

초박층 덧씌우기용 아크릴 폴리머 콘크리트의 특성 연구

Characterization of Acryl Polymer Concretes for Ultra Thin Overlays

김 대 영 Kim, DaeYoung	정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 석사과정 (E-mail : ssadare@naver.com)
김 태 우 Kim, TaeWoo	정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 박사과정 (E-mail : jjang717@dreamwiz.com)
이 현 종 Lee, HyunJong	정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : hlee@sejong.ac.kr)
김 형 배 Kim, HyungBae	정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사 (E-mail : kimhyun3@ex.co.kr)

ABSTRACT

This study is performed to evaluate the physical and mechanical characteristics of an acryl polymer concrete that is developed as an overlay material for cement concrete slabs and pavements. Various laboratory tests including viscosity, flow, compressive strength, flexural strength, tensile strength, linear shrinkage, thermal expansion and thermal compatibility tests are performed. It is observed from the laboratory tests that the acryl polymer concrete developed in this study satisfies all the requirements suggested by ACI guideline. In addition to the laboratory tests, an accelerated performance testing (APT) is conducted to validate the performance of the acryl polymer concrete. During the APT, no significant distresses are observed until 15,903,939 cycles of equivalent single axle loading is applied. Finally, a 10mm thick overlay with the acryl polymer concrete is applied on top of an old deteriorated concrete pavement to evaluate field performance. Right after the field construction, skid resistance, noise and roughness are measured. The skid resistance and noise level have been significantly improved while the roughness is increased. Periodic investigation for the field study section will be conducted to evaluate the long-term performance.

KEYWORDS

MMA, ultra thin overlay, acryl polymer concrete, paving materials, performance

요지

본 연구는 콘크리트 슬래브 및 포장도로에 덧씌우기 포장으로 개발된 아크릴 폴리머 콘크리트의 물리 역학적 특성을 평가하기 위하여 수행되었다. 점도시험, 흐름시험, 압축강도시험, 휨 강도시험, 인장강도시험, 선 수축시험, 열팽창계수시험 및 온도변화에 대한 부착성 등 다양한 실내 시험을 실시하였다. 본 연구에서 개발된 아크릴 폴리머 콘크리트의 실내시험 결과 ACI에서 제시하는 모든 기준을 만족하는 것으로 평가되었다. 아크릴 폴리머 콘크리트의 공용성을 평가하기 위해 추가적으로 포장가속시험(APT)을 수행하였으나 등가 단축하중을 15,909,939회를 적용하는 동안 심각한 파손을 확인할 수 없었다. 마지막으로 현장 적용성을 평가하기 위하여 열화 현상이 진행된 콘크리트 도로에 10mm의 폴리머 콘크리트 덧씌우기를 적용하였다. 현장 적용 후 미끄럼 저항성, 소음 및 평탄성을 측정된 결과 미끄럼 저항성 및 소음도는 상당히 개선되었으나 평탄성 측정치는 다소 증가하였다. 추후 현장에 적용된 아크릴 폴리머 콘크리트의 정기적인 조사를 통하여 장기 공용성 평가를 수행할 예정이다.

핵심용어

MMA, 박층 포장, 아크릴 폴리머 콘크리트, 포장재료, 유동화제, 방수층

1. 서론

현재 전 세계적으로 친환경, 저탄소, 지속성장 등의 새로운 성장 패러다임이 제시되고 있다. 이러한 변화는 산업에 전반으로 퍼져나가고 있으며, 종래의 방식으로는 이러한 새로운 흐름을 따라가기 어려운 실정이다. 따라서 이러한 변화하는 시대적 요구에 따라 포장 재료에도 변화가 필요한 실정이다. 현존하는 대표적인 포장 재료이며, 오랜 기간 연구된 시멘트 콘크리트 및 아스팔트 콘크리트에서도 여전히 취약한 문제점들이 존재하는 현 실정을 감안하였을 때 새로운 포장 재료의 연구는 필수 불가결하다. 따라서 본 연구에서는 아크릴계 폴리머 콘크리트 (Acryl Polymer Concrete, 이하 APC라 명칭함)를 포장 재료로 사용하기 위한 연구를 수행하였다.

선진국의 경우 이미 수십 년 전부터 각종 폴리머 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(ACI 548.5R-94, 1998). 폴리머 콘크리트란 시멘트 콘크리트 결합체의 일부 또는 전부를 고분자 폴리머로 대체하여 제조한 것을 말한다. 이것은 교면포장의 주재료로 사용되며(Rosenberg, 2000), 1시간 이내의 초속경성으로 인하여 구조물의 긴급보수 및 국부적인 보수에도 널리 사용된다. 또한 방수기능이 탁월하여 방수층 재료로도 활용되는 등 그 용도가 다양하다.

국내에는 이러한 폴리머 콘크리트에 대한 연구가 미진하며, 그 적용범위도 한정적이었다. 본 연구에서는 기존의 방수층 재료로 사용되고 있는 APC(이광호 등, 2007 ; 서재운 등, 2007)를 콘크리트 교량상판의 박층 교면포장(김태우 등, 2009) 또는 토공부 콘크리트 포장의 덧씌우기 용도로 개발하기 위한 연구를 수행하였다. APC를 사용한 덧씌우기는 외국의 사례를 보면 포장의 두께를 대부분 10mm 이하로 시공하기 때문에 교면포장에 적용할 경우 사하중을 대폭 경감할 수 있을 뿐만 아니라 초속경성으로 인하여 보수공사에 적용할 경우 조기 교통개방의 효과도 클 것으로 기대된다. APC는 초박층으로 시공되기 때문에 사용되는 바인더 및 골재의 양이 기존 포장공법에 비해 현저히 줄어들어 천연자원을 보존하고, 상온에서 시공되는 특성으로 인하여 저탄소 친환경 공법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 APC의 물리 역학적인 특성들을 평가하기 위한 연구와 현장 적용시의 장단기 공용성을 분석하는 연구를 수행하였다. 물리 역학적 특성을 평가하기 위한 실내시험에서는 수지의 함량조절과 유동화제의 첨가를 실시하여 점도, 흐름, 압축강도, 휨강도, 인장강도, 선수축률 및 열팽창계수, Thermal Compatibility 시험 등을 실시하였고, 포장가속시험을 통하여 포장의 장기 공용성을 확인하였다. 이후 스폐링(spalling) 및 우각부 파손(corner break)이 많이 발생한 노후된 콘크리트 포장도로에 시험 적용하여 단기 공용성을 평가하였다.

2. 물성시험

2.1. 시험개요

물성시험은 실내시험과 포장가속시험으로 구분된다. 실내시험은 크게 두 가지 측면에서 살펴볼 수 있다. 첫째는 수지 함량의 조절을 통한 물리적 특성 개선이며, 둘째는 시멘트 콘크리트에 사용되며 강도 및 유동성 증진에 효과가 있는 유동화제의 첨가를 통한 물리적 특성의 개선이다. 또한 포장가속시험을 실시하여 장기 공용성에 대한 검증을 수행하였다.

초박층 덧씌우기용 APC는 기본적으로 골재와 아크릴 수지 및 기타 소량의 첨가제로 구성된다. 수지와 골재의 혼합비율은 사용되는 수지의 물리적 특성과 골재의 입경 및 종류, 특성 등에 따라 달라지며, 본 연구에서는 기존의 선행연구(김태우 등, 2009 ; 서재운 등, 2007)와 예비시험을 통하여 기본 배합비를 표 1과 같이 결정하였다. 본 시험에서 APC의 바인더는 L사에서 개발한 자기 반응형 아크릴 수지(MMA: Methyl Methacrylate)를 사용하였다. APC에 사용된 골재는 최대 직경 1.5mm에서 최소직경 0.07mm의 골재를 일정 비율로 혼합하여 사용하였다. 경화제는 벤졸 페록사이드(Benzoyl Peroxide: BPO)를 사용하였다. 경화제의 함량 증감에 따라 경화시간이 증감하게 되는데 본 시험에서는 수지 중량대비 3%를 사용하였다.

시멘트 콘크리트의 경우 플라이 애쉬의 혼입률이 증가할수록 유동성이 증진되는 효과가 있으며, 혼입률 10%의 시멘트 콘크리트가 혼입하지 않은 경우보다 약 10%의 유동성이 증진된다(최수 등, 1999). 하지만 시멘트 콘크리트와 폴리머 콘크리트는 구성이 다르기 때문에 유동화제의 함량은 수지중량 대비 3%를 사용하였다.

표 1과 같은 재료성분 및 배합비율로 실내시험을 실시하였다. 실내시험은 먼저 현장 적용 시 작업성을 판단해 볼 수 있는 점도시험과 흐름시험을 실시하였으며, APC의 기본적인 물리적인 특성을 살펴보기 위해 압축, 휨, 인장강도시험, 선수축률 및 열팽창계수 시험을 실시하였고, 계절변화에 따라 발생하는 온도변화에 대한 적응성을 살펴보기 위해 Thermal Compatibility 시험을 실시하였다. 실내 시험 후 가장 양호하다고 판단되는 한 개의 배합비율을 선정하여 포장가속시험을 실시하였고 인발시험을 수행하였다.

표 1. 시험적용 시편의 재료성분 및 구성비율

APC Type	재료구성 및 비율	비 고
A	수지:골재=15:85, 유동화제 무첨가	경화제 및 유동화제 첨가량 - 각각 수지중량 대비 3%
A-1	수지:골재=15:85, 유동화제 첨가	
B	수지:골재=17:83, 유동화제 무첨가	
B-1	수지:골재=17:83, 유동화제 첨가	
C	수지:골재=19:81, 유동화제 무첨가	
C-1	수지:골재=19:81, 유동화제 첨가	

현장 시험은 다수의 소규모 현장 시험시공을 실시하여 종래 방식의 문제점을 찾아내고 개선을 하였으며 이것을 바탕으로 실제도로에 시험시공을 실시하였다.

2.2. 시험방법

2.2.1. 점도 시험

수지함량의 변화와 유동화제의 첨가에 따른 점도 변화를 알아보기 위해 점도 시험을 실시하였다. 장비는 Brook Field사의 LVDV-II pro 회전 점도계를 사용하였다. 본 장비는 Spindle의 회전에 따라 Spindle과 혼합물 사이에 발생하는 토크로 점도를 측정하는 장비이다. 시험에 적당한 Spindle 및 RPM을 정하고 각 APC 유형별로 재료를 준비한다. 수지와 경화제는 30초 혼합하고 골재를 첨가하여 1분 30초간 추가로 혼합한 후 점도측정을 실시한다. 만일 재료의 배합비에 따라 회전 점도계의 측정 범위에 들어오지 않을 경우 적절한 RPM 및 Spindle을 교체하여 다시 측정한다.

2.2.2. 흐름 시험

도로의 종단 및 편경사에 따른 APC의 흘러내림 정도를 파악하기 위해 흐름 시험을 실시하였다. 시험은 먼저 도로표면의 경사를 모사하기 위하여 그림 1과 같이 경사도가 각각 2, 4, 6, 8%가 되는 나무판을 제작하였다. 나무판에는 먼저 아크릴계 프라이머를 도포하여 실제 APC를 사용하여 포장할 경우와 같은 효과를 주었다. 준비된 나무판의 소정의 위치에 나무틀을 올려놓고 틀안에 일정량의 APC를 부은 다음 틀을 제거하고 APC가 자유롭게 흘러내릴 수 있도록 방치한다. APC의 경화가 종료되면 APC가 흘러내린 거리를 측정한다.

2.2.3. 강도 시험

본 시험에서는 압축, 휨, 인장 강도 시험을 실시하였다. 국내의 경우 폴리머 콘크리트에 대한 시험규정이 없기 때문에 ASTM 규정에 준하여 시험을 실시하였다. 각 시험은 ASTM C579, ASTM C580, ASTM D638에 준하여 만능재료 시험기를 사용하여 실시되었다. 압축강도 시험은 50mm의 정사각형 시편을 사용하여 5mm/min의 하중재하 속도로 23℃에서 실시하였으며 6개 시편의 평균값을 사용하였다. 휨강도 시험은 25×25×300(mm)의 시편을 사용하여 3.53mm/min의 하중재하 속도로 +20, +5, 0, -5, -10, -15℃의 6가지 온도에서 실시하였으며, 6개 시편의 평균값을 사용하였다. 인장강도 시험은 길이 246mm, 폭 29mm, 목부분 길이 57mm, 목부분 폭 19mm, 두께 10mm의 아령형 시편을 사용하여 5mm/min의 하중재하 속도로 23℃에서 실시하였으며 규정상 5개의 시편 평균값을 사용하나 상기 시험들과 마찬가지로 6개 시편의 평균값을 사용하였다.

2.2.4. 선수축률 및 열팽창계수 시험

본 시험은 ASTM C531-00에 준하여 실시하였다. 먼저 선수축률 시험은 25×25×300mm의 시편을 준비하여 23±2℃의 상태로 보관하며, 제작일로부터 2주간 매일 적합한 길이 측정 장비를 사용하여 시편의 길이를 측정한다. 길이를 측정하는 과정에서 더 이상 길이 변화가 일어나지 않는다고 판단되었을 때 시편을 3일간 100℃의 챔버에 보관한다. 이후 챔버에서 시편을 꺼내고 23±2℃에서 방치를 하고 다시 길이 측정을 실시한다. 이때의 길이가 챔버에 넣기 전 길이와 같다면 수축이 완료된 것으로 보고 최초 시편길이 대비 수축한 시편길이를 수축률을 구한다. 하지만 계속 길이 변화가 발생할 경우 위의 과정을 반복한다.

이렇게 선수축률을 구한 후 이 시편을 사용하여 열팽창계수 시험을 실시한다. 동일 시편을 100℃의 챔버에 최소 16시간이상 보관한 후 챔버에서 꺼내 적합한 길이 측정장비를 사용하여 신속하게 길이를 측정한다. 이때 챔버의 온도변화가 생기지 않도록 주의하며, 변화가 발생하였을 경우 시간을 더 두어 시편의 향온을 유지하도록 한다. 시험값은 4개 시편의 평균값으로 구한다.

2.2.5. Thermal Compatibility

계절변화에 따라 발생하게 되는 온도변화에 대한 현장에서의 바닥판과 포장층의 접착성을 판별해 보기 위해 본 시험을 실시하였다. 시험은 ASTM C884/C884M-98에 준하여 실시하였다. 시험시편은 각 배합비를 당 두 개를 기본으로 한다. 먼저 300×300×75mm의 콘크리트 시편을 최소 14일 이상의 양생 기간을 두어 제작한다. 양생 후 콘크리트 시편 표면에 APC를 성형하기 전에 샌드블라스트로 표면처리를 한다. 본 시험에서는 시험 여건상 그라인더로 표면처리를 실시하였다.

표면처리 후 프라이머를 사용하여 준비된 콘크리트 시편 상부에 빠짐없이 얇게 도포를 실시한다. 이 위에 몰탈을 성형하기 위해 적당한 틀을 콘크리트 시편 주위에 부착을 한다. 이 틀은 나무, 철판, 아크릴 등 어느 것을 사용하여도 무방하며 15mm의 높이를 갖는 몰탈을 성형하는데 부족함 없는 높이로 한다. 이렇게 준비된 콘크리트 시편에 몰탈을 성형하여 24시간 후에 틀을 제거하고 추가로 6일간 더 양생한다. 양생이 끝나면 시편을 -21±2℃의 챔버에 24시간을 보관한다. 이후 시편을 23±1℃의 챔버에 보관한다. 이것을 한 사이클로 하여 네 사이클을 더 반복한다. 이후 몰탈과 콘크리트 시편 사이의 접착상태 및 균열 여부를 관찰한다.

2.3. 시험결과

2.3.1. 점도 시험

수지함량의 변화와 유동화제의 첨가에 따른 점도변화를 살펴보기 위해 점도시험을 실시하였고 결과는 표 2와 같다. 수지함

량이 상대적으로 가장 적은 A 시편이 점도가 가장 높게 측정되었다. 유동화제의 첨가에 따른 점도의 변화는 매우 작으며, 수지함량 변화에 따른 점도변화와 비교했을 때 유동화제가 점도에 미치는 영향은 미미한 것으로 사료된다. 외국에서 박층 덧씌우기용으로 사용되는 T사 제품의 점도를 비교해보면 B 시편과 매우 유사함을 알 수 있다.

표 2. 점도시험 결과

구분	A	B	C	외국 T사 제품
유동화제 무첨가	139,698 cP	99,846 cP	69,655 cP	99,562 cP
유동화제 첨가	139,415 cP	100,031 cP	70,980 cP	

2.3.2. 흐름 시험

실제 현장에서 APC를 시공하였을 때 도로의 경사에 의해 APC가 어느 정도 흘러내리는가를 평가하기 위해 흐름 시험을 실시하였고, 결과는 표 3과 같다. 결과를 살펴보면 경사가 증가함에 따라 흐름 값이 크고 유동화제를 첨가한 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 흐름 값이 크다. 이것으로 유동화제의 첨가는 점도에는 영향이 거의 없지만 실질적인 유동성에 영향이 있음을 알 수 있다. APC의 유동성은 시공성 측면에서 매우 중요하다. 유동성이 지나치게 클 경우 너무 흘러내려 시공이 불가능하고, 반대로 작을 경우에는 유동성이 부족하여 시공이 어렵게 된다. 따라서 적절한 유동성을 확보하는 것은 매우 중요하다.

경사가 작은 경우에는 유동화제를 첨가할 경우 첨가하지 않은 경우에 비해 약 15~20%정도의 흐름 값이 증가했으며, 경사가 큰 경우에는 약 2~3%의 흐름 값이 증가한 것을 확인할 수 있었는데 이것으로 경사가 큰 경우에는 유동화제의 첨가로 인한 영향보다는 경사 자체의 영향이 흘러내림에 지배적인 역할을 하는 것을 알 수 있었다.

또한 경사가 작은 경우를 살펴보면 유동화제를 첨가하지 않은 C 시편과 유동화제를 첨가한 B-1 시편의 흐름 값이 비슷한 것을 확인할 수 있다. 이것은 유동화제의 첨가로 유동성 증진의 효과를 볼 수 있는 저 경사에서는 수지의 함량을 약 2% 정도 감소 시켜도 동일한 유동성을 확보할 수 있음을 의미한다. APC의 재료 구성에서 상대적으로 고가인 수지의 함량을 줄일 수 있는 것은 경제적으로 상당한 잇점이 있기 때문에 유동화제

표 3. 흐름 시험 결과

구분	2%	4%	6%	8%
A	1.85cm	2.3cm	2.82cm	3.08cm
B	1.92cm	2.75cm	3.25cm	3.39cm
C	2.25cm	2.94cm	3.7cm	4.23cm
A-1	2.15cm	2.48cm	2.91cm	3.18cm
B-1	2.2cm	2.69cm	3.52cm	4.08cm
C-1	2.7cm	3.79cm	3.83cm	4.32cm

의 사용으로 공사비 절감 등의 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

2.3.3. 강도 시험

점도, 흐름 시험 결과 수지의 함량이 상대적으로 가장 많은 C 시편은 유동성이 너무 커서 현장의 시공성에 악영향을 미칠 수 있을 것으로 판단하여 강도시험에서는 제외를 하였다. 강도시험 결과는 표 4와 같다. 먼저 압축강도를 살펴보면 네 가지 시편에서 큰 강도의 차이를 보이지는 않았다. 유동화제의 첨가로 강도증진의 효과는 있었으나 그 영향은 매우 작았다. 따라서 휨강도 및 인장 시험에서는 유동화제를 첨가한 시편을 제외하였다.

휨강도 시험결과를 살펴보면 상온에서는 약 7MPa 정도의 값을 나타냈으나, 저온에서는 약 22MPa 이상의 강도 값을 나타냈다. 인장강도의 경우 약 5MPa 정도의 값을 나타냈으며, 신장률은 약 3% 정도로 나타났다. 강도시험결과 수지의 함량이 상대적으로 적은 A 시편이 B 시편에 비해 다소 높은 강도 값을 나타냈으며, 이와는 반대로 파피시 변형률의 경우는 A 시편이 B 시편에 비해 다소 작은 값을 나타내었다.

표 4. 강도시험 결과

	압축 강도 (MPa)	파피시 압축 변형률	휨강도(MPa)			파피시 휨변형률			인장 강도 (MPa)	신장률
			+20	-5	-15	+20	-5	-15		
A	22.07	0.160	6.9	22.5	27.6	0.0337	0.0076	0.0059	5.57	3.36
B	21.02	0.172	7	22.7	26.6	0.0329	0.0091	0.0072	4.98	3.88
A-1	22.46	0.159	-	-	-	-	-	-	-	-
B-1	21.21	0.166	-	-	-	-	-	-	-	-

2.3.4. 선수축률 및 열팽창계수시험

선수축률 및 열팽창계수 시험을 실시하였고 그 결과는 표 5와 같다. 선수축률은 0.171~0.284%의 범위에서 나타났으며 열팽창계수는 $4.778 \times 10^{-5} \sim 5.972 \times 10^{-5} \text{mm/mm/}^\circ\text{C}$ 의 값을 나타냈다. A 시편이 B 시편에 비해 수축률과 열팽창계수가 작은 것으로 나타났다. 이는 A 시편이 B 시편에 비해 수축팽창에 주로 관여하는 수지의 함량이 적기 때문에 나타난 결과라고 사료된다.

선수축률 및 열팽창계수는 폴리머 콘크리트의 균열특성에 큰 영향을 미치는 인자들이다. 폴리머 콘크리트는 경화방응이 일어나는 동안 수지가 수축을 하게 된다. 따라서 선수축률이 클수록 경화시의 수축이 큰 것을 의미한다. 경화시 수축이 크게 되면 바닥판은 수축하지 않으나 폴리머 콘크리트가 수축하게 되어 인장균열이 발생할 수 있다. 또한 바닥판 재료와 폴리머 콘크리트간의 열팽창계수가 크면 클수록 열팽창계수 차이로 인한 온도균열이 발생하기 쉽다. 일반적으로 폴리머 콘크리트는 시멘트콘크리트에 비해 열팽창계수가 3~7배 정도 큰 것으로

알려져 있다. 따라서 APC의 연성이 충분하지 않으면 열팽창계수 차이로 인해 발생하는 인장응력을 흡수할 수 없어 균열이 발생하게 된다. 따라서 APC를 박층 포장용으로 사용하기 위해서는 재료의 연성을 충분히 확보하는 것이 매우 중요하다.

표 5. 선수축률 및 열팽창계수시험 결과

평균값	수축 후 시편길이 (mm)	수축량 (mm)	선수축률 (%)	팽창 후 시편길이 (mm)	팽창량 (mm)	열팽창계수 (mm/mm/°C)
A	299.49	0.514	0.171	300.59	1.102	4.778×10^{-5}
B	299.15	0.853	0.284	300.52	1.376	5.972×10^{-5}

2.3.5. Thermal Compatibility

온도변화에 따른 APC의 적응성을 살펴보기 위해 Thermal Compatibility 시험을 실시하였고, 결과는 표 6과 같다. 본 시험은 시험의 종료 후 균열 및 접착상태 이상 유무 등으로 시험 결과를 판단하는 Pass/Non Pass 시험으로, 시험 종료 후 시편에서는 균열 및 접착상태와 관련하여 어떠한 변화도 찾아볼 수 없었다. 따라서 본 APC는 온도변화에 따라 발생할 수 있는 상태변화에 적절한 대응성을 갖고 있다고 판단된다.

표 6. Thermal Compatibility 시험 결과

구 분	A1	A2	B1	B2
Pass/Non Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

2.4. 결과 비교

현재까지 수행한 실내시험결과를 종합하여 ACI(American Concrete Institute) 가이드(ACI, 1998)에서 제시하고 있는 물성기준을 표 7에 비교하였다. 표 7에서와 같이 아크릴 폴리머 콘크리트의 경우 사용되는 수지의 물성이나 함량에 따라 물리적인 성질이 많이 변화되기 때문에 ACI 가이드에서도 아크릴계 폴리머 콘크리트의 일반적인 물성 범위만 제시되어 있다. 표에서 보는바와 같이 본 연구에서 개발한 APC의 물성은 가이드에서 제시한 물성에 비해 연성이 많아 탄성계수가 낮고 휨강도가 낮은 것을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 개발한 APC는 강상판 또는 콘크리트 상판의 박층 교면포장재로 적용하기 위해 개발한 것으로서 저온에서의 휨 추종성이 우수하고 상판과의 열팽창계수 차이에 의한 균열 등을 억제하기 위해 연성을

표 7. ACI Guide에 제시된 물리적 특성과의 비교

구 분	경화시간 (hr)	압축강도 (MPa)	휨강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	Thermal Compatibility
본연구 (시편 A)	1-2	22	7	0.14×10^3	Pass
ACI Guide (Methacrylate)	1-3	14-62	9-21	$0.34-6.9 \times 10^3$	-
Test Method	-	ASTM C579	ASTM C580	ASTM C579	ASTM C884

대폭 키운 결과로 판단된다.

ACI 가이드에는 폴리머 콘크리트에 쓰이는 대표적인 몇 가지 수지의 종류에 따른 물성 값이 제시되어 있기 때문에 개략적인 비교는 가능하다. 하지만 향후 현장 시험 시공을 위해서는 본 연구에서 다루고 있는 아크릴 폴리머 콘크리트의 물리적인 특성을 보다 객관적으로 판단할 수 있어야 한다. 따라서 상용화 되어 있는 해외 제품과의 물리적인 특성을 비교해 보았다. 표 8은 본 연구에 사용한 아크릴 폴리머 콘크리트와 해외의 박층 포장용 폴리머 콘크리트 제품과 비교한 것이다. 표 8에서 볼 수 있듯이 주요 물리적인 시험 값들은 매우 비슷한 값을 보이며, 본연구에서 개발한 아크릴 폴리머 콘크리트가 약간 우수한 값을 갖는 항목도 있음을 알 수가 있다. 따라서 연구의 목표인 박층 포장용 표층 재료로서 사용하기 위한 적합한 물리적인 성질을 갖추었다고 사료된다.

표 8. 외국 제품과의 물리적 특성 비교

구 분	본연구(시편 A)	외국제품(MMA계)	외국제품(Epoxy계)
압축강도 (MPa)	22	10.3~17.2	34
휨 강도 (MPa)	7	5.5~8.3	12
인장강도 (MPa)	5.6	3.4~5.5	12
열팽창계수 (/°C)	4.8×10^{-5}	9.24×10^{-5}	$1.1 \sim 1.3 \times 10^{-5}$
부착강도 (MPa)	>5.5	>1.7	>1.7

3. 포장가속시험

3.1. 포장가속시험 개요 및 결과

본 연구에서 개발한 아크릴 폴리머 콘크리트에 대한 실내 물성시험 결과 외국의 유사 제품과 동등한 물리적 성질을 갖춘 것으로 판단하여, 실제 현장에 폴리머 콘크리트를 적용하기 전 공용성을 평가하기 위하여 포장가속시험을 실시하였다. 포장가속시험은 한국도로공사 도로교통기술연구원내에 있는 APT 시험동에서 실시하였다.

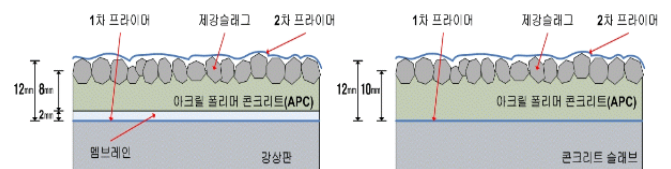


그림 1. 일반적인 아크릴 폴리머 콘크리트의 단면 구성

APC를 교면포장으로 적용할 경우 일반적인 포장의 단면 구성은 그림 1과 같다. 그림에서 보는바와 같이 바닥판이 콘크리트

트일 경우 1차 프라이머층 상부에 APC층이 있는 반면, 바닥판이 강상판일 경우에는 프라이머층과 APC층 사이에 멤브레인층을 두게 되는데 이는 강상판의 경우 처짐량이 훨씬 크기 때문에 휨에 대한 추중성과 내균열성을 향상시키기 위하여 설치하는 층이다. 멤브레인층은 직경 0.05mm 이하의 골재분말에 MMA 수지를 중량 대비 30% 이상 혼합하여 사용한다. 따라서 수지의 함량이 크기 때문에 마치 고무와도 같은 탄성효과를 줄 것으로 기대하며, 강상판과 APC층 사이에서 휨 및 진동에 대한 내균열성을 향상시켜줄 수 있을 것으로 기대된다.

본 APT시험에서는 시험시간의 단축을 위하여 처짐량을 크게 하기 위해 강상판을 제작하여 그림 1과 같은 두 가지의 포장 단면에 대해 가속시험을 수행하였다. APC의 경우 실내시험에서 A type으로 사용하였던 배합비율을 적용하였다.

시험은 최초 총 23톤/윤하중 5.7톤의 하중조건으로 실시되었고 38,000회 까지 하중재하를 실시하였다. 이후 육안으로 어떠한 소성변형 및 균열을 확인할 수 없었기 때문에 하중크기를 증가시켜 총 31톤/윤하중 7.85톤으로 160,000회까지 하중재하를 실시하였다. 포장상태는 여전히 양호하였기 때문에 총 36톤/윤하중 9톤으로 하중조건을 상승시켰으며, 600,000회까지 하중재하를 실시하였다. 이러한 하중 조건 하에서 시험 종료 후에도 포장상태는 매우 양호하였으며 어떠한 소성변형이나 균열, 치핑골재의 탈리 등도 찾아볼 수 없었다. APT 시험시 가해진 윤하중을 개략적인 방법으로 8.2ton 등가단축하중으로 변환해 보면 약 15,903,939회의 하중이 재하된 효과와 동등한 것으로 나타났다.



그림 2. APC 포장에 대한 가속시험 전경

3.2. 포장가속시험 Pull-out test

포장가속시험 종료 후 APC의 부착상태를 판단하기 위해 Pull-out 시험을 실시하였다. 포장구간을 세부분으로 나누어 각 구간에 3회씩 측정하여 평균값으로 부착강도를 결정하였다. 먼

저 시험에 앞서 표면처리를 위해 살포되어 있는 제강슬래그 골재를 연마기로 갈아내고 그림 3과 같이 부착강도를 측정하였다.



그림 3. 포장가속시험 종료 후 부착강도 측정시험

시험결과는 표 9와 같으며 3군데 시험위치 중 1개 위치에서만 상판으로부터 약 1/4 정도 원재료가 분리되었고, 나머지 위치에서는 모두 지그의 본드부분에서 분리되었다. 결과를 살펴보면 본드에서 분리가 일어난 경우 약 2.5~4.3MPa 정도의 부착강도를 나타냈으며, 원재료에서 분리가 일어난 경우 약 5.5MPa 정도의 부착강도를 나타냈다. 따라서 실제적인 아크릴 폴리머 콘크리트의 부착강도는 5.5MPa 이상일 것으로 사료된다.

표 9. Pull out test 결과

구 분	시험 위치		
	1	2	3
최대하중(N)	43,480	20,000	34,383
단면적(mm ²)	7,850	7,850	7,850
파괴면	원재료	본드	본드
부착강도(MPa)	5.54	2.55	4.38

4. 시험시공

4.1. 시험시공 개요

실내시험 및 포장가속시험 등을 통하여 APC의 성능 및 시공 과정에서 발생할 수 있는 문제점들을 개선하였다고 판단하여 시험시공을 실시하여 APC의 현장 적용성 및 공용성을 평가하고자 하였다. 2009년 11월 중앙고속도로 춘천에서 원주방향으로 오산교 입구부에 시공을 실시하였으며, 총연장은 72m이며 폭은 8.2m이다. 이 구간의 도로는 그림 4와 같이 콘크리트가 열화된 상태로 종방향 및 횡방향 조인트부에서 스폐링(spalling)과 우각부 파손(corner break)이 전반적으로 발생한 상태이다. 일반적으로 사용하는 아스팔트 덧씌우기 방법으

로 보수 시 기존 도로와의 단차발생 문제 등으로 10mm의 APC 초박층 덧씌우기로 보수를 실시하는 것으로 계획하였다. 열화된 콘크리트면의 물탈을 제거하기 위하여 먼저 슛블라스트 작업을 실시하였고, 스펀링과 우각부 파손 구간은 파쇄기를 사용하여 인력으로 모두 손상부위를 제거하였다.

면정리가 완료된 다음 미세균열을 충전하고, 기존 콘크리트면과 APC층의 부착성을 증대시키기 위하여 1차 프라이머 도

포작업을 진행하였다. 다음으로 10mm 두께로 APC 포장을 포설하였다. 포설은 인력으로 수행하였으나 APC 자체의 레벨링 기능이 우수하기 때문에 비교적 양호한 평탄성을 확보할 수 있었다. 포설과 동시에 미끄럼 저항성을 증대하기 위한 골재살포 작업을 수행하였다. 약 1~2시간 정도의 경화시간이 경과한 후 APC와 결합되지 않은 잔여 골재를 청소하고 골재의 부착성 증대를 위한 2차 프라이머를 도포하여 시공을 완료하였다.



(a) 파쇄기로 손상부위 제거 광경



(b) 우각부 파손 부위



(c) APC 포설광경



(d) 초박층 APC 덧씌우기 완료 후 전경

그림 4. 초박층 APC 덧씌우기 시험시공 과정



(a) 평탄성 평가



(b) 소음도 평가

그림 5. 초박층 APC 덧씌우기 시험시공구간 평탄성 및 소음 측정

4.2. 아크릴 폴리머 콘크리트의 현장 시험

본 시험시공 완료 후(2009년 12월 8일) 미끄럼 저항성 및 평탄성, 소음도 항목에 대한 현장 시험을 실시하였다.

4.3. 항목별 평가 결과

현장시험결과를 표 10에 기술하였다. 평탄성 측정결과 기존 콘크리트 포장보다 다소 나빠진 것으로 나타났다. 현재 폴리머 콘크리트를 시공할 때 적절한 장비가 아직 개발되지 않아 인력 포설에 의존하기 때문에 평탄성 측면에서는 기존 도로포장보다 약간 높은 값을 나타냈으며, 추후 포설장비가 개발되어지면 평탄성은 대폭 개선될 것으로 사료된다.

소음측정에서는 -3.5dB의 소음저감 효과가 있으며, 미끄럼 저항값도 기존 도로보다 높게 측정되어 마찰력이 우수한 것을 확인하였다.

표 10. 항목별 현장 평가 결과

평가구간	IRI(m/km)	등가소음도(dB)	미끄럼저항값(SN)
콘크리트 포장	1.97	83.3	43.3
초박층 APC 포장	2.58	79.8	67.4

5. 결론

본 연구에서는 콘크리트 상판교면포장 또는 토공부 콘크리트 포장의 보수용으로 적용하기 위한 초박층 아크릴 폴리머 콘크리트를 개발하는 연구를 진행하였고, 연구를 통해 얻어진 주요 결론은 다음과 같다.

1. APC의 물리적인 특성을 평가하기 위하여 점도, 흐름, 압축 강도, 휨강도, 인장강도, 선수축, 열팽창계수, Thermal Compatibility 시험 등을 실시하였다. 실내시험 결과 본 연구에서 개발한 APC의 물리적 특성은 ACI에서 제시하는 물성과 비교해 보았을 때 큰 차이를 보이지 않았으며, 실질적인 비교를 위해 기존의 상용화 되어 있는 해외의 폴리머 콘크리트 제품들과의 물리적 특성을 비교한 결과 매우 유사한 성질을 보이는 것을 확인할 수 있었다.
2. APC의 장기 공용성을 평가하기 위해 포장 가속시험을 수행하였으며, 15,900,000회의 8.2톤 등가단축하중 재하시까지도 포장에는 어떠한 균열 및 소성변형 기타 파손이 발생하지 않았다.

3. APC의 현장 적용성과 공용성을 평가하기 위하여 기존의 파손이 많이 발생한 토공부 콘크리트 포장에 두께 10mm로 초박층 덧씌우기 시험시공을 수행하였다. 시험시공은 성공적으로 진행되었고 시공 완료 후 현장시험 결과 소음 및 미끄럼 저항성은 획기적으로 개선되었으나 평탄성이 조금 저하됨을 알 수 있었다. 향후 평탄성 개선과 작업성 향상을 위하여 시공장비의 개발이 필요한 것으로 판단된다.
4. APC의 장기 공용성 평가를 위해 보다 많은 현장 시험이 필요하며, 작업성 및 평탄성 개선을 위한 추가 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계 시공기술 개발사업 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 김태우(2009). "교면포장용 아크릴 콘크리트의 물리적 특성 연구", 석사학위논문, 세종대학교
- 서재운(2007). "교면포장에 사용될 방수 및 보수용 MMA에 관한 기초연구", 석사학위논문, 세종대학교.
- 이광호 등 (2007). "장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계시공 개발 연구보고서", 건설핵심기술연구개발사업 보고서, R&D/05 건설핵심D08-01, 한국도로공사.
- 최수 등(1999). "플라이애쉬 콘크리트의 특성 및 적응성에 관한 연구", 대한주택공사 주택연구소, 토지주택공사.
- Borys F. Schafran et al(1998). "Guide for Polymer Concrete Overlays." ACI 548.5R-94, American Concrete Institute, Detroit, MI.
- Jeanne Rosenberg (2000) "Thin pavements with synthetic binder used in Denmark", Danish Road Institute Report 105.
- ACI 548.5R-94 (1998) "Guide for Ploymer Concrete Overlays", American Concrete Institute.

접 수 일 : 2010. 2. 18

심 사 일 : 2010. 2. 19

심사완료일 : 2010. 5. 19