

개질재 첨가에 따른 SMA 혼합물의 소성변형 및 변형강도 특성 연구

Evaluation of Rutting and Deformation Strength Properties of Polymer Modified SMA Mixtures

김 현 환	Hyun H. Kim	정희원 · 강원대학교 대학원 박사과정 (E-mail : numgi@hanmail.net)
최 영 렬	Young R. Choi	정희원 · 강원대학교 대학원 석사과정 (E-mail : cy1110@hyundai-dvp.com)
김 광 우	Kwang W. Kim	정희원 · 강원대학교 지역건설공학과 교수 (E-mail : asphaltech@hanmail.net)
도 영 수	Young S. Doh	정희원 · 강원대학교 석재건설신소재연구소 연구교수 (E-mail : youngsdoh@hanmail.net)

ABSTRACT

In general, it is well known fact that the stone mastic asphalt (SMA) pavement has a high resistance against rutting. However, performance of SMA is not well measured by general method used in the laboratory. The objective of this study is to investigate an applicability of deformation strength (S_D) for performance estimation of SMA, and to find out the correlation between rut depth and dynamic stability, and S_D of SMA. This study carried out wheel tracking test and Kim-test with optimum asphalt content (OAC) determined by mix design. The results indicated that the S_D of SMA was very poorer than those of dense-graded asphalt mixtures. S_D showed similar WT dynamic stability and rut-depth level. It was found that Kim-test was not reflected higher rutting resistance of SMA like as indirect tensile strength (ITS) test and Marshall stability test. Also, it was revealed that dynamic stability and rut-depth of WT had some problems to estimate rutting resistance of SMA mixtures.

KEYWORDS

stone mastic asphalt, deformation strength, Kim-test, wheel tracking test, rut depth, dynamic stability

요지

SMA 혼합물은 소성변형 저항성이 매우 큰 혼합물로 알려져있다. 하지만 실내 시험에서는 이를 측정할 수 있는 시험법이 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 소성변형에 대하여 높은 저항성을 가지는 SMA 혼합물의 변형강도치와 반복주행시험과의 상관 분석을 통하여 SMA에 변형강도의 적용성을 고찰하는 것이다. 이를 위해 SMA 혼합물의 배합설계를 거쳐 최적 아스팔트함량의 혼합물에 대하여 변형강도 시험과 반복주행 시험을 수행하였다. 연구결과, 변형강도는 SMA 혼합물의 소성변형 특성을 보이기에는 매우 낮은 수준을 나타냈다. 따라서 김테스트에 의한 변형강도는 간접인장강도나 마찰 안정도와 마찬가지로 SMA 혼합물의 소성변형 저항성을 제대로 반영되지 못하는 것을 확인하였다. 또한 반복주행시험의 결과인 동적안정도나 최종침하깊이도 역시 SMA 혼합물의 소성변형 저항성을 평가하는데 문제가 있는 것으로 나타났다.

핵심용어

SMA, 변형강도, 김테스트, 반복주행시험, 소성변형, 최종침하깊이, 동적안정도

1. 서론

국내의 아스팔트 포장은 교통량의 증가에 따른 지정체 구간의 증가와 차량의 중량화 및 대형화 그리고 과적차량의 증가로 인해 소성변형이 많이 발생되어 왔다. 포장의 소성변형은 잦은 보수의 필요와 처리 비용의 문제점이 제기된다. 이에

일반 밀입도 혼합물과 달리 소성변형에 강한 새로운 포장 혼합물이 요구되었다. 그 중 1968년 독일에서 개발된 SMA(Stone Mastic Asphalt) 포장이 10여 년 전 국내에 도입되었다. SMA 혼합물은 기존 밀입도 혼합물의 특성과 달리 골재의 맞물림 특성을 최대한 이용하여 소성변형에 저항

하게 하고 아스팔트 함량을 높여 아스팔트 혼합물의 물리적인 단점인 균열과 골재이탈에 대한 저항성을 높인 개념의 혼합물이다.

혼합물을 평가하는 시험법도 혼합물의 개발과 더불어 매우 중요하다. 국내 뿐 아니라 많은 국가에서 아스팔트 혼합물의 배합설계 특성치 중 한 가지로 마찰 안정도를 사용하고 있다. 이것은 1940년 전에 미국의 Bruce Marshall에 의해 개발된 시험법으로, 혼합물을 다진 후 하중에 대한 혼합물의 견고성으로서 배합설계에서 중요한 항목으로 되어있다. 그러나 마찰 특성치는 시험장치가 간단하고 측정하기 쉽지만 대부분의 혼합물이 기준치를 모두 만족하고 있어도 소성변형 및 피로균열 등 포장의 공용성과 관련된 특성을 제대로 반영하지 못하는 것으로 알려져 있다. 따라서 마찰 안정도 기준을 크게 상회하는 혼합물에서도 소성변형이 많이 발생하고 있다. 특히 마찰 안정도는 같은 개질재로 함량을 달리하여 제조한 같은 골재 입도의 아스팔트 혼합물에서도 그 값의 차이가 별로 나타나지 않는다(이상범, 2001). 이와 같이 아스팔트 혼합물에서 마찰 안정도의 측정결과로 소성변형을 예측하는 것은 한계가 있는 것으로 나타났고, 다짐면과 차륜 재하 방향이 아닌 측면을 구속하여 하중을 재하하는 것은 현장에서 포장을 다지고 차량을 통행시키는 것보다 거리가 먼 시험법이라 할 수 있다.

이러한 마찰 안정도의 문제점을 해결하기 위해 국내에서는 지난 4~5년간의 연구를 통해 변형강도(Deformation strength: S_D)를 개발하여 현재 실용화를 위한 연구가 진행 중에 있다(김광우, 2005). S_D 는 Kim Test라는 시험법을 통하여 얻어지는 아스팔트 혼합물의 고온 변형저항성을 나타내는 특성치이다. 즉, 정하중을 재하하여 공시체가 파괴될 때까지의 변형량을 계산식에 넣어 같은 하중 하에서 변형에 저항성이 큰 혼합물이 강도 값이 크도록 개발된 것이다(Doh et al, 2007, Kim et al 2004). 그간의 연구에서 밀입도 혼합물의 변형강도는 반복주행(Wheel tracking : WT) 시험의 $R^2 > 0.90$ 을 보여 소성변형과 상관성을 갖고 있음을 보여 주었다(김광우 등, 2007).

따라서 본 연구의 목적은 현장에서 높은 소성변형 저항성을 보이는 SMA 혼합물에 대한 변형강도와 반복주행시험과의 상관성 분석을 통하여 SMA 혼합물에 대한 변형강도의 적용성을 고찰하는 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

본 연구에서 아스팔트 바인더는 기본으로 침입도 등급 pen. 60~80(AP-5)을 사용하였다. 개질아스팔트 바인더를 위하여 개질제로는 #30 체를 통과한 페타이어 분말(Crumb rubber

modified: CRM)과 재생 저밀도 폴리에틸렌(Recycled low-density polyethylene: RLDPE), 저밀도 폴리에틸렌(Low-density polyethylene: LDPE)과 에틸렌 프로필렌 다인 모노머 러버(Ethylene propylene diene monomer rubber: EPDM)를 조합하여 사용하였다. 표 1은 본 연구에 사용된 아스팔트 바인더의 명칭과 첨가 방법을 나타낸다.

표 1. Designation of binder and description

Designation	Description	Method
AP-5	Base Pen. 60-80 binder without any modifier (Control)	-
R10	Modified binder with 10% CRM by wt. of total binder	Dry
RL5	Modified binder with 5% RLDPE by wt. of total binder	Dry
L4E10	Modified binder with 4% LDPE and 5% EPDM by wt. of total binder	Wet

SMA 혼합물의 경우에는 혼합물의 특성상 골재의 입도와 품질이 중요하다. 특히 SMA 혼합물에 사용되는 골재는 맞물림 특성을 최대로 발휘하게 하기 위하여 골재의 파쇄면이 많고 양호한 입형의 골재를 사용해야 하므로 골재의 편·장석율을 20% 이하로 적용하고 있다. 본 연구에 사용된 굵은 골재와 잔골재는 화강암으로 굵은 골재의 최대치수는 13mm와 10mm를 사용하였다. 잔골재는 굵은골재 파쇄 때에 발생한 Screenings를 사용하였으며, 채움재로는 석회석분을 사용하였다. 표 2와 그림 1은 각각 본 연구에 사용된 골재의 특성과 입도를 나타낸다.

표 2. Property of aggregates

Classification	Apparent specific gravity	Absorption	Abrasion
Specification limit	> 2.5	< 2.0%	< 30%
Granite	13mm	2.74	0.69
	10mm	2.74	0.96
	screenings	2.78	1.94
Filler	2.75	-	-

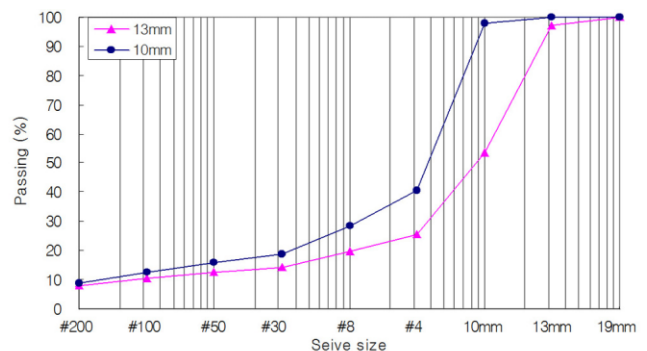


그림 1. Gradation curves of granite for SMA mixture

2.2. 방법

2.2.1. 배합설계

SMA 혼합물의 배합설계 공시체 제조는 밀입도 혼합물 배합설계와 마찬가지로 마샬 다짐기(Marshall compactor)를 이용하지만 마샬 안정도나 흐름치를 적용하지는 않는다. 표 3은 SMA 혼합물의 배합설계 기준을 나타낸다.

표 3. Standard specification of SMA mix-design

Item	Specification					
	19mm	13mm	10mm	8mm	5mm	
Minimum asphalt content(%)	5.8	6.2	6.6	7.0	7.6	
Air void(%)	2.0~4.0					
Minimum VMA	Air void 2~3(%)	16	17	18	19	20
	Air void 3~4(%)	17	18	19	20	21
Minimum VFA(%)	75					
Maximum drain down loss(%)	0.3					
Minimum DS(cycle/mm)	2000					

SMA 혼합물의 배합설계를 위한 공시체는 175℃ 온도에서 5.5%~7.5%의 5가지 아스팔트 함량별로 양면 75회의 마샬 다짐을 가하여 제조하였다. 양생된 공시체는 물성을 측정하고 아스팔트 함량의 증가에 따라 표 3의 기준들이 변화하는 것을 고려하여 최적아스팔트 함량(Optimum asphalt content: OAC)을 결정하였다. 표 3에서 VMA의 경우 목표 공극률에 따라 최소 VMA가 다르게 나와 있다. 본 연구에서는 공극률을 2~3%를 목표로 하여 13mm와 10mm의 VMA를 각 17과 18 이상으로 정하고 배합설계를 수행하였다. 그리고 드레인 다운 시험은 1kg의 혼합물을 종이 깔려 있는 팬에 고르게 퍼 170±2℃ 오븐에서 1시간 보관한다. 이때 종이의 무게는 사전에 측정되어 있어야 하며 모든 혼합물에 대하여 동일한 크기의 종지와 팬을 사용하여야 한다. 또한 종지의 무게는 1시간 동안 170℃ 오븐에서 보관 후에 감소되기 때문에 혼합물을 제외한 종이만을 오븐에서 보관하고 종지의 무게 감량을 측정한다. 1시간 뒤 오븐에서 혼합물을 꺼내어 팬에서 혼합물을 비우고 종지의 무게를 측정한다. 드레인 다운 시험 값은 종지에 남은 혼합물의 손실된 무게를 혼합물에 대한 비율로 산정한 값이다. 식 (1)은 드레인 다운 시험 값의 계산식이다.

$$\text{Drain down}(\%) = \frac{\text{Loss weight of mixture}}{\text{Weight for original mixture}} \times 100 \quad (1)$$

2.2.2. 변형강도(S_D) 시험

변형강도 시험은 마샬 안정도 시험에서 하중 재하부분이 다짐면이 아닌 측면인 것과 달리 다짐면에 하중을 가해 차륜

의 하중 재하방향과 같도록 하여 소성변형과 유사하게 압밀·전단에 의한 변형이 유발되도록 한 시험법이다. 다년간의 연구로 밀입도 혼합물의 소성변형과 매우 높은 상관성을 보여 왔으며 최근에는 하중봉의 규격, 하중재하속도(30mm/min) 그리고 공시체 가열방식(수침가열)을 정립하면서 실용화를 목전에 두고 있다. 그림 2는 최근에 정립된 하중봉의 규격을 나타내며 식(2)는 시험을 통하여 얻은 최대하중(P)과 변형 값(y)을 대입하여 변형강도를 산출하는 식이다.

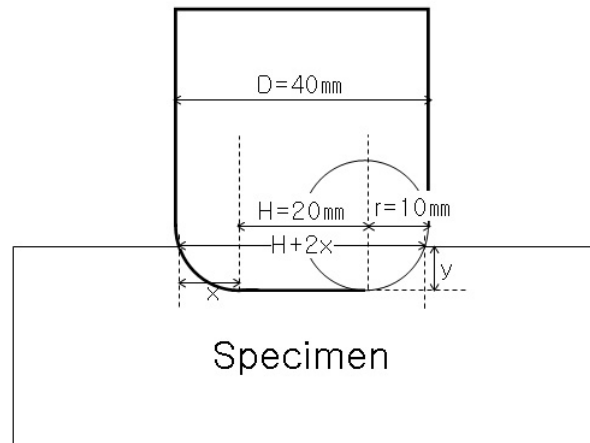


그림 2. Configuration of round-cut details at the bottom of loading head with specimen

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

여기서 S_D = 변형강도(MPa)

P = 최대하중(N)

y = 변형 값(mm)

본 연구에서는 최적아스팔트 함량으로 2종류의 공시체를 제작하여 변형강도를 측정하였다. 첫째로 30.5cm의 정사각형 슬래브를 제작하여 17cm와 13cm로 잘라 17cm 슬래브에

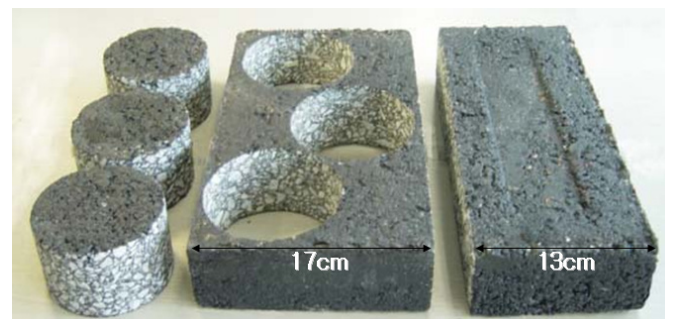


그림 3. A slab specimens cut into one pieces for wheel tracking test and three core for Kim-test

서 직경이 10cm인 3개의 코어 공시체를 채취하여 변형강도를 측정하고 13cm 슬래브는 반복주행 시험을 수행하였다(그림 3). 두 번째로 SMA 혼합물의 특성상 직경이 작은 공시체의 경우 측면 구속력이 부족하다는 판단 하에 15cm 선화다짐 공시체를 제작하여 변형강도를 측정하여 비교·분석하였다.

2.2.3. 반복주행 시험(Wheel tracking test: WT test)

본 연구는 SMA 혼합물의 소성변형 저항성 평가를 위해 변형강도 시험의 적용성을 고찰하는 것이다. 변형강도와외의 상관성을 분석하기 위하여 SMA 혼합물의 소성변형 특성시험으로 배합설계 기준으로 명시된 반복주행시험을 수행하였다.

반복주행시험은 직경 200mm, 폭 50mm의 강재바퀴를 시험온도 60℃에서 6시간 이상 안정화된 공시체 위에 접지압 100psi(700kPa)를 야기하는 윤하중을 가하며 한국형포장설계법연구(2005)에서 개발된 왕복 40cycle/min의 속도로 90분간(5,400sec) 총 3,600cycle을 수행하였다. 반복주행중 침하량 측정은 LVDT (Linear variable differential transformer)를 이용하여 수집빈도 3Hz으로 하여 컴퓨터에 기록하여 분석하였다. 반복주행시험의 결과인 동적안정도는 실시간 변위를 토대로 계산식을 사용하여 구하였다. 식 (3)은 KS의 계산식으로 분당 21cycle(42pass)의 속도로 60분간 수행하는 시험에서의 결과를 대입하여 구하는 식이다. 하지만 본 연구에서는 분당 40cycle(80pass)로 90분 동안 시험을 수행하였으므로 식 (3)을 수정하여 즉, $DS = 80 \times 22.5 / (d_{3600} - d_{2700})$ 을 사용하였다.

$$DS(\text{pass/mm}) = 42 \times \frac{15}{d_{60} - d_{45}} \quad (3)$$

여기서 DS : 동적안정도(pass/mm)
 d_{60} : 60분에서의 변형량(mm)
 d_{45} : 45분에서의 변형량(mm)

KS의 동적안정도 산정식은 아스팔트 혼합물의 침하가 많이 발생하는 초기부분의 변위를 배제하여 현장과 상관성이 떨어진다는 지적이 있다. 이에 본 연구에서는 식 (4)와 같이 초기, 중기, 말기의 침하 그래프의 기울기의 역수를 누적하여 사용하는 최근에 개발된 방법(김광우 등, 2006)을 병행하여 연구를 수행하였다.

$$DS_{new}(\text{pass/mm}) = 2(m_1 + m_2 + m_3) = 2 \left[\frac{500}{D_{500}} + \frac{1,800}{D_{1,800}} + \frac{3,600}{D_{3,600}} \right] \quad (4)$$

여기서, DS_{new} : 동적안정도

D_{500} : 500cycle에서의 침하깊이(mm)

$D_{1,800}$: 1,800cycle에서의 침하깊이(mm)

$D_{3,600}$: 최종 cycle에서의 침하깊이(mm)이다.

그림 4는 KS와 새로이 개발된 동적안정도의 산출식을 위해 도식화한 그림을 보여준다.

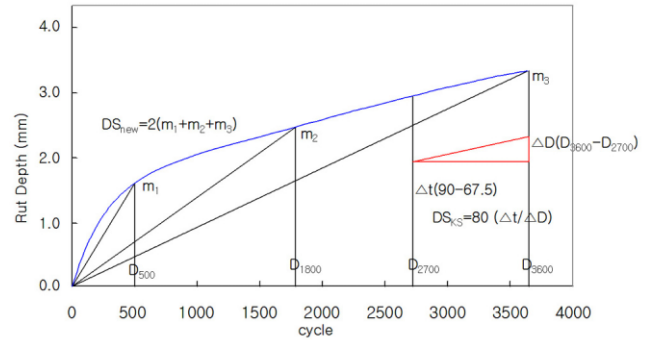


그림 4. Dynamic stability of wheel tracking test

3. 결과 및 고찰

3.1. 배합설계

배합설계는 한 가지 골재(화강암)와 2종의 굵은골재 최대 치수(13mm, 10mm) 그리고 4가지 바인더(Control, R10, RL5, L4E10)로 총 8가지 혼합물에 대하여 수행하였다. 표 4에서 알 수 있듯이 SMA 혼합물의 배합설계 기준을 만족하는 구간에서 최적아스팔트 함량을 결정하였다.

표 4. Optimum asphalt content(OAC)

Designation	OAC (%)	Air Void (%)	VMA (%)	VFA (%)	Drain down Loss(%)
10AP	6.7	2.42	18.00	86.54	0.12
10R10	6.4	2.93	17.92	83.67	0.10
10RL5	6.7	2.72	18.38	85.22	0.13
10L4E10	6.5	2.90	17.74	84.31	0.13
13AP	6.3	2.64	17.28	84.72	0.17
13R10	6.4	2.39	17.33	86.23	0.08
13RL5	6.6	2.46	17.91	86.25	0.12
13L4E10	6.4	2.66	17.57	84.85	0.11

3.2. 반복주행 시험(Wheel tracking test)

배합설계를 통해 얻은 최적아스팔트 함량으로 30.5cm×30.5cm×6.2cm의 슬래브 공시체를 제작하였다. 제작된 공시체는 12시간 이상 상온에서 식히고 물성을 측정후 목표

공극을 가지는 슬래브는 24시간 양생을 거쳐 실험방법에서 언급한 바와 같이 13cm와 17cm로 커팅 후 13cm 공시체로 반복주행시험을 수행하였다. 표 5는 반복주행시험의 결과로 SMA 혼합물의 동적안정도와 최종침하깊이를 보여주며 그림 5는 혼합물 별 동적안정도의 비교를 나타내었다. 그리고 SMA 혼합물의 동적안정도 배합설계 기준은 2000pass/mm 으로 명시되어 있다. 표 5에 나타난 동적안정도 결과는 모든 혼합물이 2000pass/mm 이상을 만족하였다. 바인더 별 동적안정도는 확연한 차이를 보이며 SMA 혼합물에서도 바인더의 영향으로 소성변형 저항성이 좌우된다는 것을 알 수 있다. 하지만 현장에서 SMA 혼합물이 매우 우수한 소성변형 저항성을 나타내는 것과 달리 그다지 높은 동적안정도를 나타내지 않았으며 침하깊이도 또한 소성변형에 매우 강하다고 할 수 없는 것으로 판단된다.

표 5. Result of wheel tracking test

Mixture		Air Void (%)	Dynamic stability(pass/mm)		Rut depth (mm)
Agg.	Binder		KS	New	
10mm	AP5	3.05	3500	2572	5.08
	R10	2.71	3818	2633	4.91
	RL5	2.19	5478	4012	3.20
	L4E10	2.20	2520	3499	4.02
13mm	AP5	2.90	3600	2956	4.53
	R10	2.79	3213	3519	3.81
	RL5	2.49	7875	5590	2.26
	L4E10	2.60	2571	3529	3.97

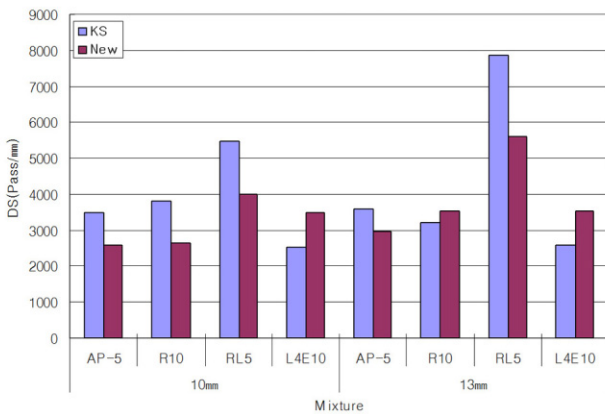


그림 5. Dynamic stability comparison of SMA mixture

3.3. 변형강도 시험(Kim test)

변형강도 시험을 위해 17cm로 커팅 한 슬래브 공시체에서 지름이 10cm인 3개의 코어를 채취하여 변형강도 시험을 수행하였다. 표 6은 시험에서 측정된 최대하중과 변형 및 변형강도를 나타낸 것이며 그림 6은 혼합물 별로 변형강도의 결

과를 비교한 그래프이다.

표 6. S_D of 10cm core specimens

Mixture		Air Void (%)	P(N)	y(mm)	S_D (MPa)
Agg.	Binder				
10mm	AP5	2.68	1872	5.39	1.684
	R10	2.71	2252	5.70	2.004
	RL5	2.19	2479	4.81	2.316
	L4E10	2.20	2290	5.00	2.105
13mm	AP5	2.90	930	5.85	0.815
	R10	2.79	1829	5.25	1.654
	RL5	2.22	2164	4.50	2.061
	L4E10	2.60	2552	6.35	2.225

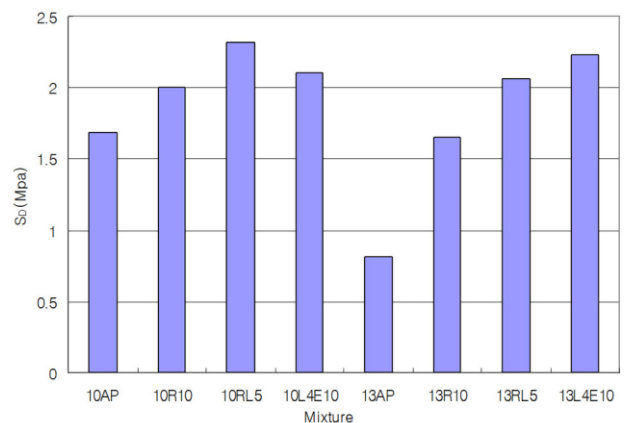


그림 6. S_D comparison of 10cm core specimens

표 6과 그림 6에서 알 수 있듯이 결과는 전체적으로 낮은 변형강도를 보이는 것으로 나타났다. 이 결과의 원인을 코어 채취 과정에서의 공시체 손상과 현장과 달리 하중봉의 규격에 비하여 공시체의 크기가 작아 측면 구속력이 상대적으로 적다고 판단하여, 지름이 15cm인 선화다짐 공시체를 제작하여 변형강도시험을 수행하였다. 표 7과 그림 7은 각각 15cm 선화다짐 공시체의 변형강도와 이를 혼합물 별로 비교한 것이다.

표 7. S_D of 15cm gyratory compactor specimens

Mixture		Air Void (%)	P(N)	y(mm)	S_D (MPa)
Agg.	Binder				
10mm	AP5	3.95	1273	4.5	1.816
	R10	2.96	2461	5.0	2.263
	RL5	3.65	2683	4.7	2.518
	L4E10	3.18	2941	4.9	2.559
13mm	AP5	2.26	2519	4.6	1.880
	R10	3.74	2469	3.9	2.308
	RL5	3.64	2705	4.5	2.501
	L4E10	4.05	2336	5.1	2.133

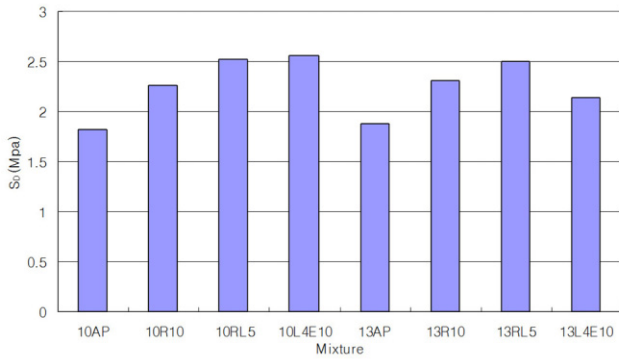
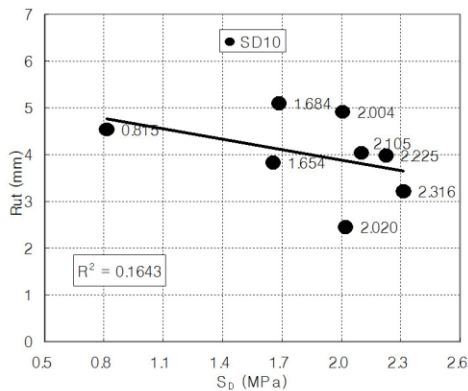


그림 7. S_D comparison of 15cm gyratory compactor specimens

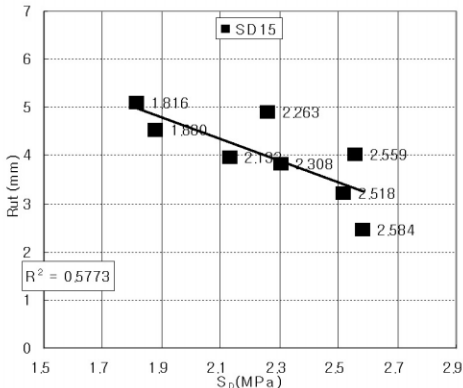
선회다짐기로 다짐된 15cm 공시체의 변형강도가 10cm 코어 공시체의 변형강도 결과보다는 약간 높은 변형강도 결과가 나타났으나 여전히 전체적으로 낮은 변형강도 결과가 나타났다. 일반적으로 밀입도 혼합물의 변형강도 기준인 3.2MPa에도 미치지 못하는 것으로 나타나면서 밀입도 혼합물의 변형강도 기준을 SMA 혼합물에 적용하는 것은 한계가 있다고 판단된다.

3.4. 상관성 분석

SMA 혼합물에 대한 변형강도의 적용을 고찰하기 위하여 변형강도의 결과를 소성변형과의 상관성이 높은 반복주행시험



(a) core specimen, diameter 10cm



(b) gyratory specimen, diameter 15cm

그림 8. Correlation between WT rut depth and S_D

결과와 회귀분석을 통해 상관관계를 분석하였다. 그림 8의 (a)는 10cm 코어 공시체와 최종 침하깊이와의 상관성을 나타낸 것이며, (b)는 15cm 선회다짐 공시체와 최종 침하깊이와의 상관성을 나타낸 것이다.

상관성 분석은 코어 공시체 및 선회다짐 공시체의 변형강도와 최종 침하깊이가 낮은 결정계수(R^2)를 보여 상관성이 낮은 것으로 나타났다.

그림 9는 두 가지 공시체의 변형강도를 상관성 분석한 것이다. 반복주행시험의 결과에서는 최종 침하깊이와 동적안정

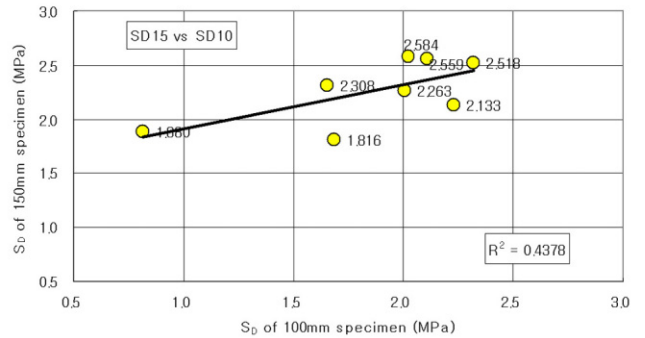
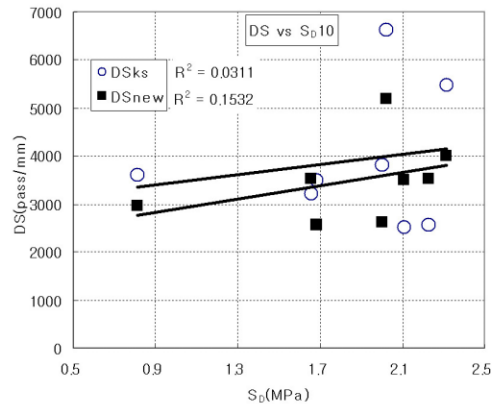
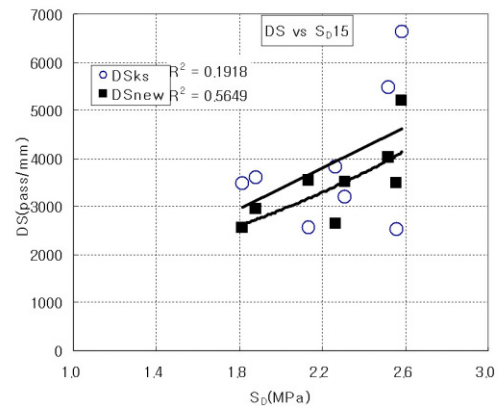


그림 9. Correlation between S_D of gyration specimens and S_D of core specimens



(a) core specimen, diameter 10cm



(b) gyratory specimen, diameter 15cm

그림 10. Correlation between DS and S_D

도가 바인더 별로 확연한 차이를 보였으나 변형강도의 경우에는 전체적으로 강도가 낮고 구분도 힘든 것으로 나타났다. 변형강도의 상관성이 너무 낮아 밀입도 혼합물의 변형강도 측정방법으로 SMA 혼합물의 변형강도를 측정한 변형강도만으로 소성변형 저항성을 예측하는데는 한계가 있는 것이라 할 수 있겠다.

그림 10의 (a)와 (b)는 10cm 코어 공시체와 15cm 선회다짐 공시체의 변형강도와 두 가지 동적안정도 산정 방법에 대한 상관관계를 나타낸 것이다. 10cm 코어공시체와 15cm 선회다짐 공시체 모두 R^2 값이 전체적으로 낮게 나타났으나 두 가지 동적안정도 산정 방법 중 KS에 의한 동적안정도보다는 본 연구에서 제시하는 새로운 동적안정도와 다소 높은 R^2 값을 보이는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구는 SMA 혼합물의 소성변형 저항성의 측정 시험법으로 변형강도의 적용 가능성을 반복주행시험과의 상관성 분석을 통하여 고찰하고 더불어 개질재 첨가에 따른 SMA 혼합물의 특성을 분석하기 위하여 수행하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. SMA 혼합물의 변형강도의 측정 결과 매우 낮은 값이 나타났으며 밀입도 혼합물 10cm 공시체의 간선도로 기준인 4.25MPa은 물론 일반도로 기준인 3.2MPa에도 훨씬 못 미쳤다. 이는 밀입도 혼합물과 SMA 혼합물의 강도 발현 메커니즘이 다르기 때문이라 판단되며 이의 규명을 위해서는 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.
2. 일반 AP-5의 SMA 혼합물보다는 개질재를 첨가한 SMA 혼합물의 동적안정도와 변형강도가 높게 나왔다. 이는 개질재의 첨가에 따른 소성변형 저항성의 향상이 밀입도 혼합물과 마찬가지로 SMA 혼합물에서도 나타난다는 것을 알 수 있다.
3. SMA 혼합물의 배합설계 기준으로 명시되어 있는 반복주행시험의 동적안정도의 경우 기준인 2000pass/mm를 모두 만족하였으나 실제 현장에서 SMA 혼합물이 소성변형 저항성에 매우 강한 것과 같은 높은 수준의 결과를 보이지 않았다. 이것은 반복주행시험으로 SMA 혼합물의 소성변형 저항성을 예측한다고 할 수 없으며, SMA 혼합물의 소성변형 저항성 측정을 위한 시험법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.
4. SMA 혼합물은 실제 도로에서 소성변형 저항성이 매우 우수한 점과 비교하여 반복주행 시험의 결과인 동적안

정도와 최종 침하깊이, 그리고 변형강도가 매우 미흡하게 나타났다. 이는 간접인장강도나 마찰 안정도에서도 그렇듯이 변형에 관련한 시험에는 SMA 혼합물의 우수성이 제대로 반영되지 못하는 특징이 있음을 재확인한 것이라고 할 수 있다.

5. 또한 두 가지 변형강도 결과의 상관성 역시 매우 낮게 나타남으로써 본 연구에서 SMA 혼합물의 소성변형 특성을 일반 밀입도의 소성변형과 아주 높은 상관성을 보이는 변형강도 시험방법으로 측정한 변형강도로 평가하는 것은 적용이 어려울 것으로 판단된다.
6. 마지막으로 위의 결론에서 지적한 바와 같이 SMA 혼합물의 소성변형 저항성을 예측할 수 있는 시험법의 개발이 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 자유공모파제의 지원에 의해 강원대학교 석재복합 건설신소재연구소의 장비를 사용하여 이루어진 것입니다.

참고 문헌

건설교통부(2006), "아스팔트 콘크리트의 고온 내변형성 평가기법 개발"
 건설교통부(2007), "아스팔트 콘크리트의 고온 내변형성 평가기법 개발"
 국토해양부(2008), "아스팔트 혼합물 생산 및 시공 잠정지침"
 한국도로공사 도로연구소(1998), "SMA 포장의 실용화 및 최적화 연구"
 한국도로공사(2004), "고속도로공사 전문 시방서"
 김광우, 도영수(2006) "아스팔트 혼합물 반복주행 시험에서 합리적 동적 안정도의 산정 방," *대한도로학회 논문집* 제8권 1호
 김광우, 이기호, 조문진, 고태영(2005), "아스팔트 콘크리트의 소성변형 저항성 평가를 위한 동적크리프 시험과 변형강도의 적용성 연구," *한국도로학회 봄 학술발표대회 논문집*.
 김광우, 조병진, 이순제, 도영수(2007), "고온 내변형 아스팔트혼합물 선정 을 위한 변형강도 임계치의 결정방안," *한국도로학회 논문집*, 9(4), 193-204.
 이상범(2001), "아스팔트 혼합물의 공극 및 강도 특성을 이용한 소성변형 추정 연구," 강원대학교 대학원 박사학위논문
 Kim, K. W., Doh, Y. S. and Amirkhanian, S. N. (2004), "Feasibility of deformation strength for estimation of rut resistance of asphalt concrete," *Road Materials and Pavement Design*, 5(3), Dec., 303-322.
 Park, N. W., Kim, H. H., Baek, S. H., Kim, K. W. and Doh, Y. S., (2007), "Correlation of Deformation Strength (SD) with Lab Data and Field Rutting Data of Asphalt Pavements," *UKC Conference*, Washington, DC, USA.

접 수 일 : 2009. 4. 27
 심 사 일 : 2009. 4. 30
 심사완료일 : 2009. 12. 3