배수성 아스팔트 혼합물의 역학적 특성 연구

Mechanical Characteristics of Drain Asphalt Mixtures

이재식* · 진정훈** · 조규태*** · 손원표**** · 남영국*****
Lee, Jae Sik · Jin, Jung Hoon · Cho, Gyu Tae · Shon, Won Pyo · Nam, Young Kug

1. 서 론

배수성 아스팔트 포장은 공극률이 높은 다공질의 아스팔트 혼합물을 표층 또는 표층과 기층으로 사용하고, 배수성 혼합물층의 아래에 불투수성 층을 설치하여, 침투된 물이 불투수성 층 위를 흘러 배수 처리 시설로 신속하게 배수시켜서, 보조기층 및 노상으로 물이 침투하지 않는 구조의 포장이다. 이에 비하여 표층과 기층을 통과한 물이 보조기층 및 노상까지 통과되는 포장을 투수성 포장이라고 한다.

본 연구는 국내에서 기능성 포장의 한 종류로서 많이 사용되기 시작한 배수성 아스팔트 포장에 대하여, 마샬안정도시험을 포함한 간접인장강도시험, 압축강도시험, 휠트랙킹시험, 그리고 배수성 입도에 대해서는 투수계수시험을 실시하여 기존에 사용되고 있는 밀입도 19mm, SMA 19mm, 슈퍼페이브 19mm 입도와의 상대적인 강도비교로 배수성 아스팔트 포장의 특성을 분석하고, 배수성 포장의 장점인 미끄럼 저항, 소음도 측정을 실시하여 각 실험별로 밀입도 포장체와의 비교 및 분석을 통하여 배수성 아스팔트 포장의 효과를 분석하였다.

2. 배수성 아스팔트 포장

국내에서는 80년대 말 투수성 아스팔트 포장이 일부 사용되다가 90년대 말부터 배수성 아스팔트 포장이 도입되어서 사용되고 있다. 배수성 포장은 유럽을 중심으로 1980년대부터 보급되기 시작하였으며, 일본에서는 1987년에 처음으로 저소음포장으로 시공되기 시작하여 그후 건설성, 일본도로공단 등에서 배수성포장의 시험시공이 시공된 후 최근에는 이에 대한 기술도 많이 발전하고 실적도 많다.

유럽에서는 Porous Asphalt 또는 Drain Asphalt 라고 부르고 있으나 영국에서는 전통적으로 투수성 머캐덤(Pervious Macadam)이라고 부른다. 미국에서는 개립도 아스팔트 마찰층(Open-Graded Asphalt Friction Course)의 약자로 OGFC라 부르고 있다.

2.1 배수성 포장의 특성

(1) 배수기능

밀입도 아스팔트 포장과는 달리 개립도 아스팔트 포장은 투수계수가 클수록 배수기능이 좋아지기 때문에 1×10^{-2}cm/sec 정도의 투수계수를 가지고 있다. 비가 내리게 되면 빗물은 즉시 공극으로 침투하여 수직방향으로 흐르고 서서히 물로 채워지게 되면 빗물이 밑면의 근소한 기울기(경사)에 따라 수평방향, 즉 길어깨 방향으로 흘러서 배수가 시작된다. 우수의 유출량은 시간에 대하여 거의 일정하며, 비가 그친 후에서 수 시간에서 십 수 시간에 걸쳐 유출되는 유량은 서서히 줄면서 지속된다.

* 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정 · 공학사 · 032-770-8179(E-mail : romeoz26@hotmail.com)
** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 · 공학석사 · 032-770-8915(E-mail : jinrino@komet.net)
*** 정회원 · 인천대학교 ITS연구센터 책임연구원 · 공학박사 · 032-770-8915(E-mail : ichogt@yahoo.co.kr)
**** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사수료 · 공학석사 · 032-770-8915(E-mail : wpshon@samaneng.com)
***** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 · 공학박사 · 032-770-8461(E-mail : yknam@incheon.ac.kr)

(2) 차량소음의 저감

배수성 포장의 높은 공극률로 인하여 소음 저감효과는 다음 세가지로 대표된다.

① 타이어의 Air-Pumping

표면의 공극이 타이어가 도로 표면과 접촉할 때 타이어와 도로 사이에 존재하게 되는 공기의 압축과 팽창을 제거하여 air pumping 과 air resonant type 소음을 저감시킨다.

② 흡음작용

공극이 타이어의 굽은 홈과 평평한 도로 표면 사이의 공간에 의해 발생하는 음향 완충(acoustical absorber)의 역할을 하여 소음의 반사와 전파를 줄일 수 있다. 이 특성은 타이어 마찰에 의한 도로 소음뿐 아니라, 다른 종류의 다양한 소음도 줄일 수 있다.

③ 물튀김음의 감소

배수성 포장의 소음 저감효과는 주로 전술한 Air-Pumping 음의 감소와 흡음작용에 의해 생긴다. 이에 부수적으로 강우시 포장 표면에서의 물튀김 감소에 의한 소음 감소효과도 기대할 수 있다.

(3) 그 밖의 효과 및 단점

여름철 도시의 열섬현상을 방지하기 위하여 살수시 노면온도의 상승을 억제한다. 또한, 장마때에는 도시에서의 유출계수의 저감 등의 효과가 있으며, 표면의 요철에 의해 빛이 난반사되어 대향차나 운전자 차의 헤드라이트의 반사광이 줄어들어 노면의 표시가 잘 보이며, 우천시의 흐릿함을 향상시키는 시인성이 향상되는 효과가 있다.

위의 장점이 있는 반면에 공극의 막힘현상과 공극의 연속성 상실로 인하여 발생되는 배수성의 저하 등과 같은 단점도 있다. 또한, 공극을 청소해주는 진공청소차의 가격이 고가이며, 평균적으로 일본에서는 2년에 1회 정도 유지보수가 시행되고 있으며, 먼지발생이 많은 국내의 경우에는 청소주기 기간이 짧을 것이다.

2.2 배합설계

배수성 혼합물은 개립도 형태이기 때문에 내구성 확보를 위하여 가능한한 많은 양의 아스팔트를 함유해야 하지만 아스팔트의 양이 너무 많을 경우 흘러내리거나 공극의 감소 등을 유발한다. 따라서, 아스팔트 배합설계는 가장 유리하게 설정된 골재 배합조건에서 내구성 및 기능성을 모두 갖게 되는 최적 아스팔트 양의 선정이 중요한 요소라 할 수 있다. 또한, 일정한 공극률의 확보를 위해서는 고점도 개질 아스팔트 바인더를 사용해야 소성변형 저항성이 뛰어나고, 공극막힘 현상을 줄일 수 있다. 본 연구에서는 칸타브로시험에 의한 방법으로 배합설계를 하였고, 표 1과 표 2는 배합설계에 있어 표준입도범위와 배수성 아스팔트 혼합물의 품질기준을 나타낸 것이다.

표 1. 배수성 아스팔트 혼합물용 골재의 입도

체의 눈 크기		입도 범위	
		최대입경(13mm)	최대입경(19mm)
통과질량백분율(%)	26.5mm		100
	19.0mm	100	95~100
	13.2mm	92~100	53~78
	9.5mm	62~81	35~62
	4.75mm(No.4)	10~31	
	2.36mm(No.8)	10~21	
	300㎛(No.50)	3~12	
	75㎛(No.200)	2~7	
아스팔트 함량(%)		4.5 이상	

표 2. 배수성 아스팔트 혼합물의 품질기준

항목		품질기준
다짐회수	(회)	50
공극률	(%)	15~25
마샬안정도	(kg)	500 이상
흐름치	(1/100cm)	20 ~ 40
잔류안정도	(%)	75 이상
투수계수	(cm/sec)	1.0×10^{-2}cm/sec
동적안정도	(회/mm)	3,000 이상

(주) 아스팔트포장 설계·시공요령

칸타브로시험에 의한 혼합물의 배합설계는 규정된 골재의 입도분포 범위내에서 목표 공극률(20%정도)을 얻을 수 있는 수준(하방입도, 중앙입도, 상방입도)을 결정하고, 이 골재 입도 분포특성을 기준으로 아스팔트

의 양을 조절하여 내구성 및 아스팔트의 흐름 손실율을 측정한다.

내구성은 LA 마모시험기를 이용하는데 시험시편을 마샬 공시체 규모로 제작하고 LA 마모시험기를 이용해서 배수성 혼합물의 강도특성(칸타브로시험)을 평가하게 된다. 강도특성평가를 LA마모시험기에 공시체 1개를 넣고(철구는 넣지않는다)30~33rpm의 회전속도로 300회를 회전시킨후 공시체 손상률을 계산한다. 아스팔트의 흐름 손상률은 아스팔트 혼합물을 특정용기에 넣어 일정온도조건에서 방치할 때 아스팔트가 용기에 흘러내린 정도를 판정하게 된다. 이와같은 시험결과를 이용하여 아스팔트 양의 변화에 따른 각 손실율을 결정하게 되며 최적 아스팔트 양을 결정하게 된다. 그림 1은 배합설계 순서를 나타낸 것이다.

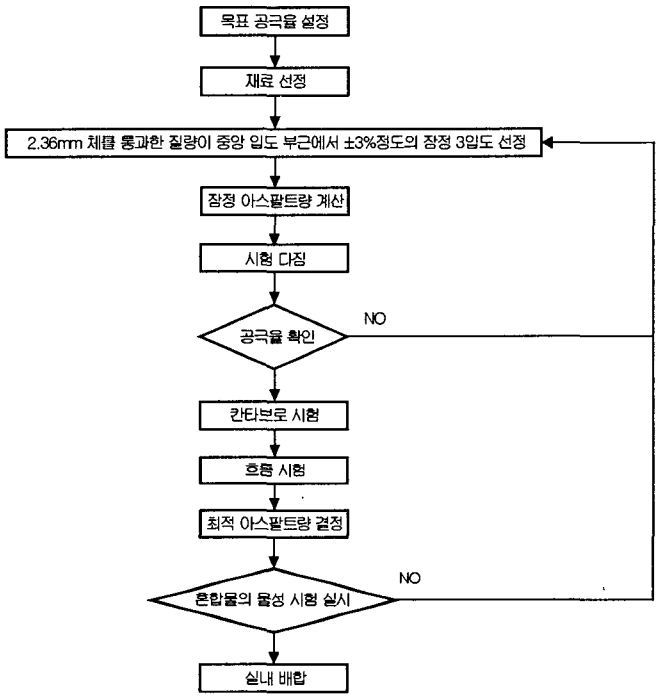

그림 1 배합설계 순서

2.3 배합설계 결과

배수성입도 13mm와 19mm에 대하여 배합설계를 한 결과 합성입도곡선은 그림 2, 그림 4과 같이 나타났고, 이 합성입도를 이용하여 칸타브로시험과 흐름시험을 통해 그림 3, 그림 5에 나타난 것과 같이 배수성입도 13mm는 4.8%, 배수성입도 19mm는 5.0%의 최적아스팔트함량(OAC)를 얻을 수 있었다.

3. 시험결과 및 분석

배수성 아스팔트 포장을 큰 하중을 받는 도로에 적용하는데 있어서, 내구성 유지를 위하여 어느 정도의 결합능력이 확보되는지를 마샬안정도시험, 압축강도시험, 인장강도시험, 휠트랙킹시험을 통하여 여러종류(밀입도 19mm, SMA 19mm, 슈퍼페이브 19mm)의 혼합물과 상대적인 강도를 비교하였다. 또한, 현장의 소음도, 노면마찰력을 측정하여 배수성 포장의 기능에 대해 살펴보았다.

3.1 공극률 및 투수계수

배수성 아스팔트 포장의 공극률은 투수계수 및 강도에 직접적인 영향을 주는 중요한 인자이다. 본 시험에서 얻어진 공극률과 투수계수는 표 3과 같다.

표 3 배수성 혼합물의 공극률 및 투수계수

구 분	공극률(%)	투수계수(cm/sec)
배수성입도 13mm	19.4	2.86×10^{-1}
배수성입도 19mm	20.9	2.90×10^{-1}

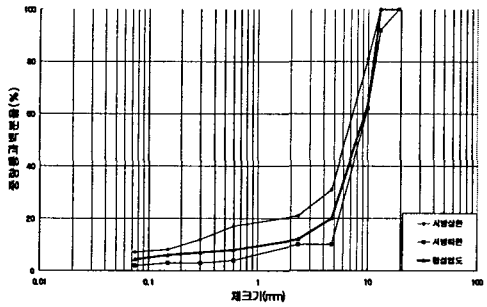

그림 2 배수성입도 13mm 입도곡선

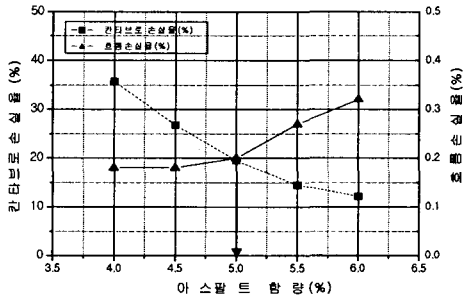

그림 3 OAC의 결정(배수성입도 13mm)

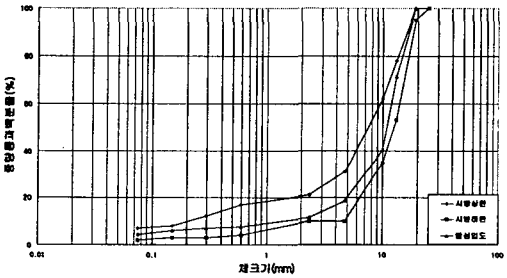

그림 4 배수성입도 19mm 입도곡선

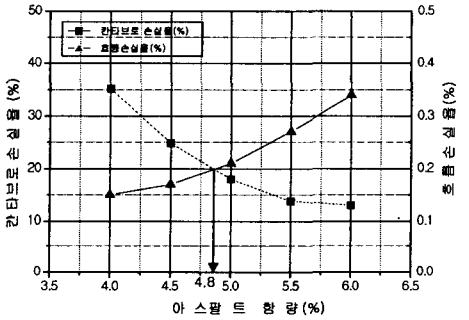

그림 5 OAC의 결정(배수성입도 19mm)

3.2 마샬안정도 시험

마샬안정도 시험결과 혼합물 종류에 따라 안정도 및 흐름값에 다소의 차이를 나타냈으나, 시방규정(밀입도, 배수성입도, 슈퍼페이브입도, SMA입도의 마샬안정도 500kg이상, 흐름값 20~40)을 모두 만족하는 것으로 나타냈다. 흐름값은 배수성 입도가 다른 입도보다 높은 것으로 나타났는데, 이는 동절기 취성파괴에 대한 저항력이 클 것으로 판단된다. 그림 6, 7은 각 입도별 마샬시험결과를 나타낸 것이다.

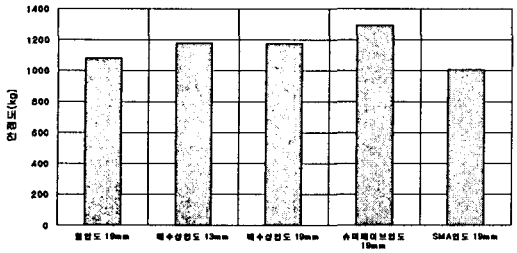

그림 6 마샬안정도 시험결과

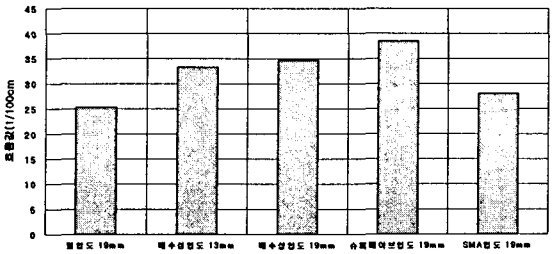

그림 7 흐름값 시험결과

3.3 압축강도 시험

압축강도 시험은 포장공용성에 있어서 소성변형에 미치는 포장체의 거동을 분석하기 위해 실시하였으며, 본 연구에서는 CBR2.5 관입시 하중강도를 아스팔트 혼합물의 강성(Stiffness)으로 나타내었다. 시험조건은 재하속도를 1mm/분, 60℃에서 30분간 수침 시킨 후 실시하였다. 표 4와 그림 8과 같은 결과를 얻었다.

표 4 혼합물별 압축강도 시험결과

종 류	압축강도 (kg/㎠)
밀입도 19mm	22.58
배수성 입도 13mm	22.78
배수성 입도 19mm	29.66
슈퍼페이브입도 19mm	35.68
SMA 입도 19mm	33.17

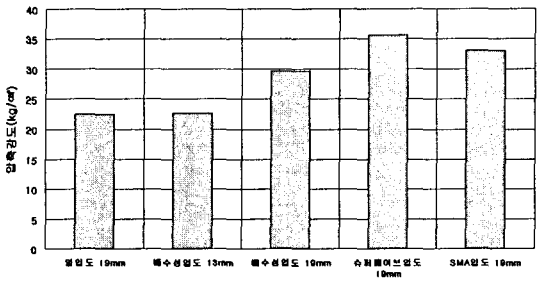

그림 8 압축강도 시험결과

3.4 간접인장강도 시험

간접인장강도 시험은 아스팔트 혼합물의 균열발생 가능성 예측과 균열에 대한 저항성 측정을 하기 위한 시험법으로서 본 연구에서는 25℃의 온도에서 50.8mm/분의 하중속도를 적용하여 실시하였다. 본 연구에 사용된 혼합물의 간접인장강도 시험결과 그림에서 보는 바와 같이 슈퍼페이브, SMA, 밀입도, 배수성 입도 순으로 나타났다. 일반적으로 높은 인장강도 값은 좋은 공용성이 기대된다.

표 5 혼합물별 간접인장강도 시험결과

종 류	간접인장강도 (kg/㎠)
밀입도 19mm	6.52
배수성 입도 13mm	4.87
배수성 입도 19mm	5.12
슈퍼페이브입도 19mm	10.41
SMA 입도 19mm	8.84

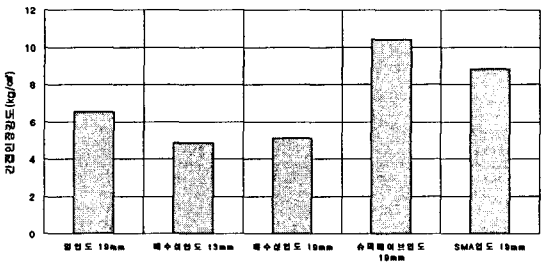

그림 9 간접인장강도 시험결과

3.5 휠트랙킹 시험

소성변형에 대한 공용성을 예측하기 위하여 휠트랙킹 시험을 실시한 결과 표 6과 그림 10, 11, 12와 같은 결과를 얻었다. 표 6과 같이 밀입도 19mm 혼합물에 비하여 배수성 혼합물이 동적안정도 값이 2배 정도 크게 나왔다.

표 6 혼합물별 휠트랙킹 시험결과

종 류	동적안정도(회/mm)	변형률(mm/min)
밀입도 19mm	2017.0	0.021
배수성 입도 13mm	4212.5	0.0099
배수성 입도 19mm	3802.3	0.0111
슈퍼페이브입도 19mm	7964.3	0.005
SMA 입도 19mm	7355.4	0.006

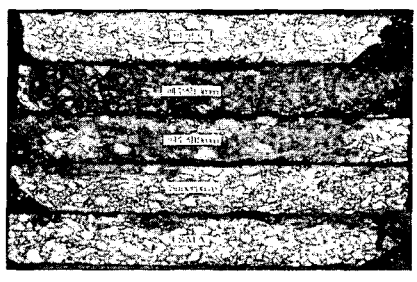

그림 18 휠트랙킹 시험후 결과 비교

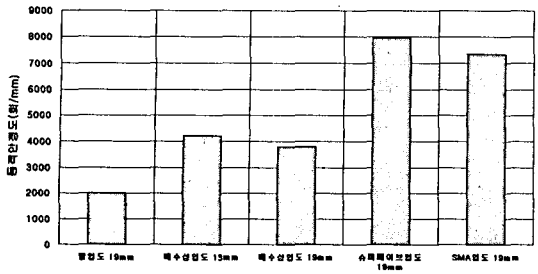

그림 11 동적안정도 시험결과

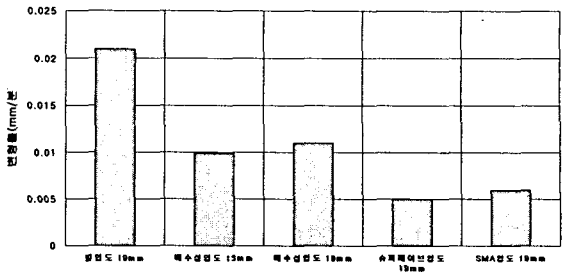

그림 12 변형률 시험결과

3.6 노면마찰력 및 소음도 측정결과

일반 밀입도 포장과 배수성 포장의 미끄럼 저항을 분석하기 위하여 BPT(British Pendulum Tester)장비를 이용하여 마찰지수(BPN)을 측정하였으며, 노면의 조면 조직변화를 분석하기 위하여 모래깊이 시험을 실시하였다. 실험결과 배수성 포장의 미끄럼 저항값(SN)은 습윤상태 및 수막상태가 일반 밀입도 아스팔트 포장에 비해 12~15정도 높은 마찰 특성을 보였다. 또한, 수막상태 보다는 습윤상태에서 더 큰 차이를 나타냈다. 그 결과를 표 7, 8에 나타내었다.

MTD(Mean Texture Depth : 평균 조면조직 깊이)는 식 (1)을 이용하였고, SN과 모래깊이측정법(MTD), BPN의 상관관계 도출은 식 (2)를 이용하였다.

$$MTD = \frac{V}{A} = \frac{4V}{\pi D^2} \qquad \text{식 (1)}$$

여기서, V : 모래체적($25cm^3$)

A : 넓힌 모래원의 넓이

D : 넓힌 모래원의 평균직경 (4회의 평균직경)

$$SN = 0.884BPN + 5.16MTD - 17.8 \qquad \text{식 (2)}$$

배수성 포장의 소음효과가 일반 밀입도 혼합물과 비교하여 어느 정도의 소음저감효과가 생기는지 알아보기 위하여 IEC (International Electrotechmical Commission, 국제공인규격) A-type의 소음측정기을 사용하여 소음도를 측정하였다. 그림 13과 그림 14는 조사에 사용된 BPT와 소음 측정기이다.

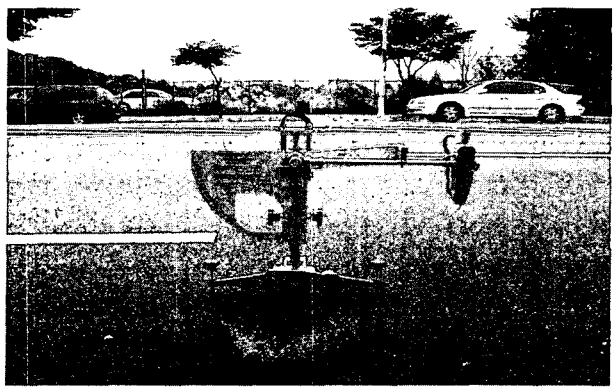

그림 13 BPT

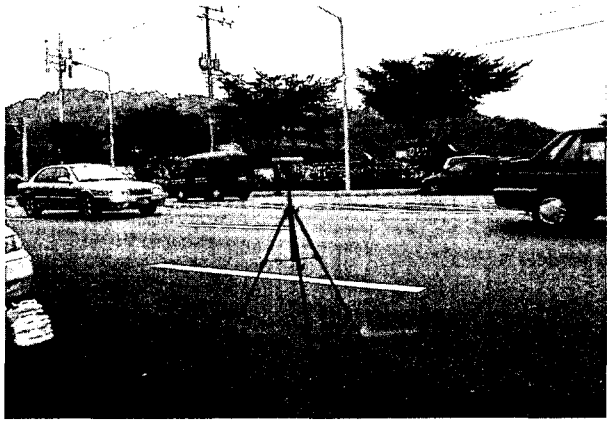

그림 14 소음측정기

표 7 SN 시험결과(습윤상태)

조사지점	일반 밀입도 포장			배수성 포장		
	BPN	MTD	SN	BPN	MTD	SN
1	64.8	0.87	43.9	67.3	2.75	55.9
2	58.4	0.82	38.1	71.7	2.57	58.8
3	65.3	0.84	44.3	69.8	2.41	56.4
4	60.4	0.77	39.6	68.2	2.04	53.0
5	55.9	0.85	36	71.7	1.49	53.2
평 균			40.4			55.5

표 8 SN 시험결과(수막상태)

조사지점	일반 밀입도 포장			배수성 포장		
	BPN	MTD	SN	BPN	MTD	SN
1	54.8	0.87	35.1	59.3	2.75	48.8
2	54.4	0.82	34.5	58.2	2.57	46.9
3	58.6	0.84	38.3	65.3	2.41	52.4
4	56.4	0.77	36.0	62.5	2.04	47.9
5	54.7	0.85	34.9	61.4	1.49	44.2
평 균			35.8			48.0

소음도 측정 또한 미끄럼 저항 측정과 마찬가지로 아스팔트 포장과 상대적인 비교로 측정하였다. 소음도를 측정하기 위하여 IEC(International Electrotechnical Commission, 국제 공인규격)의 소음측정기를 사용하였다. 시험의 결과 배수성 포장은 일반 밀입도 아스팔트 포장에 비해 약 7dBA정도의 소음감소 효과를 보였다. 실험결과는 표 9와 같다.

표 9 소음도 측정결과

(단위 : dBA)

조사지점	일반 밀입도 포장	배수성 포장
암소음	47.6	51.3
1	74.5	72.8
2	76.3	74.5
3	78.2	70.5
4	74.8	71.5
5	74.7	72.4
평 균	75.7	72.34

4. 결 론

본 연구에서는 배수성 포장의 내구성을 측정하기 위하여 역학적 강도시험으로 밀입도, 슈퍼페이브입도, SMA입도와 상대적인 강도값을 비교하였고, 배수성 포장의 장점을 알아보기 위해 현장에서 미끄럼 저항값과, 소음도를 측정시험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 배수성 혼합물의 투수계수는 2.86×10^{-1}, 2.90×10^{-1}로서 일본 기준인 1.0×10^{-2} cm/sec 이상과 비교해 보면 2배 이상의 높은 투수성을 나타냈다. 이는 빠른 배수능력으로 우천시 하이드로플래닝(hydroplaning)과 물튀김을 방지할 수 있고, 야간 노면 반사 완화 및 노면 표시의 시인성을 향상시킬수 있을 것으로 판단된다.

2. 마샬안정도는 각 혼합물에 따라 다소의 차이를 보이나 모두 시방규정을 만족하는 것으로 나타났고, 흐름값은 배수성 입도가 다른 입도보다 높은 것으로 나타났는데, 이는 동절기 취성파괴에 대한 저항력이 클 것으로 판단된다. 또한, 압축강도 시험과 휠트랙킹 시험을 통하여 소성변형에 대한 저항성을 예측해본 결과 밀입도 19mm 혼합물에 비하여 압축강도 값이 크게 나타났다. 또한 배수성 혼합물이 동적안정도 값이 상당히 큰 것을 알 수 있고 변형률은 매우 작음을 볼 수 있다. 이것은 배수성 포장이 공용초기에 발생하는 소성변형에 대한 저항성이 우수할 것으로 판단된다.

3. 미끄럼 저항 측정결과 배수성 포장의 미끄럼 저항값(SN)은 습윤상태(SN=15.1), 수막상태(SN=12.2) 모두 일반 밀입도 아스팔트 포장에 비해 높은 마찰 특성을 보였다. 또한, 수막상태 보다는 습윤상태에서 SN=15.1로 더 큰 차이를 나타냈다. 이것은 우천시 미끄럼 사고를 방지하여 차량의 주행 안전성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4. 소음도 측정결과 배수성포장은 일반 밀입도 포장에 비해 약 7dBA 정도의 소음감소 효과가 있었다. 이것은 배수성 포장이 단순한 운송수단으로의 도로가 아닌 환경친화적인 도로라 할 수 있다.

참고문헌

1. 건설교통부(1997), "아스팔트포장 설계 · 시공요령"
2. 한국도로공사 도로연구소(1992), " 포장의 미끄럼 저항 특성 (Ⅲ)
3. 김주원, 박태순, "배수성포장(외국의 사례를 중심으로)", 한국도로포장공학회지 제2권 3호
4. 한국건설기술연구원(1998), "배수성 포장 기술 지침(안)"
5. 최상국(2003), "개질첨가재를 이용한 Asphalt 혼합물의 성능개선 연구" 인천대학교 대학원 석사학위 논문