

최대입경, 공극률, 그리고 온도가 다공성 아스팔트 혼합물의 내구성에 미치는 영향분석

유인균*, 이수형, 박기수
한국건설기술연구원 인프라안전연구본부

Analysis of the Effect of Maximum Aggregate, Porosity, and Temperature on Durability of Porous Asphalt Mixtures

In-Kyoon Yoo*, Su-Hyung Lee, Ki-Soo Park

Department of Infrastructure Safety Research, Korea Institute of Civil and Building Technology

요약 다공성 아스팔트 혼합물을 이용한 도로포장은 수막현상의 저감으로 교통사고가 줄고 교통소음을 획기적으로 줄이는 등 다양한 기능을 갖기 때문에 수요는 점점 높아가고 있다. 그러나 다공성 아스팔트 혼합물은 혼합물 속에 20% 정도의 공극을 포함하고 있기 때문에 골재의 탈리 등 내구성에 대한 우려 때문에 적용이 지연되고 있다. 따라서 다공성 아스팔트혼합물의 내구성을 증진시키기 위한 방법에 대한 연구가 필요한 상황이다. 본 연구의 목적은 다공성 아스팔트 혼합물의 최대입경, 온도 그리고 공극률이 혼합물의 내구성에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 이를 위해 다공성 아스팔트혼합물의 내구성 척도를 칸타브로 손실률로 설정하고 공극률이 20%로 동일하고 최대입경이 13mm, 10mm, 8mm인 혼합물에 대하여 상온과 저온에서 칸타브로 시험을 실시하였다. 그리고 최대입경 10mm인 동일한 재료로 공극이 20%와 22%인 혼합물에 대하여 칸타브로 시험을 실시하였다. 실험결과 공극률은 20%로 동일하고 최대입경의 변화가 있는 경우 내구성의 척도인 칸타브로 손실률에서는 차이를 보이지 않았다. 그러나 실험온도에 대해서는 상온과 저온에서 분명한 차이를 보였다. 그리고 공극률의 변화에 대해서는 20%와 22% 사이에 2% 차이 이지만 내구성에서는 분명한 차이를 보였다. 본 연구의 결과는 예상되었던 결과이기는 하지만 시험과 통계적 분석에 의해 정량적으로 제시되었다는 데 의의가 있다. 또한 앞으로 다공성 아스팔트 혼합물을 위한 고점도 아스팔트 바인더를 포함한 다공성 아스팔트 혼합물의 내구성에 미치는 요소들이 정량적으로 평가되어 내구성을 향상시켜 나가는데 기여할 것으로 판단된다.

Abstract The demand for porous asphalt mixtures is increasing because it has a range of functions, such as reducing traffic accidents and traffic noise. On the other hand, its application is delayed due to concerns about durability. This study examined the effects of the maximum aggregate size, temperature, and porosity of an asphalt mixture on the durability. To this end, the durability measure was set to the Cantabro loss rate. Mixtures having the same porosity of 20% and the maximum aggregate diameters of 13 mm, 10 mm, and 8 mm were tested at 20°C and -20°C. Mixtures containing 20% and 22% voids with the same material having the same diameter were tested. With 20% porosity, there was no significant difference in durability when there was a change in the maximum aggregate size. There was a significant difference between 20°C and -20°C, but no significant difference in durability when there was a 2% difference between 20% and 22%. The significance of this study is that the durability was presented quantitatively by tests and statistical analysis. This research will help improve the durability of porous asphalt mixtures by evaluating the factors affecting the durability quantitatively.

Keywords : Porous Asphalt Mixture, Durability, Cantabro Loss Rate, Maximum Aggregate Size, Statistical Analysis

*Corresponding Author : In-Kyoon Yoo(Korea Institute of Civil and Building Technology)

email: ikyoo@kict.re.kr

Received August 6, 2020

Accepted December 4, 2020

Revised September 21, 2020

Published December 31, 2020

1. 서론

대부분의 도로포장을 점유하고 있는 아스팔트포장은 이제 평탄한 노면의 제공이라는 기본기능을 넘어서 다양한 기능을 제공하는 기능성포장으로 진화해 가고 있다. 도로포장의 기능으로는 먼저 노면의 빗물을 흡수하여 노면 아래로 배출하여 교통사고를 줄이는 배수성포장과 도로교통 소음을 줄이는 저소음포장으로 대별할 수 있으며 여름철 도시지역의 열대야를 줄이기 위한 보수성포장이 시도되기도 하고 있다.

이러한 아스팔트포장의 기능은 아스팔트혼합물 속에 형성되는 20%정도의 공극으로 얻을 수 있는 기능들이다. 이 공극으로 빗물이 흡수됨으로써 노면에 물이 고이지 않아 물 튀김이나 난반사가 일어나지 않고 타이어와 노면사이의 미끄럼저항을 유지시켜 교통사고를 줄이는 기능을 한다. 또한 이 공극으로 인해 타이어와 노면사이의 공기의 압축으로 인한 펌핑음을 줄여 도로교통 소음을 현격하게 줄여주는 역할을 하게 된다.

그러나 다양한 입경의 골재를 아스팔트바인더로 결합한 아스팔트혼합물은 혼합물 속에 공극을 갖게 됨으로써 내구성이 약해지게 된다. 특히 아스팔트혼합물에서 골재가 개별적으로 떨어져 나가게 되는 탈리현상이 발생하게 되며 이 탈리현상을 막는 것이 기능성포장에서 가장 큰 문제이다. 이러한 탈리현상을 막기 위해 고점도의 아스팔트바인더를 사용하게 되며 내구성의 척도로서 칸타브로 손실률 기준을 만족하는 아스팔트혼합물을 설계하고 있다.

혼합물 속에 일정량 이상의 공극을 갖아야 하는 기능성포장의 내구성에는 다양한 요소들이 영향을 미친다. 그리고 이러한 내구성을 향상시키기 위한 연구가 필요하지만 현재까지는 외국에서 사용하고 있는 시방기준을 도입하여 기준에 만족하는 배합설계방법에 따라 시공할 뿐, 이를 개선시키기 위한 연구는 없는 실정이다. 특히 기능성 아스팔트포장의 탈리에 대한 내구성 척도로는 칸타브로 손실률이 기준으로 사용되고 있으며[1,14], 칸타브로 손실률에 영향을 미치는 다양한 요소에 대한 연구를 통해 기능성포장의 적용을 확대해 나갈 필요가 있다.

2. 관련연구

아스팔트 혼합물 속에 20%정도의 공극을 갖는 기능성포장에 대한 기원은 1950년대 영국 공항포장의 수막현상을 억제하기 위해 고안된 것으로 전해지고 있다. 그 후

에 세계적으로 보급되었으며 특히 일본에서 배수성포장이라는 이름으로 급격히 보급되었다. 국내에는 일본의 배수성혼합물에 대한 시방기준이 도입되어 적용되어 오다가 2011년 국토교통부에서 발간한 배수성 아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침[1]에 따라 시행해 오고 있다. 국내에서 배수성포장에 대한 적용은 2000년대 초반 도로의 배수를 주된 기능으로 일반국도에 도입되기 시작하였으나, 포장균열 등 내구성 부족으로 인한 조기파손으로 2009년 이후 도입량이 급격히 감소하였다. 이후로도 배수성포장에 대한 연구로는 아스팔트 바인더의 개발이나 시방기준에 만족하는 혼합물인가를 평가하는 연구가 주종을 이루었다.

Lee[2] 등은 국내 시방규격을 만족하는 배수성 아스팔트 혼합물에 대하여 배수성, 소성변형저항성, 미끄럼저항 저항성 등이 향상되는 것을 확인하고 소음은 최대 7dB 정도 저감되는 것을 확인하였다. 이 논문은 배수성포장이 실제로 다양한 기능을 발현하는 가를 확인한 논문으로서 의미가 있다. Lee[3] 등은 국내 고점도 아스팔트 바인더에 대하여 현장을 효율적으로 모사하는 선회다짐기로 시편을 제작하고 마찰안정도, 회복탄성계수, 간접인장강도, 소성변형특성 평가를 통해 배수성 아스팔트를 위한 혼합물의 구조성능은 충분히 만족한다고 보고하였다. 이 논문은 새로운 아스팔트 바인더가 개발되었을 때 배수성 아스팔트 바인더로서의 적용성을 평가하였다.

Choi[4] 등은 아크릴 수지로 코팅한 배수성 아스팔트 콘크리트의 특성평가를 통해 배수성 아스팔트혼합물의 내구성을 나타내는 칸타브로 시험을 실시하였다. 코팅을 실시하지 않은 일반시편의 손실률이 약 20%인데 비해 코팅 처리한 시편들의 경우 5.9-7.9%로 칸타브로 손실률이 감소하였다고 발표하였다. 배수성 아스팔트 혼합물의 내구성인 칸타브로 시험을 실시하여 두 가지 바인더의 특성이 내구성에 미치는 영향을 정량적으로 평가한 연구로서 의미가 있다.

Ok[5] 등은 배수성 아스팔트 혼합물에서 동일하게 21% 정도로 유지하면서 최대입경이 19mm, 13mm, 10mm 그리고 8mm로 서로 다르게 제작하여 다양한 시험을 시도하였다. 소성변형에 대한 저항성은 8mm혼합물이 가장 크게 평가되었으며 10mm도 8mm와 비슷하나 13mm와 19mm는 현격하게 차이가 나는 것으로 평가되었다. 미끄럼저항도 8mm와 10mm에서 크게 평가되었으며 13mm와 19mm에서 상대적으로 작게 평가되었다. 타이어와 노면의 마찰 소음에 대해서도 최대입경이 작을수록 소음저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 이 논

문은 배수성포장에서 최대입경의 변화가 다양한 기능에 미치는 영향을 평가한 의미 있는 논문이지만 통계적으로 검증되지 않았다는 문제점이 있다.

Cho[6]와 Cho[7] 등은 배합설계 및 실내실험 수행결과, 소입경 골재를 사용하면 골재간의 맞물림 면적이 증가하여 비산저항성이 향상되는 것으로 나타났다고 보고하였다. 13mm에 비해 10mm 최대입경의 배수성 아스팔트혼합물이 소음저감 효과가 뛰어났으며 특히 저속에서의 소음저감 효과가 뛰어났다고 보고하였다. 그러나 최대입경이 작으면 작을수록 골재의 맞물림 면적이 증가하여 비산저항성이 증가한다는 실험결과는 보여주지 못했고 소음저감 효과에 대해서도 통계적으로 검증되지 않은 아쉬움이 있다.

우리나라에서 배수성 아스팔트 혼합물에 대한 연구는 초창기에는 외국의 시방서를 국내실정에 맞게 도입하고 배수성포장이 국내에서 제대로 다양한 기능을 하는지 검증하는 연구가 진행되었고, 그 후로는 배수성 아스팔트 바인더가 개발되면서 개발된 바인더가 시방규격에 만족하는가를 공증하는 연구가 진행되었다. 그리고 배수성 아스팔트 혼합물을 위한 입도나 바인더의 변화에 대한 아스팔트 혼합물의 내구성이나 기능의 변화에 대한 연구가 수행되고 있다. 특히 배수성혼합물의 내구성이나 기능에 미치는 영향요소를 평가하기 위해서는 통계적인 검증이 필요하다. 다양한 연구의 통계적인 검증을 통해 이를 기반으로 연구의 성과를 하나하나 쌓아 올라갈 수 있다.

3. 칸타브로시험

본 연구에서 사용된 아스팔트 바인더는 국토부 배수성 아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침에 제시된 바인더 등급인 PG 82-22를 사용하였으며 구체적인 내용은 Table 1과 같다.

Table 1. Characters of Asphalt Binder

Characters	Unit	Test	Value
Performance Grade	-	(1)	PG82-22
G*/sinδ at 82℃(Original)	kPa	(2)	1.34
G*/sinδ at 82℃(after RTFO)	kPa	(2)	2.28
G*/sinδ at 82℃ (after PAV)	kPa	(2)	1.020
Stiffness at -12℃	MPa	(3)	141
m-value	-	(3)	0.34
Flash Point	℃	(4)	329
Viscosity(135℃)	Pa.s	(5)	3.0
Mass Loss(after RTFO)	%	(6)	-0.11

Table 1에서 사용된 시험법은 다음과 같다.

- (1) KS F 2389:2019[8]
- (2) KS F 2393:2019[9]
- (3) KS F 2390:2019[10]
- (4) KS M ISO 2592:2018[11]
- (5) KS F 2392:2019[12]
- (6) KS M 2259:1980[13]

실험계획으로는 동일한 20% 공극률의 아스팔트 혼합물이지만 굵은 골재의 최대입경을 8mm, 10mm, 13mm 세 가지로 변화시키는 실험과 골재의 최대입경 10mm를 동일하게 하고 공극률을 20%와 22%로 변화시키는 실험을 계획하였으며 각 혼합물의 배합설계 특성은 Table 2와 같고 골재의 입도곡선은 Fig. 1과 같다.

Table 2. Properties of Asphalt Mixtures

Classification	Content (%)		
	Agg.	Filler	Binder
8mm, 20%	91.90	2.84	5.26
10mm, 20%	92.44	2.86	4.70
13mm, 20%	92.15	2.85	5.00
10mm, 22%	92.64	2.86	4.50

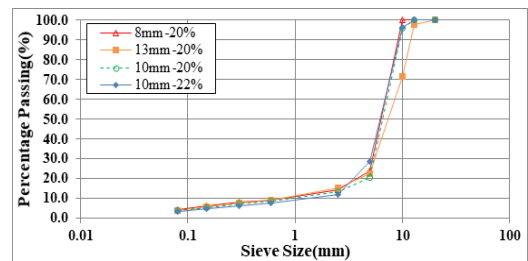


Fig. 1. Aggregate Gradations for Asphalt Mixtures

칸타브로시험은 다공성 아스팔트 혼합물의 탈리 저항성을 평가하는 시험이다. 시험방법으로는 마샬 시편을 시험온도에서 20시간이상 양생한 후에 LA마모시험기에 넣고 30-33rpm의 속도로 300회 회전을 적용한다. 다음 식(1)을 이용하여 칸타브로 손실률을 계산한다.

$$C.L(\%) = \frac{(A - B)}{A} \times 100 \quad (1)$$

여기서, C.L : 칸타브로 손실률(%)

A : 시험전 시료무게

B : 시험후 시료무게



Fig. 2. LA Abrasion Tester in Constant Temperature Chamber



Fig. 3. Shapes of Specimen Before and After Test

Table 3. Results of Cantabro Test for Asphalt Mixtures

Class	Temp. (°C)	Weight(g)		Cantabro Loss(%)
		Before	After	
8mm, void 20%	20	1001.8	951.8	4.99
		1008.5	941.3	6.66
		1005.8	939.8	6.56
	-20	1006.2	821.0	18.41
		1009.5	808.1	19.95
		1003.0	768.5	23.38
10mm, void 20%	20	1010.4	942.5	6.72
		1007.8	918.7	8.84
		1008.0	931.7	7.57
	-20	1008.1	819.7	18.69
		1008.3	789.8	21.67
		1007.6	744.3	26.13
10mm, void 22%	20	990.1	873.4	11.79
		994.4	898.5	9.64
		993.7	890.1	10.43
	-20	996.5	749.3	24.81
		994.9	758.4	23.77
		994.0	805.5	18.96
13mm, void 20%	20	1007.1	907.5	9.89
		999.9	929.9	7.00
		1005.6	928.8	7.64
	-20	1005.8	836.6	16.82
		1008.2	848.4	15.85
		1004.2	850.7	15.29

시험법은 KS F 2492 배수성 아스팔트 혼합물의 칸타브로 시험방법(KS, [14])으로 규정되어 있고 20°C와 -20°C에서 시험하도록 규정하고 있다. Fig. 2는 칸타브로

시험 항은 챔버를 Fig. 3은 칸타브로 시험전후의 시료의 모습을 보여주고 있다. Table 3은 칸타브로 시험결과를 정리한 것이다.

4. 시험결과와 통계적 분석

실험결과에 대한 통계적 분석은 분산을 고려한 평균의 비교를 근간으로 한다. 비교 대상이 두 개인 경우에는 t-test를 이용하고 비교 대상이 두 개 이상이거나 변수가 두 개 이상인 경우에는 분산분석인 ANOVA를 이용한다. 분산을 고려한 평균의 비교를 통해 두 종류의 실험값이 통계적으로 동일하다고 말할 수 없거나 통계적으로 다르다고 말할 수 없음을 증명하게 된다. 즉, 통계적으로 동일하다고 말할 수 없다는 의미는 서로 구분될 수 있다는 것을 의미하며, 통계적으로 다르다고 말할 수 없다는 의미는 서로 구분될 수 없다는 것을 의미한다. 여기서는 공극률은 동일하게 하고 굵은 골재의 최대입경을 다르게 하는 경우, 이들은 탈리 저항성에 서로 다른 결과를 나타내는지, 차이가 없는 결과를 나타내는지 검증하게 된다. 또한 실험온도, 20°C와 -20°C에서의 결과가 통계적으로 의미 있는 차이를 나타내는지 검증하고 또한 공극률 20%와 22%에서의 결과가 통계적으로 의미 있는 차이를 나타내는지 검증하기로 한다.

Table 4는 굵은 골재의 최대입경과 실험온도에 대해 시험된 결과의 통계적 요약을 보여주고 있다. Table 4를 보면, 8mm혼합물의 평균 손실률이 가장 작고, 분산은 13mm 혼합물이 가장 크다. 반면, -20°C에서는 13mm 혼합물의 평균 손실률이 가장 작고, 분산은 10mm혼합물이 가장 큰 것으로 나타났다. 특히 13mm와 10mm의 분산은 0.5992와 14.020으로 10mm 혼합물의 분산이 상대적으로 매우 크게 나온 것을 알 수 있다.

Table 4. Summary of Fit for Maximum Size and Temperature

Class	Sum.	8mm	10mm	13mm	Total
20°C	Obs.	3	3	3	9
	Sum	18.21	23.13	24.53	65.87
	Mean	6.07	7.71	8.1766	7.3188
	Var	0.8773	1.1383	2.3040	1.9980
	-20°C	Obs.	3	3	3
Sum		61.74	66.49	47.96	176.19
Mean		20.58	22.1633	15.9866	19.5766
Var		6.4729	14.020	0.5992	12.9928
Total		Obs.	6	6	6
	Sum	79.95	89.62	72.49	
	Mean	13.325	14.93667	12.08167	
	Var	66.10211	68.73335	19.46014	

Table 5. ANOVA for Maximum Size and Temperature

Source	Sum of Square	DF	Mean Square	F Ratio	P-Value	F Rejection
Factor A(row)	676.139	1	676.139	159.6381	2.72E-08	4.747225
Factor B(column)	24.58874	2	12.29437	2.902731	0.093706	3.885294
Interaction	44.51354	2	22.25677	5.254878	0.022954	3.885294
Error	50.8254	12	4.23545			
Total	796.0667	17				

Table 4를 보면 실험온도 20℃와 -20℃에서의 실험 결과는 확연히 차이가 나는 것으로 보이지만 굵은 골재의 최대입경별 칸타브로 손실률은 평균값이 서로 다르고 분산이 다르므로 직관적으로 판단하기 어렵다. 이러한 평균의 차이를 통계적으로 분석하는 것을 분산분석(Analysis of Variance; ANOVA)이라한다.

Table 5는 혼합물 굵은 골재의 최대입경을 주변수로 하고 실험온도를 부차적인 변수로 설정하여 분산분석을 실시한 결과이다. Table 5에서 실험온도 Factor A(row)에 대한 P-value가 2.72E-08로 99.9% 이상의 신뢰도 수준에서 다른 결과를 나타낸다는 결과를 얻을 수 있다. 그러나 굵은 골재의 최대입경, Factor B(col.)은 P-value가 0.093706이므로 95%의 신뢰도 수준에서 서로 동일하다는 가설을 기각할 수 없다. 따라서 다공성 아스팔트 혼합물은 최대입경에 따라 서로 다른 칸타브로 손실률을 나타낸다고 말할 수 없다.

또한 실험온도와 혼합물의 최대입경 사이에 교호작용(Interaction)은 P-value가 0.022954로서 95% 신뢰수준에서 유의미한 결과를 얻었다. 즉, 실험온도의 변화에 따라 칸타브로 손실률의 최대값과 최소값을 갖는 최대입경이 다르다는 것을 의미한다.

Table 6은 혼합물의 공극률과 실험온도에 따라 시험

Table 6. Summary of Fit for Air voids and Temperature

Class	Sum.	20%	22%	Total
20℃	Obs.	3	3	6
	Sum	23.13	31.86	54.99
	Mean	7.71	10.62	9.165
	Var	1.1383	1.1827	3.46883
-20℃	Obs.	3	3	6
	Sum	66.49	67.54	134.03
	Mean	22.16333	22.51333	22.33833
	Var	14.02093	9.740033	9.541137
Total	Obs.	6	6	
	Sum	89.62	99.4	
	Mean	14.93667	16.56667	
	Var	68.73335	46.80451	

된 결과를 통계적으로 요약하여 보여주고 있다. Table 6을 보면, 실험온도 20℃에서는 20% 공극률 혼합물의 칸타브로 손실률이 작고 분산은 비슷한 것으로 나타났다. 반면 실험온도 -20℃에서는 칸타브로 손실률의 평균값은 비슷한데 분산이 20% 공극률 혼합물에서 더 큰 것으로 나타났다.

이에 대한 분산분석을 실시한 결과가 Table 7이다. Table 7을 보면 실험온도 Factor A(row)에 대한 P-value가 1.95E-05로서 99.9% 이상의 신뢰도 수준에서 유의한 결과를 나타내고 있다. 즉, 실험온도에 대한 차별성은 99.9% 이상의 신뢰수준으로 검증된다는 것을 의미한다. 그러나 혼합물의 공극률, Factor B(col.)과 두 변수 사이의 교호작용(Interaction)의 P-value는 0.05 이상이므로 95%의 신뢰도 수준에서 의미 있는 결과를 얻지 못했다. 즉, 공극률의 2% 변화에도 칸타브로 손실률의 평균값은 차이가 없고, 온도와 공극률 두 변수 사이의 교호작용은 없는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 동일한 배수성 아스팔트 바인더를 이용하고 20%의 공극을 갖고 굵은 골재의 최대입경을 8mm, 10mm, 13mm로 변화를 주고, 실험온도 20℃와 -20℃에서 골재 탈리에 대한 저항시험으로 칸타브로시험을 시행하였다. 그리고 동일한 조건에서 공극률을 20%와 22% 혼합물에 대한 실험도 수행하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 굵은 골재의 최대입경이 8mm, 10mm, 13mm인 다공성 아스팔트 혼합물에 대하여 실시한 칸타브로 시험결과, 최대입경의 변화는 칸타브로 손실률 결과에 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 95% 신뢰도 수준에서 굵은 골재의 최대입경 차이는 다공성 아스팔트 혼합물의 칸타브로 손실률에 영향을 준다고 말할 수 없다.

둘째, 동일한 아스팔트 바인더를 이용하고 공극률을

20%로 유지하면서 굵은 골재의 최대입경에 변화를 준다 하더라도 실험온도 차이 20℃와 -20℃에서의 차이는 신뢰도 수준 99.9% 이상에서 유의한 차이를 보였다. 추운 기후의 지역에서는 다공성 아스팔트포장의 탈리에 대해서 유념할 필요가 있다.

셋째, 아스팔트 혼합물의 최대입경과 실험온도에 대한 교호작용에 대해서 서로 교호작용이 있는 것으로 나타났다. 즉, 실험온도의 변화에 따라 칸타브로 손실률의 최대값과 최소값을 갖는 최대입경 혼합물이 다르다는 것을 의미한다. 즉, 저온에서는 8mm최대입경 혼합물의 칸타브로 손실률이 가장 적었고 상온에서는 13mm최대입경 혼합물의 손실률이 가장 적은 것으로 나타났다. 기후에 따라서 아스팔트 혼합물의 최대입경을 달리하는 것도 검토해 볼 수 있다.

넷째, 동일한 아스팔트 바인더 사용하고 동일한 굵은 골재의 최대치수를 사용하고 공극률을 20%와 22%로 변화를 준 혼합물에 대해 칸타브로 손실률은 유의한 변화를 보이지 않았다. 칸타브로 시험은 공극률 2%의 차이를 구분할 만큼 민감한 시험법은 아닌 것으로 판단된다.

다공성포장의 내구성을 높이기 위한 체계적인 실험계획과 분석이 지속적으로 수행될 필요가 있다. 이제는 외국에서 들여온 아스팔트 혼합물의 기준을 만족하는지 확인하는 연구가 아니라 실질적으로 다공성 아스팔트 혼합물의 성능을 개선하는 방향으로 연구가 진행되어야 한다.

References

[1] MLMA, Ministry of Land and Maritime Affairs, Provisional Guidelines for Producing and Construction of Drainage Asphalt Mixture, Ministry of Land and Maritime Affairs, Korea (in Korean)

[2] J. S. Lee, J. H. Jin, G. T. Cho, W. P. Son, Y. K. Nam, A Study of Mechanical Characteristics of Drainage Asphalt Mixtures, *Journal of the Korean Society of Highway Engineers*, Proceedings of Annual Conference, 2015 (in Korean)

[3] K. H. Lee, S. M. Ham, The Strength Properties of Permeable Hot Mix Asphalt for Surface Course, *Journal of the Korean Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 12, No. 7, pp.3296-3301, 2011
DOI :<http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.7.3296>

[4] T. J. Choi, H. J. Lee, T. W. Kim, J. H. Song, Characterization of Porous Asphalt Concrete Coated with MMA Resin, *Journal of the Korean Society of Highway Engineers*, Vol. 11, No. 2, pp.111-120, Jun.

2009 (in Korean)

[5] C. K. Ock, J. H. Kim, J. S. Lee, Noise reduction of Asphalt Concrete Pavement: Techniques and their performance evaluation, *Journal of the Korean Society of Highway Engineers*, Vol. 12, No. 1, pp.29-37, Mar. 2010 (in Korean)

[6] S. H. Cho, Y. J. Bak, N. S. Kim, A study on Application of Warm-Mix Quiet Pavement Using Fine-Size Aggregate, *Journal of the Korean Society of Disaster Information*, pp.56-64, 2013 (in Korean)

[7] S. H. Cho, N. S. Kim, W. S. Kim, S. H. Lee, Mix Design of Small-Size Quiet Pavement, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Proceedings of Annual Conference, pp.178-178, Feb. 2011 (in Korean)

[8] KS F 2389:2019, Performance grade for asphalt binder, 2019.12

[9] KS F 2393:2019, Standard test method for rheological properties of asphalt binder using dynamic shear rheometer, 2019.12

[10] KS F 2390:2019, Standard Test Method for Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using Bending Beam Rheometer, 2019.12

[11] KS M ISO 2592:2018, Determination of flash and fire points - Cleveland open cup method, 2018.12

[12] KS F 2392:2019, Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt Binder using Rotational Viscometer, 2019.12

[13] KS M 2259:1980, Testing Method for Rolling Thin-Film Oven of Asphalt (Effect of Heat and Air on Moving Film of Asphalt), 2015.7

[14] KS F 2492, Standard test method for Cantabro test for porous asphalt mixtures, 2017.8

유 인 균(In-Kyoon Yoo)

[정회원]



- 1986년 2월 : 고려대학교 공대대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 고려대학교 공대대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1995년 10월 : 도로 및 공항 기술사, 한국산업인력공단

• 1987년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 연구위원

<관심분야>

도로공학, 교통소음

이 수 형(Su-Hyung Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 경기대학교 공대대 학원 토목공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 경기대학교 공대대 학원 토목공학과 (공학박사)
- 1993년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 수석연구원

〈관심분야〉

도로공학, 교통소음

박 기 수(Ki-Soo Park)

[정회원]



- 2017년 2월 : 한양대학교 공학대 학원 교통공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 신진연구원

〈관심분야〉

도로공학