

친수성 PVA섬유보강 시멘트 복합체의 균열제어 및 투수성 평가

원종필^{1)*} · 황금식²⁾ · 박찬기¹⁾ · 박해균³⁾

¹⁾ 건국대학교 사회환경시스템공학과 ²⁾ 동원건설(주) 기술개발부 ³⁾ 삼성물산(주) 건설부분 토목사업본부

(2003년 12월 20일 원고접수, 2004년 3월 5일 심사완료)

Evaluation of Crack Control and Permeability of Hydrophilic PVA Fiber Reinforced Cement Composite

Jing-Pil Won^{1)*}, Keum-Sik Hwang²⁾, Chan-Gi Park¹⁾, and Hae-Geun Park³⁾

¹⁾ Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Konkuk University, Seoul, 143-701, Korea

²⁾ Dongwon Construction. Co. Ltd, R&D Team, Guri, 471-010, Korea

³⁾ Samsung Corporation, Engineering & Construction Group, Civil Engineering Technology Team, Sungnam, 463-721, Korea

(Received December 20, 2003, Accepted March 5, 2004)

ABSTRACT

Plastic shrinkage crack occurs at the exposed surfaces of freshly placed concrete due to consolidation of the concrete mass and rapid evaporation of water from the surface. This so-called shrinkage crack is a major concern for concrete, especially for flat structures such as pavements, slabs for industrial factories and retaining walls. This study has been performed to obtain the plastic shrinkage and the permeability of hydrophilic poly vinyl alcohol(PVA) fiber reinforced mortar and concrete. Test results indicated that PVA fiber reinforced cement composite showed an ability to reduce the total crack area and the maximum crack width (as compared to plain and polypropylene fiber reinforced concrete). Also, according to the permeability test result, it was found that PVA fiber reinforced cement composite was more reducing than polypropylene fiber reinforced cement composite.

Keywords : fiber reinforcement, permeability, PVA fiber, shrinkage crack

1. 서 론

콘크리트에 발생하는 균열에는 콘크리트 타설 후 콘크리트가 소성상태에 있을 때 건조한 주변환경에 노출된 경우 급격한 수분의 증발로 수축현상이 일어나며 이러한 수축 현상은 건조되지 않은 내부 콘크리트의 구속으로 표면에 인장응력이 발생되어 균열을 유발시킨다.

또한 콘크리트가 경화하면서 계속적인 수분의 증발로 인하여 외부 표면은 줄어들지만 내부에는 수분을 많이 함유하고 있기 때문에 외부의 수축 작용을 구속하게 되어 발생된 인장응력이 콘크리트의 인장강도를 초과하면서 건조수축균열이 발생한다. 이러한 소성수축균열 및 건조수축균열은 대기중의 온도, 습도에 의한 영향이 크며 콘크리트 구조물이 구속되었을 때는 더욱더 그 영향이 크다. 콘크리트 내에 소성 및 건조수축으로 인한 균열은 콘크리트 구조물에 있어 시각적 효과뿐만 아니라 콘크리트의 투수성을 증가시켜 최종적으로 다양한 형태의 파괴를 발생시

킨다. 이러한 콘크리트 성능 저하의 원인인 균열을 억제하기 위해 여러 가지 방법이 시도되고 있으며 그중 하나의 방법으로 섬유를 보강재료로 사용하는데 시멘트 매트릭스 내에 섬유를 골고루 분산되게 보강하면 균열 저항성을 증대시킬 수 있다^{1,3)}. 또한 콘크리트의 균열감소는 장기적으로 투수성의 감소에도 관계되며 투수성의 감소는 콘크리트의 사용성 및 내구성의 향상을 의미한다. 현재 세계적으로 콘크리트의 균열저감을 목적으로 사용량이 많은 섬유 중에 하나인 폴리프로필렌섬유는 매트릭스내 분산성이 뛰어나고 비교적 낮은 가격의 장점이 있지만 낮은 탄성계수 값을 가지고 있는 단점을 지니고 있다^{1-3,7)}. 또한 표면이 소수성이어서 섬유와 매트릭스 계면에서 공극이 있을 수 있어 반복하중을 받는 콘크리트 구조물에 사용시 장기적으로 매트릭스와 섬유와의 계면 분리가 발생하여 공극이 발생하는 등 콘크리트 구조상에 영향을 미칠 수 있다⁴⁾.

그러므로 폴리프로필렌섬유의 이와 같은 문제점을 해결할 수 있는 친수성섬유를 개발하여 콘크리트에 적용함으로써 콘크리트의 발생하는 균열을 억제할 뿐만아니라 궁

* Corresponding author

Tel : 02-450-3750 Fax : 02-2201-0907

E-mail : jpwon@konkuk.ac.kr

극적으로 콘크리트 구조물의 내구성능을 향상시킬 수 있는 연구가 필요한 실정이다.

현재 소수성의 폴리프로필렌섬유를 대체하여 콘크리트의 균열제어 보강제로 사용될 수 있는 섬유 중에는 PVA (Poly Vinyl Alcohol)섬유가 있다. 그러나 PVA 섬유에 대한 연구는 시멘트 2차 제품에 주로 적용하여 인장성능을 증가시키기 위한 연구로 진행되어왔다.

PVA 섬유의 효과에 대한 연구들을 살펴보면 다음과 같다. Betterman 등은 섬유와 매트릭스사이의 계면특성을 평가하기 위해 직접인장시험과 SEM분석을 실시하였는데 길이 4 mm, 7 mm, 12 mm의 3가지 다른 길이의 섬유를 형상비가 비슷하게 하기 위해 섬유직경을 각각 12 μ m, 24 μ m, 41 μ m로 하여 평가하였다.

연구결과 길이가 짧고 직경이 작을수록 섬유간 거리가 가까워져 최대 응력이 커진다고 하였다⁸⁾. Li 등은 파괴진행영역(fracture process zone)에서 미세섬유의 보강능력을 평가하기 위해 균열인성시험으로 인장시험을 하였는데 PVA섬유(길이 = 6 mm, 직경 = 14.3 μ m, V_f = 3.4)가 폴리프로필렌섬유(길이 = 8 mm, 직경 = 16.6 μ m, V_f = 4.9%)보다 2배 이상의 축인장응력을 가지며 연성적인 거동을 나타냈다. 이러한 결과는 PVA섬유가 매트릭스내에서 PP섬유보다 표면이 수산기인 친수성 섬유의 성질을 가지고 있기 때문에 계면마찰부착력이 우수하고 PP 섬유보다 탄성계수가 크기 때문에 높은 강성으로 우수한 가교작용을 하였기 때문이라고 하였다¹²⁾.

본 연구에서는 기존 연구자들의 연구결과를 통하여 볼 때 콘크리트 매트릭스와의 우수한 부착력을 가진 친수성의 PVA 섬유를 현장에서 사용 가능하도록 경제성과 시공성을 고려하여 낮은 섬유 혼입률로 콘크리트에 적용하여 균열제어 및 투수성능을 평가하려한다. 이를 통하여 콘크리트의 균열제어 보강섬유로서 소수성의 폴리프로필렌섬유를 대체할 수 있는 사용가능성을 평가하려한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 H사의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 물리적 특성은 Table. 1과 같다.

2.1.2 골재

잔골재는 비중 2.6의 강모래를 사용하였으며 굵은 골재는 비중 2.62, 최대치수 25 mm의 쇄석을 사용하였다. 굵은 골재와 잔골재의 물리적 성질은 Table. 2와 같다.

Table 1 Physical properties of cement

Fineness (cm ² /g)	Specific gravity	Stability (%)	Compressive strength(MPa)		
			3 days	7 days	28 days
3,488	3.15	0.08	22.4	30.8	40.4
Initial setting time (min.)			231		
Final setting time (min.)			407		

Table 2 Physical properties of aggregates

	Coarse aggregate	Fine aggregate
Specific gravity(SSD)	2.62	2.60
Water absorption(%)	0.35	0.67
F.M.	-	2.86

Table 3 Properties of fibers^{3,5,7,9,10,12)}

Properties	Preferred	PP fiber	PVA fiber
Length(mm)	High	19	6
Effective diameter(mm)	Low	0.1	0.015
Aspect ratio	High	190	400
Specific gravity	Medium	0.9	1.26
Elastic modulus (MPa)	High	4 × 10 ³	11 × 10 ⁴
Tensile strength (MPa)	High	600	686.5
Hydrophilic/hydrophobic surface	Hydrophilic	hydrophobic	hydrophilic
Alkali resistance	High	high	high

2.1.3 폴리프로필렌섬유와 PVA섬유

본 연구에서 사용된 폴리프로필렌섬유는 길이 19mm의 방사형을 사용하였다. 콘크리트 보강섬유로 개발된 PVA 섬유는 일본의 Kuraray사 제품으로 합성섬유이면서도 섬유 표면이 수산기(OH⁻)를 가지고 있는 친수성 구조로서 콘크리트 내에서 분산이 잘되고 높은 탄성계수와 시멘트 페이스트와의 높은 부착성능을 가지고 있다. 또한 비교적 작은 직경과 높은 형상비를 갖추고 있어 시멘트 복합체 내에서 미소균열을 억제하고 안정화하며 섬유의 가교작용을 통하여 시멘트 복합체의 역학적 성질을 증대시키는데 매우 효과적인 작용을 한다^{5,7,9,10,12)}. 본 연구에서 사용된 폴리프로필렌섬유와 PVA섬유의 특성은 Table. 3과 같다.

2.2 배합설계

본 연구에서는 콘크리트내에서 PVA섬유 혼입에 따른 소성수축균열과 투수성능을 평가하기 위하여 Table 4와 같은 배합을 사용하였다. 이때 PVA 섬유의 혼입률은 0.07%로 결정하였는데 이는 예비실험결과 PVA 섬유보강 콘크리트의 작업성과 역학적 특성 및 경제성을 고려하여 PVA 섬유가 콘크리트 내에서 가장 효과적인 성능을 발휘할 수 있는 섬유 혼입률이었기 때문이다. 또한 시험 결과는 폴리프로필렌 섬유 보강 콘크리트에서 섬유 혼입률로 가장 널리 사용되고 있는 0.1%를 혼입한 콘크리트의 결과와 비교하였다¹⁻³⁾.

Table 4 Mix proportions

Type of concrete	f _{ck} (MPa)	G _{max} (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				Fiber volume fraction (%)
							W	C	S	G	
Plain	23.5	25	15±1	5.0±1	55	40.9	176.6	321.1	712.3	1047.4	-
Polypropylene fiber											0.1
Polyvinyl alcohol fiber											0.07

2.3 실험방법

2.3.1 콘크리트 소성수축

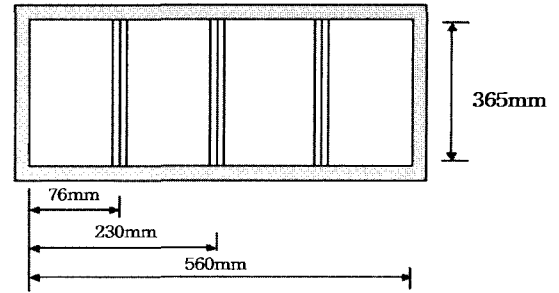
본 실험은 Fig. 1과 같이 560×365 mm의 표면 면적의 사각형태로 가운데와 양끝에서 76 mm 거리에 구속조건을 주는 금속조각판이 응력을 유발하여 이 부근에서 균열이 유도되게끔 하였다. 판 바닥으로부터 콘크리트가 쉽게 분리되기 위해 몰드 내부에 적당하게 기름칠을 한 후 몰드에 콘크리트를 가득 채우고 윗 표면이 수평하게 되도록 진동 다짐을 실시하였다. 총 진동시간은 재료분리를 방지하기 위해 12초 이하로 제한하였다^{6,11,14}.

각 시편은 3번 정도 금속 스크리퍼로 혼손질하였는데 각 시편마다 동일한 방향과 속도로 실시하였다. 이렇게 실시하는 이유는 혼손질의 방향과 속도에 따라 콘크리트 표면이 달라지므로 표면 균열 형성에 주요 요인이 될 수 있기 때문이다^{8,14}. 실험은 환경조건이 큰 영향을 미치는데 여러 연구자들은 다양한 환경조건을 제시하고 있다. 일반적으로 높은 온도, 낮은 상대습도, 적당한 풍속 등의 환경조건은 균열 형성을 더 크게 한다. 따라서 환경조건은 약 22~35 °C의 온도, 상대습도 30~50 %, 풍속 4.5~8 m/sec의 범위 내에서 적당한 조건을 선택하기 위하여 예비실험을 통하여 온도 28±3 °C, 습도 40±5 %에 풍속 4.5~5 m/sec로 일정한 조건을 유지시켜 실험을 실시하였다. 이러한 조건은 부가적인 환경조건인 수분 증발률이 980 g/m²/hr 이상이 되는 조건을 만족하였다.

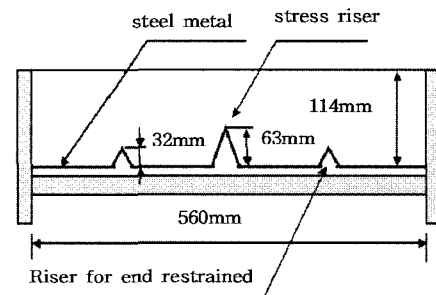
실험 결과를 평가하기 위해 균열 폭은 현미경을 이용하여 측정하고 균열길이는 실을 이용하여 균열에 따라 놓은 다음에 실의 양끝까지의 길이를 측정하였다. 측정된 균열은 매우 미세한 균열이어서 펜으로 균열을 따라 선을 덧써서 시각적으로 관찰이 쉽도록 하였다. 이렇게 하여 얻어진 균열폭과 균열길이를 곱하여 균열면적을 산출하였다.

2.3.2 모르타르 소성수축

소성수축으로 인한 균열은 콘크리트에서보다 균열이 더 많이 발생할 수 있는 모르타르에서 섬유 혼입물에 따른 성능 차이를 파악하기 위해 실험을 실시하였다. 모르타르 배합 (시멘트 : 모래 : 물 = 1 : 1.5 : 0.55)을 사용하여 Kraai에 의한 실험방법으로 실시하였는데 몰드는 Fig. 2



(a) Plain view



(b) Side view

Fig. 1 Apparatus for concrete plastic shrinkage test^{6,11,14}

와 같이 900×600×100 mm의 얇은 판 모양으로 틀레에 인장응력을 집중시켜 구속효과가 더 좋게 하기 위해 100 mm 간격으로 12×25 mm의 구속섬유를 설치한 형태이다.^{6,13} 섬유의 혼입률은 콘크리트에서와 같이 사용하였다.

2.3.3 염소이온 투과시험

콘크리트의 투수성을 간접적으로 확인할 수 있는 염소이온의 투과량을 측정하는 염소이온 투과시험은 ASTM C 1202-94(Electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration)의 방법에 따라 실시하였다. 염소이온 투과시험은 정확한 투수계수 값을 결정하는 것이 아니라 대략적인 콘크리트의 투수성을 측정하는 실험방법이다. Ø100×50 mm의 콘크리트 시편을 공시체 내부 공극 속에 존재하는 공기를 제거한 후 물로 포화시키기 위하여 시편을 데시케이터 안에 넣고 진공펌프를 3시간 동안 작동시킨 후 공시체에 물이 완전히 침수될 때가

지 넣은 다음 진공펌프를 1시간동안 더 작동시킨다. 그 다음에 진공펌프를 끄고 물 속으로 완전히 포화시킨 상태에서 18 ± 1 시간동안 유지하였다. 실험은 시편에 직류 60V를 공급하고 6시간 동안 염소이온을 투과시켜 통과하는 전하량을 측정하였다. Fig. 3은 염소이온 투과시험을 하는 모습이다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 콘크리트의 소성수축

실험결과는 표면에 발생한 균열의 최대 폭과 균열의 총면적(Σ (균열의 길이 \times 균열폭))으로 나타내었는데 폴리비닐알콜섬유보강 콘크리트는 보통 콘크리트 및 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트와 비교하여 균열 폭에서는 각각 63%, 41%로 작아졌으며 균열면적에서는 각각 79%, 58%로 줄어들어 균열제어능력이 더 효과적인 것으로 나타났다.

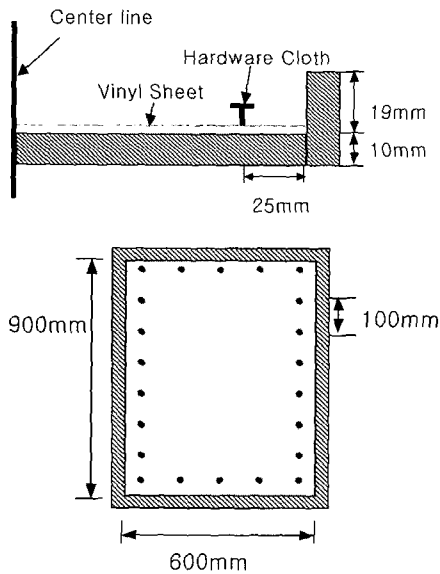


Fig. 2 Apparatus for mortar plastic shrinkage test^(6,13)

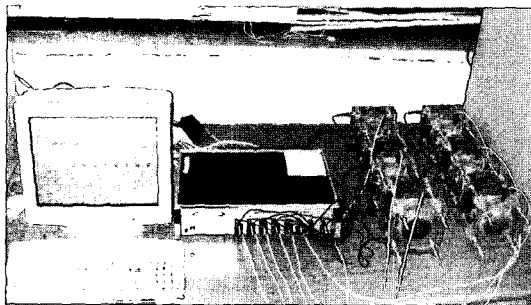


Fig. 3 Test set-up for chloride ion penetration

이러한 이유는 PVA섬유가 친수성인 OH기로 된 표면구조로 매트릭스와의 강한 부착력과 우수한 분산성 및 섬유 자체의 고강도와 고탄성계수에 기인하여 우수한 것이다^{5,10)}. 실험결과는 Fig. 4, 5에 각각 나타내었다.

3.2 모르타르의 소성수축

모르타르 소성수축 실험 후 총 균열면적은 평균 균열 폭을 3mm, 2mm, 1mm, 0.5mm의 4가지 단계로 나누어 계산하여 각각의 길이와 곱하여 산출하였다. 실험결과 폴리비닐알콜섬유보강 모르타르는 보통 모르타르 및 폴리프로필렌 섬유보강 모르타르와 비교하여 균열 저감이 각각 65%, 19%로 나타났다.

이러한 결과는 강한 부착력 및 우수한 분산성과 더불어 PVA섬유가 더 작은 직경과 길이를 가지고 있으면서 시멘트 매트릭스 내에 고르게 분산되어 섬유간 거리가 짧아 미세 균열 억제에 더 효과적이기 때문이다^{5,10)}. 실험결과는 Fig. 6과 같으며 시편의 균열모습은 Fig. 7 ~ Fig. 9에 나타내었다.

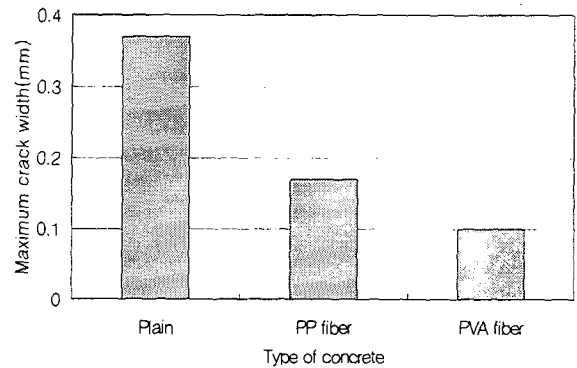


Fig. 4 Maximum crack width of plain, polypropylene fiber, and PVA fiber reinforced concrete after plastic shrinkage test

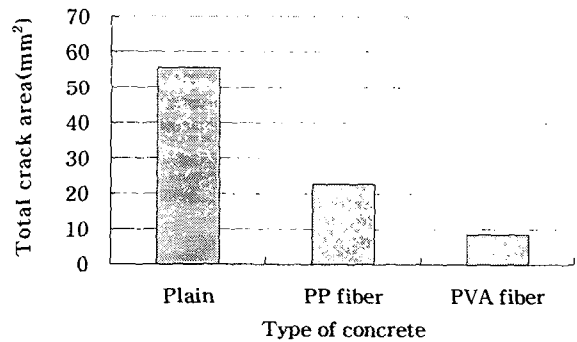


Fig. 5 Total crack area of plain, polypropylene fiber, and PVA fiber reinforced concrete after plastic shrinkage test

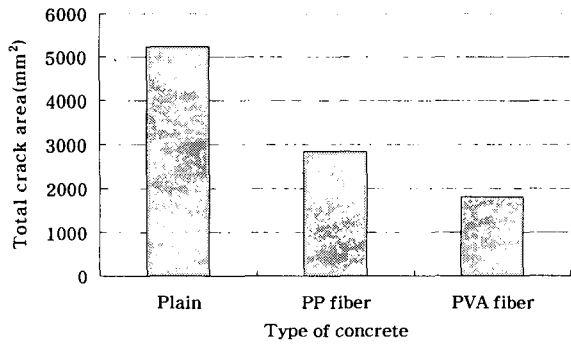


Fig. 6 Total crack area of plain, polypropylene fiber, and PVA fiber reinforced mortar after plastic shrinkage test

3.3 염소이온 투과시험

염소이온 투과시험 결과는 Fig. 10과 같다. ASTM C 1202에 따른 투수성 분류를 해본 결과 초기재령에서는 모든 배합에서 전하량이 4000 이상으로 높은 투과성을 보였으나 재령 28일에는 보통 콘크리트와 PVA섬유보강 콘크리트는 전하량이 2000~4000 사이의 중간정도의 투과성을 나타내었고 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트는 전하량 4000이상의 높은 투과성을 나타내었다. 일반적으로 염소이온 투과시험은 콘크리트의 간접적인 투수성을 평가할 뿐 정확한 투수성을 나타내려면 더 많은 분석이 필요하다. 본 연구에서 역시 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트는 섬유를 사용하지 않은 보통 콘크리트 및 PVA섬유보강 콘크리트와 비교하여 다른 등급을 나타냄으로써 투수저항성이 떨어진다는 결론을 내릴 수 있다.

그러나 섬유를 사용하지 않은 보통 콘크리트와 PVA섬유보강 콘크리트의 투수성은 약간의 차이가 있지만 같은 범위 내에 있으므로 투수성은 거의 동일하다고 판단할 수 있다.

따라서 투수성의 감소는 콘크리트의 사용성 및 내구성의 향상을 의미할 때 폴리프로필렌섬유는 균열제어 효과는 섬유를 사용하지 않을 때 보다 우수하지만 투수성에서 문제가 발생함으로 내구성에 문제를 발생시킬 수 있을 수 있다. 따라서 균열제어 효과가 우수하며 투수성에 영향을 미치지 않는 PVA섬유를 콘크리트의 균열제어 보강재로 사용하면 그 효과는 크다고 할 수 있다. PVA 섬유의 이와 같은 효과는 섬유의 표면이 수산기 구조를 가지고 있어 수분을 흡착하여 시멘트 매트릭스와의 강한 결합으로 수밀한 콘크리트를 만드는 반면에 폴리프로필렌섬유는 섬유표면에 흡착되었던 잉여수분이 주변의 모세관을 통하여 이동함으로써 양생 후에도 시멘트 수화물의 부착이 원활하지 못하였기 때문이다^{4,10,15}.

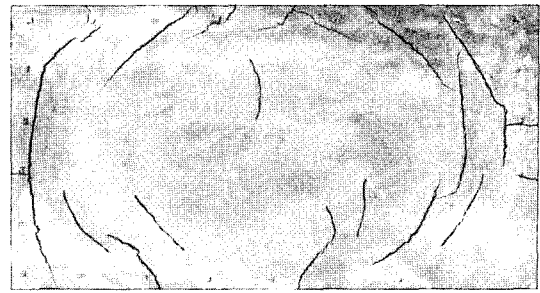


Fig. 7 Crack pattern of plain mortar after plastic shrinkage test

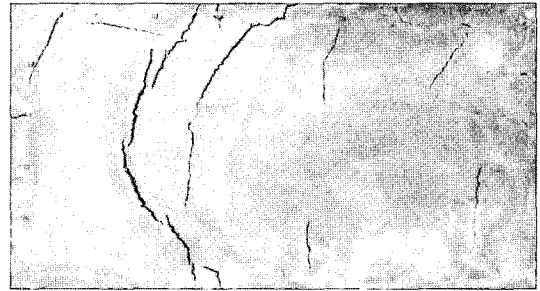


Fig. 8 Crack pattern of PP fiber reinforced mortar after plastic shrinkage test

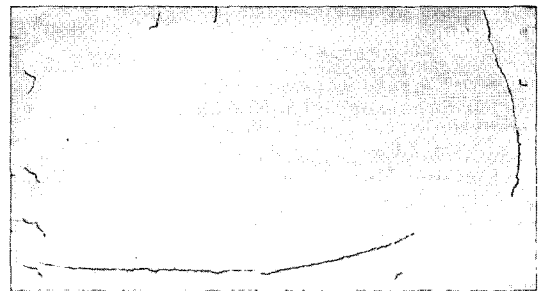


Fig. 9 Crack pattern of PVA fiber reinforced mortar after plastic shrinkage test

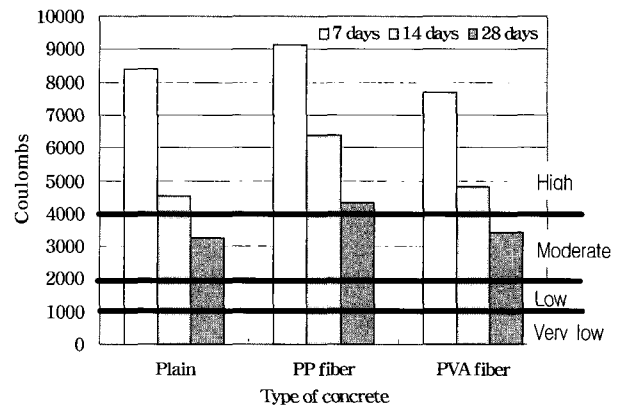


Fig. 10 Result of chloride ion penetration test

4. 결 론

PVA섬유보강 시멘트복합체의 균열제어 성능을 평가하기 위한 소성수축 실험결과 친수성인 PVA섬유는 폴리프로필렌섬유에 비하여 OH기를 함유하여 시멘트 매트릭스와의 우수한 부착성을 가지고 있다. 또한 비교적 작은 직경과 높은 형상비를 갖추고 있어 시멘트 복합체 내에서 섬유간 거리가 짧으므로 미소균열을 억제하고 안정화하여 균열제어에 효과적인 것으로 나타났다. 염소이온 투과시험을 통한 내구성 실험에서도 PVA섬유보강 콘크리트는 폴리프로필렌섬유보강 콘크리트보다 낮은 투수성을 나타내었다. 따라서 시멘트 복합체에 PVA섬유를 사용하면 균열제어 및 내구성 증진에 효과적인 성능을 발휘하리라 판단된다.

참고문헌

1. 박승범, 이봉춘, 권혁준, 윤준식, "폴리프로필렌 섬유보강콘크리트의 역학적 특성 및 내구성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 1998. 5. pp.293~298.
2. 오병환, 이명규, 유성원, 백상현, "폴리프로필렌 합성섬유보강 콘크리트의 강도 및 건조수축균열제어 특성 연구", 콘크리트학회 논문집, Vol.8, No.6, 1996., pp.151~161.
3. 원종필, 박찬기, 안태승, "폴리프로필렌섬유보강 콘크리트의 수축균열 및 내구특성", 대한토목학회 논문집, Vol.19 No.5, 1999, pp.783~790.
4. 한만엽, "PPF섬유의 첨가가 콘크리트 공극구조에 미치는 영향", 대한토목학회논문집, 14권 5호, 1994, pp.1081~1089.
5. Kuraay co., LTD, "Asbestos Replacement," Kuraray co., LTD, Japan, 1998, pp. 1~12.
6. Balaguru, "Contribution of fibers to crack reduction of cement composites during the initial and final setting period," *ACI Materials Journal*, Vol.91 No.3, 1994. May-June, pp.280~288.

7. Bentur, A. and mindess, S., "Fibre reinforced cementitious composites," Elsevier Applied Science, New York, U.S.A., 1992, pp. 30~124.
8. Betterman, L.R., Ouyang, C., and Shah, S.P., "Fiber matrix interaction in microfiber reinforced mortar," Elsevier Science Inc, New York, U.S.A, 1995, pp. 128~138.
9. Fibres(Poly(vinylalcohol)), "Kirk othmerencyclopedia of chemical technology," 4th, Ed., Vol.10, John wiley & Sons, Inc, New York, U.S.A., 1994, pp. 25~55.
10. Hikasa, J. and Genba, T., "Replacement for asbestos in reinforced cement products - 'Kuralon' PVA fibres, properties, structure," *International ManMade Fibres Congress*, Austrian Chemical Institute, Austria, 1986, September, pp. 67~76.
11. ICBO Evaluation services, Inc., "Acceptance criteria for concrete with synthetic fibers," *International conference of building officials*, 1993, pp. 45~54.
12. Nelson, P.K, Li, C.V., and Kamada, C., "Fracture toughness of microfiber reinforced cement composites," *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol.98 No.5, 2002, September-October, pp.384~391.
13. Shaeles, C.A. and Hover, K.C., "Influence of mix proportions and construction operations on plastic shrinkage cracking in thin slabs," *ACI Materials Journal*, Vol.85 No.6, 1988. November-December, pp. 495~504.
14. Soroushian, P., Mirza, F., and Alhozaimy, A., "Plastic shrinkage cracking of polypropylene fiber reinforced concrete," *ACI Materials Journal*, Vol.92, No.5, 1995. September-October, pp.553~560.
15. Toutanji, H, Mcneil, S., and Bayasi, Z., "Chloride permeability and impact resistance of polypropylene fiber reinforced silica fume concrete," *Cement and concrete research*, Vol.28, No.7, 1998, pp.961~968.

요 약

소성수축 균열은 경화전 콘크리트의 노출된 표면에서 과도한 수분 증발로 인하여 발생된다. 이러한 소성수축 균열은 특히 도로, 슬래브 및 옹벽 등과 같은 넓은 표면적을 가진 콘크리트 구조물에서 발생하는 가장 큰 문제 중에 하나이다. 본 연구에서는 PVA 섬유보강 모르타르 및 콘크리트의 소성수축 특성과 투수성능을 파악하기 위해 실험을 실시하였다. 그 결과 PVA섬유보강 시멘트 복합체는 일반 시멘트 복합체 및 폴리프로필렌섬유보강 시멘트 복합체와 비교하여 최대 균열 폭 및 총 균열 면적에 효과적으로 감소하였다. 또한 투수성 실험결과 PVA섬유보강 시멘트 복합체는 폴리프로필렌섬유보강 시멘트 복합체보다 더 낮은 투수성을 나타내었다.

핵심용어 : 섬유보강, PVA섬유, 소성수축 균열, 투수성