

Surface texturing이 엔진 피스톤링의 벽면전단응력분포에 미치는 영향

A Study on Effect of Surface Texturing on Wall Shear Stress Distribution of Engine Piston Ring

*#최영식¹, 이동연¹

*#Y. Choi(yycc@cau.ac.kr)¹, D. Lee¹

¹중앙대학교 기계공학부,

Key words : Surface texturing, Wall shear stress, Micro-hydrodynamic bearing, Piston ring

1. 서론

기계요소의 마찰손실을 줄이기 위해 다양한 표면가공기술이 개발되어 왔다. 최근 미세 딥플(micro dimple)을 패턴으로 가공하는 표면 텍스처링(surface texturing) 기술이 주목받고 있다. 그 중 제어가능하고 가공속도가 빠른 레이저 표면 텍스처링(Laser Surface Texturing; LST)이 특히 주목받고 있다. LST 가공에 의해 생긴 미세 딥플들이 윤활유를 저장하고, 마모 입자를 기계요소간의 상대운동을 방해하지 않도록 가두어 놓음으로써 미세 동압유체 베어링(micro-hydrodynamic bearing)의 성능을 향상시키는 역할을 한다¹.

현대 사회에서 많은 부분의 에너지는 내연력(internal combustion power)에 의해 공급되고 있다. 전 세계적으로 대두되고 있는 에너지 부족현상을 해결하기 위한 일환으로 내연기관의 연료효율(fuel economy)을 향상하기 위한 많은 연구가 수행되고 있다. 이러한 형태의 에너지를 사용하는 좋은 예는 자동차 엔진이다. 자동차 엔진의 연료효율에 가장 큰 영향을 주는 요인은 연소기관 내부의 마찰손실이다. 대략 50%의 마찰 손실이 피스톤/실린더 시스템에서 일어나며 그 중 70-80%는 피스톤링에서 유발된다²⁻⁴.

피스톤링의 마찰을 감소시키기 위한 많은 연구가 진행되어 왔지만 대부분의 연구는 배럴형 링(barrel shape ring)보다 해석의 용이성 때문에 평면 원통 링(flat face cylindrical ring)에 국한되어 왔다⁵. 본 연구는 배럴형 링을 3차원 솔리드 모델링 한 후 표면 텍스처링이 벽면전단응력분포에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 해석 방법

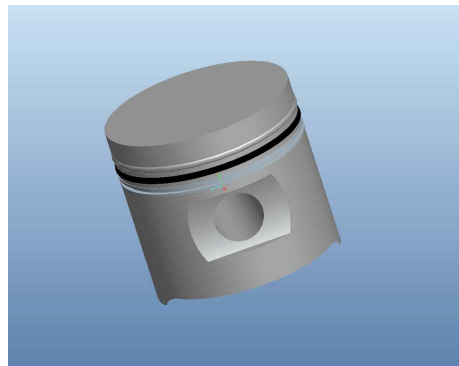


Fig. 1 Piston and piston ring

Table 1 Finite element analysis conditions

Parameter	Description
Translational Velocity	5.8 m/s (2000rpm)
Bore Stroke	0.087 m
Contact Pressure	0.3 MPa
Dimple Depth	7.5 μm
Dimple Diameter	72 μm
Flow Condition	Laminar

Table 2 Material properties

Material	Description
Piston Ring	6800 kg/m ³ (density)
Lubricant	889 kg/m ³ (density), 1.06 kg/m-s (viscosity)

유한요소해석을 위해 Pro/E를 사용하여 솔리드 모델링을 하였다(Fig. 1). Table 1은 유한요소해석을 위해 사용된 조건들을 보여준다. 유한요소해석은 ANSYS/FLUENT를 사용하였다. 피스톤링은 크롬을 코팅한 주철이고, 윤활유는 SAE 40이 사용되었다(Table 2).

피스톤이 보어(bore) 내에서 2 행정 운동을 할 때 직선상으로 움직이는 스트로크 거리를 0.087 m로 설정하고, 보어가 피스톤링에 가하는 접촉 응력은 0.3 MPa로 설정하였다⁵. 윤활유가 도포된 피스톤링의 마찰계수인 0.12를 바탕으로 스트로크 방향으로 마찰력에 의해 생성되는 전단응력은 36 KPa이었다⁶.

3. 결과 및 분석

표면 텍스처링 가공이 되어있는 피스톤링 표면과 표면 텍스처링 가공이 되지 않은 피스톤링 표면을 비교하기 위해, 피스톤링을 2등분하여 한쪽 부분에만 중앙에 한 줄로 표면 텍스처링에 의한 미세 덩플을 생성하고, 미세 덩플이 없는 부분과 벽면전단응력분포를 비교하였다(Fig. 2).

Fig. 3은 벽면전단응력분포를 쉽게 비교할 수 있도록 2등분한 면의 벽면전단응력분포를 겹쳐놓은 그래프이다. 미세 덩플이 있는 면이 없는 면에 비해 벽면전단응력이 상당히 낮음을 확인할 수 있다. Fig. 3에서 빨간 라인은 미세 덩플에 생성된 벽면전단응력분포이다. 이처럼 벽면전단응력이 줄어들기 때문에 결과적으로 마찰손실을 줄여 엔진의 효율을 높이는 동시에 연비향상에 크게 기여할 것이라고 기대되는 결과이다.

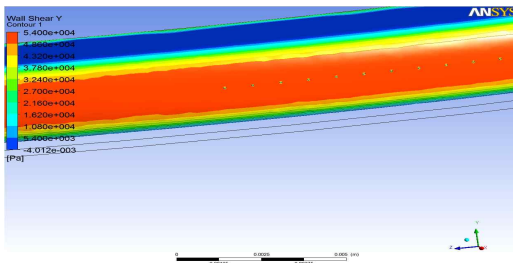


Fig. 2 Piston ring with & without surface texturing

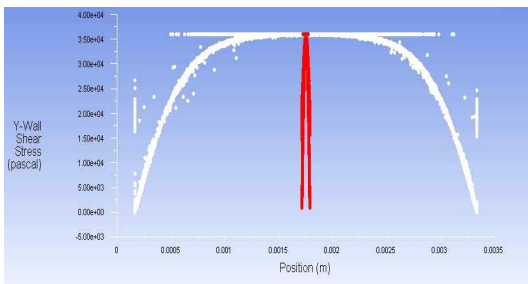


Fig. 3 Wall shear stress distribution

4. 결론

본 연구를 통해 표면 텍스처링에 의해 미세 덩플을 생성함으로써 엔진 피스톤링의 벽면전단응력을 상당히 감소시킬 수 있음을 밝혔다. 벽면전단응력이 감소하면 상대운동을 하는 접촉면의 마찰손실을 줄일 수 있음을 고려할 때 표면 텍스처링이 엔진 효율을 높이는 동시에 연비향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

본 연구를 바탕으로 다양한 패턴의 표면 텍스처링이 상대운동을 하는 다양한 접촉면의 윤활특성에 주는 영향에 관한 연구를 진행 중이다.

참고문헌

1. Etsion, I., "State of the Art in Laser Surface Texturing," *Journal of Tribology*, **127**, 248-253, 2005.
2. Nakada, M., "Trends in Engine Technology and Tribology," *Tribology International*, **27**, 3-8, 1994.
3. Mitsuru, H., Yasukazu, B., "A Study of Piston Friction Force in an Internal Combustion Engine," *ASLE Transactions*, **30**, 444-451, 1987.
4. Takiguchi, M., Machida, K., Furuhashi, S., "Piston Friction Force of a Small High Speed Gasoline Engine," *Journal of Tribology*, **110**, 112-118, 1988.
5. Ryk, G., Etsion, I., "Testing Piston Rings with Partial Laser Surface Texturing for Friction Reduction," *Wear*, **261**, 792-796, 2006.
6. Andersson, P., Tamminen, J., Sandstrom, C., "Piston Ring Tribology," *ESPOO*, 62-65, 2002.