

## 항유화제 및 전기장을 이용한 물/비투멘 에멀전의 분리특성

김상겸, 윤성민<sup>†</sup>, 이상헌<sup>†</sup>, 배위섭<sup>‡</sup>, 이영우\*

충남대학교 녹색에너지기술전문대학원  
305-764 대전광역시 유성구 대학로 99  
<sup>†</sup>충남대학교 화학공학과  
305-764 대전광역시 유성구 대학로 99  
<sup>‡</sup>세종대학교 에너지자원공학과  
143-747 서울특별시 광진구 능동로 209

(2013년 1월 11일 접수; 2013년 2월 26일 수정본 접수; 2013년 3월 14일 채택)

## Bitumen Emulsion Separation by Chemical Demulsification and Electrical Treatment

Sang Kyum Kim, Sung Min Yoon<sup>†</sup>, Sang Hun Lee<sup>†</sup>, Wisup Bae<sup>‡</sup>, and Young Woo Rhee\*

Graduate School of Green Energy Technology, Chungnam National University  
99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea  
<sup>†</sup>Department of Chemical Engineering, Chungnam National University  
99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea  
<sup>‡</sup>Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Sejong University  
209 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 143-747, Korea

(Received for review January 11, 2013; Revision received February 26, 2013; Accepted March 14, 2013)

### 요 약

본 연구에서는 항유화제와 전기장을 이용하여 물/비투멘 에멀전에서의 효과적인 물 분리 방법에 대한 실험을 진행하였다. 물/비투멘 에멀전의 물 분리 효율을 측정하기 위한 기초실험을 진행하였으며, 기초실험에서는 비투멘의 모사를 위해 모터 오일(GS Caltex, Deluxe Gold V 7.5 W/30, Hyundai gear oil 85 W/140)을 사용하였다. 기초실험을 통해 높은 물 분리 효율을 갖는 항유화제를 선택하였으며, 선택된 항유화제를 사용해 아스팔트 및 비투멘 에멀전에서의 분리실험을 진행하였다. 지용성 항유화제 중에서는 말레산무수물(maleic anhydride)과 e-카프로락탐(e-caprolactam)이 높은 분리 효율을 보였으며, 수용성 항유화제는 2-에틸헥실 아크릴레이트(2-ethylhexyl acrylate)와 아크릴산(acrylic acid)이 높은 분리 효율을 보여주었다. 앞선 기초실험을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 지용성 항유화제 2종, 수용성 항유화제 2종을 선택하여 아스팔트 에멀전에서의 분리실험을 진행하였다. 또한, 실험실규모의 전기장을 이용하여 오일처리기(oiltreater)를 설계, 제작하였으며 제작된 장치와 항유화제를 연계하여 에멀전의 분리효율을 실험하였다.

**주제어** : 항유화제, 전기장, 오일샌드, 물 분리

**Abstract** : In this study, chemical demulsification and electrical treatment methods were investigated for improving the efficiency of water separation from a water/bitumen emulsion. Two types of motor oils (GS Caltex, Deluxe Gold V 7.5 W/30 and, Hyundai gear oil 85 W/140) were used as model oils in basic experiments to investigate the effects of a demulsifier on water/oil emulsion separation. Chemical demulsifiers showing good water separation performance were then used in asphalt emulsion and bitumen emulsion separation trials. Maleic anhydride and e-caprolactam were shown to be good oil soluble demulsifiers and 2-ethylhexyl acrylate and acrylic acid were effective as water soluble demulsifiers. Based on the results obtained in basic experiments, these four demulsifiers were used in further asphalt emulsion experiments. The oil soluble demulsifiers showed higher water separation efficiencies than the water soluble demulsifiers. To investigate the water separation efficiency using a combined chemical and electrical treatment method, the water/bitumen emulsion was separated with the electrical oil treatment apparatus after a chemical demulsifier had been added to it.

**Keywords** : Chemical demulsification, Electric treatment, Oil sands, Water separation

\* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: ywrhee@cnu.ac.kr

doi:10.7464/ksct.2013.19.2.140

### 1. 서 론

현재 전세계적으로 석유고갈에 대한 우려의 목소리가 높은

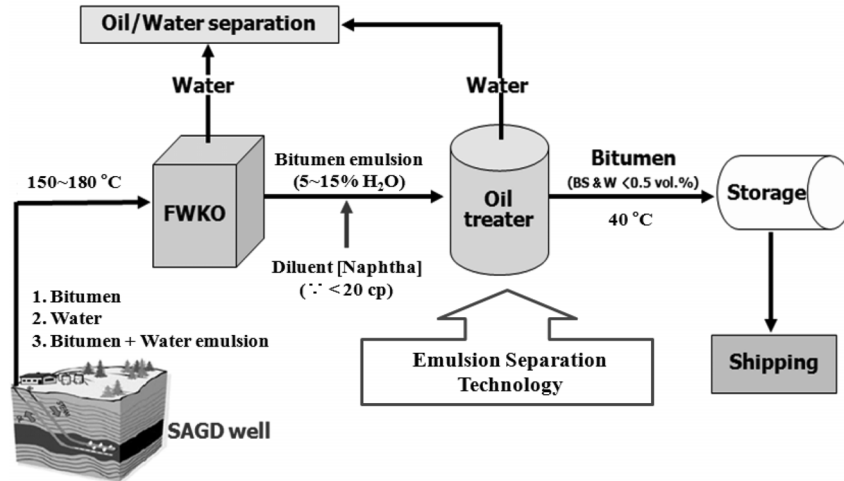


Figure 1. Schematic diagram of bitumen/water separation process.

실정이다. 혹자는 개발 가능한 세계 석유 매장량이 30년 분밖에 남지 않았음을 경고하고 있으며, 어떤 이는 석유 생산이 이미 정점을 지났으며, 2010년 이후 석유고갈의 현실적 도래가 닥칠 것이라 경고하고 있다. 이로 인해 세계 각국은 대체에너지와 비재래 석유에 대한 개발에 심혈을 기울이고 있다. 대체에너지는 석유의 대체물로서의 연료로 앞으로 석유자원의 고갈에 대비하여 대체연료 개발에 힘쓰고 있으며, 대체에너지에는 태양에너지, 바이오매스, 풍력, 소수력, 연료전지, 석탄의 액화, 가스화, 해양에너지, 폐기물에너지 등이 있다. 비재래 석유는 기존의 석유와 유사한 탄화수소의 형태를 하고 있는 에너지원으로 오일샌드(oil sands), 오일셰일(oil shale), 바이오 연료 등이 있다[1].

그 중에서도 고유가 시대 기대주인 오일샌드가 각광받고 있다. 오일샌드란 모래와 석유가 뒤범벅되어 있는 토질이다. 지각 변동으로 석유가 생성된 층이 지표면 가까이 올라오면서 형성된 것으로 추정된다. 휘발성이 높고 작은 탄화수소 분자들이 대부분 날아갔기 때문에 유정에서 뽑아내는 원유보다 점도가 높은 기름인 비튜멘(bitumen)이 얻어진다. 오일샌드는 캐나다와 베네수엘라에 대량으로 묻혀있으며 미국, 마다가스카르에도 상당량 존재한다. 오일샌드는 지역에 따라 1~18% 정도 비튜멘을 함유하고 있는데, 12%가 넘으면 경제성이 있다고 판단한다. 캐나다의 경우 평균 15% 비튜멘을 함유하고 있어 1,750억 배럴 규모의 석유를 생산할 수 있는 오일샌드를 갖고 있다[2].

오일샌드는 비튜멘, 모래, 물, 점토의 혼합물이다. 오일샌드가 석유로서의 의미를 갖는 것은 비튜멘을 함유하고 있기 때문인데, 비튜멘은 검은색의 무겁고 끈적끈적한 형태의 점성질 원유로 초중질원유로 생각할 수 있다. 비튜멘은 물과 비슷한 비중을 가진다. 이러한 비튜멘은 자연 상태에서는 시추공이나 송유관 내에서 흐르지 않기 때문에 열을 가하거나 희석제와 혼합해 비중과 점성도를 낮춘 후 송유관으로 수송해야 한다[3-5].

오일샌드의 생산 방법은 노천채굴법과 지하회수법으로 나눌 수 있다. 노천채굴법은 석탄을 캐듯이 노천에서 오일샌드를 채굴하는 방법이고, 지하회수법은 생산정에 뜨거운 스팀을 주

입하여 석유성분을 녹인 뒤 뽑아내는 방법이다. 보다 깊은 곳의 오일샌드를 회수할 수 있기 때문에 널리 이용되고 있다. 지하회수법은 SAGD (steam assisted gravity drainage)법, CSS (cyclic steam stimulation)법, THAI (toe to heel air injection)법, VAPEX (vapor recovery extraction)법 등이 있으며, 이 중에서 가장 널리 사용되는 방법은 Figure 1에 나타낸 SAGD법이다. SAGD법을 사용하면 뜨거운 스팀 때문에 물, 비튜멘, 물/비튜멘 에멀전의 형태로 생산되기 때문에 효과적인 분리가 필요하다[6,7].

에멀전을 분리하는 방법으로는 화학약품 첨가에 의한 화학적 분리방법, 정전기적 성질을 이용한 분리방법, 멤브레인을 이용한 분리방법, 마이크로파에 의한 분리방법 등이 있다[8]. 그중에서 가장 많이 사용되고 있는 방법은 화학약품을 이용한 분리방법으로 에멀전의 분리효율이 가장 좋은 것으로 보고되고 있다[9,10].

본 연구에서는 화학적 분리방법인 항유화제 첨가법을 사용하여 비튜멘 에멀전을 효율적으로 분리할 수 있는 방안에 대해서 연구하였다. 이를 위하여 모터오일과 아스팔트를 사용하여 비튜멘 에멀전을 모사하였고, 분리효율이 높은 항유화제를 선택하였다. 또한, 실제 오일샌드로부터 비튜멘을 추출하고 에멀전을 제조하여 항유화제의 종류와 농도에 따른 분리효율을 조사하였으며, 실험실규모의 전기장을 이용한 오일처리기(oil treater)를 설계, 제작하여 제작된 장치와 항유화제를 연계시킨 복합오일처리기를 통해 에멀전의 분리효율을 조사하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 재료

본 연구에서는 비튜멘의 모사물질로 사용한 모터오일은 각각의 점도가 다른 GS칼텍스 오일(GS Caltex, Deluxe Gold V 7.5 W/30)과 현대기어 오일(Hyundai gear oil 85 W/140)이고 물은 1차 증류수를 사용하였다. 모터오일의 점도는 회전형점도계(Brookfield, LVT)를 사용하여 측정하였다. 또한, 사용된 항유

**Table 1.** Types of chemical demulsifier and properties

	Name	Molecular formula	Molecular weight (g/mol)	Specific gravity
Oil soluble	ε-caprolactam	C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> NO	113.16	1.020
	Hexylamine	C <sub>6</sub> H <sub>15</sub> N	101.19	0.766
	N,N-dimethyl acetamide	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> NO	87.12	0.940
	Maleic anhydride	C <sub>4</sub> H <sub>2</sub> NO	98.06	1.48
Water soluble	Acrylic acid	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	72.06	1.050
	Butyl acrylate	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	128.17	0.890
	2-ethyl hexyl acrylate	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	184.28	0.887
	Methyl methacrylate	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	100.12	0.944

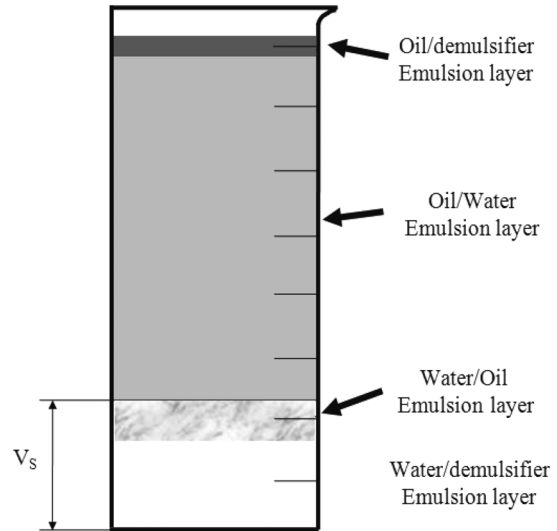
화제는 문헌조사를 통해 성능이 높은 것으로 알려진 총 8가지의 향유화제를 사용하였으며 사용된 향유화제는 다시 지용성(oil soluble) 향유화제인 카프로락탐(caprolactam), 헥실아민(hexylamine), 디메틸아세트아마이드(N,N-dimethylacetamide), 말레산무수물(maleic anhydride)과 수용성(water soluble) 향유화제인 아크릴산(acrylic acid), 부틸 아크릴레이트(butyl acrylate), 에틸헥실아크릴레이트(2-ethylhexylacrylate), 메타크릴산 메틸(methyl methacrylate)로 Table 1과 같이 분류하여 실험을 진행하였다.

앞의 기초실험을 통해 효율이 가장 높은 향유화제를 선택하여 도로포장용 아스팔트(AP-5, KS M 2201, (주)동남유화)에 적용하여 분리효율을 알아보았다. 실험에서 사용되는 아스팔트(150 g)는 상온(25 °C)에서 고체형체로 나타나기 때문에 온도를 80 °C로 높여서 물(27 mL)과 혼합하여 에멀전을 만든 후, 톨루엔을 넣어주어 점도를 10 cP 이하로 낮춘 후 온도는 40 °C로 유지시키면서 기초실험을 통해 성능이 좋은 향유화제를 선택하여 모터오일과 같은 조건으로 분리효율을 측정하였다.

본 연구에서 사용된 비튜멘은 캐나다 알버타주에서 노천채굴에 의해 생산된 오일샌드(Athabasca oilsand, Syncrude Canada Ltd., Suncor Energy Inc.)를 사용하였다. 이 오일샌드에는 비튜멘이 10~15% 함유되어 있어 두 가지 방법을 이용하여 추출하였다. 먼저 THF (tetrahydrofuran)로 오일샌드를 녹인 다음 여과지를 이용하여 THF에 녹은 용액만 걸러낸 후 회전진공농축기(N-N series, EYELA)를 사용하여 80 °C에서 THF를 제거하여 순수한 비튜멘만 얻었다.

**2.2. 향유화제를 이용한 에멀전의 분리**

본 연구에서는 초음파기(Myung Sung Ultrasonic Co., MUS-2080M)를 사용하여 모터오일과 물의 에멀전을 만들었다. 만들어진 에멀전은 85%의 모터오일(300 mL)과 15%의 물(53 mL)을 30분 동안 27,000~28,000 Hz의 주파수로 균일하게 섞은 다음 수조에서 온도를 유지시켜준다. 그 다음 향유화제를 에멀전에 넣고 에멀전이 완전히 분리될 때까지 매 시간마다 분



**Figure 2.** Definition of various emulsion layer.

리효율을 측정하였다. 향유화제 각각의 종류에 따라 농도(0.01~0.4 mol/L)를 변화시켜 분리효율을 측정하였으며, 향유화제를 넣지 않았을 때의 에멀전의 분리 상태를 측정하여 비교실험하였다.

에멀전의 분리효율 측정방법은 Figure 2에 나타내었다. 에멀전이 향유화제에 의해 분리가 될 때 Figure 2와 같이 4개의 층으로 분리된다고 정의하여 분리효율을 측정하였다. 가장 위층에는 오일과 향유화제가 혼합된 부분이 나타나고 그 밑에 오일/물 에멀전 층, 물/오일 에멀전 층, 물과 향유화제가 혼합된 부분이 나타난다. 따라서 물이 분리된 부분은 물/오일 에멀전, 물과 향유화제가 혼합된 층이고 분리효율은 다음과 같은 식 (1)로 정의하였다[11,12].

$$Separation\ efficiency(\%) = \frac{V_s}{V_w + V_D} \times 100 \quad (1)$$

V<sub>w</sub> : Original water volume

V<sub>D</sub> : Demulsifier volume

V<sub>s</sub> : Separated volume (water/demulsifier emulsion layer volume + oil/water emulsion layer volume)

**2.3. 향유화제 및 전기장을 이용한 에멀전의 분리**

전기장을 이용하여 비튜멘 에멀전을 효과적으로 분리하기 위하여 Figure 3과 같이 실험실규모의 오일처리기를 제작하여 실험을 실시하였다. 탱크의 물/오일 에멀전이 펌프에 의해 오일 처리기에 원심력에 의해 돌면서 주입된다. 이때 에멀전의 방울은 전압이 걸려있는 동판원기둥(brass strip)과 동판원뿔(brass cone) 사이를 통과하면서 1차로 전기장에 의해 유착이 일어난다. 또한, 오일처리기의 아랫부분에서 비중의 차이에 의해 물은 아래로 가라앉고 오일은 위로 올라가서 동판원뿔(brass cone)과 동기둥(brass shaft) 사이에서 2차로 전기장에 의해 유착이

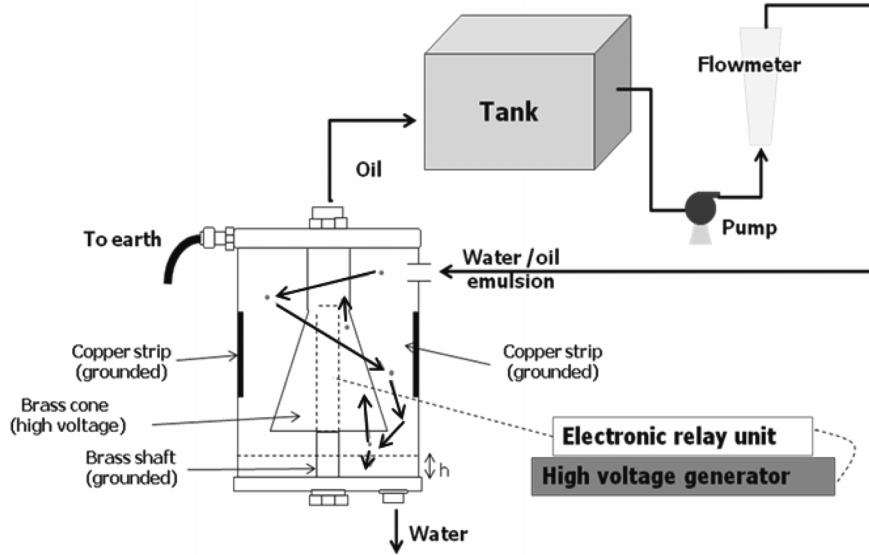


Figure 3. Experimental set-up for water/oil separation.

Table 2. Experimental conditions in electric treatment method

Variable	Conditions
Temperature (T)	60 °C
Residence time (τ)	3.2 sec
Voltage (V)	5 kV
Current intensity (I)	2.5 mA

일어난다. 이러한 과정을 거치면서 물은 아랫부분에 모이고 오일은 윗부분의 출구로 나가게 된다. 본 실험에서 비류멘의 모사물질로 현대기어오일 85 W/140을 사용하였고, 물은 1차 증류수를 사용하였다. 또한, 물의 높이(h)를 1 cm (용량 100 mL)로 고정하고 전압, 체류시간, 온도, 전류 등의 조건을 변화시켜가며 실험을 실시하여 에멀전의 효과적인 분리를 위한 조건을 알아보았다.

실험에 사용될 모터오일과 물의 에멀전(약 12 L)을 만들기 위해 초음파기(Myung Sung Ultrasonic Co., MUS-2080M)와 실험실용 교반기를 사용하였다. 85%의 모터오일과 15%의 물을 약 10시간 동안 27,000~28,000 Hz의 주파수와 1,000 rpm으로 균일하게 섞은 다음 장치의 탱크에 넣고 온도를 유지시켜주며 다양한 변수를 주어 효과적인 분리조건을 찾는 실험을 하였다. 실험에 사용된 실험조건은 Table 2에 나타내었다.

에멀전의 분리효율은 식 (2)에 기초하여 시간에 따라 물의 분리량을 측정하였다[13].

$$Separation\ efficiency\ (\%) = \frac{V_S}{V_W} \times 100 \quad (2)$$

$V_W$  : Original water volume

$V_S$  : Separated water volume

### 3. 결과 및 토론

#### 3.1. 항유화제를 사용한 에멀전 분리효율 측정

##### 3.1.1. 모터오일을 이용한 분리실험

Figure 4는 회전형 점도계(LVT, Brookfield)를 사용하여 측정된 모터오일 및 모터오일 에멀전의 점도를 측정하여 그래프로 나타낸 것이다. 온도가 증가함에 따라 모든 오일의 점도가 감소하는 경향을 나타냈고, GS칼텍스 오일 에멀전 및 현대기어오일 에멀전 모두 물을 섞지 않은 순수한 오일과 비교하여 점도가 증가하는 경향을 보였다. 실험을 실시한 온도인 40 °C에서 GS칼텍스 오일을 이용한 에멀전의 경우 73 cP였고, 현대기어오일을 이용한 에멀전의 경우 288 cP의 점도를 나타냈다.

아스팔트 에멀전과 비류멘 에멀전의 물 분리실험에 사용할 최적의 항유화제를 선택하기 위하여 GS칼텍스 오일을 사용하

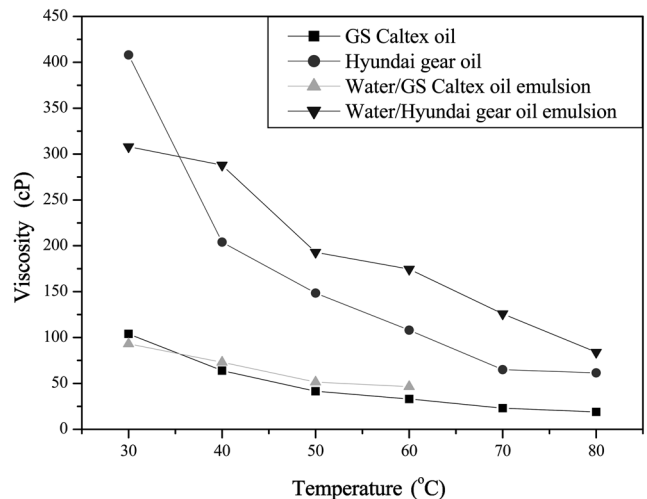


Figure 4. Effect of temperature on viscosity.

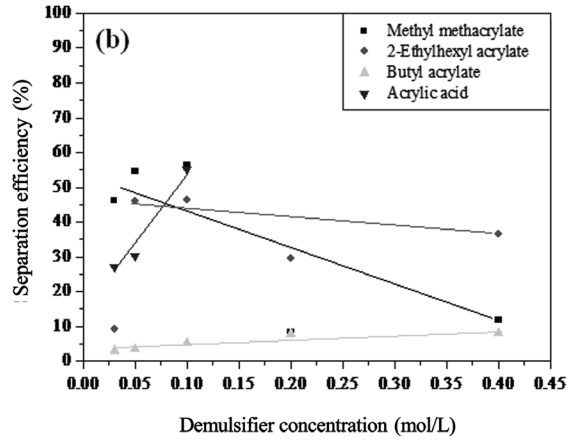
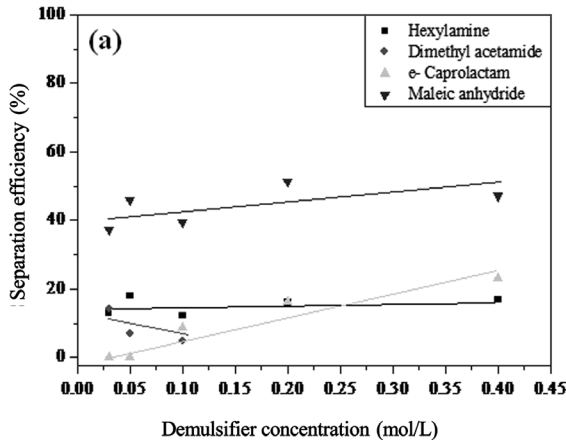


Figure 5. Effect of demulsifier concentration on separation efficiency of water-in-GS Caltex motor oil emulsion.

여 기초실험을 진행하였다. 실험온도는 40 °C였고, 각각의 향유화제는 0.03~0.40몰농도의 범위로 실험을 진행하였다. Figure 5(a)는 지용성 향유화제를 이용하여 향유화제의 농도별 성능을 나타낸 그래프이다.

헥실아민과 디메틸아세트아마이드의 경우 모든 몰농도에서 20% 이하의 낮은 물 분리효율을 보였고, 카프로락탐의 경우 낮은 농도의 향유화제를 사용하였을 때 낮은 물 분리효율을 보였지만, 향유화제의 농도가 증가할수록 비교적 높은 물 분리효율을 보였다. 그중 말레산무수물의 경우 0.2 mol/L일 때 52%의 가장 높은 물 분리효율을 보였다.

Figure 5(b)는 수용성 향유화제를 이용하여 향유화제의 농도별 성능을 나타낸 그래프이다. 부틸 아크릴레이트의 경우 모든 농도에서 10% 미만의 물 분리효율을 보여 물/오일 에멀전에서 거의 물이 분리가 되지 않았음을 알 수 있었다. 또한, 메타크릴산메틸과 에틸헥실아크릴레이트의 경우, 향유화제의 농도가 낮을 때 높은 물 분리효율을 보였지만, 향유화제의 농도가 증가할수록 분리효율이 감소하였다. 특히 메타크릴산메틸의 경우 0.1 mol/L 이하에서 가장 높은 분리효율인 20%를 달성하였지만 이 결과는 다른 향유화제를 사용했을 때 보다 낮은

물 분리효율을 보인다는 것을 확인할 수 있었다.

Figure 5에서 일반적으로 수용성 향유화제는 물이 연속상이고 오일이 분산상인 오일/물 에멀전의 분리에 효과적이고, 지용성 향유화제는 물이 분산상이고 오일이 연속상인 물/오일 에멀전의 분리에 효과적이라는 예상과 달리 향유화제의 성질에 상관없이 향유화제의 종류와 농도에 따라 물 분리효율에 차이를 확인하였다.

Figure 6은 현대기어오일을 오일성분으로 15%의 물이 포함된 에멀전을 제조하여 향유화제의 성능을 알아보았다. 실험온도인 40 °C에서 물/HD오일 에멀전의 점도는 288 cP였고, 각각의 향유화제의 농도는 0.03~0.4 몰농도로 실험을 진행하였다.

Figure 6(a)는 지용성 향유화제를 사용하여 농도별 물 분리 성능을 나타낸 그래프이다. 현대오일을 이용한 실험의 경우 앞의 GS오일을 이용한 실험과 비교하여 비교적 높은 물 분리효율을 볼 수 있었다. 특히, 헥실아민과 말레산무수물, 카프로락탐의 경우 GS오일의 경우와는 다르게 모든 몰농도에서 60% 이상의 물 분리효율을 보였고, 디메틸아세트아마이드의 경우만 30% 이하의 물 분리효율을 보였다 그 중, 카프로락탐의 경우 75%의 물 분리효율을 보여주어 높은 물 분리효율을 확인할

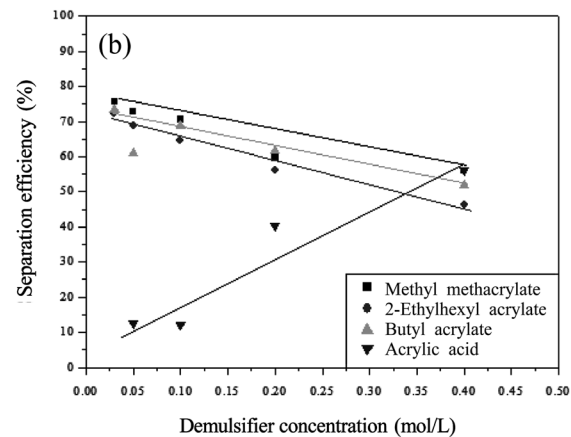
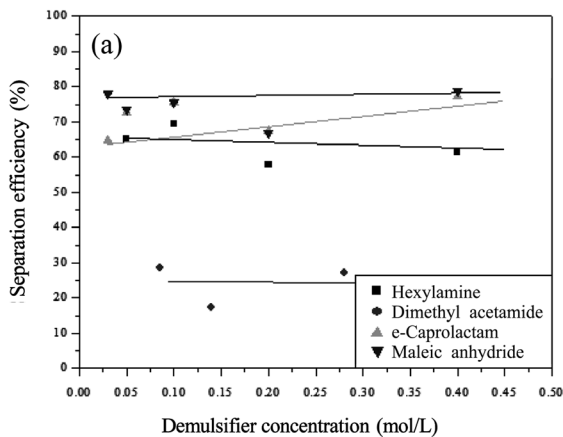


Figure 6. Effect of demulsifier concentration on separation efficiency of water-in-Hyundai motor oil emulsion.

수 있었다.

Figure 6(b)는 수용성 항유화제를 이용하여 물 분리성능을 나타낸 그래프이다. 부틸 아크릴레이트, 메타크릴산메틸, 에틸헥살아크릴레이트의 경우 0.1 mol/L 이하의 농도에서 높은 물 분리효율을 보였지만, 0.1 mol/L 이상의 농도에서는 물 분리효율이 감소하는 경향을 보였다. 반면, 아크릴산의 경우 0.1 mol/L 이하의 농도에서는 낮은 물 분리효율을 보였지만, 농도가 증가함에 따라 물 분리효율도 증가하였다. 현대기어오일을 이용한 경우 앞의 GS칼텍스 오일을 이용하였을 때와는 다르게 지용성 항유화제의 물 분리성능이 수용성 항유화제의 물 분리성능보다 더 높은 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 이전 연구를 통해 보고된 적이 있다[14,15]. 바로 용액에 미치는 pH가 용액에 영향을 끼쳐 OH<sup>-</sup>이온이 선택적 흡착이 아닌 비극성의 오일-물의 계면사이에서 음전하에 의해 영향을 미친다는 것이다.

GS칼텍스 오일과 현대기어 오일을 이용한 기초실험을 통하여 지용성 항유화제 중 말레산무수물과 카프로락탐, 수용성 항유화제 중 에틸헥살아크릴레이트, 아크릴산이 비교적 물 분리성능이 좋은 항유화제임을 확인할 수 있었다.

### 3.1.2. 아스팔트 이용한 분리실험

Figure 7은 모터오일에서 좋은 성능을 보였던 지용성 항유화제인 말레산무수물과 카프로락탐 및 수용성 항유화제인 에틸헥살아크릴레이트, 아크릴산을 항유화제로 사용하여 아스팔트 에멀전의 물 분리효율을 나타낸 그래프이다. 말레산무수물과 카프로락탐의 경우 0.03 mol/L일 때 각각 72.1%와 74.5%로 낮은 농도에서 높은 효율을 보였지만, 항유화제의 농도가 증가함에 따라 그 분리효율이 감소하는 경향을 보였다. 아크릴산의 경우 0.4 mol/L일 때 59.5%의 물 분리효율을 보였고, 에틸헥살아크릴레이트의 경우 0.2 mol/L일 때 47.6%의 물 분리효율을 보였지만, 전체적인 농도범위에서의 지용

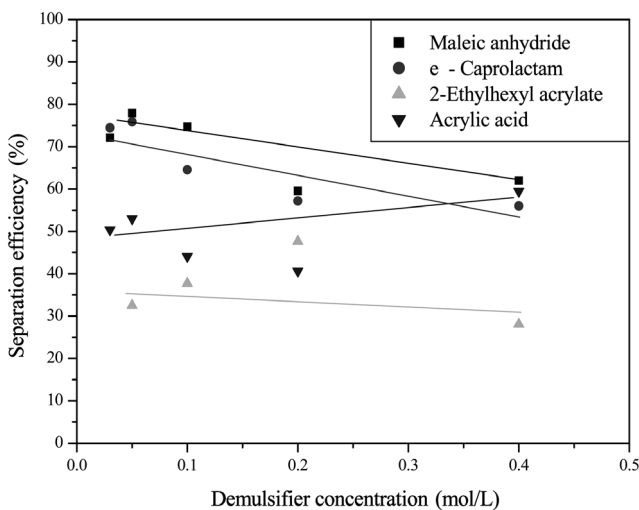


Figure 7. Effect of demulsifier concentration on separation efficiency of water-in-asphalt emulsion.

성 항유화제인 말레산무수물과 카프로락탐의 물 분리성능이 수용성 항유화제인 에틸헥살아크릴레이트와 아크릴산의 물 분리성능에 비교하여 높은 것을 알 수 있었다. 이는 오일이 많은 에멀전에서 지용성 항유화제가 수용성 항유화제보다 더 효과적으로 에멀전에 용해되어 작용하였기 때문이라고 판단된다.

### 3.1.3. 비튜멘을 이용한 분리실험

Figure 8은 앞선 모터오일 및 아스팔트 에멀전에서 좋은 성능을 보였던 지용성 항유화제인 말레산무수물과 카프로락탐 및 수용성 항유화제인 아크릴산을 항유화제로 사용하여 비튜멘 에멀전의 물 분리효율을 나타낸 결과이다. 수용성 항유화제인 아크릴산은 전반적인 농도범위에서 약 70%대의 물 분리효율을 유지하는 것을 보였다. 하지만, 지용성 항유화제인 말레산무수물의 경우에는 항유화제의 농도가 증가할수록 분리효율 또한 증가하는 모습을 보였다. 특히, 0.4 mol/L일 때 약 85%의 높은 물 분리효율을 보였다. 카프로락탐의 경우 0.1 mol/L의 항유화제 농도에서 94%의 매우 높은 물 분리효율을 보이는 등 낮은 농도에서 높은 물 분리 효율을 보였지만, 항유화제의 농도가 증가할수록 물 분리효율 감소하는 것을 확인하였다.

아스팔트 에멀전에서의 물 분리효율과 비교하여 카프로락탐과 아크릴산의 경우 각각 항유화제의 농도가 증가할수록 물 분리효율이 감소하는 것과 유지하는 것이 비슷한 경향을 보였다. 하지만, 말레산무수물의 경우 아스팔트 에멀전에서는 항유화제의 농도가 증가할수록 물 분리효율이 감소하는 경향을 보였지만, 비튜멘 에멀전에서는 물 분리 효율이 증가하는 경향을 보였다. 이 결과는 각각의 항유화제의 화학 및 물리적 특성이 중요하게 작용한다는 것을 알 수 있으며, 항유화제의 화학적 특성은 각각의 오일성분에 따라 항유화제의 농도가 분리효율에 많은 영향을 준다는 것을 확인하였다.

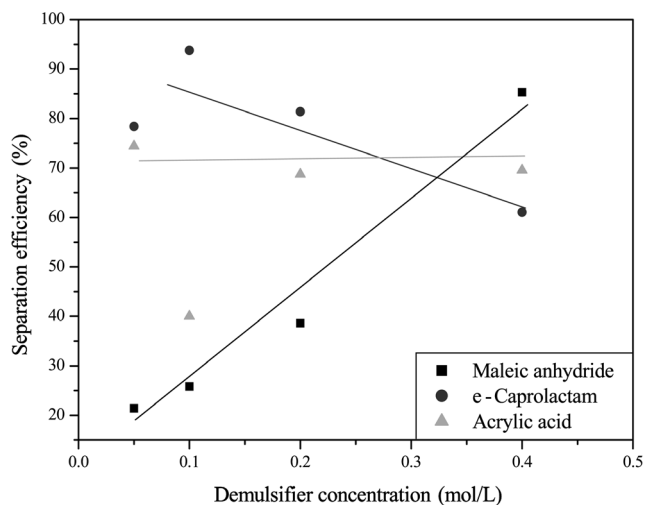


Figure 8. Effect of demulsifier concentration on separation efficiency of water-in-bitumen emulsion.

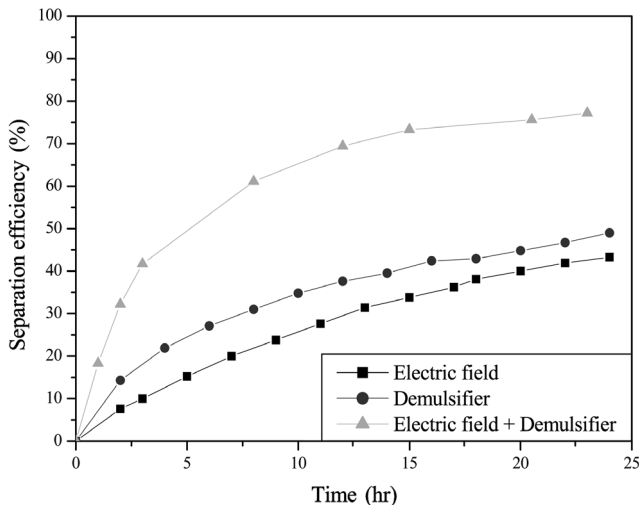


Figure 9. Effect of demulsifier, electrostatic field and combined method on separation efficiency of water/bitumen emulsion.

### 3.2. 전기장의 영향

Figure 9는 3가지의 분리방법을 사용하여 비튜멘 에멀전들의 분리효율을 측정된 결과이다. 먼저 항유화제인 말레산무수물을 사용했을 경우 물 분리 효율은 약 75% 정도를 나타냈으며 전기장을 이용하여 약 24시간 동안 물 분리를 진행한 결과 분리효율은 52%를 나타내었다. 마지막으로, 항유화제와 전기장분리방법을 결합하여 진행하였을 경우 물 분리의 효율은 약 92% 정도로 현재 상용화 되어져 사용되는 분리공정의 평균적인 분리효율인 77%보다 15% 높은 물 분리효율을 보여주었다.

## 4. 결론

본 논문에서는 비튜멘 에멀전에서 효과적으로 물을 분리하기 위하여 비튜멘 모사물질로 모터오일 이용해 기초실험을 실시하였으며, 기초실험을 통하여 항유화제의 종류별, 농도별 성능을 파악하여 성능이 우수한 항유화제를 선택하여 아스팔트와 실제 비튜멘을 이용하여 물 분리실험을 실시하였다. 항유화제를 사용하지 않을 경우 매우 낮은 물 분리 효율을 보여주었으며, 말레산무수물, 카프로락탐, 에틸헥실아크릴레이트 그리고 아크릴산과 같은 항유화제를 사용할 경우 좋은 물 분리 효율을 보여 주었다. 또한, 지용성 항유화제의 경우 수용성 항유화제 보다 높은 물 분리 효율을 보여주었는데 그 이유는 위와 같은 물방울들이 지속적으로 오일상에 분산되어지기 때문에 수용성 항유화제보다 좋은 물 분리효율을 나타낼 수 있기 때문이다.

비튜멘 에멀전을 이용한 실험에서 수용성 항유화제인 아크릴산은 전반적인 농도범위에서 약 70%의 물 분리효율을 유지하였다. 하지만, 지용성 항유화제인 말레산무수물의 경우에는 항유화제의 농도가 증가할수록 분리효율 또한 증가하는 모습을 보였다. 특히, 0.4 mol/L일 때 약 85%의 높은 물 분리효율을 보였다. 카프로락탐의 경우 0.1 mol/L의 항유화제 농도

에서 94%의 매우 높은 물 분리효율을 보이는 등 낮은 농도에서 높은 물 분리효율을 보였지만, 항유화제의 농도가 증가할수록 물 분리효율이 감소하였다.

따라서 항유화제를 사용하는 화학적 방법과 전기장을 사용하는 분리방법을 연계하여 물 분리 효율을 측정하였을 때 화학적 처리법과 전기장을 사용하는 처리법을 각각 사용하는 방법보다 더 높은 분리효율을 나타낸다는 것을 확인하였다.

## 감사

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP) 에너지융합원천 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(NO. 2008RER11P070000).

## 참고문헌

- Greene, D. L., Hopson, J. L., and Li, J., "Have We Run Out of Oil Yet? Oil Peaking Analysis from an Optimist's Perspective," *Energy Policy*, **34**(5), 515-531 (2006).
- Mejean, A., and Hope, C., "Modelling the Costs of Non-conventional Oil: A Case Study of Canadian Bitumen," *Energy Policy*, **36**(11), 4205-4216 (2008).
- Park, Y. K., Choi, W. C., Jeong, S. Y., and Lee, C. W., "High Value-added Technology of Oil Sand," *Korean Chem. Eng. Res.*, **45**(2), 109-116 (2007).
- Frimpong, S., Hu, Y. and Awuah-offei, K., "Mechanics of Cable Shovel-formation Interactions in Surface Mining Excavations," *J. Terramech.*, **42**(1), 15-33 (2005).
- Czarnecki, J., Radoev, B., Schramm, L. L., and Slavchev, R., "On the Nature of Athabasca Oil Sands," *Adv. Colloid Interface Sci.*, **114-115**, 53-60 (2005).
- Barillas, J. L. M., Dutra, T. V., and Mata, W., "Reservoir and Operational Parameters Influence in SAGD Process," *J. Pet. Eng.*, **54**(1-2), 34-42 (2006).
- Butler, R. M., "Steam-assisted Gravity Drainage Concept : Development, Performance and Future," *J. Can. Pet. Technol.*, **33**(2), 44-50 (1994).
- Novalés, B., Papineau, P., Sire, A., and Axelos, M. A. V., "Characterization of Emulsions and Suspensions by Video Image Analysis," *Colloid Surf. A; Physicochem. Eng. Asp.*, **221**(1-3), 81-89 (2003).
- Lissant, K. J., *Demulsification Industrial Application*, Marcel Dekker, NewYork, 1983, pp. 2.
- Jiangying, W., Yuming, Tadeusz, D., and Hassan, H., "Effect of EO and PO Positions in Nonionic Surfactants on Surfactant Properties and Demulsification Performance," *Colloid Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.*, **252**(1), 79-85 (2005).
- Park, K., Han, S. D., Noh, S. Y., Bae, W., and Rhee, Y. W., "Characteristics of Separation of Water/Bitumen Emulsion by Chemical Demulsifier," *Clean Tech.*, **15**(1), 54-59 (2009).
- Kukizaki, M., and Goto, M., "Demulsification of Water-in-Oil

- Emulsions by Permeation through Shirasu-Porous-Glass (SPG) Membranes,” *J. Membrane Sci.*, **322**(1), 196-203 (2008).
13. Kwon, W. T., Park, K., Han, S. D., Yoon, S. M., Kim, J. Y., Bae, W., and Rhee, Y. W., “Investigation of Water Separation from Water-in-oil Emulsion Using Electric Field,” *J. Ind. Eng. Chem.*, **16**(5), 684-687 (2010).
  14. Chen, C. M., Lu, C. H., Chang, C. H., Yang, Y. M., and Maa, J. R., “Influence of pH on the Stability of Oil-in-water Emulsions Stabilized by a Splittable Surfactant,” *Colloid Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.*, **170**(2-3), 173-179 (2000).
  15. Stachurski, J., and Michalek, M., “The Effect of the  $\zeta$  Potential on the Stability of a Non-polar Oil-in-Water Emulsion,” *J. Colloid Interface Sci.*, **184**(2), 433-436 (1996).