

# 식물유계 EP그리스의 생분해도 평가에 관한 연구

남경임 · 김영운 · 정근우 · 조원오\* · 전인식\* · 정용미\*

한국화학연구원 응용화학연구부 유제화학연구센터

\*장암엘에스(주) 기술연구소

## A study on Biodegradability of Vegetable Oil : based EP Grease

Kyung-Im Nam, Young-wun Kim, Keunwo Chung,  
Wonoh Cho\*, In-sik Jeon\*, Yong-Mi Chung\*

Surfactant & Lubricant Research Team, Applied Chemistry Research Group, Korea Research Institute of  
Chemical Technology

\*R&D Center, ChangAm L&S Co. Ltd.

**Abstract** - In this study, biodegradable base Li-greases were prepared by using Li-soap thickener and vegetable oils such as soybean oil, rapeseed oil, castor oil and synthetic ester. Also, EP-greases were formulated by blending base Li-greases, anti-wear additives, EP additives, anti-oxidants and corrosion inhibitor etc.. And EP-greases were characterized by analysing physical properties such as worked penetration, dropping point, 4-ball wear, extreme pressure, thermal properties etc. Biodegradability of base Li-greases and EP-greases were evaluated by CEC-L-33-A-93 method using several inoculums of domestic sewage treatment plant. As the results, biodegradability of vegetable oils were shown at the range of 97.1 to 98.4%. And biodegradability of base Li-greases and EP-greases were 86.2% ~ 89.3% and 83.4% ~ 90.0% which were lower value than those of vegetable oils due to effect of Li-soap thickener, respectively. Therefore, the EP-greases prepared in this study were easily biodegraded by microorganism.

**Key Words** - vegetable oils, EP-greases, biodegradability, CEC-L-33-A-93 method

### 1. 서론

최근 지구온난화, 오존층 파괴, 다이옥신이나 환경호르몬(내분비 교란물질) 등에 의한 환경오염, 석유자원의 고갈 등 지구환경을 둘러싼 환경오염 문제가 중요한 과제로 대두되고 있다.

윤활제와 관련해서는 환경·안전문제로서 환경오염, 유해물질, 폐기물 처리, 에너지절

약 등의 4가지를 들 수 있다. 그 중에서 기계부품에서 윤활제가 누출되어 일으키는 환경오염, 예를 들어 2사이클 엔진유, 전기톱용 오일 등의 개방계 윤활시스템에서는 오일이 환경으로 방출되기 때문에 자연계에 미치는 영향이 크다. 또 건설용 기계, 농업용 기계류 등에 사용되는 유압작동유나 그리스 등의 폐쇄계 윤활제에 있어서도 사고로 인해 환경 중에 누출될 가능성이 있으며

이로 인한 동·식물 등 생태계에 미치는 영향이 크다. 또 윤활유나 그리스에 첨가된 첨가제에는 미량이지만 유해물질을 함유한 것도 있으며 환경에의 영향이 염려된다.

이러한 상황 하에서 환경친화형 윤활제로서 자연계의 미생물에 의해 분해되는 생분해성 윤활유 및 그리스가 개발, 제품화되었으며 유럽을 중심으로 사용이 확대되고 있다[1,2].

생분해성 그리스는 일반적으로 OECD법에 의한 생분해도 시험으로 60% 이상의 생분해도[3] 또는 CEC-L-33-A-93 법으로 80% 이상의 생분해도[4]를 나타내는 것을 말하며 기유의 종류에 따라 대두유, 유채유, 피마자유 등을 이용한 식물유계[5]와 합성 지방산 에스테르[6]로 대별된다. 증주제로는 칼슘비누, 리튬비누, 리튬복합비누, 우레아등이 사용된다.

광유를 기유로 한 범용의 리튬그리스에 비해 식물유계 그리스는 내열성, 산화안정성, 윤활수명이 열악하며 합성 지방산 에스테르계 그리스는 내열성, 저온성은 우수하지만 가격이 높은 단점이 있다.

본 연구에서는 국내에서 입수가 가능한 식물유로 대두유, 유채유 및 피마자유를 선정하고 합성 에스테르계 기유로는 NPG-에스테르계 기유를 입수하여 기본물성을 측정하고 이를 base로 한 EP 그리스를 제조하여 그리스로서의 기본물성을 비교하고 CEC-L-33-A-93법에 의한 생분해도 평가에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 실험

### 2-1. 시료 그리스의 물성

본 연구에 사용된 시료 그리스는 장암엘 에스(주)에서 제조한 것으로 대두유, 유채

유, 피마자유 등 3종의 식물유로 제조한 리튬그리스와 NPG-에스테르 타입의 합성 에스테르 기유를 사용한 리튬 그리스 등 4종의 base 그리스와 각각의 base 그리스에 마모방지제, 극압첨가제, 산화방지제, 부식방지제 등을 배합한 EP그리스 등 총 8종의 그리스를 대상으로 하였다. 그리스 제조에 사용한 base oil의 물성치와 각 그리스의 물성 측정치를 Table 1과 2 및 3에 나타내었다.

### 2-2. 생분해 평가방법

본 연구에서 사용한 생분해도 평가방법은 CEC-L-33-A-93법으로 윤활유의 생분해도 시험법으로 널리 사용되고 있는 것이다.

(1) Mineral substrate 제조 : 다음의 용액 A~E를 1mL씩 취해 1L로 희석한다.

용액 A;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  8.5g,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  21.75g,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  33.4g,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  15.0g,

용액 B;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  22.5g

용액 C;  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  36.4g

용액 D;  $\text{H}_3\text{BO}_3$  0.75g,  $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  0.1g,  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.5g,  $\text{CuSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.05g,  $\text{CoSO}_4$  0.1g,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.05g

용액 E;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  3.0g

(2) Inoculum(접종물): Inoculum의 bacteria level은  $10^4 \sim 10^7$  CFU (colony forming unit)/mL의 범위 안에 있어야 하며 하수처리장의 1차 또는 2차 처리수를 사용하는 경우 이 범위를 만족시킬 수 있다. 본 연구에서는 대전시 유성구 소재 대전 하수종말처리장의 활성오니를 채취하여 실험에 사용하였으며 상품화된 접종물로는 Bioscience사의 MICROCAT<sup>®</sup>-XR을 구입하여 사용하였다.

(3) 시료 모액(mother liquid) 제조 : 평가대

상 시료 또는 reference oil 15g 을 Freon 113 (1,1,2-trichloro-1,1,2-trifluoroethane) 용매에 녹여 100mL로 만들어 모액으로 사용하였다.

(4) 비교 용액 (Control liquid) 제조 : 평가 대상 시료 또는 reference oil의 모액 50 $\mu$ L 을 취해 Freon 113 용매 25mL에 혼합하여 제조한다.

(5) 시험방법 : 18개의 500mL 삼각플라스크에 150mL의 mineral substrate와 1mL의 inoculum을 혼합하여 blank 용액을 제조한다. 그 중 8개의 플라스크에는 시료 모액 50 $\mu$ L를 넣어 시험용 시료용액을 제조하고 다른 8개의 플라스크에는 reference oil의 모액 50 $\mu$ L를 넣어 reference 시료용액을 제조한다. 나머지 2개의 플라스크는 blank 시험용으로 사용한다. 다음에 별도의 4개의 500mL 플라스크에 mineral substrate 150mL와 1mL의 염화수은(0.03mol/L) 용액을 넣고 그 중 2개의 플라스크에는 시료 모액 50 $\mu$ L를 넣어 시험용 시료의 poison 용액을 제조하고 나머지 두개의 플라스크에는 reference oil의 모액 50 $\mu$ L를 넣어 reference oil의 poison 용액을 제조한다. 각각의 플라스크를 네오프렌 재질의 고무마개로 막고 20~25 °C의 온도로 조절된 shaking incubator 내에 넣고 120~220rpm으로 흔들면서 21일간 유지한다. 21일 경과 후 각각의 플라스크를 incubator에서 꺼내어 1~2분간 초음파 진동을 준 후 HCl 1mL와 NaCl 30g을 넣고 추출용매인 Freon 113을 25mL 넣어 회석한 다음 삼각플라스크 내의 내용물을 분별깔때기에 옮긴다. 1~2분간 흔들고 방치하여 용매층만을 분리한 후 즉시 적외선 분광분석기로 분석하여 시료 오일 중에 있는 알킬기 CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>의 C-H stretching에 기인하는 2930 $\pm$ 10cm<sup>-1</sup>의 최대

흡광도를 측정한다.

(6) 생분해도 계산방법 : 먼저 mineral substrate와 inoculum 만을 혼합한 blank 용액에 대한 흡광도(B)를 측정하고 초기 시료에 대한 흡광도(T<sub>0</sub>)와 21일 경과 시료의 흡광도(T<sub>21</sub>)를 측정한다. 다음에 Poison 시료 21일 경과 후의 흡광도(P<sub>21</sub>)를 측정하여 아래 계산식에 의해 생분해도를 계산한다.

$$T = (T_{21} - B / T_0 - B) \times 100$$

$$P = (P_{21} / T_0 - B) \times 100$$

$$Biodegradation(\%) = (P - T / P) \times 100$$

이때 초기시료의 생분해도 측정결과 반복재현성은 5%이내이어야 하며 초기시료와 비교용액과의 흡광도는 100 $\pm$ 5% 이내에서 일치해야 한다. 또한 시료오일과 reference oil의 P<sub>21</sub> 값은 80% 이상이어야 한다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3-1. 시료 그리스의 물성분석 결과

대두유, 유채유, 피마자유 등 3종의 식물유와 합성에스테르계 오일로 NPG-지방산 에스테르를 사용하여 4종의 Li-soap 베이스 그리스를 제조하였다. 주도는 NLGI 2등급에 해당되었으며 적점은 200 °C 미만으로 나타났다. 또한 이들 베이스 그리스에 산화방지제, 내마모제, 극압제, 방청제 등을 첨가한 EP 그리스를 제조하고 이들의 물성을 분석하였다. 그 결과 주도가 베이스 그리스에 비해 약간 단단해짐을 알 수 있었으며 적점은 250°C 이상으로 증가하여 열적 물성이 향상됨을 알 수 있었다. 4-ball wear scar로 측정된 내마모성은 WSD가 0.61~0.69mm로 나타났으며 극압성은 200kg으로 나타났으나 피마자유 EP 그리스는 250kg의 우수한 극압성을 보이고 있다.

### 3-2. 생분해도 시험결과

생분해라는 단어의 의미는 유기화학물질이 미생물에 의해 산화분해되어 이산화탄소와 물 및 생성균체로 변하는 과정을 말한다[9]. 유기화학물질의 생분해성은 화학구조에 따라 좌우되며 특히 생체 구성물질인 탄수화물이나 아미노산, 지방산 등의 화학물질은 분해되기 쉽다. 방향족 화합물은 일반적으로 분해되기 어려우나 치환기의 종류에 따라 분해정도가 달라진다[10]. 특히 분자내에 -OH, -COOH, -NH<sub>2</sub>, -CN, -CH<sub>3</sub> 등의 치환기가 있는 방향족 화합물은 분해되기 쉽지만 -SO<sub>3</sub>H, -NO<sub>2</sub>, 할로젠 등이 치환된 경우는 분해되기 어렵다. 또한 직쇄상의 탄화수소는 가지달린 탄화수소에 비해 생분해가 쉽게 되며[11,12] 4급 탄소를 가진 화합물은 생분해가 매우 어렵다. 이와 같이 유기물질의 구조가 생분해도에 미치는 영향은 많은 연구를 통해 밝혀져 있지만 생분해도를 측정하는 시험방법은 사용하는 균종이 정해져 있지 않고 시료량이 매우 소량이며 시험자의 숙련도 및 적용하는 시험방법 등에 따라 재현성이나 반복성 등에 차이가 있다.

일반적으로 유효제의 생분해도 시험방법은 미생물을 이용하여 유효제의 분해시험을 실시한 후 미분해된 유효제의 잔류량을 측정하는 방법과 분해시험 동안에 미생물이 호흡에 소비한 산소량 또는 미생물의 호흡에 의해 발생된 이산화탄소량을 측정하는 3가지 방법으로 대별된다. 국제적으로 인정된 시험방법은 CEC-L-33-A-93법과 OECD Test Guideline에 의한 5가지 시험법 및 ASTM D5864 등이 있다. 본 연구에서 생분해성 평가에 사용한 시험방법은 실험부분에서 기술한 바와 같이 CEC-L-33-A-93법으로서 시료 그리스

50ppm을 활성오니와 함께 혼합하여 21일 동안 진탕한 후 그리스 중에 잔류하는 오일 성분을 유기용매로 추출한 다음 FT-IR로 분석하여 초기 시료의 IR 흡광도값과 비교함으로써 분해정도를 평가하는 방법이다.

#### 3-2-1. 접종물 (inoculum) 종류에 따른 생분해도 시험

오일의 생분해도는 시험에 사용되는 접종물의 질과 종류에 따라 영향을 받게 되므로[13], 생분해도에 미치는 접종물의 영향을 평가하여 적절한 접종물을 선택함과 더불어 시험방법의 반복재현성을 확인하기 위한 목적으로 CEC 시험법에서의 표준오일인 RL110과 RL130을 대상으로 생분해도를 측정하였다. 접종물은 대전시 하수종말처리장의 1차 처리 유출수, 2차 처리 유출수, 활성(반송)오니 및 폭기조내의 슬러지를 취하여 여과를 통해 부유물을 제거한 후 상등액 만을 1mL 취해 미리 준비한 시료오일에 접종하였다.

한편, 상품화되어 있는 접종물로 Bioscience사의 MICROCAT<sup>®</sup>-XR을 입수하여 비교하였다. MICROCAT<sup>®</sup>-XR은 생물학적 처리시설에서 난분해성 유기물을 함유한 하수 처리 시 사용되는 bioformula로 여러 종류의 호기성균과 혐기의 혐기성균이 다양하게 혼합되어 있는 과립상의 분말이다. 본 실험에서는 MICROCAT<sup>®</sup>-XR 2.5g을 취해 증류수 250ml에 녹인 다음 여과지로 여과하여 부유물질을 제거하고 상등액 만을 1mL 취해 접종물로 사용하였다. Table 4에 실험결과를 나타내었다. 하수종말처리장에서 입수한 1차처리 유출수, 2차처리 유출수, 활성(반송)오니 및 폭기조내의 슬러지를 각각 접종물로 사용한 경우에 생분해도에는 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

그러나 MICROCAT<sup>®</sup>-XR을 접종물로 사용한 경우 하수종말처리장에서 채취한 접종물에 비해 박테리아 수가 100배 정도 많음에도 불구하고 RL130의 생분해도 값은 74%로 낮은 값을 보였으며 표준편차값(S)과 변동계수(cv)값도 낮게 나타남을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로부터 MICROCAT<sup>®</sup>-XR 접종물의 경우 활성이 떨어지기는 하지만 전체적으로 비교적 균일한 활성을 갖고 있는 접종물임을 알 수 있다.

윤활제의 생분해도를 평가함에 있어 생분해도 측정치의 오차를 줄이기 위해서는 접종물은 항상 신선한 상태의 것을 사용해야 하며 시험 규격상에는 시험 당일 채취하여 최대 48시간 이내에 사용토록 규정되어 있다. 이러한 환경적 또는 시간적 제약을 고려해 볼 때, 고체분말상태의 접종물인 MICROCAT<sup>®</sup>-XR은 이런 점에서 매우 효과적이라 할 수 있다. 그러나 본 실험결과에서 알 수 있듯이 MICROCAT<sup>®</sup>-XR을 접종물로 사용하는 경우 표준오일의 생분해도 값이 다른 접종물보다 낮게 검출되며 또한 CEC시험법에 명시된 생분해도 값보다 낮게 나오는 문제점이 나타났다. 따라서 국내 환경에 적합하면서 활성이 높고 균일한 활성을 나타내는 생분해 활성균주를 찾기 위해 다음과 같은 연구를 진행하였다.

### 3-2-2. 생분해 활성균주 탐색

본 연구에서 사용한 하수종말처리장 1차 유출수 중 생분해도에 영향을 미치는 활성균주를 찾기 위해 형상(morphology)별로 순수한 박테리아를 분리한 다음 그 중에서 가장 우세한 균주 박테리아 2종을 선택하여 NB (Nutrient Broth) 배지에서 24시간 액체 배양하였다. 이 배양액을 원심분리하고 증류수로 2-3회 세척한 후 이를 접종물로 사

용하여 표준오일 RL130의 생분해도 시험에 적용하였다. 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

우점종 1번과 2번의 경우 생분해도 값이 각각 74.3%와 75.5%로 MICROCAT<sup>®</sup>-XR의 경우와 유사한 생분해도 값을 보였으며 표준편차값(S)과 변동계수(cv)값도 MICROCAT<sup>®</sup>-XR의 경우 보다는 높지만 하수처리장의 슬러지를 사용한 경우 보다는 낮게 나옴을 확인할 수 있었다. 현재 1번종과 2번종 이외에 다른 여러 종에 대한 생분해도 시험도 같은 방법으로 진행 중에 있다. 이처럼, 간단한 배양방법을 통해 순수한 단일균종 배양액을 접종물로 이용하여 만족할만한 수준의 생분해도 값을 얻을 수 있다면 CEC시험법의 단점을 충분히 보완할 수 있을 것으로 판단되며 국내 고유의 생분해도 시험법의 확립이 가능할 것으로 판단된다.

### 3-2-3. EP-greases 의 생분해도 시험

위의 실험결과(Table 4)에서 볼 수 있듯이 하수종말처리장 슬러지를 접종물로 사용하여 실험한 결과 RL130 오일의 경우는 85~90%의 생분해도를 나타내었으며 RL110 오일은 40~45%의 생분해도를 나타내었다. 이와 같은 결과로부터 생분해 오일과 난분해 오일의 분해정도에 뚜렷한 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 실험결과를 바탕으로 식물유 및 합성에스테르 기유에 대한 생분해 시험을 실시하였으며 접종물로는 하수종말처리장의 1차 유출수를 사용하였다. Table 6에 시험결과를 나타내었으며 식물유나 합성에스테르 기유 모두 95% 이상의 우수한 생분해도를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

한편 장암엘에스(주)로부터 제공받은 배

이스 그리스의 생분해 시험을 동일한 방법으로 수행하여 그 결과를 Table 7에 수록하였다. Li-soap 베이스 그리스의 경우 사용하는 식물유의 종류에 따라 생분해도에 큰 차이가 없으며 전반적으로 85% 이상의 생분해도를 나타내었다.

그러나 Table 6의 기유 자체의 생분해도와 비교하면 약 10% 정도 낮은 분해율을 나타내었으며 이는 증주제로 사용한 리튬비누 함량 정도에 해당하는 값으로 판단되어진다. Table 8에는 첨가제를 배합하여 제조한 EP용 그리스의 생분해도 시험 결과를 나타낸 것이다. Table 6에서 본 베이스 그리스와 유사한 80%이상의 생분해율을 보였으며 이는 유럽 규격(기준)에서 정하는 환경친화적 윤활유의 생분해도 기준 즉, 80% 이상 분해율을 만족하는 수준으로 나타났

#### 4. 결론

EP 그리스의 생분해도 평가를 위해 CEC L-33-A-93 시험법을 이용하는데 있어 접종물의 종류에 따른 차이를 확인해 보기 위해 대전시 하수종말처리장의 서로 다른 네 지점에서 채취한 활성오니를 접종물로 사용하여 RL110과 RL130 표준오일의 생분해도를 각각 측정된 결과, 차이는 없는 것으로 나타났다. 그러나 상품화되어 있는 MICROCAT<sup>®</sup>-XR과 하수종말처리장에서 순수분리한 박테리아 우점종의 배양액을 접종물로 사용한 경우에 생분해도 값은 낮게 나오지만 측정치의 오차범위가 좁아 이들이 활성은 약간 떨어지지만 균일한 활성을 가지고 있음을 확인할 수 있었으며 앞으로의 지속적인 연구를 통해 국내 고유의 생분해 평가용 활성균주를 확보할 수 있을 것으로

기대된다.

하수종말처리장의 1차 유출수를 접종물로 사용하여 CEC L-33-A-93 시험법에 의해 대두유, 유채유, 피마자유 및 NPG-에스테르 오일의 생분해도를 평가한 결과 모두 95% 이상의 생분해율을 나타내었으며 이들을 기유로 하여 제조한 베이스 그리스와 EP 그리스는 80%이상의 생분해율을 나타냄을 확인할 수 있었다.

#### 5. 참고문헌

- [1] Product review, "Biodegradable fluids and lubricants", Industrial Lubrication and Tribology, Vol. 48, No. 2, pp.17-26, 1996.
- [2] T.W. Dicken, "Biodegradable greases", Industrial Lubrication and Tribology, Vol. 46, No. 3, pp.3-6, 1994.
- [3] OECD Guidelines. OECD Guidelines for testing of chemicals, Paris, 1993.
- [4] CEC, biodegradability of two-stroke cycle outboard engine oils in water: approved test method CEC L-33-A-93, 1995.
- [5] Dharma R. Kodali, "High performance ester lubricants from natural oils", Industrial Lubrication and Tribology, Vol. 54, No. 4, pp.165-170, 2002.
- [6] Andreas Willing, "Oleochemical esters-environmentally compatible raw materials for oils and lubricants from renewable resources", Fat/Lipid 101, No.6, pp. 192-198, 1999.
- [7] Andreas Willing, "Lubricants based on renewable resources - an environmentally compatible alternative to mineral oil products", Chemosphere, Vol. 43, pp.

89-98, 2001.

[8] Sevim Z. Erhan, Svajus Asadauskas, "Lubricant basestocks from vegetable oils", *Industrial Crops and Products*, Vol. 11, pp. 277-282, 2000.

[9] Gerike, P., "Environmental impact", In: Falbe, J. (Ed.), *Surfactants in Consumer Products*. pp. 450-474. Springer, Berlin, 1987.

[10] Murray, D. W., MacDonald, J. M., White, A. M. and Wright, P. G., "The effect of base stock composition on lubricant oxidation performance", *Petroleum Review*, Vol. 36. 1982.

[11] Perry, F.F., "Microbial metabolism of cyclic alkanes", In: Atlas, R.M. (Ed.), *Petroleum Microbiology*. Macmillan, New York, pp. 61-97, 1984.

[12] Trudgill, P. W., "Microbial degradation of the alicyclic ring. In: Gibson", D.T. (Ed.), *Microbial Degradation of Organic Compounds*, Marcel Dekker, New York, pp. 131-180, 1984.

[13] J. Blok, M. Booy, "Biodegradability test results related to quality and quantity of the inoculum", *Ecotoxicology and Environmental safety*, vol. 8, pp.410-422, 1984

**Table 1. Properties of Base oil**

Parameter	Base Oils			
	Soybean oil	Rapeseed oil	Castor oil	NPG-ester oil
Sp. Gravity (15/4 °C)	0.925	0.924	0.965	0.923
KV (cSt), @40	31.96	35.23	255.1	42.28
VI	225	218	85	207
RI (N <sub>D</sub> <sup>20</sup> )	1.4730	1.4718	1.4779	1.4725
FP (°C)	314	315	296	316

**Table 2. Properties of Base Grease**

Parameter	Base Greases			
	Soybean base grease	Rapeseed base grease	Castor base grease	NPG-ester base grease
Worked Penetration	295	298	272	265
Drop Point (°C)	196	190	184	191
Evaporation (wt%)	0.19	0.15	0.26	0.14
4-Ball Wear (mm)	0.860	0.860	0.870	0.890
Extreme Pressure (kg)	126	126	126	126

**Table 3. Properties of EP-Grease**

Parameter	EP Greases			
	Soybean EP grease	Rapeseed EP grease	Castor EP grease	NPG-ester EP grease
Worked Penetration	266	280	265	265
Drop Point (°C)	264	252	180	252
Evaporation (wt%)	0.14	0.16	0.42	0.22
4-Ball Wear (mm)	0.613	0.610	0.698	0.695
Extreme Pressure (kg)	200	200	250	200
Low Temperature Torque (-30°C) (gf · cm)	1008/943	585/423	1365/683	975/390



**Table 4. Influence of different inoculum on biodegradability of RL110 and RL130**

Test oils	Parameter	Different inoculum				
		first effluent	second effluent	activated sludge	sludge in air tank	MICROCAT®-XR
RL110	Biodegradability (%)	40.1	45.7	41.3	43.0	-
	S *	1.82	1.45	1.70	1.30	-
	cv **	4.55	3.16	4.12	3.02	-
	Bacterial number	$2 \times 10^5$	$1.5 \times 10^5$	$3 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	-
RL 130	Biodegradability (%)	86.9	85.7	91.6	88.5	74.2
	S *	2.74	4.36	2.67	3.00	0.69
	cv **	3.16	5.09	2.92	3.40	0.93
	Bacterial number	$2 \times 10^5$	$1.5 \times 10^5$	$3 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$2 \times 10^7$

\*S : Standard deviation \*\*cv : Coefficient of variation

**Table 5. Influence of different microorganism on biodegradability of RL130**

Test oils	Parameter	Dominant species number	
		No. 1	No.2
RL 130	Biodegradability (%)	74.3	75.5
	S *	1.57	1.33
	cv **	2.11	1.77
	Bacterial number	$1.5 \times 10^8$	$5 \times 10^8$

\*S : Standard deviation \*\*cv : Coefficient of variation

**Table 6. Biodegradability of Base Oils**

Parameter	Base oils			
	Soybean oil	Rapeseed oil	Castor oil	NPG-ester oil
Biodegradability (%)	97.7	98.4	97.1	97.2
S *	0.24	0.25	0.43	0.86
cv **	0.24	0.25	0.44	0.88

\*S : Standard deviation \*\*cv : Coefficient of variation

**Table 7. Biodegradability of Li-Base Greases**

Parameter	Base greases			
	Soybean oil base grease	Rapeseed oil base grease	Castor oil base grease	NPG-ester oil base grease
Biodegradability (%)	86.2	88.3	88.4	89.3
S *	2.02	6.99	2.77	4.07
cv **	2.35	8.54	3.22	4.82

\*S : Standard deviation \*\*cv : Coefficient of variation

**Table 8. Biodegradability of EP-Greases**

Parameter	EP-greases			
	Soybean oil EP grease	Rapeseed oil EP grease	Castor oil EP grease	NPG-ester oil EP grease
Biodegradability (%)	88.2	84.8	83.4	90.0
S *	1.65	1.05	1.01	2.64
cv **	1.87	1.23	1.22	2.93

\*S : Standard deviation \*\*cv : Coefficient of variation