

# Micro-scale Grooved Crosshatch Pattern의 각도 및 폭에 따른 실험적 미끄럼마찰특성

채영훈\*, 김석삼#

## Friction Property of Angle and Width Effect for Micro-grooved Crosshatch Pattern under Lubricated Sliding Contact

Young-Hun Chae\*, Seock-Sam Kim#

(Received 14 March 2011; received in revised form 1 April 2011; accepted 11 April 2011)

### ABSTRACT

The current study investigated the friction property of angle and width effect for micro-scale grooved crosshatch pattern on SKD11 steel surface against bearing steel using pin-on-disk type. The samples fabricated by photolithography process and then these are carry out the electrochemical etching process. We discuss the friction property due to the influence of a hatched-angle and a width of groove on contact surface. We could be explained the lubrication mechanism for a Stribeck curve. So It was found that the friction coefficient depend on an angle of the crosshatch on contact surface. It was thus verified that micro-scale crosshatch grooved pattern could affect the friction reduction. Also, it is play an important a width of groove to be improved the friction property. I was found that friction property has a relationship between a width and an angle for micro-grooved pattern.

**Key Words** : Friction Property(마찰특성), Crosshatch Pattern(빗살무늬), Stribeck Curve(스트라벡곡선), Photolithography (식각), Angle Effect(각도효과), Width Effect(폭효과)

### 1. 서 론

유로환경규제로 인하여 자동차산업의 연구방향은 저연비 고효율에 대한 부품설계와 친환경적인 자동차부품을 개발하고 있다<sup>[1]</sup>.

자동차부품에서 프로펠러샤프트는 엔진으로부터

의 동력을 차동 및 감속장치로 전달하는 부품이다. 프로펠러부품은 유니버설조인트 기구를 포함하여 꺾임각도에 따라 회전각속도를 원활히 전달해주는 역할을 하는 부품이다. 최근 유니버설조인트 부품이 Non-grease형으로 개발되어 자동차의 수명이상의 내구성으로 가지도록 하여 유지보수가 필요 없도록 친환경부품으로 연구개발되고 있다.

특히 이러한 기능을 가능하도록 하기 위해서는 표면을 인위적으로 가공 및 설계하여 상대접촉운동조건에 따라 마찰특성을 향상시키고 있다.

\* 경북대학교 산업기술연구소

# 교신저자 : 경북대학교 기계공학부

E-mail : sskim@knu.ac.kr

인위적인 표면의 모양과 형상을 설계하여 마찰 성능에 미치는 설계인자를 도출하기 위하여 많은 연구가 발표되고 있다<sup>[2-5]</sup>. 특히 마이크로그루우브에 대한 연구를 진행하고 있으며 이러한 연구결과에도 불구하고 아직 형상메커니즘은 완전히 이해되지 않고 있다.<sup>[6-10]</sup>

본 연구는 SKD11에 대한 마이크로 그루우브 패턴의 각도변화와 폭에 대한 관계를 연구하여 설계 변수에 대하여 토의하고자한다.

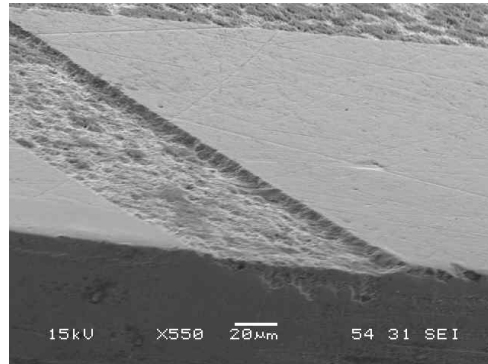
## 2. 실험

### 2.1 Microfabrication

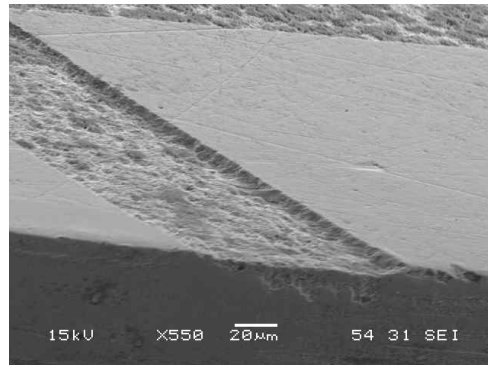
Table 1은 본 연구에 사용될 시험편의 크기와 형상을 나타내었으며, 접촉표면에 대한 주요치수를 나타내었다. 편 시험편에 마이크로 빗살무늬 그루우브를 가공하기 위하여 설계된 패턴을 이용하여 포토리소그래피를 수행하였다. 부식깊이를 제어하기 위하여 화학부식가공을 수행하였다. Fig. 1은 시험편 표면을 SEM(JOEL, JSM-5200)의 사진이다.

Table 1 Experiment condition for friction test

Parameters	Condition
Contact type	Pin-on-Disk
Disk material	Bearing steel
Pin material	SKD11
Width of groove for pin [ $\mu\text{m}$ ]	40, 70 and 100
Depth of groove for pin [ $\mu\text{m}$ ]	4-5
Density of groove pattern area [%]	20
Surface roughness	
- Pin before fabrication [ $\mu\text{m}$ ]	0.008Ra, 0.016Rmax
- Disk [mm]	0.039Ra, 0.052Rmax
Diameter of pin [mm]	6
Diameter of sliding track[mm]	40
Contact pressure range [MPa]	0.5-3.0
Speed range [m/s]	0.02-0.30
Lubricant	Paraffin oil(Saybolt number 125/135)
Temperature	Room temperature



(a)



(b)

Fig. 1 Photography of SEM for (a) sample and (b) groove shape

### 2.2 시험방법 및 조건

마이크로 그루우브에 대한 마찰특성 평가를 위하여 flat-on-flat접촉형태인 pin-on-disk시험을 Fig. 2와 같이 수행하였다. 수직하중은 무게추를 이용하였으며, 미끄럼속도는 모터제어장치를 이용하여 설

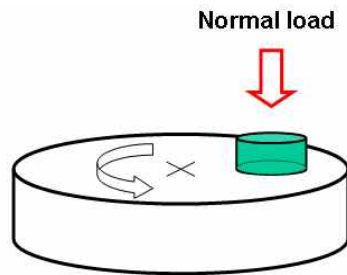


Fig. 2 Schematic of pin-on-disk type

정된 회전수에 따라 미끄럼 속도를 제어하였다.

본 시험방법으로 수직하중에 따른 설정된 속도를 변화시키면서 마찰력을 컴퓨터로 저장할 수 있도록 하였다. 낮은 수직하중에서 높은 수직하중으로 시험하였다. 미끄럼속도는 수직하중에 따라 0.02m/s에서 0.30m/s로 단계별 속도를 증가시켰다. 모든 윤활유는 하중단계별 새로운 윤활유를 사용하였다. 새로운 시험편 마다 15분간의 run-in 후 측정 데이터로 사용하였다.

### 2.3 시험편

마이크로그루우브의 빗살무늬각도에 따른 미끄럼 마찰특성을 조사하기 위하여 Fig. 3과 같이 화살표 방향으로 미끄럼 마찰시험하였으며, 마이크로그루우브폭 100 $\mu$ m이다. 서로 대칭적인 마이크로그루우브 빗살무늬의 미끄럼특성이 잘 나타날 수 있도록 화살표와 같이 시험하였다. 시험편의 표현방법을 Fig. 4와 같이 수평기준선과 마이크로그루우브의 사잇각을 기준각도로 정의하였다. 또한 미끄럼 운동방향선을 기준으로 대칭적으로 패턴을 유지하면서 시험하였다. 시험편의 기호는 기준각도 q가 60도이면 G60으로 표현하였다.

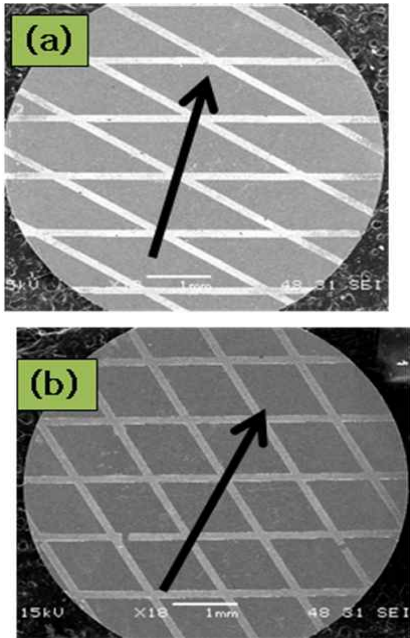
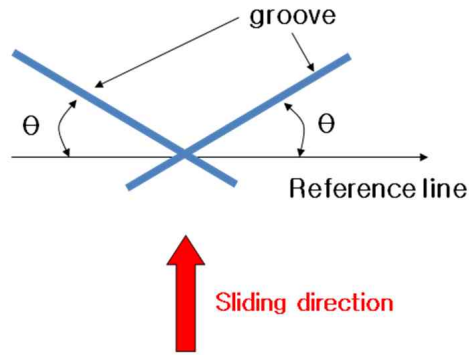


Fig. 3 Sliding direction on surface in friction test (arrow is sliding direction)



$\theta$  : Notation of Angle for graph

Fig. 4 Notation of angle and sliding direction for sample

## 3. 실험결과

### 3.1 사잇각도에 대한 영향

Fig. 5는 마이크로그루우브의 폭에 따른 사잇각도별 마찰계수의 변화곡선이다. Fig. 5 (a)는 그루우브의 폭 40 $\mu$ m 크기를 가지는 시험편의 사잇각에 변화에 따른 마찰특성을 보여주고 있다. 사잇각도가 증가될수록 마찰계수는 감소하고 있으며, 기준각도 60도 일 때 마찰특성이 가장 우수하였다. Fig. 5(b)는 그루우브의 폭 70 $\mu$ m 크기를 가지는 시험편의 기준각에 변화에 따른 마찰특성을 보여주고 있다. 기준각도가 증가될수록 마찰계수는 감소후 증가되고 있어 최적의 마찰계수의 각도를 구할 수 있다. 기준각도 40도 일 때 마찰특성이 가장 우수하게 나타났다. 마지막으로 Fig. 5(c)는 그루우브의 폭 100 $\mu$ m 크기를 가지는 시험편의 기준각에 변화에 따른 마찰특성을 보여주고 있다. 기준각도가 증가될수록 마찰계수는 증가되고 있으며, 기준각도 10도 일 때 마찰특성이 가장 우수하게 나타났다. 그루우브의 크기별 그루우브의 기준각도 증가에 따른 경향은 독립적으로 매우 잘 나타나고 있다. 여기서 마찰특성은 그루우브의 크기와 기준각도에 따라 변화되고 있음을 알 수 있었다.

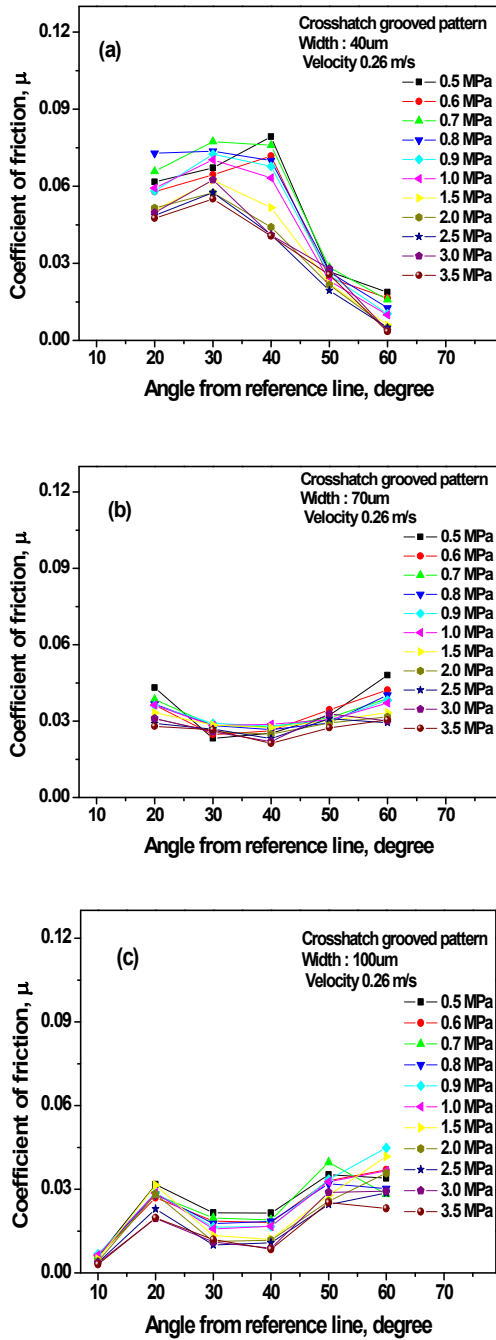


Fig. 5 Coefficient of friction as a function of angle from reference line

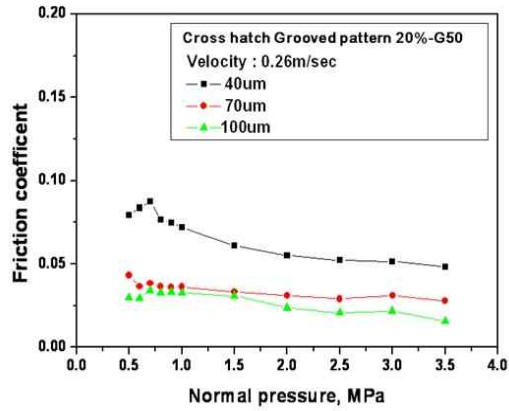


Fig. 6 Coefficient of friction as a function of normal load for crosshatch grooved pattern

### 3.2 그루우브 폭의 영향

Fig. 6은 마이크로그루우브의 기준각도별 그루우브폭에 대한 마찰계수 특성을 나타내었다. G20, G30 및 G40은 폭의 증가에 따라 마찰계수는 감소하고 있다. G50과 G60은 그루우브의 폭 증가에 조금 증가되는 결과를 나타내었다. 이러한 결과에서 G20에서 G40의 각도크기에서는 그루우브폭이 마찰계수에 의존한다는 것을 알 수 있다.

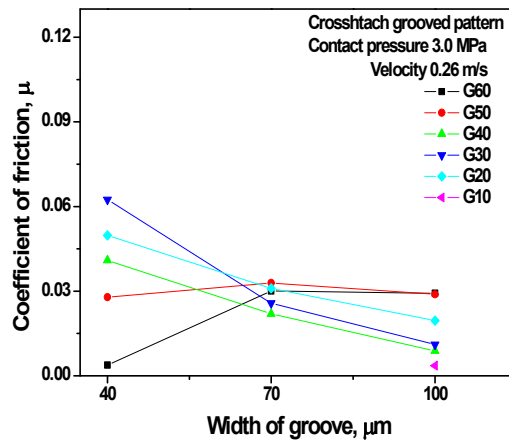


Fig. 7 Coefficient of friction as a function of a width of groove for crosshatch grooved pattern

### 3.3 스트라벡곡선(Stribeck curve)에서의 유효조건

본 실험에서 수행된 마찰시험이 유효조건에서 어느 영역인지를 알기 위해서는 스트라벡곡선<sup>[9]</sup>을 아래와 같이 식 (1)으로 계산할 수 있다.

$$Sommerfeld\ Number = \frac{\mu VD}{P} \quad (1)$$

여기서 Sommerfeld Number는 무차원수,  $\mu$ 는 동점성계수[Pa-s], V는 미끄럼속도[m/s], D는 접촉지름[m], P는 수직하중[N]이다.

스트라이벡 곡선은 미끄럼 상대접촉운동하에서 접촉면간의 유효상태인 유체유효, 혼합유효 및 경계유효인지 구분되어진다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 혼합유효와 유체유효의 경계에 있는 것을 쉽게 알 수 있다. 마이크로 그루우브 크기에 관계없이 모든 데이터는 혼합유효와 유체유효간의 변화를 잘 보여주고 있다.

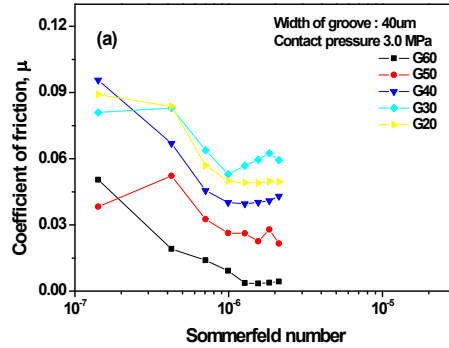


Fig. 8 Coefficient of friction as a function of a width of groove for crosshatch grooved pattern

### 4. 고찰

앞의 3장에서는 마이크로그루우브의 패턴에 대한 실험결과를 보았다. 그루우브의 동일한 폭에서의 사잇각도의 변화에 따른 마찰특성을 알 수 있었다. 또한 동일한 사잇각도에서 마이크로그루우브의 폭의 크기에 따라 마찰특성간의 관계를 본시험으로써 완전한 이해가 되지 않고 있다. 이들간의 어떠한 관계를 가지고 있는지에 대하여 고찰하였다.

마이크로그루우브의 폭과 기준각도간의 관계를 Fig. 9와 같이 기하학적인 방법으로 기준길이를 도출하였다. 그림에서 보는 것과 같이 가로축은 그루우브 폭이 증가하는 것이며, 세로축은 아래에서

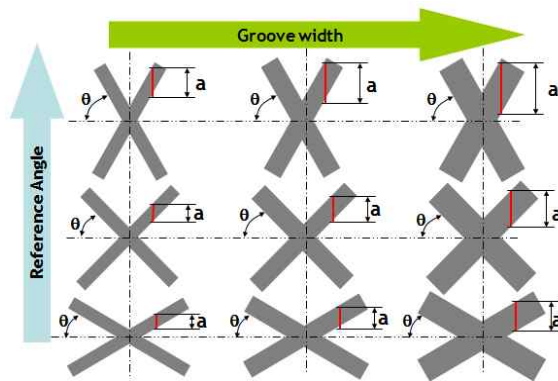
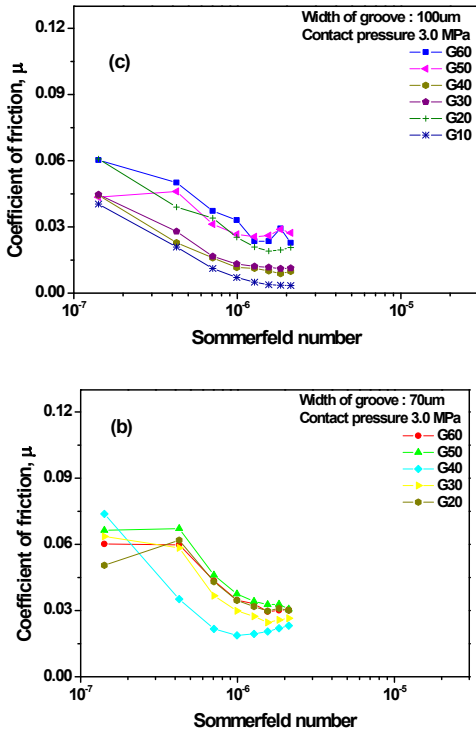


Fig. 9 Schematic diagram of reference length for crosshatch grooved pattern

위로 갈수록 기준각도가 증가되고 있다. 여기서 기준길이라 표시한 “a”를 이용하여 본 실험에서 추출된 데이터를 통계학적인 방법으로 분석하였다. 식 (2)는 그루우브폭과 a와의 관계를 나타내었다.

$$a = \frac{\omega}{\cos\theta} \quad (2)$$

$\omega$  : 그루우브 폭, mm

$\theta$  : 각도, degree

Fig. 10은 기준길이 a의 변화에 따른 마찰계수 변화 곡선이다. 기준길이는 그루우브의 폭과 기준각도간의 관계에서 도출되는 기하학적 형상치수이다. 물리적인 의미에서는 유체유동에서 직접적인 유체움직임에 영향을 주는 것으로 사료된다. Fig. 10에서 보는 것과 같이 기준길이와 마찰계수간의 관계성이 있음을 알 수 있었다. 특히 본 시험에서는 기준길이 0.1에서 가장 우수한 마찰특성을 보였다. 이들간의 관계성은 도출하였으나 아직까지 마이크로 그루우브에 대한 특성이 완전히 이해되지 않는 실정으로 데이터분석을 위해서는 많은 데이터가 필요하다.

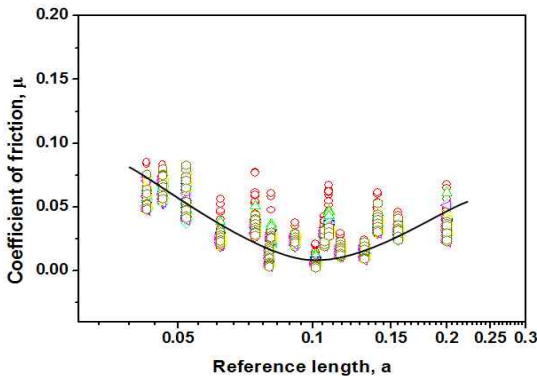


Fig. 10 Coefficient of friction as a function of a Reference length for micro-grooved pattern

## 5. 결론

본 논문은 SKD11에 대한 마이크로 스케일 빗살무늬 그루우브패턴의 기준각도와 폭에 대한 미끄럼

마찰특성변화를 연구하였다. 그루우브의 폭 40 $\mu$ m 크기를 가지는 시험편은 사잇각도가 증가될수록 마찰계수는 감소하고 있으며, 기준각도 60도 일 때 마찰특성이 가장 우수하였다. 그루우브의 폭 70 $\mu$ m 크기를 가지는 시험편은 기준각도가 증가될수록 마찰계수는 감소 후 증가되고 있어 최적의 마찰계수의 각도를 구할 수 있다. 기준각도 40도 일 때 마찰특성이 가장 우수하게 나타났다. 마지막으로 그루우브의 폭 100 $\mu$ m 크기를 가지는 시험편은 기준각도가 증가될수록 마찰계수는 증가되고 있으며, 기준각도 10도 일 때 마찰특성이 가장 우수하게 나타났다. 마찰특성은 그루우브의 크기와 기준각도에 따라 변화되고 있음을 알 수 있었다. 마이크로그루우브의 기준각도별 그루우브폭에 대한 마찰계수 특성을 나타내었다. G20, G30 및 G40은 폭의 증가에 따라 마찰계수는 감소하고 있다. G50과 G60은 그루우브의 폭 증가에 조금 증가되는 결과를 나타내었다.

마이크로그루우브의 폭과 기준각도간의 관계를 기하학적인 방법으로 기준길이를 도출하였다. 기준길이는 그루우브의 폭과 기준각도간의 관계에서 도출되는 기하학적 형상치수이다. 기준길이와 마찰계수간의 관계성이 있음을 확인하였다. 기준길이 0.1에서 가장 우수한 마찰특성을 보였다.

## 후 기

이 논문 또는 저서는 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-521-D00053)

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2009-0076618)

## 참고문헌

1. Nakada, N., "Trends in engine technology and tribology, Tribology International," Vol. 27, No. 1, pp. 3-8, 1994.
2. Tian, H., Saka, N. and Suh, N.P., "Boundary lubrication studies on undulated titanium surfaces,"

- Tribology Transactions, Vol. 32, No. 3, pp. 289-296, 1989.
3. Etsion, I and Burstein, L., "A model for mechanical seals with regular microsurface structure," Tribology Transactions, Vol. 39, No. 3, pp. 677-683, 1996.
  4. Etson, I. and Halperin, G., "A laser surface textured hydrostatic mechanical seal," Tribology transaction, Vol. 45, pp. 430-434, 2002.
  5. Wang, X., Kato, K., Adachi, K. and Aizawa, K., "The effect of laser texturing of SiC surface on the critical load for the transition of water lubrication mode from hydrodynamic to mixed," Tribology International, Vol. 34, pp. 703-711, 2001.
  6. Wang, X., Kato, K. and Adachi, K., "The lubrication effect of micro-pits on parallel sliding faces of SiC in water," Lubrication Engineering, Aug., pp. 27-34, 2002.
  7. Ronen, A, Etsion, I. and Kligerman, I., "Friction-reducing surface-texturing in reciprocating automotive components," Tribology Transaction, Vol. 44, No. 3, pp. 359-366, 2001.
  8. E. Gualtieri, A. Borghi, L. Calabri, N. Pugno, S. Valeri, "Increasing nanohardness and reducing friction if nitride steel by laser surface texturing Original Reaserch Article," Tribology International, Vol. 42, Issue 5, pp. 699-705, 2009.
  9. A.de Keaker, R.A.J. van Ostayen, D.J. Rixen., "Development of a texture averaged Reynolds equation Original Research Article," Tribology International, Vol. 43, Issue 11, pp. 2100-2109, 2010.
  10. Tae-Wan Kim, Sang-Don Lee, Yong-Joo Cho, "The effect of surface characterization parameters on Sliding Friction," journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 3 No. 2, pp. 18-24, 2004.