

Turbine oil에 있어서의 Tribology

金柱恒

韓田油化工業株式會社 常務理事

1. 서 론

Turbine oil이라고 하는 것은 각종 turbine에 쓰여지고 있는 윤활유를 총칭하는 것으로, turbine의 종류로부터 증기 turbine oil, 수력 turbine oil, gas turbine oil로, 그리고 용도에 따라서 육상 turbine oil, 선박 turbine oil, 윤활유의 특성에 따라 R & O turbine oil, EP turbine oil로 분류하고 있으며, tribology라고 하는 것은 간략하게 말하면 마찰, 마모, 윤활, 축수(軸受), 설계 등에 관한 제반문제들을 물리학, 화학, 역학(力學) 및 금속학 등의 관점으로부터 종합적으로 취급하는 기술이다[1].

1977년도 영국의 tribology에 발표된 바 있는 성 energy를 위한 전략보고에 따르면 윤활관리를 올바르게 실시함으로서 그 나라 GNP의 약 5%라고 하는 경제적 손실을 구할 수 있는 가능성을 시사한 바 있다. 이와 같이 근대공업에 있어서 기계고장의 원인은 윤활 관리 즉 tribology에 따라 좌우됨은 두 말할 필요가 없을 뿐더러 윤활관리에 기인되는 인자가 얼마나 커다란 비중을 차지하고 있는 것인가를 입증하고 있는 것이다. 따라서 본 논고에서는 표제의 견에 대하여 간략하게 기술하여 보고자 한다.

표 1. 윤활유의 품질특성과 성상[2]

품 질 특 성	평가시험방법에 따른 일반성상 및 특수성상
유동성	점도, 점도지수, 유동점
정재도, 첨가제	반응, 색, 중화가(산가 및 알카리가), 잔류, 탄소, 회분
내부식성	녹방지성, 동판부식
수명	산화안정도
열안정성	열안정도, 이화점
내수성	이수성(離水性), 항유화성
내마멸성	극압성, 유성(마찰계수등), 마모성(Gear 및 Pump 시험)

2. 윤활제의 사용목적

윤활유의 사용목적은 주로 기계의 마찰부분에서 금속과 금속의 직접적인 접촉을 방지하며, 마찰저항을 감소시키고 과음, 소부(燒付)발생이나 마모를 방지하기 위한 것이다.

따라서 결과적으로는 동력손실을 적게 하고 나아가 기계의 효율을 높이게 되는 것이며, 이밖에도 실용상(實用上) 수많은 작용을 갖고 있다.

- ① 마찰, 마모 및 온도상승을 억제하는 → 감마작용
- ② 온도상승의 억제를 위한 → 냉각작용
- ③ 기밀(氣密) 보존유지를 위한 → 밀봉작용
- ④ 녹이나 부식을 억제하는 → 부식방지작용
- ⑤ 이물(異物)의 혼입방지와 이를 제거하는 → 방식 및 청정(清淨)작용
- ⑥ 정적(靜的), 동적(動的), 열적(熱的) energy 전달을 위한 → energy 전달작용
- ⑦ 충격완화를 위한 → 응력분산작용
- ⑧ 전기전연을 위한 → 전기저항(電氣抵抗)작용

3. 윤활유의 선정

윤활유라고 하는 것은 기본적인 성질 및 성능을 나타

표 2. 윤활과 윤활유 요소와의 관계에 따른 선정일반 기준표[3]

윤활의 요소	윤활유의 요소	
	점 도	정제도 : 품질
마찰면	축수의 Cylinder大小	大→고점도, 小→저점도
	운전속도의大小	大→저점도, 小→고점도
	운전온도의高低	高→고점도, 低→저점도
	하중의大小	大→고점도, 低→저점도
	유막형상의難易	難→고점도, 易→저점도
급유법	全損式 급유법	-
	반복식 급유법	中, 저점도

내는 일반성상과 특수용도에 요구되는 특수성상으로 구분하고 있다. 즉, 윤활유의 품질특성과 성상을 살펴보면 표 1과 같고 윤활과 윤활유 요소에 관계는 표 2와 같다.

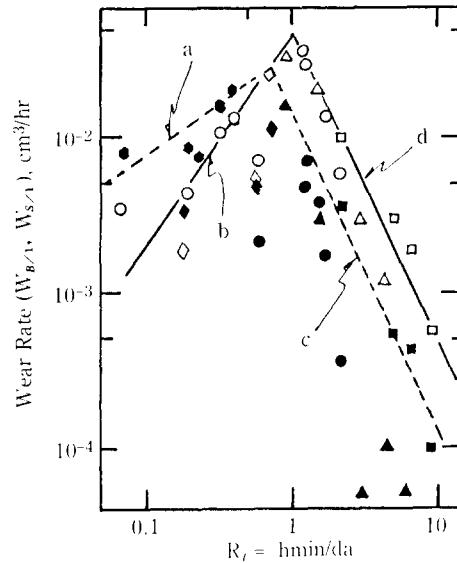
4. Turbine oil의 trouble

Turbine의 축(軸)은 일반적으로 철(鐵)의 단조물(鍛造物)로 되어 있고 축수는 동(銅)이나 은(鉛)의 합금으로 되어 있다. 따라서 이에 쓰여지고 있는 윤활유가 turbine oil로서 turbine이 연속 가동하는 가운데 일차 오염물질인 고형물(固形物), 수분, 공기 등의 기체가 혼존(混存)[4,5]하게 되는데 이의 오염물중 고형물은 축수나 seal을 마모시키는 인자로서 고형물이 정도평균유막(丁度平均油膜)두께중에 흡입되어 축과 축수를 동시에 마모시키게 된다[6].

이에 따른 마찰과 유마두께/오염물 입자경의 관계는 그림 1에서 볼 수 있으며[6], 고형의 오염물은 그의 양(量)이 증가하게 되면 증가하는 만큼 마모량도 증가하는 원인이 그림 2에서 잘 보여주고 있다[6].

또한 고형물 뿐만 아니라 증기 turbine인 경우는 증기가 냉각되어져 수분으로 될 때 이의 수분은 금속을 점식 마모분을 발생시킨다[4]. 이러한 금속의 마모분이나 청(鑄)은 수분과 계속 존재함으로써 다시 강한 산화촉매(酸化觸媒)로서 작용하게 되고 고온(高温)의 증기에 의해 급속하게 산화를 촉진하게 된다[7,9].

두 번째의 오염물로서는 turbine oil의 산화되면 Alcohol(R-OH), Aldehyde(R-CHO), Ketone(R-O-R'), Ester(R-COOR')와 같은 탄화수소화합물의 산화물로 되게 되는데, 이러한 산화물은 oil 중에 용해하였다가 산화변질(酸化變質)이 진행하는 가운데 다시



Relation between wear rates and oil film thickness/Particle diameter

B.S.	Particle	da	
Legend	G.C. #8000	2μm	B: Bearing
a; $W_s/t \propto R_t^{0.7}$	△▲	3μm	S: Shaft
b; $W_s/t \propto R_t^{1.4}$	○●	8μm	
c; $W_s/t \propto R_t^{-2}$	◇◆	28μm	
d; $W_s/t \propto R_t^{-2}$	○●	48μm	

그림 1. 마찰과 유마두께/오염물 입자경의 관계

고분자화(高分子化)되어 다시는 oil 중에 용해할 수 없는 sludge로서 생성하게 된다[8,10].

Oil의 산화변질물은 축수의 표면에 부착하여 축수 표면에 부식과 마모를 일으키기도 하고, 때로는 유구(油溝) 등의 trouble로 말미암아 윤활물량을 일으키게

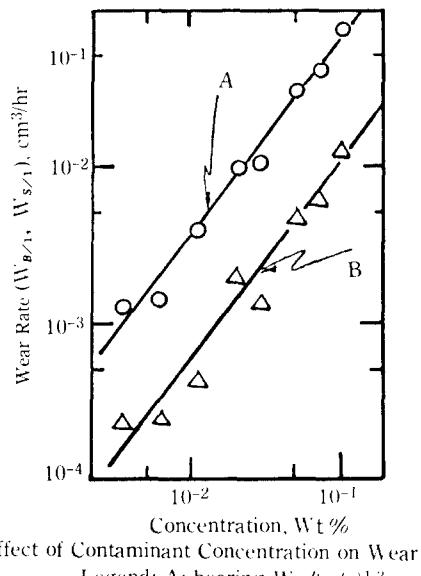


그림 2. 마찰에 대한 오염물 농도의 효과

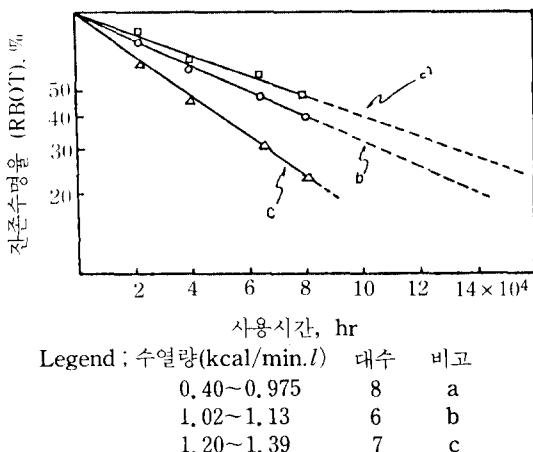


그림 4. Turbine oil의 전존수명율/수열량의 영향

방지제를 사용하는 것도 있지만 일반적으로 DBPC와 녹방지제로서는 Alkyl 호박산계통의 첨가제가 쓰여지고 있다. 따라서 일부 수력 turbine의 조작유계통에 있어서 Alkyl 호박산 계통의 녹방지제는 spool valve의 고착(固着)에 trouble이 되는 것으로 알려져 있을 뿐 원인과 대책에 대하여서는 아직까지 불충분한 실정이다. 물론 첨가 turbine oil을 일부 계량한 소위 R & O의 윤활유는 turbine를 비롯하여 공업용 윤활유로서 축수를 비롯한 치차(gear)유압계통 등 폭넓게 사용되고 있지만, 고온 산화안정성과 내하증성에는 저온용 산화방지제를 쓰는 것과 극압제를 첨가하지 않는 것과는 본질적으로 한계가 있으므로 주의를 요할 필요가 있으며, 선진국에서는 수력 turbine 전용 윤활유가 기계제작자로부터 요구되고 있는 바, 이에 따른 신규 turbine oil 연구에 고려를 기하고 있다.

이밖에 우리나라에서는 gas turbine의 수요는 그다지 많지 않으나 미국의 경우는 G.E.사 등에서 고온 산화안정성이 우수한 turbine oil의 사용을 지시하고 있어, 이의 윤활유 제조조건이 현재의 산화방지제인 DBPC로서는 대응하기가 곤란하다하여 고온산화를 고려한 처방에 대응하고 있다.

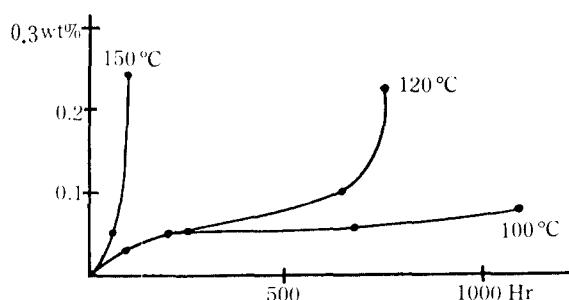


그림 3. 유온과 산화안정도 n-Heptane 불용해분

된다[5,9].

이 뿐만이 아니라 turbine oil은 turbine 축수용 윤활유로서 쓰여지는 것 이외에 때로는 증기량(蒸氣量)을 조절하는 slot valve의 작동유로서도 겹비하는 경우가 증기 turbine에서 볼 수 있다.

이런 경우에는 보다 높은 온도에서 장시간 견디기 위하여서는 무엇보다도 산화안정성이 보다 높은 oil을 요구하게 되나, 시판되고 있는 turbine oil에 있어서의 산화안정도시험(TOST) 값은 일반적으로 2500시간의 것이 대종이며, TOST가 3500시간을 초월한 것도 있지만 실용상 어느 정도의 성능차가 있는가는 아직까지 불명확한 것으로 되고 있다.

세번째로 turbine oil[11-13]의 제조조건을 살펴볼 때 이는 고도로 정제된 기유에 일부 Amine 계의 산화

5. Turbine oil의 평가법

그림 3에서 보는 바와 같이 윤활유는 높은 온도와 증기애 사용될 경우 공기와의 접촉이 가해져 산화속도가 빠르게 진행된다[6]. 산화가 진행되면 n-pentane이나 n-heptane에 용해하지 않는 산화변질물이 많이 발생되어침을 볼 수 있다.

Turbine oil의 산화안정도를 평가하는 방법으로서는 KSM 2008 터빈유의 산화안정도 시험방법(TOST)이 있다.

일반적으로 공업용 윤활유 사용유의 분석평가로서는 외관, 색, 점도, 전산가, 수분 등이 행하여지고 있지만, turbine oil은 산화유도기간(酸化誘導期間) 가운데 있어서 약간의 착색(着色)이 진행될 뿐, 성상에 있어서는 거의 변화(變化)를 볼 수 없는 것이 특징이다.

따라서 이런 시점에서의 성상평가라고 하는 것은 의미가 없는 것이며, 설사 외관의 판정이 있다하더라도 장래의 예측이 곤란하다. 이의 이유는 turbine oil이라고 하는 것은 산화유도기간이 초과되면 전산가 증가가 변화하는 등, oil의 노화가 급속하게 진행되기 때문에 노화의 초기 현상이 될 때는 될 수 있는데도 빨리 oil을 교환하는 것이 바람직하다.

그러나 화력발전설비인 경우는 년 1회 maintenance를 정기적으로 실시함으로 인하여 oil의 교환의 기회를 놓치는 경우가 많으므로 될 수 있는 한 다음 정비시까지 산화유도 기간을 유지하는 것이 절대조건이 된다. 이의 평가를 위해 근년에는 ASTM D 2272의 rotary bomb oxidation test(RBOT)가 turbine oil 사용유의 분석에 넓게 사용되고 있으며[14,15], 년간 보충 변동량의 크지 않을 경우는 사용유의 RBOT 산화수명의 저하(低下)에 일정경향(一定傾向)이 있다는 것을 염두에 두고 외부조건을 감안하여 사용수명을 예지하여 판정하는 것이 좋다[12].

사용유의 RBOT 산화수명 저하도합(酸化壽命低下度合)은 turbine 기종(機種)에 따라 다르고 그림 4[14]에서 보는 바와 같이 turbine oil의 수열량(受熱量)의 영향에 따라 크게 좌우된다.

RBOT 산화수명에 기본은 변경 oil의 기준을 일반적으로 적용하고 있으나 50분으로 하고 있는 개소도 많다[15].

6. Energy save

미국 Energy 성에서 연구되어진 결과[5]에 의하면 발전 plant에서는 1%의 윤활 loss를 하강시키는데 약 3.2%의 연료비를 절약할 수 있다는 판단이 있다. 이는 다시 말해 발전설비에 있어서 윤활 loss 방지를 하기 위한 개소는 turbine의 축수와 seal 및 송풍기의 축수로서 turbine의 축수문제는 labyrinth로부터 증기가 새어나오게 되면 윤활유의 오염이 발생되어 유증에 모래, 금속분(金屬粉) 등의 고형물에 의해서 축수면에 마

모를 발생시켜 oil loss를 가져오는 원인이 되는데 이 때 축수 손실에 따른 trouble을 만들게 될 뿐만 아니라 oil 중의 수분은 금속의 마모와 함께 oil의 산화변질물의 생성을 촉진시키 축수면에 corrosion을 발생시키기도 하고, 유구(油構)라고 하는 줄무늬로 떨어져 윤활불량을 일으키는 원인이 되기도 하고, labyrinth로부터 새어나오는 증기는 다시 윤활유 가운데 혼입하여 축수면에 corrosion을 발생시킨다.

또한 turbine oil과 slot valve 조작유와를 공동으로 사용하는 경우는 slot valve의 조작불량을 일으키어 윤활불량으로서 발전 plant의 안전 조업을 위태롭게 할 수 있으며 신뢰성도 떨어뜨리게 한다[5].

이밖에 송풍기 축수의 경우는 그 고장원인이 1/4은 축수 손상에 의해 기인되는 것으로서 이중 27%는 축수의 overheat 20%가 이상진동(異常振動), 14%가 윤활 system의 고장에 기인되고 있다[5].

발전 plant의 경우 오염에 의한 1%의 윤활 loss가 발생할 때 이에 비례하여 연료비는 3.2%라는 loss가 발생됨으로 윤활 일개의 개소에 손상이 일어나면 발전 plant 전체가 정지하는 일들이 발생되어 손실상으로는 엄청난 결과를 가져오게 된다.

따라서 미국 기계학회 자료에 의하면 윤활관리에 의해 약 5%의 성 Energy 가 가능하고 발전관계에 있어서는 성 Energy를 위한 조사개발에 투자하는 비용의 약 300배의 절약이 가능하다는 견적도 있다[7].

Benefit ratio=

$$(Savings/10 \times Cost\ of\ R\ & D)$$

단, 1981년 발전관계의 benefit ratio는 30으로 했다.

7. 맺는말

지금까지 윤활제의 사용목적, 윤활유의 선정, turbine oil의 trouble과 평가법 및 Energy save에 대하여 간략하게나마 tribology라고 하는 관점에서 살펴 보았다.

Tribology라고 하는 것은 서론에서도 언급한 바 있듯이 여러 관점에서 다루는 기술이지만, 본 논고에서는 주로 steam turbine에 사용되고 있는 윤활기술에 대하여 정리하여 보았다.

따라서 steam turbine oil이라고 하는 것은 통상 높은 온도의 증기를 접촉하고 있다. 이러한 steam 증기가 응축하여 oil의 산화촉진과 더불어 축수의 윤활불량이나 손실을 일으키는 위험성이 있기 때문에 tribology

증명에서 윤활관리에 좀 더 관심을 갖는다면 보다 중요한 장비보호유지에 일상을 더할 수 있다는 점과 아울러 Energy save의 암화으로 1%의 윤활 loss 절약에 3.2%라고 하는 연료절감의 가능성을 가져다주는 1석 2조의 효과도 얻을 수 있다고 본다.

참고문헌

1. 柏各一明: 潤滑, 24(8), p.490(1979).
2. 遠藤外: 日石レビュ-, 10(1), p.33(1968).
3. 藤田 惇: トライボロジー叢書一み, 潤滑剤の實用性能, 幸書房, p.12,29, 31, 161(1975).
4. 中村正義外: 潤滑, 20(6), pp.469-473(1975).
5. O. Pinks *et al.*; Opportunities for Conserving Energy in Electric Utilities VIA Tribological Improvements JSLE ITC, Proceedings, Tokyo, pp. 509-554 (1985).
6. S. Watanabe *et al.*; Evaluation for wear Life of Journal Bearing Lubricated by Contaminated Oils, Proceeding of the JSLE International Tribology Conference July, pp. 85-90 (1985).
7. A.C. Wilson *et al.*: 潤滑, 25(10), pp. 662-668 (1980).
8. E.E. Klaus *et al.*; The Role of Iron and Copper in the oxidation Degradation of Lubricating oils, Lubrication Engineering, May (1985).
9. A.B. Webster; The Basic properties of a Lubricant that affect its performance, proceedings of the JSLE International Tribology Conference, July, pp. 835-840 (1985)
10. E.E. Klaus; Status of New Direction for Liquid Lubricants, Tribology in the 80's NASA Conference Publication 2300, pp. 367-389 (1980).
11. 片山貴: 潤滑, 21(1), p.51(1976).
12. H. Watanabe & C. *et al.*; Lub. Eng., 34(8), p. 421 (1978).
13. A.C.M. Wilson; Lub. Eng., 32(2), p. 60 (1976).
14. 渡邊修外: 日石レビュ-, 14(3), p.105(1972).
15. 川邊允志外: 火原子力發電, 24(11), p.1254 (1973).
16. H. Watanabe *et al.*; Lub. Eng., 34(8), p.421 (1978).
17. Strategy for Energy Conservation Through Tribology, Second edition, ASME (1981).