

Diesel Engine에서의 Cam/Tappet 마모

심 동섭, 김 경운, 조 정환

대우중공업 중앙연구소 소재기술팀

Cam/Tappet Wear in Diesel Engine

Tong-Seob Shim, Kyun-gwoon Kim, Jeong-Whan Cho

Daewoo Heavy Industries Ltd. Central R&D Division.

Materials Technology Team

Abstract

Tappet is the part which consists of valve train system in Over Head Valve type diesel engine. The role of tappet is to open and close the intake/exhaust valve by rotating with cam. There are wear problems like scuffing or pitting in cam/tappet system because of the higher Hertzian contact stress and sliding wear characteristics between cam and tappet.

In this paper, to find optimal materials combination in cam/tappet system, wear test and rig test were performed. Si_3N_4 , chilled cast iron, sintered alloy were selected for tappet materials. As the result of test, it is found that Si_3N_4 tappet has the excellent wear properties.

Key Words : Diesel engine, Tappet, Cam, Wear test, Rig test

1. 서 론

타펫(Tappet)은 OHV(Over Head Valve)형 디젤엔진의 밸브 트레인(Valve train)계를 구성하는 부품으로서 Fig. 1에서와 같이 캠(Cam)과 접촉하여 흡기 및 배기 밸브(Valve)를 개폐시키는 역할을 한다. 현재 엔진의 고속화, 고출력화 및 소형화 추세에 따라서 캠과 타펫사이의 접촉하중이 증가되고 상대속도 역시 빨라지고 있어 이들의 마모 문제가 심각하다.¹⁾ 높은 접촉하중 하에서 캠과 타펫의 습동마모면에서는 스커핑(Scuffing), 피팅(Pitting), 버니싱(Burnishing) 등에 의한 마모문제가 심각하며, 경질재료의 조합이나, 열처리 및 표면 코팅에 의한 내마모성 증대 방법등이 제안되어 있다.²⁾

현재 널리 사용되고 있는 캠재료로는 주철재 또는 표면경화처리된 강재등이 있고, 타펫의 경우 Fe-C 칠(Chill)재가 일반적으로 사용되어지고 있다.²⁾ 한편 타펫의 내마모성을 향상시키려는 노력의 일환으로 검토되고 있는 방법으로는 주로 타펫 표면에 경도가 높은 경질표면(Hard surface)를 형성시키는 방법이 고려된다. 이러한 방법으로는 기존의 철계 합금을 Q/T(Quenching and Tempering) 열처리하여 표면경도를 증가시키는 방법이 있을 수 있으며, 세라믹스등 재료의 경도가 높은 소재를 타펫 표면 부위에 접합하여 사용하는 방법이 있다. 재료로는 Fe-Cr 계열의 소결재, 초경합금, 질화규소등의 세라믹스가 검토 되고 있으며 일부 실용화 되고 있다.^{3,4)}

본고에서는 현재 차세대 타펫재로서 검토되고 있는 초경합금, 질화규소(Si_3N_4), Fe-Cr-C 계열의 소결재 및 칠(Chill) Q/T재를 이용하여 재질별 마모특성을 비교하기 위하여 마모시험기 및 엔진부품 시험기를 이용하였다.

2. 실험 방법

2.1 마모시험

실제 엔진에서의 캠/타펫의 구동은 선 접촉으로 이루어 지며 이러한 구동은

Fig. 2 에서와 같이 디스크(Disc)형태의 라운드(Round) 면과 평면이 만나는 형태로 생각할 수 있으며, 이러한 접촉에서 슬라이딩(Sliding)과 롤링(Rolling)이 동시에 일어나는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 이러한 특성을 잘 구현 해주는 Plint 77E 마모 시험기의 슬라이드/롤 어댑터(Slide/Roll adapter)를 이용하여 재질별 마모 시험을 행하였다. 고정자로는 타펫 재질인 칠(Chill), 초경합금, 질화규소, 소결합금을 사용하였으며 고정자인 상대재로는 표면 조도 Ra (Root Mean Square of Deviation) = $0.3\mu\text{m}$ 로 연마된 고주파열처리강(Induction hardened steel)을 사용하였다. 시험시 윤활유의 온도는 110°C , 시험속도 11 Hz, 활주거리 10mm, 롤링/슬라이딩=0.2, 하중은 50N에서 450N 까지 각 50N 간격으로 10분씩 유지 하였으며 SAE #30 엔진오일(Engine oil)을 연속급유해 주는 조건에서 각 재질별 마모시험을 행하여 마찰계수를 구하였다. 여기서 롤링/슬라이딩 비는 그림.2의 이동자와 고정자가 상호 접촉하여 움직일 때 이동자의 고정자에 대한 롤링속도(Rolling Velocity) V_1 과 슬라이딩속도(Sliding Velocity) V_2 의 비인 롤링속도비(Rolling Velocity Ratio, $\text{RVR} = V_1/V_2$) 에 의하여 정의 되었다. 본 실험에서는 캠/타펫의 실제 구동조건과 유사한 $\text{RVR} = 0.2$ 를 선택하여 실험하였다.

특히 질화규소, 초경합금의 경우 각각의 접촉면을 경면연마하였다. 각 타펫의 표면 조도 및 경도를 다음 Table. 1에 나타내었다.

2.2 리그 시험 (Rig Test)

실제 엔진에서의 사용가능성을 검토하기 위하여 각각 세라믹, 소결, 칠(Chill) 타펫을 제조한 뒤 이를 리그시험기에 장착한 뒤 오일 온도 110°C , 크랭크샤프트(Crankshaft, CRS) 회전수 2000 RPM으로 500시간동안 실험하여 마모량 및 마모특성을 고찰하였다. 리그시험이란 실제 엔진을 시동하되 연소를 시키지 않고 모터(Motor)를 사용하여 밸브트레인계를 구

동시키는 시험이다. 리그시험의 장점은 밸브스프링 포스(Valve spring force)를 임의로 조정할 수 있으며 본 실험에서는 이렇게 함으로써 리그시험에서의 캠/타펫 면압을 실제 엔진작동조건에서의 것보다 40% 증가시켰다. 사용한 모터(Motor)는 15 Hp 의 V.S 모터를 이용하였으며 총시험 시간은 500시간 이었다. 리그시험에서 사용된 캠의 재질은 고주파 열처리강(Induction hardened steel) 한 종류였고 타펫의 재질은 칠(Chill), 질화규소, 소결합금이었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 재질별 마찰계수 측정

하중의 변화에 따른 마찰계수의 변화를 고찰해보면 이동자(캠재)에 대한 고정자(타펫재)의 재질별 마찰계수를 하중의 변화에 따라 얻은 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

이동자의 재질에 관계없이 하중의 증가에 따라 마찰계수는 감소하였다. 50N에서의 마찰계수를 Fig. 4에 나타내었으며 초경합금에서 가장 높은 마찰계수가 얻어졌다. 한편 초기 50N에서 이동자 재질에 따른 마찰계수의 최대값/최소값은 0.26/0.14로서 최대값과 최소값의 차이가 0.12 정도로 얻어지나, 하중의 증가에 따라 그 차이는 감소하며 450N에서는 최대값/최소값은 그림 5에서 보듯이 0.12/0.09의 범위로서 재질별 차이는 0.03정도로 미미하였다.

松本 敏等⁴⁾은 회전하는 캠재(외경 60 mm)에 대하여 칠 주물재, 초경합금 및 질화규소(Si₃N₄)등을 타펫재로 이용한 마모시험을 행하여 1000RPM에서 하중의 증가에 따라 마찰계수는 증가 하였으며 칠재는 1000N에서 소착이 일어났으나, 질화규소(Si₃N₄)는 전혀 소착이 일어나지 않고 1000N까지는 칠재와 큰 차이 없이 증가하다가 그 이후 감소하는 것으로 보고하였다. 또한 副島光洋等⁵⁾은 캠/타펫 전용 마찰마모시험기를 이용하여 고주파열처리한 캠재에 대하여 칠(Chill)주물, 질화규소(Si₃N₄)등을 상대재로 한 마모시험을 행하

고, 시험시간의 증가에 따라 마찰계수는 감소하나, 칠과 질화규소의 재질에 따른 마찰계수의 차이는 관찰되지 않는다고 보고하였다. 보다 명확한 재질별 마모특성을 검토하기 위해서는 실제 캠/타펫 마모 조건에서의 실험이 필요하며 따라서 실제 구동조건에서 엔진 부품 시험기를 이용한 리그시험(Rig Test)를 행하였다.

3.1.2. 리그 시험

리그 시험에서는 질화규소(Si₃N₄)를 적용한 세라믹 타펫과 소결재를 적용한 소결타펫, 그리고 칠(Chill)재를 적용한 칠타펫을 제작한 뒤 상대재인 캠과의 선 접촉에 의한 소착현상을 방지하고 조립성 및 내마모성을 향상시키기 위한 접촉면에 대하여 블록한 크라운(Crown)을 형성시켜 사용하였으며, 캠재로서 고주파 열처리강(Induction Hardened Steel)을 사용하였다.

Photo. 1과 Photo. 2에 리그 시험후 타펫과 캠의 마모면을 나타내었다. 리그시험 결과 Photo. 2 (c)에서 보듯이 소결타펫이 적용된 캠에서 피팅(Pitting)이 관찰되었으며 소결 Tappet 자체는 사진 1의 (c)에서 나타나듯이 피팅과 타펫의 회전방향과 수직으로 국부적인 파인 흔적이 관찰된다. 그외에 세라믹타펫과 칠타펫의 경우 외관상으로는 피팅(Pitting) 혹은 스커피핑(Scuffing)등의 이상마모상태는 관찰되지 않았다.

이러한 마모부위를 자세히 고찰하기 위하여 주사전자현미경을 이용하여 각 타펫의 마모면을 고찰한 결과를 다음 Photo. 3에 나타내었다. 칠타펫에서는 미세하게 연마(Fine polishing)된 것으로 관찰되며 타펫의 회전방향으로 아브레시브(Abrasive) 마모흔적이 보인다. 소결타펫의 경우 표면에서 피팅부위가 다수 관찰 되었으며, 그 대표적인 사진을 Photo. 3 (c)에 나타내었다. 세라믹 타펫의 경우 세라믹 소결체의 특징적인 조직은 관찰되나 별다른 마모흔은 관찰시험 뒤 캠에서 관찰되는 대표적인 피팅의 주사전자현미경 사진을 나타내었다.

다음 Fig.6에 실험 전과 후의 타펫의

표면 프로파일(Surface profile)을 나타내었다. 세라믹 타펫의 경우 마모전과 후에 있어서 표면 프로파일의 변화는 거의 없었으며 소결타펫의 경우 표면에 굴곡진 것이 많아 보인다. 그러나 사진상에서는 비교적 표면이 매끄러운 것으로 관찰되었던 칠타펫의 경우 요철이 다수 관찰된다.

Fig. 7과 8에 리그 시험 뒤의 각 타펫과 캠의 마모량을 측정된 결과를 나타내었다. Fig. 7 (a) Tappet의 경우 소결 타펫 1개(마모량 $174\mu\text{m}$)를 제외하고 모든 타펫에서 마모량은 상당히 작았다. 특히 세라믹타펫에서의 마모량은 거의 관찰되지 않았다. 캠재의 마모량을 측정된 결과를 보면 Fig. 8 (b)에서 보듯이 칠, 세라믹재의 상대 캠에서의 마모량은 거의 관찰되지 않았으나, 소결 타펫의 상대 캠의 경우 마모량은 $200\sim 300\mu\text{m}$ 범위로서 소결재의 상대캠에 대한 공격성이 상당히 큰 것으로 관찰되었다.

4. 결 론

지금까지 캠/타펫의 습동마모 부위의 주된 마모종류와 질화규소, 소결합금, 초경합금, 칠재 등 재질에 따른 마모특성과 이 중 질화규소, 소결합금, 칠재를 타펫으로 제작하여 리그 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 마모시험 및 리그 시험 결과로부터 질화규소의 경우 자신의 마모량이 다른 재질에 비하여 상당히 작았으며, 상대재인 캠에 대한 공격성 역시 상당히 작았다.
- 2) 소결합금재 타펫의 경우, 자기 자신의 마모량은 상당히 작았으나 상대 캠재의 마모량은 상당히 많았다.
- 3) 칠타펫의 경우, 자신의 마모량 및 상대캠의 마모량이 상당히 작았으나, 마모시험 후의 표면프로파일에서의 요철이 발생하였다.

참 고 문 헌

1. M.H.Jones and D.Scott,ed., "Industrial Tribology," Tribology series 8, Elsevier, pp216, 1991.

2. " Friction, Lubrication, and Wear Technology,"ASM Handbook Vol. 18, ASM International, pp559, 1995
3. Makato Kano and Yoshitsuga Kimura., Wear,162-164,pp897-905,1993
4. 松本敏,木材勝雄,谷口雅人., 自動車技術, Vol.47, No.5, pp11, 1993
5. 副島光洋,江島良人 :トライボロジスト Vol.39, No.1, pp43, 1994

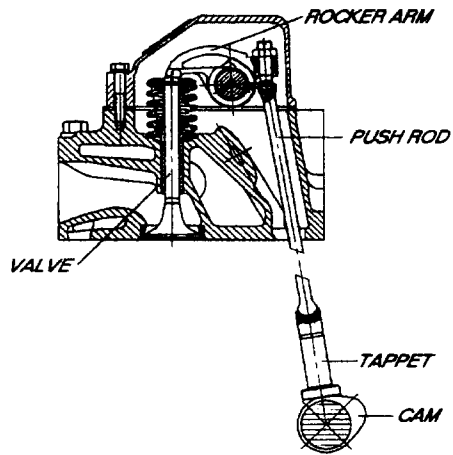


Fig. 1 Valve Train System

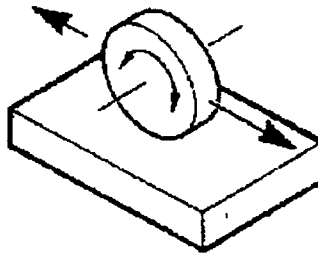


Fig. 2 Rolling/Sliding mechanism at wear test

Table. 1 Surface Roughness & Hardness of each tappet material

	Chill	소결재(P/M)	초경합금	Si ₃ N ₄
Ra(μm)	0.1	0.13	0.1	0.1
비고	연마 뒤 인산염피막처리	연마 뒤 인산염피막처리	-	-
경도(Hv)	700-780	680-800	900-1000	1600-1800
비고	HRC 60-63	HRC 59-64	HRA 85-88	-

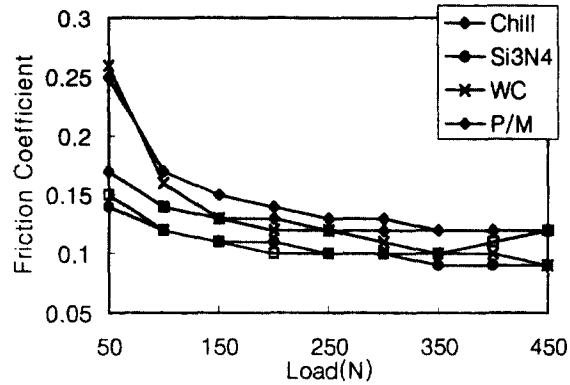


Fig. 3 Variation of friction coefficient with load at wear test, cam material is induction hardened steel

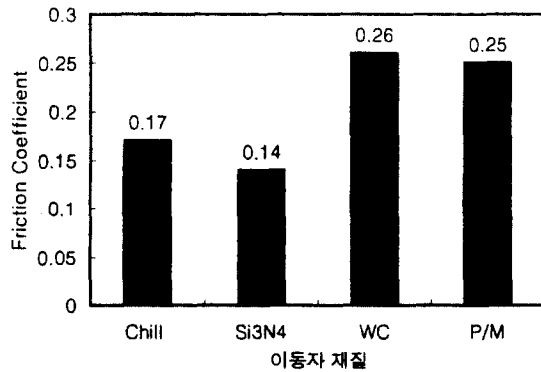


Fig. 4 Variation of friction coefficient of each tappet material in the case of wear test, load is 50N. cam material is induction hardened steel.

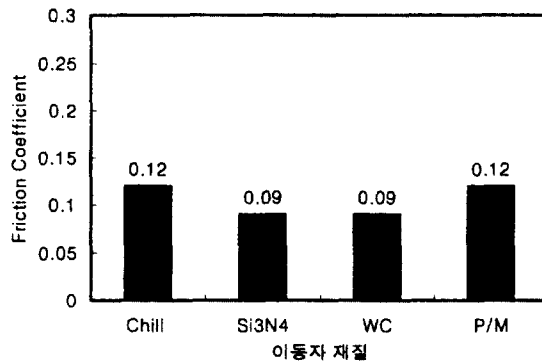


Fig. 5 Variation of friction coefficient of each tappet material in the case of wear test, load is 450N. Cam material is induction hardened steel

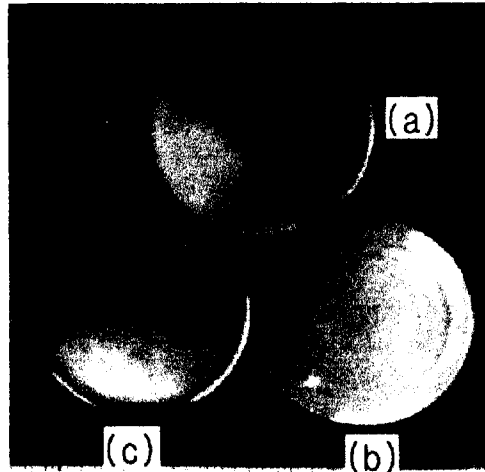


Photo. 1 Tappet wear surface after rig test (a)Si₃N₄ tappet (b) Chill tappet (c) P/M tappet

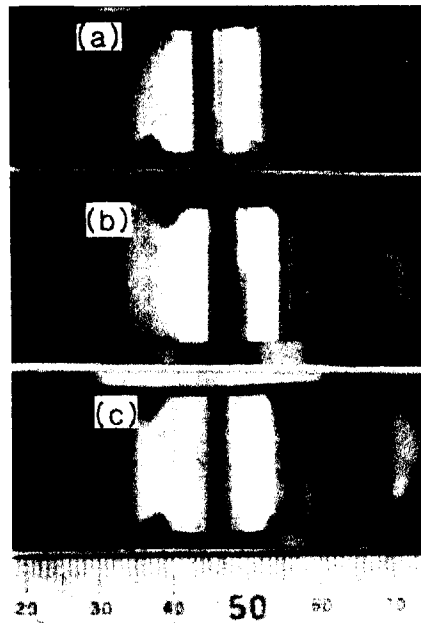


Photo. 2 Cam wear surface after rig test (a)Si₃N₄ tappet (b) Chill tappet (c) P/M tappet used

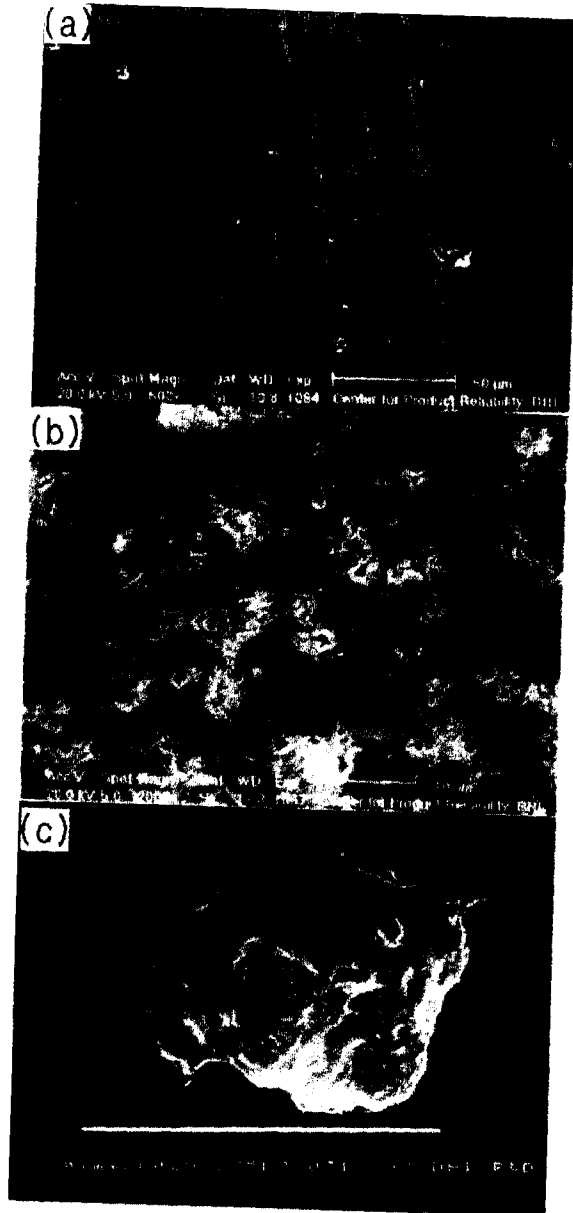


Photo. 3 SEM Image showing tappet wear surface after rig test (a) Chill tappet (b) Si₃N₄ tappet (c) P/M tappet



Photo. 4 SEM Image showing typical Pitted cam surface.

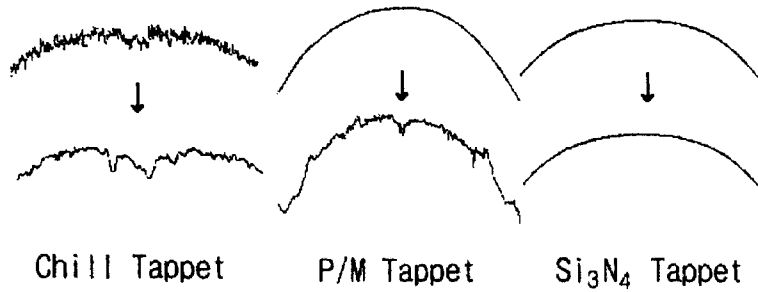


Fig. 6 Surface profile change before and after rig test,

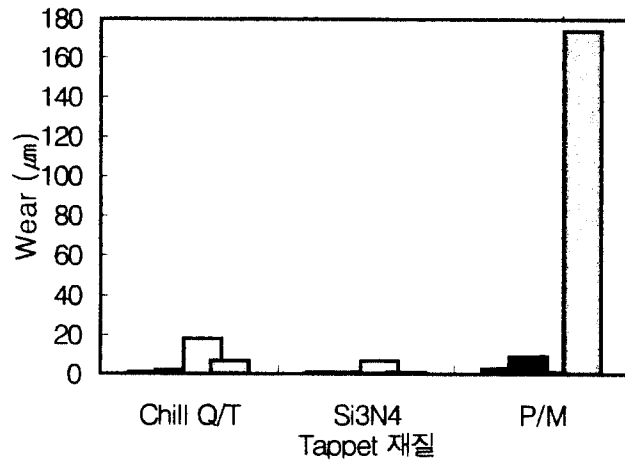


Fig. 7 Tappet wear distance(μm) after rig test

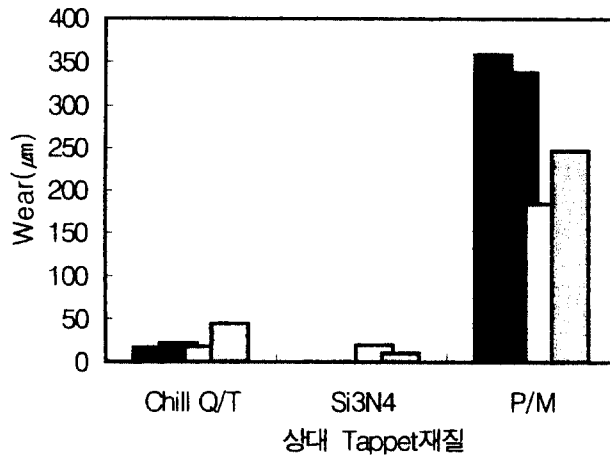


Fig. 8 Cam wear distance(μm) after rig test