

폴리머 시멘트 모르타르를 이용한 철근콘크리트 홈관 라이닝에 관한 연구

A Study on the Lining of Reinforced Concrete Pipe Using Polymer-Modified Mortar

김 영 집* 김 한 엽** 조 영 국*** 소 양 섭****
Kim, Young Jib Kim, Han Yeop Jo, Young Kug Soh Yang Seob

ABSTRACT

At present, reinforced concrete pipe has been widely used as drain pipe. However, many reinforced concrete pipe is exposed at deteriorated environment by the growth of a sulfur-oxidizing bacterium isolated from corroded concrete. The purpose of this study is to evaluate the effects of lining by polymer-modified mortar on the development in durability of reinforced concrete pipe. Polymer-modified mortars are prepared with various polymer types as cement modifier and polymer-cement ratio, and tested for compressive and flexural strengths, adhesion in tension, acid resistance test, freezing and thawing test, and lining test of product in the field. From the test results, it is apparent that polymer-modified mortars have good mechanical properties and durability as lining material. In practice, all polymers can be used as lining materials for reinforced concrete pip, and type of polymer, and polymer-cement ratio and curing conditions are controlled for good lining product.

1. 서론

철근 콘크리트 홈관 제품은 경제성에 비해 내구성이 타 재료에 보다 우수하기 때문에 하수관으로 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 이들 홈관은 주택의 생활하수 및 산업시설의 각종 폐수등에 의해 열화 되어 파손되는 사례가 증가하고 있다. 일반적으로 오·폐수중에 함유된 유기물로부터 발생한 황화수소가 호기성 박테리아에 의해 황산화 되어 철근 콘크리트 홈관 표면을 열화시켜 사용수명을 크게 단축한다. 또한 상시 지하의 하수에 접촉됨으로서 동결기의 동해에 대한 열화도 콘크리트 홈관의 성능을 저하시키는 주원인이 될 수 있다.

본 연구는 기존 철근 콘크리트 홈관의 성능을 향상시킬 수 있는 방법으로 콘크리트 홈관 표면을 일정한 두께로 방식 라이닝 처리를 함으로서 보다 더 내구적인 콘크리트 홈관을 개발하는데 목적을 두었다. 이를 위해서는 원심 성형 철근 콘크리트 홈관 제작시, 동시성형이 가능한 폴리머 시멘트 모르타르를 제작, 실제 제품에 적용시켜 최적의 배합설계 및 양생방법을 제시하였다.

* 정희원, 전북대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

** 정희원, 영진콘크리트(주) 대리

*** 정희원, 청운대학교 건축공학과 교수

**** 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공업기술연구소

2. 사용재료

2.1 시멘트 및 골재

시멘트로서는 보통포틀랜드 시멘트와 내황산염 시멘트를 사용하였으며, 잔골재로서는 규사(No.5, No.7)를 사용하였다.

2.2 시멘트 혼화용 폴리머

본 실험에 사용된 시멘트 혼화용 폴리머로서는 수성 폴리머 디스퍼션인 스티렌 부다지엔 고무 (SBR)라텍스, 스티렌·아크릴 공중합체 (St/Ac), 폴리아크릴산 에스테르(PAE)와 비스페놀 A형 에폭시 수지이며, 그 일반적 성질은 표 1 및 표 2와 같다. 각종 폴리머 디스퍼션에 의한 기포를 제어하기 위하여 소포제를 폴리머 고형분에 대하여 0.7% 혼입하였다.

표 1 시멘트 혼화용 폴리머의 일반적 성질

Type of Polymer	pH (20℃)	Viscosity (mPa·s, 20℃)	Specific Gravity (20℃)	Total Solids (%)
SBR	9.7	64	1.020	50.0
St/Ac	8.0	200	1.048	47.5
PAE	5.0	2,000	1.09	50.1

표 2 에폭시 수지의 일반적 성질

Epoxide Equivalent	Molecular Weight	Viscosity (mPa·s, 20℃)	Specific Gravity (20℃)	Hue (Gardner)
185	380	13500	1.19	0.2-0.4

2.3 경화제

에폭시 수지의 경화를 위하여 폴리아미드 변성 자기 유화형 경화제를 사용하였다. 이는 수중에서 분산되어 에폭시 에멀전 형태가 가능하다.

2.4 황산용액

내산성 실험을 위하여 황산(98%)을 증류수로 5% 용액이 되도록 하여 사용하였다.

3. 실험방법

3.1 라이닝용 폴리머 시멘트 모르타르 제작

라이닝용 폴리머 시멘트 모르타르는 KS F 2476(시험실에서 폴리머 시멘트 모르타르를 만드는 방

법에 준하여 표 3과 같은 배합에 의하여 제작하였으며, 28일간 기중양생을 실시하였다. 압축강도, 휨강도 및 내산성시험은 4x4x16cm의 몰드를 사용하였으며, 인장접착강도는 피착체(보통 모르타르) 위에 폴리머 시멘트 모르타르를 두께 1cm로 타설하였다. 또한 동결융해 시험은 8x8x40cm의 몰드를 사용하였다.

표 3 라이닝용 폴리머 시멘트 모르타르의 배합표

Type of Mortar	Cement : Sand (by Weight)	Polymer-Cement Ratio(%)	W/C(%)	Flow
Plain	1 : 2	0	46.6	168
SBR-Modified		10	43.0	165
		20	31.4	168
		30	30.5	175
St/Ac-Modified		10	36.6	175
		20	30.9	171
		30	30.3	173
PAE-Modified		10	45.3	175
		20	42.9	170
		30	41.6	166
Epoxy-Modified		10	47.0	169
		20	47.0	171

3.2 압축강도 및 휨강도

폴리머 시멘트 모르타르의 압축강도 및 휨강도 시험은 KS F 2477(폴리머 시멘트 모르타르의 강도 시험 방법)에 준하여 실시하였다.

3.3 인장접착강도

보통 시멘트 모르타르 피착체 위에 1cm 두께로 친 폴리머 시멘트 모르타르를 28일 양생후, 4x4cm의 크기로 절단하여, 그 위에 강제형틀을 접착, 인장접착강도 시험기를 이용하여 실험을 실시하였다.

3.4 내산성 시험

28일간 양생된 폴리머 시멘트 모르타르를 황산(5%)용액에 28일간 침적 후 침식깊이와 압축강도 및 휨강도를 실시하여, 시험전과 비교함으로써 황산용액에 대한 저항성을 평가하였다.

3.5 동결융해시험

동결융해시험은 KS F 2443(금속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항시험 방법)에 준하여 실험을 실시하였으며, 동결융해저항성의 평가는 30사이클 주기로 상대동탄성계수를 측정하였다.

4. 시험결과 및 고찰

4.1 라이닝용 폴리머 시멘트 모르타르의 성질

그림 1은 각종 폴리머를 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 압축강도를 나타낸 것이다.

SBR과 St/Ac를 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 압축강도는 폴리머 혼입량의 증가에 따라 증가하였으며, 보통 시멘트 모르타르의 압축강도에 비해 큰 강도를 나타냈다. 그러나 PAE 및 Epoxy의 경우에는 보통 시멘트 모르타르보다 낮게 나타났다. 일반적으로 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션으로 시멘트의 성질을 개선시킬 경우 보통 시멘트 모르타르에 비해 압축강도는 거의 개선되지 않는 것이 보통이나, 폴리머 디스퍼션의 혼입에 따른 같은 반죽질기에서의 필요한 물시멘트비가 크게 감소되기 때문에 결과적으로 강도의 상승효과를 가져올 수 있다.

그림 2는 각종 폴리머를 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 휨강도를 나타낸 것이다. 폴리머의 종류에 관계없이 대부분의 폴리머 시멘트 모르타르의 휨강도는 보통 시멘트 모르타르 보다 크게 나타났다. St/Ac를 20% 및 30% 혼입한 경우의 휨강도는 보통 시멘트 모르타르의 비해 1.9~2.1배 높게 나타났다. 여기에서 압축강도에 비해 휨강도가 크게 향상된 것은 시멘트 매트릭스 속에 존재하는 폴리머 필름에 의한 것이다.

그림 3은 각종 폴리머를 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 인장접착강도를 나타낸 것이다. 폴리머 시멘트 모르타르의 인장접착강도는 보통시멘트 모르타르에 비해 1.9~2.3배의 높은 강도를 나타내고 있다. 라이닝용 재료는 기존 콘크리트와 동시성형시에 그 접착력이 아주 중요하다. 폴리머 종류에 따라서는 SBR을 혼입한 경우가 가장 크게 나타났으며, 내황산염 시멘트를 사용한 경우에도 보통 시멘트 모르타르에 비해 큰 인장접착강도를 나타내고 있다. 또한 인

장접착강도 실험 후의 파괴성상을 살펴보면, SBR을 사용한 경우, 10%에서는 부착경계면, 20%와 30%에서는 피착체의 응집파괴현상을 보였다. St/Ac를 혼입한 경우 모든 피착체에서 응집파괴를 보였으나 PAE를 혼입한 경우에는 폴리머 시멘트비 10%와 20%에서는 부착경계면의 파괴, 30%에서는 폴리머 시멘트 모르타르 부분의 파괴를 보여 파괴성상으로 인장접착강도의 경향을 알 수 있었다.

그림 4와 5는 황산 5% 용액에 28일간 침적한 후 압축강도 및 휨강도를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 보통 시멘트 모르타르의 황산용액 침적후 압축강도 및 휨강도는 시험전의 압축강도에 비해 39% 및 24%의 강도저하를 보였다. 한편, SBR을 혼입한 경우에는, 8.4~27.2% 및 11.2~16.8%, St/Ac를 혼입한 경우, 12.5~13.9% 및 17.4~23.3%로서 무혼입에 비해 낮게 나타났다. 침적후의 강도 역시 최대

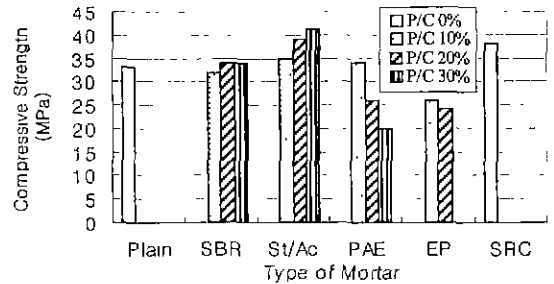


그림 1 라이닝용 폴리머 시멘트 모르타르의 압축강도

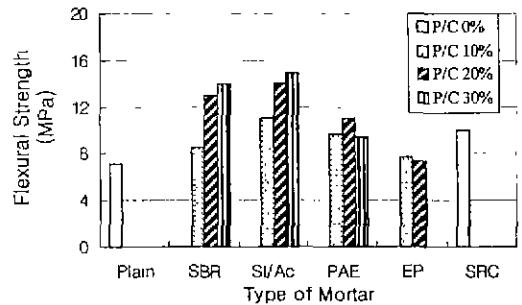


그림 2 라이닝용 폴리머 시멘트 모르타르의 휨강도

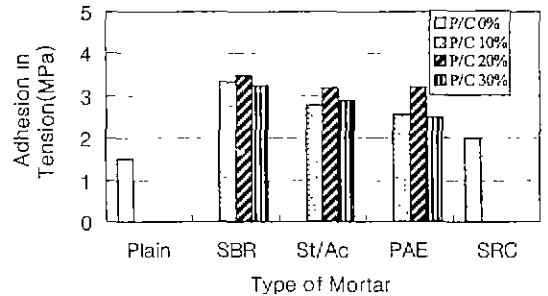


그림 3 라이닝용 폴리머 시멘트 모르타르의 인장접착강도

1.8~2.3배를 나타내 폴리머 시멘트 모르타르를 라이닝 재료로 사용하는 경우 황산에 침적되어도 잔존 보유 강도가 커 콘크리트 흠관의 내구성 증진에 커다란 도움이 될 수 있다. 그러나 폴리머 종류의 선택에 있어서의 중요성이 강조된다. 또한 내황산염 시멘트를 사용한 경우와 비교해 보아도 SBR 및 St/Ac를 혼입한 경우에는 황산에 대한 저항성이 우수하였다.

본 실험은 황산 5%용액으로 촉진 실험을 실시한 것이므로 실제로는 이 보다 훨씬 내구적이다. 또한 낮은 농도에서의 장기간의 침식은 폴리머 시멘트 모르타르 보다 보통 시멘트 모르타르의 경우가 황산염에 대한 내구성이 저하될 것으로 추정되며 이로 인한 흠관의 내구년한은 크게 단축된 것으로 생각된다.

그림 6은 라이닝용 폴리머 시멘트 모르타르의 동결융해 시험 300 사이클에 있어서의 폴리머 종류에 따른 상대동탄성계수를 나타내고 있다. 보통 시멘트 모르타르의 경우에는 동결융해 사이클 90 회에서 상대동탄성계수가 60% 이하로 떨어졌으나, PAE를 제외한 폴리머 시멘트 모르타르의 경우에는 300 사이클에서도 85~98%의 높은 상대동탄성계수를 보여주고 있다. 특히 SBR과 St/Ac를 20% 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 경우 94% 및 98%로서 동결융해에 대한 저항성이 아주 우수하였다.

시멘트 콘크리트 흠관의 내구성 저하의 커다란 요인으로서 황산염에 의한 침식과 동결융해 현상을 들 수 있는데 상시 물과 접촉하여 수분을 함유하고 있기 때문에 동결기의 동해에 대한 피해가 클 수 있다. 따라서 폴리머를 시멘트 모르타르의 개질재로 사용한다면 폴리머 종류 및 혼입량에 따라 그 정도의 차이는 있으나, 두가지 내구성능을 높일 수 있는 것으로 판단된다.

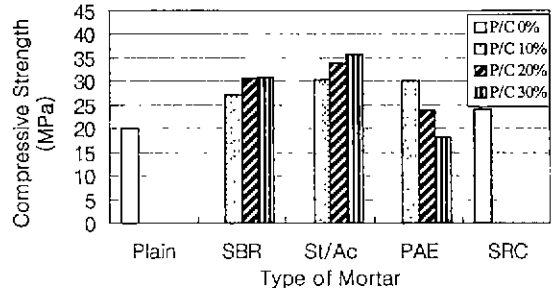


그림 4 황산용액에 침적한후 라이닝 폴리머 시멘트 모르타르의 압축강도

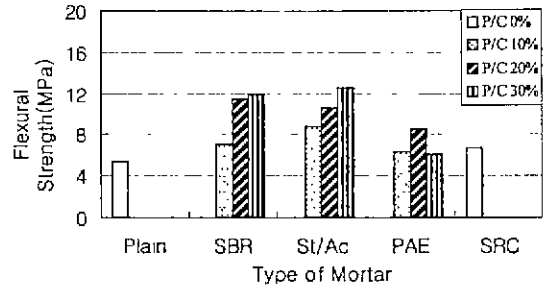


그림 5 황산용액에 침적후 라이닝 폴리머 시멘트 모르타르의 휨강도

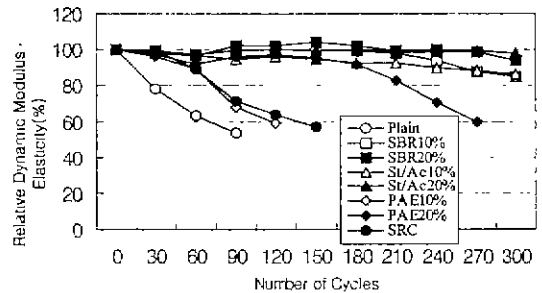


그림 6 라이닝용 폴리머 시멘트 모르타르의 동결융해 사이클수와 상대동탄성계수

4.2 라이닝 폴리머 시멘트 모르타르의 콘크리트 흠관에의 적용

본 실험에서 사용한 폴리머 시멘트 모르타르는 열가소성 및 열경화성 수지를 사용하고 있다. 현재 생산되고 있는 콘크리트 흠관과 동시성형이 가능해야 새로운 공경이 발생되지 않아 경제적이다. 그리고 양생에 있어서도 가능하면 콘크리트 흠관 제작 후 바로 고온 증기양생(80~90℃) 방법에 적용될 수 있어야 한다. 그러기 위한 내열시험을 실시한 결과와 실제 현장에서의 라이닝 적용성을 평가한 결과는 표 4와 같다. 이 표로부터 알 수 있는 바와 같이 폴리머의 종류와 양생조건에 따라 현장 적용성에 대한 차이가 있음을 알 수 있다. 폴리머 시멘트 모르타르를 라이닝 재료로 사용할 경우 제작 후 서

서히 비교적 낮은 양생온도(20℃~60℃)에서 양생한 후, 라이닝 모르타르가 어느 정도 경화한 다음, 높은 온도(80℃~100℃)로 다시 양생하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 그러나 에폭시 수지를 사용할 경우에는 제작 후 일반 콘크리트 흙관과 같은 방법으로 증기양생을 실시하여도 라이닝이 가능하였다. 이는 열경화성인 에폭시 수지는 온도의 상승에 따라서 경화가 진행될 수 있기 때문이다. 그러나 열가소성 수지를 사용한 경우에 있어서의 균열발생은 급격히 높은 온도에서의 폴리머가 시멘트 매트릭스 안에서 팽창되었기 때문으로 사료된다. 폴리머 종류에 따라서는 PAE가 역학적 성능면에서는 떨어지지만 내열성이 우수한 것으로 나타났다.

표 4 내열시험 및 현장 라이닝 실험 결과

모르타르 종류		내열 시험 조건(건조로)				현장적용실험 결과(증기양생)	
		80℃, 3시간	60℃, 5시간	40℃, 5시간	2일 20℃+80℃ 5시간	제작 후, 바로 증기양생(80~90℃)	2일 20℃+증기양생(80~90℃)
SBR	10%	3	1	1	1	폴리머 시멘트비 10%에서는 라이닝 표면에 약간의 보통 균열이 발생하였고, 20%에서는 보통 균열과 들뜸현상이 발생하였다. 모든 폴리머 종류에서 라이닝 표면에 균열의 발생이 없이 우수하게 처리되었다.	
	20%	4	4	4	1		
St/Ac	10%	5	3	1	1		
	20%	5	4	3	1		
PAE	10%	2	1	1	1		
	20%	2	1	1	1		
Epoxy	10%	1	1	1	1	라이닝이 우수하게 처리되었다.	
	20%	1	1	1	1		

주) 5 : 아주심한균열 4: 심한균열 3 : 보통균열 2 : 약간균열 1: 균열없음

5. 결론

라이닝용 폴리머 시멘트 모르타르의 성질 및 적용성에 관한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 폴리머 시멘트 모르타르의 압축강도, 휨강도, 인장접착강도, 내산성 및 동결융해시험 결과, 콘크리트 흙관용 라이닝 재료로 사용하기에 우수한 성질을 확보할 수 있었다.
- 2) 폴리머 시멘트 모르타르를 콘크리트 흙관 라이닝 재료로서 적용한 결과, 동시성형 및 양생조건에서 에폭시 에멀전이 유리하였으며, 폴리머 종류에 따라 양생방법을 조정한다면 모든 경우에서 라이닝이 가능하였다.

감사의글

이 논문은 영진콘크리트(주)와의 1999년도 산·학·연 공동기술개발 지역진소사업 사업에 따른 연구비 지원에 의한 것으로 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 조영국, 전우성, 소양섭, 양생조건에 따른 폴리머 시멘트 모르타르의 강도발현에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, Vol.13, No.3, 1998, pp. 335-342.