



# 아스팔트 혼합물의 인공노화 방안 연구

## Study of Artificial Aging Procedure for Asphalt Mixtures

정재현\*      조병진\*      박남원\*      김광우\*\*  
Jae Hun Jung      Byoung J. Cho      Nam W. Park      Kwang W. Kim

### Abstract

This study was carried out for developing artificial short-term aging (SA) and long-term aging (LA) methods of asphalt mixtures in which the aging level is properly matched with those of RTFO and PAV aged binders, respectively. The specimens were made of the short-term aged loose asphalt mixture which was kept in a convection oven at 154°C for 2 hours and were aged at 110°C for 24, 48, 72 and 96 hours for SA. Large molecular size (LMS) were measured using GPC after SA and LA to evaluate aging extents of each mixture with aging time. It is shown that the LMS was increased with aging time increment, and that from the LMS(%) change ratio, it was possible to suggest an appropriate artificial aging time which is corresponding level of aging with RTFO and PAV. It was found that SA was somewhat strong and LA for 48 hours at 110°C would be appropriate if short-term aging is properly controlled.

**Keywords :** GPC, LMS, long-term aging, short-term aging

### 요 지

본 연구는 국내 현장실정에 적절한 아스팔트 혼합물의 실내노화방법을 개발하기 위한 연구이다. 강제공기순환식 오븐에서 154°C 2시간의 단기노화를 거친 혼합물로 제작한 공시체를 110°C에서 24, 48, 72, 96시간 동안 장기노화를 시켰다. 또한 노화시간의 증가에 따라 아스팔트 바인더의 노화정도를 측정하기 위하여 GPC 분석을 수행하였다. 본 연구를 통해 노화시간이 길어짐에 따라 대형분자량이 증가하는 것을 확인하였고, 이에 대한 분석으로부터 적절한 인공노화시간의 추정이 가능함을 알 수 있었다. 본 연구에서 수행된 단기노화방법은 다소 과다하나 이를 RTFO와 유사한 수준으로 처리한다면 110°C로 약 48시간 이상 노화를 시키면 PAV 처리와 유사한 수준의 혼합물 노화가능성이 있음을 확인하였다.

**핵심용어 :** 아스팔트, 바인더, GPC, 대형분자, 인공노화, 단기노화, 장기노화

\* 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 대학원  
\*\* 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 교수 · 공학박사



## 1. 서론

아스팔트 혼합물은 제조와 포설 그리고 공용중에 산화작용, 휘발작용, 중합작용, 상승작용, 분리작용 등에 의하여 노화가 일어난다. 플랜트에서 혼합물을 제조할 때 높은 온도와 공기흡입에 의한 산화와 고온의 혼합물을 현장까지 운반하고 포설하는 동안의 산화를 단기노화(Short-term aging: SA), 포설완료 후 공용기간을 거치면서 기후 및 기상 등 환경에 의한 산화를 장기노화(Long-term aging: LA)라 한다. 아스팔트 혼합물의 노화는 바인더의 stiffness 변화를 초래하여 균열 및 소성변형 저항성과 같은 혼합물의 성질을 변화시키는 중요한 영향인자라 할 수 있다. 또한 외국에서는 실험실에서 각종 공시체의 제조 시 현장조건을 모사하여 일정기간 혼합물을 오븐에 보관했다 사용하는 단기노화방법이 관행적으로 사용된다. 그러나 국내에서는 이러한 관행이 널리 시행되지 않고 있고 아스팔트 혼합물의 노화에 대한 연구는 바인더 자체의 노화연구에 비해 심도있게 이루어지지 않아 왔다.

초기의 실내노화 모사실험방법 연구는 아스팔트 혼합물을 노화시킨 후 추출한 바인더의 침입도와 점도측정 등 바인더 실험에만 국한되었다. 이후 1970년대에 접어들면서 아스팔트 혼합물의 노화에 따른 간접인장강도와 회복탄성계수 등 혼합물의 특성변화에 대한 연구가 수행되었다. 하지만 연구마다 노화모사방법이 달랐고 노화정도의 기준이 없었기 때문에 아스팔트 바인더 및 혼합물에 대한 노화모사방법과 노화정도의 기준정립이 필요하였다. Bell (1989)은 SHRP (Strategic Highway Research Program)의 보고서에 그 동안의 연구와 방법 등을 정리하였다. 그는 단기노화와 장기노화를 명명하였으며, 단기노화 모사방법의 기준으로 이전까지의 많은 노화모사방법들의 결과값 중 타당성이 가장 높은 Von Quintas (1988)의 오븐 노화모사방법을 제안하였고 노화혼합물의 공시체 및 추출 바인더에 대한 시험방법을 제안하였다. Bell(1994)은 잘 비빈 혼합물을

다지기 전 노화오븐에서 135℃로 4시간 동안 단기노화하고 공극률 8% 전후로 다져진 공시체를 85℃와 100℃에서 장기노화 모사하는 것에 대한 검증연구 결과를 제안하였다. 즉, 135℃로 4시간 동안 혼합물의 노화는 혼합물 생산부터 시공까지에 노화되는 단기노화를 모사할 수 있고, 85℃로 48시간 및 100℃로 24시간은 5년간의 장기노화를 모사할 수 있으며, 85℃로 96시간 및 100℃로 48시간은 10년간의 장기노화를 모사할 수 있다고 했다.

아스팔트 혼합물의 노화정도에 대한 국내 심층연구는 젤 크로마토그램 GPC(Gel-permeation chromatograph)을 이용하여 아스팔트 분자입도변화를 분석한 다수의 연구(Kim et al. 1993, Kim et al. 1995, 김광우 등 2001, 김광우 등 2004, Kim et al. 2006)가 있다. Kim et al. (1993)은 GPC를 이용하여 노화된 아스팔트 바인더에 대한 대형분자비율을 분석하여 노화정도를 확인하였다. 하지만 아직도 인공적으로 어느 정도의 혼합물노화가 Rolling thin film oven (RTFO)나 Pressure aging vessel (PAV)에 의한 바인더 노화와 유사한 수준인지 알 수 없다. 더구나 국내의 경우 일반혼합물의 현장운반온도가 160℃ 이상인 경우가 많고 개질아스팔트의 경우는 그보다 더 높은 경우도 많아 135℃에서 4시간 단기노화가 우리 현실에 맞다고 할 수 없는 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 아스팔트 혼합물을 여러 시간대로 인공노화시켜 바인더의 노화정도를 GPC의 대형분자비율(Large molecular size ratio: LMS(%)) 변화로 측정하고 노화시간 변화에 따른 바인더의 LMS(%) 변화를 분석하여 적정 인공노화 시간을 결정하는 방안을 제시하는 것이다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 사용 재료

본 연구에서는 AP-5 (침입도 60~80)를 기본 아



스팔트로 사용하였다. 개질아스팔트는 수년간의 연구와 현장에서 많이 사용되어 개질효과가 우수한 Low-density polyethylene (LDPE) 6%의 전식 개질아스팔트와 Styrene-butadiene-styrene (SBS)로 개질하여 상용화되어 있는 PG 76-22 아스팔트 바인더를 사용하였다. 표 1은 사용된 아스팔트 바인더들의 기본특성들을 나타낸다.

표 1. Fundamental properties of binders used

Binder	Penetration 25℃ (0.1mm)	Kinematic Viscosity 135℃ (cP)	PG Grade (℃)	LMS* (%)	Note
Pen60-80	71	425	64-22	12.39	-
LDPE 6%	52	1275	76-22	12.00	-
PG 76-22	47	1325	76-22	13.00	-

\* LMS : Large Molecular Size

골재의 품질이나 입도는 아스팔트 혼합물의 특성에 중요한 영향을 미친다. 그러므로 골재는 생산지 별로 그 조건이 다르기 때문에 시방규정에 적합한지를 반드시 검토하여야 한다. 본 연구에서는 국내에 전국적으로 널리 분포되어 있고 많이 사용되는 편마암 쇄석을 굵은 골재와 잔골재(screenings)로 사용하였으며, 채움재(mineral filler)는 석회석 석분을 사용하였다. 굵은 골재 최대치수는 13mm와 19mm 2 종류를 사용하였다. 입도는 건설교통부 밀입도규정에 맞도록 입도를 혼합조정하여 사용하였다.

## 2.2 실내 노화

아스팔트 혼합물의 단기노화(SA) 모사방법으로는 가장 널리 이용되는 미국의 SHRP A-390 (Bell, 1994)의 노화방법과 AASHTO의 표준규정인 AASHTO R 30 노화방법이 있으나, 본 연구에서는 개질아스팔트가 포함되므로 함부르크 휠 테스트 장비 및 조지아 로드 휠 테스트의 단기노화방법 (Collins et al, 1996)을 이용하였다. 이 두 방법에서는 PG70이나 PG76 혼합물의 경우 154℃의 강제

공기순환 오븐에서 매시간 1회의 교반을 하며 2시간을 단기노화시킨 혼합물로 공시체를 제조한다. 본 연구에서는 배합설계에서 결정된 최적아스팔트 함량 (Optimum asphalt contents: OAC)으로 12가지 혼합물을 비벼서 놓고 상기방법으로 단기노화과정을 거친 후 선화다짐기로 75회 다짐하여 직경 10cm 공시체를 제작하였다.

장기노화(LA)는 이렇게 단기노화를 거친 혼합물로 제조한 공시체를 강제공기순환식 오븐에서 110℃로 각각 24, 48, 72, 96시간을 노화시켰다. 장기노화 온도를 기존연구의 85℃나 100℃보다 더 높게 110℃로 한 이유는 공시체 공극률을 4±1%로 다짐으로 8% 전후로 제조한 공시체보다 내부까지 노화가 덜 될 것을 우려해 택한 것이다. 그림 1(a)는 혼합물의 단기노화과정을 보여주며 (b)는 공시체의 장기노화광경을 보여 준다.



(a)



(b)

그림 1. (a) Loose asphalt mixtures during short term oven aging, (b) Specimens for Kim test during long term oven aging



### 2.3 GPC 시험

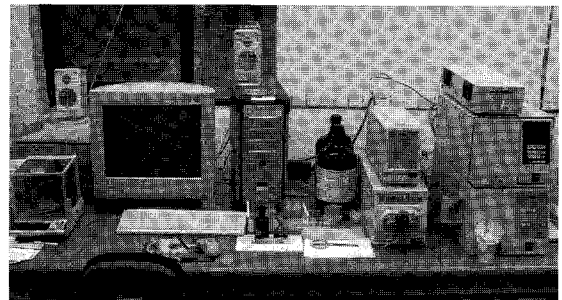
아스팔트의 대형분자(Large molecular size: LMS) 비율은 그 아스팔트의 노화에 따른 점도, 침입도 등의 변화와 밀접한 관계가 있다(Jennings 1980, Kim and Burati 1993, Price 1988). Kim et al. (2006)은 노화된 아스팔트 혼합물의 바인더의 크로마토그램 측정시 Abson 방법 등으로 바인더를 추출·회생하지 않고도 혼합물로부터 바로 LMS(%)를 측정하는 새로운 방법을 개발하였다. 이렇게 측정된 LMS(%)비율이 추출·회생한 바인더에서 측정된 LMS(%) 비율과 유의차가 없었으며 바인더의 절대점도 및 침입도 등 물성과 동일하게 상관관계가 높음을 확인하였다. 따라서 새로운 GPC 방법을 사용하면 혼합물 내의 바인더 노화상태를 바인더의 추출이나 점도시험 등의 번거로운 과정없이도 쉽게 파악할 수 있다. 본 연구에서는 이 방법을 적용하여 노화된 혼합물의 바인더 노화상태를 파악하는 기법을 사용하였다.

단기노화혼합물과 각 시간별 장기노화를 거친 공시체의 노화정도를 판정하기 위하여 해당 혼합물에서 직접 샘플을 채취하여 GPC 시험을 수행하였다. 이를 위해 공시체의 파괴면에서 무작위로 소량(약 10g)의 시료를 채취하여 이를 Tetrahydrofuran (THF) 용액에 녹여 GPC 시험기에 주입하여 아스팔트의 대형분자(Large molecular size: LMS) 크기를 분석하였다.

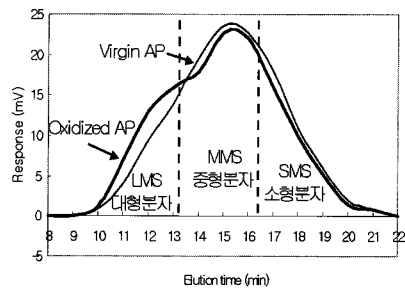
GPC 시험분석기는 2중 헤드 펌프와 주입시스템(Injection module) 및 410회절 분석검출기(Differential refractive index meter)와 칼럼으로 이루어졌다. 아스팔트 샘플을 분자입도 크기에 따라 분리하는 칼럼으로는 Waters HR4E와 HR3를 두개 연결하여 사용하였다. 샘플을 일정한 온도에서 측정하기 위하여 칼럼 오븐에 두 칼럼을 넣고 온도를 항상 35℃로 유지하였고, 용액으로는 THF를 1 ml/min의 속도로 유동시켰다. 그림 2(a)는 본 연구에 사용된 GPC 시스템을 보여준다.

샘플을 주입하면 약 10분후부터 분자가 검출(Elution)되어 약 21분경에 끝나고 안정화를 거쳐 30분이면 한 샘플 시험이 끝나며, 3번 반복시험의 평균을 분석에 사용하였다. 샘플의 농도는 중량비로 0.25% (1/400)이며 이 농도를 맞추기 위하여 혼합물의 바인더 함량을 기준으로 중량대비 바인더량을 추정하여 용매인 THF를 그에 맞게 넣어서 녹였다. THF 용매에 녹은 샘플은 0.2 $\mu$ m의 주사기용 필터로 걸러서 한번에 50ml씩 주입모듈에 주사기를 사용하여 주입하였다.

하나의 크로마토그램은 아스팔트 바인더의 분자입도분포도와 같은 것으로 앞부분이 입자가 큰 분자부터 검출되기 시작하여 점차 작아져 가장 작은 분자가 마지막 시간대에 검출된다. 크로마토그램은 그림 2(b)와 같이 대형분자(LMS), 중형분자(Medium molecular size: MMS)와 소형분자(Small molecular size: SMS)로 나눈다. 나누는 방법은 문



(a)



(b)

그림 2. (a) GPC system, (b) Illustration of typical GPC profiles for virgin and old asphalt binders



현(Kim et al. 1995)에 근거하여 전체 시작과 끝 구간을 시간으로 13등분하고 그중 초기 5구간을 LMS, 다음 8구간을 4구간씩 둘로 나누어 MMS와 SMS로 구분하였다. 그리고 이 중에서 바인더의 각종 특성과 가장 관계가 큰 LMS 만을 본 연구의 분석에 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 GPC

표 2의 시험결과에 의하면 혼합물이 단기노화를 거치고 장기노화의 시간이 길어질수록 대형분자

표 2. Result of GPC test

Mixture type	Aging level	LMS (%)	Increment of LMS(%)	mixture type	Aging level	LMS (%)	Increment of LMS(%)	
Gneiss 13mm Pen60-80	Original <sup>1)</sup>	12.4	-	Gneiss 19mm Pen60-80	Original	12.4	-	
	SA <sup>2)</sup>	20.1	62.1		SA	18.7	50.9	
	LA <sup>3)</sup> 24 hr	21.8	75.7		LA 24 hr	20.1	62.2	
	LA 48 hr	22.7	83.8		LA 48 hr	20.8	67.9	
	LA 72 hr	23.1	86.4		LA 72 hr	21.4	72.7	
	LA 96 hr	22.1	78.4		LA 96 hr	22.2	78.9	
Gneiss 13mm LDPE 6%	Original	12.0	-	Gneiss 19mm LDPE 6%	Original	12.0	-	
	SA	20.1	67.5		SA	17.5	45.8	
	LA 24 hr	21.8	81.9		LA 24 hr	18.9	57.5	
	LA 48 hr	24.2	101.7		LA 48 hr	18.5	54.2	
	LA 72 hr	23.7	97.5		LA 72 hr	19.1	59.2	
Gneiss 13mm PG 76-22	Original	13.0	-	Gneiss 19mm PG 76-22	Original	13.0	-	
	SA	20.9	60.8		SA	20.3	56.2	
	LA 24 hr	25.2	93.8		LA 24 hr	22.0	69.2	
	LA 48 hr	25.3	94.5		LA 48 hr	25.6	96.9	
	LA 72 hr	26.1	100.5		LA 72 hr	25.5	96.2	
Gneiss 13mm PG 76-22	LA 96 hr	26.01	100.0	LA 96 hr	24.7	90.0		
	Granite 13mm Pen60-80	Original <sup>1)</sup>	12.4	-	Granite 19mm Pen60-80	Original	12.4	-
		SA <sup>2)</sup>	19.9	30.6		SA	19.9	60.6
		LA <sup>3)</sup> 24 hr	20.5	65.5		LA 24 hr	20.1	62.2
		LA 48 hr	20.5	65.5		LA 48 hr	21.3	71.9
LA 72 hr		21.5	73.5	LA 72 hr		21.5	73.5	
Granite 13mm Pen60-80	LA 96 hr	21.4	72.7	LA 96 hr	21.7	75.1		
	Granite 13mm LDPE 6%	Original	12.0	-	Granite 19mm LDPE 6%	Original	12.0	-
		SA	17.9	49.2		SA	18.7	55.8
		LA 24 hr	18.8	56.7		LA 24 hr	19.1	59.2
		LA 48 hr	19.8	65.0		LA 48 hr	19.6	63.3
LA 72 hr		19.9	65.8	LA 72 hr		20.1	67.5	
Granite 13mm LDPE 6%	LA 96 hr	19.4	61.7	LA 96 hr	20.6	71.7		
	Granite 13mm PG 76-22	Original	13.0	-	Granite 19mm PG 76-22	Original	13.0	-
		SA	24.5	88.5		SA	18.2	40.0
		LA 24 hr	25.3	94.6		LA 24 hr	25.2	93.8
		LA 48 hr	25.1	93.1		LA 48 hr	26.1	100.8
LA 72 hr		26.3	102.3	LA 72 hr		26.2	101.5	
Granite 13mm PG 76-22	LA 96 hr	26.4	103.1	LA 96 hr	27	107.7		

1) Original : fresh binder, 2) SA : Short-term aging, 3) LA : Long-term aging



(LMS) 비율이 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉, 노화 시간의 증가에 따라 아스팔트 바인더의 노화가 더욱 심화되며 이것이 LMS(%)의 증가로 나타난다는 것을 의미한다. 각 혼합물조합의 특성에 따라 다르지만 단기노화를 거친 혼합물의 LMS(%)는 18~24% 정도로 나타났고, 장기노화 96시간을 거친 혼합물의 LMS(%)는 약 20~27%로 나타났다. 골재 크기별로는 편마암 골재의 경우 19mm 골재의 LMS(%) 수준이 13mm 보다 다소 낮아 노화가 덜되는 것으로 보이거나 화강암 골재에서는 반대로 약간 증가되는 것으로 나타났다.

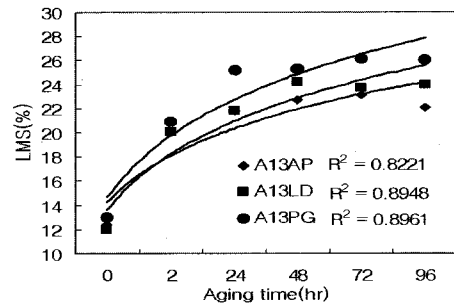
### 3.2 상관성 분석

#### 3.2.1 노화시간 증가에 따른 LMS(%)의 변화

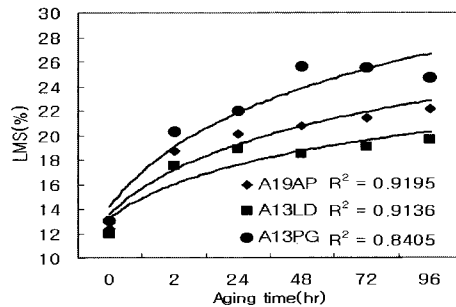
그림 3은 각 혼합물별 노화시간 증가에 따른 LMS(%)의 변화를 보여 준다. 상관성 분석결과 모든 혼합물의 노화시간에 따른 LMS(%) 변화에 대한  $R^2$ 값이 작게는 약 0.7에서 최대 0.92까지 나타나 인공노화방법으로 본 연구에서 시도된 노화시간이 체계적으로 LMS(%) 변화를 유발함을 확인할 수 있었다.

모든 골재의 조합에서 SBS로 개질된 PG76-22 혼합물(그림에서 A13PG, A19PG, B13PG, B19PG)의 LMS(%)가 가장 높게 나타났고 LMS(%) 증가비율도 가장 크게 나타났다. SBS 개질아스팔트 혼합물은 그림에서 보듯이 단기노화부터 급속하게 노화가 증가되며 LMS(%)가 늘어난다. 이는 SBS 재료 자체가 아스팔트와 결합된 상태로 가열되면서 어느 정도 이상 노화되면 고분자화가 너무 많이 진행되어 나타나는 현상이라 보여 진다.

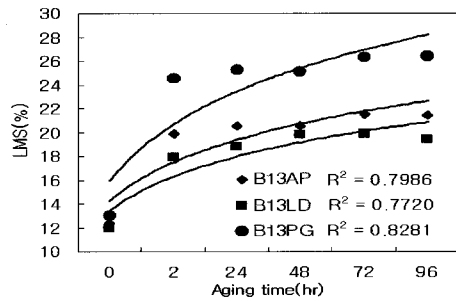
반면 LDPE 개질아스팔트 혼합물(그림에서 A13LD, A19LD, B13LD, B19LD)은 일반 아스팔트(AP) 혼합물보다도 편마암 13mm(A13AP)를 제외하고 노화가 가장 적게 되었으며 LMS(%) 변화율도 가장 낮았다. 즉 인공노화시킨 LDPE 개질아스팔트 "혼합물"을 샘플로 측정한 LMS(%)가 타재료에



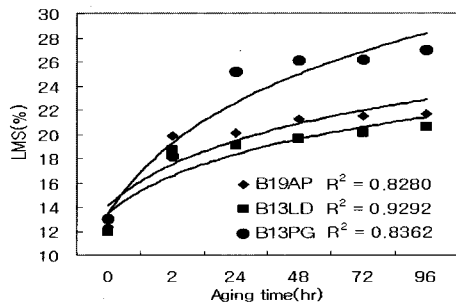
(a) gneiss 13mm



(b) gneiss 19mm



(c) granite 13mm



(d) granite 19mm

그림 3. Relationship of LMS (%) with aging time



비하여 가장 낮는데 이는 LDPE 개질아스팔트 “바인더” 만으로 RTFO나 PAV 처리한 후 측정된 LMS가 낮게 나타났던 선행연구(김광우 등, 2004) 결과와 유사하다. 본래 LDPE는 입자가 큰 폴리머로서 GPC 샘플 필터링 시에 제외되어 샘플로 주입되지 않는다(크로마토그램에 아스팔트 분자만 나타남). 반면 SBS는 입자가 작고 아스팔트와 결합되어있어 필터링 시에 제외되지 못하고 크로마토그램에 나타난다. LMS 분석시에는 이 SBS 분자는 제외시키고 아스팔트 부분만을 가지고 LMS를 계산하지만 그래도 SBS 개질아스팔트는 LMS가 가장 크다(실제 점도도 높음). 따라서 LDPE가 첨가된 아스팔트는 SBS 개질아스팔트 보다는 물론 무개질 AP-5보다도 노화가 덜 진행되므로 무언가 노화에 영향을 미치는 원인이 있을 것이라 추정할 수 있다. 하지만 이를 규명하기 위해서는 향후 보다 정밀한 연구가 필요하리라 본다.

### 3.3 LMS(%)의 변화에 따른 노화정도의 평가

일반아스팔트 바인더 및 개질아스팔트 바인더 모두가 노화과정을 거치지 않았을 경우 LMS(%)는 약 12~13%이었다. 김광우 등(2004)의 기존연구에서 일반 아스팔트 바인더의 표준 단기노화 모사방법인 RTFO (Rolling thin-film oven)의 단기노화를 거친 후의 LMS(%)의 증가율은 약 40%, 장기노화 모사시험인 PAV (Pressure Aging Vessel) 장기노화를 거친 후의 증가율은 약 68%로 나타났다. 따라서 이를 근거로 본 연구에서는 RTFO와 PAV와 비교하여 혼합물 인공노화수준을 분석하였다.

이를 위해 그림 4와 5는 각 골재별 및 바인더 종류별로 노화시간에 따른 LMS(%)의 증가율(표 2의 Increment of LMS)의 평균을 그림으로 나타낸 것이다. 그림 4에서 보듯이 13mm 골재의 LMS(%) 증가율이 19mm보다 다소 높았다.

그림 5에서 세 가지 혼합물의 2시간 단기노화후 LMS(%) 증가율평균(그림에서 Mean)은 55%를

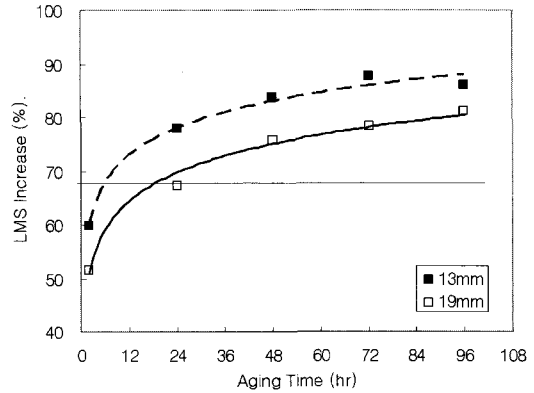


그림 4. Average LMS(%) increasing ratio for two-size aggregate mixes

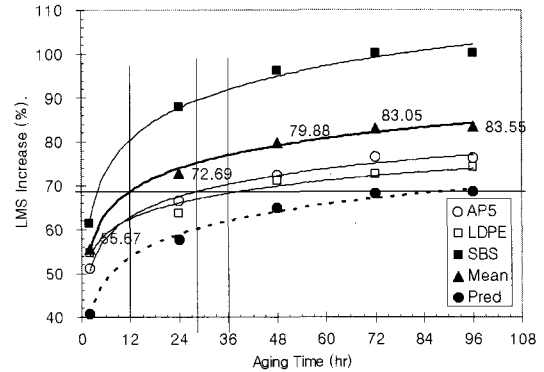


그림 5. Average LMS(%) increasing ratio for each binder mixture and mean and prediction line (data of table 2)

넘었다. 또한 시간에 따른 장기노화를 보면 단기노화 이후 24시간 만에 노화가 급속히 진행되고 그 이후에는 거의 직선적으로 서서히 진행되는 모습이다. 따라서 혼합물 내의 바인더는 다지기 전 2시간의 단기노화 때 급속히 노화되고 공시체로 제조된 후 초기 24시간 만에 추가노화가 그 이후 96시간까지의 노화보다도 더 많이 진행됨을 알 수 있다.

바인더별로 보면 SBS는 단기노화 후 LMS(%) 증가율이 60% 넘고 장기노화 몇 시간내에 이미 PAV 노화수준인 68%를 넘었다. LDPE는 단기노화로 약 54%, 이후 약 36시간 만에 68%에 도달하였으며, AP5는 단기노화로 약 50%, 그러나 30시간 이전에



68%에 도달하였다. 따라서 가장 노화가 더딘 LDPE를 기준으로 보면 장기노화는 36시간 정도가 필요해 보이며 타혼합물은 이 시간이면 충분히 노화가 됨을 알 수 있다.

그림의 평균(Mean) 선을 보면 154℃로 2시간 처리하는 단기노화방법은 LMS(%) 증가율로 볼 때 RTFO의 평균인 40% 보다 15.67% 포인트 높은 것으로 나타나서 이를 보완 조정하는 연구가 필요하다. 장기노화의 경우 24시간 노화도 약 72% 이상의 LMS(%) 증가율을 보여 PAV에 의한 증가율 68% 보다는 높고, 추세선상에서 약 12시간의 노화가 68%와 유사한 노화정도를 보임을 알 수 있다.

하지만 이는 단기노화 LMS(%) 증가율이 40%를 훨씬 넘는 과노화상태의 혼합물로 장기노화를 시작한 것이므로 단기노화를 약화시켜 LMS(%) 증가율을 40% 정도로 낮추어 놓고 장기노화를 시행해야 할 것이다. 이렇게 할 경우 그림 6의 점선인 추정선(Pred 1)과 같은 패턴의 노화가 진행될 것이다. 이 경우 PAV와 유사한 LMS(%) 증가율인 68%는 약 72시간 근처에서 얻을 수 있을 것으로 추정된다.

하지만 그림에서 단기노화 2시간에서 SBS와 AP5는 약 10% 포인트 차이가 나고 장기노화에서는 SBS가 AP5나 LDPE와 30% 전후의 차이가 난다. 그러므로 이와 같이 평균을 근거로 정할 경우 SBS는 충분히 추정치 이상 노화되었지만 AP5나 LDPE 바

인더 혼합물은 훨씬 덜 노화가 될 것이다. 즉, 단기노화의 경우 평균 LMS(%) 증가율이 40%로 하면 SBS는 45%이상 될 것이고 나머지는 35% 정도만 노화가 될 수도 있어 장기노화에서는 더 큰 차이가 날 것이다. 따라서 이를 감안하여 AP5나 LDPE가 적어도 40% 정도 노화가 되게 단기노화를 시키려면 평균의 추정선을 약 45%에서부터 시작해야 하고 이에 근거해서 장기노화시간을 정해야 할 것이다. 이 점을 고려하여 그런 그림이 그림 6이며 여기서 Pred 2 라인이 단기노화를 45%로 한 평균의 추정선을 나타낸다.

이 그림의 Pred 2선을 근거로 보면 단기노화로 LMS(%) 증가율을 평균 45% 되게 하고 장기노화에 들어가면 약 40시간 이상이면 LMS(%) 증가율 68%에 도달할 수 있다. 이 경우 SBS는 그보다 훨씬 높게, 그리고 SBS를 제외한 혼합물은 다소 노화정도가 낮을 수도 있을 것이다. 이 점을 고려하여 모든 혼합물에 소요의 노화를 유발하려면 48시간 정도의 장기노화를 시키는 것이 적절할 것이다.

따라서 단기노화의 강도를 좀 낮추고 장기노화는 110℃에서 약 48시간 이상 노화시킨다면 본 연구에 의한 아스팔트 “혼합물”의 노화방법이 아스팔트 “바인더” 노화시험인 RTFO 및 PAV에 의한 노화정도를 어느 정도 모사할 수 있을 것이다. 하지만 더 바람직한 것은 실제 여러 현장에서 포설시의 혼합물 온도, 출하후 포설시까지 시간 그리고 이때 채취된 샘플의 노화상태 (LMS) 등의 국내실결과 RTFO 노화정도가 고려되어야 할 것이다.

그리고 본 연구에서는 다양한 시간을 장기노화로써 검토하여 적절한 처리시간 결정방안을 마련하였으며 향후 실제 단기노화정도가 평균 LMS(%) 증가율 45%선이 얻어지도록 처리한다면 확실한 장기노화시간을 찾을 수 있을 것이다. 더구나 본 연구는 개질아스팔트도 포함한 연구여서 향후 실용성 있는 장 단기 노화온도 및 시간을 찾는 데 기초자료로 유용하게 쓰일 수 있을 것이다.

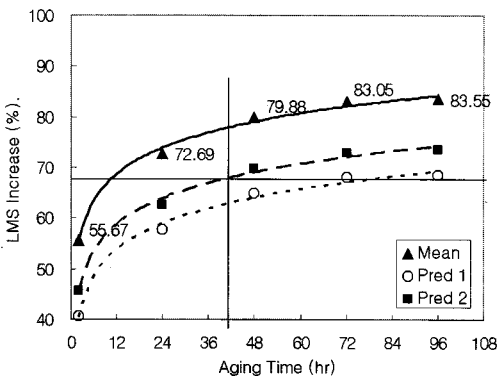


그림 6. Average LMS(%) increasing ratio and two prediction lines for all binder mixture





#### 4. 결론

본 연구에서는 아스팔트 혼합물의 인공노화방법의 개발을 시도하고, 인공노화시간 증가에 따른 바인더의 노화상태 변화를 비교고찰하였다. 혼합물 내 바인더의 노화상태는 대형분자비율(Large size molecule ratio: LMS%)로 나타낼 수 있으므로 GPC시험을 통해 LMS(%)를 구하고 이를 분석하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 단기노화와 장기노화에 따라 LMS(%)는 증가되거나 재료별 차이가 크다. 그중 골재보다는 바인더별 차이가 더 심했고 바인더별로는 SBS 개질혼합물이 일반 아스팔트 (Pen 60-80)과 LDPE 개질혼합물보다 매우 심하게 노화가 일어남을 알 수 있었다.
2. 단기노화에 의해 LMS(%)가 가장 심하게 증가되는 것으로 나타났고 장기노화는 초기 24시간 만에 LMS(%)가 가장 많이 증가하고 그 이후 선형적으로 서서히 증가되는 것으로 나타났다.
3. 이를 바인더의 RTFO 결과와 비교하면 154℃에서 2시간동안 혼합물의 단기노화는 과다하므로 시간단축, 온도변화 등의 조정이 필요하고 이후 장기노화는 단기노화에 의한 영향이 크므로 RTFO와 대등한 노화상태가 얻어지는 노화방안을 제시하여 각종 시험실 공시체 제조에 적용해야 할 것이다.
4. PAV 결과와 유사하도록 혼합물을 장기노화처리하려면 단기노화가 RTFO 처리와 유사하게 이루어졌을 경우 110℃에서 48시간 정도의 노화시 소요의 노화를 얻을 수 있을 것으로 사료되거나 구체적인 시간은 향후 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.
5. 이제까지의 연구는 제한된 재료에 의한 것이므로 보다 다양한 개질재료 등을 통해 획일적인 장단기 노화보다는 재료별 적절한 인공노화시간을 선정하는 연구도 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부의 지원과 교육부 BK21 친환경건설전문가 양성사업의 후원으로 강원대학교 석재복합신소재연구센터의 장비를 활용하여 이루어진 것입니다.

#### 참고 문헌

김광우, 안경애, 김성운, 이상범, 이순제 (2001), "개질 결합재의 노화 특성이 아스팔트 콘크리트의 특성에 미치는 영향," 강원대학교 석재신소재제품연구센터는 문집 제6권

김광우, 도영수 Amirkhanian, S. N. (2004), "Evaluation of aging characteristics of selected PMA using HP-GPC," 한국도로학회 논문집 제6권 2호, pp. 15-24.

Bell, C. A. (1989), "Summary report on aging of asphalt-aggregate systems," Report No. SHRP-A-305. *Strategic Highway Research Program*, National Research Council, Washington, D.C.

Collins, R., Shami, H. and Lai, J. S. (1996) "Use of Georgia Loaded Wheel Tester To Evaluate Rutting of Asphalt Samples Prepared by Superpave Gyrotory Compactor," In Transportation Research Record 1545, TRB, *National Research Council, Washington, D.C.*, pp. 161-168.

Bell, C. A., Wieder, A. and Fellin, M. J. (1994). "Laboratory aging procedures for asphalt aggregate mixtures: field validation," Report No. SHRP-A-390. *Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C.*

Jennings, P. W. (1980), "High Pressure liquid chromatography as a method of measuring asphalt composition," Report No. FHWA-MT-7930, *Dept. of Chemistry, Montana St. Univ., Bozeman, Mt.*

Kim, K. W. and Burati, J. L. (1993), "Use of GPC Chromatogram to Characterize Aged Asphalt Cement," *Journal of materials in Civil*



- Engineering, ASCE, Vol. 5, No. 1., pp.41-52
- Kim, K. W. and Burati, J. L. Park, J. S. (1995), "Methodology for Defining LMS Portion in Asphalt Chromatogram." *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 7, No. 1*, pp. 32-40
- Kim, K. W., Kim, K. A., Doh, Y. S. and Amirkhanian, S. (2006), "Direct Estimation of asphalt viscosity in RAP using GPC without binder recovery," *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 18, No 4*, pp.561-567
- Price, R. P. A. (1988). "Quantitative method to characterize asphalt using HP- GPC." *Dissertation in partial fulfillment of the requirements for Ph.D. in Civil Eng.*, Clemson University, Clemson, SC.
- Von Quintas, H., Scherocman J., Kennedy, T. and Hughes, C. S. (1988), "Asphalt Aggregate Mixture Analysis System," *Final Report to NCHRP*.

접 수 일: 2007. 6. 13

심 사 일: 2007. 6. 19

심사완료일: 2007. 11. 7