

CAC 및 석고혼입 CAC를 사용한 초속경 콘크리트-폴리머 복합체의 공학적 특성

Engineering Character of Ultra Rapid Hardening Concrete-Polymer Composite using CAC and Gypsum Mixed CAC

구 자 술¹ 유 승 업^{1*} 김 진 만²

Koo, Ja Sul¹ Yoo, Seung Yeup^{1*} Kim Jin Man²

Technical Research Center, Tong Yang Cement & Energy Corp., Samcheok-City, 25930, Korea ¹
Dept. of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheonan-City, Chungnam, 31080, Korea ²

Abstract

Recently, application case of the ultra rapid hardening concrete-polymer composite(URHCPC) are increasing to repair for the deterioration of pavement. But it is a major disadvantage that the main material is expensive and has environmental load. For these reasons, the development of the economic, eco-friendly materials is needed. Calcium Aluminate Composite (CAC), produced by rapid cooling of atomizing method with molten ladle furnace slag, is a material capable of improving the economic feasibility and reducing the environmental load of URHCPC. In this paper, the properties of CAC and gypsum mixed CAC (GC) as alternative materials of RSC according to the types of polymer dispersion were studied. The results were as follows; compressive strength, tensile strength, flexural strength, bonding strength and modulus of elasticity of the composites using CAC or GC showed higher values than those of plain proportion in 3 hour. In later age, they were at the same level as the general proportions. URHCPC using BPD as polymer dispersion had superior strength properties generally. But modulus of elasticity was the same level as the case of using a SBR latex. According to these results, CAC or GC can partially substituted for RSC to product the URHCPC. When URHCPC uses the BPD as the polymer dispersion, it can be improved performance.

Keywords : concrete-polymer composite, regulated set cement, calcium aluminate composite, gypsum mixed calcium aluminate composite

1. 서 론

콘크리트-폴리머 복합체는 무기질 재료인 시멘트를 사용하는 일반적인 콘크리트의 성능을 개선하기 위해 시멘트의 일부 또는 전부를 유기질 재료인 폴리머로 대체한 것

으로 굳지 않은 상태에서는 계면활성제의 분산 및 폴리머 입자의 불 베어링 효과에 의해 워커빌리티와 공기연행성이 좋고, 폴리머 입자의 응집에 의해 접착성이 높아 재료 분리에 대한 저항성이 우수하며, 굳은 상태에서는 시멘트 수화물과 폴리머 필름막이 일체가 된 co-matrix상이 형성되어 인장강도, 휨강도 등의 기계적 성질과 수밀성, 기밀성, 내약품성, 내동결융해성, 내마모성 등의 내구성이 우수하다[1].

이러한 특성으로 인하여 콘크리트-폴리머 복합체는 바닥재 및 포장재 등 고내구성을 요하는 곳에 비교적 널리 사용되고 있으며, 결합재로는 주로 포틀랜드시멘트, 혼합시멘트 등이 사용되고 있다. 최근에는 교통량이 많은 노후

Received : November 11, 2015

Revision received : January 10, 2016

Accepted : March 15, 2016

* Corresponding author : Yoo, Seung Yeup

[Tel: 82-33-571-7418, E-mail: yoosy79@naver.com]

©2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

도로를 중심으로 신속보수의 필요성이 대두되면서 시공 후 3시간에 압축강도 20~30MPa를 안정적으로 발현시킬 수 있는 초속경시멘트를 사용한 콘크리트-폴리머 복합체 공법이 각광받고 있다. 이 공법은 초속경시멘트와 스티렌과 부타디엔을 주 모노머로 중합반응한 폴리머(이하 SBR 라텍스)를 주원료로 사용하는 것으로 기존의 콘크리트 또는 아스콘 포장 공법에 비해 내구성이 탁월하고, 경화속도가 빨라 신속보수의 필요성에 잘 대응할 수 있는 장점이 있을 뿐만 아니라 도심지 도로의 노후화에 따른 신속보수에 대한 요구가 증가하면서 향후 그 수요는 더욱 증가될 것으로 예상된다.

그러나 초속경 콘크리트-폴리머 복합체는 보크사이트와 형석 등을 고온으로 소성하여 제조하는 초속경시멘트와 폴리머 디스퍼션을 주재료로 사용하기 때문에 환경부하가 클 뿐만 아니라 가격이 매우 높은 단점을 가지고 있어 보다 경제적이고 친환경적인 재료의 개발이 요구되고 있다.

이에 본 연구팀에서는 CaO와 Al₂O₃ 함량이 높은 전기로 환원슬래그를 용융 상태에서 공기로 냉각하는 Slag Atomizing Technology(이하 SAT) 공법으로 처리한 다음 불밀로 분쇄하여 만든 Calcium Aluminate Composite(이하 CAC)와 CAC에 석고 등의 첨가재를 혼합하여 제조한 석고혼입 CAC(Gypsum mixed CAC, 이하 GC)를 개발하였으며, 이를 초속경시멘트에 일부 치환하여 사용하면 콘크리트의 공학적 특성이 향상되는 것을 보고한 바 있다 [2,3]. 또한, Carbon Amino Silica Black(이하 CASB)과 폴리카르본산계 고성능감수제를 화학적으로 결합한 CASB 화합 고성능감수제와 SBR 라텍스를 기계적으로 교반하여 제조한 블랙 폴리머 디스퍼션(Black Polymer Dispersion, 이하 BPD)을 개발하였으며, 이를 폴리머로 사용하면 콘크리트-폴리머 복합체의 성능이 향상되는 것을 보고하였다 [4].

따라서 본 연구에서는 상기한 선행연구의 결과를 바탕으로 초속경시멘트와 SBR 라텍스를 사용하는 초속경 콘크리트-폴리머 복합체에 CAC 및 GC를 초속경시멘트의 대체재로 일부 치환하여 사용하고, 여기에 더불어 폴리머를 BPD로 대체하면 매우 우수한 공학적 성능과 원가절감이 가능할 것으로 예측하고, 이를 실험적으로 검증하고자 하였다.

2. 기존연구의 고찰

2.1 초속경 콘크리트-폴리머 복합체 공법

초속경 콘크리트-폴리머 복합체 공법은 스티렌 부타디엔계열의 폴리머를 물속에 고르게 분산시킨 SBR 라텍스와 조기강도 발현이 우수한 초속경시멘트, 모래, 굵은골재, 소량의 혼화제 및 물을 혼합하여 제조한 초속경 콘크리트-폴리머 복합체를 성능이 저하된 교량 바닥판콘크리트 및 콘크리트 포장도로를 일정 깊이까지 절삭, 청소하고 포설한 후 3~4시간 양생하여 교통을 개방하는 도로 보수 보강 및 재포장 공법으로, 일명 VES-LMC(Very Early Strength -Latex Modified Concrete) 공법으로 불린다 [5,6].

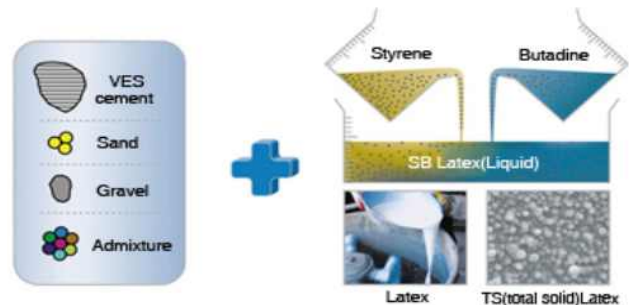
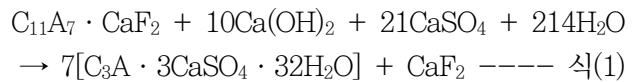


Figure 1. VES-LMC method

2.2 초속경시멘트

초속경시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트의 원료에 Al₂O₃의 공급원으로 보크사이트와 CaF₂ 공급원으로 형석 등을 적당량 가하여 클링커로 만들고, 이것에 무수 및 반수 석고를 필요에 따라 첨가하여 분쇄한 시멘트이다. 이 시멘트를 사용한 콘크리트는 재령 2~3시간에 20~30MPa의 압축강도를 안정하게 얻을 수 있는데, 이는 초속경시멘트에 주요 화합물인 C₁₁A₇ · CaF₂가 물과 혼합하면 곧바로 용해하여 C₃S의 수화에 의해 유리된 Ca(OH)₂ 및 별도로 용해된 CaSO₄와 식(1)과 같이 반응하여 Ettringite(C₃A · 3CaSO₄ · 32H₂O)를 생성하기 때문이다[7].



이러한 초속경시멘트는 주로 긴급 보수보강 공사, 그라우트, 콘크리트 제품 등에 사용된다. 그러나 초속경시멘트는 알루미늄 원광인 보크사이트와 탄산칼슘(CaCO₃)을 소

성시켜 제조하기 때문에 CO₂의 배출량과 소비 에너지 비용이 높다는 문제점이 있다.

2.3 전기로 환원슬래그

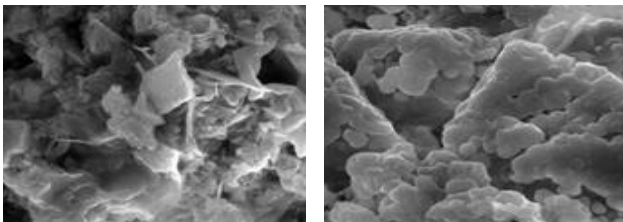
전기로 환원슬래그는 전기로에서 철 스크랩을 용해시켜 1차 산화정련 과정을 실시하고 얻어지는 용강을 2차 정련 공정(Ladle furnace)에서 환원정련 후 배출되는 슬래그이다. 2차 정련공정에서는 용제로서 칼슘, 환원제로서 알루미늄 등을 첨가하기 때문에 환원슬래그에도 상기 성분이 다량 함유되어 있으며, 대부분 칼슘실리케이트계 화합물인 C₃S·CaF₂, C₃S와 칼슘알루미늄네이트계 화합물인 C₁₂A₇, C₁₁A₇·CaF₂로 존재하는 것으로 알려져 있다. 이 중 칼슘알루미늄네이트계 화합물은 초속경성을 나타내는 성분으로서 비교적 단시간 내에 높은 강도발현을 나타내는 특성을 지니고 있다[8].

2.4 CAC 및 GC

2.4.1 CAC

CAC는 용융상태의 전기로 환원슬래그를 SAT 공법으로 급속 냉각시켜 안정한 유리질로 만든 다음 이를 불밀로 분쇄한 것으로 비정질의 C₁₂A₇와 β-C₂S가 주성분으로 이루어져 있어 속경성 제품의 원료 및 혼화재료로서 활용이 가능한 제품이다.

CAC에 포함된 C₁₂A₇은 식(2)와 같이 물과 접촉 시 육각 판상의 박편으로 된 C-A-H를 다량으로 석출하면서 급결성을 나타내지만, 최종 수화물로 정출되는 C₃AH₆의 강도 발현성은 약한 것으로 알려져 있다[9].



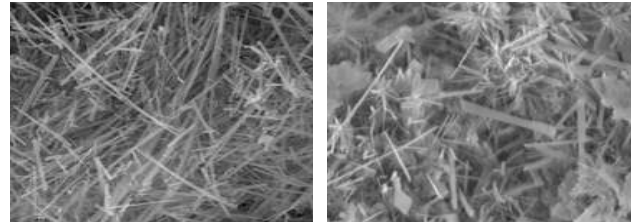
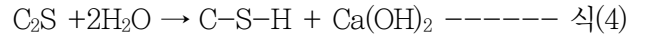
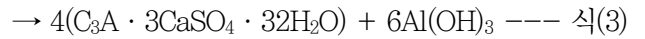
(1) 1 hour hydration(x10,000) (2) 1 day hydration(x10,000)

Figure 2. Hydration of CAC

2.4.2 GC

GC는 CAC에 석고 등의 첨가재를 혼합하여 제조한 것

으로 초기재령에서 식(3)과 같이 Ettringite 수화물을 생성함으로써 단시간 내 경화 및 강도발현 성능을 가지고, 장기재령에서는 식(4)와 같이 C-S-H겔을 생성함으로써 장기강도발현 성능을 가진다[3].



(1) Early age

(2) Long-term age

Figure 3. Hydration of GC

2.5 폴리머 디스퍼션

2.5.1 SBR 라텍스

SBR 라텍스는 Styrene과 Butadiene을 저온 유화 중합하여 제조한 합성고무 제품으로 천연고무에 비해 품질이 균일하고 특히 내열성과 내마모성이 우수하며, 타이어, 신발, 산업용품 등의 재료로 널리 사용되고 있다. 이를 콘크리트-폴리머 복합체에 사용하면 co-matrix상의 형성으로 인해 염소이온 등 유해 물질의 침투를 억제하여 구조물의 내구성을 향상시킬 수 있다.

2.5.2 BPD

BPD는 Carbon Black에 아미노실리카 화합물을 합성하여 제조한 CASB가 화합된 폴리카르본산계 흑감수제를 폴리머 디스퍼션과 모터의 교반수단을 통해 고속 믹싱하여 제조한 것으로 이를 콘크리트-폴리머 복합체에 사용하면 평균 입자크기 50nm인 카본아미노실리카블랙이 충전재로서 콘크리트-폴리머 복합체의 모세관 공극을 감소시키고, 강화재로서 폴리머의 경도와 인장력을 강화시켜 콘크리트-폴리머 복합체의 압축 및 인장강도 등의 역학적 특성을 향상시키며, 콘크리트-폴리머 복합체의 모세관 공극 감소와 co-matrix상의 형성으로 인해 염소이온 등 유해 물질의 침투를 억제하여 구조물의 내구성을 향상시킨다. 또한,

블랙 폴리머 디스퍼션을 사용함으로써 부가적으로 콘크리트-폴리머 복합체에 검정색상을 부여할 수 있다[4,10].

3. 실험 계획 및 방법

3.1 실험계획

CAC 및 GC를 사용한 초속경 콘크리트-폴리머 복합체의 특성 분석을 위한 실험계획은 Table 1과 같다.

Table 1. Experimental plan of concrete

| Items | | Factors | |
|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---------|
| Mixture | Unit water(kg) | • 60 | |
| | Unit Binder(kg) | • 360 | |
| | Controlled binder | • S company' s RSC' | |
| | Admixture_Replacement ratio(%) | • CAC_10 | • GC_20 |
| | Kind of polymer dispersion | • SBR Latex | • BPD** |
| Polymer dispersion(kg) | • 120 | | |
| Fresh concrete-polymer composite | • Slump flow | | |
| | • Air contents | | |
| Experimental | Hardened concrete-polymer composite | • Compressive Strength | |
| | | • Splitting tensile strength | |
| | | • Flexural strength | |
| | | • Bond strength | |
| | | • Modulus of elasticity | |

* Regulated Set Cement

** Black Polymer Dispersion

Table 2. Notation of mix proportion of concrete

| Notation | W/B' (%) | S/a (%) | Unit weight(kg/m3) | | | | | | | | |
|----------|----------|---------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|----------|
| | | | W | RSC | CAC | GC | S | G | SBR latex | BPD | Retarder |
| R-L | | | 360 | - | - | 996 | 834 | - | - | - | - |
| C-L | 34.0 | | 324 | 36 | - | 996 | 834 | 120 | - | - | - |
| G-L | | 55 | 288 | - | 72 | 995 | 833 | - | - | - | 0.36 |
| R-B | | 60 | 360 | - | - | 995 | 832 | - | - | - | - |
| C-B | 34.7 | | 324 | 36 | - | 995 | 833 | - | 120 | - | - |
| G-B | | | 288 | - | 72 | 994 | 832 | - | - | - | - |

* Considering the amount of water contained in polymer dispersion

즉, 폴리머 디스퍼션 종류별 목표 슬럼프 플로 및 공기량이 500±100mm 및 4.5±1.5%를 만족하도록 S社의 초속경시멘트를 사용해 배합설계를 실시한 다음 선행연구 결과에서 압축강도 발현성이 우수한 CAC 10%, GC 20% 2수준을 각각 치환하여 총 6배치의 실험을 실시하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트-폴리머 복합체에서 슬럼프 플로 및 공기량을 측정하였고, 굳은 콘크리트-폴리머 복합체에서 압축강도, 휨강도는 한국도로공사의

「시멘트 콘크리트계 교면포장 보수공법의 재료선정 품질 기준」을 근거로 개방시간을 3시간으로 설정하여 측정하였고, 쪼갬인장강도, 부착강도 및 탄성계수는 재령 28일에 측정하였다. 이때, 콘크리트의 배합 및 표기는 Table 2와 같다.

3.2 사용재료

3.2.1 결합제

1) 초속경시멘트

초속경시멘트는 국내에서 판매되는 S社의 제품을 사용하였고, 그 물리·화학적 특성은 Table 3과 같다.

Table 3. Chemical composition and physical properties of regulated set cement

| Chemical composition(%) | | | | | | Physical properties | | |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | LOI (%) | Density (kg/m ³) | Blaine (m ² /kg) |
| 11.00 | 11.30 | 2.66 | 49.90 | 1.70 | 12.10 | 2.3 | 2 910 | 585 |

2) CAC

CAC는 용융상태의 전기로 환원슬래그를 아토마이징 공법으로 급속 냉각시켜 안정한 유리질로 만든 다음 이를 분쇄한 것으로 그 물리·화학적 특성은 Table 4와 같다.

Table 4. Chemical composition and physical properties of CAC

| Chemical composition(%) | | | | | | Physical properties | | |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | LOI (%) | Density (kg/m ³) | Blaine (m ² /kg) |
| 19.40 | 26.60 | 1.32 | 43.00 | 6.41 | 2.21 | 1.2 | 2 950 | 560 |

3) GC

GC는 CAC에 석고 등의 첨가재를 혼합하여 제조한 것으로 그 물리·화학적 특성은 Table 5와 같다.

Table 5. Chemical composition and physical properties of GC

| Chemical composition(%) | | | | | | Physical properties | | |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | LOI (%) | Density (kg/m ³) | Blaine (m ² /kg) |
| 22.70 | 20.00 | 1.01 | 38.90 | 4.72 | 8.20 | 2.4 | 2 850 | 525 |

3.2.2 골재

골재는 강원도산 강사 및 25mm 부순 굵은 골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 6과 같다.

Table 6. Physical properties of fine aggregate and coarse aggregate

| Kind | Fineness modulus | Density (kg/m ³) | Water absorption ratio(%) |
|------------------|------------------|------------------------------|---------------------------|
| Fine aggregate | 2.98 | 2 620 | 2.11 |
| Coarse aggregate | 7.13 | 2 680 | 1.37 |

3.2.3 지연제

배합과정에서 급결(急結)을 방지하기 위해 지연제를 초속경시멘트에 일정량 첨가하였으며, 이때 사용한 지연제의 물리적 성질은 Table 7과 같다.

Table 7. Physical properties of retarder

| Basis | Form | Color | pH |
|-------------|----------|-------|-----|
| Citric acid | Granular | White | 2~3 |

3.2.4 폴리머 디스퍼션

폴리머 디스퍼션은 국내 K社의 SBR 라텍스와 SBR 라텍스에 T社의 CASB 화합 고성능감수제를 기계적으로 교반하여 제조한 BPD를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 8과 같다.

Table 8. Physical properties of polymer dispersion

| Kind | Form | Color | Density (kg/m ³) | Residue Content(%) |
|-----------|----------|-------|------------------------------|--------------------|
| SBR latex | emulsion | white | 1 500 | 48 |
| BPD | emulsion | black | 1 480 | 46 |

3.3 실험방법

3.3.1 콘크리트 혼합

콘크리트의 혼합은 트윈 샤프트 믹서를 사용하여 결합재, 골재를 투입한 후 30초간 건비빔을 저속(20rpm)에서 실시하고 건비빔이 끝난 후 지연제와 AE제를 첨가한 물과 폴리머 디스퍼션을 넣고 90초간 고속(40rpm)으로 비빔한 다음 배출함으로써 콘크리트-폴리머 복합체의 제조를 완료하였다.

3.3.2 굳지않은 콘크리트-폴리머 복합체

1) 슬럼프

굳지 않은 콘크리트-폴리머 복합체의 슬럼프 플로는 KS F 2594 규정에 의거하여 실시하였다.

2) 공기량

굳지 않은 콘크리트-폴리머 복합체의 공기량은 KS F 2421 규정에 의거하여 측정하였다.

3.3.3 굳은 콘크리트-폴리머 복합체

1) 압축강도, 쪼갬인장강도 및 탄성계수

압축강도, 쪼갬인장강도 및 탄성계수는 KS F 2403 규정에 의거하여 $\varnothing 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 제작하고, 익일 공시체 탈형 후 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 수중에서 양생시킨 다음 소요 재령별로 KS F 2405, KS F 2423 규정에 의거하여 측정하였다. 단, 탄성계수는 압축파괴 시까지 공시체의 응력 및 변형을 측정하여 KS F 2438 규정에 따라 구하였다.

2) 휨강도

휨강도는 KS F 2403 규정에 의거하여 $100 \times 400 \times 400$ mm의 각주형 공시체를 제작하고, 익일 공시체 탈형 후 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 수중에서 양생시킨 다음 소요 재령별로 KS F 2408 규정에 의거하여 측정하였다.

3) 접착강도

설계강도 50MPa 콘크리트를 혼합하여 KS F 2403에 따라 $50 \times 300 \times 300$ mm 크기로 시험용 밀판을 제작하고, 습기함에서 24시간 동안 양생 후 탈형하여 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 수중에서 27일 동안 양생시킨 다음 표면을 전처리한다. 그 다음 몰드에 시험용 밀판을 넣고 상부에 콘크리트-폴리머 복합체를 다져 넣은 후 진동테이블에 올려놓고 다진 다음 불투수 필름으로 덮어 3시간 양생한 후 Figure 4와 같이 코어링하고, KS F 2762의 규정에 의거하여 측정하였다.

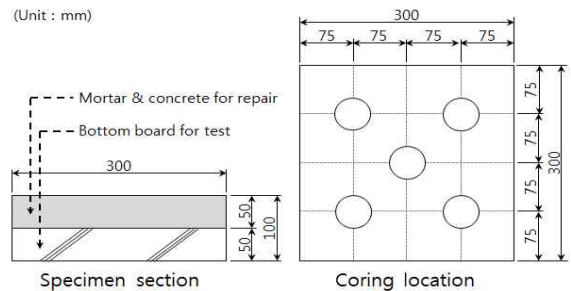


Figure 4. Coring of specimen for bond strength test

4. 실험결과 및 분석

4.1 굳지않은 콘크리트-폴리머 복합체

Figure 5~6은 CAC 및 GC 치환에 따른 굳지않은 콘크리트-폴리머 복합체의 슬럼프 플로 및 공기량을 나타낸 것이다.

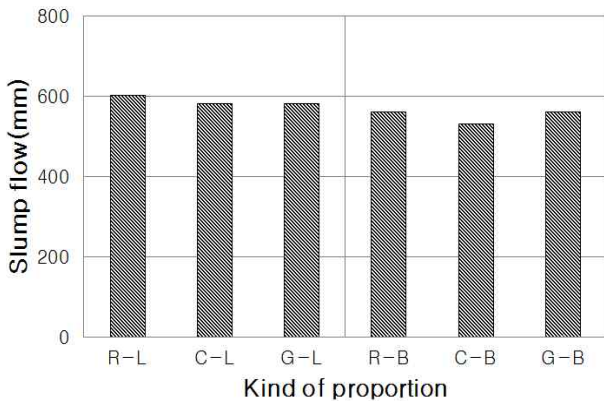


Figure 5. Slump flow of fresh concrete-polymer composite

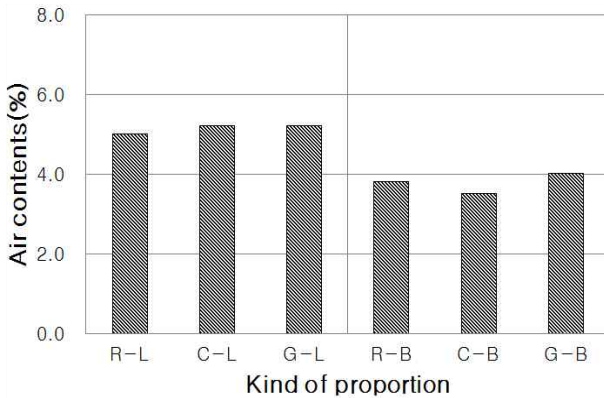


Figure 6. Air content of fresh concrete-polymer composite

폴리머 디스퍼션 종류별 S社의 초속경시멘트를 사용한 콘크리트-폴리머 복합체인 R-L과 R-B의 슬럼프 플로 및 공기량은 배합설계에 의해 목표치인 $500 \pm 100\text{mm}$ 및 $4.5 \pm 1.5\%$ 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 또한, CAC 10% 및 GC 20%를 치환한 콘크리트-폴리머 복합체인 C-L, G-L, C-B 및 G-B에서도 모두 목표치를 만족하는 것으로 나타나, 콘크리트의 배합변경 없이 초속경시멘트용 혼화재료로서 CAC 및 GC의 부분적 사용이 가능할 것으로 판단된다.

4.2 경화 콘크리트- 폴리머 복합체

4.2.1 압축강도

Figure 7~8은 폴리머 디스퍼션 종류별 CAC 및 GC 치환에 따른 굳은 콘크리트-폴리머 복합체의 재령별 압축강도를 나타낸 것이다.

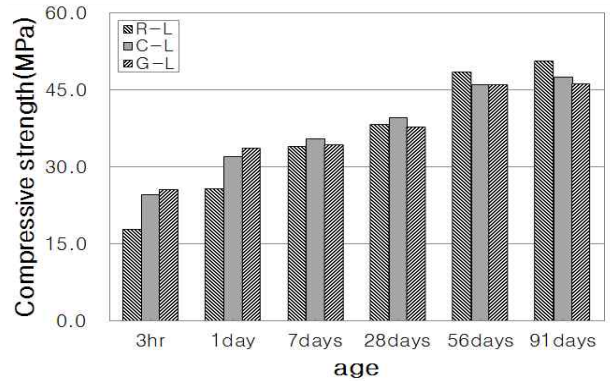


Figure 7. Compressive strength of hardening concrete-polymer composite using SBR latex

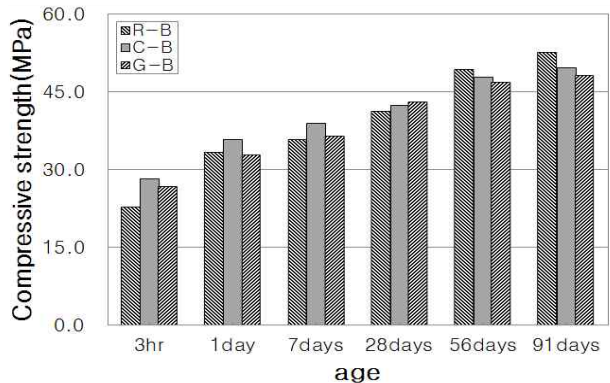


Figure 8. Compressive strength of hardening concrete-polymer composite using BPD

전반적인 경향으로 콘크리트-폴리머 복합체의 압축강도는 폴리머 디스퍼션 종류에 관계없이 재령 28일 이전에서는 CAC 10% 및 GC 20%를 치환한 콘크리트-폴리머 복합체인 C-L, G-L, C-B 및 G-B가 S社의 초속경시멘트를 사용한 콘크리트-폴리머 복합체인 R-L과 R-B 보다 높게 나타났고, 재령 28일 이후에서는 S社의 초속경시멘트를 사용한 콘크리트-폴리머 복합체인 R-L과 R-B가 CAC 10% 및 GC 20%를 치환한 콘크리트-폴리머 복합체인 C-L, G-L, C-B 및 G-B 보다 높게 나타났다. 특히,

재령 3시간에서는 폴리머 디스퍼션으로 SBR 라텍스를 사용하고 CAC 10% 및 GC 20%를 치환한 콘크리트-폴리머 복합체인 C-L 및 A-L은 S社의 초속경시멘트를 사용한 콘크리트-폴리머 복합체인 R-L에 비해 C-L은 138%, G-L은 143%의 압축강도 증진을 보였고, 폴리머 디스퍼션으로 BPD를 사용하고 CAC 10% 및 GC 20%를 치환한 콘크리트-폴리머 복합체인 C-B 및 G-B는 S社의 초속경시멘트를 사용한 콘크리트-폴리머 복합체인 R-B에 비해 C-B는 124%, G-B는 117%의 압축강도 증진을 보였는데, 이는 CAC 및 GC에 포함되어 있는 $C_{12}A_7$ 의 빠른 반응성에 기인하여 초속경 폴리머 복합체의 초기 반응성이 향상된 결과로 사료된다.

4.2.2 쪼갬인장강도

Figure 9는 CAC 및 GC 치환에 따른 굳은 콘크리트-폴리머 복합체의 재령별 쪼갬인장강도를 나타낸 것이다. 콘크리트-폴리머 복합체의 쪼갬인장강도는 폴리머 디스퍼션 종류에 관계없이 CAC 10% 및 GC 20%를 치환한 콘크리트-폴리머 복합체인 C-L, G-L, C-B 및 G-B가 S社의 초속경시멘트를 사용한 콘크리트-폴리머 복합체인 R-L과 R-B 보다 높게 나타났다.

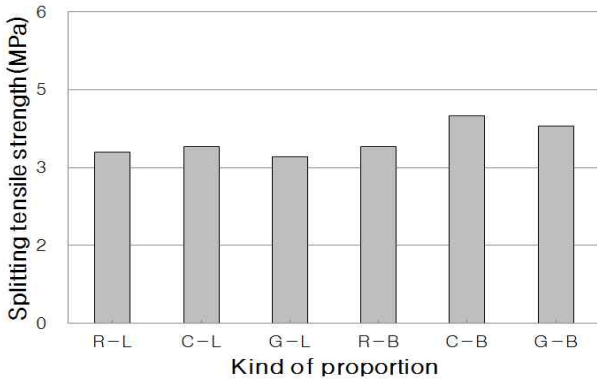


Figure 9. Splitting tensile strength of hardening concrete-polymer composite

4.2.3 휨강도

Figure 10은 CAC 및 GC 치환에 따른 굳은 콘크리트-폴리머 복합체의 재령 28일 휨강도를 나타낸 것이다. 콘크리트-폴리머 복합체의 휨강도는 폴리머 디스퍼션 종류에 관계없이 CAC 10% 및 GC 20%를 치환한 콘크리트-폴리머 복합체인 C-L, G-L, C-B 및 G-B가 S社의 초속경

시멘트를 사용한 콘크리트-폴리머 복합체인 R-L과 R-B 보다 높게 나타났다.

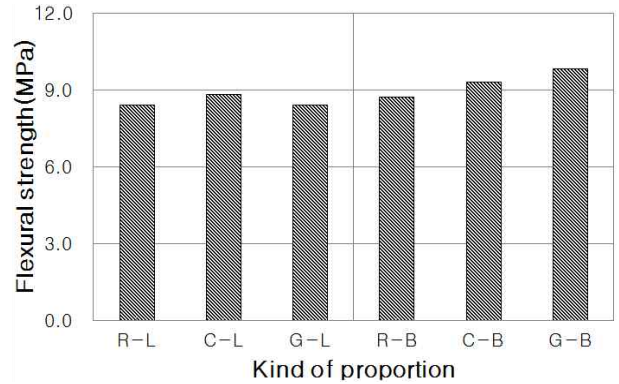


Figure 10. Flexural strength of hardening concrete-polymer composite

4.2.4 접착강도

Figure 11은 CAC 및 GC 치환에 따른 굳은 콘크리트-폴리머 복합체의 재령 3시간 접착강도를 나타낸 것이다. 접착강도는 폴리머 디스퍼션으로 SBR 라텍스를 사용한 C-L, G-L은 S社의 초속경시멘트를 사용한 콘크리트-폴리머 복합체인 R-L보다 높게 나타났으나, 폴리머 디스퍼션으로 BPD를 사용한 C-B, G-B는 S社의 초속경시멘트를 사용한 콘크리트-폴리머 복합체인 R-B보다 낮게 나타났다.

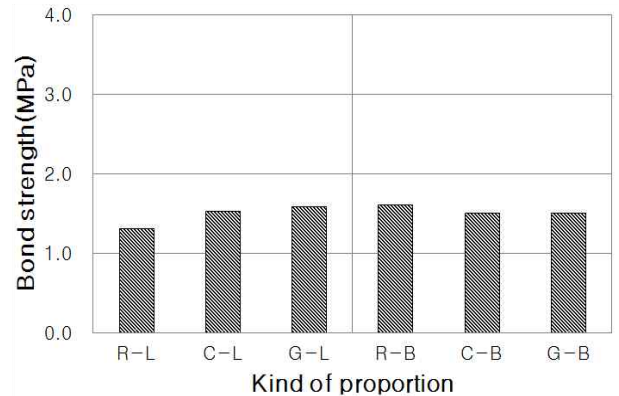


Figure 11. Bond strength of hardening concrete-polymer composite

4.2.5 탄성계수

Figure 12는 CAC 및 GC 치환에 따른 굳은 콘크리트-폴리머 복합체의 재령 28일 탄성계수를 나타낸 것으로 콘

크리트-폴리머 복합체의 탄성계수는 배합에 관계없이 동등한 수준으로 나타났다.

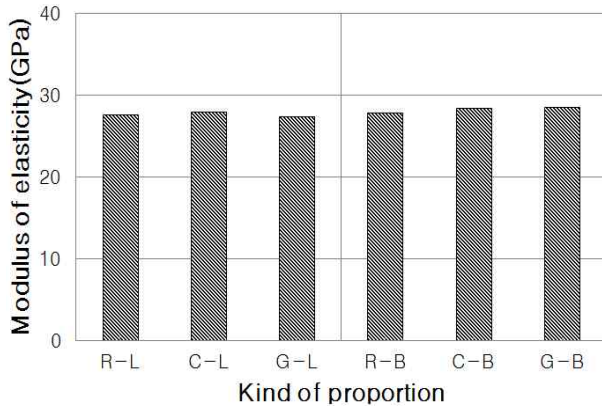


Figure 12. Modulus of elasticity of hardening concrete-polymer composite

5. 결 론

본 연구에서는 CAC 및 GC를 사용한 초속경 콘크리트-폴리머 복합체의 특성을 분석한 것으로 그 결과는 다음과 같다. 슬럼프 플로 및 공기량은 배합에 관계없이 모두 목표치를 만족하는 것으로 나타났다. 압축강도, 인장강도 및 휨강도는 결합재 종류에 따라서는 C-L, G-L, C-B 및 G-B가 R-L과 R-B 보다 높게 나타났는데, 이는 CAC 및 GC에 포함되어 있는 $C_{12}A_7$ 의 빠른 반응성에 기인하여 초기 반응성이 향상된 결과로 사료된다. 또한, 폴리머 디스퍼션 종류에 따라서는 BPD를 사용한 경우가 SBR 라텍스를 사용한 경우 보다 높게 나타났는데, 이는 BPD에 포함된 카본아미노실리카블랙이 충전재로서 모세관 공극을 감소시키고, 강화재로서 폴리머의 경도와 인장력을 강화시킨 것이 복합적으로 작용한 것에 기인한 결과로 판단된다. 재령 3시간 접착강도는 폴리머 디스퍼션으로 SBR 라텍스를 사용한 C-L, G-L은 R-L 보다 높게 나타났으나, 폴리머 디스퍼션으로 BPD를 사용한 C-B, G-B는 R-B 보다 낮게 나타났다. 탄성계수는 배합에 관계없이 동등한 수준으로 나타났다.

요 약

최근 국내에서는 노후화된 도심지 도로 등을 신속하게

보수하기 위하여 초속경 콘크리트-폴리머 복합체를 사용하는 사례가 증가하고 있다. 그러나, 초속경 콘크리트-폴리머 복합체의 주재료로 사용되는 초속경시멘트와 폴리머의 높은 가격과 큰 환경부하로 보다 경제적이고 친환경적인 재료의 개발이 요구된다. 이에 본 연구에서는 제강슬래그를 재활용하여 환경부하가 작은 CAC 및 GC를 초속경시멘트에 일부 치환한 초속경 콘크리트-폴리머 복합체의 특성을 폴리머 종류별로 검토함으로써 초속경시멘트의 대체재로서 CAC 및 GC의 활용가능 여부와 초속경 콘크리트-폴리머 복합체의 성능향상 가능성을 검토하였다. 그 결과 CAC 및 GC를 초속경시멘트에 일부 치환한 경우의 압축강도, 인장강도, 휨강도, 접착강도 및 탄성계수는 초기재령인 3시간에서는 기존보다 명확히 높은 값을 보였고, 그 이후의 재령에서는 거의 동등한 수준의 값을 보였다. 폴리머 디스퍼션 종류에 따라서는 BPD를 사용한 경우가 강도측면에서는 전반적으로 우수하였지만, 탄성계수는 동등한 수준을 보였다. 이상의 결과로부터 초속경 콘크리트-폴리머 복합체 제조용 시멘트로서 CAC 및 GC의 일부 대체사용이 가능하고, 폴리머 디스퍼션으로 BPD를 사용 시 초속경 콘크리트-폴리머 복합체의 성능향상도 가능한 것으로 나타났다.

키워드 : 콘크리트-폴리머 복합체, 초속경시멘트, 칼슘알루미네이트 복합물, 석고혼입 칼슘알루미네트 복합물

Acknowledgement

This study was supported by the R&D Center for Valuable Recycling(Global-Top Environmental Technology Development Program) funded by the Ministry of Environment, (Project No.:GT-11-C-01-210-0)

References

1. Korea Concrete Institute, Pa:ilmarka: η kri:t bokhapcheui Jejo mit Sigong[Manufacturing and construction of polymer concrete composites], 1st ed, Seoul (Korea): Kimoondang; 2013. 173 p. Korean
2. Kim JM, Cho SH, Oh SY, Kawk EG. Properties of Rapidly-Cooled Steel Slag by Atomizing Process, Journal of Korea Concrete Institute, 2007 Nov;16(6):39-45.

-
3. Lee KJ, Koo JS, Kim JM, Experimental study on development of application for rapid chilled CaO–Al₂O₃ steel slag. International Solid Waste Association ; 2013 Oct 8–9; Vienna, Austria, Vienna (Austria): International Solid Waste Association World Congress; 2013.
 4. Yoo SY, Lee KJ, Park KS, Koo JS, Lee YJ. A Fundamental characteristics of concrete polymer composite using black polymer dispersion. Korea Concrete Institute Conference; 2013 Oct 10; Goseong, Korea, Seoul (Korea). Korea Concrete Institute Conference; 2013. p. 331–2
 5. Kil YS. Optimum Mix Design and Applicability of VES–LMC using Electric Arc Furnace Oxidizing Slag as Fine Aggregate[Dissertation]. [Chuncheon (Korea)]: Kangwon National University ; 2012. 138 p.
 6. Kim KH. Very Early Strength–Latex Modified Concrete: Business Page[Internet]. Chuncheon (Korea): SAMWOOIMC; 2003 Aug 13[updated 2004 Sep 24]. Available from: http://www.samwooimc.com/business_mat_vlmc.php
 7. Chang BK, Jung CJ, Lee JH, Lim YM, Siment Jearyohawhak [Material Chemistry of Cement]. 1st ed, Gwangju (Korea): Chonnam National University Press; 1998. 274 p. Korean
 8. Kong TW, Enhanced durability performance of regulated set cement concrete [Master's Thesis]. [Seoul (Korea)]: Konkuk University; 2005. 80 p.
 9. Ki TK, Synthesis of Tricalciumaluminat Clinker using Hydrates as a Starting Materials [Master's Thesis]. [Changwon (Korea)]: Kyungnam University; 2007. 46 p.
 10. Yoo SY. Development of Superplasticizer Combined CASB and Performance Improvement of Ultra High Strength Concrete [Dissertation]. [Cheongju (Korea)]: Cheongju University; 2011. 188 p.