



단면보수용 콘크리트 패치재료의 역학적 특성 및 내구성 실험

Mechanical and Durability Properties of Partial-Depth Patch Materials using Polymer Materials for Concrete Pavement

양 성 철* 황 인 동** 한 승 환*** 김 성 민****
 Yang, Sungchul Hwang, Indong Han, Seonghwan Kim, Seongmin

Abstract

In this paper an experimental program was launched to determine the mechanical and durability properties of spall repair materials (RCC: 3 items, PCC: 2 items, PC: 3 items). Test items were mechanical property tests such as setting times, strengths, modulus of elasticity, plastic shrinkage, and durability tests such as dynamic modulus ratio, bond property with freeze-thaw, water absorption, chemical resistance, ultraviolet exposure. Modulus of the PC products exhibits ductile while the modulus is in the order of $RCC > PCC > PC$. At early ages the PC products experience higher plastic shrinkage than others, henceforth stable at 28 days. Other test results such as dynamic modulus ratio, absorption, and chemical resistance show that the PCs are superior to the PCCs and the RCCs. Except for PC-2, all patch materials had bond strength more than 1.3MPa after freeze-thaw cycles of 200~300 while the PCs and the PCCs seem to be better than the RCCs. With 500 hours of ultraviolet exposure, all patch materials showed to have no crack or deterioration at the surface.

Keywords : patch materials, partial-depth repair, concrete pavement, mechanical properties, durability

요 지

본 연구에서는 콘크리트포장의 단면보수용 복합재료 8개(초속경시멘트계열 : RCC 3종, 폴리머시멘트계열 : PCC 2종, 폴리머계열 : PC 3종)에 대해 역학적인 특성 및 내구성 실험을 수행하였다. 역학적 특성으로서 응결시간, 압축강도, 휨강도, 탄성계수, 경화수축에 대해 실험하였고, 내구성으로서 동탄성계수 및 동결융해 후 부착강도, 흡수율, 내화학성, 자외선 노출 실험을 수행하였다. 탄성계수는 $RCC > PCC > PC$ 계열의 순으로 나타나서 폴리머가 사용되면서 연성의 특성을 보였다. 초기 재령에서의 폴리머 콘크리트의 경화수축이 상대적으로 큰 것으로 관찰되었지만 재령 28일에서는 다소 안정된 결과를 보였다. 상대동탄성계수, 흡수율, 10% $CaCl_2$ 와 10% Na_2SO_4 의 화학용액을 사용한 내화학성 실험결과 PC계열, PCC계열, RCC계열 순으로 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 200~300회 동결융해 이후의 부착강도 실험결과 PC-2를 제외하고는 모두 1.3MPa 이상을 확보하였고, PC 및 PCC 제품의 부착강도가 RCC 제품보다 전체적인 면에서 우수한 것으로 나타났다. 또한 시편을 500시간동안 자외선 노출시험 결과 모든 패치재료 시편에서 균열 및 표면 결함 등이 발견되지 않아 PC 및 PCC 제품의 자외선에 대한 내구성이 확보됨을 확인하였다.

핵심용어: 패치재료, 단면보수, 콘크리트포장, 역학적 특성, 내구성

* 정회원 · 홍익대학교 건축공학부 부교수 · 공학박사, 주저자(E-mail : scyang@hongik.ac.kr)
 ** 정회원 · (주)세일콘 연구소장
 *** 정회원 · 도로교통기술원 수석연구원 · 공학박사
 **** 정회원 · 경희대학교 토목건축대학 부교수 · 공학박사, 교신저자



1. 서론

최근 콘크리트 구조물의 보수재료로서 초속경 시멘트계, 폴리머 시멘트계, 폴리머계와 같이 다양한 단면 보수재료가 국내외에서 사용되고 있다. 특히 초속경 시멘트계로서 인산염이 혼합된 특수시멘트 콘크리트가 사용되기도 한다(Markey et al., 2006). 폴리머를 사용한 보수 기법은 콘크리트에 폴리머를 혼합하는 방법과 기존의 콘크리트에 함침(Impregnation)하는 기법이 있다. 후자의 함침 기법은 현재까지 완전히 입증되지 않은 부분이 많아 전자의 혼합방법을 선택하는 경우가 일반적이며, 시멘트가 사용되는 경우엔 폴리머 시멘트 콘크리트(PCC)로 폴리머만 사용되는 경우 폴리머 콘크리트(PC)로 분류된다.

폴리머 시멘트 콘크리트 및 폴리머 콘크리트는 일반적으로 시멘트계와 비교할 때 압축강도에 비해 휨강도 발현이 뛰어나며 부착성능이 우수한 것으로 알려진다(Rebeiz et al., 1994). 또한 내구성 측면에서도 흡수율이 낮아 동결융해저항성 및 내화학성이 우수한 것으로 알려졌다. 다만 열팽창계수가 높기에 탄성계수가 작은 재료를 사용하도록 제시되고 있다. 다만 국내 몇몇 포장기술자들에 의해 자외선에 직접 노출되는 도로포장에서는 폴리머 재료에 결함이 발생될 수도 있다는 의문이 제기되고 있는데, 본 실험을 통해 이를 규명하고자 한다.

콘크리트포장에 대한 부분단면 보수는 위에서 언급한 바와 같이 다양한 재료를 활용하여 빈번히 이뤄지지만 보고된 자료는 그리 많지 않다. 그 중 참고할 만한 자료는 2000년에 홍승호등에 의해 도로교통기술원 자체연구의 일환으로 수행한 연구과제로서 4가지 복합재료를 이용하여 서울 외곽순환고속도로에 시험시공을 실시한 결과에 대해 세밀히 정리하였다(홍승호등, 2000). 당시 사용한 복합재료로는 우레탄우레아 콘크리트, 수성 아크릴 몰탈, 폴리우레탄 몰탈, MMA 몰탈 등이었다. 추적조사 결과 폴리우레탄 몰탈을 제외한 나머지 3개의 보수재료는 시공

당시 양호한 상태로 보고되었다. 이를 포함하여 폴리머 콘크리트를 사용하여 부분단면 보수공법으로 적용한 국내 적용 사례를 추적한 결과 지자체 사정에 따라 대부분 1~2년 이내에 재포장이 되어서 복합재료의 공용성을 판단하기가 어렵다(홍승호등, 2000; 한국도로공사 영동지사, 2001). 따라서 오랜 기간 동안 관측할 수 있는 방법으로서 폐도에 시험시공을 하는 방법이 좋을 것으로 생각된다.

한편 미국에서는 여러 연구자들이 ACI SP-214에 기고한 글을 통해 2003년까지 30년 동안 도로분야에 가장 많이 적용된 폴리머 콘크리트 공법을 정리하여 소개하였다(Depuy and Dimmick, 2003; Sprinkel, 2003). 내용에 의하면 다층의 폴리에스터 복합재료 이외에는 대부분 폴리머 제품의 부착강도가 10~25년간 온전하게 유지됨을 보여준다. 다만 폴리에스터 PC는 시간이 경과함에 따라 일정하게 감소하여 10년 경과 시에는 0.48MPa 정도의 수준을 보여주었다. 또한 공용연수별 미끄럼 저항성의 추이를 관측한 결과 MMA를 제외한 대부분의 복합재료는 미끄럼 저항성이 우수한 것으로 나타났다.

Dimmick은 미국 뉴저지주의 Newark 국제공항 부근의 노후한 콘크리트 포장에 적용된 에폭시 콘크리트 포장에 대한 15년 사례조사를 발표하였다(Dimmick, 1996). 포틀랜드 시멘트 콘크리트 전 단면으로 보수한 구간은 6년 경과 후에 균열 등의 결함이 재 발생되어 박층 에폭시 폴리머 덧씌우기를 시행하였다. 15년간 공용성 시공 흐름을 비교한 결과 에폭시 폴리머 콘크리트가 기준인 시멘트 콘크리트에 비해 2.5배의 공용성이 있는 것으로 파악되었다.

2003년 Maass는 캘리포니아주 도로국에서 과거 18년간 수행한 폴리에스터 폴리머 콘크리트 덧씌우기 포장의 공용성에 대한 자료를 발표하였다(Maass, 1996). 시공된 I-80 구간의 고도는 약 1.950m에 다다르며 종단구배는 심한 곳은 8%에 이른다. 하루 일교량이 28℃이며, 연중 평균 강수량은 183mm, 연중 평균 적설량은 1.23m, 체인 바퀴로

인해 콘크리트 포장이 많이 손상되어 있었다. 정도가 심한 부분은 시멘트 콘크리트를 사용하여 전단면 보수를 수행하였다. 나머지는 폴리에스터 콘크리트를 사용하여 덧씌우기를 진행하였다. I-80에 시공된 1차로 기준 약 16km의 폴리에스터 콘크리트 포설이 후 25개소의 교량에 폴리에스터 콘크리트로 시공하여 별다른 결함이 없음을 보고하였다.

비교적 최근인 2006년 미국 텍사스교통연구원(TTI)에서 부분단면 스폐링 보수용 연구과제의 일환으로 10가지 제품의 복합재료에 대한 실내실험 및 현장 시험시공 결과를 소개하였다(Markey et al., 2006). 이 연구에서는 전체 보수재료의 탄성계수를 제품의 강성, 반강성, 연성에 따라 분류하여 나타내었다. 복합재료는 일반적으로 탄성계수(E)가 낮고 열팽창계수(α)가 상대적으로 높기 때문에 이 둘의 곱인 $E\alpha$ 의 값이 기준 콘크리트와 비슷한 재료를 선정하는 것이 유리한 것으로 소개하였다. 보수재료 선정시 가장 중요한 기준으로서 부착강도를 제시하는데, 텍사스주 도로국에서는 패치재료를 연성인 Type I과 강성인 Type II로 분류하여 Type I은 100psi(0.69MPa)로 Type II는 250psi(1.7MPa)를 기준으로 한다. 부착강도에 의해 용인성(acceptibility)이 결정된 후 기준이 만족되는 재료군 속에서 단가와 현장 시공성(배합, 작업성 또는 응결시간) 그리고 기타 특성(저장성, 색상, 습기 민감성, 향후 재시공 계획)에 따라 가중치에 의해 최종 보수재료를 선정하는 절차를 소개하였다(Markey et al., 2006).

현재 국내 고속도로의 콘크리트 포장이 노후화됨에 따라 부분단면 보수를 요하는 구간이 늘어나고 있는 실정이다. 이러한 곳에 사용되는 패치재료로서 초속경 시멘트계, 폴리머 시멘트계가 현재 부분적으로 사용되고 있다. 또한 미국에서는 30여 년 전부터 폴리머계열의 패치재료를 성공적으로 사용하고 있기에 국내에서도 PC제품을 사용하려는 의도가 있다.

그러나 폴리머계열의 우수한 패치재료가 있음에도 불구하고 이에 대한 기준이 제시되어 있지 않고 또한

체계적인 실험연구가 수행되어 있지 않아 콘크리트 포장의 부분단면 보수현장에서 기술자들이 사용하지 못하고 있는 실정이다. 특히 품질에 관련되어서 과거에는 초기강도에만 의존하였고, 보수재료 및 공법을 구분하지 않고 일률적으로 적용하다보니, 의외로 좋은 재료 및 공법이 잘못 적용되어 그 후로는 현장기술자들이 회피하는 결과를 초래하였다.

따라서 본 논문에서는 기존의 국내외 시공사례를 분석하여 현재 사용되는 패치재료로서 초속경 시멘트계 3종, 폴리머 시멘트계 2종, 폴리머계 3종 등 총 8가지 보수재료를 선정하여 역학적 특성 및 내구성에 대한 실내실험을 수행한 결과를 소개하고자 한다. 역학적 특성으로서 응결시간, 압축강도, 휨강도, 탄성계수, 경화수축에 대해 실험하였고, 내구성으로서 동탄성계수 및 동결융해 후 부착강도, 흡수율, 내화학적, 자외선노출 실험을 수행하였다.

2. 보수재료의 종류 및 실험준비

2.1 보수재료의 종류 및 특성

현재 사용되는 콘크리트 포장의 부분단면 보수 방법을 분류하면 속경성 시멘트 콘크리트(RCC), 폴리머 시멘트 콘크리트(PCC)와 폴리머 콘크리트(PC) 공법을 들 수 있다. 본 연구에서는 국내에 소개되고 있고 미국의 고속도로에서 사용된 보수재료 중 RCC 3종, PCC 2종과 PC공법에 사용되는 재료 3종을 선정하였다.

각 재료의 화학적 특성 및 분석을 위하여 FT-IR, DSC, XRF를 이용하였다. PC의 경우 주제와 경화제를 제조자의 추천 배합에 따라 혼합하고 이를 경화, 건조 시킨 후 적외선 분광과 DSC에 의한 열분석으로 T_g 를 측정하였다. 또한 XRF의 경우 시료분말을 그대로 사용하여 성분 분석을 실시하였다. 재료별 성분 분석 결과는 표 1에 정리하였다.



표 1. 시험에 사용된 보수재료의 종류 및 특성

제품	폴리머 종류	분석 결과에 의한 재료 특성
RCC-1	Powdered resin	P=23.4%로서 인산염을 주원료로한 보수재료. 반응 속도가 매우 빠르고 수화 반응 후 인산 실리케이트 알루미늄에이트 화합물을 형성
RCC-2	Powdered resin	인산염 또는 마그네시아 시멘트를 주원료로함. 경화 속도가 매우 빠른 속경용으로 사용됨.
RCC-3	Powdered resin	MgO의 비율이 26.6%인 마그네시아 시멘트가 사용됨. 반응 속도가 매우 빠르고 수화 반응 후 매우 안정한 마그네슘 실리케이트 알루미늄에이트 화합물을 형성.
PCC-1	SBR Latex	폴리머로서 SBR Latex가 사용되었으며 시멘트로서 초속경 시멘트가 사용되어 경화 속도가 매우 빠른 폴리머 시멘트 콘크리트임
PCC-2	Liquid Epoxy	A액인 주제의 경우 에피클로로하이드린을 주원료로 한 에폭시로 구성되며 B액의 경우 Amine류가 주성분인 에폭시 경화제임.
PC-1	Isocyanate (Acrylate)	1분말과 2액상으로 구성된 재료. 주요성분으로는 Ca와 Si가 각각 66.82%와 19.56%로 분석되어 시멘트가 주원료인 충전제로 추정됨. 액상의 경우 1액은 아크릴레이트를 주재료로한 아크릴 이사나이드, 제 2액인 실리카 졸로 추정됨.
PC-2	Acrylate	주제의 경우 아크릴의 특성인 -COO 결합과 -CH ₃ 결합이 확인되어 아크릴로 추정됨. 경화제는 주로 BPO, AIBN등이 사용됨.
PC-3	Liquid Polyurethane	A액인 주제의 경우 isocyanate를 주원료로한 Poly isocyanate로 분석됨. B액의 경우 다가 알코올로 분석됨.

2.2 몰탈 및 콘크리트 배합

각 보수재료는 제조사의 추천에 따라 배합하였다. 선정된 제품은 모두 완제품으로 보수제의 배합은 표 2와 같다. PCC 제품은 시멘트와 주제/경화제가 혼합되었고, PC 제품은 주제와 경화제가 혼합되었다.

표 2. 보수재료의 혼합 비율

분류	제품명	재료의 분류(중량, kg)					
		조골재	세골재(필러포함)	시멘트	물	주제	경화제
RCC	RCC-1	-	1,670	430	370	-	-
	RCC-2	-	1,480	520	380	-	-
	RCC-3	960	740	220	380	-	-

<표 계속>

PCC	PCC-1	745.3	887.0	390	78.2	124.5	-
	PCC-2	800	750	450	140	22	11
PC	PC-1	-	1,280	-	-	92	138
	PC-2	687	960	-	-	271	5
	PC-3	-	1,350	-	-	90	180

2.3 시험방법

보수재료 성능평가시험으로서 역학적 특성 실험과 내구성 실험을 수행하였다. 역학적 특성으로서 응결시간, 압축강도, 휨강도, 탄성계수, 경화수축을 시험하

표 3. 시험종류 및 방법

시험종류	RCC-1	RCC-2	RCC-3	PCC-1	PCC-2	PC-1	PC-2	PC-3	시험방법 등
응결시간(초·종결)	○	○	○	○	○	○	○	○	KS F 2560
압축강도	4시간	○	○	○	○	○	○	○	KS F 2405 시편개수: 3개
	5시간	○	○	○	○	○	○	○	
	1일	○	○	○	○	○	○	○	
	7일	○	○	○	○	○	○	○	
휨강도	4시간	○	○	○	○	○	○	○	KS F 2408 시편개수: 2개
	5시간	○	○	○	○	○	○	○	
	1일	○	○	○	○	○	○	○	
	7일	○	○	○	○	○	○	○	
28일	○	○	○	○	○	○	○		
탄성계수	○	○	○	○	○	○	○	○	KS F 2438 시편개수: 2개
소성수축	○	○	○	○	○	○	○	○	KS F 2424
상대동탄성계수	○	○	○	○	○	○	○	○	KS F 2456
부착강도(동결융해횟수)	0	○	○	○	○	○	○	○	ACI 503 KS F 2456 시편개수: 2개 (RCC-2, PCC-1, PC-1, PC-2는 0회에서 4개)
	50	○	○	○	○	○	○	○	
	100	○	○	○	○	○	○	○	
	150	○	○	○	○	○	○	○	
	200	○	○	○	○	○	○	○	
300	○	○	○	○	○	○	○		
흡수율	○	○	○	○	○	○	○	○	KS F 2609
내화학성	○	○	○	○	○	○	○	○	KS M 5307(폐지)
자외선노출시험	○	○	○	○	○	○	○	○	KS M 5000-3231과 유사

* 1차년 실험 제품: RCC-1, RCC-3, PCC-2, PC-3,
2차년 실험 제품: RCC-2, PCC-1, PC-1, PC-2

였고, 내구성으로서 동탄성계수 및 동결융해 후 부착 강도, 흡수율, 내화학적, 자외선노출 실험을 수행하였다. 표 3은 실험종류 및 방법 등에 대해 정리하였다.

한 도로포장 패치재료의 작업성을 1분~60분으로 허용하고 있는 실정이다.

3.2 압축강도

교통 흐름 방해를 최소화하기 위하여 보수 포장 재료의 경우 최대 4~5시간 이내가 되어야 할 것으로 예상된다. 따라서 이를 감안하여 초기 4~5시간 및 12시간, 1일, 7일, 28일의 재령 시간에 따른 압축강도를 그림 2에 나타내었다. FHWA에서는 부분단면 보수공법의 교통 개방 시 일반조건에서의 기준으로 되어 있는 강도보다 낮은데서 교통개방이 가능하다고 언급한다. 이는 보수깊이가 얇고 주변에서 구속해 주기 때문으로 본다(Wilson et al., 1999). 한편 미국 펜실베이니아주 도로국에서는 교통개방시의 압축강도 요구기준을 8.3MPa로 한다(Van Dem et al., 2005). 이에 대해 PC-1을 제외하고는 나머지 7제품 모두 재령 4~5시간에서 8.3MPa를 만족시킨다. 반면 PC-1은 4시간에서의 압축강도는 3.5MPa이었으나 이후의 압축강도의 발현이 매우 뛰어나서 교통개방에 문제가 없을 것으로 생각된다.

3. 역학적 특성 실험결과

역학적 특성 실험으로는 응결시간, 재령별 압축강도, 휨강도, 탄성계수, 소성수축의 실험을 수행하였다. 부착강도 특성은 동결융해와 함께 수행하여 4장의 내구성 실험결과에 수록하였다. 다만 본 실험에서는 열팽창계수 실험이 포함되어 있지 않은 것이 다소 미진한 부분이라 할 수 있다. 한편 TTI에서 수행한 열팽창계수 실험결과로서 본 연구의 PCC 제품에 해당되는 패치재료는 $11.0 \sim 13.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이었으나 PC-3에 해당되는 패치재료의 열팽창계수는 $87.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로서 매우 큰 값으로 나타났다.

3.1 응결시간

선정된 8종의 재료별 응결시간을 측정하여 그림 1에 나타냈다. RCC 제품의 초결 및 종결시간은 약 5~10분 이내에서 결정되었다. PC-1은 종결이 2분, PC-2는 5분, PC-3은 17분정도에 이르렀다. PCC 제품의 응결시간이 30분~1시간 15분 등 RCC 제품이나 PC 제품에 비해 상당히 느린 것으로 나타났다. 한편 미국 캘리포니아주(Caltrans, 2008)와 텍사스주 도로국(Texas DOT, 2004)에서는 폴리머를 이용

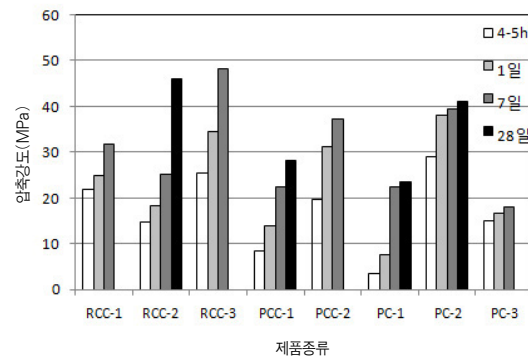


그림 2. 제품별 압축강도

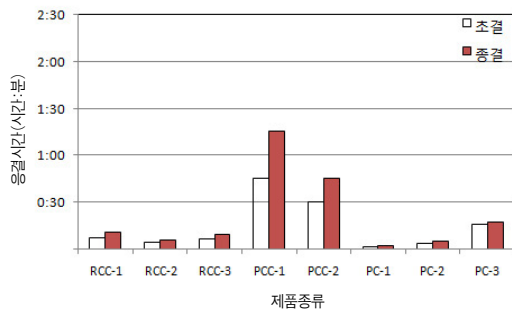


그림 1. 제품별 응결시간

3.3 휨강도

재령에 따른 휨강도를 측정하여 그림 3에 비교하였다. 3.2절에서 언급한 바와 같이 패치재료의 휨강



도 또한 교통개방시의 휨강도 기준보다 크면 포장 슬래브에 그리 큰 영향을 미치지 않는 것으로 이해된다. 참고로 미국 텍사스주 도로국에서는 교통개방시의 최저 휨강도를 1.8MPa로 요구한다(Van Dem et al., 2005). RCC-2와 PCC-1의 경우를 제외하고는 나머지 6제품 모두 재령 4~5시간에서 1.8MPa를 만족시킨다. 반면 RCC-2와 PCC-1 제품은 재령 4시간과 휨강도는 1.3~1.6MPa이었으나 이후의 휨강도의 발현이 매우 뛰어나서 교통개방에 문제가 없을 것으로 생각된다.

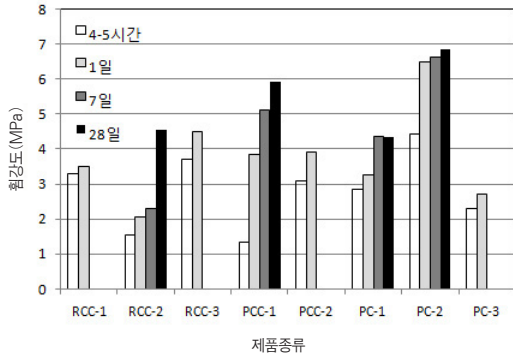


그림 3. 제품별 휨강도

3.4 탄성계수

패치재료의 탄성 계수는 재령 28일 후 측정되었고 그림 4에 강성의 재료로부터 순차적으로 나타났다. RCC 계열의 탄성계수가 높았고 다음은 PCC 계열, PC 계열의 순으로 나타났다. RCC 제품은

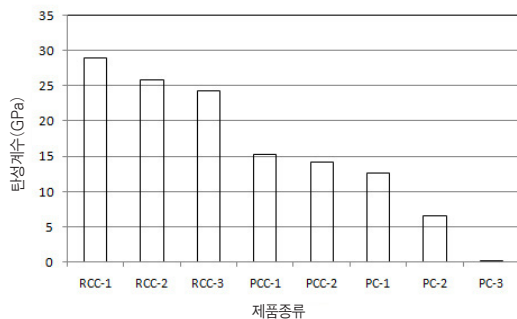


그림 4. 제품별 28일 탄성계수

24.2~28.9GPa로서 일반 시멘트 콘크리트의 특성에 해당되고, PCC 제품은 14.2~15.2GPa로 측정되었다. PC-1 제품은 PCC 계열 값의 80~90%에 해당되는 12.6GPa로 나타났다. PC-2의 경우 6.5GPa, PC-3은 0.2GPa로 탄성계수가 매우 낮은 연성의 특성을 보여주었다. 미국 TTI에서 실험한 패치재료중 PCC-1, PCC-3에 해당되는 유사 패치재료의 1일 탄성계수는 12.4~18.3GPa의 특성을 보였고 PC-3에 해당되는 패치재료의 28일 탄성계수가 54MPa로서 매우 낮게 측정되었다(Markey et al., 2006).

3.5 소성수축

RCC-2, PCC-1, PC-1, PC-2 패치재료의 재령에 따른 길이 변화를 측정하여 그림 5에 비교하였다. 복합재료의 소성수축(plastic shrinkage) 즉, 복합재료가 경화됨에 따른 길이 변화는 일반적으로 균열의 발달 및 경화후의 이탈과 관련이 있다. 재령일 14일까지는 길이변화율이 PC-2>PC-1>PCC-1>RCC-2의 결과에서 볼 수 있듯이 폴리머 콘크리트의 길이변화율이 상대적으로 큰 것으로 관찰되었다. 이는 폴리머의 초기반응에서 발생하는 경화수축 특성 때문이며 PC-1 제품의 경우 재령 28일에서는 다소 안정된 결과를 보여서 오히려 PCC-1제품보다 약 30% 축소된 결과를 보인다. 반면 PCC-1이나 RCC-2는 수경성 시멘트의 영향으로 장기적인 측면에서는 건조수축(drying shrinkage)이 발생될 것으

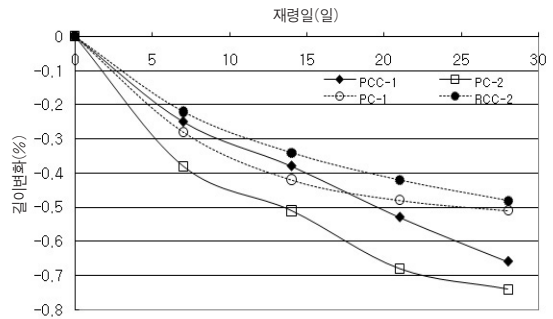


그림 5. 제품별 재령에 따른 길이변화

로 예측된다. TTT에서는 18시간에 대한 온도별(4.5, 21, 38℃), 제품별 소성수축변화를 비교하였는데, 평균적으로 고온에서의 소성수축의 변화가 많았고, PC-3에 해당되는 PC 제품의 소성수축변화가 RCC 나 PCC 제품에 비해 큰 값을 보였다. 18시간 재령에서 본 연구의 PCC 제품과 유사한 패치재료에서는 21℃에서 0.04~0.09%를, PC-3에 해당되는 패치재료는 0.33%의 특성을 보였다(Markey et al., 2006).

4. 내구성 실험결과

내구성 실험으로는 상대동탄성계수 실험과 동결융해 사이클 후의 부착강도, 흡수율, 내화학성 실험 및 자외선 노출실험을 실시하였다.

4.1 상대동탄성계수

상대동탄성계수는 동결융해에 대한 저항성을 확인하는데 매우 유용한 자료이다. 동결융해 사이클에 대한 RCC-2, PCC-1, PC-1, PC-2의 동탄성계수비의 변화를 관찰한 결과는 그림 6과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 PC-1과 PC-2와 같은 폴리머 재료의 경우 흡수율이 매우 낮아 동결융해에 대한 저항성이 매우 우수한 것으로 관찰되었으며, 시멘트가 사용된 경우 상대적으로 높은 변화율을 보였다. 이는 시멘트

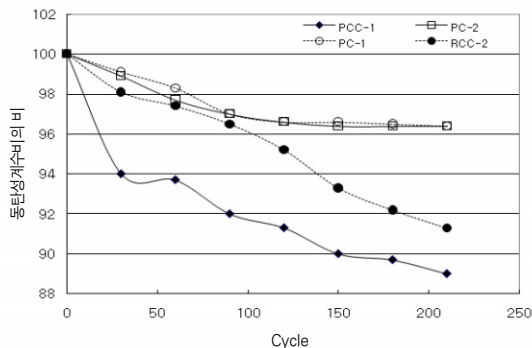


그림 6. 동결융해 사이클에 따른 제품별 동탄성계수비의 변화

재료가 물을 흡수한 후 반복적인 동결에 의하여 파손되는 것으로 파악된다.

4.2 동결융해 사이클 후 부착강도

포장 보수재료의 가장 중요한 특성중의 하나는 부착 강도이다. 이는 포장 후의 탈락 등에 크게 영향을 주므로 초기 부착강도와 동결융해 후의 부착강도를 관찰하였다. 표 3에서 보고한 바와 같이 RCC-1, RCC-3, PCC-2, PC-3 제품에 대해서는 동결융해 사이클을 300회 실시하여 부착강도 변화를 관찰하였다. RCC-2, PCC-1, PC-1, PC-2 제품은 동결융해 사이클을 50, 100, 150, 200회 실시하여 부착강도 변화를 관찰하였다. 다음 그림 7은 제품별 동결융해 사이클에 따른 부착강도의 변화를 보여준다. 참고로 본 연구에서 사용된 부착강도시험은 ACI 503에서 제시한 현장 인발식 방법이다.

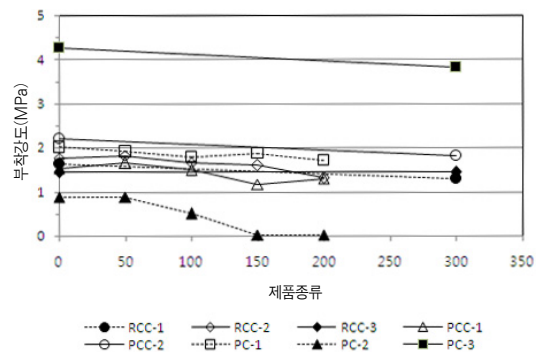


그림 7. 제품별 동결융해 사이클에 따른 부착강도의 변화

폴리머 제품으로서 PC-3은 300회 사이클 후의 부착강도가 3.83MPa로서 다른 제품에 비해 월등한 것으로 나타났다. 또 다른 폴리머 제품인 PC-1과 폴리머 시멘트 제품인 PCC-2 그리고 속경성 시멘트 제품인 RCC-3의 부착강도는 200~300회 동결융해 이후에서 현 부착강도의 기준인 1.4MPa(고속도로전문시방서, 2004)를 넘어서는 것으로 평가되었다.

그러나 PCC-1은 150회 이후 기준의 84%이었다



가 200회에서 약간 반등하여 기준의 93% 수준인 1.3MPa로 나타났다. 또한 RCC-1은 300회, RCC-2는 200회에서 기준 부착강도의 93%인 1.3MPa로 평가되었다. PC-2는 0 사이클에서도 부착강도가 0.87MPa 수준이며 150회 이후부터 박리가 발생되는 등 부착성능이 불량한 것으로 평가되었다. 따라서 PC-2를 제외한 폴리머를 사용한 PC 및 PCC 제품의 부착강도가 RCC 제품보다 우수하다고 평가할 수 있다.

한편 TTI에서 수행한 패치재료의 부착강도는 동결 융해 사이클을 고려하지 않고 실험하였는데도 전체적으로 낮은 평가되었다. 본 연구의 RCC와 유사한 패치재료는 0.66~0.99MPa의 낮은 부착강도 특성을 보였으나 PC-3 제품과 유사한 패치재료는 다소 높은 1.32MPa로서 평가되었다(Markey et al., 2006).

4.3 흡수율

흡수율이 높은 경우 콘크리트의 동결 융해에 의한 상대동탄성계수가 감소하기 때문에 흡수율은 동결 융해 저항성의 가시적인 척도가 될 수 있다. 또한 흡수율이 높을 경우 내화학적이나 중성화 저항성이 저하될 수 있기에 내구성 판단에 중요한 요소이다. 8개 제품에 대한 흡수율의 측정결과를 그림 8에 나타냈다. 이결과 PC계열 <PCC계열 <RCC계열 순으로 나타났다. 특히 PC-3의 경우 72시간 이후의 흡수변

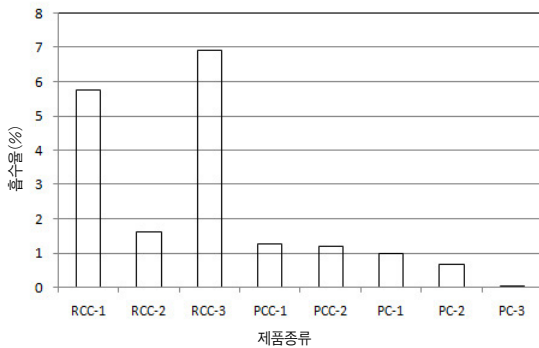


그림 8. 제품별 흡수율의 변화

화율이 거의 없는 것으로 측정되어 폴리머가 혼합된 제품이 특수시멘트(RCC)계열에 비해 흡수율에 대한 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다.

4.4 내화학적

10% CaCl₂와 10% Na₂SO₄의 화학용액을 사용하여 내화학적 실험을 수행하였다. 화학용액에 침전시킨 후 72시간 후의 무게변화를 측정하여 그림 9에 나타났다. 흡수율의 경향과 비슷하게 PC 제품의 경우, PCC 제품이나 특수시멘트(RCC)계열에 비해 내화학적성이 매우 우수한 것으로 나타났다. 특히 PC-3의 경우 내화학적성에 의한 무게변화가 거의 없는 것으로 측정되었다.

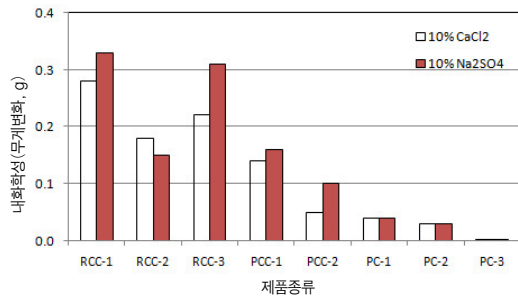


그림 9. 제품별 화학용액에 의한 무게변화

4.5 자외선 노출실험

폴리머는 자외선에 다소 취약한 것으로 알려졌다. 이는 자외선에 장시간 노출될 경우 쉽게 주쇄(Main chain)가 분절되어 표면의 균열이 발생하는 것으로 이해된다. 본 실험에서는 자외선램프 100W의 안에서 10×10×5cm의 시편을 500시간 노광 후의 표면 상태 등 시편의 외관 변화를 관찰하였다. 그러나 500시간 자외선 노광 후에도 8가지 패치재료 모두 표면상의 변화는 관찰되지 않아 자외선 안정성은 적어도 약 3년간은 발생하지 않는 것으로 판단된다. 이는 도로 및 실린트에서의 자외선 500시간 축진 노출 시험을 약 3~5년의 자연환경 노출로 추정하기 때문이다.

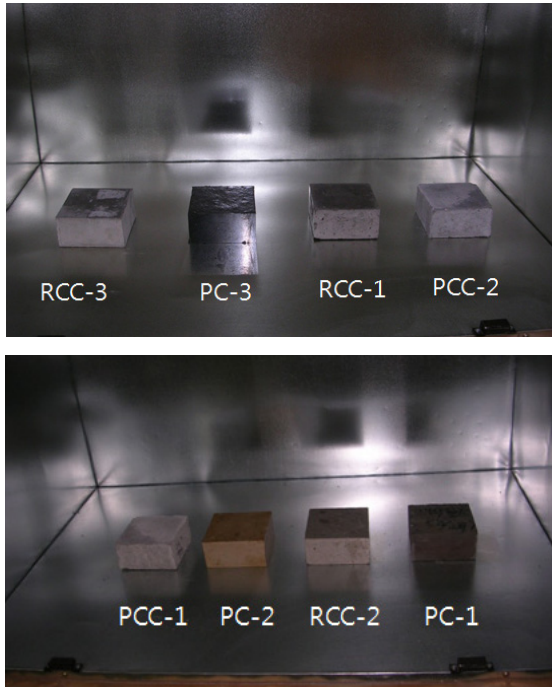


그림 10. 자외선 노출 후의 재료의 외관 변화 관찰

5. 결론

본 연구에서는 국내에 소개되고 있고 미국의 고속도로에서 사용된 보수 재료 중 RCC 3종, PCC 2종과 PC 3종을 선정하여 실내실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다. 다만 본 실험에서는 열팽창계수 실험이 포함되어 있지 않은 것이 다소 미진한 부분이어서 향후엔 이를 포함하여 패치재료를 비교하는 것이 필요하다. 또한 현장시험을 통해 각 패치재료의 장기 공용 성능에 대한 추적조사가 아울러 필요하다.

- 1) 대부분의 패치재료는 교통개방시의 강도 요구 조건을 만족시키는 것으로 나타났고, 그렇지 못한 일부 패치재료도 이후의 압축강도의 발현이 매우 뛰어나서 교통개방에 문제가 없을 것으로 생각된다.

- 2) 탄성계수는 $RCC > PCC > PC$ 계열의 순으로 나타났다. RCC 제품은 24.2~28.9GPa로서 일반 시멘트 콘크리트의 특성에 해당되고, PCC 제품은 14.2~15.2GPa로 측정되었다. PC 제품은 12.6~0.2GPa로 탄성계수의 차이가 매우 크게 나타났으며, PC-3은 아스팔트와 같은 연성의 특성을 보였다.
- 3) 재령일 14일까지는 길이변화율이 $PC-2 > PC-1 > PCC-1 > RCC-2$ 의 결과에서 볼 수 있듯이 폴리머 콘크리트의 길이변화율이 상대적으로 큰 것으로 관찰되었다. 이는 폴리머의 초기반응에서 발생하는 경화수축 특성 때문이며 PC-1 제품의 경우 재령 28일에서는 다소 안정된 결과를 보여서 오히려 PCC-1제품보다 약 30% 축소된 결과를 보인다.
- 4) 상대동탄성계수, 흡수율, 10% $CaCl_2$ 와 10% Na_2SO_4 의 화학용액을 사용한 내화학적 실험 결과 PC계열, PCC계열, RCC계열 순으로 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 흡수율이 높은 경우 상대동탄성계수가 감소하며 내화학적이나 중성화 저항성이 저하될 수 있는 것으로 이해된다.
- 5) PC-3, PC-1, PCC-2, RCC-3의 부착강도는 200~300회 동결융해 이후에서도 현 부착강도의 기준인 1.4MPa를 넘어서는 것으로 평가되었다. 그러나 PCC-1, RCC-1, RCC-2는 각각 동결융해 200회, 300회, 200회 후에서 기준 부착강도의 93%인 1.3MPa로 평가되었다. PC-2를 제외하면 폴리머를 사용한 PC 및 PCC 제품의 부착강도가 RCC 제품보다 전체적인 면에서 우수한 것으로 나타났다.
- 6) 시편을 500시간동안 자외선 노출시험 결과 모든 패치재료 시편에서 균열 및 표면 결함 등의 특이한 변화는 보이지 않아 PC 및 PCC 제품의 자외선에 대한 내구성이 확보됨을 확인하였다.



감사의 글

이 논문은 2007학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

(2004)고속도로전문시방서, 한국도로공사
 “폴리머 몰탈을 이용한 콘크리트 포장 보수”, 2001년 포장보수 시공발표회, 한국도로공사 영동지사.

홍승호, 권순민, 김종민, (2000) “콘크리트 노출교면 상판 및 포장 취약부 보수·보강 방안 연구”, 도로연 00-22 연구보고서, 한국도로공사 도로연구소

G. W. Depuy and F.E. Dimmick, (2003) “Polymer concrete overlays for the repair and protection of concrete”, *Polymers in Concrete: the first thirty years, SP-214, ACI*, pp. 139-149.

F. E. Dimmick, (1996) “15 year tracking study: comparing epoxy polymer concrete to portland cement concrete applied on slab-on-grade and bridge decks”, *Properties and Uses of Polymers in Concrete, ACI SP-166, ACI*, pp.211-231.

J. E. Maass, (1996) “Polyester-based low-shrinkage polymer concrete”, *Properties and Uses of Polymers in Concrete, ACI SP-166, ACI*, pp.189-210.

S. Markey, S. Lee, A. Mukhopadhyay, D. Zollinger, D. Whitney, D. Fowler, (2006) “Investigation of spall repair materials for concrete pavement”, *Research Report 0-5110-1, TTI, Texas A&M University*

K. Rebeiz, S. Yang, D. Fowler, (1944) “Polymer mortar composites made with recycled plastics”, *ACI Materials Journal*, Vol. 91, No. 3, ACI

M. M. Sprinkel, (2003) “Twenty-five-year experience with polymer concrete bridge deck overlays”, *Polymers in Concrete: the first thirty years, SP-214, ACI*, pp. 51-61.

T. J. Van Dem et al., (2005) “Guidelines for early-opening-to-traffic portland cement concrete for pavement rehabilitation”, *NCHRP Report 540, TRB*, pp.26.

T. P. Wilson, K. L. Smith, A. R. Romine, (1999) “Materials and procedures for rapid repair of partial depth spall in concrete pavements”, *Manual of Practice, FHWA-RD-99-15, FHWA Report*

(2008) Maintenance Technical Advisory Guide (MTAG), Volume II Rigid Pavement Preservation 2nd ed., “Chapter 7: Isolated partial depth concrete repair”, *Caltrans Division of Maintenance*

(2004) *Standard Specification for Construction and Maintenance of Highways, Streets, and Bridges*, Texas DOT

접 수 일 : 2009. 3. 10
 심 사 일 : 2009. 3. 20
 심사완료일 : 2009. 5. 12