

고인성 모르타르의 내구특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Durability of High-Ductile Mortar

노형남* 김주상* 황남순* 김재환** 이상수*** 송하영***
 Rho, Hyoung-Nam Kim, Ju-Sang Hwang, Nam-Soon Kim, Jae-Hwan Lee, Sang-Soo Song, Ha-Young

Abstract

With the changes of times the building materials tend to extend the demand for application under the special environment. Since high-ductile mortar is developed, the building materials show excellent performance like toughness, compression, tensile, and bending, etc. in the general concrete from the existing brittle point. And, recently they are widely used as repairing and reinforcing materials both at home and abroad because they are recognized as excellence like durability and fire-resistance. However, it is in a situation of creating problems in durability because it frequently happened deterioration of buildings that have already repaired and reinforced at a time when it requires reconstruction of recently deteriorated construction structure recently. Therefore, in this study improved with a more repair Material development and reinforcement of the second high-ductile mortar products for a variety of basic materials were presented want, research plans used include traditional repair materials and the newly developed PCM (polymer cement mortar) structural reinforcement type indicated that comparison. PCM analysis in order to present a rate depending on the types fiber 0, 1.2 and 2.0(%) at three levels and mixture water according to ratios of weight to Plain in the 2.0 and 1.85(kg) at two levels is set, the results were as follows.

- 1) This study has shown that PCM had excellent strain hardening behavior at the same time that the bending stress increased according to the fiber contents.
- 2) This study has shown that it had the durability performance due to the high substance transmission according to the fiber contents.

키 워 드 : 고인성 모르타르, 보수 재료, 고장력 PVA섬유, 내구성, 미세균열

Keywords : High-Ductile Mortar, Repair Materials, High-Tention polyvinyl alcohol Fiber, Durability, Multiple Crack

1. 서론

현재 국내의 급변하는 경제 성장과 사회 체제로 인하여 도로, 항만, 교량 등과 같은 사회기반시설물의 사용빈수의 증대됨과 동시에 환경적 오염과 산업화에 따른 폐수 등으로 인한 각종 열화요인(CO₂, Cl⁻, 동결융해, 화학적 부식)에 의해 구조물의 노후화 및 성능저하를 가져와 내구적인 문제점이 빈번히 발생하고 있는 실정이다. 때문에 이러한 사회기반시설물들의 수명연장을 위한 노력의 일환으로 현재 보수·보강에 대한 사회적 관심이 높아지고 있는 실정이다. 이러한 요구에 맞추어 학계 및 관련업계에서 섬유복합재료를 이용한 보수보강기법에 대한 연구가 활발히 진행되어 여러 종류의 섬유복합재료를 이용한 보수·보강기법이 실용화 단계에까지 도달한 상태이다.¹⁾

특히, 그 중에서 폴리머 시멘트 모르타르(Polymer Cement Mortar, 이하 PCM라 함.)는 물질 투과저항성과 부착성능이 우

수하여 기존 모체와의 일체화가 잘 이루어져 주로 보수보강재료로서 단면복구공법에 대부분 사용하고 있다.

그러나 PCM은 공사 후 수축균열이나 하중초과 및 진동 등으로 인해 재균열 현상이 일어나 급격한 성능저하가 나타나게 되어 PCM의 취성적인 문제점을 해결하기 위해 연성재료인 섬유를 혼입하여 FRC(Fiber Reinforced Concrete)가 개발되었지만 이것 역시 그 성능은 기대에 부흥하지 못하였다. PCM과 FRC와 같이 기존에 주로 사용되었던 보수재료에 인성을 더 부여하는 취지로, 최근 미국 미시건 대학에서 개발된 PVA섬유를 이용한 ECC(Engineered cement composite)가 신규개발 되었으며, 이것은 기존의 보수재료보다 휨응력에 대해 섬유의 가교현상에 의한 변형경화거동이 우수하고 내구성능과 더불어 이미 터널의 라이닝에 사용된 사례에서 알 수 있듯이 75%이상의 누수 저항율을 보여 투수저항성 또한 그 성능을 인정받고 있다. 그러나 현재 국내에는 아직까지 외국의 재료와 기술을 도입하여 의존하는 실정이며, 고인성 복합체에 대한 배합설계의 정립도 불분명한 상태여서 이에 대한 대책을 마련하여 보수보강신 기술 및 2차 제품 개발이 필요할 것으로 여겨진다.

따라서, 본 연구에서는 PCM에 기초한 고인성 모르타르의 내구특성을 분석하여 앞으로의 보수보강재료의 개발에 적용시킬 수 있는 기초적인 자료로 제시하고자 한다.

* 정회원, 한밭대학교 공과대학 건축공학과 석사과정

** 정회원, (주) AMS엔지니어링 기술이사, 공박

*** 정회원, 한밭대학교 공과대학 건축공학과, 공박, 교수

본 연구는 2007년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호: R01-2005-000-10546-0

표 1. 실험계획 및 고인성 모르타르의 배합

배합 기호	배합사항 (중량비)			평가항목
	분체 재료	배합수	$V_f^{1)}$ (vol.%)	
PCM-1	1	0.200 ²⁾	0	① 휨응력-변형곡선(재령 28일) ② 무균열 상태의 내구성능 -중성화 깊이(4, 8, 12주) -염화물이온 침투깊이(4, 8, 12주) ③ 균열 상태의 내구성능 -염화물이온 침투깊이 (촉진재령 25cycle)
PCM-2	1	0.185	0	
FRC	1	0.185	1.2	
ECC	1	0.185	2.0	

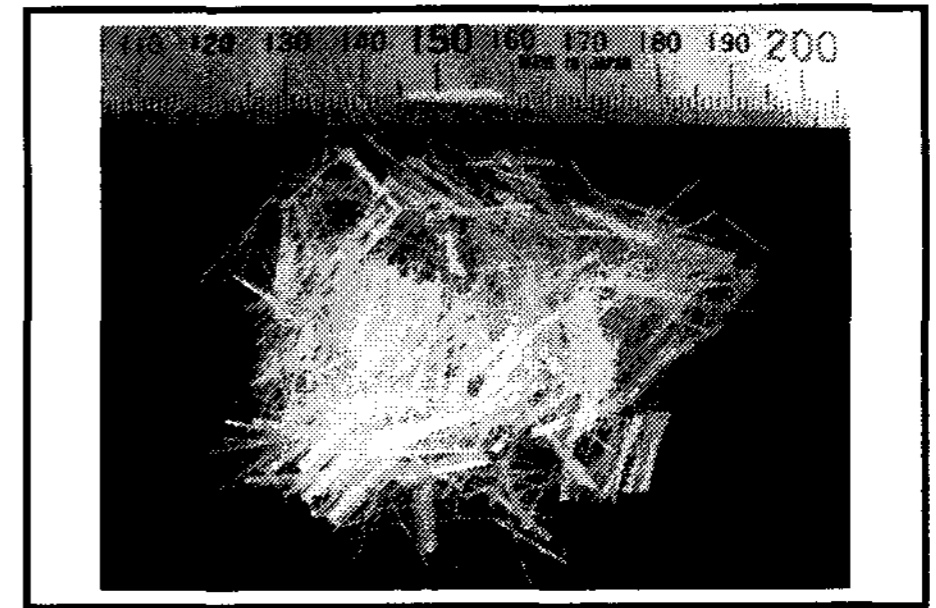
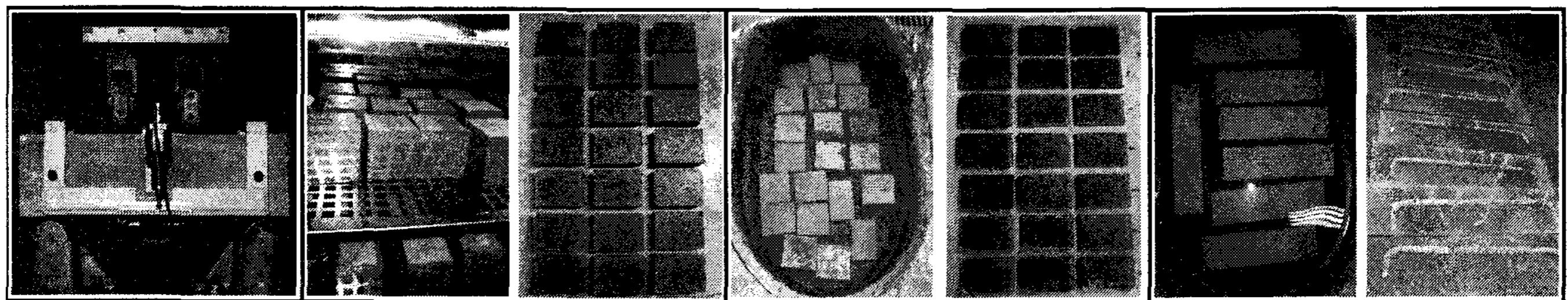


사진 1. 고장력 PVA섬유의 외형

1) 섬유는 용적 백분율이며, 직경 39 μ m, 길이 12mm의 고장력 PVA섬유를 사용함.
 2) 물과 액상수지의 총량임.



(a) 휨시험

(b) 중성화 시험

(c) 염화물 이온침투 깊이

(d) 균열도입에 의한 염해

사진 2. 각종 시험장면

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 방법

본 연구의 실험목적은 기존에 보수보강 재료로 사용된 PCM(Polymer Cement Mortar)에 의한 보수공법과 새로 개발한 고인성 모르타르와의 역학 및 내구특성을 비교하기 위한 것으로 실험요인 및 수준은 표 1에 나타낸 바와 같다. 또한, ECC의 비교 대상으로 기존의 사용되는 PCM 1종과 ECC의 매트릭스를 구성하는 PCM 1종을 사용하였고, 상기의 PCM에 PVA섬유를 1.2% 혼입한 FRC(Fiber Reinforced Composite)와 PVA섬유를 2.0% 혼입한 ECC로 계획하였다. 이들 배합은 표 1과 같으며, 여기서 분체재료와 배합수는 중량비이며, PCM-1에서의 배합수에는 아크릴계 에멀전이 일정 비율로 혼입된 것을 사용하였다. 섬유혼입율(V_f)은 분체재료와 배합수의 총용적에 대한 용적혼입율로 나타냈으며, 본 연구에 사용된 사용재료의 섬유는 (주)Kurary사의 고장력 PVA섬유를 사용하였으며, 물성 및 섬유의 외형은 사진 1에서 나타낸 바와 같다.

한편, ECC와 기존 보수재료의 성능을 비교·검토하기 위하여 역학특성으로 휨성능으로 설정하였고, 내구특성으로 중성화, 염해, 균열도입에 의한 철근부식을 평가하는 것으로 실험계획을 설정하였다.

본 연구에서의 비빔 방법은 우선 60ℓ의 강제식 팬믹서에 PCM 1포와 배합수를 넣어 30초간 모르타르비빔을 실시한 후 PVA섬유를 넣고 2분 30초간 교반하여 총 비빔 시간 180초가 소요되었다. 한편, 고인성 모르타르의 역학특성을 측정하기 위하여 측정항목으로 휨성능을 알아보기 위한 시험체는 10×10×40cm의 콘크리트용 휨몰드로 제작하였다. 또한, 내구특성으로 중성화와 염해의 침투 깊이를 알아보기 위하여 10×10×

40cm의 콘크리트용 휨몰드에 각각 제작하였고, 제작된 시험체는 20±2℃, RH 60%의 실내에 24시간 존치한 후 탈형하여 20±2℃의 수중에서 재령 7일간 수중양생을 실시한 후, 기건 상태에서 21일간 양생을 실시하였다. 휨강도시험은(KS F 2408)에 준하여 실시하였으며, 휨 시험시 휨응력-변위곡선은 사진 2(a)와 같이 시험체의 중앙부 처짐량과 로드셀(Load cell)에 의한 휨응력에 의해 구하였으며, 중성화 시험(KS F 4042)은 온도 20℃, RH 60±5%, CO₂ 5.0%인 환경의 중성화 챔버에 넣고 경과시간 4, 8, 12주에 걸쳐 지시약을 이용하여 중성화 깊이를 측정하였다. 한편, 무균열일 때의 염화물 침투깊이 측정은 KS F 4042에 의거하여 3%의 염화나트륨 용액에 침지시켜 경과시간 4, 8, 12주에 걸쳐 염화물 침투깊이를 측정하였으며, 균열일 때의 염화물 침투깊이 측정은 그림 1과 같이 공시체에 각각 1mm와 2mm의 인위적으로 균열을 도입하여 그림 2와 같이 3%의 염화나트륨 용액에 3일간 1면 침지 1일간 건조시키는 과정을 1Cycle의 기준으로 Recycling하여 12주 후에 공시체를 각각 20mm로 절단하여 내부에 나타난 염화물의 최대 침투깊이와, 동시에 면에서 30mm 두께의 피복된 철근 부식의 유무를 확인하였다.

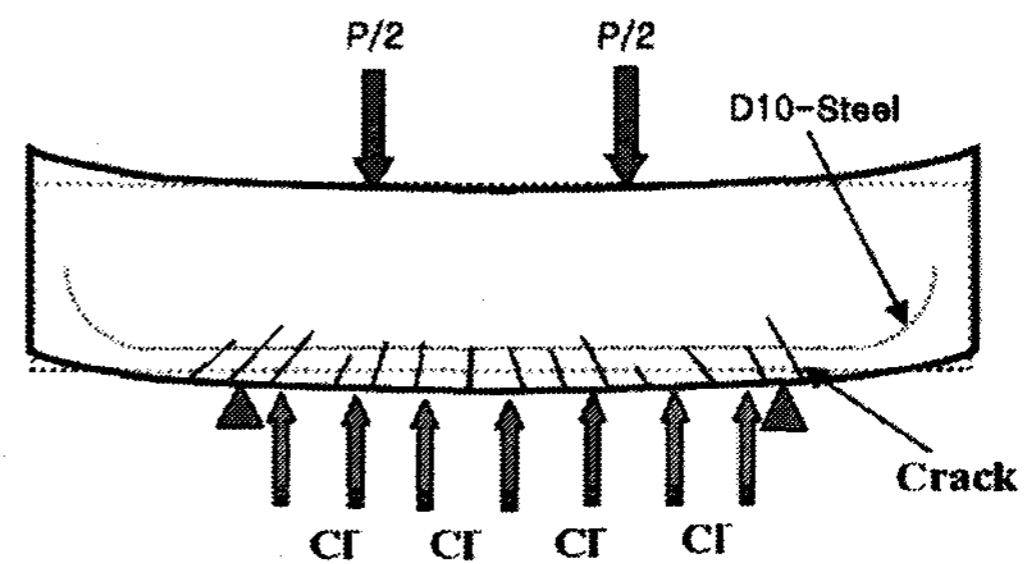


그림 1. 시험체의 휨균열 도입개념

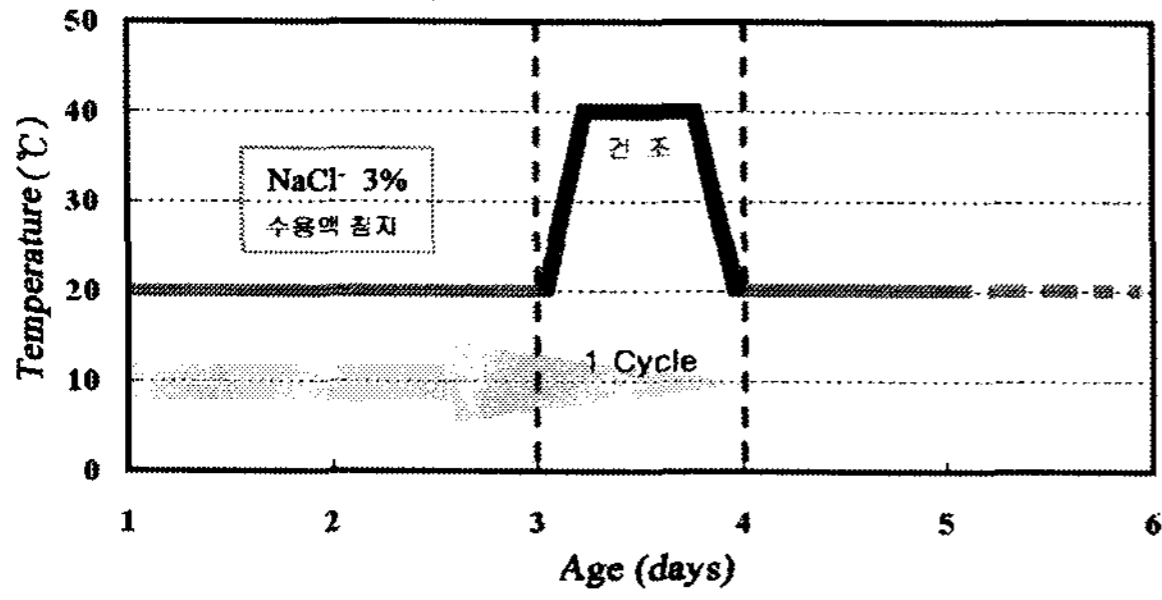


그림 2. 염수 침지건조 반복실험 방법

3. 실험결과 및 고찰

3.1 역학적 성능

그림 3는 고인성 모르타르의 휨성능을 알아보기 위한 휨응력-변위곡선을 나타낸 것으로서, PCM-1 및 PCM-2는 최대응력 시 초기균열 발생 이후에 응력이 급격히 저하되었으며, 휨강도는 6.36~8.21MPa의 범위로 기존의 보수 모르타르와 유사한 수준을 보였다. 반면, FRC는 초기 균열발생 이후에도 응력과 함께 처짐량이 증대되는 경향을 보였으나, 불안정하였으며, 최종파괴시 4개의 균열 발생과 1.23의 처짐량을 나타내었다. 또한, ECC는 섬유 혼입률이 증가함에 따라 15.48MPa의 값으로 휨강도가 확연히 증대되는 경향을 나타내고 있었으며, 초기 균열발생 이후에도 응력의 저하 없이 변형의 증가와 함께 응력이 지속적으로 증가하면서 최대 휨응력에 도달하였다. 이때 4~18개 이상의 추가 균열이 발생하면서 섬유의 가교작용에 의한 미세균열(Multifur crack)의 효과를 나타냈다. 또한, 최대 휨응력 이후에는 대부분의 섬유가 파단 되어 응력이 상대적으로 급격히 저하되면서 최종 휨파괴에 도달하였다.²⁾

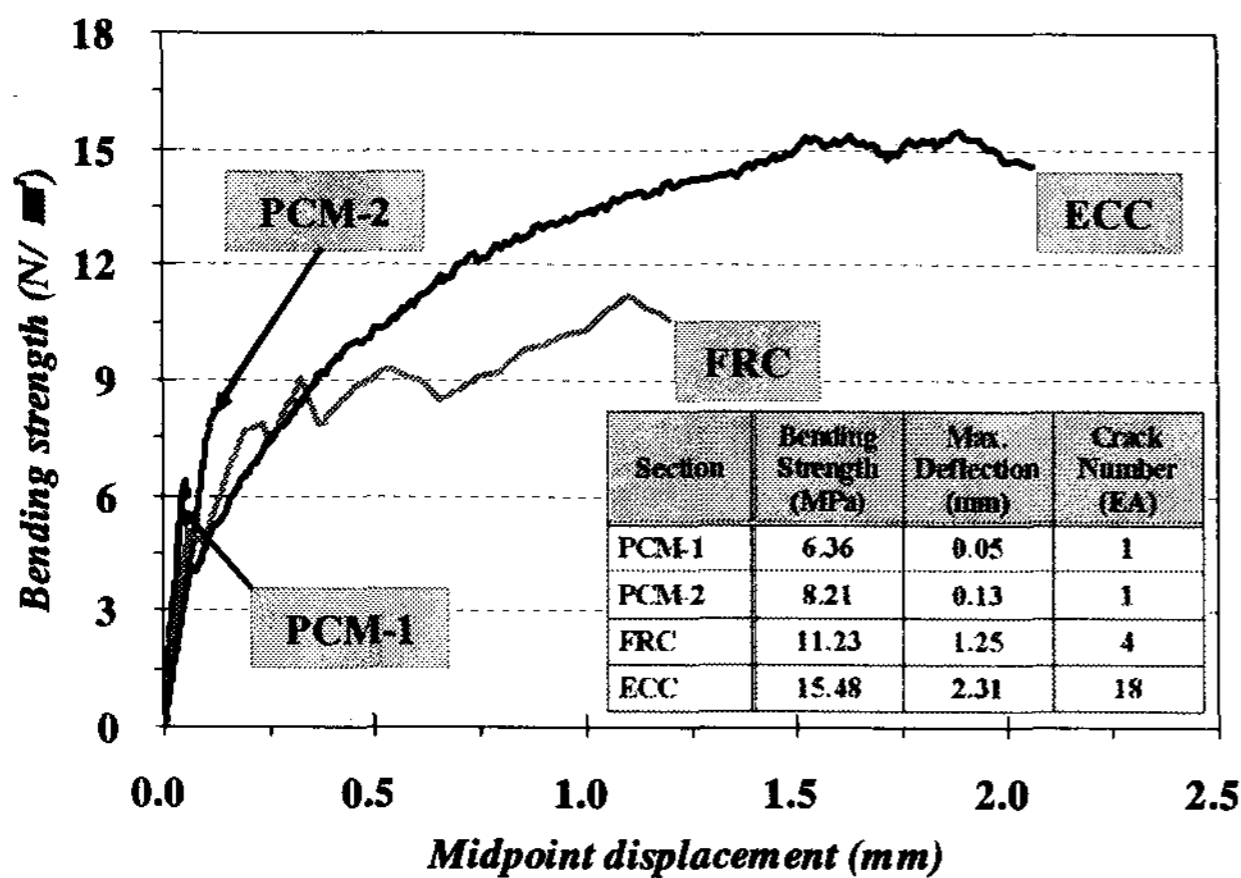


그림 3. 휨응력-변위곡선

3.2 무균열 상태의 내구성능

본 실험은 균열을 도입한 상태에서의 내구성능을 비교하기 위한 기준이 되는 데이터로서 결과는 다음과 같다.

그림 4은 고인성 모르타르의 중성화 시험에 대한 결과로서 4주에 PCM-1, PCM-2, FRC, ECC는 각각 2.4mm, 1.6mm,

1.5mm, 1.3mm로 나타나고 있어 PCM-1을 제외하고는 KS F 4042(2mm이하)에 모두 만족하는 것으로 나타났다. 이와 같이 다량의 섬유가 혼입된 ECC가 다른 배합에 비해 중성화 깊이가 작은 것은 본 실험에 사용된 고장력 PVA섬유가 친수성이며, 이로 인해 매트릭스와 섬유계면에서의 화학적 부착력이 증대되고, 계면에서의 수밀성이 증대되었기 때문인 것으로 사료된다.

한편, 그림 5는 염화물 이온침투 깊이를 나타낸 결과로서 상기에 중성화 깊이와 거의 동등한 경향을 보이고 있으며, 4주까지 ECC, FRC, PCM-2, PCM-1의 순서로 각각 3.0, 2.0, 1.9, 1.6mm를 나타내고 있어 중성화와 마찬가지로 재령 4주까지 급격한 침투 깊이를 보이고 있으며, 8주와 12주에는 완만한 침투 깊이가 경향이 나타나고 있음을 알 수 있었다. 또한, PCM-1이 PCM-2보다 내구성능이 떨어지는 이유는 PCM-1이 PCM-2보다 시멘트량이 적은 빈배합이기 때문으로 판단되며, 이에 따라 공기량의 증대로 인해 기포발생률이 높아져 물질투과저항성이 현저히 떨어지는 현상을 볼 수 있었다.

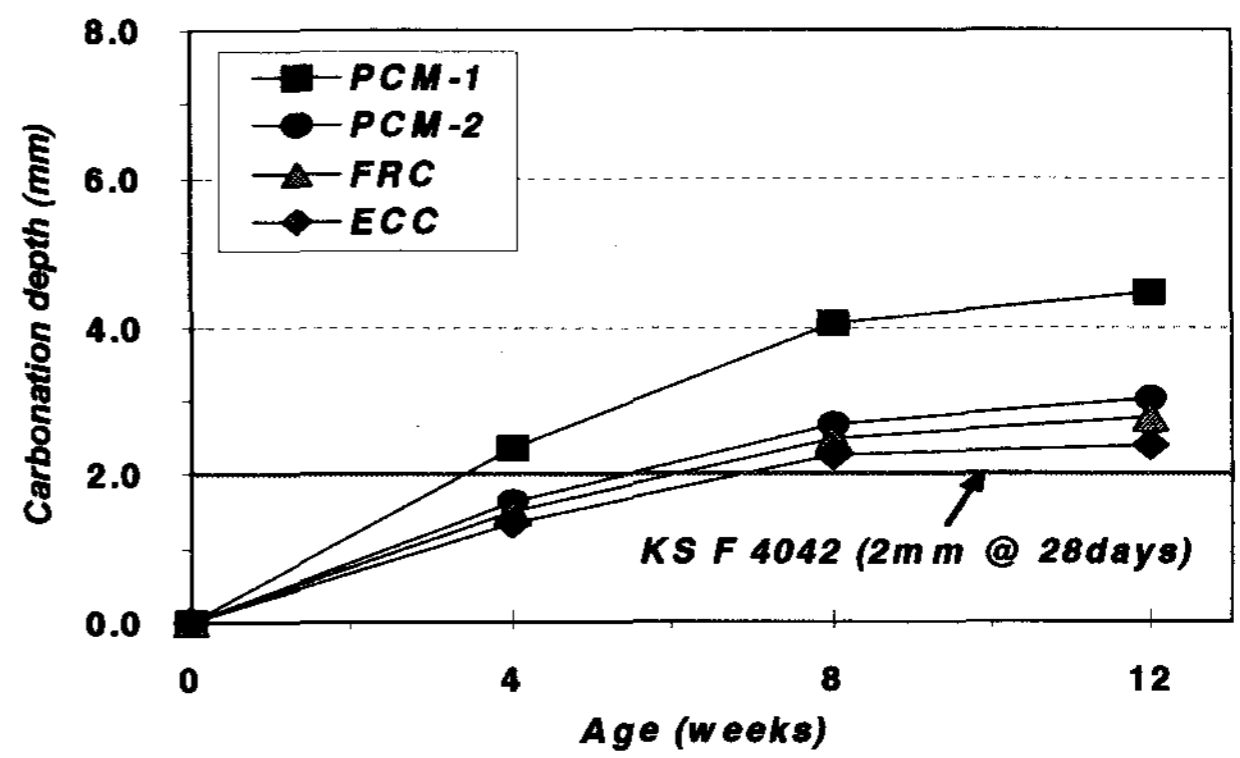


그림 4. 중성화 깊이의 변화

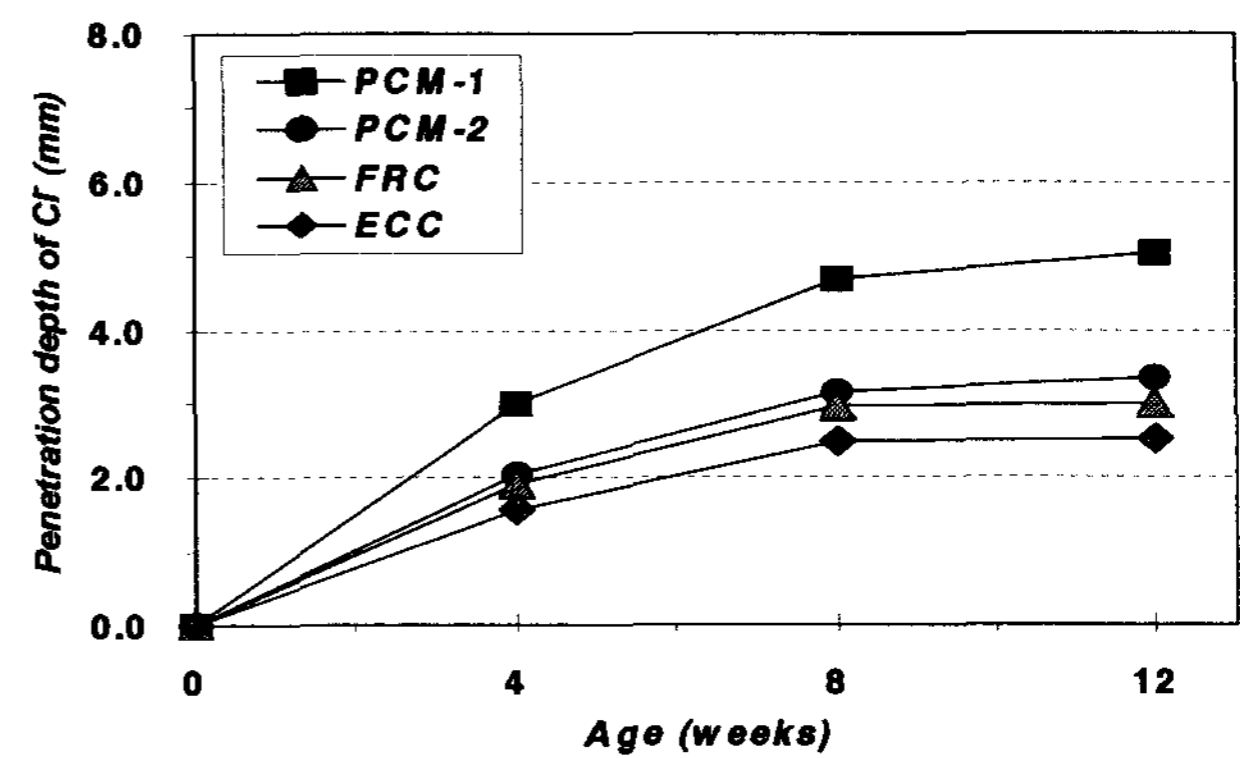


그림 5. 염화물 이온침투 깊이의 변화

구분	PCM-1	PCM-2	FRC	ECC
중성화				
염해				

사진 3. 중성화 및 염해 침투 깊이 (12주)

표 2. 처짐량 1mm시험체의 염수침지 건조반복 실험결과


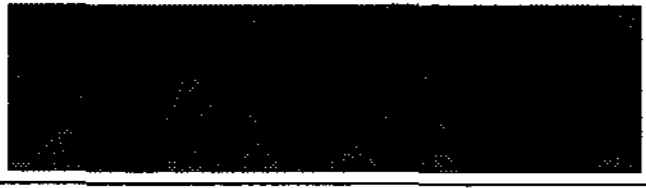
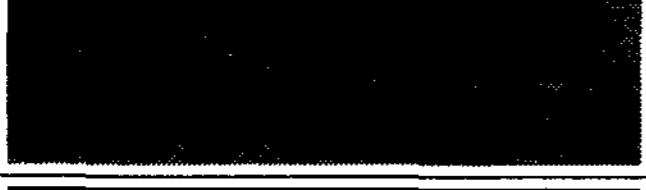
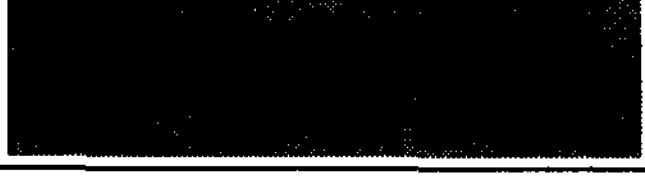




구분	단면사진	최대 침투 깊이(mm)	철근부식 유무
PCM-1		83	유
PCM-2		75	유
FRC		70	무
ECC		48	무

표 3. 처짐량 2mm시험체의 염수침지 건조반복 실험결과

구분	단면사진	최대 침투 깊이(mm)	철근부식 유무
PCM-1		100	유
PCM-2		100	유
FRC		100	무
ECC		50	무

3.3 균열도입 상태의 내구성능

본 연구 부분에서는 인위적으로 균열을 도입하여 고인성 모르타르의 내구특성에 관한 실험을 실시하였으며 결과는 다음과 같다.

표 2 및 표 3에 나타난 사진은 각각 1mm와 2mm의 균열을 도입한 것으로서 PCM-1, PCM-2의 경우 각각 최대 침투 깊이가 83~100, 75~100mm로서 섬유가 혼입되지 않은 상태에서 균열을 도입하였을 때 넓은 균열 폭에 의하여 염수의 침투가 빠르게 진행되었음을 알 수 있었으며, 이로 인해 철근의 부식이 나타났다.

한편, FRC와 ECC는 각각 70~100, 50~55mm로 나타나 섬유의 혼입량에 따라 일정한 폭의 멀티플크랙으로 인해 PCM-1,2보다 낮은 염수의 침투율을 볼 수 있었으며 철근부식은 나타나지 않았다. 그러나 FRC의 경우 2mm의 균열상태에서는 PCM과 동등한 결과를 나타냈고, ECC의 경우 그 보다 월등히 낮은 침투 경향을 알 수 있었다. 이는 친수성인 PVA섬유가 물과의 화학적 반응으로 인해 계면이 활성화되어 더욱 수밀해짐과 동시에 섬유 혼입률이 증가할수록 매트릭스는 치밀해지고, 상기에 문제로 지적되었던 하중초과나 진동에 의한 균열 또한 섬유의 가교현상에 의해 일정한 폭의 미세크랙으로만 발생하게 되어 휨성능이 높아질 뿐만 아니라 염수의 침투 저항성도 높아지는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서 고인성 모르타르의 내구특성에 대해 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) PCM-1,2와 FRC보다 ECC의 휨응력에 대한 변형경화거동은 월등히 우수하였다.
- 2) 무균열 상태에서의 내구성능은 ECC가 우수하게 나타났으나, PCM-1을 제외하고 매트릭스가 동일한 PCM-2 및 FRC와는 유사한 수준을 나타냈다.
- 3) 인위적 균열을 도입한 시험체에 대하여 염수침지 건조반복

실험을 통해 염해 저항성을 평가한 결과, PCM 및 FRC는 단면 깊은 부분까지 균열부를 따라 광범위하게 CI가 침투한 반면, ECC는 인장측의 표면부까지만 침투하였고, 균열부에서의 침투폭도 작다는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구에 사용된 재료는 (주)AMS엔지니어링의 제품을 지원받았으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 김재환 외 5명 '고인성 시멘트 복합체를 사용한 국내의 보수공법의 현황' KCI 학회지 제18권 2호, 2006. 3
2. 송하영 외 5명 '고인성 모르타르의 역학 및 수축특성에 관한 실험적 연구' 대한건축학회 추계학술 발표대회 논문집 3권 1호, 2007. 10