

Hexagonal Array Micro-Scale Dimple Pattern의 밀도에 따른 마찰특성

채영훈 · 장충선 · 최원식*

경북대학교 기계공학과, *부산대학교 바이오산업기계공학과

Friction Characteristics of Hexagonal Array Micro-scale Dimple Pattern by Density

Young-Hoon Chae, Chung-Sun Jang and Won-Sik Choi*†

Dept. of Mechanical Engineering, Kyungpook National University

*Dept. of Bio Industrial Mechanical Engineering, Pusan National University†

(Received November 10, 2008; Revised December 2, 2008; Accepted December 5, 2008)

Abstract – This paper will investigate the friction characteristics of a 100 μ m Hexagonal Array, Micro-scale Dimple Pattern, on bearing steel. These characteristics are researched by utilizing a pin-on-disk wear test machine, under various test conditions. The reduction of friction is a necessary requirement for the improved efficiency of this machine. As the speed increases, there is a decrease in the effect of the dimple of friction characteristic, with substantially little change to density. Conversely, as the load increases, the dimple pattern grows larger, resulting in a difference in the texture of these two components. At a dimple density of 10% the friction characteristic is easily demonstrated, with a consistent change in both speed and load.

Key words – dimple pattern(딴플 형상), surface texturing(표면 무늬), friction characteristics(마찰 특성), hexagonal array(육각 배열)

1. 서 론

기계 구조물에 있어 마찰력 감소는 에너지 절감과 수명 연장에 있어 대단히 중요한 요소로서 그 연구를 해를 거듭할수록 더해가고 있는 실정이다. 따라서 마찰력 감소를 위한 또 하나의 방법으로 Surface texture라는 것이 대두되고 있다[1]. Surface texture는 접촉표면에 다양한 Dimple 모양을 내어 성능을 향상시키는 방법으로 최근 들어 연구가 진행되어 왔다[2]. 패턴은 반도체 공정에서 실리콘 웨이퍼위에 나노패턴을 만들어 미끄럼 접촉 운동 시 달라붙음을 감소시키는데 사용하고 있다. 또한 SiC 세라믹에 레이저를 이용하여 마이크로 Dimple을 넣어서 미끄럼 접촉시 마찰계수저감과 seizure를 감

소시키는 사례도 발표되고 있다. Surface texture의 기구는 패턴의 밀도, 깊이, 크기에 의존하고 있다[3]. 따라서 아직 Hexagonal Array Micro-scale Dimple Pattern에 대한 완전한 연구가 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 베어링강에 100 μ m Hexagonal Array Micro-scale Dimple Pattern의 밀도를 변화시켜 하중과 속도에 따른 마찰특성을 untexture와 비교하여 평가하였다.

2. 시험편 및 시험방법

2-1. 시험편 및 시험방법

본 실험에 사용된 핀 시험편은 베어링강으로 지름 4 mm와 두께 2 mm의 크기와 원통모양의 형상에 Hexagonal Array Micro-scale Dimple Pattern을 만들

†주저자 · 책임저자 : choi@pusan.ac.kr

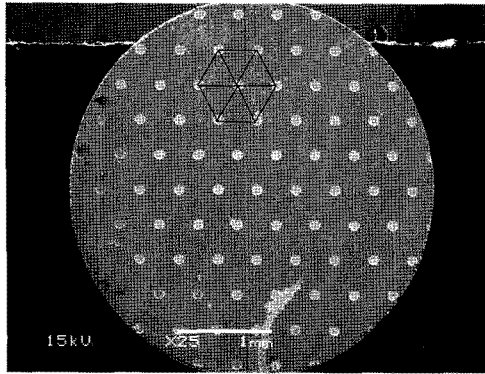


Fig. 1. Surface texture of hexagonal array micro-scale dimple pattern.

어서 실험하였다. 표면의 Dimple를 만드는 방법은 포토리소그래피(Photolithography)를 이용하여 습식에칭으로 준비하였다.

Fig. 1은 본 연구에 사용된 시험편으로서 밀도가 5%인 Hexagonal Array Micro-scale Dimple Pattern의 형상을 보여주고 있다.

디스크의 재료는 베어링강으로 상대재료와 동일하게 준비 제작하였다. 지름 60 mm와 두께 5 mm로 가공하였다. 디스크의 표면조도는 폴리싱 후 0.039 mmRa를 되도록 가공하였다.

본 연구에서는 마찰특성을 평가하기 위하여 pin-on-disk 실험방법으로 상온, 상압 윤회상태에서 Fig. 2와 같은 시험기를 사용하였다. 모든 데이터는 A/D convertor를 사용하여 컴퓨터에 저장될 수 있도록 하였다. 실험은 수직하중별 5분간의 run-in을 수행한 후 본 실험

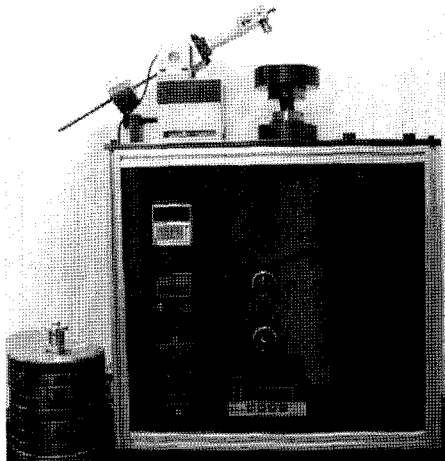


Fig. 2. Reciprocation wear testing system.

Table 1. Test conditions

Parameters	Condition
Contact type	Pin-on-Disk
Disk material	Bearing steel
Pin material	Bearing steel
Size of dimple for pin [μm]	100
Density of dimple for pin [%]	5-35
Depth of dimple for pin [μm]	2
Surface roughness	
- Pin before fabrication [μm]	0.008Ra, 0.016Ra
- Disk [μm]	0.039Ra, 0.052Ra
Diameter of small disk	5 mm
Diameter of sliding track	40 mm
Normal load range [N]	20-100 N
Pressure range [MPa]	0.25-2.05
Speed range [m/s]	0.06-0.34
Lubricant	Parafin oil
Temperature	Room temperature

험데이터로 추출하였다.

Table 1은 실험조건을 나타내었으며 Hexagonal Array Micro-scale Dimple Pattern의 밀도는 5%에서 35%까지 8가지를 준비하였다. 속도는 0.06 m/s에서 0.34 m/s까지 실험하였고, 하중은 20 N에서 100 N까지 실험하였다.

3. 실험 결과

3-1. 마이크로 Dimple의 하중의 영향

Fig. 3은 하중이 낮은 20 N일 때 마이크로 Dimple의 밀도에 따른 마찰계수를 untexture과 함께 속도에 따라 나타내었다. untexture의 경우 속도가 증가함에

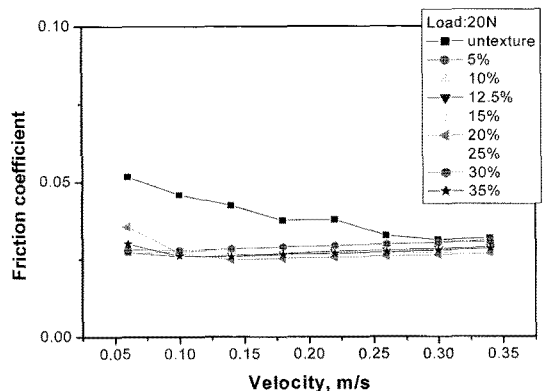


Fig. 3. Friction coefficient as a function of velocity for various density of micro dimple.

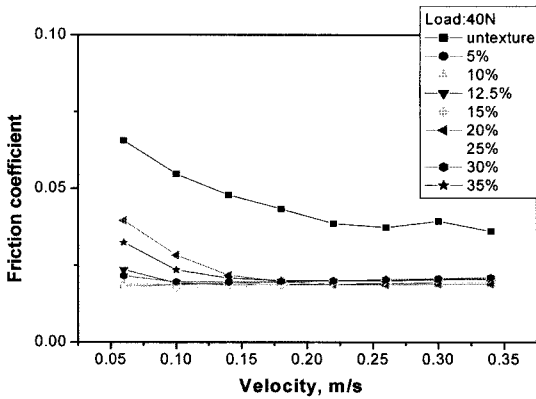


Fig. 4. Friction coefficient as a function of velocity for various density of micro dimple.

따라 마찰계수는 점차 감소하는 경향을 나타내고 있으나 마이크로 Dimple 패턴은 속도의 증가에도 밀도의 영향을 받지 않고 일정한 마찰계수를 나타내고 있다. 아울러 마찰속도가 0.3 m/s 이상이 되면 Dimple의 효과는 거의 나타나지 않음을 알 수 있었다.

Fig. 4는 하중을 Fig. 3에 비해 2배인 40N으로 증가시켜서 밀도에 따른 마찰계수를 속도와 함께 나타낸 것으로서 낮은 속도영역에서는 Dimple의 영향을 받고 있으나 속도를 증가시켜 0.15 m/s 이상이 되면 Dimple의 밀도의 영향이 거의 없어짐을 알 수 있었다. 하지만 untexture에 비해서 Dimple의 효과는 속도를 증가시켜도 효과가 매우 큼을 알 수 있었다.

Fig. 5는 하중이 60N일 때 밀도에 대한 마찰 특성을 속도와 함께 나타낸 것으로서 속도가 낮은 영역에서는 Dimple 밀도의 영향이 매우 크게 나타났으며, 속

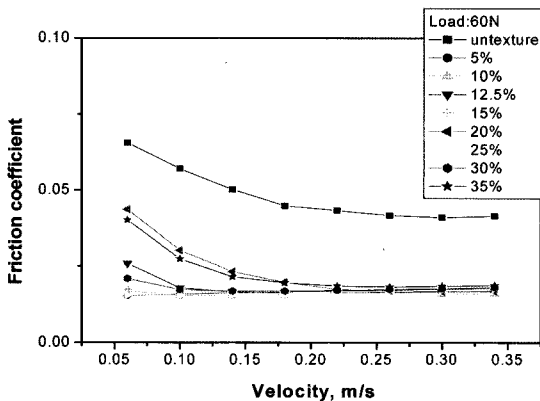


Fig. 5. Friction coefficient as a function of velocity for various density of micro dimple.

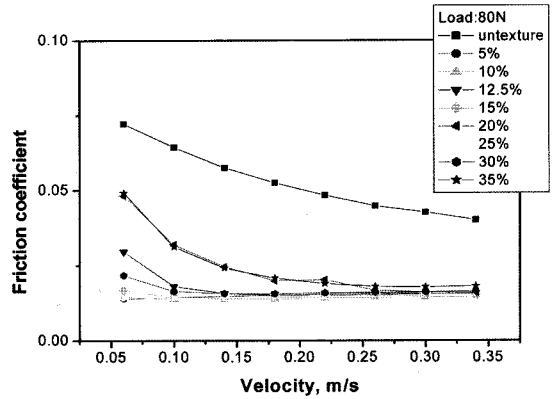


Fig. 6. Friction coefficient as a function of velocity for various density of micro dimple.

도를 증가함에 따라 밀도의 영향은 점차 줄어들어 속도가 0.21 m/s 이상에서는 밀도에 따른 영향이 거의 없음을 알 수 있었다. 속도가 증가함에 따라 untexture의 마찰특성은 매우 양호하게 나타났다.

Fig. 6은 하중이 80N일 때의 마찰특성을 나타낸 것으로서 Fig. 5의 60N에 비해 untexture의 경우 마찰계수가 좀 높아졌으며 밀도에 따른 마찰계수는 저속인 경우 더욱 차이가 많이 생겼으며 속도를 증가할수록 그 차이가 작아짐을 나타내었다.

Fig. 7은 하중이 100N일 때의 밀도에 따른 마찰특성을 속도에 따라 나타낸 것으로 낮은 속도에서는 밀도의 영향이 매우 큼을 나타냈으나 속도가 증가함에 따라 마찰특성은 거의 유사함을 나타내었다. 한편 untexture의 마찰계수는 매우 크게 나타났으며 하중을 증가시킬수록 Dimple의 효과가 큼을 알 수 있었다.

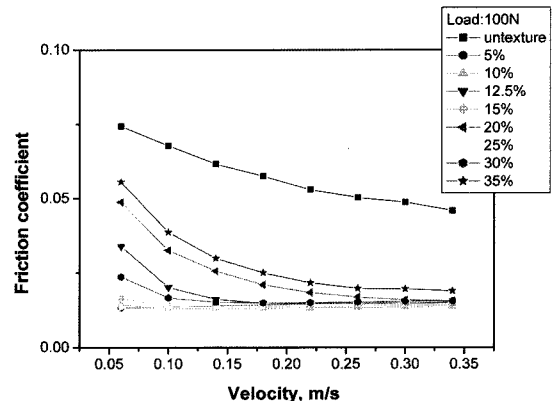
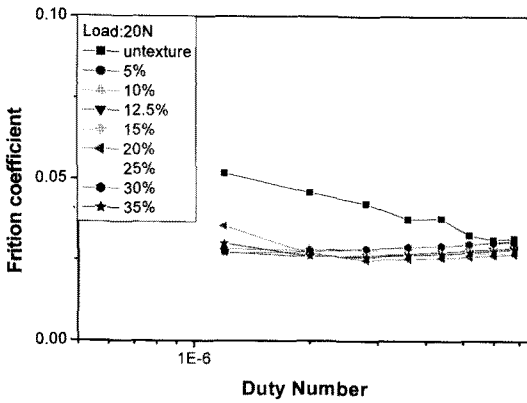
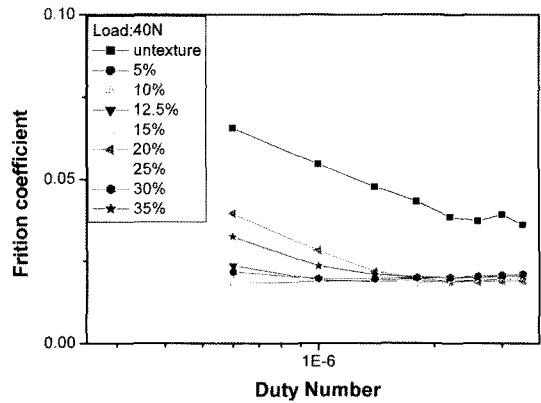


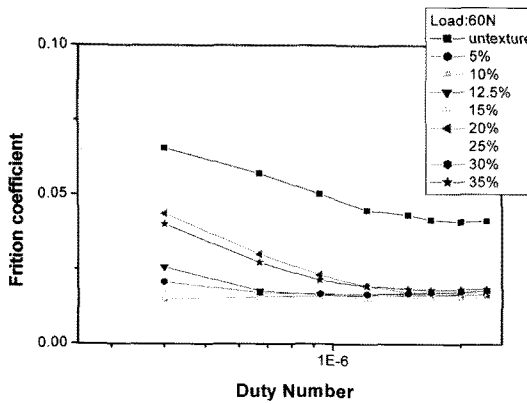
Fig. 7. Friction coefficient as a function of velocity for various density of micro dimple.



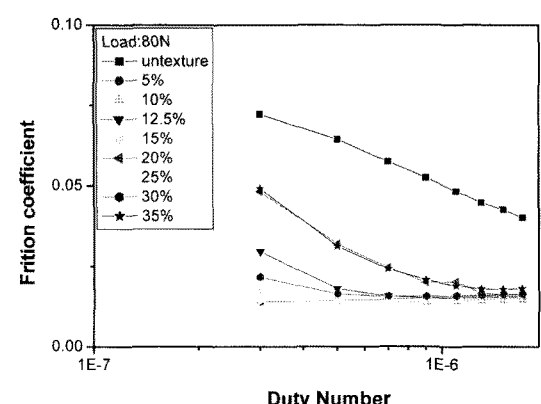
(a) Load : 20N



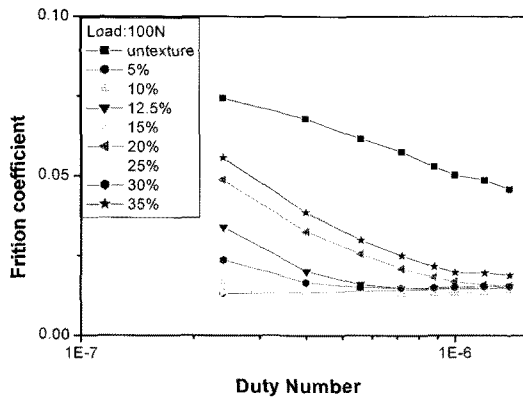
(b) Load : 40N



(c) Load : 60N



(d) Load : 80N



(e) Load : 100N

Fig. 8. Duty number.

3-2. 마이크로 Dimple의 Stribeck curve

윤활상태에 따른 메커니즘을 구명하기 위하여 Stribeck curve[4]를 사용하기로 하자. Stribeck curve

는 마찰계수와 무차원수를 사용해서 윤활상태를 구별하고 있다. 관계식을 표현하면 다음과 같다.

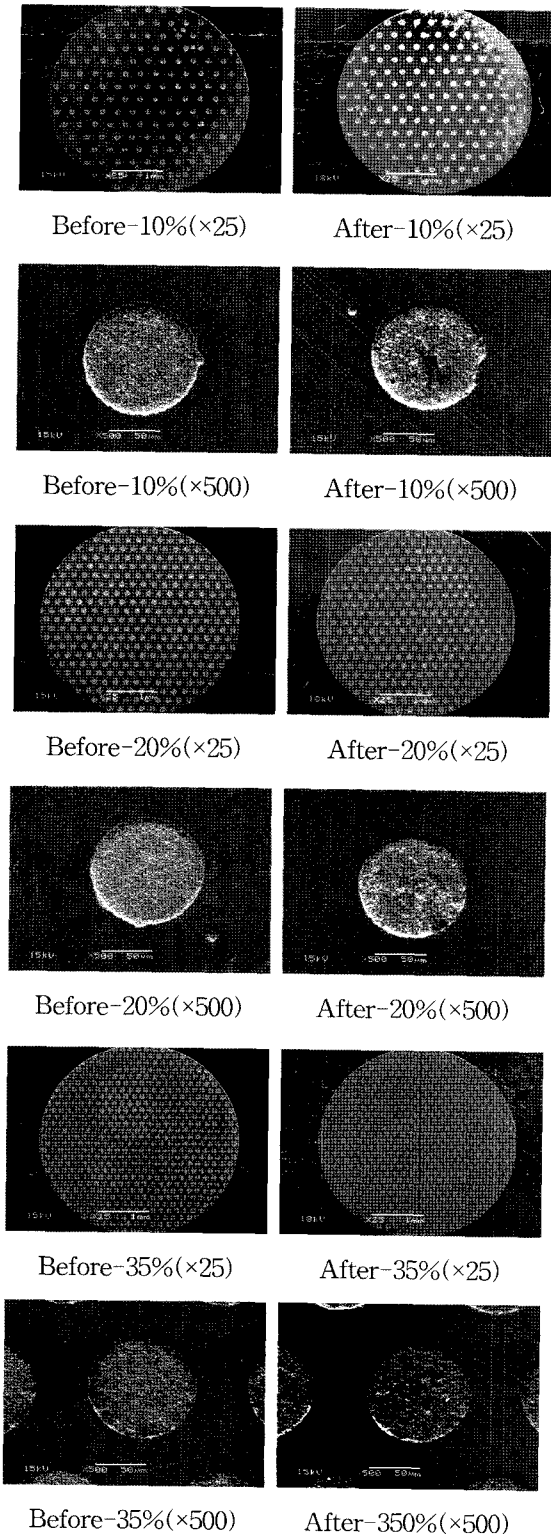


Fig. 9. SEM photo of the before test and after.

$$S = \frac{\mu VD}{L} \tag{1}$$

여기서 S는 무차원수, μ 는 마찰계수[N·s/m²], V는 미끄럼속도[m/s], D는 접촉지름[m], L은 수직하중[N]이다. Fig. 6은 하중별 무차원수를 밀도에 따라 나타낸 마찰계수 값이다. 전반적으로 Figs. 3~7의 양상과 비슷하게 나타났으며 Untexture의 마찰계수가 딴플 패턴보다 크게 나타남을 알 수 있었다.

3-3. 마찰면의 관찰

Fig. 9는 10%, 20%, 35%의 시험편을 SEM으로 나타낸 사진이다. 실험하기 전과 한 후의 시험편을 25배와 500배로 확대하여 그 모습을 관찰하였다. 25배는 실험 전과 후의 차이가 크게 나타나지 않았으나 500배로 확대하여 하나의 딴플을 관찰하였을 때는 실험 전과 달리 실험 후의 딴플이 확실히 마모된 모습을 볼 수 있었다. 표면에 스크래치나 흠집도 생긴 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 베어링강에 100 μ m Hexagonal Array Micro-scale Dimple Pattern의 밀도를 변화시켜 하중과 속도에 따른 마찰특성을 Untexture와 비교하여 평가하였다.

1. 속도가 증가할수록 Dimple의 효과가 줄어들음을 알 수 있었으며 밀도변화에 거의 영향을 받지 않는다.
2. 하중을 증가시킬수록 Untexture과 Dimple패턴의 차이가 커짐을 알 수 있었으며 Dimple 밀도와도 관계가 있음을 알 수 있었다.
3. 속도와 하중의 변화에 있어 가장 좋은 마찰특성을 나타낸 것은 Dimple 밀도가 10%일 때임을 알 수 있었다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자율과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1. Nakada, M., "Trends in Engine Technology and Tri-

- bology”, *Tribology International*, Vol. 27, No. 1, pp. 3-8, 1994.
2. Kato, A. and Yasuda, Y., “An Analysis of Friction Reduction Techniques for the Direct-acting Valve Train System of a New-generation Lightweight 2-Liter V6 Nissan Engine”, SAE Paper No. 940992, 1994.
 3. Ronen, A., Etsion, I., and Kligerman, Y., “Friction-reducing Surface Textureing in Reciprocating Automotive Components”, *Tribology Transaction*, Vol. 44, No. 3, pp. 359-366, 2001.
 4. Bhushan, B. and Gupta, B.K., *Handbook of Tribology*, McGraw Hill, 1991.