



국내 스트레이트 아스팔트의 거동 특성 연구

A Study on Rheological Behavior of Korean Straight Asphalts

김남호* · 황성도** · 박용철**

Namho Kim, Sungdo Hwang, Youngcheol Park

ABSTRACT

This study was based on the evaluation of 9 asphalts that were produced in five major Korean refineries. The study was concentrated to identify the problems of the current asphalt specification (KS M 2201) and to determine the ranges of visco-elastic asphalt behavior. As a conventional asphalt property, asphalt penetration, ring and ball(R&B) softening point, asphalt viscosity, and flash point of asphalt were measured. Also Dynamic Shear Rheometer (DSR) were used to evaluate visco-elastic properties of asphalts in the -20°C through 30°C temperature range. These properties before and after the short-term (RTFO) and long-term (PAV) aging were compared and analyzed to achieve the research objectives. The conclusion from this study can be summarized by the followings. The low temperature rheological behavior of all the straight asphalt from five major Korean refineries is similar regardless of asphalt grade. In the mean while, the rheological behavior at high and intermediate temperature of Korean straight asphalt varies depending on asphalt grade.

Keywords : asphalt, DSR, penetration, Ring & Ball softening point, stiffness, complex shear modulus

요 지

본 논문은 국내 정유사에서 생산되는 도로 포장용 아스팔트에 대하여 노화에 따른 거동 특성을 파악하였다. 이를 위해 국내의 5개 정유회사에 생산되는 두가지 등급의 아스팔트 제품(침입도 85-100, 침입도 60-70)을 포함한 총 9종에 대하여 노화 단계별(노화 이전, 단기노화, 장기노화)로 국내 스트레이트 아스팔트의 침입도(25°C), 점도(60°C , 135°C), 연화점, 및 DSR 시험(-20°C ~ 30°C)을 수행하여, 아스팔트의 물성 변화 특성을 고찰하였다. 연구 결과, 국내 스트레이트 아스팔트의 거동은 고온(60°C 근방) 및 상온(10 ~ 30°C)범위에서 정유사 제품에 따라 상당한 차이를 나타내었으며, 저온의 경우에는 정유사 제품이나 등급에 관계없이 거의 유사한 거동을 나타내었다. 따라서 어느 정유사의 아스팔트를 사용하는가에 따라, 저온에서의 온도 균열에 대한 저항성은 다소 비슷한 수준일 것으로 판단되지만, 소성변형 및 피로 균열에 대한 저항성이 상이하게 나타날 것으로 판단된다.

핵심용어 : 아스팔트, DSR, 침입도, 연화점, 스티프니스, 복소전단탄성계수

* 공학박사, 조교수, 한국기술교육대학교

** 연구원, 한국건설기술연구원



1. 서 론

국내의 아스팔트 포장 재료는 1970년대 원유 파동과 함께 고 부가가치 제품의 생산을 위한 정제기술의 향상으로 많은 품질의 변화가 초래되면서, 포장 기술자에게 최종 석유 제품의 잔사유인 아스팔트의 품질 저하를 가져올 수 있다는 우려를 불러 일으키고 있다. 이러한 포장 재료의 품질 변화에 대응하여 국내의 도로 재료 시방 규정은 이에 적절하게 대처하지 못하고 있는 실정이다. 특히, 포장이 공용 중에 발생하는 노화에 따른 재료의 공용성에 대한 물성 연구는 국내에서 거의 이루어지지 못하고 있다. 단지, 이러한 노화에 따른 재료의 물성을 관리하기 위하여 국내의 품질 기준에서는 혼합물의 단기 노화 물성만을 고려하여 노화 전 후의 침입도 변화에 의한 최소값을 기준으로 사용하고 있어 포장이 공용 중에 발생할 수 있는 결함을 억제하는 데에 한계가 있어왔다. 그 결과 국내의 교통여건 변화에 따른 포장 재료에 대한 구조적인 요구에 적절하게 대응하지 못하게 되었고, 이에 따라 포장의 조기 파손에 의한 국가 예산의 낭비가 초래되고 있는 실정이다.

이러한 배경을 바탕으로 본 연구에서는 국내의 도로 포장용 스트레이트 아스팔트의 노화 정도에 따른 물성 거동 특성과 정유사 제품별로 품질의 변동 특성을 파악하고, 이를 바탕으로 국내의 각종 시방서 등에서 사용되고 있는 아스팔트 등급 분류 기준에 대한 변별력을 검토하여 이에 따른 문제점을 파악하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구는 국내의 5개 정유 회사에서 생산되고 있는 2가지 등급(침입도 85-100 및 침입도 60-70)의 아스팔트에 대하여 노화 정도에 따른

각 제품의 물성 변화 특성을 파악하였다. 이를 위하여 노화 이전, 단기 노화 (RTFO)와 장기 노화 (PAV) 후의 아스팔트 재료에 대하여 침입도(25°C), 연화점, 점도(60°C, 135°C)를 측정하여 물성 변화 특성을 비교·검토하였다. 그리고, 아스팔트 재료의 점탄성적 물성을 측정하는 시험 방법인 DSR(Dynamic Shear Rheometer)을 이용하여 노화 단계별(노화 이전, 단기 노화, 장기 노화)로 -20°C~30°C의 온도 대역에서 하중 시간의 변화 (10-1~102 rad/sec)에 따른 복소전단 탄성계수(Complex Shear Modulus, G^*)와 위상각(Phase Angle, δ)을 측정하여 스트레이트 아스팔트의 거동 특성을 고찰하였다.

3. 시험 재료, 시험 방법 및 분석 방법

3.1 시험 재료

본 연구에서는 국내의 5개 정유 회사에서 생산되고 있는 2가지 등급 (침입도 85-100 및 침입도 60-70)의 아스팔트 9종을 대상으로 시험하였다. 그림 1은 본 연구에서 수행된 물성 실험의 흐름도를 나타낸 것이며, 각각의 구체적인 시험 방법은 다음과 같다.

3.2 시험 방법

본 연구에서 사용된 아스팔트 시험의 종류 및 시험방법을 표 1에 나타내었다. 표 1에 나타낸 시험방법 중, 스트레이트 아스팔트의 점탄성적 거동 특성을 측정하기 위하여 DSR시험을 하였는데, 이 시험에는 Rheometrics사의 ARES가 이용되었다. 이 장비는 포장의 공용 온도에서 아스팔트의 점탄성 거동 특성을 파악할 수 있으며, 그림 2에 나타난 바와 같이, 상온에서 고온 사이의 온도 범위 (약 0°C에서 60°C사이)에서는 Parrel Plate(PP) 모드, 저온의 온도 범위 (약

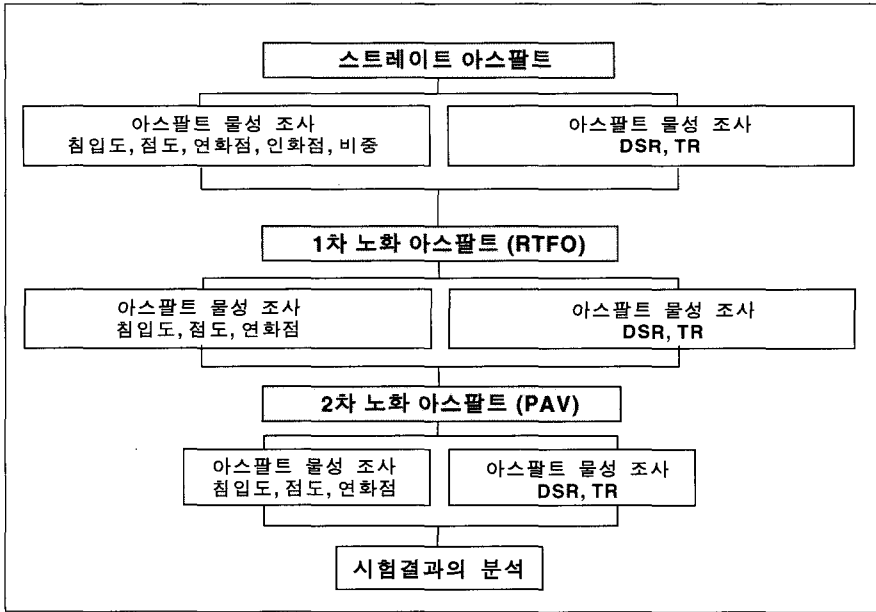


그림 1. 물성 실험 흐름도

0°C에서 -40°C사이)에서는 Torsion Rectangular (TR) 모드로 온도에 따른 아스팔트의 강성 (Stiffness, 스티프니스) 특성을 측정한다. 본 연구에서 사용된 PP 모드와 TR 모드의 시험 조건들은 표 2과 같으며, 시험 방법은 AASHTO TP5에 규정된 절차에 따라 DSR 시험을 수행하였다.(Goodrich, J. L., 1991)

3.3 분석 방법

아스팔트는 외부의 온도와 하중 재하 시간에 따라 민감하게 변화하는 점탄성체로서, 거동 특성을 분석하기 위해서는 많은 어려움이 수반된다. 이를 해결할 수 있는 분석 방법 중의 하나는 아스팔트의 온도에 따른 점탄성적 물성의 변

표 1. 연구에 사용된 시험종류 및 시험방법

시험 종류	준수 규정	비고
침입도	KS M 2202	
연화점	KS M 2250	
점도 60C	ASTM D 2171	
점도 135C	ASTM D 4402	회전점도계
회전박막가열시험 (RTFOT)	ASTM D 2872	
장기노화시험 (PAV)	AASHTO PP1	90C 노화
DSR 시험		표 2 참고

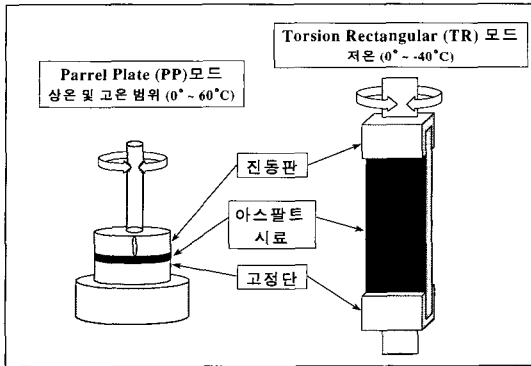


그림 2. 온도에 따른 아스팔트의 스티프니스 측정 방법

화를 각 시험 온도별로 고정된 하나의 하중 시간에서 관찰하는 방법(김남호 등, 1996)이다. 따라서, 여기에서는 하중 시간을 1초로 고정하여 시험 온도의 변화에 따른 아스팔트의 점탄성적 거동을 분석하였으며, 점탄성 물성으로는 아스팔트의 복소전단탄성계수(G^*) 및 $\tan(\delta)$ 를 이용하였다.

분석 과정의 용어 구분을 위하여, KS M 2201에 규정되어 있는 침입도 85-100의 아스팔트는 일반적으로 불려지는 AP-3으로 칭하였으며, 침입도 60-70의 아스팔트는 AP-5라 칭하였다. 그리고 노화 단계별 아스팔트를 구분하기 위하여 분석에서는 노화 이전, 단기 노화, 장기 노화의

아스팔트를 각각 Original, RTFO, PAV라는 기호를 사용하였다.

아스팔트의 거동 특성에 대한 분석에는 표 3와 같이 4가지의 온도 범위로 나누어 해당되는 물성을 기준으로 분석하였으며, 먼저 5개 정유사 제품별로 아스팔트의 거동 특성을 언급하였고, 다음으로 노화 단계에 따른 아스팔트 등급별 거동 특성을 분석하였다.

4. 국내 스트레이트 아스팔트의 거동 특성

4.1 고온에서의 거동 특성

본 절에서는 아스팔트 포장 파손의 하나인 소성변형을 유발시키는 고온에서의 거동 특성을 분석하기 위하여 60°C를 전후로 한 고온에서의 점도 측정값과 아스팔트의 내유동성을 판단하는데 이용되는 연화점 측정 결과를 다루었다.

표 4은 국내 정유사별 아스팔트의 노화 단계에 따른 60°C 점도 및 연화점의 측정 결과를 나타낸 것이다. 표에서 볼 수 있듯이 60°C 점도의 노화 단계에 따른 변화 추세는 연화점의 변화 추세에 비하여 다소 민감하게 나타났지만, 그 변화 경향은 연화점과 대체로 유사하게 나타났

표 2. DSR 시험 모드의 시험 조건

시험 모드	8 mm PP 모드	TR 모드
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(δ)	



표 3. 분석에 필요한 온도 구분

구 분	온도 범위 (°C)	분석 물성	관련된 포장공용성
고 온	60°C 근방	60°C 점도, 연화점	소성변형
상 온	10 ~ 30°C	침입도, G^* , $\tan(\delta)$	피로균열
저 온	-20 ~ 0°C	G^* , $\tan(\delta)$	온도균열
아스팔트 취급온도	135°C	135°C 점도	취급 용이성

다. 여기에서 60°C 점도 측정에는 캐논매닝 점도계를 이용하였으나, 측정 가능한 점도가 제한되어 PAV 과정을 거친 고점도 시료에 대해서는 측정이 매우 어려운 이유로 장기 노화 후의 아스팔트 제품에 대한 고온 거동은 연화점만 측정하였다. 그림 3은 60°C 점도와 연화점과의 관계를 나타낸 것으로, 그림에 나타난 바와 같이 두 물성간의 상관성이 높아 연화점을 중심으로 아스팔트의 고온 거동을 분석하였다.

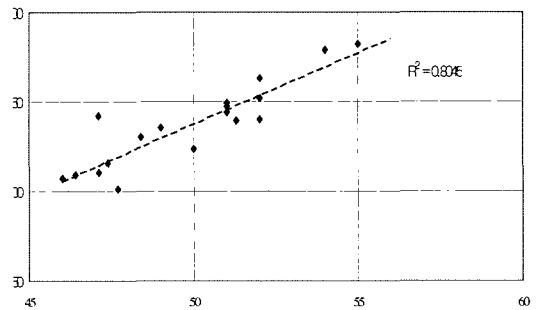


그림 3. 60°C 점도와 연화점과의 관계

표 4에 나타난 바와 같이 국내 도로포장용 아스팔트는 고온에서 제조된 정유사에 따라 매우 다양한 형태의 거동이 관찰되었다. 즉, 노화 이전 단계에서는 AP-3와 AP-5가 연화점 차이를

나타내지 않다가 노화 이후에 뚜렷한 차이를 나타내는 경우 (M-I 정유사 제품)로부터, 노화 이전을 포함한 전체 노화 단계에 걸쳐 AP-3와

표 4. 국내 정유사별 아스팔트의 고온 거동 물성

AP종류	시험 종류	노화 단계	제조 정유사					평균값	표준편차
			M-I	M-II	M-III	M-IV	M-V		
AP3	60°C 점도(P)	노화 이전	1433	1266	1243	1189	1034	1233	143.8
		RTFOT	2981	2771	3107	2256	2520	2727	344.8
	연화점(°C)	노화 이전	47.5	47.0	46.5	46.0	47.5	47.0	0.7
		RTFOT	51.0	51.0	51.0	49.0	52.0	51.0	1.1
		PAV	62.0	61.0	61.0	62.0	57.0	60.5	2.1
AP5	60°C 점도(P)	노화 이전	2624	2469	2006	1726		2207	414.0
		RTFOT	6629	6168	4281	3287		5092	1574.4
	연화점(°C)	노화 이전	47.0	51.5	48.5	50.0		49.5	1.9
		RTFOT	55.0	54.0	52.0	52.0		53.5	1.5
		PAV	65.0	64.0	63.0	59.5		63.0	2.4



AP-5의 연화점 차이가 미소한 경우 (M-II 정유사 제품), 또한 장기 노화 이후에 AP-3의 연화점이 AP-5보다 오히려 상승하는 경우 (M-IV 정유사 제품)까지 정유사 제품에 따라 다양한 고온 거동을 나타내었다. 이러한 아스팔트 거동의 차이는 정유사마다의 등급별 아스팔트를 생산하기 위해 사용하는 원유의 종류 및 공정의 차이에 따른 아스팔트의 화학적 특성의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다.

아스팔트의 침입도 등급 기준에 따른 고온 거동을 파악하기 위하여 동일 등급에 대한 아스팔트 연화점의 평균 및 표준 편차를 표 4에 나타내었다. 국내 AP-5 아스팔트의 연화점 평균값은 각각의 노화 단계에서 AP-3 아스팔트와 비교하여 약 2.5°C의 차이로 높게 나타났으며, 정유사 제품별 품질 변동에 대한 표준 편차가 평균 연화점의 차이 2.5°C보다 작은 수치로 나타나, 통계적으로 AP-5 아스팔트의 고온 거동이 AP-3에 비하여 다소 우수한 것으로 나타났다. 이러한 연구 결론은 최근 아스팔트 포장의 소성 변형을 방지하기 위한 노력의 일환으로 전 국토를 대상으로 AP-5 아스팔트를 사용하는 문제가 논의되고 있는 시점에서 매우 의미 있는 결론으로 받아들여질 수 있다고 판단된다. 그러나, 이

러한 연구 결론을 일반화시키기 위해서는 추가적으로 각각의 정유사에 대한 제품의 품질 변동 및 일반 아스팔트 플랜트에서 사용되고 있는 아스팔트 즉, 여러 정유사의 제품이 혼합되어 있는 아스팔트에 대한 종합적인 물리적 거동의 검토가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

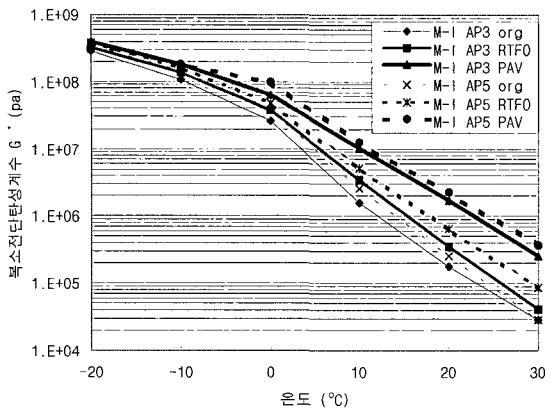
4.2 상온에서의 거동 특성

본 절에서는 국내의 도로포장용 아스팔트에 대한 상온에서의 거동 특성을 분석하였다. 이를 위하여 국내스트레이트 아스팔트를 대상으로 25°C의 침입도 측정값과 10°C에서 30°C 온도 범위에서의 DSR 측정 결과를 다루었다.

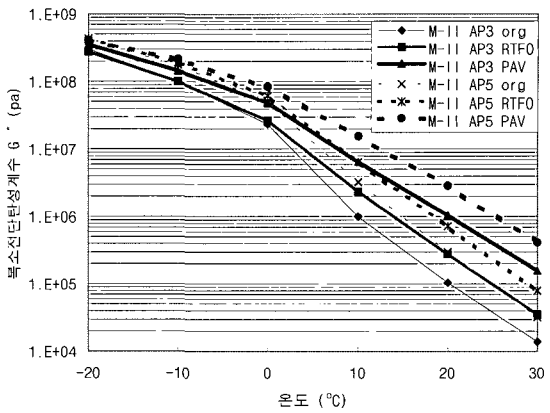
표 5는 국내 아스팔트의 정유사별 노화 단계에 따른 침입도 거동의 측정 결과를 나타낸 것이다. 표에 나타난 침입도 거동에서 국내 스트레이트 아스팔트는 AP-3 및 AP-5 모두 1차 노화를 전후로 하여 다소의 품질 변동을 관찰할 수 있었으나, 이러한 변동이 2차 노화 단계에서는 급격히 감소하는 추세를 나타내었다. 그러나, 이러한 노화에 따른 아스팔트 등급별 침입도 거동의 품질 변동 감소 경향은 앞으로 언급될 G^* 및 $\tan(\delta)$ 거동에서는 관찰되지 않아, 이러한 경향을 일반화시켜 아스팔트의 거동을

표 5. 국내 정유사별 아스팔트의 침입도 거동

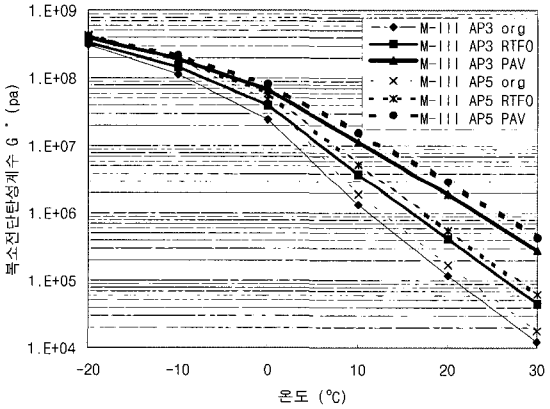
AP 종류	노화 단계	제조 정유사					평균값	표준편차
		M-I	M-II	M-III	M-IV	M-V		
AP3	노화 이전	94	99	96	93	87	94	4.4
	RTFOT	56	57	58	64	49	57	5.4
	PAV	26	28	28	27	30	28	1.5
AP5	노화 이전	66	71	70	67		69	2.4
	RTFOT	37	35	40	45		39	4.4
	PAV	22	20	24	22		22	1.6



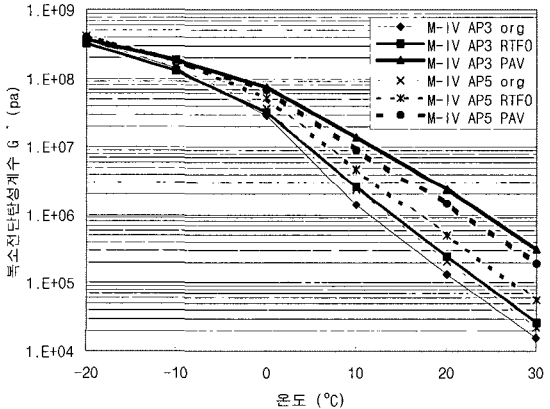
(a) M-I 아스팔트



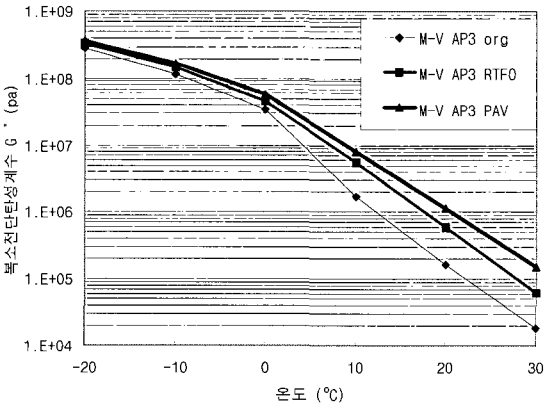
(b) M-II 아스팔트



(c) M-III 아스팔트



(d) M-IV 아스팔트



(e) M-V 아스팔트

그림 4. 국내 아스팔트의 노화 단계별 G*의 거동

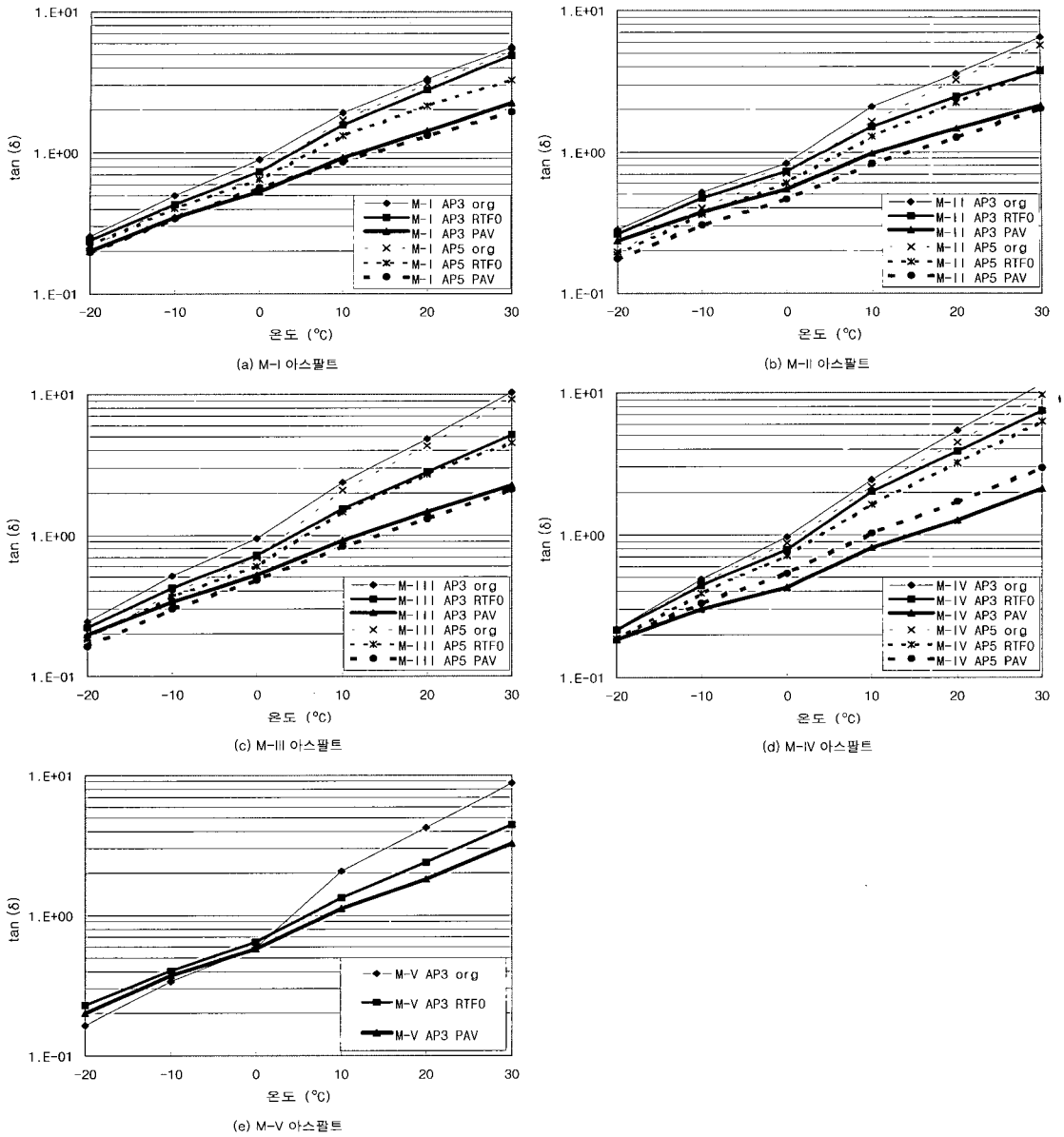


그림 5. 국내 아스팔트의 노화 단계별 $\tan(\delta)$ 의 거동

언급하는 데에는 한계가 있는 듯 하며, 오히려 이러한 경향은 침입도 시험의 아스팔트 물성 변별력의 한계를 반영하는 것으로 보여진다.

국내 아스팔트의 정유사별 노화 단계에 따른

DSR 시험을 통한 -20°C 에서 30°C 까지의 재하 시간(Loading Frequency) 1초에서의 G^* (Constant Loading Time Stiffness) 변화 및 $\tan(\delta)$ 의 변화를 그림 4와 그림 5에 나타내었



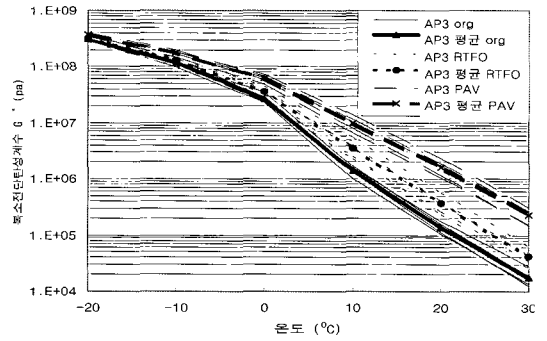
다. 그림에서 알 수 있듯이, 10°C에서 30°C까지의 상온 대역에서 국내 아스팔트는 노화 단계를 거치면서 뚜렷한 경화 경향을 나타내 G^* 는 증가하며 $\tan(\delta)$ 는 감소되어, 노화가 진행됨에 따라 점차 점성 거동이 탄성 거동에 비하여 상대적으로 감소하는 경향을 나타내어 점차 탄성화되어 감을 알 수 있다.

또한, 노화 단계가 진행됨에 따라 G^* 와 $\tan(\delta)$ 의 변화의 폭은 정유사 제품별로 큰 차이를 나타내어 M-III 정유사의 아스팔트와 같이 노화 단계별로 일정한 변화폭을 나타내는 제품으로부터, 1차 노화 단계에서는 노화 이전 아스팔트의 G^* 거동과 비교하여 큰 차이를 나타내지 않다가 2차 노화 단계에서 큰 거동의 차이를 나타내는 아스팔트 제품(M-I 및 M-IV 정유사 제품)이 있으며, 반대로 1차 노화 전후로 큰 거동의 차이를 나타내다가 2차 노화 단계 전후로는 그 변화의 폭이 미미한 아스팔트(M-V 정유사 제품)까지 다양한 형태의 거동이 관찰되었다.

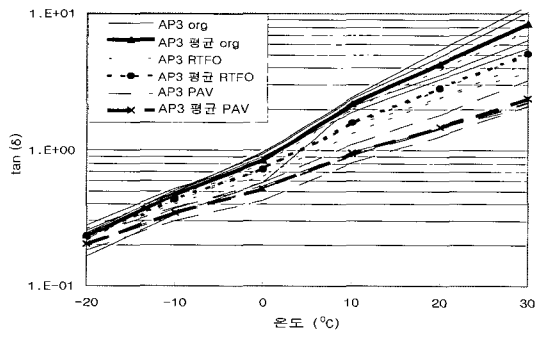
그림 4와 5에 나타난 바와 같이, 국내 아스팔트의 정유사 및 아스팔트 등급별 노화 단계에 따른 스티프니스 거동 특성은 아스팔트의 등급별(AP-3, AP-5)로 대체로 10°C에서 30°C까지의 상온 범위에서 스티프니스 거동의 차이를 나타내어 AP-3에 비하여 AP-5가 각 노화 단계별로 더 경화된 거동을 나타내었다. 단, M-IV 정유사 아스팔트의 경우에는 연화점의 경우와 마찬가지로 2차 노화를 전후로 하여 AP-3 아스팔트가 오히려 AP-5 아스팔트보다 더 경화된 거동을 나타내었는데, 이는 M-IV 정유사의 아스팔트 등급별 생산 공정에 따른 화학적 특성이 상이한데서 비롯된 차이라고 판단된다.

또한, 국내 스트레이트 아스팔트의 10°C~30°C부근에서의 노화에 따른 아스팔트의 G^* 및 $\tan(\delta)$ 의 변동은 AP-3 및 AP-5 아스팔트의 정유사별 평균값을 기준으로 1차 노화에서 보다 2

차 노화에서 더욱 큰 것으로 나타났다. 즉 그림 6 및 그림 7에 나타난 바와 같이, AP-3 아스팔트의 경우 노화 이전 G^* 의 평균값을 기준으로 1차 노화 단계에서의 G^* 증가율은 10°C, 20°C, 및 30°C에서 각각 250%, 267% 및 238%로 나타났으나, 2차 노화 단계에서는 급격히 증가하여 노화 이전 아스팔트의 평균값을 기준으로 각각 707%, 1185%, 및 1293%로 장기 노화 단계에서 아스팔트의 G^* 가 급격히 높아짐을 알 수 있었다. 이러한 경향은 AP-5 아스팔트에서도 동일하게 관측되었다.



(a) G^* , AP-3 평균



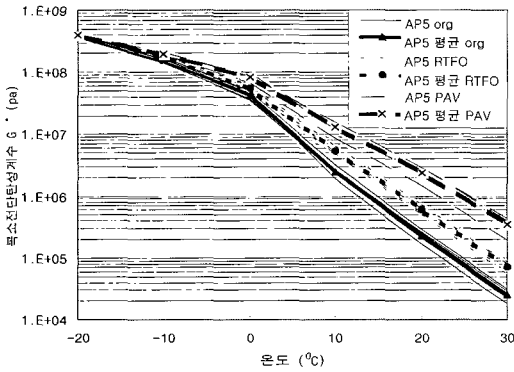
(b) $\tan(\delta)$, AP-3 평균

그림 6. 국내 AP-3 아스팔트의 노화에 따른 G^* 및 $\tan(\delta)$ 거동

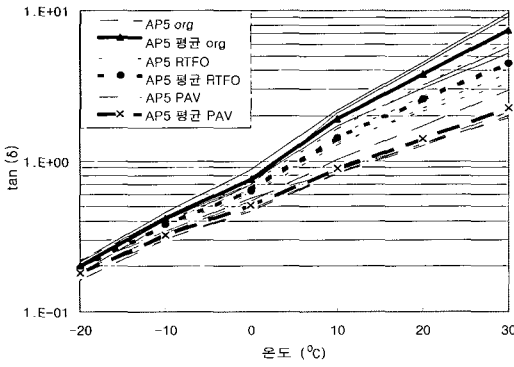
$\tan(\delta)$ 는 G^* 의 경우와는 반대로 1차 노화를 전후로 한 감소의 폭보다 2차 노화를 전후로



한 감소의 폭이 훨씬 크게 나타나, 전체적으로 아스팔트 포장의 공용 이후에 시간의 경과에 따라 아스팔트가 점차 탄성화 되어 감을 알 수 있었다.



(a) G^* , AP-5 평균



(b) $\tan(\delta)$, AP-5 평균

그림 7. 국내 AP-5 아스팔트의 노화에 따른 G^* 및 $\tan(\delta)$ 거동

4.3 저온에서의 거동 특성

본 절에서는 국내의 도로포장용 아스팔트에 대한 저온에서의 거동 특성을 분석하였다. 이를 위하여 0°C에서 -20°C의 온도 범위에서 수행된 국내 스트레이트 아스팔트의 DSR의 시험 결과를 다루었다.

그림 5와 6에서 볼 수 있듯이, 정유사 제품별로 국내 스트레이트 아스팔트의 노화에 따른 경화 현상은 온도가 낮아질수록 줄어들어, -20°C 부근에서는 거의 경화 경향이 나타나지 않았다. 즉, 저온 영역으로 갈수록 노화에 따른 G^* 의 증가 및 $\tan(\delta)$ 의 감소 현상이 현저하게 나타나, -20°C 부근에서는 노화 이전 아스팔트의 거동과 1차 및 2차 노화 이후의 아스팔트 거동이 거의 동일하게 나타났다. 이러한 경향은 시험된 전체의 스트레이트 아스팔트에서 공통적으로 관찰되었다.

또한, 동일한 아스팔트 등급에서의 정유사별 물성 변동도 저온 영역에서는 현저히 줄어들어, 그림 6과 그림 7에 나타난 바와 같이 -20°C 부근에서는 정유사 제품에 상관없이 거의 일정한 스티프니스 거동을 나타내었다. 그림 8은 본 연구에서 시험된 모든 아스팔트에 대하여 -20°C에서의 정유사 제품에 대한 평균 G^* 를 노화 단계별로 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이, 국내 AP-3 아스팔트의 G^* 는 노화 단계에 따라 3.1×10^8 Pa에서 3.7×10^8 Pa 범위에서 변화하며, AP-5 아스팔트는 3.8×10^8 Pa에서 4.1×10^8 Pa 범위에서 변화되어, 실제적으로 아스팔트의 등급이나 노화 단계에 상관없이 거의 비슷한 스티프니스를 나타내었다. 이러한 경향을 종합하여 볼 때, 아스팔트 포장의 온도 균열에 대하여 국내

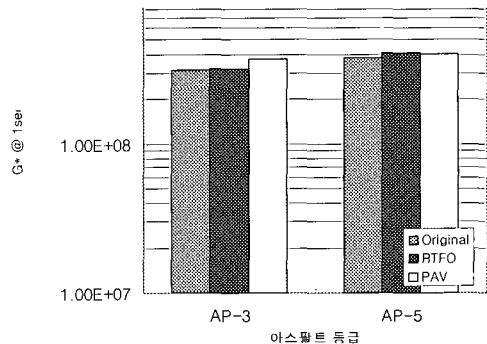


그림 8. -20°C에서 노화 단계별 평균 G^* (Pa)

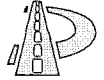


표 6. 국내 아스팔트의 취급 온도에서의 거동

AP 종류	측정 물성	노화 단계	제조 정유사					품질규정	비고
			M-I	M-II	M-III	M-IV	M-V		
AP3	인화점(°C)	노화 이전	337	329	337	322	325	230	KS M 2201
	135°C점도(cSt)	노화 이전	364	331	345	296	269	250	KS M 2208 2종 (AC-10 규격)
		RTFO	510	467	461	364	362	250	
		PAV	850	851	825	689	598	250	
AP5	인화점(°C)	노화 이전	331	331	338	332	/	230	KS M 2201
	135°C점도(cSt)	노화 이전	461	398	421	320	/	300	KS M 2208 2종 (AC-20 규격)
		RTFO	670	582	552	427	/	300	
		PAV	1244	1058	997	704	/	300	

의 모든 스트레이트 아스팔트가 거의 유사한 저항성을 나타낼 것으로 판단된다.

4.4 아스팔트 취급 온도에서의 거동 특성

본 절에서는 국내 AP-3 및 AP-5 아스팔트는 아스팔트의 취급 온도인 135°C에서 거동 특성을 분석하기 위하여 인화점 및 135°C 점도의 시험 결과를 다루었다.

표 6는 국내 스트레이트 아스팔트의 노화 이전의 인화점과 노화 단계에서의 135°C 점도를 아스팔트 등급별로 나타낸 것이다. 표에 나타난 바와 같이 국내 스트레이트 아스팔트는 다소의 정유사별 거동 차이는 있었으나, 모두 KS M 2201의 인화점 규격을 만족하고 있다. 또한 AP-3 및 AP-5 아스팔트에 대하여 KS M 2208 2종 아스팔트의 AC-10 및 AC-20의 135°C 점도 규정을 각각 적용시킨 결과, 모두 품질 규정을 만족하는 것으로 나타나, 국내 스트레이트 아스팔트는 아스팔트의 취급 온도인 135°C에서는 품질에 큰 이상이 없는 것으로 판단되어 진다.

4.5 국내 아스팔트의 품질 등급 분류

국내 스트레이트 아스팔트의 품질 등급을 분류하기 위하여 표 4, 표 5, 표 6의 시험 결과를 기초로 국내 AP-3와 AP-5 아스팔트 제품을 정유사별로 KS M 2201 및 KS M 2208 기준에 의거한 품질 등급을 평가하였으며, 이러한 평가 결과를 정리한 것이 표 7이다. 평가 결과, KS M 2208 기준에 의거한 아스팔트의 점도 등급을 결정짓는 가장 중요한 물성은 60°C에서의 아스팔트 점도인 것으로 나타났으며, 국내 스트레이트 아스팔트의 많은 경우가 점도 등급간의 임계값 사이에 존재하여 적절한 점도 등급 분류가 불가능하였다.

KS M 2201의 아스팔트 규격으로 AC 85-100 등급인 국내 AP-3 아스팔트는 KS M 2208의 2종 아스팔트 규격에서는 AC-10 등급이거나 또는 AC-10과 AC-20의 중간 등급에 해당되는 것으로 분류되었다. 또한 국내 AP-5 아스팔트의 경우는 AC-20부터 AC-30까지의 등급으로 나타나, 점도 등급을 기준으로 할 때 AP-3 아스팔트에 비하여 AP-5가 다소 심한 품질의 변동을 나타내었다.



표 7. 국내 아스팔트의 KS M 2208에 의한 점도등급 분류

분류 등급	정유사	침입도 85-100 아스팔트				
		M-I	M-II	M-III	M-IV	M-V
침입도등급 KS M 2201		85-100	85-100	85-100	85-100	85-100
점도등급 KS M 2208 (2종 아스팔트)		등급없음 ⁽¹⁾	등급없음 ⁽¹⁾	등급없음 ⁽¹⁾	AC-10	AC-10
점도등급 KS M2208 (3종 아스팔트)		등급없음 ⁽³⁾	등급없음 ⁽³⁾	AR-4000	AR-2000	등급없음 ⁽³⁾
분류 등급	정유사	침입도 60-70 아스팔트				
		M-I	M-II	M-III	M-IV	
침입도등급 KS M 2201		60-70	60-70	60-70	60-70	
점도등급 KS M 2208 (2종 아스팔트)		AC-30	등급없음 ⁽²⁾	AC-20	AC-20	
점도등급 KS M2208 (3종 아스팔트)		AR-8000	등급없음 ⁽⁴⁾	AR-4000	AR-4000	

- 주. (1) AC-10과 AC-20의 중간등급
 (2) AC-20과 AC-30의 중간등급
 (3) AR-2000과 AR-4000의 중간등급
 (4) 점도는 AR-8000 등급이지만, 원 침입도에 대한 비율(50%이하)규정에 위배됨

아스팔트의 1차 노화 이후의 물성을 기준으로 하는 KS M 2208의 3종 아스팔트 분류 기준으로는 국내 AP-3 아스팔트가 AR-2000에서 AR-4000까지의 등급으로 분류되었으며, AP-5 아스팔트의 경우에는 AR-4000에서 AR-8000까지의 등급으로 분류되었다. 다만 M-II 정유사의 AP-5아스팔트의 경우에는 원 침입도에 대한 회전박막가열 아스팔트의 침입도 비율이 규정인 50%보다 더 크게 나타나 KS M 2208의 3종 아스팔트의 품질 규격으로 볼 때 품질에 문제가 있는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 국내의 5개 정유사에서 생산되는 스트레이트 아스팔트에 대하여 노화 단계에

따른 기본 물성 시험과 DSR 시험을 수행하였으며, 분석 결과 다음과 같은 국내 스트레이트 아스팔트의 거동 특성이 파악되었다.

- 1) 국내 스트레이트 아스팔트는 60°C 부근의 고온에서 정유사 제품에 따라 많은 품질의 변화를 나타내지만, 대체로 AP-5 아스팔트가 AP-3 아스팔트에 비하여 고온에서 탄성적인 성질을 유지한다.
- 2) 국내 스트레이트 아스팔트는 10°C에서 30°C까지의 상온 대역에서 1차 노화 단계에서 보다 2차 노화 단계에서 강성 거동이 현저히 향상되어 큰 폭으로 경화하는 양상을 보였으며, 노화 단계에 따른 G*와 tan(δ)의 변화의 폭은 정유사 제품별로 큰 차이를 나타낸다.
- 3) 국내 스트레이트 아스팔트의 노화에 따른



경화 현상은 온도가 낮아질수록 줄어들어, -20°C 부근에서는 거의 경화 경향의 차이가 나타나지 않는다. 또한 아스팔트 등급 및 정유사 제품에 따른 물성 변동도 저온으로 갈수록 현저히 줄어들어, -20°C 부근에서는 아스팔트의 등급이나 정유사 제품에 상관없이 거의 일정한 스티프니스 거동을 보이며 경화의 차이가 나타나지 않는다.

- 4) 국내 스트레이트 아스팔트는 아스팔트의 취급 온도인 135°C 전후의 온도에서 제품의 품질에는 큰 이상이 없는 것으로 판단된다.

이상의 결과를 바탕으로 볼 때, 국내 스트레이트 아스팔트의 정유사 제품에 따른 고온 및 상온에서의 거동 차이는 아스팔트 포장의 공용성과 직접적으로 연관되어, 정유사 제품에 따라 소성변형과 피로 균열에 대한 저항성이 상이하게 나타날 것으로 판단된다. 그러나, 저온의 경우에는 등급이나 노화 정도에 관계없이 거의 동일한 거동을 보여 제품별로 온도 균열에 대한 저항성은 다소 비슷한 수준일 것으로 판단된다.

이러한 연구 결론을 일반화시키기 위해서, 추가적으로 각각의 정유사에 대한 제품의 품질 변동 및 일반 아스팔트 플랜트에서 사용되고 있는 아스팔트 즉, 여러 정유사의 제품이 혼합되어 있는 아스팔트에 대한 종합적인 물리적 거동의 검토가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

6. 참고 문헌

1. 김남호, 황성도, 박용철(1996), "비용절감을 위한 도로재료 연구사업(1-1-A단계)", 한국건설기술연구원
2. 한국도로공사(1996), "건설공사 품질시험 편람", 한국도로공사.
3. Asphalt Institute(1993), "Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing", Asphalt Institute SP-1.
4. Goodrich, J. L.(1991), "Asphaltic Binder Rheology, Asphalt Concrete Rheology and Asphalt Concrete Mix Properties", Proceedings AAPT, Vol. 60, pp. 80-120.
5. Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E. Lee, D.Y. and Kennedy, T.W.(1991), "Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction", NAPA Education Foundation.