

# 공업용 기어유에 있어서 첨가제의 역할

김 주 항  
한전유화공업주식회사



●1942년생.  
●화학공학에서 석유화학을 전공했으며, 윤활공학과 관련 연료 및 윤활유에 대하여 관심을 가지고 있다.

## 1. 머리말

어떤 기계의 윤활에는 기유(base oil)만으로도 요구성능이 만족되지만, 대부분의 기계들은 기유만으로 요구성능을 만족시키는 것은 불가능하기 때문에 첨가제를 이용하여 기계성능에 만족할 수 있도록 윤활유가 제조된다.

한편 윤활유 첨가제의 응용에는 윤활유의 사용목적, 용도나 요구 성능은 물론 기유의 품질에 있어서도 충분한 파악이 이루어진 후 행하지 않으면 안 된다.

따라서 이 글에서는 표제에 대한 이해 인식을 깊게 하기 위하여 공업용 기유에 사용되는 첨가제 뿐만이 아닌 기유의 사용목적, 유형(type), 요구성능 및 기유에 대하여 간략하게 해설하여 보기로 하겠다.

## 2. 기어유의 분류

산업용 기어(gear) 장치에 있어서 기어유(gear oil)는 사용 기어의 형식 제원이나 사용조건이 광범위하게 분류되고 있지만, 일반적으로 표 1에 나타난 바와 같은 다섯 종의 기어유가 사용되고 있다.

또한 이러한 다섯 종의 유형 가운데에서 한국공업규격(KS M 2127)<sup>(1)</sup>중 공업용 기어유를 살펴보면 표 2와 같다.

따라서 표 2에서 보는 바와 같이 한국공업규격에서 규정된 경우는 소위 RO형이라 할 수 있는 1종과 EP형이라고 할 수 있는 2종만을 규정하고 있다.

또한 RO형의 경우, 기어유 표시의 상품은 그다지 많지 않으며, 첨가 터빈유(turbine oil)나 베어링유(bearing oil)가 대응되고 있다.

한편 워엄 기어에 대하여서는 콤파운드형이나 합성유형의 오일도 사용되고 있지만 일반적인 경우는 EP형의 기어오일이 많이 사용되고 있다.

이 밖에 특히 하중조건이 심한 경우, 자동차용 기어유를 전용하는 경우도 있다. 다만 항유화성 불량을 위해 수분이 혼입되는 장치에는 사용할 수가 없다.

## 3. 기어유의 사용목적

기어유는 각종 산업기계의 기계장치 윤활을 목적으로 사용하는 공업용 기어유와 자동차를 비롯한 철도차량 등의 기어장치 윤활에 사용되는 자동차용 기어유로 대별하고 있으나 어느 것이든 간에 기어의 형식에 따른 하중, 속도, 온도, 급유법 등 사용조건에 대하여 기어유가 사용되게 된다. 따라서 기어유의 사용목적<sup>(2)</sup>을 요약하면 다음과 같다.

○윤활효과

기어의 소부를 방지하고 마찰, 마멸을 저

표1 AGMA에 의한 공업용 기어유의 분류

분 류	종 류	적 요
*밀폐 기어용	RO	광유 기재에 녹방지제, 산화방지제를 첨가한 것
	EP	광유 기재(base)에 극압제를 첨가한 것 극압제는 황 및 인계임**
	복합유 (compound)	광유 기재에 3~10%의 지방유 또는 합성지방유를 첨가한 것 일반 웜 기어(worm gear)용
	합성유	디에스테르(diester), 폴리글리콜(polyglycol) 및 합성 탄화수소계로 서 특수운전 조건용, 웜 기어
***개방 기어용	RO	광유 기재에 녹방지제, 산화방지제를 첨가한 것
	EP	광유 기재에 극압첨가제를 첨가한 것, 극압첨가제는 나프텐 (naphthene)산 염 또는 황, 인계(系)
	잔사 복합유 회석	고농도의 광유 또는 극압유(EP oil)에 휘발성 용제를 가하여 작업 성을 용이하게 한 것

\* AGMA 250.03, May, 1972, 250.04 Sept., 1981.

\*\* AGMA 250.03에는 납(Pb)계도 인정하고 있지만, 실체는 황-인계가 되고 있다.

\*\*\* AGMA 251.02 Nov., 1974

표 2 한국 규격의 공업용 기어유 분류

종류	점도(그레이드)	용 도
1중	ISO VG 32	주로 일반기계의 비교적 경하중인 밀폐기어에 사용 한다.
	46	
	68	
	100	
	150	
	220	
	320	
	460	
2중	ISO VG 68	주로 일반기계, 압연기 등 의 중(中) 및 중(重)하중인 밀폐기어에 사용한다.
	100	
	150	
	220	
	320	
	460	
680		

감(低減)한다.

- 냉각효과  
기어로에서 발생하는 열을 저감시킨다.
- 충격완화  
기어간의 충격을 완화하고 소음, 진동을  
저감한다.
- 부식방지  
기어의 부식과 녹 발생을 방지한다.
- 이물제거  
피치면(pitch surface)으로부터 마멸분이나  
혼입이물 등을 배제시킨다.

#### 4. 기어유의 요구성능

산업용 기어장치에는 이미 기어유의 분류에서 살펴보았듯이 다섯 종의 형태가 사용되고 있다. 이는 기어장치나 사용조건에 의해 기어에 요구되는 성상이나 성능항목이 다르기 때문에 같은 요구의 항목이라 할지라도 내용이나 레벨(level)이 다르다는 것을 의미하게 된다.

따라서 공업용 기어유에 대한 주된 요구성능이나 성능면을 간추려 보면 다음과 같다.

- 점도 및 점도지수  
운전온도에서 피치면, 기타 마찰면에 오일을 공급하여 유막형성을 보증하는 적절한 점도.
- 저온유동성  
예상되는 최저 운전개시 온도에서 오일의 공급이나 순환을 보증하는 적당한 저온 유동성.
- 내하중성  
고하중, 충격하중 조건하에 기어면의 소부를 방지하여 마찰, 마멸을 감소시키는 특성.
- 열 및 산화안정성  
고온 및 오일 교반하에 오일의 산화를 극력(極力) 억제하여 오일의 사용기간을 연장시키는 특성.
- 녹방지성  
수분, 증기, 습기(濕氣)하에 기어, 베어링 등의 녹을 방지시키는 특성.
- 부식방지성  
기어나 베어링 등을 부식시키지 않는 특성.
- 항유화성  
혼입 수분의 급속한 분리를 보증하며 오일의 유화를 방지하는 특성.
- 소포성  
탱크(tank), 기어 케이스(gear case) 내에서 과도(過度)한 포립(泡立)을 방지하는 특성.

- 제품에 따른 적당한 점도를 가질 것.
- 점도지수가 높을 것.
- 열, 산화안정이 좋을 것.
- 잔류탄소가 적을 것.
- 인화점이 높을 것.
- 유동점이 낮을 것.
- 색이 양호할 것.
- 첨가제의 용해성이 양호할 것.
- 첨가제의 첨가효과가 양호할 것.

### 5.1 광유계

광유계 윤활기유는 일반원유를 상압증류하여 얻어지는 잔사유로부터 각종 공정을 경유하여 만들어지고 있지만, 이에 제조공정은 원유의 종류나 윤활기유의 요구 품질 등에 따라 다르다. 따라서 품질에 대한 정제 장치의 주된 역할을 살펴보면 표 3과 같다. 정제유는 라이트(light), 헤비 뉴트럴(heavy neutral)과 브라이트 스톡(bright stock) 등으로 구분하고 있으며 이러한 기유는 각 용도에 의한 요구점도에 따라 각각 조합하여 윤활유를 제조하고 있다. 또한 조성에 있어서는 탄화수소와 비탄화수소로 대별하게 되는데, 탄화수소는 파라핀을 비롯한 나프텐 및 방향족으로 구분시키고 있으나 탄화수소가 많기 때문에 이성체(異性體)의 수가 많고, 한편 분자구조도 복잡하기 때문에 개개의 분자구조와 양을 아는 것은 일반적으로 불가능하다. 따라서 *n-d-m* 환(環) 분석인자액체 크로마토그래프(chromatograph)에 의한 그룹별 유형분석이 이루어지고 있다.

## 5. 기어유의 선정

공업용 기어유의 성능은 일반 윤활유와 같이 기유의 품질에 따라서 좌우된다. 기유 종류로서는 광유계를 비롯하여 합성유계, 동식물유계 및 혼합유계가 있지만 공업용 기어유의 기유 선정은 광물계와 합성유계가 사용되고 있다. 따라서 이러한 기유는 일반적으로 다음과 같은 품질이 요구되고 있다.<sup>(3)</sup>

표 3 정제장치의 주된 역할<sup>(4)</sup>

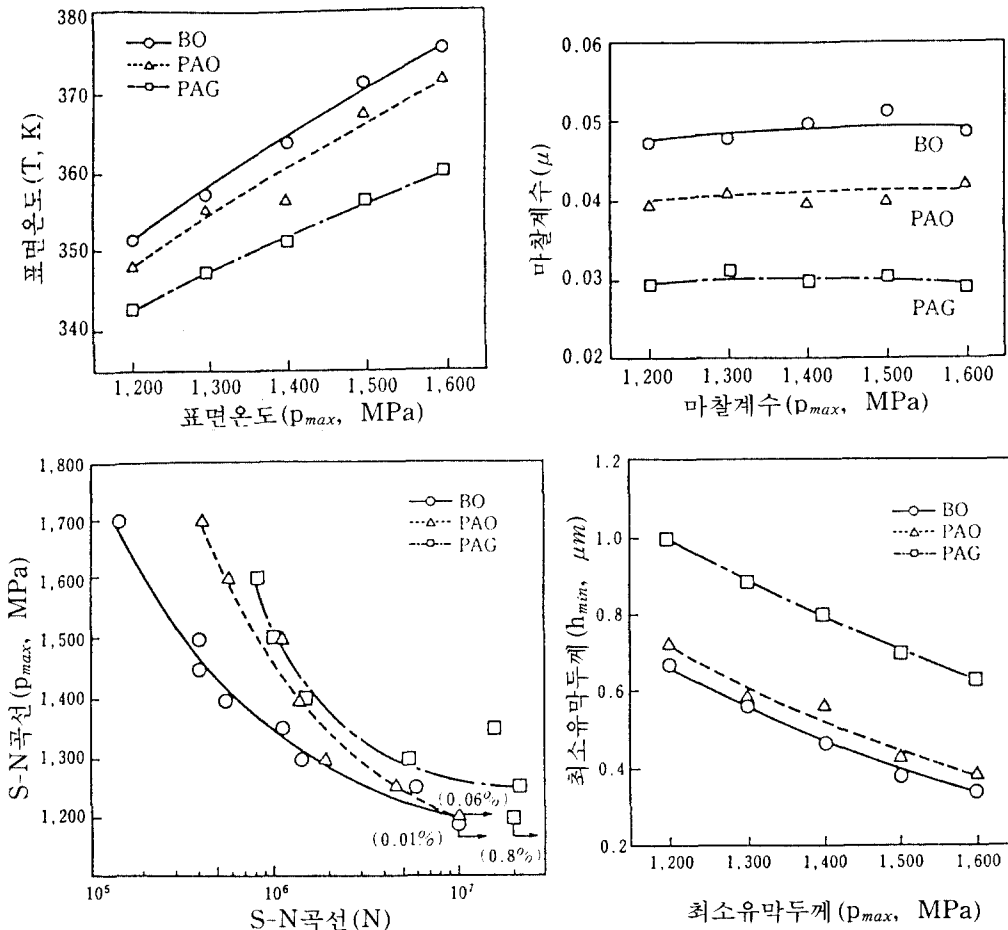
성상·성능	장치의 주된 역할
점 도	감압증류, 용제탈력(脫歷), 조합
점 도 지 수	용제추출, 수소화정제
산화안정성	용제추출, 수소화정제, 수소화분해
유 동 점	용제탈랍, 수소화탈랍
인 화 점	감압증류

비탄화수소에는 황화합물, 질소화합물 및 산소화합물이 내포되어 있지만 양적으로는 극히 미량이 존재한다. 탄화수소 형태의 비율이나 비탄화수소의 양은 원유의 종류, 정제유 유분(溜分) 및 제조공정에 따라 다르다.

나프텐은 점도지수가 낮으며 방향족은 점도지수가 낮을 뿐만 아니라 열, 산화안정성이 양호하지 못하기 때문에 공업용 기어유로서의 선택은 거의 없으며 파라핀이 풍부한 원유로부터 얻어지는 파라핀계를 선택하고 있다.

### 5.2 합성유계

합성 윤활유라는 것도 화학합성에 의하여 제조되며 구조의 명확한 단일물질 또는 동족체 혼합물(同族體混合物), 또는 이 것을 기재로 하여 첨가제를 첨가한 제품을 지칭하고 있다. 따라서 합성유계를 선택함에는 이 때까지 광유계 윤활유로서 요구성능을 만족시키지 못한 특수분야에 국한시켜 왔었으나, 근년에는 성(省)에너지, 보수관리 등의 측면으로부터 자동차가솔린 엔진오일을 중심으로 증가하고 있다.



범례 : BO는 파라핀계의 기어유, PAO는 폴리알파 올레핀, PAG는 폴리알킬렌글리콜이다.

\*공시료의 점도는 공회 ISO VG220

그림 1 2원통 시험결과<sup>(8)</sup>

표 4 합성유의 약점

분류	합성유명	PAO	PAG	디에스테르
첨가제	용해성	*	*	
광유와의	상용성		*	
고무와의	적합성	니트릴고무 (Nitrile rubber) 수 축	*	
도료와의	적합성	*	*	
기	타			저점도유 밖에 얻지 못한다.

광유계 윤활유의 경우, 난연성(難燃性), 내열성(耐熱性), 저온유동성(低溫流動性), 내방사선성(耐放射線性) 등의 성능에는 한계성에 이르고 있다. 합성유는 화학구조에 의하여 수십종으로 대별되며, 이 가운데에 있어서 공업용 기어유에는 저온유동성, 내열성(long life 포함), 성(性)에너지(고효율)등의 관점으로부터 폴리알킬렌 글리콜(polyalkylene glycol (P.A.G.)), 폴리알파올레핀(poly- $\alpha$ -olefin (P.A.O.)), 디에스테르 등이 사용되고 있다. 광유에 비하여 우수한 윤활성을 발휘하는 것은 그림 1에서 보는 바와 같은 2원통시험(二圓筒試驗) 결과<sup>(5)</sup>의 예로써 이해가 가능하게 된다.

즉 PAO나 PAG는 광유에 비하여 점도/압력계수는 적지만 점도지수가 높기 때문에 유막두께가 두껍고, 한편 인장계수도 낮기<sup>(6,7)</sup> 때문이라고 생각된다. 한편 합성윤활유는 광유 기체에 비하여 반드시 우수한 것 만은 아니며 표 4에서 보는 바와 같은 약점이 있기 때문에 사용할 때는 유의하여야 한다.

### 6. 첨가제의 역할

공업용 기어유의 경우 기유만으로는 각종 공업용 기어의 요구성능을 만족시킬 수 없기 때문에 첨가제가 응용되고 있다. 따라서 이에 사용되는 첨가제의 기능이나 작용기구 그리고 화

합물<sup>(3,9)</sup>에 대하여 살펴 보면 다음과 같다.

#### 6.1 유동점 강하제

유동점 강하제라 함은 기유(피라핀기)보다도 낮은 유동점을 요구하는 윤활유에 첨가시키는 물질로서 석출하는 왁스의 결정형태(結晶形態)를 변화시켜 유동점을 떨어뜨리는 왁스의 결정화 및 3차원적 강목구조화(綱目構造化)를 막아 왁스 결정표면의 윤활유 흡착을 억제시켜 준다. 이들 첨가제 화합물의 종류들을 살펴보면 다음과 같은 예가 있다.

- 1) 폴리메타크릴레이트(polymethacrylate).
- 2) 폴리아크릴레이트(polyacrylate).
- 3) 염소화 파라핀나프탈렌(paraffine-naphthalene) 축합물.
- 4) 염소화 파라핀페놀(paraffine-phenol).

#### 6.2 극압첨가제

접촉압력이 높고 미끄럼속도가 큰 극압윤활하에서 생기는 발열(發熱)로서 접촉면과 반응하는 것에 의하여 금속끼리의 접촉을 감소시켜 마찰, 마멸을 적게 하여 소부를 방지하게 하는 기능과 작용기구를 갖고 있다.

이에 화합물의 예를 살펴 보면 표 5와 같다.

#### 6.3 고체윤활제

고체윤활제는 상대운동에 있어서 표면손상을

표 5 극압첨가제의 화합물

분 류	종 류
황 계	올레핀 폴리설파이트
	유화유지
	디벤질 디설파이트
인 계	알킬 및 알릴 인산 에스테르
	알킬 및 알릴 아인산 에스테르
	인산 에스테르의 아민 염
	치오 인산 에스테르
	치오 인산 에스테르의 아민 염
유기금속염계	나프텐산납
	몰리브덴늄 디알킬 디치오 카바메이트
	몰리브덴늄 디알킬 치오 포스페이트

방지하여 마찰, 마멸을 감소시키기 때문에 분말 또는 박막(薄膜)으로 사용되고 있는 고체이다.

대체적으로 고체윤활제는 이방성(異方性)이 강하며 특정의 결정면 또는 분자간 결합력이 약하고 덩어리로서의 마찰계수도 적고 자기윤활성(自己潤滑性)을 갖는 기능과 작용기구를 나타낸다. 이에 화합물은 무기계(無機系)로 이황화 몰리브덴(Mo), 흑연 등이 있다.

#### 6.4 유성항상제

유성항상제라 함은 경계마찰을 저감하여 유

성(油性)을 향상시킨다.

유효한 화합물은 장쇄(長鎖)로서 분자량이 크고 한편 분자일단(分子一端)에 극성기(極性基)를 갖는다. 이와 같은 화합물은 금속표면에 흡착, 배열(配列)하여 흡착막(吸着膜)을 만들고 이의 흡착막이 직접 금속접촉의 빈도를 감소시키고 마찰을 저하시킨다.

효과로는 흡착막의 탈리온도(脫離溫度) 이하에 경계하며 마찰면 온도가 상승하는 극압윤활하에서는 효과가 없다. 이들 화합물 종류의 예로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) 고급지방산.
- 2) 고급 알콜.
- 3) 지방산 아민 및 아마이드(amide).
- 4) 에스테르.

#### 6.5 산화방지제

윤활유의 산화는 공기 또는 산소의 존재하에서 열(熱), 금속접촉, 광(光)등에 의하여 가속된다. 따라서 이의 산화반응은 유리기(基), 소위 래디컬(radical) 연쇄반응에 의해 진행되며 초기산화 생성물로서 불안정한 하이드로퍼옥사이드(hydroperoxide)를 생성시키고 다시 이것이 분해하여 새로운 연쇄(連鎖)를 생기게하여 가속적(加速的)으로 진행한다.

산화방지제는 유리기 또는 과산화수소로 반응시켜 이것을 안정한 물질로 바꾸어 초기 산화의 진행을 정지하는 작용을 갖게 된다.

또한 촉매로 되는 금속의 표면을 피막하기도 하고 용출금속(溶出金屬)과 반응하여 이것을

표 6 산화방지제의 화합물

분 류	종 류	
래디컬포족제	페놀계	2,6-디터셔리 부틸 파라크레솔(DBPC)
	아민계	페닐알파나프틸아민(Phenyl- $\alpha$ -naphthylamine)
		디알킬 디페닐 아민(Dialkyl diphenyl amine)
과산화수소분해제	Zn DTP(래디컬 포족제로서의 기능도 갖고 있다)	
금속불활성화제	벤조 트리아졸(Benzotriazole)	

불활성화(不活性化)하는 금속 불활성제도 윤활유의 산화를 간접적으로 지연시키는 기능과 작용기구를 갖게 하며 이들 화합물의 예를 살펴보면 다음 표 6과 같다.

**6.6 녹방지제**

철 및 구리의 표면에 빈틈이 없는 상태로 흡착하여 녹의 발생을 방지하고 극성기(極性基)와 적당한 크기의 친유기(親油基) 다시 말해 탄화수소기(炭化水素基)를 갖는다.

금속표면에 극성(極性)의 기(基)를 흡착하여 강고(強固)한 흡착막을 형성하여 산소 및 물과 금속표면과의 접촉을 방지한다. 이의 작용기구는 유성향상제와 거의 유사한 것이기 때문에 유성향상제에는 녹방지효과를 나타내는 것이 많다.

또한 녹방지제 첨가제에는 이 밖에 수치환성(水置換性), 수가용화성(水可溶性) 등의 기능도 중요한 것으로 되고 있다.

공업용 기어유에 사용되고 있는 첨가제의 화합물 예를 살펴보면 표 7과 같다.

**6.7 부식방지제**

오일의 산화생성물이나 극압첨가제와 같이 금속과의 반응성이 큰 첨가제에 의한 비철금속의 부식을 방지시켜주는 작용기구를 갖고 있으며 금속 불활성제의 기능도 있는 것으로 이들 화합물의 예로서 대표적인 것은 벤조 트리아졸

표 7 녹방지제의 화합물

분 류	종 류
탄 산	알케닐(alkenyl) 호박산 유도체
탄 산 염	금속비누, 아민 염
설 폰 산	금속 설포네이트 염
에 스테 르	솔비탄 모노 올레이트 (sorbitan monooleate)
아 민	알킬 아민(alkylamine)
인산 및 인산 염	산성 알킬 인산 에스테르

표 8 항유화제의 화합물

분 류	종 류
음이온	석유 설포산(sulfonic acid) 염
비(非)이온	알킬렌 산화 축합물

이다.

**6.8 항유화제**

항유화제는 W/O 및 O/W형의 유화를 파괴하여 2액상(二液相)으로 분리하는 작용을 나타낸다. 또한 항유화제는 대부분 계면활성제(界面活性劑)로서 계면의 막(膜)의 강도를 저하시키기도 하고, 또는 전기 이중층(電氣二重層)의 전하(電荷)를 중화하여 유화(乳化)파괴를 촉진시키는 기능과 작용기구를 갖고 있으며 이들 화합물의 예는 표 8과 같다.

**6.9 소포제**

기포방지제 또는 소포제(消泡劑)라고도 부른다.

포립(泡立)을 억제하기 때문에 사용되는 첨가제로서 윤활유에 불용(不溶)이다. 이는 표면 장력이 적고 포말에 대한 확장성(擴張性)이 있는 성질이 요구되며 이들 화합물의 예로는 실리콘 오일 또는 에스테르가 쓰여진다.

이상과 같이 공업용 기어유에 사용하는 첨가제의 종류 및 기능, 작용기구에 대한 개괄과 그의 화합물에 대하여 살펴본 결과 화합물에 의해서는 복수의 기능을 갖고 있는 것도 있으며, 이러한 첨가제는 요구성능에 응하여 선택, 조합되고 있다.

따라서 RO형의 기어유사용 첨가제 종류를 살펴보면 표 9와 같다.

한편 요구성능 가운데서 가장 중요시하고 있는 내하중성(耐荷重性)을 확보하기 때문에 실용화하고 있는 첨가제와 그의 기능 등을 나타내면 다음과 같다.

1) EP형에서는 황(S)계와 인(P)계 극압첨가제를 배합한 것은 황-인계(系) 기어유가 주

표 9 공업용 기어유의 유형과 사용첨가제

첨가제의 종류	유형	
	RO	EP
유동점강하제	*	*
극압첨가제	-	○
고체윤활제	-	*
유성향상제	-	*
산화방지제	○	○
녹방지제	○	○
부식방지제	○	○
항유화제	-	○
소포제	○	○

비고; ○ → 일반적으로 첨가한다.

\* → 경우에 따라 첨가한다.

류를 이루고 있는 것으로 내마멸 영역에서는 인계가 윤활상태를 엄격하게 다스리고 있으며, 극압영역에서는 주로 황계가 각기 작용하여<sup>(10,11)</sup> 내마모성 및 내소부성을 확보하고 있다. 따라서 인계 극압첨가제를 마모방지제라고 부르는 경우도 있다.

2) 근간 선진국에 있어서는 황-인계 기어유에 비하여 성(省)에너지성을 갖고, 한편 내마멸성 및 내 피치(耐 pitch)성이 우수한 기어유로서 고체윤활제를 응용한 기어유<sup>(2)</sup>가 주목을 집중시키고 있다.

또한 내피치성이 우수한 기어유로서 유기금속염계 극압첨가제로 분류되는 유기 몰리브덴계 화합물을 응용한 기어유<sup>(13)</sup>의 사용도 확대되고 있다.

따라서 이러한 기어유의 효과는 황-인계 기어유에 비하여 기어 피치면에 거치름이 적게 되기 때문<sup>(14)</sup>이라고 판단하고 있다.

또한 어느 첨가제건 단지 황-인계 기어유에 첨가한 만큼 효과는 볼 수 없다고 할 수는 없으며 경우에 따라서는 성능저하를 초래할 수도 있으며 유효성은 공존하는 다른 내하중첨가제

와의 상호작용에 의하여 발휘된다.

3) 콤팩트형이나 합성유형 가운데에서 원기어용, 보통 폴리알킬렌글리콜이 사용되고 있는 것에는 내하중 첨가제로서 인계 극압첨가제나 유성향상제가 사용되고 있다. 황계 극압첨가제에는 차륜(wheel)재로서 다량 사용되고 있는 청동(靑銅)의 마멸방지에 효과가 없으며 또한 화합물에 의하여서는 마멸을 촉진<sup>(15)</sup>하기 때문에 사용하지 않는다.

## 7. 맺음말

지금까지 간략하게나마 기어유를 중심으로 한 공업용 윤활유 첨가제의 역할에 대하여 살펴 보았다. 공업용 기어유의 금후 과제로서는 성(省)에너지형 개발이 일단락된 지금, 공업용 기어유 분야에 커다란 기술적 과제는 없으나 단지 보수관리에는 비용을 비롯하여 성능관점으로 미루어 볼 때, 합성윤활유의 검토도 한번쯤 생각하여 볼 가치가 있다고 사료된다.

또한 첨가제 문제에 있어서는 금후 지구환경 오염 규제강화 등에 있어서 사용을 제한하는 화합물이 있을 수 있는 가능성이 있는 것으로 주의를 기울여야 하는 안 될 것이다.

## 참고문헌

- (1) 한국공업표준협회, 1986, KS M 2127 기어유.
- (2) 日本潤滑學會編, 1987, “潤滑 핸드ブック,” 養覽堂, p.830.
- (3) 櫻井後男, 1986, 石油製品添加劑, 幸書房, p.8.
- (4) 山地隆彦, 1985, ペトロテック, 8(6), p. 555.
- (5) Saeki, S., Matuo, K., Oaue, Y. and Yashida, A, 1990, Proceedings of the Japan International Tribology Conference, Nagoya, P. 1713.
- (6) Jordan, G.R., 1983, Lubrication Engineer-



- ing, 39(8), p. 491
- (7) Kraus, C.E., 1983, Bearings and Rolling Traction Analysis and Design, 8-2.
- (8) 松尾浩平, 1992, 潤滑經濟, 3(309), p. 92
- (9) 日本潤滑學會編, 1981, 潤滑用語集, 養覽堂.
- (10) 藤田公明, 小幡文雄, 松尾浩平, 山浦泉, 1982, 潤滑, 27(4), p. 260.
- (11) 松尾浩平, 1983, 潤滑, 28(1), p. 61.
- (12) Matsuo, K., Maeda, Y., Kutahashi, M. and Miura, M., 1984, ASLE Proceedings 3rd International Conference on Solid Lubrication, p. 19.
- (13) 式居正明, 山田壽夫, 上野拓, 1984, 日本機械學會論文集(C編), 50(458), p. 1834.
- (14) Matsuo, K., Yoshida, A. and Obata, F., 1988, 6th International Colloquim, January 12th-14th 8, 11.
- (15) 豊口満高正義郎, 1965, 潤滑, 10(1), p. 19. 