

고로슬래그 미분말이 혼입된 ECC(Engineered Cementitious Composite)의 내구성 평가

Evaluation of durability of an ECC(Engineered Cementitious Composite) designed with ground granulated blast furnace slag

김정수* 김윤용** 김진근*** 하기주****
Kim, Jeong-Su Kim, Yun-Yong Kim, Jin-Keun Ha, Gee-Joo

ABSTRACT

This paper presents the experimental results for durability of an ECC designed with ground granulated blast furnace slag(BFS) through the test method of chloride ion resistance and freezing-thawing resistance. In order to compare with ECC, normal mortar was also tested. Test results showed that BFS ECC exhibited higher durability performance than ordinary mortar. These results suggest that by adding BFS in ECC, its matrix density is increased which results in decreased of deterioration and it also adds to the fiber bridging that contributes in control of cracking.

1. 서론

최근 국내외에서 새로운 개념의 고인성 섬유복합재료에 대한 관심이 집중되고 있다. 특히 ECC(Engineered Cementitious Composite)는 고인성 섬유보강 모르타르로서, 모르타르에 2% 이내의 합성섬유를 혼입함으로써 콘크리트의 수축, 수백 배에 달하는 인장변형성능(인장변형률 2%이상)을 갖는 고인성 재료이다[1].

국내에서도 기존의 연구(Kim 등, [2])에 의하여 ECC가 개발된 바 있으며, 개발된 ECC가 보수/보강에 적용될 경우, 외부환경으로부터 침투하는 이산화탄소가스, 물, 염분, 기타 유해 물질과 외부 기상작용 등으로 인한 염해, 동결융해 등의 열화작용이 발생하면서 점차 내구성능이 저하된다. 따라서 내구성이 우수한 ECC를 개발하기 위해서 지금까지 간과되었던 재료 분야의 획기적인 변화가 없으면 불가능하며 우선 모르타르 재료 구성성분의 변화가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 일반적으로 모르타르를 구성하고 있던 재료와는 달리 충전제, 섬유를 사용하여 강도와 인성을 높임과 동시에 고내구성을

* 정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 박사과정

** 정회원, 충남대학교 토목공학과 조교수

*** 정회원, 한국과학기술원 건설 및 환경공학과 교수

**** 정회원, 경일대학교 건축학부 교수

갖는 섬유복합 모르타르를 개발목표로 하고 있다.

이 연구에서는 고내구성을 갖는 섬유복합 모르타르의 개발을 위해 현재까지 개발된 고인성 섬유복합 모르타르에 대하여 염해 저항성, 동결융해 저항성을 평가하였으며, 내구성능 비교를 위해 일반 모르타르에 대해서도 동일한 시험을 실시하였다.

2. 실험 방법

2.1 기본재료

이 실험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며, 잔골재는 평균입도가 130 μm 인 규사, 혼화제는 고로슬래그 미분말을 사용하였다[2]. 그리고 사용된 섬유는 K사에서 생산된 Poly Vinyl Alcohol(PVA) 섬유이며, 섬유의 효과적인 분산을 위하여 카르복실계 감수제(PCSP)와 셀룰로즈계 분리지감제(HPMC)를 혼화제로 첨가하였다. 배합조건은 표 1과 같다.

표 1 배합설계

Item	W/C(%)	BFS/C(%)	W/B(%)	S/C(%)	PCSP (%)	HPMC (%)	Fiber(%)
M	42	-	42	80	2	0.3	-
MS	52	25	42	80	2	0.3	-
ECC	42	-	42	80	3.5	0.2	2
ECCS	52	25	42	80	2.5	0.2	2

* W: water; C: cement; S: sand; BFS: ground granulated blast furnace slag;
B: binder(C+BFS); Fiber: PVA fiber.

All numbers are mass ratios except fiber is volume fraction.

Mix MS and Mix ECCS were produced with BFS while Mix M and Mix ECC without BFS.

2.2 ECC의 염해 실험

모르타르의 염소이온에 대한 저항성을 평가하기 위한 전기적 촉진시험방법 가운데 대표적인 방법인 Tang의 「Electrically accelerated methods for determining chloride diffusivity in concrete」를 이용하였다[3]. 염해 저항성 평가를 위해 $\phi 100 \times 50\text{mm}$ 원주 공시체를 제작하여 1일 후 탈형하고 온도 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 수중에서 14일간 표준양생을 실시하였다. 시험 전 공시체를 18시간 이상 증류수에 수침시켜 완전히 포화가 되도록 하여 시험장치에 고정시키고 (-)극에는 3% NaCl, (+)극에는 0.3N NaOH의 용액을 주입 하여 6시간 동안 30V DC를 가한 후 AgNO_3 용액을 이용하여 침투깊이를 측정하였다. 측정된 침투깊이를 다시 확산계수 식에 대입하여 염소이온 확산계수를 구하였으며, 확산계수 실험은 재령 28일, 56일, 91일에 수행되었다.

2.3 ECC의 동결융해 실험

섬유복합 모르타르의 동결융해 실험은 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ 각주 공시체를 제작하여 1일 후 탈형하고 온도 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 수중에서 14일간 표준양생을 실시한 다음 시험재령 14일에 KS F 2456 [급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법]의 기중동결 수중융해 시험법으로 실시하였다[4]. 동결융해 시험조건은 배합조건에 따른 공시체를 동결융해 시험장치에 공시체를 넣고 온도범위 $-18^\circ\text{C} \sim 4^\circ\text{C}$ 로 하고 1

사이클의 기간을 2시간 40분으로 하였다. 동결융해 30사이클마다 상대동탄성계수를 측정하였고 실험은 300사이클까지 계속되었다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 ECC의 염해 실험

표 2와 같이 실험체별로 재령 28, 56, 91일에 측정된 침투깊이를 염소이온 확산계수 식에 대입하여 염해 저항성을 시험한 결과, 고인성, 고내구성 신섬유복합 모르타르(ECCS)는 일반적인 모르타르(M)에 비해 염소이온 확산계수가 약 1.6배 정도 낮은 것으로 나타났다[3]. 이처럼 ECCS의 염해 저항성이 탁월한 것은 고로슬래그 미분말을 첨가함으로써 시멘트 경화체의 조직이 치밀해졌기 때문이다. 그림 1에서 M과 ECC를 비교한 경우에서 알 수 있듯이 섬유에 의한 염해 저항성은 크게 개선되지 않는 것으로 판단된다. 표 2는 실험체별 염소이온 침투깊이를 나타내며, 그림 1은 실험체별 염소이온 확산계수를 나타낸다.

표 2 실험체별 염소이온 침투깊이

Item	28 days	56 days	91 days
M	0.0078 m	0.0078 m	0.0083 m
MS	0.0052 m	0.0057 m	0.0058 m
ECC	0.0077 m	0.0078 m	0.0081 m
ECCS	0.0050 m	0.0053 m	0.0055 m

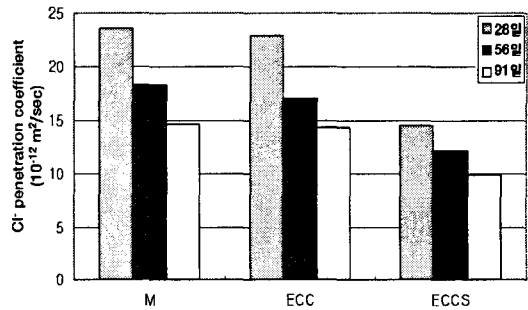


그림 1 실험체별 염소이온 확산계수

3.2 ECC의 동결융해 실험

그림 2는 모르타르의 종류에 따라 KS F 2456 [급속 동결융해에 대한콘크리트의 저항 시험방법]의 급속동결 수중융해 시험법으로 동결융해 실험을 실시하여 각 사이클에 따른 상대동탄성 계수를 측정한 결과이다. 그림 2에서와 같이 M 실험체는 사이클수가 증가함에 따라서 상대동탄성 계수가 급속히 감소하며, 120사이클 정도에 균열이 발생하여 더 이상 측정이 불가능하게 되었다. MS 실험체는 고로슬래그 미분말을 첨가하여 시멘트 경화체 조직이 치밀하게 됐으므로 M 실험체보다 우수한 동결융해 저항성을 보이는데, 이것은 동결융해 작용에 필요한 수분의 침투가 억제되었기 때문으로 사료된다. PVA섬유를 첨가한 ECC 실험체는 섬유의 가교작용에 의하여 동결융해 작용할 때 발생하는 팽창압에 대해 충분한 저항성이 가졌기 때문에 우수한 동결융해 저항성을 보인다. 그리고 ECCS 실험체는 섬유와 고로슬래그 미분말을 같이 혼입하였으므로 섬유의 가교작용과 시멘트 경화체 조직의 치밀성이 상호작용하여 동결융해 저항성이 가장 우수하게 나타났다.

이상과 같이 섬유복합 모르타르의 동결융해 저항성을 검토하기 위해 일반 모르타르와 비교한 결과, ECCS가 다른 모르타르에 비해 동결융해 저항성이 우수한 것으로 나타났으며, KS F 2456에 따른 ECCS의 내구성 지수는 76으로 기존의 모르타르에 비해서 2.7배가 큰 것으로 나타났다[4]. 그림 3은 실험체별 내구성 지수를 나타낸다.

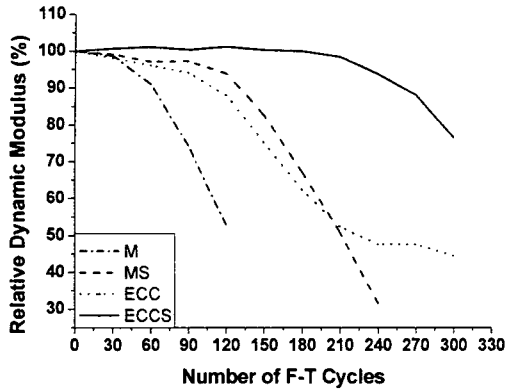


그림 2 실험체별 동탄성계수 변화

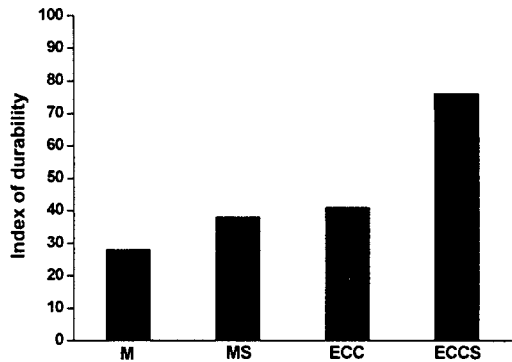


그림 3 실험체별 내구성 지수

4. 결론

이 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 고인성, 고내구성 신섬유복합 모르타르(ECCS)는 염해 저항성 및 동결융해 저항성 측면에서 일반 모르타르에 비해 훨씬 우수한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 고인성, 고내구성 신섬유복합 모르타르의 시멘트 경화체의 조직이 매우 밀실하여 열화인자의 침입이 어려워졌고 섬유가 가교작용에 의하여 균열이 제어되었기 때문이다.
- 2) 고인성, 고내구성 신섬유복합 모르타르를 실제 구조물에 적용할 경우, 강도 및 인성 등 역학적 성능 향상뿐만 아니라 염해, 동결융해 저항성 등 내구성능이 향상되는 결과를 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설기술연구개발사업(과제번호: 03산학연A06-04)에 의한 것임을 밝히며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Li, V.C., and Wu, H.C., "Conditions for pseudo strain-hardening in fiber reinforced brittle matrix composites", Journal applied mechanics review, Vol.45, No.8, 1992, pp.390-398.
2. 김윤용, 김정수, 하기주, 김진근, , "마이크로역학에 의하여 제조된 고인성 섬유복합 모르타르의 역학적 특성", 한국콘크리트학회 논문집, 제18권 제1호, 2006년 2월, pp.21-27.
3. Tnag, L., "Electrically accelerated methods for determining chloride diffusivity in concrete-current development", Magazine of concrete research, Vol.48, No.176, 1996, pp.173-179.
4. KS F 2456. "급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법", 한국표준협회, 2003년 11월 24일 개정