

## 숙신이미드계 화합물의 합성 및 그의 윤활특성

박찬구<sup>†</sup> · 강호철 · 박종목 · 이병민 · 김동표\*

한국화학연구원 유제화학연구센터, \*충남대학교 공과대학 정밀공업화학과  
(2006년 7월 6일 접수, 2006년 8월 3일 채택)

## Synthesis and Lubricant Additive Properties of Succinimidyl-type Compounds

Chan-gu Park<sup>†</sup>, Hocheol Kang, Jong-mok Park, Byung Min Lee, and Dong-Pyo Kim\*

Surfactants & Lubricants Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, Deajeon 305-600, Korea

\*Department of Fine Chemical Engineering & Chemistry, Chungnam National University, Deajeon 305-764, Korea

(Received July 6, 2006; accepted August 3, 2006)

윤활유 첨가제 중간체로서 Alkenyl Succinic Anhydride (ASA)계열인 *i*-(2',5'-diketotetrahydrofuranyl)octadecenyl acid (OSA)를 oleic acid (OA)와 maleic anhydride (MA)의 ene-reaction을 통하여 합성하였다. 이 반응의 진행과정은 GC분석을 통해 관찰함으로써 확인하였다. 숙신이미드 화합물은 알킬아민과 OSA와의 반응에 의해 합성되었다. 이 숙신이미드 화합물들은 윤활유 첨가제로서 항유화성, 내마모성, 방청성능 등을 시험하였으며, 이때 상대적으로 긴 알킬사슬을 가진 octadecylamine 유도체가 우수한 물성을 나타내었다.

*i*-(2',5'-Diketotetrahydrofuranyl)octadecenyl acid (OSA), an intermediate for the lubricating oil additive, was prepared by the ene-reaction of oleic acid with maleic anhydride. The reaction progress was monitored by gas chromatography by analyzing the amount of OSA. The series of succinimidyl compounds were synthesized by the reaction of alkyl amines and OSA. As a kind of lubricant additives, demulsibility, anti-wear, and anti-corrosion properties of these succinimidyl compounds were measured. The derivative of octadecylamine which has relatively long-chained alkyl group has showed good properties.

**Keywords:** oleic acid, maleic anhydride, ene-reaction, alkenyl succinic anhydride, succinimidyl compounds, lubricant additive

### 1. 서 론

각종 기기의 첨단화에 따라 이에 사용되는 기계나 내연기관의 운전 조건이 가혹해짐에 따라 윤활유라는 문제가 단순히 광유계 오일만으로는 해결할 수 없는 상태에 이르렀으며 이에 광유계 오일에 다양한 첨가제들을 첨가하거나, 합성윤활유를 개발하여 원하는 물성을 얻게 되었다. 또한 산업발전에 따른 급속한 경제성장은 우리의 생활수준을 비약적으로 향상시켜 왔으나 한편으로, 공장 및 자동차의 배출가스에 의한 지구의 온난화, 프레온 등에 의한 오존층파괴, 사막의 급격한 확대, 열대우림의 감소, 산성비에 의한 환경파괴 등과 같은 심각한 지구 규모의 환경문제를 야기시켰다. 따라서 이에 관한 논의를 위하여 1987년 캐나다의 몬트리올에서 오존층 보호를 위한 기온냉매의 사용 규제에 관한 의정서가 채택되었고, 1992년 6월 브라질 리오데자네이로에서는 UN 환경개발회의(UNCED)가 개최되었다. 이와 같은 지구 환경 보전에 관한 국제 협약에 따라 윤활유 분야에서는 오존층 보호를 위한 대체냉매용 냉동기 및 수질과 토양의 오염방지를 위한 생분해성 윤활유에 대한 요구가 크게 증대되었다[1].

그러나 최근 사용되는 대표적 윤활유 첨가제로는 유기금속계 화합물인 몰리브덴 디티오카바메이트(MoDTC)와 디알킬티오인산염(ZnDTP)

을 예로 들 수 있는데, MoDTC는 자동차 엔진오일 등의 마찰완화제로 널리 사용되고 있는 첨가제로서 이들을 첨가하면 2~5%의 연료절약 효과가 있다는 보고가 있으나 몰리브덴과 같은 중금속 화합물을 포함하고 있고, ZnDTP는 인 화합물을 포함하고 있어 자동차 배기가스 정화용 삼원촉매의 피독이 문제가 되고, 폐기물 발생 시에 인체 및 환경에 좋지 못한 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 유럽을 중심으로 환경친화형 생분해성 유체에 대한 정부 또는 민간차원에서의 요구가 거세어지면서 일부 제품은 이미 생분해도에 대한 인증을 필수적으로 요구하고 있다[2].

생분해성을 가지는 윤활유의 원료 또는 첨가제로는 자연계로부터 생산 가능한 천연에스테르인 식물유와 합성에스테르계가 주로 사용되고 있다. 합성에스테르를 원료로서 사용할 때의 장점은 저온에서의 유동성이 우수하고 열 및 산화안정성이 우수하여 내구수명이 장시간이라는 점을 들 수 있으나 식물유에 비해 가격이 비싼 것이 단점이며, 이들 물질은 기존의 광물유에 비해 훨씬 우수한 생분해도를 나타낸다고 알려져 있다. 또한, 식물유를 유용한 화합물질들로 변환하는 시도는 지난 수십 년간 지방산의 말단에 있는 카르복실기의 변환에 초점이 있었고 실제로 다양한 형태의 계면활성제, 디젤 엔진의 연료유 등으로 응용되어져 오고 있다. 그러나 최근에는 독일을 중심으로 알킬 사슬 자체의 변환에 관심이 집중되고 있으며 알킬 사슬의 선택적 기

† 주 저자(e-mail: jjanggu@kriect.re.kr)

능성화를 위하여 새로운 합성법들이 개발 적용되고 있다. 특히 불포화도가 높은 지방산들의 불포화도가 주된 관심의 대상이며 이러한 불포화도가 높은 지방산들은 필름형성능 등의 유용한 물성을 갖고 있으나 autoxidation이 쉽게 일어나고 시간에 따른 변색이 심해 산업적 응용의 한계를 가지고 있던 화합물들이다. 본 연구에서는 이러한 불포화도가 높은 oleic acid (OA)의 이중결합을 maleic anhydride (MA)와 ene-reaction을 통하여 ASA (alkenyl succinic anhydride)계열을 합성하고자 하였고[3], 여기에 다시 알킬아민을 도입하여[4-6] 기존의 윤활유 첨가제보다 친환경능력이 기대되는 숙신이미드계 화합물을 합성하여, 이 물질들의 방청성, 내마모성, 내유화성 등의 윤활특성을 측정하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시약 및 사용기기

무수말레인산(99%, Junsei), 올레인산(99%, Aldrich), 헥실아민(98%, Aldrich), 도데실아민(98%, Aldrich), 옥타데실아민(97%, Aldrich), 하이드로퀴논(99%, Aldrich), 테트라코사인(99%, Aldrich), 아세톤(EP급), n-헥산(EP급), 디에틸에테르(EP급) 등을 정제 과정 없이 그대로 사용하였다. 반응을 추적하기 위하여 HP사의 5890 series II(검출기: FID) 가스크로마토그래피(GC)를 사용하였고, 칼럼은 J&W사의 DB-1HT (0.32 mm i.d. x 30 m, film thickness: 0.1 μm)를 사용하였다. Carrier 가스는 질소를 사용하였고, 유속은 2.2 mL/min, split ratio는 20 : 1이었다. 오븐의 초기온도는 40 °C(1 min), 승온 속도는 12 °C/min이었으며, 오븐의 최종온도는 350 °C(15 min)이었다. 생성물의 최종 수율은 테트라코사인을 내부표준물질로 하여 one point calibration 기법을 사용하여 계산하였고, 반응후이 분석에는 생성물들과 테트라코사인의 면적비를 그대로 사용하였다. 중간체를 확인하기 위해 NMR (Bruker ARX 300)기기를 사용하였고 실온에서 측정하여 δ 단위(TMS 기준)로 표시하였다. 분자량 확인은 high resolution기법을 사용한 Fisons 800 series 가스크로마토그래피(Micromass AutoSpec Mass Spectrometer)와 HP사의 5890 series II 가스크로마토그래피/5971 Mass Selective Detector (GC/MSD)를 이용하여 확인하였다. 이 때 사용한 칼럼도 DB-1HT이었으며 온도조건은 GC 조건과 일치하였다. 생성물의 마찰 마모 특성을 살펴보기 위하여 Cameron Plint사의 four-ball wear test machine을 사용하였다.

### 2.2. 중간체(OSA)의 합성

100 mL 크기의 4구 둥근 바닥 플라스크에 OA 34.24 g (0.12 mol, 99%), MA 9.91 g (0.1 mol, 99%)을 넣는다. 하이드로퀴논 0.11 g을 산화방지제로서 첨가하고, 테트라코사인 2.21 g을 내부표준물질로 사용하기 위하여 첨가하였다. 온도계와 응축기를 반응기에 장착하고, 기름증탕을 이용하여 200 °C가 되도록 유지하며, 질소가스를 흐르게 하면서 자석 젓개를 이용하여 교반한다. 반응 시간별로 약 0.1 g의 시료를 채취하고 디에틸에테르-아세톤 혼합용액에 녹여 GC분석을 하고, 이를 근거로 반응의 진행추이를 관찰하였다.

### 2.3. 숙신이미드계 화합물의 합성

각각 준비된 3개의 100 mL 크기의 4구 둥근 바닥 플라스크에 정제된 OSA 19.22 g (0.05 mol, 99%)을 넣는다. 온도계와 응축기를 반응기에 장착하고, 기름증탕을 이용하여 100 °C가 되도록 유지하며, 질소가스를 흐르게 하면서 자석 젓개를 이용하여 교반한다. 이 후 클로로

포름 50 mL에 용해시킨 알킬아민[헥실아민 10.33 g (0.1 mol, 98%), 도데실아민 18.91 g (0.1 mol, 98%), 옥타데실아민 27.78 g (0.1 mol, 97%)]을 각각 30 min에 걸쳐 플라스크에 천천히 적가하고 100 °C에서 3 h 동안 유지했다. 그 후 응축기를 제거하고 증류기를 장착하여 100 °C, 감압 하에서 2 h 동안 클로로포름과 생성된 물을 제거한 후 반응을 종결하였다.

### 2.4. 정제

OA와 MA의 반응 후 합성된 생성물은 n-헥산, 에틸에테르에 의한 용해도 차이와 화합물의 특성에 의하여 분리 정제하여 생성물의 순도를 높일 수 있다.

승화성이 있는 MA는 상대적으로 소량 포함되어 있어, 저압의 회전 증발기로도 쉽게 제거할 수 있으며, 또한 탄화된 MA는 에틸에테르에 용해되지 못하여 이를 여과하여 제거할 수 있다. 그리고 과량의 n-헥산을 투입하여 MA 2분자가 부가된 물질을 제외한 OA와 OSA를 혼합물 형태로 선택적으로 분리할 수 있으며, 이를 0~5 °C 이내로 온도를 낮추면 상대적으로 용해도가 낮은 OSA만 침전되어 얻을 수 있다.

### 2.5. 윤활특성 시험

#### 2.5.1. 항유화능(Demulsibility)

ASTM D1401 방법으로서 증류수 40 mL를 100 mL 메스실린더에 넣고, 생성된 두 종류의 숙신이미드 화합물을 베이스오일인 100N oil에 각각 0.5%, 1.0%, 2.0%, 5.0%를 용해하여 40 mL를 준비한다. 물-오일 순서로 메스실린더에 투입하고, 54 °C에서 5 min 간 교반 후 1 h 동안 방치하여 분리되는 정도(오일층/유화층/물층)를 mL로 측정한다[7].

#### 2.5.2. 내마모능(Anti-wear)

ASTM D4172 방법으로써 오일의 마찰 마모 특성을 살펴보기 위하여 Cameron Plint사의 four-ball wear test machine을 사용하여 마찰시험을 행하였으며, test ball은 SKF사의 제품으로서 1/2 inch 직경을 가진 AISI 52100 계열의 표준시험 베어링을 사용하였다. n-헥산으로 시험기와 베어링을 세척하고 하중 45 kg으로 75 °C에서 회전속도 1200 rpm으로 60 min 동안 시험 후 마찰특성을 관찰하였다. 시험 후 test ball에 나타난 마모흔 직경을 200배율의 image analyzer로 측정하여 3개 ball의 평균값을 시험오일의 마모흔 직경 WSD (Wear Scar Diameter)로 하였다[8].

#### 2.5.3. 방청성능(Anti-corrosion)

ASTM D665 방법으로서 100N oil을 베이스 오일로 하여 각각의 농도로 300 mL의 시료를 만들고, 400 mL의 비커에 넣어 기름증탕에 넣는다. 60 °C에서 15 min 동안 교반시킨 후 증류수 30 mL와 시험편인 탄소강 봉을 넣고 1000 rpm으로 교반하며, 24 h 방치한다. 이후에 탄소강 봉을 꺼내어 iso-octane으로 세척한 후 녹의 발생 유무를 관찰한다[9].

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 중간체 *i*-(2',5'-diketotetrahydrofuranyl)octadecenyl acid (OSA)의 합성

OA와 MA의 합성 시 시간에 따른 생성물의 조성변화를 Figure 1에 나타내었다. 반응은 18 h 후에 완결되었고 GC에 의해 분석되었다.

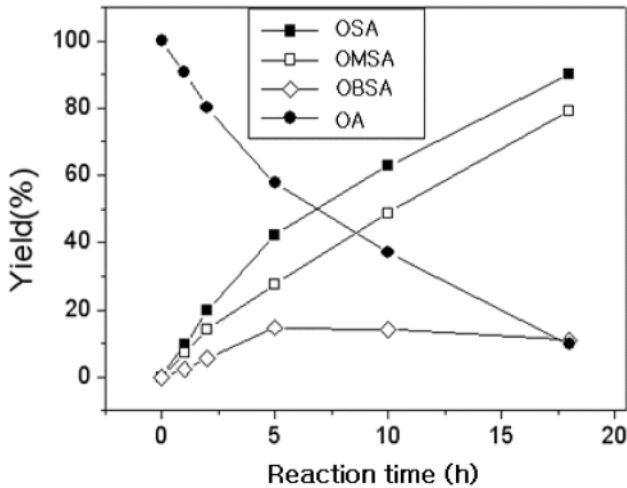


Figure 1. The composition of the reaction mixture vs. reaction time when 0.12 mol of oleic acid was reacted with 0.1 mol of maleic anhydride in the presence of antioxidant at 200 °C.

단, 카르복실산 화합물은 trimethyl silyl chloride와의 반응에 의한 실릴화된 유도체로서 검출하였다. Figure 1에서 보이는 것과 같이 생성물인 MA가 1개 부가된 *i*-(2',5'-diketotetrahydrofuranyl) octadecenyl acid (OMSA)와 MA가 2개 부가된 *i*-Bis(2',5'-diketotetrahydrofuranyl)octadecenyl acid (OBSA)의 양은 반응 5 h까지는 급격하게 증가하였으며 그 후 부터는 일정하게 유지되었다. 또한 반응 5 h 이후부터 MA의 탄화된 물질이 서서히 생성되기 시작하여 반응 18 h 후에는 2% 정도 생성되었다. 반응 5 h 이후 OBSA의 양은 반응완료시까지 변화가 거의 없이 11%인 사실로 미루어 보아 OA와 MA의 반응은 반응초기 MA가 1개 부가된 화합물 OMSA와 2개 부가된 OBSA가 동시에 생성되고 반응시간이 증가됨에 따라 OMSA의 생성량만이 증가되는 것을 알 수 있었다. 반응이 종결된 18 h 후 측정된 GC에 의한 정량 결과 OA는 9.9%가 미반응으로 잔류하고 있으며, OMSA와 OBSA는 각각 79.65%, 11.18%이었다. 반응 후 혼합물 44.15 g을 얻었으며 이를 다시 정제하여 순도 99%인 OMSA 34.25 g과 순도 98%의 OBSA 4.78 g을 얻을 수 있었다.

OSA의 분자구조는 Figure 2의 <sup>1</sup>H-NMR 분석을 통하여 성공적인 합성을 확인할 수 있었다. Figure 3은 OMSA 및 OBSA 화합물의 질량 분석 스펙트럼이고 OMSA 경우 m/e = 452 피크는 실릴화된 OMSA의 분자량 452와 잘 일치한다. OBSA에서의 m/e = 524 피크는 실릴화된 OBSA 중 2개가 부가된 MA의 어느 하나의 C=O가 분해되어 메틸기와 COOH 형태로 개환되어 나타남을 확인하였다.

### 3.2. 숙신이미드계 화합물의 합성

OSA와 알킬아민의 반응은 심한 발열반응이므로 100 °C에서 30 min 동안 서서히 적가하였고, 부생성물로서 물이 생성되었다. 공기와 접촉하면 색상이 검게 변하기 때문에 질소기류 하에서 반응하였다. 각각의 반응은 3 h 반응했을 때 GC확인 결과 약 90% 생성된 후 더 이상 반응은 증가하지 않았다. 이는 부생성물로 생성된 물과의 평형 때문이다. 따라서 정반응을 더 진행시키기 위하여 100 °C의 감압 하에서 2 h 동안 클로르포름과 부생성물인 물을 제거하면서 반응을

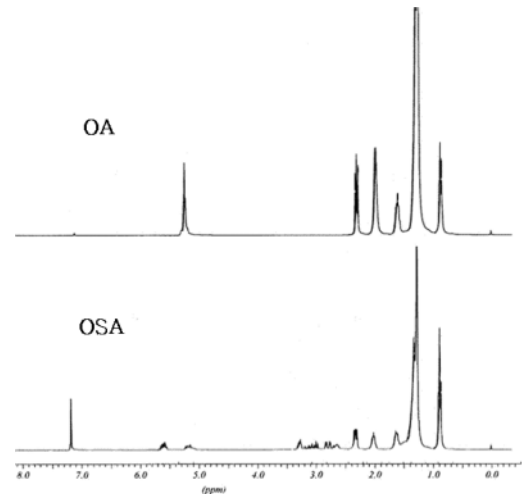


Figure 2. <sup>1</sup>H-NMR spectrum of OA and OSA.

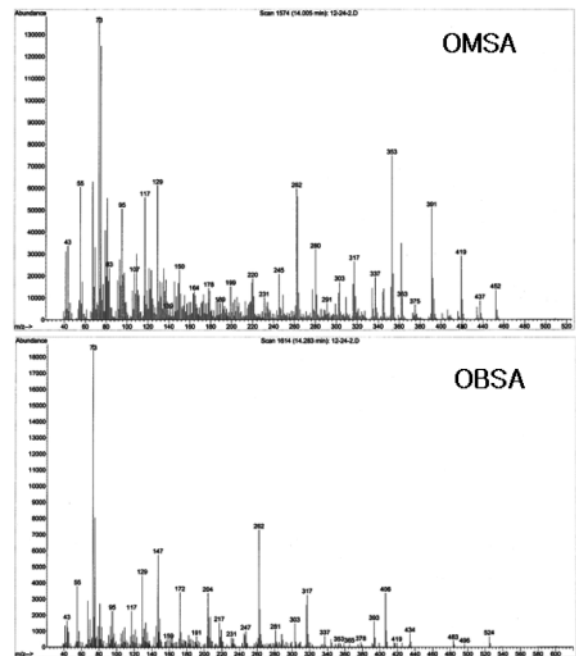


Figure 3. Mass spectra of OMSA and OBSA by GC/MSD.

완결시켜 *N*-hexyl-*i*-(succinimidylhexane) octadecenylamide 27.34 g (OSA-Di6), *N*-dodecyl-*i*-(succinimidyl)octadecenyl amide 36.12 g (OSA-Di12), *N*-octadecyl-*i*-(succinimidyl)octadecenylamide 44.62 g (OSA-Di18)을 얻었다.

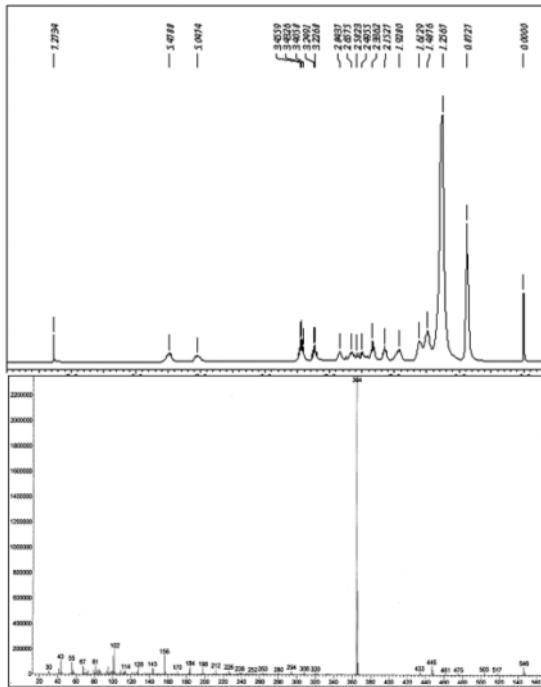
생성물의 구조 및 분자량을 확인하기 위하여 Table 1과 Figure 4, 5, 6의 <sup>1</sup>H-NMR 분석과 mass 스펙트럼을 통하여 성공적인 합성을 확인할 수 있었다.

### 3.3. 윤활특성 시험

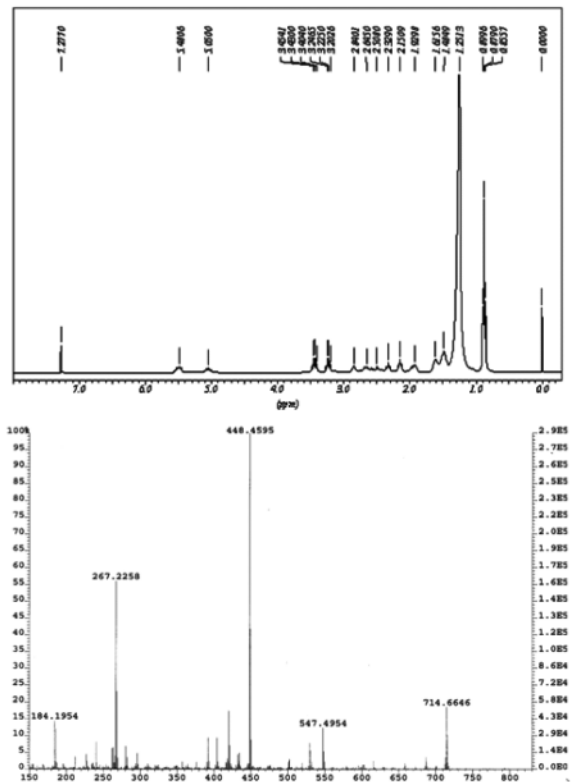
합성된 숙신이미드계 화합물들을 윤활유 첨가제로서의 적용시험을 위하여 항유화성, 내마모성 및 방청성능을 시험하였다. 이런 일련의 시험을 위해선 우선적으로 오일에 의한 용해도가 좋아야 한다. 따라서

**Table 1. Properties of Synthesised Compounds**

Compounds	<sup>1</sup> H-NMR (δ, ppm)	Mass
OSA-Di6	δ 0.87(t, 3H), δ 1.25(b, 32H), δ 1.48(m, 2H), δ 1.61(m, 2H), δ 1.92(m, 2H), δ 2.15(m, 2H), δ 2.33(m, 1H), δ 2.49-2.84(m,3H), δ 3.22(m, 2H), δ 3.45(m, 2H), δ 5.04-5.47(s, 2H)	546.48
OSA-Di12	δ 0.87(m, 9H), δ 1.25(b, 56H), δ 1.48(m, 2H), δ 1.61(m, 2H), δ 1.92(m, 2H), δ 2.15(m, 2H), δ 2.32(m, 1H), δ 2.50-2.84(m, 3H), δ 3.22(m, 2H), δ 3.45(m, 2H), δ 5.05-5.48(s, 2H)	714.66
OSA-Di18	δ 0.87(m, 9H), δ 1.25(b, 80H), δ 1.48(m, 2H), δ 1.60(m, 2H), δ 1.92(m, 2H), δ 2.14(m, 2H), δ 2.32(m, 1H), δ 2.50-2.84(m, 3H), δ 3.22(m, 2H), δ 3.45(m, 2H), δ 5.05-5.45(s, 2H)	882.85



**Figure 4.** <sup>1</sup>H-NMR and mass spectrum of OSA-Di6.



**Figure 5.** <sup>1</sup>H-NMR and mass spectrum of OSA-Di12.

**Table 2. Solubility Test of Synthesised Compounds**

Compounds	n-Hexane	Ethyl acetate	TMPTO	100N oil
OSA-Di6	△	△	△	△
OSA-Di12	O	O	O	O
OSA-Di18	O	O	O	O

△: Bad, O: Good

Table 2에서 보이는 바와 같이 유기용매와 윤활유에 일괄적으로 0.5% 첨가하여 합성물의 용해도를 확인하였다. 알킬기가 상대적으로 짧은 OSA-Di6는 유기용매와 윤활유 모두에 용해도가 좋지 못하였으며, 알킬기가 상대적 긴 OSA-Di12와 OSA-Di18는 모든 유기용매와 윤활유에 잘 용해됨을 알 수 있었다. 이 때 사용된 TMPTO (trimethylolpropanetrioleate)와 100N oil (Yu-base)은 대표적인 윤활기유이다. 이 중 광유인 100N oil에 용해하여 OSA-Di12와 OSA-Di18의 윤활특성을 시험하였다.

3.3.1. 향유화능(Demulsibility)

각각의 농도의 오일에 물이 혼입되었을 때 물과의 유화능을 평가한

결과, Figure 7에서 보이는 바와 같이 OSA-Di12는 유화성능이 좋지 못하였다. 그러나 상대적으로 알킬기 길이가 긴 OSA-Di18의 경우에는 2.0% 첨가 시 15 mL/65 mL/0 mL 형태로 유화층이 65 mL 남아 있고, 물은 모두 사라짐을 알 수 있으며, 5.0% 첨가한 오일의 경우에는 2 mL/78 mL/0 mL로서 물층은 전부 사라지고 오일층은 소량 남아 있으며, 대부분 유화층으로 유지되는 것으로 보아 매우 우수한 유화성능을 확인할 수 있었다.

3.3.2. 내마모능(Anti-wear)

시험 후 마모흔 직경 WSD (Wear Scar Diameter)를 200배율의 image analyzer로 일정하게 측정하여 3개 ball의 평균값을 시험오일의 마모흔 직경으로 하였다. OSA-Di12의 경우, Figure 8에서처럼 0.5% 첨가 시 WSD는 0.59 mm, 1.0% 첨가 시 WSD는 0.62 mm, 2.0% 첨가 시 WSD는 0.60 mm, 5.0% 첨가 시 WSD는 0.64 mm로 첨가하기 전 WSD 0.82 mm에 비해 우수한 내마모능을 나타내었으나 첨가농도에

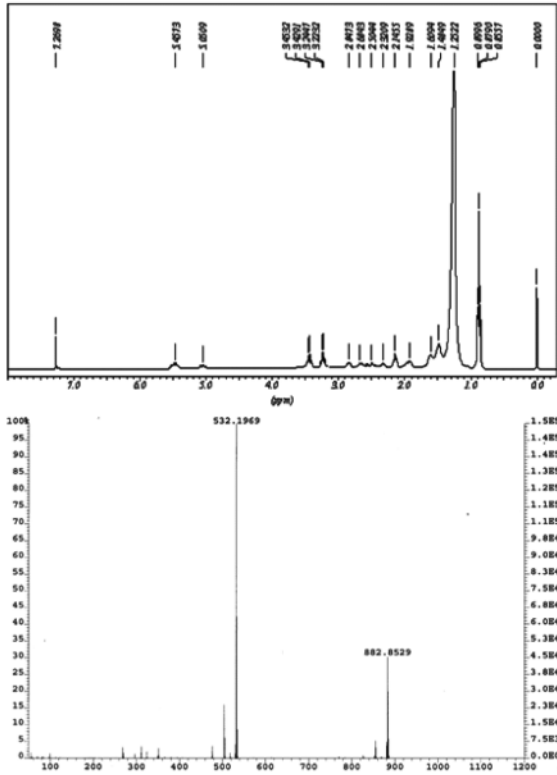


Figure 6. <sup>1</sup>H-NMR and mass spectrum of OSA-Di18.

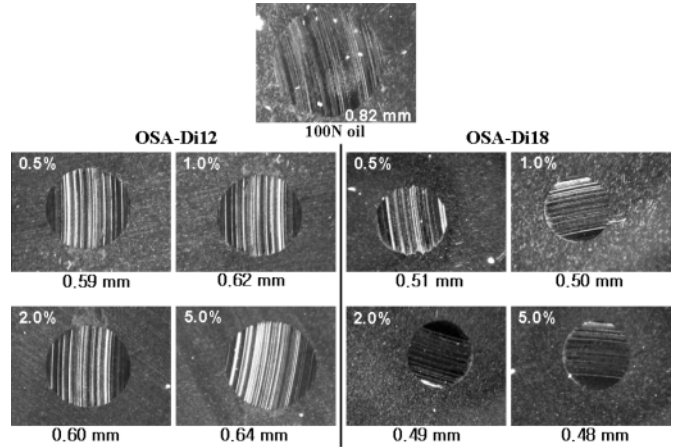


Figure 8. Anti-wear test of OSA-Di12 and OSA-Di18.

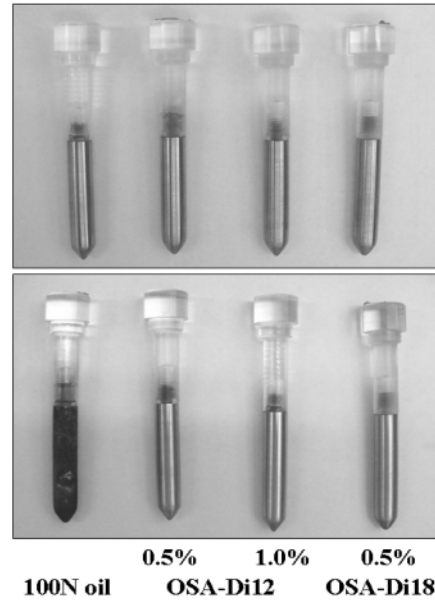


Figure 9. Anti-corrosion test of OSA-Di12 and OSA-Di18.

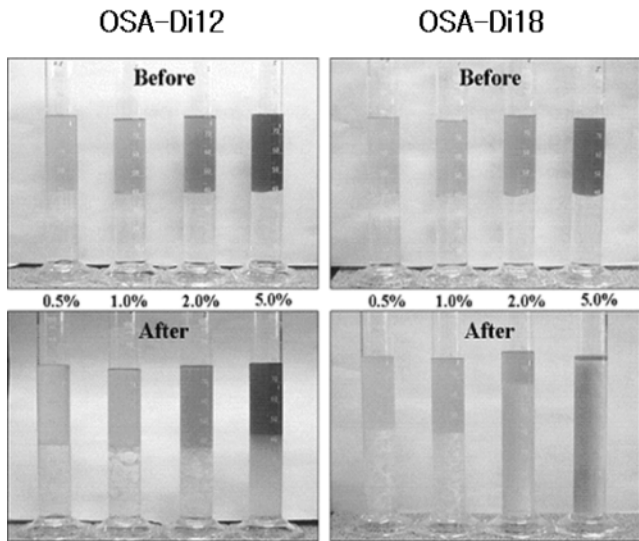


Figure 7. Demulsibility test of OSA-Di12 and OSA-Di18.

대한 영향은 나타나지 않았고 오히려 조금 나빠지는 결과를 나타내었다. OSA-Di18의 경우는, 0.5% 첨가 시 WSD는 0.51 mm, 1.0% 첨가 시 WSD는 0.50 mm, 2.0% 첨가 시 WSD는 0.49 mm, 5.0% 첨가 시 WSD는 0.48 mm로 첨가하기 전에 비해 우수한 내마모능을 나타내었고 첨가농도에 따른 효과는 나타나지 않음을 알 수 있었다. OSA-Di12와 OSA-Di18의 WSD를 비교하면 약 0.1 mm 차이가 나타나는데, 이것은 알킬기의 길이가 길어질수록 상대적으로 내마모능이 우수해짐을 확인할 수 있었다.

3.3.3. 방청성능(Anti-corrosion)  
일반적으로 아민기를 가지는 알케닐 숙신산 유도체는 방청성능을 나타낸다고 알려져 있다. 따라서 제공된 OSA-Di12와 OSA-Di18을 100N oil에 각각 0.5%, 1.0%로 첨가하여 방청성능을 평가하였다. 그 결과 Figure 9에서 보이는 바와 같이 100N oil 자체만 사용했을 시에는 매우 심한 녹이 발생되었지만, 평가 시료인 OSA-Di12의 2.0% 이상을 첨가하면 매우 뛰어난 방청성능을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이는 앞의 서론에서도 언급한 바와 같이 합성된 숙신이미드 화합물에 있는 아미드와 이미드 그룹이 시험편인 탄소강에 강한 흡착을 형성하여 수분과의 접촉을 막아주고 장시간 흡착이 유지되기 때문에 생길 효과로 여겨진다.

### 4. 결 론

올레인산과 무수말레인산을 ene-reaction을 통하여 중간체 ASA (alkenyl succinic anhydride)계열인 OSA를 합성하였다. 정제한 생성물

참 고 문 헌

은 기기분석을 통해 구조를 확인한 후, 알킬아민을 도입하여 윤활유 첨가제로서의 물성을 확인하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 기존에 알려진 ASA계열의 합성법과 비교 시 총수율 90%의 높은 수율로 OSA를 합성하였고, 이에 알킬아민들을 도입하여 약 99%의 수율로 윤활유 첨가제 후보물질인 숙신이미드계 화합물을 합성하였다. 둘째, 이 윤활유첨가제 물질들은 알킬기가 상대적으로 길수록 온화한 물성치를 나타내었으며, 특히 탄소수가 18개인 옥타데실아민을 도입했을 경우, 향유화능과 내마모능이 상대적으로 뛰어난을 알 수 있었다. 셋째, 이 윤활유 첨가제 후보물질들은 기존의 첨가제들과는 다르게 무회분과 천연유지에서의 출발로 인하여, 환경친화적인 윤활유첨가제로서 기대된다.

1. G. E. Johnston, J. Shim, and P. D. Brechot, *J. of Synth. Lubri.*, **11**, 234 (1995).
2. J. J. Dickert and C. N. Rowe, *J. Org. Chem.*, **32**, 647 (1967).
3. S. H. Nahm and H. N. Cheng, *J. Org. Chem.*, **51**, 5093 (1986).
4. U. S. Patent 5,156,654 (1990).
5. Korea Patent 0,022,640 (1991).
6. Korea Patent 0,011,072 (1993).
7. ASTM D1401
8. ASTM D4172
9. ASTM D665