

## 가공방향의 마찰특성에 대한 표면거칠기 영향

유 응 대, 김태완\*, 조용주\*\*

부산대학교 정밀기계공학과

\*부산대학교 기계기술연구소

\*\*부산대학교 기계공학부

### The Effect of surface roughness on Finished Surface orientation of Friction Characteristics

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

*Graduate School, Pusan National University*

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

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

**Abstract - 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  $Ra=0.2 \mu m$  to  $Ra=1.2 \mu m$ . Three roughness patterns-transverse, oblique, longitudinal- were tested for various load.  $Ra=1.0 \mu m$  roughness showed lower friction coefficient and transversal pattern showed lower friction and high scuffing load in the test conditions.

**Key words** - Roughness pattern , friction coefficient,

### 1. 서 론

상대운동을 하는 두 물체사이의 마찰, 마멸 현상은 재료의 성질, 표면상태, 접촉조건, 윤활상태등 다양한 인자들이 관여하는 복잡한 메커니즘이다. 동적인 기계요소간의 접촉에서 필연적으로 발생하는 마찰 현상은 에너지 손실을 유발하여 효율을 떨어뜨리고, 마멸은 기계요소의 수명 및 성능에 중요한 영향을 미친다. 마찰과 마멸이 과도하면 기계요소의

접촉면에 스커핑(scuffing)등과 같은 표면손상이 발생하여 기계요소의 수명이 줄어든다. 따라서 기계의 신뢰성과 수명, 그리고 성능등을 높이기 위해서는 마찰·마멸에 대한 연구가 필연적이다. 특히 마멸은 상대운동하는 두물체간의 접촉에 의해 발생하고, 과도한 마찰도 이에 의해서 나타난다고 볼 때 접촉하는 물체 표면의 기하학적 형상이 마찰, 마모 및 윤활에 미치는 영향은 크다고 볼 수 있다. 이러한 기하학적 형상중 표면 거칠기 변화가 마찰, 마멸에 미치는 영향에 대해 이

론적, 실험적 연구가 진행되어 왔다. H.E.Staph, P.M.Ku, H.J.Carper<sup>[1]</sup> 등은 표면 거칠기와 표면형상에 관한 실험을 통해 매끄러운 표면은 돌기사이의 이물질 침투를 억제하며 표면이 매끄러워짐에 따라 스커핑 하중은 증대한다고 보았다.

K.C.Ludema, S.C.Kang<sup>[2]</sup>, Bossor<sup>[3]</sup> 등은 매끈한 표면과 거친 표면은 빨리 파괴가 일어나며 중간정도의 거칠기가 윤활특성이 좋음을 보였으며, Horn<sup>[4]</sup> 등은 표면이 매끄러움에 따라 돌기사이의 윤활유 저장 효과가 감소하여 스커핑이 발생한다고 보았다. Martz<sup>[5]</sup> 는 거친 표면은 돌기사이의 오일공급과 이물질의 탈출작용을 하며 계면사이에 마멸입자들이 매워져 plowing 효과를 줄여 거친면이 마찰 특성이 우수하다고 보았다. 표면 거칠기의 마찰특성에 대한 기존의 연구자들은 초기 표면 거칠기가 마찰 마멸에 영향을 주는 인자로 실험되고 설명되었으나 본 연구에서는 표면 가공방향에 대한 마찰 특성 통해 최적의 가공방향 pattern과 표면 거칠기를 제시 하고자 한다.

## 2. 실험 방법 및 조건

### 2.1 실험 장치

본 연구에서 사용된 시험기는 TE67 마멸시험기를 사용하였다. Fig.1은 시험기의 구조를 나타낸 것이다. 실험시 발생하는 마찰력은 Load cell을 통해 측정되고 마찰계수는 누르는 수직하중과 마찰력의 비례값으로 계산되어 컨트롤러(controller)를 통해 PC로 전송되어 data가 저장된다.

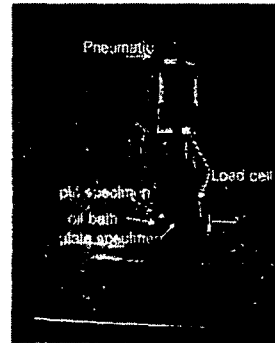


Fig1.Pin-on-Reciprocator

### 2.2 실험 시편

본 실험에서 사용된 시편은 기어류나, 축류에 사용되어지는 AISI4137(SCM435) 와 AISI1045(SM45C)강을 사용하였다. 시편에 대한 물성치는 Table.1에 나타나 있다. 핀으로 사용된 AISI4137(SCM435)는 직경 3mm로 시편의 끝을 연마 파우더로 연마하여 Ra=0.05 $\mu$ m의 표면조도를 갖게 하였다. Plate는 가로(58mm)×세로(38mm)×두께(4mm)로 제작 하였고 슬라딩방향과 수직(Transversal pattern), 경사(obliq pattern), 수평(longitudinal pattern)으로 가공 하여 방향성을 가지게 가공하였다. 중심선 평균거칠기를 달리하기 위해 스톤 매시를 달리하여 fig2와 같이 각각의 표면 거칠기 Ra 0.2( $\mu$ m), 0.5( $\mu$ m), 1.0( $\mu$ m), 1.2( $\mu$ m)의 표면을 가지는 plate를 준비하였다.

Material	항복점(Y.P) (kg/mm <sup>2</sup> )	인장강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	경도(HB)
AISI1045 (SM45C)	50min	70min	201-269
AISI4137 (SCM435)	80min	90min	269-331

Table. 1Mechanical properites of specimens

### 2.3 실험 방법

가공방향에 대한 표면 거칠기 영향을 관찰하기 위해서 중심선 평균 거칠기를 다르게 가공하였다. 거칠기 값은  $Ra(\mu m)$ 값으로 각 plate마다 3번 측정하여 평균하였다. Table.2에서는 가공방향에 따른 각 Plate에 대한 표면 거칠기 4개의 Group으로 나누었다. 실험 조건은 Table.3과 같다.

전체적인 하중부과 방법과 표면 거칠기 측정 방법은 fig.3에 표시하였다. Plate에 대해 수직 하중은 step by step load를 가하여 초기 하중을 100N에서 5분간 실험을 하고 50N씩 증가시켜서 700N을 가하였다. 하중 단계에 대한 표면 거칠기 관찰하기 위해서 100N에서 실험후 같은 시편에서 자리를 옮겨 step by step Load으로 300N, 500N, 700N을 가하였다. 윤활유는 (cSt)34를 사용하였으며 실험 온도는 Room temperature의 대기 상태에서 실험하였다.

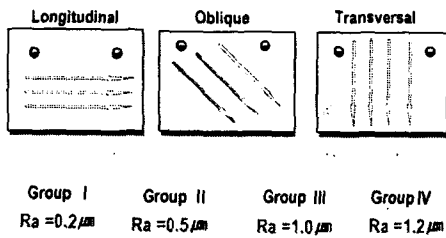


Table.2 Surface finished of each specimen

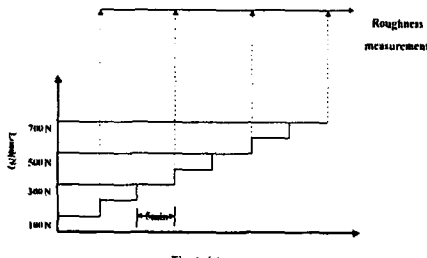


fig3. Schematic diagram of Step Load test

Materials		Normal	왕복주기
Plate	Pin	Load(N)	(Hz)
SM45C	SCM435	100 ->700N	2
Stroke(mm)		20mm	

Table.3 Experimental conditions for sliding tests

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 하중 변화에 따른 마찰특성

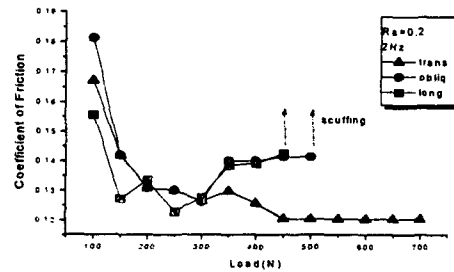


Fig. 4 Friction coefficient of variation of Load for Trans, obliq, long pattern in Group I ( $Ra=0.2, 2Hz$ )

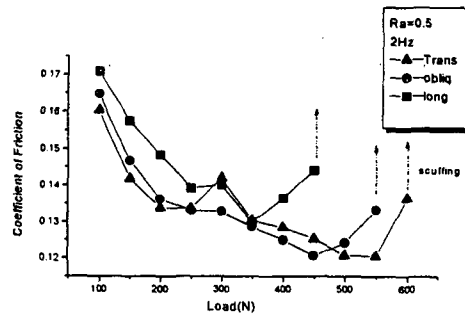


Fig. 5 Friction coefficient of variation of Load for Trans, obliq, long pattern in Group II ( $Ra=0.5, 2Hz$ )

fig.4와 fig.5는  $Ra=0.2$ 와  $Ra=0.5$ 에서의 하중 변화에 대한 마찰계수를 나타낸 것이다. 전체적으로 하중이 증가할수록 마찰계수는 작아지는 현상을 볼 수 있다. fig.4에서 transversal pattern과 obliq pattern에서 하

중 300N에서 마찰계수의 상승하였다.

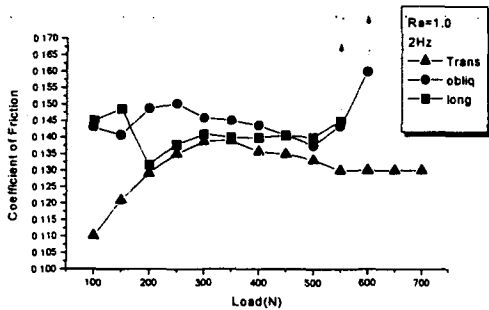


Fig. 6 Friction coefficient of variation of Load for Trans, obliq, long pattern.

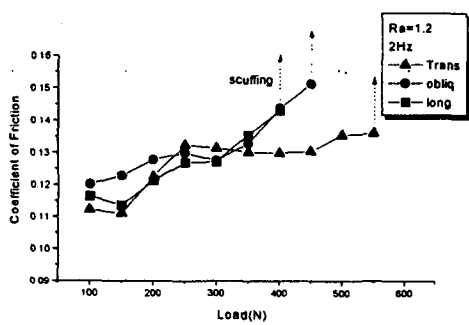


Fig. 7 Friction coefficient of variation of Load for Trans, obliq, long pattern.

fig.6과 fig.7은 Ra=1.0과 Ra=1.2에서의 하중 변화에 대한 마찰계수를 나타낸 것이다.

Ra=1.0에서는 Transversal pattern은 하중 100N에서 300N구간까지는 마찰계수의 증가를 보이다가 이후로 마찰계수가 안정화되어 지는 것을 보여준다. fig.7에서는 전체적으로 하중이 증가함에 따라 마찰계수의 증가하는 현상을 보여준다. 전체적으로 스커핑 발생하기 전 단계의 하중에서 마찰계수가 상승하는 현상이 나타났다. Transversal pattern은 다른 두 시편에 비해 낮은 마찰계수와 높은 스커핑 하중을 가지는 것으로 나타났다.

Transversal pattern은 슬라이딩 방향과 골 (valley)과 수직 이어서 윤활유의 이동이 용

이하여 흡착막 또는 산화막이 반응할 기회가 더 크고 접촉 면적을 크게 하여 마찰열을 윤활유로 이동시킬 기회가 더 크다고 볼 수 있다<sup>(6)</sup>.

### 3.2 하중 변화에 따른 표면 거칠기 변화

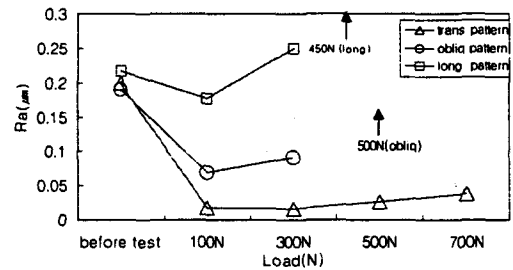


Fig. 8 The variations of the average roughness of worn surface with the applied load.

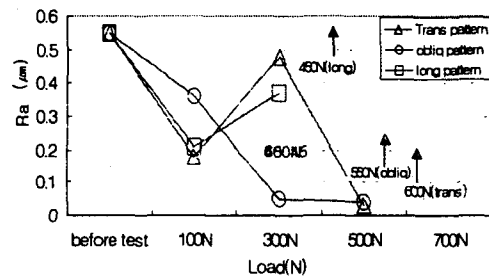


Fig. 9 The variations of the average roughness of worn surface with the applied load.

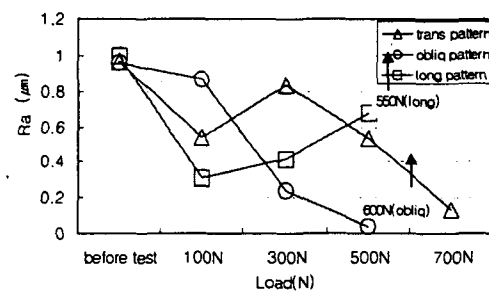


Fig. 10 The variations of the average roughness of worn surface with the applied load.

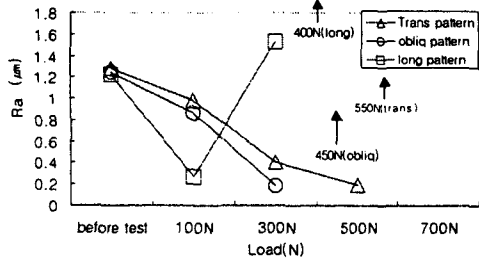


Fig. 11 The variations of the average roughness of worn surface with the applied

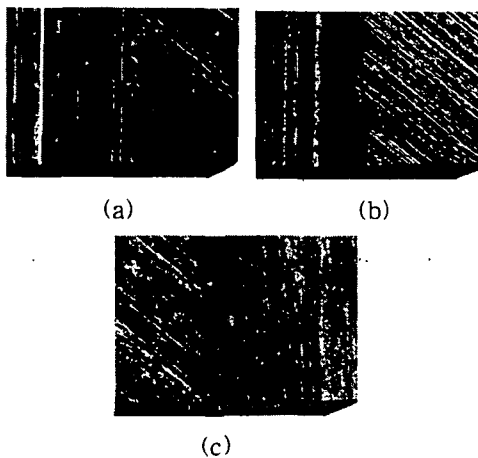
fig.8은 Ra=0.2에서 가공방향에 대한 각 하중 단계에서의 표면 거칠기를 측정 한 것이다.

long pattern과 obliq pattern에서는 스커핑 발생 하기전 하중에서 표면 거칠기는 낮아졌다가 증가하는 경향이 있다.

전체적으로 스커핑이 발생 하기전 단계에서는 표면이 매끄러워짐을 보였다. longitudinal pattern은 스커핑 발생전 표면 거칠기 증가 하는 것으로 나타났다.

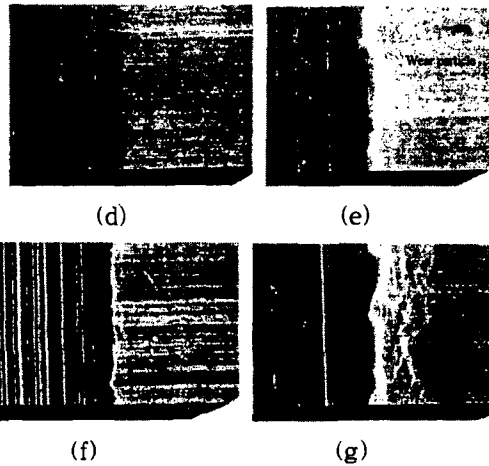
Transversal pattern과 obliq pattern에서는 스커핑 발생전 단계의 하중에서 작아지는 경향이 나타났다. Ra=0.2와 Ra=1.0에서 Transversal pattern은 가장 큰 스커핑 하중을 보였다.

fig.12과 fig.13은 여러 하중에서 obliq pattern과 Transversal pattern 대한 SEM을 보여준다.



(a) 100N, (b) 300N, (c) 500N(scuffing occurred)

Fig. 12 Worn surface for various loadings at obliq pattern(Ra=0.2).



(d) 100N, (e) 300N, (f) 500N, (g) 700N  
Fig. 13 Worn surface for various loadings at Transversal pattern(Ra=0.2)

하중이 증가함에 따라 슬라이딩 면에 검은색 부유물이 관찰되었다. 스커핑전 표면fig.12(b)에서 표면의 부분적 파손 흔적이 관찰되었으며 이러한 현상은 표면 거칠기 증가를 가져온다. fig.12(c)에서는 스커핑이 발생한 표면을 보여준다. 파괴된 표면에서는 검은색 부유물이 반복 미끄럼 접촉에 의해 슬라이딩 경계면에 늘어붙은 흔적과 표면손상이 관찰되었다. 이것은 마멸입자의 이착과 표면에서 소성유동이 발생하여 표면의 파손이 발생한 것으로 보인다.

fig.13에서는 Transversal pattern대한 각 하중에서의 슬라이딩 표면을 보여준다.

fig.13.(e) 슬라이딩 면에서 떨어져나간 마멸 입자들이 관찰되었다. 이러한 wear particles들은 슬라이딩 면 전체에서 볼 수 있었으며 fig.13.(f)에서는 이러한 마멸 입자들이 접촉 경면에서 탈락과 새로운 마멸 입자들의 생성과 반복으로 연삭작용을 한 흔적이 관찰되었다. fig.13.(g)에서 슬라이딩 표면에 미세 표면 파괴가 관찰되었으며, obliq pattern에서는 하중 300N에서 이러한 현상이 관찰 되었

다.

#### 4. 결론

본 연구는 가공 방향의 마찰특성에 대한 표면 거칠기 영향에 관한 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Ra=0.2와 Ra=0.5에서 하중이 증가함에 따라 마찰계수가 감소하였고, Ra=1.2에서는 하중이 증가함에 따라 마찰계수가 증가하였다.
2. Ra=0.2, Ra=0.5, Ra=1.0, Ra=1.2에서 Transversal pattern은 oblique pattern과 longitudinal pattern에 비해 낮은 마찰계수를 나타내었다.
3. 하중이 증가함에 따라 스커핑 발생 전 단계에서 표면 거칠기(Ra)는 감소함을 보였다.
4. Transversal pattern은 Ra=0.2와 Ra=1.0에서 가장 큰 스커핑 하중을 나타내었다.

#### 후기

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

#### 참고문헌

- [1]. L.S.Martz, "Preliminary report of developments in interrupted surface finished", Proc.Inst.Mech.Engrs,voll61, pp1-9
- [2]. "The break-in of lubricated surfaces", S.C kang , K.C.Ludema wear108(1986),384
- [3]. "The Effect of Surface Irregularities on the Tribological behavior of Steel Rollers under Rolling-Sliding contact", Jeng Haur Horng, Jen Fin Lin, Ke Yang, Li, Journal of Tribology April 1994, 116/209
- [4]. "effect of surface roughness and surface texture on scuffing", H.E.Staph, P.M.Ku, H.J Carper , mechanism and

machine theory 1973, voll8, P197-208

[5]. R.B .Bossler, Jr " Improved boundary layer Lubrication behavior", Lubr, Engrg. Vol21,No3 ,pp104-111 March , 1965

[6]. Von Helden, A.K. Vroegop, P.H,and Jong.J.J.M,1987," Dynamic adsorption in Mixed Lubricated/" presented in ASME/STLE Joint Conference.Oct

[7].P.Adersson,J.Juhanko et al(1996), "Influence of topography on the running-in of water-lubricated silicon carbide journal bearing", wear9201) 1-9