

# 반강성 포장용 개립도 아스팔트 재료의 성능평가

## Mechanical Properties of an Open Graded Asphalt for Semi-rigid Pavement

방진욱<sup>1</sup> · 김윤용<sup>1\*</sup>

Jin-Wook Bang<sup>1</sup> · Yun-Yong Kim<sup>1\*</sup>

(Received March 15, 2016 / Revised March 25, 2016 / Accepted March 25, 2016)

The present study evaluated the mechanical properties of open graded asphalt for semi-rigid pavements in order to determine the mixing proportion experimentally. A total twelve types of basic mixing proportions were set up and mechanical tests such as marshall stability, porosity, permeability, and cantabro loss were conducted based on Korean standards. From the tests results, it was found that the marshall stability in case of straight and modified asphalt increase up to the contents with 5.0% and 5.5% respectively. The porosity and permeability of asphalt tended to decrease as the asphalt contents increase, the coefficient of correlation between both were estimated 86%. The increase contents with asphalt range from 3.5% to 6.0% tended to decrease the cantabro loss and the modified asphalt enhanced the resistance of cantabro loss with range from 18.8% to 33.1% than straight asphalt under same asphalt contents. In comparison with test results and quality standards, it was concluded that the modified asphalt content of 4.5% is effective to adopt for open graded asphalt.

**키워드 :** 반강성 포장, 개립도 아스팔트, 아스팔트 함량, 공극률

**Keywords :** Semi-rigid pavement, Open graded asphalt, Asphalt contents, porosity

### 1. 서론

최근 우리나라는 급속한 차량의 증가로 지속적인 도로의 확충이 이루어져 고속도로, 일반국도, 지방도 등을 포함한 도로의 총 연장은 105,672,711km로서 개통 포장율은 91.6%에 이른다(MOLIT 2015). 이 중에서 아스팔트 콘크리트 포장이 대부분인 85.5%를 차지하고 시멘트 콘크리트 포장은 14.2%를 점유하고 있다. 국내의 도로포장은 중차량의 증가와 이상고온 현상 등으로 가혹한 조건에서 공용되고 있고, 아스팔트포장이 가지고 있는 연성의 특징 때문에 소성변형이 유발된다. 또한 이상기온으로 잦은 겨울철 폭설은 많은 양의 제설제가 살포되고 이로 인하여 아스팔트 도로 표면이 변형되고 탈락되는 포트홀(pot hole)이 발생되어 주행성 저하 및 교통사고 유발 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제로 고속국도 등 자동차 전용도로에서는 콘크리트 포장이 많이 시공되고 있으나 콘

크리트 포장은 아스팔트 포장에 비하여 양생기간이 길고 주행성이 나쁜 단점을 가지고 있어서 교통개방이 긴급한 도로에서는 적합하지 않고, 양생에 따른 교통지체는 사회간접비용을 증가시키게 된다. 기존의 아스팔트 및 콘크리트 포장의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 건설교통부(국토교통부)에서 2001년부터 계획된 “한국형 포장설계법 개발 및 포장 성능 개선방안 수립을 위한 기본계획”의 연구가 추진되었고, 관련 연구 성과들이 도출되었다. 아스팔트 및 콘크리트 포장 자체의 성능개선을 위한 연구와 더불어 다양한 포장공법이 개발되었으며, 특히 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 장점을 이용한 반강성포장을 들 수 있다(Gray 2002; Moon 2006).

반강성 포장은 공극이 큰 개립도 아스팔트 혼합물의 모체에 시멘트 주입재를 충전한 포장방법이다. 이 포장방법은 아스팔트 포장의 연성과 콘크리트 포장의 강성 및 내구성을 복합적으로 활용하는 장점이 있다(Huh 2006).

\* Corresponding author E-mail: yunkim@cnu.ac.kr

<sup>1</sup>충남대학교 토목공학과(Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea)

본 연구에서는 반강성 교면 포장체의 모체가 되는 개립도 아스팔트 콘크리트의 매트릭스 요인별에 따른 공학적 특성을 실험·실증적으로 분석하여 반강성포장재 주입용 개립도 아스팔트 혼합물의 배합조건을 제시하고자 한다.

## 2. 반강성 포장

아스팔트 포장의 유연성, 가소성 및 주행성과 콘크리트 포장의 강성, 수밀성, 내열성 등의 각각의 장점을 확보할 수 있는 반강성 아스팔트 포장은 1980년도 이후로 전 세계적으로 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 국내의 경우 Park et al.(2008)이 보수성 재료를 사용한 반강성 포장재에 대한 성능을 보고 하였고, Huh et al.(2006)은 아스팔트가 피복되어 있는 페아스콘과 시멘트와 혼합제를 포함하는 유제를 이용하는 반강성 포장공법에 대한 연구를 수행하여 구조와 특징을 보고한 바 있다. 반강성 포장의 이러한 특징은 기본적으로 다량의 공극을 가지는 모체 개립도 아스팔트 혼합물의 특성과 고유동의 시멘트 기반 주입재의 복합적인 작용으로 확보할 수 있다. 반강성 아스팔트포장은 Fig. 1에 도시한 바와 같이 모체 개립도 아스팔트 표면에 20~30mm까지 시멘트 주입재를 침투시키는 반침투형과 아스팔트 전층에 대하여 침투시키는 전침투형이 있으며, 전침투형은 반침투형보다 높은 내구성과 내하력을 가지고 있다(Kim et al. 2010). 반강성 아스팔트 포장은 시멘트 주입재의 특성에 따라 교통개방 시간조정, 도로표면의 시인성 증대, 미끄럼 저항성능 향상 등을 목적에 부합하도록 시공할 수 있다. 또한 소성변형에 의한 포장의 손실을 최소화 할 수 있고, 미끄럼 저항성이 높아 급제동에 의한 교통사고를 방지할 수 있으며, 여름철 포장온도를 저감시킬 수 있어 열섬현상을 저감할 수 있는 장점이 있다(Park 2008).

이러한 반강성 포장의 특성을 확보하기 위해서는 시멘트 주입재가 모체인 개립도 아스팔트 혼합물에 형성되어 있는 공극에 충분히 침투 및 경화하여 일체성을 확보해야 한다. 특히, 모체 개립도 아스팔트 혼합물의 공극형성이 중요한 요인이 된다. 공극 형성의

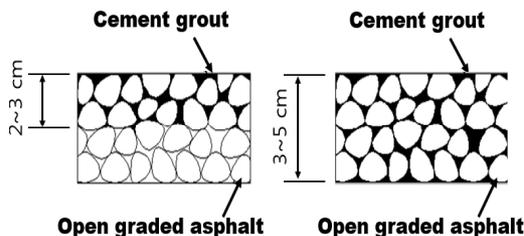


Fig. 1. Schematics images of semi-rigid pavement

정도는 아스팔트 자체와 반강성 포장의 압축, 휨강도, 소성변형, 내구성 등과 주입재의 충전성능에 큰 영향을 미치는 요인이므로 목표 공극에 부합하는 적절한 모체 개립도 아스팔트 혼합물의 배합설계 및 성능평가가 이루어져야 한다.

## 3. 사용재료 및 시험방법

### 3.1 개요

반강성포장용 개립도 모체 아스팔트의 요구성능은 국내 배수용 아스팔트의 혼합물 생산 및 시공 잠점 지침(MOLIT 2011)의 규정을 만족시킬 수 있는 조건을 목표로 설정하였다. 최적 배합조건 도출을 위한 실험 요인으로는 포장 구조체로서의 안정적인 공학적 성능 확보와 개립도 아스팔트 내부에 목표 공극률을 확보하기 위하여 스트레이트 아스팔트, 개질 아스팔트의 종류 및 함량을 배합요인으로 설정하였다. 목표성능을 바탕으로 모체 개립도 아스팔트 성능평가 항목으로는 사용재료인 아스팔트, 굵은골재, 잔골재 및 채움재 등의 물성 분석과 배합 요인별로 제조된 아스팔트 시험체의 마찰안정도, 흐름값, 공극률, 투수계수, 칸타브로 손실률 시험을 수행하였다.

### 3.2 사용재료 및 배합

본 연구에서 모체 개립도 아스팔트 혼합물에 사용되는 아스팔트는 두 종류이며, 침입도 70(1/10mm)의 스트레이트 아스팔트(AP-5)와 소성변형 및 균열 저항성을 개선한 폴리머 개질 아스팔트(PMA) 두 종류를 각각 사용하였다. 사용 아스팔트의 물리적 특성은 Table 1에 나타내었다. 골재는 최대치수 13mm 이하의 확장암

Table 1. Physical properties of used asphalts

	Softening point(°C)	Flash point (°C)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Penetration (1/10mm)
AP-5	46.8	345	1.034	70
PMA	98.0	328	1.030	54

Table 2. Physical properties of used aggregates

	Absolute dry density (g/cm <sup>3</sup> )	Saturated surface-dry density(g/cm <sup>3</sup> )	Water absorption ratio(%)	Finesness modulus
Coarse aggregate	2.65	2.67	0.7	6.08
Fine aggregate	2.64	2.66	0.9	3.02

질 굵은골재와 잔골재를 사용하였고, 물성은 Table 2에 나타내었다. 또한 충전재로 국내 D사에서 제조된 밀도 2.72g/cm<sup>3</sup>, 침수팽창률 2.0%, 수분함량 0.2%의 석회석 미분말을 사용하였다. 굵은골재, 잔골재, 충전재의 혼합 입도분포는 Table 3과 Fig. 2에 각각 나타낸 바와 같다.

반강성 포장용 모체 개립도 아스팔트 혼합물의 배합 요인별 특성을 분석하기 위하여 스트레이트 아스팔트와 개질 아스팔트 두 종류의 아스팔트와 함량 3.5~6.0%에 따른 배합을 실시하였고, 배합표를 Table 4에 나타내었다.

### 3.3 아스팔트 제조 및 시험방법

#### 3.3.1 아스팔트 제조

모체 개립도 아스팔트 비빔은 가열기를 이용하여 아스팔트를 용융시켜 준비하고 배합표에 따라 잔골재, 굵은골재, 충전재를 건비빔한 뒤 아스팔트 혼합물의 온도가 100 이하로 저하되지 않도록 계속 가열하여 1차 예비 비빔을 완료하였다. 1차 예비 비빔 후 아스팔트 혼합물의 온도가 145 수준이 되도록 지속적으로 가열

한 뒤 2차 비빔을 완료하여 해당 시험에 사용되는 공시체를 제작하였다. Fig. 3에 사용재료 및 아스팔트 혼합물의 비빔과정을 나타내었다. 비빔과정을 통해 제작된 아스팔트 공시체를 Table 5의 국내 KS 규정항목에 따라 시험을 수행하였다.

#### 3.3.2 시험방법

##### (1) 마샬안정도 시험

모체 개립도 아스팔트 혼합물의 마샬안정도 시험은 KS F 2337 『마샬시험기를 사용한 역청 혼합물의 소성흐름에 대한 저항력시험 방법』에 준하여 수행하였다. 공시체 제작은 전용 다짐기를 이용하여 직경 101.6mm의 몰드에 아스팔트 혼합물을 채우고 다짐 해머를 450mm의 높이에서 50회 자유낙하 시킨 후 제작하였다. 제작된 공시체를 상온에서 일정기간 동안 식인 후 시료 추출기를 이용하여 몰드를 제거한 뒤 실온에서 12시간 이상 보관하고, 60±1 의 항온수조에 30분 동안 침수시킨 후 마샬시험기를 이용하여 재하속도 50.8mm/min의 조건에서 시험을 실시하였다.

##### (2) 공극률 시험

모체 개립도 아스팔트 혼합물의 공극률 시험은 KS F 2364 『다져진 역청 혼합물의 공극률 시험방법』에 준하여 수행하였으며, 식 (1)을 이용하여 공극률을 산출하였다. 겉보기밀도는 KS F 2353 『다져진 아스팔트 혼합물의 겉보기 비중 및 밀도시험방법』에 제시한 식 (2)를 이용하였고, 이론 최대밀도 시험기와 식 (3)을 통해 이론 최대밀도를 산출하여 배합별 모체 개립도 아스팔트 공시체의 공극

Table 3. Size distribution of blended aggregates

Sieve Ratio	20 mm	13 mm	10 mm	5 mm	2.5 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	0.08 mm
G 78%	78.0	74.4	40.8	4.1	1.6	-	-	-	-
S 19%	19.0	19.0	19.0	17.7	13.0	6.7	5.0	2.1	1.3
F 3%	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.8	2.6
Target gradation	100	96.4	62.8	24.8	17.6	9.7	8.0	4.9	3.9
Specification	100	92~100	62~81	10~31	10~21	4~17	3~12	3~8	2~7

where, G: coarse aggregate, S: fine aggregate, F: filler

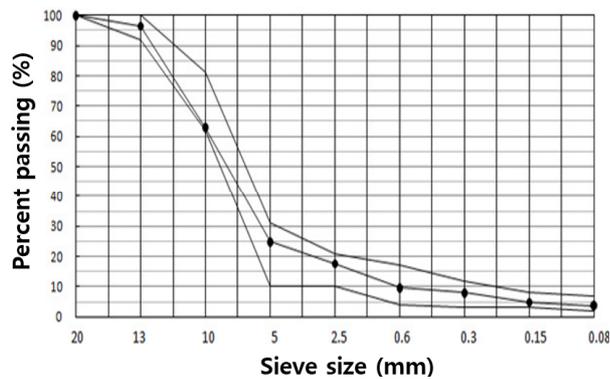


Fig. 2. Grading curve of blended aggregates

Table 4. Mixing proportion of asphalt

Mix.	AP types	AP content(%)	Mixing ratio(%)			
			AP	G	S	F
1-1	AP-5	3.5	3.5	75.3	18.3	2.9
1-2		4.0	4.0	74.9	18.2	2.9
1-3		4.5	4.5	74.5	18.1	2.9
1-4		5.0	5.0	74.1	18.1	2.9
1-5		5.5	5.5	73.7	18.0	2.8
1-6		6.0	6.0	73.3	17.9	2.8
2-1	PMA	3.5	3.5	75.3	18.3	2.9
2-2		4.0	4.0	74.9	18.2	2.9
2-3		4.5	4.5	74.5	18.1	2.9
2-4		5.0	5.0	74.1	18.1	2.9
2-5		5.5	5.5	73.7	18.0	2.8
2-6		6.0	6.0	73.3	17.9	2.8

where, AP: asphalt, G: coarse aggregate, S: fine aggregate, F: filler



Fig. 3. Mixing process of asphalt

Table 5. Tests and related standards for asphalt

Test	Referred Korean standards
Marshall stability	KS F 2337
Porosity	KS F 2364
Permeability	KS F 2494
Cantabro loss	KS F 2492

를 구하였다.

$$\text{공극률} = \left[ 1 - \frac{\text{겉보기 밀도}}{\text{이론 최대 밀도}} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{겉보기 밀도} = \frac{A}{D - E - (D - A)/F} \quad (2)$$

- A : 건조 공시체의 공기중 질량(g)
- D : 피복한 건조 공시체의 공기 중 질량(g)
- E : 피복한 건조 공시체의 수중 질량(g)
- F : 파라핀의 겉보기 밀도

$$\text{이론 최대 밀도} = \frac{A}{A + D - E} \quad (3)$$

- A : 공기 중에서 건조 시료의 질량(g)
- D : 25 에서 물을 채운 용기의 질량(g)
- E : 25 에서 물과 시료를 채운 용기의 질량(g)

(3) 투수계수 시험

모체 개립도 아스팔트 혼합물의 투수계수 시험은 KS F 2494 『배수성 아스팔트 혼합물의 실내 투수 시험』을 준용하여 식 (4)를 이용하여 투수계수를 산출하였다.

$$K = \frac{L}{H} \times \frac{Q}{A(T_2 - T_1)} \quad (4)$$

- K : 투수계수(cm/sec)
- L : 공시체의 높이(cm)
- H : 수위차(cm)
- Q : 유량(cm<sup>3</sup>)
- A : 공시체의 단면적(cm<sup>2</sup>)
- T<sub>2</sub> - T<sub>1</sub> : 측정시간(sec)

(4) 칸타브로 시험

반강성 포장용 개립도 아스팔트 혼합물의 칸타브로 시험은 KS F 2492 『배수성 아스팔트 혼합물의 칸타브로 시험 방법』에 준하여 시험을 수행하였고, 산출식은 식 (5)에 나타난 것과 같다. 여기서, A와 B는 시험 전의 시편의 질량(g)과 시험 후의 시편의 질량(g)이다. 칸타브로 손실률은 개립도 아스팔트 포장용 혼합물의 골재 탈리 정도를 측정하는 시험으로 마샬안정도 공시체를 로스엔젤레스 마모 시험기에 투입하고, 강구(steel ball)를 사용하지 않은 상태에서 시험기를 300회 회전시킨 후 발생한 무게의 손실량을 측정함으로써 구할 수 있다.

$$\text{칸타브로 손실률}(\%) = (A - B)/A \times 100 \quad (5)$$

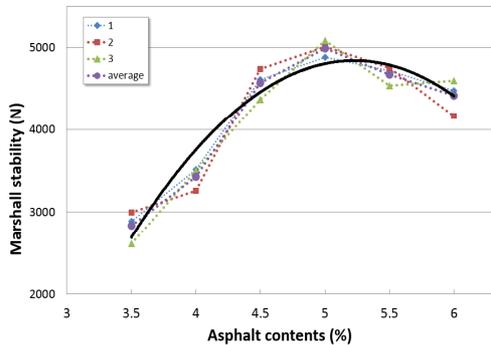
## 4. 결과 및 분석

### 4.1 마샬안정도 시험 결과

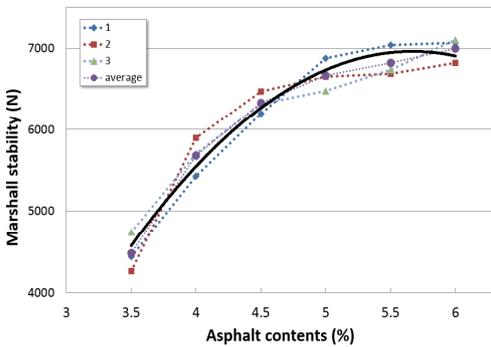
모체 개립도 아스팔트 혼합물의 배합별 마샬안정도 시험결과를 Fig. 4에 나타내었다. 스트레이트 아스팔트 AP-5를 사용한 경우 아스팔트 함량 5.0%까지는 함량이 증가함에 따라 마샬안정도가 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 그 이상의 아스팔트 함량에서는 다소 저하되는 특성을 나타내 6.0% 함량에서는

5.0%에 비해 약 11% 정도로 감소되는 결과를 나타냈다. 이와 같은 경향은 스트레이트 아스팔트의 일정 함량까지는 골재와 바인더 사이의 결합력 증가로 외부에서 작용하는 하중에 대한 분산능력이 향상된 반면 그 이상의 아스팔트 함량에서는 성능 향상이 미미하고 아스팔트의 과다로 뭉침현상으로 인한 혼합물의 내구성성이 오히려 저하되어 안정도 값이 감소된 것으로 사료된다.

한편, 개질 아스팔트를 사용한 경우 아스팔트 함량이 증가함에 따라 AP-5를 사용한 경우에 비해 5.5% 함량까지 마찰안정도 값이 증가하는 것으로 나타났으며, 동일한 아스팔트 함량의 모든 배합에서 마찰안정도 값이 최소 33.6% 이상 높게 측정되었다. 이와 같은 원인은 고분자 소재인 PMA와 첨가제를 물리, 화학적으로 조합하여 제조된 개질아스팔트 사용함으로써 아스팔트 유동성 향상과 더불어 아스팔트와 골재사이의 계면 부착력이 개선되었기 때문으로 판단된다. 국내 반강성포장재 개립도 아스팔트의 마찰안정도 기준이 3,000N 이상인 것을 고려해 볼 때 AP-5 아스팔트 함량 3.0% 1-1배합을 제외한 모든 배합이 규정을 만족함을 알 수 있다.



(a) AP-5 series



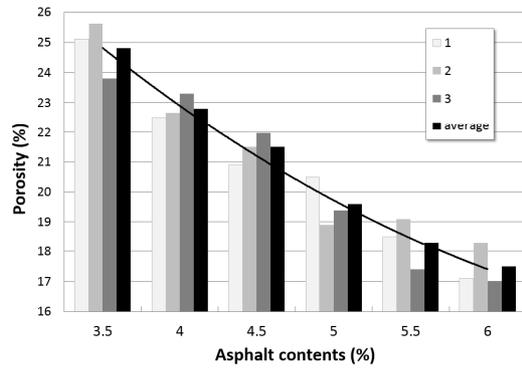
(b) PMA series

Fig. 4. Marshall stability test results of according to asphalt types and contents

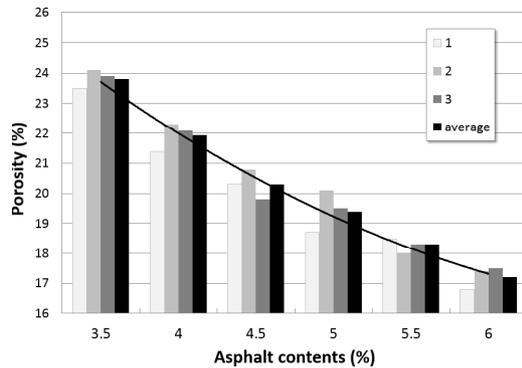
#### 4.2 공극률 및 투수계수 시험 결과

모체 개립도 아스팔트 혼합물에 있어서 공극형성은 주입재의 내부 충전의 용이성과 자체 강도와 주입재의 충전으로 인한 반강성포장재의 강성확보에 가장 큰 영향을 미치는 요인이기 때문에 공극률 평가 및 관리가 중요하다.

배합에 따른 공극률 시험결과를 Fig. 5에 나타내었다. 공극률 시험결과 스트레이트 아스팔트를 사용한 경우 공극률이 가장 큰 1-1 배합에 비해 아스팔트 함량이 4.0~6.0%로 증가함에 따라 공극률이 평균 2.9%, 4.8%, 6.7%, 7.8% 및 8.7% 각각 감소되었다. 개질 아스팔트의 경우는 2-1배합에 비해 각각 2.2%, 3.6%, 4.9%, 6.0% 그리고 7.1% 감소된 공극률을 나타내어 모든 배합에서 아스팔트의 함량이 증가함에 따라 개립도 아스팔트 내부에 형성되는 공극이 감소되는 결과를 나타내었다. 아스팔트의 종류가 공극률 감소에는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 반강성포장용 아스팔트 혼합물의 공극률 기준은  $20 \pm 0.3\%$ 로 규정하고 있다. 상기 기준을 만족시키는 배합조건은 스트레이트 아스팔트와 개질 아



(a) AP-5 series



(b) PMA series

Fig. 5. Porosity test results of according to asphalt types and contents

스팔트 모두 함량 3.5~4.5%인 것으로 나타났다.

한편, Table 6에 모체 개립도 아스팔트 혼합물의 투수계수 시험 결과를 정리하여 나타내었다. 아스팔트 함량 증가에 따라 공극률 감소에 의해 투수계수도 감소하는 경향을 나타내었다. Fig. 6은 모체 개립도 아스팔트 혼합물의 공극률과 투수계수와의 상관관계를 나타낸 것으로 투수계수는 공극률이 증가함에 따라 선형관계로 증가하는 것으로 나타났고, 상관관계수가 86% 수준으로 나타나 모체 개립도 아스팔트 혼합물 내부 공극률이 반강성포장 주입재의 침투수준을 결정짓는 요소임을 나타내는 간접적인 결과이다. 스트레이트 아스팔트를 사용한 경우는 투수계수가 0.28~0.48cm/sec의 범위를 나타냈고, 개질 아스팔트를 사용한 경우는 0.21~0.45cm/sec의 범위로 측정되어 모든 배합에서 기준인 0.01cm/sec 이상을 충족시키는 것으로 나타났다.

Table 6. Permeability test results of asphalt

Mix.	AP types	AP content(%)	Coefficient of permeability(cm/sec)			
			1	2	3	Average
1-1	AP-5	3.5	0.44	0.52	0.47	0.48
1-2		4.0	0.41	0.40	0.45	0.42
1-3		4.5	0.37	0.38	0.33	0.36
1-4		5.0	0.29	0.33	0.31	0.31
1-5		5.5	0.32	0.28	0.27	0.29
1-6		6.0	0.25	0.31	0.28	0.28
2-1	PMA	3.5	0.42	0.48	0.46	0.45
2-2		4.0	0.38	0.39	0.40	0.39
2-3		4.5	0.36	0.31	0.32	0.33
2-4		5.0	0.29	0.30	0.25	0.28
2-5		5.5	0.26	0.25	0.22	0.24
2-6		6.0	0.23	0.19	0.22	0.21

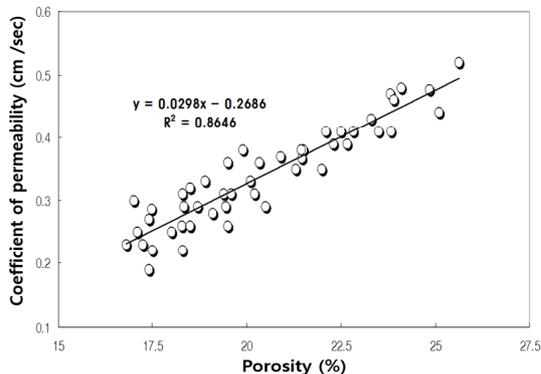


Fig. 6. Relationship curve between porosity and coefficient of permeability

### 4.3 칸타브로 시험 결과

칸타브로 시험 후 모든 배합의 모체 개립도 아스팔트 혼합물 공시체의 칸타브로 손실률을 Fig. 7에 나타내었다. 모든 배합에서 아스팔트 함량이 증가함에 따라 칸타브로 시험에 의한 손실률은 감소되는 경향을 나타내었다. 스트레이트 아스팔트의 경우 함량이 3.5~6.0%로 증가함에 따라 손실률이 33.5%에서 13.1%로 감소되었고, 개질 아스팔트는 26.1%에서 8.9%로 감소되는 결과를 나타냈다. 이와 같은 결과는 아스팔트 함량이 증가함에 따라 동일 골재량 대비 바인더량의 상대적인 증가로 인하여 골재의 노출정도가 감소되고 연성적인 아스팔트의 특성으로 외부 충격에 대한 에너지흡수가 증가되었기 때문으로 판단된다.

개질 아스팔트를 사용한 경우가 스트레이트 아스팔트를 사용한 경우에 비하여 18.8~33.1%까지 칸타브로 시험에 의한 손실률이 작은 것으로 나타났는데 이는 개질제의 적용에 따른 바인더 자체의 점성 및 접착력 증가에 기인한 것으로 판단된다. 국내 규정에서는 반강성포장재의 칸타브로 손실률을 20% 이하로 규정하고 있는데 기준을 만족시키는 배합조건은 AP-5의 경우는 아스팔트 함량 5.0% 이상에서, 개질 아스팔트를 사용한 경우는 아스팔트 함량 4.5% 이상에서 상기 기준을 만족시키는 것으로 나타났다.

### 4.4 개립도 아스팔트 혼합물의 적정 배합

반강성포장용 모체 개립도 아스팔트 혼합물의 배합조건을 결정하기 위해 일련의 연구를 수행하였다. 국내 배수용 아스팔트 규정에서 제시하는 평가항목에 대한 시험을 수행하였고, 품질기준과의 비교를 통해 본 연구에서 설정한 배합의 만족여부를 판정하였다. 다음 Table 7에 아스팔트 종류와 함량에 따른 판정결과를 정리하여 나타내었다.

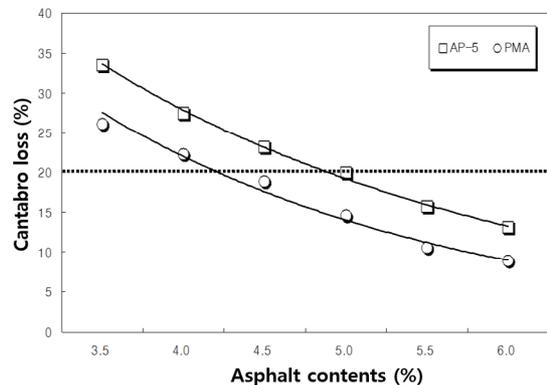


Fig. 7. Cantabro loss results according to asphalt types and contents

개질 아스팔트를 사용한 배합이 스트레이트 아스팔트를 사용한

**Table 7. Comparison results between tests and quality standards according to mixing proportions**

Mix.	AP types	AP content (%)	Marshall stability (N)	Porosity (%)	Permeability (cm/sec)	Cantabro loss (%)
Criteria			Above 3,000	20±0.3	Above 0.1	Below 20
1-1	AP-5	3.5	× (2,831)	○ (25.9)	○ (0.48)	× (32.1)
1-2		4.0	○ (3,425)	○ (23.0)	○ (0.42)	× (26.3)
1-3		4.5	○ (4,574)	○ (21.2)	○ (0.36)	× (22.8)
1-4		5.0	○ (4,994)	× (19.3)	○ (0.31)	○ (19.6)
1-5		5.5	○ (4,673)	× (18.1)	○ (0.29)	○ (14.2)
1-6		6.0	○ (4,417)	× (17.9)	○ (0.28)	○ (12.5)
2-1	PMA	3.5	○ (4,480)	○ (24.0)	○ (0.45)	× (25.3)
2-2		4.0	○ (5,677)	○ (21.8)	○ (0.39)	× (22.1)
2-3		4.5	○ (6,330)	○ (20.4)	○ (0.33)	○ (18.3)
2-4		5.0	○ (6,671)	× (19.1)	○ (0.28)	○ (13.8)
2-5		5.5	○ (6,823)	× (18.0)	○ (0.24)	○ (10.3)
2-6		6.0	○ (6,996)	× (16.9)	○ (0.21)	○ (8.7)

배합에 비해 대체적으로 우수한 성능을 확보할 수 있는 것으로 나타났으며, 개질아스팔트 배합 중 아스팔트 함량 4.5%인 2-3 배합이 본 연구에서 수행한 시험결과가 국내 배수성 아스팔트 포장 기준을 모두 충족시키는 것으로 나타났다. 본 연구에서 수행한 결과를 바탕으로 모체 개립도 아스팔트 혼합물 제조에 있어 개질 아스팔트 함량 4.5%가 유효한 배합으로 나타났다.

### 5. 결론

본 연구에서는 반강성포장재에 적용할 수 있는 모체 개립도 아스팔트 혼합물의 배합조건을 결정하기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 아스팔트의 종류와 함량에 따른 기본배합을 설정하였고, 국내 KS 기준에 따른 기본배합의 성능을 마찰안정도, 공극률 및 투수계수, 칸타브로 시험을 통해 평가하였다. 시험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모체 개립도 아스팔트 마찰안정도 시험 결과 안정도값은 스트레이트 아스팔트의 경우 5.0%까지, 개질 아스팔트는 5.5% 함량까지 증가하는 것으로 나타났지만 그 이상의 함량에서는 감소하는 것으로 나타났다. 동일한 함량의 아스팔트를 사용할 경우 개질 아스팔트의 사용은 스트레이트 아스팔트에 비해 최소 33.6% 높은 수준의 안정도값을 확보할 수 있었다.
2. 공극률 시험과 투수계수 시험 결과 아스팔트 함량이 증가될수록 개립도 아스팔트 내부에 형성되는 공극률이 감소되는 경향을 나타내었고 공극률의 감소로 인하여 투수계수도 감소되는 경향을 나타내었다. 그러나 아스팔트 종류가 공극률 및 투수계수 감소에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다.
3. 개립도 아스팔트 공극률과 투수계수와의 관계를 평가한 결과 공극률이 감소될수록 투수계수가 선형적으로 감소되는 것으로 평가되었고, 상관계수가 86% 수준으로 평가되었다.
4. 칸타브로 시험결과 아스팔트 함량이 3.5%에서 6.0%로 증가할수록 칸타브로 손실률이 감소되었는데 스트레이트 아스팔트의 경우 33.5%에서 13.1%로, 개질 아스팔트의 경우 26.1%에서 8.9%로 감소되는 것으로 평가되었다. 개질 아스팔트는 스트레이트 아스팔트에 비해 칸타브로 손실률을 18.8% ~ 33.1% 감소시킬 수 있었다.
5. 전술한 시험결과와 국내 아스팔트 규정에서 제시하는 품질기준과 비교한 결과 개질 아스팔트 함량 4.5%가 본 연구에의 모체 개립도 아스팔트 제조에 유효한 배합으로 평가되었다.

### 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2011-0024924)

### References

Gary, L.A. (1996). User's Guide: Resin Modified Pavement, FEAP-UG-96/01, Facilities Engineering Application Program.

Huh, J.D., Kim, T.H. (2006). "Development and construction methods of a new semi-rigid pavement-1", Proceedings of Korean Society of Road Engineers, **8**, 89-93 [in Korean].

Kim, J.W., Kim, K.W. (2010). Study of long-term semi-rigid pavement performance, Magazine of Korean Society of Road Engineers, **12(2)**, 35-40 [in Korean].

KS F 2337. (2012). Testing Method for Marshall Stability and

- Flow for Asphalt Mixtures Using Marshall Apparatus, Korean Agency for Technology and Standards,
- KS F 2364, (2013), Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Asphalt Mixtures, Korean Agency for Technology and Standards,
- KS F 2492, (2007), Standard Test Method of Cantabro Test for Porous Asphalt Mixtures, Korean Agency for Technology and Standards,
- KS F 2494, (2007), Standard Test Method of the Laboratory Permeability Test for Porous Asphalt Mixtures, Korean Agency for Technology and Standards,
- Ministry of Land Infrastructure and Transport (MOLTI), (2011), Provisional Guidelines for Porous Asphalt Pavement, 11-1611000-001712-01,
- Ministry of Land Infrastructure and Transport (MOLTI), (2015), Statistical Yearbook of MOLTI 2015, 11-1613000-000196-10,
- Moon, J.K, (2006), Evaluation of Engineering Property in Semi-rigid Pavement, Master's Thesis, Seoul National University of Technology, Korea,
- Park, T.S, (2008), Evaluation of the performance and moisture retaining ability in semi-rigid pavement, Journal of Korean Society of Road Engineers, **10(1)**, 69-79 [in Korean].

#### 반강성 포장용 개립도 아스팔트 재료의 성능평가

본 연구에서는 반강성포장용 개립도 아스팔트 혼합물의 배합조건을 결정하기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 두 종류의 아스팔트 및 함량에 따른 총 12가지의 기본배합을 설정하였고, 국내 KS 기준에 따라 마샬안정도, 공극률 및 투수계수, 칸타브로 시험을 수행하였다. 시험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다. 마샬안정도는 스트레이트 아스팔트와 개질 아스팔트의 함량이 각각 5.0% 및 5.5%까지는 증가하였으나 함량이 더 높아질 경우에는 증가량이 미미하거나 감소되는 경향을 나타내었다. 공극률의 경우 아스팔트 함량 증가에 따라 감소되고 투수계수도 감소되는 경향을 나타내었는데 상관계수가 86% 수준으로 평가되었다. 칸타브로 손실률 평가 결과 아스팔트 함량이 3.5%에서 6.0%로 증가될수록 감소되었고 개질 아스팔트는 스트레이트 아스팔트에 비해 손실률을 18.8%~33.1% 감소시킬 수 있었다. 국내 규정에서 제시하는 품질기준과 시험 결과를 종합해 볼 때 개질 아스팔트 함량 4.5%가 모체 개립도 아스팔트 제조에 유효한 배합으로 평가되었다.