



아크릴 수지로 코팅한 배수성 아스팔트 콘크리트의 특성 평가

Characterization of Porous Asphalt Concrete Coated with MMA Resin

최 태 준* 이 현 종** 김 태 우*** 송 재 혁****
 Choi, Tae Jun Lee, Hyun Jong Kim, Tae Woo Song, Jae Hyok

Abstract

This paper presents a fundamental findings of the functional and structural performance of the porous asphalt concrete coated with MMA resin. To evaluate the structural performance, cantabro, wheel tracking, moisture sensitivity and indirect tensile fatigue tests are performed. The tests results show that the cantabro loss is reduced three times and fatigue resistance is significantly increased after the specimens are coated with MMA resin. However there are little changes in the rutting and moisture damage resistances before and after the coating. Air voids, permeability and BPT(British Pendulum Test) tests are conducted to study the functional performance. It is observed form the tests that the air voids and permeability are slightly decreased after the coating. However, the changes in the air voids and permeability are negligible. The skid resistance of the coated specimens is lower than reference specimens. However, the skid resistance is maintained beyond the level of the reference specimens when silica sands are chipped on top of the coated surface.

Keywords : MMA, coating, porous asphalt, cantabro, crack, moisture damage, coefficient of permeability, skid resistance

요 지

본 연구는 배수성 아스팔트 포장의 표면을 아크릴 수지로 코팅 처리할 경우 내구성 측면 및 기능적 측면에서 어떠한 효과가 있는가를 실내시험을 통해 평가하는 기초적인 연구이다. 포장의 내구성 측면에서는 칸타브로 및 휠트래킹, 수분손상, 간접인장 피로 시험 등을 실시하였다. 시험결과 시편을 수지로 코팅을 한 경우 칸타브로 손실률이 3배 정도 감소되었고 균열에 대한 저항성도 대폭 향상되었으나 수분손상 및 소성변형의 저항성은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 기능적인 측면에서는 코팅 전 후의 투수계수 및 공극률, BPT(British Pendulum Tester)를 사용한 미끄럼 저항성의 변화를 측정하였다. 시험결과 공극률 및 투수계수는 약간 저하되나 기능상의 문제는 없을 것으로 판단되며, 미끄럼 저항성은 규사를 살포하지 않을 경우 미끄럼 저항성이 감소되나 규사를 살포할 경우 코팅 전 수준 이상의 미끄럼 저항성을 확보하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : MMA, 코팅, 배수성 포장, 칸타브로, 균열, 수분손상, 소성변형, 투수계수, 미끄럼 저항성

* 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 석사수료(E-mail: matina79@nate.com)
 ** 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 부교수 · 공학박사(E-mail: hlee@sejong.ac.kr)
 *** 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 박사과정(E-mail: jjang717@dreamwiz.com)
 **** 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 석사과정(E-mail: cetus00@hotmail.com)



1. 서론

21세기를 맞이하여 사회 및 경제 정세의 변화와 국민 생활이 고도화 되면서 도로를 둘러싼 상황은 크게 변화하였으며, 도로에 대한 요구도 다양해지고 있다. 특히 현재 국내뿐만이 아니라 전 세계적으로 환경 친화적인 도로의 건설이 대두되고 있는 실정이다.

도로는 산업화 사회의 중요한 기간시설로서 우리나라의 경우 국내 수송물량의 90% 이상을 분담하는 국가교통의 중심시설이지만, 일반 아스팔트 포장은 우천시 수막현상으로 인한 교통사고의 원인을 제공하고 있으며 소음 및 소성변형(rutting)이 많은 문제로 제기되어 왔다(일본도로협회, 1999). 도로 포장은 도로 이용자의 요구에 부합하며 발전하였고, 인류의 생활수준 및 양상이 달라짐에 따라서 이용의 목적과 방법 또한 현저히 변모해 왔다. 최근 교통사고의 문제와 환경의 중요성 대두 등은 도로기술의 수동적 입장에서 능동적 입장으로의 전환을 요구하고 있다.

능동적 입장, 즉 도로 이용자에게 최선의 서비스 제공의 측면에서 볼 때 고급포장의 하나로 배수성 포장을 들 수 있으며, 이의 현장 적용으로 미끄럼 사고의 방지, 수막현상 및 물 튀김 현상 방지, 야간 시인성 향상, 소음의 감소 등을 기대할 수 있다. 현재 일본의 경우 수도권 고속도로를 중심으로 아스팔트 포장의 90% 이상 배수성포장을 적용하여 소음 및 교통사고 저감을 위해 적극적인 대처를 하고 있다. 국내의 경우에도 약 10년 전부터 배수성 포장을 도입하여 부분적으로 적용하고 있으나 배수성포장의 시공불량이나 품질관리 미흡 등으로 인한 조기파손 및 기능성 저하 등의 문제 등으로 일본에 비해 적용실적이 상당히 미미한 실정이다.

배수성 포장의 가장 일반적인 파손 유형은 골재의 탈리, 균열 및 포트홀 등이다. 이는 기존 밀입도 아스팔트에 비해 강우 및 강설 등에 의한 수분이 배수성 포장을 자유롭게 이동할 수 있어 수분손상에 의한 균열 및 포트홀 등이 조기에 발생할 수 있는 환경에 노출되어 있기 때문이다. 배수성 포장이 가지고 있는

여러 기능적인 장점에도 불구하고 이러한 조기 파손 및 시공단가의 상승 등으로 인하여 도로관리적인 측면에서 아직도 국내에서는 그 사용이 확대되는데 걸림돌로 작용하고 있다.

본 연구에서는 배수성 포장의 내구성 향상을 위하여 최근 일본에서 시도되고 있는 수지코팅에 대한 효과를 분석하는 연구를 수행하였다. MMA(Methyl Methacrylate) 또는 에폭시 수지 등을 배수성 포장의 표면에 두께 2mm 내외로 코팅하여 골재의 탈리나 포트홀 등의 발생을 억제하는 동시에 추가적인 소음감소효과를 기대하는 것이다.

본 연구에서는 세종대학교와 국내 L사에서 공동으로 개발한 MMA 수지(이하 아크릴 수지로 명칭함)를 적용하여 배수성 아스팔트 콘크리트의 내구성 향상 연구를 수행하였다. 이를 위하여 아크릴 수지로 표면 코팅된 배수성 아스팔트 콘크리트 시편과 일반 시편에 대한 투수계수, 공극률, 역학적 특성시험 등 실내시험을 통하여 아크릴 수지 코팅의 효과를 분석하였다.

2. 아크릴 수지의 특성

2.1 아크릴 수지의 개요

아크릴 수지(MMA 수지)는 Acrylic과 Methacrylic Acid Ester의 중합반응공정을 거쳐 이중 탄소 결합을 갖도록 만든 반응형 수지이다. 아크릴 수지는 내구성 및 내열성, 내화학적, 내마모성, UV 안전성 등이 뛰어나다. 일본 및 유럽, 미국 등에서는 교면포장의 방수제 및 콘크리트의 부분 단면보수 등 다양한 용도로 적용하고 있다. 국내의 경우 최근 세종대학교와 한국도로공사(서재운, 2007)에서 공동으로 아크릴 수지를 교량상판의 방수제 및 단면보수재로 적용하는 연구를 수행하였다.

아크릴 수지는 일반적으로 경화촉진제를 첨가하여 경화시간을 조절한다. 경화촉진제로는 분말형태의 벤졸과산화물(Benzoyl Peroxide, BPO)이 많이 사

용되는데 목표로 한 경화시간 및 대기온도조건 그리고 표면 온도에 따라 달리 사용 할 수 있다.

2.1.1 아크릴 수지

아크릴 수지는 반응성 수지로서 그 중에서도 열을 발생시키며 경화하는 수지에 속한다. 반응성 수지란 에스테르, 아크릴, 메타크린산에 기초하며, 이런 화학적 합성물의 특징은 탄소 이중결합 집합(C=C)구조를 갖는다. 이러한 결합은 반응성이 풍부하며 특히 첨가반응이나 중합반응을 일으키기 쉽다고 알려져 있다. 이는 여타 반응성 수지가 정확한 비율을 혼합하여야 하는 액체기와 액체경화제에 의해 전체 양생이 된다는 것과 큰 차이점을 보인다. 즉 반응성 수지에서는 경화제가 화학적 양생(중합)을 유도하는 유일한 역할을 하고 있다.

보통 MMA와 PMMA, BA(Butyl Acrylate) 등을 일정한 비율로 혼합하여 제조한다. 본 연구에서는 MMA를 주원료로 하는 수지에 경화시 발생하는 수축량을 감소시키고 열팽창계수를 감소시키기 위하여 PMMA를 첨가한 다음, 연성 및 탄성을 강화하기 위하여 BA와 기타 첨가제를 일정량 혼합하여 기존 아크릴 수지에 비해 탄성 및 연성이 3배 이상 증가된 고탄성 아크릴 수지를 사용하였다.

2.1.2 경화제

경화제로는 일명 BPO로 불리는 벤조 페록사이드를 사용한다. 벤조 페록사이드는 여러 유기과산화물 중 그 산화력이 가장 강하여 가열 및 마찰, 충격 등에 의해 쉽게 폭발, 인화되거나 수분을 함유하고 있으면 그 위험성이 현저히 떨어지는 물질이다. 물에는 쉽게 녹지 않으나 에테르 등의 유기용제에는 잘 녹으며, 용제 속에서는 열분해에 의하여 페닐라디칼과 벤조 에이트라디칼을 생성하여 비닐 단위체의 라디칼 중합을 개시하는 중합개시제로 주로 사용되고 있다.

경화제를 아크릴 수지의 3~8%까지 다양한 비율로 사용하여 경화시간을 조절할 수 있다. 또한 각 계절마다 대기온도 및 지표온도가 다른 우리나라에서

겨울에는 많은 양을 혼합하고, 여름에는 적은 양을 혼합하여 발열량을 조절하여 사용할 수 있다. 경화제는 단지 화학적 반응의 촉매제로 작용하므로, 완전히 양생된 수지의 물성에는 영향을 주지 않는다.

2.2 배수성 포장 코팅에 사용된 아크릴 수지

본 연구에서 사용된 아크릴 수지는 세종대학교와 국내의 L사에서 자체개발한 아크릴 수지를 사용하였고, 기본적으로 두 종류(Type A 및 B)의 물리적 성질이 다른 수지를 사용하였으며, 각각의 수지의 기본적인 특성은 다음과 같다.

아크릴 수지를 2회 도포하는 본 시험의 특성상 1차 도포에 사용되는 수지가 아스팔트 콘크리트에 직접 닿는다는 점과 2차 도포시의 수지가 외부의 충격을 받는 점을 고려하여 하도 및 상도용 수지를 개발하였다. Type A 수지는 별도로 하도 및 상도용 수지로 구성되지 않은 단일형 수지이다. 단일형 수지란 하도용과 상도용의 수지를 따로 구분하지 않은 같은 점도의 아크릴 수지를 말하며, 아스팔트 콘크리트와 부착을 강화하기 위하여 접착성분을 첨가하였다. 코팅 두께가 2mm 정도 두께이기 때문에 1mm씩 2회 도포하는 것으로 하였다. 수지를 2회 도포하는 이유는 한 번에 수지를 두껍게 도포할 경우 수지가 흘러 내려 배수성 아스팔트 콘크리트의 공극을 과다하게 채우게 되어 공극률을 지나치게 떨어뜨릴 수 있다. 또한 아크릴 수지는 아스팔트를 일부 녹이는 성질이 있기 때문에 너무 많은 양을 도포하면 많은 아스팔트를 녹여 아스팔트 콘크리트의 표면이 부슬부슬해질 수 있다. 따라서 첫 번째 도포시에는 가급적 적은 양의 수지를 도포하고 경화시간도 최소화 하여 지나치게 아스팔트를 녹이지 않게 주의하여야 한다.

Type A 수지는 점도가 상이한 두 가지 유형의 수지를 적용하였다. Type AA-1은 점도가 100cP 이고, Type AA-2는 점도가 450cP이다. 수지의 점도는 배수성 포장의 표면 코팅에 있어서 매우 중요한 고려요소 중의 하나이다. 점도가 너무 낮을 경우에는

쉽게 흘러내려 배수성 혼합물의 공극을 채우게 되어 배수성 포장의 기능을 상실하게 만들 수 있다. 반면 점도가 너무 높을 경우에는 공극을 채우는 문제는 없으나 시공시 충분한 워커빌리티가 확보되지 않아 시공이 힘들 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 점도의 수지를 사용하여 배수성 혼합물의 시편에 적용해본 결과 적절한 점도 범위는 최소 100cP 이상 최대 800cP 이하가 바람직한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 100cP 및 450cP 점도를 가지는 두 종류의 수지를 시험에 적용하였다.

Type B 수지는 아스팔트 포장의 표면처리용으로 개발된 수지로서 하도용과 상도용 수지의 두 종류로 구성되어 있다. 하도용 수지 Type BB-1은 점도가 462cP 이며 유리전이온도가 낮아서 저온 및 상온에서 연성이 풍부하여 아스팔트 콘크리트의 온도변화에 따른 수축팽창을 흡수할 수 있게 개발되었다. 그러나 연성이 너무 크기 때문에 외부의 충격 등에 의해 스크래치가 발생할 수 있고 쉽게 벗겨질 수 있는 단점이 있다. 하도용 수지를 코팅한 다음 상도용 수지 Type BB-2는 점도가 128cP 이며 2차 코팅시 사용하였는데 상도용 수지는 하도용 수지에 비해 유리전이 온도가 높아 경화가 완료되면 표면이 충분히 딱딱하여 외부의 충격에도 스크래치 등이 발생하지 않고 배수성 포장의 표면을 충분히 보호할 수 있다.

3. 배수성 아스팔트 콘크리트의 공용성 시험

3.1 배합설계

골재 입경의 최대치수가 13mm인 골재를 사용하여 배합설계를 실시하였으며, 입도 분포는 그림 1과 같다. 합성입도가 목표 입도에 얼마나 근접하는가를 확인하기 위하여 목표입도에 따라 합성된 골재의 체가름을 실시하고 No. 200체를 통과하는 세립분을 완전히 제거하기 위하여 각 체에 남아있는 골재를 물로 씻은 다음 건조로에서 완전히 건조하여 통과중량백

분을 구하여 목표입도와 비교하였다.

본 연구에서는 K사에서 개발한 폴리머 개질제를 일반 아스팔트(AC 60-80)에 첨가하여 개질 아스팔트를 제조하였다. 폴리머 개질제의 첨가량은 아스팔트 중량 대비 12%이고, 본 연구에서 사용된 개질 아스팔트 바인더의 일반적인 물리적 성질은 표 1과 같다(이현중 등, 2007).

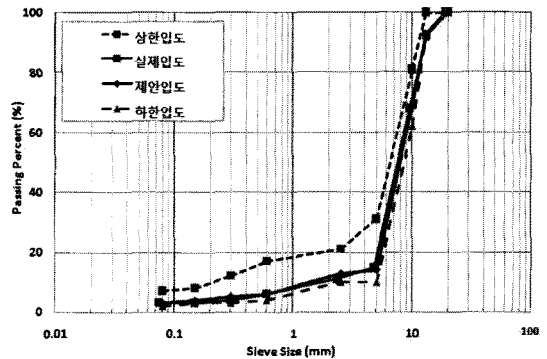


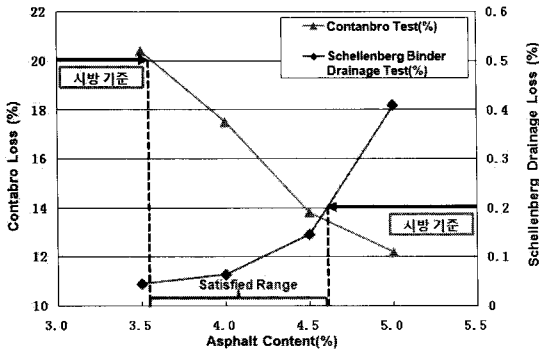
그림 1. 입도분포 곡선(씻기 시험 후 체분석 결과)

표 1. K사 개질 아스팔트 바인더의 물리적 성질

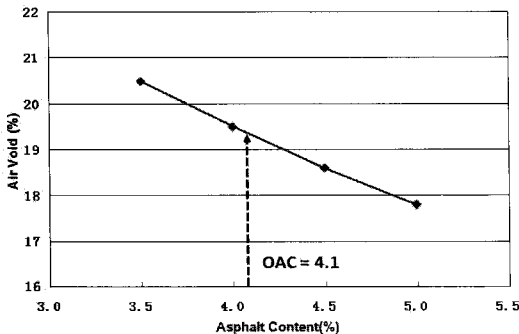
시험 항목	시험방법 (ASTM)	일본기준 (폴리머 개질 아스팔트 H형)	시험 결과
침입도(Penetration) 25℃ 0.1mm	D5-86	40 이상	54
연화점(Softening Point) R&B ℃	D-36	80 이상	90.4
절대점도(Viscosity) 60℃ Poise	D-2171	-	292,181
프라스 취하점(Fraass Breaking Point)℃	-	-12 이하	-35이하
신도(Ductility) 15℃, cm	D-113-86	50 이상	81
터프니스(Toughness) kgf · cm	-	200 이상	218
티네시티(Tenacity) kgf · cm	-	-	125
박막가열시험(TFOT)후 질량손실, Loss Weight, %	D6-86	0.6 이하	0.1
침입도잔류물(Penetration Residue) wt. %	D5-86	65 이상	63

Kandhal(1999)이 제안한 배합설계법으로 3.5%

에서 5%의 아스팔트 함량을 갖는 혼합물을 이용하여 드레인 다운 시험과 칸타브로 시험을 실시하였다. 그림 2(a)는 아스팔트 함량에 따른 칸타브로 손실율과 드레인다운 손실율의 관계를 나타내며, 그림 2(b)는 아스팔트함량에 따른 공극률의 변화를 나타낸다. 그림 2(a)에서 결정된 아스팔트 함량 범위 내에서 목표 공극률 19.5%를 만족할 수 있는 지점에서 최적 바인더 함량을 결정하였다. 목표 공극률을 20%에서 19.5%로 낮춘 것은 공극률 20%에서의 아스팔트 함량이 3.8%로 너무 낮아 아스팔트 함량을 다소 증가시키기 위해 목표 공극률을 낮춘 것이다. 외국의 일부 국가에서는 배수성 혼합물의 최소 아스팔트 함량을 4.3% 이상으로 규정한 경우도 있다(최태준, 2008).



(a) 칸타브로 손실율과 드레인다운 손실율



(b) 아스팔트 함량에 따른 공극률 변화

그림 2. 최적 아스팔트 함량의 결정

3.2 시편의 제작 및 공용성 시험

3.2.1 시편제작

실내 공용성 평가를 위한 공시체 제작에 사용되는 모든 아스팔트 혼합물은 아스팔트 믹서기를 사용한 기계식 비빔으로 혼합하였다. 공극률 및 투수계수, 칸타브로 시험, 수분손상시험 등에 사용된 시편은 모두 마샬다짐기를 사용하여 직경 100mm, 높이 63mm의 원통형 시편을 제작하여 시험에 사용하였다. 피로시험에 사용될 시편은 선회다짐기(Gyratory Compactor)를 사용하여 제작하였다. 혼합물의 다짐에는 슈퍼페이브에서 제안한 방식으로 다짐각은 1.25°, 압축응력은 600Pa, 다짐속도는 분당 30회를 적용하였다.

간접인장 피로시험용 시편은 직경 150mm, 높이 50mm의 원통형 시편을 선회다짐기로 다진 후 시편의 온도가 실내온도로 낮아졌을 때 공극률을 측정하고 피로시험에 사용하였다.

휠트래킹 시험과 미끄럼저항 측정 시에 사용한 시편은 크기 300×300×50mm인 슬래브형 시편으로서 휠트래킹 다짐기를 사용하여 공극률이 각 혼합물의 목표 공극률에 적합하도록 제작하였다. 시편의 제작은 먼저 체적은 동일하게 두고 혼합물의 중량을 3단계로 나누어 시편을 제작한 다음 공극률을 측정하고, 측정된 공극률과 혼합물의 중량관계에서 목표 공극률에 해당하는 혼합물의 중량을 결정하여 제작하였다.

3.2.2 시험방법

본 연구에서는 모든 시험을 실내시험으로 국한하며, 앞서 설명한 3종의 아크릴 수지가 코팅된 배수성 아스팔트 콘크리트 시편과 코팅을 하지 않은 배수성 아스팔트 콘크리트 시편을 가지고 실내 공용성 시험을 하였으며, 시험계획은 표 2와 같다. 표에서 보는 바와 같이 공극률 및 투수계수 측정 시에는 시편의 상면만을 코팅하여 이에 따른 공극률 및 투수계수의 변화를 측정하였다. 칸타브로 시험의 경우에는 실제 배수성 포장의 경우 포장 노면에만 차량하중이 가해지나 시험에서는 시편의 모든 면에 충격이 가해지므로 시편의 전면만을 코팅처리하여 시험을 실시하였다. 수분손상시험의 경우에는 시편의 간접인장강도를 측정하기 때문에

강도 측정시 상하면의 균형을 생각하여 상하면을 코팅하였다. 미끄럼저항 및 휠트래킹 시험은 시편의 상하면을 코팅처리 하였고, 간접인장 피로시험의 경우에는 하중재하시의 균형을 고려하여 시편의 상하면을 코팅하였다. 피로시험은 단기간에 혼합물의 피로수명을 파악하기 위하여 휴지기를 적용하지 않고 하중을 연속 재하였다. 휠 트래킹시험은 운하중을 686N을 적용하여 실시하였으며, 수분손상시험은 25℃의 물에서 20분간 수침시킨 건조시편과 60℃물에서 24시간 수침시킨 포화시편을 사용하여 간접인장강도를 측정하였다.

표 2. 실내 시험계획

시험명	코팅 방법	코팅 유형별 시편갯수	시험 변수
공극률 측정	상면	3	시험온도 : 25℃
투수 계수	상면	3	시험온도 : 25℃
칸타브로 시험	전면	3	시험온도 : 20℃ 회전속도 : 매분 30~33회 회전
수분손상 시험	상하면	6	시험온도 : 대기온도 하중재하속도 : 50.8mm/분
미끄럼저항 시험	상면	2	접지 길이 : 124~127mm
휠트래킹 시험	상면	2	시험온도 : 60℃ 운하중 : 686N
피로시험	상하면	2	Initial Strain : 80μ€

표 3은 코팅 유형별 사용된 수지 및 BPO의 양이다. 표에서처럼 1차 코팅은 2차 코팅에 비해 수지량을 적게 하면서 경화제 양은 증가시켜 가급적 아스팔트를 녹이지 않고 공극을 메우기 전에 최대한 빨리 경화를 유도하도록 노력하였다. 그림 3은 소형 롤러를 이용하여 시편의 표면에 아크릴 수지로 코팅하는 광경이다. 규사는 1차 코팅이후 수지가 완전히 경화되기 이전에 뿌려주며, 경화가 완전히 진행된 다음 2차 코팅을 하게 된다. 그러나 공극률 측정 등의 시험에서는 규사는 살포하지 않고 미끄럼 저항시험에서만 규사를 살포하였으며, 그 양은 1차 시험에서는 0.01g/cm², 2차 시험에서는 0.08g/cm²를 적용하였다.

표 3. 코팅 유형별 아크릴 수지와 BPO의 양

수지타입		1차 코팅		2차 코팅	
		수지 (g/cm ²)	BPO 수지중량대비 (%)	수지 (g/cm ²)	BPO 수지중량대비 (%)
Type A	Type AA-1	0.1	6	0.13	4
	Type AA-2				
Type B	Type BB-1 (1차 코팅)				
	Type BB-2 (2차 코팅)				

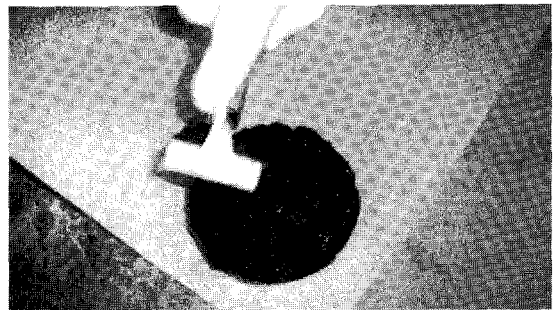


그림 3. 아크릴 수지 코팅 광경

4. 시험결과

4.1 공극률

공극률 측정은 이론최대밀도 시험기와 core-lok 장비를 사용하여 공극률을 측정하였다. 코팅 전후의 공극률 측정결과는 표 4와 같다. 아크릴 수지를 배수성 시편에 2회 코팅하였을 때 표 4에서 보는 바와 같이 약 0.9%정도의 공극률이 감소하는 것을 확인하였다. 즉 1% 미만으로 공극률이 감소하는 것으로 나타나 배수성 포장의 배수 및 흡음 기능상에는 큰 변화가 없을 것으로 예상된다.

4.2 투수계수

투수계수는 실내 투수 시험방법(KS F 2494)으로 측정하였으며, 결과는 표 5와 같다. 아크릴 수지 코

표 4. 아크릴 수지 코팅 전과 후 공극률 변화

시편 유형	수지 코팅전 평균 공극률(%)	수지 코팅후 평균 공극률(%)
배수성 일반 시편	17.9	-
Type AA-1	18.5	17.8
Type AA-2	18.1	17.0
Type B	18.2	17.3

팅 전 보다 아크릴 수지 코팅 후 투수계수가 약 0.08cm/sec(19%) 감소하였으며, 이는 공극이 아크릴 수지를 코팅하였을 때 약간 줄어들었기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 코팅을 실시한 이후에도 평균 투수계수가 0.35cm/sec 이상인 것으로 나타나 배수성 포장의 투수계수 기준인 0.01cm/sec을 훨씬 상회하는 것을 확인하였다.

표 5. 투수계수 결과 값(15℃)

시편 유형	수지 코팅 전 평균 투수계수 (cm/cse)	수지 코팅 후 평균 투수계수 (cm/cse)
배수성 일반 시편	0.448	-
Type AA-1	0.449	0.358 (80%)
Type AA-2	0.420	0.354 (84%)
Type B	0.456	0.361 (79%)

4.3 칸타브로 손실률

칸타브로 시험은 배수성 혼합물 골재의 비산 저항성을 평가하는 시험으로 50회 다짐한 마샬 공시체를 만들어서 쇠구슬을 빼낸 비어있는 로스엔젤레스 마모 감량 시험기에 넣고 드럼을 이용하여 매분 30~33회의 회전속도로 300회 회전시킨 공시체의 손실 질량비로 평가하는 시험이다.

그림 4에서 보이는 바와 같이 육안으로도 아크릴 수지를 코팅하였을 경우가 일반 배수성 시편보다 비산 저항성이 높다는 것을 알 수 있다. 표 6은 전체 시험시편에 대한 손실률과 평균 손실률이다. 평균 손실률을 살펴보면 코팅을 실시하지 않은 일반 시편이 약 20% 인데 비해 코팅 처리한 시편들의 경우 5.9~7.9%로서

약 1/3 수준으로 칸타브로 손실률이 감소하였다. 이는 그림 2에서 보는바와 같이 아스팔트 바인더를 1.5% 이상 더 첨가하는 효과와 거의 같은 수준으로서 아크릴 수지로 코팅할 경우 골재의 비산 저항성을 상당히 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 코팅 시편들의 경우 점도가 칸타브로 손실률에 미치는 영향은 그다지 크지 않은 것으로 판단된다.



그림 4. LA 마모 시험 후 시편

표 6. 칸타브로 손실률

시편 타입	평균 손실률(%)
배수성 일반 시편	19.6
Type AA-1	7.4
Type AA-2	7.9
Type B	5.9

4.4 수분손상 저항성

아스팔트 혼합물의 수분 민감성을 측정하는 데는 여러 종류의 시험이 있으나 현재 가장 많이 적용되고 있는 ASTM D4867-92 (1988)의 규정에 따라 시험을 실시하였다. 이 시험법은 AASHTO T283-89 시험법과 거의 유사하나 ASTM 규정에서는 동결처리가 선택사항인데 반해 AASHTO에서는 의무사항으로 되어있다. 우리나라에서 발생하는 수분에 의한 포장의 손상은 주로 여름철 우기에 집중되고 있기 때문에 본 연구에서는 동결처리를 하지 않고 시험을 실



시하였다. 시험 방법으로는 마샬 다짐기를 사용하여 공극률 $18 \pm 1\%$ 가 얻어지도록 다짐을 실시하여 각 코팅 유형별 6개의 시편을 제작하였다. 수분손상시험의 경우에는 시편의 간접인장강도를 측정하기 때문에 강도 측정시 상하면의 균형을 생각하여 상하면을 아크릴 수지로 코팅하였다. 수분손상시험은 25℃의 물에서 20분간 수침시킨 건조시편과 60℃물에서 24시간 수침시킨 포화시편을 사용하여 간접인장강도를 측정하였다. 그 결과는 표 7과 같다.

표 7. 수분손상시험에 의한 간접인장강도비

ID		평균 강도(kg/cm ²)	TSR(%)
배수성 일반 시편	건조	6.38	86.42
	수침	7.39	
Type AA-1	건조	5.56	83.69
	수침	6.65	
Type AA-2	건조	7.14	82.52
	수침	8.64	
Type B	건조	5.77	80.04
	수침	7.22	

표 7에서 보는 바와 같이 모든 시편들의 간접인장강도비가 시방기준인 80%를 상회하였다. 하지만 아크릴 수지를 코팅한 배수성 시편의 간접인장강도비가 코팅을 하지 않은 시편보다는 수분에 대한 저항성이 약간 저하된 것을 알 수 있다. 이는 아크릴 수지가 아스팔트를 일부 녹이는 성질이 있어 강도의 저하가 발생했을 수도 있고, 또는 다른 원인에 의해 유발된 것 일수도 있다. 현재로서는 이러한 원인에 대한 정확한 규명은 되지 않아 차후 연구에서 좀 더 명확한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

4.5 미끄럼 저항성

본 연구에서는 비교적 간단하고 필요한 장소에서 쉽게 미끄럼 저항성을 측정할 수 있는 영국식 장비인 BPT(British Pendulum Tester)를 이용하여 ASTM E 303(1983)의 절차에 따라 시험을 실시하

였고, 아크릴 수지를 배수성 시편에 코팅을 할 경우 아스팔트 혼합물 표면에 돌출되어 있는 굵은 골재를 코팅하기 때문에 전반적으로 미끄럼 저항성이 저하될 수 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 미세한 규사분말을 사용하여 미끄럼 저항성을 증진시키도록 하였다.

본 시험에서는 슬래브 다짐으로 만든 300×300×50mm 시편에 표 3.4와 같은 배합비로 코팅을 하되 미끄럼 저항을 증가시키기 위해서 1차 코팅 후 아크릴 수지가 경화되기 전에 규사 5호사를 뿌리고 2차 코팅을 하였다. 1차 코팅 후 규사를 뿌린 이유는 2차 코팅 후 규사를 뿌렸을 경우 규사가 외부에 노출되어 있기 때문에 외부충격으로 인해 경화된 아크릴 수지로부터 규사가 박리될 가능성을 줄이기 위해서 1차 코팅 후 규사를 뿌렸다. 규사를 어느 양만큼 뿌려야 아크릴 수지를 코팅하기 전의 배수성 슬래브 시편의 미끄럼저항과 같은 성능을 보이는지 확인하기 위하여 규사의 양을 조절하여 준비된 슬래브시편에 뿌려서 BPT실험을 실시하였으며 그 결과는 표 8과 같다.

표 8에서 보는 바와 같이 규사의 살포량이 증가할 수록 BPT가 증가하는 것을 알 수 있었고, 0.08g/cm²로 뿌린 결과가 배수성 일반 시편보다 약 1.3배 정도 미끄럼 저항성이 증가하였다는 것을 알 수 있었다.

표 8. 미끄럼 저항 시험결과

시편종류	BPT (규사 0.01g/cm ² 일 때)	BPT (규사 0.08g/cm ² 일 때)
배수성 일반 시편	62	-
Type AA-1	46	85
Type AA-2	35	84
Type B	38	80

4.6 소성변형 저항성

소성변형 저항성을 평가하기 위한 필트랙킹 시험 결과는 표 9 및 그림 5와 같다. 표 9에서 보는 바와 같이 일반시편과 코팅된 시편에 대한 동적안정도를 비교분석해 본 결과 아크릴 수지 Type B를 이용하

여 코팅한 경우 기존의 시편이 가지고 있는 동적안정도보다 떨어지는 것을 볼 수 있지만 Type A를 사용하여 코팅한 경우 점성이 높을수록 동적안정도가 높다는 것을 알 수 있었다. Type AA-2로 코팅한 시편은 동적안정도가 표층의 기준치인 3000(회/mm)을 상회하는 것으로 나타났다.

그림 5를 보면 Type B를 제외한 경우 소성변형에 대한 저항성은 유사하다는 것을 알 수 있다. 비록 동적 안정도는 다르지만 2500회 하중횟수에서 소성변형은 코팅을 하지 않은 시편과 Type A로 코팅한 시편간에 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다.

Type B의 경우에는 소성변형이 상대적으로 많이 발생하였다. 이는 아크릴 수지 Type BB-1이 다른 타입의 아크릴 수지와는 다르게 코팅 시 한 시간 이내에 완전히 경화가 되지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이는 아크릴 수지가 아스팔트를 녹이는 성질이 있는 것을 감안해볼 때 한 시간 이상의 시간동안 경화되면서 시편 상부의 아스팔트를 녹인 것이 소성변형량에 영향을 미친 것으로 사료된다.

표 9. 윤하중 686N에서의 동적안정도 비교

		배수성 일반 시편	Type AA-1	Type AA-2	Type B
동적안정도 (회/mm)	1차	1050	2739	4846	594
	2차	2540	2863	5250	504
평균 동적안정도		1795	2801	5048	549

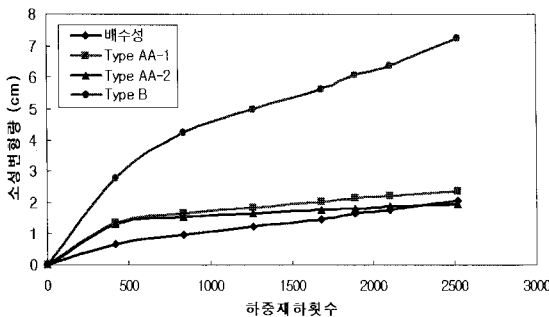


그림 5. 각 시편유형별 휠트랙킹 시험 결과

4.7 피로균열 저항성

아크릴 수지가 배수성 시편의 피로수명에 미치는 영향을 파악하기 위하여 일반 배수성 시편과 아크릴 수지가 코팅된 시편을 사용하여 간접인장 피로시험을 실시하였다. 시험은 20℃에서 실시하였고, 시험을 실시하는 동안 정밀한 온도조절을 위하여 온도조절 챔버를 사용하였다. 하중은 10Hz의 주기를 갖는 Haversine 하중을 일정하게 시편에 가한다. 아크릴 수지를 코팅하여 시험을 하였기 때문에 선화다짐기로 만든 시편을 코어를 뚫지 않고 시험을 수행하였다. 모든 시편에 가해지는 하중크기를 조절하여 시편에 발생하는 초기 수평 변형률이 일정하게 한 다음 피로시험을 실시하였고, 각 시편 당 최소 2회 이상 시험을 실시하였다. 본 연구에서는 아크릴 수지가 코팅된 배수성 시편의 상대적 피로수명을 단기간에 규명하기 위하여 휴지기를 적용하지 않고 0.1초의 하중을 연속재하 하였다

아스팔트 혼합물의 피로수명을 평가하는 가장 일반적인 방법은 혼합물에 대해 피로시험을 수행하여 얻어진 데이터로부터 강성(stiffness)을 계산하고 이를 통해 시편의 강성이 초기 강성의 50% 도달했을 때까지 시편에 가해진 하중재하회수를 피로수명으로 결정하는 방식, 그리고 하중재하회수에 따른 변형률 진폭의 변화를 그래프로 그린 다음 최소 곡률반경이 되는 지점의 하중재하회수를 피로수명으로 결정하는 방식이 있다(건설교통부, 2002). 하지만 변형률 진폭에 의한 방법은 최소 곡률반경 지점을 명확히 파악하기가 어렵기 때문에 본 연구에서는 시편의 강성이 초기 강성의 50%에 도달할 때까지 적용된 하중회수를 피로수명으로 결정하였으며, 시험결과는 표 10 및 그림 6과 같다.

표 10에서 알 수 있듯이 배수성 시편보다 아크릴 수지로 코팅된 시편의 경우가 평균 변형률이 더 크다는 것을 알 수 있었다. 또한 그림 6에서 보는바와 같이 아크릴 수지가 코팅된 시편이 본 연구에서 사용된 배수성 시편보다 피로 균열 저항성이 3배에서 6배까지 좋은 것을 알 수 있었다.



표 10. 피로시험 결과

시편타입	배수성 일반 시편		Type AA-1		Type AA-2		Type B	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Target Strain Level	80	80	80	80	80	80	80	80
Load Level (N)	1350	1470	630	1050	1400	1650	490	840
Initial Strain	80	80.1	80.1	80.3	79	80.4	80.3	80.7
Nf	13,827	5,300	97,244	26,618	30,265	34,827	47,757	23,274

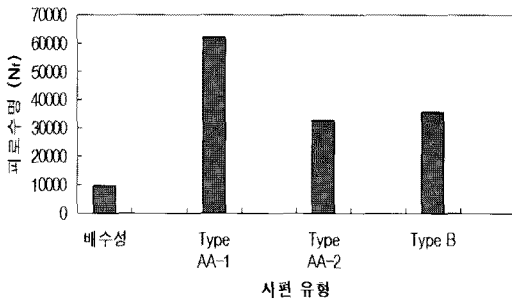


그림 6. 피로수명 비교

5. 요약 및 결론

본 연구에서 세 종류의 아크릴 수지들의 공용특성을 분석해 보면 공극률이나 투수계수, 칸타브로 손실률, 수분손상 등에서는 유사한 특성을 나타내었다. Type B 수지의 경우 소성변형 저항성을 상당히 저하시킬 우려가 있다. 반면 Type A의 경우 소성변형 저항성이 유사 또는 다소 향상되는 것이 기대되고 피로저항 특성도 개선되는 것으로 나타났다. 또한 실내 시험 결과 아크릴 수지를 배수성 아스팔트 콘크리트의 표면에 코팅 하였을 때 일반 배수성 혼합물의 내구성을 상당히 향상시킨다는 것을 알 수 있었다. 그러나 본 연구의 결과는 실내 물성 및 공용성 시험결과에 국한된 것으로 본 연구에서 개발된 아크릴 수지 코팅의 장기 공용성을 평가하기 위해서는 포장가속 시험 및 현장 시험이 추가로 수행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 아크릴 수지 코팅을 현장에 적용하기 위해서는 아크릴 수지 코팅 장비의 개발이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 (주)태영건설에서 지원한 연구결과로서 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- 건설교통부 (2002) "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구", 1단계 2차년도.
- 서재운 (2007) "교면포장의 방수 및 보수용 아크릴 관련 연구", 석사학위 논문, 세종대학교.
- 이와이 시게오, 미우라 유우지 (2002) "투수성 포장으로 amenity 향상 (투수성 포장에 의한 타이어 소음의 감쇠특성과 흡음률의 추정)", 전국건설연수센터, pp 24~32.
- 이현종 등(2007) "STE-620을 적용한 배수성 아스팔트 혼합물의 성능검증 및 현장 적용성 평가 연구", 연구용역보고서, 한국도로학회.
- 일본도로협회 (1999) "배수성 포장 기술 지침 (안)", 한국건설기술연구원 번역, pp 1~7, 23~31
- 최태준 (2008) "아크릴 수지로 코팅한 배수성 아스팔트 콘크리트의 실내 공용성 평가", 석사학위 논문, 세종대학교.
- ASTM D4867-88 (1988) "Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures", ASTM Designation : D4867-88
- ASTM E 303 (1983) "Standard Test Method for Measuring Surface Friction Properties Using the British Pendulum Tester", ASTM Designation : D4867-88
- Prithvi S. Kandhal (1999) "Design of New-Generation Open-Graded Friction Courses", NCAT Report.

접 수 일: 2009. 1. 28

심 사 일: 2009. 2. 6

심사완료일: 2009. 3. 17