

# 재생 아스팔트 첨가제의 성능비교 연구

## A Study on the Performance Comparison of the Agents for Asphalt Pavement Recycling

(Received November 15, 2011 / Revised December 7, 2011 / Accepted December 20, 2011)

김인수<sup>1)\*</sup>, 강민수<sup>2)</sup>, 서영찬<sup>3)</sup>, 이봉원<sup>4)</sup>

<sup>1),2)</sup>한국도로공사 도로교통연구원, <sup>3)</sup>한양대학교 교통공학과 부교수, <sup>4)</sup>누보켄 대표이사

In-Soo Kim<sup>1)</sup>, Min-Soo Kang<sup>2)</sup>, Young-Chan Suh<sup>3)</sup>, Bong-Won Lee<sup>4)</sup>

<sup>1),2)</sup>ExTRI, Korea Expressway Corporation,

<sup>3)</sup>Dept. of Transportation Engineering, Hanyang University, <sup>4)</sup>Nuvochem Co. Ltd.

### Abstract

The usage of recycling agent is the most effective way of enhancing the performance of recycled asphalt pavement. Generally, many countries accepted these recycling agents retarding the various types of cracks resulted in binder aging. Contrary to such general tendency, recycling agents are used as very small amount in domestic recycling plant. The main reason of this is relatively high price of recycling agent. Even though agent price is high, agent can be a effective and economical way of alternative in asphalt recycling.

In this study, penetration and softening point test performed by using RTFO(Rolling Thin Film Oven) aged binder. And, PG(Performance Grade) at high temperature, fatigue and MSCR(Multi Stress Creep and Recovery) tests exercised. The oil type agent is worked well to retrieving target penetration number. In PG test,  $G^*/\sin\delta$  of agents identically showed high value and polymer type agent is good at recovery value.

**키워드** : 재생 첨가제, 재생아스팔트, 가열재생아스팔트, 재생아스콘

**Keywords** : Recycling agents, Rejuvenator, Recycled Asphalt, Reclaimed Asphalt, Hot Plant Recycling, RAP

### 1. 연구의 배경 및 목적

재생아스팔트는 친환경적이고 경제적인 대안으로 이미 선진 각국에서는 실용화되어 활발하게 사용되고 있는 실정이다. 이런 해외사례를 살펴보면 단순히 일반 아스팔트 포장으로의 재활용뿐만 아니라 OGFC(Open Grade Friction Course) 포장 등과 같은 다양한 고내구성 포장재로서도 재활용이 추진되고 있는 상황이다.

이런 해외의 사례와는 달리 아직까지 국내에서는 일반 아스팔트포장으로도 활발한 재활용이 되고 있지는 않으나 업계 및 정부기관의 새로운 품질관리 노력으로 그 성장을

가속화하고 있는 상황이다.

본 연구에서는 이런 재생아스팔트 포장의 품질향상 및 관리 노력의 일환으로 그동안 별다른 주목을 받지 못하던 재생아스팔트 포장의 첨가제에 대한 실내실험을 실시하고 결과를 분석하고자 하였다.

재생아스팔트 첨가제는 선 경험 국가들에서는 사용이 보편화되어 아스팔트 순환골재를 포장용으로 사용하는데 필수적인 것으로 인식되고 있으나 한국에서는 현재까지 사용실적이 미미한 수준에 머물러 있다. 그 이유는 재료비 상승으로 신재 아스팔트포장과 비교측면에서 불리하게 작용하는 것이 가장 주요한 이유이다. 그러나, 첨가제를 사용하여 표층 또는 순환골재의 투입 비율을 높이는 경우 가격경쟁력을 높일 수 있게 되기 때문에 첨가제의 활용은

\* Corresponding author

E-mail: vyaay004@hanmail.net

품질경쟁력까지 갖게 되는 합리적인 선택이다. 실제로 해외에서는 첨가제를 활용하여 표층 재활용을 실시하며 80% 이상의 순환골재 투입을 실시하고 있다.

본 연구에서는 재생아스팔트포장의 성능을 향상 시킬 수 있는 최적 대안인 첨가제의 성능을 종류별로 실험하였다.

연구방법은 고온에서의 소성변형 저항성과 관련된 기존 아스팔트 바인더 공용성능(PG)시험, 저온에서의 반복하중에 의한 균열 저항성과 관련된 피로(Fatigue) 시험, 공용성능 시험의 고온소성변형 저항 성능과 관련된 MSCR시험을 실시하고 분석을 실시하였다.

## 2. 첨가제 특성 관련 기존 연구

국내 및 해외연구 중에서 대표적인 연구를 다음과 같이 정리하였다.

### 2.1 국내 연구현황

순환골재에서 추출한 구제 아스팔트 바인더의 화학적 조성 성분들을 분석하고 아로마틱기유를 첨가제로 사용(10%, 20%)하여 정상복원정도를 침입도, 연화점, 신도 등 측면에서 분석하였다. 화학적 성분들을 분석한 결과 첨가제를 20% 사용했을 때 AP-3 아스팔트와 유사한 성분비로 복원되는 것을 확인하였다. 침입도, 연화점과 신도 시험에서도 20% 첨가량으로 AP-3 수준으로 회복되었다<sup>4)</sup>.

구제 아스팔트(침입도 18, 28, 36, 48)의 시료에 석유계와 식물계 재생첨가제를 투입하고 침입도회복 효과를 실험하였다. 실험 결과 신재아스팔트와 거의 같은 수준으로 회복되었으며 그 경향은 투입비율에 따라 비례적이었다. 석유계 재생 첨가제의 효과가 식물유계 재생첨가제보다도 침입도, 연화점과 점도를 현저히 회복시키는 것으로 나타났다. 침입도 회복 실험에 적용된 첨가제 투입비율은 14.4~19.7%, 연화점 회복의 경우에는 3.6~28.6%였다. 또한, 신재 아스팔트의 점도 수준(890 poise)로 회복하기 위한 60°C 점도 실험결과에서도 석유계 첨가제의 혼입률은 12.6~25%로 나타났다<sup>1)</sup>.

노화 아스팔트(침입도 35), 일반 AP-3와 첨가제를 70:25:5로 배합한 경우와 첨가제를 사용하지 않은 경우에 대한 실내실험결과 저온 피로균열성능은 첨가제를 사용하여 증진되었다. 또한, 이 실험에서 노화 아스팔트의  $G^*/\sin \delta$  값은 64°C에서 6.9kPa이었으나 첨가제 5% 혼합한 경우 1.5kPa로 떨어졌다. 또한, 노화 아스팔트를 사용하여

RTFO시험을 실시한 후  $G^*/\sin \delta$  값은 15.9kPa에서 2.9kPa로 떨어져 성성이 개선되는 것을 알 수 있다<sup>5)</sup>.

왁스계 첨가제에 대한 중온형 아스팔트 혼합물에 대한 자외선노화를 모사하고 인장력시험과 유변학적인 거동을 실험한 결과를 발표하였다. 동 연구에서 자외선 노출실험을 통한 노화의 영향은 그리 크지 않았으며 왁스 첨가제를 혼합한 결과 고온에서는 공용성등급을 만족하며 저온에서의 인장특성도 동시에 개선된다는 연구결과를 발표하였다<sup>3)</sup>.

중온형 첨가제를 사용하여 노화 바인더의 115°C에서의 동점도(Kinematic Viscosity)를 측정된 결과 신규바인더보다도 낮은 값을 나타내었고 이를 근거로 낮은 온도에서도 재생아스팔트 혼합물 생산이 가능하다는 연구결과도 발표되었다<sup>2)</sup>.

### 2.2 해외 현황

해외에서는 초기에는 일반 아스팔트로 재활용하였으나 특수 아스팔트의 비율이 증가하여 현재는 SMA 포장에도 순환골재를 적용하고 있는 상황이며 소성변형과 관련된 신규시험법도 도입하였다.

위싱턴 교통국에서는 45mm 기존 포장을 제거하고 가열 재생 아스팔트 혼합물을 시공하였는데 이 혼합물은 72%의 순환골재와 0.75%의 재생 첨가제로 구성되었다. 시공 8년 후에 추출 회수한 아스팔트의 침입도와 점도는 시방규정을 만족하는 것으로 보고되었다<sup>10)</sup>.

버지니아주에서는 20%이상의 순환골재를 적용하는 새로운 규정을 제정하였다. 이 규정과 관련하여 21~30%의 순환골재투입비율에 대한 실내실험결과 이 범위에서는 피로, 소성변형과 수분민감성 측면에서 차이가 없다고 발표하였다<sup>9)</sup>.

아스팔트바인더의 복잡한 성분구성 및 물리적 성상으로 인하여 아스팔트 바인더의 공용성능을 예측하고 이의 결과를 혼합물의 성능예측과 연결시키고자하는 새로운 연구로서 MSCR(Multi Stress Creep and Recovery) 시험이 개발되었다<sup>6)</sup>.

MSCR시험법은 기존의 아스팔트 시험법과는 달리 선형 특성뿐만 아니라 비선형적 특성까지 고려한 시험법이다. 기존의 공용성등급은 재료비 상승 뿐 만아니라 고점도의 특성만 고려하여 바인더의 고온등급을 상향시키는 결과를 나타내었다. 이에 미국의 여러 주와 연구소에서는 아스팔트 바인더의 실제 공용성능으로서 탄성회복(percent recovery)를 고려한 시험법을 탄생시켰는데 본 연구에서는

국내에서는 최초로 이 방법으로 국내 바인더와 첨가제 혼합 바인더에 대한 실험을 실시하고 결과를 분석하였다. 이 MSCR시험법은 고온에서의 아스팔트포장의 소성변형저항 특성과 가장 관련이 깊은 인자로 평가되고 있다.

### 3. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 첨가제의 성능을 확인하고자 DSR(Dynamic Shear Rheometer)과 RTFO(Rolling Thin Film Oven), 침입도 시험기 등을 사용하여 첨가제를 혼합한 각 종류별 아스팔트 바인더의 물성을 실험하였다.

#### 3.1 실험재료

실험에 사용된 재생첨가제 b, c의 성상은 다음의 Fig 1, 2와 같은 입상재료형을 사용하였으며, a는 액상형을 사용하였다. Fig 1, 2에서와 같이 재생첨가제 b, c는 현장 플랜트에서 배합조에 투입이 용이하도록 입상형으로 제조되었다.



Fig. 1 "b" material



Fig. 2. "c" material

실험재료로 사용된 첨가제는 오일류, 중온형 개질제, 폴리머 계열 개질제이며 Table 1에 순서대로 a, b와 c로 표시하였다.

첨가제와 혼합되는 노화 아스팔트는 정유사에서 수집한 AP-5아스팔트를 인공노화시켜 제조하였다. 혼합방법은 제조사에서 권장한 방법을 그대로 적용하여 재료분리 발생을 최소화 하고자 하였다.

Table 1. Mixing conditions of Recycling Agents

Type	Mixing condition	Remark
a	3% of RAP weight	Oil type
b	1.5% of RAP weight	Warm Mix (granular type)
c	3.0% of RAP weight	Polymer type

#### 3.2 실험계획

실험에 사용된 DSR은 HAAKE RS-1 모델이며 평판은 지름 25mm와 8mm를 사용하였다(Fig 3).

Table 2는 재생아스팔트 첨가제의 피로성능을 비교하기 위한 DSR 실험조건 및 재료계획을 표로 나타낸 것이다. 시험온도는 영하의 기온에서는 아스팔트 바인더의 경화 현상으로 인한 DSR 시험장비 과부하로 인한 시스템손상을 막기 위하여 10°C 온도를 선택하여 실험을 실시하였다 또한 변위레벨도 몇 차례의 시행착오를 거쳐 선택하였다.



Fig 3. DSR(Dynamic Shear Rheometer); upper(25mm) and lower plate

Table 2. Test specimen and test condition

Base binder	Aged binder	Agent type	Temp. (°C)	Strain Level(%)
A	A'	a	10	0.005 (Identical to all test)
		b		
		c		

아스팔트 바인더의 인공노화에는 RTFO 시험기를 사용하였다(Fig. 4). RTFO 시험기를 사용하여 PG규격 시험에 규정된 온도 및 시험조건을 동일하게 유지하고 노화 시료를 제작하였다.



Fig. 3 RTFO(Rolling Thin Film Oven) Tester

## 4. 실험 결과

### 4.1 침입도 실험 결과

다음 Table 3은 노화바인더와 각 첨가제를 함유한 혼합 바인더의 침입도와 연화점 시험결과를 보여주고 있다.

Table 3. Pen. and Softning point test result

Temp.(°C)	A	A'	a	b	c
Penetration	73	47.3	58.3	37.3	28.3
Softning point	44	48.5	46	57	56

실험결과 a 첨가제 혼합 바인더의 침입도 회복이 가장 크게 나타났다. c 첨가제 혼합 바인더는 폴리머가 주성분으로 침입도가 크게 하락하였다. 그러나, 연화점의 경우에는 a첨가제를 제외하고 b, c첨가제가 회복성능을 보여주고 있는 것으로 나타났다.

시험결과 침입도의 회복이 가장 크게 나타난 a 첨가제를 노화정도가 심한 두 종류의 순환골재 추출 바인더에 혼합하여 침입도 회복성능을 실험한 결과는 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 초기 침입도 14와 19로 나타난 노화 시료가 기준 침입도(55)로의 회복에는 약 20%

의 첨가제의 함유량이 적절한 것으로 나타났다.



Fig. 4 Variation of Pen. by agent content

### 4.2 PG 실험 결과

Table 4에 일반 아스팔트(A)와 비교하여 노화시료(A')의  $G^*/\sin \delta$  값의 변화 경향을 정리하였다. 이 실험결과로부터 76°C에서 A바인더의  $G^*/\sin \delta$  값이 1kPa 이하였고 A' 바인더의  $G^*/\sin \delta$  값이 76°C에서 2.2kPa로 나타나 A 바인더의 고온등급을 PG 70로 결정하였다.

첨가제 a, b와 c 모두 A'시료와 비교하여  $G^*/\sin \delta$  급격한 상승을 가져왔으며 이중에서 a 혼합 바인더의 증가가 가장 작게 나타났다. 가장 낮은 a혼합 바인더의 경우도 PG등급의 최대고온 등급을 상회하였다. 특히, 폴리머 첨가제 c의 경우에는 증가경향이 제일 크게 나타났다.

### 4.3 피로시험 결과

다음 Fig. 5은 a혼합바인더의 피로시험결과를 예로 나타낸 것이다.

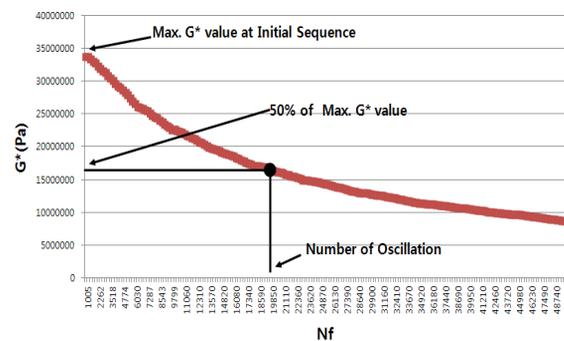


Fig. 5 Fatigue test result of "a" mix

Table 4. DSR test Results( $G^*/\sin \delta$  values)

(Unit ; kPa)

Temperature(°C)	A	A'	a	b	c
46	31.0	57.4	24.5	77.2	102.5
52	14.0	30.3	46.8	139.8	201.4
58	5.2	15.5	39.4	123.6	170.1
64	3.1	7.3	28.5	82.1	119.2
70	1.6	3.4	19.9	51.2	51.1
76	0.9	1.7	13.5	31.7	13.5
82	0.5	1.0	7.7	16.4	30.7

다음 Table 5에 피로시험 결과를 정리하였다.

Table 5. Fatigue Test results(at 10°C, 10Hz)

Name	Number of Oscillation	remark
A	36,000	Base binder
A'	22,330	RTFO binder
a	19,100	oil type
b	18,520	warm mix
c	26,578	Polymer

Table 5에서 보는 바와 같이 A의 피로수명과 비교하여 노화의 영향으로 A'의 피로수명이 감소한 것을 알 수 있으며 a, b혼합 바인더의 경우는 c혼합 바인더와 비교하여 피로수명이 감소하였다.

c혼합 바인더의 경우에는 A'시료의 피로수명 이상을 회복한 것을 알 수 있는데 이는 주요한 저온 영역에서의 폴리머의 탄성이 가장 큰 역할을 한 것으로 판단된다.

#### 4.4 MSCR 시험결과

RTFO 노화바인더를 ASTM 시험법7)에 따라 실험을 수행하였고 고온 공용성 등급이 70으로 결정되었으므로 64°C에서 MSCR 시험을 실시하였다.

다음 Fig. 6과 같이 첨가제 c 혼합바인더의 리커버리가 가장 크게 나타났다.

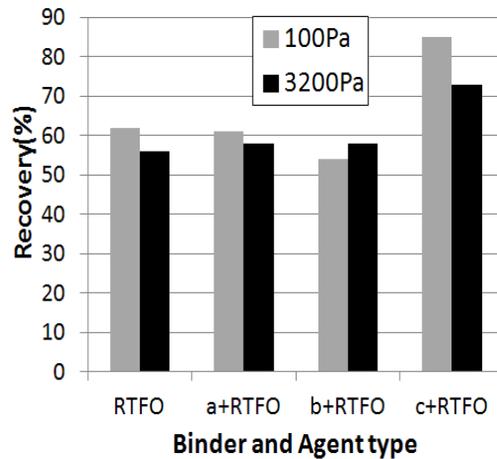


Fig. 6 Recovery Test result(MSCR)

Fig. 6에서 c 첨가제 혼합 바인더의 리커버리(%) 가 100, 3,200Pa의 시험조건 모두에서 타 첨가제들 보다 약 15 ~ 30% 향상된 것을 알 수 있다.

## 6. 결론

재생아스팔트 첨가제는 재생포장의 품질 및 공용성능과 가장 깊은 관련이 있으나 재생아스콘의 제품가격의 상승과 관련되어 사용이 거의 되지 않고 있는 실정이다. 현재까지 첨가제 수요도 미미함에 따라 국내에서 제조되는 제품의 종류도 제한적이지만 재생아스콘 품질향상에 가장 큰 역할을 하는 첨가제의 수요는 향후 크게 늘어 날수 밖에 없다. 특히, 이들 첨가제들 중에서 중온형은 일반과 재생 아스팔트포장에서 그 효과가 나타나 그 사용처도 확대 추세에 있다. 이에 일반적인 오일형(석유계) 첨가제 뿐만 아니라 중온형과 폴리머 첨가제까지 침입도 및 DSR실험

을 실시하였다.

이들 첨가제들 실험결과 전통적 시험법인 침입도, 연화점 회복 부분에서는 일정부분 효과가 나타난 첨가제도 있었다. 그러나, 현재 널리 적용 중인 PG등급시험에서는 등급감소효과가 나타나지 않았다. 또한, 첨가제 c는 저온에서의 피로수명과 고온에서의 소성변형저항성능을 동시에 만족시키는 첨가제로 평가되었다.

이상 재생 첨가제의 물성 분석 결과를 다음과 같이 정리하였다.

1) RTFO 노화 시료에 각 개질 첨가제를 혼합하여 침입도 시험을 실시한 결과 a 첨가제는 3% 혼합비율에서 비노화 아스팔트(A)와 비교하여 80%정도 회복되는 것을 알 수 있다. 현재 침입도를 이용한 재생 아스콘 배합 설계에 a 첨가제를 사용하는데 문제가 없다. b, c 첨가제는 침입도 회복이 각각 50%, 38%로 배합설계에 주의를 필요로 하며 배합비율에 따른 추가적인 침입도 실험이 반드시 필요하다.

2) 노화도가 매우 높은 재생 추출 아스팔트를 이용한 침입도 변화 실험에서는 약 20%의 a 첨가제를 사용하는 경우에 기준 침입도 55로 완전히 회복되는 것으로 나타났다.

3) 노화시료(A')에 각 첨가제를 혼합하여 기존의 아스팔트 바인더 공용성 등급 시험법으로 실험한 결과 고온등급이 매우 크게 나타났다. 이는 등급 기준을 상회하는 것으로 향후 공용성 등급으로 배합설계 되는 경우에 신재 혼합물과 순환골재의 비율에 따른 재생첨가제의 적절한 양을 고려하는 것이 절대적으로 필요하다.

4) 저온에서의 피로시험결과 “c” 첨가제가 노화 시료(A) 보다 수명이 향상된 것으로 나타났다. “a”, “b” 첨가제는 노화 시료(A)보다 작게 나타났으나 그 하락은 크게 나타나지 않았다.

5) MSCR 시험 결과에서는 “c” 첨가제가 RTFO 노화 바인더의 리커버리를 크게 향상시키는 것으로 나타났다.

- 2) 김진철, 유민용, 김현환, 김광우, “아스팔트 재생시 중 고온화 첨가제의 회생효과 분석”, 한국도로학회 학술대회 논문집, pp. 151-156, 2009
- 3) 이재준 등, “중온화 첨가제를 사용한 중온 아스팔트 바인더의 특성 평가”, 한국도로학회논문집 제 13권 2호, pp. 1-8, 2011. 6
- 4) 정두희, “정상복원을 위한 페아스팔트 화학적 분석 및 재생 첨가제 연구”, 한국도로포장공학회지 논문집 제 3권 1호, pp. 177-184. 2001. 3
- 5) 차순만, “페아스콘 재활용을 위한 재생 첨가제 성상 및 성능비교 연구”, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 261-264, 2000. 10
- 6) Implementation of the Multiple Stress Creep Recovery Test and Specification”, Asphalt Institute, 2010.
- 7) D7405: Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery(MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer, American Society for Testing and Materials, 2010.
- 8) Carl M. Johnson, Hussain U. Bahia and Haifang Wen, “Evaluation of Strain-Controlled Asphalt Binder Fatigue Testing in the Dynamic Shear Rheometer, 4th International SIIV Congress-Palermo, 2007.
- 9) G. W. Maupin, Jr., Satcey D. Diefenderfer and Hames S. Gillespie, “Virginia’s Higher Specofocation for Reclaimed Asphalt Pavement”, Transportation Research Record 2126, pp. 142-150, 2009.
- 10) R.V. Leclerc, R. L. Shermerhorn and J. P. Walter, “Washington State Department of Transportation First Asphalt Concrete Recycling Project-Renslow to Ryegrass”, FHWA DP-39-3, FHWA, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 1978.

## 참고문헌

- 1) 건설교통부, “건설폐기물의 재활용 처리 기술개발 I”, pp. 35-47, 2000.6

### 재생 아스팔트 첨가제의 성능비교 연구

재생아스팔트 포장은 환경과 경제성 측면에서 일석이조의 대안으로 인식되고 있습니다. 이런 효과를 얻기 위해서는 국내에서 이 분야에 필요한 기초적인 연구가 필요하다고 판단됩니다. 특히, 재생 첨가제는 재생아스팔트의 품질 향상에 가장 큰 효과를 얻을 수 있기 때문에 조속히 발전하고 연구되어야 할 분야입니다. 본 연구에서는 국내에서 시판되는 재생 첨가제에 대해서 물성 실험을 수행하였습니다.

인공 노화 아스팔트 시료에 첨가제를 혼합하여 침입도 실험결과 오일계 첨가제는 목표 침입도를 회복하였습니다. 같은 시료를 기존의 공용성 등급실험 방법으로 실험한 결과에 따르면  $G^*/\sin\delta$  값이 대폭 증가하여 기준을 매우 크게 상회하는 것으로 나타났으며, 피로시험에서는 노화바인더 수명과 근접한 결과를 보였습니다. 기존 공용성 등급의 소성변형 저항관련 시험인 MSCR 결과에서는 폴리머형 첨가제의 리커버리가 향상되는 것으로 나타났습니다.