

## 레이저 표면처리 된 금속의 마찰특성에 관한 실험적 연구

박성용\*, 민준원\*, 이은길\*\*, 추인길\*\*

\*자동차부품연구원, \*\*유성기업

## Experimental Study on Friction Characteristics of Metal Surface Treated by LST

Sung-Yong Park\*, Joon-Won Min\*, Eun-Gil Lee\*\*, In-Gil-Choo\*\*

\*Korea Automotive Technology Institute

\*\*YooSung Enterprise Co., LTD

## Abstract

The studies on the fine processing on the surface of the metal utilizing the technique for LST (Laser surface texturing) have been performed recently. This study has acquired the lower frictional coefficient and endurance in the harsh environment of motion by realizing the frictional motion in the low lubricating range of low frictional coefficient in addition to storing of lubricant through fine processing on the frictional part of metal.

**Key Words:** Laser surface texturing, Friction reduction, Scuffing, dimple, Stribeck curve

## 1. 서론

최근 레이저 기술발전과 정밀한 제어가 가능해짐에 따라 레이저를 활용한 미세 가공연구가 활발히 진행되고 있다. 더불어 윤활공간에서 발생되는 마찰과 마모부위에 레이저를 활용하여 미세 가공을 통한 마찰력의 저감과 내구성이 증가된다는 연구결과도 발표되었다.<sup>1-6</sup> 이는 무수한 접동부위가 있는 자동차 엔진을 비롯하여 윤활이 되는 마찰부품에 적용하면 마찰력 저감의 효과를 기대할 수 있다. 국외의 경우에는 이미 레이저 표면처리(이하 LST)된 엔진 부품을 적용한 차량이 소개된 바 있으며 국내에서도 LST 적용된 부품 적용을 위한 연구개발이 진행 중에 있다.<sup>7</sup>

본 연구에서는 레이저로 처리된 금속표면의 마찰특성에 관하여 연구를 진행하였다. 30ns 급 IR 레이저를 활용하여 금속표면에 딴플(dimple)을 형성하여 마찰력 저감을 확인해 보았다. 또한 LST된 시편을 다양한 마찰시험 조건 하에서 각각의 마찰특성을 확인해 봄으로써 LST로 형성된 딴플이 최대의 효과를 발휘하는 동작범위에 대해서도 파악하고 마찰력의 영향을 주는 인자들에 따른

윤활의 거동을 확인했다.

## 2. 실험방법

## 2.1 텍스처링 소재

본 시험에 사용된 소재는 스프링강으로 사용되는 SAE 9254로 선정 하였다. 소재의 성분 및 함유량은 Table 1에 나타내고, 소재의 기계적 특성은 Table 2에 나타낸다.

Table 1 Element comparisons of SAE 9254

Composition	C	Si	Mn	P	S	Cr
Content (wt.%)	0.51	1.20	0.60	≤ 0.0035	≤ 0.0035	0.60
	0.59	1.60	0.90			0.90

Table 2 Mechanical characteristic of SAE 9254

Property	Yield strength	Tensile strength	Elongation	Hardness
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	Hv
Value	1079	1226	9.0	363-429

## 2.2 Laser Surface Texturing

LST는 IPG사의 IR 레이저 열원을 탑재한 장비를 사용하였다. 장비의 스펙과 동작 순서도는 Table 3과 Fig. 1에 나타내었다.

Table 3 Specifications of LST Machine

Index	Value
Beam size	40-200 $\mu$ m
Resolution	1.5 $\mu$ m
Position reproducibility	300
Working distance	297mm

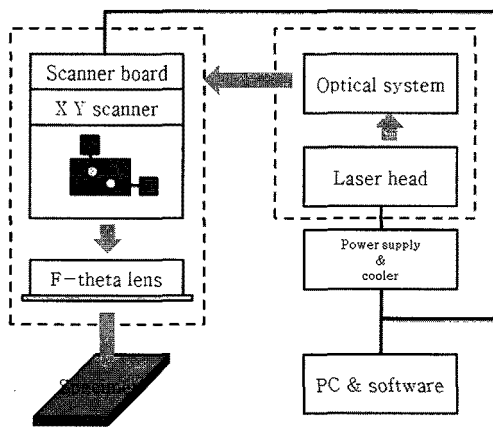


Fig. 1 Diagram of LST.

딴플의 형성은 딴플직경 : 깊이의 비가 10 : 1 수준을 목표로 하여 실시하였고 버의 발생은 최소화 되도록 하였다. 가공시간의 단축과 열에너지의 축적을 고려하여 펄스의 수는 1회로 설정하였다. 수차례 반복실험결과 목표로 설정한 딴플의 직경과 깊이를 얻기 위한 조건 중 같은 에너지로 가공할 경우 초점거리의 변화에 따라 딴플의 직경과 버의 발생에 영향을 주는 것을 알 수가 있었으며 목표로 한 딴플을 형성시키기 위한 조건은 Table 4로 확인되었다.

Table 4 Conditions of LST

Index	Value
Object lens	F-theta 160mm
Pulse repetition rate	20kHz
Peak power	18.3, 22.7, 25.0MW
Pulse counter	1
Dot speed	100mm/sec
Focus distance	178.3mm
Aperture	5mm
Dimple distance	0.1mm

## 2.3 마찰시험 조건

마찰시험에 사용된 장비는 영국 PLINT사의 왕복식 마모시험기(TE77)를 사용 하였다. 시험장비는 최대하중 1000N, 최대 왕복속도는 50Hz 까지 구동 가능하다. 하부시편과 접촉하며 왕복운동을 하는 상부시험 지그의 왕복 이동거리는 10.8mm 이다. Fig. 2는 본 실험에 사용된 마찰시험기의 모식도이다.

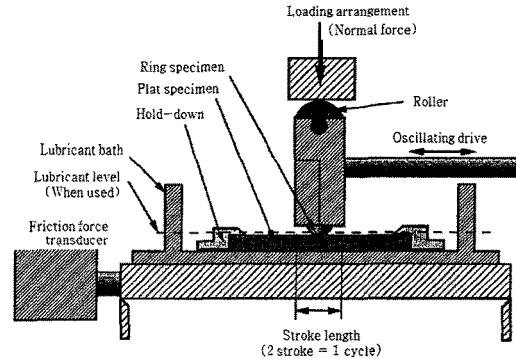


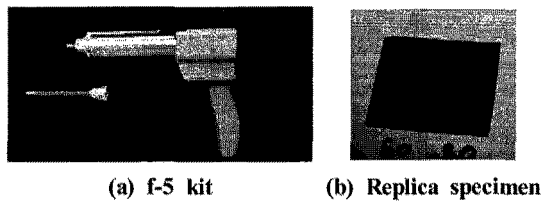
Fig. 2 Schematic diagram of friction test.

마찰시험 진행은 마찰시험 장비가 줄 수 있는 최대 하중과 최대 왕복속도 부근까지 실시하였으며 총 13개의 구간으로 분류 하였다(Table 5). 각 시험 구간마다 길들이기 구간(5Hz, 30N, 3min)을 설정 하였다. 시험에 사용한 윤활유는 9.3-11.5cSt(centistroke)의 동점도와 0.84-0.86의 비중을 갖는 가솔린용 엔진 오일을 36mg 사용하였다. 상부시편의 재질은 Fc 25를 핀 형태( $\varnothing$ 4)로 가공하여 사용하였다. 각 시험의 단계마다 시험 종료 후 알코올을 사용하여 초음파 세척을 실시하였으며 각각의 시험구간마다 새로운 윤활유를 공급하였다.

Table 5 Test schedule

Exp.	Load (N)	Frequency (Hz)	Time (s)
1	100	30	300
2	200	30	300
3	300	30	300
4	300	20	300
5	400	20	300
6	500	20	300
7	500	15	300
8	600	15	300
9	700	15	300
10	700	10	300
11	800	10	300
12	900	10	300
13	900	5	300

시험의 순서는 Exp.



(a) f-5 kit (b) Replica specimen

Fig. 3 Replica of LST specimen.

복제된 표면을 전자현미경으로 관찰한 결과 Fig. 4에 나타난 것처럼 피크 파워의 변화에 따라 깊이와 직경이 다른 딥플이 형성되었음이 확인되었다.

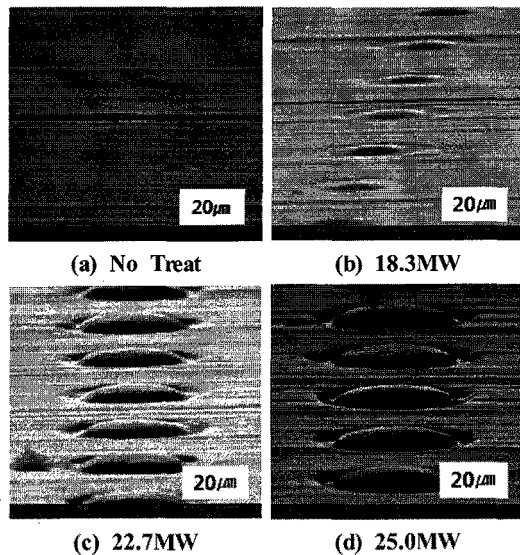


Fig. 4 SEM of LST: (a) No Treat, (b)18.3MW, (c) 22.7MW, (d) 25.0MW.

전자현미경 이미지를 바탕으로 딥플의 직경과 깊이 및 발생된 버를 이미지 분석프로그램(Media cybernetics사의 Image pro plus ver. 4.1)을 사용하여 분석 하였다. 분석방법은 촬영이미지의 스케일 바를 바탕으로 프로그램을 검정한후 이미지의 상의 직경과 깊이를 측정하였다. 직경 및 깊이는 각 3회 측정 후 평균값을 취하였다. 결과는 Table 6에 나타나 있다.

18.3MW의 피크파워로 실시한 LST의 경우 이미지 분석 프로그램으로 버의 높이를 측정하기에는 불가능 하여서 측정하지 못하였고, 육안상으로도 흔적만 보일정도여서 버는 없는 것으로 하였다. 평균적인 직경대비 깊이의 비율은 대략 10:1 수준임을 알 수가 있다.

Table 6 Measurement of dimple dimension

Peak power (%)	Diameter (µm)	Depth (µm)	Burr size (µm)	Ratio (diameter/depth) (%)
18.3	23.9	1.9	-	8
22.7	34.9	3.3	1.5	9
25.0	41.2	4.8	2.3	12
Average				9.7

3.2 마찰시험 결과

윤활이 된 상태에서의 마찰력은 마찰면에 작용하는 하중(P)과 운동속도(N) 그리고 점도(η)의 영향을 받는다. Fig. 5에 표현된 것처럼 각각의 요소에 따라 서로 다른 윤활형태와 마찰력이 작용하는 것으로 알려져 있으며 트라이볼로지 학문에서는 이를 스트리벡 커브라 설명한다.<sup>8</sup>

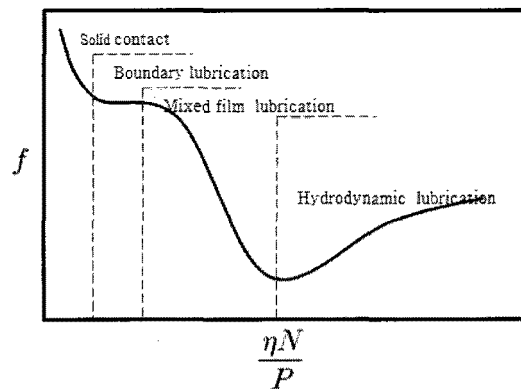


Fig. 5 Stribeck curve.

LST를 실시하여 형성된 딥플로 인한 마찰력이 저감되는 요인은 접동부의 딥플 속 윤활유의 압력 증가에 따라 마찰표면이 서로 직접 닿지 않는 상황을 유도함으로써 마찰력이 떨어지는 효과가 발생하는 것으로 알려져 있으며, 또한 딥플 안에는 형성된 마모입자의 포집을 통하여 내구성면에서 유리한 효과를 기대 할 수도 있다. 마찰시험 결과는 Fig. 6에 나타나 있으며 18.3, 22.7MW의 피크파워로 LST한 시편의 경우 무처리 시편보다 낮은 마찰계수가 측정되였으나 25.0MW의 피크파워로 실시한 LST의 경우 시험 도중 Exp. 6, 5, 4, 3, 2, 1 시험 후 시편의 딥플의 상태를 관찰결과 마모가 많이 진행되어 실험을 종료하였다. 위의 결과로 버의 높이가 1.5µm 수준 이상으로 커지면 마찰면의 저항 증가로 인한 스커핑이 발생함을 알 수가 있었다.

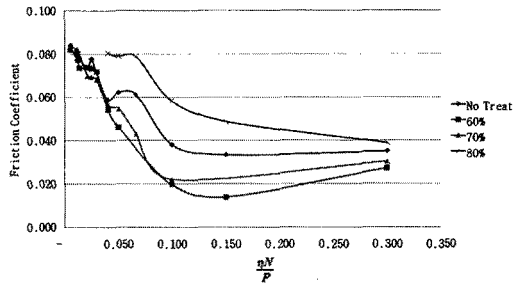


Fig. 6 Friction coefficient according to LST Intensity.

강제 시험 종료한 25.0MW의 피크파워로 실시한 시편을 제외하고 18.3, 22.7MW의 피크파워의 세기로 실시한 시편은 무처리 시편에 비하여 일부 구간에서는 증가한 부분도 있지만 전반적으로 낮은 마찰계수가 측정되었다. 시험 구간별 마찰계수의 저감율은 Table 7에 나타내었다. 18.3MW의 피크파워로 실시한 시편은 Exp. 2구간에서 -58.5%의 마찰계수 저감이 측정되었고 22.7 MW의 피크파워는 Exp. 3에서 41.9%의 마찰계수 저감이 측정되었다. 평균적으로는 각각 -15.3%, -10.8%의 마찰계수 저감이 측정되었다.

시험 전후 시편의 사진은 Fig. 7에 나타나 있다. (Fig. 7에서 가로 마모흔은 시편가공을 위한 기계가공의 흔적이며 세로 마모흔은 마찰시험으로 발생한 마모흔임) 무처리 시편, LST시편 둘 다 시험 후 마모된 흔이 발생하였으며 LST시편의 경우 시험 종료 후에도 덩플의 형상이 남아있음이 확인되었다.

Table 7 Reduction rate of friction coefficient

Step	Frequency (Hz)/ Load (N)	Peak power 18.3MW (%)	Peak power 22.7MW (%)
1	0.300	-22.5	-13.8
2	0.150	-58.5	Fail
3	0.100	-48.5	-41.9
4	0.067	Fail	-29.9
5	0.050	-26.1	-12.3
6	0.040	-7.9	-4.0
7	0.030	0.8	-4.4
8	0.025	-5.8	-10.8
9	0.021	0.3	-4.9
10	0.014	-5.3	1.3
11	0.013	-4.6	-4.0
12	0.011	-2.5	-4.9
13	0.006	-2.3	-1.0
Average		-15.3	-10.8

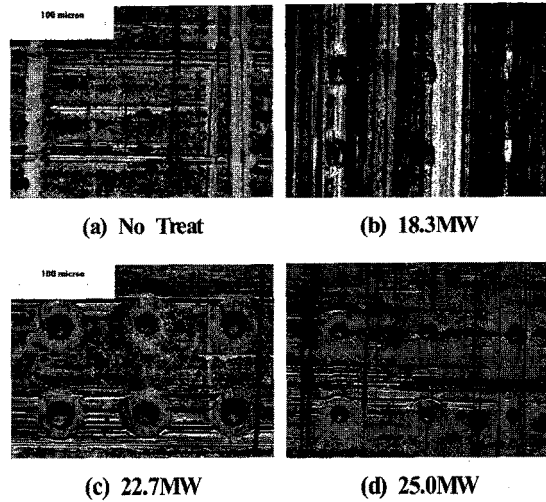


Fig. 7 Surface of friction-tested specimens: (a) No Treat, (b) 18.3MW, (c) 22.7MW, (d) 25.0MW.

#### 4. 결론

LST로 형성한 금속표면의 덩플로 인한 마찰력의 저감에 관한 연구를 진행 하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 30ns 급 IR 레이저로 직경 : 깊이의 비가 10:1 수준의 덩플을 형성 하였다.
- 2) 마찰력에 영향을 미치는 인자들로 실시된 마찰 시험의 결과 LST 된 시편이 무처리된 시편보다 평균적으로 약 10-14% 가량 낮은 마찰계수가 확인되었다.
- 3) 유체윤활부근에서는 LST와 무처리 시편은 서로 유사한 마찰계수의 값을 보였으며 유체윤활에서 혼합 경계 윤활형태로 변화하면서 마찰계수는 최대 약 42-59% 가량 감소하였다.

#### 후 기

본 연구는 2009년 산업원천기술개발사업 과제 중 "0.8mm급 박폭 저장력 피스톤 링 박육 제조기술" 과제의 지원으로 진행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 1) Y. Wan, D. S. Xiong, "The effect of laser surface

- texturing on frictional performance of face seal”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 197, p. 96-100, 2008.
- 2) X. Wang, K. Kato, K. Adachi, 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, p. 703-711, 2001.
  - 3) I. Etsion, G. Halperin, E. Becker, “The effect of various surface treatments on piston pin scuffing resistance”, Wear 261, p. 785-791, 2006.
  - 4) P. Andersson, J. Koskinen, S. Varjus, Y. Gerbig, H. Haefke, S. Georgiou, B. Zhmudd, W. Buss, “Microlubrication effect by laser-textured steel surfaces”, Wear 262, p. 369-379, 2007.
  - 5) A. Moshkovith, V. Perfiliev, D. Gindin, N. Parkansky, R. Boxmanb, L. Rapoport, “Surface texturing using pulsed air arc treatment,” Wear 263, p. 1467- 1469, 2007.
  - 6) Automotive engineering, p. 64-66, 12, 2004.
  - 7) W. H. Kim, K. H. Cha, D. E. Kim, Y. C. Rhim, “Development of Friction Reduction Method between Piston Ring and Cylinder Liner,” Journal of KSTLE, Vol. 14, p. 37-43, 1998.
  - 8) 전상명, “Engine Tribology,” 2003.
  - 9) W. C. Yang, “Method for disc texturing,” Korea Patent No. 10-1997-0045612
  - 10) 정우영, 민준원, 김상호, 한형욱, 이명호, 송중호, 정원영, “Marking Laser를 이용한 STD61강의 Laser Surface Texturing,” 한국레이저가공학회 추계학술대회 논문집, p. 112-115, 2008.
  - 11) 박성용, 심민수, 민준원, 정우영, 이명호, 유승을, “Laser Surface Texturing에 의한 접동부위의 마찰감소와 스커핑 특성 연구”, 한국자동차공학회 논문집, p. 258-258, 2008.
  - 12) 박성용, 유승을, 민준원, 정우영, 이명호, 정진은, “펄스드 파이버 레이저로 처리된 금속표면의 마찰특성”, 한국레이저가공학회 춘계 학술발표 논문집, p. 116-119, 2009.