

노화 아스팔트 바인더의 회생 및 개질효과 연구

Quantitative Analysis of Rejuvenation and Modification Effect of Aged Asphalt Binder

김성운* · 박지용** · 김광우***

Kim, Sungun · Park, Jiyong · Kim, Kwang Woo

1. 서론

국내에서는 매년 유지보수, 확포장, 굴착 및 노면절삭 등으로 매년 상당량의 폐 아스팔트 콘크리트(페아스콘)가 발생되고 있다. 이렇게 발생된 페아스콘은 적은 양이 아스팔트 포장재료로 재활용이 되고 있다. 페아스콘은 골재와 아스팔트가 포함된 고급의 재료이므로 보다 많은 양의 재활용이 필요하다. 페아스콘의 재활용은 전 세계적으로 이슈가 되고 있는 환경문제 해결 측면에서 뿐만 아니라 자원이 부족한 국내의 경우에 고부가가치의 자원을 재활용하는 측면에서 필수사항이라 할 수 있다. 선진국에서는 환경적으로 안전하고 품질면에서 우수한 재활용 기법이 개발되었고, 국내의 업계 일부에서 재생플랜트를 설치하여 안정적인 재생혼합물을 생산하고 있으나 재활용 비율은 여전히 낮다.

페아스콘은 골재와 아스팔트가 포함되어 있는 양질의 재료이므로 재활용을 통해 추가되는 골재 및 신규바인더의 양을 획기적으로 줄일 수 있다. 온난화의 해결과 자원 재활용 측면에서 친환경적인 재료의 사용요구가 확대되고, 고유가로 인한 생산 원가가 증대되는 시점에서 재생 아스팔트 혼합물의 생산 기술은 고부가가치를 창출할 수 있는 매우 필요한 기술이다.

본 연구의 목적은 페아스콘에 포함된 노화 바인더를 모사한 인공노화 바인더에 국내에서 개발된 재생첨가제 및 개질제를 첨가하여 노화바인더의 회생 정도를 침입도, 점도 및 DSR 시험 data 값을 통해 그 효과를 정량적으로 평가하는데 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 아스팔트 바인더, 재생첨가제 및 개질제

본 연구에서는 페아스콘을 추출하여 회수한 구제 바인더를 실내에서 모사하여 단기노화 및 장기노화를 거친 인공노화바인더를 제조하여 실험을 진행하였다. 인공노화바인더의 회생을 목적으로 PG58-22(pen. 80~100, AP3)와 PG64-22(pen. 60~80, AP5)를 사용하였고, 재생첨가제와 개질제는 A사에서 제공한 제품을 사용하였다. Table 1에서 재생첨가제(Rejuvenator: R)의 특성을 나타내었다. Fig 1~2는 재생첨가제와 개질제의 사진을 보여준다.

Table 1. The properties of Rejuvenate

Materials	Viscosity at 60°C (p)	Flashing point (°C)	Saturates (wt, %)	Ratio of viscosity after RTFO	Weight loss after RTFO (%)
R	200	234	11.49	0.89	0.68

* 강원대학교 석재복합건설신소재연구소 연구원

** 강원대학교 대학원 지역건설공학과 석사과정

*** 강원대학교 지역건설공학과 교수 · 교신저자(E-mail : asphalttech@hanmail.net)

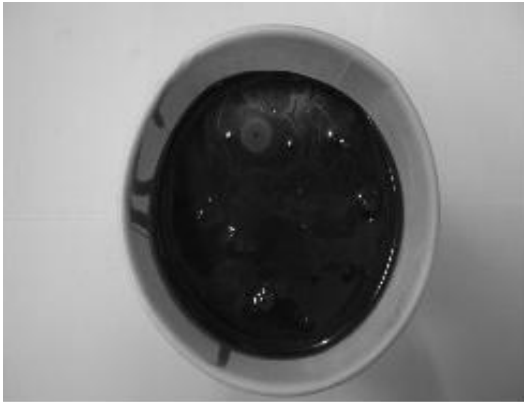


Fig 1. Rejuvenator (R)



Fig 2. Modifier (M)

2.2 인공노화바인더의 제조

인공노화바인더의 제조는 AP5를 단기노화 및 장기노화 시간을 변화시키면서 노화정도를 달리하여 침입도 등급이 30±2일 때의 단기 및 장기노화시간을 결정하였으며, 동일한 단기 및 장기노화시간을 적용하여 인공노화바인더를 제조하였다.

A~E바인더는 인공노화 바인더를 140℃에서 가열 후 재생용 신규바인더(AP3)에 재생첨가제와 개질제를 첨가하여 60분 교반기(Homogenizer)를 이용하여 4,000rpm으로 교반하여 제조하였다. Table 2는 인공노화바인더, 재생첨가제, 개질제의 조합을 나타내며, Fig 3은 교반기를 보여준다.

Table 2. Asphalt Binder Combination

Materials		Aged asphalt (A)	Virgin AP3 (V)	Rejuvenator (R)	Modifier (M)	Remark
AP5		-	-	-	-	A: artificially-aged asphalt V: virgin AP3 R: rejuvenator M: modifier
AP3		-	100%	-	-	
Aged binder		100%	-	-	-	
A50V50R0M0	I	50%	50%	-	-	
A50V45R5M0	II	50%	45%	5%	0%	
A50V39R5M6	III	50%	39%	5%	6%	
A50V40R10M0	IV	50%	40%	10%	0%	
A50V34R10M6	V	50%	34%	10%	6%	



Fig 3. Homogenizer

2.3 바인더 시험

침입도 시험은 KS M 2252 역청재료의 침입도 시험방법에 의거 25℃에서 수행되었다. 절대점도 시험은 KS M 2247 아스팔트의 절대점도 시험방법에 의거 60℃에서 수행되었다. 동점도 시험은 KS F 2392 회전점도계를 이용한 아스팔트의 점도 시험방법에 의거 135℃에서 수행되었다. 공용성 등급(Performance grading: PG) 시험은 KS F 2389 아스팔트 공용성 등급에 의거 수행하였다.

Fig 4~7은 각각 침입도, 절대점도, 동점도, DSR 시험기를 보여준다.

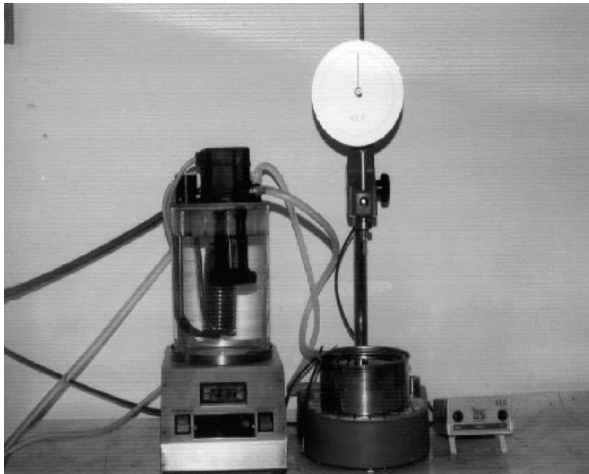


Fig 4. Penetration tester

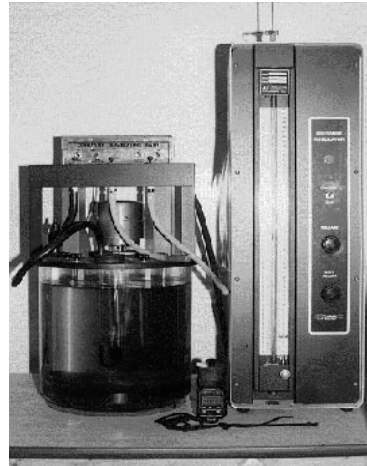


Fig 5. Absolute viscosity tester



Fig 6. Brookfield viscometer



Fig 7. DSR

3. 결과 및 고찰

Table 3은 각 바인더의 측정된 침입도와 절대점도 값을 보여준다. 침입도 시험 결과 노화 바인더(침입도 30.7)에 신규 AP3를 50% 첨가하면 침입도의 등급이 59.3으로 높아져 개질효과가 크게 나타났다. 게다가 신규바인더의 10%를 재생첨가제로 대체할 경우 (R5) 71로 더욱 높아졌다. 이는 AP5보다 다소 낮은 것이지만

재생첨가제를 두 배 첨가할 경우(R10) AP5와 유사한 77.8로 측정되었다. 하지만 개질제를 첨가하면 침입도 등급이 7-14% 낮아졌다. Fig 8은 바인더의 침입도를 비교한 그림이다.

Table 3. Comparison of penetration and Absolute viscosity of the Binder

Materials		Penetration (0.1mm)	Absolute viscosity (p)
AP5		64.7	1,806
AP3		88.7	1,320
Aged binder		30.7	17,768
A50V50R0M0	I	59.3	5,575
A50V45R5M0	II	71.0	2,914
A50V39R5M6	III	61.0	12,426
A50V40R10M0	IV	77.8	1,724
A50V34R10M6	V	72.0	7,489

절대점도 측정 결과 인공노화 바인더는 17,768 poise(p)로 높던 것이 신규바인더를 50% 첨가하면 반 이하인 5,575p로 크게 낮아졌다. AP5의 절대점도 값 1,806p에 비해 높지만 신규바인더의 20%를 재생첨가제로 대체할 경우 1,724p로 AP5와 유사하게 됨을 알 수 있었다. 이는 침입도에서의 유사한 결과이다. 반면에 개질제를 첨가한 III.V의 경우 절대점도 값이 크게 상승하였다. Fig 9는 절대점도의 이러한 변화를 그림으로 보여 준다.

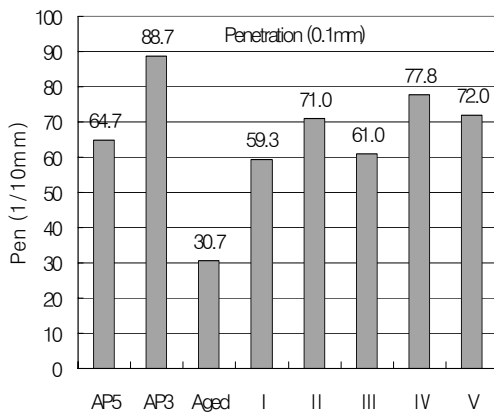


Fig 8. Comparison of penetration

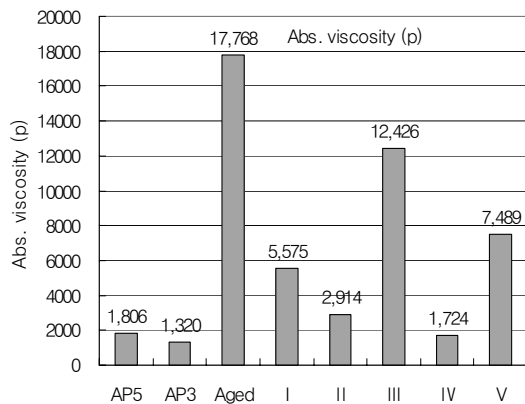


Fig 9. Comparison of absolute viscosity

Table 4는 노화를 거치지 않은 바인더의 DSR 시험과 동점도의 결과이다. 인공노화바인더에 재생첨가제를 첨가하였을 때(II)의 Failure temp는 71℃가 측정되었다. AP5의 수치보다는 높게 측정되었으며 재생첨가제를 두 배로 첨가한 IV는 Failure temp의 값은 66.9로 낮아졌다. 또한 II에 개질제를 6% 첨가한 III는 PG76으로 높아졌으나 재생첨가제를 두 배로 첨가하고 개질제를 6% 첨가한 V는 Failure temp가 74.5로 PG76이 되지 못하였다. 동점도 또한 재생첨가제를 첨가할수록 낮아지고 개질제를 첨가하면 높아지는 경향을 나타내었다.

Table 4. Comparison of the Original binder DSR and Kinematic viscosity

Binder		Condition	High service temp. (°C)	Failure temp. (°C)	Kinematic viscosity at 135°C (cP)
AP5		Original	64	67.2	375
AP3		//	64	64.6	325
A50V50R0M0	I	//	70	74.4	600
A50V45R5M0	II	//	70	71.0	375
A50V39R5M6	III	//	76	76.9	525
A50V40R10M0	IV	//	64	66.9	341
A50V34R10M6	V	//	70	74.5	425

Table 5는 플랜트에서 생산되어 현장까지 이동 중에 발생하는 단기노화를 모사하기 위하여 RTFO를 처리하고 DSR을 측정된 결과이다. RTFO를 거친 바인더의 DSR 결과 역시 original 바인더의 DSR 결과와 유사한 경향을 보였으나 재생첨가제 사용과 함께 개질한 III도 PG76이 얻어지지 못했다.

Table 5. Comparison of the RTFO binder DSR

Binder		Condition	High service temp. (°C)	Failure temp. (°C)
AP5		RTFO	64	66.2
AP3		//	58	63.5
A50V50R0M0	I	//	70	72.6
A50V45R5M0	II	//	64	67.4
A50V39R5M6	III	//	70	75.0
A50V40R10M0	IV	//	64	64.2
A50V34R10M6	V	//	70	70.2

4. 결론

본 연구에서는 페아스콘에서 추출·회수한 침입도 30±2 바인더를 모사하여 인공적으로 노화시킨 바인더와 신규바인더(pen. 80~100, AP3)와 혼합한 후 회생 및 개질 효과를 침입도, 절대점도, PG 등급의 측정을 통해 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 노화 바인더에 신규바인더 AP3를 50%를 첨가하면 침입도의 등급은 올라가고 절대점도는 낮아지지만 AP5의 수준에는 미치지 못하였으나, 신규바인더의 20%를 재생첨가제로 대체하면 AP5와 그 수준이 유사해지는 것을 알 수 있었다.
2. 노화바인더에 재생첨가제를 첨가하였을 때 Failure temp는 71°C가 측정되었다. 재생첨가제를 두 배로 첨가하면 Failure temp의 값은 66.9로 낮아졌다. 하지만 개질제를 6% 첨가하면 PG76으로 높아졌다. 이를 통해 재생바인더는 회생은 물론 개질제 첨가를 통해 개질효과가 나타남을 확인할 수 있었다.
3. 이상과 같이 신규바인더와 재생첨가제를 첨가한 재생바인더의 침입도와 절대점도, 동점도, DSR의 시험결과를 종합 분석해 본 결과 바인더의 회생 효과를 정량적으로 확인할 수 있었다. 이는 페아스콘의 재활용시 노화바인더를 회수하여 그 물성을 정확히 알면 재생첨가제와 개질제의 양을 조절하여 원하는 등급의 바인

더로 재생할 수 있음을 보여준 한 예이라 할 수 있다.

4. 하지만 본 연구는 한 가지 수준의 노화바인더만 사용한 결과이므로 보다 일반화된 결과를 얻기 위해서는 다양한 노화상태의 바인더와 다른 종류의 재생첨가제 및 개질제를 사용한 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 강원대학교 석재복합건설신소재연구소의 지원으로 이루어진 것입니다.

참고 문헌

- [1] 김광우, 이순제, 도영수, 이상범, 오성균, “국내 아스팔트 콘크리트의 재활용 연구 동향.” 2000심포지엄 논문집, 아스팔트 포장공학의 첨단기술, 2000. 2. pp 3-24
- [2] 김남호, 김진철, 홍준표, 김광우 (2010), “준고온 재생 아스팔트 콘크리트의 기본특성평가,” 한국도로학회 논문집, 제12권 제 4호 2010년 12월
- [3] 김진철, 유민용, 김현환, 김광우, “아스팔트 재생시 준고온화 첨가제의 회생효과 분석,” 한국도로학회 학술대회 논문집, 부산 Bexco 2009. 11.5. 171-175
- [4] 김진철, 유민용, 김남호, 김광우 (2010), “재생 준고온 아스팔트 콘크리트의 소성변형 특성,” 한국도로학회 봄 학술발표회 논문집, 한국과학기술회관, 서울, 63-71
- [5] Doh, Y. S., Kim, J. C., Yoo, M. Y. and Kim, K. W., “Evaluation of selected warm-mix additives for asphalt recycle,” Paper presented at 2010 TRB Meeting, Washington, DC, Jan. 2010.