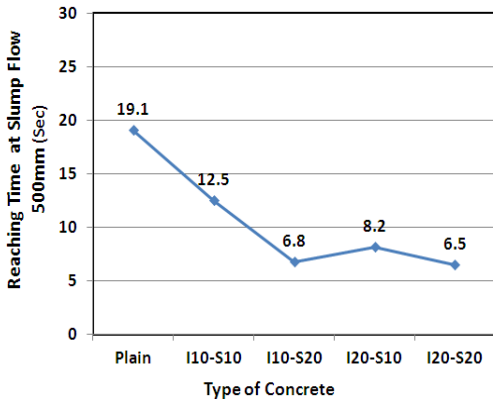


Fig. 4. Results of reaching time at slump flow 500mm - series II

3.3 O-Lot 유하시간

Fig. 5, Fig. 6은 고유동 콘크리트의 O-Lot유하시간 측정결과를 나타낸 것이다. 시리즈 I의 경우 Plain의 18.2초 대비 일라이트 미분말의 치환율이 증가될수록 O-Lot유하시간이 0.2초에서 1.6초 범위로 단축되어 일라이트 미분말의 충전성 효과를 입증하였다.

시리즈II에서는 일라이트 미분말과 고로슬래그 미분말을 혼합사용한 경우 O-Lot유하시간은 Plain의 18.2초

대비 각각 14.5초, 11.5초, 11.3초, 9.5초로 상당히 단축되었다. 특히, I20-S20 시편의 경우 9.5초로 Plain보다 2배 가까이 빨라졌다. 이는 일라이트 미분말과 고로슬래그 미분말이 치환됨으로서 페이스트의 용적은 증가하지만 페이스트의 점성을 증가시키는 단위 시멘트량이 감소되어 골재사이의 마찰력을 감소시키기 때문에 유하시간이 빨라진 것으로 판단된다.

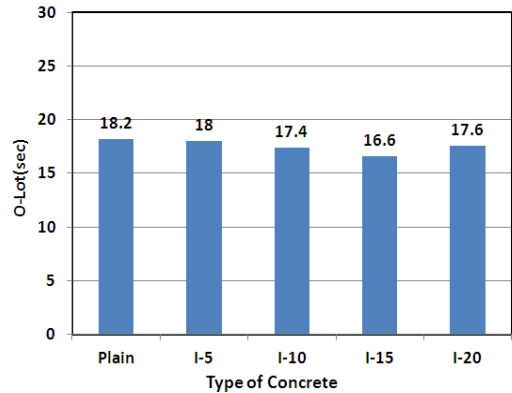


Fig. 5. Results of O-Lot test(Series I)

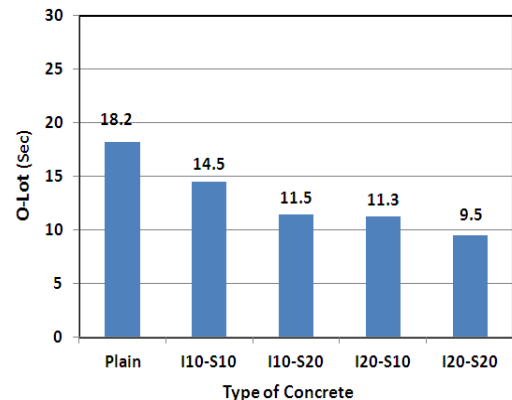


Fig. 6. Results of O-Lot test(Series II)

3.4 압축강도

Fig. 7, Fig. 8은 고유동 콘크리트의 3일, 7일, 14일 및 28일 압축강도를 나타낸 것이다. 시리즈 I의 경우 일라이트 미분말 치환율이 5%~15%까지는 재령 3일, 7일 14일 및 28일 압축강도는 Plain보다 증가하였으나, 20% 치환율 에서는 오히려 압축강도가 저하되었다. 그러나 일라이트 미분말의 10%까지는 단위 시멘트량이 감소함

에도 불구하고, 압축강도가 저하되지 않아 일라이트 미분말의 적정 치환율은 10%이내가 되어야 할 것으로 판단된다. 이는 일라이트 미분말의 치환율이 증가할수록 골재와 공극사이를 채워 줌으로서 고유동 콘크리트 매트릭스 내부의 공극을 충전하여 강도가 증가한 것으로 판단되며, O-Lot 시험을 통하여 충전재로서 역할을 하고 있다는 것이 증명되었다.

시리즈II의 경우 일라이트 미분말의 치환율이 10%로 동일할 때 고로슬래그 미분말의 치환될수록 재령 3일, 7일 압축강도는 Plain과 비교하여 저하되었으나, 재령 14일, 28일 압축강도는 Plain보다 높게 나타났다. 그러나 일라이트 미분말 치환율이 20%로 동일한 경우 고로슬래그 미분말의 치환율이 커질수록 28일 압축강도는 Plain보다 낮게 나타났다. 재령 3일, 7일 압축강도 저하 현상이 발생한 이유는 일라이트 미분말과 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가됨에 따라 단위 시멘트량이 상대적으로 감소되었기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 고로슬래그 미분말을 혼합하여 사용할 경우 조기에 수화반응을 활성화 시켜 재령 3일, 7일 압축강도를 증진시키는 방안이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

Table 8. Results of compressive strength - series I, II

| 구분 | | 3일 | 7일 | 14일 | 28일 |
|-----------|---------|------|------|------|------|
| Series-I | Plain | 28.6 | 31.5 | 35.3 | 37.1 |
| | I-5 | 31.8 | 33.8 | 36.8 | 41.5 |
| | I-10 | 32.2 | 34.1 | 38.9 | 42.5 |
| | I-15 | 32.6 | 34.8 | 38.6 | 41.8 |
| | I-20 | 24.5 | 29.5 | 31.4 | 34.1 |
| Series-II | Plain | 28.5 | 31.1 | 36.5 | 37.2 |
| | I10-S10 | 23.0 | 26.3 | 47.4 | 49.3 |
| | I10-S20 | 21.8 | 27.6 | 48.4 | 50.1 |
| | I20-S10 | 20.8 | 27.1 | 36.2 | 38.2 |
| | I20-S20 | 20.2 | 24.9 | 31.1 | 38.1 |

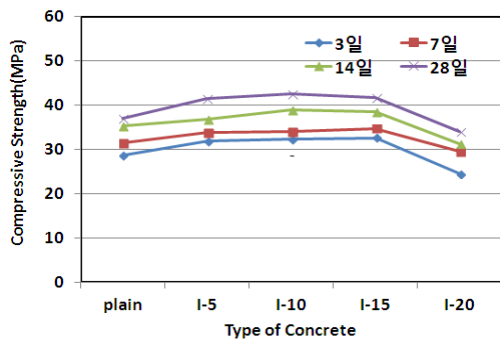


Fig. 7. Results of compressive strength - series I

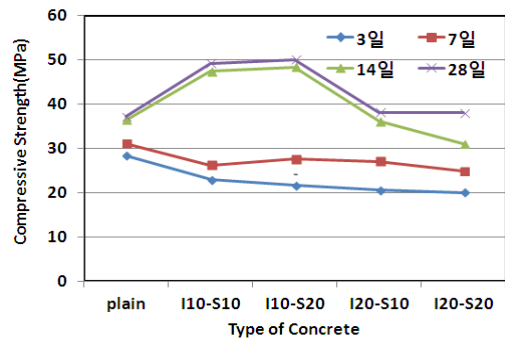


Fig. 8. Results of compressive strength - series II

4. 결론

일라이트 미분말을 충전재로 활용하여 고유동 콘크리트의 유동성, 충전성 및 압축강도에 미치는 영향을 알아 보았고, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 일라이트 미분말의 치환율이 증가할수록 슬럼프 플로는 증가였다. 특히 일라이트 미분말과 고로슬래그 미분말을 혼합사용한 경우 유동성이 향상되는 것으로 나타났다.
- 2) 일라이트 미분말이 치환될수록 슬럼프 플로 500mm 도달시간은 0.6초~1.6초 범위였고, O-Lot유하시간 역시 0.2초~1.6초 범위로 단축되었으나 Plain과 큰 차이는 나타나지 않았다. 그러나 일라이트 미분말과 고로슬래그 미분말을 혼합 사용한 경우 슬럼프 플로 500mm도달시간은 Plain 대비 최대 12초 이상 단축되었으며, O-Lot 유하시간은 최대 2배 가까이 빨라짐을 확인하였다.
- 3) 일라이트 미분말을 치환한 고유동 콘크리트의 압축강도는 치환율 10%까지는 Plain보다 재령 3일, 7일, 14일, 28일 압축강도가 증가하였으나, 치환율 15% 및 20%에서는 Plain보다 압축강도가 저하되어, 일라이트 미분말의 적정 치환율은 10%이내가 적당할 것으로 판단된다.

References

[1] Felekoglu B, Turkel S, Baradan B. Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete. Building and Environment.

2007 April;42(4):1795 - 1802.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.01.012>

- [2] Ye G, Liu X, De Schutter G, Poppe A-M, Taerwe L. Influence of limestone powder used as filler in SCC on hydration and microstructure of cement pastes. *Cement and Concrete Composition*. 2007 February;29(2):94 - 102.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.09.003>
- [3] Poppe AM, Schutter GD. Cement hydration in the presence of high filler contents. *Cement and Concrete Research*. 2005 December;35(12):2290 - 2299.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.03.008>
- [4] Kou SC, Poon CS. Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composition*. 2009 October;31(9):622 - 627.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.06.005>
- [5] Violeta Bokan Bosiljkov. SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler. *Cement and Concrete Research*. 2003 September;33(9):1279-1286.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00013-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00013-9)
- [6] Mohammed Sonebi. Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modeling using factorial experimental plans. *Cement and Concrete Research*. 2004 July;34(7):1199-1208.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.12.022>
- [7] Kim Jae-Hun, Yoon Sang-Chun, Jee Nam-Yong. The effect of combined aggregates on fluidity of the high fluid concrete containing GGBFS. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2003 December; 3(4)79-86.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5345/JKIC.2003.3.4.079>
- [8] Jang Hyun-O, Jee Nam-Yong. An experimental study on the mixing of normal strength and high fluidity concrete using ground granulated blast furnace slag. *Journal of Architectural Institute of Korea*. 2003 June;29(6):81-88.
- [9] Lee Seung Han, Kim Hee-Joong, Jung Yong-Wook. Influence of the improved grain shape of coarse aggregates on compactability of high performance concrete. *Journal of Concrete Institute of Korea*. 2000 April;12(4):103-111.
- [10] Kim Sung-Wook, Park Jung-Jun, Bae Su-Ho, Park Jae-Im. Optimum mix proportions of high fluidity antiwashout underwater concrete using ground granulated blast furnace slag, *Journal of the Korea Academia-industrial Cooperation Society*, Vol. 13.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.8.3704>

이 동 운(Dong-Un Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2005년 1월 : (주) 본구조 엔지니어링 이사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

건축재료, 건축시공

이 맹 교(Maeng-Gyo Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 동아대학교 건축공학과 학사졸업
- 1990년 12월 ~ 2012년 6월 : 종합건설회사 21년근무(현장소장 15년)
- 2015년 9월 : 동서대학교 건축공학부 석사과정 중
- ~ 현재 : (주)통일건설기술원근무 이사

<관심분야>

건축재료, 건축시공

박 현 정(Hyun-Jung Park)

[정회원]



- 1995년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2001년 5월 ~ 2003년 2월 : (주) 유진구조 이사
- 2003년 3월 ~ 현재 : 신라대학교 건축학부 교수

<관심분야>

건축재료, 건축시공