

자동차 윤활기유의 비마모량에 관한 실험적 연구

전찬열^{1*}

¹중부대학교 공과대학 자동차관리학과

An Experimental Study on the Specific Wear Amount of Base oil in Automotive Lubricant

Chan-Yeal Jeon^{1*}

¹Dept. of Automobile Management, Joongbu University

요약 본 논문은 자동차의 엔진오일에 사용되는 여러 윤활기유에 대하여 비마모 특성을 실험적 연구에 의해 분석하였다. 비마모량 점도와 온도 등과 같은 여러 가지 속도 조건 하에서의 마찰력과 측정된 수직하중으로부터 계산되었다. 엔진 오일에 사용되는 기유는 여러 가지 작동 상태에 따라 마찰 특성의 관계가 확인되었다.

Abstract This paper have been analyzed specific wear characteristics of various base oils used in the automobile engine by experimental study. Specific wear amount has been calculated by the measured normal force and friction force under various speed operating conditions, such as, viscosities and temperatures. It have been verified that the specific wear characteristics relation of the base oil used in a engine oil is related to the various operating conditions.

Key Words : Automobile, Engine Oil, Tribology, Friction, Wear, Specific Wear Amount

1. 서론

현대사회의 기계는 고성능화와 소형화의 추세에 따라 접촉하는 두 물체 사이의 기계적인 메카니즘에 의해 힘이 전달되고 변형되어진다. 이 과정에서 직접 또는 간접으로 운동하고 있는 두 금속마찰면에서는 필연적으로 마찰·마모가 일어난다. 이러한 마찰·마모는 피팅(pitting), 스폐링(spalling), 스커핑(scuffing)등과 같은 변수들에 의한 표면손상을 초래하는 중요한 문제가 대두된다[1-3]. 금속표면의 마모는 금속윤활성능을 저하시킬 뿐만 아니라 윤활유의 열화를 촉진하는 것에 직접 관련되어 있다[4-7].

그러므로, 금속표면의 마모를 가능한 작게 할 필요가 있는 것이다. 또한 에너지 대책의 관점에서 기어유에 관계된 저 점도화가 검토되어지고 있다[8,9]. 이러한 기어유의 저점도화는 효율과 표면강도 및 스커핑강도 등과 밀접한 관계가 있을 뿐만 아니라 마모에도 중요한 영향을 미친다. 이러한 문제에 관한 기초적 연구는 몇개 보고되었지만 지금까지 충분히 밝혀지지는 않았다[10-12].

따라서 본 논문에서는 펠렉스 마찰·마모 시험기를 이용하여 일정 윤활유의 온도를 변화시킨 경우와 상온에서 크게 다른 점도를 가진 3종류의 윤활유를 사용하였다. 그리고, 점도를 동일하게하여 마모량에 미치는 온도 자체의 영향을 채택하였고, 윤활유의 점도 및 첨가제를 변환시킴으로써, 하중, 윤활유의 온도, 화학적 첨가제 및 윤활유의 온도가 마모에 미치는 영향을 고찰하였으며, 이 문제가 상대적으로 운동하고 있는 표면의 마모에 미치는 영향을 밝히고자 한다.

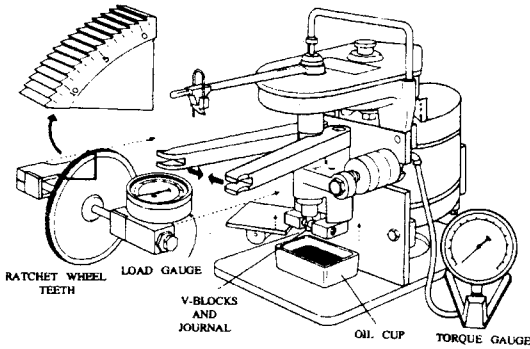
2. 실험

2.1 시험장치

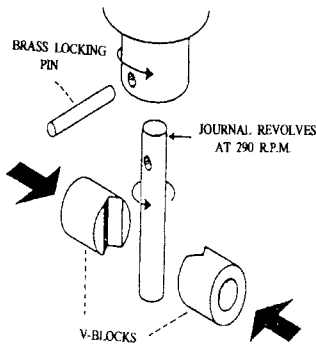
본 실험장치는 점도에 따른 마찰·마모, 극압 특성 등을 고찰하기 위한 펠렉스 마찰·마모시험기를 이용하였으며 그림 1에 본 실험장치의 개략도를 도시하였다. 그리고 시험부인 판과 V-블록을 그림 2에 나타내었다. 시험편은 펠렉스 시험기의 표준사양으로써 테스트 편은 피스톤

*교신저자: 전찬열(cyjeon@joongbu.ac.kr)

이나 핀등에 사용되는 니켈크롬강(SNC 415)을, V-블록은 크랭크샤프트와 기어 등에 사용되는 니켈크롬강(SNC631)을 사용하였다. 이들의 기계적·화학적 특성을 다음의 표 1에 나타내었다.



[그림 1] 마찰 마모 실험장치



[그림 2] 시험부의 저널과 V-blocks에 대한 확대도

[표 1] 저널과 V-block의 물리·화학적 특성

Properties	Items	Journal (SNC415)	V-Block (SNC631)
Surface Roughness[μm]		1.5	1.5
Tensile strength [Kg/mm ²]		≥ 80	≥ 85
Elongation [%]		≥ 17	≥ 18
Reduction of Area[%]		≥ 45	≥ 50
Hardness[Hv]		235~341	248~302
	C	0.12~0.18	0.27~0.35
	Si	0.15~0.35	0.15~0.35
	Mn	0.35~0.65	0.35~0.65
	P	≤ 0.030	≤ 0.030
	S	≤ 0.030	≤ 0.030
	Cu	≤ 0.030	≤ 0.030
	Ni	2.00~2.50	2.50~3.00
	Cr	0.20~0.50	0.60~1.00

시험장치의 주요부는 동력 발생부, 시험부, 하중작용부, 마모량 측정부, 윤활유 급유부로 구성되어 있다. 동력전달장치는 220[V]-1/2 [HP]의 교류전동기 1425/1725[r.p.m]를 이용하여 구동력을 발생시키고, 벨트에 의하여 스피들은 290 \pm 10 [r.p.m]으로 회전한다. 시험부의 저널은 2개의 V-블록과 맞닿아 4선 접촉을 하여 회전한다. 표준 시험편 저널의 외경은 6.35mm이고, 길이는 31.75mm이며 V-블록 홈의 각도는 96 \pm 1 [°]로 두 블록사이에서 회전하며 미끄럼운동을 하는 형태의 시험기이다.

2.2 윤활기유

본 연구에서 사용된 윤활유는 파라핀계 광유로써 점도에 따라 4종류를 선택하였으며, 이에 따른 특성들을 표 2에 나타내었다.

[표 2] 윤활기유의 특성

Base oil		I	II	III	IV
Kinematic viscosity [m ² /s \times 10 ⁻⁶]	40 $^{\circ}$ C	8.98	55.6	198	401
	100 $^{\circ}$ C	2.47	7.86	18.1	28.6
Specific gravity [15/4 $^{\circ}$ C]		0.87	0.88	0.89	0.93
Viscosity index		84.9	99.9	100	99.0
Flash temperature [$^{\circ}$ C]		170	226	270	308

여기서 기유는 윤활유의 기능을 얻기 위하여 산화방지제, 녹 방지제 및 기포방지제등이 성상에 포함되어 첨가되었다. 기유 I은 대개 스피들유, II는 터빈유, III는 기어유, IV는 실린더유이다. 또 사용된 첨가제의 경우 엔진 오일은 피스톤의 왕복운동에 따른 극한상황이므로 여기에 극압첨가제(E-P제), 내마모제(ZnDTP), 코팅제(MoS₂)등을 첨가하여 사용하였으며, 기유 I, II, III, IV에 ZnDTP 마모 방지제(0.5wt%) 또는 EP첨가제(5.0wt%)를 첨가하여 사용하였다. 첨가제의 성상은 표 3과 4에 나타내었다. 그리고 윤활방법은 강제 윤활에서 시험부의 상부에서 풀어주며 유량은 2.0l/min이다.

[표 3] ZnDTP 첨가제의 특성

Additive	Elements	wt %
ZnDTP	Zn	6.1
	S	9.7
	P	4.8

[표 4] E-P 첨가제의 성상

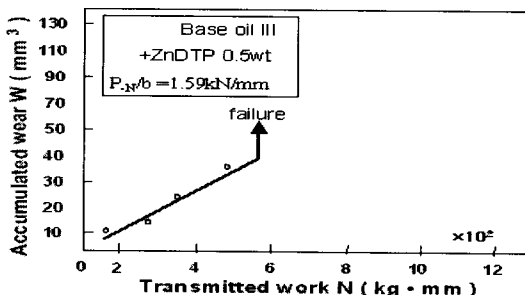
Sulphur [wt %]		27.5
Phosphorus [wt %]		1.8
Kinematic viscosity [m ² /s]	40℃	81.0×10 ⁻⁶
	100℃	10.6×10 ⁻⁶
Viscosity index		120
Flash temperature [℃]		120
Pour point, [℃]		-18
Density [kg/m ³]		1.04×10 ³

2.3 실험 방법

실험은 표면손상에 따른 스키핑(Scuffing)이 발생하여 파괴(failure)에 이르기까지 일정하중 또는 단계적으로 하중을 상승시켜 가면서 운전을 행하였다. 또한, 비마모량 측정을 하기 위해서는 러닝인(running in)을 행하고, 운전을 안정하게 하기 위하여 일정 하중하에서 스키핑 발생 시 까지의 마모량을 산출하였으며 시험시간은 15분으로 고정하였다. 그리고, 윤활유 점도와 첨가제가 마모량에 미치는 영향을 조사한 실험에서는 윤활유 온도를 60℃로 하였고, 윤활유 온도가 마모량에 미치는 영향을 조사한 실험에서는 기유III에 유온을 60℃ 및 100℃의 2종류 온도를 사용하였다. 이때 첨가제는 ZnDTP를 0.5wt%, EP제를 6.0 wt% 첨가하였다. 다음으로는 기유II,III,IV를 사용하여, 유온을 변화시켜 윤활유의 동점성계수를 동일하게 하였고($v=25 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$), 첨가제는 ZnDTP를 0.5wt% 첨가하였다.

비마모량 측정은 그림 3과 같이 일정하중에서 운전한 마모곡선으로 정의하며, 그림에서 보면 마모곡선의 기울기가 스키핑 발생으로 인하여 급한 증가를 보임에 따라서 마모량이 급증하는 것을 알 수 있다. 이 마모곡선의 기울기가 일정한 범위, 즉 약 0.5~5.5 Kg·mm 범위를 비마모량 V_s (mm^2/kg)라고 정의하고, 관계식은 아래와 같은 식으로 나타내었다.

$$V_s = W / NS \text{ [mm}^2/\text{kg]} \quad (1)$$



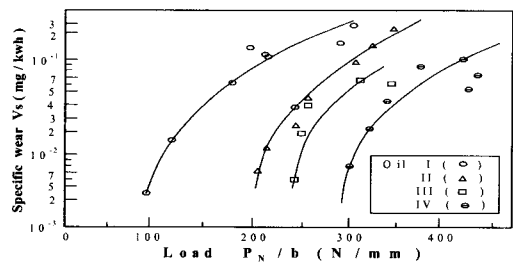
[그림 3] 비마모량 곡선

3. 실험결과 및 고찰

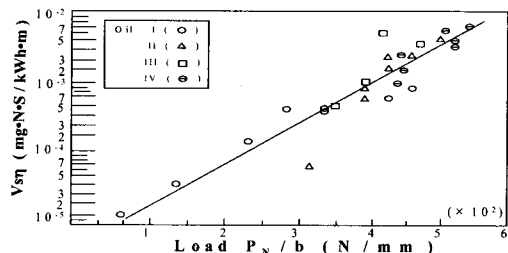
3.1 점도에 따른 비마모량의 영향

그림 4는 윤활유의 점도가 비마모량 V_s (mm^2/kg)에 미치는 영향을 나타내었다. 유온은 60℃이고 기유 I, II, III, IV의 점성계수 η ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)은 각각 4.25, 23.7, 64.4, 121이다. 본 실험은 윤활유속 상태에서의 실험이므로 완전유체 윤활 조건이며 그래프의 실험결과에서 비마모량 V_s 는 점도에 따른 하중 P_N/b 의 증가와 함께 거의 일률적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 기유II와 기유III의 비마모량의 차이는 작지만 기유 I, II, III, IV와 윤활유의 점도가 높아지는 동시에 비마모량은 저하한다. 그러므로 유온이 같아지는 경우에는 윤활유의 점도가 높아질수록 마모량이 작아지는 것을 알 수 있다. 그림 5는 그림 4의 윤활유의 점도가 비마모량에 미치는 영향을 점성계수 η 와 하중과의 관계로 나타내었다. 그림에서 밝혀진 바와 같이 V_s , η 와 P_N/b 는 거의 선형적으로 변화하며, 비마모량과 점도의 곱은 하중의 증가와 함께 직선적으로 증가함을 알 수 있다. 따라서 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$V_s \propto \eta \cdot (P_N/b) \quad (2)$$



[그림 4] 점도에 따른 하중과 비마모량의 영향

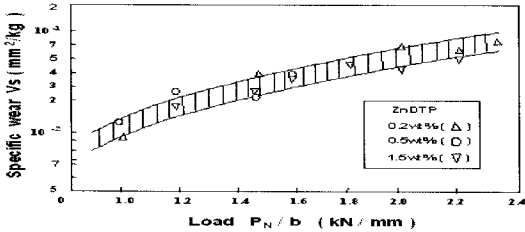


[그림 5] 하중과 점성계수 및 비마모량의 영향

3.2 첨가제에 따른 비마모량의 영향

그림 6은 ZnDTP 마모방지제의 첨가량에 따른 하중과 비마모량과의 관계를 나타내었다. 시험조건은 기유 I 에 온도를 60℃로 일정하게 하고 ZnDTP를 0.2, 0.5, 1.5wt%

씩 첨가하여 변화량을 관찰하였다. 첨가율을 0.2wt% 이상으로 한 이유는 보다 높은 하중의 영역에서 운전하므로 재반 손상발생 방지와 안정된 상태를 유지하기 위함이었다. ZnDTP가 0.2wt%와 0.5wt%에서는 비마모량 Vs의 차이가 거의 없었으나, 1.5wt% 첨가한 경우의 평균치는 사선내의 영역 안에 있지만, 이 영역 내에서도 비마모량은 약간 낮은 값을 나타내고 있다.

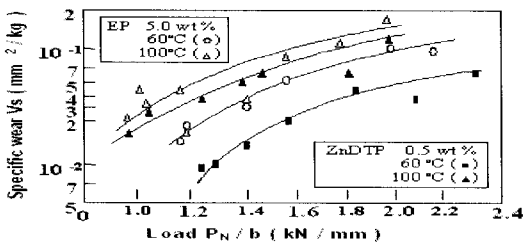


[그림 6] ZnDTP 따른 하중과 비마모량의 영향 (시험조건 ; 온도 : 60℃, 기유 : I)

3.3 온도에 따른 비마모량의 영향

3.3.1 윤활유 일정, 온도 변화에 따른 영향

그림 7은 기유Ⅲ에 ZnDTP와 EP제를 각각 달리 첨가하여 온도에 따른 비마모량에 미치는 영향을 나타내었다. 기유Ⅲ에 ZnDTP를 0.5wt%첨가한 경우에는 100℃에서의 비마모량이 60℃의 경우보다 약 3배 정도 높은 것으로 나타났다. 그리고 EP제 0.5wt%를 첨가하여 60℃와 100℃에서 비교한 것은 ZnDTP 경우보다 그 비마모량의 영향은 크지 않지만, 100℃의 비마모량이 60℃의 경우보다 약 50%정도 높은 것을 알 수 있었다. 이러한 일련의 결과로부터 윤활유의 온도는 비마모량에 아주 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

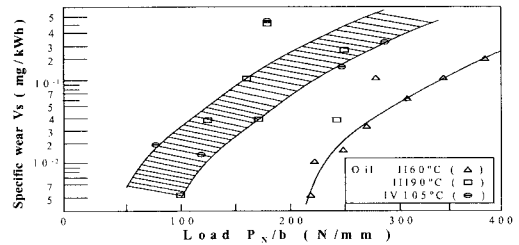


[그림 7] 첨가제 및 온도에 따른 하중과 비마모량의 영향 (시험조건 ; 기유 : Ⅲ)

3.3.2 점도 일정, 온도 변화에 따른 영향

그림 8은 3종류의 윤활유의 점도를 일정하게 하기 위하여 온도를 변화시킨 경우에서 급유온도의 서로다른 비마모량에 미치는 영향을 나타내었다. 동점성계수를 일

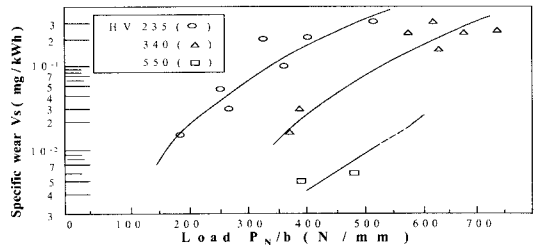
정하게 하고 기유Ⅱ는 60℃, 기유Ⅲ은 90℃, 기유Ⅳ는 105℃에서 실험하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 90℃와 105℃의 경우의 양자의 비마모량은 거의 그림중의 사선의 영역중에 포함되고 있으며 90℃와 105℃의 온도차이가 비마모량에 크게 영향을 미치지 않았다. 그러나, 90℃와 105℃의 비마모량은 60℃의 경우보다 약 20~30정도 크다. 그러므로 위에 나타난 윤활유의 온도만의 요인은 마모량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.



[그림 8] 윤활유 온도에 따른 하중과 비마모량의 영향

3.4 경도에 따른 비마모량의 영향

그림 9는 재료의 경도 Hv가 비마모량 Vs에 미치는 영향을 나타낸다. 유온은 60℃, 기유Ⅲ을 사용하였고 SNC 415 Ra≅1.5μm을 사용하였다. 경도에 따른 비마모량은 하중의 증가와 함께 증가추세를 나타낸다. 그림에서 Hv=340의 경우에는 높은 하중에 의하여 비마모량의 흐트러짐이 다소 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, 경도 Hv가 235, 340, 550과 같이 높아짐에 따라 비마모량은 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 또, Hv=550의 경우에 높은 하중에서 파단이 일어남을 알 수 있다.



[그림 9] 경도에 따른 하중과 비마모량의 영향

4. 결론

상대운동전달면의 표면강도에 있어서 자동차 윤활기유의 점도, 온도, 경도의 변화가 비마모량에 관하여 미치는 영향의 결과는 다음과 같다.

1. 윤활유의 점도는 낮을수록 비마모량에 큰 영향을 미치고, 윤활유의 온도가 일정한 경우에는 점도가 높아지기 이전의 비마모량은 작아지지 않는다.
2. 특정윤활유 기유 I 에서 일정온도하의 ZnDTP(마모방지제) 첨가율에 따른 비마모량의 영향은 작다. 그 중에서도 0.2wt%와 0.5wt%에서는 비마모량 Vs의 차이가 거의 없었으나, 1.5wt% 첨가한 경우의 평균치는 약간 낮은 값을 나타내고 있다.
3. 윤활유의 온도를 60℃에서 100℃로 변화시켰을 때 ZnDTP와 EP제를 첨가한 경우의 비마모량은 ZnDTP가 약 3배, 그리고 EP극압제가 50%정도 상승한다. 따라서 윤활유의 온도는 비마모량에 아주 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또, 상온에서 서로 다른 점도를 가진 윤활유를 사용하여 온도를 변화시켜 점도를 일정하게 한 후 온도만의 영향을 조사한 결과에 의해서도 윤활유의 온도는 비마모량에 극히 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.
4. 재료의 경도가 경한 만큼 비마모량은 감소하지만 경도가 지나치게 높은 경우에는 금속면 간의 절손마모량이 커지므로 이를 고려하여 적당한 경도의 재료를 사용하여 한다.

[12] 灰塚 外, "機論C" Vol.53, No.487, pp.855, 1987

전 찬 열(Chan-Yeal Jeon)

[정회원]



- 1976년 2월 : 한양대학교 기계공학(공학사)
- 1982년 2월 : 단국대학교 기계공학(공학석사)
- 1990년 8월 : 단국대학교 기계공학(공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 중부대학교 자동차관리학과 교수

<관심분야>

CAD/CAM, 열유체, 혈류유동

참고문헌

- [1] 이봉구, "Tribology 개론" 동명사, p.56-158, 2005.
- [2] 木村 . "일본윤활학회 제 30기 춘계발표회 예고집" pp.293-296. 1986.
- [3] 君島, 比護, "潤滑" Vol.27, No.11, pp.59, 1982.
- [4] 오성모, 이봉구, "윤활유 성질이 마모에 미치는 영향(제 1보)" 한국윤활학회지, Vol. 14, No.2, pp.57-62,1998.
- [5] 오성모, 이봉구, "엔진오일의 혼합첨가제에 따른 윤활 특성에 관한연구" 한국윤활학회지, Vol. 11, No.1, pp.50-57, 1995.
- [6] 오성모, "자동차 엔진의 ZnDTP 첨가제 농도에 따른 트라이볼로지 특성" 한국산학기술학회논문지 제8권 제4호 pp.697-702, 2007.
- [7] 有浦 外, "潤滑", Vol.24, No.10, pp.662, 1979.
- [8] 灰塚 外, "機論C" Vol.52, No.483, pp. 2906, 1986.
- [9] D. BRIGGS & M. P. SEAH, "Practical Surface Analysis." John Wiley & Sons,1983.
- [10] ASTM D2625-27 "Measurement of wear properties of Fluid Lubricant."
- [11] ASTM D2625-69 "Standard Test Method for Endurance (wear) Life and Load carrying capacity of Solid Film Lubricants"