

국산 에폭시 아스팔트 혼합물의 물리적 특성 평가

Laboratory Performance Evaluation of Korean Epoxy Asphalt Mixtures

김병헌* · 이현종**

Kim, Byung Hun · Lee, Hyun Jong

1. 서 론

우리나라에서는 1970년에 건설된 경부고속도로상의 교량에서부터 아스팔트 혼합물로 교면포장을 시공하기 시작했다. 이는 교량의 바닥판보다 유연한 재료를 사용하여 교통하중에 의한 진동과 충격을 흡수함으로써 바닥판을 보호하고 쾌적한 주행을 확보하기 위한 것이다. 최근에는 교량기술이 현저하게 발전하여 총연장이 7Km가 넘는 광안대교, 서해대교와 같은 해상 장대교량이 건설되었으며, 아울러 보다 내구성이 우수한 교면포장에 대한 관심도 점차 증대되었다. 따라서, 교면포장과 같은 특수조건에 적합한 개질 및 특수 아스팔트 혼합물을 적용하는 연구를 확대해나가고 있다.

에폭시 아스팔트는 아스팔트에 에폭시를 첨가하여 강성을 현저히 증가시킨 아스팔트이다. 에폭시 아스팔트를 교량에 사용할 경우, 일반 아스팔트 포장보다 얇은 두께로 시공이 가능하므로 교량 자체의 하중을 현저히 줄일 수 있고, 소성변형, 피로 균열에 대하여 일반 아스팔트 포장에 비해 큰 저항성을 가진다. 또한, 에폭시 아스팔트는 버스 정류장이나 교차로 등 급정거, 시동 및 비교적 긴 정차 작용에 의해 rutting이 발생하거나 포장 표면이 파손되는 곳, 특히 고온에서 변형이 적어 고속도로, 공항활주로 등에 쓰일 수 있다(이광호 등, 2009).

따라서 본 연구에서는 현재 일본, 미국, 중국 등 여러 나라에서 활발히 연구 및 적용되고 있지만, 우리나라에서는 아직 연구가 시작단계인 에폭시 아스팔트의 적용을 위해서 일반 아스팔트, 일본산 에폭시 아스팔트와의 비교 시험을 수행하였다.

2. 혼합물의 배합설계

2.1 골재입도

목표로 하는 골재의 입도를 얻기 위해서 일반적으로 사용되는 방법은 3~4종류의 최대입경 및 입도가 다른 골재를 합성하는 것이나 이러한 방법은 항상 동일한 골재입도를 얻기가 힘들다는 문제점이 있다. 이는 결국 혼합물의 생산 시 시편과 시편간의 물성변화를 초래할 우려가 있기 때문에 본 연구에서는 먼저 골재를 체크기별로 세분화하여 체가름을 실시한 다음, 이를 합성하여 사용하였다. 골재입도는 일본 에폭시 아스팔트 13mm 골재입도와 국내 밀립도 13F 골재입도를 모두 만족하는 범위 내에서 결정하였다. 그림 1과 2는 합성입도의 분포를 나타낸다.

* 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 석사과정(E-mail:luciferkss@naver.com)

** 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 교수 · 공학박사(E-mail:hlee@sejong.ac.kr)

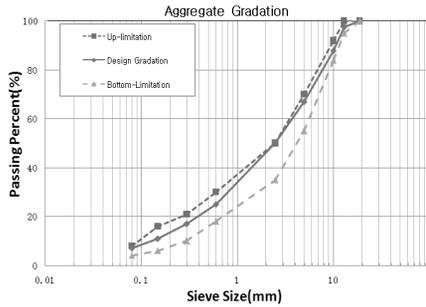


그림 1. 일본 에폭시 아스팔트용 골재의 입도 분포 곡선

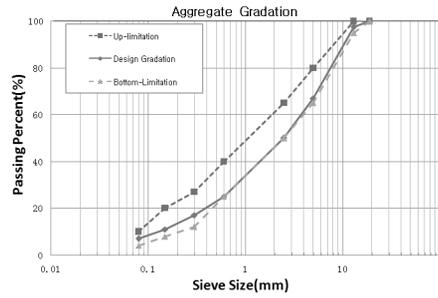


그림 2. 국내 밀립도 13F 아스팔트용 골재의 입도 분포 곡선

2.2 배합설계

에폭시 아스팔트 혼합물의 배합설계는 아스팔트 바인더의 함량을 6~7% 사이에서 0.5%씩 달리하여 각 함량별로 마샬공시체를 제작한다. 양면 75회의 다짐을 실시하여 목표공극률 3.5%에 해당하는 바인더함량을 결정하였고, 결과는 그림 3과 같이 6.7%로 결정되었다. 단, 본 실내시험 시 아스팔트 함량은 전체 혼합물에 대한 아스팔트 함량이다.

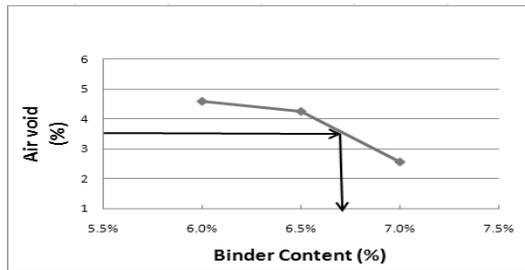


그림 3. 아스팔트 함량에 따른 공극률 변화

3. 실내공용성 평가

새로운 혼합물을 개발함에 있어 최종 목표는 실제 현장에 새로운 혼합물을 시공하였을 때 만족할 만한 공용성을 가지는 혼합물을 개발하는데 있다. 따라서 현장 시험시공은 새로운 혼합물의 공용성을 평가하는데 있어 필수적인 과정이라 할 수 있다. 그러나 현장 시험시공의 경우 외부 환경조건이나 교통조건에 의해 제약으로 시험시공을 실시하기가 어려우며, 공용성을 확인하기 위해서는 적어도 4년 내지 5년의 기간이 필요한 단점이 있다. 실내 시험을 통한 공용성 평가는 단기간에 가능하며, 시험조건을 동일하게 할 수 있는 장점이 있는 반면, 실제 현장의 교통 및 기후조건을 실내에서 완벽하게 모사할 수 없다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 신규 혼합물의 공용 특성을 분석하기 위하여 다양한 실내시험을 수행하였다.

3.1 시편제작

본 연구의 실내 공용성 평가를 위한 공시체 제작에 사용되는 모든 아스팔트 혼합물은 아스팔트 믹서기를 사용한 기계식 비빔으로 혼합하였다. 공극률 및 시간별 다짐도 시험, 수분손상시험에 사용된 시편은 모두 마샬다짐기를 사용하였고, 휠 트래킹 시험에 사용한 시편은 크기 300×300×50mm인 슬래브형 시편으로써 휠트래킹 다짐기를 사용하여 공극률이 각 혼합물의 목표 공극률에 적합하도록 제작하였다. 또한, 에폭시 아스팔트 시편은 표 1과 같이 타입별 적정 혼합온도와 에폭시 함량을 적용하여 제작하였으며, 제작한 시편은 60℃

에서 10일간 양생시켰다. 에폭시 함량은 아스팔트 바인더 총중량에 타입별 해당 에폭시(주제+경화제)함량을 치환하여 사용하였다.

표 1. 에폭시 아스팔트 시편제작

시편유형	에폭시 함량(%)	혼합온도(℃)	비고
일본산 에폭시	40	160	
국산 에폭시-A	20	165	무색바인더, 안료 사용
국산 에폭시-B	40	165	

3.2 시험방법 및 결과

본 연구에서는 모든 시험을 실내시험으로 국한하며 일반, 일본 에폭시, 국내 에폭시 2타입의 아스팔트 콘크리트 시편을 이용하여 실내 공용성 시험을 실시하였다.

(1) 시간별 다짐도 시험

에폭시 아스팔트는 많은 장점을 가지고 있다. 하지만 그럼에도 불구하고 에폭시 아스팔트는 시공되는 일이 적고 널리 보급되지 않고 있다. 그 이유는 에폭시 아스팔트가 가진 몇 가지 단점 때문이다. 그 중 가장 큰 단점은 제조나 시공 상의 어려움이 있다는 것이다. 에폭시와 아스팔트를 섞은 후 경화가 완료되기 전까지 포설을 완료해야하는 제약이 있다. 높은 온도나 외부 요인에 의해 경화시간은 현저히 감소하므로 플랜트에서 에폭시 아스팔트 제작 후 빠른 시간 내에 시공을 완료해야 한다(이광호 등, 2009). 따라서 본 연구에서는 각 타입별 에폭시 아스팔트의 가사시간을 측정하기 위하여, 혼합물을 혼합 후 다짐온도(140~150℃)에서 30분, 60분, 90분, 120분, 180분, 240분, 300분 양생시킨 후 시편을 제작하여 공극률을 측정하였다. 결과는 그림 4와 같다. 그래프를 보면 알 수 있듯이 일본산 에폭시 아스팔트와 국산 에폭시 아스팔트-B는 약 3시간정도, 국산 에폭시 아스팔트-A는 6시간 이상의 가사시간을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

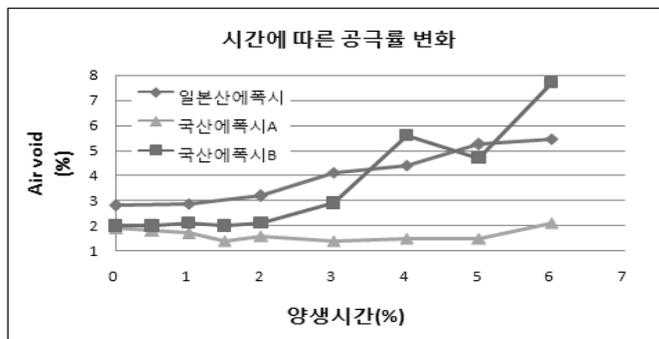


그림 4. 시간별 에폭시 아스팔트의 공극률 변화

(2) 수분손상 시험(KS F 2398)

혼합물의 수분손상은 아스팔트 포장의 가장 흔한 손상유형 중의 하나이다. 이러한 수분손상의 가장 큰 원인은 아스팔트와 골재의 피막박리에 기인하는 것으로서 이러한 피막박리는 아스팔트 층의 하부에서 먼저 발생되어 상부로 진전된다. 피막박리 현상이 심하게 발생하면 포장이 지지력을 상실하여 과도한 소성변형이 발생되기도 하고 포트홀을 유발시키기도 한다. 따라서 본 연구에서는 시편을 평균 공극률이 비슷하게 3개씩 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 수침간접인장강도(wet strength)를 측정하였다. 표 2는 간접 인장 강도비를 측정한 결과이다. 표 2에서 보는 바와 같이 모든 타입의 시편들의 간접인장강도비가 시방기준인 80%를 만족하지 못



하는 것으로 나타났다. 일반 아스팔트와 비교해본 결과 에폭시 아스팔트가 수분에 의한 영향을 더 많이 받는 것으로 판단된다.

표 2. 수분손상시험에 의한 간접인장강도비

ID		강도(N/mm ²)	평균 강도(N/mm ²)	TSR(%)	
일반 아스팔트	건조	1	0.771	79.3	
		2	0.644		
		3	0.737		
	수침	1	0.535		0.569
		2	0.555		
		3	0.618		
일본산에폭시 아스팔트	건조	1	2.490	56.6	
		2	2.749		
		3	3.171		
	수침	1	1.762		1.586
		2	1.754		
		3	1.242		
국산에폭시 아스팔트-A	건조	1	1.443	75.1	
		2	1.440		
		3	1.478		
	수침	1	1.163		1.092
		2	0.937		
		3	1.176		
국산에폭시 아스팔트-B	건조	1	5.146	69.3	
		2	5.206		
		3	4.472		
	수침	1	2.956		3.424
		2	4.110		
		3	3.207		

(4) 휠 트래킹 시험(KS F 2374)

이 시험 방법은 내유동성이 요구되는 도로의 역청 포장 혼합물의 배합설계 및 품질 관리시 내유동성이 우수한 혼합물을 선정하기 위한 시험으로 적용된다. 즉 아스팔트 콘크리트 포장 후 더운 여름에 도로 위로 자동차가 이동할 때 소성 변형이 주로 발생하므로, 이러한 현상을 바탕으로 역청 포장용 혼합물의 공시체에 반복 차륜 하중을 가하여 소성변형에 대한 저항성을 동적 안정도 및 변형률로 평가함으로써, 기존의 경험에 의한 마찰 시험 방법과는 다른 현장 모사 시험 방법으로 휠트래킹 시험 방법을 규정한 것이다. 본 연구에서는 일반 아스팔트 혼합물과 3종의 에폭시 아스팔트 혼합물을 이용하여 휠 트래킹 시험을 실시하여 비교한 결과, 그림 5와 같이 에폭시 아스팔트의 소성변형 저항이 상당히 우수한 것으로 확인되었다. 접지압이 $628 \pm 15 \text{kPa}$ 이 되도록 유지하고 총 시험 차륜 하중을 686N으로 고정하여 실험하였다. 휠 트래킹 시험결과를 동적안정도로 산정하여 비교를 하면 표 3과 같이 일반 아스팔트를 제외한 혼합물 모두 동적안정도가 표층의 기준치인 3000(회/mm)을 상회하여 소성변형에 대한 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다.

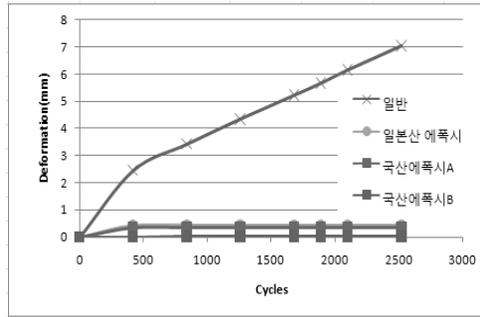


그림 5. 휠 트래킹 시험 측정 결과 비교

표 3. 윤하중 686N에서의 동적안정도 비교

	일반	일본산 에폭시	국산 에폭시-A	국산 에폭시-B
동적 안정도 (회/mm)	467	172676	307108	63000

4. 결 론

본 연구에서는 국산 에폭시 아스팔트를 교면포장에 적용하기 위하여, 우선적으로 최대입경 13mm의 혼합물을 제작하여, 일반 아스팔트 및 일본 에폭시 아스팔트와 비교 시험을 수행하였다.

각 혼합물의 가사시간을 측정하기 위한 시간별 다짐도시험결과 일본산 에폭시 아스팔트와 국산 에폭시 아스팔트-B는 약 3시간정도, 국산 에폭시 아스팔트-A는 6시간 이상의 가사시간을 확보할 수 있는 것으로 판단되며, 수분민감성을 측정하기 위한 수분손상시험결과는 모두 시방기준에는 미치지 못하는 것으로 나타났다. TSR을 비교해보면 국산 에폭시 아스팔트-A는 일반 아스팔트 보다 약 4% 감소, 일본산 에폭시 아스팔트보다 약 20% 상승하는 효과를 보였고, 국산 에폭시 아스팔트-B는 일반 아스팔트 보다 약 10% 감소, 일본산 에폭시 아스팔트보다 약 13% 상승하는 효과를 보였다. 이는 에폭시 아스팔트가 수분에 좀 더 많은 영향을 받는 것으로 판단된다. 또한 소성변형에 대한 공용성을 분석하기 위한 휠트래킹 시험에서는 일반 아스팔트를 제외한 모든 에폭시 아스팔트가 시방기준을 훨씬 상회하여 소성변형에 대한 저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다.

그러나 본 연구의 결과는 실내 물성 및 공용성 시험결과에 국한된 것으로 본 연구에서 시험한 에폭시 아스팔트의 장기 공용성을 평가하기 위해서는 포장가속시험 및 현장 시험이 추가로 수행되어야 할 것으로 판단된다.



참고 문헌

1. 정두희 (2000), “외국 강상판 교량의 교면포장 현황”, 한국도로포장공학회, 제2권 제1호 pp 30~39
2. 김광호 등 (2009), “에폭시 아스팔트 바인더 및 혼합물 개발연구”, 한국도로학회
3. 건설 교통부 (2005), “가열 아스팔트 혼합물 배합설계 지침”
4. Lou sang, Wang Jianwei and Qian Zhendong (2007), “Research on the performance of locally developed epoxy asphalt mixes”, 26th Annual Southern African Transport Conference, SATC, South Africa, pp 736~744
5. ASTM(1988), “Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures”, ASTM Designation : D4867-88