

국산 에폭시 아스팔트 혼합물의 물리·역학적 특성 평가

Evaluation of Physical and Mechanical Characteristics of Korean Epoxy Asphalt Mixtures

김병헌	Kim, Byung Hun	제일엔지니어링 사원 · 공학석사 (E-mail : luciferkss@naver.com)
백종은	Baek, Jongeun	정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 박사후과정연구원 · 공학박사 (E-mail : joungeunbaek@sejong.ac.kr)
이현종	Lee, Hyun Jong	정회원 · 세종대학교 건설환경공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : hlee@sejong.ac.kr)
박희문	Park, Hee Mun	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 연구위원 · 공학박사 (E-mail : hpark@kict.re.kr)

ABSTRACT

This study evaluated the performance of Korean epoxy asphalt mixtures using several laboratory tests. Four types of epoxy asphalt mixtures were manufactured based on 13mm dense graded asphalt mixtures: three Korean and one Japanese epoxy asphalt mixtures where 20% or 40% of asphalt binder was replaced by epoxy resins. Curing time was determined as 3 and 6 hours for the mixtures containing 40% and 20% of epoxy resins, respectively. From the laboratory tests including wheel tracking, indirect tension fatigue, bending beam, and moisture susceptibility tests, it was concluded that the epoxy asphalt mixtures had superior performance than conventional asphalt mixtures except moisture susceptibility. Also, the performance of the Korean epoxy asphalt mixtures was comparable to the Japanese mixtures. Thermal coefficient, bond strength, and indirect tension tests were conducted to examine the applicability of the Korean epoxy asphalt mixtures to concrete repair. Its adhesion was strong enough to be bonded to surrounding concrete materials and its tensile strength was comparable to the concrete, but thermal expansion coefficient was 5 times greater than the surrounding concrete.

KEYWORDS

epoxy asphalt, curing time, rutting resistance, fatigue life, moisture damage

요지

본 연구에서는 다양한 실내시험을 통하여 국내에서 개발된 에폭시 아스팔트 혼합물의 공용성을 평가하였다. 최대입경 13mm의 밀입도 혼합물을 기초로 하여 아스팔트 바인더의 20% 또는 40%를 국산 및 일본산 에폭시 수지로 치환하여 4종류의 에폭시 아스팔트 혼합물의 배합 설계를 실시하였다. 에폭시 아스팔트의 가사시간이 에폭시 수지가 40% 사용한 경우 3시간, 20% 사용한 경우 6시간 정도임을 확인할 수 있었다. 휠트래킹 시험, 간접인장 반복시험, 그리고 저온 힘 시험 결과 국산 및 일본산 에폭시 아스팔트 혼합물의 공용성이 일반 아스팔트 혼합물 보다 상당히 우수한 것으로 나타났다. 하지만 일부 에폭시 아스팔트 혼합물에서는 수분손상 가능성을 확인할 수 있었다. 또한 일본산 에폭시 아스팔트 혼합물과 국산 에폭시 아스팔트는 유사한 성능을 나타냈다. 또한 콘크리트 보수재로 개발한 국산 에폭시 아스팔트의 적합성을 평가하기 위하여 추가적으로 열팽창계수, 부착강도, 인장강도를 측정하고, 일반 콘크리트와의 부착력은 우수하고 인장강도는 유사한 것으로 나타났으나 열팽창계수는 5배 정도 큰 것으로 나타났다.

핵심용어

에폭시 아스팔트, 가사시간, 소성변형, 피로수명, 수분손상

1. 서론

우리나라에서는 1970년에 건설된 경부고속도로상의 교량에서부터 아스팔트 혼합물을 이용한 교면포장을 시공하기 시작했다. 이는 교량의 바닥판보다 유연한 재료를 사용하여 교통하중에 의한 진동과 충격을 흡수함으로써 바닥판을 보호하고 쾌적한 주행성을 확보하기 위한 것이다. 최근에는 교량기술이 현저하게 발전하여 광안대교와 서해대교 같이 총연장이 7km가 넘는 장대교량이 건설되었다. 따라서 보다 내구성이 우수한 교면포장에 대한 관심도 점차 증대되었다. 교면포장에 적합한 개질 및 특수 아스팔트 혼합물에 관한 연구가 확대해 가고 있는 실정이다.

에폭시 아스팔트는 아스팔트에 에폭시 수지를 첨가하여 강도와 강성이 일반 아스팔트에 비해서 우수한 것으로 알려져 있다(Hicks 등, 2000; Huang 등, 2003; Peiliang 등, 2010). 이러한 특성으로 에폭시 아스팔트를 교면포장에 사용할 경우, 일반 아스팔트 포장보다 얇은 두께로 시공이 가능하므로 교량 자체의 하중을 현저히 줄일 수 있고, 소성변형 및 피로 균열에 대한 저항성이 일반 아스팔트 포장에 비해 우수한 장점이 있다. 또한, 에폭시 아스팔트는 버스 정류장이나 교차로 등 급정거, 급출발 및 비교적 긴 정차 작용에 의해 소성변형이 발생하거나 포장 표면이 파손되는 곳 등에 적용될 수 있다(이광호 등, 2009). 외국의 경우 에폭시 아스팔트의 평균 수명이 20년을 상회하는 경우도 있지만, 상대적으로 복잡한 배합과정과 시공의 어려움 때문에, 2년 만에 재포장을 실시한 경우도 있다(정두희, 2000). 에폭시 아스팔트의 가격이 상대적으로 높아 제한적으로 사용되고 있다. 현재 에폭시 아스팔트는 일본, 미국, 중국 등 여러 나라에서 활발히 연구되어 적용되고 있지만, 우리나라에서는 아직 초장기 연구가 진행되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 국내에서 개발된 에폭시 아스팔트에 대하여 다양한 실내시험을 실시하여 에폭시 아스팔트의 물리·역학적 특성을 평가하였다.

2. 에폭시 아스팔트 혼합물의 배합설계

2.1. 국산 에폭시 수지의 물리적 성질

에폭시 수지란 구성하는 분자의 화학적인 단위로서 에폭시 결합을 가지고 있는 수지를 총칭한다. 일반적으로 수지(주제)에 경화제(부제)를 첨가하여 열경화성 플라스틱의 상태로 사용된다. 국내에서 개발한 아스팔트용 에폭시 수지의 주제는 두 가지 종류로, 디글리시딜

에테르(Diglycidyl Ether) 비스페놀(Bisphenol-A, BPA)형 에폭시 수지는 BPA와 에피클로로히드린(Epichlorohydrine, ECH)의 에폭시화 반응에 의하여 생성되었고, 분자량은 300~1,500이고 분자구조 내 에폭사이드기가 2개 이상이다. 페놀노볼락 폴리글리시딜 에테르(Phenol Novolac Polyglycidyl Ether) 에폭시 수지는 분자량이 500~2,000이고 분자구조 내 에폭사이드기가 2.2개 이상이다. 여기에 경화제인 폴리아민을 혼합한 에폭시 수지이다(박정호, 2006).

아스팔트용 에폭시 수지로서의 특성을 만족시키는 수지를 조성하기 위해서 상기 재료를 적정 비율로 혼합한 후 물리적 시험을 수행하였다. 본 연구에서 사용한 에폭시의 주제 대 경화제의 비율은 10대 7이고, 에폭시와 아스팔트 혼합물에서 에폭시 수지는 혼합물 중량대비 35%가 사용되었다. 표 1과 2는 에폭시 수지 및 에폭시-아스팔트 혼합물의 물성 시험 결과를 나타낸다(박정호, 2006). 표에 나타낸 바와 같이 모든 항목에서 기준치를 만족하는 것으로 나타났다.

표 1. 25°C에서의 에폭시 수지의 물리적 특성

항 목	기 준	측정값	시험방법	
점도 (cps)	주제	2,000~15,000	12,400	JIS K 7233
	경화제	30~80	39	
비중	주제	1.00~1.25	1.16	JIS K 7232
	경화제	0.75~1.0	0.83	
인장 강도(MPa)	3.9 이상	5.2	JIS K 7113	
신률(%)	100 이상	224		

표 2. 에폭시 - 아스팔트 혼합물의 물리적 특성

항 목	기 준	측정값	시험방법
비중	1.00~1.03	1.024	JIS K 2207
침입도(/10mm)	20~30	24	JIS K 2207
연화점(°C)	70~90	81	JIS K 2207
점도(ccp), 160°C에서 3시간 양생	10,000 이하	5,400	JIS K 7233
인장 강도(MPa), 25°C	2.0 이상	2.6	JIS K 7113
신률(%), 25°C	100 이상	256	JIS K 7113

2.2. 배합설계

본 연구에서는 교면포장에 적용하기 위한 4가지 종류의 에폭시 아스팔트 혼합물을 제작하였다. 이를 위하여 교면포장용 일반 아스팔트 혼합물로 배합설계를 실시하고, 이를 바탕으로 1) 강상판 포장용 국산 에폭시 아스팔트, 2) 강상판 포장용 일본산 에폭시 아스팔트, 3) 콘크리트상판 보수용 국산 에폭시 아스팔트, 4) 콘크리트

단면 보수용 국산 에폭시 아스팔트 혼합물을 제조하였다. 표 3은 본 연구에서 사용한 에폭시 아스팔트 혼합물의 종류와 특성을 나타낸다.

표 3. 에폭시 아스팔트 혼합물 종류

혼합물 종류	용도	바인더 함량 (%)*	에폭시 함량 (%)*	혼합 온도(°C)	비고
일반 아스팔트	일반교면 포장용	6.7	0.0	160	비교용
일본산 에폭시 아스팔트	강상판 포장용	4.0	2.7 (40)**	160	-
국산 에폭시 아스팔트-A	강상판 포장용	4.0	2.7 (40)**	165	-
국산 에폭시 아스팔트-B	콘크리트 상판 포장용	5.4	1.3 (20)**	165	-
국산 에폭시 아스팔트-C	콘크리트 단면 보수용	5.4	1.3 (20)**	165	무색바인더, 안료사용

* 아스팔트 혼합물 중량 대비

** 아스팔트 바인더 중량 대비 에폭시 함량

에폭시 아스팔트 혼합물에 사용된 골재의 최대치수는 13mm이고 합성입도가 국내 밀입도 13F 골재입도와 일본 에폭시 아스팔트 13mm 골재입도 분포를 모두 만족하는 범위 내에서 결정하였다. 그림 1은 본 연구에서 사용된 골재의 합성입도 분포와 기준이 되는 국내 밀입도 13F와 일본 13mm 에폭시 아스팔트의 상한 및 하한 입도를 나타낸다.

최적 아스팔트 바인더 함량을 구하기 위하여 AP-5 아스팔트 바인더의 함량을 6.0, 6.5, 7.0%로 변화시키면서 공극률을 측정하였다.

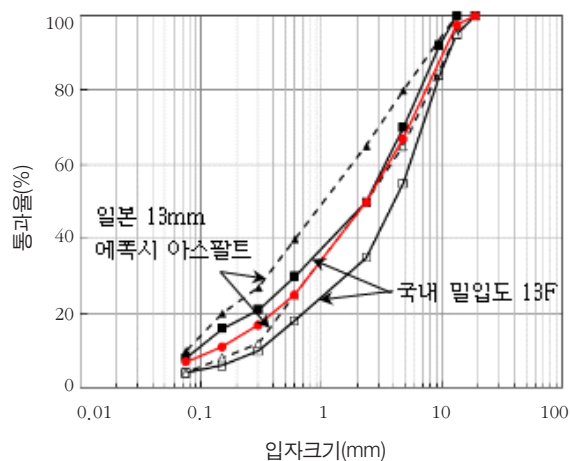


그림 1. 골재 합성 입도 분포 곡선

그림 2는 각각의 바인더 함량에 따른 공극률의 변화를 나타낸다. 본 연구에서 사용한 에폭시 아스팔트 혼합

물은 교면포장용이기 때문에 수밀성을 높이기 위해서 목표공극률을 3.5%로 정하였다. 그림에서 나타난 것과 같이 목표공극률 3.5%에 해당하는 최적 바인더 함량은 6.7%로 결정하였다. 본 연구에서 사용한 골재에 석분 및 잔골재가 많이 포함되어 있기 때문에 최적 바인더 함량이 일반 아스팔트 혼합물에 비해서 다소 높게 나타났다. 에폭시 함량은 표 3에 나타난 바와 같이 에폭시 아스팔트 혼합물의 종류에 따라 해당 함량을 사용하여 아스팔트 바인더를 치환하였다. 강상판용과 콘크리트용 에폭시 아스팔트에 사용되는 에폭시 수지 함량은 아스팔트 바인더 중량 대비 각각 40%와 20%이다.

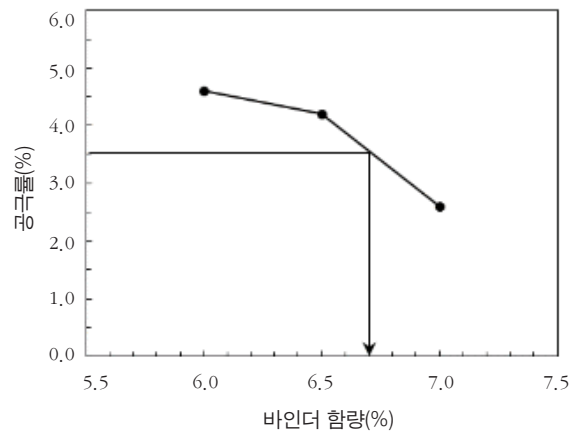


그림 2. 아스팔트 바인더 함량에 따른 공극률 변화

3. 실내 시험 및 결과

에폭시 아스팔트 혼합물의 공용성을 평가하기 위하여 다양한 실내시험을 수행하였다. 가사시간을 확인하기 위하여 시간별 다짐도 시험, 내유동 특성을 분석하기 위하여 휠트랙킹 시험을 수행하였다. 피로균열에 대한 저항성을 분석하기 위하여 간접인장 피로시험, 수분으로 인한 영향을 평가하기 위해 수분손상, 저온에서의 균열 저항성을 분석하기 위하여 저온 휨 강도 시험을 수행하였다.

3.1. 시편제작

상기에 언급한 바와 같은 배합비율로 일본산 에폭시 아스팔트의 경우 160°C, 국산 에폭시 아스팔트의 경우에는 165°C에서 기계식 비빔으로 혼합하였다. 시편의 종류에 따라서 3가지 방법으로 혼합물을 다짐하였다. 시간별 다짐도 시험과 수분손상 시험에 사용할 시편은 마샬다짐기를 사용하였고, 피로 시험에 사용할 시편은 선회다짐기를 사용하였으며, 휠트랙킹 시험에 사용할

시편은 휠트랙킹 다짐기를 사용하여 다짐하였다. 선회 다짐기를 사용하여 다짐한 경우, 다짐각은 1.25°, 압축 응력은 600Pa, 다짐속도는 분당 30회를 적용하였다. 휠트랙킹 다짐기를 사용하여 다짐한 경우에는 슬래브형 시편(300mm×300mm×50mm)을 제작한 후 이를 절단하여 크기 300mm×100mm×50mm의 시편으로 제작하였다. 에폭시 아스팔트는 일반적으로 60℃에서 7일간 양생을 하면 완전히 양생되므로(한수도로산업, 2010), 본 연구에서는 3일간의 여유를 더 두어 10일간 양생한 후 실험을 실시하였다.

3.2. 시험방법 및 결과

3.2.1. 시간별 다짐도 시험

에폭시 아스팔트가 많은 장점을 가지고 있음에도 불구하고 제조나 시공상의 어려움 때문에 널리 보급되지 않고 있다. 이러한 이유 중에 하나로 에폭시와 아스팔트를 섞은 후 경화가 완료되기 전까지 포설을 완료해야 하는 점이 있다. 특히 높은 온도나 외부 요인에 의해 경화 시간이 현저히 감소할 수 있으므로 빠른 시간 내에 시공을 완료해야 한다(이광호 등, 2009). 본 연구에서는 에폭시 아스팔트가 경화되는 시간, 즉 가사시간을 측정하여 에폭시 수지의 종류와 함량이 가사시간에 미치는 영향을 살펴보았다. 이를 위하여 에폭시 아스팔트 혼합물을 혼합한 다음 다짐온도(140~150℃)에서 일정시간 동안 양생시킨 후 다짐을 하고, 공극률을 측정하였다. 그림 3은 에폭시 아스팔트 타입별 양생시간에 따른 공극률의 변화를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 에폭시에 따라서 상이한 공극률의 변화가 나타난다. 경화가 진행됨에 따라 동일한 조건에서 다짐을 하더라도 혼합물의 공극률은 증가하게 된다. 현재 에폭시 아스팔트의 가사시간에 관한 규정이 없는 관계로 본 연구에서는 초기 공극률을 기준으로 1%의 공극률이 상승하는 시간을 가사시간이라고 가정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 에폭시 수지가 40% 사용된 국산 에폭시 아스팔트-A와 일본산 에폭시 아스팔트의 가사시간은 약 3시간 정도이고, 에폭시 수지가 20% 사용된 국산 에폭시 아스팔트-B와 C의 가사시간은 6시간 이상으로 나타난다. 국산 에폭시 아스팔트-A인 경우 혼합 후 3시간 이상 경과할 경우 공극률이 급격히 증가하게 되어 6시간 양생 후에는 공극률이 추가적으로 5% 증가하여 최종 공극률이 7%를 상회하는 결과를 보여준다. 그러므로 이와 같은 경우에는 플랜트에서 혼합한 후 현장 포설 및 다짐까지 약 3시간 이내에 이루어져야 다짐을 원활하게 할 수 있다고 판단된다. 나머지 에폭시 아스팔트의 경우에는 6시간

안에 포설 및 다짐이 이루어진다면 다짐상의 큰 문제는 없을 것으로 사료된다.

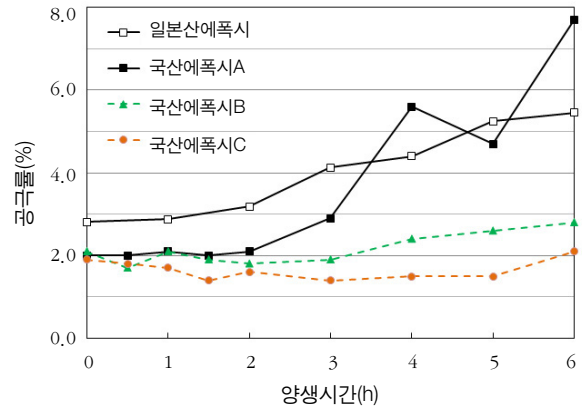


그림 3. 양생 시간별 에폭시 아스팔트의 공극률 변화

3.2.2. 휠트랙킹 시험

에폭시 아스팔트 혼합물의 반복 차륜 하중에 의한 소성변형에 대한 저항성을 평가하기 위하여 휠트랙킹 시험(KS F 2374)을 실시하였다. 제하된 하중은 686N이고, 접지압은 628±15kPa을 유지하였고, 시험 온도는 60℃이었다. 일반 아스팔트 혼합물과 4종류의 에폭시 아스팔트 혼합물에 대하여 휠트랙킹 시험으로부터 구한 동적안정도와 최대 변형률을 표 4에 나타내었다. 일반 아스팔트를 제외한 에폭시 아스팔트 혼합물의 동적안정도가 표층의 기준치인 3,000(회/mm)을 최소 20배 이상 상회하고, 최대변형량 또한 0.5mm 이하로 에폭시 아스팔트가 소성변형에 대한 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다.

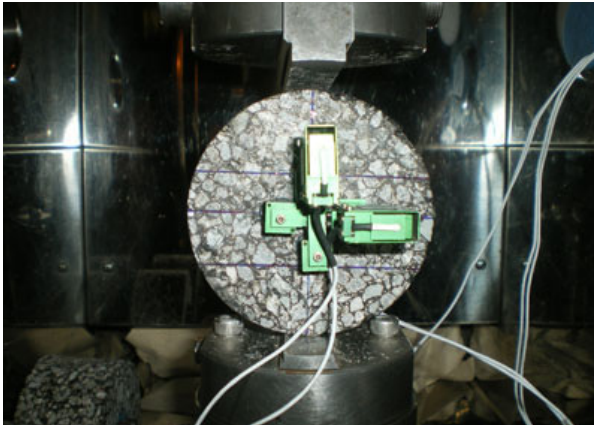
표 4. 에폭시 아스팔트의 윤하중 686N에서의 동적안정도와 최대변형량 비교

	일반	일본산 에폭시	국산 에폭시-A	국산 에폭시-B	국산 에폭시-C
동적 안정도 (회/mm)	467	172,676	63,000	105,000	307,108
최대변형량 (mm, 2520회)	7.033	0.434	0.010	0.015	0.346

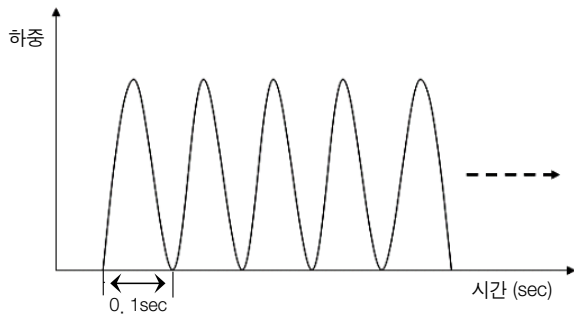
3.2.3. 피로 시험

피로 시험은 간접인장방식으로 20℃에서 수행하였다. 제하된 하중은 10Hz의 주기를 갖는 Haversine 형태로 일정하게 시편에 가하고, 하중단계를 달리 하였다. 본 연구에서는 일반 및 에폭시 아스팔트 혼합물의 상대적인 피로수명을 단기간에 규명하기 위하여 휴지기를 적용하지 않고 0.1초 주기의 하중을 연속적으로 재하

하였다. 시편에 발생하는 수평 및 수직 변위를 측정하기 위하여 Extensometer를 시편의 앞면과 뒷면에 부착하여 변위를 측정하였다. 그림 4는 피로 시험용 시편을 거치한 모습과 재하하중 형태를 나타낸다.



(a) 시험용 시편



(b) 하중재하 형태

그림 4. 간접인장 피로 시험

본 연구에서 아스팔트 혼합물의 피로수명은 혼합물의 강성(stiffness)이 초기강성의 50%에 도달했을 때까지 시편에 가해진 하중재하회수로 결정하였다. 간접인장시험은 2축 응력 상태이므로 강성은 식(1)을 사용하여 계산하였다. 이때 포아송비(ν)는 0.35로 가정하였고, 시편의 표면 중심에서 발생하는 수직변형률(ϵ_x)과 수직응력(σ_x) 및 수평응력(σ_y)은 한국형 포장설계법(건설교통부, 2007)에서 제시한 방법을 사용하여 계산하였다.

$$Stiffness = \frac{\sigma_x - \nu\sigma_y}{\epsilon_x} \quad (1)$$

다양한 하중 크기에서 발생한 인장변형률과 혼합물의 피로수명과의 관계를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 에폭시 수지의 종류와 함량과 상관없이 에폭시 아스팔트 혼합물의 피로수명이 일반 아스팔트

혼합물 보다 상당히 큰 것으로 나타났다. 또한 에폭시 함량이 동일한 경우, 유사한 피로균열 저항성을 보이는 것으로 나타났다. 강상판 교면포장에 적용되는 일본산 에폭시 아스팔트와 국산 에폭시 아스팔트-A를 비교해보면 국산 에폭시 아스팔트-A의 피로저항성이 더 우수한 것으로 나타났다. 그러나 콘크리트상판 포장용 및 단면 보수재로 개발된 국산 에폭시 아스팔트-B와 C는 강상판용 에폭시 아스팔트에 비해서는 피로손상에 대한 저항성이 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 에폭시의 첨가량이 강상판용에 비해 절반 밖에 되지 않아 피로에 대한 저항성이 감소한 것으로 사료된다.

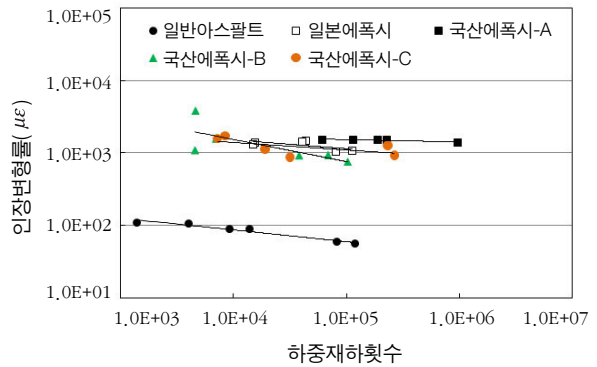


그림 5. 에폭시 아스팔트 혼합물의 인장변형률과 피로수명 비교

3.2.4. 수분손상 시험

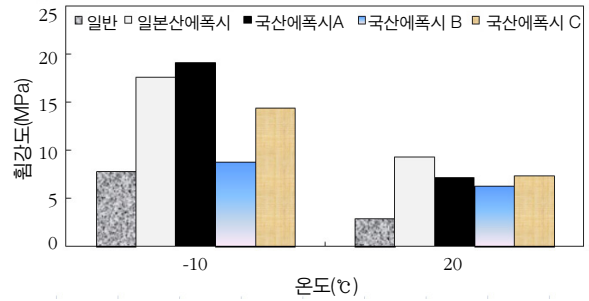
에폭시 아스팔트의 수분손상 저항성을 평가하기 위하여 수분손상 시험(KS F 2398)을 실시하였다. 시편을 2개조로 나눈 후 1개조는 수분처리를 하지 않고 건조간접인장강도를 측정하고 나머지 1개조는 먼저 부분진공 상태에서 포화도가 55~80% 이내가 되도록 포화시킨 후 60℃의 물속에 24시간 넣어둔 다음 다시 25℃의 물속에 1시간 방치하고 수침간접인장강도를 측정하였다. 표 5는 인장강도비(수침인장강도/건조인장강도)를 측정한 결과를 나타낸다. 표에서 보는 바와 같이 국산 에폭시 아스팔트-B를 제외한 에폭시 아스팔트의 인장강도비가 시방기준인 80%를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 특히 일본 에폭시 아스팔트의 인장강도비가 56.6%로 가장 낮아 국산 에폭시 아스팔트 제품에 비해 수분손상에 취약한 것으로 나타났다. 에폭시 함량이 증가할수록 인장강도비가 감소하는 것으로 보아 에폭시를 포함한 아스팔트가 수분에 좀 더 민감한 것으로 판단된다. 그러나 에폭시 아스팔트 혼합물의 수침강도는 일반 혼합물의 수침강도에 비해 2배 이상 높은 것으로 나타나 실제 포장도로에서 수분손상이 발생할 가능성은 크지 않을 것으로 예상된다.

표 5. 수분손상시험에 의한 인장강도비

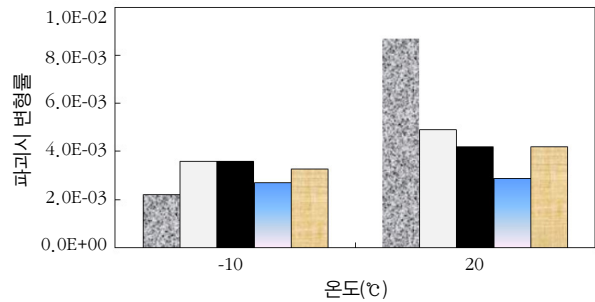
혼합물 종류	평균 강도(N/mm ²)		인장강도비(%)
	건조	수침	
일반 아스팔트	건조	0.717	79.3
	수침	0.569	
일본산 에폭시 아스팔트	건조	2.804	56.6
	수침	1.586	
국산 에폭시 아스팔트-A	건조	4.941	69.3
	수침	3.424	
국산 에폭시 아스팔트-B	건조	1.970	82.4
	수침	1.624	
국산 에폭시 아스팔트-C	건조	1.454	75.1
	수침	1.092	

3.2.5. 저온 휨 시험

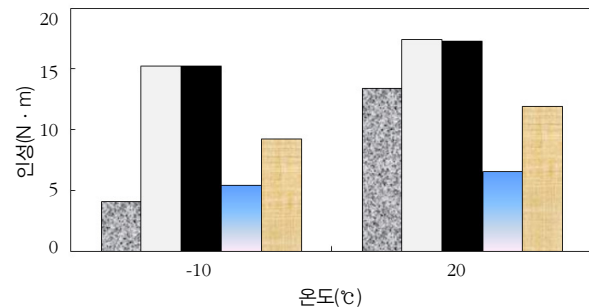
에폭시 아스팔트 혼합물의 저온에서의 균열 저항성을 평가하기 위하여 -10℃와 20℃에서 휨 시험을 실시하였다. 휨 시험용 시편을 -10℃와 20℃의 저온항온조에 넣고 6시간 이상 양생한 후 50mm/min의 재하속도로 시편의 중앙부에 하중을 가하였다. 시험으로부터 구한 하중-변형량 곡선에서 휨강도 및 파괴시의 변형량을 측정하였다. 또한 균열 저항성을 평가하는데 많이 사용되고 있는 터프니스(Toughness)를 계산하였다. 그림 6은 각각의 혼합물에 대한 휨강도 및 변형률과 터프니스 값을 나타낸다. 일반 및 에폭시 아스팔트 혼합물 모두 온도가 증가함에 따라 휨강도는 감소하였고 변형률과 터프니스는 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 저온에서 국산에폭시-B를 제외한 에폭시 아스팔트 혼합물은 일반 아스팔트 보다 변형률 및 휨강도가 큰 것으로 나타났다. 또한 에폭시 아스팔트의 터프니스 값이 -10℃에서는 일반 아스팔트에 비해 모두 높은 값을 나타냈다. 일본 에폭시 아스팔트와 국산 에폭시 아스팔트-A의 터프니스는 유사한 값을 나타냈으며, 국산 에폭시 아스팔트-B보다 약 3배, 국산 에폭시 아스팔트-C 보다는 약 64% 큰 값을 나타내었다. 20℃에서는 국산 에폭시 아스팔트-B와 C는 일반 아스팔트 보다 낮은 값을 나타냈으며, 국산 및 일본산 강상판용 에폭시 아스팔트는 일반 아스팔트 보다 약 30% 큰 값을 보여주었다. 따라서 일본 에폭시 아스팔트와 국산 에폭시 아스팔트-A는 -10℃와 20℃에서 모두 균열 저항성이 상당히 우수한 것으로 나타났다. 그러므로 에폭시 함량이 많은 국산 에폭시 아스팔트-A와 일본산 에폭시 아스팔트가 저온에서의 균열 저항성이 우수한 것으로 판단된다.



(a) 휨강도



(b) 파괴시 변형률



(c) 터프니스

그림 6. 각 혼합물의 저온 균열 저항성 비교

3.3. 콘크리트 보수용 에폭시 아스팔트의 현장 적용성 평가

국산 에폭시 아스팔트-C는 콘크리트 단면 보수용으로 사용되기 때문에 기존 재료와 열팽창계수가 상이한 재료를 사용하였을 경우 경계면이나 강도가 낮은 재료의 단면이 파괴될 수도 있다(도정윤, 2006). 또한 서로 다른 재료로 구성된 복합 구조체의 성능은 새로 적용된 신·구 재료의 물성보다는 신·구 재료 사이의 부착성능에 의해 크게 좌우된다(박상순 등, 2009). 따라서 보수한 부분이 기존의 콘크리트와 함께 외력 등에 대해서 일체로 되어 거동해야만 하고, 여분의 내부 응력도 발생하지 않는 것이 바람직하다. 그러므로 보수 재료의 탄성계수도 기존 콘크리트에 가능한 가까운 재료를 사용하는 것이 바람직하다. 그러므로 에폭시 아스팔트 자체의 품

질뿐만이 아니라 기존의 콘크리트와 우수한 부착성 및 유사한 열팽창성과 탄성계수를 가져야만 시공 후 우수한 공용성을 가질 수 있다. 따라서 국산 에폭시-C에 대하여 추가적으로 열팽창계수 시험, 부착강도 시험, 인장강도 및 탄성계수 시험을 실시하여 현장 적용성을 평가하였다.

3.3.1. 열팽창계수 시험

에폭시 아스팔트의 열에 대한 민감성을 알아보기 위하여 ASTM C531-00에 준하는 열팽창계수 시험을 실시하였다. 시험 방법은 다음과 같다. 1) 휠트랙킹 다짐 장비를 사용하여 슬래브형 시편을 제작한 후 300mm×100mm×50mm 크기의 시편으로 절단하고, 절단면에 게이지 포인터를 부착한다. 2) 시편을 23±2℃의 항온실에서 보관하며, 제작일로부터 2주간 매일 게이지 포인터 사이의 길이를 측정한다. 이때 시편 길이의 변화가 더 이상 없으면 시편을 60℃의 항온실에 보관한다. 3) 3일 후 60℃의 항온실에서 꺼낸 후 온도를 떨어뜨리며 23±2℃에서 다시 길이를 측정하여 최초 길이 변화가 없을 경우 열팽창 계수 시험을 실시한다. 4) 시편을 60℃의 항온실에서 최소 16시간 이상 보관하고 시편을 항온실에서 꺼내 빠르게 길이를 측정한다. 이때 항온실의 온도변화가 생기지 않도록 주의하며 변화가 발생하였을 경우 시간을 더 두어 시편의 항온을 유지하도록 한다. 열팽창계수 시험 결과 국산 에폭시 아스팔트-C의 열팽창계수는 52.43×10⁻⁶ε/℃로 일반 콘크리트의 열팽창계수 10×10⁻⁶ε/℃보다 약 5배정도 큰 것으로 확인되었다.

3.3.2. 부착강도 시험

기존 콘크리트와 에폭시 아스팔트와의 부착강도를 측정하기 위하여 부착강도 시험을 수행하였다. 이 시험은 콘크리트와 에폭시 아스팔트간의 접촉면과 수직방향으로 인장력을 작용시켜서 최대하중을 측정한다. 또한 에폭시 아스팔트 혼합물과 강상판, 에폭시 아스팔트 혼합물 간의 상대적인 부착에 대한 인장강도 시험도 수행하였다. 시험은 상온인 20℃에서 수행하였다. 본 연구에서는 시간에 따라 Creep이 발생하지 않게 하기 위하여 변위제어방식으로 하중을 재하하였다. 20℃의 항온실에 시편을 보관한 후 시편을 시험기에 장착하고 20mm/min의 속도로 유압을 가하여 부착력을 측정하였다. 시험결과는 표 6에 나타내었다. 모든 혼합물이 KS F 4042에서 규정하고 있는 품질기준인 1.0MPa를 만족하였으며, 파괴는 접촉판과 시편사이에서 일어났

므로 실제 부착면에서의 부착강도는 평균 부착강도 값보다 클 것으로 판단된다.

표 6. 부착강도 시험결과

항 목	부착강도(MPa)	평균 부착강도(MPa)
강상판과의 부착강도	1.9	2.0
	2.1	
콘크리트 상판과의 부착강도	1.1	1.5
	1.8	
에폭시 아스팔트 간의 부착강도	1.8	1.5
	1.2	

3.3.3. 인장강도 시험

아스팔트 혼합물에 대한 인장강도는 간접인장강도 시험으로부터 측정하였다. 간접인장강도 측정 시 하중의 재하속도는 50mm/min이었다. 일반 시멘트 콘크리트의 인장강도는 약 2~3MPa 정도의 값을 가지며 국산 에폭시 아스팔트-C는 일반 시멘트 콘크리트와 유사한 인장강도(2.52MPa)를 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 에폭시 아스팔트 혼합물의 공용성을 평가하기 위하여 국산 및 일본산 에폭시 아스팔트 혼합물에 대하여 다양한 실내 시험을 수행하였다. 에폭시 아스팔트 혼합물은 최대입자 크기 13mm인 골재와 4종류의 국산 및 일본산 에폭시 수지가 사용되었다. 첨가된 에폭시 수지의 종류와 함량에 따라 강상판 포장용 국산 에폭시 아스팔트-A(아스팔트 바인더 대비 에폭시 함량 40%), 콘크리트상판 포장용 국산 에폭시 아스팔트-B(20%), 콘크리트 단면 보수용 국산 에폭시 아스팔트-C(20%), 강상판 포장용 일본산 에폭시 아스팔트(40%)를 제작하였다.

양생시간에 따른 다짐도를 비교한 결과, 강상판용 에폭시 아스팔트는 약 3시간, 콘크리트용 에폭시 아스팔트는 6시간 이상의 가사시간을 확보할 수 있었다. 공용성 평가를 위하여 휠트랙킹 시험, 간접인장 피로시험, 저온 휨 강도 시험 및 수분저항성 시험을 실시하였다. 국산 및 일본산 에폭시 아스팔트 혼합물의 성능이 수분손상을 제외하고 소성변형, 피로수명, 저온균열 저항성 등 대부분의 시험에서 일반 아스팔트 혼합물 보다 상당히 우수한 것으로 나타났다. 동일한 에폭시 함량을 포함한 일본산 에폭시 아스팔트와 국산 에폭시 아스팔트-A

는 유사한 성능을 나타냈다.

보수재로 개발된 국산 에폭시 아스팔트-C의 현장 적용성을 평가하기 위하여 열팽창 시험, 부착강도 시험 및 인장강도 시험을 추가로 실시하였다. 에폭시 아스팔트-C의 부착강도는 기준에 만족하였으나, 일반 콘크리트에 비해 열팽창계수가 5배 크게 나타났다. 이러한 물성 차이가 현장 적용성에 미치는 영향을 평가하기 위해서는 좀 더 많은 시험과 현장 시험시공이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한 본 연구의 결과는 실내 물성 및 공용성 시험결과에 국한된 것으로 장기공용성을 평가하기 위해서는 포장가속시험 및 현장 시험이 추가로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 '탄소중립형 도로 기술개발' 연구단을 통하여 지원된 국토해양부(한국건설교통기술평가원) 2011년 건설기술혁신사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다. 또한 (주)한수도로산업의 연구과제인 "에폭시 아스팔트 콘크리트 공용성 평가"의 일부 결과물로서 한수도로산업 및 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고 문헌

건설교통부(2007). "한국형 포장 설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구", 연구보고서, 2단계 3차년도
도정윤(2006). "콘크리트 구조물 보수용 폴리머계 보수재료의 사용과 선정방법", *한국콘크리트학회지*, 한국콘크리트

학회, 제18권, 제4호, pp. 73~79.

박상순, 김정흠, 유충현, 김영근, 박헌일, 신홍철(2009). "국내보수재료의 부착 강도특성에 관한 연구", *2009년도 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집*, 한국콘크리트학회, pp. 499~500.
박정호(2006). "아스팔트 포장용 에폭시 수지 조성물 및 이를 이용한 에폭시 아스팔트 포장 혼합물", 출원번호 10-2006-0063304, 대한민국특허청
이광호 등(2009). "에폭시 아스팔트 바인더 및 혼합물 개발 연구", 연구보고서, 한국도로학회
정두희(2000). "외국 강상판 교량의 교면포장 현황", *한국도로학회 논문집*, 한국도로학회, 제2권, 제1호, pp. 30~39.
ASTM Standard C531(2005). "Standard Test Method for Linear Shrinkage and Coefficient of Thermal Expansion of Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacing, and Polymer Concretes," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005, DOI: 10.1520/C0531-00R05, www.astm.org.
Hicks, R. G., Dussek, I. J., and Seim, C.(2000). "Asphalt Surfaces on Steel Deck Bridges," *Transportation Research Board 79th Annual Meeting*, Washington, D.C.
Huang, W., Qian, Z., Chen, G., and Yang, J.(2003). "Epoxy Asphalt Concrete Paving on the Deck of Long-Span Steel Bridges," *Chinese Science Bulletin*, Vol. 48, pp. 2391~2394.
Peiliang, C., Jianying, Y., and Shuanfa, C.(2010). "Effects of Epoxy Resin Contents on the Rheological Properties of Epoxy-Asphalt Blends," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 118, Issue 6, pp. 3678~3684.
(접수일 : 2011. 7. 6 / 심사일 : 2011. 7. 7 / 심사완료일 : 2012. 1. 17)