

유압 피스톤 펌프의 피스톤 마모에 대한 표면경도의 영향

김종기 · 정재연*

전북대학교 대학원
*전북대학교 기계공학부, 자동차신기술연구소

Effect of surface hardness on piston wear in the oil hydraulic piston pump

Jong-Ki Kim, Jae-Youn Jung*

Graduate School, Chonbuk National University
*Faculty of Mechanical Engineering and Automobile Hi-Technology
Research Institute, Chonbuk National University,

Abstract - Surface hardness is one of the major sources on wear in the oil hydraulic axial piston pump. To increase the performance of the oil hydraulic axial piston pump, it is need to know the surface layer characteristics in the sliding contact parts of them. This paper reports an experimental study on surface treatment characteristics in the piston of the oil hydraulic axial piston pump. We investigated surface wear with not only surface hardness and surface roughness but also material of the piston. We obviously observed that the surface hardness of piston in the oil hydraulic axial piston pump plays an important role to high power density and remain long life.

Key words - surface treatment, hardness, roughness, material

1. 서 론

유압기기들의 고압화에 따라 상대운동부의 간극 및 표면조도와 함께 표면처리 기술의 중요성이 더해가고 있다. 특히, 가장 고압을 발생하는 유압 피스톤 펌프의 경우 주요 부품들의 표면처리 기술을 이용한 표면경도의 확보는 부품들의 내마모성, 내피로성, 내식성 등의 향상을 위해 반드시 필요하다. 그렇지 못할 경우 마모에 의한 표면손상으로 펌프가 파손되는 결과를 초래하므로 표면처리 기술에 대한 많은 연구가 필요하다. 그러나 마모에 의한 표면손상과 표면처리와의 관계를 다룬 문헌이 없어 그

정확한 데이터를 문헌으로부터 얻는 것은 거의 불가능한 실정이다. 이에 본 논문에서는 유압 액셀 피스톤 펌프의 국산화 개발을 통하여 경험했던 표면처리 방법 및 표면처리에 의한 표면경도 확보의 중요성을 소개함으로써 수입 의존도가 높은 유압기기들의 국산화 개발에 도움이 되고자 한다.

2. 이론적 고찰

표면처리의 목적은 내마모성, 내피로성, 내식성의 향상 등이고, 목적에 부합하는 적절한 표면처리를 선택하는 것이 중요하다. 내마모성을 향상시키기 위해서는 표면경도

를 높이고, 윤활성 또는 응착 방지성의 피막을 생성시킬 수 있는 표면처리를 선택하는 것이 중요하며, 현재 널리 사용되고 있는 표면처리 기술을 Table. 1에 나타내었다.

Table. 1 Classification of surface treatment

처리 방법		처리 명칭
표면 경화	물리적방법	화염경화, 고주파경화
	화학적방법	침탄, 침탄질화, 질화, 연질화, 침류질화
금속 피복법		크롬도금, 니켈도금, 용사법

최근에는 진공기술이나 플라즈마 기술의 개발과 함께 표면처리 분야에서도 새로운 방법이 개발되어 많은 진보를 가져왔다. 진공 침탄, 플라즈마 침탄, 이온 질화 등은 그 기본적인 특성은 기존의 가스 침탄이나 가스 질화와 동일하지만, 몇 가지의 다른 특징을 갖고 있다. 예를 들면 기존의 가스 침탄에서는 분위기 가스중의 미량의 산소의 영향으로 겉표면의 입계산화는 피할 수 없었지만, 진공중에서 처리하는 진공침탄 또는 플라즈마 침탄에서는 이 입계산화 발생하지 않고 피로강도 향상의 효과가 있다.

표면처리는 새로운 기술을 이용한 것뿐만 아니라, 기존의 표면처리 중에 몇 가지를 조합해서 우수한 특성을 이끌어 내는 복합형의 표면처리가 있다. 이것은 단일 처리로서 얻어지는 성능으로서는 불충분하기 때문에 다른 처리방법과 조합해서 내마모성, 내피로성, 내식성 등을 향상시키기 위한 것이다.

마모에 강한 표면은 산화물 피막등이 존재하는 수 마이크론의 얇은 층과 그 밑으로 높은 경도와 인성을 가진 고부하시에도 소

성변형이 없는 층 및 모재의 경도까지 완만하게 떨어지는 층 등의 3층으로 이루어진 표면층 구조가 가장 바람직하다. 따라서 표면처리한 부품의 성질은 단순히 상대부품과 접촉하고 있는 겉표면의 성질로만 보아서는 안되며, 표면과 내부의 상호관련성을 잘 고려해야할 필요성이 있다.

표면손상의 가장 큰 원인인 마모는 그 현상이 복잡하고 수많은 인자에 의해 지배되기 때문에 해석은 용이하지 않고 대책도 세우기 어렵다. 이러한 마모현상에는 마찰면이 상대운동함에 따라 미소한 돌기가 금속 응착을 일으켜 전단되면서 한쪽 물체가 다른 쪽에 이착하여 발생하는 응착마모(adhesive wear), 반복하중에 의한 표면층의 피로파괴 현상으로 내부 전단응력에 의한 소성영역에서의 미소 손상과 피로가 축적되어 결국 하부층에 균열이 생기고 그 균열이 표면까지 성장해서 표면에서 박리가 발생하는 피로마모(fatigue wear), 마찰면의 한쪽이 경한 재질인 경우나 마찰면 사이에 경한 이물입자가 끼인 경우 발생하는 어브레시브 마모(abrasive wear) 등의 세 가지로 크게 구분할 수 있다.¹²⁾

응착마모는 마찰계수가 중요한 인자이고, 마찰계수는 일반적으로 표면조도와 상관있기 때문에 표면조도는 가능한 작게 하는 것이 바람직하다. 표면처리후의 표면조도는 처리전의 가공정도에 의한 표면조도에 의해 좌우되기 때문에 표면처리전의 표면조도를 가능한 작게 하는 것이 좋다.

이러한 마모들의 대책으로서는 산화물 피막, 황화물 피막등 금속피막을 생성시켜 응착이 어렵고 윤활성을 갖도록 만들고, 표면경도를 향상시켜 내피로강도 및 내마모성을 증가시킬 수 있는 표면처리를 행하여야한다. 또한, 보다 경한 재질을 사용하거나

전체 열처리를 통해 모재 자체의 경도를 확보해야만 한다. 그러나 모재 자체의 너무 높은 경도는 충격하중시 문제가 될 수 있기 때문에 모재는 어느 정도 연성을 갖도록 하고 마찰이 일어나는 표면층에만 표면처리로 높은 표면경도를 확보하여 사용하는 경우가 많다.

3. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 연구 대상이 되는 유압 액셀 피스톤 펌프의 단면도이며, Fig. 2는 실험장치 유압 회로도이다.

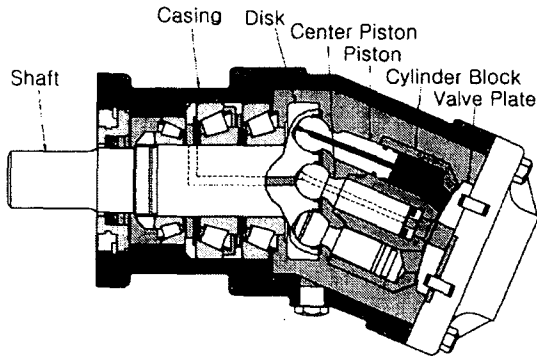
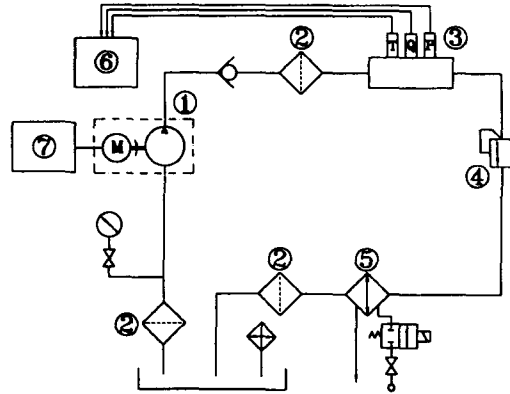


Fig. 1 Hydraulic axial piston pump

피스톤 펌프의 구동은 75kw AC servo motor를 사용하였으며, vector inverter controller를 사용하여 0에서 2,500rpm까지 무단 변속시킬 수 있다. 펌프와 모터는 체인 커플링으로 연결하였으며, 펌프 토출측에는 압력, 유량, 온도를 측정할 수 있는 sensor를 부착하였다.

토출압력은 펌프 토출측에 부착한 relief valve를 사용하여 무부하에서 35MPa까지 변화시킬 수 있도록 하였다. 또한, 작동유의 온도를 일정하게 유지하기 위해서 열교환기를 설치하였으며, 작동유의 청정성을 유지시키기 위해서 펌프 흡입측 및 탱크로

드레인 되기 직전에 filter를 장착하였다.



- ① Motor&Test Pump
- ② Filter
- ③ Sensor
- ④ Relief Valve
- ⑤ Heat Exchanger
- ⑥ Display
- ⑦ Motor Controller

Fig. 2 Hydraulic circuit

실험을 위해 두 종류의 샘플을 설계·제작하였으며, 각 샘플의 재질 및 표면처리 조건을 Table. 2에 나타내었다. 표면처리의 영향을 살펴보기 위해 샘플1은 표면처리를 행하지 아니하고 담금질, 뜨임처리만 하였으며, 샘플2는 담금질, 뜨임후 표면에 질화처리를 행하여 표면경도를 Hv700 이상으로 높였다. 한편, 제작한 유압 피스톤 펌프의 제원 및 주요치수는 Table. 3과 같다.

Table. 2 Material and heat treatment

sample 1		sample 2	
피스톤	실린더블록	피스톤	실린더블록
SCM435	SCM435	31CrMoV9	SCM435
담금질, 뜨임		담금질, 뜨임 질화처리	

실험방법은 제일 먼저 제작한 피스톤의 표면조도를 정밀 측정한 다음, 단면을 절단하여 표면에서부터 깊이 방향으로 0.05mm 간격으로 마이크로 비커스 경도계를 이용

하여 경도를 각각의 샘플에 대해서 측정한다. 그리고 각각의 샘플을 조립하여 성능시험장치에 장착하고 Table. 4에 나타난 시험조건에서 일정기간 동안 일정온도 및 회전수 조건에서 토출 압력을 변화시키면서 실험을 행한다. 실험을 행한 후 피스톤의 표면 상태를 관찰하고 실험 전 및 각 샘플을 서로 비교하여 결과를 분석한다.

Table. 3 Specification and dimension of test pump

구 분	규 격
토출 용적	90 cc/rev
최고 회전수	1,800 rpm
최대 경전각	23°
피스톤 개수	7 개
피스톤 직경	24 mm
실린더 블록 피치원 반경	35.5 mm
밸브플레이트 피치원 반경	24.5 mm

Table. 4 Test conditions

구 분	시험조건
토출압력	0~35 MPa
회 전 수	0~1,800 rpm
온 도	50±5°C
작 동 유	VG 46

4. 실험결과 및 고찰

실험중 샘플1은 29MPa의 토출압력을 견디지 못하고 피스톤 표면이 손상되는 현상이 발생하여 더 이상 운전이 불가능하게 되었다. 그러나 샘플2는 전 운전범위에서 별다른 문제없이 실험을 무사히 완료할 수

있었다.

1) 표면경도 영향

상대운동부에서 경도의 마모에 대한 영향은 Fig. 3과 같이 경도가 높을수록 내마모성이 증가하는 것으로 알려져 있다.³⁾ 따라서 표면경도를 높이기 위한 표면처리 기술은 마모를 감소시켜 유압펌프의 수명을 연장시킬 수 있는 매우 중요한 것임을 알 수 있다.

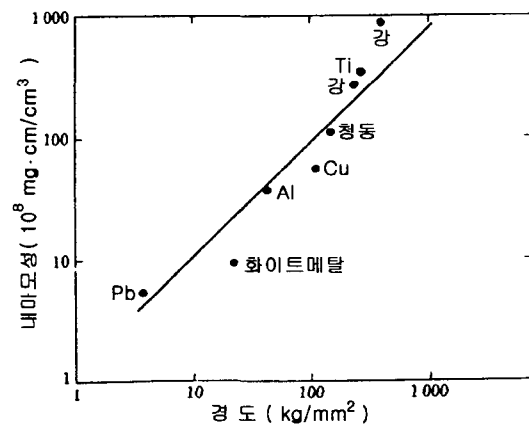
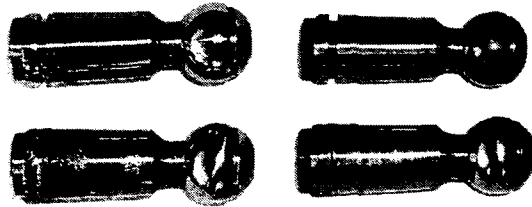


Fig. 3 Relation between wear and hardness³⁾

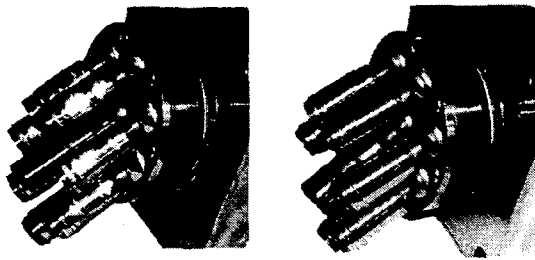
각 샘플의 실험전후 피스톤의 상태를 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타내었다. 그림들로부터 알 수 있듯이 표면처리를 행하지 아니한 샘플1의 피스톤은 표면이 심하게 마모되어 버렸다. 반면, 질화처리를 행한 샘플2의 피스톤은 표면상태가 비교적 깨끗함을 알 수 있다. 각 샘플의 표면경도를 측정된 결과를 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 6에 나타난 것과 같이 표면처리를 하지 않고 담금질, 뜨임만 행한 샘플1은 표면경도 값이 Hv500~Hv600 구간에서 전체적으로 균일한 값을 나타내고 있으며, 특히 경도가 가장 높아야 할 표면에서 오히려 내부보다 더 낮은 경도를 보이고 있다.

이에 반해 표면처리를 행한 샘플2의 경우는 Fig. 7에서 볼 수 있듯이 표면으로부터 0.1mm까지는 Hv800 정도를 유지하다가 완만하게 하강하여 0.5mm 깊이부터 Hv320 정도를 유지하는 것을 볼 수 있다. 따라서 이와 같은 표면의 경도값 및 경도 분포의 차이 때문에 샘플1의 피스톤 표면이 샘플2에 비해 상대적으로 고압을 견디지 못하고 쉽게 마모되었음을 알 수 있고, 샘플1이 샘플2에 비해 충격 부하시에 더 쉽게 파손될 우려가 있는 것으로 판단할 수 있다. 결국, 표면처리에 의한 표면경도의 확보 및 표면으로부터 깊이방향으로의 적절한 경도분포의 차이가 표면손상에 지대한 영향을 미침을 확인할 수 있었다.



(a) sample 1 (b) sample 2

Fig. 4 Before and after test



(a) sample 1 (b) sample 2

Fig. 5 Wear scar of surface after test

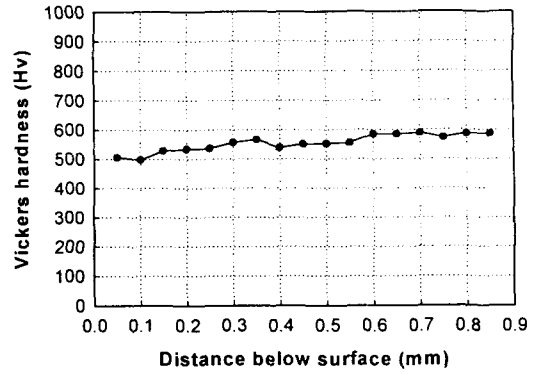


Fig. 6 Surface hardness of piston (sample1)

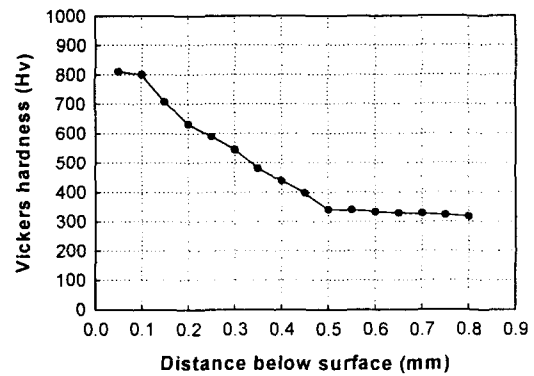
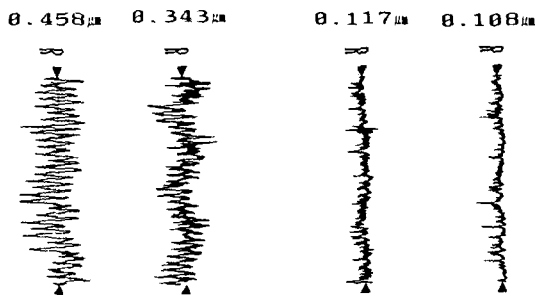


Fig. 7 Surface hardness of piston (sample2)

2) 표면조도의 영향

각 샘플 피스톤의 표면조도의 측정 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 샘플1 피스톤의 경우 평균 Ra 0.4 정도이고, 샘플2 피스톤의 경우 평균 Ra 0.11 정도로 약 4배정도 표면조도 값의 차이를 확인할 수 있다. 표면조도의 응착 및 전단에 의해 발생하는 응착마모는 표면조도의 크기에 좌우되며, 따라서 표면조도를 가능한 작게 하는 것이 좋다. 결국 보다 큰 표면조도를 갖는 샘플1의 경우 샘플2에 비해 상대적으로 응착마모의 발생 가능성이 높으며 이것 또한 샘플1 피스톤의 표면이 손상된 하나의 원인으로 생각할 수 있다.



(a) sample 1 (b) sample 2

Fig. 8 Surface roughness of the piston

3) 재질의 영향

마모량의 시간에 따른 변화를 Fig. 9에 나타내었다.⁴⁾

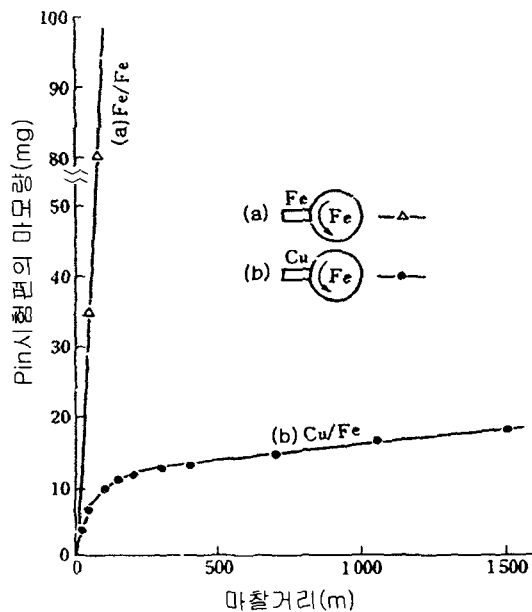


Fig. 9 Variation of wear rate with time⁴⁾

그림중의 (a)는 마찰하는 두 면이 동일한 재료인 경우로 급속한 마모가 발생한다. 이것은 동일한 재료가 마찰함으로써 분자 구조상 상호 융합되기 쉬운 것이 그 원인이며, 따라서 마찰면으로서 동일한 재료를 사용하는 것은 좋지 않다. (b)는 서로 다른

재료를 조합해서 반복 마찰을 행하는 경우로서 초기에는 마모의 진행이 빠르지만 시간과 함께 점점 늦어져간다. 처음의 초기마모의 경우 조도의 영향으로 마모가 심하게 발생하게 되고, 그 이후 정상 마모시에는 마찰 표면에 산화막이 형성되어 표면을 보호하기 때문에 완만한 마모형태를 보이게 된다.

5. 결론

대부분의 부품파손은 표면으로부터 발생하기 때문에 부품의 수명을 결정하는 가장 중요한 요인은 표면층의 성질이라고 할 수 있다. 따라서 복잡한 마모현상에 의한 표면손상의 방지를 위한 표면처리에 의한 표면경도의 확보는 유압펌프에서 무엇보다도 중요하며, 35MPa의 고압의 운전조건에서 사용하기 위해서는 적어도 Hv700이상의 표면경도가 요구됨을 확인할 수 있었다.

또한, 정밀한 가공을 통한 미세한 표면조도의 확보는 응착마모의 방지에 매우 중요함을 알 수 있었으며, 상대운동부에 동일 재료를 사용할 경우 마모량의 급격한 증가로 표면손상이 가속화되기 때문에 서로 다른 재료의 사용이 중요함을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

1. 日本潤滑學會編, "改訂版 潤滑ハンドブック", 養賢堂, 1987, pp. 55
2. J. Halling, "Principles of Tribology", MACMILLAN, 1989, pp.94
3. E. Rabinowicz, "Friction and Wear of Materials", John Wiley & Sons, 1965, pp. 171
4. 笹田, 野呂瀨, "潤滑", 1971, pp.689