



## Influence Dispersing Agent on the Modifiers in the High-Penetration Asphalt

Eun Kyoung Lee<sup>†</sup> and You Kyoung Kim<sup>\*</sup>

*Department of Pharmaceutical Biomedical Engineering, Cheongju University, Cheongju 28503, Republic of Korea*

*\*Department of Biomedical Science, Cheongju University, Cheongju 28503, Republic of Korea*

(Received December 13, 2022, Revised December 21, 2022, Accepted December 22, 2022)

**Abstract:** In this study, high-penetration asphalt with low greenhouse gas emissions was used in the asphalt mixing process to reduce the carbon emissions during the reaction due to its capacity to be produced even at low temperatures. In effect, cationic, anionic, and non-ionic dispersants were added and mixed in different feeding ratios, seeking an effective dispersion of the modifiers (SIS, PS, TPEE, and SEBS) into the high-penetration asphalt matrix and forming an asphalt binder with a melting point of 120 °C. The compatibility of the modifiers and the high-penetration asphalt was examined using SEM and DSC techniques, and the role of NDP-1 as a dispersant was carefully investigated with respect to dissolution time. The analyses showed that: (1) the dispersibility of the asphalt binder is good when the non-ionic dispersant is used; (2) as the concentration of the non-ionic dispersant increases, the dissolution time decreases and the domain size contracts; (3) the ND70-PS has the shortest dissolution time, the lowest agglomeration rate, and a single Tg value.

**Keywords:** high-penetration asphalt, low greenhouse gas emissions, modifiers, dispersion, compatibility

### Introduction

세계기상기구(WMO)와 국제 연합 환경 계획(UNEP)은 탄소를 지구온난화의 주된 원인으로 지목하여 전 세계적으로 저탄소 녹색산업에 기반을 둔 친환경 사회 구현 및 경제성장을 목표로 하고 있다.<sup>1</sup> 또한, 2019년 9월 지구온난화를 막기 위하여 UN ‘기후행동 정상회의’에서 65개국 정상들이 2050년 탄소중립 달성을 선언하였고 2020년 10월에 우리나라도 2050년까지 탄소중립을 이루겠다는 ‘탄소중립선언’을 하였으며 에너지 시스템의 구조적인 변화가 요구되고 있다.<sup>2</sup> 한편, 전통적인 가열 아스팔트 도로포장은 최근까지도 품질과 성능에 있어서 대체 재료를 찾기가 어려울 정도로 오랫동안 검증되어 좋은 품질과 성능을 보이는 재료이지만, 150℃ 이상의 온도에서 가열해야 하므로 온실가스와 블루 스모크 배출의 주요 원인이다.<sup>3</sup> 또한 도로포장 분야에서 아스팔트 콘크리트 혼합물 생산 시 탄소 배출의 대부분을 차지하고 있어 최근 탄소 중립에 반하는 것으로 온실가스의 배출 억제를 위하여 친환경 도로포장 재료의 개발이 대두되고 있다.<sup>4</sup>

아스팔트는 온도 범위에 따라 150℃ 이상은 가열 아스팔트(HMA, Hot Mix Asphalt), 110~140℃는 중온 아스팔트(WMA, Warm Mix Asphalt), 60~110℃는 중저온 아스팔트(HWMA, Half Warm Mix Asphalt) 그리고 60℃ 이하의 상온 아스팔트(CMA, Cold Mix Asphalt)로 구분한다.<sup>5</sup> HMA는 고

온에서의 생산 및 시공으로 인하여 다량의 화석연료를 사용하고 아스팔트 일부가 분해되어 SO<sub>2</sub>, CO 및 CO<sub>2</sub> 등을 포함한 다양한 유해가스와 온실기체를 발생시켜 환경오염을 일으킨다.<sup>4</sup> 더불어 고온으로 인하여 아스팔트의 산화적 경화가 일어나고 운송 거리에 대한 제약이 있으며 유해 가스에 의한 냄새가 발생한다.<sup>6</sup> 이와 같은 가열 아스팔트의 문제를 해결하고자 왁스 형태의 LEADCAP과 Sasobit 등과 같은 중온 첨가제를 사용하여 생산 및 시공 온도를 30℃ 감소시킨 WMA 콘크리트 생산 공법을 적용하고 있다.<sup>1</sup> 이중 Sasobit은 파라핀 왁스 기반 첨가제로 아스팔트 바인더의 흐름을 증가시켜 시공 온도를 낮출 수 있고 102℃까지 응고된 상태로 유지하지만 120℃에서 액체 상태로 됨에 따라 결정체 망의 형태로 유지되므로 바인더 구조체의 안정성에 도움을 준다.<sup>7</sup> 그리고 LEADCAP은 폴리에틸렌 왁스 기반 첨가제로 양전하를 띠어 음전하를 띤 응집체 표면에 대한 아스팔트 바인더의 결합을 향상시킨다.<sup>8</sup> 하지만 WMA 콘크리트 혼합물은 HMA 콘크리트 혼합물과의 생산 온도 차이가 실제적으로 30℃ 밖에 나지 않아 탄소 배출 저감 능력이 미비할 뿐만 아니라 낮은 내구성, 안정도 및 내수성과 같은 품질 및 성능 관련 문제들이 제기되고 있다.<sup>9</sup> 유화 아스팔트는 상온에서 사용할 수 있도록 아스팔트를 미립자로 만들어 물속에 분산시킨 것이며<sup>10</sup> 물이 분산매이므로 상온 시공이 가능하지만 균열이 쉽게 발생하고 내구성 및 안정도가 떨어질<sup>11,12</sup> 뿐만 아니라 입자의 분포도가 넓기 때문에 방수성 및 내수성이 떨어진다.<sup>4,5,13</sup> 한편, HWMA는

<sup>†</sup>Corresponding author E-mail: [eklee@cju.ac.kr](mailto:eklee@cju.ac.kr)

**Table 1.** The Recipe of the Asphalt Binder

unit (phr)

Sample	Ingredients	Asphalt	Cationic dispersant	Anionic dispersant	Non-ionic dispersant	Modifier			
						SIS	PS	TPEE	SEBS
CD60-SIS		100	6.0	-	-	5.0	-	-	-
CD60-PS		100	6.0	-	-	-	5.0	-	-
CD60-TPEE		100	6.0	-	-	-	-	5.0	-
CD60-SEBS		100	6.0	-	-	-	-	-	5.0
AD60-SIS		100	-	6.0	-	5.0	-	-	-
AD60-PS		100	-	6.0	-	-	5.0	-	-
AD60-TPEE		100	-	6.0	-	-	-	5.0	-
AD60-SEBS		100	-	6.0	-	-	-	-	5.0
ND60-SIS		100	-	-	6.0	5.0	-	-	-
ND60-PS		100	-	-	6.0	-	5.0	-	-
ND60-TPEE		100	-	-	6.0	-	-	5.0	-
ND60-SEBS		100	-	-	6.0	-	-	-	5.0
ND60-SIS		100	-	-	6.0	5.0	-	-	-
ND65-SIS		100	-	-	6.5	5.0	-	-	-
ND70-SIS		100	-	-	7.0	5.0	-	-	-
ND60-PS		100	-	-	6.0	-	5.0	-	-
ND65-PS		100	-	-	6.5	-	5.0	-	-
ND70-PS		100	-	-	7.0	-	5.0	-	-
ND60-TPEE		100	-	-	6.0	-	-	5.0	-
ND65-TPEE		100	-	-	6.5	-	-	5.0	-
ND70-TPEE		100	-	-	7.0	-	-	5.0	-
ND60-SEBS		100	-	-	6.0	-	-	-	5.0
ND65-SEBS		100	-	-	6.5	-	-	-	5.0
ND70-SEBS		100	-	-	7.0	-	-	-	5.0

더 낮은 생산 및 시공 온도로 인하여 온실가스 감소, 안전한 작업환경, 에너지 소비 절감, 운반 거리 확장, 그리고 기후와 날씨에 따른 시공제약을 줄이는 장점을 가지고 있으며 가열 아스팔트 기술 대비 CO<sub>2</sub>는 40%와 SO<sub>2</sub>는 25%, 그리고 VOCs는 50%까지 감소시킬 수 있지만<sup>9,14</sup> 저온 생산 및 시공으로 인해 내수성 및 안정도가 떨어지는 단점이 있다.<sup>15</sup>

그러므로 본 연구에서는 온실가스 및 오염 기체의 발생을 감소시키기 위하여 SIS(Styrene-Isoprene-Styrene), PS(Polystyrene), TPEE(Thermoplastic Polyether-Ester Elastomer) 및 SEBS(Styrene-Ethylene-Butylene-Styrene)와 같은 개질제와 양이온계, 음이온계 및 비이온계 분산제를 첨가하여 고침입도 아스팔트에 분산시켜 100℃에서 분산이 가능한 아스팔트 바인더를 제조하였다. 아스팔트와 SIS, PS, TPEE 및 SEBS의 상용성을 확인하기 위하여 용해시간, SEM 및 DSC 분석을 통해 분산제와의 관계 및 역할을 고찰하였다.

## Experimental

### 1. 재료

Asphalt는 SK Co.의 침입도가 120~150인 고침입도 아스팔트를 사용하였으며, 아스팔트 개질제로는 Lotte chemical Co.의 SIS(Styrene-Isoprene-Styrene, MW 19,061 g/mol)와 SEBS(Styrene-Ethylene-Butylene-Styrene, MW 42,571 g/mol), Kumho petrochemical Co.의 PS(Polystyrene, MW 3,406 g/mol)와 TPEE(Thermoplastic Polyether-Ester Elastomer, MW 6,807 g/mol), 음이온계 분산제인 Kermil Co.의 calcium lignosulfonate (CLS)와 양이온계 분산제인 Sigma Aldrich Co.의 polyethyleneimine (PEI) 그리고 비이온계 분산제인 RI-TECH Co.의 NDP-1를 사용하였다.

### 2. 아스팔트 바인더 제조

고침입도 아스팔트 내에 개질제인 SIS, PS, TPEE 및 SEBS와 양이온계 분산제, 음이온계 분산제 및 비이온계 분산제를 100℃에서 일정 시간과 일정 속도로 분산시켜 고침입도 아스팔트 바인더를 제조하였다. Table 1에 사용된 개질제의 종류와 그 함량을 나타내었다.

### 3. 분산도 및 용해시간

고침입도 아스팔트 내 SIS, PS, TPEE 및 SEBS의 분산도를 확인하기 위해 1차 육안으로 판별하였고 아스팔트 내의 SIS, PS, TPEE, 및 SEBS의 용해시간을 확인하기 위해 국토부 시방서의 ‘배수성 아스팔트 혼합물용 개질 아스팔트의 품질기준’에 따라 용해시간을 평가하였다.

### 4. SEM 분석

고침입도 아스팔트 내의 SIS, PS, TPEE 및 SEBS의 분산도를 확인하기 위해 전자현미경 II (SEM, ULTRA PLUS)를 사용하였고 1KX 배율로 측정하였다.

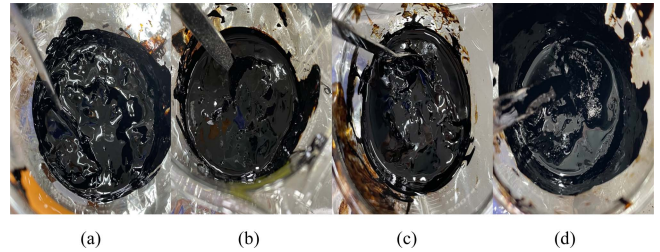
### 5. DSC 분석

고침입도 아스팔트와 SIS, PS, TPEE 및 SEBS의 상용성을 확인하기 위하여 differential scanning calorimetry (DSC, DSC Q2000, TA Instruments)를 사용하였고  $-80\sim 100^{\circ}\text{C}$ 에서  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  승온속도로 유리전이온도( $T_g$ ) 값을 측정하였다.

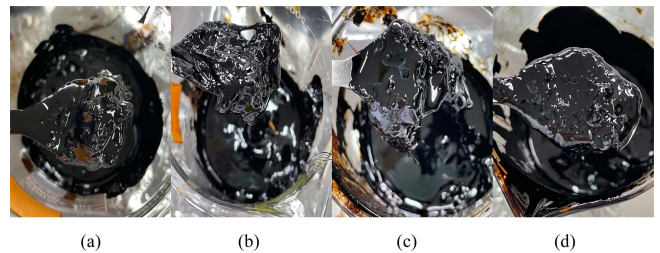
## Results and Discussion

### 1. 분산도 확인

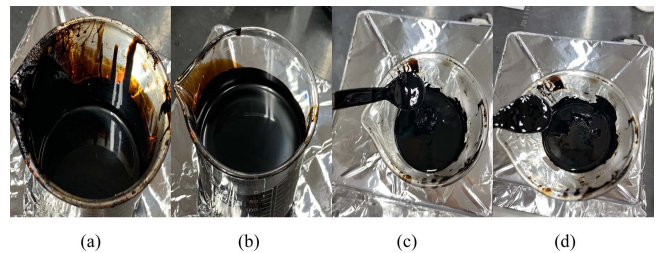
Figure 1에 양이온 분산제인 PEI 6phr과 개질제인 SIS, PS, TPEE 및 SEBS 5phr를 각각 고침입도 아스팔트에 분산시켜 육안으로 관찰한 결과를 (a) CD60-SIS, (b) CD60-PS, (c) CD60-TPEE 및 (d) CD60-SEBS에 나타내었고 Figure 2에 음이온계 분산제인 CLS 6phr과 개질제인 SIS, PS, TPEE 및 SEBS 5phr를 각각 고침입도 아스팔트에 분산시킨 결과를 (a) AD60-SIS, (b) AD60-PS, (c) AD60-TPEE 및 (d) AD60-SEBS에 나타내었다. 제시된 바와 같이 Figure 1과 Figure 2에 개질제인 SIS, PS, TPEE 및 SEBS가 분산된 고침입도 아스팔트 바인더의 뭉침 현상을 모두 관찰할 수 있었다. 이는 양이온계 및 음이온계 분산제가 고침입도 아스팔트에 흡착 시 표면의 전하를 변화시키는데 필요한 Gibb's free energy가 높아 불안정하므로 응집<sup>2</sup>이 발생하여 분산이 잘 이루어지지 않았다고 판단된다. 반면, Figure 3에 비이온계 분산제인 NDP-1 60phr과 SIS, PS, TPEE 및 SEBS 5phr를 각각 고침입도 아스팔트에 분산시킨 결과를 (a) ND60-SIS, (b) ND60-PS, (c) ND60-TPEE 및 (d) ND60-SEBS에 나타내었으며 제시된 바와 같이 비이온계 분산제인 NDP-1을 적용한 결과로 아스팔트 내 상분리가 발생하지 않았다. 이는 아스팔트 내 SIS, PS, TPEE 및 SEBS의 분산이 효율적으로 이루어졌으며 비이온계 분산제가 개질제와 아스팔트의 계면 에너지를 충분히 낮춘 것<sup>10</sup>으로 해석된다.



**Figure 1.** Dispersibility of cationic dispersants and modifiers in asphalt (a) CD60-SIS, (b) CD60-PS, (c) CD60-TPEE, (d) CD60-SEBS.



**Figure 2.** Dispersibility of anionic dispersants and modifiers in asphalt (a) AD60-SIS, (b) AD60-PS, (c) AD60-TPEE, (d) AD60-SEBS.



**Figure 3.** Dispersibility of nonionic dispersants and modifiers in asphalt (a) ND60-SIS, (b) ND60-PS, (c) ND60-TPEE, (d) ND60-SEBS.

그러므로 본 연구에서 고침입도 아스팔트 내에 개질제인 SIS, PS, TPEE 및 SEBS를  $100^{\circ}\text{C}$ 에서 분산시키기 위하여 비이온계 분산제인 NDP-1이 효과적임을 확인할 수 있었다.

### 2. 용해시간 확인

앞선 결과에서 나타난 바와 같이 고침입도 아스팔트 내에 SIS, PS, TPEE 및 SEBS의 분산효과가 가장 우수한 비이온계 분산제인 NDP-1을 사용하여 각각 용해시간 결과를 Table 2에 나타내었다. 이 중, PS가 고침입도 아스팔트 내에 가장 빠른 시간 내에 용해되었다. 이는 PS가 벤젠고리의 불규칙한 배치의 혼성배열 구조로 사슬과 사슬간의 배열을 방해하여 비결정성을 띄고 가교 구조가 없으므로 아스팔트 내의 분산이 용이하여 녹는점까지 가열 시 경화되지 않고 액체 형태로 부



**Table 2.** Dissolution Time of Asphalt Binder unit (min)

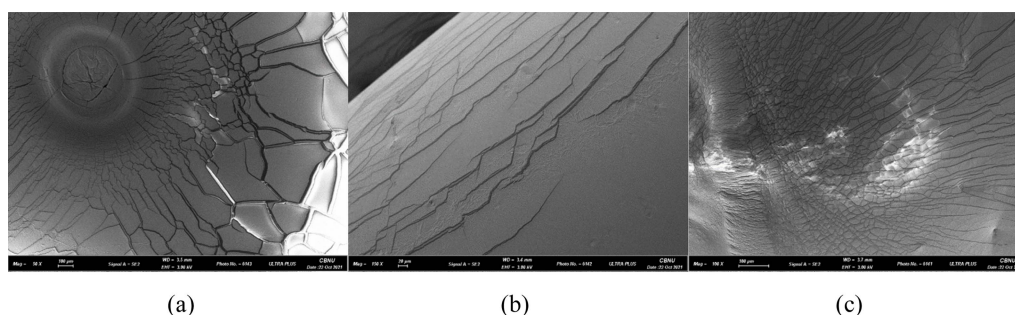
Sample	Measurement	Dissolution time
ND60-SIS		10.0
ND65-SIS		9.42
ND70-SIS		9.17
ND60-PS		8.24
ND65-PS		8.15
ND70-PS		8.0
ND60-TPEE		10.42
ND65-TPEE		10.30
ND70-TPEE		10.11
ND60-SEBS		11.0
ND65-SEBS		10.55
ND70-SEBS		10.48

드러워지므로 빠른 용해시간을 보인다고 판단된다. 반면 고침입도 아스팔트 내에 분산된 SEBS의 용해시간이 가장 오래 걸렸다. 이는 SEBS 구조 내의 부타디엔 블록이 에틸렌-부틸렌 블록 반복 단위로 바뀌면서 아스팔트의 말덴과 상용성이 감소<sup>17</sup>하였기 때문에 늦게 용해된 것으로 해석된다. 그리고 아스팔트 내에 분산된 SIS의 경우 폴리이소프렌의 곁가지 구조로 인하여 입체장애가 발생하고 아스팔트에 분산된 TPEE의 경우 하드 세그먼트한 부분이 많아 용해되는데 시간이 걸리므로 늦게 용해된 것으로 판단된다. 또한 비이온 계면활성제인 NDP-1의 양이 증가할수록 SIS, PS, TPEE 및 SEBS의 용해시간이 모두 빨라짐을 확인할 수 있었다. 이는 비이온계 분산제인 NDP-1이 SIS, PS, TPEE 및 SEBS와 고침입도 아스팔트의 계면 에너지를 충분히 낮추어 분산을 도와 용해시간이 빨라진 것으로 판단된다.

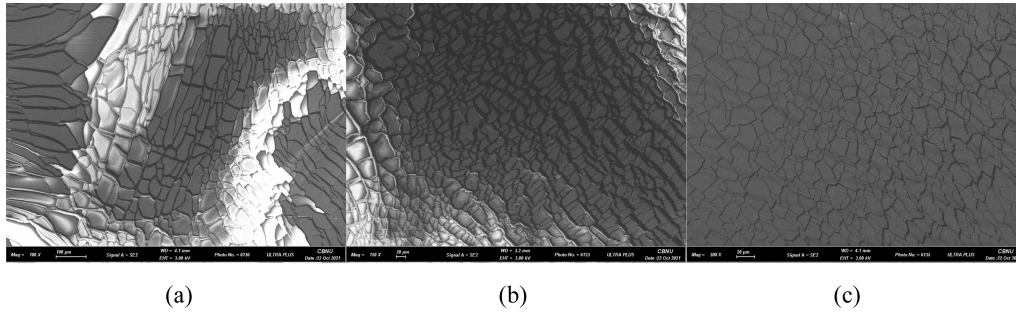
### 3. SEM 분석

Figure 4은 분산효과가 우수한 비이온계 분산제인 NDP-1 6.0 phr, 6.5 phr 및 7.0 phr을 첨가하여 SIS를 고침입도 아스팔트 내

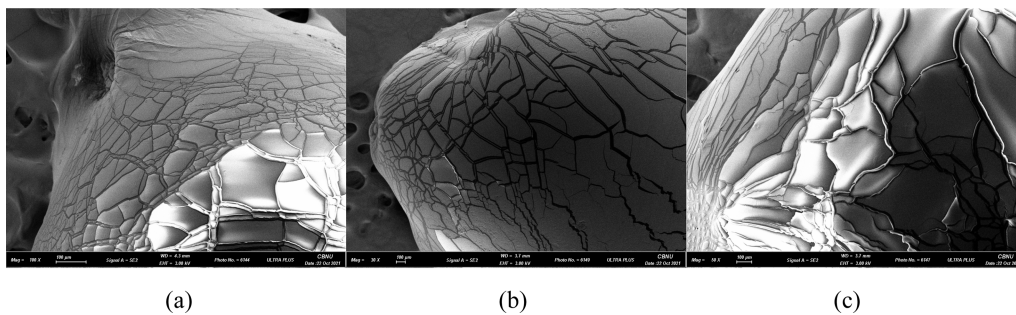
에 분산시킨 SEM 결과를 각각 (a) ND60-SIS, (b) ND65-SIS와 (c) ND70-SIS에 나타내었다. Figure 4에 제시된 바와 같이 비이온계 분산제인 NDP-1의 양이 증가함에 따라 고침입도 아스팔트 내 뭉침 현상 및 도메인의 크기가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 SIS의 폴리이소프렌 메틸기의 곁가지 구조로 인하여 고침입도 아스팔트 내 분산 시 입체장애가 발생되어 사슬꼬임이 증가하고 점도가 증가됨에 따라 SIS의 분산이 용이하지 않지만<sup>18</sup> 비이온계 분산제를 첨가함에 따라 메틸기의 곁가지 구조로 인한 입체장애 효과를 감소시켜 아스팔트 내에 분산 성능을 향상시킨 것으로 판단된다. Figure 5는 비이온계 분산제인 NDP-1 6.0 phr, 6.5 phr 및 7.0 phr을 첨가하여 PS를 고침입도 아스팔트 내에 분산시킨 SEM 결과를 각각 (a) ND60-PS, (b) ND65-PS와 (c) ND70-PS에 나타내었으며 비이온계 분산제인 NDP-1의 양이 증가함에 따라 고침입도 아스팔트 내 응집현상이 감소됨을 확인할 수 있었다. 이중 (c) ND70-PS의 아스팔트 내 도메인의 크기가 가장 작고 균일상<sup>19-21</sup>이 나타나므로 아스팔트 내 분산성이 가장 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 PS의 구조에서 가교된 부분이 없으므로 녹는점까지 가열하면 경화되지 않고 액체 상태로 변하기 때문에 아스팔트에 분산이 가능<sup>10</sup>할 뿐만 아니라 비이온계 분산제가 PS의 입자 사이를 감소시키고 작은 입자 형성에 필요한 에너지를 낮추거나 계면에 흡착되어 막을 형성함으로 응집의 장애로부터 상분리를 억제하는 역할<sup>1</sup>을 하여 분산성을 향상시킨 것으로 판단된다. 또한, 비이온계 분산제의 첨가량이 적으면 입자 간의 거리가 가까워짐에 따라 van der waals 힘 및 hydrodynamic 인력 작용에 의하여 입자의 응집이 일어나<sup>22</sup> 분산 효과가 감소하지만 분산제의 양이 증가됨에 따라 van der waals 힘 및 인력보다 반발력이 증가함으로 분산 효과가 우수한 것을 확인할 수 있었다. Figure 6은 비이온계 분산제인 NDP-1 6.0 phr, 6.5 phr 및 7.0 phr을 첨가하여 TPEE를 고침입도 아스팔트 내에 분산시킨 SEM 결과를 각각 (a) ND60-TPEE, (b) ND65-TPEE와 (c) ND70-TPEE에 나타내었고 비이온계 분산제의 양이 증가함에도 불구하고 응집현상이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 TPEE는 소프트 세그먼트의 polyether와 하드 세그먼트의 polyester를 갖는 다중 블록공중합체의 구조<sup>23</sup>로 비이온계



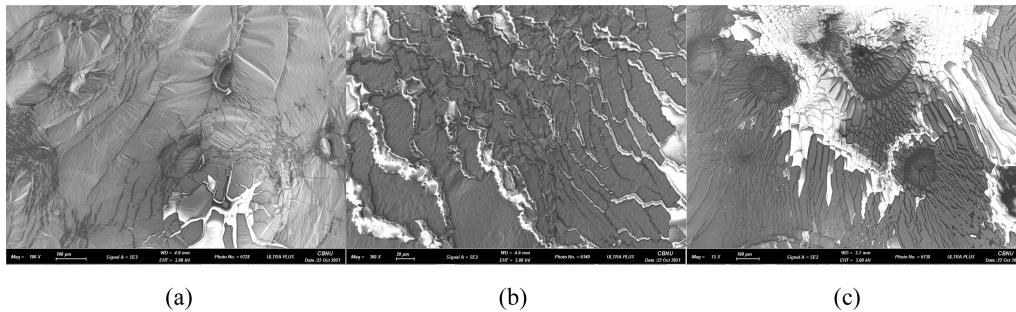
**Figure 4.** SEM images of the asphalt binder according to the amount of nonionic dispersant with SIS; (a) ND60-SIS, (b) ND65-SIS, (c) ND70-SIS.



**Figure 5.** SEM images of the asphalt binder according to the amount of nonionic dispersant with PS; (a) ND60-PS, (b) ND65-PS, (c) ND70-PS.



**Figure 6.** SEM images of the asphalt binder according to the amount of nonionic dispersant with TPEE; (a) ND60-TPEE, (b) ND65-TPEE, (c) ND70-TPEE.



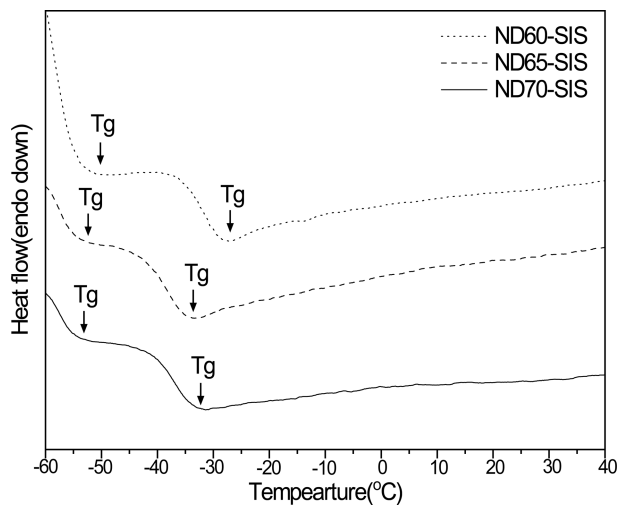
**Figure 7.** SEM images of the asphalt binder according to the amount of nonionic dispersant with SEBS; (a) ND60-SEBS, (b) ND65-SEBS, (c) ND70-SEBS.

분산제인 NDP-1가 이와 같은 구조를 갖는 TPEE를 아스팔트에 분산시키는데 필요한 계면 에너지를 충분히 낮추지 못하고 입자간의 응집을 야기시켜 도메인의 크기가 커진 것으로 판단된다. Figure 7은 비이온계 분산제인 NDP-1 6.0 phr, 6.5 phr 및 7.0 phr을 첨가하여 SEBS를 고침입도 아스팔트 내에 분산시킨 SEM 결과를 각각 (a) ND60-SEBS, (b) ND65-SEBS와 (c) ND70-SEBS에 나타내었고 TPEE 결과와 마찬가지로 비이온계 분산제의 양이 증가하여도 도메인의 크기는 감소하지 않으며 응집현상을 확인하였다. 이는 입도가 작은 SEBS의 경우 비표면적이 증가하고 이에 Gibb's free energy 또한 증가<sup>24</sup>하므로 입자간의 응집현상이 발생하여 분산력이 좋지 않은 것으로 해석된다. 그러므로 SEM 분석 결과를 통하여 비이온계 분산제인 NDP-1이 개질제와 고침입도 아스팔트 간의 계면에너지를 감

소시켜 입자간의 인력을 최소화하고 입자간의 반발력을 최대화시켜 분산력을 향상시켰고, 고침입도 아스팔트 내의 분산효과가 우수한 개질제는 SIS와 PS임을 확인하였다.

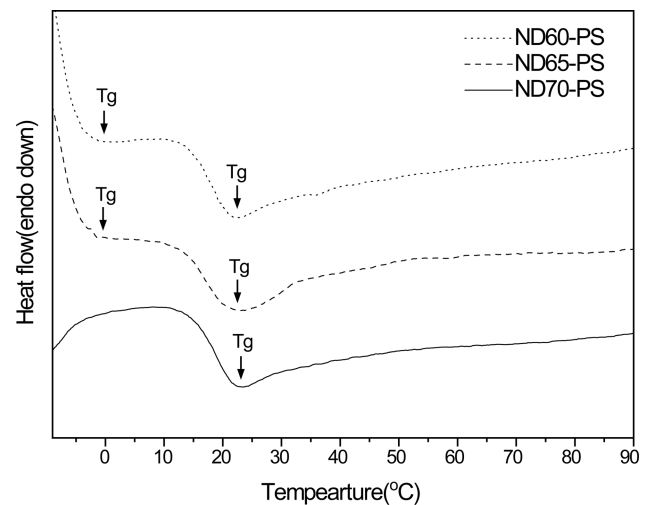
#### 4. DSC 분석

개질제를 고침입도 아스팔트 내에 분산시켰을 경우 상용성이 좋지 않은 아스팔트 바인더는 각각 아스팔트와 개질제 특성에 해당하는 두 개의 Tg 값을 갖는 반면, 상용성이 좋은 아스팔트 바인더는 한 개의 Tg 값이 나타나며<sup>22</sup> 순수 아스팔트의 Tg 값은  $-25^{\circ}\text{C}$  부근,<sup>15</sup> SIS의 Tg는  $-62.7^{\circ}\text{C}$  부근<sup>15</sup>과 PS의 Tg는  $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ <sup>25</sup>에 존재한다. 그러므로 앞선 용해시간 및 SEM 분석 결과를 통하여 분산성이 가장 우수한 ND-SIS와



**Figure 8.** DSC analysis result of the asphalt binder according to the amount of nonionic dispersant with SIS.

ND-PS를 분산시킨 고침입도 아스팔트의 DSC 분석을 통하여 Tg 값을 측정하여 상용성에 대하여 고찰하였다. Figure 8은 비이온계 분산제인 NDP-1 6.0 phr, 6.5 phr 및 7.0 phr과 SIS를 고침입도 아스팔트 내에 분산시킨 DSC결과를 각각 ND60-SIS, ND65-SIS와 ND70-SIS에 나타내었다. Figure 8에 제시된 바와 같이 SIS가 분산된 아스팔트 바인더의 Tg는  $-30^{\circ}\text{C}$ 와  $-55^{\circ}\text{C}$  부근에서 관찰되었다. 이는 두 가지의 물질을 혼합하면 각각의 물질의 고유한 특성인 Tg가 서로 영향을 받아 Tg 값이 이동<sup>15</sup>되어 Tg  $-62.7^{\circ}\text{C}$ 를 갖는 SIS가 Tg  $-25^{\circ}\text{C}$ 를 갖는 아스팔트에 분산됨에 따라 각각의 Tg 값에 영향을 받아 SIS는 고온으로, 아스팔트는 저온으로 Tg 값이 이동한 것이라고 판단된다. 또한, 비이온계 분산제의 양이 증가하여도 SIS를 분산시킨 고침입도 아스팔트 바인더는 두 개의 Tg 값이 나타남을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 앞선 SEM 분석에서의 분산 성능이 다소 양호한 것으로 해석되었지만 두 개의 Tg 값이 나타나므로 SIS와 고침입도 아스팔트 간의 상용성이 다소 떨어지는 것으로 해석된다. Figure 9는 비이온계 분산제인 NDP-1 6.0 phr, 6.5 phr 및 7.0 phr과 PS를 고침입도 아스팔트 내에 분산시킨 DSC 결과를 나타내었다. ND60-PS와 ND65-PS는 PS가 분산된 아스팔트 바인더의 Tg는 순수 아스팔트 Tg  $-25^{\circ}\text{C}$  보다 고온으로 이동된  $0^{\circ}\text{C}$  부근에서 관찰되었으며 PS의 Tg는 PS  $80\sim 100^{\circ}\text{C}$  보다 저온으로 이동된  $20^{\circ}\text{C}$  부근에서 두 개의 Tg가 관찰되었다. 이는 Tg  $80\sim 100^{\circ}\text{C}$ 를 갖는 PS가 Tg  $-25^{\circ}\text{C}$ 를 갖는 아스팔트에 분산됨에 따라 각각의 Tg 값에 영향을 받아 PS는 저온으로, 아스팔트는 고온으로 Tg 값이 이동한 것이라고 해석된다. 반면 Figure 9에 제시된 바와 같이 비이온계 분산제인 NDP-1 7 phr과 PS를 고침입도 아스팔트에 분산시킨 아스팔트 바인더는  $20^{\circ}\text{C}$  부근에서 한 개의 Tg 값이 나타남을 확인할 수 있었으므로 아스팔트와 PS간의 상용성이 우수함을 알 수 있었다. 이는 비이온계 분산제인



**Figure 9.** DSC analysis result of the asphalt binder according to the amount of nonionic dispersant with PS.

NDP-1이 PS와 아스팔트의 계면 에너지를 충분히 낮추어 아스팔트와 PS간의 상용성이 증가되어 한 개의 Tg 값을 보이는 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구에서 고침입도 아스팔트와 상용성이 가장 우수한 개질제로는 PS임을 확인할 수 있었고 비이온계 분산제인 NDP-1의 양이 증가할수록 상용성이 향상됨을 알 수 있었다.

## Conclusions

본 연구에서는  $100^{\circ}\text{C}$  고침입도 아스팔트에 적용이 가능한 분산제를 이용하여 SIS, PS, TPEE 및 SEBS를 고침입도 아스팔트 성능 개질을 위해 적용하였다. 양이온계 분산제 PEI와 음이온계 분산제 CLS는 첨가되는 개질제가 고침입도 아스팔트 내에 상분리가 되는 것이 관찰되었지만, 비이온계 분산제 NDP-1은 아스팔트내 개질제를 효과적으로 분산시키는 것을 확인하였다. NDP-1의 양이 많아질수록 용해 시간이 짧아졌고, 특히 개질제의 특성상 입체장애 효과가 적은 SIS와 PS의 아스팔트내 용해시간이 짧았으며, SEM 분석 결과에서 적은 응집현상을 관찰할 수 있을 뿐만 아니라 도메인의 크기가 작게 형성하여 아스팔트 내 균일하게 분포되어 있음을 확인하였다. DSC의 결과에 의하면 PS와 ND70-PS가 단일의 Tg 값을 나타내고 있으므로 고침입도 아스팔트와의 상용성이 우수하여 최적의 물성을 나타낼 수 있으리라 예상한다. 이 연구를 통하여  $150^{\circ}\text{C}$  이상에서 사용되는 아스팔트와 유사한 물성을 나타내는 고침입도 아스팔트 개발에 더 접근하였다고 생각한다.

## Acknowledgements

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로



로 수행되었음(과제번호 21CTAP-C163646-01).

**이해상충:** 저자들은 이해상충이 없음을 선언합니다.

## References

1. J. J. Lee, S. L. Yang, S. A. Kwon, and S. D. Hwang, "A Study of Performance Evaluation of Warm Asphalt Binder Properties using LEADCAP", *International Journal of Highway Engineering*, **13**, 1 (2011).
2. M. C. Rubio, G. Martínez, L. Baena, and F. Moreno, "Warm mix asphalt: an overview", *J. Clean. Prod.*, **24**, 76 (2012).
3. M. C. Rubio, F. Moreno, M. J. Martínez, G. Martínez, and J. M. Vázquez, "Comparative analysis of emissions from the manufacture and use of hot and half-warm mix asphalt", *J. Clean. Prod.*, **41**, 1 (2013).
4. A. Vaitkus, A. Čygas, A. Laurinavičius, and Z. Perveneckas, "Analysis and evaluation of possibilities for the use of warm mix asphalt in Lithuania", *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, **4**, 80 (2009).
5. C. H. Graham, and D. P. Brian, "Evaluation of Sasobit for use in warm mix asphalt", *NCAT report*, **5**, 1 (2005).
6. S. H. Mun, "Performance Evaluation of SASOBIT with Medium Temperature Asphalt Additives", *Korean Society of Road Engineers*, **11**, 26 (2009).
7. Y. J. Kim, J. J. Lee, C. M. Baek, S. L. Yang, S. A. Kwon, and Y. H. Suh, "Performance Evaluation of Warm-and Hot-Mix Asphalt Mixtures Based on Laboratory and Accelerated Pavement Tests", *Advances in Materials Science and Engineering*, **20**, 1 (2012).
8. L. Miranda, "Performance of half-warm mix asphalt (HWMA) mixtures compared to conventional hot mix asphalt mixtures", *Valladolid Spain VIII-Natl.*, **2**, 863 (2008).
9. W. S. Heo, E. K. Lee, and S. Y. Choi, "A Study on the Stabilization of Asphalt Emulsion with Phase Inversion Emulsification Method", *Elastomers and Composites*, **44**, 143 (2009).
10. W. T. Oh, E. K. Lee, and S. Y. Choi, "A Study on the Mechanical Properties of Organo-clay Filled NR/MMT Nanocomposites", *Elastomers and Composites*, **44**, 455 (2009).
11. H. Song, J. Y. Do, and Y. S. Soh, "Feasibility study of asphalt-modified mortars using asphalt emulsion", *Construction and Building Materials*, **20**, 332 (2006).
12. M. H. Cho, J. H. Jin, J. H. Lee, S. W. Yoon, and J. S. Kim, "A Fundamental Study on the Storage Stability and Viscosity Test of Urethane Modified Asphalt Binder(UMAB) Base", *J. the Korean Society for Disaster Prevention*, **11**, 156 (2013).
13. C. K. Anna, G. Władysław, and M. I. Mateusz, "Moisture resistance and compactibility of asphalt concrete produced in half-warm mix asphalt technology with foamed bitumen", *Construction and Building Materials*, **126**, 108 (2016).
14. M. S. Jeon, "Commercial Applications of SBS Thermoplastic Elastomers", *Rubber Technology*, **8**, 129 (2007).
15. K. H. Lim, "Optimization to Prepare SIS-SBS Modified Asphalt for Waterproof-sheet", *Korean Chemical Engineering Research*, **55**, 690 (2017).
16. K. U. Kim, and J. Dale, "Polystyrene/Polyethylene Blends Containing Block Copolymers I. Mechanical Properties", *Polymer (Korea)*, **13**, 40 (1989).
17. H. T. Lee, M. D. Kim, Y. T. Kim, and S. K. Suh, "Electrical Properties of LDPE/PS/SEBS Blends. In Proceedings of the KIEE Conference", *The Korean Institute of Electrical Engineers*, **7**, 1661 (2004).
18. H. L. Zhang, M. M. Su, S. F. Zhao, Y. P. Zhang, and Z. P. Zhang, "High and low temperature properties of nano-particles/polymer modified asphalt", *Construction and Building Materials*, **114**, 323 (2016).
19. Z. Wan, B. Zheng, X. B. Xie, J. J. Yang, H. Zhou, R. S. Wan, J. K. Wang, J. J. Wang, W. F. Luo, R. Xue, G. H. Li, and T. S. He, "Preparation method and performance test of Evotherm pre-wet treatment aluminum hydroxide type warm-mixed flame-retardant asphalt", *Construction and Building Materials*, **262**, 120 (2020).
20. I. M. Yusoff, Aeyman Abozed Saleh Breem, Hani N.M. Alatug, Asmah Hamim, and Juraidah Ahmad, "The effects of moisture susceptibility and ageing conditions on nano-silica/polymer-modified asphalt mixtures", *Construction and Building Materials*, **72**, 139 (2014).
21. J. Y. Lee, and J. Y. Han, "DSC and FTIR Studies of Miscible Poly(butylene 2,6-naphthalate)/Poly(4-vinylphenol) Blends", *Polymer(Korea)*, **26**, 737 (2002).
22. G. S. Cho, D. H. Lee, D. S. Kim, H. M. Lim, C. Y. Kim, and S. H. Lee, "Effect of Concentration and Surface Property of Silica Sol on the Determination of Particle Size and Electrophoretic Mobility by Light Scattering Method", *Korean Chemical Engineering Research*, **51**, 622 (2013).
23. Y. J. Seon, "Thermoplastic Elastomer의 응용", *Elast. Compos.*, **27**, 131 (1992).
24. Y. Liu, Y. Cui, G. Yin, and H. Ma, "Synthesis, characterization, and drug release behaviour of novel soy protein/poly (acrylic acid) ipn hydrogels", *Iranian Polymer Journal*, **18**, 339 (2009).
25. P. Claudy, J. M. Letoffe, Y. Camberlain, and J. P. Pascault, "Glass transition of polystyrene versus molecular weight. Polymer bulletin", *Polymer bulletin*, **9**, 208 (1983).

**출판자 공지사항:** 한국고무학회는 게재된 논문 및 기관 소속의 관할권 주장과 관련하여 중립을 유지합니다.