

6. 潤滑油 (Lube-Oil)

6.1 潤滑劑의 考慮 事項 (Lubricant Considerations)

공장 기계를 정비함에 있어 무수히 다양한 윤활 부품 손상에 대해 모두 잘 알 수는 없다. 빈번히 윤활제나 윤활 메커니즘이 결함과 손상의 원인인 것으로 여겨지고 있다. 만약 양호한 윤활이 이루어진다면 윤활제가 문제가 되는 경우는 거의 없음을 알 수 있다.

기계부품의 손상에서 윤활제의 역할은 객관적 분석을 통해서만 결론지을 수 있다. 빈번한 손상 원인은 설계와 적용에 관계된 결함, 재료와 제작 결함 그리고 바람직하지 못한 운전과 정비 상태이다. 마지막 범주로, 부적합한 윤활제 품질이 손상 원인중 하나이다. 잠재적 또는 실제 많은 기계부품의 결함이 사용자에게 의한 문제였음을 경험으로 알 수 있다. 그러므로, 오염된 윤활제 사용으로 생길 수 있는 손상사고는 기껏해야 시간을 늦출 수 있을 뿐이고 최상의 윤활제를 사용해도 완전히 예방되지는 않는다.

6.2 潤滑 故障 分析 (Lubrication Failure Analysis)

윤활유나 그리스 그리고 윤활 시스템의 상세 조사는 이를테면 롤러 베어링의 손상 분석만큼 중요하다. 단지 사진의 한 부분만을 보고는 이해할 수 없다. 운전 조건이나 적용과 관련한 결함에 따른 손상은 오일내의 물이나 오물, 오염 필터, 산화유, 불충분한 유량, 부적절한 윤활제 등급의 사용 등 앞에서 언급한 양호한 윤활 습관을 무시한데서 발생한다.

윤활제나 순환 시스템이 문제점(예를 들면 기존의 베어링 손상)이 없을지라도 오일내 마멸입자의 형태로부터의 증거와 오일 물성은 손상의 근본 원인을 찾아내는데 때로 도움을 주지만, 마멸입자 분석으로부터 “잔류 베어링 수명”을 규정하기는 어렵다.

기대수명에 관해 실험을 해보면 윤활제 수명은 3가지 주요 인자 즉 산화, 열분해, 오염으로 제한된다. 그림 3-175와 같이 윤활유가 더이상 사용될 수 없는 시점인 t_b 가 나타내듯이 3인자는 윤활제 수명특성에 동등한 영향을 미친다. 다시 말하면, 윤활유의 선형적인 악화는 잔류수명이 지수적으로 감소된다. 유사한 점이 그림 3-176에 만들어졌는데 이는 고온이나 고 산소집중에 노출된 광유의 급격한 악화를 나타낸 것이다.

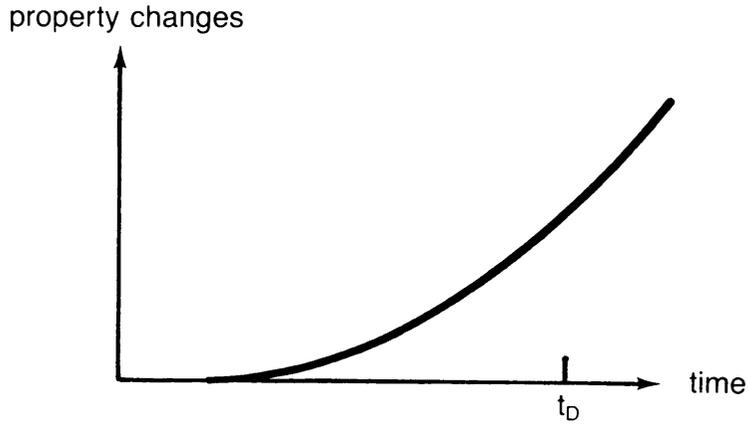


그림 3-175 윤활유의 수명 곡선

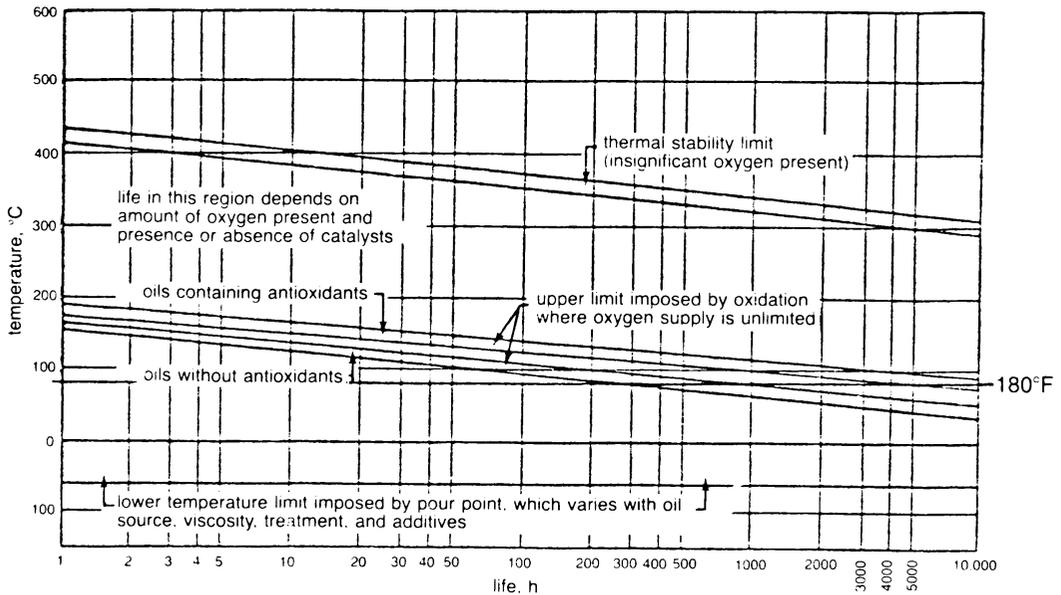


그림 3-176 광유의 온도범위

증기-터빈 손상의 10% 정도가 윤활유의 등급저하에 의한 것임을 조사된 연구에서 언급하고 있다. 또한 터빈 윤활유 수명에 영향을 미치는 여러 인자외에도 터빈의 운전조건과 크기도 고려해야 한다. 이들 인자는 :

- ① 증기터빈의 출력
- ② 증기 온도
- ③ 오일탱크내 오일의 잔류 시간(분당 V/Q)
- ④ 오일로의 열전달(Q.R.C.t/v)

여기서 :

V=방출된 터빈 오일량, l

Q=주 오일 펌프 유량, l/Min

r=터빈-오일 비중, Kg/l

C=터빈-오일 비열, $Kcal/Kg, Kcal/Kg-^{\circ}C$

t=Tank와 Cooler Outlet의 온도차, $^{\circ}C$

이러한 연구결과를 그래프로 나타냈으며, 원래 윤활유 잔류수명에 대한 유니트 크기의 영향(그림 3-177)과 전이열의 영향(그림 3-178)을 보여주고 있다.

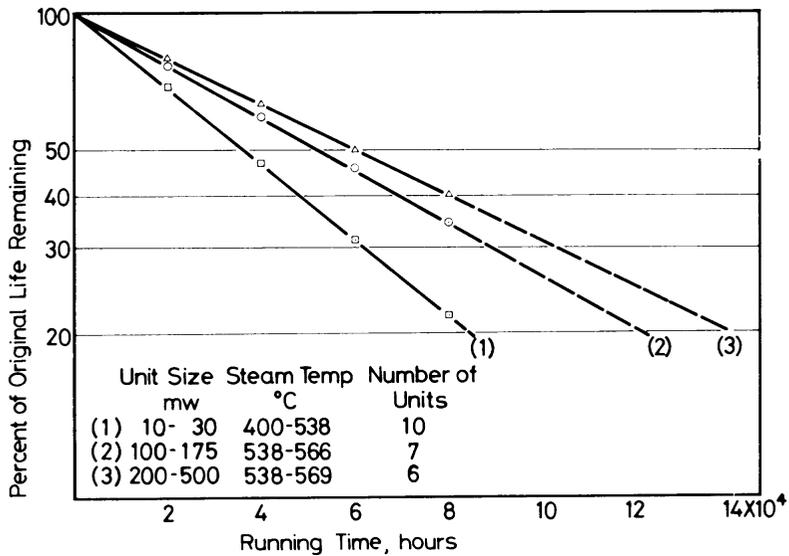


그림 3-177 윤활유 잔류수명에 대한 터빈 크기의 영향 (— 측정치; ... 추정치)

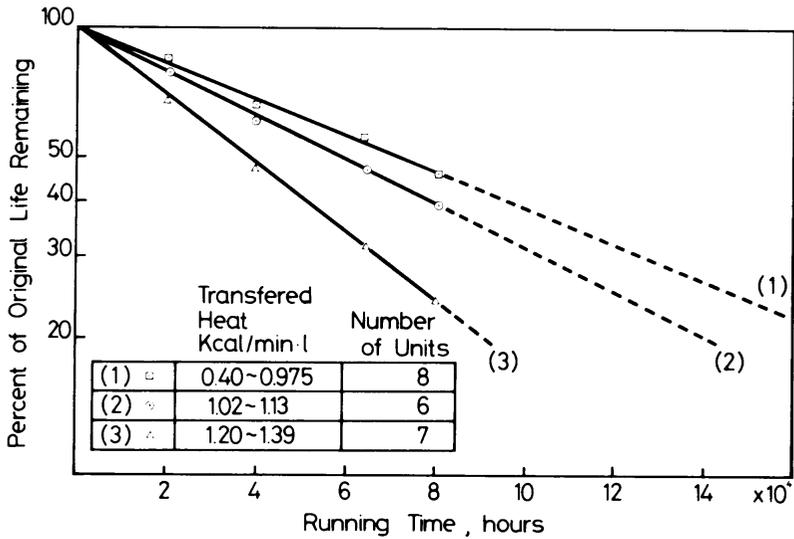


그림 3-178 윤활유 잔류수명에 대한 전이열의 영향 (— 측정치; ... 추정치)

공장의 기계 운전에 대한 많은 실제적인 적용 예들이 서류화된 것이 있는데 이의 요점은 터빈 윤활유의 재생, 오일 컨디셔닝 또는 운전중 정화가 석유화학 공장의 자가 윤활유 계통에 대해서는 경제적이라는 것이다. 1979년 공장 가동 이후 세계적인 에틸렌 생산 시설(Steam Cracker)에서 주기적으로 윤활유를 분석하는 프로그램을 이용하고 36개의 윤활유 탱크의 운전중 정화로 인해 윤활 손상으로 인한 기계 문제를 피할 수 있었다. 윤활유 분석 프로그램을 미리 수행하여 그 공장은 터빈 고장시간을 최소화했다.

기계의 신뢰도를 지키는 것 외에, 이러한 운전중 정화와 분석 프로그램으로 오염된 윤활유를 처리 해야할 문제에 대한 답을 주었다. 예전에는 폐유를 매립하거나 보일러와 용해로에서 연소시키거나 공장과 떨어진 곳에서 재생시켜야 했다. 지금은 주요 기계의 정비를 위한 정지기간에도 처분할 폐유가 없게 되었다. 이러한 사실은 1982년의 계획 정비기간중에 증명되었다. 5기의 주 터빈에서 수거한 약 64,345ℓ의 밀봉유와 윤활유를 제거하는 대신 이동용 윤활유 정화기(진공 탈수기) 2대를 커다란 오일 공급 시스템 근처에 위치시키고, 용기의 내용물은 이 유닛을 통해 그림 3-179와 유사한 탱크로 이송시켰다. 폐유 처분 문제 해결과는 별도로 이러한 재생 과정으로 인해 새로운 터빈 윤활유 구입비 약 \$47,000이 불필요하게 되었다.

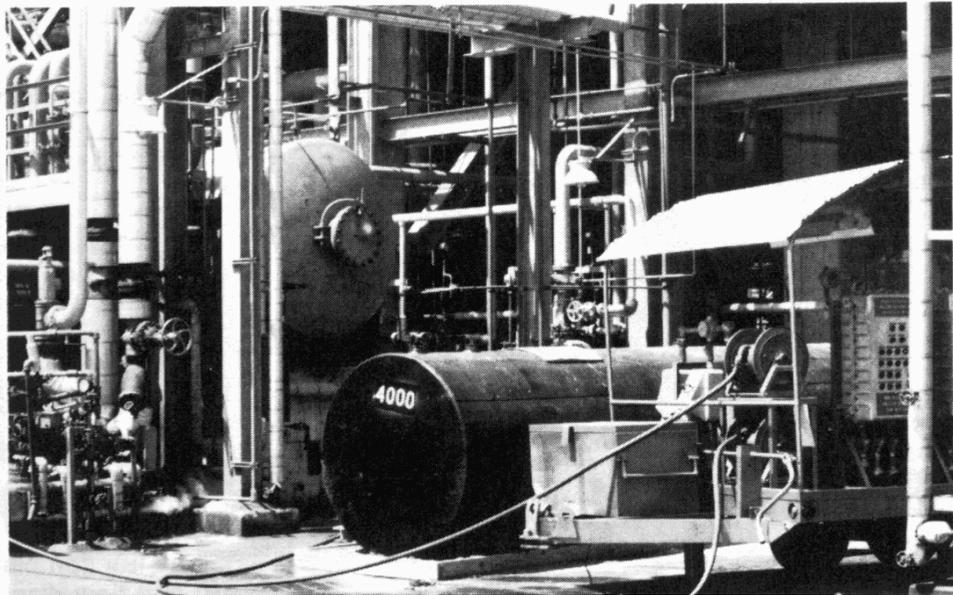


그림 3-179 윤활유 정화기(우측 아래)는 드럼타입의 용기(왼쪽 위)에서 배출된 터빈 윤활유 정화에 사용된다. 이 윤활유는 그림 중앙의 44,000 갤론(15,140ℓ)의 임시 저장고로 이동된다.

6.3 潤滑油 淨化에 사용되는 眞空 脫水

(Vacuum Dehydration is Used for Lube-Oil Purification)

윤활유 컨디셔닝법으로 중력정화법, 원심분리법 및 병합법과 같은 대체 방법을 연구한 후 진공 탈수법을 채택하여 36개의 자가 윤활유 용기의 윤활유를 정화하였다.

진공 탈수란 열과 진공을 가하여 오일로부터 물과 불필요한 구성물을 제거하는 방법을 말한다. 오염된 오일은 진공챔버로 유인되어 넓은 표면에 분포되거나 몇 모델의 경우 70°C ~ 80°C (158°F ~ 176°F) 정도의 온도에서 분무된다. 그러면, 물은 증기 형태로 제거되고, 증발된 물은 시스템에서 배출되기 전에 응축된다. 즉 응축성 수증기는 진공 펌프 배기관을 통해 배출된다.

진공탈수를 적용하는 전형적인 오일 정화기는 그림 3-180 ~ 3-182와 같다. 탈수기로 들어가는 오일은 솔레노이드 밸브로 조절된다. 이 탈수기에서 오일은 Baffle 형태의 경사진 알루미늄 트레이에서 얇은 막으로 흐르면서 열과 진공에 노출된다. 오일이 트레이를 흐를 때 탈수, 탈기 및 탈가스가 이루어진다. 증기는 복수기를 통해 진공 챔버에서 배출되고, 자동 배수되는 응축된 증기는 증류 탱크로 들어간다.

경사진 알루미늄 트레이는 진공 탱크 내에서 Coalescer 카트리지를 사용하므로써 발생하는 문제를 피할 수 있다. 항산화제, 점도 개선제 등으로 구성된 윤활유 첨가제의 부산물로써 유제(Emulsion)는 Cartridge Fiber상에 점차로 형성할 수 있다. 유제는 카트리지를 다소 비효과적으로 만들기도 하는데 이러한 이유로 경사 트레이를 선호한다.

이러한 오일 정화기나 진공 탈수기는 초기 기동이 간편하고 단순하며 정비 사항이 빈번하지 않는 특색이 있다. 이 유닛은 트레일러 탑재가 가능하고 1,400l/hr (360 GPH)의 비율로 단일 통로에서 20°C (68°F) ~ 60°C (140°F)의 유입 온도로 터빈유를 정화한다. 이것은 고형물과 찌꺼기를 5 마이크론으로 낮추고, 초기 2% 수분 함유량을 10 ppm으로 그리고 10% 공기와 유용성 가스를 체적당 0.1%로 낮추지만, 바라는 산화 억제물의 첨가제는 제거하지 못한다. 축의 씰링 유체로서 윤활유가 사용되는 어떤 압축기에서는 진공 탈수기의 탈가스 용량이 중요하다. 이와 같은 씰링 형태에서는 오일은 인화점이나 윤활유 점도를 약화시키는 경탄화수소, 황화수소 또는 양쪽 모두를 흡수한다.

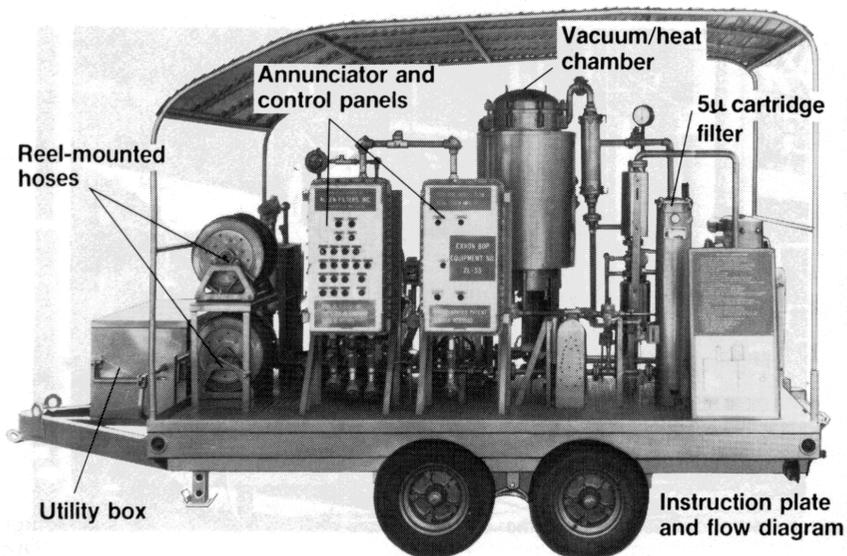


그림 3-180 윤활유 정화기(앞면)

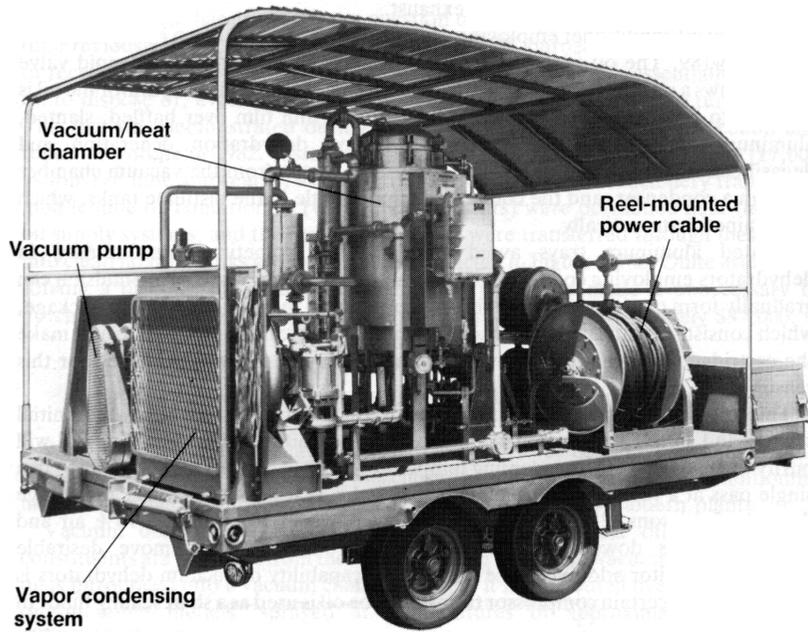


그림 3-181 윤활유 정화기(뒷면)

MODEL BCCX360-1-ORP
LUBE OIL CONDITIONER

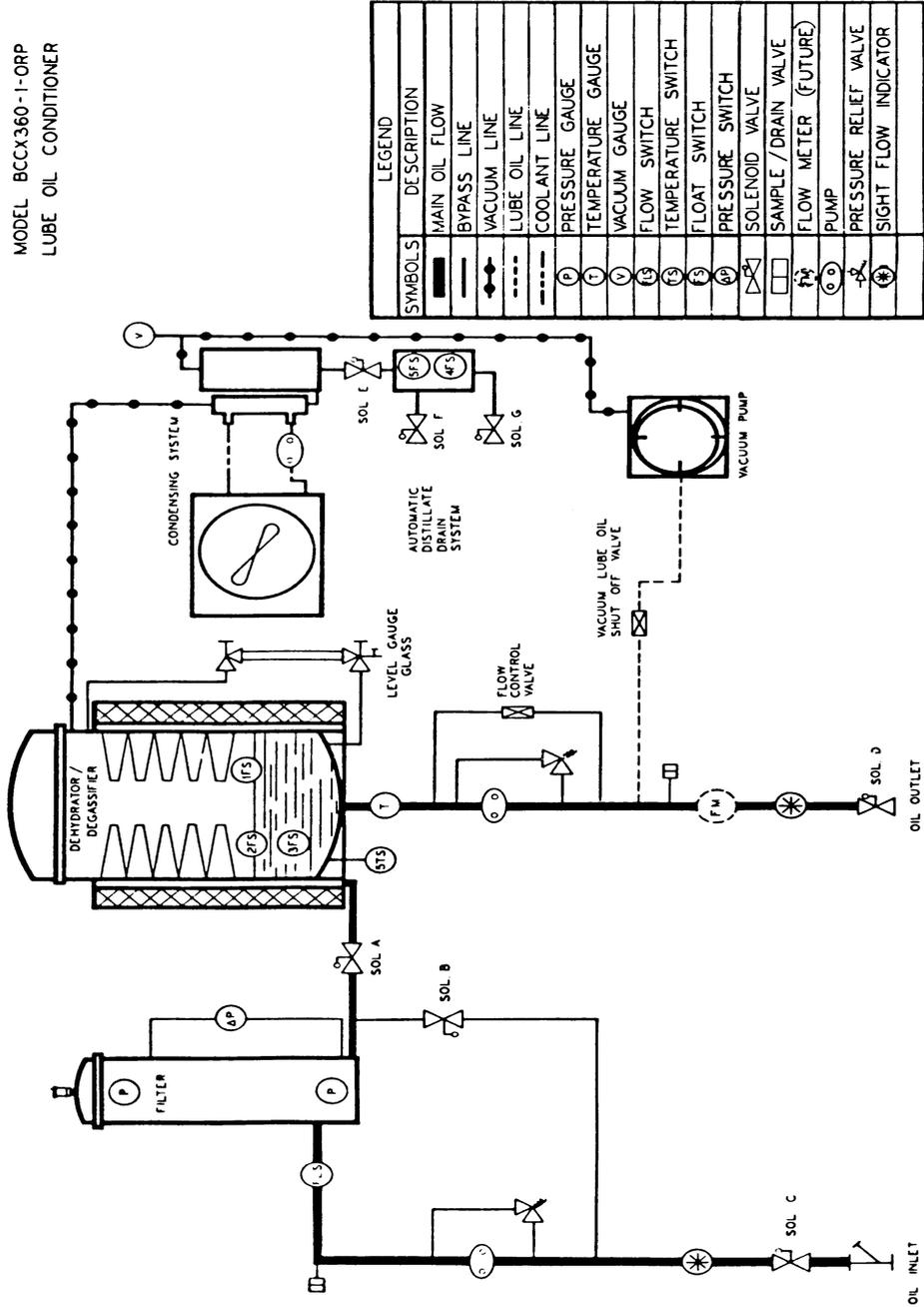


그림 3-182 진공 탈수기 타입의 윤활유 정화기의 다이어그램

따라서 안전과 기계 신뢰도를 위해 윤활유로부터 이같은 구성물질 제거를 신중히 고

려해야 한다. 공정가스가 산패 상태이면 즉 황화수소를 함유하면 Babbitt를 입힌 압축기 씰링의 심한 부식은 씰유의 오염 때문일 수 있다. 압축기 씰유는 안쪽의 씰 슬리브를 통과한 후 공정 가스와 접촉하고 압축 케이싱의 산패유 배수 캐비티 영역에서 H₂S를 흡수한다.

6.4 潤滑油 分析 6個 項目 (Six Lube-Oil Analyses are Required)

아주 오래 전 공익 산업체의 연구 노력으로 증기터빈 윤활유의 최적 분석법을 이끌어 내었다. 여기서는 색상, 고형물질, 중화가, 점도, 수분 함량 등의 시험을 추천하고 있다. 그러나 최근 연구결과 윤활유의 산화가 상당 수준까지 진행되었다면 이들 시험만으로는 불충분하다는 결정을 내렸다. 윤활유의 산화는 대기중의 산소, 고온의 베어링과 Oil Tank 또는 부정확한 온도 설정으로 진공 탈수형 윤활유 정화기의 운전중 과도한 열에 오랫동안 노출되므로써 진행된다.

이 플랜트는 분석 항목으로 외관, 수분, 인화점, 점도, 전산가와 첨가제 함량을 채택하였다. 이같은 시험을 아래에 간단히 설명한다.

6.4.1 外觀 試驗 (Appearance Test)

외관시험은 순수한 육안 시험으로, 육안으로 유리수분이 인식되면 나머지 시험은 진행 할 필요가 없다. 윤활유가 아주 검다면, 첨가제 시험은 정확도를 기대할 수 없음으로 다른 방법을 검토해야 한다.

6.4.2 溶解 水分 試驗 (Testing for Dissolved Water)

시료중의 용해 수분량 정량은 그림 3-183에서 보는 것과 같은 Karl Fisher 적정 장치를 사용하고, ASTM 시험법 D-1744에 따른다. 통상 기계의 신뢰도 유지를 위한 가이드 라인으로 윤활유(프리미엄급 ISO-32)중 최대허용 용해 수분량을 40 ppm(중량기준)으로 하고 있다. 이 값을 가이드라인으로 선정한 것은 추가적인 수분오염에 대해 포화점까지 여유를 남겨둠으로서, 저장조에서 유리수분이 발생하기 시작할 때까지의 경과시간을 충분히 허용하기 위함이다.

유리수분은 윤활유가 슬러지 형성을 촉진하므로 윤활유 계통에 존재하는 것은 아주 바람직하지 못하다. 수분함량 2000 ppm을 옹호하는 의견에 대해서는 전혀 동의할 수 없다. 많은 경우, 증기터빈의 치명적 손상이 윤활유에 존재하는 유리수분에 기인되고 있다.

윤활유가 유리수분으로 오염되어 있으면, 연동 밸브와 피스톤이 고착될 수도 있고, 과속도 정지 볼트의 작동이 둔해질 수도 있다. 터빈윤활 계통과 가버너 계통에 습한

윤활유가 들어가 있는 동안은 위에서 말한 것과 같은 위험은 과속도 시험과 점검시에도 배제될 수 없다. 윤활유 계통을 적절히 설계하고 관리하여 유리수분이 포함되지 않도록 하고, 또 중력에 의해 수분을 침전 분리시켜 신속히 제거한다고 하지만, 이들중 어느 것도 현실적으로는 신뢰하기 어렵다. 따라서 용해수분 40 ppm 가이드라인은 유리수분이 형성되기 전에 적당한 여유를 가질 수 있게 해준다.



그림 3-183 용해 수분 시험에 사용되는 자동 적정장비(Karl Fisher법)

6.4.3 引火點 試驗 (Flash-Point Testing)

윤활유에 가벼운 탄화수소 성분이 혼입 될 위험이 있을 때는 인화점 시험이 중요하게 된다. 인화점 시험은 ASTM D-92 시험법에 따라, 그림 3-184에 보는 것과 같은 Cleveland Open Cup 시험장치에 의해 수행된다. 이 플랜트에서 자체 설정한 가이드라인은 최소 인화점을 190℃ 이상으로 요구하고 있다. 만일 윤활유가 가벼운 성분으로 희석되면, 인화점은 낮아지게 될 것이다. 인화점 시험은 시료의 수분 함량이 1% 이하인 상태에서 수행되어야 한다.

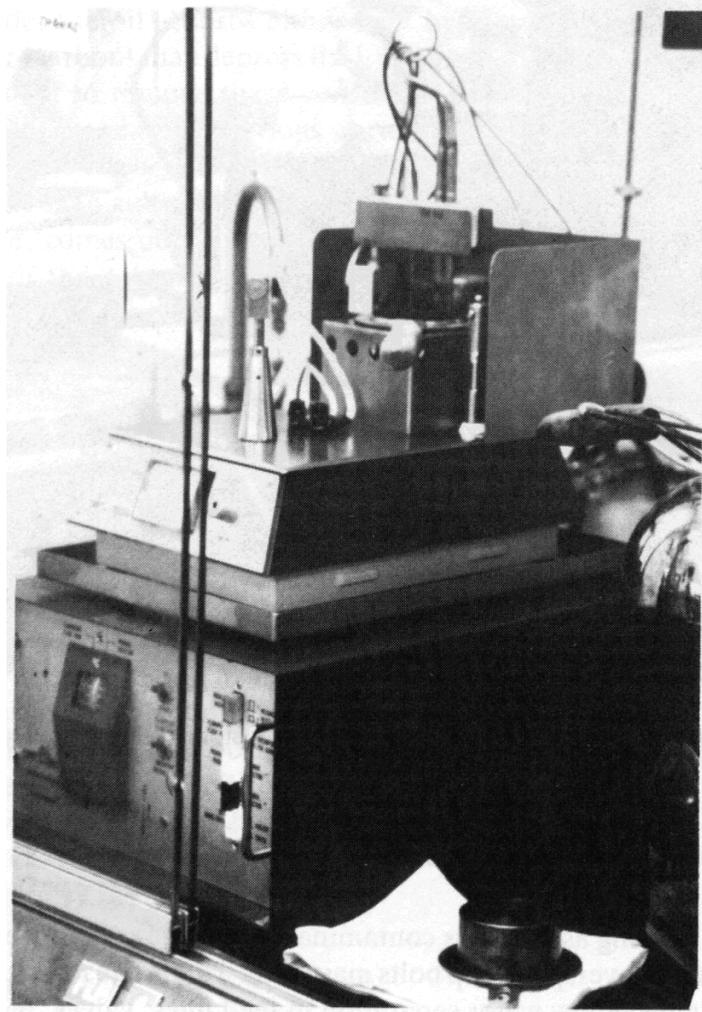


그림 3-184 실험실 장비로 인화점을 신속히 구할 수 있다.
(Cleveland Open Cup 방법)

6.4.4 粘度 試驗 (Viscosity Test)

증기터빈 윤활유의 점도는 그림 3-185와 같은 동점도계에 의해 38℃에서 측정되고, 측정단위인 Centistock는 미터법 체계가 아닌 곳에서의 편의를 위해 SUS로 전환될 수 있다. 인화점 측정값과 마찬가지로 점도값은 가벼운 탄화수소의 혼합 희석으로 인해 낮아지고, 반대로 보다 무거운 성분으로 인해 오염되거나 산화에 의해서 높아진다.

점도 측정온도인 38℃에서 허용되는 점도 범위는 27.1~37.6 cSt(140~194 SUS)이다. 점도가 지나치게 낮으면 유막 강도가 감소되어, 금속간 접촉을 방지하는 능력이 감소될뿐 아니라 오염 물질 조정 및 밀봉 능력도 동시에 감소한다. 지나치게 높은 점도는 효과적인 윤활작용을 방해한다. 윤활유를 진하게 하는 오염 물질은 윤활면의 마멸과 부식을 촉진하여 유해한 Deposit를 남기게 된다.

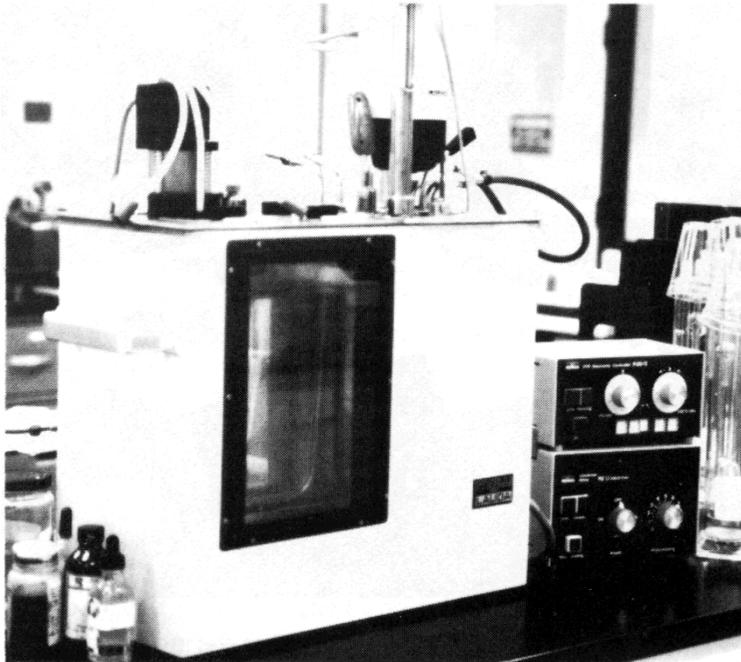


그림 3-185 ASIM D-445에 따라 시험하는 동점도계

6.4.5 全酸價 (Total Acid Number)

산의 형성은 높은 온도와 장기간 사용한 결과이다. 그림 3-186의 적정장치는 ASTM D-664에 의한 산가 측정에 사용된다. 증기터빈 윤활유가 장기간 사용될 수 있기 위해서는 전산가가 0.3을 초과해서는 안된다. 윤활유의 산가는 장기 사용 가능여부의 지표이다.

윤활유의 산가는 대기중의 오염 물질이나, 연소생성물(증기터빈이 아닌 경우) 등에 의해서 증가되기도 하지만, 기본적으로 산화의 진행과 더불어 증가한다. 전산가는 윤활유 중에 존재하는 산물질의 총량을 나타낸다.



그림 3-186 전산가를 측정하는 Titroprocessor

6.4.6 添加劑 含量 (Determination of Additive Content)

프리미엄 윤활유는 페놀계의 산화 억제제를 함유하고 있는데, 이것은 윤활유가 고온에 노출된 채, 또는 수분에 오염된 채로 장기간 사용 후에는 소모된다. 산화 억제제는 슬러지, 수지, 바니쉬, 산, 고분자 등의 생성을 최소화한다. 새 윤활유는 약 0.6%의 첨가제를 함유하고 있는데 0.2% 이하까지 소모되면 조치가 필요하다. 첨가제 함량은 그림 3-187에 나타난 것과 같은 적외선 분광 분석기로 감시된다. 첨가제가 존재하면 적외선 스펙트럼(파장 3660 cm^{-1})의 투과 등이 낮게 나타난다.

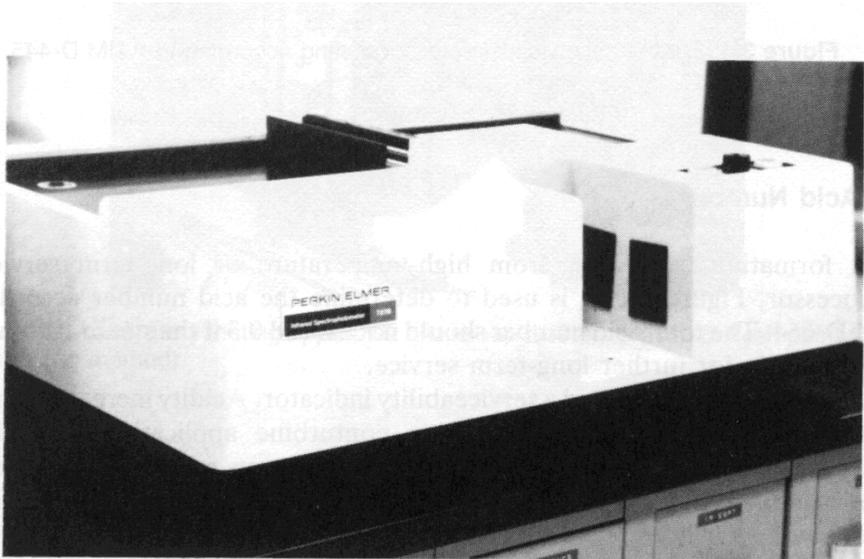


그림 3-187 시료에 포함된 산화 억제제량을 측정하는 적외선 분광 광도계

6.4.7 磨滅-粒子 分析의 非現實性 (Impracticability of Wear-Particle Analysis)

민간 항공기와 군용기에서 사용되고 있는 제트엔진에서는 윤활유의 마멸-입자 분석이 일상적으로 요구되고 있는데, 이 분석은 부품의 마멸과 초기부식에 대한 귀중한 정보를 제공할 수 있다.

유럽에서 이 분석을 대형 증기터빈 윤활 계통에 확대 적용하기 위한 시도가 있었지만, 결론은 미지수 이었다. 비행기의 제트 엔진에 비교하면, 증기터빈의 윤활유량은 엄청나게 많은 양이다. 따라서 분석치가 어느 정도의 의미 있는 농도값을 갖기 위해서는 터빈유 시료의 농축은 필연적인데, 이와 관련한 노력은 재현성 있는 결과를 보여주지 못했다.