

PPCC(Polymer-portland-cement concrete)를 이용한 방수 및 부착 성능 평가 Evaluation of Performance of Adhesion and Waterproof Using Polymer-portland-cement Concrete

김경환† 박미연* 정원용** 문재우*** 장승엽****
Kyung-Hwan Kim Mi-Yun Park Won-Yong Chung Jae-Woo Moon Seung Yup Jang

ABSTRACT

Several materials using polymer-portland-cement concrete have developed to have not only strength of attachment with body ,but also waterproof function and strong anti-sodium chloride properties. Especially, in case of railway, unlike other public transportation, it is very difficult to doing the repair and reinforcement work of structure during service time. Therefore, the development and study of materials having characteristics of structural strength, unification behavior with body, and resistance of crack are very important.

Accordingly, the characteristic of material of polymer based concrete is indicated compared with the experiment and analysis through this study, and suggested application to railway tunnel, bridge, and concrete track structure.

1. 서론

원래 콘크리트는 인장에 약한 취약 재료이므로 인장에 강하고 연성적인 거동을 하는 폴리머계 재료를 혼합사용하고 있으며 이러한 폴리머 포트랜드 시멘트 콘크리트를 사용하여 부착강도 및 방수기능을 동시에 충분히 발휘할 수 있는 여러 재료들이 연구되어 개발되고 있다. 최근 철도 유지관리비용 절감을 위해 호남고속철도 전 구간이 콘크리트 궤도 시스템으로 부설될 예정이라 교량 슬래브 및 궤도방수문제는 다각적인 검토와 연구가 필요한 실정이다. 특히, 철도의 경우 공용 중 유지보수를 수행하는 것이 용이하지 않기 때문에 구조적인 강도와 함께 구제와 일체거동을 할 수 있는 부착력과 방수기능을 갖는 콘크리트재료의 연구는 매우 중요하다 하겠다.

따라서 본 연구에서는 현재 연구 진행되고 있는 폴리머계 콘크리트의 재료적인 특성과 그들의 실험적인 특성을 분석 평가하여 철도터널 및 교량, 그리고 궤도 등에 활용 가능한 폴리머계 콘크리트 방수재료의 특성을 기술하고 이를 활용할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 폴리머계 콘크리트의 종류 및 특성

지금까지 건설재료로 많이 사용되어 온 시멘트 콘크리트는 결합재가 시멘트로서 건조수축의 발생, 늦은 경화시간, 낮은 인장강도, 낮은 내약품성 등의 문제를 가지고 있다. 그러나 고분자화합물인 폴리머를 사용함으로써 시멘트 콘크리트가 갖는 단점을 보완한 많은 종류의 시멘트 폴리머 복합재료들이 개발되

†교신저자, (주)에이치비티(HBT Co.),대표이사

E-mail :hskimwi@empal.com

* (주)승화이엔씨, 기술연구소 이사

** (주)선구엔지니어링, 기술연구소 전문

*** 한국철도시설공단, 일반광역설계처, 일반철도2부장

**** 한국철도기술연구원, 신교통연구본부

어 사용되고 있다. 이러한 콘크리트용 폴리머 재료로는 폴리머 혼화제, 폴리머 결합제, 폴리머 함침제 등이 있다.

2.1 폴리머 시멘트 콘크리트(Polymer Cement Concrete)

폴리머 시멘트 콘크리트의 제조는 종래의 시멘트 콘크리트와 동일하게 워커빌리티와 압축강도를 고려하여 배합설계를 하지만 기존 콘크리트에 비해 인장강도, 휨강도, 집착성, 수밀성, 기밀성, 내약품성, 내마모성 등을 강화한 특징이 있다. 재료적인 측면에서 시멘트는 포틀랜드 시멘트와 혼합시멘트, 알루미늄시멘트 및 초속경시멘트등을 사요하게 되며 혼화제용 폴리머로는 SBR라텍스, PAE 및 EVA 에멀존 등의 폴리머 디스퍼손이 사용된다. 골재는 강자갈, 강모래, 부순 자갈 및 규사 등이 사용되며 경우에 따라 인공경량골재 등이 사용되기도 한다. 방식목적의 용도에서는 실리카질 쇄석이나 규사 등을 사용하고 있다. 또한 혼화용 보강제로는 알칼리성 유리섬유, 폴리이미드섬유 및 폴리프로필렌 섬유, 폴리에틸렌 섬유, 탄소섬유 등을 첨가하여 사용하고 있다. 다음 그림은 폴리머 혼화제의 종류를 나타낸 것이다.

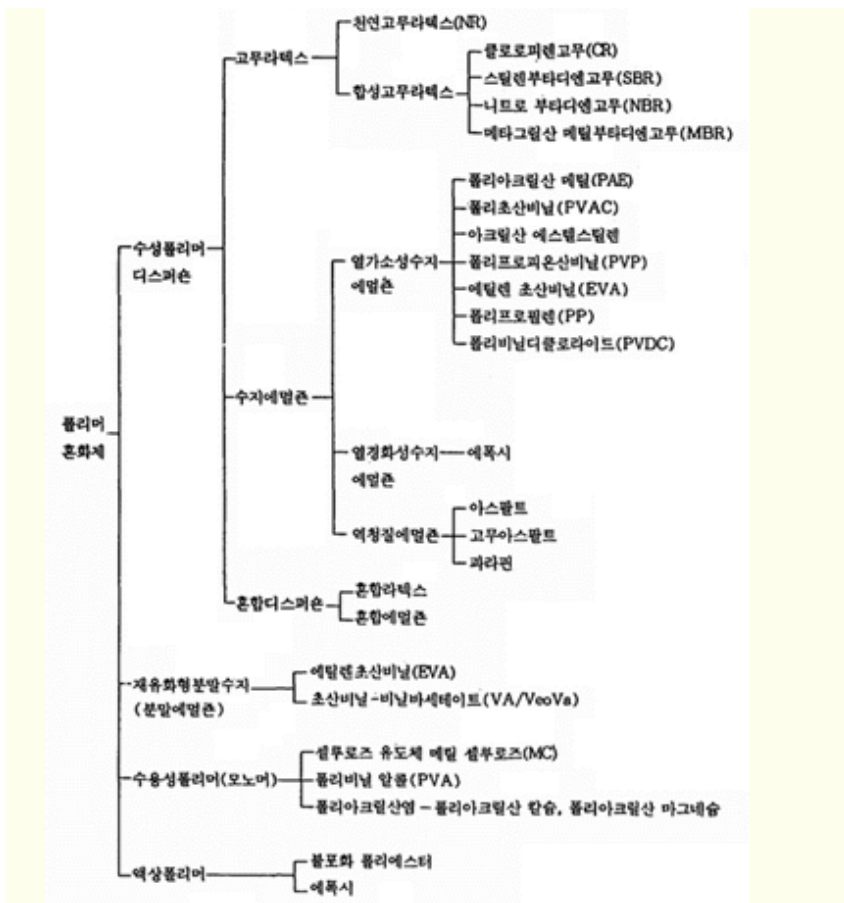


그림 2. 폴리머 혼화제의 종류

폴리머 시멘트 콘크리트는 폴리머입자와 연행공기의 불 배어링 작용, 계면활성제의 분산작용에 의해 대체로 양호한 워커빌리티를 가지며 물·시멘트비는 폴리머·시멘트비의 증가에 따라 감소하므로 고강도 발현과 건조수축 감소에도 기여한다. 또한 공기 연행성 측면에서는 폴리머 디스퍼손 중에 함유된 계면활성제에 의한 기포작용 때문에 적당한 공기연행 작용을 하며, 이 공기량은 폴리머 디스퍼손 중에 함유된 소포제에 의해 제어되어지기도 하고 골재의 크기에 의해서도 조절이 된다. 적당한 공기연행성은 반죽 질기와 내동결융해성 개선에 효과가 있어 크게 문제가 되진 않는다. 특히, 콘크리트의 가장 큰 문제인 블리딩 및 재료분리문제는 폴리머 디스퍼손 자체의 친수콜로이드적 성질과 계면활성제의 공기연행

및 감수효과에 의해 양호한 저항성을 갖는다. 이러한 폴리머를 첨가한 콘크리트는 경화된 이후 폴리머/시멘트비등의 증가에 따라 강도가 높아지는데 특히 인장강도와 휨강도의 경우는 현저하게 개선되게 된다. 다음 도표1.은 폴리머를 사용한 시멘트 콘크리트의 경화후의 강도변화와 특징을 나열한 것이다.

도표 1. 폴리머를 첨가한 콘크리트 재료의 경화후 특징 및 개선사항

구 분	개선 사항
강도측면	인장강도 및 휨강도의 증가
건조수축 및 크리프	폴리머 첨가량의 증가에 따라 감소하고 크리프는 상당히 개선됨
내구성 및 방수성	내구성 향상 및 방수성 증가
중성화 및 내약품성	중성화 예방 및 저항성 증가
접착성 및 부착력	상당히 증가 개선
내충격성, 내마모성	향상 및 개선
내화성 및 난연성	온도의존성 개선 및 향상
내동결융해성 및 내후성	내동결융해성 및 내후성 향상

이러한 폴리머시멘트 콘크리트는 구조용 재료로 보다는 포장재 및 바닥재, 그리고 방수재, 보수재 등으로 사용되고 있다. 다음 도표2.는 폴리머시멘트 모르타르의 용도와 적용대상시설을 나타낸 것이며 도표3.은 폴리머시멘트 콘크리트의 표준배합특징을 설명한 것이다.

도표 2. 폴리머를 첨가한 모르타르 재료의 용도 및 적용대상시설

용 도	적용대상시설
포장재 및 바닥재	도로 및 항공 활주로, 건축물의 바닥재, 체육관 바닥, 공장바닥 및 통로 등
방수재	사이로, 수영장, 저장탱크, 지붕슬래브 등
접착재	바닥재, 벽체 및 단열재의 접착용, 신·구 콘크리트 접착용 등
보수재	노후된 콘크리트의 보수, 손상부분 보수, 부착철근 코팅 등
방식재	약품창고, 정화조, 화학공장 바닥 등
상판재	교량 상판, 보도교 바닥, 전차 열차의 바닥, 배외갑판 등

도표 3. 폴리머시멘트 콘크리트의 표준배합특징

용 도		재료배합		피복두께 (mm)
		시멘트:잔골재	폴리머시멘트비(%)	
		1:3.0	10~20	5~10
마감재	피복두께 (하)	1:2.0 ~2.5	5~20	1~2
	피복두께 (중)	1:2.5 ~3.0	5~20	5~10
	피복두께 (상)	1:2.5 ~3.0	5~20	5~10
접착재	일반 타일재용	1:1.0 ~2.5	5~20	-
	콘크리트 이음재용	1:0 ~2.0	5~20	-
	일반용	1:0 ~3.0	5~30	-
방수재	방수두께(하)	1:0 ~1.5	10~30	5~10
	방수두께(상)	1:2.0 ~2.5	10~30	5~10
Deck 커버링	Deck두께(하)	1:2.0 ~3.0	20~30	1~2
	Deck두께(중)	1:3.0	20~25	5~6
	Deck두께(상)	1:3.0	20~25	3~4

도표 4.는 폴리머의 종류 별 폴리머와 시멘트비율, 물시멘트비, 그리고 상대압축 및 전단, 휨강도 등을 정리한 것이다.

도표 4. 폴리머의 종류에 따른 강도비교검토

폴리머의 종류	폴리머-시멘트비	물시멘트비	상대강도			
			압축	휨	직접인장	전단
미혼입	0	60	100	100	100	100
SBR	5	533	123	128	126	131
	10	483	134	129	154	141
	15	444	150	153	212	146
	20	403	146	178	236	149
PAE1	5	430	159	127	150	111
	10	336	179	146	158	116
	15	313	157	143	192	126
	20	300	140	192	184	139
PAE2	5	590	111	106	128	103
	10	524	112	116	139	116
	15	430	137	167	219	118
	20	374	138	214	238	169
PVAE	5	518	98	95	112	102
	10	449	82	105	120	106
	15	420	55	80	90	88
	20	368	37	62	91	60

2.2 폴리머 콘크리트(Polyer Concrete(P.C))

결합재로 시멘트와 같은 무기질 재료를 쓰는 것이 아니라 폴리머만으로 골재를 결합시켜 콘크리트를 제조한 것이다. 일명 아스팔트 콘크리트 또는 에폭시레진 콘크리트라고도 한다. 폴리머 콘크리트용 결합재는 각종 폴리머에 경화제나 경화 촉진제를 첨가 혼합한 것이다. 다음 도표5. 는 폴리머 콘크리트용 결합재의 종류를 나타낸 것이다.

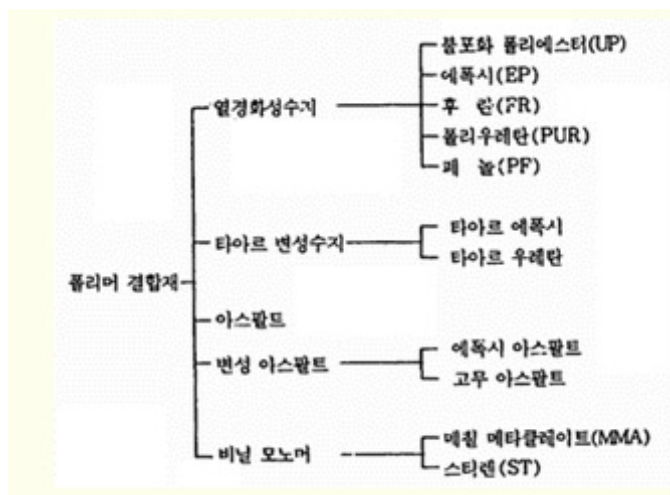


그림 3. 폴리머 콘크리트용 폴리머 결합재의 종류

이러한 폴리머 콘크리트는 경화제 양을 조절하여 경화시간을 변화시킬 수 있을 뿐만 아니라 휨강도 및 인장강도가 우수한 고강도 콘크리트를 생산할 수 있다. 또한 다른 재료와 접착성이 좋고 내약품성이 우수한 특징이 있으며 동결융해에 대한 저항성도 크다. 특히 무게가 가벼워 경량골재를 이용한 경량 제

품에 활용이 가능한 특징이 있다. 그러나 열에 대한 안정성이 불확실하고 크리프가 크고 경화시 체적의 변화가 큰 것과 비용이 고가인 것이 단점이다.

2.3 폴리머 침투 콘크리트(Polymer Impregnated Concrete (P.I.C))

시멘트계의 재료를 건조시켜 미세한 공극에 액상모노머를 침투, 중합하여 일체화시킨 콘크리트를 폴리머 침투 콘크리트라고 하는데, 이는 고강도이면서 내구성이 좋고 내수성이 있어 화학 약품 등의 침투를 차단하는 장점이 있다. 미국, 일본 등에서 많은 연구들이 진행되고 있지만, 원료제조와 침투 등 종합 과정이 용이하지 않아 어려움이 있기도 하다. 사용되는 재료로는 폴리머 침투재인 메타크릴산 메칠(MMA) 또는 스티렌 등의 저점도 화합물이 사용되지만 중합 후 조직의 강화를 위해 가교제가 첨가된다. 또한 현장 폴리머 침투 공법 등이 사용되는데, 신·구 콘크리트에 상관없이 콘크리트 표면을 충분히 건조시킨 후 적당한 방법으로 그 위에 침투용 모노머를 저류하여 자연 침투시키고 열중합을 하게 된다. 이 공법은 기존 시멘트 콘크리트의 건조 정도가 폴리머 침투 콘크리트의 성질에 큰 영향을 주기 때문에 충분한 건조가 중요하다. 시공 후에는 침투깊이를 확인해야 하며 보통 20~30mm 정도는 되어야 한다.

이 폴리머 침투 콘크리트는 주로 프리캐스트제품의 제조에 사용되며 미국 등에서는 콘크리트 표면을 개량하기 위하여 현장침투공법의 적용을 채택하고 있다. 주로 수상구조물용 플로팅 유니트, 신교량 시스템용 포장판, 인터로킹블록, 그리고 교량 및 고속도로의 상판 등에 적용되고 있다. 이 공법을 적용하여 연구가 진행되고 있는 분야로는 슬래브 방수 및 댐 보수공사, 그리고 고속도로 포장 등이 있으며 점차 연구 성과가 가시적으로 될 것으로 판단된다.

2.4 폴리머계 콘크리트의 사용재료 및 물성비교 검토

폴리머계 콘크리트에 사용되는 여러 재료의 장단점을 열거하였으며 이들에 대한 물성치에 대해 검토를 수행하였다. 이들 폴리머계 콘크리트는 대부분 보수보강 및 방수재 등의 특수기능을 할 수 있도록 가공 변형이 용이하므로 차후 철도 교량 및 궤도 방수기능을 위한 재료 연구에 큰 도움이 될 것으로 생각된다. 다음 도표 5. 는 폴리머계 콘크리트의 사용재료와 각 분야별 물성치를 나타낸 것이다.

도표 6.은 폴리머계 콘크리트의 강도와 동결융해 저항 능력, 그리고 내산성 및 내마모성에 대한 비교 검토 자료를 나타낸 것이다. 폴리머가 혼합된 특성 때문에 압축강도 및 인장강도, 그리고 휨강도가 상당히 개선되어 있음을 알 수 있다. 특히 방수재료로서의 역할을 동시에 수행하기 위해서는 방수기능과 부착기능이 월등하여야 하는데 전술한 것처럼 폴리머계의 대부분이 방수와 접착능력을 충분히 발휘할 수 있다.

도표 5. 일반 시멘트 콘크리트와 폴리머계 콘크리트의 사용재료 비교

분류	시멘트 콘크리트(CC)	폴리머 시멘트 콘크리트(PPCC)	폴리머침투콘크리트(PIC)	폴리머 콘크리트(PC)
사용재료	물 시멘트 골재 혼화제 혼화제	물 시멘트 골재 모노머 촉진제 개시제 가교제 계면활성제	경화된 시멘트 콘크리트 모노머 촉진제 개시제 가교제 계면활성제	골재 모노머 채움재 촉진제 개시제 가교제 계면활성제

도표 6 .일반 시멘트 콘크리트와 폴리머계 콘크리트의 분야별 물성

물성	CC	PPCC	PIC	PC
압축강도(kg/cm ²)	280-350	280-560	995-1500	400-1500
인장강도(kg/cm ²)	20-252	40-65	85-115	700-1400
파괴계수(kg/cm ²)	33-37	100-125	-	85-210
탄성계수(kg/cm ²)e5	1.96-2.52	0.98-1.47	3.5-3.99	0.7-3.5
흡수율(%)	5-6	-	0.3-0.6	-
동결융해 저항 (작용회수/단위손실)	700/25	-	2000-4000/0-2	1500/0-1
내산성(PC/CC)	-	1-6	5-10	8-10
내마모성(PC/CC)	-	10	2-5	5-10

2.5 철도에서의 방수 및 부착성을 고려한 LMC 및 유무기복합 탄성 모르타르재료의 적합성 검토

2.5.1 LMC(Latex Modified Concrete)의 철도 방수재료 검토

라텍스 폴리머 콘크리트를 적용하여 KS F4937 기준에 따라 『주차장 바닥용 표면 마감재』에 준용하여 운하중 성능 평가를 실시하였으며 KS F4919 및 KS F 4926에 따라 『시멘트 혼입 폴리머계 방수재』 『콘크리트 혼입용 방수재』에 준용하여 투수, 부착, 흡수 성능 평가를 실시하였다. 또한 내화학적 후 압축강도 성능 평가는 KS F 2405에 준용하여 실시하였다. 압축강도 실험은 온도 20± 2℃, 습도 65± 20%의 환경 하에 시험편은 Ø 10× 20cm의 공시체를 사용하여 성능 평가를 실시하였다.다음 도표 7은 재령에 따른 압축강도 실험 결과를 제시한 것이다.

도표 7 .라텍스 혼합한 폴리머계 콘크리트의 압축강도실험 결과

구 분		A 배합 (Mpa)	B 배합 (Mpa)	성능 기준
재령 7일	①	25.87	23.27	압축강도 30MPa 이상
	②	39.65	20.15	
	③	18.13	33.02	
	평균	27.88	25.48	
재령 14일	①	15.86	23.98	
	②	13.19	22.16	
	③	24.76	25.61	
	평균	17.94	23.92	
재령 28일	①	31.98	26.71	
	②	28.86	23.01	
	③	22.75	25.80	
	평균	27.86	25.17	
재령 3개월	①	41.99	51.48	
	②	47.25	34.38	
	③	46.80	52.32	
	평균	45.34	46.08	

다음 도표 8은 투수성을 평가한 실험결과이다. 라텍스의 재료적 특성이 물의 침투성을 막아 방수기능을 완벽히 하고 있음을 알 수 있다.

도표 8 .라텍스 혼합한 폴리머계 콘크리트의 투수성실험 결과

구 분	A 배합				B 배합				
	시험전 질량(g)	시험후 질량(g)	질량차	투수유무	시험전 질량(g)	시험후 질량(g)	질량차	투수유무	
재령 7일	①	2510.53	2511.28	0.75	이상없음	2400.05	2400.57	0.52	이상없음
	②	2403.71	2404.61	0.90	이상없음	2324.45	2325.24	0.79	이상없음
	③	2496.57	2497.56	0.99	이상없음	2535.36	2536.05	0.69	이상없음
	평균			0.88				0.67	
재령 14일	①	2350.18	2351.02	0.84	이상없음	2389.49	2390.49	1.00	이상없음
	②	2419.50	2420.32	0.82	이상없음	2413.93	2414.62	0.69	이상없음
	③	2342.11	2343.13	1.02	이상없음	2516.08	2516.60	0.52	이상없음
	평균			0.89				0.74	
재령 28일	①	2402.00	2402.75	0.75	이상없음	2426.08	2426.93	0.85	이상없음
	②	2482.27	2483.01	0.74	이상없음	2462.72	2463.67	0.95	이상없음
	③	2333.07	2333.81	0.74	이상없음	2462.34	2463.34	1.00	이상없음
	평균			0.74				0.93	
재령 3개월	①	2341.29	2343.94	2.65	이상없음	2393.64	2395.96	2.32	이상없음
	②	2377.11	2378.93	1.82	이상없음	2419.83	2421.86	2.03	이상없음
	③	2339.02	2340.95	1.93	이상없음	2399.05	2401.34	2.29	이상없음
	평균			2.13				2.21	

방수제로 콘크리트가 재 역할을 다하기 위해서는 부착성능에 대한 검토가 매우 중요하다. 일반 LMC의 경우 도로에서는 교량포장재로 사용되며 보통 5cm를 포설하게 되며 수명은 25년 정도 보장된다. 철도교량에서 LMC를 방수목적으로 적용할 경우 보통 2~3cm정도 두께로 포설할 수 있으며 이때의 실험결과는 다음과 같다.

도표 9. LMC의 부착성능 평가(두께 2.5cm기준)

구분		재령 7일 / 탈락상태		재령 14일 / 탈락상태		재령 28일 / 탈락상태	
A 배합 부착 강도 (N/mm ²)	①	2.60	모체탈락	3.39	모체탈락	2.86	모체탈락
	②	1.91	모체탈락	4.67	모체탈락	2.61	모체탈락
	③	2.67	모체탈락	3.84	재료분리	3.04	모체탈락
	평균	2.39	-	3.97	-	2.84	-
B 배합 부착 강도 (N/mm ²)	①	2.64	모체탈락	3.30	재료분리	3.83	모체탈락
	②	2.43	재료분리	3.39	모체탈락	3.29	모체탈락
	③	2.58	재료분리	3.51	모체탈락	3.58	재료분리
	평균	2.55	-	3.40	-	3.57	-

2.5.2 유무기복합 탄성 모르타르의 철도 방수재료 검토

방수 재료 및 방수 공법의 발전은 방수 품질 향상을 실현시키고 있으나, 단순 방수 형식으로 구조물의 다양한 변화에는 체계적으로 대응하지 못하고 있다. 이로 인한 재 열화 현상 등의 문제점이 발생되고 있으며, 따라서, 구조물의 다양한 변화에 대응 할 수 있는 복합 방수 공법이 필요한 실정이다.

본제품은 시멘트 및 잔골재 등으로 이루어진 무기질의 모르타르와 특수 아크릴폴리머 등과 재료의 탄성을 높여주고 부착을 증가 시켜주는 각종 폴리머로 이루어진 유기질재료를 모르타르 : 폴리머 = 1 : 2 의 비율로 혼합하여 구조물에 가해지는 열 변형(기온 차), 진동, 충격 등과 같은 각종 열화 요인들에 의하여 발생할 수 있는 열화(균열, 표면박리, 부착약화 등)현상들로부터 구조물을 보호할 수 있도록 구성된 재료이다. 특히 본 제품은 유무기 복합재료로서 구조물을 이루고 있는 콘크리트와 같은 거동을 하므로써 유기질을 사용한 경우에 재료간의 이질감으로 인하여 발생하는 각종 문제점들이 발생하지 않으며 장기간 햇빛에 노출되어도 UV에 의한 열화가 없다.

도표 10.은 무기질 탄성도막 방수재료에 대한 KS F 4919 및 KS F 4932에 본 제품이 만족하고 있음을 나타낸다.

도표 10. 방수제에 대한 한국공업규격에 따른 시험결과

시험 항목	단 위	KS 기준	시험 결과	시험 항목	단 위	KS 기준	시험 결과	
부착강도	표준	N/mm ²	0.8 이상	인장성능	인장강도	N/mm ²	1.0 이상	2.8
	침수 후	N/mm ²			신장률	%	50 이상	97
내 잔칼림성	-	잔 칼림이 없을 것	이상 없음	내 균열성	-10℃	-	파단 되지 않을 것	이상 없음
흡 수 량	g	2.0 이하	0.6		20℃	-		이상 없음
내 알칼리성	-	이상 없을 것	이상 없음	내열 지수 안정성 (150℃, 30분)	%	±2.0 이내	1.1	
시험 기준 KS F 4919 / 4932(내열 지수 안정성)								

3. 결론

여러 가지 폴리머계 콘크리트에 대해 그들의 재료적인 특성과 물성치를 검토하였으며 철도 궤도 및 교량 슬래브의 방수재료로서의 적용가능성을 검토하였다. LMC의 경우 라텍스 혼입에 따른 경제성면에서 좀 더 검토가 필요한 면은 충분히 있지만 방수 및 부착성 면에서는 상당한 장점을 가지고 있다고 판단된다. 또한 유무기 복합 탄성 모르타르 재료의 경우 경부고속철도 2단계 10-5공구에 이미 반영되어 사용하였으며 이를 좀 더 개선 발전시켜 철도 시설물의 방수재료로서의 경제성과 성능을 충분히 갖추어지면 철도 시설물용 방수재료로 반영하는 것에는 전혀 문제가 없을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 문한영 외1, “한국 콘크리트학회 논문집,” VoL 14, NO 4, 1호, pp.597-601, 2002
2. 폴리머 콘크리트 소 위원회, “콘크리트 폴리머 복합체”, 한국 콘크리트 학회
3. 황의환 외3, “한국 공업 화학회논문집 ”, VoL 10, NO 7, pp.1066-1073, 1999, 콘크리트 - 폴리머 복합 재료 개발 (2) - 폴리머 (레진) 콘크리트의 물성 -