

프리웨팅 스프레이 공법용 모르타르의 성능평가

Evaluation on Performance of Repair Mortar Used for Pre-wetting Spray Method

남 용 혁* 정 영 준** 장 석 환*** 안 영 기**** 김 성 칠*****
Nam, Yong-Hyuk Chung, Young-Jun Jang, Suk-Hwan An, Young-Ki Kim, Sung Chil

Abstract

This study is on the evaluation of performance of polymer cement mortar which is used for pre-wetting spray method. Pre-wetting spray method is an epoch-making method to repair concrete structures damaged, which is added a small quantity water preciously to dry mortar to reduce dust and rebound and spray mortar mixed with fixed quantity water at nozzle before spray. The result showed that physical performance such like compressive, flexural and adhesive strength of polymer cement mortar, TS 100 used for pre-wetting spray method was superior to other repair mortar. Also durable performance such as resistance on permeability of chloride ion, carbonation, chemical and freezing-thawing was excellent.

요 지

본 연구는 프리웨팅 스프레이 공법에 사용되는 폴리머 시멘트 모르타르의 성능을 평가한 것이다. 프리웨팅 스프레이 공법은 손상된 콘크리트 구조물을 보수하기 위한 것으로서 분진 및 리바운드 발생량을 줄이기 위해 분말재료에 미리 소량의 물을 첨가한 후 분사 직전에 노즐에서 정량의 물이 다시 혼합되어 분사되는 획기적인 보수 방식이다. 시험결과 프리웨팅 스프레이 공법에 사용되는 폴리머 시멘트 모르타르인 TS 100의 압축강도, 휨강도 및 부착강도 같은 물리 성능은 기존의 다른 보수용 모르타르에 비해 우수한 것으로 나타났으며, 또한 염소이온 침투저항성, 중성화 저항성, 내약품성 및 동결융해 저항성 같은 내구 성능도 우수한 것으로 나타났다.

Keywords : Pre-wetting Spray, Polymer Cement Mortar, Repair

핵심 용어 : 프리웨팅 스프레이, 폴리머 시멘트 모르타르, 보수

* 정회원, 중앙크리텍(주), 기술개발부, 팀장

** 정회원, 인본건설(주), 기술연구소, 책임연구원, 공학박사

*** 정회원, 대전대학교, 건설시스템공학과, 교수, 공학박사

**** 정회원, 인본건설(주), 대표이사, 공학박사

***** 정회원, 경기대학교, 토목환경공학부, 교수, 공학박사

E-mail: yhnam70@hanmail.net, 019-372-0543

• 본 논문에 대한 토의를 2005년 12월 31일까지 학회로 보내주
시면 2006년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

콘크리트 재료는 용도가 다양하고 성형성, 시공성 뿐만 아니라 재료의 강도, 내구성 및 내화성 등의 품질 측면에서 우수성이 입증되어 반영구적인 구조물로 여겨졌으나, 최근 콘크리트구조물의 사용 연수가 증가함에 따라 콘크리트의 열화 및 철근의 부식으로 인한 구조물의 내구성이 저하되면서 구조물의 사용성 및 안정성을 증진시키기 위하여 기존 구조물에 대한 유지보수가 지속적으로 증가하고 있다.

콘크리트 구조물의 내구성, 사용성 및 기능성을 향상시키기 위해서는 콘크리트 구조물에 중성화가 진행되거나 규정량 이상의 염분이 존재하여 콘크리트 내의 철근이 부식할 우려가 있는 경우 중성화나 염해를 일으키는 근본적인 열화원인에 대응할 수 있는 적절한 재료의 선택과 재료의 특성에 적합한 시공방법을 선정하는 것이 중요하다(안영기 등, 2005).

따라서 본 연구는 중성화와 염해 각각 또는 복합 작용에 의해 손상을 입은 콘크리트 구조물을 보수하기 위해 기존의 건식 스프레이 방식과는 달리 미리 소량의 물을 첨가한 후 분사 직전에 다시 한번 일정량의 혼합수를 첨가하여 분사시키는 프리웨팅 스프레이 방식에 사용되는 보수재의 물리 성능과 내구 성능을 기존의 보수재와 비교평가 하고, 이를 기초로 하여 콘크리트 구조물의 사용성, 기능성 및 내구성 증진을 도모하고자 한다.

2. 프리웨팅 스프레이 공법

본 연구에서 사용된 프리웨팅 스프레이 방식은 손상된 콘크리트 구조물의 단면을 복구하기 위한 공법으로서 Photo 1과 같이 보수재를 자동으로 일정하게 공급해주는 사일로와 Photo 2와 같은 스프레이 장비가 이용한다.

스프레이 방식으로 손상된 구조물의 단면을 복구할 경우 기계의 물리적인 힘에 의해 부착성능이 우수하며, 철근 콘크리트 구조물의 내하력 증대를 위해 철근이나 앵커 등으로 보강을 할 경우 보강된 철근과 보수재료와의 일체화가 가능할 뿐만 아니라 철근 안쪽까지

치밀하게 재료를 충전할 수 있고 모르타르 내부에 큰 기공이나 공극 등이 없이 매우 밀실한 단면을 확보할 수 있다(남용혁, 2000).

본 연구에서의 프리웨팅 스프레이 방식이라 함은 Fig. 1과 같이 프리믹스된 분말상태의 보수재가 사일로에서 스프레이 장비로 이송되기 전에 Photo 3과 같은 유량계를 이용하여 2~5%의 물을 일정하게 혼합하고, 압축공기에 의해 소량의 물이 첨가된 보수재를 노즐까지 이송한 후 스프레이 직전에 일정량의 혼합수를 첨가하여 보수할 구조물의 단면에 분사시키는 방식을 뜻한다.

분말 재료에 미리 소량의 물을 첨가시키는 이유는 분진발생량과 리바운드량을 감소시키기 위한 것으로서 분말재료에서 발생하는 미세 먼지의 비산을 억제할 수



Photo 1 Automatic feeding silo



Photo 2 Spray machine

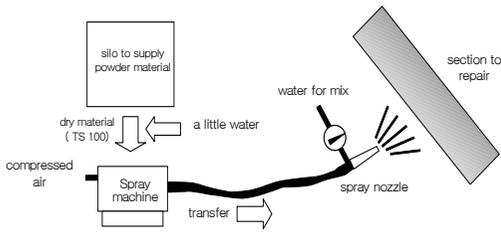


Fig. 1 Pre-wetting system



Photo 3 Precise prewetting flowmeter

있고, 미리 혼합되는 소량의 물과 반응되어 생성된 시멘트 페이스트가 골재입자를 둘러싸기 때문에 기존의 건식 스프레이 방식에 비해 시공 표면에서 쿠션 형성이 유리하여 리바운드량이 감소된다.

건식과 습식공법의 경제성 검토는 시공상황에 따라 변화할 것이고, 프리웨팅방식의 경제성도 현장 여건에 따라 습식과 비교될 수 있으며 건식에 비교하여서는 리바운드 감소 및 분진감소 등의 효과에 의해 경제성이 확보될 것으로 판단된다.

Fig. 2은 본 프리웨팅 스프레이 방식에 있어서 미리

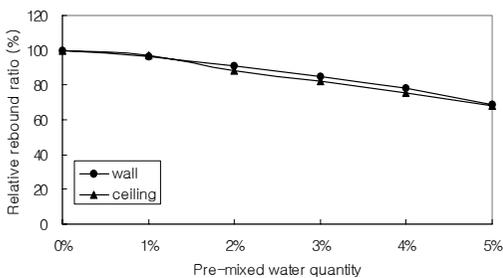


Fig. 2 Relative rebound ratio with the prewetting amount

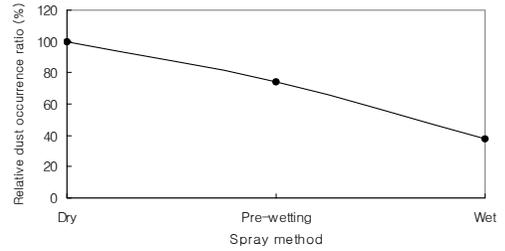


Fig. 3 Relative dust occurrence ratio with spray types

첨가되는 물의 양에 따른 상대 리바운드율(Relative rebound ratio)을 측정하고, Fig. 3은 기존의 습식 및 건식 스프레이 방식과의 분진발생량을 건식에 대한 상대분진율(Relative dust occurrence ratio)로 비교한 결과이다.

3. 평가 방법

3.1 평가 개요

본 연구는 염해 및 중성화에 의해 손상된 철근콘크리트 구조물의 단면수복을 위해 개발된 프리웨팅 스프레이용 폴리머 모르타르의 성능을 비교 평가하기 위하여 Table 1과 같은 물리 성능 및 내구 성능 시험 수행하였다.

Table 1 Items and methods for evaluation

Type of performance	Evaluation Items	Method
Physical performance	<ul style="list-style-type: none"> Compressive strength Flexural strength Adhesive strength Coefficient of thermal expansion 	KS L 5105 KS F 4042 KS F 2424 ASTM D 696
Durable performance	<ul style="list-style-type: none"> Resistance on to the penetration of chloride ion Resistance on to the carbonation Resistance on to the chemical Resistance on to the freezing and thawing 	KS F 4042 KS F 2456 ASTM C 1202

3.2 사용재료

3.2.1 콘크리트 구조물 보수제

본 연구에서 사용한 콘크리트 구조물 보수용 재료는 프리웨팅 스프레이 방식에 사용되는 폴리머 시멘트 모르타르(TS 100)와 국내에서 현재 사용 중인 외국산 폴리머 시멘트 모르타르(이하 A) 1종 및 국산 폴리머 시멘트 모르타르(이하 B 및 C) 2종 그리고 일반 시멘트 모르타르(이하 D) 1종을 선정하여 성능을 비교·검토하였으며 TS 100의 구성성분은 Table 2와 같고 각각의 재료 특성은 Table 3과 같다.

3.2.2 바탕 콘크리트

부착강도 평가를 위한 밑판으로 제작되는 콘크리트

Table 2 Compositions of polymer mortar for pre-wetting spray

Name of specimen	Characteristic
Ordinary portland cement	40 ~ 45 %
Quartz	40 ~ 45 %
Re-dispersible powder polymer	2 ~ 4%
Acceleration	1 ~ 3%
Silica fume	2 ~ 4%
Defoamer	0.02 ~ 0.05%
Polypropylene fiber	1 ~ 3%

Table 3 Sort of repair mortar

Name of specimen	Characteristic
TS-100	Polymer mortar for pre-wetting spray
A	Polymer mortar mixed fiber (1 component)
B	Aqueous acrylic polymer mortar (2 component)
C	Polymer mortar using SBR (1 component)
D	Ordinary portland cement mortar

Table. 4 Mix table of substrate concrete for adhesive strength

G _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	Slump (cm)	Unit weight (kg/m ³)			
				C	W	C.A	F.A
25	48	41	13±1	359	175	1,140	705

는 동일한 조건에서 평가하기 위해 Table 4와 같은 배합으로 제작하였다.

3.3 공시체 제작 방법

본 연구에서 사용된 모든 평가용 시험체는 각각의 제품사용 시방서를 기준으로 하여 배합하였다.

본 연구에 사용되는 TS 100 모르타르의 경우 스프레이 장비를 이용하여 손상된 콘크리트 구조물을 보수하는 재료이기 때문에 평가를 위한 공시체를 Photo 4 및 Photo 5와 같이 스프레이 장비를 이용하여 분사압 3bar, 분사거리 0.5~1.0m의 시방규정에 근거하여 제작하였다.

그 외의 재료들은 KS F 4042인 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르(한국표준협회, 2002)에 근거하여 모르타르 혼합 시에 강제식 믹서를 사용하여 혼합하였으며, 다짐에는 원주형 시험체의 경우 3층, 각주형 시험체의 경우 2층으로 나누어 25회씩 다짐봉으로 다짐한 후 제작하였다.



Photo 4. Prewetting spray molding



Photo 5. Specimens by pre-wetting spray

4. 평가 결과 및 고찰

4.1 압축강도

각 사의 모르타르 배합비에 근거하여 제작한 압축강도용 공시체를 기건 및 수중 양생한 후 측정된 결과는 Fig. 4와 같다.

시험결과 양생 방법과 관계없이 모든 모르타르가 3일 양생 후에 KS F 4042에 규정된 재령 28일의 압축강도 품질기준인 20N/mm^2 를 만족하였으며, 양생 방법에 있어서는 대기양생 보다 수중양생 시킨 시험체의 압축강도가 대체적으로 약간 높게 나타났다. 또한 양생조건에 따른 변화는 폴리머 시멘트 모르타르인 TS 100, A, B 및 C가 양생조건에 따른 차이는 크지 않으나 보통포틀랜드 시멘트 모르타르의 경우는 양생재령이 증가함에 따라 수중양생 후의 압축강도에 대한 대기양생 후의 압축강도 비율이 감소되는 것으로 나타났으며, 이는 내부의 미세한 소성수축 균열이 양생기간이 증가함에 따라 증가하기 때문인 것으로 추측된다.

반면, 폴리머 시멘트 모르타르인 TS 100, A, B 및 C의 경우 시험체 제작 시 일부 폴리머가 블리딩과 함께 표면으로 이동하여 빠른 건조를 방지하기 위한 양생피막이 형성되고, 시험체 내부에서는 폴리머에 의한 탄성 피가 네트워크를 형성하여 소성수축 균열을 억제함으로서 수중 및 대기양생 후의 압축강도 차이를 작게 한 것으로 판단된다.

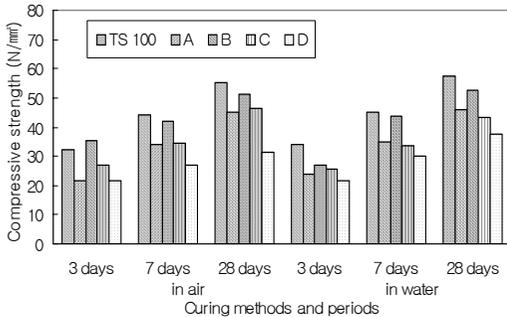


Fig. 4 Results of compressive strength test

4.2 휨강도

각 사의 모르타르 배합비에 근거하여 제작한 시험체의 휨강도 측정결과는 Fig. 5와 같다.

본 연구에 사용된 폴리머 시멘트 모르타르 A를 제외한 모든 시험체에서 양생재령 7일의 휨강도가 양생재령 28일 휨강도의 약 75~80% 정도로 나타났다. 특히 본 연구에 사용된 프리웨팅 스프레이용 폴리머 모르타르인 TS 100의 양생재령 7일에서의 휨강도가 양생재령 28일에서의 휨강도에 비해 85%까지 나타나 초기에 강도증진 효과가 뚜렷한 것을 알 수 있었으며, 양생재령 28일에서의 휨강도가 보통포틀랜드 시멘트 모르타르에 비해 2배 이상으로 상당히 높게 나타남을 알 수 있었다.

4.3 부착강도

콘크리트 구조물을 보수하기 위해 사용되는 모르타르의 부착강도를 측정된 결과는 Fig. 6과 같다.

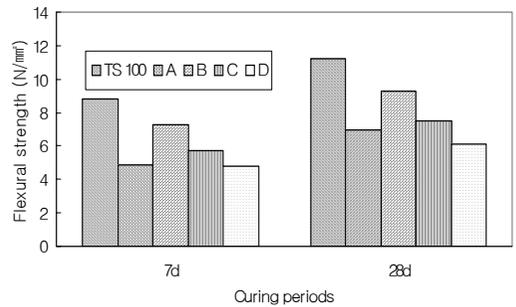


Fig. 5 Results of flexural strength test

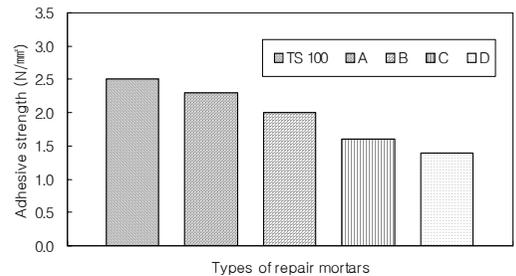


Fig. 6 Results of adhesive strength test

본 연구에 사용된 모르타르의 부착강도를 측정된 결과 모든 폴리머 시멘트 모르타르는 KS F 4042에서 규정한 $1.0N/mm^2$ 보다 더 높게 측정되었다.

프리웨팅 스프레이용 폴리머 시멘트 모르타르인 TS 100의 부착강도는 평균 $2.5N/mm^2$ 로서 본 연구에 사용된 모르타르 중에서 가장 높게 측정되었으며, 이는 다른 폴리머 모르타르와는 달리 일정한 압력으로 바탕체에 수밀하게 다져지기 때문인 것으로 판단된다.

4.4 열팽창계수

손상된 콘크리트 구조물을 보수기 위해 사용되는 모르타르의 열팽창계수를 측정된 결과는 Fig. 7과 같다.

기존 콘크리트의 열팽창계수와 보수용 재료의 열팽창계수가 유사할수록 일체거동을 하며, 또한 장기적인 내구성능 향상을 꾀할 수 있다.

본 연구에서 사용된 콘크리트 구조물 보수용 모르타르의 열팽창계수를 측정된 결과 일반 콘크리트의 열팽창계수에 비해서 전체적으로 폴리머 시멘트 모르타르가 비교적 큰 열팽창계수 값을 가짐을 알 수 있었다. 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 경우에는 흙, 부착 및 수밀 성능 등을 개선하기 위하여 첨가제 또는 개질재로 폴리머, 실리카 흙, 고로슬래그 등을 사용하며 이러한 개질재료는 재료별 특성과 첨가비율에 따라 각각의 폴리머 시멘트 모르타르의 특성이 변화됨으로 기존 콘크리트와 유사한 열팽창계수를 갖기 어렵다. 따라서 보통포틀랜드 시멘트 모르타르인 D에 비해 폴리머 시멘트 모르타르의 열팽창계수가 다소 높으나 TS 100의 경우에는 다른 폴리머 시멘트 모르타르에 비해

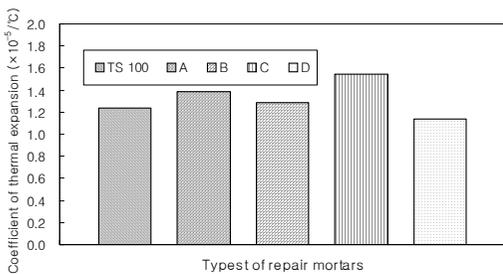


Fig. 7 Coefficient of thermal expansion of mortar

콘크리트와 근접한 열팽창계수 값을 나타내었다.

4.5 염소이온 침투 저항성

콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 염소이온 침투확산에 대한 저항성을 평가하기 위하여 확산셀을 통해 직류전원을 공급하여 구한 통과전하량은 Fig. 8과 같다.

염소이온 침투 저항성 측정결과 보통포틀랜드 시멘트 모르타르에 비해 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 경우 개질효과가 뚜렷이 나타남을 알 수 있으며, 이는 폴리머의 사용에 따른 물시멘트 감소로 인해 모세관 공극의 크기 및 개수가 작고 폴리머에 의해서 형성된 탄성 띠 네트워크에 의한 염소이온의 침투가 억제되었기 때문이라 사료된다.

TS 100과 C의 경우 다른 보수용 폴리머 시멘트 모르타르에 비해서 통과전하량이 비교적 작게 측정되었다.

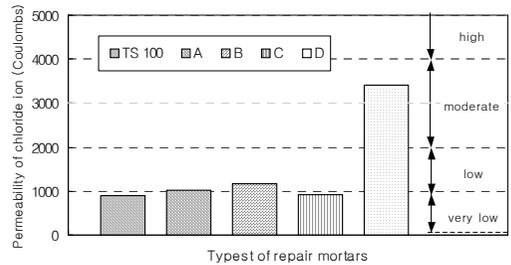


Fig. 8 Permeability of chloride ion of mortar

4.6 중성화 저항성

보통포틀랜드 시멘트 모르타르와 4종의 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 중성화에 대한 저항성을 평가하기 위하여 중성화 촉진시험기에서 28일, 35일, 50일 동안 시험체를 중성화시켜 깊이를 측정된 결과는 Fig. 9와 같다.

보통포틀랜드 시멘트 모르타르와 보수용 폴리머 시멘트 모르타르를 이용하여 제작한 시험체에 10% CO_2 농도에서 중성화 저항성 시험을 실시한 후 중성화 깊이를 측정된 결과 촉진재령 28일에서 TS 100의 중성화

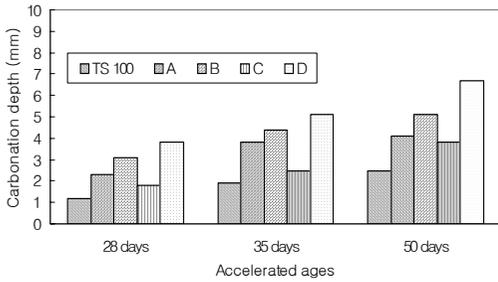


Fig. 9 carbonation depth of mortar

깊이는 약 1.2mm 정도를 나타내었으며, 재령 50일에도 약 2.5mm 정도로 타사의 모르타르에 비해 상당히 중성화가 느리게 진행되었다.

Ohama와 Chandra의 시험에 따르면 일반 시멘트 모르타르가 외기 노출상태에서 10년경과 후에 중성화 깊이가 9mm정도이고, SBR 폴리머에 의해 개질된 모르타르의 경우에는 동일조건에서 2mm정도의 중성화가 진행되었다(Ohama and Chandra, 1994). 따라서 TS 100과 같이 중성화 저항성이 우수한 경우 일반적인 피복두께 보다 작은 두께로 동일한 중성화 저항효과를 나타낼 것으로 기대된다.

4.7 화학약품 저항성

보통포틀랜드 시멘트 모르타르와 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 내약품성을 평가하기 위해 5%의 H_2SO_4 , 10%의 $MgCl$ 및 10%의 $CaCl_2$ 용액에 28일 동안 시험체를 침지시킨 후 침지 재령 14일 및 재령 28일에서의 중량 변화를 측정된 결과는 Fig. 10과 같다.

3종류의 약품에 침지시킨 후 모르타르의 중량변화를 측정된 결과 모든 모르타르가 5%의 H_2SO_4 에서 중량 감소를 보였으며, 침지 재령 28일에서의 중량변화를 보면 TS 100이 92%의 중량변화를로서 가장 H_2SO_4 에 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 따라서 해수 및 하수나 공장폐수 등의 황산염이 존재하는 환경에 노출된 콘크리트 구조물을 프리웨팅 스프레이용 단면복구재인 TS 100으로 보수할 경우 황산염에 의한 손상을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

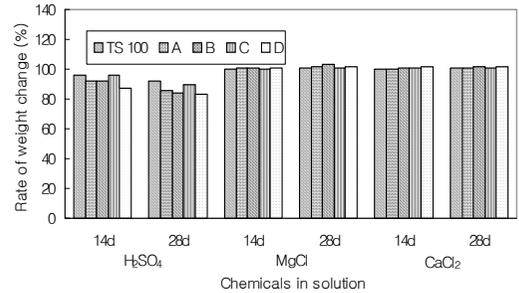


Fig. 10 Rate of weight change of mortar versus chemical

4.8 동결융해 저항성

본 연구에 사용된 콘크리트 구조물 보수용 모르타르의 동결융해에 대한 저항성 측정결과는 Fig. 11 및 Fig. 12와 같다.

콘크리트 구조물을 보수하기 위한 모르타르의 동결융해 시험결과 모두 동결융해 반복 300사이클이 되어

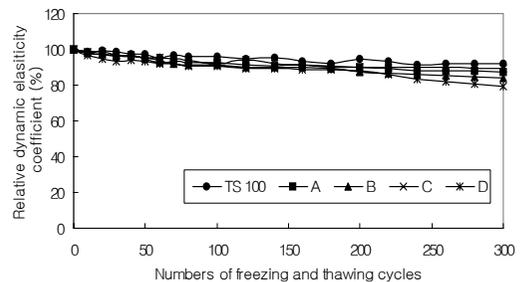


Fig. 11 Change of relative dynamic elasticity coefficient of mortar

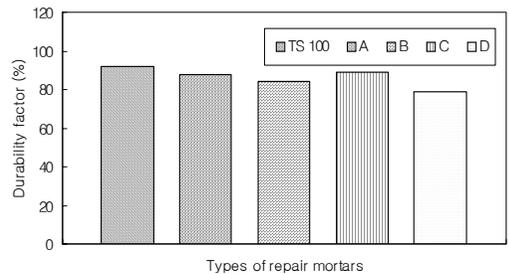


Fig. 12 Freezing and thawing resistance

시험을 완료하였으며, 보통포틀랜드 시멘트 모르타르인 D의 내구성 지수가 84.1%인 반면 TS 100의 경우 94.7%로 월등히 우수한 동결융해 저항성을 가짐을 알 수 있었다.

동결융해에 의한 손상은 주로 외부로부터 침투되는 물의 동결과 이로 인해 발생하는 팽창압이 콘크리트 또는 모르타르 내부의 인장력보다 클 경우에 발생된다(Powers and Helmut, 1953). 따라서 수밀성이 높은 폴리머 시멘트 모르타르는 보통포틀랜드 시멘트 모르타르에 비해 상대적으로 동결융해에 대한 저항성이 우수하게 나타난 것이며, 수밀성이 우수한 TS 100과 C의 경우 가장 우수한 동결융해 저항 성능을 가지고 있음을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 손상된 콘크리트 구조물의 단면을 복구하기 위한 프리웨팅 스프레이 공법의 성능과 보수재료의 물리 성능 및 내구 성능을 평가한 것으로서 시험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구의 시험 조건에서 콘크리트 구조물의 단면을 복구하기 위한 모르타르의 압축강도 및 휨 강도를 측정된 결과 프리웨팅 스프레이 공법에 사용되는 TS 100을 비롯한 A, B, C 모르타르가 양생재령 및 양생 방법에 관계없이 모두 보통포틀랜드 시멘트 모르타르인 D에 비해 높은 값을 보였다. 특히, 프리웨팅 스프레이 공법에 사용되는 TS 100 모르타르는 양생재령 3일의 압축강도가 $32\sim 34\text{N/mm}^2$ 이고, 양생재령 7일에서 휨강도가 8.8N/mm^2 으로 우수한 강도 특성을 나타냈다.
- 2) 콘크리트 구조물을 보수하기 위한 모르타르의 부착 강도를 측정된 결과 프리웨팅 스프레이 공법에 사용되는 TS 100은 양생재령 28일에서의 부착강도가 평균 2.5N/mm^2 로서 폴리머 시멘트 모르타르 B에 비해 1.5배 이상, 폴리머 시멘트 모르타르 C에 비해 2배정도이며 보통포틀랜드 시멘트 모르타르 D에

비해 2.5배의 높은 부착성능을 보였다.

- 3) 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 열팽창계수를 측정한 결과 보수용 폴리머 모르타르의 성능향상을 위해 사용되는 폴리머와 실리카 흙 등의 재료특성으로 인해 콘크리트의 열팽창계수에 비해 20~30% 정도 높은 결과 값이 나타났다.
- 4) 동결융해, 중성화축진시험 및 내화학적 시험에서 평가된 프리웨팅 스프레이 방식에 사용되는 폴리머 시멘트 모르타르인 TS 100의 내구 성능은 다른 콘크리트 보수용 모르타르에 비해서 동등 이상인 것으로 나타났다.
또한, 염소이온 침투 저항성 시험에서도 TS 100은 896Coulomb으로 염소이온의 침투억제 능력이 월등하여 수밀성이 우수한 모르타르로 판단되었다.
- 5) 본 연구는 개발된 프리웨팅 스프레이 공법에 사용되는 폴리머 시멘트 모르타르의 성능을 실내에서 평가한 것으로서, 추후 다양한 조건에 놓여 있는 실제 구조물에 적용시켜 시공성 및 현장 적용성 평가를 통해 더 정확하고 합리적인 보수 설계 지침이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 남용혁, "철근콘크리트 구조물의 내구성 증진을 위한 MDF 스프레이 공법의 활용", 건자재, 한국건자재시험연구원, 통권 26호, pp. 28-43, 2000. 12.
2. 안영기, 정영준, 한경환, 남용혁, "RC 구조물 보수를 위한 프리웨팅 스프레이 공법의 개발 및 활용", 한국구조물진단학회지, Vol. 9, No. 1, pp. 51-60, 2005. 1.
3. 한국표준협회, 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르", KS F 4042, 2002.
4. T. C. Powers and R. H. Helmut, "Theory of Volume Changes in Hardened Portland Cement Paste During Freezing", Vol. 32, pp. 285-297, 1953.
5. Y. Ohama and S. Chandra, "Polymers in Concrete", CRC Press Inc., 1994.

(접수일자 : 2005년 8월 22일)