

펌프 베어링하우징에서 베어링과 오일의 과열 및 오일수명 예측

한 상 규, 강 병 하*, 이 봉 주**

국민대학교 대학원, *국민대학교 기계·자동차공학부, **한돌펌프(주)

Prediction of Oil Lifetime due to Overheating of Oil and Bearing Housing in a Pump

Sang Kyu Han, Byung Ha Kang*, Bong Ju Lee**

Graduate School, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

*School of Mechanical & Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

**Handol Pumps Ltd., Namdong Ind. Complex 20BL 12LT, Incheon 405-300, Korea

(Received January 15, 2004; revision received February 27, 2004)

ABSTRACT: An experimental study has been carried out to investigate overheating of oil and bearing housing during pump operation. This problem is of particular interest in the prediction of lifetime and failure of pump. Transient variation of oil temperature as well as bearing housing temperature is measured to study the effect of oil viscosity, oil amount, and discharge flow rate of pump. It is found that optimal oil quantity as well as proper viscosity of oil is required to keep the safe temperature level of oil and bearing housing in a pump. The oil temperature at steady state is almost not affected by discharge flow rate in the range of discharge flow rates considered in the present study.

Key words: Pump(펌프), Bearing housing(베어링하우징), Overheating(과열), Oil lifetime(오일수명)

기 호 설 명

P : 펌프 관내 압력 [kPa]

T : 펌프 내부 온도 [°C]

t_{life} : 오일수명

그리스 문자

ν : 동점성계수 [cSt]

하첨자

b : 베어링

d : 토출

o : 오일

s : 흡입

1. 서 론

펌프는 인류 역사상 가장 오래된 기계류 중의 하나이며, 인력이나 축력, 풍력과 수력 등을 이용하여 수세기 동안 광범위하게 사용되었다. 이후 증기동력의 출현으로 기계적인 효율은 더욱 향상

† Corresponding author

Tel.: +82-2-910-4681; fax: +82-2-910-4839

E-mail address: bhkang@kookmin.ac.kr

되었고, 원심펌프의 개발로 훨씬 많은 유량과 큰 동력을 다룰 수 있게 되었다. 원심펌프는 현재 세계 펌프시장의 절반 정도를 차지하고 있다. 펌프는 건축설비용, 농업업용, 상하수도용, 제지용, 식음료용, 석유화학용, 발전소용 등으로 분류할 수 있으며, 다양한 산업 분야에서 사용되고 있다. 또한 국내 펌프시장은 WTO 체제 출범 이후 완전 개방되었으며, 선진 외국업체와 무한경쟁을 벌여야 하는 시대로 돌입했다.⁽¹⁾

펌프와 압축기 등 여러 기계류에 주입되는 오일은 기계부품의 마찰과 마멸을 줄이고, 기계요소들의 과열을 방지하여 기계장치의 성능을 유지시켜 주는 역할을 한다. 오일이 기계장치에 미치는 영향에 대해 많은 연구가 수행되었는데, Min et al.⁽²⁾은 인버터 열펌프 내 오일 순환량에 관한 실험적 연구를 통해 오일순환에 따른 인버터 열펌프의 성능 및 신뢰성 향상을 규명하였고, Ha et al.⁽³⁾은 펌프-터빈에서 안내 베어링의 예압이 온도 및 축 진동에 미치는 영향에 대한 연구로서, 안내 베어링에 예압을 가하여 축진동과 베어링의 온도를 효과적으로 줄일 수 있음을 보였다. 그리고 Sun et al.⁽⁴⁾은 자동차 공조기의 오일량과 냉매 충전량에 따른 성능평가 실험에서, 주입되는 오일량이 많아지면 오일의 회수가 원활하지 않게 되어 공조기의 냉방능력이 감소됨을 규명하였다. 또한 Yang et al.⁽⁵⁾은 폴리올레스테르 오일의 온도에 따른 열안정성 및 수명변화 특성에 관한 연구를 통해 오일의 수명을 예측하고, 오일의 산화과정을 고찰하였다.

현재 펌프시장은 고효율의 펌프로서 펌프 운전비용의 감소와 펌프 및 오일의 수명에 대한 신뢰성을 요구하고 있다. 펌프를 장시간 운전하게 되면 베어링하우징과 오일의 온도가 상승하게 된다. 베어링하우징 온도가 상승함에 따라 오일 온도가 올라가면 오일의 점성이 낮아져 오일과 베어링의 점착성이 떨어지게 된다. 이로 인해 베어링 접촉부에서 윤활이 제대로 이루어지지 않아 베어링 표면 마찰계수가 커지게 되고, 결국 베어링의 마찰과 마모가 증대하여 펌프의 성능이 저하되는 결과를 초래한다. 그러므로, 펌프의 효율과 성능을 유지하기 위해서는 펌프 베어링하우징과 오일의 과열을 피해야 한다.

본 연구는 펌프 오일의 점도와 양이 펌프 베어링하우징의 온도 및 오일의 온도에 미치는 영향

을 분석하고, 펌프의 운전조건에 따른 베어링과 오일의 과열에 관한 영향을 평가하여, 펌프의 온도 상승 및 오일의 수명을 예측하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 펌프의 성능을 측정하기 위하여 Fig. 1과 같이 실험장치를 구성하였다. 본 연구에 사용된 펌프는 API(American Petroleum Institute, API Standard 610) 공정 펌프로서 용량이 11 kW, 극수 2P, 주파수 60 Hz, 전압 460 V, 전류 19.6 A이고 회전수 3,550 rpm인 원동기로 구동되었다. 펌프의 흡입 파이프 직경은 50 mm, 토출 파이프 직경은 40 mm이고, 펌프운전시 초기 물의 온도는 19°C로 유지하였다.

펌프 내의 오일과 베어링하우징의 온도를 측정하기 위하여 펌프의 오일부, 베어링하우징부에 열전대(T-type, Omega)를 설치하였다. 오일부에는 유면을 확인할 수 있도록 펌프 측면에 사이트글라스(sight glass)를 제작하여 부착하고, 윗부분의 관을 통해 열전대를 삽입하여 오일온도를 측정하였다. 또한 베어링하우징부에는 펌프 전면의 래디얼베어링(radial bearing)의 좌우에 2개의 열전대를 설치하였고, 액시얼베어링(axial bearing)에는 상면과 좌우면에 3개의 열전대를 설치하여 베어링하우징의 온도를 측정하였다. 열전대 설치부에는 써멀그리스(thermal greese)와 단열 테이프를 사용하여 단열압착을 시킴으로써 외부로의 열유출을 방지하였다.

사용된 열전대는 온도측정의 정확도를 기하기 위해 정밀도 0.1°C의 수온온도계로 보정을 하였고 펌프의 흡입압력과 토출압력은 압력계(Konics pressure gauge)로 측정하였다. 또한 펌프의 토

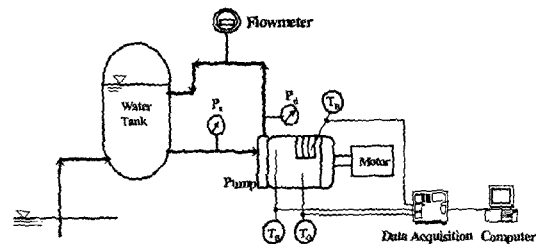


Fig. 1 Schematic diagram of the pump experimental setup.

출유량은 전자식 유량계(ABB signal converter XE)로 측정하였으며, 전동기 축의 회전수 측정은 적외선 타코미터(Ono sokki HT-441)를 이용하였다. 베어링과 오일의 온도측정은 A/D 데이터 취득장치(Yokogawa-DR230)를 이용하여 측정 데이터를 취득하고 컴퓨터에 저장하여 분석하였다.

펌프의 베어링하우징의 베어링과 오일의 온도 변화를 측정하기 위하여 펌프를 온도의 변화가 거의 없는 정상상태까지 운전하여 데이터를 취득하였다. 실험조건에 따라 차이가 있지만, 평균적인 정상운전상태까지의 도달시간은 90분 정도 소요되었으며, 각 조건에 따른 펌프운전시간은 120분에서 180분으로 하였다. 데이터 취득시 베어링과 오일의 온도가 정상상태에 이를 때까지 펌프를 운전하였으며, 조건을 바꾸어 실험하기 전에 펌프 베어링하우징을 충분히 냉각시킴으로써, 조건에 따른 실험의 초기상태를 같게 하였다.

실험 전에 펌프의 성능시험⁽⁶⁾을 통해 오일과 베어링의 온도데이터는 1분당 1개씩 취득하였다. 펌프의 오일의 온도는 오일 유면에 설치된 두 개의 열전대의 온도 평균값으로 표시하였고, 베어링하우징의 온도는 래디얼베어링부보다 높은 온도분포를 보이는 액시얼베어링에 설치된 세 개의 열전대의 평균 온도값으로 취득하였다.

3. 실험결과 및 고찰

펌프에 주입되는 오일의 점도에 따라서 펌프의 정상상태 운전시 베어링하우징과 오일온도의 변화를 알아보았다. 펌프 베어링하우징에 주입된 오일

의 양은 1,600 mL이며 펌프의 토출량은 20 m³/hr로 고정된 상태에서, 주입되는 오일을 점도가 각각 다른 VG32, VG46, VG68로 변화시키면서 펌프의 정상상태 운전시 베어링하우징과 오일의 온도를 측정하였다. 본 연구에 사용된 오일은 터빈 유로서, ISO VG32, VG46, VG68의 세 종류인데, 오일의 동점성 계수는 각각 온도가 40°C일 때 32, 46, 68 cSt의 값을 가진다.⁽⁷⁾ 또한 오일의 열전도도는 40°C에서 각각 0.1141, 0.1137, 0.1131 W/mK이고, 비열은 40°C에서 각각 502.8, 501.0, 498.2 J/kgK의 값을 가진다. 동일온도에서 오일의 종류에 따른 열전도도와 비열의 차이는 ±0.06% 이내이므로, 본 실험에서는 오일의 열전도도와 비열은 변하지 않으면서, 동점성 계수가 베어링하우징과 오일의 과열에 미치는 영향을 평가할 수 있다.

오일의 점도에 따른 베어링하우징과 오일의 온도변화 곡선을 Fig. 2와 Fig. 3으로 나타내었다. 같은 오일을 사용했을 때, 베어링하우징과 오일온도의 변화추이는 거의 같은 양상을 보인다. 펌프의 정상운전상태에서 오일점도가 68 cSt일 때, 베어링하우징의 온도가 47°C, 오일의 온도가 46.7°C로 가장 높게 측정되었다. 또한 오일 점도가 32 cSt일 때, 베어링하우징 온도 41.7°C, 오일의 온도 41.8°C로 가장 낮게 측정되어 펌프 오일의 점도가 가장 낮은 32 cSt일 때 베어링하우징의 온도상승이 가장 낮음을 알 수 있다. 즉, 오일의 점도가 높아질수록 베어링하우징과 펌프축의 마찰이 커져 정상상태 온도가 상승하게 된다.

펌프에 주입되는 오일을 VG32로 선택하고, 펌

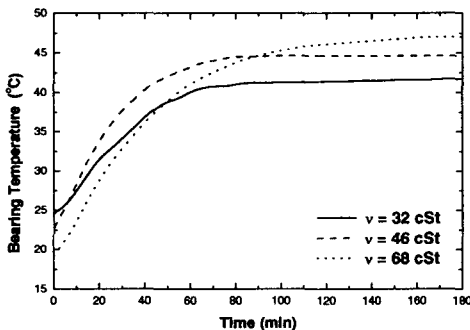


Fig. 2 Transient variation of bearing housing temperature for various oil viscosities.

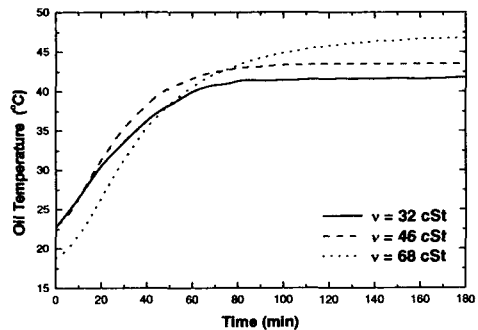


Fig. 3 Transient variation of oil temperature for various oil viscosities.

프의 토출량은 $20 \text{ m}^3/\text{hr}$ 로 고정된 상태에서 오일의 양을 1,450, 1,600, 1,825 mL의 세 가지 상태로 변화시켰을 때, 펌프의 베어링하우징과 오일의 온도변화 추이를 알아보았다. 오일의 양에 따른 베어링하우징과 오일의 온도변화 곡선을 Fig. 4와 Fig. 5로 나타내었다. 펌프가 정상운전상태일 때 오일량이 1,825 mL인 경우, 베어링하우징의 온도가 52.9°C , 오일의 온도가 54.2°C 까지 상승하였다. 오일량이 1,450 mL인 경우는 베어링하우징의 온도가 44.9°C , 오일의 온도가 43.6°C 로 측정되었다. 특별히, 오일량이 1,600 mL인 경우에 베어링하우징 온도 42.4°C , 오일온도는 41.7°C 로 측정되어 온도상승이 가장 낮았다.

펌프 내에 주입된 오일의 양이 1,800 mL로 가

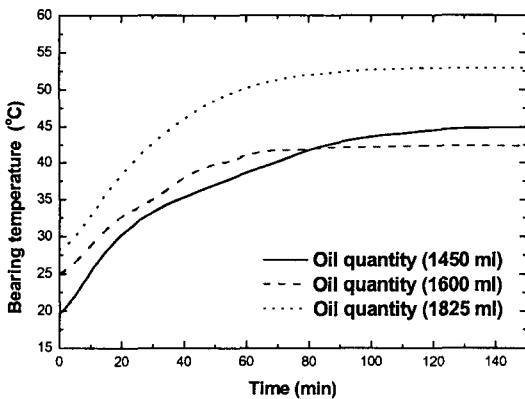


Fig. 4 Transient variation of bearing housing temperature for various oil quantities.

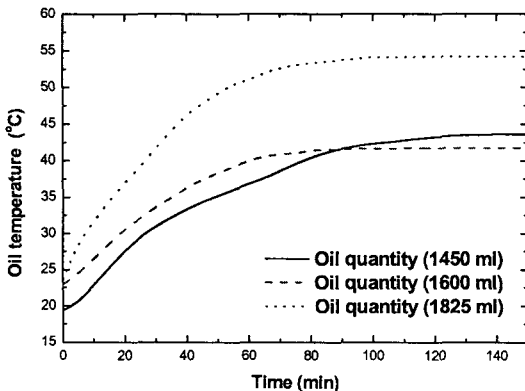


Fig. 5 Transient variation of oil temperature for various oil quantities.

장 많은 경우에는 펌프 내의 오일링이 오일에 잠기게 된다. 이로 인해 오일주격이 오일을 원활하게 순환시켜 주지 못하고, 오일이 하우징 내에 정제되어 있게 된다. 따라서 정제된 오일이 베어링과 오일과의 열전달을 방해하게 되어 오일의 온도가 상승함과 더불어 베어링하우징의 온도도 상승하게 된다. 또한 오일량이 1,450 mL인 경우에는 오일의 유면이 낮아지게 되어 오일주격에 의한 오일의 순환이 원활해지지 않는다. 또한 베어링에 접촉되는 오일의 양이 줄어들어 베어링의 온도 또한 동반 상승하게 되어 베어링하우징의 온도가 상승하는 것으로 예측된다.

본 실험결과에서 오일량이 1,600 mL일 때 오일과 베어링 표면의 온도 상승이 가장 낮았으며, 1,825 mL인 경우보다 베어링하우징 온도는 8.0°C , 오일온도는 10.6°C 가 낮게 측정되었다. 따라서 본 실험에 사용된 펌프에서 오일량이 1,600 mL 정도가 가장 적절한 오일 주입량이라 할 수 있다.

펌프에 주입되는 오일의 점도는 32 cSt, 오일의 양은 1,600 mL로 고정된 상태에서, 펌프의 토출량을 $20 \text{ m}^3/\text{hr}$, $25 \text{ m}^3/\text{hr}$ 로 변화시키며 연구를 수행하였다. 토출량이 $20 \text{ m}^3/\text{hr}$ 일 때는 토출압력이 785 kPa로 측정되었고, 토출량이 $25 \text{ m}^3/\text{hr}$ 인 경우에는 토출압력이 835 kPa로 측정되었다. 펌프의 토출량에 따른 베어링하우징과 오일의 온도변화 곡선을 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 토출량이 $20 \text{ m}^3/\text{hr}$ 인 경우에 베어링하우징 온도가 42.3°C , 오일온도가 41.8°C 로 측정되었다. 또한 토출량이 $25 \text{ m}^3/\text{hr}$ 일 때에는 베어링하우징 온도가 42.9°C , 오

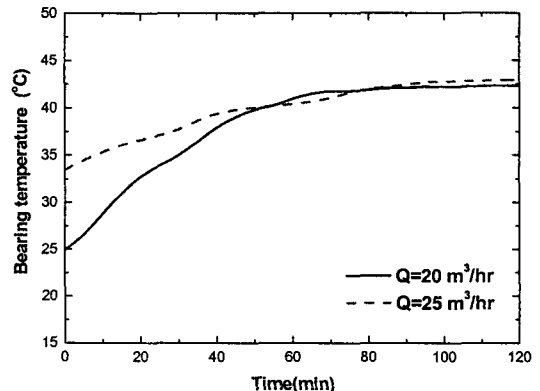


Fig. 6 Transient variation of bearing housing temperature for two discharge flow rates.

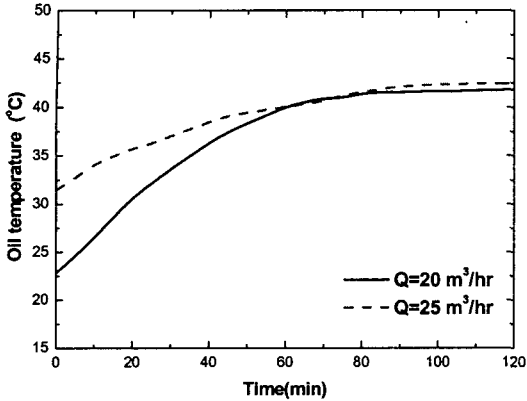


Fig. 7 Transient variation of oil temperature for two discharge flow rates.

일 온도가 42.4°C로 측정되었다.

펌프의 토출량이 변화하면 토출압력은 변화하지만 압력의 변화가 베어링하우징과 오일의 온도 상승에는 크게 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 정상운전상태에서 베어링하우징 온도차는 0.6°C, 오일의 온도차는 0.4°C로 나타났다. 그러므로 본 연구에서는 펌프의 토출량의 변화가 펌프의 베어링하우징과 오일의 온도 상승에 미치는 영향은 거의 없다고 할 수 있다.

펌프 운전시 온도변화에 따른 오일의 수명을 예측하기 위하여 오일수명에 영향을 미치는 인자는 온도뿐이라는 가정을 하였다. 임의의 온도에서 오일의 수명을 예측하기 위해서는 오일의 분해속도와 온도에 관한 식을 추론하여야 한다. 일반적으로 광유(mineral oil)의 최고 사용온도는 55°C이며, 오일의 온도가 10°C씩 상승할 때마다 오일의 수명은 절반으로 감소한다.⁽⁸⁾ 이것을 근거로 오일의 온도가 20°C일 때 오일의 수명을 100이라 가정하면, 오일의 온도가 10~60°C로 변화할 때 오일의 수명을 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 또한 이 식을 오일수명과 온도에 관련된 그래프로 나타내면 Fig. 8과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_{life} = 400 \exp(-0.0693 T_o) \quad (1)$$

위 식을 이용해서 펌프의 정상운전상태일 때의 오일온도를 T_o 에 대입하여 오일의 점도에 따른 오일의 수명을 예측하였다. 오일 점도가 32 cSt일 때 오일수명 t_{life} 는 22.08, 68 cSt일 때 t_{life} 는 15.39

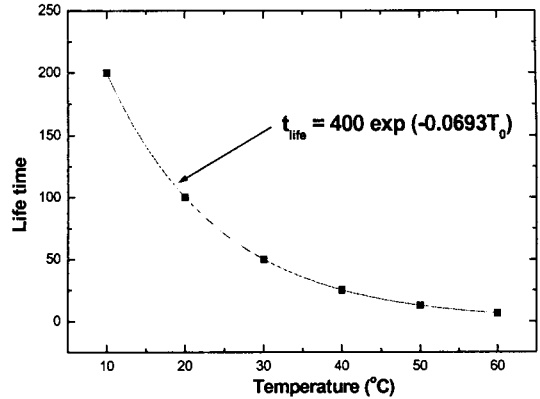


Fig. 8 Effects of oil temperature on the oil lifetime.

로 나타났다. 즉, 본 연구에서 점도가 가장 낮은 경우가 가장 높은 경우보다 수명이 1.43배 증가하였다. 또한 오일의 양에 따른 오일의 수명을 예측하면 오일량이 1,600 mL일 때 t_{life} 는 22.23, 오일량이 1,825 mL일 때 t_{life} 는 9.35로 나타났다. 즉, 펌프에 오일을 1,600 mL를 주입했을 때가 1,825 mL를 주입한 경우보다 수명이 2.38배 길게 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 펌프 오일의 점도와 오일량이 베어링하우징과 오일의 정상상태 운전시 온도가 얼마나 상승하는가를 예측하고, 운전조건에 따른 베어링하우징과 오일의 과열에 관한 영향을 평가하여 온도상승 및 오일의 수명을 예측하여 펌프의 성능을 유지하려는 목적으로 수행되었다.

오일의 점도변화에 따른 베어링하우징과 오일의 온도는 오일점도 32 cSt일 때 베어링하우징 온도 41.7°C, 오일의 온도 41.8°C로 최고온도가 가장 낮게 나타났다. 본 연구에서 오일의 점도가 증가할수록 베어링하우징과 오일의 온도는 증가하는 경향을 보였고, 사용된 오일중 점도가 32 cSt인 오일이 최적임을 알 수 있다. 또한 펌프에 주입된 오일량이 1,825 mL일 때 베어링하우징 온도 52.9°C, 오일의 온도 54.2°C까지 상승하였고, 오일량 1,600 mL인 경우에 베어링하우징 온도 42.4°C, 오일의 온도 41.7°C로 나타났다. 또한 오일량이 1,450 mL일 때 베어링하우징 온도 44.9°C, 오일의

온도 43.6℃로 측정되었다. 따라서 펌프 베어링하우징과 오일의 정상상태 온도를 낮게 유지시키는 적절한 오일량이 존재함을 알 수 있다.

펌프 운전시 토출량에 변화를 주어 펌프 전동기의 부하가 변하여도 베어링하우징과 오일의 정상운전상태 온도에 영향을 거의 미치지 않았다. 오일의 수명은 펌프 베어링하우징과 오일의 온도에만 영향을 받는다고 가정할 후 오일의 수명을 예측하였다. 본 연구에서 사용된 펌프에서는 오일의 점도가 32 cSt, 오일의 양은 1,600 mL일 때 펌프의 오일수명이 가장 길게 예측되었다.

참고문헌

1. Jung, W.S., 1999, The current situation of pump market and the development strategy of domain pump company, Korean Journal of Fluid Machinery Association, Vol. 2, No. 1, pp. 128-138.
2. Min, M. K., Hong, K. S. and Hwang, W. J., 2000, An experimental study on the oil circulation in an inverter-driven heat pump, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 12, No. 8, pp. 717-724.
3. Ha, H. C., Yang, S. H. and Choi, S. P., 0000, Preload effects on the metal temperature and shaft vibration in a guide bearing for hydraulic pump-turbines, R&D Center, Hanjung/Korea Heavy Industries & Co., pp. 123-128.
4. Sun, J. K., Chae, S. N. and Jung, D. S., 2001, Effects of refrigerant and oil charges on the performance of an automobile air conditioner, SAREK 2001 Winter Annual Conference, pp. 111-118.
5. Yang, D. S., Kim, Y. W. and Jung, K. W., 2002, The life time of polyolester oils through oxidation stability analysis and TGA, Applied Chemistry, Vol. 6, No. 1, pp. 178-181.
6. KS B 6301, 2001, Testing methods for centrifugal pumps, mixed flow pumps and axial flow pumps, Korea Standards Association.
7. KS M 2120, 2001, Turbine oils, Korea Standards Association.
8. Yang, D. S., Kim, Y. W. and Jung, K. W., 2002, Thermal stability and lifetime change characteristics of polyolester oils with temperature, J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 13, No. 8, pp. 809-814.