



# 국내 아스팔트의 점탄성적 물성과 경험적 물성과의 관계

## A Relation of Viscoelastic Properties to Empirical Properties of Korean Asphalt Binder

김 남 호\* · 이 관 호\*\*  
Namho Kim · Kwanho Lee

### Abstract

Among the currently available binder specifications, Superpave Performance Grade asphalt specification is regarded as a superior specification on its theoretical background as well as pavement performance relationship. Many difficulties are expected; however, for Superpave implementation in Korea because of heavy burden of equipment cost as well as lack of trained personnel in asphalt industry, which may too much barrier to overcome in Korean situation. As an effort to improve quality of asphalt binder, recently, people discuss about a possibility of constituting a performance-based asphalt specification using rather easy-to-measure asphalt properties. The objective of this paper is to determine the possibility of constituting a performance-based asphalt specification using an empirical asphalt properties, such as penetration, ring and ball softening point rather than using fundamental properties of asphalt. Nine straight asphalts, that covers entire straight asphalt from all Korean refineries, and eighteen modified asphalts that were modified from two modifiers were included in the study. An analysis was made through a comparison between empirical properties and Superpave PG criteria. This study concluded that it may possible to constitute a pseudo-Superpave-like specification using an empirical asphalt properties as a specification criteria. Therefore, more systematic research is needed to constitute the asphalt specification.

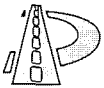
**Keywords** : Asphalt, Grade, Performance criteria, Super pave

### 요 지

아스팔트의 점탄성적 물성을 기준으로 하는 아스팔트의 등급을 분류하는 수퍼페이브 공용성 등급은 현재 나와있는 아스팔트 등급 중에서 그 이론적 배경이나 포장 공용성과의 관계에 있어서 비교적 우수한 등급으로 평가 받고 있으나, 이러한 공용성 등급의 국내 적용을 위해서는 고가 시험장비의 도입, 실험 기술인력의 확보 등 국내 현실로서 넘기 어려운 여러 장벽들이 산재하고 있다. 최근에는 이러한 국내 현실을 이유로, 수퍼페이브 공용성 등급의 개념을 국내에 도입하되, 그 기준을 좀더 측정하기 쉬운 경험적 물성을 기준으로 하여 국내의 아스팔트 등급기준이 설정되어야 한다는 의견이 제시되고 있다. 본 논문은 아스팔트의 경험적 물성을 기준으로 한 아스팔트의 공용성 등급의 설정 가능성을 타진하기 위한 연구로서, 국내에서 생산되는 9종의 스트레이트 아스팔트와 2종의 개질재가 첨가된 총 18종의 개질 아스팔트를 대상으로 시험된 경험적 물성과 수퍼페이브 공용성 등급 분류에 사용된 물성이 비교되었다. 연구결과, 침입도 등의 경험적 물성을 이용하여 국내현실에 맞는 아스팔트의 공용성 등급을 구성하는 것이 가능할 것으로 판단되며, 이러한 아스팔트 등급의 구성을 위한 체계적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 아스팔트, 등급기준, 공용성 등급, 수퍼페이브

\* 정희원 · 한국기술교육대학교 건축공학과 조교수  
\*\* 정희원 · 경성대학교 건설환경공학부 조교수



## 1. 연구배경

수퍼페이브의 아스팔트 공용성 등급(Asphalt Institute, 1993)은 아스팔트 포장의 주요한 파손 형태를 기초로 하여, 각각의 포장 파손을 방지하기 위하여 점탄성 이론에 근거한 아스팔트의 주요 물성의 범위를 규정하고 있기 때문에, 현재 사용되고 있는 많은 종류의 아스팔트 품질 등급 가운데서 비교적 과학적이고도 체계적인 품질 기준으로 평가받고 있다. 현재 수퍼페이브의 공용성 등급 분류에 관한 적절성의 문제가 제기되고 있기는 하지만(이현중, 2000 및 Huh, 2000), 이 공용성 등급에서는 개질재 첨가 이후의 물성을 기준으로 아스팔트의 등급을 분류하기 때문에, 현재 물성 변동의 검증 없이 무분별하게 사용되고 있는 다양한 아스팔트 개질재에 대해 공용성을 기준으로 하여 등급을 나눌 수 있다는 장점이 있다.

그러나 이러한 장점들에도 불구하고, 이 공용성 등급을 국내에 적용하기 위해서는 많은 난관이 예상되고 있으며, 이는 다음과 같이 정리될 수 있다.

- 공용성 등급 분류를 위한 아스팔트 물성 측정 시험 장비가 매우 고가
- 아스팔트 물성 측정 장비의 운영에 매우 고도의 기술력을 필요

현재 국내의 아스팔트 포장 산업은 정부가 지정한 중소기업 고유 업종으로 약 300여 개소의 중소 아스팔트 플랜트가 난립되어 있는 실정으로, 일부 아스팔트 플랜트를 제외하고도 그들의 자금력이나 기술력이 상당히 제한되어 있다. 그러나 국내에서 수퍼페이브의 아스팔트 공용성 등급 및 아스팔트 혼합물의 배합설계법을 도입하기 위하여 아스팔트 플랜트마다 부담해야 하는 설비비용은 수 억원대에 달하여서, 현실적으로 국내 아스팔트 플랜트가 이러한 체계를 갖추는 것이 매우

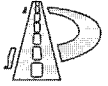
어려울 것으로 판단된다.

또한 수퍼페이브 수행을 위한 장비의 대부분은 컴퓨터와 연결되어 자동 또는 반자동으로 작동되는 첨단 장비들로, 이들의 가동을 통한 아스팔트 및 아스팔트 혼합물의 시험은 시험 자체가 매우 정밀하게 이루어져야 하고 시험 장비의 운용 및 자료의 분석에는 고도의 기술력을 필요로 한다. 따라서 아스팔트 포장에 대한 기술 축적이 적은 국내의 실정을 감안한다면, 이러한 기술 인력의 확보는 수퍼페이브의 아스팔트 공용성 등급 및 아스팔트 혼합물의 배합설계법을 도입하기 위하여 극복해야 할 또 하나의 과제이다.

이러한 문제점들을 극복하기 위한 방안은 대체로 세 가지로 정리될 수 있다. 그 첫 번째 방안은 아스팔트 포장 산업에 대한 대대적인 구조 개편을 통하여, 아스팔트 플랜트를 대규모화함으로써 앞서 지적된 기존 업체의 영세한 자금력이나 취약한 기술력을 보완하는 방안으로, 이 대안은 국내 현실을 감안할 때 다소간 실현가능성이 적을 것으로 판단된다.

두 번째 방안은 기존의 아스팔트 플랜트 산업의 틀은 그대로 유지하되, 수퍼페이브 공용성 등급의 실행을 위하여, 아스팔트 납품업자가 아스팔트의 품질에 대한 책임을 지고 공용성 등급의 아스팔트를 공급하는 체계를 구성하는 방안이다. 미국의 많은 주정부가 이와 유사한 제도를 채택하고 있으나, 아스팔트 공급업자, 플랜트 및 시공업자 사이에서 시공불량 및 하자보수 등의 책임여부가 불분명하여 많은 문제가 되고 있어, 국내에 적용하기에는 아직 시기상조인 방안으로 보여진다.

세 번째 대안으로서 기존의 아스팔트 포장 산업의 틀은 그대로 유지하면서, 수퍼페이브의 아스팔트 공용성 등급 개념이 도입된 우리 나름대로



의 실행 가능한 아스팔트 품질 기준을 만드는 방안이 있을 수 있다. 즉 국내의 환경 및 교통조건에 부합되어 실제적으로 국내에 필요한 약 5개 정도의 공용성 등급에 대하여, 수퍼페이브 아스팔트 공용성 등급 개념이 도입된 아스팔트 등급 체계를 구성하되, 기준 물성을 보다 단순화시켜, 시험 설비에 투자되는 설비비를 최소화하고 비교적 쉽게 측정할 수 있는 품질등급체제를 구성하는 방안이다. 본 논문은 이러한 방안이 기술적으로 가능한가에 대한 기초적 연구로서, 수퍼페이브 공용성 등급의 기준물성, 즉  $G^* \sin \delta$  및  $G^*/\sin \delta$  와 침입도 및 연화점 등의 경험적 물성과의 비교를 통하여 이러한 체제의 구성 가능성을 타진해 보고자 한다.

## 2. 연구 방법

본 연구는 국내의 5개 정유공장에서 생산되고 있는 2가지 등급(침입도 85-100 및 침입도 60-70)의 스트레이트 아스팔트 9종과 이들 아스팔트에 두 종류(SBS 및 SBR)의 개질재가 첨가된 18종의 개질 아스팔트를 대상으로 하였다. 이들 아스팔트에 대하여, 노화 이전, 단기 노화 (RTFO)와 장기 노화 (PAV) 후의 침입도(25°C), 연화점, 점도(60°C 및 135°C)를 측정하였으며 동시에 DSR (Dynamic Shear Rheometer)을 이용하여 같은 노화 단계별로 -20°C ~ 30°C의 온도 대역에서 하중 시간의 변화 ( $10^{-1} \sim 10^2$  rad/sec)에 따른 복소전단 탄성계수(Complex Shear Modulus,  $G^*$ )와 위상각 (Phase Angle,  $\delta$ )을 측정하였다.

이렇게 측정된 아스팔트의 점탄성적 물성과 경험적 물성을 대상으로 하여, 수퍼페이브 공용성 등급 분류기준에 사용되는 물성 ( $G^* \sin \delta$ ,  $G^*/\sin \delta$  등)을 기준으로 하여, 침입도 등 경험적인 물성과의 상관성이 비교되었으며, 이를 통하여 침입도(한국도로공사, 1996) 등의 경험적 물성을 기준으로 한 아스팔트 공용성 등급의 구성 가능성에 대하여 살펴보았다.

## 3. 시험재료, 시험방법 및 분석방법

### 3.1 시험 재료 및 시험 방법

본 연구에서는 국내의 5개 정유공장에서 생산되고 있는 2가지 등급의 스트레이트 아스팔트 9종(침입도 85-100 아스팔트 5종 및 침입도 60-70 아스팔트 4종)을 대상으로 하였다. 추가적으로 이들 스트레이트 아스팔트에 국내에서 많이 사용하고 있는 고무 계열의 아스팔트 개질재 2종을 혼합한 18종의 개질 아스팔트를 포함하여 총 27종의 아스팔트를 시험하였는데, 이들 개질재들의 첨가량 및 혼합 방법에 대한 세부사항은 참고문헌 1, 2에 나타나 있다.

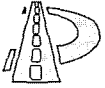
연구에 사용된 침입도, 연화점 등 아스팔트의 경험적 물성측정에 사용된 규정을 표 1에 정리하

표 1. 연구에 사용된 시험종류 및 시험방법

시험종류	준수규정	비고
침입도	KS M 2202	
연화점	KS M 2250	
점도 60°C	ASTM D 2171	
점도 135°C	ASTM D 4402	회전점도계
회전막막가열시험 (RTFOT)	ASTM D 2872	
장기노화시험 (PAV)	AASHTO PPI	90°C 노화
DSR 시험		표 2 참고

표 2. DSR 시험 모드의 시험 조건

시험 모드	SP 모드 (Small Plate)	TB 모드 (Torsion Bar)
시험 온도(°C)	0, 10, 20, 30	-20, -10, 0
시료 크기(mm)	8mm(지름), 2mm(직경)	40mm×3.05mm ×12mm(직사각형)
시험 조건	Fixed Strain-Controlled Frequency Sweep Test	
하중 진폭	시험 온도에서 Strain Sweep Test를 통해 진폭을 결정	
Frequency, Sweep 범위	0.1~100 rad/sec	
측정 인자	응력 / 위상각 ( $\delta$ )	



였으며, DSR시험에 사용된 세부 시험조건들을 표 2에 정리하였다.

### 3.2 분석 방법

아스팔트의 경험적 물성들과 수퍼페이브 공용성 등급을 구성하는 요소 물성들과의 상관성을 살펴보기 위하여, 본 연구에서는 다음과 같은 분석방법이 채택되었다.

- i. 포장의 주요파손유형별로 가장 결정적인 조건(온도, 노화상태 등)에서의 분석기준물성을 선정한다.
- ii. 선정된 분석기준물성과 가장 비슷한 조건(온도, 노화상태 등)을 갖는 경험적 물성을 선정한다.
- iii. 이들 두 물성의 상관성을 비교한다.

본 분석에 이용된 시험의 최대 온도가 30°C이기 때문에, 분석기준이 된 DSR하중시간은 통상의 10 rad/sec로 할 경우, 소성변형의 임계온도 이하 온도에서의 물성이 비교가 될 우려가 있어, time-temperature superposition의 원리를 이용하여 그보다 10배 낮은 하중속도인 1 rad/sec를 분석기준으로 선정하여, 이때의 점탄성 물성이 같은 조건에서의 경험적 물성과 비교되었다. 그림 1은 본 실험에서 나타난 전형적인 아스팔트의 DSR시험 결과를 나타낸 것으로, 아스팔트마다 다소의 정도 차는 발생하지만, 하중주기 및 측정온도의 변화에 따라 변화하는  $G^*$ 의 추세는 대체로 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 측정온도 30°C에서 하중주기가 1 rad/sec로부터 10 rad/sec로 변화하면,  $G^*$ 는 약 4~10배 정도 증가한다.
- 측정온도 10~30°C의 범위에서 측정온도가 10C씩 내려갈수록, 같은 하중주기에서  $G^*$ 는 약 4~10배 증가한다.

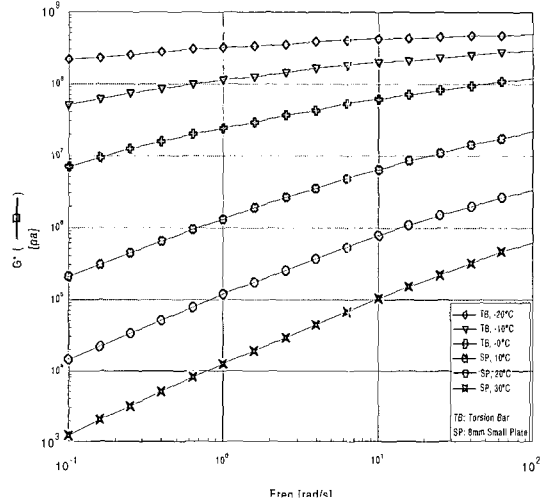


그림 1. 전형적인 DSR 시험결과

그림 1에서와 같이 30°C의 경우에 하중속도를 10배의 낮추는 것은 거의 10°C 실험온도 상승효과와 비슷한 결과를 나타낸다. (30°C에서의  $G^*$  (10 rad/sec) 값을 기준으로 하여 온도를 10도 낮추는 대신 하중속도를 10배 늦추면 20°C에서의  $G^*$  (1 rad/sec)와 서로 유사함) 이러한 관계를 이용하여 약 30°C, 1 rad/sec의 시험결과를 이용하여 40°C 정도의 온도영역에서 하중속도 10 rad/sec인 값을 유추하고자 하였다.

표 3은 이렇게 선정된 분석항목을 나타낸 것으로서, 피로균열의 경우 10°C에서 RTFO 및 PAV에서의  $G^* \sin \delta$  값이 같은 조건에서의 25°C 침입도 물성과 비교되었다. 앞서 언급된 바와 같이  $G^* \sin \delta$ 을 결정하는 하중시간은 수퍼페이브의 10 rad/sec가 아닌 1 rad/sec가 사용되었기 때문에, 하중시간 10 rad/sec를 기준으로 할 경우 그 온도는 20°C 근방일 것으로 판단된다.

그림 2는 표 3에 나타난 분석항목에 해당되는  $G^*$ 와  $G^* \sin \delta$  및  $G^*/\sin \delta$ 의 상관관계를 나타낸 것으로, 물론 다소의 오차는 있지만, 각각에 대하여 어느 정도 직선적인 관계를 유지하는 것

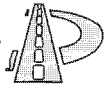


표 3. 분석항목 및 판단기준

파손 유형	발생 온도	Superpave 기준		본 연구에 사용된 분석항목	
		기준물성	기준 노화상태	분석항목	판단기준
소성 변형	고온	$G^*/\sin \delta$	Straight, RTFO	$G^*/\sin \delta @ 30^\circ\text{C}$ vs. R&B point $G^*/\sin \delta @ 30^\circ\text{C}$ vs. Viscosity@60°C	상관성
피로 균열	상온	$G^* \sin \delta$	RTFO, PAV	$G^* \sin \delta @ 10^\circ\text{C}$ vs. Penn @ 25°C	상관성
온도 균열	저온	S, m	RTFO, PAV	$G^* @ -20^\circ\text{C}$	분산

으로 불리지는 AP-3으로 칭하였으며, 침입도 60~70의 아스팔트는 AP-5라 칭하였다. 그리고 노화 단계별 아스팔트를 구분하기 위하여 분석에서는 노화 이전, 단기 노화, 장기 노화단계에서의 아스팔트를 각각 Original, RTFO, PAV라는 기호를 사용하였다.

#### 4. 국내 아스팔트의 점탄성적 물성과 경험적 물성과의 관계

##### 4.1 고온영역에서의 물성

국내에서 생산되는 9종의 스트레이트 아스팔트에 대하여 노화이전(original) 및 초기(RTFO) 단계에서 측정된 60°C 점도와 DSR시험을 통하여 측정된 30°C  $G^*/\sin \delta$ 와의 관계를 그림 3에, 연화점과  $G^*/\sin \delta$ 와의 관계를 그림 4에 각각 나타내었다. 앞서 언급된 바와 같이  $G^*/\sin \delta$ 는 재하 속도 1 rad/sec의 물성을 기준으로 하였다. 그림에서 알 수 있듯이, 유사한 측정온도에서 측정된  $G^*/\sin \delta$ , 60°C 점도, 및 연화점과 같은 물성들은 다소간의 차이는 나타내지만 대체로 비례하는 것으로 나타났다. 즉, 60°C 점도나 연화점을 이용하여 소성변형과 가장 직접적으로 관련이 있다고 여겨지는 물성변수  $G^*/\sin \delta$ 를 어느 정도의 오차 범위 내로 추정하는 것이 가능할 것으로 보여진다.

그림에 나타난 두 물성의 선형적 비례 관계를 살펴보기 위하여, 각 그림에 상한 및 하한의 추세선을 나타내었으며, 또한 일정한 점도(또는 연화점)에서 수직선을 그려  $G^*/\sin \delta$ 를 예측하는 데 감수해야 할 이러한 오차의 한계를 정량적으로 살펴보고자 하였다. 그림 3에 나타난 수직선에서의  $G^*/\sin \delta$  값은 약  $3 \times 10^4$ 와  $8.4 \times 10^4$ (pa)로 최소값과 최대값의 비율이 약 3배 이하임을 알 수 있다. 즉 스트레이트 아스팔트의 경우에, 60°C 아스

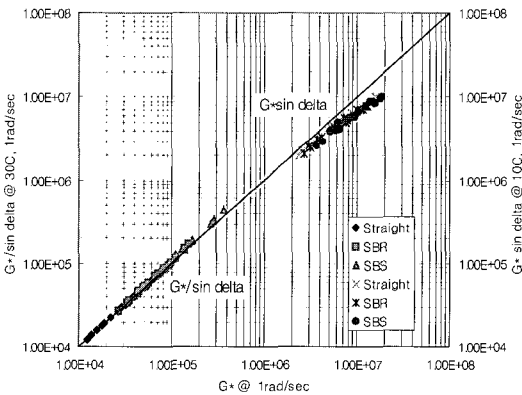


그림 2.  $G^*$ ,  $G^*/\sin \delta$  및  $G^* \sin \delta$  와의 상관성

을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 그림 1을 통하여 관찰된 측정온도 및 하중시간의 변화에 따른  $G^*$ 의 변화율에 관한 관계를  $G^* \sin \delta$  및  $G^*/\sin \delta$ 의 측정온도 및 하중시간과의 관계를 분석하는 데에도 사용하였다.

또한 저온에서는 아스팔트의 경험적 물성이 측정되지 않았기 때문에, 점탄성물성과의 상관성 분석은 실시되지 않았으며, Torsion Bar(Goodrich, 1991)을 이용하여 측정한  $G^*$ 값에 대한 분산정도가 비교되었다.

구분을 쉽게 하기 위하여, KS M 2201에 규정되어 있는 침입도 85~100의 아스팔트는 일반적

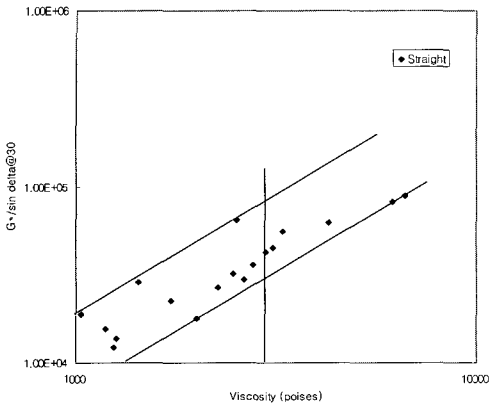
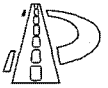


그림 3 스트레이트 아스팔트의 60°C 점도와 30°C  $G^*/\sin \delta$ 와의 관계 (RTFO 및 PAV)

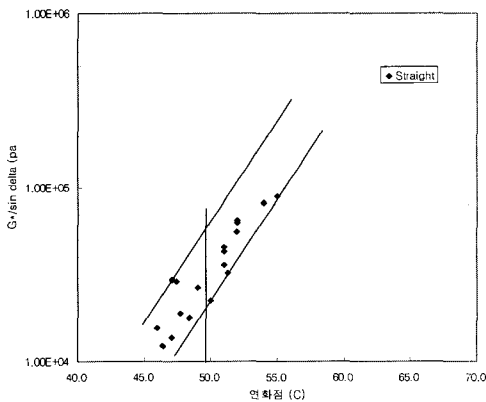


그림 4 스트레이트 아스팔트의 연화점과 30°C  $G^*/\sin \delta$ 와의 관계(RTFO 및 PAV)

팔트 점도를 이용하여 수퍼페이브 공용성 등급에 사용되는  $G^*/\sin \delta$ 를 추정할 경우 발생하는 오차의 범위가 이러한 수준일 것으로 판단된다.

그림 4 (연화점과  $G^*/\sin \delta$ )에 나타난 수직선에서의  $G^*/\sin \delta$  값은 약  $2 \times 10^4$ 와  $6 \times 10^4$ (pa)로 최소값과 최대값의 비율이 약 3배 정도로 나타났다. 이는 그림 3의 60°C점도와  $G^*/\sin \delta$ 와의 관계정보보다는 약간 떨어지지만, 비슷한 오차한도범위에서 연화점을 이용하여  $G^*/\sin \delta$ 를 추정할 수

있을 것으로 보여진다.

앞서 그림 1에서 언급된 바와 같이, 전형적인 아스팔트의 DSR시험 결과를 기준으로 볼 때, 측정온도를 20에서 30°C로 증가시키면  $G^*/\sin \delta$ 는 약 1/4에서 1/10로 감소한다. 이러한 감소추세는 소성변형의 주요 관심 온도영역인 50°C 이상에서는 더욱 심화될 것이기 때문에, 이렇게 관찰된  $G^*/\sin \delta$ 기준 약 3배 가량의 오차범위는 수퍼페이브 공용성 등급상 아스팔트 등급과 등급사이의 간격인 6°C에 의해 유도되는  $G^*/\sin \delta$ 상의 물성 변동 범위보다 작을 것으로 판단된다. 즉, 60°C 점도나 연화점을 이용하여 수퍼페이브 공용성 등급 분류를 하기 위하여  $G^*/\sin \delta$ 를 유추하는 데 실제의  $G^*/\sin \delta$ 값과 오차가 발생하지만, 그 오차의 범위는 수퍼페이브 공용성 등급과 등급사이의 간격에 의해 발생되는 고온에서의 물성변동의 폭보다 훨씬 작을 것으로 판단된다.

이렇게 관찰된 스트레이트 아스팔트의 고온영역에서의 각종 물성과 점탄성 물성과의 비례관계는 개질 아스팔트의 경우에 있어서도 유지가 되지만, 그 관계성은 다소 감소하는 것으로 나타났다. 그림 5는 국내 생산 스트레이트 아스팔트에 SBS 및 SBR을 첨가한 개질 아스팔트의 경우에서 연화점과  $G^*/\sin \delta$ 와의 관계를 스트레이트 아스팔트의 경우와 같이 그림으로 나타낸 것이다. 그림 5에 그려진 수직선에서의  $G^*/\sin \delta$  값은 약  $1.0 \times 10^4$ 와  $6.5 \times 10^4$ (pa)로 최소값과 최대값의 비율이 약 6.5배 정도이어서 스트레이트 아스팔트의 약 3배에 비하여 오차범위가 많이 증가하였음을 알 수 있다. 그러나 추가적인 연구를 통하여 본 연구에서 사용된 직선적 관계에 의한  $G^*/\sin \delta$  예측이외의 다른 방법에 의해  $G^*/\sin \delta$  예측의 정밀도를 높인다면, 이러한 오차의 범위는 많이 감소될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 개질 아스팔트의 경우에 있어서도, 연화점 등의 측정하기

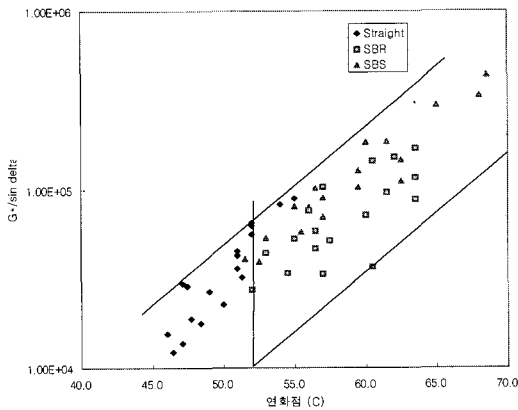
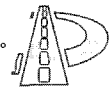


그림 5. 개질아스팔트의 연화점과 30°C  $G^*/\sin \delta$ 와의 관계 (노화 이전 및 초기노화관계)

쉬운 고온영역에서의 아스팔트 물성을 사용하여 슈퍼페이브 공용성 등급에 사용되는  $G^*/\sin \delta$ 의 상대적인 위치를 가늠하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4.2 상온영역에서의 물성

국내에서 생산되는 9종의 스트레이트 아스팔트의 초기(RTFO) 및 장기노화(PAV) 단계에서 측정된 25°C 침입도와 DSR시험을 통하여 측정된 10°C  $G^* \sin \delta$ (재하속도 1 rad/sec)와의 관계를 그림 6에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 60°C 점도(그림 3), 및 연화점(그림 3)과 마찬가지로, 침입도와  $G^* \sin \delta$ 는 다소간의 차이는 나타내지만 대체로 비례하는 것으로 나타났다. 그림 6에 그려진 수직선과 교차된 추세선에서의  $G^* \sin \delta$  값은 약  $3 \times 10^6$ 와  $5.7 \times 10^6$ (pa)로 최소값과 최대값의 비율이 약 2배 이하로 고온영역에서의 연화점이나 점도에서의 경우보다 점탄성물성과의 직선적 비례관계가 더욱 직접적임을 알 수 있다.

이렇게 관찰된 스트레이트 아스팔트의 상온영역에서의 침입도와 점탄성 물성과의 비례관계는 개질 아스팔트의 경우에 있어서도 유지가 되지만,

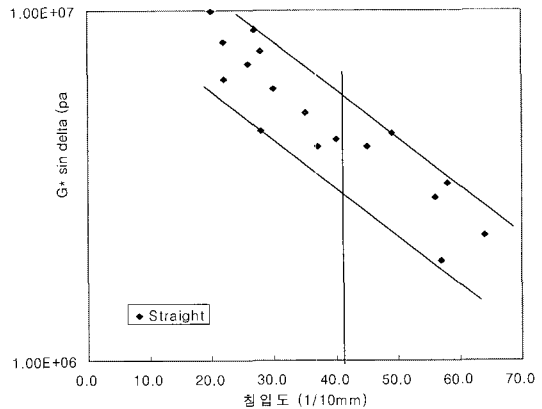


그림 6. 스트레이트 아스팔트의 침입도와 10°C  $G^* \sin \delta$ 와의 관계 (초기노화 및 장기노화단계)

그 관계성은 다소 감소하는 것으로 나타났다. 그림 7은 SBS 및 SBR 개질 아스팔트의 침입도와  $G^* \sin \delta$ 와의 관계를 스트레이트 아스팔트의 경우와 같이 그림으로 나타낸 것이다. 그림 7에 그려진 수직선에서의  $G^* \sin \delta$  값은 약  $2 \times 10^6$ 와  $4.4 \times 10^6$ (pa)로 최소값과 최대값의 비율이 약 2.5 배 정도로 나타나, 스트레이트 아스팔트가 약 2배

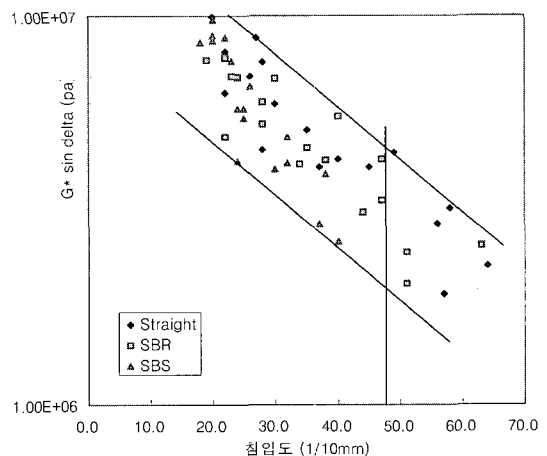
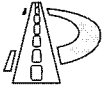


그림 7. 개질 아스팔트의 침입도와 10°C  $G^* \sin \delta$ 와의 관계 (초기노화 및 장기노화단계)



이하였던 것과 비교하여 오차범위가 많이 증가하였음을 알 수 있다.

앞서 그림 1에서 언급된 바와 같이, 전형적인 아스팔트의 DSR시험 결과를 기준으로 볼 때, 측정온도를 20°C에서 10°C로 10C만큼 감소시키면  $G^* \sin \delta$ 는 약 4배에서 10배 가량 증가한다. 따라서 이렇게 관찰된  $G^* \sin \delta$ 기준 2배 이하의 오차범위(스트레이트 아스팔트의 경우)는 수퍼페이브 공용성 등급상 아스팔트 등급과 등급사이의 간격인 6°C에 의해 유도되는  $G^* \sin \delta$ 상의 물성변동 범위보다 훨씬 작을 것으로 판단되며,  $G^* \sin \delta$ 기준 2.5배정도의 오차범위(개질 아스팔트의 경우)는 수퍼페이브 공용성 등급상 아스팔트 등급과 등급사이의 간격인 6°C에 의해 유도되는  $G^* \sin \delta$ 상의 물성변동 범위와 유사하거나 작을 것으로 판단된다.

즉 스트레이트 아스팔트의 경우에는 이러한 경험적 물성을 이용하여 수퍼페이브 공용성 등급에 사용되는  $G^* \sin \delta$ 의 상대적인 위치를 가늠하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 또한 개질 아스팔트의 경우에 있어서도 이렇게 관찰된 각종 물성과 점탄성 물성과의 비례관계는 추가적인 연구를 통하여 본 연구에서 사용된 직선적 관계에 의한  $G^* \sin \delta$  예측이외의 다른 방법에 의해  $G^* \sin \delta$  예측의 정밀도를 높인다면, 이러한 오차의 범위는 많이 감소될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 개질 아스팔트의 경우에 있어서도, 침입도 등의 측정하기 쉬운 상온영역에서의 아스팔트 물성을 사용하여 수퍼페이브 공용성 등급에 사용되는  $G^* \sin \delta$ 의 상대적인 위치를 가늠하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

### 4.3 저온영역에서의 물성

본 연구에서는, 연구방법에서 밝힌 바와 같이, 수퍼페이브 공용성 등급에서 사용하는 저온에서

의 아스팔트 기준물성(S, m 등)과 경험적 물성의 직접적인 비교 대신, DSR을 이용하여 측정된 아스팔트의 물성변동 범위를 살펴보았다. 연구대상인 스트레이트 아스팔트, SBR 및 SBS 개질 아스팔트 각각 9종을 대상으로, 수퍼페이브 공용성 등급상의 온도균열 기준물성과 가장 유사한 장기노화단계에서 -20°C에서의  $G^*$ 값에 대한 평균 및 68% 신뢰범위내에서의 물성변동 범위를 구하여 그림 8에 나타내었으며, 이러한 국내 아스팔트의 온도변화에 따른 물성변동의 폭을 파악하기 위하여 -10°C에서의 시험결과를 같은 그림에 나타내었다.

그림에 나타난 바와 같이, 장기노화된 국내 아스팔트의 저온(-20°C) 거동은 스트레이트 아스팔트인 경우 거의 변동이 없으며, 개질 아스팔트의 경우까지를 모두 포함한 경우에도 평균 및 표준편차가 각각  $3.43 \times 10^8$  및  $4.25 \times 10^7$ (pa)로 나타나 변동의 폭이 매우 작음을 알 수 있다. -10°C에서의 전체 아스팔트에 대한 평균 및 표준편차가 각각  $1.65 \times 10^8$  및  $1.53 \times 10^7$ (pa)임을 감안한다면, -20°C에서의 이러한 물성 변동의 범위( $3.43 \times 10^8 \pm 4.25 \times 10^7$ )는 온도 10°C 상승에 따른 물성의 변동폭( $3.43 \times 10^8$ 부터  $1.65 \times 10^8$ 까지의 범위)보다 훨씬

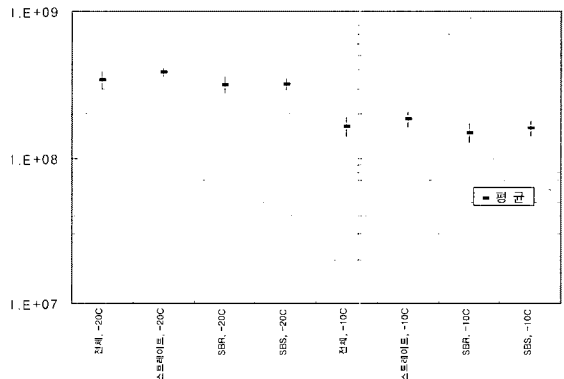
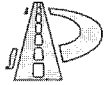


그림 8. 국내생산 아스팔트의 저온에서의 물성변동범위 (평균 ± α) (장기노화단계)





센 작음을 알 수 있다. 따라서  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서의 이러한 물성변동의 범위는 바인더 등급에 영향을 미치지 못할 만큼 작을 것으로 판단된다.

## 5. 결론

침입도, 연화점등의 아스팔트 경험적 물성은 온도변화에 따른 아스팔트의 점탄성 거동특성을 대변하지는 않지만, 그 측정온도에서의 아스팔트 점탄성 거동과는 상당히 밀접한 관련이 있다.

국내 스트레이트 아스팔트의 연화점 및  $60^{\circ}\text{C}$  점도는 수퍼페이브 공용성 등급상의 소성변형 제어 위한 물성변수인  $G^*/\sin\delta$ 와 고온대역에서 밀접한 관계를 갖는다.

$25^{\circ}\text{C}$ 에서의 스트레이트 아스팔트 침입도는 수퍼페이브 공용성 등급상의 피로균열 제어를 위한 물성인  $G^* \sin\delta$ 와 상온대역에서 밀접한 관계를 갖는다.

국내 스트레이트 아스팔트의 저온에서의 복합 전단계수는 생산 정유사 및 아스팔트 등급에 상관없이 비교적 일정하다.

고무계열(SBS 및 SBR)로 개질된 개질 아스팔트의 경우에도 이들의 경험적 물성은 각각의 점탄성 물성과 밀접한 관계를 갖는다. 그러나 스트레이트 아스팔트의 경우와 비교하여 그 관계성이 약하다.

아스팔트의 경험적 물성을 이용하여 한정적 조건에서의 수퍼페이브 공용성 등급상의 주요 물성인  $G^*/\sin\delta$ 와  $G^* \sin\delta$ 를 추정할 수 있으며, 이때의 추정오차는 수퍼페이브 공용성 등급과 인접 등급사이에 벌어지는 이들 물성의 크기에 비하여

작은 듯 하다.

따라서 추가적인 연구를 통하여 제한된 범위내에서 침입도나 연화점 등의 아스팔트 경험적 물성을 이용하여 아스팔트의 점탄성적 물성기준을 예측할 수 있을 것으로 판단된다

## 6. 참고문헌

1. 김남호, 황성도, 박용철 (1996), "비용절감을 위한 도로재료 연구사업 1-1-A", 한국건설기술연구원.
2. 김남호, 황성도, 박용철 (1997), "비용절감을 위한 도로재료 연구사업 1-1-B", 한국건설기술연구원.
3. 한국도로공사 (1996), "건설공사 품질시험 편람", 한국도로공사.
4. 이현종, 최지영, 차순만 (2000), 골재의 입도와 SBS 개질제가 아스팔트 혼합물의 점탄성 물성 및 피로공용성에 미치는 영향, 한국도로포장공학회지, 2권 3호, pp. 129-144
5. Asphalt Institute (1993), "Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing", Asphalt Institute SP-1.
6. Goodrich, J. L.(1991), "Asphaltic Binder Rheology, Asphalt Concrete Rheology and Asphalt Concrete Mix Properties", *Proceedings AAPT*, Vol. 60, pp. 80-120.
7. Huh, Jung-Do, Han-Yong Kim, Kyu-Tae Cho, Young-Yug Nam (2000.3), "A Critical Analysis of High Temperature Asphalt Binder Grading", *KSCE Journal of Civil Engineering* Vol. 4, No. 1, pp. 17-45.

## 감사의 글

본 논문은 한국과학기술부, 한국과학재단에서 지원한 첨단도로연구센터의 연구수행 결과입니다.

(접수: 2001. 2. 15)