

재생 준고온 아스팔트 콘크리트의 소성변형 특성

Evaluation of Rut Resistance of Warm-mix Recycled Asphalt Concretes

김진철* 유민용* 김남호* 김광우**
Jin C. Kim Min Y. Ryu Nam H. Kim Kwang W. Kim

1. 서론

폐아스팔트 콘크리트의 재활용은 환경문제뿐만 아니라 자원이 부족한 국내의 경우에 고부가가치의 자원을 재활용하는 측면에서 필수사항이라 할 수 있다. 특히 재활용을 보다 낮은 온도에서 수행한다면 환경적인 측면에서 이산화탄소 저감 및 연료의 절감 등 많은 이득이 따를 것이다.

준고온 아스팔트(Warm Mix Asphalt: WMA) 포장은 110~140℃온도에서 아스팔트 혼합물을 생산해 포장하는 방법이다. 이는 기존 고온(160~180℃)의 아스팔트 혼합물 온도가 약 25% 낮아 재료의 가열 에너지가 절감되고 생산과 시공 중에 발생하는 CO₂ 및 유해가스가 감소되는 효과가 있다. 본 연구는 회수 아스팔트 포장재료(Reclaimed Asphalt Pavement: RAP)를 일반 아스팔트 혼합물에 혼합한 재생아스팔트 혼합물을 준고온으로 제조하기 위해 Sasobit과 Evotherm을 넣어 표층 포장 재료로 재활용하기 위한 연구이다.

2005년 2월에 발효된 교토기후협약은 국가 간의 온실가스의 저감을 위한 것으로 우리나라도 이를 대비한 대책 마련이 시급하다. 매년 5,000만톤 이상의 아스팔트 혼합물이 사용되는 도로포장 공사에 환경 친화적인 준고온 아스팔트 포장공법이 재활용에도 적용되어야 할 것이다(월간전기, 2008).

기존의 아스팔트의 재활용 연구는 주로 RAP 굵은 입자만을 사용한 아스팔트 재생이 이루어지고 있다. 하지만 본 연구에서는 RAP을 잔 입자와 굵은 입자로 구분하여 사용하고 RAP의 첨가비율을 달리하여 준고온 표층용 아스팔트 혼합물로의 재활용을 위해 Sasobit과 Evotherm을 사용한 연구를 수행하고자 한다.

2. 재료 및 연구방법

2.1 사용재료

본 연구에서 수집된 RAP은 13mm체를 통과시켜 실험에 사용할 수 있도록 굵은 입자와 No.4 번체 통과 입자를 잔입자로 준비하였다. 골재는 강원 영서 지역의 화강암 쇄석(Granite), 화강암 부순모래 잔골재(Screenings), 석회석 분말 채움재(Mineral filler)를 사용하였다. 또한 신규 굵은 골재의 최대치수는 13mm 골재를 사용하였고 잔골재는 시료 채취시 RAP과 신규골재의 구분을 위해서 No. 8체 이하의 골재를 사용했다. 사용된 아스팔트는 침입도 등급이 60~80인 아스팔트를 사용하였다. 그 이유는 실제로 60-80, 80-100 아스팔트의 침입도 측정값이 60-80은 64이고 80-100은 71로 60-80 아스팔트의 침입도 범위에 속해 60-80을 재생아스팔트 혼합물의 제조시의 신규바인더로 사용하였다. 또한 사용된 개질제로는 LDPE를 사용하였다.

기존의 외국에서 만들어지는 준고온화 첨가제(Warm-mix additive)의 종류는 다양하고 지금도 지속적인 연구를 통해 개발이 되고 있다. 그 중에 본 연구에 사용된 것은 Wax계의 Sasobit과 Emulsion계의 Evotherm이다. Sasobit은 원형의 알갱이나 칩(Chip)의 형태로도 제작이 되어 다루기가 안전하고 상온에서 불안정한 반응을 일으키지 않는다. 녹는점은 110~115℃이고 아스팔트혼합물의 제조과정 중에 바인더의 점성을 낮추어 고온의 바인더 내에서 습식 및 건식 혼합에 적용이 용이하여 아스팔트 바인더의 흐름을 증진 시켜주는 효과

* 정회원 · 강원대학교 대학원 지역건설공학과 석사과정
** 정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 교수 · 교신저자 · 033-250-6467(E-mail : asphalt@hanmail.net)

가 있는 것으로 알려져 있다. Evotherm은 혼합물 제작시의 온도를 100°F(약 56°C)정도 낮추어 주는 것으로 알려져 있어 플랜트의 에너지를 55% 절약할 수가 있고 CO₂와 SO₂의 배출량을 45% 줄이는 결과가 보고되었다. 또한 HMA 플랜트 내에서 그대로 사용할 수 있으며 골재의 코팅 및 워커빌리티와 다짐에 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 그림 1의 (a), (b)는 사용된 Sasobit과 Evotherm을 보여주고 있다.



그림 1. (a) Sasobit and (b) Evotherm.

2.2 시험방법

본 실험에서는 미분을 최대한 활용하기 위하여 표층용 화강암 13mm와 잔골재를 RAP 굵은 입자와 잔입자의 비가 6 : 4로 하여 20, 30%의 RAP 첨가비율을 사용하여 실험을 수행하였고 재생혼합물 제조용으로 사용되는 RAP을 50°C에서 24시간이상 보관 후 사용하였으며, 혼합 전 오븐에서 1시간 이상 약 140°C가 되도록 예열을 하였다. 비교용으로 RAP을 첨가하지 않고 신규골재만으로도 배합설계를 약 160°C에서 하였다.

본 연구에서는 RAP의 노화된 바인더의 점도를 효과적으로 회복시키기 위하여 효과가 좋은 F 방법을 사용하였다. F 방법은 같은 비율의 재생혼합물 제조시 RAP에 신규 바인더의 소요량을 넣고 30초간 1차 비빈 후 가열된 신규골재를 투입하고 30초간 단계적 비빔(stage mixing)을 하는 것이다(Kim et al. 2007). 그리고 비교용 혼합물로서 일반 표층용 밀입도 아스팔트 혼합물(Control)도 제조하였다. 그리고 혼합물의 개질제로는 LDPE 4%를 건식방법으로 혼합물을 첨가하였다. 준고온화 첨가제로 사용된 Sasobit과 Evotherm은 고성능 전단 믹서를 사용하지 않고 가열된 바인더에 각각의 습식방법으로 첨가하였다.

배합설계는 국토해양부 지침의 일반혼합물 배합설계 방법을 적용하였다. 혼합시 바인더의 온도는 160°C이었고 골재의 온도는 140°C로 가열하였고 RAP은 시험 1시간 전 140°C 오븐에 넣어다가 사용하였다. 또한 믹싱된 재생 혼합물은 135°C에서 2시간 인공노화 처리하였다. 다짐은 선회다짐기(Superpave gyratory compactor: SGC)로 100회를 사용하였고, 변형강도($S_D \geq 4.25\text{MPa}$), 골재간극률(Void in mineral aggregate: $VMA \geq 14\%$), 공극률과 포화도(Voids filled with Asphalt : $VFA=65\sim 80\%$)를 OAC의 결정기준으로 적용하였다. 그리고 이 모든 기준을 만족하는 아스팔트 함량 중에서는 공극률 4%가 얻어지는 아스팔트 함량을 OAC로 결정하였다.

2.2.2 혼합물의 역학적 특성 시험

(1) 변형강도(S_D) 시험

본 연구에서 사용된 시험온도와 시험속도는 마찰안정도 측정시와 소성변형 저항성을 측정하는 반복주행 시험에서와 같은 60°C로 항온 수조에서 30분간 수침 가열하였고 30mm/min의 하중 재하 속도로 수행하였다. S_D 의 산출은 하중-변형 곡선에서 최대 하중(P)과 이때 표면으로부터 아스팔트 공시체로 눌러 들어간 변형(y)을 읽어 식 (1)로 계산하였다. 그림 2는 공시체를 수조의 60°C에서 수침한 후 꺼내어 Kim Tester에 거치하여 재하 하는 모습이고, 그림 3은 Kim Test에 의해 얻어진 하중-변형 곡선의 한 예이다.

$$S_D = \frac{0.32P}{(10 - \sqrt{20y - y^2})^2} \quad (1)$$

여기서, S_D = 변형강도(MPa), P = 최대하중(N), y = 변형값(mm)이다.

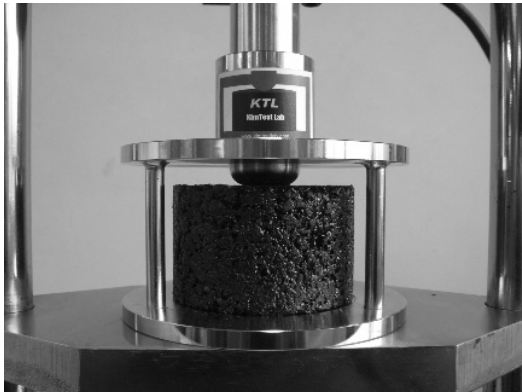


그림 2. Kim Test setting (La et al, 2009).

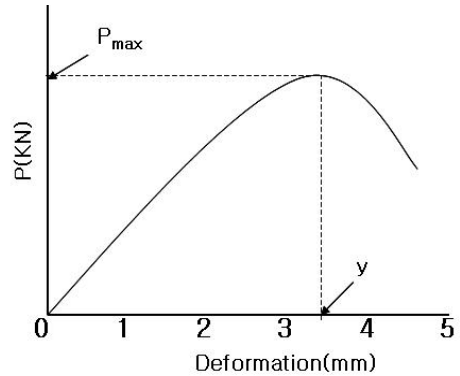


그림 3. A typical load-deformation curve from Kim Test.

(2) 반복 주행(Wheel tracking: WT) 시험

WT 시험을 수행하기 위하여 305×305×50mm의 슬래브 공시체를 롤러 압축 다짐기(Roller press compactor)로 4±0.5%의 공극률로 제작하였다. 공시체는 24시간을 상온 양생 후 60℃에서 6시간동안 보관후 시험에 사용되었다. 시험온도는 60℃에서 수행되었고 운하중 압력은 100psi이며 왕복 40cycle/min로 1.5시간(5,400Sec)동안 총 3,600 cycle 반복주행에 따른 침하깊이를 측정하였다. 바퀴의 재질은 강재이며 직경은 200mm, 폭은 50mm이고 1회 왕복거리는 200mm이고 반복주행 시험기 시스템은 그림 4와 같다.



그림 4. Wheel tracking test system.

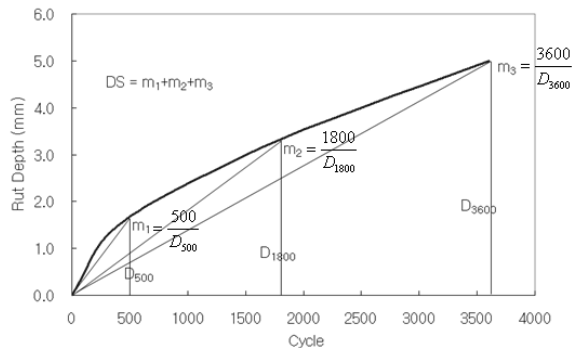


그림 5. Dynamic stability (DS) in a WT curve (김광우, 2006).

WT 시험을 통하여 각 혼합물의 동적안정도(Dynamic stability : DS)와 최종 침하량을 구하였다. 초기 일정 횟수가 지난 후 반복제하에 따른 누적 침하율은 그림 5와 같이 기울기로 나타나게 되는데 초기점인 500cycle, 중앙점인 1,800cycle 및 종점인 3,600cycle의 기울기의 역수(m_i)를 취해서 더한 값을 사용하였다. 기존 방법에서의 최종단계의 동적안정도만 취하는 모순을 초기와 중기의 기울기 역수와 같이 고려함으로써 초기의 기울기가 큰 경우 조기 공용성 저하 문제를 야기하므로 이를 계산에 포함하게 한 것이다. 그림 5와 식 (2)는 본 연구에서 사용된 동적안정도의 산출 방법을 보여 준다.

$$DS_{new} (\text{pass/mm}) = 2(m_1 + m_2 + m_3) \quad (2)$$

$$= 2 \left[\frac{500}{D_{500}} + \frac{1,800}{D_{1,800}} + \frac{3,600}{D_{3,600}} \right]$$

여기서, DS_{new} = 새로 개발된 동적안정도(pass/mm), D_{500} = 500cycle 에서의 침하깊이(mm), D_{1800} = 1,800 cycle 에서의 침하깊이(mm), D_{3600} = 최종 cycle 에서의 침하깊이(mm) 이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 RAP의 특성

실험에 사용된 13mm체를 통과한 굵은 입자와 No.8체 통과한 잔입자의 RAP의 소정량을 무작위로 채취하여 실험에 사용하였다. 표 1은 RAP 바인더의 기본 특성을 나타내고 있다. RAP 바인더의 점도는 침입도나 점도상으로 비교적 노화가 심한 재료는 아닌 것으로 나타났다.

그림 6에서 RAP 20%와 30%는 RAP으로 부터 추출된 골재와 신규골재인 화강암의 합성골재 입도를 나타낸다. 합성골재 입도는 국토해양부 표준용 13R(WC-6)로 대형차의 교통량이 많은 경우의 표층에 사용되며 특징으로는 내구성과 내유동성이 우수하며 소성변형의 가능성이 높은 지역에 사용되는 혼합물의 입도이다.

표 1. Properties of RAP binders and Virgin asphalt.

Binder	AP Contents (%)	PEN (0.1mm)	Kinematic viscosity (cp)	AVS (ps)	LMS (%)
RAP (Coarse)	3.60	27	2342	20,098	22.9
RAP (Fine)	7.54	16	3725	21,476	23.64
80-100	-	71	371	1,685	16.4
60-80	-	64	412	2,431	17.5

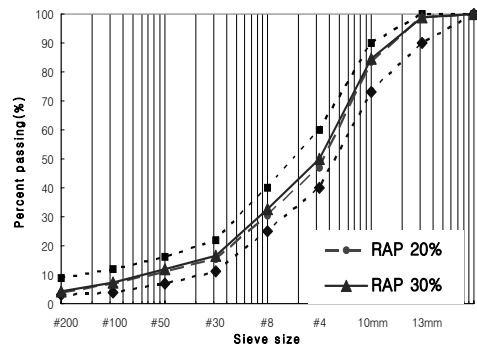


그림 6. Gradation curves of combined aggregates (Granite, RAP).

3.2 결합재의 선정

2가지 결합재(화강암+RAP 20%, 화강암+RAP 30%)의 선정 중 먼저 화강암에 RAP 20% 첨가시의 필요한 아스팔트량을 추정하였다. 여기서 RAP의 굵은 입자와 잔입자의 비율을 6:4로 하였고 아스팔트 함량 3.6%와 7.54%로 했을 때 RAP의 아스팔트 함량을 평균 5.176%이므로 약 5.2%로 정하였다.

No.8체에 남은 골재의 중량비 (a)는 69.80, No.8~No.200체에 남은 골재의 중량비 (b)는 26.24, No.200체를 통과하는 골재의 중량비 (c)는 3.97이었고 K는 0.20, F는 1.1이었다. 따라서 아래와 같이 개략적 소요 아스팔트량을 5.5%로 결정하였다.

$$P_b = 0.035a + 0.045b + Kc + F = 0.035 \times 70 + 0.045 \times 26 + 0.18 \times 4 + 1.1 = 5.5(\%)$$

RAP의 아스팔트 함량(P_{sb})은 5.2%이었고, RAP의 사용비율(r)은 20%이었으므로 혼합물에 필요한 추가 아스팔트의 비율(P_{nb})을 아래와 같이 결정하였다.

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - rP_{sb})P_b}{100(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}} \quad P_{nb} = \frac{(100^2 - 80 \times 5)6}{100(100 - 5)} - \frac{(100 - 80)5}{100 - 5}$$

$$= 5.0\%$$

전체 아스팔트 함량에 대한 추가 아스팔트 함량의 비율(R)을 계산하였다.

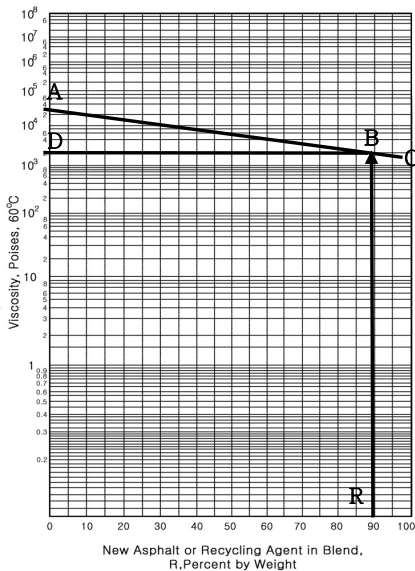
$$R = 100 \frac{P_{nb}}{P_b} = \frac{100 \times 5.0}{5.5} = 90.9(\%)$$

재생혼합물의 목표점도는 비교용 신규혼합물에 사용하는 아스팔트인 60-80의 중간인 2,000poise (점 D)로 설정하였다. 그림 7에서 R값인 90.9%를 가로축에 표시하여 그 수직선과 목표점도 2,000poise에서 그 수평선이 만나는 점 B를 결정하였다. 그리고 노화아스팔트의 점도 약 21,500poise을 좌측세로축에 점 A로 나타내어 점 A와 점 B를 잇는 직선을 그어 우측 세로축과 만나는 점 C를 결정하였다. 따라서 추가 아스팔트의 점도는 점 C에 해당하는 값인 1,000poise이상이었다.

또한, 화강암에 RAP 30% 첨가시의 필요한 아스팔트량을 추정하였다. (a)는 67.36, (b)는 28.57, (c)는 4.07이었다. 그리고 K는 0.20, F는 1.1이므로 개략적 소요 아스팔트량은 5.6%로 결정하였다. RAP의 아스팔트 함량(P_{sb})은 4.5% 이었고, RAP의 사용비율(r)은 30% 이었으므로 혼합물에 필요한 추가 아스팔트의 비율(P_{nb})을 4.5%로 결정하였으며 전체 아스팔트 함량에 대한 추가 아스팔트 함량의 비율(R)을 80.4%로 계산하였다. 따라서 목표 점도를 2,000poise(점 D)로 설정하고 R값 80.4%와 RAP의 노화아스팔트 점도 약 21,500poise로부터 추가 아스팔트의 점도가 1,000poise 이상이 되지 않았다. 하지만 준고온 첨가제 Evotherm을 첨가하면 점도가 낮아지므로 신규 바인더를 60-80을 사용하여 재생 혼합물 제조에 사용해도 될 것으로 판단되었다. 그러므로 RAP 20%는 물론 30% 재생혼합물 제조에도 신규아스팔트를 60-80으로 선정하고 Evotherm의 양을 조정하였다.

3.3 준고온 재생 혼합물의 역학적 특성

(1) 배합설계



화강암의 신규골재를 사용하여 RAP을 첨가함량 2가지 (20%, 30%), 준고온 첨가제 함량 및 유무(RAP 20%첨가시 EV 0.5%, SA 2%, RAP 30% 첨가시 EV 0.7%, SA 2%), 개질제 유무(none, LDPE 4%)에 따른 8가지[2재생비율 × 2첨가제 × 2개질제 유무] 준고온 재생 혼합물의 배합설계를 수행하였다. 인공 노화는 선정된 온도인 135℃에서 2시간동안 실시하였다. 또한, 비교용(Control)으로 60-80을 이용한 신규골재 혼합물의 HMA 배합설계와 RAP을 20%, 30% 첨가한 HMA 혼합물을 1시간 인공노화를 160℃에서 수행하여 총 11개의 혼합물을 제조하였다. 상기 조건이 바뀌기는 하지만 모든 혼합물에서 골재별 입도는 동일한 기준내에서 배합설계를 수행하였다. 표 2는 실험에 사용된 혼합물들에 대한 구분과 설명이다. 표층용 혼합물(13mm 밀입도)의 입도에 맞게 조정된 혼합입도와 배합설계를 통한 OAC는 표 3과 같다.

그림 7. Blending chart를 이용한 신규바인더 점도선정 (RAP 20%).

표 2. Mixture designation and description.

Rap ratio	Mix type	Designation	Description
0	HMA	R00	Granite dense grade, HMA, RAP 0%
20%	HMA	R20	Granite dense grade, HMA, RAP 20%
	WMA	R20E05	Granite dense grade, WMA, RAP 20%, Evotherm 0.5%
		R20E05L4	Granite dense grade, WMA, RAP 20%, Evotherm 0.5%, LDPE 4%
		R20S20	Granite dense grade, WMA, RAP 20%, Sasobit 2.0%
		R20S20L4	Granite dense grade, WMA, RAP 20%, Sasobit 2.0%, LDPE 4%
30%	HMA	R30	Granite dense grade, HMA, RAP 30%
	WMA	R30E07	Granite dense grade, WMA, RAP 30%, Evotherm 0.5%
		R30E07L4	Granite dense grade, WMA, RAP 30%, Evotherm 0.7%, LDPE 4%
		R30S20	Granite dense grade, WMA, RAP 30%, Sasobit 2.0%
		R30S20L4	Granite dense grade, WMA, RAP 30%, Sasobit 2.0%, LDPE 4%

표 3. OAC and proportion of each mixture.

Rap ratio (%)	Mix type	Designation	OAC (%)	RAP (%)	Virgin materials		
					13mm (%)	Fine Agg. (%)	Filler (%)
0	HMA	R00	53	0	48	48	4
		R20	50	20	48	28	4
	WMA	R20E05	48	20	48	28	4
		R20E05L4	45	20	48	28	4
		R20S20	44	20	48	28	4
20	HMA	R20S20L4	51	20	48	28	4
		R30	50	30	42	24	4
	WMA	R30E07	45	30	42	24	4
		R30E07L4	44	30	42	24	4
		R30S20	50	30	42	24	4
R30S20L4		43	30	42	24	4	

실제로 재생 혼합물의 배합설계는 총 12가지[2재생비율 × 3첨가제 × 2개질제 유무]를 수행하였지만 배합 설계 결과에서 첨가제나 개질제의 유무에 따른 효과가 드러나지 않아 8가지 준고온 배합설계만을 수행하였다. 또한, 배합설계를 통한 OAC선정에 있어서도 아스팔트 함량이 많고 일정하지 않은 RAP 잔입자의 사용으로 인해 OAC선정에 어려움이 발생하였다.

(2) 준고온 재생 혼합물의 변형강도(S_D) 특성

배합설계로부터 결정된 OAC로 각 혼합물별 공시체를 제작하여 S_D 시험을 수행하였다. 표 4와 같이 배합설계 기준 공극 3~5%, VMA 14%이상, VFA 70~85%를 모두 만족하였다.

하지만 선화다짐 100회일 경우에 중교통량의 간선도로포장 S_D 기준인 4.25MPa에는 상당수의 혼합물이 기준에 미치지 못하였다. 가장 높은 S_D는 20%에서는 R20S20로 5.07MPa이었고 30%에서는 R30E-07로 5.08MPa이었다. 가장 낮은 S_D는 R20S20L4로 60-80 바인더로 만든 밀입도 가열 혼합물(R00)보다도 크게 낮았다. 표의 수치상에서 보듯이 모든 혼합물의 S_D는 75회 다짐을 하여 일반 도로에 사용하는 기준인 3.2MPa를 만족하였다. 이를 통해 준고온 아스팔트 혼합물은 가열 아스팔트 혼합물의 다짐 특성과 달라 추후의 연구를 통해 준고온 혼합물에 적합한 다짐횟수 및 방법의 결정이 필요할 것으로 생각된다. 또한, 20%보다는 30% 첨가한 혼합물의 S_D 값이 모두 높았다.

(5) 준고온 재생 혼합물의 소성변형 저항 특성

반복주행(Wheel Tracking: WT) 시험은 혼합물의 소성변형 저항을 평가하는 가장 일반적인 시험이다. WT 시험은 동적 재하 시험으로 Slab 공시체를 시험에 사용하였다. 원형 공시체와 마찬가지로 135℃에서 305mm×305mm×50mm의 Slab 공시체를 2시간 인공노화를 통하여 목표 공극률 3~5%로 롤러 다짐으로 제작하였다. 24시간 후 물성을 측정하고 Slab 공시체를 반으로 커팅하여 혼합물당 2회의 실험을 하였다. 표 5는 WT 시험의 결과인 침하깊이와 동적안정도를 나타내고 그림 8은 혼합물별 최종 침하깊이와 동적안정도를 한 그림으로 볼 수 있도록 그래프로 나타내었다.

표 4. Deform. strength (S_D) of each mixture at OAC.

Rap ratio (%)	Mix type	Designation	OAC (%)	Air void (%)	VMA (%)	VFA (%)	P (kN)	y (mm)	S_D (MPa)
0	HMA	R00	5.3	3.36	15.78	77.47	2980	2.0	3.74
20	HMA	R20	5.0	3.88	15.37	74.76	3307	3.1	3.77
	WMA	R20E05	4.8	3.67	14.76	75.11	3278	2.2	3.97
		R20E05L4	4.5	4.42	14.75	70.04	3370	2.9	3.69
		R20S20	4.4	3.81	14.02	72.83	4537	2.8	5.07
		R20S20L4	5.1	4.00	15.61	74.36	2966	2.7	3.33
30	HMA	R30	5.0	4.36	15.84	72.47	4029	3.4	4.20
	WMA	R30E07	4.5	3.86	14.33	73.05	4763	3.2	5.08
		R30E07L4	4.4	4.01	14.17	71.68	3761	2.9	4.10
		R30S20	5.0	3.58	15.13	76.35	3743	3.2	4.00
		R30S20L4	4.3	4.08	14.01	70.87	4510	2.9	4.95

표 5. Result of wheel tracking test.

Rap ratio	Mix type	Designation	Rut depth(mm)			DS_{new} (pass/mm)	
			D_{300}	D_{800}	D_{3000}		
0	HMA	R00	2.35	3.81	4.87	2867	
	HMA	R20	1.35	2.17	2.73	5059	
	WMA	R20E05	1.43	2.04	2.48	5416	
		R20E05L4	1.59	2.11	2.47	5424	
		R20S20	1.30	1.71	2.07	6385	
		R20S20L4	1.38	2.25	3.09	4759	
	30	HMA	R30	1.07	1.73	2.08	6498
		WMA	R30E07	1.58	2.34	3.07	4595
			R30E07L4	1.40	1.98	2.35	5712
			R30S20	1.16	1.96	2.4	5712
R30S20L4			1.09	1.53	1.76	7386	

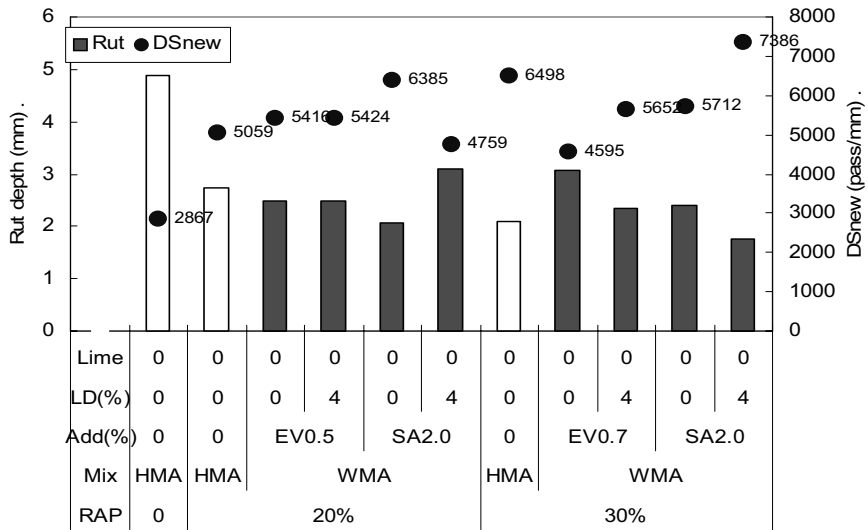


그림 8. Rut resistance of various mixture combinations.

최종 침하 깊이만을 살펴보면 Control인 R00보다 모든 혼합물이 적게 침하되었다. 또한, LDPE의 첨가에 따른 최종 침하 깊이(D_{3000})의 비교는 R20S20L4를 제외하고는 모든 혼합물의 침하가 적었다. 그리고 최종 침하 깊이는 20%첨가시에 R20S20이 가장 낮았고 30%첨가시에 R30S20L4이 가장 낮았다. 하지만 RAP 첨가 비율별로는 20%와 30%가 별다른 차이를 보이지 않았다. 표 5의 Rut Depth에서의 수치는 실제로 실험된 Slab 공시체를 눈으로 관찰시 구별이 되지 않을 정도의 값이고 동적안정도의 경우 모든 재생 혼합물이 R00보다 큰 결과를 얻었다. 그러므로 RAP이 첨가되어 혼합물의 강성이 증가되므로 소성변형에 대한 저항성이 더 크게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 준고온 공법을 이용하여 제조한 재생 아스팔트 혼합물의 소성변형에 대한 연구이다. RAP을 전체 혼합물에 20, 30중량%로 첨가하고 두 가지의 준고온화 첨가제(Evothem, Sasobit)를 선정된 비율에 따라 첨가하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 재생 혼합물의 S_D 는 신규 혼합물보다 높게 나왔고 재생 혼합물간에는 RAP 20%보다는 30%첨가한 것이 더 높았다. 하지만 대부분의 혼합물이 중교통량의 간선도로포장 S_D 기준인 4.25MPa을 만족하지 못했다. 또한, 본 연구에서 제조된 일부 준고온 재생 혼합물에서는 LDPE 첨가도 큰 효과를 나타내지 못하였다.
2. 재생 혼합물의 소성변형 저항성을 반복주행 시험으로 평가한 결과 신규 혼합물보다는 재생 혼합물의 동적 안정도 수치가 모두 높게 나왔다. RAP 함량에 따른 침하 깊이는 20%와 30%에서 별다른 차이를 보이지 않았다. 반면에 LDPE의 첨가는 최종 침하 깊이가 낮아져 소성변형 저항성이 향상되는 결과를 얻었다.
3. 준고온 공법을 이용한 아스팔트 혼합물의 경우 일반 가열 혼합물보다 S_D 값이 낮았다. 이를 개선하기 위해 기존의 선회 다짐 100회에 해당하는 S_D 4.25MPa과 다짐 75회 때의 3.2MPa을 다짐 횟수 및 S_D 기준치를 조정하여 준고온 혼합물 제작시의 적용해야 할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 강원대학교 석재복합건설신소재연구소의 지원 및 장비를 활용하여 이루어진 것입니다.

참고 문헌

- “가열아스팔트 혼합물의 배합설계 지침” (1998), 아스팔트 포장연구회, 도서출판 정보나라.
- 고태영 (2006), “혼합방법을 개선한 재활용 아스팔트 콘크리트의 피로 및 변형 특성 분석”, 강원대학교 대학원 지역기반공학과 석사학위 논문.
- 김광우, 도영수, (2006), “아스팔트 혼합물 반복주행 시험에서 합리적 동적안정도의 산정 방법”, 한국도로학회 논문집 8(1), 77~87.
- 김진철 (2010), “준고온 공법을 이용한 재생 아스팔트 콘크리트의 소성변형 특성 및 수분민감성 연구”, 강원대학교 대학원 지역기반공학과 석사학위 논문.
- 김진철, 유민용, 김현환, 김광우 (2009), “아스팔트 재생시 준고온화 첨가제의 회생효과 분석”, 한국도로학회 2009 추계학술대회 논문집, 한국도로학회, 151~156.
- 권오선 (2005), “바인더 회생방식을 개선한 재생 아스팔트 콘크리트의 소성변형 특성 연구”, 강원대학교 대학원 지역기반공학과 석사학위 논문.
- 문성호 (2009), “중온 아스팔트 첨가제 SASOBIT 성능평가”, 한국도로학회지 제11권 제2호 통권40호, 26-33
- “아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침” (2009), 국토해양부.
- 이영관 (2003), “상온 RAP첨가 재생아스팔트 혼합물의 바인더 특성 연구”, 강원대학교 대학원 농공학과 석사학위 논문.
- “2002년 전국 폐기물 발생 및 처리현황,” (2003), 환경부.
- 월간전기 (2008), “기획연재: 기후변화 협약에 따른 산업동향과 대응방안②” 전우문화사 2008년 3월호
- 정규동 (1998), “상온 및 가열 재생아스팔트 혼합물의 국내 적용성 연구”, 강원대학교 대학원 농공학과 석사학위 논문.
- 황성도, 정규동 (2008) “중온화 아스팔트 포장공법의 국내외 기술 현황”, 한국도로학회 논문집, 10(1), 24-29
- “Asphalt hot-mix recycling.” (1986) The Asphalt Institute Manual series, No. 21 (MS-20), Second edition ASTM D 4867/D 4867M-04

- Kennedy, T. W. and Anagnos, J. N., (1983) "Procedures for the static and repeated-load indirect tensile test", Research report number 183-14, Texas State Department of Highway and Public Transportation
- Kim, K. W., Amirkhanian, S. N., Doh, Y. S., and Jung, J. H.(2007), "Reducing stiffness of oxidized binder in recycled mixture by stage mixing.", Journal of AAPT, Vol. 78.
- La, I., Ryu, M. Y., Kim, H. H., Ahn, K., Doh, Y. S., and Kim, K. W.(2009), "Fundamental property evaluation of styrene monomer modified warm-mix asphalt concrete", Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials Vol. I, 7th international RILEM symposium , 619~626.
- "Recycling hot-mix asphalt pavements", (1996), Information series 123, NAPA.
- "Standard test method for Indirect tension test for resilient modulus of bituminous mixtures", (1987) ASTM D4123, Annual book of ASTM standards.