

가공방향에 따른 마찰특성에 관한 연구

유용대, 김태완*, 조용주**

부산대학교 정밀기계공학과

*부산대학교 기계기술연구소

**부산대학교 기계공학부

The Effect of Finished Surface orientation on Friction Characteristics

Eung-dae You, Tae-Wan Kim, Yong-Joo Cho

Graduate School, Pusan National University

**Research Institute of Mechanical Technology, Pusan National University*

***School of Mechanical Engineering, Pusan National University*

Abstract - The effect of characteristic of surface roughness and roughness patterns on friction and sliding wear was studied experimentally under reciprocating boundary lubricant sliding conditions . The test was conducted with specimens which have various arithmetic mean value and roughness pattern under the condition of different normal load. The experimental results show that the friction coefficient is decreased because of oxidation mass and valley effect as the normal loads increasing . It was found that the specimens with surface roughness with a transversally oriented pattern have a smaller friction coefficient than the other two roughness patterns under the condition of the roughness values of $R_a=0.5$ and $R_a=0.2$.

Key words - roughness value, oxidation, friction coefficient

1. 서 론

상대운동을 하는 두 물체사이의 마찰, 마멸 현상은 재료의 표면상태, 접촉조건, 윤활상태 등 복잡한 마찰메카니즘이다. 과도한 마찰 마찰과 마멸은 실제 기계요소내에 피팅(pitting), 스킨핑(scuffing)등과 같은 표면손상을 초래한다. 특히 표면거칠기와 마멸(wear)의 관계는 마찰특성과 윤활상태에 중요한 영향을 미치며 이와 관련한 표면형상을

이해하기 위해서는 돌기높이 분포함수, 돌기 기울기와 곡률, roughness pattern 등이 마멸 거동과 아주 밀접한 관계가 있다.

표면 거칠기(surface roughness)변화가 마찰 및 마멸에 미치는 영향에 대하여 이론적 실험적 연구가 많이 진행되어 왔다. staphel a[1]은 매끈한 표면은 계면사이에 이 물질이 들어가지 어렵기 때문에 매끈한 표면 일수록 마찰특성이 우수하다고 보았으며 표면거칠기가 감소함에 따라 scuffing load는 증가한다

는 결과를 얻었다. 반면, Martz[2]는 거친 표면은 돌기 사이에 오일을 공급하고 먼지나 마멸입자들의 돌출구 작용을 하기 때문에 거친 표면일수록 마찰특성에 좋은 영향을 미친다고 하였다. 한편 Kang과 Ludema[3]는 거친 표면 또는 매끈한 표면보다는 중간 정도의 거칠기를 가진 표면이 윤활 특성에 더 좋은 효과를 보인다고 하였다. Bossler[4]는 적당한 표면 거칠기를 형성하는 것은 윤활유 Pocket 효과를 증대시키므로 매끈한 표면보다는 윤활 상태가 좋으며 또한 불연속면에 형성되는 윤활막은 윤활유 두께가 감소함에 따라 경직화(stiffening)효과를 증대시켜 준다는 가설을 세웠다. Jeng Hour Horng[5]은 roughness pattern과 돌기높이가 마찰계수를 결정하는 중요한 인자로 파악하였다.

Spikes and Cameron ,1974[6] ; Van Helden et al,1987)[7]

The adsorption/desorption theory을 가지고 scuffing 파괴설명하였다. 여기서 scuffing 파괴는 표면에 흡착된 층(adsorbed layer)의 임계량이 열의 탈착에 의해 임계값에 도달되었을 때 발생 한다고 보았다.

Cvitkovic et al. 1979[8]; Shen and Klaus, 1985)[9]scuffing mechanism을 윤활유의 산화막의 양과 관계있는 것으로 보았다. 여기서 유효파괴는 윤활유의 산화반응과 연관시켰다. 위에서 언급한것과 같이 scuffing 파괴는 표면과 윤활유사이의 표면 형상과 물리적 반응이 고려되어야 한다고 보았다.

본 연구에서는 다양한 돌기 높이와 roughness pattern을 가지는 steel에서 표면 거칠기 효과를 고려하여 미끄럼속도, 수직하중 ,표면거칠기 형상변화가 마찰특성 변화에 어떠한 영향을 미치는지를 실험적으로 규명하고자 한다.

2. 실험방법 및 조건

2.1 실험 장치

본 실험은 Plint & partners사의 TE67 마멸 시험기를 사용하였다. 하중은 설정값에 따라 PC로 제어되며 공압 실린더(Pneumatic cylinder)로 부과된다. plate는 2.3kw의 모터에 의해 회전운동을 직선운동으로 바뀌어 reciprocating하는 형태이며, 속도센서에 의해 일정한 미끄럼 속도를 유지하였다. pin과 plate사이의 수직력과 마찰력은 내장된 로드셀(load cell)에 의해 측정되며,로드셀의 측정신호는 컨트롤러(controller)를 통해 PC로 전송되면, 측정된 마찰특성 변수값이 자동 연산되고 저장된다.

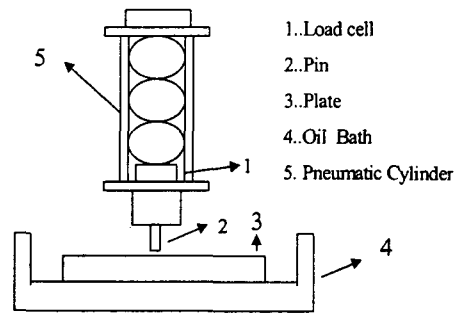


fig.1 Pin-on-reciprocator

2.2 실험시편

본 실험에서 사용된 시편은 기계구조용강으로 많이 사용되어지는 SM45C와 기어, 축류에 많이 사용하는 SCM435를 사용하였다. Plate의 다양한 표면거칠기를 구성하기 위해 연마기를 이용하여 가공하였고 가공방향을 다르게하여 수직방향, 경사방향(45°),수평방향으로 가공하였다.

시편의 물리적 제원을 Table.1과 같다.

Table 1

material	항복점(Y.P) kg/mm ²	인장강도 kg/mm ²	경도(HB)
SM45C	50min	70min	201-269
SCM435	80min	95min	269-331

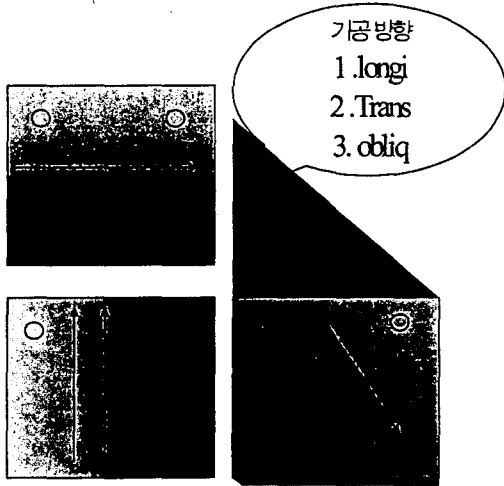


fig.2 plate 시편
Group I : Ra=0.5 μ m
Group II : Ra=0.2 μ m

2.3 실험방법

가공방향에 따른 마찰특성을 연구하기 위해서 중심선 평균거칠기가 다른 시편을 준비하였다. Plate시편인 SM45C는 평면연삭기(Surface grinding machine)로 fig.2와 같이 연삭 가공하여 방향성을 같도록 하였다. 중심선 평균거칠기를 다르게 하여 Group I, 과 II로 나누었다. plate는 초음파세척을 하고 아세톤으로 표면을 깨끗한 상태로 유지한다 음 표면거칠기를 측정하고 Test후에 표면거칠기를 측정하였다.

핀(SCM435)의 일정한 표면거칠기를 갖게 하기위해 Abrasive papaer(600mesh)을 가지고 Ra(0.2)값을 일정하게 하였다.

수직하중의 영향을 관찰하기 위해 미끄럼 속도 1Hz, 윤활유점도 34cSt에서 수직하중 80N,100N,120N으로 변화시켜 하중에 대한 영향을 측정하고 평가하였다.

Materials		Normal Load(N)	왕복주기 (Hz)
Plate	Pin		
SM45C	SCM435	80 , 100 , 120	1

Table.3 Experimental conditions for sliding tests

3. 실험결과 및 고찰

3.1 하중변화에 따른 마찰특성

fig.3,fig4는Group I (Ra=0.5),Group II (Ra=0.2)에서 하중변화에대한 마찰계수변화를 보여준다

전체적으로 하중이 증가함에 따라 마찰계수가 작아지는 것을 볼 수 있다. 낮은하중(80N)에서 pin과 plate사이의 부분적인 응착으로 마찰계수가 크게 나타나고 하중이 높을수록 왕복 미끄럼 거리의 증가로인한 검은색 산화막이 생성되었으며 마멸입자가 마찰열에 의해 재질이 연화되어 마찰계수가 감소되었다. 이것은 경계윤활상태에서의 볼 수 있는 특성으로 고체간의 실접촉영역이 감소되어 마찰계수가 감소되는 것으로 생각된다.

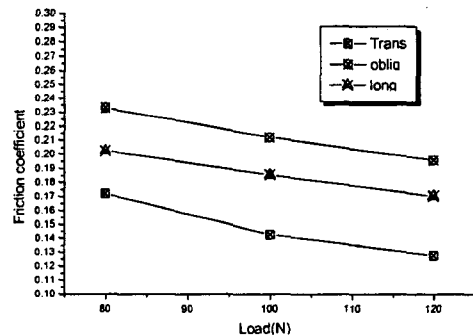


fig.3 mean friction coefficient of trans, long, obliq pattern in Group I (Ra=0.5)

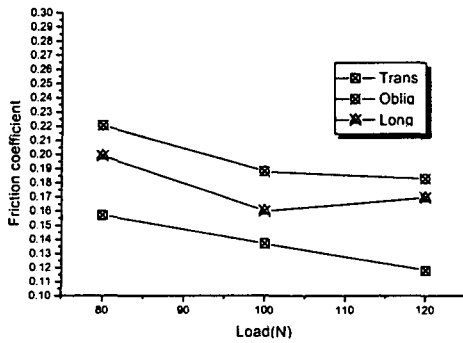


fig.4 mean friction coefficient of trans, long, obliq pattern in Group II (Ra=0.2)

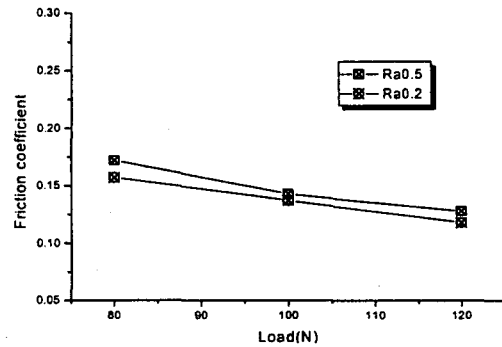


fig.5 mean Friction coefficient of Transverse pattern. (Ra=0.5, Ra=0.2)

fig.3, fig.4는 Group I (Ra=0.5)과 Group II (Ra=0.2)에서 마찰특성을 보여준다. 여기에서 Transvers pattern이 oblique pattern보다 적은 마찰계수를 나타낸다. 이것은 Transversal pattern은 슬라이딩방향과 골(valley)과 수직이어서 윤활유의 이동이 용이하여 흡착막 또는 산화막이 반응할 기회가 더 크고 접촉 면적을 크게하여 마찰열을 윤활유로 이동시킬 기회가 더 크다. (Van Helden et.al 1987) "oil valley" 효과에 의해 oblique pattern보다는 "oil valley" 효과가 크다고 할 수 있다.

3.2 중심선 평균거칠기(Ra) 변화에 따른 마찰계수변화

fig5, fig6, fig7에서 Transverse pattern, oblique pattern, longitudinal pattern에서 중심선 평균거칠기가 작은 값이 작은 마찰계수를 나타낸다.

여기서 Transverse pattern 이 다른 pattern 보다 작은 마찰계수를 나타낸다.

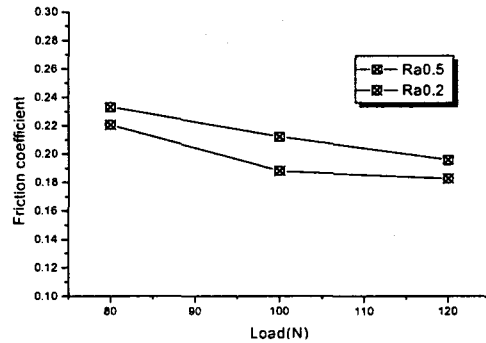


fig.6 mean Friction coefficient of oblique pattern. (Ra=0.5, Ra=0.2)

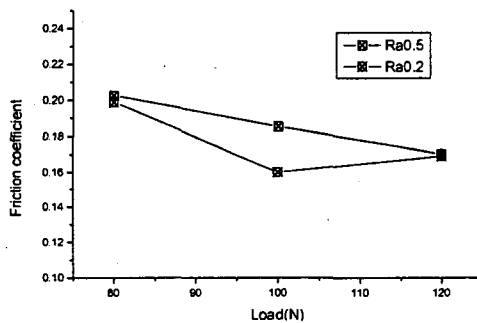


fig.7 mean Friction coefficient of longitudinal pattern (Ra=0.5, Ra=0.2)

3.3 SEM을 이용한 마찰면의 관찰

fig8, fig9는 실험 전, 후의 plate 시편의 SEM으로 관찰한 결과를 보여준다.

작용하중의 증가에 따라 마찰면의 형상이 변하고 온도상승에 따른 산화반응으로 산화물이 마찰방향으로 진전되어 있음을 볼 수 있다.

fig.8의 (a) 경우에는 (b), (c)와 비교하여 망사모양의 oil 층이 관찰되었다.

fig9의 (c) 경우 sliding 방향으로 surface failure가 발생하였다. 이것은 표면거칠기 ($Ra=0.20$)가 작기 때문에 valley 깊이가 얕아져 윤활유 저장소(Lubricant reservoirs) 역할을 하지 못해 표면 손상을 가져온 것으로 생각되어진다.

fig8(a)

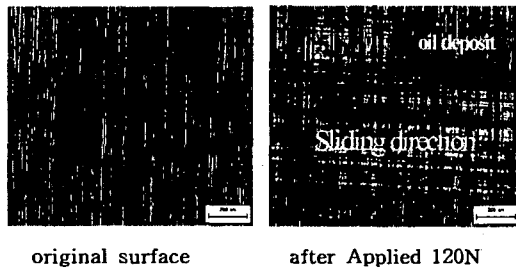


fig8(b)

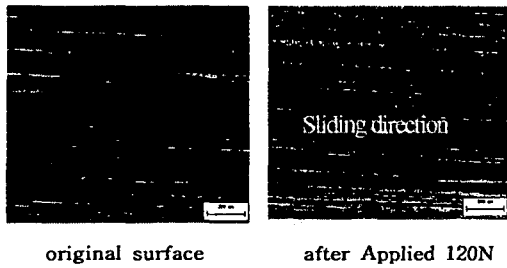


fig8(c)

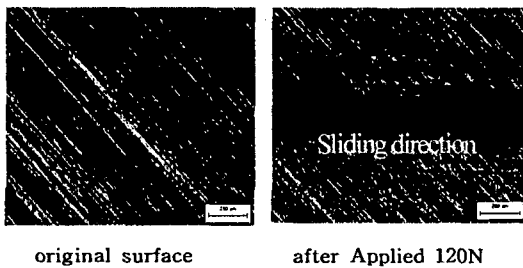


fig8 .trans(a), long(b), obliq(c) pattern SEM image in Group I ($Ra=0.5$)

fig9(a)

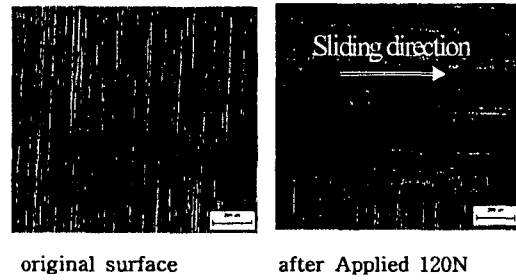


fig9(b)

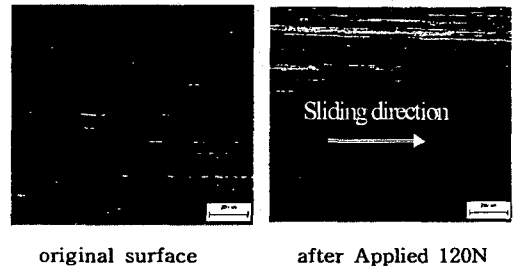


fig9(c)

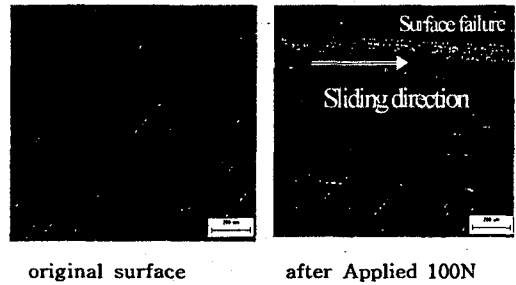


fig9 .trans(a), long(b), obliq(c) pattern SEM image in Group II ($Ra=0.2$)

3.4 하중변화에 따른 표면거칠기 변화

fig.10, fig11는 Group I ($Ra=0.5$)과 Group II ($Ra=0.2$)에서 하중변화에 따른 표면거칠기 (Ra) 변화를 보여준다. 여기서 하중이 증가하면서 평균거칠기 값은 작아지는 것을 볼 수

있다. Group II ($Ra=0.2$)에서 oblique pattern에서 Scuffing이 발생하여 평균거칠기(Ra) 값이 증가하였다. 표면거칠기가 감소함에 따라 valley깊이가 얕아져 윤활저장소 (lubricant reservoirs) 역할을 하지 못하고 Scuffing이 발생되어진 것으로 보인다.

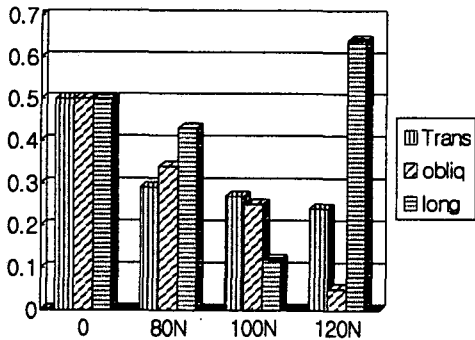


fig.10 The variations of the average roughness of worn surface with the applied load (Group I $Ra=0.5$)

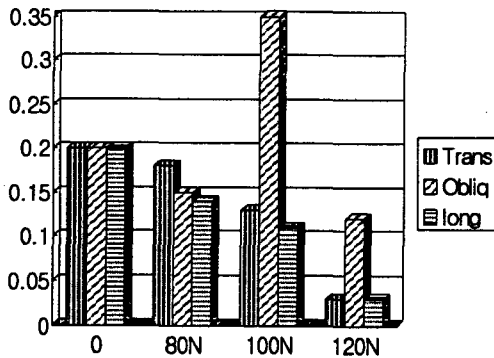


fig.11 The variations of the average roughness of worn surface with the applied load (Group II $Ra=0.2$)

4. 결론

본 연구는 가공방향에 따른 마찰실험을 통해

다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 하중이 증가함에 따라 슬라딩면에 검은색 산화물이 생성되면서 마찰계수가 감소한다.
2. Transvers pattern의 시편은 다른 longitude, oblique pattern 시편보다는 oil valley 효과에 의해 작은 마찰계수를 나타낸다.
3. 중심선 평균거칠기 $Ra=0.5$ 와 $Ra=0.2$ 에서는 Transvers pattern으로 가공한 시편이 작은 마찰계수를 나타낸다.

참고문헌

1. Staph, H, E, ku, P.M., and Carper, H.J., 1973, "Effect of Surface Roughness and Surface Texture on Scuffing", Mechanism and Machine Theory, Vol.8, pp.407 - 419
2. L.S. Martz, "Preliminary report of developmensts in interrupted surface finishes", Proc.Inst.Mech.Engrs, vol 161, pp.1 ~9, 1949
3. S.C. Kang and K.C. Ludema, "The breaking-in of lubricated surface", Wear, vol. 100, pp.315~331
4. R.B. Bossler, Jr., "Improved boundary layer lubrication behavior", Lubr. Engrg., Vol.21, No.3, pp.104~111, March 1965
5. Jeng Hour Horng, Jen Fin Lin, et al "The Effect of surface Irregularities on the Tribological behavior of Steel Rollers Under rolling-sliding contact" Journal of tribology, vol.116 pp.209-218
6. Spikes, H, A, and Cameron, A, 1974, "A Comparison of Adsorption and Boundary Lubricant failure," Proc.Roy.Soc., London Series A336, pp407-419

7. Von Helden, A.K., Vroegop, P.H., and Jong, J.J.M., 1987, "Dynamic adsorption in Mixed Lubrication." presented in ASME/STLE Joint Conference. Oct
8. Shen, S.Y., and Klaus, E.E., 1985, "A kinetic Study of oil oxidation in concentrated contacts," *ASTL, Trans*, vol, 27, No.1, pp 45-32
9. Staph, H.E., Ku, P.M. , and Carper , H.J. 1973, " Effects of Surface Roughness and Surface Texture on Scuffing," *Mechanism and Machine Theory*, Vol.8, pp197-208.