



반전유화법에 의한 유화아스팔트의 안정성 연구

허우성·이은경·최세영[†]

청주대학교 응용화학과

(2009년 1월 14일 접수, 2009년 1월 30일 수정 및 채택)

A Study on the Stabilization of Asphalt Emulsion with Phase Inversion Emulsification Method

Woo-Sung Heo, Eun-Kyoung Lee, and Sei-Young Choi[†]

Department of Applied Chemistry, Cheongju University, Cheongju 360-764, Korea

E-mail : sychoi@cju.ac.kr

(Received January 14, 2009, Revised & Accepted January 30, 2009)

요약 : 본 연구에서는 아스팔트가 가지는 단점을 보완하고자 아스팔트를 비이온 계면활성제(Span 80, Span 60, Tween 80, 및 Tween 60), 음이온 계면활성제(SLS), 및 양이온 계면활성제(Imidazole)를 변량 배합하여 반전유화법으로 아스팔트 에멀전을 제조하였다. 유화아스팔트의 안정성을 규명하고자 입자크기, 점도, 제타전위, 및 내수성을 고찰하였다. 비이온 계면활성제와 음이온 계면활성제를 혼합 사용할 경우 유화아스팔트의 안정성은 우수하였으며 계면활성제의 양이 증가함에 따라 입자크기는 감소하였고, 반면에 점도와 제타전위 및 내수성은 증가하였다.

ABSTRACT : In this study, asphalt emulsion was manufactured by phase inversion emulsification method with nonionic surfactants(Span 80, Span 60, Tween 80, and Tween 60), anionic surfactant(SLS) and cationic surfactant(Imidazole) in different feeding ratio to make up for the weak points of asphalt. Its stabilization was carefully investigated with respect to droplet size, viscosity, zeta potential, and water-proofing property. When the surfactants mixed with nonionic and anionic surfactant were used into the asphalt, a stabilization of the asphalt emulsion was good. As the amount of the mixed surfactant was increased, the droplet size of asphalt emulsion were decreased, while the viscosity and zeta potential were increased. When the surfactants mixed with nonionic and anionic surfactant were used into the asphalt, a stabilization of asphalt emulsion was good.

Keywords : asphalt, emulsification, surfactant, stabilization, swelling

I. 서 론

현재 도로포장에서 사용되는 컵백아스팔트¹는 도로포장시 가열하여 사용하기 때문에 이산화탄소의 발생으로 인한 환경적인 측면과 에너지 소비로 인한 경제적인 측면에서 문제^{2,3}가 되고 있다. 또한 전 세계적으로 환경보호에 대한 관심이 증가하면서 지구 온난화 현상의 주범인 이산화탄소의 발생을 억제시키고자하는 노력이 가속되고 있어 가열하지 않고 상온에서 사용할 수 있도록 미립으로 만들어 물속에 분산시킨 유화아스팔트에 대한 연구와 실용화가 진행⁴되고 있다. 유화아스팔트는 약 60여 년 전 유럽지역에서 경제적인 포장공사를 위해서 개발되어 환경 친화적인 공법으로 전 세계적으로 널리 사용⁵되고 있다. 미국의 경우에는 1970년 초반 전 세계적으로 석유 위기가 가속되면서 석유계 용제를 사용하지 않는 유화아스팔트 혼합물의 개발과 개량에 대한 연구를 착수함으로써 본격적으로 사용하는 계기가 되었으며 지속적인 연구개발에 힘입어 도로포장의 안정처리기층 및 표층으로 사용하고 있다.

일반적으로 에멀전을 제조하는 방법에는 한 분자 내에 친수성 부분과 소수성 부분이 공존하는 양친매성 구조를 지닌 계면활성제의 계면화학적 성질을 이용한 방법과 호모믹서, 콜로이드 밀 등의 기계력에 의하여 유화하는 물리적 방법이 있으며, 이 두 가지 방법을 병용^{6,7}하는 경우도 있다. 기계적인 방법은 연속제조가 가능하고, 대량 생산이 용이하다는 장점이 있으나, 1 μm 이하의 미세한 에멀전을 제조하는 경우에는 계면화학적 성질을 이용하는 것이 더 유용한 것으로 알려져 있다. 또한, 에멀전 제조시 유화제의 연속상 첨가 혹은 분산상 첨가에 따라 에멀전의 물성이 달라지는 것으로⁸ 알려져 있다. 계면화학적 성질을 이용한 에멀전 제조법으로는 반전유화법,⁹ D상 유화법,¹⁰ 전상온도 유화법,¹¹ 겔 유화법, 비수 유화법, 및 액정 유화법 등이 있다. 반전유화법은 계면활성제를 기름상에 용해시킨 후, 서서히 물을 가하면서 교반하여 연속상을 기름에서 물로 역전시키는 방법으로 널리 이용되고 있다. 에멀전을 제조함에 있어서 가능한 입자가 균일하고 미세한 에멀전을 제조하면 에멀전의 안정성을 향상시킬 수 있다. 따라서 미세한 에

멸전을 제조하기 위해서는 물리적인 방법보다는 계면활성제의 성질을 이용하는 방법이 더욱 효과적이다. 에멀전 제조시 두 종류 혹은 그 이상의 유화제를 혼합 사용하는 것이 각각을 단독으로 사용하는 경우보다 안정한 에멀전이 얻어진다고 보고¹²된 바 있다. 이러한 계면활성제(surface active agent, surfactant)는 한 분자 내에 친수성 부분과 친유성 부분이 동시에 존재하여 계면에 흡착하여 계면의 자유에너지를 낮추어 계면의 성질을 현저히 변화시키는 물질이며 작은 입자크기를 갖게 하고 표면장력을 감소시켜 입자형성에 필요한 에너지를 낮추거나 계면에 흡착되어 막을 형성함으로써 응집의 장애로부터 상분리를 억제하는 역할¹³을 한다. 또한 두 액체의 계면에 흡착되어 계면장력을 낮추어줌으로써 계면이 증가하는데에 따른 자유에너지의 증가를 낮추어주며 계면에 흡착되어 입자-입자 사이에 정전기적 혹은 물리적 보호막 역할을 하여 입자가 서로 합쳐지는 것을 방지하여 에멀전이 안정한 상태로 존재할 수 있도록 한다. 에멀전계 내의 안정성에 관한 이론적 배경은 DLVO¹⁴ 전기이중층, 그리고 입체장애 반발력 등 많은 이론들이 제안¹⁵되고 있다. 안정성에 대해서는 Derjaguin과 Landau 그리고 Verwey와 Overbeek에 의하여 제안된 DLVO이론이 최초로 알려져 있다. 흡착층에 의한 입체장애 안정화 효과는 Napper,¹⁶ Vincent 그리고 Ottewill¹⁷ 등에 의하여 연구가 되었으며, 이를 통하여 흡착층에 의한 입체장애 안정화 효과 기구를 정량적으로 설명하고자 하는 이론이 최근 많이 발표¹⁴되고 있다.

한편, 유화아스팔트는 일반 아스팔트에 비하여 연료를 적게 사용하고 골재 코팅능력이 우수하여 이에 따른 비용절감의 잠재성이 크며, 도로포장, 방수, 방청 등 산업적 용도가 다양해짐에 따라 이의 수요가 급증하고 있어 이에 대한 관심이 높아지고 있으나 국내적으로 이에 대한 개발 연구는 기초 자료연구 부족으로 다양하게 이루어지고 있지 않다. 그러므로 본 연구에서는 포설과정 중 이산화탄소나 휘발성 유기화합물의 발생으로 인한 대기오염을 발생시키고, 가열하여 사용하기 때문에 에너지 소비로 인한 경제적인 문제를 발생시키는 아스팔트를 음이온 계면활성제와 비이온 계면활성제를 혼합한 혼합 계면활성제 그리고 반전유화법으로 유화아스팔트를 제조하여 아스팔트가 가지는 단점을 보완하고자 하였다. 이에 따라 계면활성제의 혼합비, 조성, 농도 등에 따른 에멀전의 안정성을 규명하기 위하여 입자크기 및 점도 등의 유변학적 거동과 제타전위 및 내수성을 측정하여 아스팔트 에멀전의 안정성을 고찰하였다.

II. 실험

1. 재 료

유화하고자 하는 아스팔트(asphalt)는 SK사의 AP-5를 사용

하였으며, 참고로 AP-5의 평균적인 물성은 침입도가 71 dmm(1 dmm=0.1 mm)이고 연화점이 47.5 °C이며 신도는 150 cm 이상이다. 유화제로는 Junsei chemical Co.의 비이온 계면활성제인 Sorbitan monostearate (Span 60)와 Sorbitan monooleate (Span 80) 및 Shinyo pure chemical Co.의 Polyoxyethylene sorbitan monostearate (Tween 60)와 Polyoxyethylene sorbitan monooleate (Tween 80)를 사용하였고, Junsei chemical Co.의 음이온 계면활성제인 Sodium lauryl sulfate (SLS)를 사용하였으며, 대정화학(주)의 양이온 계면활성제인 Imidazole을 사용하였다.

2. 아스팔트 에멀전의 제조

아스팔트에 비이온 계면활성제 Span 80을 일정비율로 첨가하여 2500 rpm~3000 rpm으로 교반시킨 후, 음이온 계면활성제 SLS 또는 비이온 계면활성제 Tween 80 및 증류수를 서서히 첨가하면서 일정한 속도로 교반하여 아스팔트 에멀전을 제조하였다. Table 1에 아스팔트 에멀전의 배합표를 나타내었다.

3. 입자크기 측정

본 연구에서 제조한 아스팔트 에멀전의 입자크기를 측정하기 위하여 Particle size analyzer(Tar-3, Otsuka Co, Japan)를 사용하였고, 시료는 증류수로 500배 희석시켜 cell에 넣고 light scattering 방법에 의하여 측정하였다.

4. 점도 측정

본 연구에서 제조한 아스팔트 에멀전의 점도 변화를 측정하기 위하여 평형 원판형 rheometer인 Rheolab MC100을 사용하

Table 1. The Recipe of the Asphalt Emulsification unit (wt%)

	Asphalt	Water	Surfactant		
			Span 80	Tween 80	SLS
SS44	100	60	4	-	4
SS54	100	60	5	-	4
SS64	100	60	6	-	4
ST44	100	60	4	4	-
ST54	100	60	5	4	-
ST64	100	60	6	4	-
SS'53	100	60	5	-	3
SS'54	100	60	5	-	4
SS'55	100	60	5	-	5
SS'56	100	60	5	-	6
SS'57	100	60	5	-	7

였으며, Plate 간격을 0.5 mm로 하고 40 °C에서 측정하였다. 점도와 전단속도와와의 관계를 알아보기 위하여 전단속도를 변화시키면서 아스팔트 에멀전의 유변학적 거동을 관찰하였다.

5. 제타전위 측정

제타전위 측정은 Potal ESL-Z(Otsuka Co, Japan)를 사용하여 실온에서 전기영동 속도를 측정하였고, 제타전위는 Helmholtz-Smoluchowski¹⁸식에 대입하여 구하였다.

$$\mu = \frac{\epsilon \zeta i}{4\pi \eta \lambda}$$

여기에서 μ 는 전기영동속도, ϵ : 유전율, i : 전류값, λ : 비전도도, η : 점도, ζ : 제타전위를 각각 나타낸다. ZetaMeter에 시료용액을 주입하고 일정 전류를 가하게 되면 전하에 의하여 시료의 전기영동속도가 구해지고 정해진 ϵ , i , η , 및 λ 의 관계에 의하여 zeta potential(ζ) 값을 구하였다.

6. 내수성 측정

아스팔트의 내수성을 측정하기 위하여 아스팔트 에멀전을 일정한 두께(20 mm × 20 mm × 2 mm)로 도포하여 상온에서 18시간 동안 건조하여 아스팔트 에멀전의 필름을 제조한 후 접촉각 측정기(Seo 300A model SEO Co.)를 사용하여 접촉각을 측정하였다. 또한 제조한 필름을 증류수에 48시간 동안 침지시킨 후, 표면에 묻어 있는 물을 제거하고 무게를 측정하였으며, 아래의 식을 이용하여 팽윤도(swelling)¹⁹를 계산하였다.

$$\% \text{ Swelling} = \frac{(W - W_0)}{W_0} \times 100$$

여기에서, W_0 은 건조된 필름의 무게이며 W 는 침지 후 필름의 무게이다.

III. 결과 및 고찰

1. 입자크기 측정

에멀전의 불안정성²⁰은 크립화, 응집, 합체와 밀접한 관계가 있다. 크립화 현상은 입자가 서로 근접하게 될 때 상기 과정들이 상호작용하여 응집과 합일이 형성됨으로써 에멀전의 불안정성을 야기시키게 된다. 하지만 크기가 작은 입자는 크립화 속도를 감소시키기 때문에 에멀전의 안정화를 유도하게 된다. 그러나 수많은 입자간 충돌로 인해 입자간 응집이 발생되어 보다 큰 입자가 생성됨에 따라 침강속도가 커지고 안정성은

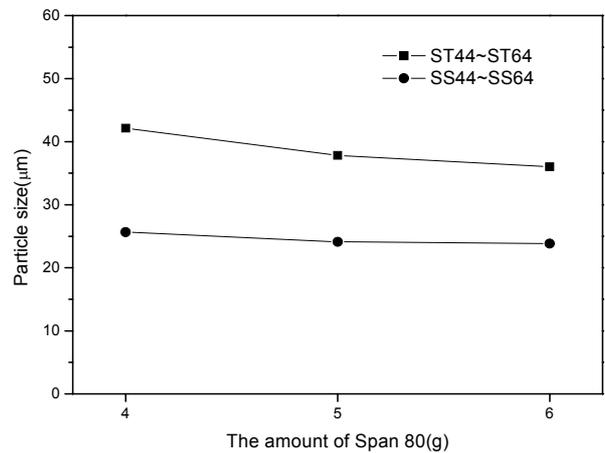


Figure 1. Effect of the amount of Span 80 on particle size of the asphalt emulsion.

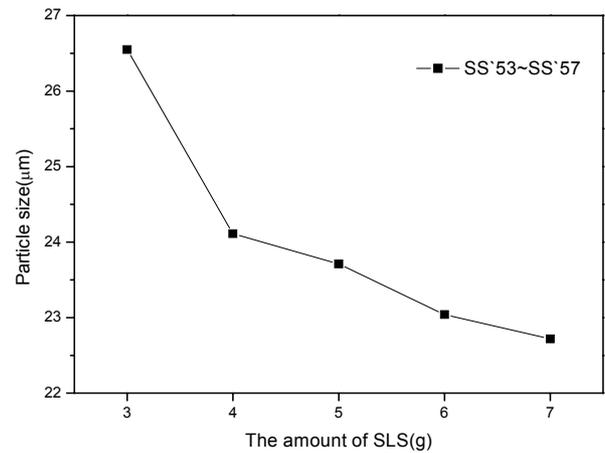


Figure 2. Effect of the amount of SLS on particle size of the asphalt emulsion.

감소하게 될 수도 있다. 즉, 입자-입자 사이의 충돌에 의해 응집이 일어나지 않는다고 가정할 경우 브라운 운동은 입자의 침강을 막아줄 것이다.

Figures 1 및 2는 본 실험에서 제조한 아스팔트 에멀전의 계면활성제 농도에 따른 입자크기를 나타낸 것으로서, 계면활성제의 양이 증가함에 따라 입자크기가 감소하는 경향을 보인다. 이는 입자크기가 작을수록 활발한 브라운 운동으로 인하여 입자 침강속도가 늦어지게 되고, 크립화 속도를 감소시켜 균일한 농도로 분포되어 안정한 계가 유지되었다고 판단된다. 또한 Span 80과 SLS를 혼합하여 사용한 아스팔트 에멀전의 입자크기가 Span 80과 Tween 80을 혼합하여 사용한 아스팔트 에멀전의 입자크기보다 상대적으로 작은 에멀전을 제조할 수 있었다. 특히, 비이온 계면활성제 Span 80과 음이온 계면활성제 SLS를 총 12 wt% 첨가한 아스팔트 에멀전의 입자크기가 가장 작은 결과를 보이므로 침강 또는 부유현상을 막아줌으로

써 크립화 속도를 감소시켜 주기 때문에 가장 안정한 에멀전의 상거동을 보인다고 판단된다.

2. 점도 측정

액체 중에 미립자를 분산시키면 대부분의 경우, 콜로이드 화학적 인력에 의해 미립자들이 결합되어 응집체를 형성한다. 응집체가 형성되면, 입자가 독립된 운동성이 없어지고 그 내부에서 일부의 분산매가 부동화 되기 때문에 분산계의 점도가 증대한다. 그러나 일반적으로 이와 같은 입자간 인력 또는 결합력은 그렇게 강한 것이 아니므로 높은 전단속도로 쉽게 파괴되며, 낮은 전단속도에서는 다시 가역적으로 입자간 결합이 형성된다. 따라서, 응집 분산계는 전단속도가 증대하면 점도가 감소하는 의소성 유동을 나타낸다. 입자가 응집되면 점도는 반드시 증대하고, 그 증가율은 낮은 전단속도일 수록 크고,

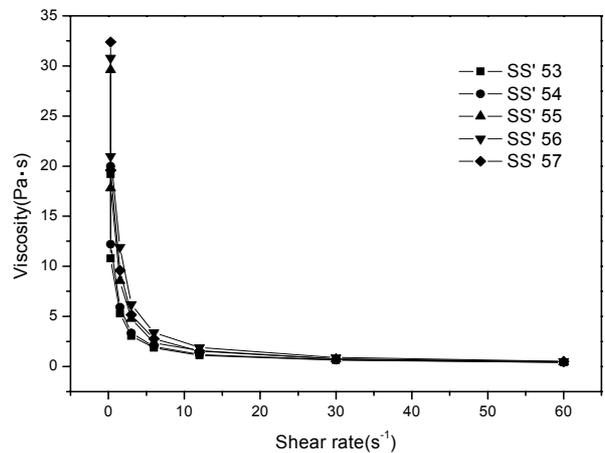


Figure 5. Effect of shear rate on viscosity according to the increase of the amount of SLS for the asphalt emulsion.

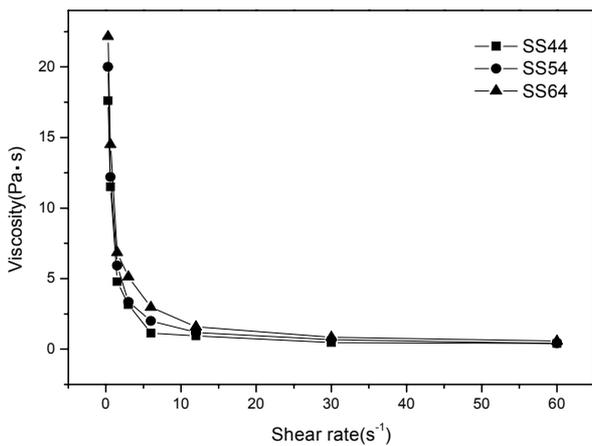


Figure 3. Effect of shear rate on viscosity according to the increase of the amount of Span 80 for the asphalt emulsion.

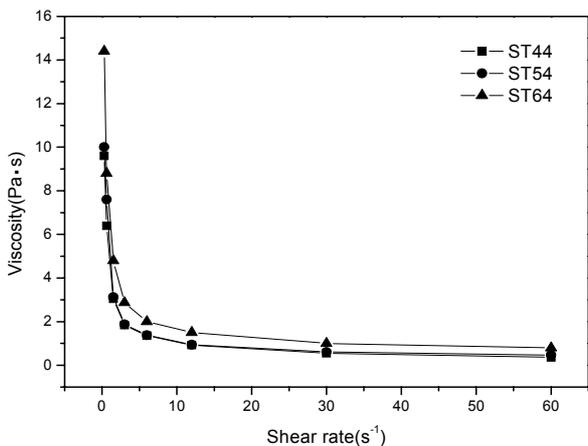


Figure 4. Effect of shear rate on viscosity according to the increase of the amount of Span 80 for the asphalt emulsion.

높은 전단속도 범위에서 의소성 유동이 나타나는 것이 응집 분산계에 대해서 확인되어진 기본적인 성질이다. Figures 3, 4, 및 5는 본 실험에서 제조한 아스팔트 에멀전의 전단속도에 따른 점도를 나타낸 것으로서, 전단속도가 증가함에 따라 점도가 감소하는 shear thinning²¹ 거동을 나타내고 있다. 이는 Barnes²²의 실험 결과와 일치하며, 따라서 본 실험에서 제조한 아스팔트 에멀전이 안정하다고 판단된다. Shear thinning 현상은 등온 상태에서 변형을 가함으로써 겔보기 점도가 일시적으로 감소하는 것으로, 이는 분자입자가 만드는 응집구조와 관련한 구조 파라미터를 가정하고 그 파라미터를 시간과 전단속도의 함수로서 간주하여 유변학적 특성에 시간 의존성을 도입하는 방법을 취하고 있다. 에멀전에서의 점도는 유화 안정성에 관계되는 주요 요인 중의 하나이며, 점성이 크게 되면 오일의 부유에 의한 크립화 현상은 줄어들게 된다. 그리고 유화입자의 운동도 감소하게 되어 입자간의 충돌 횟수도 적어져 유화는 안정화 된다. 또한 일반적으로 계면활성제의 농도가 증가함에 따라 입자크기가 작아지게 되고, 이 입자크기는 에멀전의 점도에 영향을 미치는 것으로^{13,23} 알려져 있다. Figures 3, 4, 그리고 5에서 제시된 바와 같이 계면활성제의 양이 증가함에 따라 점도가 증가함을 확인할 수 있다. 이는 계면활성제의 농도가 증가함에 따라 미셀 형성이 많아지게 됨으로써 미셀 간 응집력이 증가하게 되어 점도가 증가¹³하기 때문이다.

또한 Span 80에 SLS를 혼합 첨가하여 제조한 아스팔트 에멀전이 Span 80과 Tween 80을 혼합 첨가하여 제조한 아스팔트 에멀전보다 높은 점도를 보였는데 이는 점도가 증가함에 따라 미셀 형성이 많아지게 됨으로써 미셀 간 응집력이 증가하고 유화입자의 운동도 감소하게 되어 입자간의 충돌 횟수가 적어져 안정화되기 때문에 보다 안정하다고 판단된다.

3. 제타전위 측정

입자사이에는 정전기적인 반발력과 van der Waals 인력 특히 입자표면의 흡착층에 의한 상호작용이 존재하고 이들 입자간의 힘과 충돌에너지의 균형에 의해 응집과 분산을 결정하게 되고 이에 따라 유화의 안정성과 밀접한 관계를 갖는다.

DLVO¹⁴이론은 Derjaguin, Landau, Verwey, and Overbeek가 제시한 콜로이드계의 분산 안정성에 관한 이론으로서, 분산과 응집은 전하를 띤 두 개의 콜로이드 입자가 접근하여 전기 이중층이 중첩될 때 발생하는 정전기적 반발력과 London-van der Waals 인력의 합인 포텐셜에너지 곡선의 형태로 결정된다고 하고 있다.

Zeta potential^{24,25}은 계면에 고정되는 이온층과 용액 내부의 전위차를 말하며 용액에 분산되어 있는 입자는 그 주위에 계면전하를 중화하기 위해 존재하는 반대부호를 가진 이온과 소량의 동일한 전하를 지닌 전기 이중층을 형성한다. Zeta potential은 콜로이드계의 분산과 응집을 나타내는 지표로서 이용되고 있는데, 콜로이드 입자의 분산과 응집은 zeta potential 값으로 결정되는 반발포텐셜 에너지와 London-van der Waals 인력포텐셜에 의존한다. 따라서 zeta potential의 절대값이 증가하면 입자사이의 반발포텐셜 에너지가 강하게 작용하여 분산하게 되고 반대로 zeta potential의 절대값이 zero에 가까워지면 입자사이의 인력포텐셜 에너지가 증가되어 응집하기 쉽게 된다. 따라서 zeta potential은 콜로이드 입자의 분산 안정성의 척도로 사용²⁶될 수 있다.

Figures 6 및 7은 혼합 계면활성제를 변량 배합하여 제조한 아스팔트 에멀전의 zeta potential (ξ) 측정 결과를 나타낸 그래프이다. Genovese와 Lozano²⁷에 의하면 에멀전 입자들이 큰 음전하나 양전하의 zeta potential의 값을 가질 경우에 입자들간의 반발력이 증가하여 안정한 거동을 보이며, 에멀전의 안

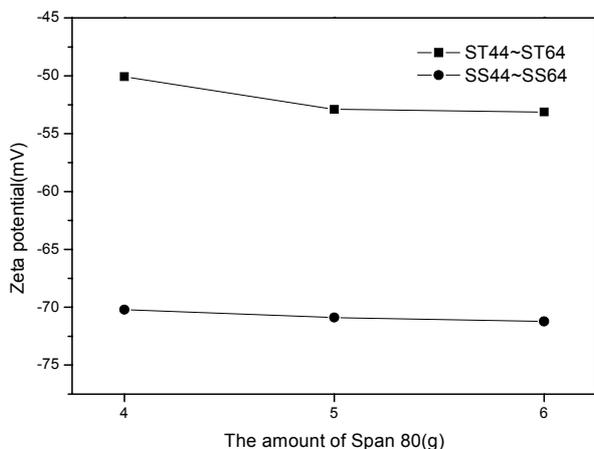


Figure 6. Effect of the amount of Span 80 on zeta potential of the asphalt emulsion.

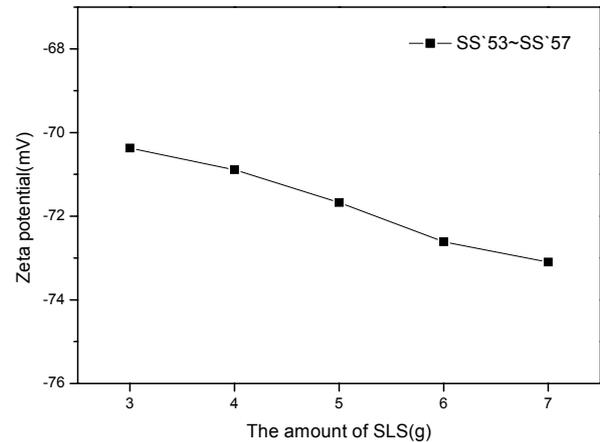


Figure 7. Effect of the amount of SLS on zeta potential of the asphalt emulsion.

정성과 불안정성을 보이는 zeta potential의 경계를 30 mV ~ -30 mV로 보고 있다. 이에 본 연구에서 제조된 아스팔트 에멀전의 zeta potential의 값이 대략 -50 mV ~ -70 mV 범위에 있으므로 안정하다고 볼 수 있다. Span 80과 SLS를 혼합 사용하여 제조한 아스팔트 에멀전의 zeta potential의 값이 Span 80과 Tween 80을 혼합 사용하여 제조한 아스팔트 에멀전의 zeta potential의 값보다 큰 값을 보였다. 또한 계면활성제의 양이 증가함에 따라 zeta potential의 값이 증가하였고, 이 중에서 Span 80을 5 wt%에 SLS를 7 wt%으로 첨가하여 제조한 아스팔트 에멀전이 가장 큰 값을 가졌다. 이는 혼합 계면활성제를 사용함으로써 입자표면에 혼합 계면활성제가 흡착되어 생성되는 반발작용 효과 뿐만 아니라 입자주위에 흡착층이 둘러싸여 입체장에 안정화 효과가 크게 작용하기 때문에 입자의 응집을 방해하여 더욱 안정한 거동을 보이는 것으로 해석할 수 있다. 또한 높은 zeta potential의 값을 보이는 것은 높은 에너지 장벽을 갖게 되어 입자의 응집에 필요한 활성화 에너지가 큰 값을 갖기 때문에 입자간의 근접이 어려워져 보다 안정한 거동을 보이는 것으로 사료된다.

4. 내수성 측정

일반적인 에멀전은 외부의 습기와 수분을 쉽게 흡수하는 취약점²⁸을 가지고 있다. 그래서 내수성이 약한 아스팔트 에멀전을 도로포장에 응용하는 경우 물에 의한 박리현상²⁹이 발생된다. 본 연구에서는 내수성을 측정하기 위하여 접촉각 및 팽윤도를 측정하였다. Table 2에 보여지는 것처럼 계면활성제의 양이 증가함에 따라서 접촉각은 증가를 하였고, 물에 대한 저항성인 팽윤도는 감소하였다. 그 중에서도 비이온 계면활성제 Span 80과 음이온 계면활성제 SLS를 혼합 사용하여 제조한 아스팔트 에멀전이 비이온 계면활성제 Span 80과 비이온 계면

Table 2. The Contact Angle and Swelling of the Asphalt Emulsion.

	Contact angle (Θ)	Swelling (%)
SS44	33.21	1.16
SS54	34.16	1.16
SS64	34.76	1.15
ST44	35.70	1.20
ST54	36.12	1.19
ST64	38.84	1.17
SS'53	33.19	1.17
SS'54	34.16	1.16
SS'55	35.22	1.12
SS'56	40.92	1.11
SS'57	41.02	1.09

활성제 Tween 80을 혼합하여 제조한 아스팔트 에멀전보다 접촉각이 크고 팽윤도가 낮게 나타났다. 그 중에서도 비이온 계면활성제 Span 80과 음이온 계면활성제 SLS를 총 12 wt% 첨가한 아스팔트 에멀전이 접촉각이 높았으며, 팽윤도가 가장 낮은 값을 보였다.

IV. 결 론

본 연구에서는 비이온 계면활성제 Span 80 및 Tween 80과 음이온 계면활성제 SLS를 혼합 사용하여 반전유화법으로 아스팔트 에멀전을 제조하였다. 혼합 계면활성제를 사용해서 반전유화법으로 제조한 아스팔트 에멀전은 혼합 계면활성제의 양이 증가함에 따라 입자크기가 감소하였고, 전단속도를 달리 하여 점도를 측정된 결과 계면활성제의 농도가 높을수록 점도는 증가하였으며 shear thinning 거동 및 의소성 거동을 확인할 수 있었다. 혼합 계면활성제 중에서 비이온 계면활성제 Span 80과 음이온 계면활성제 SLS를 혼합 사용하여 제조한 아스팔트 에멀전이 입자크기가 작고 높은 점도를 나타내었다. 또한, 대략 -47 mV ~ -75 mV 범위의 zeta potential 값을 보인 아스팔트 에멀전은 충분히 안정하다고 볼 수 있다. 그리고 내수성 측정 결과 계면활성제의 양이 증가함에 따라 접촉각이 증가하였으며, 그 값은 1.3% 이내의 팽윤도를 보였다.

참 고 문 헌

- H. A. Rodríguez-Valverde, M. A. Cabrerizo-Vílchez, A. Páez-Dueñas, and R. Hidalgo-Álvarez, "Stability of highly charged particles: bitumen-in-water dispersions", *Colloids and surfaces A: physicochem. Eng. as Aspects*, **222**, 233 (2003).
- S. J. Kim, "Asphalt sealant containing the waste edible oil", *elastomer*, **39**, 63 (2004).
- K. S. Kim and Y. K. Hong, "A study on the storage stability of waste vinyl-modified asphalt", *elastomer*, **43**, 191 (2008).
- T. S. Park, "Evaluation of characteristics of emulsified asphalt mixture by use of modified marshall method", *J. Civil Eng.*, **18**, 824 (1998).
- 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).
- D. Attwood and A. T. Florence, "Surfactant Systems", edited by D. Attwood and A. T. Florence, Chapman and Hall, New York, 1983.
- K. J. Lissant, "Emulsions and Emulsion Technology", edited by K. J. Lissant, Marcel Dekker, New York, 1984.
- R. M. K. Cobb, "Emulsion Technology", H. Bennett Ed., 7, Chemical Pub. Co., New York, 1946.
- G. Akay, "Flow-induced phase inversion in the intensive processing of concentrated emulsions", *Chem. Eng. Sci.*, **53**, 203 (1998).
- H. Y. Kim, N. H. Jeong, H. S. Kim, S. Y. Lee, and K. D. Nam, "Preparation and properties of D phase emulsion by silicone oil", *J. Kor. Ind. Eng. Chem.*, **10**, 809 (1999).
- K. Shinoda and H. Saito, "The effect of temperature on the phase equilibria and the types of dispersions of the ternary system composed of water, cyclohexane, and nonionic surfactant", *J. Colloid Interface Sci.*, **26**, 70 (1968).
- P. Sherman, "Emulsion Science", Academic Press, New York, 1965.
- E. K. Lee, S. Y. Choi, and S. J. Park, "Stabilization of chlorosulfonated polyethylene(CSM) rubber emulsion with surfactant mixture", *Elastomer*, **36**, 249 (2001).
- E. J. Verwey and J. Overbeek, "Theory of the Stability of Lyotropic Colloids", edited by E. J. Verwey and J. Overbeek, Elsevier, Amsterdam, 1948.
- T. Saito and R. Ruch, "Stabilization of Colloidal Dispersion by Polymer Adsorption", edited by T. Saito and R. Ruch, Marcel Dekker, New York, 1982.
- D. H. Napper, "Polymeric stabilization of colloidal dispersions", Academic Press, London, 1983.
- A. D. Ward, R. H. Ottewill, R. D. Hazlett, "An investigation into the stability of aqueous films separating hydrocarbon drops from quartz surfaces", *J. Petroleum Sci. Eng.*, **24**, 213 (1999).
- D. B. Genovese, J. E. Lozano, "The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices", *Food Hydrocolloids*, **15**, 2 (2001).
- J. H. Kim, K. Y. Choi, H. J. Joo, F. L. Jin, and S. J. Park, "A study on the water resistance and thermo-mechanical behaviors of epoxy adhesives", *Elastomer*, **40**, 170 (2005).
- M. M. Riegar, "Surfactant in Cosmetics", Marcel Dekker, Inc., New York, 1985.
- C. D. Han, "Rheology in Polymer Processing", Academic edited by C. D. Han, Academic Press, New York, 1976.
- H. A. Barnes, "Rheology of emulsions-review", *Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. as Aspects*, **91**, 89 (1994).

23. B. P. Binks "Modern Aspects of Emulsion Science", edited by B. P. Binks, The Royal Society of Chemistry, London, 1998.
24. K. Buszello, S. Hamisch, R. H. Müller, B. W. Müller, "The influence of alkali fatty acids on the properties and the stability of paraenteral O/W emulsions modified with solutol HS 15[®]", *Eur. J. of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, **49**, 146 (2000).
25. J. S. Kim, H. S. Uhm, and H. S. Kim, "Atmospheric-pressure plasma treatment of ethylene-vinyl acetate (EVA) to enhance adhesion energy between EVA and polyurethane", *Elastomer*, **39**, 7 (2004).
26. Y. H. Kim, "The effect of zeta-potential on the stabilization of silver nanoparticle colloid prepared by alcohol reduction method with PVP", *J. Kor. Ind. Eng. Chem.*, **14**, 491 (2003).
27. D. B. Genovese and J. E. Lozano, "The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices", *Food Hydrocolloids*, **13**, 1 (2001).
28. M. C. Park, M. C. Lee, "The effects of polymeric emulsifier on the water-resistance and time-dependency of acrylic emulsion pressure sensitive adhesives", *J. Kor. Ind. Eng. Chem.*, **15**, 48 (2004).
29. M. C. Jo, S. G. Kim, S. J. Park, and S. Y. Park, "Adsorption of asphalt functionalities onto silica surface", *Appl. Chem.*, **6**, 182 (2002).