

# 고성능 디젤 엔진 밸브 개발을 위한 마모 시험

홍재수\*, 전경진\*, 허용정\*\*

\*한국생산기술연구원 융합기술개발단

\*\*한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과

e-mail:jshong94@kitech.re.kr

## Wear Testing for Diesel Engine Valve of High Ability

Jae-Soo Hong\*, Keyoung Jin Chun\*, Yong-Jeong Huh\*\*

\*Korea Institute of Industrial Technology

\*\*Korea University of Technology and Education

### 요 약

엔진 밸브와 밸브시트의 마모는 엔진 성능에 영향을 미치는 가장 중요한 요소 중에 하나이다. 엔진 밸브와 밸브시트는 엔진 구동 과정에서 발생하는 고온의 배기가스, 밸브 스프링의 빠른 움직임, 엔진 폭발 과정의 고압, 균일하지 못한 냉각시스템으로 발생하는 실린더 헤드의 뒤틀림이 만들어 내는 극한 환경을 이겨내야 한다. 본 연구에서는 밸브 및 밸브시트의 마모율과 마모 메커니즘을 명확하게 규명하기 위해서 실제 자동차 엔진 내부의 조건인 온도, 밸브와 밸브시트간의 충돌, 슬라이딩 등에 관한 것들을 고려하여 밸브 및 밸브시트가 충돌 시험할 수 있는 전용마모 시험기를 사용하였다.

본 연구에 사용된 시편은 현재 실차에 사용되고 있는 밸브와 밸브시트를 사용하였다. 그 종류는 STR35 밸브, STL #6 및 STL #32이다. 밸브시트는 HVS1-2 재질을 사용하였다.

### 1. 서론

엔진 밸브와 밸브시트의 마모는 엔진 성능에 영향을 미치는 가장 중요한 요소 중에 하나이다. 엔진 밸브와 밸브시트는 엔진 구동 과정에서 발생하는 고온의 배기가스, 밸브 스프링의 빠른 움직임, 엔진 폭발 과정의 고압, 균일하지 못한 냉각시스템으로 발생하는 실린더 헤드의 뒤틀림[1, 2]이 만들어 내는 극한 환경을 이겨내야 한다.

엔진 밸브와 밸브시트를 열처리 및 밸브와 밸브시트의 매칭성 관점에서 보았을 때 현재까지의 대부분의 연구는 밸브시트를 주조 생산한 제품을 이용하거나 소결시에 성분 변화에 따른 밸브시트의 소재 변화에 따른 연구들만 진행되었다.[3].

그러나 위의 연구결과에서도 알 수 있듯이 밸브시

트의 소재 변화에 의한 마모 시험 결과들은 발표되고 있지만 밸브의 다양한 소재 변화에 의한 마모 시험 결과는 전무한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 위의 결과들을 토대로 동일한 소재의 밸브시트에 대한 상대재인 밸브를 여러 가지 방법으로 열처리하거나 특수 소재를 사용하여 밸브 소재에 따른 마모량과 마모 메커니즘을 연구하였다.

### 2. 실험장치

본 연구에 사용된 밸브 및 밸브시트의 전용마모 시험기는 내연기관의 엔진 내부와 유사한 기능을 하도록 만들어 졌다. 전용 마모 시험기는 크게 유압장치, 전기 콘트롤러 장치, 기계장치로 세 부분으로 구성되어 있다.

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 밸브시트의 온도, 밸브와 밸브시트 간의 거리, 시험시간 등을 모니터하고 조절할 수 있다.

### 3. 실험방법

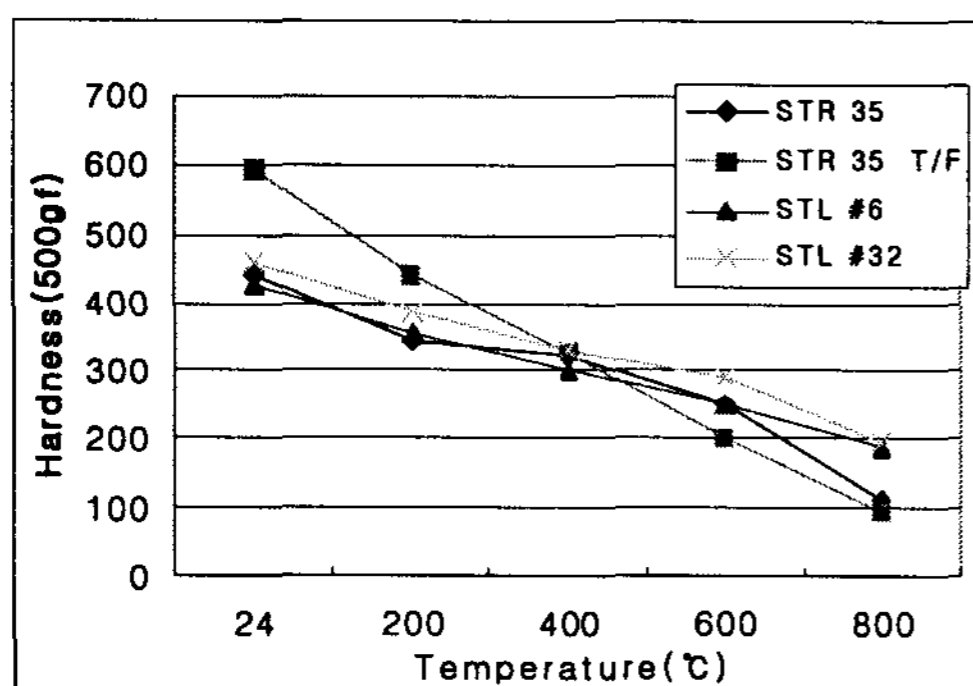
본 연구에 사용된 시편은 현재 실차에 사용되고 있는 밸브와 밸브시트를 사용하였다. 그 종류는 STR35 밸브, 질화처리한 밸브, STL #6 및 STL #32이다. 밸브시트는 HVS1-2 재질을 사용하였다. 각각의 화학조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical compositions (wt. %)

Materials	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	Co	Fe
밸브 (STR35)	0.53	0.31	9.0	21.0	-	3.87	-	-	Bal
밸브 (STL #6)	0.9	0.4	1.0	26.0	1.0	3.0	-	Bal	3.0
밸브 (STL #32)								Bal	2.0
밸브시트 (HVS1-2)	1.1	-	-	7.5	2.0	2.0	15	6.5	Bal

각 시편에서의 경도측정은 기계적 연마 후 고온미세경도시험기를 이용하여 상온, 200°C, 400°C, 600°C 및 800°C에서 각각 5회 이상 측정하였고 최대, 최소값을 제외한 값들의 평균치를 구하였다. 위와 같은 방법으로 얻어진 밸브의 경도값은 아래의 Table 2와 같다.

Table 2. Hardness of each valve at high temperature



본 연구에서는 밸브 개폐횟수는  $4.0 \times 10^6$  회씩 실시

하였다. 또한 시험의 객관성과 일관성을 위해서 각각의 시험을 같은 조건하에서 각 Hz당 6개씩 시험하였다. 시험온도는 밸브시트 바깥면을 기준으로 350°C로 하고(밸브 페이스면 기준 760°C), 사용 연료는 LPG를 사용하였다. 밸브와 밸브시트의 내마모성 평가를 밸브와 밸브시트 마모량으로 나타내는 밸브의 축방향의 이동깊이, 즉 밸브와 밸브시트의 마모깊이로 표시하여 평가한다.

밸브 및 밸브시트의 마모깊이 및 표면거칠기는 공촉점 레이저 스캔(Olympus사, OLS 1100, Resolution 0.01 $\mu$ m)를 사용하여 시험전과 시험후에 각각의 깊이를 측정하여 비교 분석하였다. 또한 SEM(JEOL사, JSM 6400, Resolution 4nm)을 이용하여 시험 전, 후의 페이스 표면을 관찰함으로써 밸브 및 밸브시트의 마모 메커니즘에 대해서도 관찰하였다.

### 4. 마모깊이

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

Fig. 1은 밸브와 밸브시트의 마모깊이의 측정 방법을 나타내는 것이다. 여기서, 마모깊이(WD)는 측정하고자 하는 길이(L)상에서 최대점과 최소점 사이를 측정하는 것이다. 이 그림에서 y축은 밸브 스템 방향을 나타낸다.

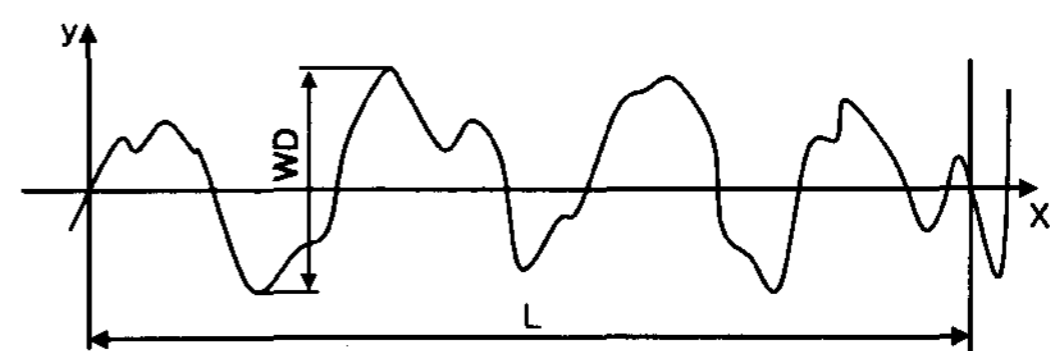


Fig 1. Measurement of wear depth

Table 3은 각 Hz에 따른 밸브 및 밸브시트의 마모깊이의 결과 값이다. STR 35 밸브 시험에서 밸브 평균 마모깊이( $\pm$ Standard Deviation)는 31.8( $\pm$ 1.3) $\mu$ m이고, 밸브시트의 평균 마모깊이는 44.3( $\pm$ 3.3) $\mu$ m이다. STL #6 밸브에서의 밸브에서의 밸브 평균 마모깊이( $\pm$ Standard Deviation)는 25.8( $\pm$ 4.7) $\mu$ m이고, 밸브시트의 평균 마모깊이는 46.1( $\pm$ 3.0) $\mu$ m였다. 마지막으로 STL #32 밸브에서의 밸브에서의 밸브 평균 마모깊이( $\pm$ Standard Deviation)는 8.5( $\pm$ 2.0) $\mu$ m이고, 밸브시트의 평균 마모깊이는 54.7( $\pm$ 1.9) $\mu$ m였다.

Table 3. Wear depth of worn valve and seat insert depending on valve materials

	Specimen		1	2	3	4	5	6	Mean±SD
	No.								
STR35	Valve		30.1	30.7	31.6	33.9	32.0	32.2	31.8±1.3
HVS1-2	Valveseat		42.4	46.5	45.4	49.1	42.4	40.0	44.3±3.3
	Specimen		1	2	3	4	5	6	Mean±SE
	No.								
STL #6	Valve		24.6	33.3	21.8	28.4	20.4	26.0	25.8±4.7
HVS1-2	Valveseat		41.3	48.1	43.5	47.2	47.9	48.7	46.1±3.0
	Specimen		1	2	3	4	5	6	Mean±SE
	No.								
STL #32	Valve		7.4	7.2	12.2	6.9	7.7	9.5	8.5±2.0
HVS1-2	Valveseat		53.2	57.2	52.2	56.4	55.1	54.0	54.7±1.9

Table 4의 결과 값에서 볼 수 있듯이 일반적으로 STL 용착처리를 한 것이 일반밸브(STR 35)에 비해 마모성이 향상되는 것을 알 수 있다.

또한 같은 STL 용착처리를 한 것이라도 경도값이 더 높은 STL #32가 STL #6보다 마모성이 더 향상되는 것을 알 수 있다.

### 5. 마모 메카니즘

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

Adhesive wear(응착마모)는 밸브와 밸브시트 사이의 높은 접촉 응력이나 높은 연소 압력에 의해서 발생할 수 있다. 각각의 표면 거칠기는 Adhesive wear에 상당히 영향을 미친다.

마모에 영향을 주는 Shear strain은 재료 표면에 소성 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 페이스면으로부터 떨어지거나 얇은 조각으로 갈라진다. 마모로 생긴 shear strain의 전형적인 외관은 밸브와 밸브시트에서 있어서 ridge 또는 방사형 방향으로의 흐름과 같은 것을 관찰할 수 있다. 마모의 영향으로 생긴 shear strain은 때때로 adhesion을 동반할 때도 있다. Abrasive wear는 밸브와 밸브시트가 마찰 접촉하는 동안 마찰면의 요철에서의 맞물림 작용에 의한 손상 현상이다. 굵은 자국은 일반적으로 adhesive wear 파편, 부식이나 산화작용으로 생긴 물질이나 연료의

오염된 조각들에 의해 생긴 것들이다.

### 6. 결론

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

- 1) STR 35 밸브 시험에서 밸브 평균 마모깊이 (±Standard Deviation)는 31.8(±1.3)µm이고, 밸브시트의 평균 마모깊이는 44.3(±3.3)µm이다. STL #6 밸브에서의 밸브에서의 밸브 평균 마모깊이 (±Standard Deviation)는 25.8(±4.7)µm이고, 밸브시트의 평균 마모깊이는 46.1(±3.0)µm였다. 마지막으로 STL #32 밸브에서의 밸브에서의 밸브 평균 마모깊이(±Standard Deviation)는 8.5(±2.0)µm이고, 밸브시트의 평균 마모깊이는 54.7(±1.9)µm였다.
- 2) 밸브 및 밸브시트의 마모 메카니즘은 shear strain으로 인한 재료의 소성변형으로 금속이 떨어지거나 얇은 조각을 발생하여 방사형 방향으로 물결모양이 발생하는 것, 슬라이딩 현상에서 관찰할 수 있는 adhesive wear와 shear strain에 의해 발생하는 particle들에 의해서 마모가 일어나는 abrasive wear 현상을 관찰할 수 있다.

### References

- [1] Pyle, W. R., Smrcka, N. R., "The Effect of

Lubricating Oil Additives on Valve Recession in Stationary Gaseous-Fueled Four-Cycle Engines", SAE Paper 932780, 1993.G.-D. Hong, "Linear controllable systems," Nature, Vol. 135, pp. 18-27, 1990.

- [2] Zinner, K., "Investigations Concerning Wear of Inlet Valve Seats in Diesel Engines," ASME Paper 63 OGP-1, 1963.
- [3] R. Lewis, R. S. Dwyer-Joyce, G. Josey, "Investigation of Wear Mechanisms Occurring in Passenger Car Diesel Engine Inlet Valves and Seat Inserts", SAE Paper, 1999-01-1216, 1999.