

老化에 의한 아스팔트 시멘트 形質變化의 HP-GPC 分析

HP-GPC Analysis for Characteristics Change of Asphalt Cement Due to Aging

김광우* · 연규석** · 최중대***

Kim, Kwang Woo · Yeon, Kyu Seok · Choi, Joong Dae

Abstract

This study was conducted to evaluate physical property change of asphalt cement chromatograms (by HP-GPC) were experimentally obtained from 3 types of AC-20 virgin ACs, 5 and 24-hour artificially aged ACs, and naturally aged 4 ACs that were recovered from 4 different roads. Absolute viscosity, kinematic viscosity and penetration were the physical properties tested. THF was used for mobil phase and RI detector was used as a detector for HP-GPC testing. Correlation between each physical property change and the chromatogram variation was evaluated. Each chromatogram was divided into ten-equal-time slices. The percentage areas of 10 slices and each physical property were used for statistical correlation evaluation. Statistical analysis results showed that each physical property had a strong correlation with the chromatogram characteristics. Aging was identified as a mechanism of change of molecular size distribution—increasing large size molecules and reducing corresponding small size molecules.

요 지

본 研究는 老化에 의한 아스팔트시멘트의 물리적 성질변화를 크로마토그램에 根據하여 流性學的으로 考察하였다. 3종류의 AC-20 아스팔트시멘트와 그것을 人工老化시킨 것 그리고 道路포장의 코어로부터 抽出해낸 自然老化된 아스팔트에 대하여 3가지 물리적 성질과, 高壓 粘 透過 크로마토그래프(HP-GPC)를 이용한 크로마토그램(分子粒度分布)을 測定하였다. 이 물리적 성질과 HP-GPC 結果를 分析하여 老化 前後의 크로마토그램과 물리적 성질의 相關關係를 考察하였다. 물리적 성질로는 粘度, 動粘度, 退入度を 求하였으며, HP-GPC 시험에서는 THF가 순환용액으로 사용되고 RI 檢출기가 사용되었다. 크로마토그램을 같은 時間間隔의 10구간으로 分割하여, 각 구간의 分割面積比와 물리적 성질이 統計分析에 사용되었다. 이 研究結果 아스팔트시멘트의 물리적 성질은 크로마토그램 특성과 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 또한 아스팔트의 노화는 尤성확적으로 분자입도의 구성비가 변화되는 과정임을 알 수 있었다.

1. 緒 論

아스팔트시멘트(Asphalt Cement : AC)는 鋪裝內에서 時間이 감에 따라 산화되면서 재료 자체의

* 정희원 · 강원대학교 농공학과 조교수

** 정희원 · 강원대학교 농공학과 교수

*** 정희원 · 강원대학교 농공학과 강사

性質이 變化하므로 鋪裝의 기능에 影響을 준다.⁽⁵⁾ 아스팔트의 老化는 일종의 化學變化로써 分子粒度 分布(Chromatogram)에 變化를 일으키는 것으로 알려져 있다.⁽¹²⁾ 따라서 아스팔트의 분자입도분포를 Chromatography를 사용하여 分析하면 분자입도분포에 의한 특성화(Characterization)가 가능하다. 그리고 老化以前 아스팔트와 老化된 아스팔트로부터 그 分布의 差異를 區分하여 그로 인하여 생기게 되는 形質상의 差異를 分析하여 낼 수 있게 된다면 이 分析은 아스팔트가 老化로 인하여 어떻게 Rheology의 變化가 생기게 되는가를 알 수 있게 해줄 것이다.

그러므로 아스팔트의 크로마토그램에 의한 특성화는 아스팔트의 性能을 豫想하기위한 試驗에서 필수적인 段階로 인식되고 있다. 일찌기 1916년 아스팔트 입자를 分割하기 위하여 溶媒(solvent) 抽出과정이 開發되었다. 당시 이 아스팔트 分割方法은 매우 복잡한 材料인 아스팔트를 形狀化하는 실용적인 方法으로 받아들여져 왔다. 그러나 그 過程들은 매우 費用이 많이드는 것이었기에 지금까지의 研究들중 대부분은 매우 조잡하고 초보적이었다.

High Pressure-Gel Permeation Chromatography (HP-GPC)는 分子粒度分布 形狀(Profile)으로부터 아스팔트를 특성화할 수 있는 比較的 새로운 技法이다.⁽²⁾ 이 기법은 아스팔트 분자입자들을 다공질의 겔 투수 Column을 이용하여 크기에 따라 분리하여 통과하게 하고, 그때 통과량을 검출기로 검출하여 기록하므로써 분자입도분포형상을 얻게하여 준다. 이分野의 한 調査에 의하면 HP-GPC는 아스팔트의 成分을 형상화할 수 있어, 아스팔트의 變化를 관찰할 수 있는 획기적인 方法으로 받아들여지고 있음을 알 수 있다.^(2,6) 게다가 HP-GPC형상은 低溫龜裂問題^(4,6,9)와 流動性^(3,4)과 關聯하여 아스팔트를 分析하는데 使用될 수 있음이 알려졌다.

본 研究의 目的은 아스팔트시멘트의 物理的 性質과 Chromatogram의 相關關係를 分析하고 아스팔트의 노화를 Chromatogram을 통하여 정의하는 것이다. 본 연구에서는 제한된 數의 실험실 및 현장

data를 이용하여 아스팔트 크로마토그램의 分割面積(Slice) 比와 물리적성질간의 상관관계를 통계적으로 분석하는 과정을 거친다. 아스팔트 특성화는 특히 鋪裝材料로써의 아스팔트시멘트를 선별해 내기 위한 過程에서 꼭 必要한 기초연구이므로 앞으로 계속적인 연구에 본 연구의 결과가 기초자료로 이용될 수 있을 것이다.

2. 實 驗

2.1 材料

본 研究에는 實驗室 data와 現場 data가 使用되었다. 實驗室 data에는 원산지가 다른 점성등급 AC-20인 아스팔트 시멘트(AC) 3종류(A, B, C라 命名)와 이들을 5시간과 24시간 인공노화시킨 것이 使用되었다. 현장 data로는 AC-20 아스팔트로 건설된 4개의 도로(R1, R2, R3, R4라 명명)로부터 core를 採取하여 이들 core로부터 상부2층(L1, L2)의 아스팔트를 抽出하여 이를 再生 아스팔트 시멘트(Recovered Asphalt Cement)라 命名하였다. 따라서 인공노화 AC와 再生AC를 합한 총 표본수는 (3-AC×3-Aging×2-Replication)+(4-Road×2-Layer×2-Replication)=34이었다. 아스팔트 코어를 용해시키기 위하여 Trichlorethylene(TCE)이 使用되었으며, Chromatogram 측정시험에는 HPLC 등급의 Tetrahydrofuran(THF)이 시료 희석용 용매와 유동액(Mobil Phase)으로 使用되었다.

2.2 試驗方法

2.2.1 人工老化(Artificial Aging)

선정된 아스팔트시멘트를 일정량씩 오븐에 넣고 5時間과 24時間동안 人工 老化시켰다. 아스팔트 박막가열시험(KS M 2258)에 사용되는 자전오븐(R revolving self heating oven)이 인공노화 기구로 使用되었다. 이때의 가열온도는 165°C 였으며 일단 아스팔트를 넣고 오븐의 온도가 165°C 에 달한 후 5 시간과 24시간씩 두조건으로 인공노화를 시켰다. 따라서 인공노화를 시키기 前의 아스팔트(0-Hr

Aging)와 5시간 노화시킨 아스팔트(5-Hr Aging), 그리고 24시간 노화시킨 아스팔트(1-Day Aging)를 구분 생성하였다. 인공노화시킨 아스팔트중 일부는 바로 粘度와 動粘度 측정 시료로 사용되었고 또다른 일부는 일정시간 상온에서 식혀 침입도와 Chromatogram 측정에 사용되었다.

2.2.2 現場 아스팔트 抽出

인접한 지역의 4개의 도로(R1, R2, R3, R4)로부터 직경 10 cm의 코어를 40개 이상씩 채취하여 표층과 중간층(L1, L2)으로 절단한 후 무작위로 선정된 공시체로부터 일정량의 아스팔트를 Abson 방법 (ASTM D1856¹⁰)에 의하여 추출하였다. 이들 도로의 포장은 코어채취 당시로부터 4~6년전 건설시 모두 점성등급 AC-20 아스팔트 시멘트를 사용하여 건설되었다.

2.2.3 物理的 性質

재생 및 인공노화로 얻어진 모든 아스팔트시멘트에 대하여 다음의 3가지 물리적 성질을 각각의 표준시험 방법에 준하여 측정하였다. 즉 粘度 또는 絶對粘度(Absolute Viscosity)는 ASTM D2170, 動粘度(Kinematic Viscosity)는 ASTM D2172, 針入度(Penetration)는 ASTM D5 시험방법에 의하여 측정하였다.⁽¹⁾ 각 實驗은 한 시료에 대하여 3번 반복 실험을 원칙으로 하였으나 시료취급상의 실수등으로 인한 부적격한 값을 제외하므로써 각 시료당 2개의 값을 실제 사용하였다.

2.2.4 Chromatogram

아스팔트의 Chromatogram은 성질상 Polymer류와 같이곡선이BaseLine과이루는면적이檢出된분자의량을 나타낸다. 위치상으로는 앞부분이입자가큰대형분자를 나타내며시간에따라뒤로가면서점차작은 입자의 분자를 나타낸다. 아스팔트 시멘트의 HP-GPC 측정으로부터 얻어진 Chromatogram의 한 예가 그림 1에 보여지고 있다. WATERS의 HP-GPC 기구가 Chromatogram 측정 및 분석기기로 사용되었다(그림 2 참조). Pore 크기 500 Å의 Ultrastyregel Column 2개와 1,000 Å짜리 Column 1개를 일렬로 연결하여 해상력을 증진시키도록 하였으며, 아스팔트에 대하여 감도가 좋은 Deferential Refractive Index Meter (RI Detector)가 검출기로 사용되었다. 유동액의 유동속도(Flow rate)는 분당 1ml로, 그리고 1회에 주입할 시료의 희석농도와 양은 Column의 용량과

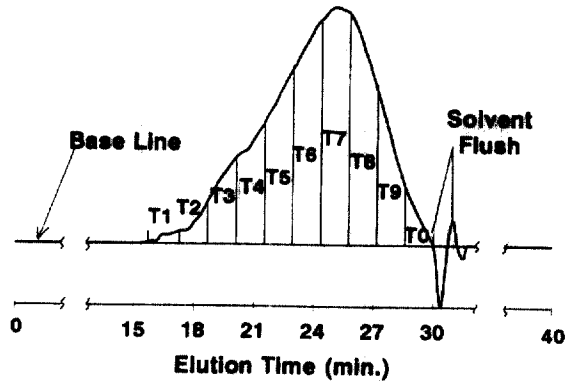


그림 1. Illustration of a HP-GPC Chromatogram and 10 Slices.



그림 2. HP-GPC Features with 1) Solvent Delivery System, 2) Injection System, 3) RI Detector.

검출기 감도를 고려한 豫備實驗을 통하여 사전에 0.25%와 100 μl로 결정하였다. 샘플은 주입(Injection) 직전 0.5 μm Filter를 사용하여 정제하였다. Chromatogram의 측정은 각 Sample에 대하여 2복제(Replication)하여 시행되었으므로 3종의 아스팔트에 각 노화조건에 따라 모두 18회(3 아스팔트×3 노화×2 복제)의 측정이 이루어졌다. 또한 재생 아스팔트에 대하여 모두 16회(4 도로× 2 층× 2 복제)의 측정이 이루어졌다. 문헌 및 既 研究結果^(8,10)를 토대로 實驗으로부터 얻어진 각 Chromatogram을 Elution이 시작된 지점부터 종점까지를 10개 區間으로 等分하고 각 區間에 포함된 面積의 100분율을 分析資料로 사용하였다.

표 1. Results of Physical Property Tests for 3 AC-20 Grade Asphalt Cements after 0, 5 and 24 Hours of Artificial Aging Conditioning in A Revolving Self Heating Oven at 165°C

Asphalt	Aging Cond.	Physical Properties					
		Abs. Viscosity (poise)		Kin. Viscosity (centistoke)		Penetration (0.01 mm)	
		Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
A	0-Hour	1067.0	48.1	415.5	0.7	84.4	1.7
	5-Hour	4464.7	152.1	691.5	16.3	57.2	1.0
	1-Day	70097.5	569.2	2159.5	0.7	24.7	2.1
B	0-Hour	2301.3	30.9	416.0	4.2	60.3	0.3
	5-Hour	4826.0	84.9	558.5	9.2	36.7	0.8
	1-Day	37700.5	1398.0	1644.0	10.6	20.5	0.9
C	0-Hour	2296.7	78.0	434.0	1.4	81.7	1.6
	5-Hour	5861.0	195.1	648.5	7.8	49.3	0.6
	1-Day	120849.0	19.8	2025.5	71.4	24.3	2.5

표 2. Results of physical property tests for 4 recovered asphalt cements

Asphalt Source	Aging in the Roads	Physical Properties					
		Abs. Viscosity (poise)		Kin. Viscosity (centistoke)		Penetration (0.01 mm)	
		Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
R1	6 Years	27928.2	4155.0	2193.0	106.4	18.6	0.9
R2	5 Years	21809.0	17417.5	1441.8	657.8	38.5	7.2
R3	4 Years	16428.0	6229.5	1484.5	154.9	35.5	3.8
R4	5 Years	27331.7	9605.3	1995.3	832.2	33.9	4.8

표 3. Results of Duncan's Multiple Range Test for Three Physical Properties Using GLM Procedure of SAS

Property Means	Asphalt Condition							
	0-Hr		5-Hr		Recovered		1-Day	
Abs. Viscosity (centistoke)	1879	— NS —	5018	— NS —	23374	— S —	76216	
Kin. Viscosity(poise)	422	— S —	633	— S —	1779	— S —	1943	
Penetration(0.01 mm)	75.1	— S —	47.1	— S —	31.6	— NS —	22.7	

NS: Not Significantly different at $\alpha=0.05$ level,

S: Significantly different at $\alpha=0.05$ level.

3. 結果 및 考察

3.1 物理的 性質

3종류의 아스팔트시멘트를 노화처리 前後에 측정 한 각각의 물리적 성질의 평균값과 표준편차는 표

1과 같다. 각 물리적 성질별로 노화에 따른 변화를 보면 점도(Abs. Viscosity)와 동점도 (Kin. Viscosity)는 노화됨에 따라 그 값이 급격한 증가를 보였다. 또한 침입도(Penetration)는 급격한 감소를 보였다. 재생아스팔트에 대한 물리적 성질 실험결과는 표 2

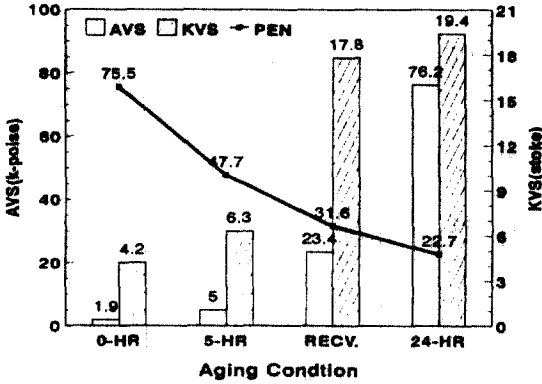


그림 3. Changing Patterns of 3 Physical Properties under 4 Aging Conditions.

와 같다. 또한 각 성질에 대한 인공노화된 아스팔트와 재생 아스팔트와의 비교를 그림 3에서 보여주고 있다. 일반적으로 재생아스팔트의 물리적 성질은 5시간과 24시간 인공노화시킨 아스팔트성질 사이의 값을 보였다. 표 3은 각 성질에 있어서 재생 아스팔트와 3조건의 인공노화 아스팔트간의 통계적 검증결과를 Duncan의 Multiple Range Test를 이용하여 보여주고 있다. 動粘度는 각 아스팔트 상태간에 모두 유의차를 보였으나 粘度와 針入度는 다르게 나타났다.

3.2 Chromatogram 시험

그림 1에서 보듯이 검출기로부터 시료가 검출되기 시작한 약 15.5分 경의 Elution 시작 지점부터 Solvent Flush가 시작되는 약 30分 경의 Elution 종료 지점까지의 Chromatogram의 형상을 동일한 시간대로 10等分하여 각 구간의 명칭을 첫번째 T1부터 10번째 T0이라 命名하였다.

이 시료 검출 구간내에서 한 아스팔트(B)의 3가지 노화상태를 거친 후 측정된 Chromatogram 형상을 그림 4에서 대표적인 예로 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 본래 아스팔트(0-Hr)와 5시간 노화시킨 아스팔트(5-Hr)의 형상에는 미소한 차이만을 보였으나 24시간 노화후에는 앞부분이 현저히 크게 나타나면서 상대적으로 뒷부분이 전반적으로 줄어들어 노화에 따라 앞부분에 큰 차이가 생김을 보였다. 각 구간별 넓이의 곡선하의 전체면적에 대한 비율(%)의

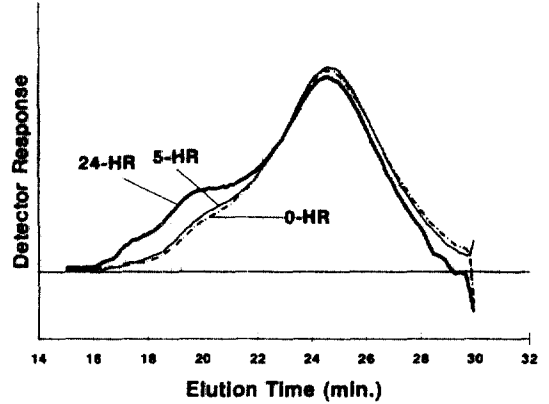


그림 4. Chromatogram of Asphalt B under 3 Aging Conditioning.

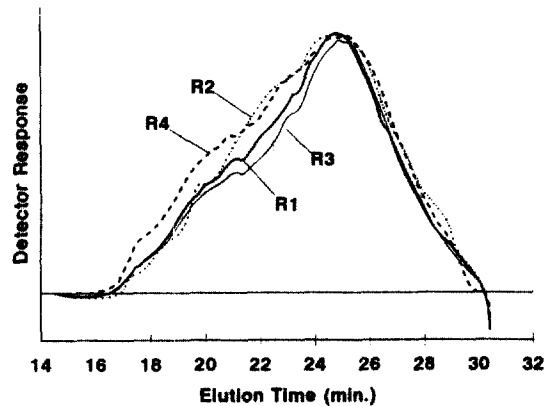


그림 5. Chromatograms of Recovered ACs from L1 of 4 Roads.

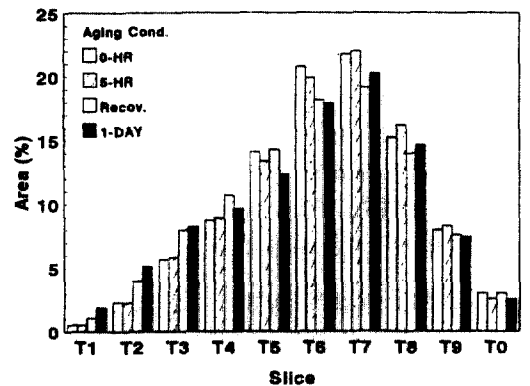


그림 6. Area (%) of Chromatogram for 4 Aging Conditions.

평균은 표 4에서 보여주고 있다. 구간별 면적비율의 차이를 SAS의 ANOVA Procedure를 이용하여 통계적으로 검증한 결과를 표 5에서 보여주고 있다. 이 표에서 보듯이 곡선의 맨 끝부분인 T9과 T0을 제외하고는 모든 구간이 노화조건에 따라 통계적으로 큰 유의차를 보였다.

재생아스팔트에 대하여도 같은 방법으로 Chromatogram이 측정되었다. 전체 4개도로의 L1층으로부터 얻어진 아스팔트에 대한 Chromatogram을 그림 5에서 예로 보여주고 있다. 각 구간별 넓이의 곡선하의 전체면적에 대한 비율(%)을 인공노화 AC들과 비교한 것을 그림 6에서 보여주고 있다. 이 그림에서 보듯이 더 많이 노화된 아스팔트(Recovered, 1-Day)일수록 대형분자인 T1~T4의 면적비가 큰 것으로 나타났고, 중형분자인 T6, T7의 면적비는 덜 노화된 상태(0-HR, 5-HR)에서 더 크게 나타났다.

3.3 相關分析

아스팔트시멘트의 물리적 성질과 Chromatogram의 분할면적비간의 상관관계를 분석하기 위하여 회귀분석을 시행하였다. 각각의 물리적 성질을 종속 변수로 그리고 각 분할면적비 (T1~T0)를 독립 변수로 하여 모델을 설정하고 SAS⁽¹¹⁾ Stepwise Procedure를 이용하여 線形重回歸分析(Multiple Linear Regression Analysis)을 수행하였다. 최대 결정계수(Maximum R²) Option을 이용하여 Stepwise를 수행한 결과 세 가지 성질 모두가 분할면적 T1부터 T9까지 9개 변수에 의하여 가장높은 상관관계를 보였다. 이는 기 연구결과들^(7,8,10)과 일치하는 것이다. 또한 이때의 결정계수 값은 모두 0.9 이상으로 현장 data가 사용된 점과 원산지가 다른 3종류의 아스팔트를 사용한 점을 고려할 때 매우 높은 값이라 할 수 있을 것이다. 그중 粘度와 動粘度는 각 값에 자연대수를 취한 값으로 회귀분석한 것이 더 좋은 상관비를 보여주는 것으로 나타났다. 각 직선에 대한 회귀직선의 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{LAVS} = & 1.03T1 - 0.12T2 - 0.78T3 + 2.27T4 - 1.98T5 \\ & + 0.51T6 - 0.09T7 - 0.26T8 - 0.16T9 + 16.47 \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LKVS} = & -0.23T1 + 0.36T2 - 0.57T3 + 0.79T4 - 0.51T5 \\ & - 0.27T6 + 0.24T7 - 0.35T8 - 0.06T9 + 15.0 \quad (2) \end{aligned}$$

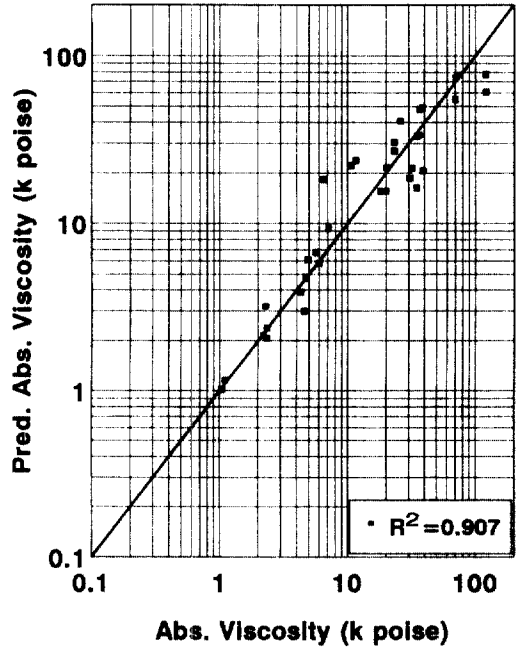


그림 7. Relation of Absolutet Viscosity and Predicted Value.

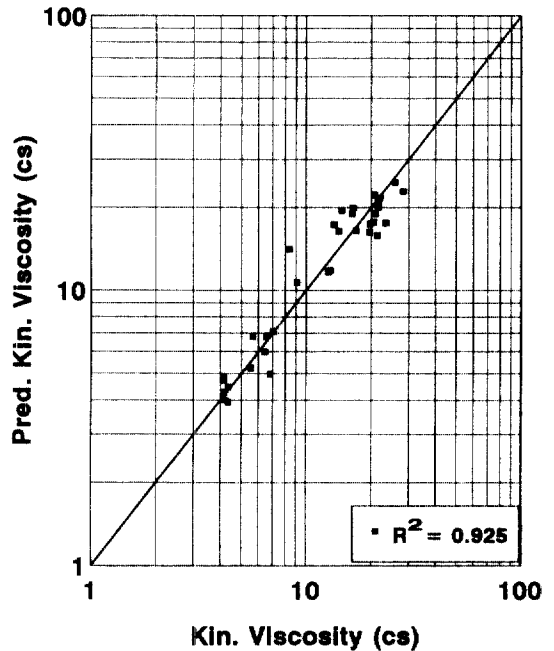


그림 8. Relation of Kinematic Viscosity and Predicted Value.

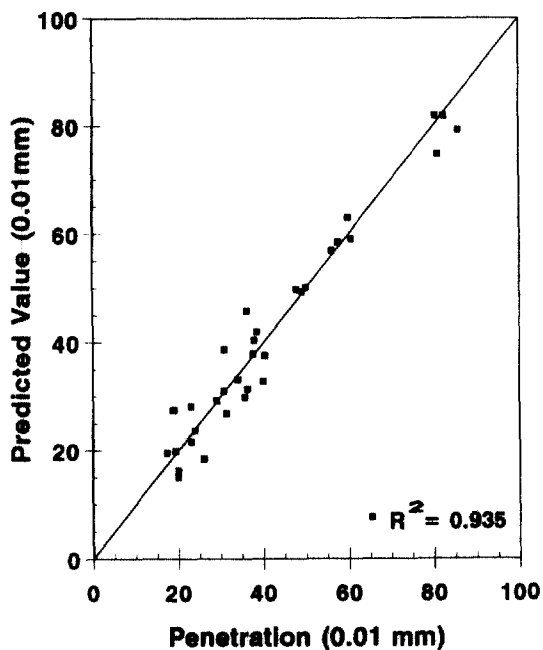


그림 9. Relation of Penetration and Predicted Values.

$$\begin{aligned}
 \text{PEN} = & -14.77T_1 + 1.54T_2 + 33.07T_3 - 68.67T_{14} \\
 & + 59.52T_5 - 16.60T_6 - 1.54T_7 + 17.79T_8 \\
 & - 11.09T_9 - 153.13
 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,

LAVS = Log(Abs. Viscosity),

LKVS = Log(Kin. Viscosity)

PEN = Penetration

이다.

그림 7~9는 각 성질의 실제값에 대하여 회귀분석으로부터 추정된 값과의 관계를 보여주는 것이다. 이 그림에서 보듯이 상관관계가 높음($R^2 > 0.9$)은 크로마토그램의 특성이 물리적 성질 결정에 매우 밀접한 관계를 가짐을 나타내는 것이며, 따라서 이 세 가지 물리적 성질은 크로마토그램의 분할면적 비에 의하여 잘 추정될 수 있음을 보여주는 것이다. 특히 크로마토그램상 앞부분의 증가와 뒷부분의 상대적 감소에 따른 물리적 성질의 변화도 이 회귀분석으로 잘 추정될 수 있음을 알 수 있다.

표 4. Mean and Standard Deviation for Percent Area Under the GPC Curve for Each Slice of 3 AC-20 Virgin Asphalt Cements

Slice	Aging Condition							
	0-HR (N=6)		5-HR (N=6)		Recovered (N=15)		1-Day (N=6)	
	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.	Mean	Std.
T1	0.64	0.29	0.54	0.06	1.09	0.25	1.91	0.87
T2	2.66	0.60	2.27	0.31	3.97	0.66	5.18	0.99
T3	6.21	0.56	5.82	0.26	7.95	0.56	8.23	0.27
T4	9.12	0.31	8.91	0.24	10.91	0.57	9.63	0.47
T5	14.25	1.16	13.35	0.72	14.26	0.97	12.32	0.94
T6	20.54	2.80	19.88	2.27	18.13	1.48	17.87	2.38
T7	20.98	1.24	21.99	1.21	19.13	1.03	20.25	1.81
T8	14.61	1.86	16.17	2.07	13.92	0.76	14.60	1.42
T9	7.83	1.78	8.43	1.82	7.60	0.92	7.43	1.76
T0	3.15	1.10	2.62	0.32	3.04	0.53	2.97	1.22

표 5. Results of GLM Procedure to Test Difference in Each Slice Among Virgin Asphalt Sources and Asphalt Conditions

Source	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T0
Aging Condition	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.002**	0.024*	0.002**	0.020*	0.731	0.440

*Significant at $\alpha=0.05$, and **significant at $\alpha=0.01$ measured by the Probability Associated with the F-Statistics.

3.4 優秀 아스팔트 추정

일반적으로 아스팔트의 粘度和 針入度는 취성(Brittleness)과 경도(Hardness)에 관계가 있다. 아스팔트는 포장에 시공되어 노화에 의하여 또는 凍結時에 취성을 보이며 이는 포장 균열의 한 원인이 된다. 그런데 본 연구에 의한다면 노화의 경우 이 취성증가의 원인은 바로 아스팔트내의 대형입도분자 비율의 증가라는 것을 알 수 있다(그림 4, 표 1, 4 등). 즉 아스팔트의 노화는 아스팔트내의 대형분자 입도 구성비를 증가시키는 과정이며 그로 인하여 취성이 증가됨을 알 수 있었다. 따라서 같은 노화 조건하에서 아스팔트 내의 대형입도분자비율의 증가가 작은 아스팔트를 크로마토그램의 분석을 통하여 선정하여 포장에 사용하면 취성에 의한 피해를 줄일 수 있으리라는 추측을 할 수 있다. 그렇게 할 경우 매년 國內는 물론 全世界的으로 道路 및 飛行場 등에 사용되고 있는 아스팔트의 物量을 생각할 때 이 分野의 研究結果는 經濟적으로 상당한 이득을 주게되는 것임을 알 수 있다.

4. 結 論

본 연구에서는 아스팔트시멘트의 老化에 의한 物理的 性質 變化가 Chromatogram상의 어떠한 差異에 기인하는지를 分析, 규명하였다. 실험실에서 인공노화된 아스팔트와 현장으로부터의 재생아스팔트로부터의 물리적 성질과 크로마토그램을 측정, 비교 및 통계적 기법을 사용하여 분석한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) 아스팔트의 시멘트의 老化는 유성학적으로는 아스팔트내의 분자입도구성비가 변화되는 과정임을 알 수 있었다.

2) 아스팔트시멘트는 老化에 의하여 硬化 및 점성의 증가를 가져오며, 이 변화는 특히 아스팔트 크로마토그램상의 전반부면적의 상대적 증가와 관계가 있었다.

3) 粘度, 動粘도와 針入度の 변화는 크로마토그램을 10等分한 분할면적비중 앞으로부터 9등분(T1~T9)의 변화와 밀접한 관계(결정계수 $R^2=0.9$ 이상)가 있음을 線形重回歸分析으로부터 발견하였다.

또한, 본 연구에 사용된 24시간 인공노화 방법은

아스팔트내에 너무 급속한 형질변화를 유발하였으며 반면 도로상에서의 수년간의 노화는 보다 완만한 속도로 아스팔트의 형질변화를 유발하는 것으로 나타났다. 그리고 본 연구의 실용화를 위하여는 鋪裝用으로 쓰이는 아스팔트시멘트의 최적모형을 크로마토그램을 이용하여 설정하고 각종 폴리머를 사용하여 그 분자입도 구성비를 改善하는 지속적인 研究가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 1991년 한국과학재단 일반기초연구사업의 지원으로 이루어진 연구이며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Construction, Volume 4.03 Road and Paving Materials; *Traveled Surface Characteristics*, American Society for Testing and Materials, Easton, MD, 1989.
2. Bynum, D. and Traxler, R. N., "Gel Permeation Chromatography Data on Asphalts Before and After Service in Pavement", *Proceeding of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 39, 1970.
3. Glover, C. J., Davison, R. R., Bullin, J. A., Button, J. W., and Donadson, G. R., "Chemical Characterization of Asphalts and Performance Related Properties", *Transportation Research Record* 1171, TRB, Washington, DC. 1988.
4. Hattingh, M. M., "The Fractionation of Asphalt", *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 53, 1984.
5. Jennings, P. W., "High Pressure Liquid Chromatography as a Method of Measuring Asphalt Composition", Report No. FHWA-MT-7930, Department of Chemistry, Montana State University, Bozeman, MT.
6. Jennings, P. W., Pribanic, J. A. S., Dawson, K. R., Smith, J. A., Koontz, S., Spittler, T. and Shane, S., "Uses of High Performance Gel Permeation Chromatography for Asphalt Analysis", *Presented at the 64th Annual Meeting of the Transportation Research Board Meeting*, January, 1985.

7. 김광우, 연구석, “아스팔트 시멘트의 分子粒度分布 特性에 따른 아스팔트 콘크리트의 성질분석”, **콘크리트학회지** 제3권 제1호, 1991. 3.
8. Kim, K. W. and Burati, J. L., “Using GPC Chromatogram to Characterize Aged Asphalt Cements”, In-press, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, 1992.
9. Plummer, M. A. and Zimmerman, C. C., “Asphalt Quality and Yield Predictions from Crude Oil Analysis”, *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 53, 1984.
10. Price, R. P., “A Quantative Method to Characterize Asphalt Using High Pressure Gel Permeation Chromatography”, Dissertation in Partial Fulfillment of the Requirements for Ph.D in Civil Engineering, Clemson University, Clemson, SC, 1988.
11. SAS User's Guide: Statistics, SAS Institute Inc., Cary, NC, 1987.
12. Traxler, Ralph, “Correlation of Composition with Durability and Rheology of Asphalts”, ASTM preprint, 1963.

(接受 : 1992. 7. 27)