Transactions of KSAE, Vol. 11, No. 6, pp.14-20 (2003)

Copyright © 2003 KSAE
1225-6382/2003/066-03

속도변화에 따른 엔진 밸브 및 시트 인서트의 마모에 관한 연구

전 경 진[*1] · 홍 재 수[2]

한국생산기술연구원[*1] · 한국기술교육대학교 대학원 기계공학부[2]

A Study on Engine Valve and Seat Insert Wearing Depending on Speed Change

Keyoung Jin Chun[*1] · Jae Soo Hong[2]

*[*1]Korea Institute of Industrial Technology, 35-3 Hongchon-ri, Ipjang-myeon, Cheonan-si, Chungnam 330-825, Korea*
[2]Korea University of Technology and Education, Chungnam 330-708, Korea
(Received 12 July 2003 / Accepted 29 September 2003)

Abstract : The minimization of valve and seat insert wear is a critical factor in the pursuit of engine performance improvement. In order to achieve this goal, we have developed a new simulator, which can generate and control high temperatures up to 900℃and various speeds up to 80Hz during motion, just like an actual engine. The wear simulator is considered to be a valid simulation of the engine valve and seat insert wear process with various speeds during engine activity.

The objective of this work focuses on the different degrees of wear from two different test speeds (10Hz & 25Hz). For this study, the temperature of the outer surface of the seat insert was controlled at 350℃, the cycle number was 2.1×106, and the test load was 1960N. The wear depth and surface roughness were measured before and after the testing using a confocal laser scanner. It was found that a higher speed (25Hz) causes more wear than a lower speed (10Hz) under identical test conditions (temperature, cycle number and test load). In the wear mechanism, adhesive wear, shear strain and abrasive wear could be observed.

Key words : Engine valve(엔진밸브), Seat insert(시트 인서트), Wear(마모), Simulator(시험기), Speed(속도)

1. 서 론

최근 자동차 엔진은 높은 출력, 연료 절감, 그리고 긴 내구성 및 신뢰성을 요구하고 있다. 이러한 필요성으로 인해 자동차 엔진의 중요 부품 중의 하나인 밸브 및 시트 인서트의 마모에 관해서도 엄격함이 요구되고 있다. 밸브는 높은 온도에서 밸브 스프링에 의해 시트 인서트와 마찰하게 된다. 종종 밸브와 시트 인서트 사이의 마찰은 슬라이딩 현상을 동반할 때도 있다.[1] 밸브 및 시트 인서트의 다양한 마모 현상은 엔진 내부의 온도, 출력, 속력이나 회전수 등의 엔진 작동상태에 따라 다양하게 관찰되어진다.[2] 그중에서도 속도(Hz 변화)와 관련하여 현재까지 국내에서는 이들에 대한 마모율이나 마모 메카니즘에 대해서 명확하게 분류한 것이 전무한 상태이다. 또한 해외에서도 밸브 및 시트 인서트에 관련된 연구가 진행되어 왔지만 그러한 연구들도 실차 운행의 조건인 운행 중의 엔진회전수 변환을 고려하지 않

*To whom correspondence should be addressed.
kjchun@kitech.re.kr

은 일정한 엔진회전수에서 단순히 온도, 슬라이딩 속도 등을 고려한 것들이 대부분이다. 그러므로 엔진 회전수에 따라 밸브 및 시트 인서트의 마모 메카니즘을 명확하게 규명하기가 쉽지 않다.[8]

그래서 본 연구에서는 밸브 및 시트 인서트의 마모율과 마모 메카니즘을 명확하게 규명하기 위해서 자동차 엔진 내부의 조건인 온도, 밸브와 시트 인서트간의 마찰, 슬라이딩 등에 관한 것들을 고려하여 엔진회전수를 변동시킬 수 있는 밸브 및 시트 인서트 전용마모 시험기를 사용하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 밸브 및 시트 인서트의 전용마모 시험기는 내연기관의 엔진 내부와 유사한 기능을 하도록 만들어 졌다. 전용 마모 시험기는 크게 유압장치, 전기 콘트롤러 장치, 기계장치로 세 부분으로 구성되어 있다.[7](Fig. 1)

유압장치는 실차 엔진의 연소 압력을 모사한 것으로 본 마모 시험기의 압력을 조종하여 밸브의 헤드부분에 힘을 전달한다. 이 힘은 최대 4000kgf까지 조절 가능하다. 콘트롤러 장치는 모든 시험 변수인 밸브 헤드에 가해지는 힘, 밸브와 시트 인서트의 온도, 밸브와 시트 인서트 간의 거리, 시험시간 등을 모니터하고 조절할 수 있다.

Chamber 내부의 온도는 3개의 Thermocouple을 시트 인서트의 Outer부분에 120°간격으로 설치하여 모니터링 할 수 있다. Chamber 내부의 온도조절을

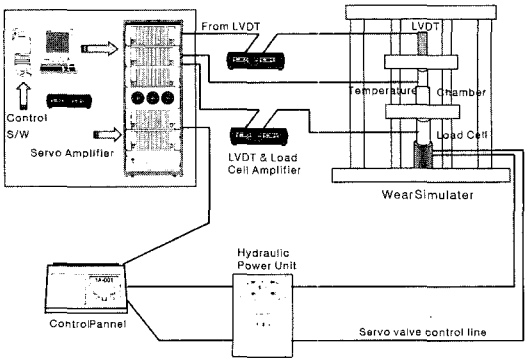
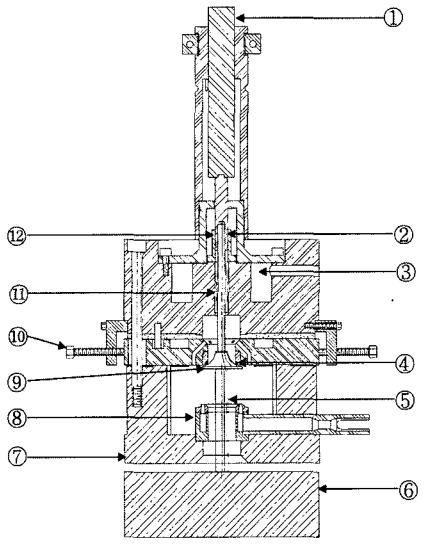


Fig. 1 Schematic of valve and seat insert wear simulator



① LVDT ② Return spring
③ Cooling channels (water)
④ Seat insert ⑤ Push rod
⑥ Hydraulic actuator (piston) and load cell
⑦ Heat chamber ⑧ Burner assembly
⑨ Valve ⑩ Adjusting offset screw
⑪ Guide ⑫ Guide bush

Fig. 2 Schematic of chamber assembly

위해 냉각수로(Cooling Channels)의 출구와 배기구 부분에 Thermocouple을 각각 하나씩 설치하여 실험자가 원하는 온도를 항상 유지할 수 있도록 하였다. 내부온도는 900°C까지 조절할 수 있다. 또한 밸브 및 시트 인서트간의 거리는 LVDT (Linear Variable Differential Transformer)를 유압장치 피스톤 아랫부분과 밸브 스템의 윗부분에 각각 한 개씩 설치하여 정확한 거리를 유지할 수 있도록 하였다. LVDT의 Range는 +/-50mm이다. 사용연료는 시험상의 편의성과 Chamber 내에 가혹한 분위기를 만들기 위해서 자동차 연료 중 가장 가혹하다고 알려진 LPG를 사용한다(Fig. 2).

2.2 실험방법

본 연구에 사용된 시편은 현재 실차에 사용되고 있는 밸브와 시트 인서트를 사용하였다. 그 종류는 STR35 밸브와 HVS1-2 시트 인서트를 사용하였다. 각각의 화학조성은 Table 1과 같다. Fig. 3은 본 연구에 사용된 밸브와 시트 인서트의 형상을 나타내는

Table 1 Chemical compositions (wt. %)

Materials	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	Co	W	Fe
밸브 (STR35)	0.53	0.31	9.0	21.0	-	3.87	-	-	-	Bal
시트 인서트 (HVS1-2)	1.1	-	-	7.5	2.0	2.0	15	6.5	2.0	Bal

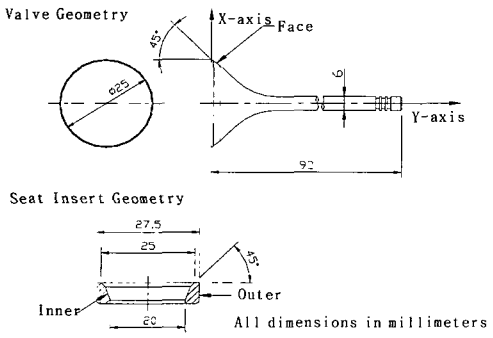


Fig. 3 Valve and seat insert geometry

것이다.

각 시편에서의 경도측정은 기계적 연마 후 비커스 경도기를 이용하여 각각 5회 이상 측정하였고 최대, 최소값을 제외한 값들의 평균치를 구하였다. 측정한 Valve의 경도값은 419(Hv 500g)이고 seat insert의 경도값은 397.7(Hv 500g)이다.

본 연구에서는 10Hz(600RPM), 25Hz(1500RPM) 두 가지 속도로 시험하였다. 또한 시험의 객관성과 일관성을 위해서 각각의 시험을 같은 조건하에서 각 Hz당 6개씩 시험하였다. 밸브와 시트 인서트의 내마모성 평가를 밸브와 시트 인서트 마모량으로 나타내는 밸브의 축방향의 이동깊이, 즉 밸브와 시트 인서트의 마모깊이로 표시하여 평가한다. 시험온도는 시트 인서트 바깥면을 기준으로 350°C로 하고(밸브 페이스면 기준 760°C), 사용 연료는 LPG를 사용하였다. 밸브 개폐횟수는 2.1×10^6 회씩 실시하였다(Table 2).

Table 2 Wear test conditions

Hz	10	25
시험 온도 (℃)	350	
밸브 변위 (㎜)	1.0	
밸브 개폐회수 (회)	2.1×10^6	
Test load (N)	1960	
사용 연료	LPG	

밸브 및 시트 인서트의 마모깊이 및 표면거칠기는 공촛점 레이저 스캔(Olympus사, OLS 1100, Resolution 0.01㎛)를 사용하여 시험전과 시험후에 각각의 깊이를 측정하여 비교 분석하였다. 또한 SEM(JEOL사, JSM 6400, Resolution 4㎚)을 이용하여 시험 전, 후의 페이스 표면을 관찰함으로써 밸브 및 시트 인서트의 마모 메카니즘에 대해서도 관찰하였다.

3. 실험결과

엔진 작동 시 밸브와 시트 인서트의 보편적인 손상인 마모 메카니즘, 마모깊이, 마모면의 표면거칠기에 대한 명확한 분석은 밸브 및 시트 인서트의 성능에 대한 평가뿐만 아니라 개선점을 모색하기 위해서도 필수적이다.

3.1 마모깊이

Fig. 4는 밸브와 시트 인서트의 마모깊이의 측정방법을 나타내는 것이다. 여기서, 마모깊이(WD)는 측정하고자 하는 길이(L)상에서 최대점과 최소점 사이를 측정한 것이다. 이 그림에서 y축은 밸브 스템 방향을 나타낸다(Fig. 4).

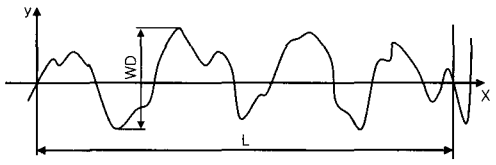


Fig. 4 Measurement of wear depth

Fig. 5는 25Hz에서 실험한 시트 인서트의 마모면을 OLS1100를 사용하여 3차원적으로 측정한 것 중의 하나이다.

Table 3과 Fig. 6은 각 Hz에 따른 밸브 및 시트 인서트 대한 마모깊이의 결과 값이다. 10Hz상에서의 밸브 평균 마모깊이(±Standard Error)는 29.9(±5.2)㎛이고, 시트 인서트의 평균 마모깊이는 34.7(±1.5)㎛이다. 또한 25Hz상에서의 밸브 평균 마모깊이(±Standard Error)는 74.9(±3.9)㎛이고, 시트 인서트의 평균 마모깊이는 82.9(±2.9)㎛였다. Table 3의 결과 값에서 볼 수 있듯이 같은 cycle 횟수 상에서 Hz

Table 3 Wear loss of worn valve and seat insert

	시편수	1	2	3	4	5	6	평균±SE
10Hz	밸브	39.9	27.4	25.5	30.1	26.5	29.7	29.9±5.2
	시트 인서트	35.2	32.6	34.1	33.5	36.7	35.8	34.7±1.5
	시편수	1	2	3	4	5	6	평균±SE
25Hz	밸브	71.8	79.8	75.4	78.8	71.1	71.5	74.7±3.9
	시트 인서트	80.2	83.1	88.4	82.5	82.6	80.7	82.9±2.9

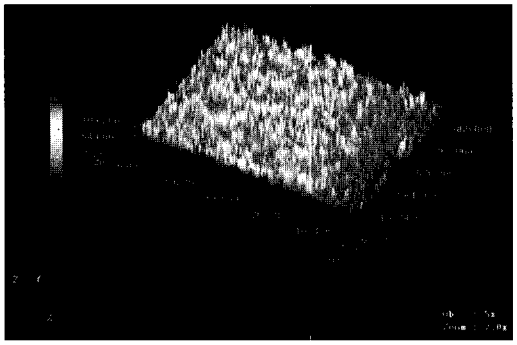


Fig. 5 Three-dimensional wear scar profile at the maximum contact area of a seat insert at 25Hz, which was measured from the OLS1100

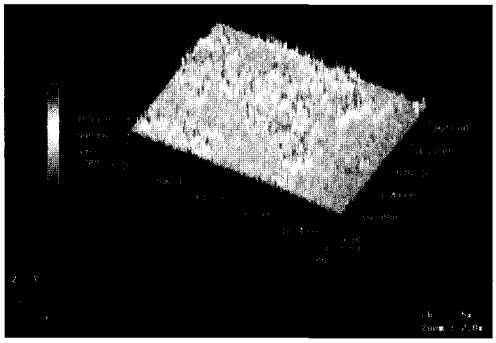


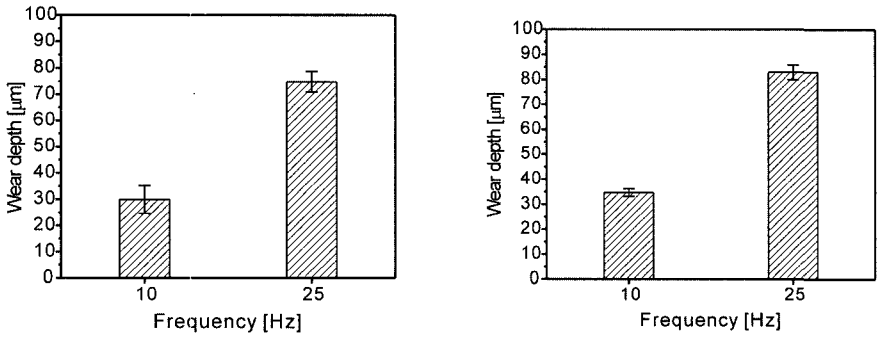
Fig. 7 Three-dimensional wear scar profile at the maximum contact area of a seat insert at 25Hz, which was measured from the OLS1100

가 증가함에 따라 마모량도 증가함을 알 수 있다. 여기서 Hz의 증가는 실제 자동차에서 엔진회전수의 증가를 의미하므로 엔진회전수의 증가는 밸브와 시트 인서트의 마모를 증가시킬 수 있는 것을 알 수 있었다.

3.2 마모면의 표면거칠기

Fig. 7은 시험 후의 밸브와 시트 인서트 마모면의 형상을 3차원으로 보여 주는 그림이다. 이 그림을 통해서 Hz의 증가는 마모면을 울퉁불퉁하게 하여 밸브 및 시트 인서트의 원 기능 중에 하나인 엔진의 기밀성을 떨어뜨림을 알 수 있다.

Table 4와 Fig. 8은 밸브와 시트 인서트의 표면은를 시험 후 각각 $\frac{1}{4}$씩 나누어 마모면의 표면 거칠기



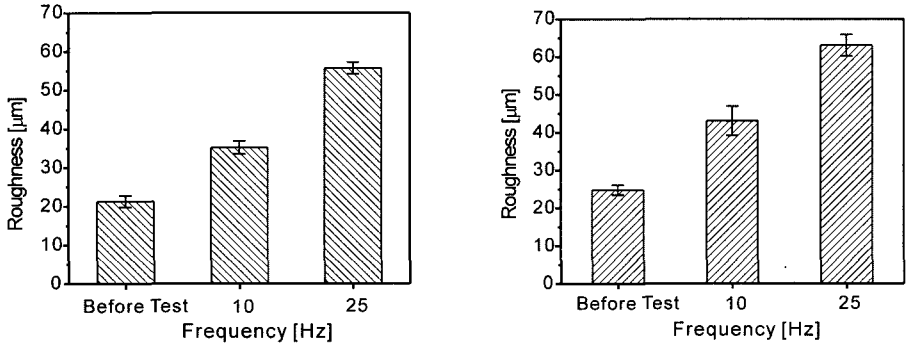
(a) Valve (b) Seat insert

Fig. 6 Histograms show the means for wear depth of a worn valve and seat insert. Error bars indicate standard error of the mean

Table 4 Roughness of worn valve and seat insert

Unit : ㎛

실험 전	시편수	1	2	3	4	5	6	평균±SE
	밸브	21.4	19.5	23.3	19.8	22.7	21.1	21.3±1.5
	시트 인서트	26.4	23.8	23.1	25.5	23.9	25.8	24.8±1.3
10Hz	시편수	1	2	3	4	5	6	평균±SE
	밸브	34.7	37.4	37.0	33.0	34.2	34.9	35.2±1.7
	시트 인서트	44.7	44.9	35.8	416	46.6	44.6	43.0±3.9
25Hz	시편수	1	2	3	4	5	6	평균±SE
	밸브	54.5	56.3	57.0	53.7	55.2	57.7	55.7±1.5
	시트 인서트	65.1	66.7	61.0	60.4	65.1	60.1	63.1±2.9



(a) Valve (b) Seat insert

Fig. 8 Histograms show the means for roughness of a worn valve and seat insert. Error bars indicate standard error of the mean

(Ra)를 측정하여 나타낸 것이다. 측정값에서도 알 수 있듯이 Hz가 증가할수록 표면 거칠기 값도 증가함을 알 수 있다. 특히 밸브보다는 시트 인서트의 표면 거칠기가 더욱 빨리 증가됨을 알 수 있다.

3.3 마모 메카니즘

본 연구를 통해서 밸브와 시트 인서트 마모현상 중에서 발생할 수 있는 Adhesive wear, Shear strain, Abrasive wear 등 관찰할 수 있었다.

Adhesive wear(응착마모)는 밸브와 시트 인서트 사이의 높은 접촉 응력이나 높은 연소 압력에 의해서 발생할 수 있다. 각각의 표면 거칠기는 Adhesive wear에 상당히 영향을 미친다. Fig. 9는 SEM으로 측정한 Adhesive wear의 대표적인 사진이다.

마모에 영향을 주는 Shear strain은 재료 표면에 소

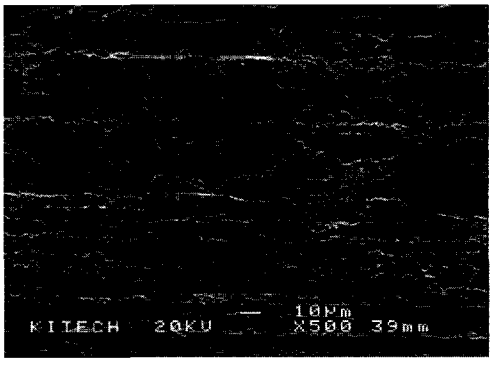


Fig. 9 SEM micrographs of worn seat insert surface (10Hz, Temperature 350°C)

성 변형 과정의 특징이라고 볼 수 있다. 재료의 페이스면의 소성 변형의 한계를 초과로 인한 shear strain의 결과가 바로 마모라고 볼 수 있다. 마모로 인해

아주 작은 금속 분자들이 재료의 페이스 면으로부터 떨어지거나 얇은 조각으로 갈라진다. 마모로 생긴 shear strain의 전형적인 외관은 밸브와 시트 인서트에서 있어서 ridge 또는 방사형 방향으로의 흐름과 같은 것을 관찰할 수 있다. 마모의 영향으로 생긴 shear strain은 때때로 adhesion을 동반할 때도 있다. Fig. 10은 SEM으로 측정한 Shear strain의 대표적인 사진이다.

Abrasive wear은 밸브와 시트 인서트가 마찰 접촉하는 동안 마찰면의 요철에서의 맞물림 작용에 의한 손상현상이다. Fig. 11은 Abrasive wear의 대표적인 SEM 사진이다. 이 그림에서 긁힌 자국은 일반적으로 adhesive wear 파편, 부식이나 산화작용으로 생긴 물질이나 연료의 오염된 조각들에 의해 생긴 것들이다.

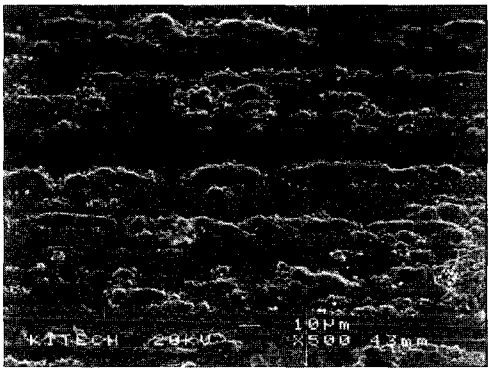


Fig. 10 SEM micrographs of worn valve surface (10Hz, Temperature 350°C)

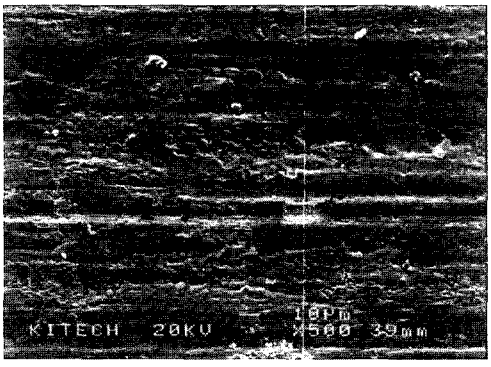


Fig. 11 SEM micrographs of worn seat insert surface (25Hz, Temperature 350°C)

4. 결 론

본 연구에서는 밸브 및 시트 인서트 전용 마모 시험기를 사용하여 실차와 유사한 조건으로 밸브와 시트 인서트의 마모깊이, 표면 거칠기와 마모 메카니즘에 대해서 시험을 수행하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 밸브와 시트 인서트는 Hz가 증가함에 따라 마모량이 급격하게 증가함을 알 수 있다. 이러한 결과는 실차에서 엔진회전수가 증가할수록 밸브와 시트 인서트의 마모가 급격하게 발생하여 엔진의 성능을 떨어지게 하는 요인이 될 수 있다.
2) 밸브와 시트 인서트는 Hz가 증가함에 따라 마모에 의해 발생하는 표면거칠기가 더욱 증가하므로 밸브와 시트 인서트의 기능중에 하나인 엔진의 기밀성을 저하시킬 수 있다.
3) 밸브 및 시트 인서트의 마모 메카니즘은 다음과 같은 현상들을 관찰할 수 있다.

- shear strain으로 인한 재료의 소성변형으로 금속이 떨어지거나 얇은 조각을 발생하여 방사형 방향으로 물결모양이 발생하는 것
- 슬라이딩 현상에서 관찰할 수 있는 adhesive wear
- shear strain에 의해 발생하는 particle들에 의해서 마모가 일어나는 abrasive wear 현상을 관찰할 수 있다.

후 기

본 연구는 부품소재통합연구단의 부품・소재 종합기술 지원사업 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다. 또한 본 연구의 수행에 있어 많은 도움을 주신 (주)신한밸브에 깊은 감사를 드립니다.

References

1) T. Ootani, N. Yahata, A. Fujiki, A. Ehira, "Impact Wear Characteristics of Engnine Valve and Valve Seat Insert Materials at High Temperature (Impact Wear Tests of Austenitic Heat-resistant Steel SUH36 Against Fe-base Sintered Alloy Using Plane Specimens)," Wear

188, pp.175-184, 1995.
2) Y. S. Wang, S. K. Schaefer, C. Bennett, "Wear Mechanisms of Valve Seat and Insert in Heavy Duty Diesel Engine," SAE 952476, 1995.
3) A. Fujiki, M. Kano, "New PM Valve Seat Insert Materials for High Performance Engines," SAE 920570, 1992.
4) K. S. Kim, I. C. Lee, I. S. Chung, "Microstructure and Mechanical Properties of Sintered Valve Seats for Gasoline Engine with Ni and Mo Contents," Journal of Korean Institute of Metals and Materials, Vol.37, No.6, pp.694-699, 1999.
5) R. Zhao, G. C. Barber, Y. S. Wang, J. E. Larson, "Wear Mechanism Analysis of Engine Exhaust Valve Seats with a Laboratory Simulator," STLE, Vol.40, pp.209-218, 1997.
6) K. Sato, T. Midorikawa, T. Takahashi, H. Oshige, "Development of Valve Seat Material for Gas-Fueled Engines," SAE 2002-01-0911, 2002.
7) K. J. Chun, J. S. Hong, "Development of A New Tester to Simulate Engine Valve and Valve Seat Wear Process," KSAE Autumn Conference Proceeding, pp.186-191, 2002.
8) K. J. Chun, J. S. Hong, H. J. Lee, "A Study on Engine Valve and Seat Insert Wearing Depending on Hz Change," KSAE Spring Conference Proceeding, pp.15-20, 2003.