

# 폴리머 아스팔트의 유제 부착성능 및 혼합물 변형강도에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Binder Adhesion Performance and Mixture Deformation Strength of Polymer Asphalt

최재민<sup>1</sup> · 김경진<sup>2\*</sup> · 이승용<sup>3</sup> · 김인중<sup>4</sup> · 정용휘<sup>5</sup>

Jae-Min Choi<sup>1</sup>, Kyeong-Jin Kim<sup>2\*</sup>, Seung-Yong Lee<sup>3</sup>, In-Joong Kim<sup>4</sup>, Yong-Hwi Jeong<sup>5</sup>

1Team Manager, Ph.D. Candidate, Eumseong Innovation Strategy Office, Eumseong, Republic of Korea

2Professor, Department of Civil Engineering Korea National University of Transportation, Chungju, Republic of Korea

3Professor, Department of Civil Engineering Korea National University of Transportation, Chungju, Republic of Korea

4CEO, Ph.D., GK Technology Research Institute Co., Ltd, Chuncheon, Republic of Korea

5Lecturer, Ph.D., Department of Civil Engineering Korea National University of Transportation, Chungju, Republic of Korea

\*Corresponding author: Kyeong-Jin Kim, kkjman@ut.ac.kr

### ABSTRACT

**Purpose:** This paper aims to develop an asphalt pavement system with reduced cracks, structural stability and waterproofing at sub-zero temperature conditions. **Method:** Under various temperature conditions, SIS polymer asphalt, normal asphalt, and guss asphalt were tested for adhesion strength of the binder and deformation strength of the mixture. **Result:** The adhesion strength of asphalt binder was higher in SIS polymer asphalt than that of normal asphalt and guss asphalt. The deformation strength of the asphalt mixture was almost the same as that of SIS polymer asphalt and normal asphalt. The energy absorption of the SIS polymer asphalt mixture was relatively higher than that of the normal asphalt mixture and the guss asphalt mixture. **Conclusion:** The maximum load of the SIS polymer asphalt mixture was lower than that of the guss asphalt mixture. However, in sub-zero temperature conditions, sufficient energy absorption was secured by stable load reduction. Therefore, it is expected to improve the durability of asphalt pavement by reducing the occurrence of microcracks with stable fracture behavior.

**Keywords:** Asphalt Binder, Asphalt Mixture, Adhesion Strength, Deformation Strength, Energy Absorption

### 요약

**연구목적:** 영하의 조건에서도 균열발생을 억제하고, 구조적으로 안정된 성능과 방수기능을 동시에 발휘하는 아스팔트 포장시스템을 개발하고자 한다. **연구방법:** SIS 폴리머 아스팔트, 일반 아스팔트 및 구스아스팔트를 대상으로 다양한 온도조건에 따른 유제의 부착실험 및 혼합물의 변형강도 실험을 실시하여 그 특성을 비교, 분석하였다. **연구결과:** 아스팔트 유제의 부착강도는 SIS 폴리머 아스팔트가 일반 아스팔트 및 구스아스팔트에 비해 높은 것으로 나타났다. 아스팔트 혼합물의 변형강도는 SIS 폴리머 아스팔트와 일반 아스팔트가 거의 동일하게 나타났다. SIS 폴리머 아스팔트 혼합물은 일반 아스팔트 혼합물 및 구스아스팔트 혼합물에 비해 에너지흡수량이 상대적으로 높게 나타났다. **결론:** SIS 폴리머 아스팔트 혼합물의 최대하중은 구스아스팔트 혼합물에 비해 낮게 나타났지만, 열악한 온도조건에서도 최대하중 이후에 안정적인 하중감소로 충분한 에너지흡수량을 확보하고 있고, 안정적인 파괴거동으로 미세균열 발생 등을 감소시켜 아스팔트 포장의 내구성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어:** 아스팔트 유제, 아스팔트 혼합물, 부착강도, 변형강도, 에너지흡수량

Received | 2 September, 2020

Revised | 25 September, 2020

Accepted | 25 September, 2020

 OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

## 서론

국내의 포장도로는 도로연장에 비해 통행량이 많기 때문에 도로의 공용기간 동안 피로가 매우 높게 나타나고 있다. 또한 중·대형차량의 증가와 뚜렷한 사계절로 인해 가혹한 조건에서 공용되고 있다. 이러한 조건으로 인해 아스팔트 포장면에 발생하는 소성변형이 도로의 유지관리 측면에서 큰 문제가 되고 있다(Kim, 2018; Kim et al. 2016). 일반적인 아스팔트 포장은 교통개방 후 2~3년에 4%의 공극률이 유지되어야 변형, 균열 및 내구성 등에서 최적의 성능을 내는 것으로 알려져 있다. 특히 교량 등에 아스팔트 교면포장을 위해서는 포장하부에 방수처리가 필요하기 때문에 이를 고려한다면 공극률이 더 낮은 아스팔트 포장의 적용이 필요하다(Kim et al., 2011).

과다한 차륜하중 하에서 포장면의 손상을 줄이기 위해 상부에는 변형에 강한 충분한 두께의 아스팔트로 포설하며, 하부에는 균열저항성이 큰 아스팔트를 복층으로 포설하는 것이 가장 이상적일 수 있으며, 이를 위해 현재 구스아스팔트 혼합물이 주로 교량이나 하부에 방수가 필요한 포장에 중간층용으로 사용되고 있다. 구스아스팔트 혼합물은 방수기능이 우수하고 반사균열 등의 손상 메커니즘에는 강하지만 영하의 온도조건에서는 소성변형에 다소 취약하다는 단점이 있다. 현재 국내에서도 아스팔트 포장의 성능향상을 위한 방안으로 다양한 종류의 개질재가 도입된 새로운 개념의 아스팔트 포장공법이 개발되어 상용화 되고 있다. 다만 이러한 포장공법은 혼합물의 배합설계 기준 및 시방규정이 표준화 되어 있지 않으며, 성능검증 및 연구에 있어서도 차륜하중에 의한 진동 저항성 및 열악한 기후조건에서의 변형성능 규명이 미흡한 상태로 관련분야의 연구가 필요한 상태이다.

이 연구는 영하의 조건에서도 균열발생을 억제하고, 구조적으로 안정된 성능과 방수기능을 동시에 발휘하는 아스팔트 포장시스템 개발을 목적으로 SIS 폴리머를 사용한 아스팔트 혼합물, 일반 아스팔트 혼합물 및 구스아스팔트 혼합물을 대상으로 다양한 온도조건에 따른 유제의 부착실험 및 혼합물의 변형강도 실험을 실시하여 그 특성을 비교, 분석하였다.

## 실험방법

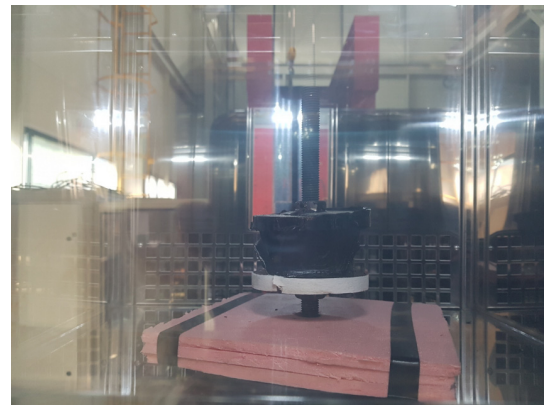
### 아스팔트 유제의 부착강도 실험

온도조건에 따른 아스팔트 유제의 부착성능을 검토하기 위한 아스팔트 유제의 부착강도 실험은 Fig. 1과 같이 1,000 kN 용량의 유압시험기에 온도를 유지할 수 있는 항온 챔버(chamber)를 설치하여 실험체의 상·하부를 전산볼트로 고정된 후, 인장가력을 실시하였다. 또한 부착강도 실험 시 변위 측정을 위하여 200 mm 용량의 변위계를 설치하였고, 로드셀(load cell)로 하중을 측정하였다. 실험체는  $\phi$  100 mm × 10 mm의 형상으로 세 종류의 아스팔트 유제를 대상으로 각각 영상 20°C에서 영하 30°C까지 10°C씩 6개의 변수로 설정하였으며, 각 실험체 당 2개씩 총 36개를 제작하였다.

아스팔트 유제의 부착강도 실험 변수를 Table 1에 나타내었다. Table 1의 실험체명에서 AS는 부착강도 실험을 의미하며, SIS 폴리머 아스팔트 유제는 A, 일반 아스팔트 유제는 B, 구스아스팔트 유제는 C로 나타내었고, TP와 TM은 각각 영상 및 영하의 온도조건을 뜻한다.

**Table 1.** Variables of adhesion strength specimens

Specimen	Asphalt binder	Temperature (°C)	Specimen	Asphalt binder	Temperature (°C)
AS-A-TP20	PG 82-34, SIS resin	+ 20	AS-B-TM10	PG 64-22, Normal	- 10
AS-A-TP10	PG 82-34, SIS resin	+ 10	AS-B-TM20	PG 64-22, Normal	- 20
AS-A-TP0	PG 82-34, SIS resin	0	AS-B-TM30	PG 64-22, Normal	- 30
AS-A-TM10	PG 82-34, SIS resin	- 10	AS-C-TP20	PG 82-22, Guss Asphalt	+ 20
AS-A-TM20	PG 82-34, SIS resin	- 20	AS-C-TP10	PG 82-22, Guss Asphalt	+ 10
AS-A-TM30	PG 82-34, SIS resin	- 30	AS-C-T0	PG 82-22, Guss Asphalt	0
AS-B-TP20	PG 64-22, Normal	+ 20	AS-C-TM10	PG 82-22, Guss Asphalt	- 10
AS-B-TP10	PG 64-22, Normal	+ 10	AS-C-TM20	PG 82-22, Guss Asphalt	- 20
AS-B-T0	PG 64-22, Normal	0	AS-C-TM30	PG 82-22, Guss Asphalt	- 30



**Fig. 1.** Adhesion strength test set-up

온도조건에 따른 아스팔트 혼합물의 변형강도를 검토하기 위한 아스팔트 혼합물의 변형강도 실험은 압축 및 전단에 대한 저항이 고려되어 아스팔트 혼합물의 소성변형에 대한 저항성을 보다 객관적으로 평가할 수 있는 Kim test (Kim et al., 2004; Lee et al., 2004; Kim et al., 2004)의 가력방법에 준하여 Fig. 2와 같이 1,000 kN 용량의 유압시험기에 온도를 유지할 수 있는 항온 챔버를 설치하여 압축가력을 실시하였다. 또한 변형강도 실험 시 변위 측정을 위하여 200 mm 용량의 변위계를 설치하였고, 로드셀로 하중을 측정하였다. 실험체는  $\phi$  100 mm × 80 mm의 형상으로 네 종류의 아스팔트 혼합물을 대상으로 각각 영상 20°C에서 영하 30°C까지 10°C씩 6개의 변수로 설정하였으며, 각 실험체 당 3개씩 총 72개를 제작하였다.

아스팔트 혼합물의 변형강도 실험 변수를 Table 2에 나타내었다. Table 2의 실험체명에서 DS는 변형강도 실험을 의미하며, SIS 폴리머 아스팔트 혼합물은 A1(표층용) 및 A2(기층용), 일반 아스팔트 혼합물은 B, 구스아스팔트 혼합물은 C로 나타내었고, TP와 TM은 각각 영상 및 영하의 온도조건을 뜻한다.



Fig. 2. Deformation strength test set-up

Table 2. Variables of deformation strength specimens

Specimen	Asphalt binder	Temperature (°C)	Specimen	Asphalt binder	Temperature (°C)
DS-A1-TP20	PG 82-34, SIS resin	+ 20	DS-B-TP20	PG 64-22, Normal	+ 20
DS-A1-TP10	PG 82-34, SIS resin	+ 10	DS-B-TP10	PG 64-22, Normal	+ 10
DS-A1-TP0	PG 82-34, SIS resin	0	DS-B-TP0	PG 64-22, Normal	0
DS-A1-TM10	PG 82-34, SIS resin	- 10	DS-B-TM10	PG 64-22, Normal	- 10
DS-A1-TM20	PG 82-34, SIS resin	- 20	DS-B-TM20	PG 64-22, Normal	- 20
DS-A1-TM30	PG 82-34, SIS resin	- 30	DS-B-TM30	PG 64-22, Normal	- 30
DS-A2-TP20	PG 82-34, SIS resin	+ 20	DS-C-TP20	PG 82-22, Guss Asphalt	+ 20
DS-A2-TP10	PG 82-34, SIS resin	+ 10	DS-C-TP10	PG 82-22, Guss Asphalt	+ 10
DS-A2-TP0	PG 82-34, SIS resin	0	DS-C-TP0	PG 82-22, Guss Asphalt	0
DS-A2-TM10	PG 82-34, SIS resin	- 10	DS-C-TM10	PG 82-22, Guss Asphalt	- 10
DS-A2-TM20	PG 82-34, SIS resin	- 20	DS-C-TM20	PG 82-22, Guss Asphalt	- 20
DS-A2-TM30	PG 82-34, SIS resin	- 30	DS-C-TM30	PG 82-22, Guss Asphalt	- 30

## 실험결과 및 분석

### 아스팔트 유제의 부착강도

아스팔트 유제의 부착강도 실험으로부터 얻어진 하중-변위 곡선을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 A는 SIS 폴리머 아스팔트 유제, B는 일반 아스팔트 유제, C는 구스아스팔트 유제를 나타낸다.

Fig. 3으로부터 일반 아스팔트 유제 B는 영상의 온도조건에서 다른 실험체들에 비해 낮은 최대하중을 나타내며, 영하의 온도조건에서는 구스아스팔트 유제와 비슷한 하중 및 변위를 나타내었다. 구스아스팔트 유제 C는 영상의 온도조건에서 다른 실험체들에 비해 매우 큰 최대하중을 나타내지만 최대하중 시의 변위 및 최대하중 이후의 변위는 현저히 작게 나타났다. 또한 SIS 폴리머 아스팔트 유제 A는 영상의 온도조건에서는 구스아스팔트 유제에 비해 매우 낮은 하중을 나타내지만 변위가 크게 나타나 변형능력이 높다고 판단되며, 영하의 온도조건에서는 최대하중 및 변위가 다른 실험체들에 비해 큰 것을 알 수 있다.

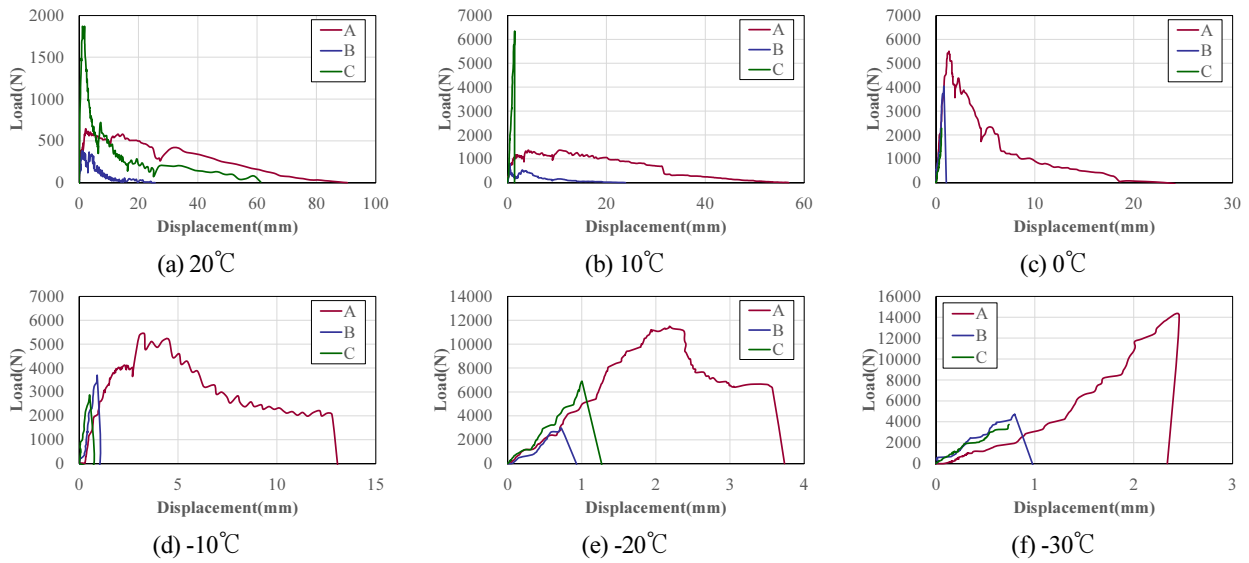


Fig. 3. Load-displacement curves of typical adhesion strength specimens

아스팔트 유제 부착강도 실험의 최대하중 및 응력을 Table 3에 나타내었으며, 부착강도 실험체의 응력-온도 곡선은 Fig. 4와 같다. Table 3 및 Fig. 4로부터 B타입 실험체는 다른 실험체들에 비해 응력이 가장 작으며, 0°C의 온도를 기준으로 온도가 증가할수록 응력이 작아지고, 온도가 영하로 감소할수록 응력이 감소하다가 -30°C에서 응력이 증가하는 경향을 나타내었다. C타입 실험체는 -10°C에서 응력이 가장 크며, -10°C 이상의 온도에서는 모든 실험체 중에 가장 큰 응력을 나타내나 -10°C 이하의 온도에서는 응력이 감소하는 것을 알 수 있다. A타입 실험체는 온도가 감소할수록 응력이 점차 증가하다가 -20°C 및 -30°C의 온도에서 응력이 크게 증가하는 경향을 보인다.

아스팔트 혼합물 중 유제의 부착성능을 검토하기 위하여 다양한 온도조건에서 실험을 실시한 결과, 영하의 조건에서 SIS 폴리머 아스팔트 실험체는 최대하중 및 변형능력이 일반 아스팔트 유제 및 구스아스팔트 유제에 비해 높은 것을 알 수 있다.

Table 3. Results of adhesion strength test

Specimen	Load (N)	Stress (MPa)	Specimen	Load (N)	Stress (MPa)
AS-A-TP20	646	0.08	AS-B-TM10	3,739	0.48
AS-A-TP10	3,400	0.43	AS-B-TM20	2,95	0.38
AS-A-T0	4,903	0.62	AS-B-TM30	4,740	0.60
AS-A-TM10	5,259	0.67	AS-C-TP20	1,871	0.24
AS-A-TM20	11,498	1.46	AS-C-TP10	6,342	0.81
AS-A-TM30	14,154	1.80	AS-C-T0	6,701	0.85
AS-B-TP20	384	0.05	AS-C-TM10	8,074	1.03
AS-B-TP10	1,818	0.23	AS-C-TM20	6,889	0.88
AS-B-T0	4,013	0.51	AS-C-TM30	3,751	0.48



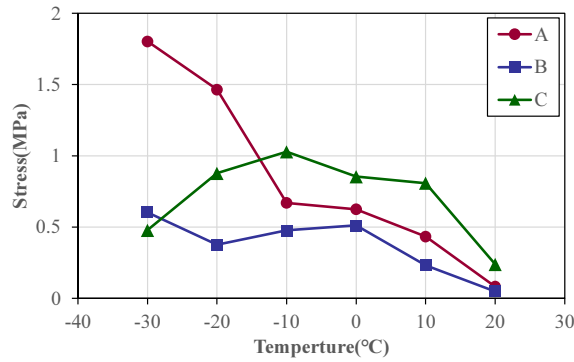


Fig. 4. Results of adhesion strength test

### 아스팔트 혼합물 변형강도

아스팔트 혼합물의 변형강도 실험결과, 실험체 파괴양상은 Fig. 5와 같이 영하 20°C 이하 조건에서 일반 아스팔트 혼합물 (B) 및 구스아스팔트 혼합물(C) 실험체는 취성적으로 파괴되었지만, SIS 폴리머 아스팔트 혼합물 실험체(A1, A2)는 연성적으로 파괴되는 양상을 보였다.

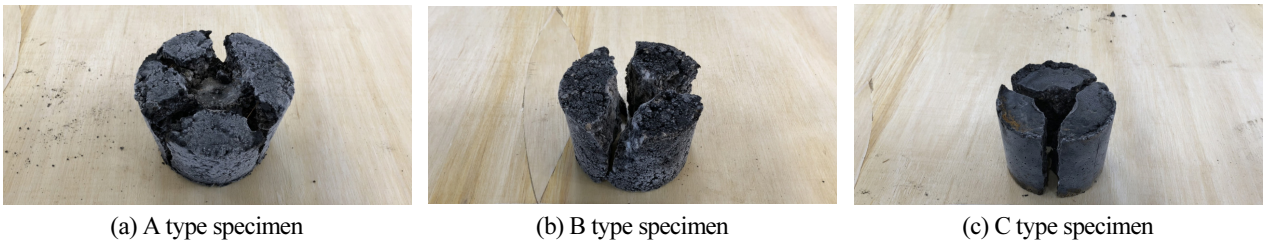


Fig. 5. Destruction shape at -20 degrees

변형강도 실험 시 각 변수별로 대표적인 실험체의 하중-변위 곡선을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 일반 아스팔트 혼합물은 모든 온도조건에서 최대하중이 가장 낮게 나타났으며, -10°C 이상의 온도에서는 최대하중 이후 변위가 계속 늘어나는 비교적 연성적인 성질을 보이거나 -20°C 이하의 온도에서는 최대하중 이후 급격히 파괴되는 취성적인 현상이 나타났다. 또한 구스아스팔트 혼합물은 모든 온도조건에서 가장 높은 하중을 보이고 있으나 다른 실험체들에 비해 변위나 낮아 상대적으로 취성적인 현상이 나타났다. 한편 SIS 폴리머 아스팔트 혼합물은 영상의 온도에는 일반적인 아스팔트 혼합물과 비슷한 양상을 보이지만 영하의 온도조건에서는 높은 하중 및 변위를 나타내었다.

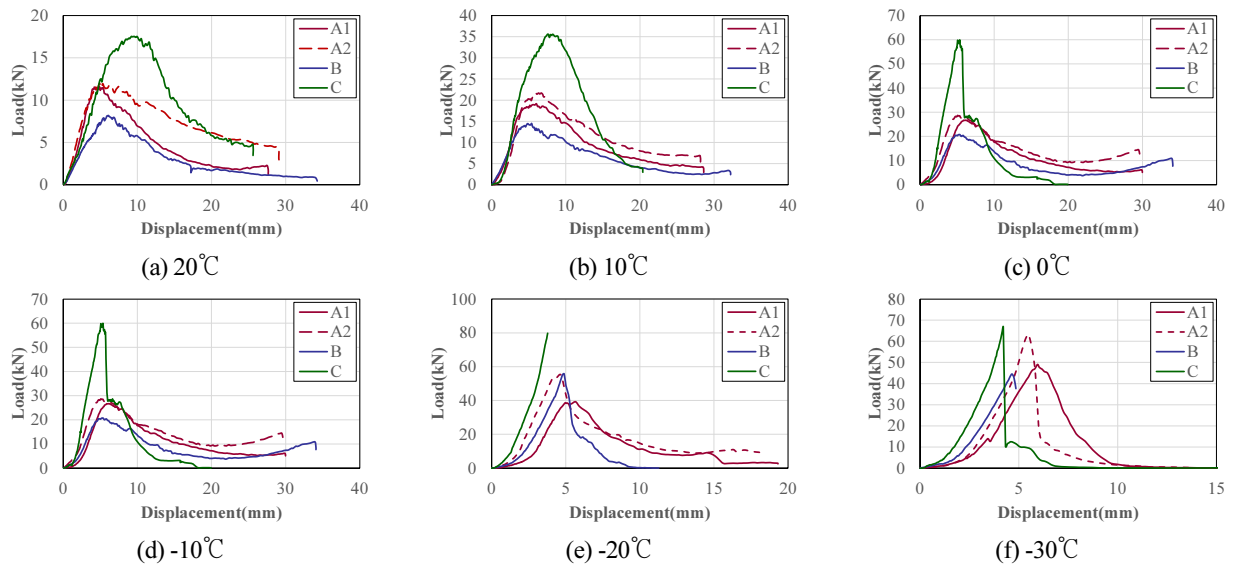


Fig. 6. Load-displacement curves of typical deformation strength specimens

아스팔트 혼합물의 변형강도 실험결과를 Table 4에 나타내고 있으며, Table 4에서 각 타입별 실험체의 하중, 변위 및 에너지흡수량은 3개의 실험체 평균값을 사용하였다. Fig. 7은 각 타입별 변형강도 실험의 변형강도-온도 및 에너지흡수량-온도를 나타낸 곡선이고, Table 4에서 에너지흡수량은 Fig. 8과 같이 최대하중 이후 50%까지 하중이 감소된 지점을 유효범위로 간주하고, 구간 내의 하중-변위곡선을 적분하여 구하였다.

Table 4. Results of deformation strength test

Specimen	Stress (MPa)	Energy absorption (kN · mm)	Specimen	Stress (MPa)	Energy absorption (kN · mm)
DS-A1-TP20	10.2	143.0	DS-B-TP20	5.8	89.0
DS-A1-TP10	16.2	263.9	DS-B-TP10	13.0	205.6
DS-A1-TP0	21.9	341.1	DS-B-TP0	20.8	319.7
DS-A1-TM10	25.4	296.9	DS-B-TM10	28.1	316.8
DS-A1-TM20	37.5	244.2	DS-B-TM20	57.0	134.9
DS-A1-TM30	38.3	144.4	DS-B-TM30	44.8	77.7
DS-A2-TP20	10.1	215.6	DS-C-TP20	14.1	244.9
DS-A2-TP10	18.0	317.4	DS-C-TP10	28.9	361.8
DS-A2-TP0	25.5	415.2	DS-C-TP0	54.0	282.1
DS-A2-TM10	32.3	365.5	DS-C-TM10	68.0	189.4
DS-A2-TM20	54.7	313.9	DS-C-TM20	80.4	116.2
DS-A2-TM30	57.8	147.4	DS-C-TM30	66.3	152.2

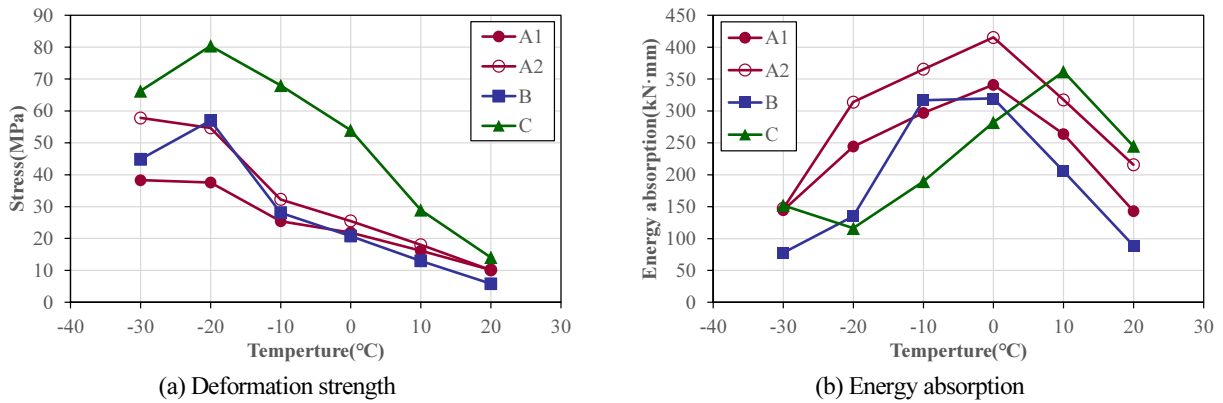


Fig. 7. Comparison of deformation strength and energy absorption according to temperature

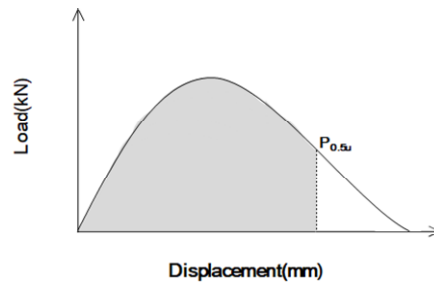


Fig. 8. Calculation of energy absorption (Kim, 2018)

Table 4 및 Fig. 7(a)로부터 일반 아스팔트 혼합물은  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 최대하중을 보였으며, 영상의 온도조건에서  $-20^{\circ}\text{C}$ 까지는 하중이 점점 증가하였고,  $-30^{\circ}\text{C}$ 에서는 하중이 감소하는 경향이 나타났다. 구스아스팔트 혼합물도 일반 아스팔트 혼합물과 같이  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 최대하중을 보였으며, 영상의 온도조건에서  $-20^{\circ}\text{C}$ 까지는 최대하중이 점점 증가하였고,  $-30^{\circ}\text{C}$ 에서는 최대하중이 감소하였으나 일반 아스팔트 혼합물에 비해 전반적으로 최대하중이 증가하는 것을 알 수 있다. 반면 SIS 폴리머 아스팔트 혼합물은 영상에서 영하로 온도조건이 변화할수록 최대하중이 증가하였으며, 표층용 시험체(A1) 보다 기층용 시험체(A2)의 최대하중이 높게 측정되었으나, 최대하중에 있어서는 일반 아스팔트 혼합물과 거의 동일한 양상으로 나타났다.

한편 변형강도 시험체의 에너지흡수량을 나타낸 Fig. 7(b) 및 Table 4로부터 일반 아스팔트 혼합물은  $0^{\circ}\text{C}$  및  $-10^{\circ}\text{C}$ 에서 에너지흡수량이 높게 나타났으며, 그 외의 온도조건에서는 감소하는 결과가 나타났다. 구스아스팔트 혼합물의 에너지흡수량은 영상  $10^{\circ}\text{C}$ 에서 가장 크게 나타났으며, 온도가 감소할수록 에너지흡수량 또한 일정하게 감소하였다. SIS 폴리머 아스팔트 혼합물은 일반 아스팔트 혼합물 및 구스아스팔트 혼합물에 비해 에너지흡수량이 상대적으로 높게 나타났으며, 특히 영하의 온도조건에서는 그 차이가 명확하였다.

일반적으로 아스팔트 혼합물은 상대적으로 취약한 파괴강도 및 변형강도를 가지고 있더라도 최대하중 이후, 안정적으로 하중이 감소하여 충분한 에너지흡수량을 확보하고 있으면 안정적인 파괴거동으로 미세균열의 발생을 감소시켜 포장의 내구성 증가에 기여할 수 있다. 이 연구에서 SIS 폴리머 아스팔트 혼합물은 최대하중이 구스아스팔트 혼합물에 비해 낮게 나타났지만, 열악한 온도조건에서도 최대하중 이후에 안정적인 하중감소로 충분한 에너지흡수량을 확보하고 있고, 안정적인 파괴



거동으로 미세균열 발생 등을 감소시켜 아스팔트 포장의 내구성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 결론

이 연구는 영하의 조건에서도 균열발생을 억제하고, 구조적으로 안정된 성능과 방수기능을 동시에 발휘하는 아스팔트 포장시스템 개발을 목적으로 SIS 폴리머 아스팔트, 일반 아스팔트 및 구스아스팔트를 대상으로 다양한 온도조건에 따른 유제의 부착실험 및 혼합물의 변형강도 실험을 실시하였으며, 이로부터 얻어진 결론은 아래와 같다.

- (1) 아스팔트 유제의 부착성능을 검토하기 위하여 다양한 온도조건에서 실험을 실시한 결과, 영하의 온도조건에서 SIS 폴리머 아스팔트 유제는 최대하중 및 변형능력이 일반 아스팔트 유제 및 구스아스팔트 유제에 비해 높은 것으로 나타났다.
- (2) 아스팔트 혼합물의 변형강도 실험 결과, SIS 폴리머 아스팔트 혼합물은 영상에서 영하로 온도조건이 변화할수록 최대하중이 증가하였으며, 최대하중에 있어서는 일반 아스팔트 혼합물과 거의 동일한 양상으로 나타났다.
- (3) 에너지흡수량 분석 결과, SIS 폴리머 아스팔트 혼합물은 일반 아스팔트 혼합물 및 구스아스팔트 혼합물에 비해 에너지흡수량이 상대적으로 높게 나타났으며, 특히 영하의 온도조건에서는 그 차이가 명확하였다.
- (4) SIS 폴리머 아스팔트 혼합물은 최대하중이 구스아스팔트 혼합물에 비해 낮게 나타났지만, 열악한 온도조건에서도 최대하중 이후에 안정적인 하중감소로 충분한 에너지흡수량을 확보하고 있고, 안정적인 파괴거동으로 미세균열 발생 등을 감소시켜 아스팔트 포장의 내구성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## Acknowledgement

이 논문은 2020년 한국교통대학교의 지원을 받아 수행하였음.

## References

- [1] Kim, I.J. (2018). Characteristics of Multi-functional Void Free Asphalt Concrete. Ph.D. Dissertation, Korea National University of Transportation.
- [2] Kim, K.J., Lee, S.Y., Kim, I.J. (2016). "A study on the mechanical characteristics and waterproof performance of impermeable asphalt pavement materials" Journal of the Korea Society of Disaster Information, Vol. 12, No. 3, pp. 242-248.
- [3] Kim, K.W., Doh, Y.S., Choi, S.J., Lee, K.H. (2004). "Correlation analysis between deformation strength and rut parameters of asphalt concretes at different temperature." Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 24, No. 5d, pp. 743-748.
- [4] Kim, K.W., Doh, Y.S., Lee, K.H., Cho, M.J. (2004). "A mechanistic consideration of deformation strength by Kim test." Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol. 6, pp. 47-52.
- [5] Kim, N.S., Bang, S.Y. (2011). "An Evaluation of Mechanical Characteristics of Modified Asphalt Concrete Mixture." Journal of the Korea Society of Disaster Information, Vol. 7, No. 1, pp. 32-42.
- [6] Lee, M.S., Choi, S.J., Doh, Y.S., Kim, K.W. (2004). "Specimen Size Effect in Estimation of Rut Resistance based on Deformation Strength." Journal of the Korean Society of Road Engineers, Vol. 6, No. 2, pp. 1-13.