

모르타르의 동결융해 피해에 미치는 폴리프로필렌 섬유의 영향

Effect of Polypropylene Fiber on the Freeze-Thaw Damage of Mortar

유재철¹ · 김규용¹ · 이상규² · 황의철² · 남정수³*

Jae-Chul Yoo¹ · Gyu-Yong Kim¹ · Sang-Kyu Lee² · Eui-Chul Hwang² · Jeong-Soo Nam³*

(Received November 20, 2019 / Revised November 27, 2019 / Accepted November 27, 2019)

In this study, the effect of polypropylene fiber on the freeze-thaw damage of mortar was evaluated experimentally. The effects of the reinforcing of polypropylene fiber on the compressive and bending performance of mortar after 300 cycles of freeze-thaw test were evaluated by comparing the normal mortar and the mortar with polyvinyl alcohol fiber. In addition, the mass loss, relative dynamic elastic modulus, and cumulated pore volume of mortar were measured by each cycle of freeze-thaw test. As a result, it was confirmed that the fiber reinforced mortar, regardless of the fiber type, was effective not only in maintaining the performance of the compressive strength and the bending strength but also suppressing the mass loss after the freeze-thaw test of 300 cycles. Meanwhile, it was confirmed that not only polyvinyl alcohol fibers but also polypropylene fibers can effectively act to suppress the damage of the mortar by freeze-thaw. However, in order to improve the freeze-thaw resistance of mortar mixed with polypropylene fiber, it is necessary to increase the bonding performance with the cement matrix which can be expected from polyvinyl alcohol fiber.

키워드 : 동결융해, 폴리프로필렌 섬유, 역학적 특성, 질량감소율, 공극크기분포

Keywords : Freeze-thaw, Polypropylene fiber, Mechanical properties, Mass loss, Cumulated pore volume

1. 서론

콘크리트와 같은 시멘트계 복합재료는 우수한 강도와 내구성을 가지고 있기 때문에 오랜 기간 동안 건축 및 토목구조물에 널리 사용되어 왔다. 그러나 콘크리트는 압축강도에 비해 휨인장강도가 상대적으로 낮은 특성을 보이므로 휨인장하중에 대하여 취성적 파괴 거동을 억제시키기 위해 철근을 보강하여 재료, 구조적으로 안정적인 상호결합을 통해 건설재료로서의 중요한 역할을 담당하고 있다.

한편, 철근콘크리트구조물은 사용연수가 증가됨에 따라 다양한 환경적인 요인에 의해 열화가 진행된다. 환경적인 열화인자에 의한 철근콘크리트구조물의 내구성 저하는 계절의 변화에 따라 영향을 받을 수 있으며, 특히 한랭지의 철근콘크리트구조물의 동결융해작용이 내구성저하의 주요요인으로 보고되고 있으며, 그 정도가 심해질 경우 내부 철근이 부식되고 콘크리트 매트릭스에 균열이

발생하여 열화에 의한 피해가 가속화 될 수 있다. 이와 같은 균열 발생은 콘크리트의 내구성을 저하시키는 주요 원인이 되며, 철근콘크리트구조물의 장수명화를 위해 균열 보수는 매우 중요하다.

철근콘크리트구조물의 보수공법 가운데 합성섬유를 혼입한 형태의 섬유보강모르타르의 경우, 일반모르타르에 비해 균열에 대한 분산성 및 변형능력이 우수하기 때문에 철근콘크리트구조물의 표면으로부터 침입하는 각종 열화인자의 억제 효과를 기대할 수 있다. 이와 같은 배경에서 동결융해작용을 대상으로 섬유보강시멘트 복합재료의 내동해성에 관한 연구사례가 보고되고 있다. Yun et al.(2012)은 폴리비닐알코올섬유와 폴리에틸렌섬유를 하이브리드로 혼입한 고인성시멘트복합재료의 축진 동결융해시험을 통해 300사이클의 동결융해작용에 의해 고인성섬유보강시멘트복합재료의 휨하중하에서 균열분산성 및 변형능력은 저하하지만, 상대동탄성계수는 약 97%의 수준으로 우수한 내동해성을 발휘하는 것으

* Corresponding author E-mail: j.nam@cnu.ac.kr

¹충남대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea)

²충남대학교 건축공학과 박사과정 (Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea)

³충남대학교 건축공학과 조교수 (Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea)

로 보고하였다. 또한, Şahmaran et al.(2012)은 고인성섬유보강시멘트복합재료의 우수한 내동해성은 매트릭스내의 유효한 공기량과 보강섬유에 의한 인장성능 향상을 주요 원인으로 분석하였다. Özbay et al.(2013)은 300사이클의 축진 동결융해시험 이후에도 고인성시멘트복합체는 약 5% 이하의 표면스케일링 특성을 나타내 질량손실을 현저히 저감시킬 수 있다고 보고하였다.

이와 같이 일반적으로 휨인장성능이 우수한 고인성시멘트복합재료를 활용할 경우, 동결융해작용에 대한 저항성이 크게 향상되는 것을 알 수 있다. 그러나 고인성시멘트복합재료에 사용되는 폴리비닐알코올 및 폴리에틸렌섬유 등과 같은 합성섬유는 휨인장 등의 역학적성능은 우수하지만, 폴리프로필렌 및 나일론섬유 등에 비하여 경제성은 다소 저하되는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 철근콘크리트구조물 표면균열 보수용으로 활용이 가능한 폴리프로필렌섬유를 혼입한 모르타르를 대상으로 모르타르의 동결융해피해에 미치는 폴리프로필렌섬유유의 영향을 파악하기 위하여 축진 동결융해시험을 실시하고, 강도특성, 표면스케일링, 상대동탄성계수 및 미세구조 등에 대하여 폴리비닐알코올섬유를 혼입한 시험체와 섬유를 혼입하지 않은 시험체를 비교대상으로 하여 평가하였다. 그 결과를 바탕으로 한랭지 철근콘크리트구조물의 보수재료에 대한 폴리프로필렌섬유보강 모르타르의 활용가능성을 검토하기 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

본 연구에서 시험체 제작에 사용한 재료의 물리적 성질을 Table 1에 나타내었다. 보통포틀랜드시멘트와 플라이애시를 결합재료하였으며, 잔골재는 흡수율 1.01%의 7호 규사를 사용하였다. 본

Table 1. Properties of used materials

Material	Property
Cement	Ordinary portland cement(OPC), Density: 3.15g/cm ³ , Fineness: 3,200cm ² /g
Fly ash	Density: 2.30g/cm ³ , Fineness: 3,228cm ² /g
Fine aggregate	Type 7, Density: 2.54g/cm ³ , Absorbance: 1.01%
Polypropylene fiber(PP)	Density: 0.91g/cm ³ , Length: 12mm, Diameter: 42.6µm, Tensile strength: 482MPa
polyvinyl alcohol fiber(PVA)	Density: 1.30g/cm ³ , Length: 12mm, Diameter: 40.0µm, Tensile strength: 1,560MPa
High range water reducer	Polycarboxylic acid-based high-range water-reducing admixture

연구에서 사용한 폴리프로필렌섬유는 길이 12mm, 직경 42.6µm, 인장강도 482MPa의 것을 사용하였으며, 폴리비닐알코올섬유는 길이 12mm, 직경 40.0µm, 인장강도 1,560MPa의 것을 사용하였다. 굳지 않은 상태에서의 섬유보강 모르타르의 유동성을 확보하기 위하여 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 첨가하였다.

2.2 시험체 제작

시험체 제작을 위한 모르타르배합 및 시험체 종류, 배합별 모르타르의 굳지 않은 성질을 Table 2 및 Table 3에 나타내었다. 시험체의 수준은 모두 4가지로 섬유를 혼입하지 않은 Plain 시험체는 공기량의 차이에 따라 Plain1 및 Plain2로 구분하여 2수준, 폴리프로필렌섬유와 폴리비닐알코올섬유를 각각 1.5vol.% 혼입한 모르타르 시험체는 PPM 및 PVAM으로 구분하여 2수준으로 설정하였다.

모든 모르타르 배합의 굳지 않은 상태의 목표 테이블 플로는 180±20mm으로 설정하였으며, 모든 배합 수준에서 최소 170mm, 최대 197mm로 측정되어 목표범위 이내로 평가되었다. 한편, 공기량의 경우 Plain1은 4.5%이며, Plain2는 공기량을 변화시키기 위해 목표 플로범위내의 유동성을 고려하여 고성능AE감수제를 첨가하였으며, 7.8%의 공기량이 측정되었다. 또한, 섬유보강 모르타르의 공기량의 경우 PPM은 7.5%, PVAM은 4.5%로 측정되었다. Lamond et al.(2006)의 연구에 따르면, 일반적으로 모르타르 배합에서 동결융해저항성에 효과적인 공기량의 수준은 9±1%로 제시하고 있으며, 이 결과에 비추어 공기량을 고려할 경우, Plain2 및 PPM

Table 2. Mixture proportion of mortar

ID*	W/B	Fiber volume fraction (vol.%)	Unit weight(kg/m ³)				
			Water	Cement	Fly ash	Sand	Fiber
Plain1	0.4	0.0	453	963	170	396	0.0
Plain2		0.0	453	963	170	396	0.0
PPM		1.5	453	963	170	396	13.4
PVAM		1.5	453	963	170	396	19.2

* Plain1 and Plain2: Plain specimen without short fiber, PVAF: Fiber reinforced mortar with PVA fiber, PP: Fiber reinforced mortar with PP fiber.

Table 3. Table flow and air content for each fresh mixture

ID	Table flow(mm)	Air content(%)
Plain1	180×176	4.5
Plain2	197×193	7.8
PPM	196×194	7.6
PVAM	173×170	4.5

시험체의 조건이 동결융해저항성에 효과적일 것으로 예측할 수 있다. 모든 시험체는 시험종류별 몰드에 타설 1일 후 탈형하였으며, 20±3°C의 온도조건에서 타설시점을 기준으로 28일간 수중양생을 실시하였다.

2.3 시험방법

굳지 않은 모르타르의 테이블 플로 평가는 KS L 5111, 공기량 평가는 ASTM C 231에 준하여 실시하였다. 모르타르 시험체의 압축 및 휨특성의 평가는 ASTM C 39 및 ASTM C 78에 준하여 실시하였으며, 급속동결융해시험은 KS F 2456, ASTM C 666 및 JIS A 1148를 참고하여 진행하였다. 동결융해시험은 300사이클까지 실시하였으며, 5°C부터 -18°C까지 2시간 30분 동결, -18°C부터 5°C까지 1시간 30분, 4시간을 1사이클로 하여 상대탄성계수 및 질량감소율을 평가하였다. 압축 및 휨특성 평가는 동결융해시험 전과 사이클에 따른 동결융해시험 후의 값을 비교하였으며, 시험체의 공극분포구조는 Mercury Intrusion Porosimetry(MIP) 방법을 활용하여 파악할 수 있다. 공극크기분포를 분석하기 위하여 압력을 발생시키는 유압 펌프 및 접촉 센서를 사용하여 수은 부피를 측정하는 Autopore Master 33 Porosimeter를 통해 MIP 방법을 활용하였다. 수은의 표면 장력과 수은 밀도는 각각 접촉각을 140°로 가정할 때, 각각 0.480N/m 및 13,546g/ml 이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축 및 휨특성

Fig. 1에 동결융해시험 300사이클 전과 후의 시험체별 압축강도를 나타내었다. 동결융해 사이클과 관계없이 압축강도는 시험체

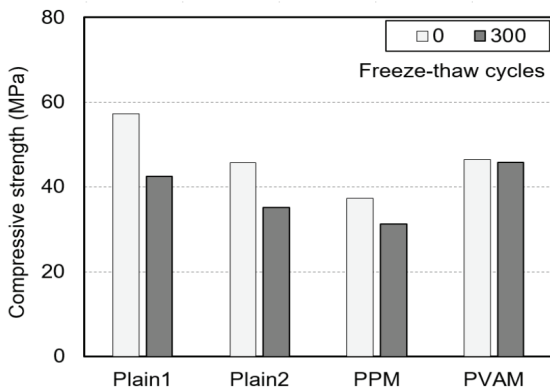


Fig. 1. Compressive strength

의 공기량에 대소에 따라 차이를 보였다. 동결융해시험을 시작하기 전 타설 후 재령 28일 시험체의 압축강도의 경우, Plain1, Plain2, PPM 및 PVAM 각각 57.3, 45.7, 37.4 및 46.5MPa로 측정되었다. 유사한 수준의 공기량 조건에서는 섬유를 혼입하지 않은 Plain1, Plain2 시험체의 압축강도가 높은 것으로 나타났다. 그러나 300사이클의 동결융해시험 후의 압축강도 측정 결과, 0사이클을 기준으로 비교할 경우 동결융해시험에 의한 압축강도 저하율은 Plain1 25.83%, Plain2 22.98%, PVAM 1.51%, PPM 16.58%로 섬유혼입에 의해 압축강도 저하율을 감소시킬 수 있었으며, 그 효과는 폴리프로필렌섬유에 비해 폴리비닐알코올섬유가 큰 것으로 나타났다.

Fig. 2는 동결융해시험 300사이클 전과 후의 섬유혼입 모르타르 시험체의 휨강도 측정 결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 폴리비닐알코올섬유는 섬유보강시멘트복합체에 활용되는 보강섬유의 종류 가운데 강섬유, 폴리에틸렌 섬유와 함께 섬유자체의 인장강도 및 기계적 성질이 우수하다. 또한, 폴리프로필렌섬유와 달리 친수성의 성질을 가지고 있기 때문에 시멘트 매트릭스와의 결합력이 더 우수한 특징을 보인다. 이와 같은 배경에서 PVAM 시험체가 PPM 시험체에 비해 동결융해시험 사이클에 관계없이 높은 휨강도를 나타내고 있다. 그러나 300사이클의 동결융해시험 후에는 PPM 및 PVAM 시험체 모두 동결융해시험 0사이클과 비교하여 휨강능이 다소 저하하는 것으로 평가되었으며, 최대점 이후 비교적 가파른 처짐현상이 나타났다. 이는 300사이클의 동결융해시험 이후 시멘트매트릭스와 보강섬유 사이의 부착성능이 최초 동결융해시험 전에 비해 다소 감소한 것을 원인으로 볼 수 있으며, Yun et al.(2012)의 섬유보강시멘트복합체의 동결융해시험 전후의 휨성능평가에서도 유사한 경향이 나타났다. 또한, PPM 시험체는 최초 휨강도가 PVAM 시험체에 비해 낮지만 동결융해작용에 의한 휨성능 저하는 크지 않은 것을 알 수 있다.

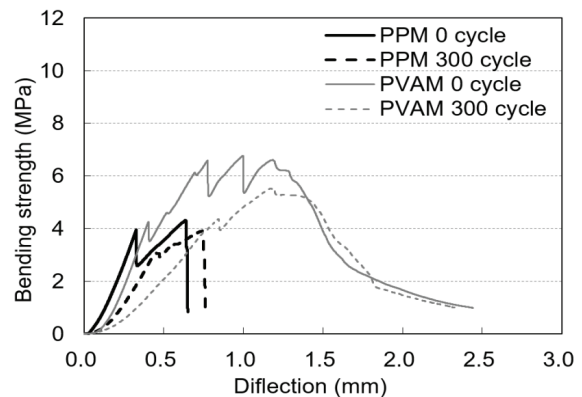


Fig. 2. Bending strength

3.2 질량감소율 및 상대동탄성계수

일반적으로 시멘트계 복합재료의 동결융해저항성을 평가하기 위해 동결융해 사이클에 따른 질량감소율 및 상대동탄성계수를 측정하여 그 결과에 따라 사용재료의 성능을 평가하게 된다. 특히 질량감소율은 동결융해작용에 의한 시험체의 표면 스케일링에 따라 크게 영향을 받는다. 시험체의 질량감소율은 다음 식에 의해 산정할 수 있다.

$$W_n = \frac{w_0 - w_n}{w_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서, W_n 은 n사이클의 동결융해시험에 대한 질량감소율(%)이며, w_0 은 동결융해시험전 시험체의 최초 질량이며, w_n 은 n사이클의 동결융해시험에 대한 시험체의 질량이다.

또한, 상대동탄성계수는 다음 식에 의해 산정할 수 있다.

$$P_n = \frac{f_n^2}{f_0^2} \times 100 \quad (2)$$

여기서, P_n 은 n사이클의 동결융해시험에 대한 상대동탄성계수(%)이며, f_0 은 동결융해시험전 시험체의 최초 동탄성계수이며, f_n 은 n사이클의 동결융해시험에 대한 시험체의 동탄성계수이다.

Fig. 3에 동결융해시험 사이클에 따른 시험체의 질량감소율을 나타내었으며, Fig.4는 300사이클의 동결융해작용을 받은 시험체의 표면스케일링 상태를 나타낸 것이다. 동결융해시험을 시작하기 전 0사이클과 비교하여 100, 200 및 300사이클의 동결융해시험 후 질량감소율은 섬유혼입에 의해 현저히 저감시키는 것이 가능하였으며, 그 효과는 PVAM 시험체에서 더 큰 것으로 나타났다. PPM 시험체의 경우 극표면부의 일부 스케일링이 발생하였지만 300사이클의 동결융해시험 후 질량감소율이 0.6% 미만으로 동일수준의 공기량 범위의 Plain2 시험체의 300사이클의 동결융해시험 후 질량감소율의 약 절반수준으로 나타났으며, 이는 혼입섬유에 의한 보강 효과에 의해 Plain1, Plain2 시험체와 비교하여 표면스케일링이 저감된 것으로 판단된다. 폴리프로필렌섬유는 혼입수를 흡수하지 않는 소수성의 특성을 가지며, 이와 같은 특성은 PVAM 시험체에 비해 혼입섬유와 시멘트매트릭스간의 결합력을 저감시키는 원인으로 작용할 수 있다. 결과적으로 섬유혼입에 의해 시험체의 스케일링 저항성 및 섬유와 시멘트매트릭스 사이의 계면 결합력이 향상되었으며, 이는 급속 동결융해작용에 의해 발생하는 시멘트매트릭스 사이의 인장응력 감소작용에 비해 더 큰 영향을 미칠 수

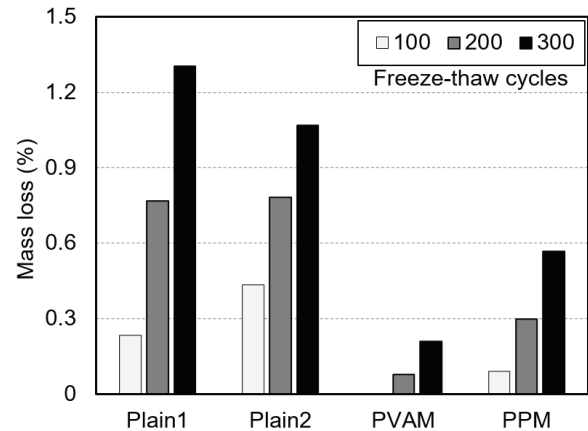


Fig. 3. Mass loss

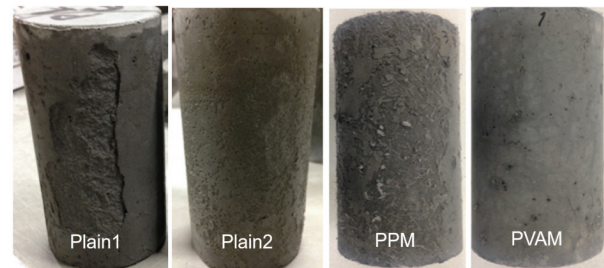


Fig. 4. Surface scaling conditions of specimens after 300 freeze-thaw cycles

있다는 것을 확인하였다.

Fig. 5에 동결융해시험 사이클에 따른 시험체의 상대동탄성계수 측정결과를 나타내었다. PVAM 시험체의 경우 300사이클의 동결융해시험 후 상대동탄성계수는 약 10% 정도 감소하였다. Lepech et al.(2005) 및 Şahmaran et al.(2009)의 연구에서도 폴리비닐알코올섬유를 혼입한 섬유보강시멘트복합재료의 동결융해시험에서 300사이클 후에도 섬유보강에 의해 의도적 공기의 형성 없이 상대동탄성계수의 저하를 방지할 수 있다고 보고하고 있다. 300사이클의 동결융해시험 후 PPM 시험체의 상대동탄성계수는 약 76%로 PVAM 시험체에 비해 낮게 평가되었으나 Plain1 및 Plain2 시험체에 비해 양호한 수준으로 나타났다. 이는 비교적 초기 동결융해 사이클에서 상대동탄성계수가 저하한 것이 원인으로 분석되며, 100 사이클 이후부터는 완만하게 감소되는 경향을 보였다. Plain2 시험체는 Plain1 시험체에 비해 상대동탄성계수가 다소 높게 측정되었으며, 이는 동결융해저항성에 효과적인 공기량을 가지고 있기 때문으로 분석되며 그 밖에 특이점은 나타나지 않았다.

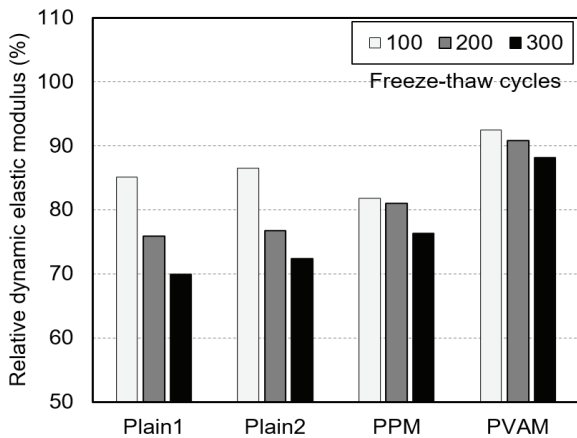


Fig. 5. Relative dynamic elastic modulus

Fig. 6은 동결융해시험 전과 300사이클 후 시험체의 공극크기 분포를 나타낸 것이다. 섬유를 혼입한 PPM 및 PVAM 시험체는 300사이클의 동결융해시험 후 100에서 10,000nm 범위에서 Plain1 및 Plain2와 비교하여 상대적으로 큰 공극을 가지는 것으로 나타났다. 또한, Plain1 및 Plain2 시험체는 동결융해시험 전에 비해 300 사이클 이후 100에서 10,000nm 범위의 공극이 감소한 반면, PPM 및 PVAM 시험체는 증가하는 경향이 나타났다. Litvan et al.(1977)의 연구에 따르면 시멘트계 복합재료의 공극 직경이 약 300nm 이상일 경우 우수한 동결융해저항성을 유지할 수 있는 것으로 보고하고 있다. 한편, Plain1 및 Plain2 시험체는 300사이클의 동결융해시험 이후 동결융해시험 0사이클에 비해 전체적으로 공극크기 분포가 감소하였으며 이러한 경향은 Plain1 시험체에서 보다 명확하게 나타나고 있다. 본 연구의 범위에서 공극크기 분포 결과를 바탕으로 동결융해저항성에 대한 일반적인 경향으로 적용하는 것은 어려우나 300사이클의 동결융해시험 후 공극감소에 대한 저항에 폴리프로필렌섬유 및 폴리비닐알코올 섬유가 효과적인 영향을 미치고 있는 것은 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 섬유보강시멘트복합재료의 동결융해저항성 검토의 일환으로 고인성용 보강섬유에 비해 휨인장성능이 다소 낮지만 경제성이 우수한 폴리프로필렌섬유를 대상으로 모르타르의 동결융해피해에 미치는 혼입섬유의 영향을 섬유를 혼입하지 않은 모르타르와 폴리비닐알코올섬유를 혼입한 모르타르와 비교하여 확인하였으며, 실험결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

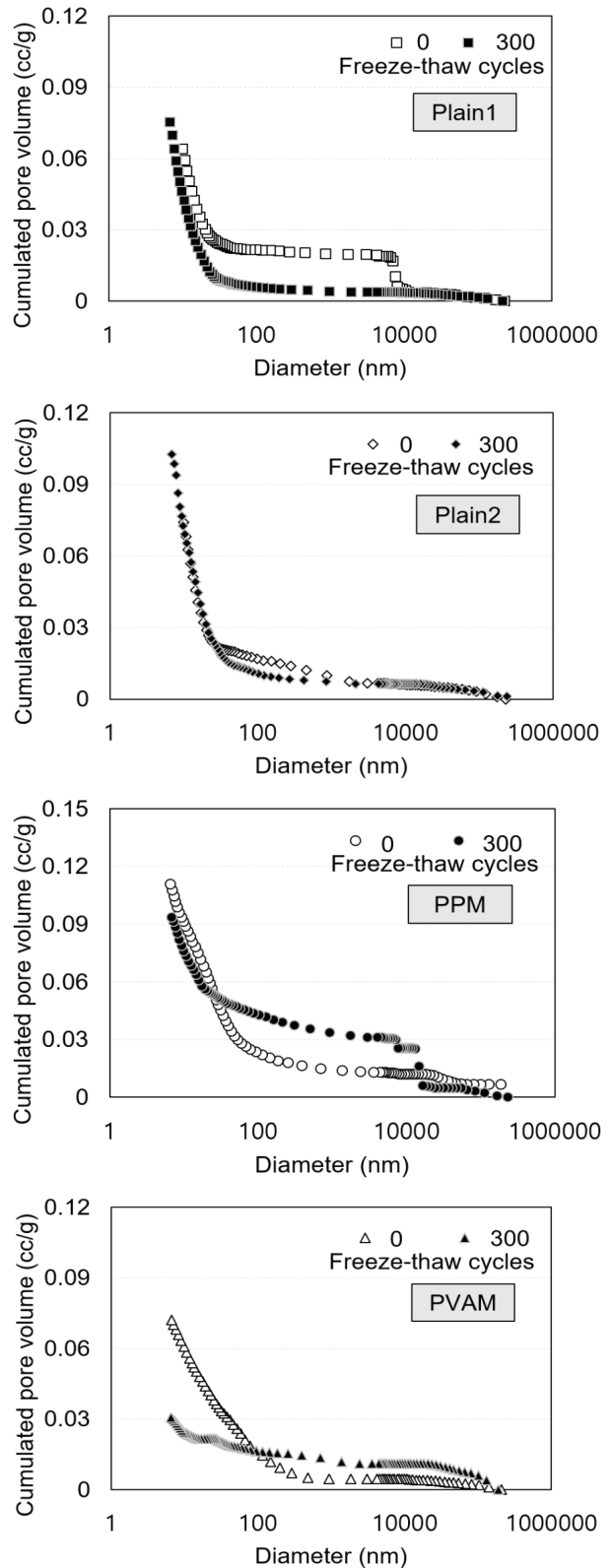


Fig. 6. Cumulated pore volume

1. 폴리프로필렌섬유와 폴리비닐알코올섬유를 혼입한 모르타르 시험체는 섬유를 혼입하지 않은 모르타르시험체에 비하여 300사이클의 동결융해시험 후 압축강도 및 휨강도의 역학적 성능저하를 억제하는 것이 가능했으며, 그 효과는 폴리프로필렌섬유에 비해 폴리비닐알코올섬유에서 크게 나타났다.
2. 300사이클의 동결융해시험 후 폴리프로필렌섬유를 혼입한 모르타르는 폴리비닐알코올섬유를 혼입한 모르타르에 비해 극표면 스케일링 발생으로 인한 질량감소율이 증가하였으나 섬유를 혼입하지 않은 모르타르에 비해 질량감소율이 현저히 낮은 것을 확인하였다.
3. 섬유를 혼입하지 않은 모르타르는 동결융해시험 전에 비해 300사이클의 동결융해시험 후 100에서 10,000nm 범위의 공극이 감소한 반면, 폴리프로필렌섬유와 폴리비닐알코올섬유를 혼입한 모르타르는 증가하는 경향이 나타났으며, 이 결과는 우수한 동결융해저항성을 유지하는데 기여한 것으로 판단된다.
4. 본 연구의 범위에서 300사이클의 동결융해시험 후 모르타르의 공극감소에 대한 저항에 폴리비닐알코올섬유뿐만 아니라 폴리프로필렌섬유가 효과적으로 작용할 수 있는 것을 확인했으며, 향후 섬유와 시멘트매트릭스 계면 결합상태 등에 대한 정량적 데이터 확보를 통해 모르타르의 동결융해피해에 미치는 폴리프로필렌섬유의 영향을 보다 명확히 분석할 필요가 있다.

Conflict of interest

None.

감사의 글

이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

ASTM C 231. (2017). Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method, American Society for Testing and Materials, USA.

ASTM C 39. (2018). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, American Society for Testing and Materials, USA.

ASTM C 666. (2015). Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, American Society for Testing and Materials, USA.

ASTM C 78. (2018). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete(Using Simple Beam with Third-Point Loading), American Society for Testing and Materials, USA.

JIS A 1148. (2010). Method of Test for Resistance of Concrete to Freezing and Thawing, Japanese Industrial Standards, Japan.

KS L 2456. (2018). Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, Korean Standards, Korea [in Korean].

KS L 5111. (2017). Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement, Korean Standards, Korea [in Korean].

Lamond, J.F., Pielert, J.H. (2006). Significance of Tests and Properties of Concrete & Concrete-Making Materials, ASTM International, STP 169D.

Lepech, M., Li, V.C. (2005). "Water permeability of cracked cementitious composites," Proceedings of 11th International Conference on Fracture(ICF), Torino, Italy, 20-25.

Litvan, G.G., Sereda, P.J. (1977). Particulate admixture for enhanced freeze-thaw resistance of concrete, *Cement and Concrete Research*, **8(1)**, 53-60.

Özbay, E., Karahan, O., Lacemi, M., Hossain, K.M.A., Atis, C.D. (2013). Dual effectiveness of freezing-thawing and sulfate attack on high-volume slag-incorporated ECC, *Composites Part B: Engineering*, **45**, 1384-1390.

Şahmaran, M., Li, V.C. (2009). Durability properties of micro-cracked ECC containing high volumes fly ash, *Cement and Concrete Research*, **39**, 1033-1043.

Şahmaran, M., Özbay, E., Yücel, H.E., Lachemi, M., Li, V.C. (2012). Frost resistance and microstructure of engineered cementitious composites: influence of fly ash and micro poly-vinyl-alcohol fiber, *Cement and Concrete Composites*, **34(2)**, 156-165.

Yun, H.D., Rokugo, K. (2012). Freeze-thaw influence on the flexural properties of ductile fiber-reinforced cementitious composites (DFRCCs) for durable infrastructures, *Cold Regions Science and Technology*, **78**, 82-88.

모르타르의 동결융해피해에 미치는 폴리프로필렌섬유의 영향

본 연구에서는 모르타르의 동결융해피해에 미치는 폴리프로필렌섬유의 영향을 실험적으로 검토하였다. 섬유를 혼입하지 않은 섬유무보강 모르타르와 폴리비닐알코올섬유를 혼입한 모르타르를 비교 대상으로 하여 폴리프로필렌섬유의 혼입이 300사이클의 동결융해시험 후 모르타르의 압축 및 휨특성에 미치는 영향을 평가하였다. 또한, 300사이클의 동결융해 시험 후 모르타르의 질량감소율, 상대동탄성계수 및 공극크기분포에 대한 시험을 실시하였다. 그 결과, 섬유종류에 관계없이 섬유무혼입 모르타르에 비해 섬유혼입 모르타르는 300사이클의 동결융해시험 후 압축강도 및 휨강도의 역학적 성능저하와 질량감소율의 증가를 억제하는 것이 가능했다. 한편, 300사이클의 동결융해시험 후 모르타르의 공극감소에 대한 저항에 폴리비닐알코올섬유뿐만 아니라 폴리프로필렌섬유가 효과적으로 작용할 수 있는 것을 확인했으나 폴리프로필렌섬유를 혼입한 모르타르의 동결융해저항성을 향상시키기 위해서는 폴리비닐알코올섬유에서 기대할 수 있는 시멘트매트릭스와의 결합효율을 증가시킬 필요가 있다.