

Petroleum Sulfonate의 합성에 있어서 황산화율이 계면활성 특성 및 시멘트 몰타르의 유동성에 미치는 영향

김 영 호[†]

한경대학교 화학공학부
456-749 경기도 안성시 중앙로 167
(2010년 6월 15일 접수, 2010년 7월 12일 채택)

Effects of Sulfonation Ratio in Petroleum Sulfonate Synthesis on Interfacial Properties and on Fluidity Properties of Cement Mortar

Young-Ho Kim[†]

Division of Chemical Engineering, Hankyong National University, 167 Jungang-ro, Anseong-si, Gyeonggi 456-749, Korea
(Received 15 June 2010; accepted 12 July 2010)

요 약

본 연구에서는 정유회사 등에서 폐기되는 부생유(pyolyzed fuel oil)를 황산화 반응하여 petroleum sulfonate(PS)를 합성하였다. 합성된 PS는 계면활성 성질을 나타내었으며 이는 황산화율과 관계가 있었다. 또한 반응에 있어서 황산화율은 온도 및 시간에 따라 속도에 차이는 있었으나 대부분의 경우 40~50% 정도에서 황산화율이 거의 포화에 이르렀다. 황산화율이 증가함에 따라서 친수성이 증가하여 용액의 표면장력이 낮아졌으나 과도한 황산화율에서는 친수성이 너무 강하여 표면장력 값이 오히려 증가하였다. 황산화율에 따라서 적절한 친수-친유 비율에서는 낮은 표면장력과 시멘트에 대하여 우수한 젖음성을 나타내었다. 황산화율에 따라서 PS는 시멘트 표면에 대한 흡착량에 차이를 보였으며 흡착량이 클수록 시멘트에 대한 젖음성이 증가하여 시멘트 입자의 제타전위를 높였으며 보다 우수한 시멘트 몰타르 유동성을 나타내었다.

Abstract – In this study, the petroleum sulfonate(PS) was synthesized from pyolyzed fuel oil by sulfonation reaction with sulfuric acid. The PS synthesized had surfactant behaviors relating to the interfacial properties such as surface tension, surface adsorption, and wetting, etc. These interfacial properties were affected by the sulfonation ratio in the synthesis. As the sulfonation ratio increased, the surface tension of the PS aqueous solution decreased. However, when the ratio was too high, the surface tension was increased due to the extremely higher value of hydrophilicity of PS. At the optimum sulfonation ratio, the PS had a good wettability on the cement particles and a good fluidity of the cement mortar with a high adsorption.

Key words: Petroleum Sulfonate, Superplasticizer, Cement, Concrete

1. 서 론

Petroleum sulfonate(PS)는 석유화학 공정 중 여러 공정 중에서 부산물로 발생하는 부생유(pyolyzed fuel oil) 또는 폐유를 황산화 반응시켜 얻은 음이온계 계면활성 물질로서 국외에서는 석유계 유화제로 활용되고 있다. 최근에는 PS를 여러 분야에서 분산제로 활용 하려는 시도가 이루어지고 있으며[1-3]. 일부 연구에서는 콘크리트 혼화제로 활용하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 그러나 PS를 콘크리트 유동화제로 활용하기에는 아직까지 여러 물질들의 제약으로 인해 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

콘크리트유동화제는 콘크리트 배합 시에 첨가하는 물질로서 콘크

리트의 유동성을 증대시켜 작업성을 향상시킬 뿐만 아니라 사용되는 물의 양을 줄이고 나아가 최종적으로 콘크리트의 강도를 증대시키는 첨가제를 말하는데[4], 리그닌산, 멜라민 축합물, 나프탈렌계, 및 polycarboxilic계 등이 주로 사용되어지고 있다. 이들 유동화제의 특징은 골재-시멘트 및 시멘트-시멘트 입자사이의 분산력을 유도하여 시멘트 입자상 분산성을 유지시키며 수화반응 후에 콘크리트의 강도를 증대시키는 역할을 한다. 또한 결과적으로 물의 사용량을 감소시켜 작업성 증대 및 환경오염 절감 등 여러 효과를 발생시킨다[5].

그러나 콘크리트 유동화제는 물성뿐만 아니라 경제성이 매우 중요하며 건축비의 절감을 위하여 보다 값싸고 성능이 우수한 유동화제가 요구되고 있어서 이를 위하여 국내외 업계에서는 PS를 콘크리트 유동화제로 활용하려는 시도가 요구되고 있어 왔다[6].

Pyolyzed fuel oil의 분자구조는 Fig. 1에 보인 바와 같이 무수한

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: ynhkim@hknu.ac.kr

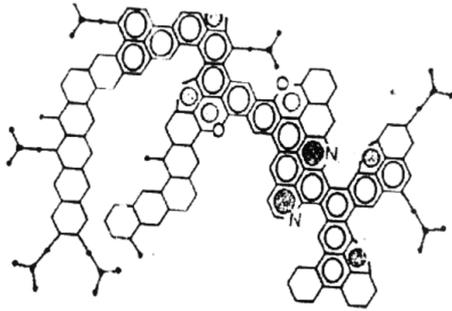


Fig. 1. A typical molecular structure of pyolyzed fuel oil [7].

방향족 분자들이 결합된 아스팔트 분자들로 이루어진 고분자 물질로서 원유의 성성에 따라서 모양과 분자량이 다르게 된다[7]. 계면활성제의 합성에서 방향족 분자들에 황산을 가하여 $-SO_3$ 를 도입시켜 음이온계 계면활성 물질을 만드는 공정은 많이 알려져 있다[7].

PS는 PFO에 황산화 반응을 거쳐 방향족 사슬을 열고 $-SO_3$ 관능기를 치환 도입한 음이온계 고분자성 계면활성 물질로서 시멘트 등의 표면에 흡착하여 1)아스팔트 분자들에 의한 기하학적 반발 효과와 2)음전하에 의한 정전기적 반발력을 증대시켜 시멘트의 분산성을 증대시키는 역할을 한다[8].

PS는 아스팔트 물질을 황산화 치환시킨 것인 만큼 분자량분포가 매우 광범위하고 또한 완전한 황산화 반응이 불가능하여 황산화 수율이 약 70% 이하이고 상당 부분이 친유성 아스팔트 고분자 상으로 존재하는 것으로 여겨지고 있다. 따라서 PS의 구조에서 분산제로 활용되기 위해서는 적절한 친수-친유 의 비를 조절하여야 하는 것으로 보여지며 이는 PS 합성 시 친수성을 부여하는 황산화 정도에 따라서 가능하다. 즉, 적정 황산화율에서 PS가 시멘트 입자에 흡착하여 분산력을 향상시키고 또 유동성을 향상시키게 된다.

본 연구에서는 PFO를 황산화 반응시켜 PS를 합성하고 반응 조건에 따라서 침유-친수성 정도의 비를 부여하는 황산화율을 조절하여 이가 시멘트 등의 분산력과 관계되는 계면활성 물질 및 시멘트 몰타르의 유동성에 미치는 영향을 관찰하고자 한다.

2. 실험

2-1. 실험재료

PS를 합성하기 위한 기본물질로서 납사열분해 공정 중 부산물로 발생하는 부생유(pyolyzed fuel oil, PFO) 및 황산을 사용하였다. PFO는 국내 정유사에서 발생하는 것을 이용하였으며 본 연구에서 활용된 PFO의 물성은 Table 1과 같았다.

황산화 반응에 사용된 황산은 시약급(Aldrich, EP grade)을 이용하였으며 모든 물은 초순수(18.2 MΩ)의 것을 사용하였다. 유동화 실험에 사용된 시멘트는 포클랜드 시멘트로서 (주)쌍용양회의 것을 사용하였다.

2-2. Petroleum Sulfonate(PS)의 합성

PFO를 황산화 반응시켜 강산 분위기에서 PFO를 황산화 하여 PS를

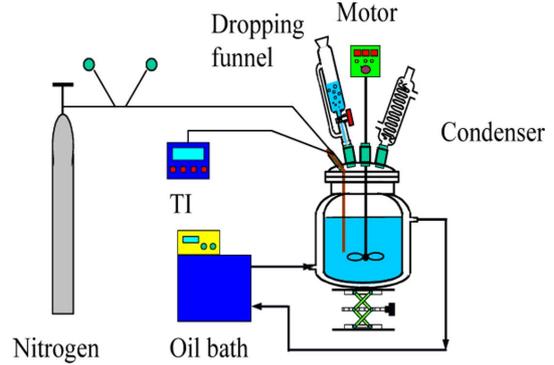


Fig. 2. Schematic diagram of sulfonation experimental apparatus.

얻었다. PS는 황산화 반응 중 PFO 성분 중 주로 방향족 계열의 올레핀 물질의 고리의 사슬에 $-SO_3$ 치환기를 갖는 음이온성 계면활성 물질을 치환한 것으로서, 본 연구에서는 황산화율을 달리하여 황산화 반응을 행하였다.

PFO 황산화 반응장치는 Fig. 2와 같았다. 황산화 반응은 반응장치에 자켓형 특수 반응장치 내부에 정량의 PFO를 채우고 반응물인 황산을 매우 서서히 첨가하여 서서히 일정온도(80~160 °C)에서 반응이 진행되도록 행하였다. 이 경우 반응이 격렬히 발생하므로 주사펌프(syringe pump)를 이용하여 황산을 매우 서서히 투입하였으며 반응 온도를 제어하기 위하여 항온조 및 냉각항온조를 이용하였다. 반응시 황산의 첨가량은 PFO의 무게 대비 1.8배 첨가하여 행하였으며 황산화 반응 후 망초생성 방지를 위하여 pH를 조절하였다. pH는 조절은 소석회를 이용하여 알카리 중화를 유지하여 제어하였으며 반응 완결 후에는 상온에서 결정화된 최종 고형물을 여과하여 최종 PS를 얻었다. 얻어진 PS는 점도가 매우 높으므로 이를 증류수에 다시 희석하였으며 희석에 사용된 증류수의 양은 PS 량 대비 2.5배로 하였다. 최종적으로 PS 용액을 소석회 알카리중화에 의하여 pH를 8~9로 조정하였다.

황산화 반응 정도에 따라 황산화율이 다르게 되며 이는 반응시간을 조절함으로써 가능하였다. 황산화율은 반응 후 중화시킬 때 투입된 중화제의 양을 비교함으로써 식 (1)에 의하여 가능하였다.

$$\text{황산화수율(\%)} = \frac{\text{황산량} - \text{중화제양}}{\text{황산투입량}} \quad (1)$$

2-3. PS 계면 물성실험

2-3-1. 표면장력 측정

입자들의 분산 미치는 영향 중 주요 변수인 고체표면에너지는 액체의 표면에너지(표면장력)와 깊은 연관이 있다. 따라서 PS 수용액에 대한 표면에너지(표면장력)를 측정하였다.

표면장력 측정은 Wilhelmy 법[9]을 이용하였다. 측정시료 표면에 순수한 백금 평판을 접촉시켜서 이때 발생하는 표면의 힘을 미세 밸런스로 측정하여 표면에너지를 계산되었으며 측정기기로는 표면장력계(KSV Sigma-70, Finland)를 사용하였다. 매 실험 전 백금평판은

Table 1. Physio-Chemical Properties of PFO Used

Density	Viscosity ×10 ³ cps	Carbon %(W/W)	Ash %(W/W)	Sulfur %(W/W)	Heat Generation (J/g)	Ignition Temp. (PM, °C)	C %(W/W)	H %(W/W)	N %(W/W)
1.084	1.452	0.04	0.001	0.004	43,570	56	87.28	10.91	0.00

chromic 산으로 세척 후 알코올버너로 달구어 잔류 유기물을 제거 후 표면 접촉각이 0이 되는 조건에서 측정하였다.

2-3-2. 제타전위측정

시멘트의 음전위적인 영향을 고찰하기 위하여 제타전위를 측정하였다. 시료는 포클랜드 시멘트를 막자사발에 넣고 곱게 간 후 상기 PS 수용액(0.1 wt%) 100 cc에 1 mg을 넣은 후 PS가 완전히 흡착되도록 30분간 격렬히 교반하였다. 이렇게 교반되어 PS가 흡착된 분산 용액을 제타전위 측정기 시료주입구에 투입 후 입자 거동에 의한 제타전위를 측정하였다. 제타전위 측정은 전기영동법(Melbom Zeta-Sizer 3100)을 이용하여 가능하였다.

2-3-3. 시멘트 젖음성 및 접촉각 측정

시멘트의 분산 원리 중 중요한 항목 중 하나는 표면의 젖음성(wettability)이다[4]. 이를 조사하기 위하여 시멘트 입자와 PS 수용액에 대하여 젖음성을 평가하였다. 평가 방식은 Washburn 방식[9]에 의해 평가하였다. 즉, 직경 0.80 cm 및 길이 5.5 cm의 피펫튜브에 정확히 3 g의 건조 입자를 공극률이 일정하도록 같은 높이로 채운 후 Fig. 3과 같은 마이크로 저울(Sigma-70, KSV Instrument, Finland)에 장착하여 각 PS 용액의 흡수도를 측정하였다. 또한 흡수도 측정은 시료를 채운 지름 8 mm 튜브(시멘트 3 g, 높이가 47 mm)를 저울 상단에 매달고 하단에 50 mL 비이커를 이용하여 시험할 PS 수용액을 일정량(약 20 mL)을 정량하여 넣고 시료튜브의 밑 부분을 용액에 접촉시킨 후 시간에 따른 무게 증가 변화로서 액의 흡수정도를 비교평가 하였다. 시료튜브가 액에 접촉하는 동안 용액에 따라 서로 다른 속도로 시료에 흡수되는 정도를 측정하였으며 이때 용액의 농도 및 온도는 1 wt% PS 농도 및 상온(25 °C) 조건을 유지하였다.

Washburn 식 (2)의 시멘트 입자와 n-Hexane 용액의 젖음성을 측정하여 PS 용액의 접촉각을 계산하였다.

$$M^2 = \frac{c\rho^2\gamma\cos\theta}{\eta}t \tag{2}$$

- M: 질량
- ρ : 밀도
- γ : 표면장력
- θ : 접촉각
- η : 점도
- c: 모세관 상수

식 (2)로부터 접촉각을 계산하기 위해서는 시간(t)에 따른 무게의 제곱(M²)을 그래프로 도식하여 기울기로부터 모세관 상수 c를 계산할 수 있다.

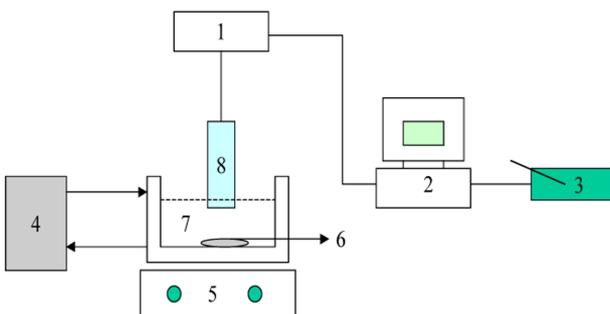


Fig. 3. Schematics of device for wettability test by Wesburn method.

n-hexane은 시멘트와 같은 무기 입자에 대하여 젖음성이 매우 우수하여 접촉각이 거의 0에 가까운 물질로 알려져 있다. 따라서 식 (2)에 대한 n-hexane의 실험으로 얻어진 값을 넣어 c값을 계산할 수 있다. n-hexane의 표면장력은 17.98 mN/m 밀도는 0.66 g/ml이고 점도는 0.32 mNs⁻¹이다. 본 실험에 사용된 시멘트에 대한 c값은 1.29079×10⁻⁴이었다. 이 c값을 식 (3)에 대입하고 완성된 식을 이용하여 각 PS에 대한 시멘트의 접촉각을 측정 계산하였다.

초기 시간의 흡착량(M²) 변화를 도식하여 그 기울기(slope)를 계산하여 다음 식 (3)에 대입하여 접촉각을 계산하였다.

$$\text{Slope} = \frac{c\rho^2\gamma\cos\theta}{\eta} \tag{3}$$

2-3-4. PS의 시멘트 입자에 대한 흡착량 측정

합성된 PS의 시멘트 흡착 특성은 다음과 같이 행하였다. 1 L의 초순수에 비이커에 1 g의 포클랜드 시멘트를 0.1 mg의 PS를 혼합한 즉시 교반기에서 30여 분간 격렬히 혼합하여 가며 1 mL 시료를 매분 간격으로 채취한 후 용액에 남아있는 PS의 량을 측정하여 흡착량을 계산하였다. 용액에 남아있는 PS의 양의 측정은 UV 흡광도를 비교함으로써 가능하였다(Shimatzu model-3100). 즉, 소량의 용액을 채취한 후 맵브레인 여과 후에 1 cc cuvette에 시료를 채우고 UV 최대 흡수량(420 nm 기준)을 상대적으로 비교한 후 PS 검량선 대비 흡착량을 계산할 수가 있었다. 대부분의 시료에서 흡착속도는 매우 빨랐으며 최대 30분 이내에서 흡착이 종결되었다.

2-3-5. 시멘트 모르타르 유동성 시험(Mini Slump Test)

Mini slump test는 본 연구에서 제조된 PS를 시멘트 몰타르에 배합했을 경우 유동화 능력을 시험하기 위한 방법으로 시멘트와 일정한 양의 물과 혼합한 paste상을 원뿔대(circular truncated cone) 모양의 시험 기구로 시멘트 페이스트의 퍼짐 정도를 상대 비교하였다. 이러한 Mini Slump Test는 현장 시험 전에 실험실적으로 상대적 유동화력을 비교하기 위한 것으로 KS 규격의 기구를 1/10로 축소한 모형을 자체 제작하여 활용하였다(Fig. 4). 유동화 정도는 깔데기를 뎀 후 페이스트가 유리판에서 퍼지는 길이를 시간별로 측정하였다. PS가 유동화력이 좋은 경우에는 모르타르 내의 시멘트의 분산력이 유지되어서 물과의 분리도 없는 산 상태이므로 본 실험을 통하여 PS의 시멘트 몰타르 유동성을 측정할 수 있었다. 본 연구에서 사용된 시멘트 몰타르의 배합비율은 Table 2와 같았다.

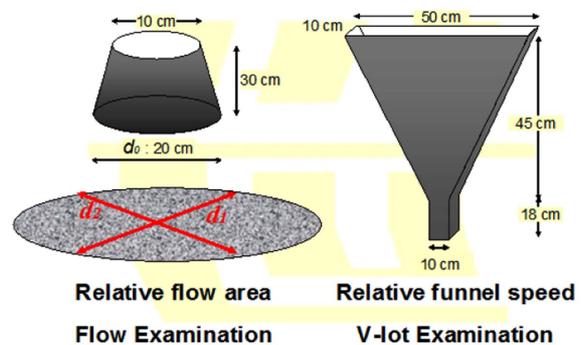


Fig. 4. Experiment apparatus for mortar fluidity measurements.

Table 2. Mixture for Mini-Slump Test

Material	Cement	Water	PS[g]; C×1.25 wt%
weight(g)	200	70	2.5

3. 결과 및 고찰

Fig. 5는 PS 황산화 반응에 있어서 반응온도에 따른 PS의 황산화율을 보이고 있다. 반응은 대략 1시간 이내로 황산화율이 평형을 이루었으며 40~50%정도에서 거의 포화상태에 이르는 것으로 나타났다.

Fig. 5에서 볼 수 있듯이 동일조건하에 황산화율은 80~100 °C로 온도를 유지한 경우가 가장 낮은 수율을 보이고 있다. 또한 보다 고온인 160~180 °C에서는 황산화율이 크게 상승하지는 않으며 적절한 온도는 120~140 °C 정도로 보인다.

Fig. 6은 황산화 온도 120~140 °C에서 반응 시간에 따른 황산화율을 측정한 것이다. 반응시간에 따라 황산화율이 증가하다가 80분 이후에 급격하게 저하됨을 확인할 수 있는데 이는 과잉 반응 시 반응물의 점도가 급격히 증가하여 PFO와 황의 가교 결합 시 적정 분자량 이상 결합되는 것으로 사료된다[8]. 본 연구 결과로 보아 본 연구 조건에서는 적정 PS의 황산화 조건은 온도 140 °C를 넘지 않는 조건(약 120~140 °C 범위)에서 약 80여분 정도의 반응시간이 적절한 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서 반응 온도 120~140 °C 범위에서 반응 시간을 조절하여 황산화율을 조절하였으며 황산화율에 따른 물성을 연구하였다.

Fig. 7에 황산화율에 따른 PS 1.0 wt% 수용액에 대한 표면장력 값을

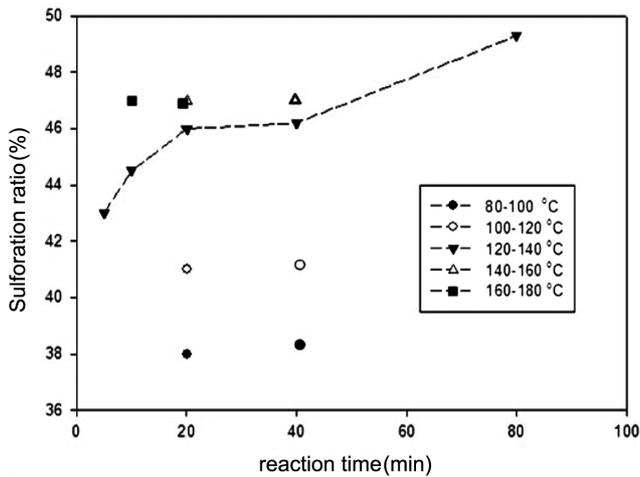


Fig. 5. Sulfonation ratio as a function of reaction time.

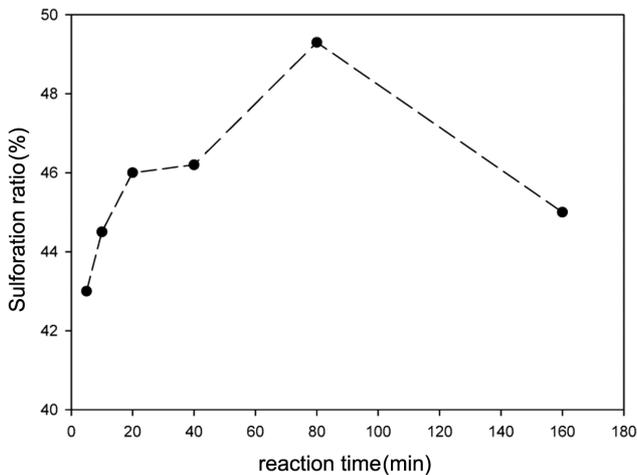


Fig. 6. Sulfonation ratio as a function of reaction time at 120-140 °C.

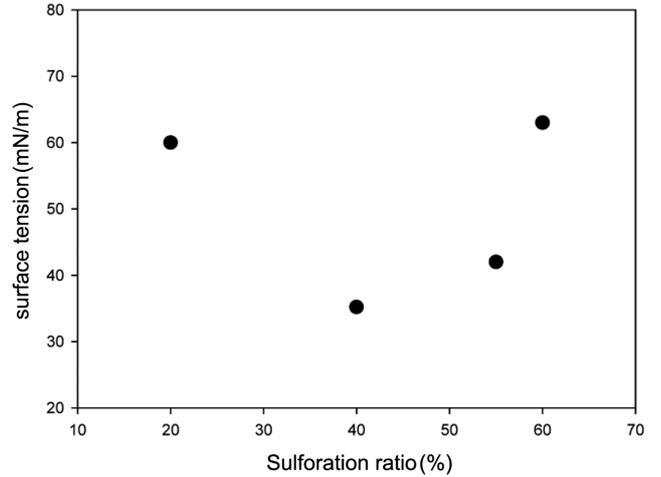


Fig. 7. Surface tension variation as a function of sulfonation ratio(%).

나타내었다. Fig. 7에 보인 바와 같이 황산화율에 따라서 표면장력 값이 차이가 있다. 황산화율이 10% 미만인 경우에는 수용액에 대한 용해성이 거의 없어서 본 실험에서는 20% 이상인 경우에만 표면장력을 측정하였다. 황산화율 높아질수록 표면장력 값이 점차 증가하다가 약 40% 이상부터 오히려 낮아짐을 알 수 있다. 이는 황산화율에 따라서 PS의 친수화도가 변함을 의미하며 아주 높은 황산화율이 너무 높은 경우에는 친수성이 너무 높아서 표면 흡착이 잘 이루어지지 않아 표면장력이 오히려 높아지는 것으로 사료된다. Fig. 7의 결과로 보아 본 연구에서 합성한 PS는 PFO에 친수성인 황산 관능기(SO₃ 및 OSO₃)가 결합된 형태의 계면활성 물질임을 간접적으로 확인할 수가 있다.

Fig. 8에 대표적인 황산화율에 따른 최종 PS 제품에 대한 최종 흡착량(30분 후)을 비교 도식하였다. Fig. 8의 결과와 같이 시멘트에 대한 흡착량은 황산화율이 40% 정도에서 최대인 것으로 보인다. 이는 PS의 친유-친수성 비의 차이에 따라서 흡착량이 차이가 있는 것으로 보이며 이러한 흡착량은 시멘트 입자의 분산성에도 큰 영향을 미칠 것으로 보인다. 친유성이 매우 큰 범위(황산화율 20% 이하)에서는 수용액에 대한 용해성이 너무 낮아서 자체 결합이 커 시멘트에 흡착

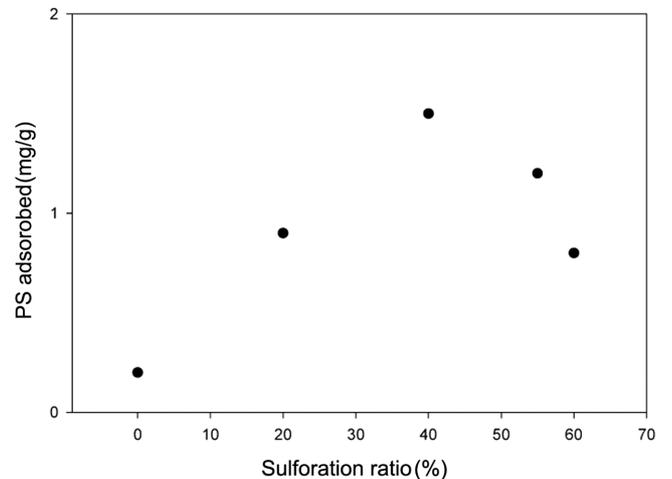


Fig. 8. Adsorption amount of PS on the cement particles as a function of sulfonation ratio.

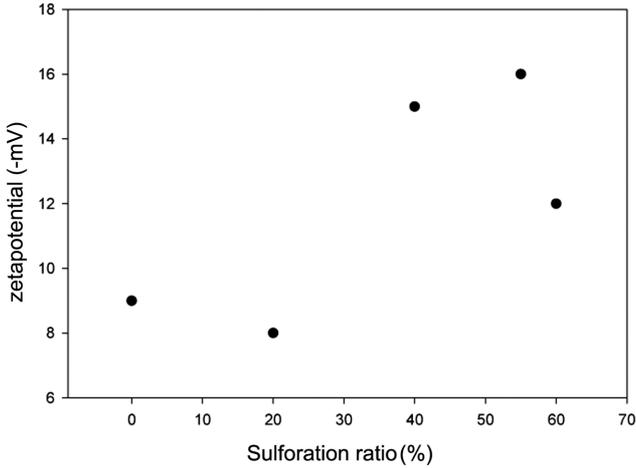


Fig. 9. Zeta-potential as a function of sulfonation ratio(%).

이 잘 이루어지지 않다가 약 40% 근처에서 흡착량이 최대가 되는 것으로 보인다. 그러나 친수성이 너무 큰 경우(80%)에서는 수용성이 너무 커서 흡착량이 오히려 떨어지는 것으로 보인다.

PS는 음이온성 계면활성제이므로 이가 시멘트 입자 표면에 흡착 시 음전위 정전기력을 향상시킬 것으로 판단되었다. 이의 효과를 고찰하기 위하여 PS를 첨가한 후 시멘트 입자의 제타전위를 측정하였다.

Fig. 9의 결과와 같이 제타전위는 황산화 반응 정도에 따라서 변화하였다. 특히 황산화 반응 중 황산화 치환율이 40% 부근에서 가장 높게 나타났으며 이는 이 조건에서 Fig. 8에 보인 바대로 PS의 흡착량이 극대화하기 때문으로 보인다. 그러나 최대 제타전위는 -20 mV를 넘지 못하는 것으로 보아서 분사이론 상 제타전위가 시멘트 입자 분산에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 보인다[10].

PS의 흡착이 시멘트의 제타전위 값에 크게 영향을 미치지 못하는 이유로는 시멘트와 물간의 수화반응 이후 해리되는 Ca^{++} 이온과의 결합으로 PS가 상당 음이온기가 전기력을 상쇄하고 흡착을 이루므로 음이온성은 비교적 크지는 않을 것으로 보이며 분산원리(Fig. 9) 중 마지막 단계인 표면 수화나 혹은 PS의 친수성의 표면 젖음 현상 등 여러 기능이 복합적으로 작용되는 것으로 판단된다.

Fig. 10에 황산화율에 따른 시멘트 PS 수용액간의 접촉각 결과를

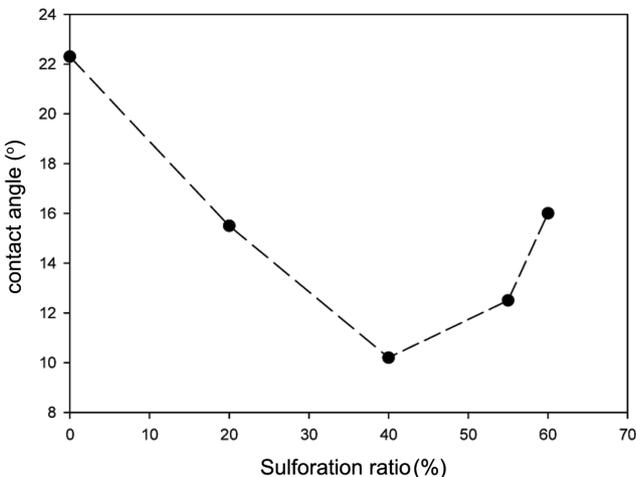


Fig. 10. Contact angle of parkland cement at various sulfonation ratio (by Wesburn method).

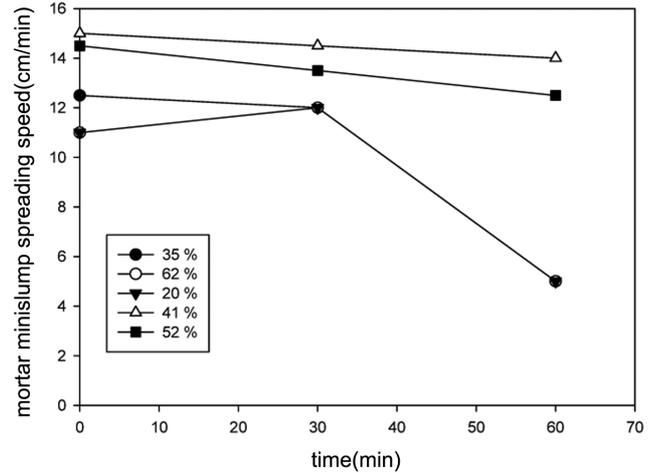


Fig. 11. Fluidity behavior of the cement mortar as a function of time at various sulfonation ratios.

나타내었다. 황산화율에 따라서 접촉각에 차이를 보였으며 황산화율이 40~50%의 경우가 접촉각이 가장 낮은 것으로 나타났다. 여기서 낮은 접촉각은 시멘트 입자가 PS 수용액에 잘 젖음을 의미하여 이 경우 시멘트 입자의 분산성이 우수할 것으로 사료된다[11]. 즉 황산화율이 약 40% 경우 PS의 흡착이 잘 이루어지며 PS 구조상 친유기는 시멘트에 흡착하고 찬수기(-SO₃ 관능기)가 외피를 둘러싸 친수성을 향상시켜 접촉각을 낮아지게 하는 것으로 보이며 최종적으로 시멘트 분산성 및 몰타르 유동성을 향상시킬 것으로 보인다. 최종적으로 황산화율에 따른 수용액에 대한 접촉각은 Fig. 10과 같았다.

Fig. 11은 황산화율에 따른 시멘트 몰타르의 유동성시험 결과를 보이고 있다. 황산화율의 변화에 따라서 유동성에 큰 차이가 있다. 초기에는 유동성에 큰 차가 없으나 유동성의 지속성에 있어서 황산화율이 40 및 50%의 경우가 유지력이 있으며 황산화율이 20%이하로 너무 낮거나 60% 이상으로 너무 높은 경우는 유동성 지속성이 급격히 저하되는 것으로 나타났다. 이는 앞에서 설명한대로 PS 분자의 친수성-친유성의 크기와 관계가 있는 것으로 보이며 이로인한 흡착량의 변화와 밀접한 관계가 있는 것으로 보인다. 즉, 친수성이 너무 큰 경우(60% 이상)에는 흡착량이 적은 경우에는 시멘트의 분산력이 작아서 시간이 경과함에 따라서 자체 응집으로 인하여 유동성이 급격히 저하되는 것으로 사료된다[12-14]. 황산화율이 너무 작은 경우(20%)에도 같은 현상으로 볼 수가 있다. 본 결과에서 PS의 흡착이 유동성에 큰 영향을 주며 이는 곧 시멘트 입자에 흡착하여 기하학적 반발력을 일으켜 입자의 분산성을 향상시키는 것으로 사료된다[12-14].

4. 결 론

본 연구에서는 PFO를 황산화하여 PS를 합성하고 이의 계면 물성을 검토하였다. 황산화율은 온도 및 시간에 따라 속도에 큰 차이는 없었으나 약 40~50% 정도에서 황산화율이 거의 포화에 이르렀다.

합성된 PS는 계면활성 물성을 나타내었으며 황산화율에 따라서 친수성 정도가 변하여 계면물성에 차이를 나타내었다. 황산화율이 증가함에 따라서 친수성이 증가하여 용액의 표면장력이 낮아졌으나 과도한 황산화율에서는 친수성비가 너무 커서 표면장력 값이 오히려 증가하였다. 이의 결과는 시멘트에 표면에서 흡착량과도 밀접한 관

계를 보였으며 최종적으로 시멘트 몰타르의 유동성에 영향을 미침을 확립하였다. 즉, 황산화물 정도에 따라서 시멘트 표면에 대한 흡착량에 차이를 보였으며 흡착량이 많을수록 시멘트 입자의 제타전위 증가와 함께 시멘트에 표면에 대한 젖음성이 증가하여 시멘트 몰타르에 대한 높은 유동성을 보였다.

참고문헌

- Hong, Z., Xuehai, Y. and Wei, Z., "Study of Light Oil, Water, and Coal Triplex Synfuel Using Petroleum Sulfonate as a Dispersing Agent," *J. China Univ. Mining. Technology*, **33**(4), 392-395(2004).
- Xuehai, Y. and Wei, Z., "Fine Chemicals, Application of Petroleum Sulfonate Surfactant in Preparation of Coal Water Slurry," **21**(1), 19-22(2004).
- Sheel, S. V. and Prasad, P. B., "Adsorption of Petroleum Sulfonate TRS 10-80 on a Mineral Sand," *J. Chem. Tech. Biotech.*, **37**(1), 45-58(1987).
- Shiyun, Z. and Peiming, W., "Study of Morphology of Polymer-modified Mortar and Concrete," *J. Building Materials*, **7**(2), 168-173(2004).
- Yuewen, H. and Weiqu, L., "High Performance Polymer Surfactants in Cement and Concrete," *Guangzhou Chemistry*, **30**(1), 39-45(2005).
- Zhang, S., Qiao, W. and Wang, S., "Interfacial Tension Behavior Characteristics of Modified Lignosulfonate-petroleum Sulfonate Mixtures," *J. Dalian Univ. Tech.*, **40**(3), 297-300(2000).
- Wang, H. Y., Li, M. Y., Wu, Z. L. and Lin, M. Q., "Effect of Petroleum Sulfonate on Interfacial Property and Stability of Crude Oil Emulsions," *Chin. J. Chem. Eng.*, **13**, 691-695(2005).
- Choi, S. W., Kim, E. Y., Chang, W. S., Kim, V. and Moon, J. S., "The Preparation and Properties of Petroleum Sulfonate Dispersant," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **18**(5), 490-494(2007).
- Ross, S., *Colloidal Systems and Interfaces*, John & Wiley, NY (1988).
- Fernandez, N. A. and de las Nieves, F. J., "The Role of Potential in the Colloidal Stability of Different TiO₂/Electrolyte Solution Interfaces," *Colloids and Surfaces. A, Physicochemical and Engineering Aspects*, **148**(3), 231-243(1999).
- Tung, W. S. and Dounal, W. A., "Effect of Wettability and Silicone Surface Modification on the Self-Cleaning Functionalization of Wool," *J. Applied Polym. Sci.*, **112**(1), 235-243(2009).
- Said, A., Mavon, A. and Makki, S., "Wettability of Psoralen Powders: Influence of Bile Salts on Their Contact Angles and Surface Free Energy Components," *Colloids and surfaces, B. Biointerfaces*, **8**, 227-237(1997).
- Amaral, M., Lopes, M. A. and Santos, J. D., "Wettability and Surface Charge of Si₃N₄-Bioglass Composites in Contact with Simulated Physiological Liquids," *Biomaterials*, **23**(20), 4123-4129 (2002).
- Montes, H., Gauthier, A. and Blanc, C., "Surface Wettability Studied by Surface Analysis," *Ann. Proceed. - Reliability Physics (Symposium)*, **2**, 475-478(1980).