Journal of the Korean Geo-Environmental Society
15(8): 31~37. (August, 2014) http://www.kges.or.kr
ISSN 1598-0820
DOI http://dx.doi.org/10.14481/jkges.2014.15.8.31

보수용 초속경 폴리머 모르타르의 역학적 특성

Mechanical Properties of Very Rapid Hardening Polymer Mortar for Concrete Repair

홍 기 남† · 신 준 수[1] · 한 상 훈[2] · 서 동 우[3] · 안 광 국[2]
Kinam Hong · Junsu Shin · Sanghoon Han · Dongwoo Seo · Kwangkuk Ahn

Received: April 25th, 2014; Revised: May 8th, 2014; Accepted: June 10th, 2014

ABSTRACT : In this study, mechanical properties of Very-Rapid Hardening Polymer (VRHP) mortar were investigated. To do it, 75 VRHP mortar specimens were tested by the compressive test, bending test, bonding test, freezing and thawing test, length variation test, and water absorption test. From the test results, it was confirmed that the bond strength of VRHP was higher than that of normal concrete by 50 %, and the resistance of freezing and thawing of VRHP was more excellent than normal concrete. In addition, length variation ratio and water absorption ratio of VRHP were smaller than those of normal concrete by 20 %. Therefore, It should be mentioned that VRHP can be successfully used as the material for repairing the crack of concrete structure.

Keywords : Very-rapid hardening polymer, Freezing and thawing, Length variation, Bonding strength

요 지 : 본 연구에서는 초속경 폴리머 모르타르의 역학적 특성이 평가되었다. 이를 위해 총 75개의 모르타르 시편에 대한 압축강도, 휨강도, 부착강도, 동결융해, 길이변화, 그리고 흡수율 시험이 실시되었다. 실험결과로부터 초속경 폴리머 모르타르의 부착강도는 일반 콘크리트보다 50 % 정도 우수하였으며, 동결융해에 대한 저항성은 보통콘크리트보다 뛰어났다. 또한 초속경 폴리머 모르타르의 길이변화와 흡수율은 20 % 정도 일반콘크리트보다 작았다. 그 결과 초속경 폴리머 모르타르는 콘크리트 구조물의 균열을 보수하는데 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 평가되었다.

주요어 : 초속경 폴리머 모르타르, 동결융해, 길이변화, 부착강도

1. 서 론

우리나라는 단기간에 경제 성장을 이룩한 국가 중의 하나이다. 단기간의 고속 성장으로 인하여 산업화도 급격하게 진행이 되었다. 이로 인하여 도로, 항만, 댐 그리고 상·하수도 등과 같은 사회기반시설의 수요가 폭발적으로 증가하게 되었다. 이처럼 경제발전 과정에서 수많은 콘크리트 구조물들이 건설되었으며 약 반세기 동안 국가발전의 디딤돌 역할을 하였다. 하지만 급속도로 경제가 발전함에 따라서 차량과 물류 운반이 증가하였고 이로 인하여 콘크리트 구조물이 지속적인 반복하중과 과하중 상태에 놓이게 되었다. 이뿐만 아니라 환경 변화로 인한 폭염, 폭설, 그리고 중·대형급 태풍의 빈번한 발생과 극심한 온도변화 등으로 인해서 콘크리트 구조물의 내구성 저하가 가속화되었다. 따라서 노후화된 콘크리트 구조물의 유지관리에 대한 관심이 높아졌으며 실제적으로도 다양한 보수·보강 공법들이 개발되어 현장에서 적용되고 있다. 더욱이 최근에는 콘크리트 구조물이 대형화되어감에 따라서 앞으로도 유지관리의 중요성이 증대될 것이다. 현재도 도로나 상·하수도 시설을 비롯하여 지중 구조물이나 수밀성을 필요로 하는 수중 구조물 등의 다양한 콘크리트 구조물에서 균열 부위나 손상 부위에 대한 보수작업이 이루어지고 있는 실정이다. 보수작업에 사용되는 재료는 매우 다양하나 그중에서 가장 흔한 것이 시멘트 모르타르이다. 하지만 시멘트 모르타르는 낮은 강도특성과 경화시간이 길고 수분 손실에 따른 건조수축 변형량이 크다는 단점이 있다. 이러한 단점으로 인하여 수밀성 구조물에 시공하는 경우나 급속시공을 필요로 하는 경우에는 시멘트 모르타르 사용 시에 많은 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 폴리머를 이용한 다양한 보수·보강 재료에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

국내 연구로 Park(2005)이 양생방법에 따른 폴리머 시멘트 모르타르의 강도특성을 연구하였으며, Song(2005)은 혼

† School of Civil Engineering, Chungbuk National University (Corresponding Author : hong@chungbuk.ac.kr)
1) B&T Engineering Co., Ltd.
2) School of Civil Engineering, Chungbuk National University
3) Korea Institute of Construction Technology

화재료의 종류를 변수로 하여 콘크리트 구조물에 대한 보수재료로서의 적합성을 검증하였다. 그 밖에도 Kim(2010)은 폴리머 수지의 혼입률과 경화 촉진제의 함유량을 변수로 하여 아스팔트에 대한 긴급보수재로서의 적용성을 평가하였다. 국외 연구로는 Yang et al.(2000)이 마그네시아 인산염 바인더와 잔골재의 배합비에 따른 강도발현 특성과 양생온도에 따른 강도발현 특성을 연구하였으며, Zhong & Chen(2002)은 서로 다른 2가지의 폴리머 라텍스를 혼입한 복합 폴리머 라텍스를 이용하여 폴리머 시멘트 모르타르의 강도 특성을 연구하였다. 이처럼 보수재료로서 폴리머의 강도 특성에 대한 연구는 다양하게 수행되어졌다. 반면에 초속경 특성을 갖는 폴리머 모르타르의 강도특성이나 내구성 평가와 관련된 연구는 상대적으로 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 초속경 특성을 갖는 폴리머 모르타르의 보수용 재료로서의 적용성 및 안정성 확인을 목적으로 휨강도, 압축강도, 부착강도, 동결융해, 길이변화, 흡수율 시험을 통해 역학적 특성을 규명하고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용 재료

2.1.1 초속경 폴리머

본 실험에서 사용한 초속경 폴리머는 2액형 폴리우레아/에폭시 수지로서 점성이 낮고 저온 경화가 가능한 특징이 있다. 본 논문에서는 경화제를 A제로 표기하였으며 주제인 폴리우레아를 B제로 표기하였다. Table 1에 실험에 사용된 초속경 폴리머의 물리적 특성을 나타내었다.

Table 1. Properties of very rapid hardening polymer

Material	Specific gravity	Viscosity (cP)	Thermal stability (℃)
PP-A	1.118	17.71	0～50
PP-B	0.973	14.40	

Table 2. Grain size of fine aggregate and fineness modulus

Material	Grain size (%)				Fineness modulus
	800 μm	600 μm	300 μm	clay	
Fine aggregate	above 1.0	below 95	-	below 0.4	2.87

2.1.2 잔골재

시험체 제작에 사용된 잔골재는 KS L 5100 규정에 준하는 표준사를 사용하였으며, Table 2에 잔골재의 입도와 조립률을 나타내었다.

2.1.3 콘크리트

본 실험에서는 초속경 폴리머 모르타르의 상대적인 비교를 위해서 목표강도 30 MPa의 콘크리트 시험체를 제작하였다. 콘크리트 배합에는 1종 포틀랜드 시멘트와 최대치수 25 mm 굵은 골재를 사용하였다. φ100×100 mm 원주형 공시체를 이용하여 28일 강도를 확인한 결과 압축강도가 36 MPa로 나타났다. Table 3에 콘크리트 배합표를 나타내었다. 이 배합은 부착강도시험의 모체 콘크리트 제작, 동결융해시험, 길이변화시험의 비교 시험체 제작에 사용되었다.

2.1.4 시멘트 모르타르

본 실험에서는 초속경 폴리머 모르타르와의 흡수율을 상대적으로 비교하기 위해서 시멘트 모르타르 시험체를 제작하였다. 모르타르 시험체 제작은 1종 포틀랜드 시멘트와 KS L 5100 규정에 준하는 잔골재를 사용하였다. Table 4는 모르타르 배합표를 나타낸 것이다.

2.2 시험체 제작 및 시험

본 연구에서는 초속경 폴리머 콘크리트에 사용되는 폴리머의 배합비를 변수로 두었다. A제와 B제의 배합비를 30:70에서 70:30까지 단계적으로 10 %씩 변화시켰다. 시험체는 거푸집을 제작하고, 잔골재를 거푸집에 충전시킨 뒤, 폴리머 A제와 B제를 혼합한 후 잔골재에 부어 경화시키는 방식으로 제작되었다. Fig. 1에 시험체 제작 과정을 나타내었다.

시험체 제작에 사용된 초속경 폴리머의 양은 사전 실험을 통하여 가장 역학성능과 경제성이 우수하게 나타난 잔

Table 4. Mix properties of mortar

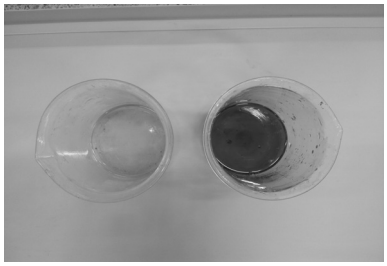
W/C (%)	Unit mass (g)		
	W	C	S
50	225	450	1350

W : Water, C : Cement, S : Sand

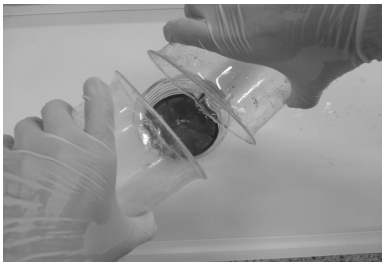
Table 3. Mix properties of concrete

Design strength (MPa)	Slump (mm)	Air content (%)	W/C (%)	Unit mass (kg/m^3)				
				W	C	S	G	AE
36	120	3.2	45	185	410	748	907	12.3

W : Water, C : Cement, S : Sand, G : Gravel, AE : Air-Entraining

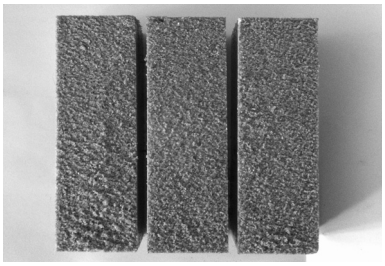


(a) A and B polymer



(b) Mixing A and B polymer

(c) Pouring polymer



(d) Curing of specimen

Fig. 1. Production of VRHP mortar specimen

Table 5. Test variables

Name of specimen	Mixing ratio of polymer (%)		Test method	Number of specimen
	A	B		
PP-30	30	70	Fl	15
			Co	30
PP-40	40	60	Bo	15
			Co	30
PP-50	50	50	Fl	15
			Co	30
			Bo	15
			Fr	3
			Le	6
PP-60	60	40	Fl	15
			Co	30
PP-70	70	30	Fl	15
			Co	30

Fl : Flexural strength, Co: Compressive strength
Wa : Water absorption ratio, Bo: Bond strength
Fr : Freezing and thawing resistance
Le : Length change ratio

골재 질량의 20 %를 동일하게 사용하였다. 폴리머 함침 30분 후에 거푸집을 탈형 하였으며, 상온상태에서 기건 양생하였다. Table 5는 실험 변수를 나타낸 것으로 A제와 B제의 혼입량과 시험항목에 따라 분류하였다. 또한 본 논문에서는 폴리머 모르타르의 부착강도, 동결융해, 길이변화 성능을 콘크리트 시편과 비교하였다. 이는 긴급 보수가 필요한 경우 시멘트 모르타르보다 콘크리트가 주로 사용되기 때문이다.

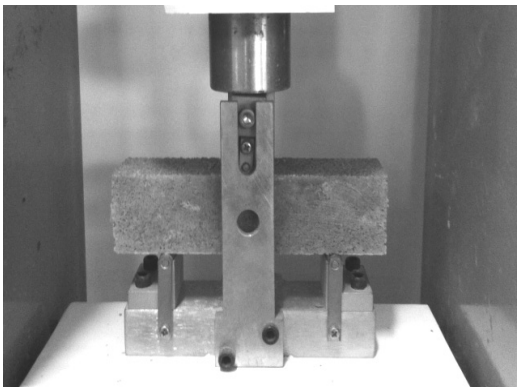


Fig. 2. Setup of flexural strength test

2.2.1 휨강도 시험

휨강도시험은 KS F 4042(2012)에 준하여 실시하였다. 5종류 폴리머 배합에 대한 시험체를 제작하였으며, 시험체 수는 각 배합당 3개씩으로 하였다. 하중재하는 Fig. 2와 같이 3점 재하로 실시하였으며, 490 kN 용량의 UTM을 사용하여 진행하였다.

2.2.2 압축강도 시험

압축강도시험은 KS F 4042(2012)에 준하여 수행하였으며, 휨강도시험 후 절단된 양쪽의 파편을 시험체로 사용하여 실시하였다.

2.2.3 부착강도 시험

부착강도시험은 KS F 2762(2011)에 준하여 실시하였다. 모체 콘크리트에 초속경 폴리머 모르타르를 타설하였으며,

폴리머의 배합비는 휨강도와 압축강도 시험결과를 바탕으로 하여 가장 우수한 강도를 발현하는 배합을 적용하였다. 또한 동결융해시험과 길이변화시험, 흡수율시험에 대해서도 강도발현이 가장 우수한 폴리머 배합비를 사용하였다. Fig. 3과 같이 5곳에 대하여 보오링을 실시하고 표면에 에폭시를 이용하여 지그를 부착하였다. 부착강도 시험기를 거치하고 연직방향으로 직접인장을 가해 부착강도시험을 실시하였다. 부착강도는 최대값과 최소값을 제외한 3개의 측정값을 산술평균하여 결정하였다. 또한 파단면의 위치를 육안으로 확인하였다.

2.2.4 동결융해 시험

동결융해시험은 KS F 2456(2013)에 준하여 수행하였다. 1 사이클의 소요 시간을 4시간으로 하여 30 사이클 간격으로 시험체를 꺼내어 중량 및 동탄성계수를 측정하였다.

2.2.5 길이변화시험

길이변화시험은 KS F 2424(2010)에 준하여 수행하였다. 길이변화 측정은 시험체의 측면 길이 변화를 측정하는 방법 중의 하나인 콘택트 게이지 방법을 이용하였다. 시험체는 100×100×400 mm 크기로 제작하였으며, 보통 콘크리트의 길이변화량과 상대적으로 비교하기 위하여 콘크리트로 제작된 시험체에 대한 시험도 진행하였다.

2.2.6 흡수율 시험

흡수율시험은 KS L 5105(2012)에 준하여 실시하였다. 시편의 크기는 40×40×160 mm로 제작하였다. 재령 1일에 초기중량을 측정하고 시험체가 완전히 잠기게 하여 물속에 함침하였다. 1주일 단위로 중량변화를 측정하였다. 초속경 폴리머 모르타르의 흡수율을 시멘트 모르타르와 비교하기 위해서 시멘트 모르타르 시험체에 대해서도 동일한 시험을 수행하였다. 흡수율은 Eq. (1)을 통해 산정하였다.

Fig. 3. Setup of bond strength test

$$\text{흡수율}(\%) = \frac{(W_i - W_0)}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서 W_0는 초기중량(g), W_i는 측정일에 대한 중량(g)이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 휨강도

초속경 폴리머의 배합비에 따른 초기강도 발현을 확인하기 위해서 A제의 배합비를 30 %~70 %까지 10 %씩 증가시켰다. 타설 후 1시간 경과 후부터 재령 28일까지 휨강도를 측정하였다. 휨강도 시험결과를 Table 6과 Fig. 4에 나타내었다.

Table 6을 통해 PP-30, PP-60 그리고 PP-70은 타설 1시간 이후까지는 휨강도가 발현되지 않음을 알 수 있다. 그러나 재령 3시간 이후부터는 모든 시험체에서 휨강도가 발현되는 것을 확인할 수 있다. 특히 PP-40과 PP-50 그리고 PP-60의 재령 3시간의 휨강도를 보면 보통콘크리트의 재령 28일 휨강도보다 월등히 우수한 휨강도가 발현되며, 재령 28일까지 계속적으로 휨강도가 증진하는 것을 확인할 수 있다. 반

Table 6. Results of flexural strength test

Specimen	Flexural strength (MPa)				
	1 hour	3 hours	1 day	7 days	28 days
PP-30	-	1.1	1.6	2.2	4.1
PP-40	2.4	9.8	10.6	13.1	15.0
PP-50	2.4	12.0	12.2	13.9	16.7
PP-60	-	8.3	8.9	15.3	16.7
PP-70	-	1.1	1.6	8.7	12.8

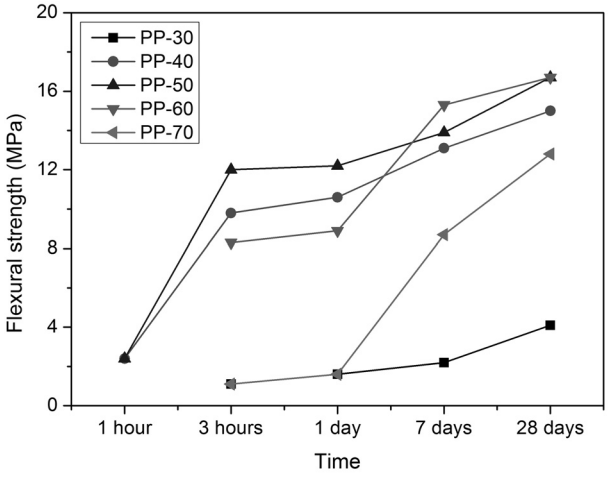


Fig. 4. Results of flexural strength test

면 PP-30은 초기강도 발현뿐만 아니라 재령 28일 강도도 다른 시험체에 비해 매우 작게 발현됨을 알 수 있다. PP-30을 제외한 다른 시험체에서는 재령 28일의 휨강도 발현이 매우 우수한 것을 확인할 수 있다. 최대 휨강도는 PP-50, PP-60배합에서 16.7 MPa로 나타났다.

3.2 압축강도

압축강도시험의 변수는 휨강도 시험과 동일하다. 압축강도시험을 통해 얻어진 결과를 Table 7과 Fig. 5에 나타내었다. Table 7의 재령 1시간의 결과를 보면, 휨강도와 달리 모든 시험체에서 초기강도가 발현됨을 확인할 수 있다. 이 중에서 PP-40의 초기강도가 11.4 MPa로 가장 우수한 것으로 나타났다. 그리고 PP-40과 PP-50의 재령 3시간 압축강도는 28 MPa을 나타내었다. 그 후 재령 기간이 길어져도 초속경 폴리머 모르타르의 압축강도는 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 5를 보면 PP-30은 휨강도와 마찬가지로 재령 28일에서의 압축강도도 다른 시험체에 비하여 작게 나타났다. 최대 압축강도는 PP-70에서 37.0 MPa로 나타났지만 PP-50과 비교하여 큰 차이를 보이지 않았다. PP-70은 재령 1일까지는 PP-50보다 매우 적은 압축강도를 나타내었으나 재령 28일에는 가장 큰 압축강도를 발현하였다.

Table 7. Results of compressive strength test

Specimen	Compressive strength (MPa)				
	1 hour	3 hours	1 day	7 days	28 days
PP-30	6.4	7.4	7.5	9.2	13.5
PP-40	11.4	28.0	29.8	30.7	32.4
PP-50	9.5	28.5	34.6	35.4	36.6
PP-60	7.4	20.9	25.6	33.5	34.8
PP-70	7.7	9.0	11.2	35.7	37.0

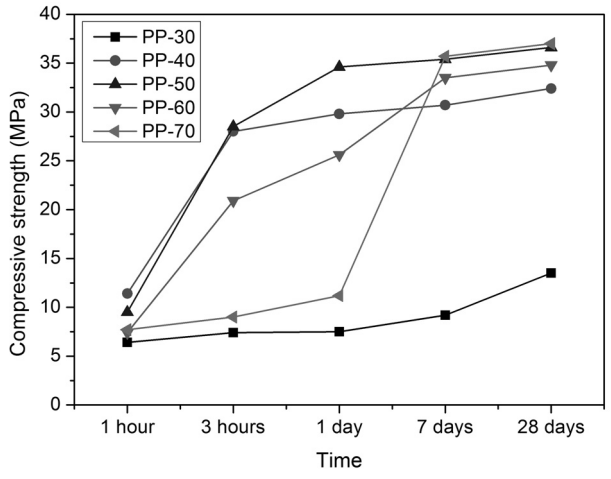


Fig. 5. Results of compressive strength test

3.3 부착강도

부착강도는 재령 3일, 7일, 28일에 측정되었다. Fig. 6은 최대값과 최소값을 제외한 재령에 따른 각 시험체의 평균 부착강도를 나타낸 것이다. Fig. 6에는 콘크리트의 부착시험 결과도 상대적인 비교를 위해 같이 나타내었다. Table 8은 시험체의 파단면 위치를 나타낸 것이다. Table 8에서 A는 초속경 폴리머 모르타르에서의 파단을 나타내고, B는 모체 콘크리트의 파단을 나타낸 것이다. AB는 초속경 폴리머 모르타르와 모체 콘크리트의 계면에서의 파단을 나타낸 것이다.

Fig. 6을 통해서 재령 28일의 부착강도는 3일 강도에 비해 약 50 % 정도 증가함을 확인할 수 있다. 특히 초속경 폴리머 모르타르는 재령 3일에 보통콘크리트의 28일 부착강도보다 큰 2.3 MPa을 발현하였으며, 재령 28일의 부착강도는 보통 콘크리트보다 약 2배 높게 나타났다. 재령 3일에는 모든 시편에서의 파괴가 폴리머 모르타르와 콘크리트 경계면에서 발생하였으나 재령 7일과 28일의 파괴는 모두 모체 콘크리트에서 발생하였다. 이는 재령이 증가함에 따라 초속경 폴리머 모르타르 및 계면에서의 강도는 증가하지만, 28일 양생이 이미 끝난 모체 콘크리트의 인장강도는 거의 변화가 없기 때문에 모체 콘크리트에서 파괴가 발생한 것으로

Table 8. Failure modes of bond test

Time (days)	Bond stress (MPa)		
	1	2	3
3	AB	AB	AB
7	B	B	B
28	B	B	B

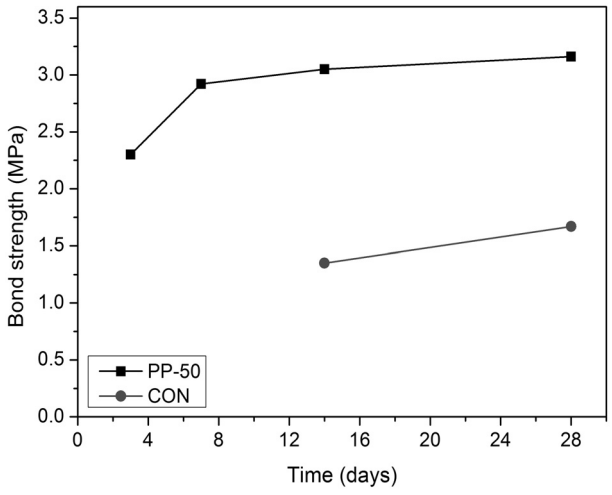


Fig. 6. Results of bond strength test

생각된다. 따라서 폴리머 모르타르는 구 콘크리트와의 부착에 있어서 전혀 문제가 없는 것으로 평가된다.

Fig. 7(a)는 폴리머 모르타르와 콘크리트와의 계면 파괴를 나타낸 것이고, Fig. 7(b)는 모체콘크리트에서의 파단을 나타낸 것이다.

3.4 동결융해

초속경 폴리머 모르타르 시험체와 보통 콘크리트 시험체의

(a) AB type (b) B type

Fig. 7. Failure modes of bond strength test

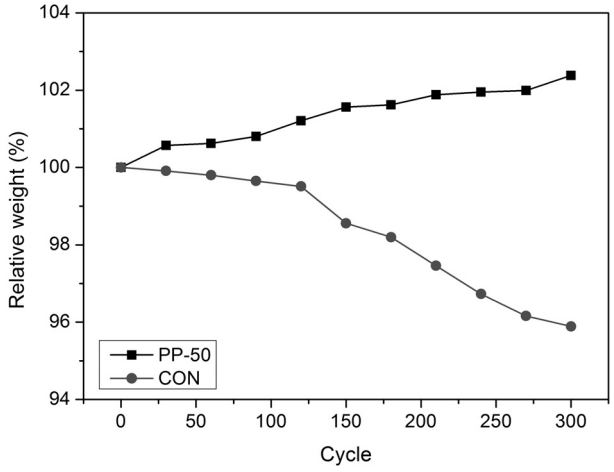


Fig. 8. Results of freezing and thawing (relative weight)

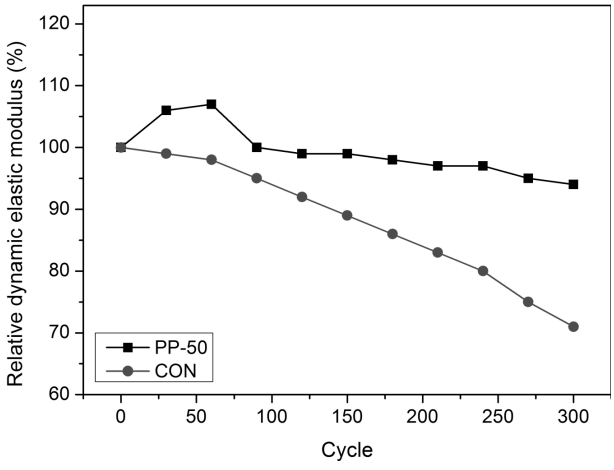


Fig. 9. Results of freezing and thawing (relative dynamic elastic modulus)

동결융해에 의한 중량변화 및 상대 동탄성계수 변화를 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. 단, 보통 콘크리트의 공기량은 3.2 %로 나타났다. 실험결과 보통 콘크리트는 표면박리를 시작으로 팝아웃이 발생되어 중량감소 및 동탄성계수 값이 감소하는 경향을 나타내었다. 초속경 폴리머 모르타르는 표면에 코팅된 폴리머 부분이 벗겨지면서 수분을 흡수하여 중량이 점차 증가하는 경향을 보였다. 동탄성계수는 초기 60 사이클까지 상대 동탄성계수가 증가하다가 점차 감소하여 300 사이클에 약 0.94의 값을 나타내었다. 이와 같이 상대 동탄성계수가 증가하다가 감소한 이유는 초기 동결 시 폴리머 모르타르의 조직이 치밀화되어 동탄성계수가 증가하였으나, 반복적인 동결융해 작용으로 인해 그 이후부터 폴리머와 잔골재 계면 사이에 손상이 발생하기 시작하였기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구에서 사용한 콘크리트의 연행공기량을 5.4 %로 동결융해 저항성이 매우 우수한 콘크리트임에도 불구하고 폴리머 모르타르에 비해 상대적으로 매우 낮은 저항성을 보였다. 이는 뒤에서 언급될 폴리머 모르타르의 흡수율이 콘크리트보다 매우 작기 때문에 폴리머 모르타르의 동결융해 저항성이 매우 우수하게 나타난 것으로 생각된다.

3.5 길이변화

Fig. 10에 재령에 따른 초속경 폴리머 모르타르와 보통 콘크리트 시험체의 길이변화 실험결과를 나타내었다. 초속경 폴리머 모르타르의 재령 28일의 길이 변화량은 보통 콘크리트의 약 13 % 이하임을 Fig. 10을 통해 확인할 수 있다. 콘크리트의 경우 초결 이후 시멘트 수화과정에서 공극의 수분이 건조되는 자기건조에 의해 길이변화가 크게 발생하지만 초속경 폴리머 모르타르의 경우 에폭시 A제와 B제가 경화하는 과정에서 체적변화가 거의 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.

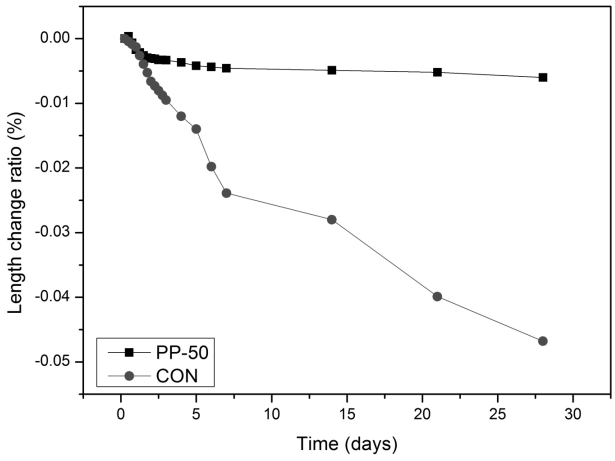


Fig. 10. Results of length change ratio test

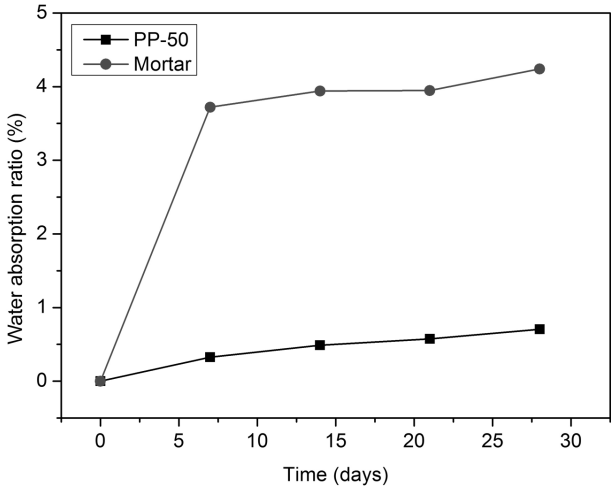


Fig. 11. Results of water absorption ratio

3.6 흡수율

흡수율은 초속경 폴리머 모르타르 시험체와 일반 콘크리트 시험체를 대상으로 실시되었다. Fig. 11은 시험체의 시간에 따른 흡수율 변화를 나타낸 것이다. PP-50은 콘크리트 시편에 비해 약 17 % 정도의 흡수율을 나타내었다. 이는 초속경 폴리머의 점성이 작아 잔골재 사이의 공간을 충분히 충진할 수 있기 때문이다. 따라서 폴리머 에폭시는 방수를 요하는 지중 또는 수중 콘크리트 구조물의 균열 보수에도 충분히 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 초속경 폴리머 모르타르의 역학특성을 평가하기 위하여 다양한 시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 초속경 폴리머 A제와 B제의 배합비 50:50에서 재령 28일 휨강도와 압축강도가 각각 16.7 MPa, 36.6 MPa로 가장 우수하게 나타났다.

(2) 초속경 폴리머 모르타르의 부착강도는 재령 3일에 재령 28일 보통콘크리트의 부착강도보다 50 % 이상 크게 나타나 기존 콘크리트와의 부착에 전혀 문제가 없는 것으로 나타났다.

(3) 초속경 폴리머 모르타르의 중량변화 및 상대 동탄성계수는 보통 콘크리트에 비해 작게 나타나 폴리머 모르타르의 동결융해 저항성이 콘크리트에 비해 우수함을 확인하였다. 이는 폴리머 모르타르의 흡수율이 콘크리트보다 매우 작기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

(4) 초속경 폴리머 모르타르의 길이변화와 흡수율 모두 콘크리트나 시멘트 모르타르의 약 20 %로 방수를 요하는 콘크리트 구조물의 균열 보수에 매우 적합한 것으로 나타났다.

References

1. Kim, H. S. (2010), Mechanical characteristics of asphalt emergency repairing materials mixed with polymer resin, Master's thesis, Chungju National University, pp. 24~32 (in Korean).
2. KS F 2424 (2010), Standard test method for length chance of mortar and concrete, Korean industrial standards (in Korean).
3. KS F 2762 (2011), Measurement of bond strength of products for the protection and repair of concrete structures by pull-off, Korean industrial standards (in Korean).
4. KS F 4042 (2012), Polymer modified cement mortar for maintenance in concrete structure, Korean industrial standards (in Korean).
5. KS F 2456 (2013), Standard test method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing, Korean industrial standards (in Korean).
6. KS L 5105 (2012), Testing method for compressive strength of hydraulic cement mortars, Korean industrial standards (in Korean).
7. Park, H. I. (2005), Evaluation for performance according to curing method of polymer-modified mortars, Master's thesis, Seoul National University of Technology, pp. 7~33 (in Korean).
8. Song, H. S. (2005), A study on effects of admixtures in polymer cement mortar for concrete repair, Master's thesis, Dongguk University, pp. 23~36 (in Korean).
9. Yang, Q., Zhu, B., Zhang, S. and Wu, X. (2000), Properties and applications of magnesia-phosphate cement mortar for rapid repair of concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 30, No. 11, pp. 1807~1813.
10. Zhong, S. and Chen, Z. (2002), Properties of latex blends and its modified cement mortars, Cement and Concrete Research, Vol. 32, No. 10, pp. 1515~1524.