

潤滑油의 劣化와 診斷

Diagnosis of deteriorated lubricating oil

金 柱 恒*
Kim, Ju Hang

1. 머리말

기계적 Mechanism 에서는 힘의 전달 또는 방향을 전달 할 때 상대적으로 움직이는 두 면에서는 필연적으로 마찰이 뒤따르게 되는데, 이때 발생하는 마찰을 감소시키기 위해서는 반드시 윤활제를 필요로 하게 된다.

이러한 윤활유는 자동차용을 비롯하여 선박용, 공업용 등 각기 용도에 따라 수많은 종류가 있고 필요 개소(個所)에 따라 요구 성능도 달리 하고 있다.

Virgin oil에 요구되는 성상이나 성능에 있어서는 국제적으로 ISO규격을 비롯하여 제반 국가 나름대로의 산업규격이 제정 되어 있으나, 가장 필요로 하는 Used oil의 경우만은 세계적 공통규격이 거의 없는 실정이다.

이에 Using oil의 관리 기준이나 사용조건 즉 윤활작용의 대상으로서는 기계적 요소, 운전조건, 급유방법 이외에 사용분위기(使用霧圍氣)등이 좌우되고 있는 바 윤활관리를 하나로 결정 짓는다는 것은 무리라고 생각되기 때문이다.

한편 Using oil의 관리기준의 실태를 미루어 보면 장치의 Maker, 장치의 User, 또는 윤활유 제조 Maker가 실제 기계 시험결과와 시험Cost merit를 근간으로 설정하고 있는 경우가 대부분이라 하겠다.

근간 각종 설비 고장 중에서 윤활유가 원인이 되고 있는 비율¹⁾을 살펴보면 건수비(件數比), 휴지시

간비(休止時間比), 손실금액비(損失金額比) 가운데 어느 것을 기준으로 해도 25-30%라고 하는 비율을 차지하게 된다.

따라서 윤활관리의 중요성은 근간 매우 중요한 기계적 인자 중의 인자로서 취급되고 있는바 본고에서는 이러한 윤활유의 성능변화가 기계장치에 부여하는 영향 등을 비롯한, 윤활유의 열화에 의한 성장 및 성능변화 등에 대하여 간략하게 기술하기로 하겠다.

2. 윤활유의 성능변화

윤활유의 성상은 사용되는 가운데 경시적(經時的)으로 변화하게 되며 이러한 변화를 추적 조사하는 것에 의하여 열화상황(劣化狀況)을 판단하는 것이 가능하게 된다.

윤활유의 종류에 따라 분석항목의 값은 다소 차이는 있지만 윤활관리상 필요로 생각되는 항목에 있어서는 열화의 상관 관계를 나타내기 때문에 성능변화의 문제점을 살펴볼 필요가 있다.

2.1 소포성

윤활유에는 용도에 따라 Silicon계, Ester계가 분류되어 사용되고 있으나, 어느 계통을 망라하고 미세한 입자로서 윤활유 가운데 분산(分散)되어 있다.

기포의 증가는

- 마모(摩耗)의 증가
- 기기(器機)의 작동불량

*工業化學, 大氣管理技術士, Korea Tribo Eng Inc. 代表理事, 韓國技術士會 常任理事.

-산화열화(酸化劣化)의 촉진
을 일으킬 가능성이 있으며, 소포제는 Tank벽면에 부착, 미립자의 조대화(粗大化)에 의한 침강(沈降), 산화열화 생성물의 흡착, Filter, 여과시 제거에 의한 감소 등에 의해 성능이 열화 되는 것으로 기인되고 있다.

2.2 Color

색(Color)은 윤활유의 성능을 판단함에 있어서 대부분 목시법으로 판정되기 때문에 의외로 오판을 가져다주는 경우가 있는 Check 항목 중에 하나라 하겠다.

그러나 윤활유를 장기간 사용하게 되면 시간이 경과함에 따라 경시적으로 변화하여 농색화(濃色化)의 경향을 나타나게 된다.

이의 원인으로서 산화열화, 불용해분의 존재, 타유종의 혼합 등으로 기인되고 있다. 또한 옥외에

서 사용하게되는 경우에는 자외선(紫外線)도 하나의 원인이 된다. <그림1>에 열안정성시험(熱安定性試驗)에 따른 Color변화를 나타내 보았다 이 그림에서 살펴보면 시간의 경과, 유온(油溫)의 상승에 수반하여 Color의 변화가 크게 좌우됨을 알 수가 있다.

이러한 상황은 윤활유를 제조할 때 선택되는 Base oil과 첨가제의 종류에 따라 달리할 수 있으나 경향적(傾向的)으로는 동일하며 특히 단기간에서 변색(變色)이 증대되는 경우에는 oil의 온도를 Check할 필요가 있다.

2.3 비중

비중(比重)의 변화원인은 다른 종류의 점도 grade oil의 혼합, 연료희석(燃料稀釋), 산화열화, 불용해분(不溶解分)의 증가로 기인되고 있다.

2.4 점도

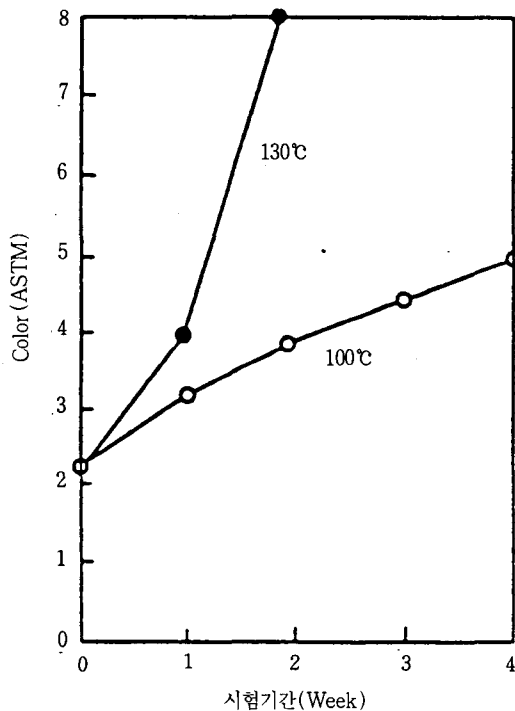
동점도는 윤활유의 성상 중에서 가장 기본적인 것으로 되고 있으며, Virgin oil의 규격값 중에서는 예외가 될 수 없는 규격으로 되고 있다.

미끄럼 Bearing 에서는 마모특성 곡선상의 최소 마찰계수를 나타내는 점도가 최적합 점도로 되며, 이와 함께 적유표²⁾가 부여되고 있다.

또한 유압작동유에 있어서는 Pump의 전효율(全效率) 및 용적효율(容積效率)로부터 최적합 점도가 결정되어 진다.

점도 변화의 요인은 여러 가지 원인이 고려되고 있지만 일반적으로

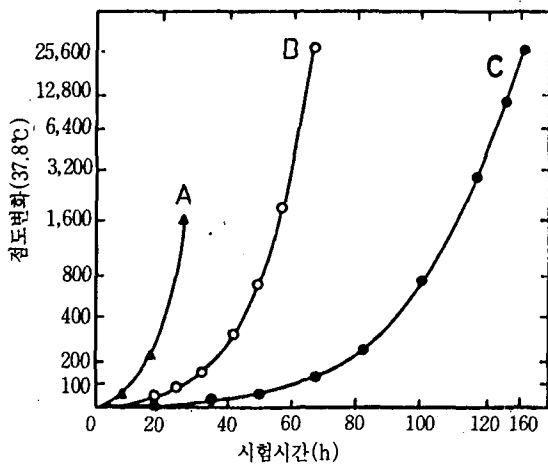
- 연료유의 희석
- 첨가제의 소모
- 변질화
- 산화열화
- 열화생성물
- 다른 종류의 점도 grade oil의 혼입
- 외부로부터의 진애(塵埃)혼입



<그림 1> 열안정성시험에 의한 Color의 변화

등이 원인이 되고 있다.

〈그림2〉는 Engine oil의 oil온도 상승에 수반하는 점도변화의 변화를 나타낸 것으로 점도변화에 의한 영향으로서 저하(低下)된 경우에는 밀봉작용(密封作用), 용적효율(容積效率)의 저하, 소부(燒付)의 위험성이 고려됨에 상승(上昇)한 경우에는 마찰저항의 증대에 의한 동력손실(動力損失)의 증대가 되는 것으로 기인되고 있다.



시험조건 : 3,600rpm, 125 BHP
 공시료 : CMR 9521-10W
 별례
 A : 유온 160C
 B : 유온 152C
 C : 유온 143C

〈그림 2〉 점도변화에 대한 oil의 온도 영향³⁾

2.5 Acid Value

Acid Value는 산화열화의 목표로서 일반적으로 사용되고 있는 Virgin oil에 대하여 증가폭으로 규정하고 있는 것이 비교적 많다.

윤활유의 산화열화에 의해 생성한 유기산(有機酸)이나 Hydroxy Acid의 증가에 수반하여 Acid Value가 증가하면

- Using oil의 Color변화
- 점도의 상승
- 불용해분(不溶解分)의 증가

를 수반하게 된다.

또한 Acid Value 단독으로 상승한 것에는 산화열화 이외의 요인(예를 들어 다른 종류의 oil종류가 혼합된 것)으로 기인되고 있다.

2.6 불용분

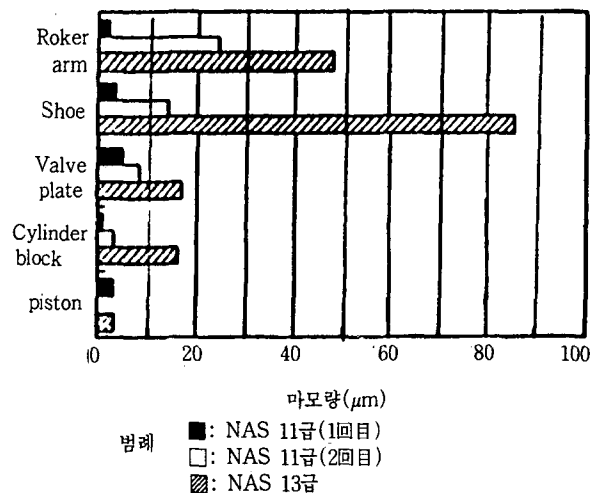
Using oil에는 여러 가지 협잡물 함유돼 있게 된다.

일반적으로 불용해분(不溶解分)으로서 계측(計測)되고 있는 것에는

- 산화열화물
- 마모분
- 외부로부터의 진애(塵埃)

등이 함께 하고 있다.

특히 유압작동유에는 oil가운데에서의 많은 협잡물에 의해 Servo Valve의 작동불량을 일으키기도 하고 Pump의 마찰을 증대시키는 요인이 있기 때문에 윤활관리는 더욱 중요하게 된다. 일반적으로 유압작동유의 NAS등급 상한은 9등급으로 나누어져 있지만⁴⁾, 〈그림3〉에 나타낸 바와 같이 11등급으로 하여도 문제가 되지 않는 것으로 실험의 예가 제시하여 주고 있다. 또한 Bearing oil에도 oil가운데 협잡물이 Bearing 수명에 커다란 영향을 부여하여 준다는 보고⁶⁾도 있다.



〈그림 3〉 높은 오염도하의 대형 Pump Bench 시험결과⁵⁾

2.7 수분

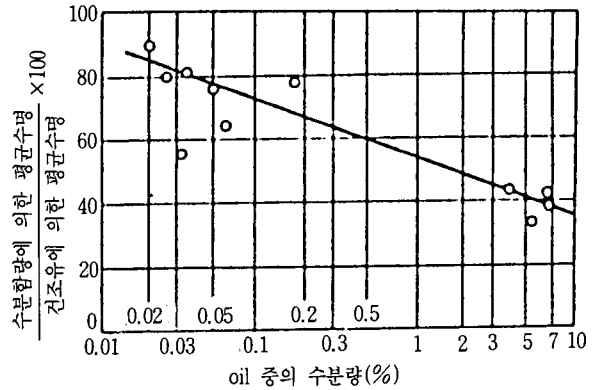
수분의 혼합 경로는 공기중의 수분응축, 증기나 냉각수의 혼입, 연삭액, 절삭액의 혼입 등이 대두되고 있다.

일반적으로 통상 윤활유에는 100ppm 이하의 수분이 존재하고 있으며 목시법으로서는 투명하게 보인다.

윤활유에 첨가되는 첨가제의 종류에 따라 다소 차이점은 있으나 만약 수분이 100ppm 이상 존재하게 되면 목시법으로 혼탁함을 확인 할 수가 있다.

수분이 존재하여 점점 증가 하게되면 초기에는 백탁(白濁)상태에 이르게 된다. 수분의 혼입은 윤활유의 유화(乳化)를 촉진하게 되며 동시에 발청의 원인이 되고 특히 다량의 수분이 혼입된 경우에는 유막(油膜)이 끊어져 마모의 증대나 소부(燒付)를 일으키는 위험성이 뒤따르게 된다.

〈그림4〉는 oil중에 수분 함량과 사구시험(四球試驗)에 의한 강구(鋼球)수명의 관계를 제시한 것이다.

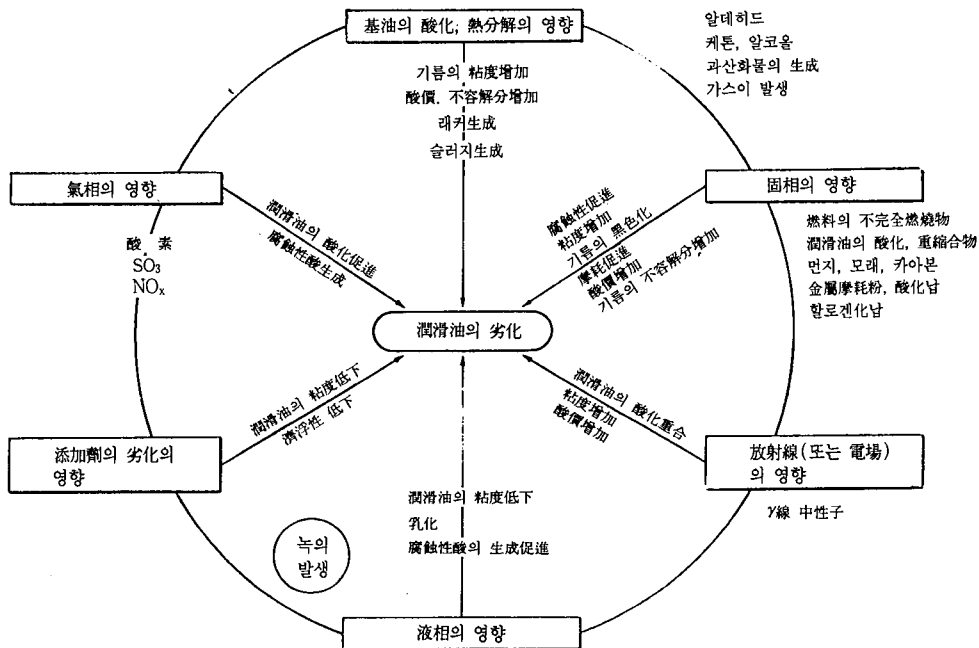


〈그림 4〉 윤활유중의 수분함량과 마찰면 수명의 관계 ⁷⁾

3. 열화

아무리 우수한 윤활유라고 할지라도 사용하게 되면 경시적(經時的)인 변화를 피하기는 어렵게 된다.

일반적으로 윤활유의 열화 원인은 2가지 형태로 대별하게 되는데, 그 하나는 윤활유 자체의 내부변화 즉 화학적 변화에 의한 것으로 통상 산화라고



〈그림 5〉 윤활유의 열화에 미치는 제반인자 ⁸⁾

부르기도 한다.

또하나의 원인은 외적 요인으로 예를 들어 Engine oil의 경우 연료의 불완전 연소를 유연(油煙)과 같은 외부로부터 혼입물에 의한 것으로서 일반적으로 오손(汚損)이라고 불러 지고 있다.

따라서 이러한 양자의 원인을 총칭하여 열화라고 부르고 있으며 열화의 제반 인자들을 살펴보면 <그림5>에 나타난 바와 같다.

3.1 산화와 열화

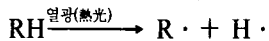
Virgin oil에는 산화나 열화를 억제하기 위하여 phenol계, Zn-DTP계, Amine계 등의 산화방지제가 첨가되고 있지만 이러한 oil도 장기간 사용하는 도 중 서서히 열화 변질하여 Virgin oil 초기의 제반 성능을 잃어버리게 된다.

따라서 이러한 열화 변질은 산소의 존재, 사용온도, 산화 촉매의 존재에 의한 영향이 원인이 되고 있다.

일반적으로 윤활유의 기초가 되는 Base중의 광유는 Paraffin, Naphthene, 방향족 탄화수소 등 다종의 탄화수소 혼합물로서 되어 있어 이의 산화반응은 대단히 복잡하게 된다.

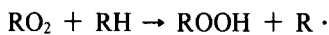
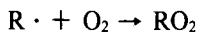
일반적이기는 하지만 Engine oil의 산화구조⁹⁾ Radical 연쇄반응을 살펴보면 다음과 같다.

① 연쇄개시(連鎖開始)

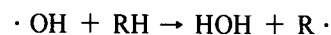


② 연쇄성장(連鎖成長)

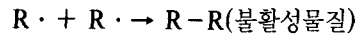
과산화물의 생성



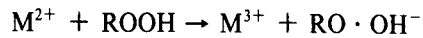
과산화물의 분해



③ 연쇄정지(連鎖停止)



④ 금속ion의 촉매작용



이상과 같은 산화반응에 의해서 생성된 Alcohol, Ketone은 다시 산화 되어 유기산(有機酸), Hydroxy acid를 생성하고 이것이 축중합(縮重合)을 일으키고 그의 결과 용제 불용해분을 증가시켜 동점도를 상승시키게 된다.

Engine oil의 경우는 다시 연소 생성물로 되어 NOx가 관계되기 때문에 반응은 한층 더 복잡하게 된다.

산화안정성은 사용되고 폐기되는 용도의 경우에 있어서는 그다지 중요시하지는 않겠지만 Turbine oil과 같은 장시간 사용되는 윤활유에서는 특히 중요한 성능으로 되고 있다.

3.2 오손

윤활유에 있어서 오손(汚損)의 원인은 크게 분류하여 액상(液相)에 의한 것과 고상(固相)에 의한 것으로 나누어진다.

전자의 경우는 gasoline의 세척, 수분의 혼입, 다른 종류의 oil 혼합 등에 의해 기인된 것이며, 후자의 경우는 연료의 불완전 연소물, 윤활유의 산화, 중합물(重合物), 유연(油煙), 모래(砂), 금속 마모분 등에 의해 발생된 것으로 어느 것이나 윤활유의 열화를 촉진(促進)시키는 인자로서 습동면의 마모를 증대시키게 된다.

이와 같은 영향은 윤활관리상 대단히 중요한 문제로서 지적되고 있다.

4. Maintenance

지금까지의 기술을 통해 윤활유의 열화 원인을 파악하였듯이 아무리 우수한 윤활유라 할지라도 사용함에 따라 원래의 Virgin oil이 갖추고 있는 제반 성능을 지속적으로 발휘 하기에는 매우 곤란하며, 경

우에 따라서는 중대한 기계적 손상을 미치게 됨으로 윤활관리의 중요성은 새삼 인식 할 수가 있다.

일반적으로 Machine system의 Maintenance방법 으로서는 사후(事後)Maintenance와 예방(豫防)Maintenance가 있고 후자의 경우는 시간기준(時間基準)과 상태기준(狀態基準)에 의한 방법이 있다.

4.1 사후 Maintenance

사후Maintenance는 고장(故障)으로부터 대처(對處)하기 때문에 생산손실(生産損失)과 수복(修復) Cost가 크게 되므로 중요한 기계System에는 사용하지 않고 있다.

4.2 예방 Maintenance

윤활관리를 사후Maintenance에 목표로서 생각하면 예방Maintenance방식이라고도 할 수가 있다.

예를 들어 자동차용Engine oil의 경우AS에서 Oil

Level check을 할 때 level gage의 오염을 살펴보면 상태기준에 의한 Maintenance 방법이 있으며, 또한 자동차 Maker에서 규정하고 있는 oil교환 기준에 근거하여 Using oil의 갱유(更油)를 행하는 것도 있으나 후자의 경우 시간기준에 의한 Maintenance 방법에 해당한다.

따라서 Using oil의 정상 check에 의한 판정기준을 우선 기술하면, 장치의 Maker, 장치의 User, oil 제조 Maker에 의해서 결정짓는 경우가 대부분으로서 이의 일례를 살펴보면 <표1>에 나타난 바와 같다.

한편 광유계 Steam turbine oil에 관하여서는 <표2>에 예시 한바와 같이 경계한도(警戒限度), 판단(判斷), 대책(對策)등의 시험항목이 Commission Electrotechnique International(CEI) 962에 Maintenance의 guide line이 제시되고 있다.

<표 1> 윤활유분석결과에 의한 판정기준 ¹⁰⁾

분석항목	기계의 중요성		적요
	높음	보통	
반응	중성	중성	-
인화점	10% ↓	15% ↓	규격 값보다 저하
유동(응고)점	10% ↓	15% ↓	규격 값보다 상승
부식시험	Pass	Pass	-
점도	±10%	±15%	규격 값의 범위
수분	1% ↓	3% ↓	-
잔류탄소분	15% ↓	20% ↓	규격 값보다 상승
회분	15% ↓	20% ↓	규격 값보다 상승
불용해분	0.5% ↓	1% ↓	-
산값	15% ↓	25% ↓	규격 값보다 상승
항유화성	15% ↓	20% ↓	규격 값보다 상승
사구시험	20% ↓	30% ↓	규격 값보다 저하
진자(振子)시험	20% ↓	30% ↓	규격 값보다 저하
표면장력	-	-	규격 값보다 저하
주도	±20%	±30%	규격 값 범위
적점	10% ↓	15% ↓	규격 값보다 저하

비고 : 윤활제 사용기계의 중요도가 높을 경우는 (1) 순환급유법 (2) 유압장치 (3) 사고에 의한 정지를 절대 허락되지 않는 기계를 말한다.

녹방지 시험	ISO 7120 A법	· 운전시간 2만h 이전 경미한 녹 · 운전시간 2만h 이후 경미한 녹	· 계의 습기나 오손 적정 한 관리가 없으면 첨가 제순모 · 습기가 있는 계내의 적 당한 첨가제의 소모	· 원인을 조사해서 관리운영방 법을 변경한다. · 재 Sampling, 녹방지시험 Check, 같은 결과라면 oil Maker와 억제책을 협의
수분	ISO/DP 6296	0.2% 이상	· Contamination 또는 열화 · System 중에서 수분이 누수	· 수분리성 Check, 나쁜 경우는 Contamination원인 Check · 열화의 정도를 나타내는 다른 데이터와 비교 · 수분제거후 주의하여 감시.
수분리성	ISO 6614 DIN 51589	60min 600s	· Contamination 또는 열화	· 열화의 정도를 나타내는 다른 데이터와 비교 · 수분량이 허용 값 이내라면 대 책이 불필요함

5. 진단기술

윤활유로부터 기계의 윤활상태 감시를 위하여서는 고장을 진단하는 방법이 전술한바와 같이 동점도, 전산값, 불용해분 등 정상면의 측정에 산화열화, 첨가제의 소모, 이물에 의한 오손을 검출하는 방법과 Oil가운데 마모분으로부터 진단하는 방법이 있다.

전자로서는 고장진단까지 실시하는 것은 다소 무리라고 판단이 되나 후자의 경우는 특정(特定)부분에 특정손상이 일어난 경우에 특유(特有)성분과 형을 갖은 마모분을 생성하는 것을 이용하는 것으로서

- (1) 마모분의 량과 형태(形態)로부터 판단하는 Ferrograph법
- (2) 금속원을 분석으로부터 판단하는 Spectrometric oil Analysis Program(SOAP)법이 대표적으로 되고 있다.

5.1 Ferrograph법

Ferrograph법은 SOAP법에 비하여 비교적 발전된 고장진단법으로 1970년경 개발된 방법이다. 따라서 SOAP 법이 금속성분을 정량적으로 분석해서 고장예지를 실시 하는 것에 대하여 Ferrograph법은 주

로 마모분의 형(形), 색(色), 크기, 표면상황(表面狀況)등 소위 형태(形態)로부터 생성원인을 추정해서 고장의 예지를 행하는 것으로 된다.

또한 형태적 분석(形態的分析) 이외에도 DR Ferrograph, On line ferrograph로 분류되는 양적 분석방법(量的分析方法)도 있다.

Ferrograph의 측정방법, 측정원리는 많은 문고^{11), 12)}가 있으며, 이의 방법을 요약하면 가장 중요한 점은 어떤 이상현상(異常現象)이 일어날 경우에는 어떠한 마모분이 발생할 것인가의 상관(相關)을 확실하게 파악하게 된다.

이의 마모분의 형태와 발생원인에 있어서는 Ferrograph Analyzer를 개발한 Foxboro사의 Wear Particle Atlas에 상세하게 기재돼 있으며 입자형태와 그의 발생형태의 분류³⁾를 살펴보면 <표3>에 나타낸 바와 같다.

5.2 SOAP법

SOAP법은 Spectrometric Oil Analysis Program법의 약자로서 1954년 미국 철도에서 시작되었고 그 후 미공군(美空軍), 민간항공사 등 항공기로서 발전 시켜진 금속정량분석(金屬定量分析)에 기초로 고장진단을 칭하는 것으로 된다.

금속정량분석 방법으로서로는 통상 원자흡광분광광

<표2> 시험데이터의 판정과 대책(CEI/ IEC 962)

시험항목		경계 Limit	판 단	대 책
종 류	시 험 법			
외관	목시법	흐림	· 수분, 고형물, 공기의 혼입	· 원인조사, · 최초의 수분 Check
기포시험	ISO/DIS 6247	Seq1 : 600/0	· 고형물이나 불량유의 Contami · 신설 Turbine 경우 도포된 녹방지제가 oil에 흡착하여 문제를 야기시키는 가능성이 있다.	· 계내의 oil 관찰 · 원인 조사 · Oil Maker와 역지책을 check
기포분리성	DIN51, 381 ISO/DIS 9120	VG 32 8min VG 46 10min VG 68 12min	· Contamination · 또는 열화	· 필요하다면 계내를 관찰 · 원인조사 · 다른 시험 데이터를 비교
색	ISO 2049	통상과 비교함에 다른 색으로 급속히 변함	· 오염 · 과도의 열화	· 원인을 결정하여 대처함
동점도	ISO 3104	Virgin oil값의 ±20%	· Oil의 오염 · 과도의 열화 · 불량유의 첨가	· 원인조사 · 저점도의 경우는 인화점 Check · 항유화성 check · 필요하다면 oil 교체
잔존수명	IP 328	· 운전시간 2만h이전 초기 값의 50%이하 · 운전시간에 무관계 25% 이하, 또는 10h이하	· 이상한 열화 · 전산값이 높게되면 수명에 가깝게 된다.	· 원인조사 · 시험빈도 증가 억제 방법을 고려 재차 sampling 같은 값이면 oil교환을 고려 하여야 함
Acid Value	ISO 6618	· 운전시간 2만h이전 초기 값을 0.1~0.2mgk OH/g 상회함 · 운전시간에 무관계로 초기 값을 0.3~0.4 mgKOH/g 상회함	· 이상열화를 나타냄 · 원인으로서는 ① 대단히 가혹한 System으로 된다. ② 산화방지제의 소모 ③ 불량유의 사용 ④ 타유종이 혼합 · Oil의 수명 또는 수명이 가까울 경우 ① 불량유 사용 또는 ② 타유종이 혼입	· 원인조사 · 시험빈도 증가 · 산화안정성데이터와 비교 · 억제방법을 oil maker와 협의 · filter, 청정기의 system 증가 조사 · 만약 증가가 인식된 경우나 산화 안정성이 경고 값을 하회하는 경우는 oil maker와 상황을 재조사 시험빈도 증가
취기	-	· 자극적인 냄새 · 탄 듯한 냄새 · 썩은 계란 냄새 · 용제 냄새	· oil의 열화, 고온, Bacteria의 성장, 이물 혼입에 의한 oil의 변질	· 원인조사 · 전산 값, 수분, 인화점을 Check
인화점	ISO 2592 ISO 2719	Virgin oil보다 30℃ 이상 저하	Contamination의 가능성이 있다.	· 원인조사 · 용제의 혼입의 유무 동점도 Check, 교환을 고려
Sludge	IEC 422	검출된다	과도의 열화	잔존수명의 조사
입자계측	ASTM F312 ISO/DIS 4407 ISO/DIS 4408	허용값 이상 ISO 4406. SAE J1165에는 15/12	① 보급유 ② 계내에 혼입한 Ash, 또는 Dust ③ 계내의 마모상태	· 장치제조 Maker의 허용 값을 재조사 · 원인조사와 청소 · Filter, 청정기에 의한 청정

〈표 3〉 입자형태와 그의 발생형태의 분류¹³⁾

형상	명칭	발생형태	
		정상	표면박층의 박리, 계면, 윤활, 시동
15 μ m이하의 박편	정상적 Rubbing	정상	표면박층의 박리, 계면, 윤활, 시동
장방형의 박편	친숙함	정상	친숙함, 시동
절삭 분상	Cutting	절삭	경이물의 혼입, 돌기부의 절삭작용
15 μ m 이상 조건	SepiaSliding	세피아	편당(片當), 미끄러짐, 고하중
15 μ m이상 Distemper Color 극압(局壓)	Scuffing	세피아	Gear, 고속고하중, 윤활부족
구형(-200 μ m)	구상(球狀)	세피아	용착(溶着)고속, 고하중
15 μ m이상 표면Bit	Spall	피로	Pitching, Flaking, Gear, Bearing의 피로
15 μ m이상 두께 5 μ m이하의 층상 박편	Laminar	피로	피로입자의 압연, 주로 Roller Bearing의 피로
15 μ m이상 두께, 5 μ m이상의 층상	Churn	피로	Gear, 전동부의 피로
구형(-10 μ m)	구형	피로	주로 Roller Bearing의 피로
적갈색의 多晶質	적갈색 녹	부식	수분의 혼입, 산화, Flating
회색의 다정질	회갈색 녹	부식	산화, 윤활제부족, 소부, 고속, 고하중
투명, 반투명 입자	부식	부식	산, 알카리, 활성유황, 염소의 혼입, oil의 부적합
조면(粗面), 구형	Erosion	침식	침식, Cavitation
황금색	동합금	Metal Bush의 마모	Bearing, Reetainer, Pump의 마모
백색	백색비철	Metal Bush의 마모	Bearing의 마모
Rolling상 구형, 무정형(無定型)	Friction Polymer	화학변화	마찰부, Oil, 첨가제 등의 융합반응
입자상	용제불용분	화학변화	다른 종류의 oil혼입, 첨가제의 변성
투명, 반투명 입자 경각면(鏡角面)	모래	오손	천연모래, 주사(鑄砂)의 혼입
구형(~수mm)	용제Spatter	오손	Flushing부족
절삭분말 구형(~수mm)	연마분	오손	연마분의 잔존, Flushing부족
무정형(~수mm) 여러 가지의 색	수지	오손	Seal의 마모, 분위기로부터 혼입

도계(原子吸光分光光度計)와 발광분석장치(發光分析裝置)를 조합하여 사용한다.

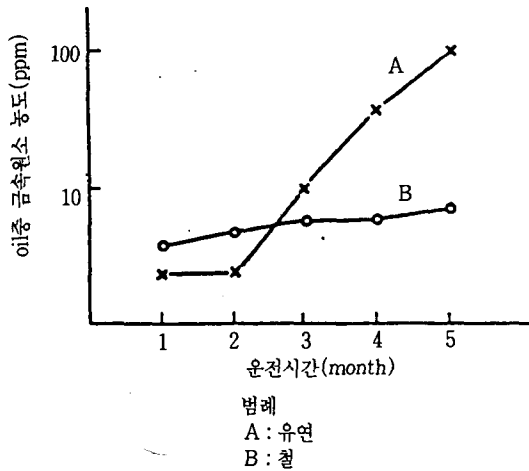
따라서 이러한 분석방법에 의할 것 같으면 Oil중에 용해하고 있는 첨가제 성분도, 함유된 금속성분과 마모분, 녹, 먼지 등의 금속성분의 유증농도(油

中濃度)를 측정하여 각성분이 한계농도(限界濃度)를 초월할 경우, 경고가 발휘된은 물론이거니와 한편 금속성분 조합으로부터 기계의 어느 부분으로부터 마모분이 발생 하였는가를 추정케 된다.

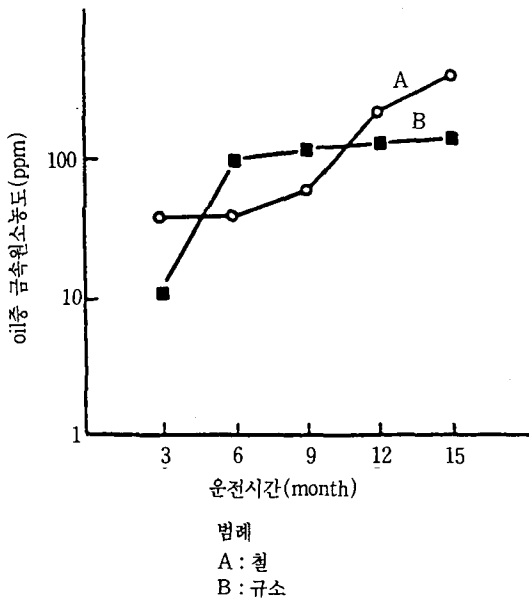
정당한 운전시의 데이터를 채취하려면 이것과의

비교로서 이상개소(異常個所) 및 이상원인(異常原因)도 추정 가능하다.

SOAP법에 의한 고장진단의 예를 들어 Bearing 금속중 유연(油煙) 증가에 의한 미끄럼 Bearing의 부식모래(砂)의 혼입에 의한 Vane Pump의 이상마모를 검출한 예를 살펴보면 <그림 6,7>에 각각 나타낸 바와 같다.



<그림 6> 미끄럼 Bearing의 부식¹³⁾



<그림 7> 모래혼입에 의한 Vane Pump의 이상마모¹³⁾

6. 맺는말

지금까지 간략하게나마 윤활유의 열화와 진단에 대하여 살펴보았다.

그러나 실제 현장에서의 윤활관리는 산화 열화에서 수명을 다하기 전에 오손에 의한 교환이 불가피한 경우가 적지 않다고 사료된다.

따라서 항상 적절한 윤활관리를 실시하려고 하면 현장에서 발생하는 기계적 제반요소의 Trouble도 무시할 수 없는 인자중의 인자인 바 모든 Data를 수집하여 체계적이고도 Tribological한 관리를 설정 실시함으로써 기계적 수명의 연장을 비롯한 생산성 향상에 이바지 할 수 있는 최적의 진단이라 사료된다.

• 참고문헌

1. 日本鐵鋼協會編;鐵鋼便覽Ⅲ(2), 丸善, p.1374(1980).
2. 日本能率協會編;潤滑技術者のための適油法(8訂版), 能率協會, pp. 7~9(1983)
3. R.H. Kabel;SAE Paper, 700507(1970))
4. 佐藤彌之助. 佐佐木正典;油空壓化設計, 21(11), p. 44 (1983).
5. 山本晃子・大川 聰. 石浜和義. 田中建三. 岩村幹男. 横山登司男. 地田和利 ; KOMATSU TECHNICAL REPORT, 39((131), P. 39(1993).
6. M.R. Pavlat;RIMA, June, P. 53(1984).
7. L. Grunberg & D.Scott ; J.I., 419, P.44(1958).
8. 金柱恒;潤滑學會誌, 10(3), P. 1(1994).
9. 櫻井俊男;內燃機關の潤滑, 辛書房, P. 316(1987).
10. 日本潤滑學會編;改訂版潤滑ハンドブック, 養賢堂, P. 1149(1987).
11. 柴田正明;潤滑, 27(7). P. 15(1987).
12. 松本善明;日本船用機關學會誌, 15(5), P. 369(1980).
13. 平井恭一;潤滑經濟, 11, P. 23(1993).