

경계윤활에서의 가공방향에 대한 마찰특성의 연구

유응대 · 김태완* · 구영필** · 조용주***

부산대학교 정밀기계공학과, *부산대학교 기계기술연구소
부경대학교 기계공학부, *부산대학교 기계공학부

The Effect of Finished Surface Orientation on Friction Characteristics in Boundary Lubrication

Eung-dae You, Tae-Wan Kim*, Young Pil Koo** and Yong-Joo Cho***

Graduate School, Pusan National University

*Research Institute of Mechanical Technology, Pusan National University

**School of Mechanical Engineering, Pukyong National University

***School of Mechanical Engineering, Pusan National University

Abstract – The effect of characteristic of surface roughness and roughness patterns on friction was studied experimentally in boundary lubrication with reciprocating tribometer. Roughness was changed from Ra=0.2 (μm) to Ra=1.2 (μm). Three roughness pattern-transverse, oblique, longitudinal- were tested for various load and velocity. The experimental results show that the scuffing resistance of surfaces with transversal roughness pattern is higher than that of surface with longitudinal and obliq pattern. under the conditons of the roughness values of Ra=0.2, 0.5, 1.0 and 1.2 .surfacer roughness (Ra) was decreased with the normal load increased before scuffing occurred. oblique pattern and longitudinal pattern with Ra=0.2 and Ra=1.0 was higher scuffing load under low sliding velocity, but with Ra=0.5 was higher scuffing load under high sliding velocity.

Key words – Roughness pattern, friction coefficient, scuffing load.

1. 서 론

상대운동을 하는 두 물체사이의 마찰, 마찰현상은 재료의 성질, 표면상태, 접촉조건, 윤활상태 등 다양한 인자들이 관여하는 복잡한 메커니즘이다. 동적인 기계요소간의 접촉에서 필연적으로 발생하는 마찰현상은 에너지 손실을 유발하여 효율을 떨어뜨리고, 마찰은 기계요소의 수명 및 성능에 중요한 영향을 미친다. 마찰과 마찰이 과도하면 기계요소의 접촉면에 스커핑(scuffing) 등과 같은 표면손상이 발생하여 기계요소의 수명이 줄어든다. 따라서 기계의 신뢰성과 수명, 그리고 성능 등을 높이기 위해서는 마찰·마찰에 대한 연구가 필연적이다.

마찰은 실제로 접촉하고 있는 부위에 작용하는 운동

조건, 주변환경, 접촉체의 물성치, 그리고 표면의 상태 등에 의해 크게 좌우된다. 특히 마찰은 상대 운동하는 두물체간의 접촉에 의해 발생하고, 과도한 마찰도 이에 의해서 나타난다고 볼 때 접촉하는 물체 표면의 기하학적 형상이 마찰, 마모 및 윤활에 미치는 영향은 매우 크다고 볼 수 있다.

일반적으로 표면의 기하학적인 특성은 그 표면을 가공하는 다듬질 작업에 크게 좌우 된다. 표면의 기하학적 특성 중 실제 표면 거칠기의 미시적 차원의 표면의 높낮이 결합되어 실제 표면의 거칠기가 표현된다. 이러한 표면 거칠기의 변화가 마찰 및 마찰에 미치는 영향에 대해 이론적, 실험적 연구가 진행되어 왔다.

Staph 등[1]은 스커핑 거동에서의 표면 거칠기의 영향을 고찰하여 매끈한 표면이 거친 표면보다 우수한 스커핑 하중을 가지는 것을 보였고, Barwell 등[2]은 mineral oil을 이용한 미끄럼운동에서 표면 거칠기가 감소

[†]주저자 · 책임저자 : yjucho@pusan.ac.kr

함에 따라 스커핑 하중은 증가한다고 보고했다. Wong [3]은 세라믹재료의 마찰, 마멸실험을 통해 미끄럼 거리에 따라 돌기의 끝단이 잘려나가 평평하게 되는 truncation현상이 발생되어 초기 표면 거칠기 감소한다고 보았으며 이러한 truncation현상은 슬라이딩동안 돌기의 부분적인 접촉에 의해 발생한다고 보았다. Masouros 등[4]은 길들이기 과정동안의 표면 거칠기와 마멸이력(wear history)에 대한 연구에서 초기 표면 거칠기 중요성을 강조하였는데 초기 표면 거칠기 거칠수록 높은 마멸을 나타낸다고 보았다. 이상의 연구결과는 주로 표면 거칠기가 감소할수록 스커핑 하중 및 마멸에 유리한 것으로 보고하였으나 이와 달리 재료 및 접촉조건에 따라 중간 또는 거친 표면의 유용성을 주장한 연구보고도 있다.

Lee[5]와 Ludema[6]는 매끄러운 표면과 거친 표면은 빨리 파괴가 일어나며 중간정도의 거칠기가 윤활특성이 좋다고 보았고, Robertst 등[7]은 이황화몰리브덴의 마찰 및 마멸실험을 통해 표면 거칠기가 증가함에 따라 마찰력은 감소하며 마찰력은 표면 거칠기에 아주 민감하게 반응하는 것을 보여주었다. Sharma 등[8]은 경계윤활에서 표면 거칠기 및 하중의 영향에 관한 연구에서 흡착결과 엔트로피의 변화는 표면 거칠기 함수로 표현되며 아주 매끄러운 표면 거칠기를 가지는 기계요소 손상의 위험이 크다는 것을 보여 주었다. 즉 경계윤활상태에서는 하중이 경계층으로 덮혀 있는 접촉면을 통해 하중이 전달되어지고 경계막 두께가 감소될수록 금속간의 접촉이 생겨 표면손상을 유발시키는데 표면이 매끄러울수록 경계막은 얇아지고 접촉면적이 증가하여 손상의 위험이 커지는 것으로 볼 수 있다. 따라서 경계윤활상태에서는 접촉면의 화학적 성질과 표면거칠기가 중요한 역할을 하게 된다고 하였다.

Hornig 등[9, 10, 11]은 표면거칠기의 방향성과 돌기 높이는 마찰계수를 결정하는 중요한 인자이며 돌기 높이와 마멸율과 관계를 통해 매끄러운 표면이 항상 낮은 마찰계수를 나타내는 것은 아님을 보여 주었다.

위에서 언급한 많은 연구자들은 표면의 기하학적 형상 중 초기 표면 거칠기가 마찰, 마멸 및 윤활에 영향을 미친다고 보았으나 실제 표면의 가공에 있어서 표면결에 따른 방향성을 고려하지 않았다. 기어와 같은 기계요소에서는 표면 가공을 축방향으로 가공하여 과도한 마찰, 마멸을 피하고 스커핑 하중을 증대시키는 효과가 있는 것으로 알려져있다. 본 연구에서는 경계윤활상태에서 표면 가공 방향과 표면 거칠기 변화의

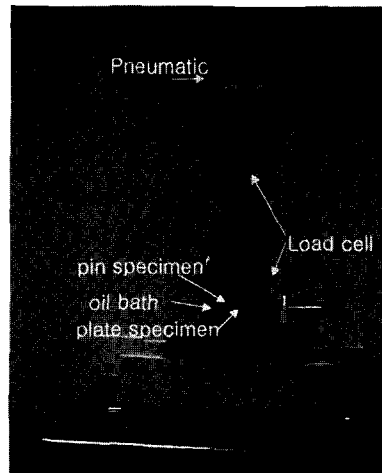


Fig. 1. Pin-on-Reciprocator.

상관관계를 조명하여 최적의 가공 pattern과 초기표면 거칠기를 제시하고자 한다.

2. 실험 방법 및 조건

2-1. 실험 장치

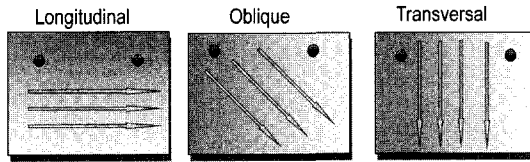
본 연구에서 사용된 시험기는 TE67 마멸시험기를 사용하였으며 Fig. 1에 Pin-on-Reci procator시험기의 구조를 나타낸 것이다. 실험시 수직하중은 공압을 사용하여 실린더에 부착된 핀을 밀어서 힘을 가하게 되며 이때 발생하는 마찰력은 Load cell을 통해 측정되고 마찰계수는 누르는 수직하중과 마찰력의 비례값으로 계산되어 컨트롤러(controller)를 통해 PC로 전송되어 data가 저장된다.

2-2. 실험 시편

본 실험에서 사용된 시편은 기어류, 축류에 사용되는 SCM435와 SM45C강을 사용하였다. 핀으로 사용된 SCM435강은 직경 3 mm로 시편 끝단을 연마 파우더와 샌드페이퍼로 연마하여 $Ra=0.05 \mu m$ 의 표면 조도를 가지게 하였다. Plate로 사용된 시편은 SM45C 강으로 58x38x4의 크기를 가지며 표면은 가공방향에 따른 마찰 특성을 보기 위해 plate의 가공방향을 슬라이딩방향과 수직방향(transverse pattern), 슬라이딩 방향과 경사방향(oblique pattern), 슬라이딩 방향과 평행한 방향(longitudinal pattern)으로 연삭 가공하였고 초기 표면거칠기의 영향을 살펴보기 위해 숫돌메시를 달리하여 세가지 방향 각각에 대해서 표면 거칠기 Ra

Table 1. Mechanical properties of specimens

Material	항복점 (Y.P) (kg/mm ²)	인장강도 (kg/mm ²)	경도 (HB)
SM45C (plate)	50 min	70 min	201-269
SCM435 (pin)	80 min	90 min	269-331



Group I Ra = 0.2 μm Group II Ra = 0.5 μm Group III Ra = 1.0 μm Group IV Ra = 1.2 μm

Fig. 2. Schematic diagram of surface finished orientation of each specimen.

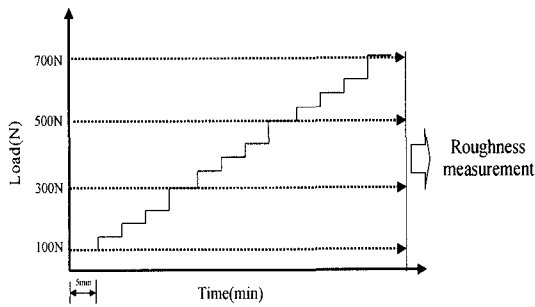


Fig. 3. Schematic diagram of step load test.

0.2(μm), 0.5(μm), 1.0(μm), 1.2(μm)의 표면거칠기를 가지도록 하여 가공방향과 표면거칠기에 따라서 총 12 가지의 시편을 제작하였다. Fig. 2는 가공방향과 표면 거칠기에 따른 시편의 종류를 나타낸 것이다.

2-3. 실험 방법

본 실험에서 적용한 수직하중은 Step by Step Load 방식을 사용하여 초기 100 N하중을 5분동안 가하고 5분마다 50 N씩 증가시켜 700 N까지 가하였다. Fig. 5는 하중부과 방법을 도식화한 것이다. 여기서, 스커핑 발생전의 표면 거칠기의 변화를 살펴보기 위해 100 N, 300 N, 500 N, 700 N에서 표면 거칠기를 측정하였다.

또한 미끄럼 속도의 변화에 따른 영향을 알아보기 위해서 모터축에 연결된 디스크를 회전시켜 직선왕복 운동(stroke 20 mm)을 하는 plate의 미끄럼 속도를 1 Hz, 2 Hz, 3 Hz로 하였으며 윤활유는 (cSt)34를 사용하였고 실험 온도는 Room temperature의 대기 상태

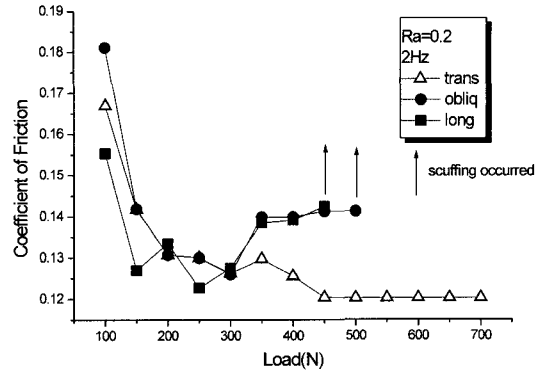


Fig. 4. Friction coefficient versus contact load for different roughness pattern at Ra=0.2, sliding velocity 2 Hz.

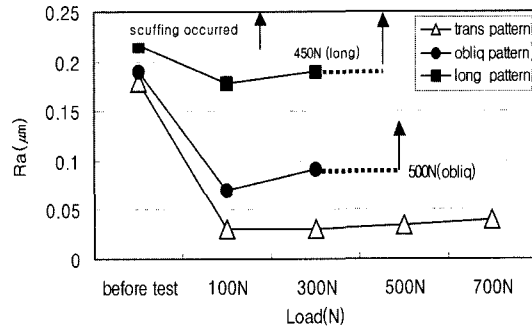


Fig. 5. The average roughness of worn surface versus contact load for different roughness pattern at Ra=0.2, sliding velocity 2 Hz.

에서 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 가공방향에 따른 마찰특성

중심선 평균 거칠기 Ra=0.2, 0.5, 1.0, 1.2 각각에 대해서 하중이 증가함에 따라 수직, 경사, 평행한 세 가지 방향에 따른 마찰 특성, 즉 각 하중단계에서 마찰계수와 표면 거칠기의 변화를 Fig. 4~Fig. 11에서 비교하였다. 여기서 슬라이딩 속도는 모두 2 Hz이다.

Fig. 4에서는 Ra=0.2에서 하중변화에 따른 마찰계수를 보여주고 있다. 하중이 증가함에 따라 마찰계수는 감소하는 현상을 보여준다. 경사방향가공형태와 수평방향가공형태에서는 하중 350 N에서 마찰계수가 상승하였으며, 경사방향가공형태는 하중 500 N에서, 수평방향가공형태에서는 450 N에서 스커핑(scuffing)이 발

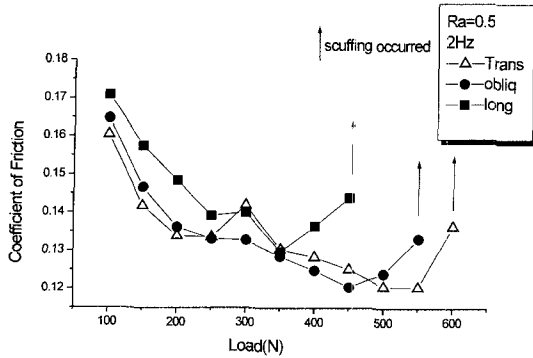


Fig. 6. Friction coefficient versus contact load for different roughness pattern at Ra=0.5, sliding velocity 2 Hz.

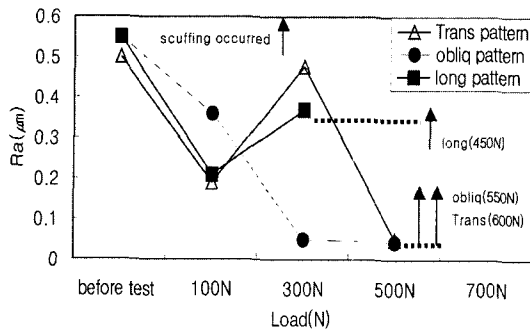


Fig. 7. The average roughness of worn surface versus contact load for different roughness pattern at Ra=0.5, sliding velocity 2 Hz.

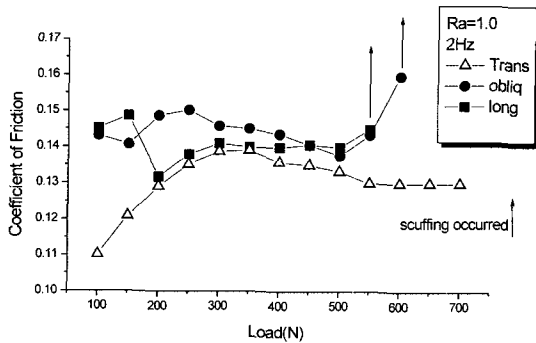


Fig. 8. Friction coefficient versus contact load for different roughness pattern at Ra=1.0, sliding velocity 2 Hz.

생하였다. Ra=0.2에서 하중변화에 대한 표면 거칠기 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 수평방향가공형태와 경사방향가공형태에서는 스커피링 발생하기전 하중단계에서 표면 거칠기 낮아졌다가 다시 증가하는 형태를 보이며

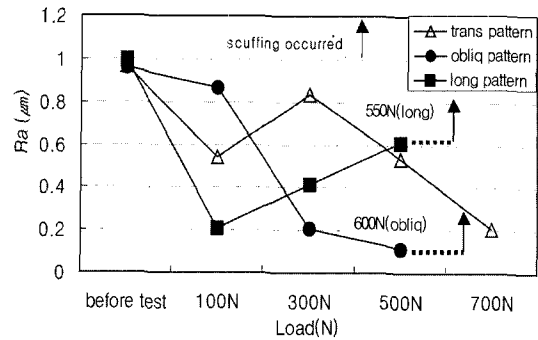


Fig. 9. The average roughness of worn surface versus contact load for different roughness pattern at Ra=1.0, sliding velocity 2 Hz.

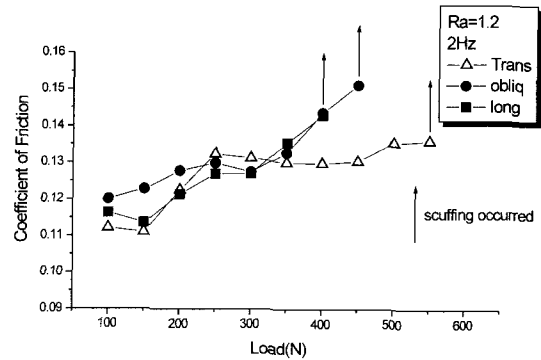


Fig. 10. Friction coefficient versus contact load for different roughness pattern at Ra=1.2, sliding velocity 2 Hz.

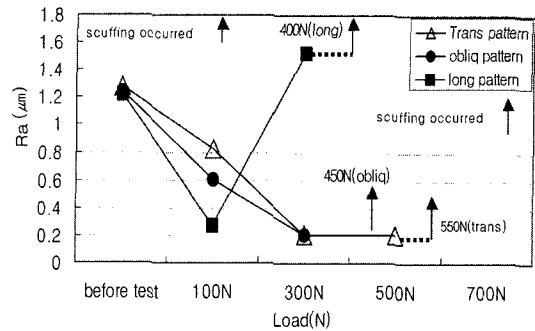


Fig. 11. The average roughness of worn surface versus contact load for different roughness pattern at Ra=1.0, sliding velocity 2 Hz.

수직방향가공형태에서는 전체적으로 일정하게 감소하는 경향을 보이고 있다.

Fig. 6의 Ra=0.5에서는 하중이 증가함에 따라 마찰 계수가 감소하는 현상을 보이며 수직방향가공형태에

서는 하중 300 N에서 마찰계수의 상승하는 현상을 보이고 이것은 Fig. 7에서 하중 300 N에서 표면 거칠기 증가했기 때문인 것으로 생각되어진다. 전체적으로 스커핑 발생하기전 마찰계수가 상승하는 현상이 나타났다.

Fig. 8은 Ra=1.0에서 하중변화에 따른 마찰계수의 변화를 나타낸 것이다. 수직방향가공형태에서 하중 100 N에서 300 N에서 마찰계수가 상승하다가 하중 300 N 이후에서 마찰계수의 안정함을 알 수 있다. 이와 달리 수평방향가공형태에서는 하중 500 N에서, 경사방향가공형태에서는 하중 600 N에서 마찰계수의 상승과 함께 스커핑이 발생하였다. Fig. 9에서 표면 거칠기의 변화를 보면 수직방향가공형태에서 하중 300 N에서 표면 거칠기 증가하였다가 낮아지는 현상이 나타났으며 수평방향가공형태에서는 스커핑 발생 전 하중에서 표면 거칠기 증가하는 현상을 보였다.

Fig. 10은 Ra=1.2의 경우인데 수직방향가공형태에서는 하중 550 N에서, 경사방향가공형태는 하중 450 N, 수평방향가공형태는 하중 400 N에서 스커핑이 발생하였다. Fig. 11에서는 수직방향가공형태와 경사방향가공형태에서는 하중이 증가함에 따라 표면 거칠기가 감소하는 현상을 보였으며 수평방향가공형태에서는 스커핑 발생전 하중에서 표면 거칠기가 증가하는 현상을 보였다.

대체적으로 스커핑 발생하기 직전의 하중에서는 마찰계수가 상승하는 현상이 나타났으며, 표면거칠기의 경우, 수직방향가공형태와 경사방향가공형태는 스커핑 발생전에 전체적으로 감소하는 경향을 가지나, 수평방향가공형태는 스커핑 직전에 거칠어지는 현상을 보이고 있다. 또한 수직방향가공형태는 다른 두 가공의 시편에 비해 낮은 마찰계수와 높은 스커핑 하중을 가지는 것으로 나타났다. 이는 수직방향가공형태가 슬라이딩 방향과 골(valley)의 방향이 서로 수직이기 때문에 윤활유의 이동이 용이하여 흠착막 또는 산화막이 반응할 기회가 더 크고 마찰열을 윤활유로 이동시킬 기회가 더 크기 때문인 것으로 볼 수 있다[11].

3-2. 중심선 평균 거칠기 변화에 따른 마찰특성

가공방향이 같은 각각의 패턴에 대해서 슬라이딩 속도가 2 Hz일 때, 하중이 증가함에 따라 4가지 Ra값들 0.2, 0.5, 1.0, 1.2에 대한 마찰특성을 Fig. 12~14에 비교하였다. 전체적으로 앞 절에서의 마찰가치로 스커핑이 발생하기 직전의 마찰계수가 증가하는 현상을 발

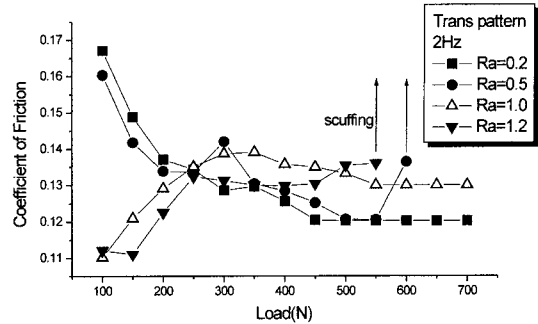


Fig. 12. Friction coefficient versus contact load for different surface roughness at transversal pattern, sliding velocity 2 Hz.

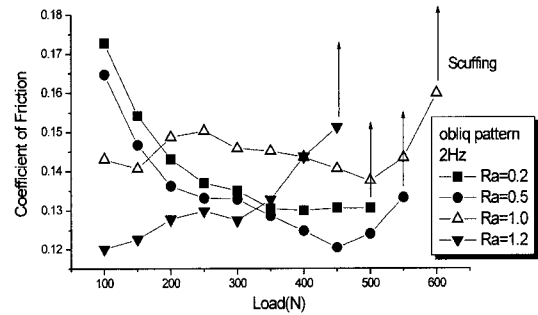


Fig. 13. Friction coefficient versus contact load for different surface roughness at oblique pattern, sliding velocity 2 Hz.

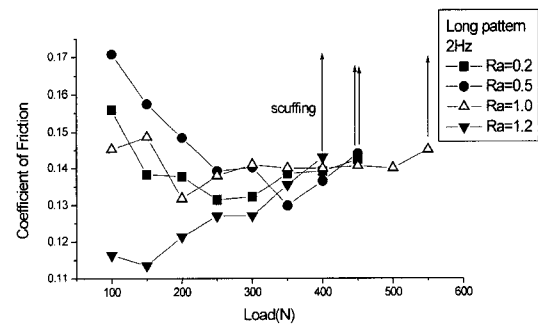


Fig. 14. Friction coefficient versus contact load for different surface roughness at long pattern, sliding velocity 2 Hz.

견할 수 있었다.

수직방향가공형태일 경우의 마찰 계수변화를 Fig. 12에 나타내었는데, 낮은 하중의 경우 초기 표면 거칠기가 작은 Ra=0.2와 Ra=0.5에서는 높은 마찰계수를 보인 반면, Ra=1.0과 1.2에서 낮은 마찰계수를 보였다.

그리고 Ra=1.2의 경우 하중 550N에서 Ra=0.5의 경우 하중 600N에서 스커핑이 발생하였다.

Fig. 13은 경사방향가공형태인 경우인데, 낮은 하중일 때 Ra=0.2와 Ra=0.5의 경우가 높은 마찰계수를 보였으며, Ra=1.2에서는 하중이 증가함에 따라 마찰계수가 상승하여 하중 450에서 스커핑이 발생하였으며 Ra=0.2는 500N, Ra=0.5는 550N, Ra=1.0은 하중 600N에서 각각 스커핑이 발생해 중간정도의 거칠기가 스커핑 하중이 높은 것으로 나타났다.

Fig. 14는 수평방향가공형태의 경우이며 낮은 하중에서 Ra값과 관계없이 마찰계수가 다양하게 분포되어 있음을 알 수 있고, Ra=1.0인 경우가 스커핑 하중이 가장 큼을 알 수 있다.

대체적으로 중심선평균거칠기가 중간인 경우가 스커핑이 발생되는 하중이 가장 크게 나타났다. 이는 Bossler[12]와 Ludema[6]의 연구결과와 잘 일치하고 있다.

3-3. 슬라이딩 속도에 따른 마찰특성

동일한 가공형태와 중심선 평균 거칠기(Ra=1.0)에서의 슬라이딩 속도에 따른 마찰특성과 각 하중 단계에서의 표면 거칠기 변화의 관계를 살펴보았다.

Fig. 15와 Fig. 16은 수직방향가공형태이면서 Ra=1.0인 경우의 마찰계수의 변화와 표면거칠기의 변화를 나타내었는데, 이 조건에서는 700N까지 모든 시편이 스커핑이 발생하지 않았음을 알 수 있으며 이는 수직방향가공형태가 스커핑 방지측면에서 유리함을 알 수 있다. 또한 마찰계수와 표면 거칠기의 변화의 추이를 살펴보면 대체적으로 비슷한 경향을 나타냄을 알 수 있는데, 즉 마찰계수가 높은 영역에서는 표면 거칠기도 함께 거칠어지는 경향을 볼 수 있다.

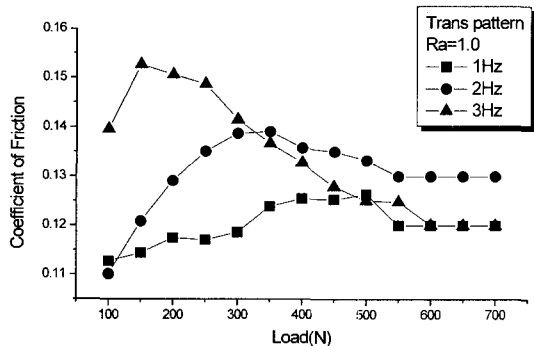


Fig. 15. Friction coefficient versus normal load for different sliding velocity at trans pattern.

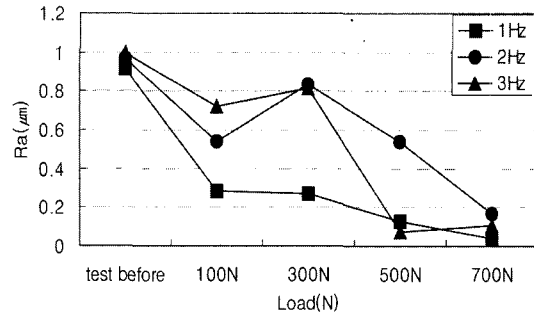


Fig. 16. The average roughness of worn surface versus normal load for different sliding velocity at trans pattern.

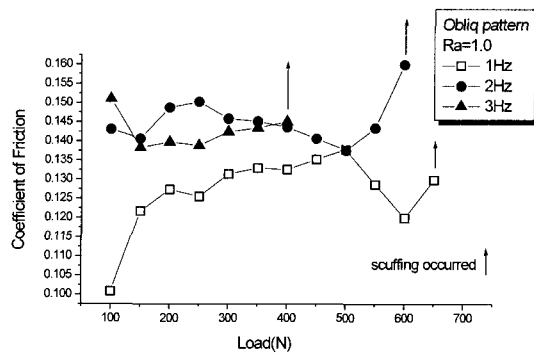


Fig. 17. Friction coefficient versus normal load for different sliding velocity at oblique pattern.

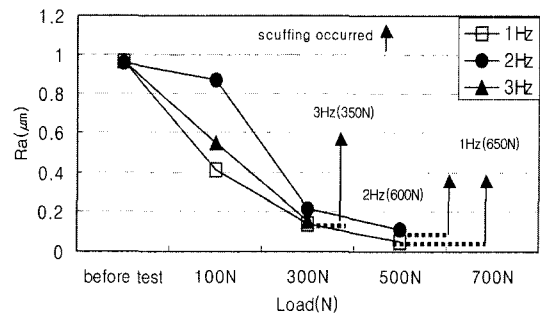


Fig. 18. The average roughness of worn surface versus normal load for different sliding velocity at oblique pattern.

Fig. 17과 Fig. 18은 경사방향가공형태의 경우를 도시한 것인데, 슬라이딩 속도가 증가함에 따라 스커핑 발생하중이 낮게 나타남을 알 수 있다. 또한 스커핑이 발생하기 직전의 마찰 계수는 앞 절의 경우와 마찬가지로 증가하고 표면 거칠기는 감소하는 것을 알 수 있다.

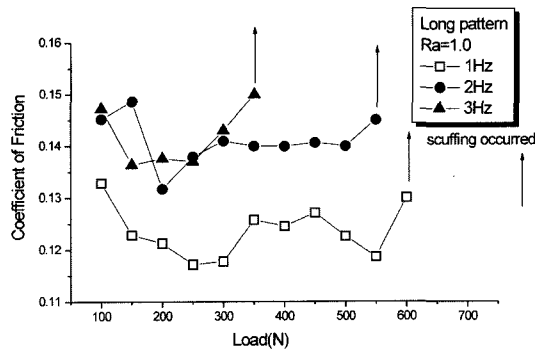


Fig. 19. Friction coefficient versus contact load for different sliding velocity at longitudinal pattern.

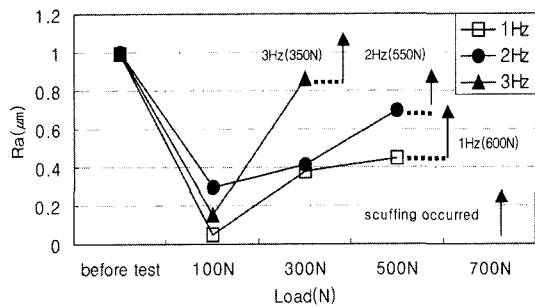


Fig. 20. The average roughness of worn surface versus contact load for different sliding velocity at longitudinal pattern.

Fig. 19와 Fig. 20은 수평방향가공형태의 경우로 슬라이딩 속도가 증가함에 따라 스커핑 발생하중이 낮게 나타남을 알 수 있다. 그리고 스커핑이 발생할 때의 마찰 계수는 증가하나 표면 거칠기는 앞의 경우와 달리 100 N의 하중에서 일단은 감소했다가 스커핑 발생 직전에 대체로 증가하는 경향을 보였다. 이는 수평방향가공형태의 경우 oil valley 효과가 적기 때문인 것으로 생각된다. 즉, 낮은 하중에서는 truncation작용[3]에 의해 중심선 평균 거칠기가 낮아졌다가 하중이 증가하면서부터는 슬라이딩 방향과 가공된 골의 방향이 같아 주위의 골과 단절되어 윤활유의 공급을 받지 못하기 때문에 과도한 돌기접촉에 의해 다시 표면 거칠기가 거칠어지고 아울러 마찰 계수가 증가하는 것으로 생각된다.

3-4. 스커핑 하중 비교

수직방향가공형태, 경사방향가공형태, 수평방향가공형태에서 중심선 평균 거칠기 및 슬라이딩 속도에 따

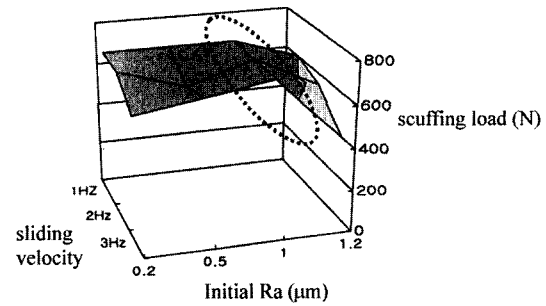


Fig. 21. Scuffing load as a function of sliding velocity for different initial surface roughness at transversal pattern.

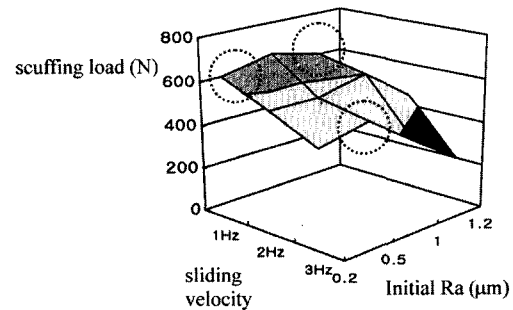


Fig. 22. Scuffing load as a function of sliding velocity for different initial surface roughness at oblique pattern.

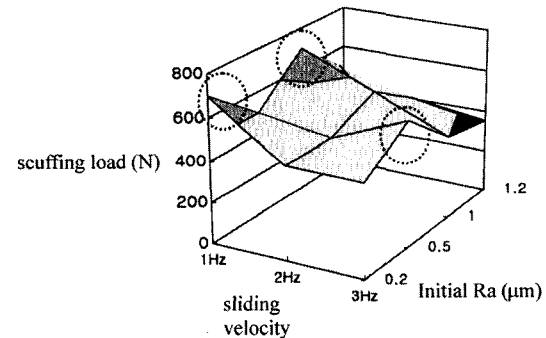


Fig. 23. Scuffing load as a function of sliding velocity for different initial surface roughness at longitudinal pattern.

른 스커핑하중을 나타내었다.

수직방향가공형태에서 중심선 평균 거칠기 변화와 슬라이딩 속도 영역에서 스커핑 하중을 Fig. 21에 나타내었으며, 전체적으로 Ra=1.0에서 가장 큰 스커핑 하중이 관찰되었다. Fig. 22는 경사방향가공형태의 경

우인데, 저속일 때 중심선 평균 거칠기 $Ra=0.2$ 에서 $Ra=1.0$ 까지 높게 나타나지만 고속(3 Hz)영역에서는 $Ra=0.5$ 일 때 가장 큰 스키핑하중을 가짐을 알 수 있다. Fig. 23은 수평방향가공형태의 경우로서 저속(1 Hz)영역에서는 $Ra=0.2$ 와 $Ra=1.0$ 일 때 스키핑 하중이 높고, 고속영역(3 Hz)에서는 0.5에서 가장 큰 스키핑 하중을 나타낸다.

위의 사항들을 고려해본다면 전체적으로 중간정도의 표면 거칠기를 가지는 시편이 가장 큰 스키핑 하중을 나타내는 것으로 판별된다.

4. 결 론

경계윤활조건에서 시편의 가공방향을 수직방향, 경사방향, 평행방향으로 각각 변화시켜 마찰특성을 실험적으로 측정하였다. 가공방향에 대한 표면 거칠기, 스키핑 하중 특성에 관한 다음의 결론을 구하였다.

1. 수직방향가공형태, 경사방향가공형태는 하중이 증가함에 따라 스키핑 발생전 단계에서 표면 거칠기는 감소하고, 수평방향가공형태에서는 표면 거칠기가 증가하였으며 마찰계수는 스키핑 발생전에 상승하는 것으로 나타났다.

2. 중심선 평균 거칠기($Ra=1.2$)에서 스키핑 하중은 낮은 값을 보이며 중간 정도($Ra=0.5, 1.0$)의 거칠기에서 스키핑 하중이 크게 나타났다.

3. 슬라이딩 속도가 증가함에 따라 스키핑하중은 낮아지며 수직방향가공형태는 경사방향가공형태, 수평방향가공형태의 시편보다 높은 스키핑 하중이 나타났다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 : 2001-1-30400-005-3)지원으로 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Staph, H. E., Ku, P. M. and Carper, H. J., "Effect of surface roughness and surface texture on scuffing," Mechanism and Machine Theory, vol.18, pp.197-208, 1973.

2. Barwell, J. T. and Roylance, B. J., "Some Implication of Surface Texture in partial Elastohydrodynamic Lubrication," ASLE Trans. Vol.20, No.2, pp.177-182, 1977.
3. Wong, H. C. and Umehara, H., "The effect of surface roughness on friction of ceramics sliding in water," Wear, Vol.218, pp.237-243, 1998.
4. Masouros, G., Dimarogonas, A. and LEFAS, K., A model for wear and surface roughness transients during the running-in of bearings.
5. LEE, S. C. and Cheng, H. S., "Correlation of scuffing Experiments with EHL Analysis of Rough surface," Transactions of the ASME, Vol.113 pp.318-325, 1991.
6. Suzuki, M. and Ludema, K. C., "The Wear process During the "Running-in" of steel in Lubricated sliding," Journal of Tribology, Vol.109, pp557-593, 1987.
7. Robertst, E. W., Williamst, B. J. and Ogilvy, J. A., "The effect of substrate surface roughness on the friction and wear of sputted MoS_2 films," IOP Publishing Ltd, 1992.
8. Sharma, J.P., Alastair and Cameron, "Surface Roughness and Load in Boundary Lubrication," ASLE Transactions, Vol. 164, pp. 258-266.
9. Horng, J. H. "The Friction Power intensity and scuffing in sliding contacts," Journal of Tribology, vol.120, 1998.
10. Horng, J. H., Lin, J. F. and Li, K. Y., "The Effect of Surface Irregularities on the Tribological behavior of Steel Rollers under Rolling-Sliding contact," Journal of Tribology, Vol.116 pp.209, 1994.
11. Horng, J. H., Lin, J. F. and Li, K. Y., "Scuffing as Evaluated From the Viewpoint of Surface Roughness and Friction Energy," Journal of Tribology, vol.118, pp.669, 1996.
12. Bossler, R. B. Jr, "Boundary Layer lubrication behavior," Lubrication engineers, Vol. 5, 1965.