

청정도에 따른 베인펌프의 마모 특성

권혁진, 전정식, 권완섭, 문우식
SK 주식회사

Effects Of Fluid Cleanliness Level On The Wear Behavior Of Vane Pump

Hyuk-Jin Kwon, Jung-Sik Chun, Wan -Seop Kwon, Woo-Sik Moon
SK Corporation

1. 서론

유압시스템의 최근 동향은 고압화와 소형화라고 말할 수 있다. 유압시스템이 고압 소형화 되면서, 윤활유 측면에서는 우수한 산화 안정성과 내마모 성능을 요구하게 되었다. 유압 작동유에는 비교적 저압에서 주로 사용되는 범용 유압 작동유와 고압하에서도 사용이 가능한 내마모성 유압작동유가 있다. 범용 유압 작동유는 내마모첨가제가 사용되지 않으며 산화방지제 및 방청제, 내부식제 등으로 구성되어 있어 고압하에서는 과대 마모 생성의 원인이 되기도 한다. 내마모성 유압 작동유는 내마모성 첨가제를 포함하고 있어 고압하에서도 시스템의 과대 마모를 방지하게 된다. 최근 고압 소형화 추세에 따라 내마모성이 더욱 우수한 유압 작동유가 개발 사용되고 있다.

유압유의 성능 평가에 있어 유압펌프를 이용한 내마모성 평가는 일반적인 것으로, 베인 펌프 시험기는 가장 광범위하게 사용되는 시험장비 중의 하나이며 1970년에 ASTM 시험법으로 등록되어 수십년간 규격 시험법으로 활용되어 왔다.

과거로부터 유압유에 요구되는 내마모성을 만족시키기 위하여 ZnDTP 계의 내마모성 유압작동유가 사용되어 왔고 현재에도 가장 광범위하게 사용되고 있다. 최근에는 환경 문제 및 여과성과 관련하여 Zn를 포함하지 않는 윤활유가 일부 판매 되고 있으나 비교적 고가이기 때문에 광범위하게 사용되고 있지는 않다.

현재 판매되고 있는 제품의 경우 대부분 베인 펌프 시험에서 규격을 만족하고 있으며 이는 내마모성 유압유 자체의 내마모 성능을 평가하는 주요 지표로 활용 되고 있다. 그러나 실제 설비에 있어 장비의 마모가 윤활유의 물성에만 관련이 있는 것이 아니라 윤활유의 오염에 의하여 영향을 많이 받으므로 이에 대한 검토가 필요하다. 따라서 최근 설비 관리 동향은 윤활유의 성능 개선과 함께 윤활유의 청정성이 장비 수명에 미치는 영향을 파악하고 실제시스템에 청정성을 개선하여 윤활유와 설비의 수명을 연장하는 것이다.

유압 및 윤활 설비에서 윤활유의 오염 경로는 매우 다양하다. 장비의 조립 및 설치 시 이미 시스템 내에 존재하는 이물질과 사용중 발생하는 마모분 및 외부 침입물이 있을 수 있다. 그리고 온도 변화 및 냉각수 누출에 의한 수분도 포함되게 된다.

다양한 이물질 가운데 원활한 윤활을 방해하는 요소로서 소형 실트(Silt)와 수분이 특별히 중요한 역할을 하게 된다. 실트(Silt) 입자는 일반적으로 $5\mu\text{m}$ 또는 그 이하 크기이며 유막 두께와 비슷한 직경 크기의 입자로서 부품에 대한 연삭 마모의 주요 원인이 된다.[1] 커다란 입자의 경우 마모가 쉽게 발생하는 좁은 간극에 직접 침투하기가 어렵기 때문에 실제 마모에 미치는 영향은 상대적으로 적다. 또한 수분의 경우 윤활성을 저하시킬 뿐 아니라 첨가제와 반응하여 슬러지를 형성하기도 한다.

따라서 유압작동유와 윤활유의 수명을 연장

시키기 위해서는 입자성 이물질과 수분을 제거하는 것이 아주 중요한 문제가 된다.

윤활유 중에서 이물질을 제거하는 방법은 여러가지가 있으며[2], 오일의 요구 오염도와 적용처의 용도에 적합한 오염 제거 방법을 선택하여야 한다. 완전히 오염된 오일은 사용전에 별도의 외부 정화가 꼭 필요하다.

실트와 수분을 적합한 수준으로 낮게 유지시키기 위해 In-line 실트 제어 필터와 수분 제거 필터는 매우 중요하다. 수분 제거 필터의 여과재는 자유 수분을 설비로부터 효과적으로 제거하고, 기계부품의 부식을 감소시킨다.[5]

본 연구에서는 고품의 입자가 베인펌프의 마모에 주는 영향을 파악하기 위하여 필터의 사양을 달리해 가며 베인 펌프의 마모에 주는 영향 및 필터의 사양이 윤활유에 존재하는 고품 이물질의 양에 미치는 영향을 평가 하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

Fig. 1은 내마모성 유압 작동유 평가에 사용되는 Vickers 104 C 베인 펌프 시험장비의

베인 펌프를 나타낸 개략도이다.

Fig. 1에 나타난 베인 펌프의 개략도 중에 미끄럼이 심한 부분은 각각 베인과 캠링, 베인과 로터사이이다. 그 외에도 로터와 부상, 베인과 부상사이도 접동부이나 이 부분에는 미리 적정 간극이 이미 설계되어 있으므로 펌프 조립시 간극이 적당하도록 조립하는데 주의하여야 한다. 조립시 과도한 토크나 큰 간극은 베인 펌프 시험시 정상상태에 이르기 전에 부상의 파손으로 이어진다. 또한 실제 운전조건은 시험 펌프 설계 조건의 2배의 압력하에서 운전되므로 불완전한 조립은 시험 실패와 직결된다. 사용유 가운데 dust 등의 고품입자가 혼입된 경우에는 심한 연삭 마모를 일으키며 증기압이 높은 water-glycol계 작동유를 사용한 경우 비교적 발생하기 쉬운 캐비테이션에 의하여 부식되는 일도 있다.

한편 베인과 캠링의 접동부에 대하여는 적당한 유막을 형성하도록 하여야 하며 베인의 뒷부분에 걸리는 압력을 너무 작게하면, 베인에 의하여 밀봉되어 있는 고압상태인 펌프의 토출부의 윤활유가 저압의 흡입부분으로 누설되므로 용적효율이 저하된다. 따라서 베인이 캠링으로부터 떨어지지 않도록

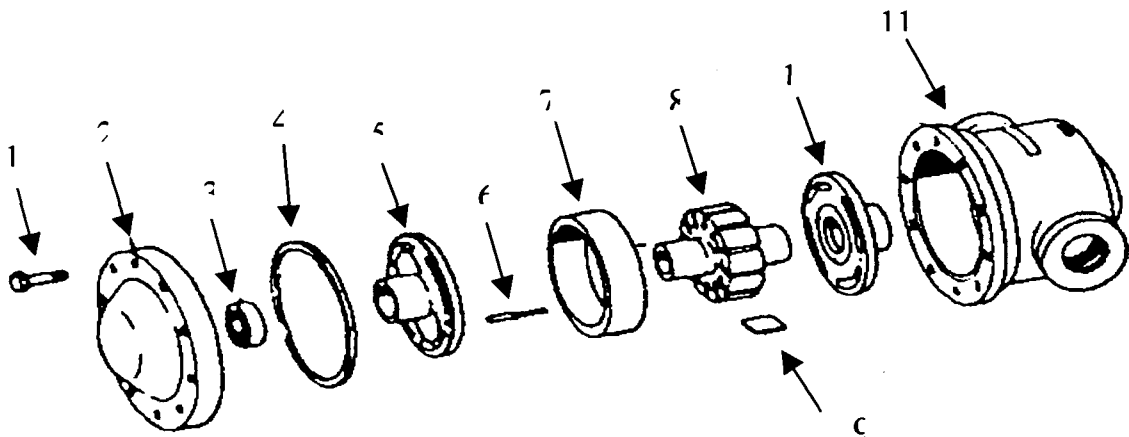


Fig. 1. Schematic diagram of vane pump

(1) Head screw, (2) Head, (3) Head bearing, (4) Head Gasket, (5) Bushing, (6) Pin-locating, (7) Ring, (8) Rotor, (9) Vane, (10) Bushing, (11) Body

하는 동시에 여분의 압력이 가하여지지 않도록 적당히 베인에 가하여지는 유압을 조절하여야 한다. Intravane, step vane, dual vane 등의 특수한 베인은 필요이상의 고압이 베인선단에 가하여지지 않도록 개발된 것이다.

이와 같이 베인과 캠링간의 사이는 양호한 윤활상태를 유지하도록 설계하고 있으나 베인펌프의 작동원리상 가혹한 마찰조건이 되는 것은 피할 수 없다.

또한 효과적인 윤활유의 모니터링을 위하여 필터 전 후단에 오일 시료를 채취할 수 있도록 샘플링 포터를 설치하였으며 시험 중간에 시료를 채취하여 오염상태를 측정하였다. 윤활유에 존재하는 이물질의 수와 크기는 HIAC 사의 C 600 모델의 입자계수기를 활용하여 5, 15, 25, 50 μ m 보다 큰 입자들의 수를 각각 측정하였다.

2.2 실험방법

시험전 시험유 간의 상호 오염 및 시스템 내에 존재하는 이 물질을 효과적으로 제거하기 위하여 세척유를 사용하여 시험기의 전 계통을 세척하였다. 세척유를 30분간 순환시킨 후 새로운 미사용 펌프 카트리지로 교체하여 시험을 실시하였다. 캠링과 12개의 베인의 무게를 mg 단위로 측정하고 뒤 시험 카트리지를 설치하였다.

시동 전 모터를 짧은 시간동안 운전을 반복하여 저회전 상태에서 윤활유가 전 시스템에 충전 되도록 하여 초기에 발생할 수 있는 윤활부족 문제와 캐비테이션을 억제하였다. 시험유가 충분히 순환된 후 시동시켜 회전속도를 1200 rpm 으로 조정하였다.

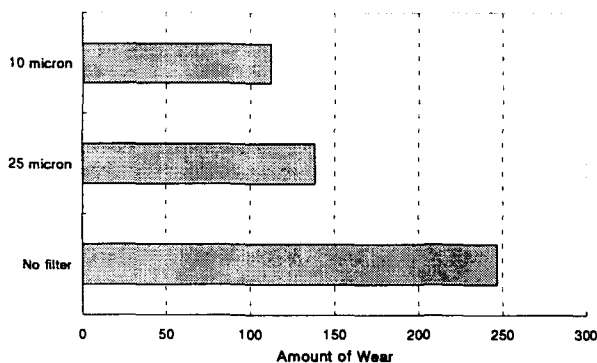


Fig. 2 Effects of mesh size on total wear

펌프의 토출 압력을 2.07MPa로 조정하고 뒤 압력을 10분간씩 6단계로 나누어 올리며 정상상태에 도달시켰다. 시험 중 온도는 초기에는 히터를 이용하여 제어하였으며 정상상태에서는 쿨러를 이용하여 68 $^{\circ}$ C로 제어 하였다.

위와 같은 일련의 과정 중 소음, 진동, 윤활유 측화 등이 일어나면 시험조건이 적합하지 않은 것으로 간주하여 시험을 중단하고 시스템을 세척하였으며 신규 카트리지를 활용하여 재시험을 수행하였다. 유량이 규정치보다 적게 측정될 경우에도 재조립 후 시험을 수행하였다.

시험 시작후 100시간이 경과하면 압력 조절 밸브의 설정치를 낮추고 펌프를 정지시킨다.

캠링과 12개의 베인의 무게를 mg 단위로 측정하고 시험 전·후의 차이를 시험에 의한 부품의 중량손실로 기록한다.

시험조건을 요약하면 표 1과 같다.

Table 1 베인 펌프 시험기 시험 조건

시험 설비	Vicker 104 C
윤활유	내마모성 유압유 ISO VG 32
모터 회전수	1200 rpm
토출 유량	22liter/min
유압	13.79Mpa
유온	68 $^{\circ}$ C
운전시간	100 h
필터 mesh 크기	필터없음/ 10 μ m/25 μ m
필터의 베타율	200

시험중 계속 해서 특이 소음 발생 여부 및 유량 변화를 관찰하고 24시간 간격으로 필터 전단과 후단에서 각각 시료를 채취하여 윤활유의 오염도를 측정하였다.

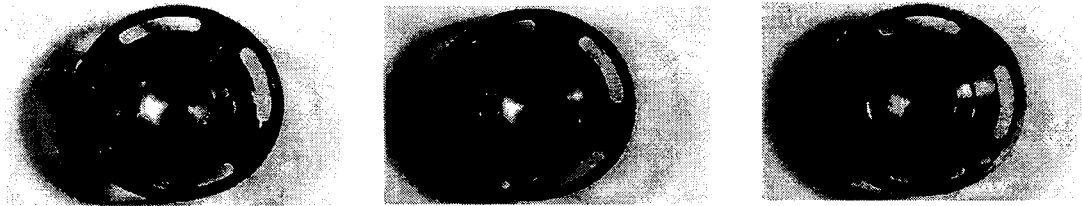
3. 실험결과

Fig. 2는 필터의 메쉬 크기와 베인과 캠링의 마모량의 합과의 상관관계를 나타낸 것이다. Fig. 2와 같이 필터의 메쉬 크기를 25 μ m, 10 μ m로 변화시키면 펌프에서 발생하는 마모량이 50% 이상 현저히 감소함을 알

수 있다. 필터가 없는 경우는 시험 초기 과
대 마모와 유량 저하로 시험을 계속 진행하
기 어려웠으며 이 경우 진행 시간에 해당하
는 마모량으로 전체시간에 해당하는 마모량
을 추정하였다. 이는 베인 펌프에서 발생하
는 마모 성분중 연삭에 의한 마모가 많은
부분을 차지함을 타나 내는 것으로 윤활유

의 내마모성 개선과 함께 오염도 수준을 낮
추어 장비의 수명을 효과적으로 연장할 수
있음을 보여준다.

Fig. 3은 펌프 카트리지 내부에 설치된 부상
의 시험 후 표면 사진이다. 25 μ m와 10 μ m
필터를 사용한 경우는 표면상 큰 차이점이
없으나, 필터가 없는 경우는 과도한 연삭



No Filter

25 microns

10 microns

Fig. 3 Photographs of bushing after experiments

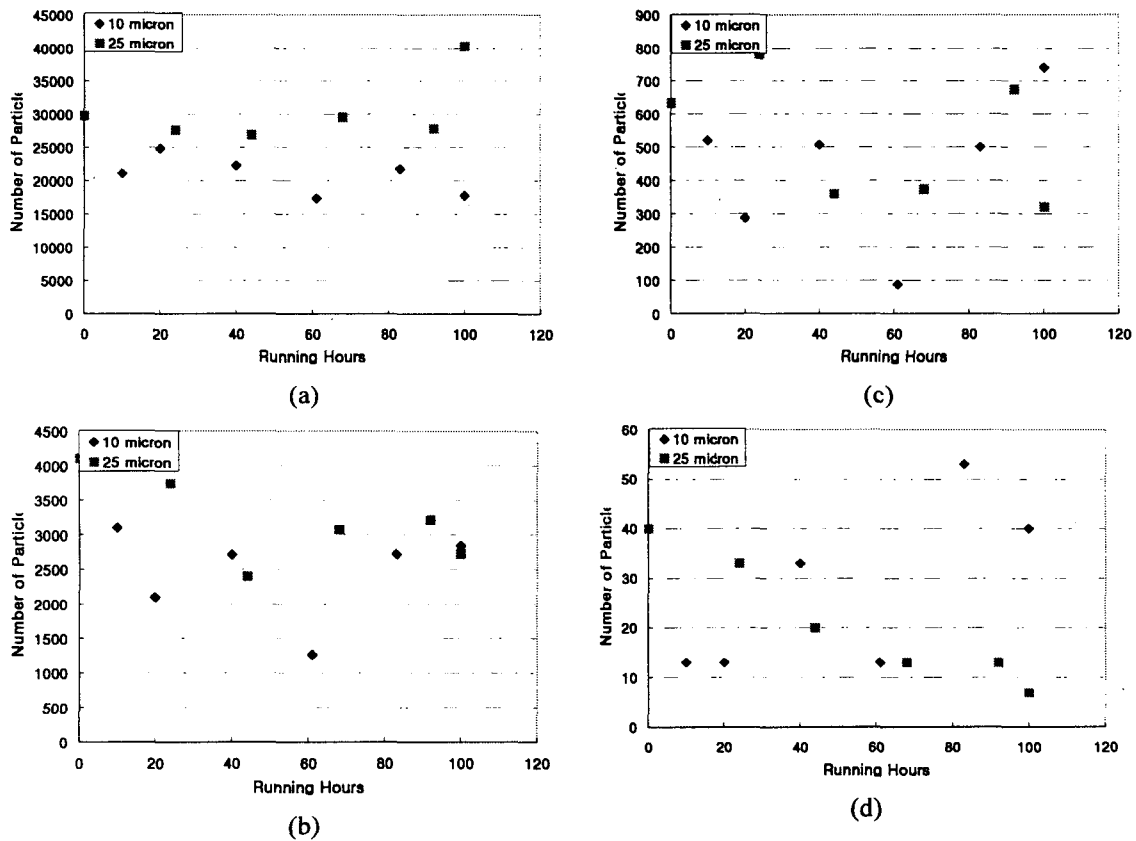


Fig. 4. Contaminated particle size distribution, (a) over than 5 micron (b) over than 15 micron (c) over than 25 micron (d) over than 50 micron

마모가 발생한 것을 알 수 있다. 필터를 장착하지 않은 상태에서는 수회에 걸쳐 시험하였으나 동일한 결과를 얻었다. 부싱의 마모로 인한 시험 중단은 베인 펌프 시험에서 일반적으로 생기는 현상이나 계속적인 발생은 필터의 장착 여부에 영향을 받는다는 것을 추정할 수 있다. 이는 생성된 마모입자가 시스템의 마모를 가속화시키는 것을 알 수 있다. Fig. 2 에 나타낸 마모량은 캠랑과 베인의 마모량만을 표시한 것으로 실제 연삭 마모에 기여한 입자가 매우 다량임을 추정할 수 있다.

Fig. 4는 시험 중간에 채취한 유압유 시료에 대하여 오염도를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 5 μm 이상 크기의 입자수를 측정된 결과를 나타낸다. 그림으로부터 10 μm 필터가 5 μm 이상의 입자를 제어하는데 더 효과적인 것을 알 수 있다. 필터

의 여과 성능에 있어서는 입자의 크기가 커짐에 따라 10 μm 필터의 효과보다는 Fig. 4(d)에서 볼 수 있는 바와 같이 25 μm 필터의 여과 성능이 더 우수한 것을 알 수 있다.

실제로 시스템의 마모의 주 요소는 시스템의 유막 두께와 비슷한 크기의 입자에 의하여 크게 좌우 되므로 설계시 그에 적합한 필터를 선정하는 것이 중요하다. 5 μm 이상 입자의 경우 10 μm 필터를 사용할 경우 입자수가 일정하게 유지되나 25 μm 필터를 사용할 경우 서서히 입자수가 증가한다. 반면 50 μm 이상의 입자에 대하여는 25 μm 필터가 효과적으로 작용하고 있으며 10 μm 필터의 경우 서서히 입자수가 증가하는 경향을 나타낸다. 따라서 제어하고자 하는 입자의 크기에 따라 적합한 필터를 사용하여야 함을 보여주고 있다.

Fig. 5는 필터에 유입되는 입자수에 필터에

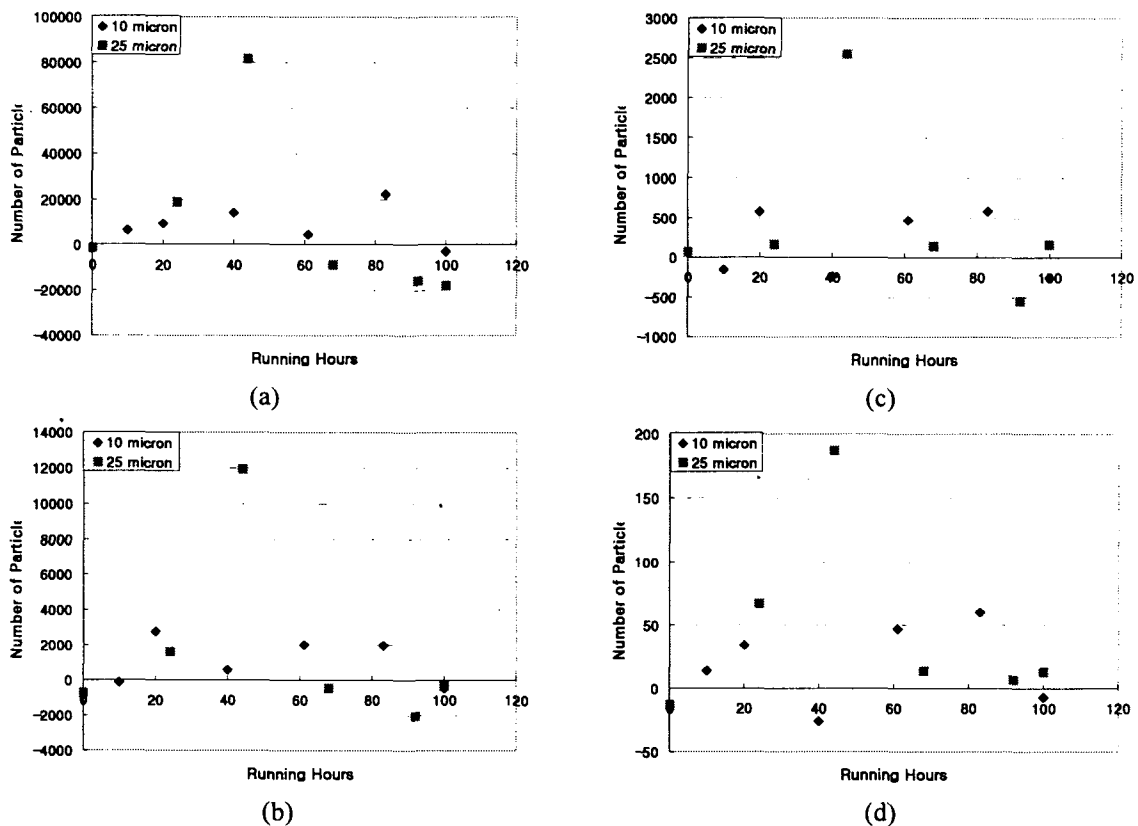


Fig. 5 Difference of number of particles before and after filtration , (a) over than 5 micron (b) over than 15 micron (c) over than 25 micron (d) over than 50 micron

서 유출되는 입자수를 뺀 차, 즉 필터에 누적되는 입자의 수를 나타내는 것으로 양의 값은 필터가 입자를 포집하는 경우로 볼 수 있다. 그러나 y축의 면적이 음인 부분은 유입전보다 필터를 통과한 후에 입자수가 증가한 것을 나타내므로 필터에 의한 재오염으로 고형 입자가 시스템 내부를 순환하면서 악영향을 미치게 된다. 5 μ m, 15 μ m 보다 큰 입자의 수 측면에서는 10 μ m 필터가 효과적이고, 25 μ m 이상 크기의 입자에 대한 결과에서는 비슷한 양상을 보이다가 50 μ m 이상인 입자에 대하여는 25 μ m 필터가 효과적인 것을 알 수 있다.

본 실험에서는 100 시간이라는 한정된 조건에서 실험을 수행하였지만 60~80 시간이 경과하면서 필터 성능이 저하되는 것을 알 수 있었다. 필터 전후단 사이의 압력 변화에 따라 그 교체시기를 정하고 있으나 그 시기에 대하여는 좀 더 체계적인 점검이 필요하다. 이는 비록 압력차가 크지 않은 상태에서도 필터에 의한 재오염이 생길 수 있기 때문에 교체주기 이상으로 사용하는 것은 시스템의 조기 마모의 원인이 될 수 있다. 또한 Filter 는 자체 크기와 비슷한 크기의 입자를 여과 시키는데는 효과적이지만, 차가 큰 입자를 여과 시키는데는 효과적이지 못한 것을 알 수 있었다.

그러므로 여러산업체의 기계장비에 적용시에는 각 운전 조건에 적합한 필터를 사용하는 것이 효과적이다.

3. 결론

본 실험을 통해 얻을 수 있는 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 효과적인 필터링을 통하여 베인펄프의 마모를 억제할 수 있었다.
- 2) 유막두께와 비슷한 크기의 입자들이 입자들이 과대마모의 주요 원인이므로 시스템에 적합한 필터를 선정하여야 한다.
- 3) 필터는 해당 메쉬 size 와 비슷한 크기의 입자에 대하여 효과적이다.
- 4) 필터는 사용시간의 증가에 따라 재오염의 원인이 되므로 이에 대한 모니터링이 필요하다.

참고문헌

1. Inoue, R., "Surface Contact Wear and Abrasive Wear in Lubricated Sliding Mechanisms" Doctoral Thesis, Oklahoma State Univ., Stillwater, Oklahoma, 1982.
2. Canil, J.J., The BFPR Journal, Fluid Power Center, OSU., "Filtration and Water Removal" Volume 17:171(1984)
3. "The Pall HFP Oil Purifier", Pall Industrial Hydraulics Corporation, East Hills, N. Y. 11548, 1986
4. "The Pall HFP Oil Purifier", Pall Industrial Hydraulics Corporation 1984.
5. "New Product Bulletin: NPB-sorb", Pall Industrial Hydraulics Corporation, 1984.
6. P.V. Madhavan, "오염관리를 통한 유압작동유와 윤활유의 수명연장, Pall Corporation.