

복합개질제를 이용한 아스팔트 혼합물의 물성 평가

이관호*, 김성겸
국립공주대학교 건설환경공학부

Evaluation of Hot Mix Asphalt Properties using Complex Modifiers

Kwan-Ho Lee*, Seong-Kyum Kim

Department of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University

요약 본 연구에서는 국내에서 주로 발생하는 소성변형에 대한 아스팔트 혼합물의 성능개선을 위해 분말형 및 액상형 재료를 혼합한 복합 개질제를 이용하였다. 주요 구성 물질은 분말형인 규조토, 운모 및 카본블랙, 액상형 고흡분 70% SBR(Styrene-Butadiene Rubber) 라텍스 등을 이용하였다. 시험에 사용된 2종류의 표층용 혼합물에 대한 인장강도비는 국토교통부(2017) 아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침 기준인 0.80 이상을 만족하였다. 복합개질제를 첨가한 경우 건조상태에서의 인장강도 증가효과가 약 14% 이상 나타났다. 휠트래킹 시험 하중에 의한 분당변형속도는 0.07-0.14 정도로 복합 개질제 사용 시 분당 변형속도가 개선되었고, 동적안정도의 경우 295에서 590으로 거의 100% 정도 향상되었다. 또한, 최종 침하량은 11.38mm에서 9.57mm로 저감되었다. 동삼축압축시험을 이용한 소성변형 시험결과, 2단계 구간이 끝나고 3단계 소성변형과 피구간에 진입하는 변형량의 크기는 평균 1.50mm에서 1.76mm, 나타났다. 또한, 2단계 구간의 시간당 변형 기울기는 기존 아스팔트 혼합물은 0.007 mm/sec 이고, 복합 개질제를 혼합한 아스팔트 혼합물의 평균기울기는 0.005 mm/sec 정도로 도로포장체가 안정적인 공용성능을 발휘하는 구간에서 교통하중에 의한 소성변형 속도가 상대적으로 작음을 알 수 있다.

Abstract In this study, to improve the performance of asphalt mixtures for plastic deformation occurring mainly in Korea, complex modifiers were prepared by mixing powders and liquid type modifiers. The main constituents were powdery diatomaceous earth, mica and carbon black, and liquid type solid 70% SBR latex. The tensile strength ratios for the two asphalt mixtures used in the test were above 0.80 for the Ministry of Land Transportation (2017) asphalt mixture production and construction guidelines. The effects of increasing the tensile strength in the dry state was more than 14% when the composite modifier was added. The deformation rate per minute by the wheel tracking test load was an average of 0.07 to 0.147 for each mixture. The strain rate per minute was improved by the modifier, and the dynamic stability was improved by almost 100% from 295 to 590. In addition, the final settling was reduced from 11.38 mm to 9.57 mm. A plastic deformation test using the triaxial compression test showed that the amount of deformation entering the plastic deformation failure zone at the end of the second stage section and in the third stage plastic deformation section was 1.76 mm for the conventional mixture and 1.50 mm for the complex modifier mixture. The average slope of the complex modifier asphalt mixture mixed with the multi-functional modifier was 0.005 mm/sec. The plastic deformation rate is relatively small in the section where the road pavement exhibits stable common performance, i.e. the traffic load.

Keywords : Modifiers, Asphalt Mix Design, Permanent Deformation, Wheel Tracking Test, Tensile Strength

*Corresponding Author : Kwan-Ho Lee(Kongju National Univ.)

Tel: +82-41-521-9313 email: kholee@kongju.ac.kr

Received February 14, 2018

Revised (1st March 20, 2018, 2nd March 21, 2018)

Accepted May 4, 2018

Published May 31, 2018

1. 서론

아스팔트 포장의 주요 파손유형으로는 피로균열, 소성변형 및 저온균열 등이 있다. 이러한 포장의 파손은 교통하중과 기후조건에 따른 응력으로 인해 발생한다. 특히, 최근에 교통량의 급증과 중차량의 증가로 인해 포장 표면에 접촉하는 타이어의 접지압이 커지고, 이로 인해 아스팔트 포장의 소성변형 및 탑다운 균열이 크게 증가하고 있는 실정이다[1][2]. 이러한 문제를 해결하기 위해 아스팔트 바인더의 등급을 한 단계 또는 두 단계 이상을 사용하는 방법과 개질제를 이용한 아스팔트 바인더의 성능을 도로포장 파손유형에 최적화할 수 있도록 개량하는 방법을 주로 이용하고 있다.

일반적으로 이상적인 아스팔트 바인더에 요구되는 특성은 다음과 같다[3][4].

- 액상 아스팔트 바인더의 펄핑, 혼합물 혼합 및 다짐에 용이하게 높은 시공온도에서 낮은 굳기(점도)를 가짐
- 시공 후 소성변형 및 밀림과 같은 포장의 변형을 줄이기 위해 60도 정도 고온에서 더 큰 굳기를 가짐
- 저온에서 발생하는 온도균열을 제어하기 위해 낮은 온도대역에서 낮은 굳기를 가짐
- 수분 등에 의한 박리를 줄이기 위해 아스팔트와 골재의 부착성이 커야함.

아스팔트 개질제는 아스팔트 혼합물의 내구성 및 유동성을 향상시킬 목적으로 스트레이트 아스팔트에 일정량을 첨가하여 아스팔트 물성을 향상시키는데 목적이 있다. 이를 위해 개발되어 상용화된 제품들이 매우 다양하게 판매되고 있다. 아스팔트 개질제의 일반적인 분류로는 채움재, 증량제, 고무제품군, 플라스틱제품군, 섬유제품군, 산화제, 산화방지제, 탄화수소계, 박리방지제, 재활용 제품 등이 있다.

본 연구에서는 국내에서 주로 발생하는 소성변형에 대한 아스팔트 혼합물의 성능개선을 위해 분말형 개질제와 액상형 개질제를 혼합한 복합 개질제를 조성하였다. 복합 개질제의 주요 구성 물질은 분말형으로는 규조토, 운모 및 카본블랙, 액상형으로는 고흡분 70% SBR (Styrene-Butadiene Rubber) 라텍스 등을 이용하였다. 각각의 구성 물질을 사전에 혼합하여 제조하고, 이를 골재와 아스팔트 바인더와 혼합하여 아스팔트 혼합물을 제조하여 공용성능 평가 시험에 이용하였다. 복합 개질제

를 이용한 표층용 아스팔트 혼합물 공용성능은 주로 소성변형 특성 평가시험을 수행하여 복합개질제의 아스팔트 포장 소성변형 저감 특성을 평가 및 분석하였다.

2. 복합개질제 기본구성

규조토는 단세포 식물성 플랑크톤인 규조류의 화석으로 수많은 크고 작은 다양한 아름다운 모양의 구멍이 있는 초 다공성 물질이다. 숯보다 5,000배 이상 초미세 공간 구조를 가진 아주 가벼운 흙이다. 이것 때문에 규조토는 강한 흡착력을 가지며 자신의 부피 절반가량의 수분을 흡수한다. 규조토 자체는 물보다 가벼우며 자체적으로 굳지 않는다. 규조토는 열전도율이 낮고 단열 기능이 매우 높은 재료이다. 본 연구에서는 주로 단열 및 내구성 증진용으로 이용하였다.

운모는 주로 매우 넓고 많은 화성암 및 변성암에서 생성되고, 퇴적암에서도 일부 생성된다. 공업용으로 제일 많이 사용되는 것이 백운모이다. 주로 건재업, 소방업, 소화제, 플라스틱, 전기용접, 전기절연 등 화공 관련 분야에서 응용하여 활용하고 있다. 초미세 운모분은 플라스틱, 도료, 페인트, 고무 등 기능성 충전물로 사용되고 있다. 재료적 특성은 높은 전기절연성, 항산감부식성, 탄성, 인성과 내열방음 등이 있다. 본 연구에서는 주로 단열 및 방수 기능을 목적으로 이용하였다[8].

카본블랙은 산화방지제 및 아스콘(흑색) 변색방지용을 목적으로 이용하였다. 사용된 제품은 페타이어를 열분해하고 발생하는 부산물을 가공처리한 제품이다[7]. 천연가스, 타르, oil 등의 탄화수소 등을 불완전 연소시켜 생긴 그을음을 모으거나, 열분해에 의해서 탄소육원환의 형성이 행해지고 이어 탈수소축합 등의 과정에 의해 다환식 방향족 화합물을 거쳐 탄소원자 6각 그물구조의 소위 carbon black 결정자를 낳는데, 이 결정자의 집합체가 carbon black이다. 11% 정도가 인쇄잉크를 비롯하여 흑색안료(黑色顔料)로 사용될 뿐이며 85 %가 고무용으로 쓰일 정도로 대표적인 고무 첨가제이다. 고무용에는 입자가 미세한 사슬 모양의 결합이 없는 것이 적합하며, 증강제나 내유성·내열성 등의 보강충전제로 사용된다.

액상형 SBR 라텍스는 아스팔트 바인더의 점도, 결합력 및 접착력 증진을 목적으로 이용하였다. 일반적으로

1800년대부터 개발되어 온 합성고무는 부타디엔과 스타이렌이라는 두 가지 물질을 합쳐 SBR이라는 합성고무를 개발하여 이를 주재료로 이용하고 있다. 합성고무는 천연고무에 비해 내마모성에 있어서 뛰어난 특성을 보이지만, 일반적으로 탄성 및 촉감 등은 천연고무가 더 뛰어난 성능을 보인다. 이러한 특징 때문에 합성고무는 주로 마모가 적은 제품들(자동차 타이어, 신발 밑창 등)에 많이 사용되며, 라텍스는 마모가 상대적으로 적으면서 촉감 및 탄성이 직접적으로 필요한 제품(신발 깔창, 장갑 등)에 많이 사용된다. 다만, 자외선, 열, 오존, 유분 등에 취약한 성질을 가지고 있어 사용 시 주의가 필요하다.

본 연구에 사용된 표층용 아스콘 개질제 사용량은 혼합물 1톤당 규조토 2.4kg, 운모 0.6kg, 카본블랙 1.5kg, 및 SBS(Styrene-Butadiene-Styrene) 라텍스 6.0kg을 혼합하여 이용하였고, 이를 복합 개질제로 표기하였다. 복합개질제는 사전에 혼합하여 사용할 수 있도록 제조하였고, 이를 아스팔트 혼합물 배합 시 골재와 혼합하여 아스팔트 혼합물을 제조하였다.

3. 시험내용 및 결과

3.1 실험재료 및 최적배합설계

실험에 사용한 아스팔트 표층용 혼합물은 WC-2, 13mm 를 이용하였다. 표층용 혼합물은 13mm 골재, 8mm 부순모래, 석회석분 채움재 등으로 구성되고, 복합개질제 사용에 따른 성능을 비교하기 위하여 표준배합(A)과 개질제 사용배합(B) 혼합물 2종으로 비교하였다. 각각의 통과 중량백분율 입도는 Table 1과 같다. 표준배합(A)은 혼합입도는 13mm 골재 44%, 8mm 부순모래 53% 및 석회석분 채움재 3%를 이용하였고, 개질제 사용 혼합물(B)은 13mm 골재 44%, 8mm 부순모래 52.7%, 석회석분 채움재 2%, 복합개질제 1.3%를 적용하여 시방서 상의 표층용 아스팔트 혼합물 입도규정을 준수하였다.

표층용 혼합물 A 및 B의 최적아스팔트 함량은 5.60%를 적용하였다. 표층용 혼합물 A의 평균밀도는 2.337, 평균공극률은 4.8%, 포화도는 72.3%, 마찰안정도는 13,442 N, 흐름값은 23이고, 복합개질제를 혼합한 혼합물 B의 평균밀도는 2.336, 평균공극률은 4.8%, 포화도는 72.2%, 마찰안정도는 18,472 N, 흐름값은 22으로 측정되었다. 기본물성치에서 복합개질제를 첨가한 혼합물

B의 마찰안정도 증가효과가 크게 나타났다.

Table 1. Passing % and Target Gradation

Type Size	13mm Aggregate	8mm Crushed Sand	Filler	Target Gradation
20mm	100			100
13mm	98.6			97.5
10mm	68.0	100		88.0
5mm	12.3	94.2		62.5
2.5mm	3.5	68.9		42.5
0.6mm	1.2	35.6		24.0
0.3mm		24.1	100	15.5
0.15mm		10.3	98.5	11.0
0.08mm		6.8	84.1	6.0

3.2 수분저항성 평가

도로 포장의 파손은 포장체내의 물이 상당히 큰 영향을 준다. 수분에 대한 영향평가를 위한 다양한 시험방법이 제안되고 있으나, 국내에서 가장 많이 사용하고 있는 수분민감도 평가방법은 KS F 2398 아스팔트 혼합물의 수분저항성 시험방법에 이용한 인장강도비(Tensile Strength Ratio)를 측정하는 것이다[3]. 인장강도비는 평균공극률 4.8%의 공시체를 제작하여 건조상태 및 진공포화 후 수분처리 상태에서 각각 측정된 간접인장강도 값의 비율을 의미한다. 인장강도비는 아스팔트 포장의 박리현상을 예측하는데 사용하고, 박리 방지제의 사용에 따른 아스팔트 혼합물의 내구성 평가 등에도 활용할 수 있다[6].

2종류의 표층 아스팔트 혼합물에 대한 인장강도비 시험은 Fig. 1과 같고, 결과는 Table 2에 나타내었다. 측정된 2종류의 표층용 혼합물에 대한 인장강도비는 국토교통부(2017) 아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침 기준인 0.80 이상을 만족하였다[3]. 복합개질제를 첨가한 경우 건조 상태에서의 인장강도 증가효과가 약 14% 이상 나타났으나, 수침 시 인장강도 변화는 상대적으로 작게 나타났다.

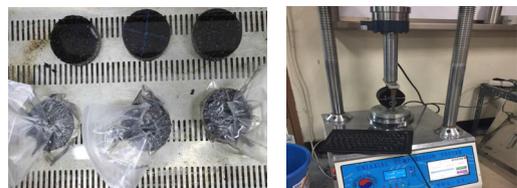


Fig. 1. Water Chamber and IDT Tester

Table 2. Test Result of TSR for Dry & Wet States

Type	Indirect Tensile Strength			toughness	
	dry (MPa)	wet (MPa)	TSR (%)	dry (Nmm)	wet (Nmm)
A	1.50	1.33	88.7	28512	23565
B	1.71	1.38	80.7	36031	38090

3.3 Wheel Tracking 시험

아스팔트 포장의 소성변형은 도로 공용 후 장기간이 지난 후에 나타나는 파손형태이다. 이를 평가하기 위해 실내소성변형시험, 휠트래킹시험, 포장가속시험 및 대규모 현장시험 등이 활용된다[5][6]. 본 연구에서는 KS F 2374 : 아스팔트 혼합물의 휠 트래킹 시험방법에 규정된 시험법에 따라 지름 150mm 선회다짐시편을 제작하여 혼합물 종류별로 최소 3개의 시편을 이용하여 시험하였다. 시험 온도는 60°C이고, 가해진 수직하중은 686N을 적용하였다. Fig. 2는 휠트래킹 시험장비이다. 시험장비는 온도조절이 가능하고, 자동화된 계측시스템을 이용하여 하중-변형-휠반복횟수 등을 자동 계측할 수 있다.



(a) Wheel Tracking



(b) Measured Data

Fig. 2. Wheel Tracking Testing System

휠트래킹 시험을 완료하면 측정된 시험결과를 이용하여 변형속도, 동적안정도 및 최종침하량을 결정한다. 변형속도는 변형률이 안정화되는 45분과 60분 사이의 15분 동안의 변형량을 측정하여 다음과 같은 공식을 이용하여 결정한다. 동적안정도는 공시체의 표면에 1mm 변형에 필요한 시험하중 휠의 통과횟수를 이용하여 결정한다.

시험결과는 Table 3과 같다. 복합 개질제를 이용한 표층용 아스팔트 혼합물 B의 성능개선효과가 큼을 알 수 있다. 하중에 의한 분당변형속도는 A 혼합물은 0.14, B 혼합물은 0.07로 복합 개질제 사용시 분당 변형속도가 개선되었고, 동적안정도의 경우 295에서 590으로 거의 100% 정도 향상되었다. 또한, 최종 침하량은 11.38mm에서 9.57mm로 저감되어 복합개질제 소성변형을 저감하는데 상당히 기여한 것으로 나타났다.

$$\text{변형속도 (RD, mm/min)} = \frac{d_{60} - d_{45}}{15}$$

$$\text{동적안정도 (DS)} = 42 \times \frac{t_{60} - t_{45}}{d_{60} - d_{45}}$$

Table 3. Rutting Results of Wheel Tracking Test

Type	Deformed Velocity (mm/min)	Dynamic Stability (#/mm)	Rutting Depth (mm)
A	0.14	295	11.38
B	0.07	590	9.57

3.4 반복하중을 이용한 삼축압축시험

아스팔트 혼합물의 소성변형 성능평가 시 온도조절이 가능한 반복하중을 줄 수 있는 삼축압축시험을 이용한다. 반복하중을 이용한 삼축압축 시험은 선회다짐 한 시편을 코어링 한 시편을 이용한다. 포장체에 전달되는 상부교통하중을 반복수직하중으로 모사하여 재하하고, 이때 발생하는 변형을 측정하여 소성변형특성을 평가한다. Fig. 3은 반복하중을 재하할 수 있는 삼축압축시험기이고, 주요 구성요소로는 온도조절이 가능한 온도조절챔버, 반복하중을 재하 할 수 있는 하중프레임, 구속압을 줄 수 있는 삼축압축셀, 변형을 측정하는 LVDT 등이다.

삼축압축 반복재하시험은 NCHRP Report 465 “Simple Performance Test for Superpave Mix Design”

에서 제시된 시험방법을 준용하였다[4]. 시험에 이용된 시편은 선화다짐으로 제작된 직경 100mm, 높이 130mm 시편을 이용하였다. 삼축압축시험 전에 최소 6시간 이상 60°C 건조로에서 공시체의 온도를 관리하였다.

삼축압축 반복재하시험을 위해 반복되는 연직축하중은 827kPa, 구속하중은 138kPa를 적용하였다. 하중은 0.1초 재하 및 0.9초 휴지기를 갖는 반사인과 형태의 반복하중을 이용하였다.

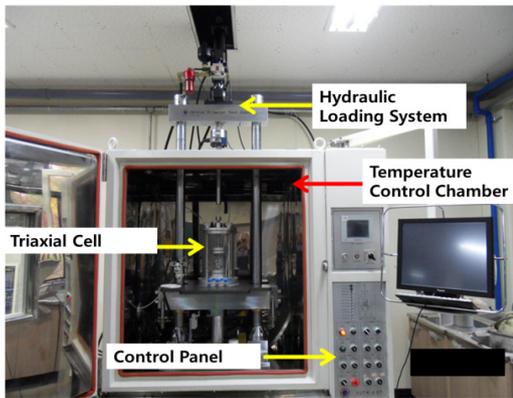


Fig. 3. Permanent Deformation Testing System

삼축압축 반복재하시험 결과는 Fig. 4와 같이 정리할 수 있고, 여기서 회복변형, 소성변형 등을 결정한다. 소성변형 시험결과는 총 3단계, primary, secondary 및 tertiary 로 구분된다. 2단계 변형구간의 특성은 도로포장이 정상적인 상태인 공용기간 동안의 특성을 반영하는 것이고, 주로 교통하중에 의한 포장의 지속적인 압축변형이 일어난다. 이 구간의 기울기가 작을수록 교통하중에 의한 소성변형이 작게 발생하고, 도로 포장체의 공용수명이 커짐을 의미한다. 3단계 구간은 포장에 가해지는 하중에 의해 포장체의 소성변형이 급속하게 진행되는 구간을 의미한다. 2단계와 3단계를 구분하는 지점의 변형을 흐름점이라 통칭하고, 2단계 시작점에서의 변형을 회복변형, 3단계 시작점에서의 변형을 소성변형으로 구분한다.

Table 4는 소성변형 단계별로 변형 및 하중재하시간을 분석한 결과이다. 하중을 재하 한 직후 발생하는 초기 변형의 경우 0.1mm 정도로 나타났다. 초기변형 구간이 끝나고, 이후 2단계 Steady-State 상태 구간이 시작되는 변형 크기는 평균적으로 A 혼합물은 0.31mm, B 혼합물은 0.19mm로, 이는 시편의 높이 100mm를 기준으로 보

면 약 0.2% 변형수준에서 2단계 Steady-State 구간에 진입하는 것으로 해석할 수 있다. 2단계 구간이 끝나고 3단계 소성변형과피구간에 진입하는 변형량의 크기는 평균 A 혼합물은 1.76mm, B 혼합물은 1.50mm로, 시편의 높이 기준으로 보면 약 1.5% 변형시 소성변형 과피가 시작되는 것으로 해석할 수 있다.

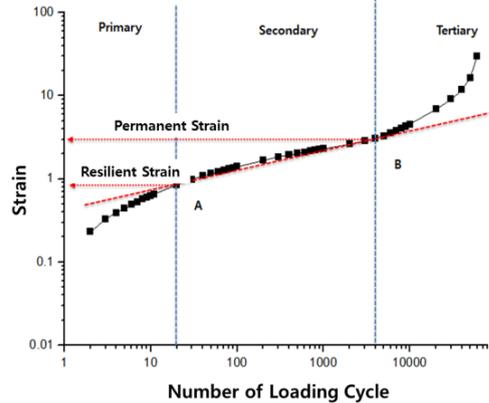


Fig. 4. Deformation Stages with Loading Cycles

Table 4. Deformation(mm) for Each Stages

Stage	1 : Primary		2 : Secondary		3 : Tertiary	
	mm	cycle (sec)	mm	cycle (sec)	mm	cycle (sec)
A	0.31	20	0.67	5000	1.76	70000
B	0.19	20	0.54	5000	1.50	70000

2가지 아스팔트 혼합물의 2단계 시작 및 3단계 시작시의 변형량의 크기는 비교대상인 A 혼합물에 비해 복합개질제를 이용한 B 혼합물의 변형량이 상대적으로 작게 나타났다. 이를 근거로 아스팔트 혼합물의 소성변형 저항성을 평가하는 것이 의미 있는 것으로 판단된다.

일반적으로 2단계 steady-state 상태 구간이 교통하중을 개방하였을 때, 도로포장체가 안정적인 공용성(performance)을 보여주는 구간으로 이 구간의 기울기가 작을수록 교통하중에 의한 소성변형이 작게 발생하고, 도로 포장체의 수명이 커짐을 의미한다. 복합개질제를 사용하지 않은 A 아스팔트 혼합물의 2단계 구간 기울기는 0.007 mm/sec 이고, 복합 개질제를 혼합한 B 아스팔트 혼합물의 평균기울기는 0.005 mm/sec 정도로 도로포장체가

안정적인 공용성능을 발휘하는 구간에서 교통하중에 의한 소성변형 속도가 상대적으로 작음을 알 수 있다.

4. 결론

분말형태의 구조토, 운모 및 카본블랙, 액상형 고흡분 70% SBR 라텍스를 혼합한 복합개질제를 이용한 아스팔트 혼합물의 실험 및 분석을 통해 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- (1) 표층용 혼합물 A 및 B의 최적아스팔트 함량은 5.60%를 적용하였다. 표층용 혼합물 A의 마찰안정도는 13,442 N, 흐름값은 23이고, 복합개질제를 혼합한 혼합물 B의 마찰안정도는 18,472 N, 흐름값은 22으로 측정되었다. 기본 물성치에서 복합개질제를 첨가한 혼합물 B의 마찰안정도 증가효과가 크게 나타났다.
- (2) 측정된 2종류의 표층용 혼합물에 대한 인장강도비는 국토교통부(2017) 아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침 기준인 0.80 이상을 만족하였다. 복합개질제를 첨가한 경우 건조상태에서의 인장강도 증가효과가 약 14% 이상 나타났으나, 수침 시 인장강도 변화는 상대적으로 작게 나타났다.
- (3) 휠트래킹 시험 하중에 의한 분당변형속도는 A 혼합물은 0.14, B 혼합물은 0.07로 복합 개질제 사용 시 분당 변형속도가 개선되었고, 동적안정도의 경우 295에서 590으로 거의 100% 정도 향상되었다. 또한, 최종 침하량은 11.38mm에서 9.57mm로 저감되어 복합개질제 소성변형을 저감하는데 상당히 기여한 것으로 나타났다.
- (4) 2단계 구간이 끝나고 3단계 소성변형과피구간에 진입하는 변형량의 크기는 평균 A 혼합물은 1.76mm, B 혼합물은 1.50mm로, 나타났다. 또한, 2단계 구간의 시간당 변형 기울기는 A 아스팔트 혼합물은 0.007 mm/sec 이고, 복합 개질제를 혼합한 B 아스팔트 혼합물의 평균기울기는 0.005 mm/sec 정도로 도로포장체가 안정적인 공용성능을 발휘하는 구간에서 교통하중에 의한 소성변형 속도가 상대적으로 작음을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 사용한 분말형태의 구조토, 운모 및 카

본블랙, 액상형 고흡분 70% SBR 라텍스를 혼합하여 만든 복합개질제가 아스팔트 혼합물의 소성변형 저감에 효과가 있음을 의미한다.

References

- [1] Hong, C. W., "Comparison of Hot Mix Asphalt Properties Between Marshall and Gyrotory Compaction", Bachelor Thesis, University of Teknologi Malaysia, pp. 27, 2007.
- [2] Korean Society of Road Engineers, "Asphalt Paving Technology to Enhance Durability of Asphalt Pavement, Pavement Technology Series 2, Kumi Corp., pp. 228, 2006.
- [3] Korea Ascon Cooperative Association, "Hot Mix Asphalt Mixture", SPS- KAI0002 - F2349 -5687, pp. 20, 2015.
- [4] National Research Council, "Simple Performance Test for Superpave Mix Design", NCHRP Report 465, pp. 114, 2002.
- [5] Cooley, L. A., Jr., et al., "Loaded Wheel Testers in the United States: State of the Practice," Transportation Research E-Circular, Number E-C016, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000.
- [6] Schram, S., "Evaluation of Bias in the Hamburg Wheel Tracking Device", SP&R Project # RB00-010, Iowa Department of Transportation, pp. 17.
- [7] Performance Testing for Hot Mix Asphalt, Asphalt Technology News, Volume 14, Number 1, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Auburn, Alabama, Spring 2002.
- [8] Arnold, T.S., Rozario-Ranasinghe, M., and Youtcheff, J., "Determination of Lime in Hot-Mix Asphalt," Transportation Research Record 1962, Transportation Research Board, National Academy of Science, Washington, DC. 2006.
DOI: <https://doi.org/10.3141/1962-13>

이 관 호(Kwan-Ho Lee)

[종신회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 12월 : 미국 Purdue Univ. Civil Eng., (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 국립공중대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>

도로공학 및 지반공학

김 성 겸(Seong-Kyum Kim)

[정회원]



- 2010년 2월 : 국립공주대학교 건설환경공학부 (공학석사)
- 2012년 2월 : 국립공주대학교 건설환경공학과 (공학석사)
- 2017년 2월 : 국립공주대학교 건설환경공학과 (공학박사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 방재연구센터 전임연구원

<관심분야>

도로공학 및 지반공학