

## 금속표면의 Surface texturing 효과에 대한 실험적 설계변수

채영훈(경북대 트라이볼로지연구소)

### Experiment Design Parameter for the Effect of Surface Texturing on Metal Surface

Y. H. Chae(KETRI, KNU)

#### ABSTRACT

The aim of this paper is to investigate the effect of surface texturing on metal surface and to understand the potential of friction reduction through micro-scale dimple to fabricate by photolithography on pin-on-disk test using flat-on-flat contact geometry. It was verified that the friction property with respect to the same pitch has been influenced by the size of dimple under lubricated sliding contact. Also, we can recognize from Stribeck curve that the friction property has a connection with the size of dimple. It can explain a relationship between the friction coefficient and a dimensionless parameter for lubrication condition. The friction property has been an effect on the size of surface texture on reduction friction, not only because the density of dimple, but also because the ratio of diameter/pitch. This ratio of approximately 0.5 is recommended under the tested friction condition. It is suggested that the ratio of  $d/p$  is an important parameter for surface texture design.

**Key Words** : Friction(마찰), Surface texture, Reducing friction(마찰감소), Micro dimple(마이크로딴플), Photolithography(포토리소그래피), Density effect(밀도효과)

#### 1. 서론

Surface texturing 은 금속 또는 비금속 재료표면에 특성제어를 위한 경질코팅, 표면열처리와달리 표면에 micro pattern 을 정밀가공하여 요구되는 성능을 표면에 부여하는 기술이다. Surface texturing 기술의 적용효과는 마찰제어, 내구성증대, 표면 접촉압력의 제어, surface energy control 등 다양하게 기대된다. 이러한 설계 및 가공기술에 대한 연구는 트라이볼로지적 관점에서 연구 진행되고 있다. 특히, 자동차 엔진 및 cam/follower 등 기구부의 고속 상대적 접촉부에 적용하여 surface texturing 효과를 보고하고 있다[1-4].

상대표면접촉으로 기능을 하는 Tribosystem 에서 마찰손실감소를 위하여 공학표면기술중 Surface texture 기술을 연구하고 있다[2-5]. Surface texture 기술은 접촉하고 있는 표면에서 발생하는 마찰저감기술에 적용하고 있다. 마찰저감을 위한 surface texture 기술은 hydrodynamic 과 혼합윤활상태에 적용하고 있다.

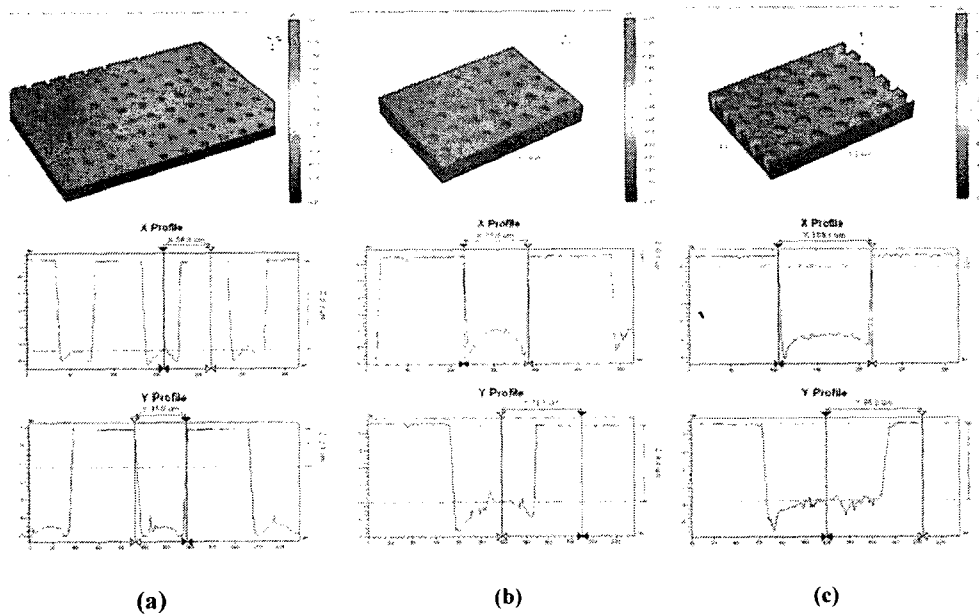
많은 연구자들은 마찰제어기술과 마찰저감을

위하여 surface texture 를 어떻게 설계할 것인가? 에 대하여 다양한 각도로서 접근하고 있다. Etsion[7]은 mechanical seal 에 대하여 마찰성능을 지배하는 주요인자(critical parameter)를 pore 크기와 비(ratio)의 관점에서 연구하였다. Wang[8]은 surface texture 설계를 위하여 임계하중비(critical load ratio), 깊이/크기의 비, pit 의 면적비가 마찰성능에 영향을 주고 있음을 확인하였다. 또한 Ronen[9]은 surface texture 에 대한 최적의 깊이/크기 비를 가지고 있음을 보고하였다. 이러한 Surface texture 의 연구는 마찰성능에 미치는 설계인자를 도출하기 위하여 연구진행되고 있다. 이러한 연구결과에도 불구하고 아직 surface texture 에 대한 메커니즘은 완전히 이해되지 않고 있다.

본 논문은 금속표면의 Surface texture 효과에 대하여 미끄럼마찰특성을 고찰하여 설계변수에 대하여 연구하고자 한다. 특히 micro-dimple 간의 동일한 간격(pitch)에서 50 $\mu$ m, 80 $\mu$ m 및 110 $\mu$ m 의 micro-dimple 크기변화에 마찰성능을 조사한다. 또한 20%의 micro-dimple 밀도에서 micro-dimple 크기 변화에 나타나는 마찰거동과 마찰성능과 surface texture 간의 관계되는 메커니즘을 연구하고자 한다.

**Table 1 Experiment condition for test**

| Parameters                                 | Condition                            |
|--|--------------------------------------|
| Contact type                               | Pin-on-Disk                          |
| Disk material                              | Bearing steel                        |
| Pin material                               | Bearing steel                        |
| Size of dimple for pin [ $\mu\text{m}$ ]   | 50                                   |
| Depth of dimple for pin [ $\mu\text{m}$ ]  | 4-5                                  |
| Surface roughness                          |                                      |
| - Pin before fabrication [ $\mu\text{m}$ ] | 0.008Ra, 0.016Rmax                   |
| - Disk [ $\mu\text{m}$ ]                   | 0.039Ra, 0.052Rmax                   |
| Diameter of small disk[mm]                 | 5                                    |
| Diameter of sliding track[mm]              | 40                                   |
| Normal load range [N]                      | 5-40                                 |
| Pressure range [MPa]                       | 0.25-2.05                            |
| Speed range [m/s]                          | 0.04-0.32                            |
| Lubricant                                  | Paraffin oil(Saybolt number 125/135) |
| Temperature                                | Room temperature                     |



**Fig. 1 Surface topography for (a)50 $\mu\text{m}$ , (b)80 $\mu\text{m}$  and (c)110 $\mu\text{m}$  of diameter**

## 2. 실험

### 2.1 시편제작 및 Photolithography

Table 1 은 본 연구에 사용될 시험편의 크기와 형상을 나타내었으며, 접촉표면에 대한 주요치수를 나타내었다.

시험편 접촉표면에 Surface texture 를 가공하기 위하여 포토리소그래피를 수행하였다. 패턴설계 후

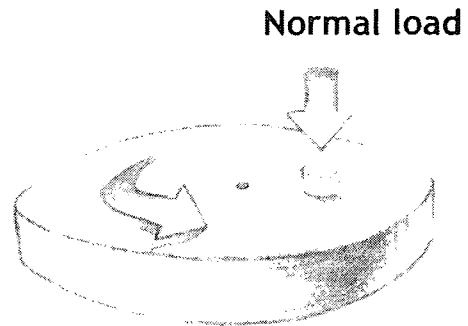
마스크를 필름마스크로 제작하였다. 시험편 접촉표면의 마지막 표면가공은 평탄화가공기술[10]과 연마기술을 사용하여 완전한 면접촉이 가능하도록 하였다. Fig. 1 은 시험편의 micro-dimple 크기와 패턴을 Optical profile(Wyko, NT3300)로 측정된 것이다. 측정된 크기는  $50 \pm 5\mu\text{m}$ ,  $80 \pm 4\mu\text{m}$  및  $110 \pm 2\mu\text{m}$  로 측정되었다. 정방형 배열로 패턴을 구성된 것을 알 수 있다.

### 2.2 시험방법 및 조건

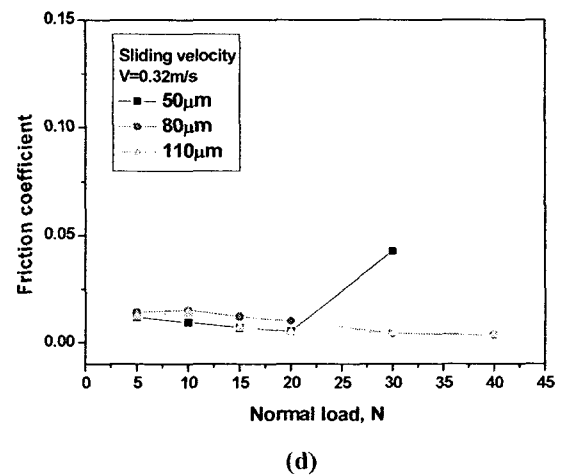
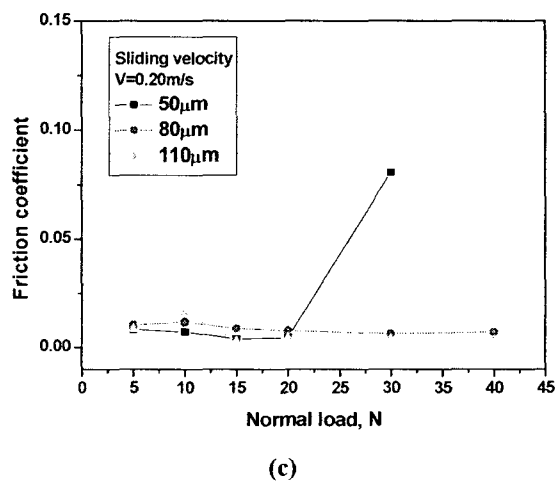
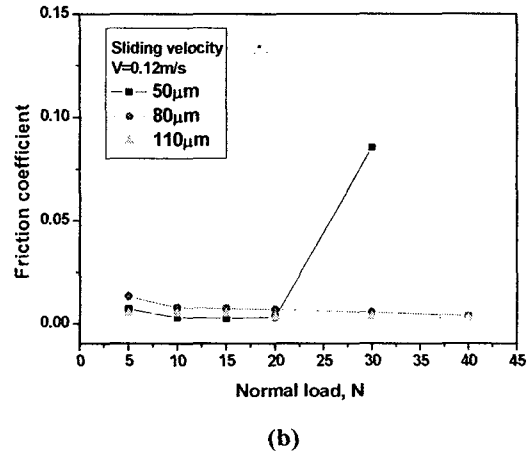
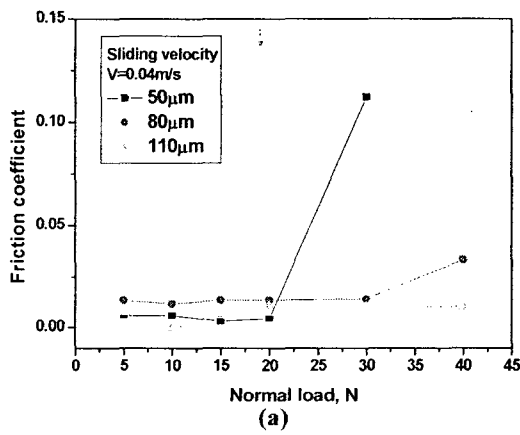
Surface texture 의 마찰성능 평가를 위하여 flat-on-flat 접촉형태인 pin-on-disk 시험을 Fig.2 와같이 수행하였다. 표면의 청정을 위하여 아세톤으로 5 분간의 초음파세척 후 DI water 와 질소가스로 건조시켰다.

**Table 2. The size and density of pattern for pin**

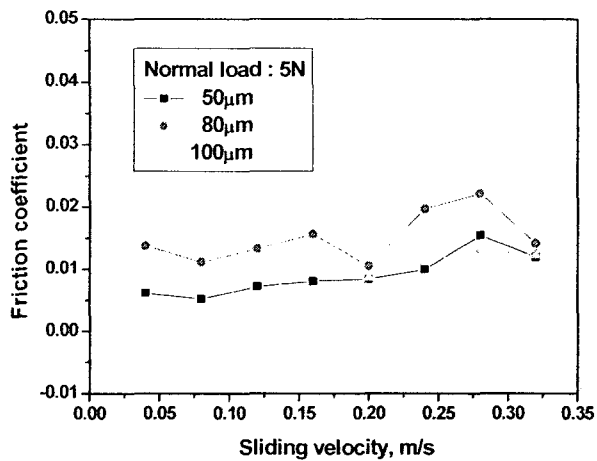
| Size[ $\mu\text{m}$ ] | Pitch[ $\mu\text{m}$ ] | Density[%] |
|-----------------------|------------------------|------------|
| 50                    | 95                     | 20         |
|                       | 160                    | 8          |
| 80                    | 160                    | 20         |
| 110                   | 160                    | 38         |
|                       | 229                    | 20         |



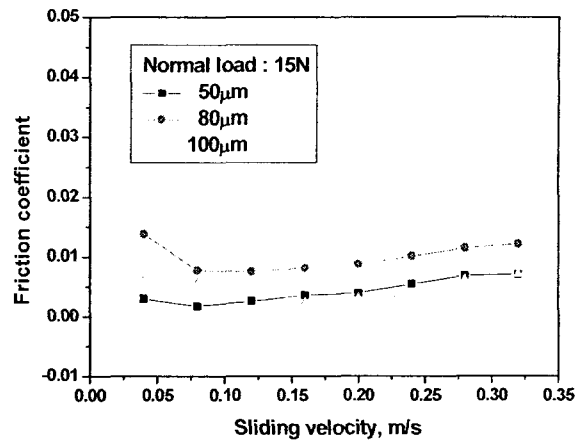
**Fig. 2 The ratio of diameter/pitch as a function of the size of dimple**



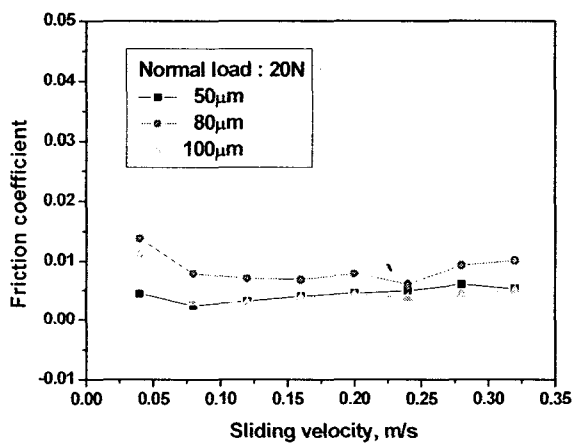
**Fig. 3 Friction coefficient as a function of normal load for 160 $\mu\text{m}$  of pitch under (a)0.04m/s, (b)0.12m/s, (c)0.20m/s and (d)0.32m/s**



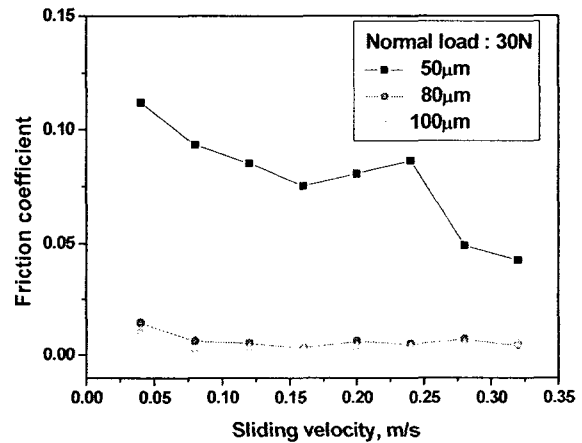
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4 Friction coefficient as a function of normal load for 160 $\mu$ m of pitch under (a)5N, (b)15N, (c)20N and (d)30N

시험방법으로 고정 하중으로 단계별 속도를 변화하였다. 수직하중 5, 10, 15, 20, 30, 40N 순으로 추 (deadweight)를 사용하여 가압하였다. 미끄럼속도는 하중에 따라 0.04, 0.08, 0.12, 0.16, 0.20, 0.24, 0.28, 0.32m/s 로 단계별 속도를 증가시켰다. 모든 윤활유는 하중단계별 새로운 윤활유를 사용하였다. 새로운 시험편 마다 15 분간의 run-in 후 측정데이터로 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 동일피치에서 micro-dimple 크기효과

Fig. 3 은 미끄럼속도별 수직하중 증가에 따라 micro-dimple 크기에 따른 마찰계수변화를 보여주고 있다. 시험편은 micro-dimple 간의 피치는 160 $\mu$ m 이다. 미끄럼 속도 0.04m/s 에서 50 $\mu$ m 시험편의 마찰계수는 수직하중 20N 이상에서 급격히 증가하였다. 반면에 110 $\mu$ m 시험편은 미끄럼속도와 수직하중 증가에 따라 마찰계수는 감소하였다. 80 $\mu$ m 시험편은 수직하중 30N 에서 마찰계수는 증가되고 있었다. 또

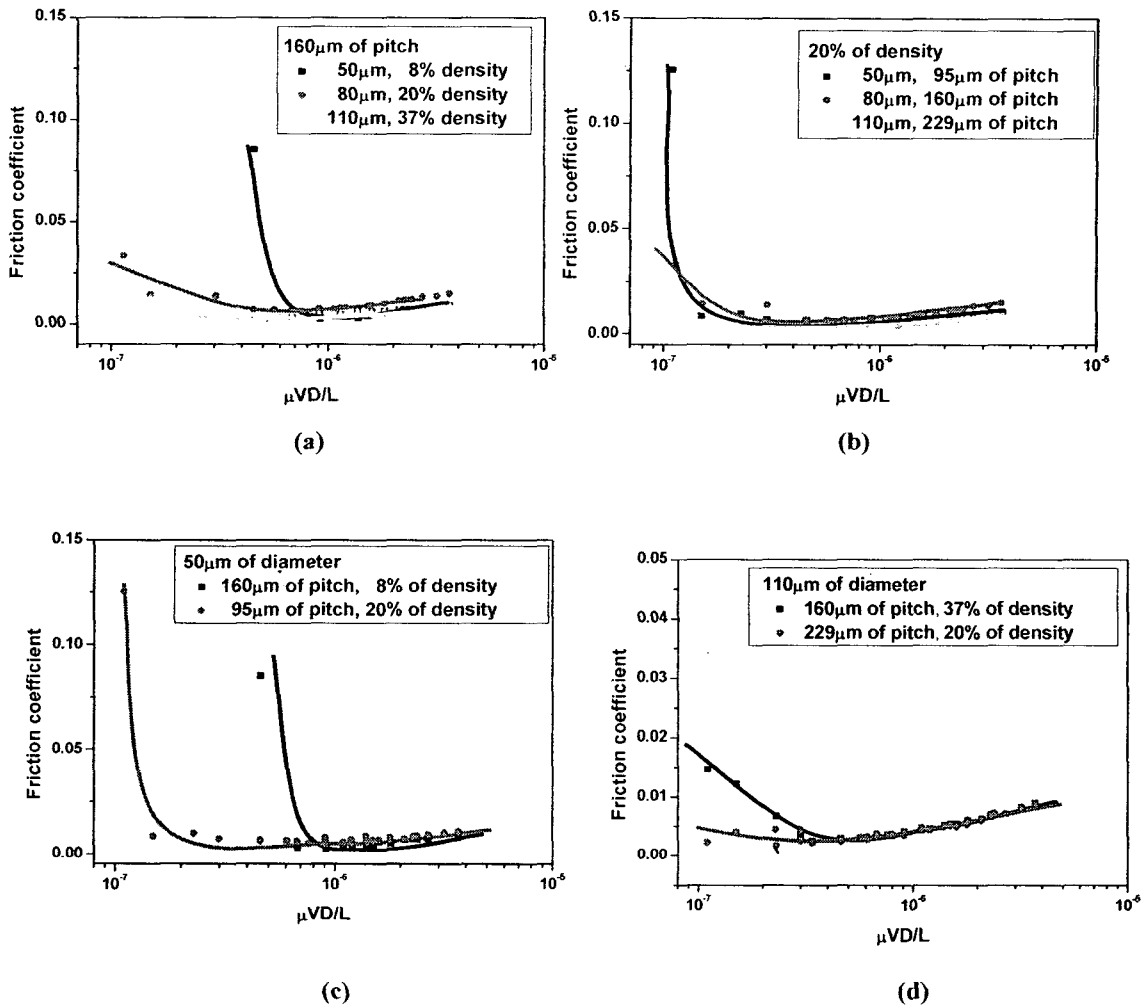


Fig. 5 Stribeck curve for (a) 160μm of pitch, (b) 20% of density, (c) 50μm of diameter and (d) 110μm of diameter

한 Fig. 4 는 수직하중별 미끄럼속도 증가에 따라 micro-dimple 크기에 따른 마찰계수변화를 보여주고 있다. 동일한 하중에서 미끄럼속도에 따라 마찰계수는 매우 조금 증가되는 것으로 알 수 있다. 수직하중 30N 에서 50μm 시험편은 상대적으로 80μm 과 110μm 의 마찰계수보다 높게 나타났다.

피치 160μm 에서 micro-dimple 크기만을 변화시켜 마찰계수를 변화를 조사한 결과 micro-dimple 크기는 마찰성능에 영향을 주고 있었으며, micro-dimple 은 성능에 주요 요인으로 작용하고 있었다. 그러나 달리 생각하면 동일한 피치에서 micro-dimple 크기를 변화시키면 밀도가 변화된다. 따라서 동일한 밀도에서 크기를 달리하여 micro-dimple 크기에 따른 마찰성능관계를 조사하였다.

### 3.2 동일밀도에서 micro-dimple 크기효과

동일한 피치에서 정방형정렬의 패턴에서 마이크로디플크기를 변화시키면 밀도가 변화된다. 그러면 이러한 결과는 밀도변화에 따라 나타나는 현상일 수 있다. 따라서 동일 밀도에서 마이크로디플크기 변화에 따라 마찰성능을 조사하여 크기효과를 심도 있게 조사하기 위하여 윤향상태를 조사하면서 마찰성능을 조사하였다.

윤향상태를 조사하기 위하여 Stribeck curve 를 사용하였다. 이것은 마찰계수와 무차원계수와와의 관계에서 윤향상태를 확인할 수 있다.

Fig. 5 는 무차원계수에 따른 마찰계수변화를 나

타내고 있다. 그래프에서 보는 바와 같이 윤활상태는 hydrodynamic 과 혼합윤활상태임을 알 수 있다 [11]. Fig. 5(a)는 160 $\mu\text{m}$ 의 피치에서 50 $\mu\text{m}$ , 80 $\mu\text{m}$  및 110 $\mu\text{m}$ 의 크기에 대한 마찰계수 변화를 보이고 있다. 110 $\mu\text{m}$ 의 시험편이 우수한 것이 나타났다. Fig. 5(b)는 20%의 동일한 밀도에서 마이크로딴플크기에 따른 마찰성능을 보여주고 있다. 110 $\mu\text{m}$ 의 시험편이 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 Fig. 5(c)는 50 $\mu\text{m}$ 의 시험편에 대한 비교를 하였다. 밀도 8%보다 20%의 시험편이 마찰성능이 우수하였다. Fig. 5(d)는 110 $\mu\text{m}$ 의 시험편에서 37%보다 20%의 시험편이 마찰성능이 우수하였다.

다시 결과를 정리하면 160 $\mu\text{m}$ 의 동일피치에서 마찰성능은 110 $\mu\text{m}$ 의 마이크로딴플의 크기의 37% 밀도 시험편이 우수하였다. 또한 20%의 동일 밀도에서 110 $\mu\text{m}$ 의 20% 밀도를 가지는 시험편이 가장 우수하였다. surface texture의 마찰저감효과를 가지고 있었다. Surface texture의 메커니즘을 마이크로딴플크기와 피치간의 관계에서 도출하였다. Fig. 6은 마이크로딴플 크기에 대한 크기/피치의 비(d/p ratio)를 나타내었다. 그래프에서 보는 바와 같이 각 마이크로 딴플 크기에 0.5 값에 가까울수록 성능이 향상됨을 확인하였다. 이것은 surface texture 설계에서 주요한 인자로 사료된다.

#### 4. 결론

본 논문은 금속표면의 Surface texture 효과에 대하여 실험적으로 입증하였으며, 이에 대한 설계변수를 고려하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 160 $\mu\text{m}$ 의 동일한 피치에서 마이크로딴플의 크기는 110 $\mu\text{m}$ 가 우수하였으며
2. 20%의 동일 밀도에서도 110 $\mu\text{m}$ 에서 가장 우수하게 나타났다.
3. Surface texture의 마찰성능의 향상에 지배되는 주요인자를 d/p 값이 각 크기별 0.5 일 때 향상됨을 알 수 있었다.

#### 후기

This work was supported by Korea Research Foundation Grant (KRF-2004-041-D00079)

#### 참고문헌

1. N. Nakada, Trends in engine technology and tribology, Tribology International, 27, 1, 3-8, 1994.
2. Y.K. Gryk and, I. Etsion, Experimental investigation of laser surface texturing for reciprocating Automotive

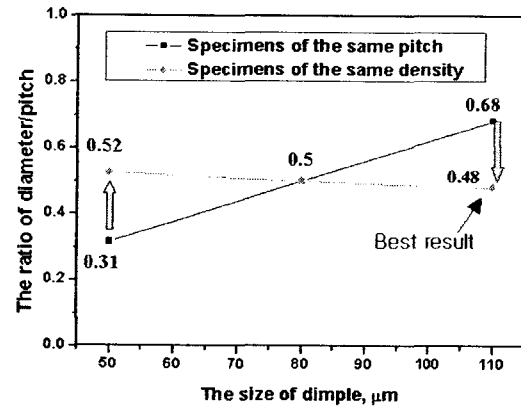


Fig. 6 The ratio of diameter/pitch as a function of the size of dimple

- components, Tribology Transactions, 45, 4, 444-449, 2002.
3. I.Etson, Y.Kligerman and G.Halperin, Analytical and Experimental investigation of laser-textured mechanical seal faces, Tribology Transactions, 42, 3, 511-516, 1999.
4. H. Tian, N.Saka and N.P.Suh, Boundary lubrication studies on undulated titanium surfaces, Tribology Transactions, 32, 3, 289-296, 1989.
5. I. Etsion and L.Burstein, A model for mechanical seals with regular microsurface structure, Tribology Transactions, 39, 3, 677-683, 1996.
6. X. Wang, K.Kato, K.Adachi and K.Aizawa, 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, 34, 703-711, 2001.
7. I. Etsion and G. Halperin, A laser surface textured hydrostatic mechanical seal, Tribology transaction, 45, 430-434, 2002.
8. X. Wang, K.Kato and K.Adachi, The lubrication effect of micro-pits on parallel sliding faces of SiC in water, Lubrication Engineering, Aug., 27-34, 2002.
9. A. Ronen, I.Etsion and Y. Kligerman, Friction-reducing surface-texturing in reciprocating automotive components, Tribology Transaction, 44, 3, 359-366, 2001.
10. 채영훈, 가공면 고평탄화 방법 및 장치, 특허출원번호 10-2004-43066, 2004
11. M. Wakuda, Y.Yamauchi, S.Kanzaki and Y.Yasuda, Effect of surface texturing on friction reduction between ceramic and steel materials under lubricated sliding contact, Wear, 254, 356-363, 2003.