

# 아스팔트 재생시 준고온화 첨가제의 회생효과 분석

## Rejuvenation Effect of Warm-mix Additives for Asphalt Recycle

김진철\* · 유민웅\* · 김현환\*\* · 김광우\*\*\*

Jin C. Kim · Min Y. Ryu · Hyun H. Kim · Kwang W. Kim

### 1. 서론

가열아스팔트 혼합물의 온도를 낮추어 준고온 혼합물(Warm-mix)을 생산하는 공법은 여러 가지가 있으나 그중에서도 플랜트에서 준고온 혼합물 첨가제 (Warm-mix additive)를 첨가하는 방법이 가장 일반적인 방법이다. 또한 아스팔트 혼합물의 재활용 시에도 이를 사용하여 준고온에서 재활용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 따라서 준고온 첨가제의 사용이 회수바인더의 노화 상태를 회생시켜주는 역할을 하고 동점도가 신규바인더의 값보다 낮거나 유사하여 작업이나 다짐이 잘되게 해주는지를 확인 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 135°C 정도의 준고온에서 아스팔트를 재활용하기 위한 기초 연구로서 외국에서 개발된 2가지 첨가제를 사용하여 노화아스팔트를 일정비율 재생시 어떤 효과를 내는지를 고찰하였다. 이를 위해 회수아스팔트 포장재료 (Reclaimed asphalt pavement: RAP)로부터 노화된 아스팔트를 회수(Recover)하고 이를 20%와 30% 신규 아스팔트와 혼합하면서 준고온 첨가제의 첨가가 혼합된 바인더의 노화특성을 얼마나 회생시키는지 분석하였다. 따라서 본 연구의 목적은 준고온 첨가제가 노화 바인더와 회색된 재생바인더의 노화 상태를 회생시키는지의 분석을 통하여 준고온으로 아스팔트를 재활용함에 있어서 그 가능성을 확인하는 것이다.

### 2. 사용재료 및 시험방법

#### 2.1 사용 재료

본 연구에서 사용된 신규 아스팔트(Virgin asphalt)는 재활용을 목적으로 하므로 침입도 등급이 높은 AP3 (Pen. 80-100)를 주문하여 사용하였다. 하지만 표 1에서 보듯이 몇 번의 시험에도 침입도 값은 등급 기준치인 80을 벗어나 AP5(Pen. 60-80)에 해당하였고 PG 고온등급 상으로도 70°C에 해당되는 등 상품기준에 비하여 매우 경질인 것으로 보인다.

RAP은 경북 고령과 그 인근지역에서 수거된 것으로 이로부터 추출된 회수 아스팔트의 특성은 표 1과 같이 침입도나 점도상으로 비교적 노화가 심한 편은 아닌 것으로 나타났다. 사용된 준고온 첨가제는 Wax계의 Sasobit와 Emulsion계의 Evotherm으로 각각 생산자 추천 첨가량은 총 바인더 량의 2%와 0.5%이었다.

표 1. Property of aggregates.

Binder	Penetration (0.1mm)	Kinematic viscosity (cp)	Absolute viscosity (p)	PG high-temp. grading (°C)
AP3	72.7	371	2,520	70
Recovered	22.2	3,725	42,480	-

#### 2.2 실험방법

##### 2.2.1 노화아스팔트의 회수

\* 강원대학교 대학원 지역건설공학과 석사과정

\*\* 강원대학교 대학원 지역건설공학과 박사과정

\*\*\* 강원대학교 지역기반공학과 교수 · 공학박사 · 033-250-6467(E-mail : asphalt@hanmail.net), 교신저자

RAP으로부터의 바인더 회수는 Absorbance방법에 의하여 수행되었다. 한 번에는 약 60g 정도의 노화된 상태의 바인더가 회수되므로 약 1kg이상의 회수바인더 확보를 위해 20회 정도의 Absorbance recovery를 매번 Random으로 추출된 약 1,200g의 RAP에 대해 수행하였다. 회수된 바인더는 한 개의 큰 캔에 모두 취합되어 후에 각종 실험에 사용되었다.

### 2.2.2 재생 바인더와 준고온 첨가제의 배합

재생바인더는 회수바인더와 신규바인더의 비율을 각각 2:8과 3:7로 혼합하여 제조하였다. 이는 재활용시 재생비율 20%와 30%를 가정한 조합이다. 일단 재생비율에 따라 재생바인더가 제조되면 준고온 첨가제를 생산자가 제시한 방법에 따라 첨가하였다. 우선 Sasobit (SA)와 Evotherm (EV)의 첨가비율은 2%와 0.5%를 적용하고 각종 시험을 통해 첨가량의 조정을 검토하였다.

### 2.2.3 GPC 시험

그림 1은 Gel-permeation chromatogram (GPC) 시스템을 보여 주고 있으며 그림 2는 GPC를 통해 샘플이 검출되어 나타난 크로마토그램의 모식도를 보여주고 있다. 크로마토그램은 분자입자의 분포를 보여주는 하나의 곡선이며, 이 곡선이 수평기선(Base line)과 이루는 전체면적을 100%로 하여 필요한 구간의 면적 비를 구한다. 하나의 GPC 곡선은 3가지 분자입도 그룹으로 분리된다. 분자 크기에 따라 초기에 대형분자 입자(Large molecular size: LMS)가 검출되고 서서히 작은 입자의 분자들이 검출되므로 시간상 앞부분은 LMS를 나타낸다. 다음 구간을 중형분자입자(Medium molecular size :MMS), 마지막 구간을 소형분자입자(Small molecular size: SMS)로 구분한다.



그림 1. GPC system.

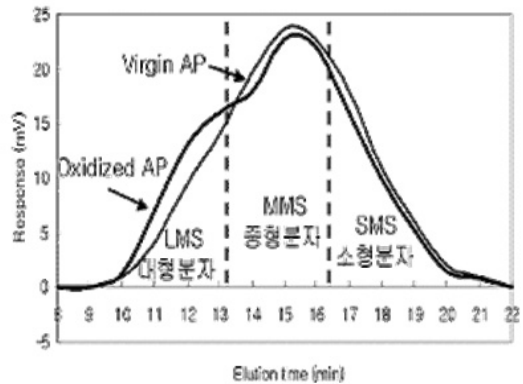


그림 2. Illustration of typical asphalt chromatogram.

이렇게 구분된 구간 중 앞부분의 LMS가 아스팔트의 노화 특성과 상관관계가 높다. 즉, 그림에서 Oxidized AP 곡선과 같이 노화된 아스팔트는 LMS값이 크고 노화 안 되었거나 노화상태가 약하면 그 값도 낮다. 이는 아스팔틴량과 관계가 있으며 또한 절대점도,  $G^*/\sin\delta$  등과 상관성이 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 LMS 값을 각 시료마다 구하고 이 값을 바인더의 노화 상태와 연관 지어 분석에 사용하였다.

### 2.2.4 물리적 특성 시험

바인더의 물리적 특성으로 본 연구에서는 침입도, 동점도 및 절대점도를 사용하였다. 이를 위해 침입도는 KS M 2252에 의해 25°C에서 각 샘플마다 측정하고, 동점도는 KS F 2392에 의하여 115, 135°C에서 Brook Field 점도계를 사용하여 측정하였다. 본래 동점도는 135°C에서 측정하나 여기서는 준고온 혼합물의 다짐온도를 115°C를 목표로 하기 위해 같은 방식으로 단지 온도만 낮추어 측정하였다. 절대점도는 60°C에서 바인더

의 제로 (0) 전단유동을 나타내는 기준치로 진공 점도계를 사용하나 이 값은 LMS와의 상관성 분석에서  $R^2$  이 0.95이상 나타나므로 본 연구에서는 선행 연구에서 제시한 관계식 (1)을 이용해서 추정하였다.

$$y = 13.082 e^{0.3204x} \text{ ----- (1)}$$

여기서 y는 절대점도(p)이고 x는 LMS 값이다.

### 3. 결과 및 고찰

회수바인더의 각종 특성은 이미 표 1에 나타내었고 측정된 LMS는 25.24%이며, 그림 3-7은 각 바인더 재료별 LMS 및 물성의 변화를 나타낸다. 순수바인더 AP3의 LMS는 16.42이고 RAP 회수바인더에 AP3를 80%, 70% 섞어 재생비율 20%와 30%의 바인더를 만들면 그 LMS는 각각 18.72와 19.44가 됨을 알 수 있다. 이는 100% 회수바인더 LMS가 25.24이던 것이 신규바인더와 희석으로 그만큼 희생(Rejuvenation)된 것이다.

준고온 첨가제의 영향을 보기 위해 각 재생비율별로 Sasobit (SA)와 Evotherm (EV)을 각각 2%와 0.5%씩 넣고 LMS의 저하여부를 측정하였다. SA의 경우 재생비율 20%와 30%에서 공히 LMS가 낮아지는 효과를 보여주지 못했다. 반면에 EV 0.5%는 각 재생비율 별로 LMS를 10% 정도 낮춰주는 효과를 보였다. 따라서 EV는 함량에 따른 차이 분석의 필요하여 각각 0.2% 포인트씩을 상하로 조정하여 0.3%와 0.7%에 대해서도 LMS를 측정하였다. 하지만 SA는 LMS 저하효과가 거의 없어 함량에 따른 차이를 분석을 할 필요가 없는 것으로 판단하였다.

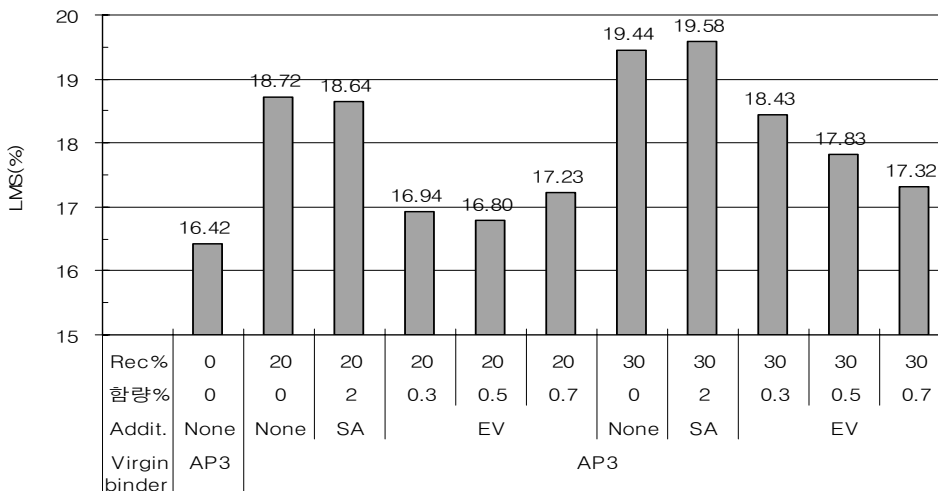


그림 3. Change of LMS due to WMA additives.

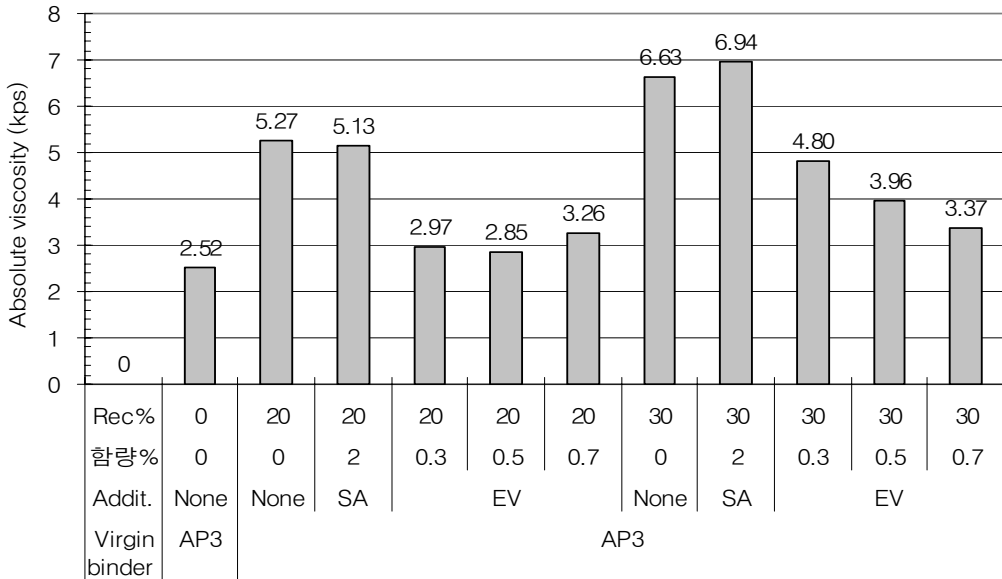


그림 4. Change of abs. viscosity due to WMA additives.

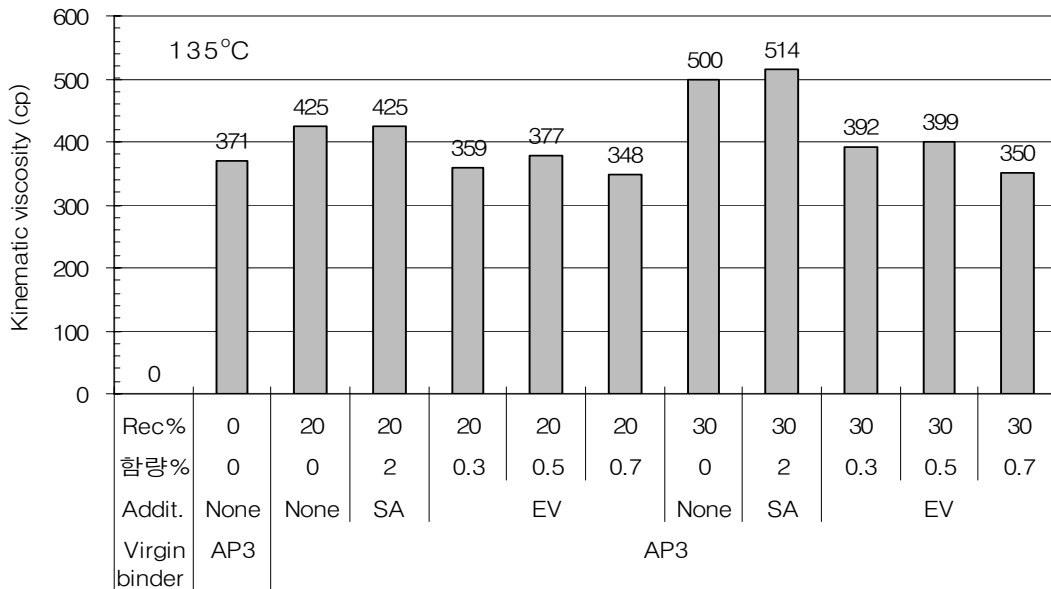


그림 5. Change of kin. viscosity due to WMA additives at 135°C.

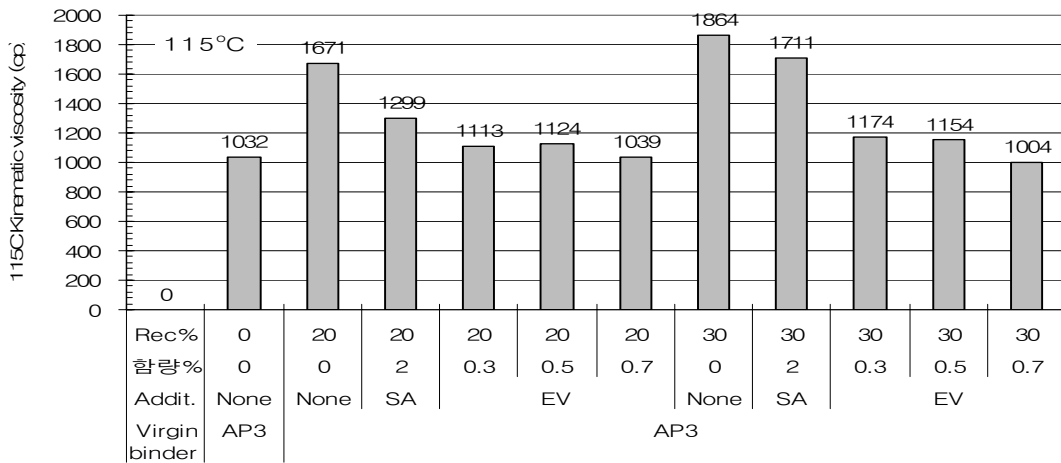


그림 6. Change of kin. viscosity due to WMA additives at 115°C.

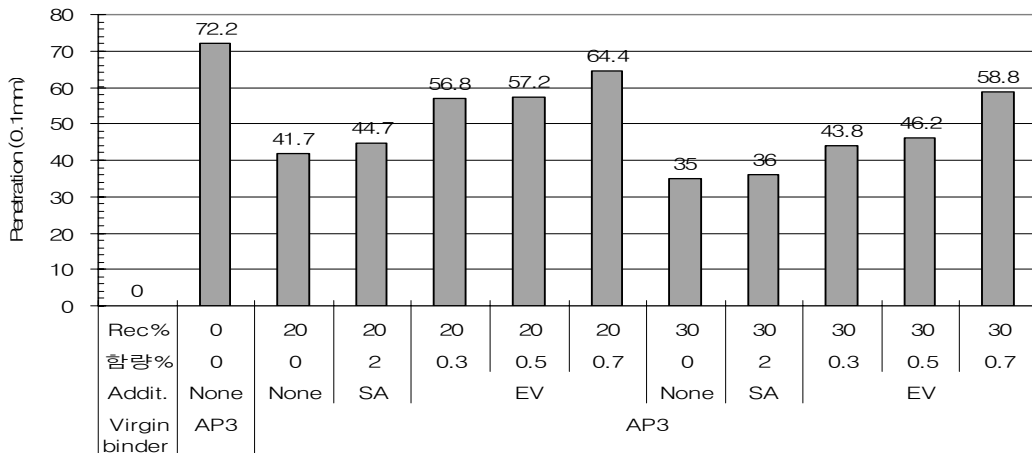


그림 7. Change of penetration due to WMA additives.

함량별 실험결과 재생비율 30%에서는 함량의 증가에 따라 LMS가 계속 낮아지는 것으로 나타나 0.7%가 가장 효과적인 것으로 나타났지만 재생비율 20%에서는 0.5%에서 LMS가 가장 낮았다. 이를 통해 EV는 재생 바인더의 노화 상태를 회생시키는 효과가 분명히 있는 것으로 판단되었다. 한편 재생비율 20%에서의 LMS 저하율 0.897(16.8/18.72)이나 노화바인더가 많이 포함된 30%에서 회생효과 0.891(17.32/19.44)가 유사하여 재생 함량이 높은 경우도 회생효과가 좋은 것으로 판단되었다.

그림 4-6은 각각 바인더의 절대점도 (Abs. viscosity), 동점도 (Kin. viscosity), 침입도의 변화를 보여준다. 그림 4의 절대점도의 경우 LMS와 경향은 같으나 준고온 첨가제에 의해 점도가 약 50%가 강하되어 EV가 노화바인더의 노화 상태를 상당히 많이 회생시켜주는 것을 알 수 있었다.

그림 5의 135°C 동점도의 경우에도 EV가 재생바인더의 동점도를 신규 AP3 이하로 낮추어주어 회생효과가 상당히 크며 특히 0.7%에서 가장 큼을 알 수 있었다. 하지만 SA는 앞에서와 마찬가지로 전혀 동점도의 저하가 거의 없었다. 그림 6의 115°C 동점도의 경우에도 EV가 재생바인더의 동점도를 신규 AP3 이하로 낮추어주어 회생효과가 상당히 크며 특히 0.7%에서 가장 컸다. SA는 20% 재생바인더에서는 어느 정도 효과를 보이나 재생율이 높은 30%에서는 효과가 미흡한 편으로 나타났다. 침입도의 경우(그림 7)도 동점도와 유사하게 SA는 거의 효과가 없는 반면 EV는 크게 효과를 보이며 특히 0.7%에서 바인더가 급속히 물러짐을 알



수 있었다.

EV가 재생바인더를 회생시켜 LMS와 물성을 신규바인더 수준 또는 그 이하로 낮추는 효과를 보이는 것으로 보아 재생비율을 본 연구에서 적용한 30%보다 다소 더 높이는 데 사용할 수도 있을 것으로 보인다. 또한 일반혼합물보다 더 낮은 온도에서인 115°C에서 EV 0.7%의 경우 AP3의 동점도보다 더 낮출 수가 있어 준고온에서도 재생 혼합물의 생산이 가능할 것으로 판단된다. 그리고 필요시 EV의 함량을 더 높이는 것도 검토해볼 필요가 있으나 혼합물의 소성변형저항성 및 균열특성과 연관된 연구를 통해 결정해야 할 것이라 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 RAP을 재활용함에 있어 준고온 첨가제의 사용이 회수 아스팔트 포장재료(RAP)의 노화바인더의 상태를 회생시켜 준고온으로 재활용이 가능한지를 판단하기 위한 연구로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 준고온화 첨가제를 생산자 추천 함량으로 첨가한 결과 EV는 노화바인더의 회생에 효과적이나 SA는 그렇지 못한 것으로 나타났다.
2. EV는 함량에 따른 차이를 보이며 재생함량이 높을수록 EV의 첨가량이 높은 것에서 효과를 내는 것으로 추정된다.
3. EV가 재생바인더를 회생시켜 측정된 물성과 LMS, 절대 점도, 동점도를 신규바인더나 그 이하의 수준으로 낮추는 효과를 보이고 있다. 특히 115°C의 동점도 시험에서도 신규바인더보다 낮은 동점도를 보여 일반적으로 사용하는 가열재생 아스팔트 혼합물보다 낮은 준고온에서도 재생 혼합물의 생산이 가능할 것으로 판단되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 강원대학교 석재복합신소재연구센터의 지원 및 장비를 활용하여 이루어진 것입니다.

#### 참고 문헌

1. 라일호, 유민용, 김현환, 백성현, 도영수, 김광우,(2008), “중열 아스팔트혼합물 개질제로 발포 폴리스티렌의 재활용,” Proceedings, International Symposium for Advanced Technology in Asphalt Pavements (ATAP), Kangwon National University, Korea, pp. 31-48.
2. Baek, S. H., Kim, H. H., Doh, Y. S., Kim, K. W.,(2009), “ Estimation of High-Temperature Properties of Rubberized Asphalt Using Chromatograph,” KSCE Journal of Civil Engineers, 13(3), pp. 161-167.
3. Kim, K. W., Burati, J. L. and Park, J. S., (1995), “Methodology for Defining LMS Portion in Asphalt Chromatogram,” Journal of Materials in Civil Engineering, 7(1), ASCE, pp. 31-40.
4. Kim, K. W., Kim, K. A., Doh, Y. S. and Amirghanian, S. N., (2006), “Estimation of RAP’s binder viscosity using GPC without binder recovery,” Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, 18(4), pp. 561-567.
5. Kim, K. W., Amirghanian, S. N., Doh, Y. S. and Jung, J. H., (2007) “Reducing Stiffness of Oxidized Binder in Recycled Asphalt Mixture by Stage Mixing,” Journal of AAPT, Vol. 78.
6. Lee, S. J., Amirghanian, S. Park, N. W. and Kim, K. W.,(2009), “Characterization of warm-mix asphalt binder containing artificially long-term aged binders,” Construction and Building Materials, 23(6), pp. 2371-2379.