

## 폐비닐을 함유한 아스팔트 바인더 물성의 실내 시험

### Laboratory Testing of Material Properties of Asphalt Binder Containing Wasted Vinyl

이강훈	Lee, Kang Hun	정회원 · 인하대학교 토목공학과 석사 · 한국과학기술기획평가원 연구원 (E-mail : kh83lee@kistep.re.kr)
김영진	Kim, Young Chin	정회원 · 한국건설기술연구원 Geo인프라연구실 연구위원 · 공학박사 (E-mail : ykim73@kict.re.kr)
김병준	Kim, Byeong Jun	정회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : fihz55@gmail.com)
임진선	Lim, Jin Sun	정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사 · 서울연구원 초빙부연구위원 · 공학박사 (E-mail : jslim@si.re.kr)
정진훈	Jeong, Jin Hoon	정회원 · 인하대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : jhj@inha.ac.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** In this study, various laboratory tests were performed to investigate the suitability of wasted vinyl as a modifier of asphalt binder.

**METHODS :** Based on the ASTM specification, variations in material properties of asphalt binder such as penetration, flash point, softening point, ductility, penetration index (PI), and performance grade (PG) with vinyl content were tested and analyzed.

**RESULTS :** Laboratory tests revealed that penetration and ductility of the asphalt binder increased with the vinyl content. The flash point, softening point, and PI decreased, and PG changed from 64-22 to 70-22 with increase of the vinyl content.

**CONCLUSIONS :** Wasted vinyl modified the material properties of the asphalt binder. However, the asphalt binder with vinyl content over 6.0% was unsuitable as a pavement material.

#### Keywords

*asphalt, wasted vinyl, penetration, flash point, softening point, ductility, performance grade (PG)*

Corresponding Author : Jin-Hoon Jeong, Ph. D., Associate Professor  
Department of Civil Engineering, Inha University,  
100 Inha-ro, Nam-gu, Incheon, 402-751, Korea  
Tel : +82.32.860.7574 Fax : +82.32.873.7560  
email : jhj@inha.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
<http://www.ksre.or.kr/>  
ISSN 1738-7159 (Print)  
ISSN 2287-3678 (Online)

## 1. 서론

아스팔트는 가장 일반적으로 사용되는 도로 포장 재료의 하나로 매년 전 세계에서 생산되는 약 100Mt의 아스팔트 중 약 95%가 포장관련 산업에서 아스팔트 혼합물을 만드는데 사용되고 있다(Lesueur, 2009). 최근 중차량이 증가하고 교통량이 늘어남에 따라 아스팔트 포장에 소성변형, 피로균열, 평탄성 저하 등이 공용초기

부터 많이 발생하고 있다. 이에 따라 아스팔트 재료의 성능을 향상시켜 포장의 수명을 연장하기 위한 연구가 활발하게 수행되고 있다(Gonzalez 외, 2004).

아스팔트 포장의 대표적 표층재료인 폴리머는 아스팔트 바인더가 온도에 민감한 특성을 개선하기 위하여 주로 사용되는데, 고온에서의 강성의 증가와 저온에서의 강성의 감소를 통해 아스팔트 바인더의 성능을 높인

다. 아스팔트 표층에 사용되는 폴리머는 크게 탄성중합체(elastomer)와 소성중합체(plastomer), 고무계열의 3가지로 분류되며 약 75%, 15%, 10%의 비율을 각각 차지한다(Habib 외, 2011). 역학적 또는 화학적 방법으로 원아스팔트와 폴리머가 혼합되는 과정에서 원아스팔트와 폴리머의 극성(polarity) 및 분자량 차이로 인해 다상구조(multiphase)가 형성된다. 이 상(phase)에 존재하는 흡수되지 않은 풍부한 아스팔틴(asphaltene)이 더욱 복잡한 내부구조를 형성하면서 아스팔트의 점성이 커지고 다짐에도 영향을 미치게 된다(Lu 외, 1997). 예를 들면 소성중합체 계열에 속하는 폴리에틸렌은 바인더의 점성을 증가시켜 하중 재하에 의해 발생하는 변형을 감소시킨다(Stastna 외, 2002). 아스팔트 포장 표층에 폴리머를 첨가할 경우 연화점이 증가하고 침입도가 감소하며, 혼합물의 점성이 커져서 변형 저항성이 향상된다고 알려져 있다. 하지만 이와 같은 장점에도 불구하고 개질 아스팔트는 일반 아스팔트 보다 가격이 높다는 단점이 있다. 국내의 경우 개질 아스팔트의 가격은 일반 아스팔트에 비해 약 1.25~2배 이상 높은 수준이다.

본 연구의 목적은 주로 LDPE(Low-Density Polyethylene)를 재료로 하는 국내 농업 폐비닐을 잘게 파쇄하고 원아스팔트와 혼합함으로써 저렴한 가격으로 아스팔트를 개질하는 것이다. 고무계열 폴리머의 경우, 페타이어를 아스팔트 포장 표층으로 활용하는 기술이 상용화 되었지만 폐비닐을 활용하는 연구와 기술은 상대적으로 매우 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 AP-5(침입도 등급 75)의 원아스팔트에 폐비닐을 표층으로서 혼합할 때 아스팔트 물성의 변화를 조사하고자 한다. 이를 위해 원아스팔트(0%), 중량대비 폐비닐 함유율 1.5%, 3.0%, 6.0%의 4가지 시료를 준비하여 침입도, 인화점, 연화점, 신도, PG(Performance Grade) 등의 시험을 실시하였다.

## 2. 시료의 준비

### 2.1. 폐비닐의 물성

폐비닐은 생산업체, 제품 등으로 구분하여 수집할 수 없기 때문에 수집된 시기와 장소에 따라 다양한 물성을 갖는다. 하지만 국내에서 생산되는 대부분의 농업용 비닐은 LDPE를 재료로 하므로 다른 시기와 장소에서 수집된 폐비닐이라도 물성은 유사할 것으로 예상되었다. 현재 국내에서 사용되는 농업용 비닐의 재료인 LDPE의 물성은 Table 1과 같다.

Table 1. Properties of Vinyl(LDPE) Used in the Study

Property	Unit	Value	Test method
Melt index	g/10min	0.7~1.2	ASTM D 1238
Density	cm <sup>3</sup>	About 0.92	ASTM D 1505
Softening point	°C	94~102	ASTM D 1525

원아스팔트와 교반하기 위하여 폐비닐을 1mm~2mm 정도의 크기로 잘게 잘랐다. 정제되지 않은 폐비닐만으로 어느 정도의 개질효과가 있는지 확인하기 위해 잘게 자르는 것 이외의 다른 가공과정은 거치지 않았다.

### 2.2. 원아스팔트의 물성

국내에서 도로 포장 표층용 아스팔트 바인더로 사용되는 AP-5를 폐비닐과 혼합하였다. 아스팔트 바인더는 ASTM을 비롯한 많은 규정에서 침입도를 기준으로 등급을 나누고 기타 물성을 나타내도록 정하고 있다. 본 연구에서 사용한 AP-5는 ASTM D 946에서 규정하는 등급 중 침입도 60~70과 유사하였으며, 이를 포함한 물성은 Table 2와 같다.

Table 2. Properties of Binder(AP-5)

Property	Unit	Value	Test method
Penetration (25°C, 100g, 5sec)	1/10mm	75	ASTM D 5
Density (15°C)	g/cm <sup>3</sup>	1.036	ASTM D 70
Flash point	°C	356	ASTM D 92
Softening point	°C	46.4	ASTM D 36
Ductility (15°C)	cm	150 +	ASTM D 113
Solubility in trichloroethylene	%	99.78	ASTM D 2043
Mass change after thin-film oven test	%	-0.02	ASTM D 2872
Retained penetration after thin-film oven test	%	69.0	

## 3. 시험 방법

폐비닐 혼합 아스팔트 바인더는 냉동상태의 원아스팔트를 170°C의 챔버에서 2시간 동안 녹인 후 잘게 자른 폐비닐과 혼합하고, 국내 S사의 3,000rpm의 회전식 교반장치를 사용해서 바인더와 비닐의 용융점 이상인 170°C에서 30분 이상 충분히 교반하여 균질하다고 가정하였다. 일반적으로 폐비닐을 전혀 첨가하지 않은 원아스팔트(0%)와 폐비닐 함유율(중량비) 1.5%, 3.0%, 6.0%의 4종류의 시료를 준비하였다. 원아스팔트의 일

부를 페비닐로 치환하였을 때 변화하는 물성을 파악하기 위해 4종류의 시료에 대해 Table 3에 보인 침입도, 인화점, 연화점, 신도 등의 기본적인 시험을 실시하였다. ASTM D 5에 따라 25℃의 시료에 대한 침입도 시험을 실시하였고, ASTM D 36에 따라 연화점 시험을 실시하였다. 침입도와 연화점 시험을 통해 얻은 자료를 이용하여 침입도 지수(PI : Penetration Index)를 계산함으로써 각 시료의 온도에 대한 민감도를 파악하였다. 이외에도 ASTM D 92에 따라 인화점 시험을 실시하였고, ASTM D 113에 따라 신도 시험을 수행하였다.

이상의 시험들은 기초적이고 경험적인 시험들로서 공용성과 직접적으로 관련을 짓기에 한계가 있다. 따라서 역학적 방법으로 아스팔트 바인더의 등급을 분류할 수 있는 PG(Performance Grade) 시험을 통해 공용성을 예측하고자 하였다. 노화되지 않은 시료와 ASTM D 2872에 따라 RTFO(Rolling Thin Film Oven)에서 단기 노화된 시료에 대해 ASTM D 7175의 DSR(Dynamic Shear Rheometer) 장비를 사용하여 고온에서의 소성변형에 대한 저항성을 예측하는 지표인  $G^*/\sin\delta$ 를 측정하였다. 또한 ASTM D 6521에 따라 PAV(Pressure Aging Vessel)에서 장기 노화된 시료에 대해 DSR 장비로 저온에서의 피로균열에 대한 저항성을 예측하는 지표인  $G^*\cdot\sin\delta$ 를 측정하였고, ASTM D 6648에 따라 실시한 BBR(Bending Beam Rheometer) 시험을 통해서도 휨 크리프 강성인  $m$ -값을 측정하였다.

Table 3. Specification of Binder Test

Test	Specification
Penetration test	ASTM D 5
Flash point test	ASTM D 92
Softening point test	ASTM D 36
Ductility test	ASTM D 113
DSR test	ASTM D7175
RTFO test	ASTM D 2872
PAV test	ASTEM D 6521
BBR test	ASTM D 6648

## 4. 시험결과

### 4.1. 침입도 시험

ASTM D 5에 따라 실시된 침입도 시험에서 원아스팔트는 제품기준인 Table 2의 75와 유사한 73의 침입도를 Table 4와 같이 나타냈다. 페비닐 함유율을 1.5%,

3.0%, 6.0%로 증가시키에 따라 침입도는 Fig. 1과 같이 각각 66, 53, 38로 점차 감소하여, 폴리머의 함유율이 증가할수록 아스팔트 바인더의 침입도가 감소한 기존 연구와 유사한 결과를 보였다(Hinislioglu 외, 2005; Ouyang 외, 2006; 이학일, 2008).

Table 4. Penetration Grade by Vinyl Content

Vinyl content(%)	Penetration	Grade (ASTM D 946)
0.0	73	60~70
1.5	66	60~70
3.0	53	40~50
6.0	38	40~50

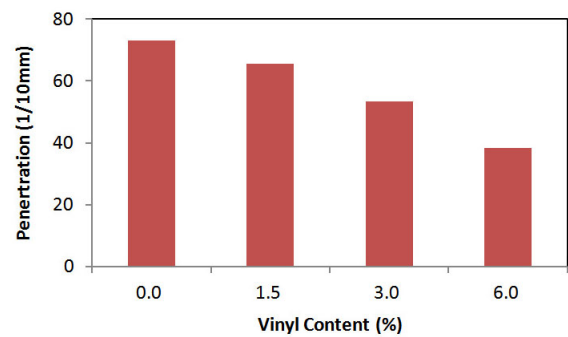


Fig. 1 Penetration According to Vinyl Content

ASTM에서는 도로 포장에 적합한 아스팔트 바인더의 등급을 침입도에 따라 40~50, 60~70, 85~100, 120~150, 200~300으로 분류하고 있다. ASTM의 경우 각 등급의 범위가 연속적이지 않아 각 시료의 정확한 분류는 어려웠다. 시험 결과를 보면, 원아스팔트와 페비닐 함유율 1.5% 시료의 경우는 침입도 60~70, 함유율 3.0% 시료는 침입도 40~50에 가까웠고 함유율 6.0% 시료는 침입도 40보다 작아서 도로 포장용으로 적합하지 않다.

### 4.2. 연화점 시험

연화점은 Fig. 2와 같이 페비닐 함유율이 늘어날수록 높아지는 경향을 보였다. ASTM에서는 연화점의 최저 기준만 제시하고 있는데 4종류의 시료 모두 최소기준을 만족하였다. 이에 반해 KS M 2201에서는 각 등급마다 연화점의 최저와 최고범위를 규정하고 있는데, 스트레이트 아스팔트 60~80등급에 해당하는 원아스팔트와 페비닐 함유율 1.5% 시료의 경우 각각 46℃와 49℃로 나타나 규정범위인 44~52℃를 만족하였다. 스트레이트 아스팔트 40~60등급에 해당하는 함유율 3.0%의 시료는 기준 범위인 47.5~55.0℃의 범위를 만족하였고,

스트레이트 아스팔트 20~40등급에 해당하는 함유율 6.0% 시료는 연화점이 62℃로 해당 등급의 연화점 범위인 50~65℃를 만족하였다. 하지만 함유율 6.0%의 경우, KS M 2201에서 도로 포장용 스트레이트 아스팔트로 규정하는 최소 침입도 등급 40~60의 연화점 기준 범위인 47~55℃를 초과하므로 도로 포장용으로 사용하기에 부적합한 것으로 판단되었다.

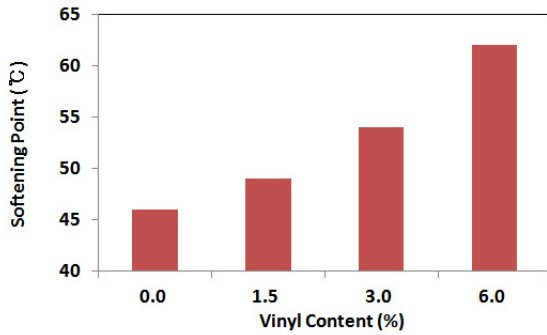


Fig. 2 Softening Point According to Vinyl Content

### 4.3. 침입도 지수

아스팔트 바인더는 온도가 높아지면 연성이 증가하고 온도가 낮아지면 점성이 증가하는 특성을 갖는다. Pfeiffer 외(1936)는 아스팔트 바인더의 온도에 대한 민감성을 나타내는 방법으로 Eq. (1)의 침입도 지수를 제시하였다. 또한 대부분의 아스팔트 바인더가 ASTM 시험법에 의한 연화점 온도에서 침입도가 800임을 발견하고 계수 A를 구하는 Eq. (2)를 제시하였다. 본 연구에서 시험을 통해 얻은 침입도와 연화점을 Eq. (1)과 Eq. (2)에 대입하여 각 시료의 침입도 지수를 계산하였다.

$$PI = \frac{20(1-25A)}{(1+50A)} \quad (1)$$

$$A = \frac{\log(\text{pen at } 25^\circ\text{C}) - \log 800}{25 - \text{ASTM Softening point}} \quad (2)$$

Whiteoak 외(2003)는 아스팔트 바인더가 온도에 민감한 정도를 침입도지수에 따라 Table 5와 같이 분류하였다. 침입도지수가 작을수록 온도에 민감한 재료임을 의미한다.

Table 5. Bitumen Type by PI Range

PI	Bitumen Type
>2	Blown bitumen
-2 ~ 2	Conventional paving bitumen
<-2	Temperature susceptible bitumen(Tars)

침입도지수는 Fig. 3과 같이 원아스팔트는 -1.368, 페비닐 함유율 1.5%는 -0.803, 함유율 3.0%는 -0.092, 함유율 6.0%는 0.779로 계산되어 페비닐 함유율이 증가함에 따라 침입도지수가 커져 아스팔트 바인더의 온도 민감성이 줄어드는 경향을 보였다. 모든 시료가 일반 도로 포장용 아스팔트의 범위인 -2~2 사이에 속했다.

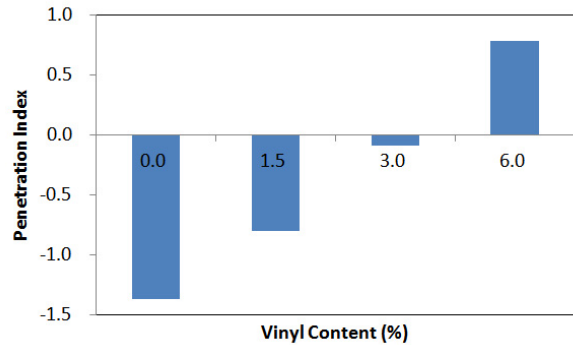


Fig. 3 PI According to Vinyl Content

### 4.4. 인화점 시험

각 시료에 대해 인화점 시험을 3회씩 수행하였으며, Fig. 4와 같이 페비닐 함유율이 증가함에 따라 인화점 또한 증가하는 경향을 보였다. Superpave는 인화점을 230℃ 이상으로 규정하고 있고, CEN(Comite Europeen de Normalisation)의 경우는 침입도에 따라 약간의 차이가 있지만 220℃~240℃ 이상을 만족하도록 규정하고 있다. 4종류의 시료 모두 Superpave와 CEN에서 규정한 아스팔트 인화점 기준을 만족하여 작업의 안전성이 확보됨을 확인할 수 있었다.

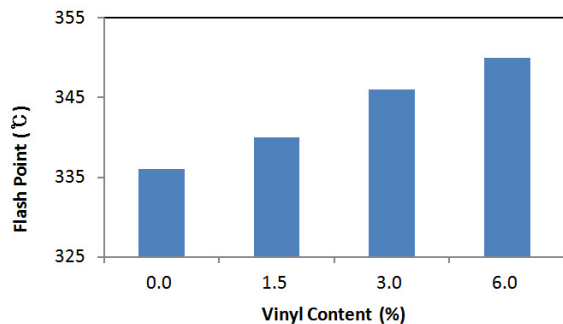


Fig. 4 Flash Point According to Vinyl Content

### 4.5. 신도 시험

ASTM D 113의 시험 규정에 따라 25℃ 수조에서 (5±0.25)cm/min의 속도로 시료를 잡아당겨 시료가 끊어질

때까지 늘어난 길이를 0.5cm 단위로 기록하였다. 원아스팔트는 스트레이트 아스팔트의 신도 기준인 100cm를 기준으로 하지만, 이와는 달리 개질 아스팔트는 Table 6과 같이 온도에 따라 30cm 또는 50cm를 기준으로 하고 있다(이석홍, 2005). 시험 결과, 페비닐 함유율 1.5% 시료의 신도는 91.6cm로 스트레이트 아스팔트 기준을 만족하지 못했지만 개질 아스팔트의 신도기준을 충분히 만족하였다. 함유율 3.0%와 6.0%의 경우는 혼합한 페비닐이 제대로 교반되지 않은 등의 이유로 너무 짧은 시간 내에 시료가 끊어져 신도를 측정할 수 없었다.

Table 6. Ductility Criteria of Modified Asphalt

Asphalt Type	Ductility Criteria(cm)		
	7°C	15°C	25°C
SBS PMA	-	50+	-
SBS SMA	-	30+	-
Guss asphalt	-	-	50+
SBR asphalt	30+	30+	-
CRM Draniage asphalt	-	-	50+

#### 4.6. PG 시험

이상의 시험 결과를 참고하여 페비닐 함유율 3.0%의 시료에 대하여 PG 시험을 실시하였다. 함유율 6.0%의 시료는 ASTM에서 규정하는 도로 포장용 아스팔트 바인더의 최소 침입도 40과 연화점 49°C를 만족하지 못했으므로 제외하였고, 함유율 1.5%와 3.0% 중 개질효과가 상대적으로 우수한 함유율 3.0%를 PG 시험에 사용하였다.

노화되지 않은 원아스팔트와 페비닐 함유율 3.0% 시료에 대하여 ASTM D 7175의 절차에 따라 DSR 시험을 수행하였다. 그 결과, Fig. 5와 같이 페비닐을 함유한 아스팔트 바인더의  $G^*/\sin\delta$ 가 원아스팔트보다 항상 크게 측정되었다. 또한 온도 상승 초기에는  $G^*/\sin\delta$ 가

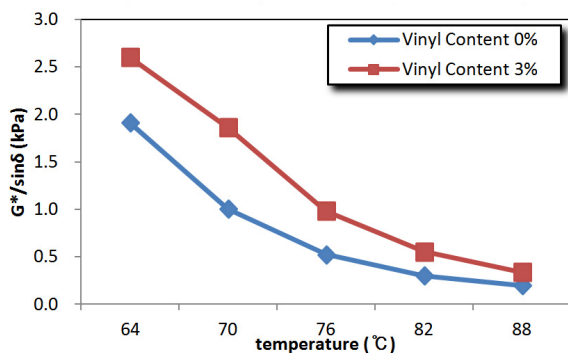


Fig. 5  $G^*/\sin\delta$  of Original Asphalt Binder

급격히 감소하다가 온도가 상승함에 따라 감소율이 줄어들었다. 여기서,  $G^*/\sin\delta$ 는 소성변형에 대한 저항성을 나타내며, 값이 클수록 저항성이 크다는 것을 의미한다. ASTM에서는 노화되지 않은 아스팔트 바인더의  $G^*/\sin\delta$ 가 1.0kPa(10rad/s) 이상이 되도록 정하고 있는데, 원아스팔트의 경우 70°C에서 1,002kPa, 76°C에서 0.5232kPa로 측정되어 70°C까지 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 페비닐을 함유한 시료도 70°C에서 1,860kPa, 76°C에서 0.9797kPa로 측정되어 70°C에서 기준을 만족하였고 76°C에서는 기준에 약간 미치지 못했다.

RTFOT로 시료를 단기 노화시킨 경우에도, Fig. 6과 같이 페비닐을 섞은 아스팔트 바인더의  $G^*/\sin\delta$ 가 페비닐을 섞지 않은 아스팔트 바인더보다 항상 큰 것을 확인할 수 있었다. ASTM에서는 단기 노화시킨 아스팔트 바인더의  $G^*/\sin\delta$ 가 2.2kPa(10rad/s) 이상이 되도록 규정하고 있다. 원아스팔트의 경우, 64°C에서 3,782kPa, 70°C에서 2,066 kPa로 측정되어 64°C까지 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 페비닐 함유율 3.0% 시료의 경우는 70°C에서 3,564kPa, 76°C에서 1,821kPa로 측정되어 70°C까지 기준을 만족하였다. 결과적으로, 노화시키지 않은 경우와 단기 노화시킨 경우 모두에서 페비닐 혼합을 통한 고온에서의 소성변형 감소 효과를 확인하였다.

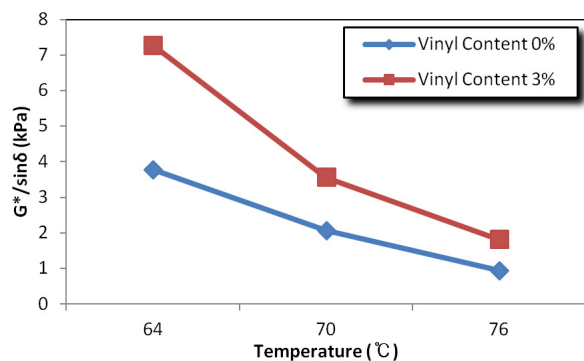


Fig. 6  $G^*/\sin\delta$  after RTFOT

PAV로 시료를 장기 노화시킨 후  $G^*\sin\delta$ 를 측정하였다.  $G^*\sin\delta$ 는 피로균열에 대한 저항성을 나타내는 지표로 값이 작을수록 저항성이 크다는 것을 의미한다. Fig. 7과 같이 페비닐을 혼합한 아스팔트 바인더의  $G^*\sin\delta$ 가 원아스팔트보다 항상 크게 측정되었다. ASTM에서는 장기 노화된 아스팔트 바인더의  $G^*\sin\delta$ 가 5,000kPa(10rad/s) 이하가 되도록 규정하고 있는데, 원아스팔트의 경우 모든 시험 온도에서 5,000 kPa 이하를 만족하였다. 페비닐을 함유한 시료는 28°C 이상



의 온도에서 5,000kPa 이하였지만 25℃에서는 6,979kPa로 측정되어 28℃까지만 기준을 만족하였다.

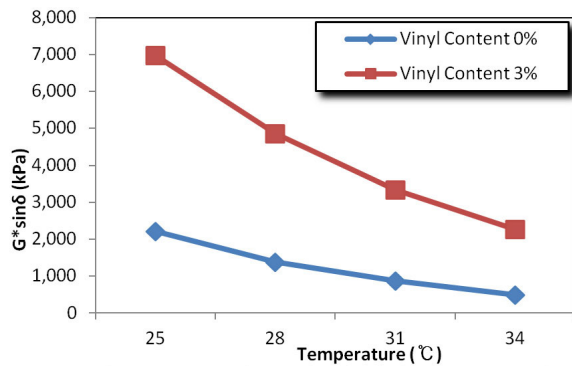


Fig. 7  $G^* \cdot \sin \delta$  after PAV

PAV로 장기 노화된 시료를 사용하여 ASTM D 6648의 절차에 따라 BBR 시험을 실시하고 휨 크리프 강성인  $m$ -값을 측정하였다. Fig. 8과 같이 시험 온도가 -12℃ 일 때는 페비닐이 혼합되지 않은 아스팔트 바인더와 3.0% 혼합된 아스팔트 바인더 모두  $m$ -값이 0.3 이상으로 ASTM 규정을 만족하였으나, 온도가 -18℃로 낮아지면서 기준 이하의 값을 나타냈다.

이상의 시험 결과를 통하여 각 시료의 PG 등급을 정할 경우, 원아스팔트 시료는 PG 64-22이고 페비닐 함유율 3.0% 시료는 PG 70-22로서 페비닐을 3.0% 혼합하게 되면 고온에서의 공용성 등급이 한 단계 향상되는 것으로 나타났다.

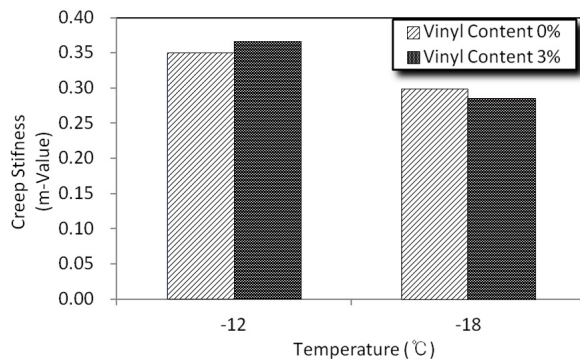


Fig. 8 Creep Stiffness(m-value) after PAV

## 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 국내에서 사용되는 농업 페비닐의 주 원료가 LDPE라는 점에 착안하여, 수거된 페비닐을 잘게 파쇄하는 간단한 공정만을 거친 후 원아스팔트와 혼

합하여 경제적으로 아스팔트 바인더의 성능을 향상시키고자 하였다. 이를 위해 AP-5의 원아스팔트에 페비닐을 중량비 1.5%, 3.0%, 6.0%로 혼합한 후 이들 4종류의 아스팔트 바인더에 대해 침입도, 연화점, 인화점, 신도, PG 시험을 수행하였다. 본 연구의 주요한 결론은 다음과 같다.

1. 침입도, 연화점, 신도 시험을 통해 페비닐의 함유율이 증가할수록 아스팔트 바인더의 점성이 증가하는 것을 확인하였다. 하지만, 페비닐 함유율 6.0%의 시료는 ASTM에서 규정하는 침입도 기준을 만족하지 못해 도로 포장용 재료로 부적합한 것으로 나타났다.
2. 연화점의 경우 모든 시료가 ASTM에서 규정하는 최소 기준을 만족하였지만, KS에 대해서는 함유율 6.0% 시료가 기준을 벗어나 도로 포장용 재료로 부적합한 것으로 나타났다.
3. 침입도와 연화점으로 계산된 침입도지수를 통해 온도에 대한 민감도를 확인한 결과, 모든 시료가 일반 도로포장용 아스팔트 바인더의 침입도지수에 해당하였고, 페비닐 함유율이 증가할수록 온도에 대한 민감성은 떨어지는 것으로 나타났다.
4. 인화점은 페비닐의 함유율이 높을수록 증가하는 경향을 보였으며, 모든 시료가 기준을 만족하여 작업 안전성에 문제가 없는 것으로 판단되었다.
5. PG 시험에서는 페비닐 3.0%를 혼합한 시료의  $G^* \cdot \sin \delta$ 가 원아스팔트에 비해 크게 측정되어 소성변형에 대한 저항성이 더 컸으며,  $G^* \cdot \sin \delta$ 는 작게 측정되어 피로균열에 대한 저항성도 더 큰 것으로 나타났다. 결과적으로, 원아스팔트가 PG 64-22로 확인된 반면 3.0%의 페비닐을 혼합한 아스팔트 바인더는 PG 70-22로 고온 성능 등급이 한 단계 향상된 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 소방방재청의 '폭설시 도로의 응설능력 및 동결 제어능력 향상 포장공법 개발' 연구비 지원에 의해 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

## References

- Gonzalez, O., Munoz, M. E., Santamaria, A., Garcia-Morales, M., Navarro, F. J., Partal, P., 2004. Rheology and Stability of Bitumen/EVA Blends, *European Polymer Journal*, Vol. 40, Iss. 10, 2365-2372.

- Habib, N. Z., Kamaruddin, I., Napiyah, M., Tan, I. M., 2011. Rheological Properties of Polyethylene and Polypropylene Modified Bitumen, *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, Vol. 3, No. 2, 96-100.
- Hinislioglu, S., Aras, H. N., Bayrak, O. U., 2005. Effects of High Density Polyethylene on the Permanent Deformation of Asphalt Concrete, *Indian Journal of Engineering & Material Sciences*, Vol. 12, No. 5, 456-460, 2005.
- Lee, H. I., 2008. *A Research on Characteristics of a Specific Polymer-modified Asphalt Concrete*, Master Thesis, Kangwon University, Korea.  
(이학일 (2008). 특정 폴리머 개질 아스팔트 콘크리트의 특성 연구. 석사학위논문. 강원대학교)
- Lee, S. H., 2005. *Modified and Special Asphalt Pavement Handbook*, Goomi Book.  
(이석홍 (2005). 개질 및 특수아스팔트포장 핸드북. 구미서관)
- Lesueur, D., 2009. The Colloidal Structure of Bitumen: Consequences on the Rheology and on the Mechanism of Bitumen Modification, *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 145, Iss. 1-2, 42-82.
- Lu, X., Isacson, U., 1997. Compatibility and Storage Stability of Styrene-butadiene-styrene Copolymer Modified Bitumens, *Journal of Materials and Structure*, Vol. 30, No. 10. 618-626.
- Ouyang, C., Wang, S., Zhang, Y., Zhang, Y., 2006. Low-Density Polyethylene/Silica Compound Modified Asphalts with High-Temperature Storage Stability, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 101, Iss. 1, 472-479.
- Pfeiffer, J. P., Van Doormal, P. M., 1936. The Rheological Properties of Asphaltic Bitumens, *Journal of the Institute of Petroleum*, Vol. 22, 414-440.
- Stastna, J., Zanzotto, L., Vacin, O. J., 2002. Viscosity Functions in Polymer Modified Asphalts, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 259, Iss. 1, 200-209.
- Whiteoak, D., Read, J., 2003. *The Shell Bitumen Handbook*, 5th Edition, Shell Bitumen, Tomas Telford Ltd.  
(접수일 : 2012. 8. 31 / 심사일 : 2012. 9. 9 / 심사완료일 : 2012. 10. 4)