

배수성 포장용 고점도 개질 아스팔트 바인더 개발

Development of High Viscous Modified Asphalt Binder for Porous Asphalt Pavement

김형석 Kim, Hyeong Seok	정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 석사과정 (E-mail : redehyes82@nate.com)
이현종 Lee, Hyun Jong	정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : hlee@sejong.ac.kr)
이광호 Lee, Kwang Ho	정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구개발실장 · 공학박사 (E-mail : LKH@freeway.co.kr)
김형배 Kim, Hyung Bae	정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사 (E-mail : kimhyun3@ex.co.kr)

ABSTRACT

This paper describes the results of laboratory and field performance tests on the polymer modified asphalt binder and mixtures developed in this study for porous asphalt pavements. Various physical and mechanical laboratory tests including DSR and BBR tests are performed for two types of modified binders, and one type of binder is selected based on the binder testing results. Mix designs are conducted for the selected asphalt binder and a Japanese modified binder, respectively. Various performance tests including fatigue tests, wheel tracking tests, and moisture susceptibility tests are conducted for the domestic and Japanese porous asphalt mixtures. Test results indicate that the overall performance characteristics of the domestic mixture are similar to or better than those of the Japanese mixture. Based on the laboratory testing results, the domestic porous mixture is applied to a field test section. Periodic field investigations are conducted to evaluate the changes in noise level and air voids with time. The road noise analysis shows that the noise levels of the porous pavement keep increasing and, after two years, are similar to those of SMA pavements.

KEYWORDS

porous asphalt mixture, performance, fatigue, rutting, moisture damage, noise

요지

본 연구는 배수성 아스팔트 포장에 사용하기 위하여 국내에서 개발한 개질 아스팔트 바인더 및 혼합물의 실내 및 현장 공용성을 평가한 연구이다. 국내에서 개발된 개질 아스팔트 2종에 대한 DSR, BBR 및 다양한 바인더 시험을 실시하여 공용성능이 상대적으로 우수한 1종의 개질 아스팔트를 선정하였다. 선정된 개질 아스팔트와 기존에 일본에서 사용되는 개질 아스팔트를 사용하여 각각에 대하여 배합설계를 실시하고, 배수성 아스팔트 혼합물을 생산하여 실내 공용성을 비교하기 위해 휠트래킹 시험, 수분손상 시험, 피로시험 등을 수행하였다. 그 결과, 공용특성 측면에서 국산의 개질 아스팔트가 일본 개질 아스팔트와 비슷하거나 경우에 따라서는 우수함을 확인하였다. 실내시험결과를 바탕으로 현장 시험시공을 실시하였고, 추적조사를 통하여 시간에 따른 공극률과 소음특성의 변화를 측정하였다. 그 결과 시공 초기에는 배수 및 소음 저감 능력이 우수하였으나 2년이 경과한 후 소음 저감 능력이 감소하여 SMA 포장과 비슷한 수준의 소음저감효과를 나타내었다.

핵심용어

배수성 혼합물, 공용성, 피로, 러팅, 수분손상, 소음분석

1. 서론

배수성 아스팔트 포장은 기존의 일반 밀입도 포장에 비해 노면배수 촉진, 소음저감, 우천시 야간 전조등 불빛의 반사를

억제하는 등의 기능적 측면에서 여러 장점이 있는 포장 공법이다. 이러한 배수성 포장의 기능적 우수성으로 인해 유럽과 일본 등의 도로기술 선진국에서는 고속도로뿐만 아니라 시가

지도, 교면포장 등에 활발히 적용하고 있고, 적용실적이 점점 증가하는 추세에 있다. 일본의 경우 배수성 포장에 대한 엄격한 시방규격을 확립하고 배합설계단계에서부터 시공에 이르기까지 철저한 품질관리를 통해 포장의 조기파손을 방지하고 배수기능을 장기간 확보함으로써 일반포장에 비해 배수성 포장에 가지는 여러 기능적인 우수성을 십분 활용하고 있다.

배수성 아스팔트 포장 공법은 1990년대 중반 우리나라에 본격적으로 도입되어 현재까지 어느 정도 확산 시공되고 있으나 일본과 같은 도로기술의 선진국에 비해 현장 적용실적이 미미한 편이다. 기존 국내에서 시공된 배수성 포장의 경우 포장의 조기파손 및 부적절한 시공 등에 의한 배수기능 상실 등과 같은 문제가 빈번히 발생함으로 인해 배수성 포장에 대한 부정적인 평가가 주를 이루고 있다. 그러나 최근에는 배수성 포장에 대한 기존의 부정적 시각에도 불구하고 한국도로공사에서 배수성 아스팔트 포장에 대한 시방규정을 개발 제시하였고, 서울시 등을 중심으로 배수성 포장을 확대 적용할 계획을 수립하였다. 따라서 이러한 사회적 수요에 부응하기 위해서는 배수성 포장에 대한 제반 기술을 향상시키기 위한 노력이 절실히 필요한 시점이다.

현재 국내에서는 다양한 배수성 포장용 개질 아스팔트 바인더가 개발되어 사용되고 있다. 국내의 배수성 포장에 대한 시장의 요구가 증대함에 따라 최근 K사에서는 배수성 포장용 고점도 개질 아스팔트를 위한 폴리머 개질제를 새로이 개발하였다. 새로이 개발된 개질제가 성공적으로 현장에 적용되기 위해서는 공용성에 대한 충분한 사전 검토가 필요하다. 따라서 본 연구는 이러한 공용성 검토에 초점을 맞추어 진행하였다.

본 연구에서는 K사에서 개발한 2종류의 배수성 포장용 폴리머 개질제를 사용한 아스팔트 바인더들에 대한 시험을 실시하여 공용성능이 상대적으로 우수한 한 종류의 개질제를 선정하였다. 한 종류의 국산 개질제와 일본에서 사용되는 개질제 한 종류에 대하여 각각에 대한 배수성 혼합물의 배합설계를 실시하고, 혼합물에 대한 다양한 물리 역학적 시험을 수행하여 성능을 비교하였다. 또한 현장 시험시공을 실시하여 시간에 따른 소음 특성의 변화를 분석하였다.

2. 개질 아스팔트 바인더의 물성 및 PG등급시험

2.1. 시험개요 및 바인더의 종류

아스팔트 공용성(Performance) 등급에 대한 기준은 아스팔트 포장의 소성변형 및 저온균열에 대한 저항성을 확보하기 위하여 현장의 기후와 조건을 고려하여 지역 특성에 맞는 적절한 아스팔트를 선정하기 위한 것이다. 시험에 사용된 첨가제의 종류 및 함량(아스팔트 바인더의 중량 대비)은 다음

표 1과 같다. J 첨가제의 경우 일본에서 일반적으로 사용되는 첨가제이고, 아스팔트 바인더는 PG 64-22에 해당하는 것을 사용하였다.

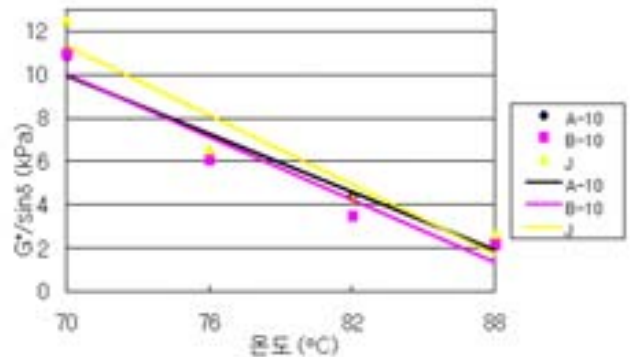
표 1. 첨가제의 종류 및 첨가량

구분 \ 함량	10 %	12%
A(국내산)	A-10	A-12
B(국내산)	B-10	B-12
J(일본산)	J	

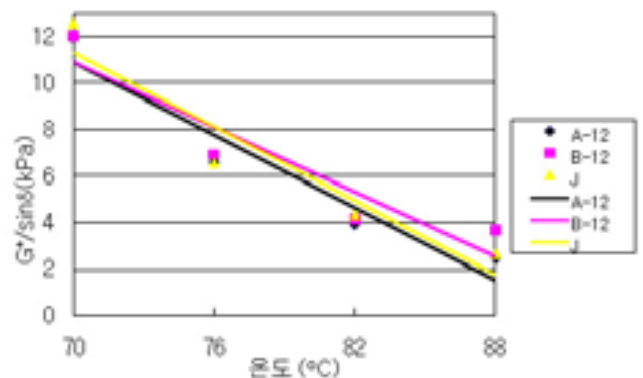
2.2. 시험결과

2.2.1. DSR(Dynamic Shear Rheometer) 시험(단기노화)

그림 1은 개질제의 첨가량이 10%, 12%로 동일한 바인더별 DSR 시험 결과이다. RTFO를 수행하여 단기노화를 거친 아스팔트 바인더의 고온 등급 시험에서는 $G^*/\sin \delta \geq 2.2\text{kPa}$ 에 부합되어야 하는데(AASHTO MP1-93), 모든 아스팔트 바인더가 조건에 부합되는 것을 알 수 있었다. 또한 B 첨가제를 12% 포함한 아스팔트 바인더가 소성변형 저항성이 크다는 것을 알 수 있었다.



(a) A-10 vs. B-10



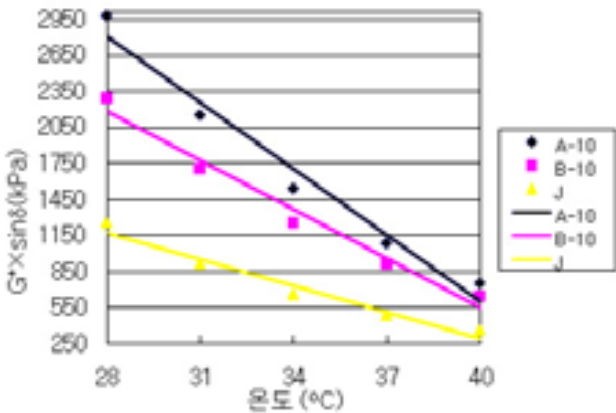
(b) A-12 vs. B-12

그림 1. 개질 아스팔트 바인더의 소성변형 특성 비교($G^*/\sin \delta$)

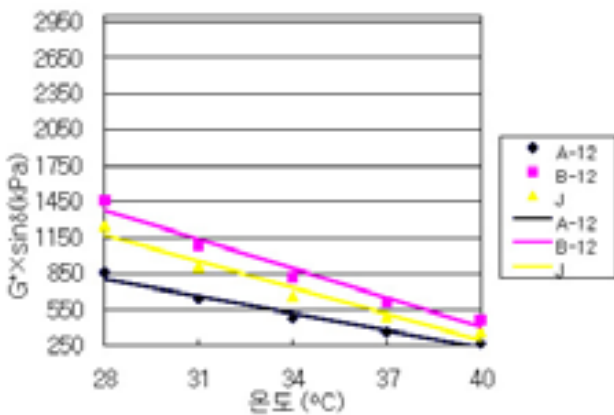
첨가제 A를 포함한 아스팔트 바인더는 함량 증가에 따른 소성변형 저항성의 변화가 미미하였으나 첨가제 B를 포함한 아스팔트 바인더는 그 영향이 큰 것으로 판단된다. 그림과 같이 모든 바인더의 고온등급이 82를 충분히 만족하고 있음을 확인하였다.

2.2.2. DSR시험(장기노화)

그림 2는 DSR 시험 결과이다. 장기 노화된 아스팔트 바인더의 DSR 시험에서는 $G^* \times \sin \delta \leq 5000 \text{kPa}$ 에 부합되어야 하는데(AASHTO MP1-93) 그림에서 알 수 있듯이 모든 바인더가 조건에 부합되는 것을 알 수 있었다. $G^* \times \sin \delta$ 값이 적을수록 피로 균열에 대한 저항성이 높은 것을 근거로 하였을 때, 대체적으로 첨가제 비율이 12%일 때의 아스팔트 바인더에서 피로균열 저항성이 크게 증가하는 것으로 나타났다.



(a) A-10 vs. B-10



(b) A-12 vs. B-12

그림 2. 개질 아스팔트 바인더의 피로 특성 비교($G^* \times \sin \delta$)

2.2.3. BBR(Bending Beam Rheometer) 시험

BBR 시험결과에서 M-value 값이 0.3 이상이면 기준을 만족하고, 0.3 미만이면 기준을 만족하지 못하는 것으로 판단된다. 그림 3에서 보는 바와 같이 -12°C 에서는 모두 기준

을 만족하고, -18°C 에서는 모두 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

따라서 앞서 수행된 DSR 시험과 BBR 시험을 종합해 본 결과, 5가지 바인더(A-10, A-12, B-10, B-12, J)는 모두 공용성 등급이 PG 82-22로 결정되었다.

첨가제 A와 B 모두 첨가제 J와의 물성비교에서 큰 차이가 없는 것으로 나타나 기존 외산 배수성 첨가제와 거의 동등한 성능을 갖는 배수성 혼합물 생산이 가능한 것으로 판단된다. 국내 도로포장에서 주요 파손 원인 중 여전히 많은 부분이 소성변형에 기인하고 있어 상대적으로 소성변형 저항성이 우수한 첨가제 B를 적용한 혼합물이 현장에서 보다 우수한 공용성을 가질 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 첨가제 B를 선택하여 실내 공용성 시험 및 현장 시험시공을 실시하였다.

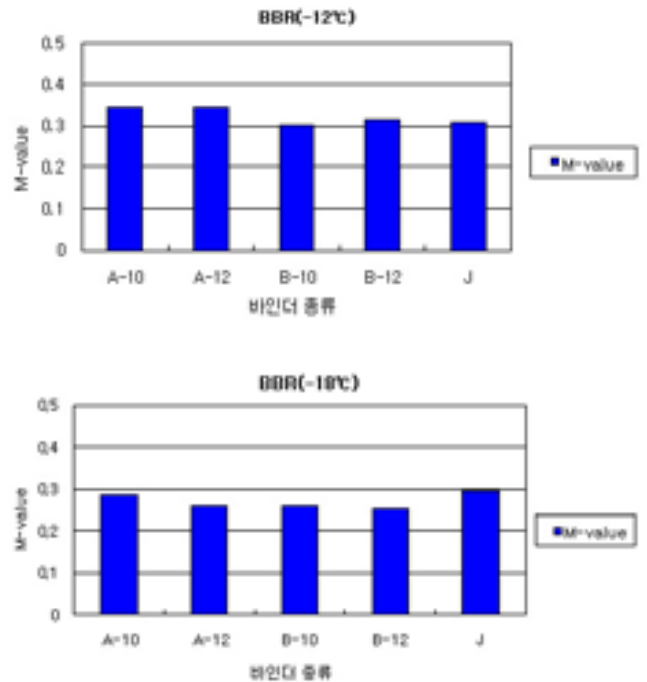


그림 3. BBR 시험에 따른 바인더별 성능 비교

2.2.4. 물성시험 결과

앞에서 선택된 B 첨가제를 적용한 아스팔트 바인더(Type B)와 일본(Type J) 개질 아스팔트 바인더 두 종류에 대해 물리적 시험을 수행하였으며, 결과를 표 2에 정리하였다. 시험결과 두 개질 아스팔트 바인더 모두 일본 배수성 포장용 개질 아스팔트의 품질규격(H형)을 만족하는 것으로 나타났다. 두 개질제간의 물성차이는 거의 없는 것으로 나타났으나 침입도 잔류율에서 다소 큰 차이가 나타났다. 이는 B 첨가제의 경우 박막가열 후 침입도의 변화가 크다는 것을 의미하고 따라서, 바인더의 노화에 따른 물리적 성질의 변동이 클 가능성

이 있는 것으로 사료된다. 또한 60℃에서의 절대 점도값을 보면 B첨가제가 J첨가제에 비해 약 두 배정도 높은 것으로 나타났다.

표 2. 첨가제의 종류 및 첨가량

시험항목	시험방법 (ASTM)	일본기준 (H형)	시험결과	
			Type B	Type J
침입도(Penetration) 25℃ 0.1mm	D5-86	40 이상	54	55
연화점(Softening Point) R&B ℃	D-36	80 이상	90.4	93.6
절대점도(Viscosity) 60℃, Poise	D-2171	-	2,921,810	1,518,850
프라스 취하점(Fraass Breaking Point) ℃	-	-12 이하	-35 이하	-30
신도(Ductility) 15℃, cm	D-113-86	50 이상	80	81
터프니스(Toughness) kgf.cm	-	200 이상	218	245
티네시티(Tenacity) kgf.cm	-	-	125	159
박막가열시험(TFOT)후 질량손실 %	D6-86	0.6 이하	0.1	0
침입도잔류율(Penetration Residue) %	D5-86	65 이상	63	93

3. 배수성 혼합물의 실내 공용성 시험

3.1. 배합설계

본 연구에서는 최대입경 13mm 골재를 사용하여 아스팔트 혼합물을 생산하였다. 시험에 사용된 골재는 국내에서 생산되는 쇄석 골재를 사용하였으며 골재의 입도 범위는 그림 4와 같은 최대골재 13mm의 배수성포장의 골재 입도를 사용하였다.

본 연구에서는 상한입도와 하한입도의 중앙입도를 목표로 각 크기별 골재를 합성하여 배합설계를 하였으나 공극률이 목표 공극률인 20%에 도달하지 못하여 목표입도를 시방규정의 하한 쪽으로 이동하여 골재를 합성해 사용하였다.

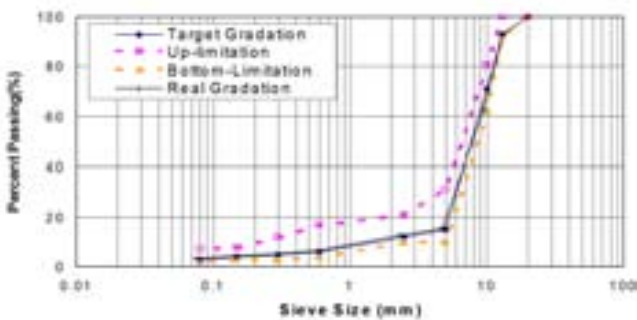
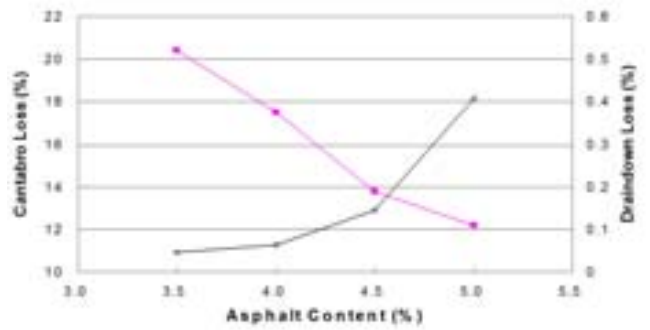
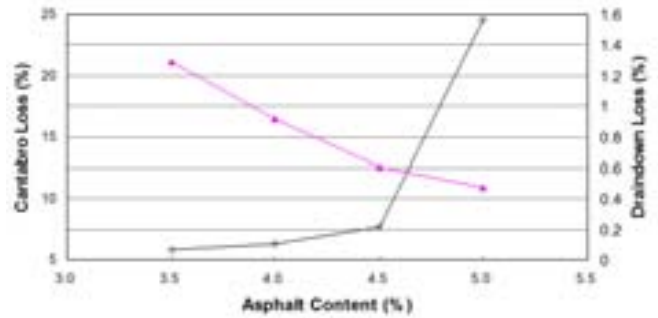


그림 4. 골재입도곡선

그림 5는 각각의 개질제 타입의 아스팔트 함량에 따른 칸타브로 손실률과 드레인다운 손실률의 관계를 나타낸다. 배수성 아스팔트포장 시방서에서는 칸타브로 손실률은 20%이하, 드레인다운 손실률은 0.3% 이하로 각각 규정하고 있다.



(a) Type B



(b) Type J

그림 5. 배수성 아스팔트 혼합물의 최소 및 최대 바인더 함량 결정

그림 5에서 보는 바와 같이 B타입의 경우 아스팔트 바인더의 최소함량은 3.6%, 최대함량은 4.8%로 나타났으며, J타입의 경우 최소함량은 3.6% 최대함량은 4.5%인 것으로 나타났다. 배수성 아스팔트 혼합물의 경우 공극률 기준이 20%로 이러한 공극률 기준을 만족하는 범위 내에서 아스팔트 함량을 결정하여야 한다. 그림 6을 보면 공극률 20%를 만족하는 아스팔트함량은 B타입 및 J 타입에서 각각 3.7%와 4.0%로서 상당히 낮다. 이러한 함량에서는 그림 6에서 보는 바와 같이 칸타브로 손실율이 높아서 골재의 비산이 상당히 발생할 우려가 있다. 따라서 공극률을 19.5%로 낮추어 최적 함량을 결정하였고 B타입은 4.1%, J타입은 4.2%로 최적함량이 결정되었다. 따라서 본 연구에서 수행된 모든 실내 공용성 시험은 앞서 결정된 최적함량으로 혼합물을 생산하여 시험을 실시하였다.

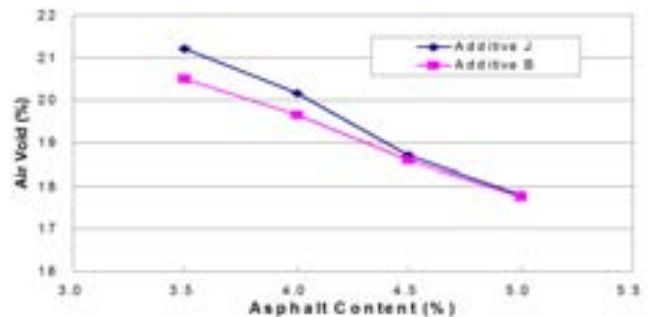


그림 6. 공극률을 기준으로 한 최적 아스팔트 함량 결정

3.2. 실내 공용성 시험

3.2.1. 휠트래킹 시험

동적안정도는 휠트래킹 시험을 통하여 측정되며 여름철과 같은 고온의 포장조건하에서 실제 차량하중이 통과함에 따라 발생하기 쉬운 소성변형을 실내에서 재현하여 평가하는 속성 시험으로, 반복주행으로 인한 바퀴패임 깊이의 변화를 측정함으로써 아스팔트 혼합물의 동적안정도를 결정하는 시험이다. 동적안정도는 혼합물에 1mm의 소성변형을 유발시키는 데 가해진 하중재하횟수로써 결정된다. 시험방법은 KS F 2374의 규정에 따라 시험을 실시하였다.

표 3. 동적안정도 시험 결과

ID		Type B	Type J
동적안정도 (회/mm)	1	3,333	6,667
	2	3,125	5,263
평균 동적안정도		3229	5965

표 3은 휠트래킹 시험결과를 이용하여 동적안정도 값을 계산한 결과로 B타입이 J타입에 비해 소성변형이 보다 많이 발생됨을 알 수 있다. 2개의 모든 개질제가 배수성 혼합물의 시방규정인 3,000회 보다 높은 값을 얻을 수 있었다.

앞서 실시한 바인더의 물성시험 결과에서는 60℃에서의 절대 점도 값이 B첨가제가 J 첨가제에 비해 약 두배정도 높게 나타났다. 그러나 휠트래킹 시험결과를 보면 오히려 J첨가제가 소성변형에 대한 저항성이 높은 것으로 나타났다. 이는 J첨가제가 시공성 측면에서 점도가 낮아 골재와의 혼합이나 혼합물 다짐 시에 보다 유리하게 작용한 것으로 판단된다. 따라서 B 첨가제의 경우 기존보다 점도는 2/3 수준으로 낮추면서 소성변형에 대한 저항성을 높일 수 있는 개선 연구가 필요한 것으로 판단된다.

3.2.2. 수분손상시험

아스팔트 혼합물의 수분민감성을 측정하는 데는 여러 종류의 시험이 있으나 현재 가장 많이 적용되고 있는 ASTM D 4867-92의 규정에 따라 시험을 실시하였다. 마찰 시편을 제작하여 건조 인장강도와 수침 인장강도를 간접 인장시험을 통해 측정하여 간접 인장강도비를 계산한다. 아스팔트 혼합물의 수분손상에 대한 저항성은 TSR(Tensile Strength Ratio)이 높을수록 유리한 것으로 알려져 있으며, 미국의 경우 대부분의 주에서는 TSR이 70~80% 이상이 되도록 배합설계에 규정하고 있다(Brown et al, 1998).

표 4. 수분손상시험 결과

구 분	습윤 인장강도 (kPa)	건조 인장강도 (kPa)	TSR (%)
개질제 B	312.8	321.7	97.2
개질제 J	303.3	328.3	92.4

표 4에서 보는 바와 같이 건조시편 대비 수침시편의 인장강도비가 B타입은 97.2%, J타입은 92.4%로 모두 수분에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다.

3.2.3. 피로시험

아스팔트 바인더가 혼합물의 피로수명에 미치는 영향을 파악하기 위하여 2종의 아스팔트 혼합물에 대하여 간접인장 피로시험을 실시하였다. 본 연구에서는 혼합물에 대해 피로시험을 수행하여 얻어진 데이터로부터 강성(Stiffness)을 계산하고 이를 통해 시편의 강성이 초기 강성의 50%에 도달했을 때 까지 시편에 가해진 하중재하횟수를 피로수명으로 결정하였다. 본 시험에서는 10Hz의 주기를 갖는 Haversine 하중을 시편에 가하였고, 0.1초의 하중을 연속으로 재하하여 시편의 상대적인 피로수명을 비교하였다(건설교통부, 2002).

각 혼합물의 피로시험 데이터를 사용하여 100번째 하중재하시의 변형을 진폭과 피로수명에 대해 그림으로 나타내면 그림 7과 같다. 그림에서 보는바와 같이 B타입의 개질제가 J타입에 비해 피로균열에 대한 저항성이 우수한 것을 알 수 있었다. 식(1)의 일반적인 피로수명 모델 식을 사용하여 회귀분석을 실시하였고, 이 값을 표 5에 나타내었다.

$$N_f = a(\epsilon_0)^b \quad (1)$$

여기서, N_f = 아스팔트 혼합물의 피로수명,

ϵ_0 = 초기 인장 변형률,

a, b = 회귀분석을 통하여 얻어지는 상수.

표 5. 피로모형의 계수

혼합물 종류	평균 동탄성계수 @20℃, 1Hz	피로모형식의 계수		
		a	b	R2
개질제 J	2357MPa	2×10^7	-1.8225	0.9101
개질제 B	2970MPa	2×10^9	-2.8127	0.9546

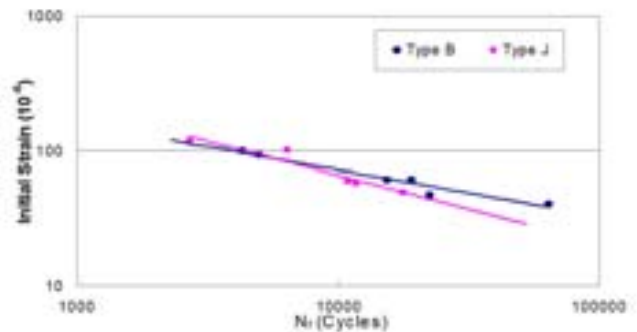


그림 7. 간접인장 피로시험 결과

4. 배수성 포장 시험시공

4.1. 시험시공 개요

배수성 포장의 시험시공은 중앙고속도로 적성터널 진출부(상주방향) 콘크리트 포장에 덧씌우기 포장 공법의 일환으로 시공되었다. 시공 구간은 총 연장 380m이며 1,2차로 모두 덧씌우기가 시행되었다. 덧씌우기 공법은 기본적으로 PSMA 공법이 적용되었으며, 배수성 포장은 2차로의 200m 연장으로 시공되었다. 그림 8은 배수성 포장 시험시공이 실시된 현장 개요도이다.

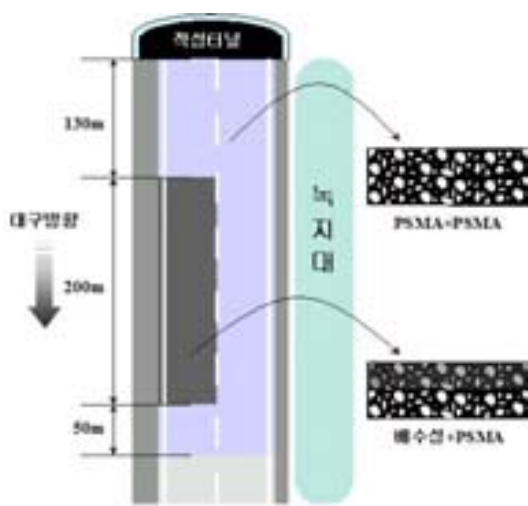


그림 8. 시험시공 개요도

4.2. 시험시공 단면

그림 9는 시험시공을 실시한 중앙고속도로 적성터널 진출부 콘크리트 포장의 단면 일부의 모습이다. 콘크리트 포장은 두께 300mm로 시공되어 있으며, 길어깨에는 75mm의 아스팔트 포장과 하부에 쇠석보조기층이 시공되어 있다.



그림 9. 기존 콘크리트 포장 단면도

콘크리트 포장을 절삭하고 아스팔트 포장으로 덧씌우기를 하는 경우, 절삭장비의 효율과 시공성을 고려하여 기존 포장면을 50mm 절삭하고 그 위에 80mm의 아스팔트 덧씌우기층을 2층으로 나누어 시공하는 것이 일반적인 시공방법이다. 그러나 기존의 절삭 깊이대로 50mm를 절삭할 경우, 배수성 표층을 통과한 침투수가 불투수성을 갖는 PSMA층과

의 경계면을 따라 길어깨 쪽으로 배수될 때, 물고임이 발생할 수 있다. 이러한 물고임 현상이 발생하면, 길어깨 접속 부위는 지속적인 침수효과로 인해 강도가 저하되고 하중으로 인한 파손의 위험이 증가한다. 따라서, 본 시험시공에서는 표층의 배수성 포장 특성을 반영하여 물고임 현상의 발생을 최소화할 수 있도록 그림 10과 같이 콘크리트 포장을 40mm 절삭하여 본선과 길어깨의 불투수층 높이를 맞추어 시공하였다.



그림 10. 콘크리트 포장 40mm 절삭안

4.3. 현장 시험시공

그림 11은 현장 시험시공 과정을 보여준다. 시공은 기존 콘크리트 포장 노면 절삭, 절삭면 프라이머 코팅, 아스팔트 혼합물 포설 및 다짐 순으로 진행되었으며 PSMA+PSMA 층으로 구성된 1차로부터 시작되었다.



(a) 기존 콘크리트 포장 손상면

(b) 기존 콘크리트 포장 절삭



(c) 콘크리트 포장 절삭면

(d) 콘크리트 포장 절삭 깊이



(e) 1차로 PSMA 포설 및 다짐

(f) PSMA 표면 조직

〈그림 계속〉



(g) 2차로 배수성 포설 및 다짐 (h) 배수성 포장 표면 조직

그림 11. 현장 시험시공 과정

4.4. 시험시공 추적조사

시험시공 현장에 대한 추적조사는 시공 후 약 40일, 120일, 760일이 경과된 시점에서 3회 실시하였다. 추적조사에서는 배수성 포장의 공용상태 및 현장채취 코어 공시체를 이용한 공극률 분석과 차량주행 시 발생하는 소음평가가 수행되었다.

4.4.1. 현장 채취 코어 분석

시험시공구간의 휠 패스 구간 및 차로 중앙부에서 덧씌우기 층의 코어 시편을 채취하였다. 현장에서 채취된 코어 시편은 실내시험을 통해 배수성 포장에서 가장 중요한 현장에서의 공극률 평가에 사용되었다. 다음의 표 6은 공극률을 측정 한 결과를 나타낸다.

표 6. 현장 채취 코어시편 공극률 시험결과

구분	실측밀도 (g/cm ²)	이론밀도 (g/cm ³)	공극률 (%)	
1차	휠패스	2.111	2.608	19.0
		2.043	2.608	21.7
		2.024	2.608	22.4
	중간부	2.102	2.599	19.1
	평균	2.260	2.605	20.6
3차	휠패스	2.241	2.608	14.1
		2.229	2.608	14.5
		2.246	2.608	13.9
	중간부	2.249	2.599	13.5
	평균	2.25	2.605	14.00

2차 추적조사 시에는 시공 후 시간이 얼마 지나지 않아서 공극률의 변화가 크지 않을 것이라 판단하여 현장코어 시편을 채취하지 않았고, 3차 추적조사에서 측정 한 결과를 보면 평균적으로 6% 이상 낮아져 소음 저감성능 및 배수능력이 다소 떨어질 것이 우려되었다.

4.4.2. 소음측정

현장 소음측정 시험은 총 3회에 걸쳐 수행되었다. 차량 주

행에 따른 소음의 평가에는 등가소음도(Leq. Equivalent Noise Level)를 이용하였다. 등가소음도란 임의의 측정시간 동안 발생한 변동소음의 총에너지를 같은 시간 내의 정상소음의 에너지로 등가하여 얻어진 소음도를 말한다. 1972년 채택된 미국의 소음제어규제(Noise Control Act)에 의하여 미국의 EPA(Environmental Protection Agency)가 채택한 환경소음 측정치 중의 하나이다. 국내에서는 건설교통부에서 고시한 「공동주택의 소음측정기준」(건설부고시 제463호 '86.10.15)에서 소음을 평가하는 한 방법으로 사용되고 있다.

소음 측정은 1회당 5분간 실시되었으며 실제 등가 소음도는 그림 12와 같은 소음측정 장비에서 자동으로 계산되었으며, 소음은 지상에서 약 1.2m의 높이에서 측정되었다. 측정위치는 포장형식별로 상대비교를 위해 동일한 위치에서 실시하여야 하기 때문에 길어깨 끝단을 기준으로 하였다.



(a) 소음측정기의 위치



(b) 등가소음측정화면

그림 12. 등가소음 측정

소음측정 결과의 상대 비교시 참고자료로 활용하기 위하여 등가소음도 측정시 교통량을 함께 조사하였다. 차종은 승용차, 버스(대형), 트럭(1.5톤 초과), 트레일러 4종으로 구분하였으며, 측정시간동안 통과대수를 차종별로 기록하였다.

표 7. 1차 등가소음도 측정 결과(단위, dB(A))

구 간	등가소음도	승용차	버스	화물차	트레일러
PSMA 포장	66.2	26	3	3	1
	73.5	20	3	5	1
	73.4	21	0	9	2
평 균	73.5	20.5	1.5	7.0	1.5
배수성 포장	73.8	28	5	7	4
	73.2	27	2	7	1
	73.4	29	0	4	1
평 균	73.5	28.0	2.3	6.0	2.0
콘크리트 포장	83.9	14	0	4	5
	83.8	24	2	7	1
	82.2	23	5	2	1
평 균	83.3	20.3	2.3	4.3	2.3

본 연구에서 실시한 소음측정은 조사대상에 포함된 구간들의 상대적인 소음저감능력을 평가하기 위한 것으로 포장형식에 따른 절대적인 기준 값으로 사용하기에는 다소 무리가 있다. 즉, 소음원으로부터의 이격거리의 제한(사면, 성토구간 등), 차로별 포장형식 적용의 제한(배수성 포장은 2차로만 적용) 통과 교통량, 다양한 차량 주행속도 등으로 인해 본 연구에서 측정하지 않은 다른 저소음 포장 또는 소음측정 구간과의 비교는 객관적인 결과를 추론할 수 없다고 판단된다.

표 7은 1차 현장조사 시 수행한 등가소음도 측정 결과를 보여준다. 1차 소음측정 시에는 PSMA 포장의 등가소음도가 71dB(A)로 배수성 포장의 73.5dB(A)와 콘크리트 포장의 83.3dB(A)보다 더 작은 것으로 나타났다. 이는 PSMA포장의 첫 번째 측정에서 66.2dB(A)라는 매우 적은 등가소음도가 측정되었기 때문이며 이 측정값은 소음측정시험 준비과정에서 발생한 오류로 판단된다.

따라서 첫 번째 측정결과를 제외한 나머지 측정치를 이용하여 PSMA 포장구간의 등가 소음도를 구하면 73.5dB(A)로 배수성 포장 구간과 동일한 소음정도를 나타내고 있다. 이는 초기에는 PSMA 포장의 경우에도 SMA 포장의 특성대로 거친 표면조각이 형성되어 배수성 포장과 거의 동일한 수준의 소음 저감 효과가 나타나는 것으로 판단된다. 특히 배수성 포장과 일반 콘크리트 포장의 등가소음도 차이는 10dB(A)에 이르는 것으로 나타나 소음저감 효과가 확실히 뛰어나게 발휘되고 있음을 알 수 있었다.

표 8. 2차 등가소음도 측정 결과(단위, dB(A))

구 간	등가소음도	승용차	버스	화물차	트레일러
PSMA 포장	76.8	21	1	6	3
	74.6	19	1	2	0
	77.1	19	1	6	1
평 균	76.2	19.7	1.0	4.7	1.3
배수성 포장	72.7	28	2	4	2
	71.4	12	0	6	2
	71.7	26	2	6	1
평 균	71.9	22.0	1.3	5.3	1.7
콘크리트 포장	79.8	19	2	2	1
	78.6	9	2	2	1
	80.7	13	3	5	0
	81.3	26	2	3	1
평 균	80.1	16.8	2.3	3.0	0.8

표 8은 2차 현장조사 시 수행한 소음 측정결과를 보여준다. 각 구간별로 측정된 등가소음도의 평균값은 각각 PSMA 포장은 76.2dB(A), 배수성 포장은 71.9dB(A), 콘크리트 포장은 80.1dB(A)로 나타났다. 2차 조사에서는 배수성 포장의 등가소음도가 가장 낮은 것으로 나타났으며, 특히 콘크리트 포장보다 8dB(A)가량 소음저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 PSMA 포장의 경우 1차 조사에 비해 소음저감 효과가 많이 감소된 것으로 나타났는데 이는 포장 공용에 따른 표면조각의 마모 및 이물질이 쌓여서 나타나는 현상으로 판단된다.

2차 현장조사에서는 전체적으로 1차 현장조사 보다 등가소음도가 감소한 것으로 나타났는데 이는 현장 측정시 터널 진출부 길 어깨의 안전을 고려하여 경광등을 켜 작업차를 배치하여 전체적인 차량의 속도가 감소하였기 때문으로 판단된다.

표 9. 3차 등가소음도 측정 결과(단위, dB(A))

구 간	등가소음도	승용차	버스	화물차	트레일러
PSMA 포장	74.8	22	2	2	2
	75.7	16	2	4	6
	75.0	21	2	8	1
평 균	75.2	19.7	2.0	4.7	3
배수성 포장	75.8	36	2	6	2
	75.2	19	2	6	4
	75.3	34	1	4	6
평 균	75.4	29.7	1.7	5.3	4.0
콘크리트 포장	85.2	31	3	8	2
	84.7	32	3	7	3
	84.6	27	1	8	3
평 균	84.8	30.0	2.3	7.7	2.7

표 9는 3차 현장조사 시 수행한 소음 측정결과를 보여준다. PSMA 포장은 75.2dB(A), 배수성 포장은 75.4dB(A), 콘크리트 포장은 84.8dB(A)로 나타났다. PSMA 포장구간과 배수성 포장구간의 소음도가 콘크리트 포장 보다 9dB(A) 가량 소음 저감 효과가 있는 것으로 나타났으며, 배수성 포장의 경우 2차 조사 시 보다 소음 저감효과가 많이 감소된 것으로 볼 수 있는데, 이는 포장 공용에 따른 공극 막힘 현상으로 인하여 낮아진 공극율에 영향을 받은 것으로 판단된다. 따라서, 차후 배수성 포장의 공극 막힘 문제를 해결하기 위한 방안 마련이 모색되어야 할 것으로 판단된다.

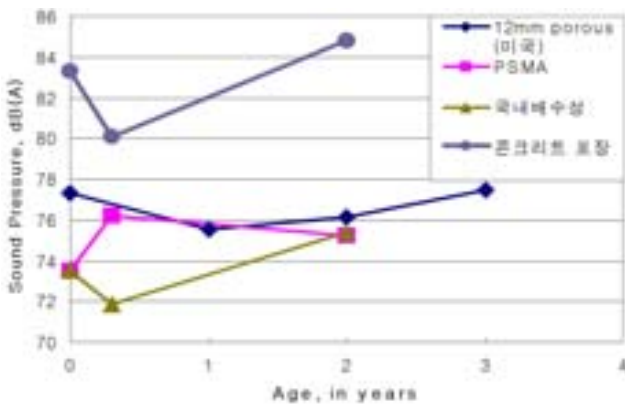


그림 13. 일반 아스팔트 포장과 배수성 포장의 공용에 따른 소음도 변화

앞서 살펴본 바와 같이 동일한 구간이라도 측정시점이나 환경에 따른 등가 소음도는 달라질 수 있다. 본 연구에서 측정된 소음도의 정확성을 평가하기 위하여 미국에서 수행된 연구결과(NCHRP 284)와 본 연구에서 측정된 결과를 그림 13에 나타내었다. 그림에서 보면 공용 1년 이내의 배수성 포장의 소음은 75dB(A)내외로서 본 연구에서 측정된 약 73.5dB(A)의 결과와 유사하다. 약 2년 후의 소음도는 약 76dB(A)내외로서 본 연구에서 측정된 75.4dB(A)와 유사함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 측정된 소음도는 어느 정도 신뢰성 있는 결과임을 알 수 있다.

5. 요약 및 결론

본 연구를 위하여 입수한 K사의 두 종류의 개질제와 일본 개질제에 대한 바인더 시험 및 실내 공용성 시험, 현장조사 등의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. PG 규격 시험 결과 모든 아스팔트 바인더의 등급은 PG82-22인 것으로 나타났다.
2. 개질제의 첨가량에 따른 물리 역학적 특성의 비교 결과 K사의 B타입 개질제를 12% 포함한 아스팔트 바인더가 소성변형 저항성이 가장 우수한 것으로 나타나 B타입의 개

질제를 선정하여 공용성 시험을 실시하였다.

3. 아스팔트 바인더에 대한 물리적 시험 결과 절대점도와 침입도의 잔류율에서 상당한 차이를 보였고, B 타입의 경우 침입도 잔류율이 단기공용 후 노화가 많이 진행될 가능성이 있는 것으로 나타났으며, 또한 절대점도 값이 다소 높아 골재와의 혼합 시 골재에 흡수되는 아스팔트 량을 감소시키거나 다짐 시 다짐온도를 높여야 하는 등의 문제가 발생할 우려가 있는 것으로 나타나 이에 대한 물성의 개선이 요구된다.
4. 동일한 골재를 사용한 혼합물에 대하여 B타입과 일본 개질제에 대한 실내 공용성 시험을 실시한 결과 소성 변형에 대한 저항성은 일본 개질제가, 수분손상에 대한 저항성과 피로균열에 대한 저항성은 B타입이 우수한 것으로 나타났다.
5. 현장 시험시공을 실시하여 소음도를 측정하였다. 소음도 분석결과 공용 초기에 배수성 포장 구간의 경우 SMA 포장 구간에 비해 약 4dB(A), 콘크리트 포장에 비해 9dB(A)의 소음저감효과가 있는 것으로 나타났고, 공용 후 2년이 경과한 후 측정한 결과, 배수성 포장의 공극막힘 현상으로 인해 소음 저감 효과는 공용 초기에 비해 다소 떨어져 SMA 포장 구간과 거의 유사한 정도로 감소하였으나 콘크리트 포장구간에 비해서 소음저감 효과가 유지되고 있는 것으로 확인 되었다.
6. B타입의 배수성 포장용 개질제는 일본의 개질제와 비교했을 때 공용특성 측면에서 대동소이하거나 경우에 따라서는 우수한 결과를 나타내었고, 현장시공 후 성능에도 양호한 수준을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 금호석유화학에서 지원한 연구결과로서 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- 김주원, 박태순, “배수성포장(외국의 사례를 중심으로)”, 한국도로 포장공학회지, 제2권 3호
- 건설교통부(2002) “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”, 1단계 2차년도.
- 이현중, 김현준, 옥창권, 김형배. (2003) “SBS 개질 아스팔트를 사용한 SMA 혼합물의 실내 공용성 평가” 대한토목학회 대한토목학회논문집, v.23, 35~41
- KS F 2374, 역청 포장 혼합물의 휠 트래킹 시험 방법.
- Brown Et al. (1998) *Design Stone Matrix Asphalt Mixtures*. NCAT, USA
- ASTM D 4867 (1988), “Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures”, ASTM Designation : D4867

NCHRP 284 (2000), "*Performance Survey on Open-Graded Friction Course Mixes*"

Asphalt Institute(1994), *Superpave Performance Graded Asphalt binder Specification and Testing*, Asphalt Institute Superpave Series No.(SP-1)

AASHTO MP1-93, "*Specification for Performance Graded Asphalt Binder*"

접 수 일 : 2010. 2. 10

심 사 일 : 2010. 2. 23

심사완료일 : 2010. 4. 21