

비금속과 금속의 마찰특성에 대한 연구

김정현[#]

Study on Friction Characteristics in Nonmetal between Metal Materials

Jung-Hyun Kim[#]

(Received 8 August 2011; received in revised form 24 October 2011; accepted 6 December 2011)

ABSTRACT

The wear characteristics between nonmetal and metals have been investigated using a disc on disc system. The specimens of nonmetal are made by the nylon and teflon materials. The specimens of the metal are used as eight kinds of along their hardness. The kinds of metals are copper(Hv96), aluminum(Hv186), brass(Hv234), aluminum bronze(Hv294), stainless steel(Hv327), annealing mild steel(Hv345), mild steel(Hv372), Hard steel(Hv434). In this study, a upper and lower specimens have been used the same size and shape. Using experimental data we figured the relationship between friction coefficient of nonmetal and metals. We figured the relationship between friction temperature of nonmetal and metals. The result had been verified a wear characteristics of nonmetal and metals in the wear tests.

Key Words : Nonmetal(비금속), Metal(금속), Wear Characteristics(마모특성), Friction Coefficient(마찰계수), Friction Temperature(마찰온도)

1. 서 론

나일론(Nylon)과 테프론(Teflon)은 비금속재료로 각종 산업용 기계 및 장치의 부품 소재로서 널리 사용되어지고 있다. 일반적으로 나일론은 내마모성, 내열성, 내화성이 좋은 이유로 섬유뿐만 아니라 성형산업에도 널리 이용되고 있다. 특히 사출성형 할 때 질긴 성질과 유동성이 탁월한 최대의 장점을 가졌다. 또한, 열가소성 고분자재료인 나일론은 구형결정구조를 갖는 결정성 고분자로서 마찰계수가 낮고 강인한 특성을 보유

하고 있으므로 기어, 배관용 부품, 각종 자동차 부품 등의 산업용 재료, 그리고 완구와 주방용품에 이르기까지 광범위하게 사용되어진다.

불소수지(PTFE) 화합물인 테프론은 불소와 탄소의 강력한 화학적 결합으로 인해 매우 안정된 화합물을 형성함으로써 거의 완벽한 화학적 비활성 및 내열성, 비 점착성, 우수한 절연 안정성, 낮은 마찰계수 등의 특성들을 가지고 있어 산업분야에서 많이 응용되어져 개스킷, 패킹, 무급유제의 베어링 등에 이용되고 있다. 또 비점착성도 큰 특징으로 프라이팬이나 각종 강관의 코팅재료로 사용되고 있다.

테프론이나, 나일론으로 제작된 각종 기계부품은 비금속과 비금속, 비금속과 금속과의 상대적인 운동

[#] 교신저자 : 경일대학교 기계공학부
E-mail : jhk1775@hanmail.net

을 하는 기구가 많이 있다. 즉, 기어, 패킹, 베어링, 밸브와 펌프의 부품, 자동차 와이퍼 등을 들 수 있다. 금속과 금속의 마찰에 대한 연구들은 많이 이루어져 왔다^[1-4]. 그러나 산업용 플라스틱의 광범위한 용도에도 불구하고 비금속과 금속의 마모에 대한 마찰특성에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 각종 산업용 재료로 널리 사용되는 나일론과 테프론을 중심으로, 8가지의 다른 경도를 가진 금속을 아래시편으로 디스크 온 디스크(disk on disk)^[5-7] 마모시스템을 구축하였다. 본 연구에서는 마모실험을 통하여 마찰계수와 마찰온도를 측정 분석하여 나일론과 테프론의 마모 특성을 규명하고자 한다.

2. 실험 방법

마모 실험을 위한 시편의 재료와 재료의 특성을 Table 1에 나타내었다. 다양한 경도를 가진 재료들의 실험을 위하여 다양한 금속재료들과 열처리한 재료들을 사용하였다. 시편은 비커스 경도(Hv10) 100부근에서 400부근까지 균일하게 분포될 수 있도록 8가지 재료를 선정하였다. 부드러운 재료인 구리(96)^[8] 제작한 시편부터, 알루미늄 시편(186), 황동 시편(234), 알루미늄 청동시편(294), 스테인레스강 시편(327), 500℃에서 어닐링 열처리한 연강시편(345), 연강 시편(372), 경강 시편(434) 등 위, 아래 시편으로 각각 준비하였다. Table 1은 재료들의 경도와 밀도를 나타내었다. 마모시험에 사용한 나일론은 열경화성수지로서 폴리우레탄(polyurethane)을 사용하였으며, 테프론은 대표적인 폴리테트라 플루오르 에틸렌(PTFE)을 사용하였으며, 이

Table 1 Material characterization

구분	Hardness (HV10)	Density (kg/cm ³)	비고	
1	Copper	96	8.81	A
2	Aluminum	186	2.70	B
3	Brass	234	8.25	C
4	Aluminum bronze	294	8.05	D
5	Stainless steel	327	8.03	E
6	Annealing mild steel	345	7.51	F
7	Mild steel	372	7.87	G
8	Hard steel	434	7.93	H

소재는 장시간 사용에 견디는 내열성이 있고 내약품성, 전기절연성, 고주파특성, 비 접착성 등이 특이한 재료이다. 시편은 위 시편과 아래시편의 크기를 같게 제작하였으며, 외경이 31.62mm, 내경이 15.91mm이고, 접촉면적은 586.45mm²이다.



Fig. 1 Schematic diagram of disc on disc configuration for nylon

Fig. 1은 나일론 시편이 장착된 트라이보 머신으로서 디스크 온 디스크 시스템을 나타낸다. ①은 위 시편을 고정하기 위한 지그를 나타내며 축과 연결되어 동력을 전달한다. ②는 위 시편을 나타내고, 동력을 받아서 회전운동을 할 수 있도록 되어 있다. ③은 아래 시편으로서 아래 원형 테이블에 고정되어 있고, 하중장치에 의하여 필요한 하중을 위로 받쳐주는 역할을 한다. 또한 마찰계수를 측정하기 위한 센서가 원형테이블 아래에 장착되어 있어서 마모 실험을 할 때 마찰계수를 측정할 수 있도록 되어 있다. 열전도 대는 아래 시편에 마찰되는 면 아래에 심어져 있으며, 마모 실험을 할 때 마찰열을 측정할 수 있다.

Fig. 2와 3은 나일론과 테프론을 중심으로 한 8가지 시편을 나타낸다. 마모실험조건은 예비실험을 통하여 트라이보 머신의 용량과 시편들의 재질을 고려하여 선정하였다. 특히 접촉조건 중 상대습도와 실내온도는 마모실험에 큰 영향을 미치므로, 마모실험에 미치

는 영향을 배제하기 위하여 실험실내 온도를 20℃, 습도를 65%로 유지하였다. 마모실험 전에 시편의 표면 조도를 일정하게(4.84 μ m) 평면 연삭기로 연마하여 사용하였다.



Fig. 2 Nylon / Metal materials



Fig. 3 Teflon / Metal material

3. 결과 및 고찰

3.1 나일론과 타금속간의 마모

Fig. 4는 나일론(N)을 위 시편으로 하고 경강(H)을 아래시편으로 장착하여 마모속도를 달리하여 100rpm 으로부터 500rpm까지 속도를 달리하여, 각각 30분씩 마모 실험한 마찰계수 값을 평균하여 나타낸 것이다. 나일론은 0.3 이하의 작은 마찰계수 값을 가진다는 것을 알 수 있으며, 마찰속도가 커짐에 따라 점차 감소함을 알 수 있다. Fig. 5는 같은 조건에서 열전대로부터 측정된 마찰온도를 나타낸다. 약 30℃~60℃의 분포를 가지며, 마찰속도가 증가함에 따라 마찰온도는 점차 비례적으로 증가함을 알 수 있다.

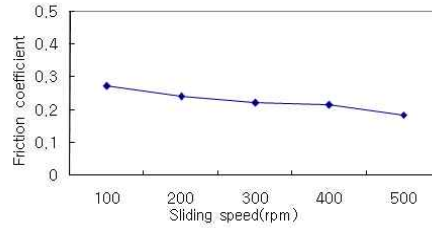


Fig. 4 Friction coefficient according to RPM of N/H

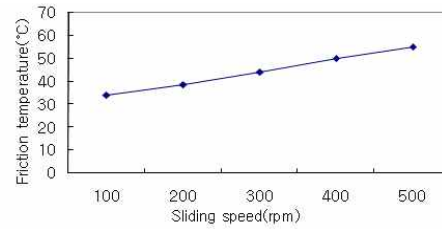


Fig. 5 Friction temperature according to RPM of N/H

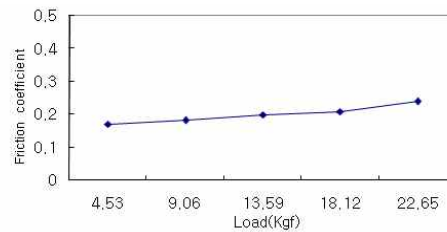


Fig. 6 Friction coefficient according to load of N/H

Fig. 6은 나일론(N)을 위 시편으로 하고 경강(H)을 아래시편으로 장착하여, 아래시편을 하중장치에 의하여 위로 받쳐주는 마모실험에서 하중을 변화(10lb, 20lb, 30lb, 40lb, 50lb)시켜 마모실험을 한 결과이다. 하중이 커질수록 마찰계수는 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

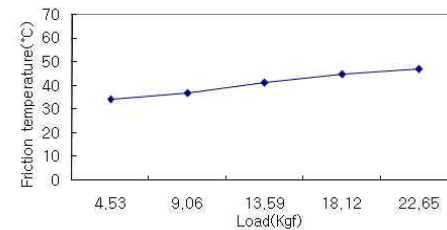


Fig. 7 Friction temperature according to load of N/H

Fig. 7은 Fig. 6과 같은 조건에서 마찰온도를 측정하여 나타낸 그래프이다. 마찰온도도 하중의 증가에 따라 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

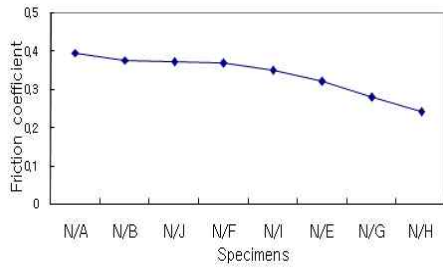


Fig. 8 Friction coefficient according to the other metals and nylon

Fig. 8은 나일론(N)을 위 시편으로 하고, 아래시편으로 구리(A), 알루미늄(B), 황동(C), 알루미늄청동(D), 스테인레스강(E), 어닐링한 연강(F), 연강(G), 경강(H)을 재료의 경도에 따라 마모 실험하여 아래시편의 경도에 따른 마찰계수를 나타내었다. 선행연구에 의하면 파괴 인성처럼 파손저항에 관여하는 유연성 등의 변수들은 마모 역학에 있어 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 왔다^{[1],[5]}.

Fig. 8에서도 아래시편의 경도 값이 증가함에 따라 마찰계수는 점차 감소하는 경향을 알 수 있다. 구리와 나일론 사이의 마찰계수 값은 경강과 나일론 사이의 마찰계수의 약 절반 값을 나타낸다.

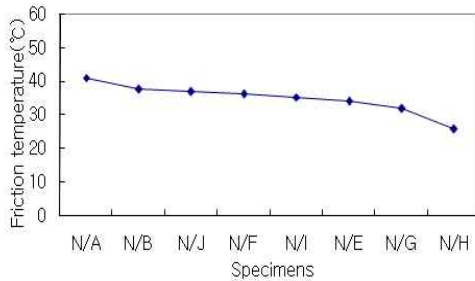


Fig. 9 Friction temperature according to the other metals and nylon

Fig. 9는 Fig. 8과 같은 마모조건에서 실험한 마찰온도를 나타낸다. Fig. 8의 마찰계수와는 반대로 아래시편의 재료경도 값이 증가함에 따라 점차 감소하는 현상을 보였다.

3.2 테프론과 타금속간의 마모

Fig. 10은 테프론(T)을 위 시편으로 하고 경강(H)을 아래시편으로 장착하여 마모속도를 달리하여 100rpm으

로부터 600rpm까지 속도를 달리하여, 각각 30분씩 마모 실험한 마찰계수 값을 평균하여 나타낸 것이다. 여기서 하중은 4.53Kgf(10lb)으로 실험하였고, 마모속도는 12.443Cm S-1(100rpm), 24.886Cm S-1(200rpm)~(600rpm)으로 실험하였다.

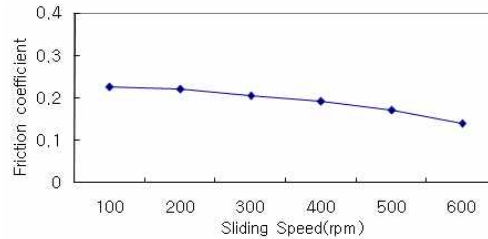


Fig. 10 Friction coefficient according to RPM of T/H

테프론은 0.23 이하의 작은 마찰계수 값을 가진다는 것을 알 수 있으며, Fig. 11은 같은 조건에서 열전대로부터 측정된 마찰온도를 나타낸다. 마찰속도가 커짐에 따라 점차 약 30°C~60°C의 분포를 가지며, 마찰속도가 증가함에 따라 마찰온도는 점차 비례적으로 증가함을 알 수 있다.

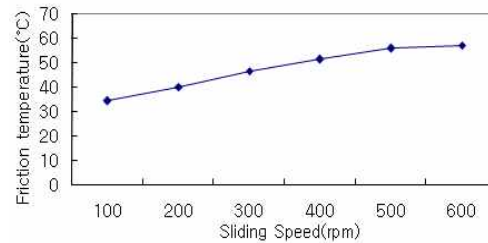


Fig. 11 Friction temperature according to RPM of T/H

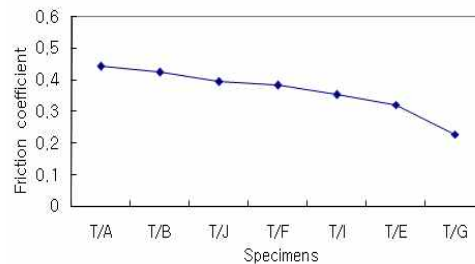


Fig. 12 Friction coefficient according to the other metal and teflon

Fig. 12는 테프론(T)을 위 시편으로 하고, 아래시편으로 구리(A), 알루미늄(B), 황동(C), 알루미늄청동(D),

스테인레스강(E), 어닐링한 연강(F), 연강(G), 경강(H)을 재료의 경도에 따라 마모 실험하여 아래시편의 경도에 따른 마찰계수를 나타내었다. 테프론과 타금속 간의 마찰특성에서 마찰계수를 나타낸 것으로 경도가 가장 낮은 구리가 가장 높게 나타났으며 경도가 가장 높은 경강이 가장 낮게 나타났다. 실험에서 아래시편의 경도가 높을수록 마찰계수가 감소하는 그래프형태로 나타났으며 마찰계수는 0.45~0.23으로 점차 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 13은 테프론(T)을 위 시편으로 하고, 아래시편으로 구리(A), 알루미늄(B), 황동(C), 알루미늄청동(D), 스테인레스강(E), 어닐링한 연강(F), 연강(G), 경강(H)을 재료의 경도에 따라 마모 실험하여 아래시편의 경도에 따른 마찰온도를 나타내었다. 테프론과 타금속 간의 마찰특성에서 마찰온도를 나타낸 것으로 경도가 가장 낮은 구리가 가장 높게 나타났으며 경도가 가장 높은 경강이 가장 낮게 나타났다. 실험결과 경도가 높을수록 마찰온도가 낮아지는 경향의 그래프형태로 나타났으며 이는 48℃~32℃로 점차 감소하는 것으로 나타났다.

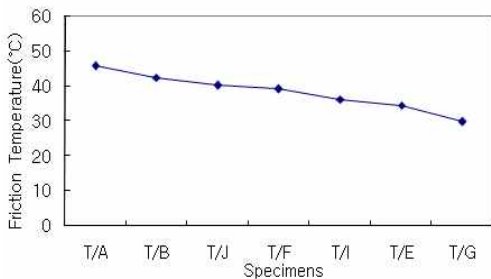


Fig. 13 Friction temperature according to the other metal and teflon

3.3 나일론과 테프론의 비교

3.3.1 마찰속도

Fig. 4와 Fig. 10을 비교하여 보면, 나일론을 시편으로 한 실험에서는 마찰계수의 변화는 0.28에서 0.2로 점차로 감소하였고, 테프론을 시편으로 한 실험에서는 0.23에서 0.18로 점차적으로 감소한 것을 알 수 있다. 또한 마찰온도에서도 Fig. 5와 Fig. 11을 비교해 보면, 나일론을 시편으로 한 실험에서는 34℃~55℃의 변화를 보이면서 점차 마찰온도는 증가하였고, 테프론

을 시편으로 한 실험에서는 35℃~60℃의 변화를 보이면서 점차 마찰온도는 증가하였다. 나일론과 테프론의 마찰실험에서 나타나는 마찰계수의 값은 금속들 간의 마찰계수에 비하여 아주 낮은 것으로 판명되었다.

3.3.2 금속재료의 경도

Fig. 8과 Fig. 12를 비교하여 보면, 마찰계수의 변화는 금속재료의 경도에 따라 8가지 시편과 나일론시편으로 각각 실험한 마찰계수의 변화는 0.4에서 0.25로 점차로 감소하였고, 테프론을 시편으로 한 실험에서는 0.45에서 0.23으로 점차적으로 감소한 것을 알 수 있다. 또한 마찰온도에서도 Fig. 9와 Fig.13을 비교해 보면, 나일론을 시편으로 한 실험에서는 40℃~25℃의 변화를 보이면서 점차 마찰온도는 감소하였고, 테프론을 시편으로 한 실험에서는 48℃~30℃의 변화를 보이면서 점차 마찰온도는 감소하였다. 나일론이나 테프론의 마찰실험에서 나타나는 금속재료의 경도에 따른 마찰계수의 값은 나일론과 테프론이 대동소이하게 나타났다. 마찰온도의 값은 나일론을 시편으로 한 실험보다 테프론을 시편으로 한 온도가 높은 것은 역시 테프론의 경도가 나일론의 경도보다 큰 것으로 사료된다.

4. 결론

경도가 다른 8가지의 금속시편재료와 비금속재료인 나일론과 테프론을 사용하여 마모실험을 한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 비금속재료인 나일론과 테프론의 마찰계수는 금속재료의 마찰계수보다 현저히 낮음을 알 수 있었다.
2. 마찰속도가 클수록 마찰계수는 낮아지고 마찰온도는 증가하였다.
3. 금속재료의 경도가 증가 할수록 마찰계수와 마찰온도는 감소한다.
4. 테프론이 나일론보다 마찰계수는 낮고, 마찰온도는 높게 나타났다. 이는 두 재료의 특성으로 사료된다.

참고문헌

1. Bian, S. Maj, S. and Borland, D. W., "The unlubricated sliding wear of steels: the role of the hardness of the friction pair", *Wear*, Vol. 166, pp. 1-5, 1993.
2. Rigney, D. A., "The roles of hardness in the sliding behavior of materials", *Wear*, Vol. 175, pp. 63-69, 1994.
3. So, H., "Characteristics of wear results tested by pin-on-disc at moderate to high speeds", *Tribology international* Vol. 29, pp. 415-423, 1996.
4. Borland, D. W., Bian, S., "Unlubricated sliding wear of steels: towards an alternative wear equation", *Wear*, Vol. 209, pp. 171-178, 1997.
5. Kim, J. H., "A dry wear behavior as hardness difference in a dual disc on disc sliding wear tests", *Journal of the Korean Society Precision Engineering*, Vol. 13, No. 5, pp. 16-23, 2004.
6. Kim, J. H., "Development of wear equation according to friction coefficient and temperature using a dual leaf-spring in the sliding test", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 5, No. 15, pp. 19-26, 2006.
7. Kim, J. H., "Wear behavior as hardness difference of material in the dry sliding wear tests of using leaf-spring", *Journal of the Korean Society Precision Engineering*, Vol. 17, No. 3, pp. 27-33, 2008.
8. Krause, H., and Tackenberg, W., "The influence of hardness difference on the frictional and wear behaviour of steel/copper alloy pairs in plane sliding friction under mixed friction conditions", *Wear*, Vol. 64, pp. 291-302, 1980.
9. Kim, J. H., "A Study of Friction Characteristics in Nonmetal between Metal", *Proceedings of the KSMPE Autumn Conference*, pp. 263-268, 2007.