

서로 다른 모양의 가지사슬을 갖는 폴리올에스터 오일의 마모특성(I)

한두희 · 마사부미 마스꼬*

한국화학연구원, *동경공업대학

Wear Characteristics of Polyolester Base Oils Having different Branch Shapes (I)

Du Hee Han and Masabumi Masuko*

Korea Research Institute of Chemical Technology P.O.BOX 107, Yusong, Taejon 305-606, Korea
**Tokyo Institute of Technology Department of Chemical Engineering Meguro-Ku, Tokyo 152-8552, Japan*

ABSTRACT – The lubricating performance of 23 kinds of polyol ester base oils [POEs] having different branch shapes was investigated by using a four ball tribometer under boundary lubrication condition. All the polyol ester base oils used in this study were made up of polyhydric alcohols of two-four valence and normal or branched fatty acids of different carbon number. The wear characteristics of polyol ester base oils are different from those of mineral oil, strongly affected by the branch shapes of fatty acids in their molecules. In particular, the polyol ester base oils having normal fatty acids such as n-octanoic acid, n-nonanoic acid etc. show much better wear performance than POEs having branched fatty acids such as 2-ethylhexanoic acid, 3,5,5-trimethyl hexanoic acid, etc.. As the carbon chain length of normal fatty acids, in case of POEs of normal fatty acids, is increased, their wear rate is decreased and, in case of POEs of branched fatty acids, as the degree of branch of branched fatty acids is decreased, their wear rate is decreased. All the wear results of polyol ester base oils could be reasonably explained by comparing cohesive ability among fatty acid molecules in adsorption film by fatty acids obtained as POEs were decomposed.

Keyword – polyol ester base oils, wear rate, fatty acids, four-ball tribometer, adsorption.

1. 서 론

폴리올에스터 오일은 원유로부터 정제된 광유계 윤활기유 뿐만아니라 기존의 모노에스터 및 이염기산에스터 등과 비교하여 열 및 산화에 대한 안정성이 매우 우수한 것으로 알려져 있다. 이는 폴리올에스터 오일의 분자구조가 기존의 모노에스터 및 이염기산에스터 오일의 분자구조와 서로 구별되는 관점에서 설명 된다. 먼저, 모노에스터 및 이염기산에스터의 경우는 알콜기의 β 위치에 수소원자를 가지므로 이 수소가 분자내의 카르복실기의 산소와 약한 수소결합을 하여 6-고리의 천

이상태를 형성하므로 이온적으로 끊어지기 쉬운 구조이다. 그러나 폴리올에스터 오일은 네오펜틸그리콜(NPG), 트리메틸올프로판(TMP), 펜타에리스리톨(PE)등과 같은 알콜기의 β 위치에 수소원자가 없는 다가알콜과 1가 지방산에 의해 합성된 에스터화합물이므로 분자내의 카르복실기의 산소와 6-고리천이상태가 형성되지 않으며 따라서 열에 대한 안정성이 매우 우수하다. 이와 같이 폴리올에스터 오일은 우수한 열 및 산화에 대한 안정성으로 인해 고급 승용차용 엔진오일 및 항공기유등과 같이 고온에서의 산화안정성이 크게 요구되는 분야에 사용 되어 왔다[1-2]. 그리고 폴리올에스터 오일은 분자내에 전기음성도가 큰 산소원자들을 포함하므로 높은 극성을 나타내며 따라서 오일중의 산화생성물인 슬러지의

†주저자 · 책임저자 : dhhan@pado.kriict.re.kr

분산능력이 우수하고 첨가제들에 대한 용해성이 우수하다는 장점도 갖는다. 그러나 폴리에스테르 오일의 첨가제들에 대한 우수한 상용성은 오히려 내마모 첨가제들에 의한 마모방지 효과를 감소시키는 원인으로 작용하며 따라서 폴리에스테르 오일과 같은 극성기유에 내마모첨가제를 첨가하여 마모를 최소화 하기 위해서는 많은량의 첨가제를 사용해야 한다[3-4]. 뿐만아니라 폴리에스테르 오일은 에스터화합물 특유의 흡습성 때문에 공기중으로 부터 수분을 흡수하여 윤활 시스템 내부의 산에 의해 가수분해가 일어날 가능성이 있고, 이로 인해 윤활유로서의 성질을 잃어버릴 염려가 있다는 것 등이 단점으로 지적되고 있다. 그럼에도 불구하고, 폴리에스테르 오일은 특히, 최근 20년간, 많은 연구자들에 의해 지구환경 보전을 위한 환경 친화적인 합성 윤활기유로서 인정되어 주목 받아 왔다. 즉, 1987년 몬트리올에서 오존층의 보호를 위하여 기존냉매의 사용을 규제하는 의정서가 채택된 이후, 새로운 냉매인 HFC-134a를 사용하는 콤퓨레서 시스템을 위한 냉동기유로서 폴리에스테르 오일이 사용되게 되었고[5-8] 1992년 6월에 브라질의 리오데자네이로에서 개최된 UN환경개발회의(UNCED) 이후에는, 수질과 토양의 오염을 방지하기 위한 생분해성 윤활기유로서도 폴리에스테르 오일이 사용될 것으로 기대된다[9-13].

본 연구에서는 서로 다른 모양의 가지사슬을 갖는 23종의 폴리에스테르 오일에 대하여 마모시험을 수행하였다. 마모시험은 4-ball tribometer를 사용하였으며, 마모시험 결과는 각각의 폴리에스테르 오일의 분자구조의 차이가 마모에 미치는 영향의 관점에서 서로 비

교 되었다.

2. 실험

2-1. 마찰시험

직경 8.73 mm의 bearing steel(SUJ2) ball을 사용한 four-ball tribometer를 이용하였다. 축하중은 289 N (29.5 Kgf), 속도는 0.134 m/s, 온도 50°C에서 실험하였다. 1회의 마찰시간은 30 min으로 하고 동일한 조합의 ball을 사용하여 연속적으로 10회, 총 5시간 동안 마찰시험을 수행하였다. 매 30분마다 wear scar를 측정하고 측정된 wear scar로부터 기하학적으로 wear volume을 계산하여 마모진행 곡선을 얻었다. 그리고 각각의 마모진행 곡선의 기울기로부터 wear rate를 구하였다[14-15].

2-2. 시료유의 구조 및 물성

본 연구에서 사용한 폴리에스테르 오일은 다가알콜로서 2가 알코올인 네오펜틸그리콜(NPG), 2-부틸에틸프로판그리콜(BEPG), 2,4-디에틸펜탄디올(DEPD)과 3가 알코올인 트리메틸올프로판(TMP), 4가 알코올인 펜타에리트리톨(PE) 등을 원료로 사용하였다. 그리고 원료 지방산으로는 분기지방산의 경우, 2-ethylpentanoic acid와 2-methylhexanoic acid의 혼합물(iC7), 2-ethylhexanoic acid(iC8), 3,5,5-trimethylhexanoic acid(iC9)를 사용하였고, 직쇄지방산으로서는 n-octanoic acid(nC8), n-nonanoic acid(nC9), n-decanoic acid(nC10) 등을 사용하였다. 다음의 Table 1에는 폴리에스테르 오

Table 1. Molecular structures of polyhydric alcohols and fatty acids used as raw material for polyolester base oils

POLYHYDRIC ALCOHOL	STRUCTURE
2-Butylethylpropanediol (BEPG)	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C}(\text{CH}_2\text{OH})_2\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
2,4-Diethylpentanediol (DEPD)	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}(\text{CH}_2\text{OH})\text{-CH}_2\text{-CH}(\text{CH}_2\text{OH})\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
Neopentylglycol (NPG)	$\text{CH}_3\text{-C}(\text{CH}_2\text{OH})_2\text{CH}_3$
Trimethylolpropane (TMP)	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C}(\text{CH}_2\text{OH})_3$
Pentaerythritol (PE)	$\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_4$
FATTY ACID	STRUCTURE
Octanoic acid (nC8)	$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_6\text{-CH}_3$
Nonanoic acid (nC9)	$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_7\text{-CH}_3$
Decanoic acid (nC10)	$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_8\text{-CH}_3$
Mixtures of 2-ethylpentanoic acid 17.8% and 2-methylhexanoic acid 82.8% (iC7)	$\text{HOOC-CH}(\text{CH}_2\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ $\text{HOOC-CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
2-Ethylhexanoic acid (iC8)	$\text{HOOC-CH}(\text{CH}_2\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
3,5,5-Trimethylhexanoic acid (iC9)	$\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{-C}(\text{CH}_3)_3$

일의 원료로 사용된 다가알콜 및 지방산의 구조를 나타내었다. Table 1의 다가알콜과 지방산에 의해 합성된 각각의 폴리올에스터 오일은 다음과 같은 방법으로 코드화 하여 기술하였다. 예를들어 다가알콜로서 펜타에리스리톨(PE)을 사용하고 지방산으로서 3,5,5-trimethylhexanoic acid(iC9)를 사용하여 얻어진 4가의 폴리올에스터 화합물은 PE-iC9과 같이 표기하였다. 그리고 수소화정제 파라핀계 광유로서 60 N, 150 N, 500 N의 탄화수소계 윤활기유와 이들의 혼합물인 Mix-A(60 N:150 N=1:1), Mix-B(150 N:500 N=2:1), Mix-C(150 N:500 N=1:2)을 폴리올에스터 오일과 비교하기 위하여 시료유로서 사용하였다. 다음의 Table 2에는 본연구에서 사용한 23종의 폴리올에스터 오일과 광유의 점도를 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 폴리올에스터 오일의 마모특성

다음의 Fig. 1에는 본실험에 의해 얻어진 마모진행 곡선의 전형적인 예로서 BEPG와 nC8, nC9, nC10, iC8, iC9에 의해 합성된 2가 에스터오일의 마모시험결과를 나타내었다. Fig. 1에서 보는 바와 같이, 동일한 다가알콜에 의해 합성된 폴리올에스터 오일이라 하더라도 마모는 지방산의 구조에 따라 크게 다르다는 것을 확인 할 수 있다.

다음의 Fig. 2에는 광유인 60 N, 150 N, 500 N과 이들의 혼합에 의해 제조된 Mix-a(60 N:150 N=1:1), Mix-b(150 N:500 N=2:1), Mix-c(150 N:500 N=1:2) 시료유 그리고 11종의 폴리올에스터 오일에 대한 마모율

Table 2. List of polyolester base oils used as sample oils

SAMPLE	CODE	VISCOSITY (cSt)	
		40°C	100°C
Neopentyl glycole di n-decanoate	NPG-nC10	10.48	2.98
Neopentyl glycole di n-nonanoate	NPG-nC9	8.49	2.58
Neopentyl glycole di n-octanoate	NPG-nC8	6.88	2.21
Neopentyl glycole di 3,5,5-trimethyl hexanoate	NPG-iC9	12.93	3.16
Neopentyl glycole di 2-ethylhexanoate	NPG-iC8	7.38	2.05
2-Butylethylpropane diol di n-decanoate	BEPG-nC10	15.74	3.76
2-Butylethylpropane diol di n-nonanoate	BEPG-nC9	13.35	3.32
2-Butylethylpropane diol di n-octanoate	BEPG-nC8	11.13	2.88
2-Butylethylpropane diol di 3,5,5-trimethyl hexanoate	BEPG-iC9	23.39	4.12
2-Butylethylpropane diol di 2-ethylhexanoate	BEPG-iC8	13.69	2.94
2,4-Diethylpentane diol di n-decanoate	DEPD-nC10	13.72	3.59
2,4-Diethylpentane diol di n-nonanoate	DEPD-nC9	11.5	3.14
2,4-Diethylpentane diol di n-octanoate	DEPD-nC8	9.57	2.75
2,4-Diethylpentane diol di 3,5,5-trimethyl hexanoate	DEPD-iC9	19.25	3.94
Trimethylol propane tri n-octanoate	TMP-nC8	19.82	4.53
Trimethylol propane tri 3,5,5-trimethyl hexanoate	TMP-iC9	51.52	6.92
Trimethylol propane tri 2-ethyl hexanoate	TMP-iC8	24.27	4.145
Trimethylol propane tri 2-methylhexanoate	TMP-iC7	14.55	3.196
Pentaerythritol tetra n-nanoate	PE-nC9	30.24	6.08
Pentaerythritol tetra n-octanoate	PE-nC8	24.37	5.19
Pentaerythritol tetra 3,5,5-trimethyl hexanoate	PE-iC9	112.9	11.41
Pentaerythritol tetra 2-ethylhexanoate	PE-iC8	47.6	6.55
Pentaerythritol tetra 2-methylhexanoate	PE-iC7	26.00	4.65
Mineral oil (60 N)	MO	7.953	2.246
Mineral oil (150 N)	MO	31.04	5.353
Mineral oil (500 N)	MO	88.35	10.78

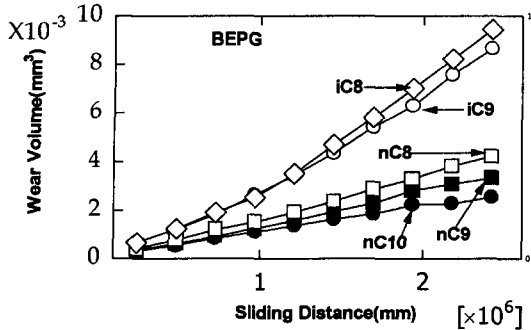


Fig. 1. Wear results of BEPG-iC9 as a typical example.

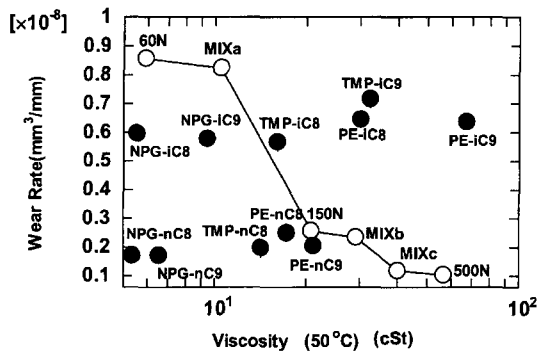


Fig. 2. Comparison of the wear characteristics between polyolester oil and mineral oil.

을 50°C에서의 점도에 대하여 도시하였다.

Fig. 2로부터, 광유의 경우는 각각의 시료유의 점도가 증가함에 따라 마모율이 감소한다. 일반적으로 경계윤활영역에서의 마모는 오일의 점도의 영향은 적고, 기유 혹은 첨가제분자와 마찰면과의 상호작용, 즉, 기유 및 첨가제분자가 마찰면에 물리, 화학적으로 흡착되어 형성된 유막의 특성에 의해 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 그러나 광유와 같이 다른 관능기를 포함하지 않고 탄화수소만으로 이루어진 매우 복잡하고 다양한 구조의 혼합물인 경우는 마찰면과의 상호작용의 때, 기유분자가 마찰면에 물리, 화학적으로 흡착되어 형성된 유막이 어떤 일정한 구조를 갖지 않는 무정형(amorphous)의 유막이라고 생각할 수 있다. 따라서 동일한 조성에 의한 광유라면 이들의 분자구조가 마모에 미치는 영향은 서로 상쇄되어 단순히 오일의 점도의 차이에 의해 영향을 받는 것으로 생각할 수 있다. 그러나 폴리올레스터 오일의 마모는 점도와의 상관성이 거의 보이지 않으며, 폴리올레스터 오일을 구성하고 있는 다가알콜 및 지방산의 구조에 따라 마모성능이 크게 다

르다는 것을 확인할 수 있다. 결국, 폴리올레스터 오일의 마모는 광유와는 다른 메커니즘을 통하여 진행되고 생각된다. 본 연구에서는 폴리올레스터 오일을 구성하는 지방산의 분자구조에 따른 마모성능의 차이를 비교하였다. 위의 Fig. 2로부터 확인할 수 있는 마모결과와 현저한 차이는 직쇄지방산에 의한 폴리올레스터 오일은 분기지방산에 의한 폴리올레스터 오일 보다 매우 우수한 마모성능을 나타내며, 또 분기지방산에 의한 폴리올레스터 오일들 중에서는 오히려 점도가 높은 PE-iC9과 같은 폴리올레스터 오일의 경우가 마모율이 크다는 것이다. 이와같은 폴리올레스터 오일 특유의 마모성능을 해석하기 위하여 먼저, 직쇄지방산 및 분기지방산의 차이에 따른 마모성능의 차이, 직쇄지방산의 길이의 차이에 따른 마모성능의 차이, 분기지방산의 분기도의 차이에 따른 마모성능의 차이등을 고찰 하였다.

3-2. 직쇄지방산 및 분기지방산의 차이에 따른 폴리올레스터 오일의 마모

다음의 Fig. 3에는 2가~4가의 다가알콜을 사용하고 직쇄지방산으로서 nC8 및 nC9, 분기지방산으로서 iC8 및 iC9을 사용하여 합성된 각각의 폴리올레스터 오일의 마모특성을 서로 대비시켜 비교하였다.

Fig. 3에서 보면, 이미 언급한 바와 같이 분기지방산에 의해 합성된 NPG-iC8, NPG-iC9, BEPG-iC8, DEPDI-C9, TMP-iC8, PE-iC8, PE-iC9의 마모율은 같은 종류의 다가알콜과 동일한 탄소수의 직쇄지방산에 의해 합성된 NPG-nC8, NPG-nC9, BEPG-nC8, DEPDI-nC9, TMP-nC8, PE-nC8, PE-nC9의 마모율 보다 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 먼저, 마찰표면에 위의 각 폴리올레스터 오일의 분자가 흡착된

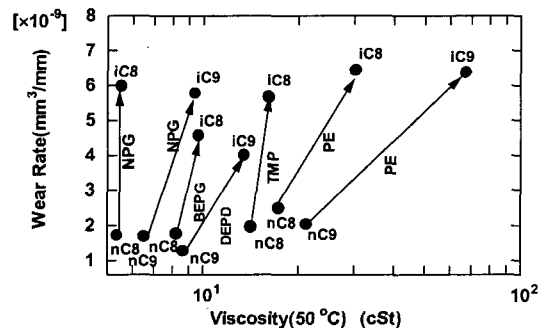


Fig. 3. Comparison of the wear characteristics among polyolester oils of branched fatty acid and straight fatty acid.

후, 트리보에너지를 받아 열적으로 혹은 가수분해등에 의해 폴리올에스터 오일의 각 분자들이 분해되는 가능성을 생각할 수 있다. 이때 분해된 폴리올에스터 오일은 각각의 지방산과 다가알콜을 생성하게 되며 이과정에서 생성된 지방산들의 카르복실기의 산소가 마찰면에 흡착되어 지방산흡착막을 형성하고, 이 지방산흡착막이 마모를 방지하는 역할을 담당하는 것으로 생각할 수 있다. 다시 말하면, 폴리올에스터 오일이 분해되어 생성된 지방산들이 흡착되어 이루어진 지방산흡착막의 마모방지능력에 따라 마모성능이 달라진다. 여기서 지방산흡착막의 마모방지능력은 다음과 같은 설명에 의해 구별된다. 즉, 가지사슬이 없는 nC8 및 nC9 지방산의 경우는 분기도(degree of branch)가 높은 iC8 및 iC9 지방산보다 강한 흡착막을 형성시킬 수 있다고 생각된다. 그 이유로서는 nC8 및 nC9 지방산의 경우는 지방산 분자들끼리 서로 응집하는 작용에 대하여 입체장애를 적게 받으므로 흡착된 마찰표면에서의 분자간의 응집력이 강하다. 즉, 직쇄의 사슬들은 van der waals 힘에 의해 서로 쉽게 밀착될 수 있으므로 외부의 하중에 대하여 강한 지방산흡착막을 형성시킬 수 있게 되고 따라서 iC8 및 iC9 지방산에 의한 폴리올에스터 오일보다 마모성능이 우수하다고 설명할 수 있다.

3-3. 직쇄지방산의 길이의 차이에 따른 폴리올에스터 오일의 마모

다음에는 직쇄지방산의 길이의 차이에 따른 폴리올에스터 오일의 마모결과를 서로 비교하기 위하여 Fig. 4에 NPG-nC8, NPG-nC9, NPG-nC10과 BEPG-nC8, BEPG-nC9, BEPG-nC10, DEPD-nC8, DEPD-nC9, DEPD-nC10의 각각의 오일에 대한 마모율을 50°C의 점도에 대하여 도시한 결과를 나타내었다.

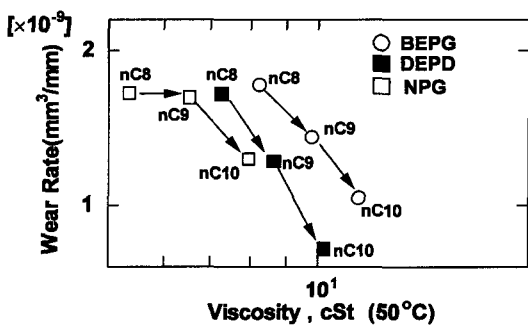


Fig. 4. Wear results of polyolester oils having normal fatty acids of different chain length.

Fig. 4로부터 동일한 다가알콜의 폴리올에스터 오일은 직쇄지방산의 길이가 길어짐에 따라 마모가 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 이와 같은 현상도 앞서 설명 하였듯이 트리보에너지를 받아 폴리올에스터 오일이 분해되어 생성된 지방산에 의해 만들어진 흡착막이 각각의 지방산의 탄소수가 증가하면서 흡착분자들 사이의 van der waals 힘에 의한 응집력이 커지므로 보다 강한 흡착막이 형성되어 결국 우수한 마모방지능을 나타내게 되었다고 설명 할 수 있다. 즉, 직쇄지방산의 길이의 차이에 의한 폴리올에스터 오일의 마모는 nC8 < nC9 < nC10의 순서로 길이가 증가함에 따라 감소한다. 한편, 이와같은 현상은 Jahanmir에 의해서도 확인된 바 있다[16]. 일킬기의 길이가 서로 다른 직쇄 지방산을 광유중에 첨가하여 마찰시험을 수행한 결과 알킬기가 긴 사슬의 지방산 일수록 효과적으로 마모를 줄일 수 있다는 것이 보고되어 있다. 물론 이 경우는 폴리올에스터 오일의 분해생성물로서의 지방산이 아니고 처음부터 지방산을 사용하여 얻어진 실험결과 이지 만 본연구의 실험결과와 잘 일치한다.

3-4. 분기지방산의 분기도의 차이에 따른 폴리올에스터 오일의 마모

다음에는 분기지방산들에 의해 합성된 각각의 폴리올에스터 오일에 대하여 지방산의 분기도에 따른 마모 현상을 조사하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행 하였다. TMP-iC7, TMP-iC8, TMP-iC9 및 PE-iC7, PE-iC8, PE-iC9등과 같은 분기지방산으로 합성된 폴리올에스터 오일에 각각의 원료지방산으로 사용된 iC7, iC8, iC9 지방산을 각각 10 mmol/L~100 mmol/L가 되도록 첨가하여 제조된 시료유의 마모진행곡선을 얻고 이로부터 마모율을 구하여 50°C 점도에 대하여 도시한 결과를 각각 Fig. 5(TMP의 경우)와 Fig. 6(PE

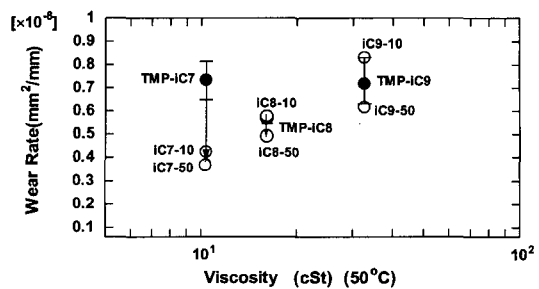


Fig. 5. Wear results obtained by adding fatty acid used as raw material to TMP-polyolester oils.

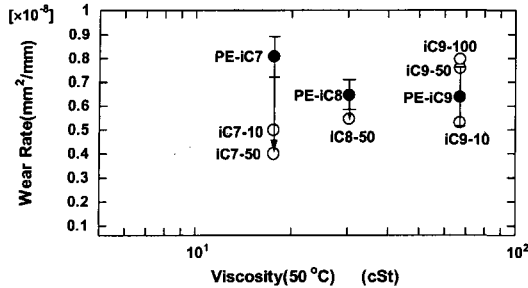


Fig. 6. Wear results obtained by adding fatty acid used as raw material to PE-polyolester oils.

의 경우에 비교하였다.

먼저, Fig. 5로부터, TMP-iC9의 경우는 iC9의 농도를 10 mmol/L부터 50 mmol/L까지 증가시켜 가면서 마모율을 조사한 결과 iC9의 농도증가에 따른 마모저감효과가 나타나지 않았고 오히려 마모가 증가하는 경향을 보인다. 그러나 TMP-iC8의 경우는 iC8의 농도를 10 mmol/L부터 50 mmol/L까지 증가시키면 약간의 마모저감효과를 나타낸다. 한편, TMP-iC7의 경우는 iC7 지방산의 농도를 10 mmol/L부터 50 mmol/L로 증가시키며 따라 꽤 큰 마모저감효과를 나타낸다. 이와 같은 현상은 Fig. 6의 PE에 의한 폴리올레스터들의 경우도 동일한 현상을 나타낸다. 따라서 위의 Fig. 5와 Fig. 6으로부터 분기지방산의 흡착에 의해 생성된 각각의 흡착막의 마모저감효과는 $iC9 < iC8 < iC7$ 의 순서로 증가한다고 생각할 수 있다. 이와 같은 현상도 이미 설명한 바와 같이, 열 및 가수분해등에 의해 폴리올레스터가 분해되어 생성된 지방산흡착막의 흡착분자들 사이의 응집력의 차이로서 설명할 수 있다. 이와 같은 개념을 앞에서 설명한 직쇄지방산의 길이의 차이에 의한 폴리올레스터 오일의 마모에 관한 설명과 함께 알

기 쉽게 다음의 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7로부터 알 수 있는 바와 같이, iC9의 지방산은 3-위치와 말단부의 5-위치에 모두 3개의 메틸그룹 치환체를 갖는다. 따라서 구조적으로 말단부위가 매우 bulky하므로 서로 밀착하여 강한 흡착막을 형성하기 어려운 구조임을 쉽게 확인할 수 있다. 그러나 2-메틸헥실산이 주성분인 iC7산에 의한 폴리올레스터의 경우는 2-위치에 1개의 메틸그룹 치환체만을 가지므로 iC9에 의한 폴리올레스터 뿐만 아니라 2-위치에 1개의 에틸그룹 치환체를 가지는 iC8에 의한 폴리올레스터를 보다 쉽게 흡착막을 형성할 수 있을 것으로 기대된다. 결국, 분기지방산에 의한 마모저감효과는 $iC9 < iC8 < iC7$ 의 순서로 증가하게 되며 이는 마찰면에서 지방산들이 서로 응집하기 쉬운, 즉, 입체장애효과가 적어지는 순서와 일치하며, 또 Fig. 5와 Fig. 6의 실험결과와도 잘 일치한다. 한편 Fig. 7의 직쇄지방산에 의한 폴리올레스터 오일의 경우와 함께 비교하면 직쇄지방산의 길이가 증가할수록 동시에 분기지방산에 의한 폴리올레스터 오일의 경우는 분기도가 적을수록 마모가 적어지며 이는 지금까지 기술한 각각의 폴리올레스터 오일의 마모시험 결과와 모두 잘 일치한다.

4. 결 론

경계윤활영역에서의 폴리올레스터 오일의 마모는 점도와는 거의 상관성이 없고 폴리올레스터 오일을 구성하고 있는 지방산의 분자구조에 가장 크게 의존한다. 즉, 직쇄지방산에 의한 폴리올레스터 오일은 분기지방산에 의한 폴리올레스터 오일 보다 마모성능이 매우 우수하다. 그리고 직쇄지방산에 의한 폴리올레스터 오일 중에서는 지방산의 길이가 길수록 마모에 유리하며, 분기지방산에 의한 폴리올레스터 오일 중에서는 지방산의 분기도가 적을수록 마모에 유리하다. 이는 폴리올레스터 오일이 마찰면에 흡착된 후, 열 및 가수분해에 의해 분해되고 이 과정에서 생성된 지방산 분자들이 마찰면에 흡착되어 서로 응집하므로서 형성되는 흡착막의 마모방지능력에 따라 마모성능이 결정되는 것으로 이해될 수 있다.

참고문헌

1. Shizuka, Nobuhiko, "Fatty acid ester for synthetic lubricants", *トライボロジスト*, 38, No.1, 28-31,

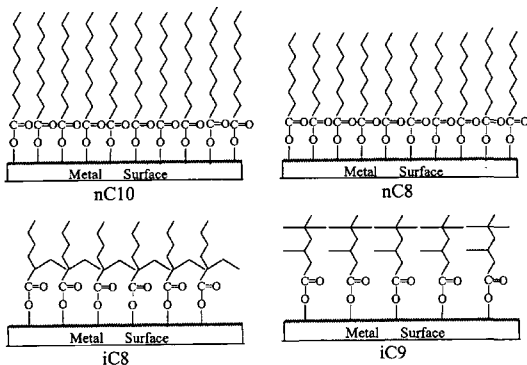


Fig. 7. The structure of adsorption layer of fatty acids.

- (1993).
2. Ripple, D.E., Fuhrman, J.F., "Performance Comparisons of Synthetic and Mineral Oil Crankcase Lubricant Base Stocks," *Jour. of Synth. Lubri.*, 6, 3, pp 209-232 (1989).
 3. D.H. Han, M. Masuko, "Elucidation of the antiwear performance of several organic phosphates used with different polyol ester base oils from the aspect of interaction between additive and base oil", *STLE/Tribology Transactions*, Vol.41, No.4, p600-604 (1998).
 4. D.H. Han, M. Masuko, "Comparison of antiwear additive response among several base oils of different polarities", *STLE/Tribology Transactions*, Vol.42, No.4, p902-906 (1999).
 5. Sundaresan, S.G. and Finkenstadt, W.R., "Polyalkylene Glycol and Polyol Ester Lubricant Candidates for Use with HFC-134a in Refrigeration Compressors" *ASHRAE Trans.*, 98, 1, pp 796-803 (1992).
 6. Johnston, G.E., Shim, J. and Brechot, P.D., "Refrigeration Oils for Use with non-CFC, non-Ozone-Depleting Refrigerants-Key Performance and Retrofitting Issues," *Jour. of Synth. Lubri.*, 11, 4, pp234-265 (1995).
 7. Remigy, J.C., Nakache, E., Brechot, P.D., "Structure effect of refrigeration polyolester oils for use in HFC-134a compressors" *Synth. Lubr.*, 14(3), 237-247 (1997).
 8. Takaishi, Y., Oguchi, K., "Solubility of the solutions of HFC-134a and polyolester base oil" *Sci. Tech. Froid*, 141-148 (1993).
 9. Asadauskas, S.J., Perez, J.M., Duda, J.L., "Suitability of basestocks for biodegradable lubricants", *Prepr.-Am. Chem. Soc., Div. Pet. Chem.*, 42(1), 246-249 (1997).
 10. Novick, N.J., Mehta, P.G., McGoldrick, P.B., "Assessment of the biodegradability of mineral oil and synthetic ester base stocks, using CO₂ ultimate biodegradability test and CEC-L-33-T-82" *Synth. Lubr.*, 13(1), 19-30 (1996).
 11. Randles, S.J., Wright, M., "Environmentally considerate ester lubricants for the automotive and engineering industries" *Synth. Lubr.*, 9(2), 145-161 (1992).
 12. Murr, Torsten, "Comparison of various rapidly biodegradable lubricants" *Mineraloeltechnik*, 37(7), 17pp (1992).
 13. 北村奈美: "Biodegradable lubricants" *トライボロジスト*, 38, No.5, 427-433 (1993).
 14. Masuko, M., Hirose, S. and Okabe, H., "Boundary Lubrication Characteristics of Polyol Ester-Class Synthetic Lubricants Applied to Silicon Nitride at High Temperature up to 280°C," *Lubr. Eng.*, 52, 8, pp641-647 (1996).
 15. Masuko, M., Takeshita, N. and Okabe, H., "Evaluation of Anti-wear Performance of PFPE-Soluble Additives under Sliding Contact in High Vacuum," *Trib. Trans.*, 38, 3, pp679-685 (1995).
 16. S. Jahanmir : *Wear*, 102, pp 331 (1985).