

가속마모시험에 의한 피스톤 링/라이너의 마찰마모특성 평가.

송근철¹(대우중합기계·소재기술팀), 김경운¹, 심동섭¹

Evaluation of Tribological Properties on Piston Ring/Liner Using Accelerative Wear Test

¹Keunchul Song* (Material Tech. Dept., Daewoo Heavy Industries & Machinery Ltd.)

¹Kyungwoon Kim, ¹Dongseob Shim.

ABSTRACT

Engine power cylinder parts are faced with more severe wear and friction environment. For instance, emission gas recirculation (EGR), one of the most valid technologies related to emission legislation, is known to accelerate wear of piston ring and cylinder liner. Therefore, advanced materials and surface treatments have been developed and adopted successively so that a need exists for an accurate and repeatable friction and wear bench test for various combination of piston ring and cylinder liner that more closely relates to engine test result. This paper introduces accelerative bench wear test method for piston ring and cylinder liner, presents the experimental result of friction and wear properties of piston ring surface treatments that noticed in substitution for hard chrome plating.

Keywords: Piston ring, Liner, Wear resistance, Cr-Ceramic coating, PVD-CrN coating, Thermal spray, Cr-Ceramic Coating,

1. 서론

엔진용 피스톤링은 실린더 혹은 실린더 라이너와 접하여 구동하는 엔진의 중요 구성 부품으로 연소실과 피스톤과의 실, 피스톤으로부터 실린더로의 열전달기능 등이 주된 역할이다. 피스톤링의 경우 높은 상대속도, 열악한 윤활조건, 부식성의 연소가스 등으로 인해 일반적인 습동부품에 비해 가혹한 마모환경을 가지고 있다. 따라서 상대재와의 마모특성을 향상시키기 위하여 표면처리를 행하여 사용하는 것이 일반적이다. 표면처리는 피스톤링의 수명에 직접적으로 영향을 미치며, 상대재와의 내스커펅성(anti scuffing property), 내마모성 마찰계수 등이 중요한 인자로서 작용하게 된다.

현재 디젤엔진용 피스톤링의 표면재질로는 경질크롬도금(Hard Cr plating) 이 가장 일반적으로 적용되고 있다. 그러나 점차 강화되고 있는 엔진 배기가스 규제에 대응하기 위하여 고압연료분사(Common-rail type injection pump), 배기가스재순환(Emission gas recirculation) 등의 기술이 도입됨에 따라

피스톤링과 실린더 라이너의 상대운동이 일어나는 연소실 내부의 마모환경이 점차 가혹해 지고 있다. 따라서 기존 재질로는 충분한 내구성확보에 한계가 있어 경질크롬도금을 보완하거나 대체할 수 있는 재질에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 적용이 확대되고 있는 추세이다. 경질크롬도금에 대한 대체 재질로서는, 크롬도금층 내부에 세라믹계 경질입자를 침투시킨 복합크롬도금(Cr-Ceramic coating), CrN, WC/C 등의 PVD 코팅, Diamond-like-carbon 코팅, 금속 혹은 세라믹 재질의 용사 코팅 등이 있으며, 이들 재질에 대하여 적용 대상이 되는 엔진의 제반 여건에 따라 피스톤링 재질로의 적합성 여부를 판단하기 위한 충분한 상대비교 시험이 요구된다.

새로운 표면재질을 피스톤링과 라이너에 적용하여 최종적으로 실제 엔진에 투입하기 위해서는 엔진 다이내모 시험, 실차시험 등의 단계를 거쳐야 하나 다양한 재질간의 조합에 대해 상기의 검증절차를 모두 거치는 것은 개발기간과 비용의 측면에서 어려움이 있다. 본 실험에서는 시험편 수준에서 다양한 피스톤링/라이너 재질조합

간의 마찰마모특성을 평가할 수 있는 적절한 가속마모시험 조건을 선정하고, 가속 마모시험을 통해 다양한 피스톤링/라이너 재질조합 간의 마찰 마모 특성을 비교 평가하였다.

2. 실험방법

2.1. 시험편

본 시험에 사용된 시험편은 중형 디젤 엔진용으로 실제작된 피스톤 링 및 라이너로부터 마모시험기 (Plint TE77)의 규격에 맞게 소정의 크기로 절취하여 제작하였다. 피스톤 링 시험편의 표면재질은 Mo 용사코팅(Mo Thermal Spray), Sputter type PVD-CrN 코팅 및 복합크롬도금 (Cr-Ceramic coating)과 현재 일반적으로 적용되고 있는 피스톤링 표면재질인 경질크롬도금을 선정하여 시험하였다. 라이너 재질로는 현재 가장 우수한 마찰마모특성을 가지는 것으로 알려져 있는 Cr, Mo, Ni 합금주철을 선정하였다. Table 1 에 본 시험에 사용된 각 시험편의 제원을 나타내었다.

2.2. 마모시험

마모시험은 Fig 1 에 나타낸 것과 같이 실린더 라이너를 고정자, 피스톤링을 이동자로 하여 피스톤링에 하중이 가해진 상태에서 왕복운동을 하는 형태로 진행된다. 본 시험에 사용된 마모시험 장비는 Plint 사의 TE77 왕복동 마모 시험기 (Fig 1)이다.

단시간의 시험을 통해 각 재질조합의 내마모성 차이를 분석 가능한 수준으로 구별해 내기 위하여 가속마모실험을

행하였다. 단위시간당 마모량을 증가시키기 위하여 엔진오일에 미세한 알루미늄 분말을 혼합하여 Slurry 를 만들고 이를 윤활제로 사용하였다. Table2 에 본 실험에 적용된 가속마모시험 조건을 나타내었다. 각각의 조합에 대하여 동일 조건으로 반복실험을 행하여 재현성 여부를 확인하였다.

Table 1 Specimen Characteristics

	Coating Materials	Hardness (HV)
Piston	Hard Cr Plating	850
	Gas Nitriding	1100
	Cr-Ceramic Coating	850
	PVD-CrN Coating	1700
Cylinder Liner	Alloyed Cast Iron	340

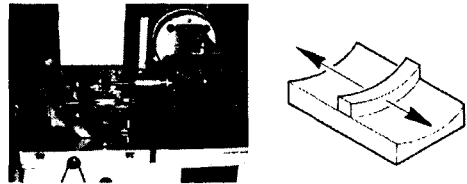


Fig.1 Reciprocating type tribometer (Plint TE77) and Schematic diagram of wear test

Table 2 Test conditions

Load	100 N
Stroke	10 mm
Sliding speed	10 Hz
Friction type	Pure Sliding
Temp	R.T.
Test time	5 hr
Lubrication	Slurry emerged

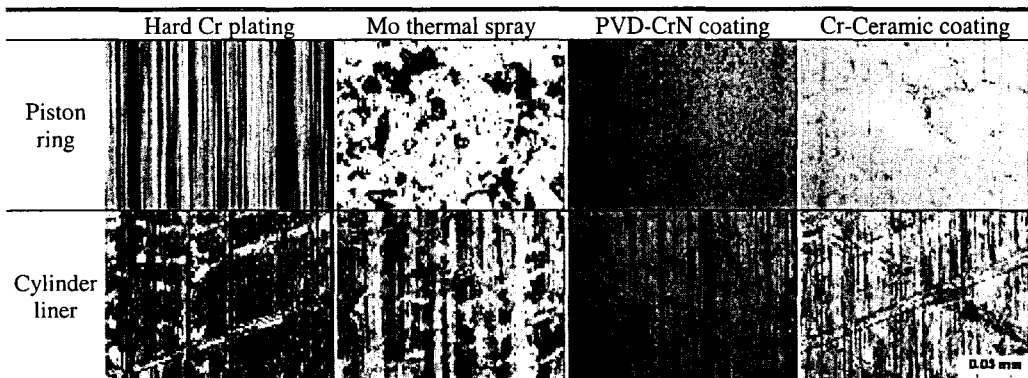


Fig. 2 Optical macrographs on worn surface after 5hrs wear test

3. 결과 및 분석

3.1 마모면분석

5 시간 가속마모시험 후의 피스톤 링 및 라이너의 마모면 상태를 광학현미경으로 관찰하여 Fig 2 에 나타내었다. 마모시험 후, 피스톤링 및 라이너의 마모면을 관찰한 결과 엔진 다이노모 시험 후의 마모면 상태와 동일한 양상을 나타내었다. 이는 가속마모시험에 의한 피스톤 링 라이너의 마모양상과 엔진 다이노모 시험에 의한 마모양상에 있어 동일한 mechanism 이 작용하는 것으로 판단할 수 있으며, 따라서 가속마모시험의 결과를 통한 각 표면재질 조합의 상대비교가 가능하다.

3.2. 마찰계수

Fig3 에 각 피스톤 링의 표면재질에 따른 마모시험 구간 중 평균마찰계수를 비교하여 나타내었다. 평균마찰계수 값은 적절한 마모면이 형성되어 마찰계수가 안정되는 시험시간 1 시간 이후부터 시험이 종료되는 시점까지 측정된 마찰계수 값들의 산술평균으로 정하였다. Fig5 에 나타난 바와 같이 경질크롬도금이 0.05 수준의 가장 높은 평균마찰계수 값을 나타내었으며, 복합크롬도금은 0.02 수준의 가장 낮은 평균마찰계수 값을 나타내었다. 이는 일반 엔진오일만을 윤활제로 사용한 습식 마찰시험으로부터 얻어진 결과와 동등한 수준으로, 가속마모시험을 위해 윤활제에 경질입자를 첨가하더라도 마찰계수의 큰 변화가 없는 것으로 판단된다.

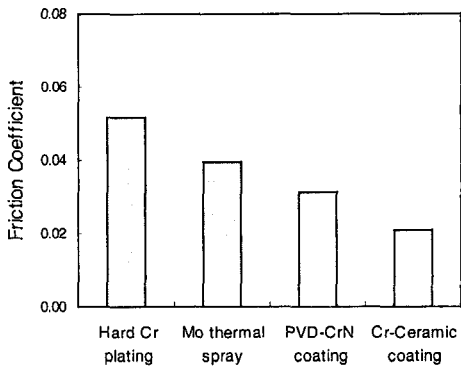


Fig. 3 Comparison of friction coefficients during test period

3.3. 내마모성 평가

3.3.1 피스톤 링

가속마모시험 후 피스톤링과 라이너의 마모흔을 Fig 4 에 나타내었다. 5 시간의 가속마모시험을 통해 측정 가능한 크기의 타원형의 마모흔을 얻을 수 있었다. Fig 4 의 마모흔으로부터 피스톤링의 마모면적을 측정하고, 마모시험 전후의 피스톤링의 마모방향 Profile 변화를 측정하여 마모 깊이를 계산하였다. 두 값으로부터 가속 마모시험으로 worn-out 된 마모량을 계산하여 이를 피스톤링 표면재질에 따른 내마모성 정량평가의 기준으로 하였다. Fig 5 에 피스톤 링의 표면 재질에 따른 가속마모시험 후의 마모량 측정결과를 비교하여 나타내었다.

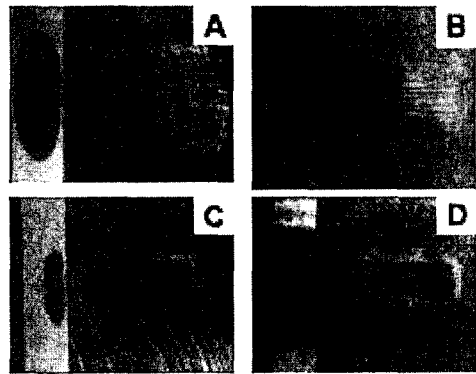


Fig. 4 Wear tracks of piston ring and liner specimen after 5hrs wear test

(a) Hard Cr plating (b) Mo thermal spray
(c) PVD-CrN coating (d) Cr-Ceramic coating

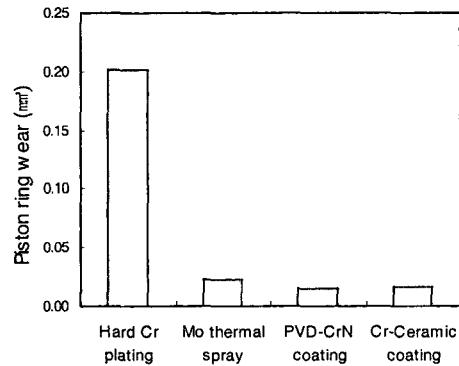


Fig. 5 Comparison of piston ring wear after 5hrs accelerative wear test

각 재료의 평균마모량을 계산한 결과 경질크롬도금은 0.201 μm , Mo 용사코팅은 0.022 μm , PVD-CrN 코팅은 0.015 μm , 복합크롬도금은 0.017 μm 으로 측정되었다. 내마모성 비교결과 PVD-CrN 이 가장 우수한 내마모성을 나타내었으며 경질크롬도금의 내마모성이 가장 낮은 값을 나타내었다. Mo 용사 및 복합크롬도금도 경질 크롬도금에 비해 우수한 내마모성을 나타내었으며 PVD-CrN 과의 차이는 크지 않았다.

3.3.2 라이너

라이너의 마모에 대해서는 링의 경우와 같은 정량적인 평가를 수행하지 못하였다. 라이너 마모면의 상태로부터 추정해 볼 때 Mo 용사, PVD-CrN, 복합크롬도금이 경질크롬도금에 비해 라이너의 마모량이 큰 것으로 판단된다. 피스톤링 재료의 내마모성이 클수록 상대 라이너에 대한 공격성이 커지는 경향을 보인다.

4. 결론

1) 엔진오일에 경질입자를 첨가한 윤활제를 사용한 가속마모시험 조건에서 5 시간의 시험으로 측정 가능한 크기의 타원형의 마모흔을 얻을 수 있었다.

2) 마모면 상태 및 마찰계수 수준을 엔진 다이내모시험 및 습식마모시험의 결과와 비교해 볼 때, 경질입자를 혼합한 엔진오일을 윤활제로 사용하는 가속마모시험조건 하에서 마모 mechanism 의 변화는 없는 것으로 나타났다.

3) 피스톤링 표면재질에 따른 내마모성 비교결과 PVD-CrN 코팅이 가장 내마모성이 우수하였다. Mo 용사와 복합크롬도금도 우수한 내마모성을 나타냈으며 경질크롬도금에 비해 10 배 정도 우수하였다.

참고문헌

1. C. Herbst-Dederichs, F. Munchow, "Modern Piston Ring Coatings and Liner Technology for EGR Applications", SAE Paper 2002-01-0489.
2. Padma, K., Peter, H., Williams, D.M., "Methods of Improving Cylinder Liner Wear", SAE Paper 2000-01-0926.
3. Kazuya, I., Shinji, O., Masaaki, T., "A Study of Abnormal Wear in Power Cylinder

of Diesel Engine with EGR- Wear Mechanism of Soot Contaminated in Lubrication Oil", SAE Paper 2000-01-0925.

4. Shuster, M., Mahler, F. D. Chrysler., "Metallurgical and Metrological Examinations of the Cylinder Liner-Piston Ring Surfaces after heavy Duty Diesel Engine Testing", Tribological Transactions, Vol 42 (1999), 1, p 116-125
5. Patterson, D.J., Hill, S.H., "Bench Wear Testing of Engine Power Cylinder Components", J. of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers. (1993), p 89-94