

나일론과 폴리아세탈의 왕복동 마찰마멸특성에 관한 고찰

김충현*, 안효석*, 정태형**

(1999년 6월 24일 접수)

Reciprocating Sliding Wear of Nylon and Polyacetal Against Steel

Choong Hyun Kim, Hyo-Sok Ahn, and Tae Hyong Chong

Key Words: Friction(마찰), Wear(마멸), Reciprocating Sliding(왕복동 미끄럼), Nylon(나일론), Polyacetal(폴리아세탈), PTFE(PolyTetraFluoroEthylene)

Abstract

Nylon, Polyacetal and PTFE were studied to gain a better understanding of their tribological behavior. Wear tests were conducted with reciprocating motion under dry sliding conditions. Friction coefficient and specific wear rate were measured as a function of sliding distance. The worn surfaces were examined with a Scanning Electron Microscope(SEM). Polyacetal showed lowest specific wear rates and PTFE exhibited lowest friction coefficient. The dominant wear mechanism found were adhesion and abrasion.

1. 서 론

나일론, 폴리아세탈, 그리고 PTFE 등의 공업용 플라스틱(engineering plastics)은 각종 산업용 기계 및 장치의 부품 소재로서 널리 사용된다.

열가소성 고분자재료인 나일론과 폴리아세탈은 구형결정구조(spherulitic structure)를 갖는 결정성 고분자로서, 마찰계수가 낮고 강인한 특성을 보유하고 있으므로 기어, 배관용 부품, 자동차 부품, 그리고 완구류 등의 재료로 사용된다.⁽¹⁾

불소원자를 포함하는 PTFE⁽²⁾는 부분적으로 결정성 구조를 갖는 저강도 소재이며 고온특성 및 내화학성이 우수할 뿐만 아니라 마찰계수가 현저히 낮으므로 가정용 프라이팬의 코팅재, 각종 이화학기기의 가공재료, 자동차엔진오일의 첨가제 등으로 사용된다. 이를 공업용 플라스틱의 광범위한 용도에 부응하여 해당재질의 마찰마멸특성

에 대한 연구는 지속적으로 다양한 분야에 걸쳐서 이루어지고 있다.^(2~6,8~12)

본 연구에서는 기어(gear), 캠(cam) 등과 같은 동력전달용 부품소재로서 널리 사용되는 나일론, 폴리아세탈의 마찰마멸특성을 파악하고, 이를 PTFE와 비교평가하기 위하여 왕복동 마찰마멸 실험장치를 이용한 실험연구를 수행하였다.

2. 실험연구

2.1 실험장치

본 연구에서는 Fig. 1에 보인 것과 같은 왕복동 마찰마멸 실험장치(Plint & Partners Ltd., TE77)을 사용하여 실험을 수행하였다. 이 실험장치는 플레이트와 디스크로 구성되는 한 쌍의 시편 사이에 상대운동을 발생시켜 마찰마멸 실험을 수행할 수 있도록 한 것이다. 즉, 아래쪽의 플레이트 시편을 고정시킨 후 위쪽의 디스크 시편에 원추형 홈을 파고 여기에 지지대를 연결하여 부하를 작용시킨 후 이 지지대와 연결된 편심축을 회전시킴으로써 시편 사이에 상대운동을 일으키게 한 것이다.

* 회원, 한국과학기술연구원 트라이볼로지연구센터
E-mail : chkim@kistmail.kist.re.kr

TEL : (02)958-5668 FAX : (02)958-5659

** 회원, 한양대학교 대학원 기계설계학과

*** 회원, 한양대학교 기계공학부

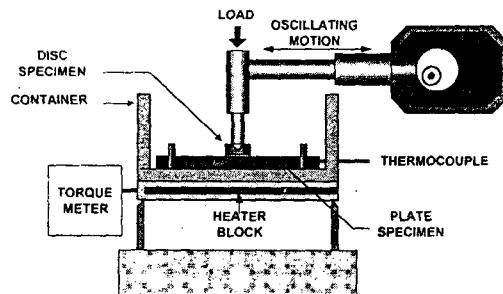


Fig. 1 Schematic view of the test rig

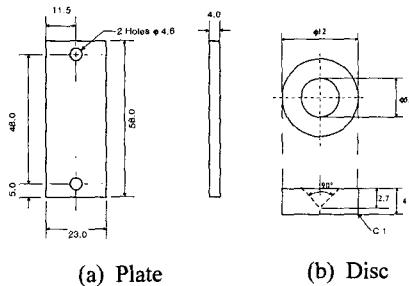


Fig. 2 Test specimens

시편 사이의 미끄럼마찰 속도(이하 진동수)는 DC모터의 회전속도를 제어함으로써 임의로 조절 할 수 있다.

2.2 시편제작

플레이트 재료로는 나일론, 폴리아세탈, 그리고 PTFE의 세 가지, 디스크는 SM45C를 각각 사용하여 제작하였으며, 각 시편의 제원은 Fig. 2에 나타내었다.

실험을 수행할 때 마찰면의 조건을 일정하게 하기 위하여 플레이트 시편과 디스크 시편 표면은 사포(#320)로 연마하여 마무리가공을 수행하였다. 플레이트 시편들의 재질특성은 Table 1에 나타내었으며, 이때 인장강도 측정시 하중속도는 10mm/min로 하였다. 단, 디스크 시편(SM45C)은 연마 후 표면거칠기(R_a)를 측정해 본 결과 $0.10 \mu\text{m}$ 의 평균값을 보였다.

표면연마를 거친 후 플레이트 시편은 에틸알코올, 디스크 시편은 아세톤에 각각 담가 초음파 세척기를 이용하여 세척하고 건조기에서 40°C 로 24시간 동안 건조시킨 후 실험에 사용하였다.

Table 1 Properties of plate specimens

Properties	Materials	Nylon	Polyacetal	PTFE
Specific Weight		1.39	1.63	2.45
Tensile strength [MPa]		62	65	-
Surface roughness, $R_a[\mu\text{m}]$		1.05	0.86	1.34

Table 2 Test conditions

Applied load	29N(0.25MPa), 57N(0.5MPa), 85N(0.75MPa)
Sliding distance [m]	200, 400, 600, 800, 1000
Sliding stroke [mm]	15
Sliding frequency [Hz]	10
Environment	Air
Temperature	Room temperature
Humidity	35 ~ 55%

2.3 마찰마멸실험

실험조건은 Table 2에 나타내었다.

실험은 플레이트 재질과 미끄럼 거리, 그리고 하중값 등을 변화시키면서 수행하였으며 총 45세트의 실험을 구성하였다.

온도의 영향을 크게 받는 고분자재료의 특성을 고려하여 각각의 실험세트는 매번 새로운 시편을 사용하였고 각 세트마다 3차례에 걸쳐서 동일한 실험을 반복하였다.

컴퓨터를 이용한 실험자료 획득장치(data acquisition system)을 구성하여 실험이 수행되는 동안 마찰계수의 변화를 관찰, 기록하며 변화추이를 살펴보았다. 한편, 마찰면의 온도변화는 열전대를 플레이트와 콘테이너 사이(Fig. 2참조)에 끼워 넣어 측정하였으나 플레이트 시편의 열전도율(thermal conductivity)가 낮은 관계로 마찰면의 온도를 제대로 측정할 수 없었다. 따라서, 열전도율이 높은 디스크 시편과 직접 접촉하는 하중 지지대에 열전대를 연결한 후 온도변화를 관찰하였다. 그러나, 측정된 온도값은 마찰면의 실제 온도값이 아니므로 실험결과 분석을 위한 참고자료로만 활용하였다.

2.4 마찰특성 및 마멸기구 평가

실험이 진행되는 동안 마찰계수 및 마찰면의 변화를 동시에 관찰하였다.

실험 직전과 실험수행 직후에 플레이트 시편과 디스크 시편의 중량을 측정하여 마멸량을 계측하

였고, SEM을 이용하여 마찰면을 관찰하였으며 마찰계수값, 비마멸량(specific wear rate) 등을 바탕으로 하여 나일론, 폴리아세탈, 그리고 PTFE의 마찰특성을 비교하고 그 마멸기구를 파악하고자 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 마찰계수의 변화

실험을 통하여 얻은 마찰계수값의 변화를 Fig. 3에 도시하였다. Fig. 3 (a), (b), 그리고 (c)는 작용하중이 각각 85N, 57N, 그리고 29N인 경우의 대표적인 마찰계수값을 나타낸 것이다. 전체적으로 볼 때 작용 하중값이 낮을수록 평균적인 마찰계수값은 증가하였을 뿐만 아니라 마찰계수 변동폭이 증가하는 것으로 관찰되었다. 이것은 플레이트와 디스크 사이의 마찰력과 작용하중 사이의 힘의 불균형에서 기인된 것으로 판단되며, 이러한 사실로부터 작용하중 감소율보다 마찰력의 감소율이 상대적으로 작다는 것을 알 수 있다.

나일론의 경우, 모든 하중값에 대하여 실험 시작 후 약 1분 이내에 마찰면이 매끄럽고 반짝이는 거울면(mirror surface)을 형성하는 것을 관찰할 수 있었고 초기 길들이기(break-in) 과정 이후에도 마찰계수의 변화가 폴리아세탈이나 PTFE에 비하여 크게 나타났으며 전체 실험시간을 통하여 다른 재료보다 상대적으로 높은 마찰계수를 나타내었다. 거울면의 형성은 마찰부위의 일부 나일론 재질이 마찰열에 의하여 녹으면서 점성을 가진 상태에서 디스크와의 마찰로 표면이 매끄럽게 놀려지는 현상으로 파악되며, 이것은 나일론의 내열성이 폴리아세탈이나 PTFE보다 상대적으로 낮은 것에서 기인하는 것으로 판단된다.⁽¹⁾

실험이 진행됨에 따라 나일론의 마찰면은 전부 마찰열로 인하여 고온에 노출되고 탄화되면서 흑갈색으로 변하였다. 작용하중이 85N과 57N인 경우 실험도중 마찰계수가 순간적으로 0.7~0.8정도 까지 불연속적으로 급상승함과 동시에 측정 온도 값도 상승하는 현상을 관찰할 수 있었다.

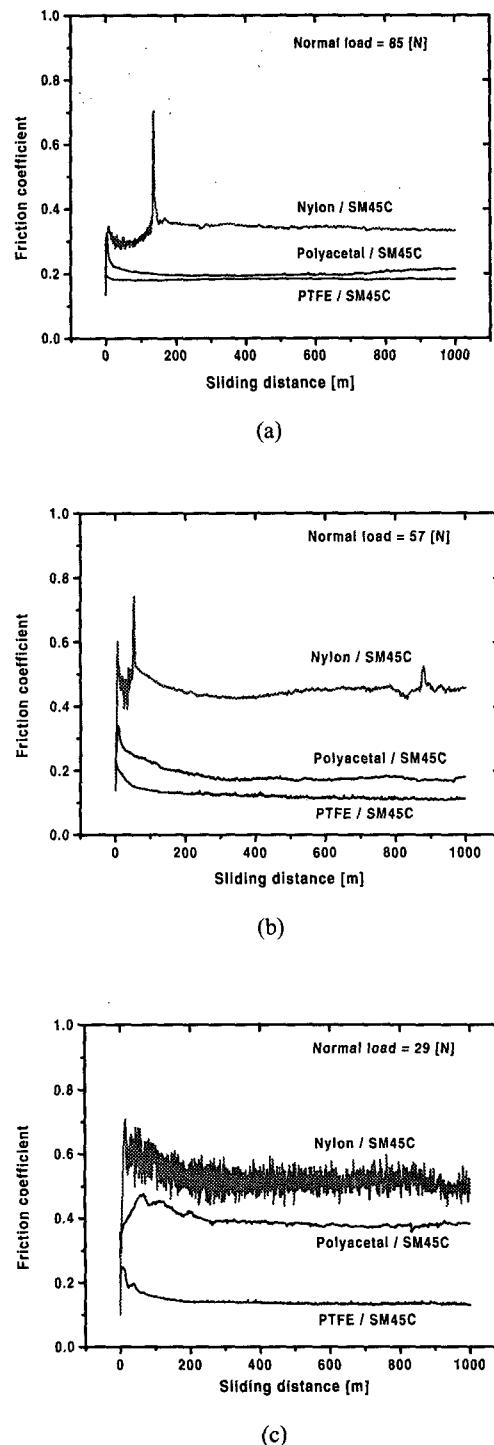


Fig. 3 Variation of the coefficient of friction for various load with sliding distance

마찰계수와 측정 온도값이 동시에 상승하는 것을 볼 때 이러한 마찰계수의 급격한 상승은 마찰열에 의한 것으로서 마찰면의 온도가 나일론의 용융온도에 도달하였기 때문일 것이다. 즉, 고온에 노출된 나일론재료가 마찰면 전체에 걸쳐서 순간적으로 용융됨으로써 고분자구조가 와해, 이 탈하여 상대면인 디스크표면에 순간적으로 응착되면서 마찰계수가 급상승하고 뒤이어 작용하는 하중에 의하여 떨어져 나가는 stick-slip 현상이 발생한 것으로 판단된다.^(2,3) 실험 후 상대면인 디스크 표면을 관찰해보면(Fig. 7 (a), (b) 참조) 플레이트의 나일론재질이 디스크표면에 전이되어 있는 점이 이러한 사실을 뒷받침하고 있다.

Fig. 3(c)에서 하중이 29N인 경우에 나일론의 마찰계수값이 실험구간 전체에 걸쳐서 큰 진폭으로 변화하는 것을 볼 수 있는 데 이것은 나일론이 용융되면서 발생한 불균일한 마찰력이 작용하중과 균형을 이루지 못하고 심한 변동을 일으키기 때문일 것으로 판단된다.

Fig. 3 (a), (b) 그리고 (c)를 보면 폴리아세탈의 경우 실험시작 후 미끄럼 거리가 200m에 이르기 까지 약간의 변동을 보이며 점차 감소한 후 대체적으로 일정한 수준을 유지하고 있음을 알 수 있다. 이 때 마찰계수값은 작용하중이 85N과 57N인 경우에는 초기과정을 제외하면 0.2~0.25의 범위에 걸쳐서 분포하였으며, 작용하중이 29N인 경우에는 0.4 정도로 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 마찰계수의 상승은 폴리아세탈과 금속 시편 사이의 응착현상으로 발생한 불균일한 마찰력을 이겨낼 만큼 큰 하중이 작용하지 못하였기 때문이라고 판단된다.

PTFE는 실험 전 과정에 걸쳐서 거의 일정한 마찰계수를 나타내었으며 마찰계수값도 0.2이하로서 나일론이나 폴리아세탈보다 훨씬 낮은 값을 보였다. PTFE의 경우 실험이 진행됨에 따라 마찰면에서는 두께가 매우 얇고 지름이 10mm 정도에 이르는 판상(板狀)형태의 마멸입자가 생성되는 것을 볼 수 있었다. 또한, PTFE의 경우 다른 재질의 플레이트를 이용한 실험과 비교해 볼 때 작용하중의 변동에 따른 마찰계수의 변화폭이 상대적으로 매우 작았다. 이러한 실험결과는 PTFE가 방향성이 있는 선형분자구조와^(2,3) 전단력에 약한 특성을 가지고 있기 때문이다. 즉, 마찰력이 작용하면 마찰부위의 재료가 모재로부터 판상형태로

서 쉽게 이탈하여 마멸되고, 이로 인하여 마찰계수가 낮게 나타나기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 마멸량의 변화

3.2.1 재질에 따른 비마멸량

플레이트 재질에 따른 비마멸량(specific wear rate)의 변화를 Fig. 4에 도시하였다. 비마멸량은 질량으로 측정한 플레이트재질의 마멸량을 밀도값으로 나누어 부피단위의 체적마멸량(wear volume)으로 바꾼 후 이 체적마멸량값을 미끄럼거리로 나누어 준 것으로서 단위는 [mm³/m]이다.

Fig. 4 (a)의 나일론의 경우, 폴리아세탈과 PTFE에 비하여 플레이트 시편의 초기 마멸현상이 두드러지게 나타났다. 이것은 Fig. 3의 마찰계수값의 변화에서 고찰한 바와 같이 미끄럼거리가 200m에 도달하기 훨씬 전에 마찰열로 인하여 고분자구조가 와해되면서 마멸되기 때문인 것으로 판단된다. 초기마멸 이후로 비마멸량은 거의 일정하게 감소하는 경향을 보이다가 미끄럼거리 800m정도부터 약간 증가하였다.

Fig. 4 (b)의 폴리아세탈은 하중이 85N일 때의 초기 길들이기 과정을 제외하면 세 가지 재료 중에서 가장 작은 비마멸량을 나타내었다. 나일론과 마찬가지로 초기에 마멸이 많은 특징을 보였다. 즉, 실험시작 후 미끄럼 거리가 200m에 이르기 전에 짧고 굵은 막대모양의 마멸입자가 다량으로 발생하였으며 이후로 비마멸량이 계속 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 4 (c)를 보면 PTFE는 실험 전 과정에 걸쳐서 지속적으로 마멸이 이루어지는 것으로 나타났다. 이러한 사실은 플레이트의 재질이 판상형태로 계속하여 이탈하는 것을 육안으로 관찰한 것과 일치하며, 이것은 전단력에 약한 PTFE의 분자구조가 실험초기부터 계속하여 하중의 영향을 받아 일정시간 이후에 와해되면서 지속적으로 파손되었기 때문인 것으로 판단된다.

작용하중이 85N, 57N인 경우에는 미끄럼 거리가 600m에 도달하였을 때, 하중이 29N인 경우에는 미끄럼 거리가 800m일 때 가장 큰 비마멸량을 보임으로써 하중이 클수록 비마멸량의 증가속도가 크다는 것을 알 수 있었다. 또한, 작용하중의 감소에 따른 비마멸량의 변화율이 Fig. 4의 세 가지 재료 중에서 가장 작았다.

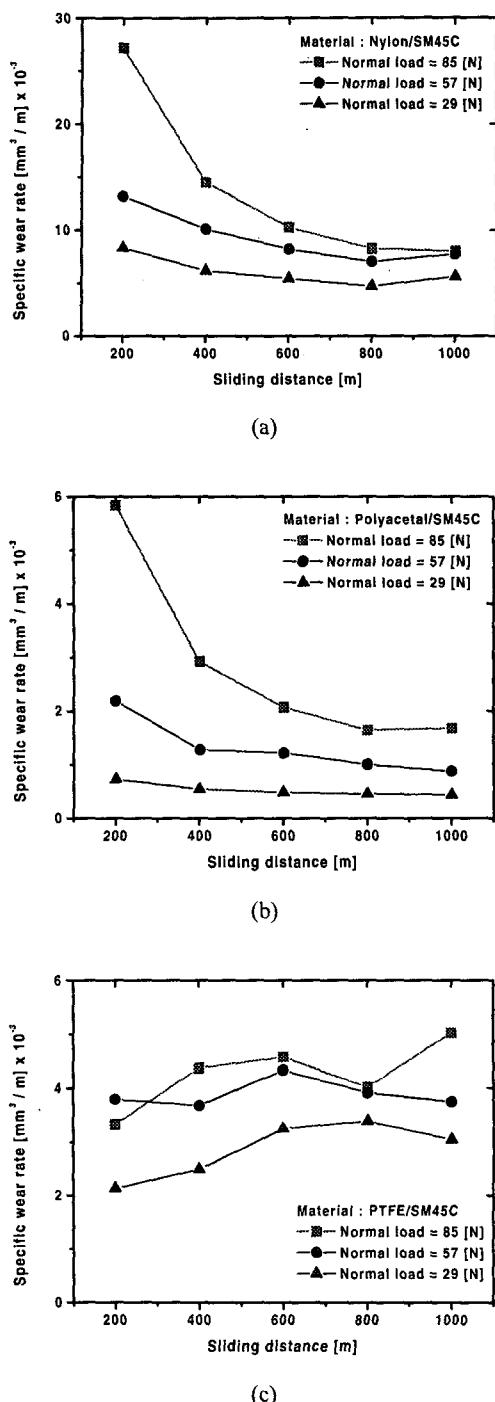


Fig. 4 Variation of the specific wear rates for various material with sliding distance

3.2.2 하중에 따른 비마멸량

실험을 통하여 얻은 하중에 따른 비마멸량의 변화를 Fig. 5에 도시하였다.

Fig. 5을 살펴보면 작용하중과 상관없이 재질에 따른 마멸특성은 거의 흡사하였으며, 하중값이 85N인 경우에는 비마멸량이 다른 하중값에 비하여 2~5배에 이를 정도로 크게 나타났다.

Fig. 5(a), (b), (c)를 비교해 보면 나일론과 폴리아세탈의 경우 초기마멸량이 크고 이후로 일정한 추세로 감소하는 특징을 보였다. 특히, 나일론은 초기마멸량이 다른 재료에 비하여 3~9배 정도로 뿐만 아니라 Fig. 5 (c)에 보인 것처럼 작용하중이 29N으로 감소하였을 때에도 여전히 다른 재료에 비하여 비마멸량이 상대적으로 큰 값을 보였다. 이러한 사실은 동일한 하중이 작용하는 경우 내열특성에서 열세에 있는⁽¹⁾ 나일론의 마멸이 상대적으로 크다는 것을 말해 준다.

한편, PTFE는 작용하중이 85N과 57N인 경우 초기마멸 발생 이후 마찰횟수가 증가함에 따라 점차 비마멸량이 증가하는 경향을 보였다. 하중이 29N인 경우에는 육안 관찰 결과를 보면 PTFE 플레이트 표면의 마찰흔적은 다른 하중에 대한 실험결과와 비교하여 볼 때 마찰 폭이 1/2이하에 불과하였을 뿐만 아니라 패인 자국의 깊이도 매우 얕게 나타난 것을 보아 PTFE의 선형분자구조를 크게 파손시킬만한 외력이 작용하지 않은 것으로 판단된다.

3.3 SEM을 이용한 마찰면의 관찰

Fig. 6은 작용하중이 85N일 때 미끄럼 거리 1000m인 실험을 수행한 후 플레이트 시편의 마찰면을 SEM으로 관찰한 결과이다.

Fig. 6의 (a), (b), (c), (d)는 나일론, (e), (f)는 폴리아세탈, 그리고 (g), (h)는 PTFE재질의 플레이트 시편의 마찰면 사진이다.

Fig. 6 (a)의 나일론 마찰면을 Fig. 6 (e)의 폴리아세탈, (g)의 PTFE의 마찰면과 비교하여 볼 때 모재로부터 이탈된 마멸입자의 양이 상대적으로 많을 뿐만 아니라 마멸입자의 길이가 상대적으로 길게 꼬여 있는 특징을 볼 수 있다.

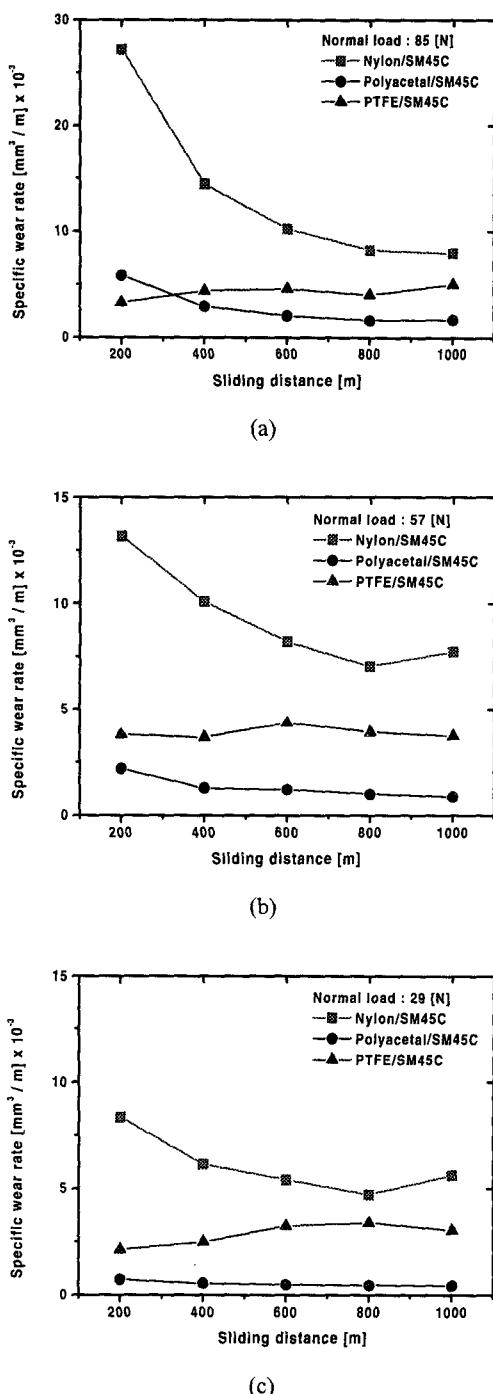


Fig. 5 Variation of the specific wear rates for various load with sliding distance

이에 비하여 Fig. 6 (e)의 폴리아세탈 마찰면은 나일론에 비하여 마찰면이 비교적 매끄러운 것을 알 수 있으며, Fig. 6 (g)의 PTFE 플레이트 표면은 마찰흔적이 매우 적고 놀려진 듯한 매끈한 표면을 나타내고 있다. 이러한 마찰면들을 비교해 볼 때 나일론은 폴리아세탈에 비하여 상대적으로 강도가 낮은 연약한 재질로서 마찰력에 의하여 쉽게 재질이 모재로부터 이탈되어 마멸되는 것을 알 수 있다.

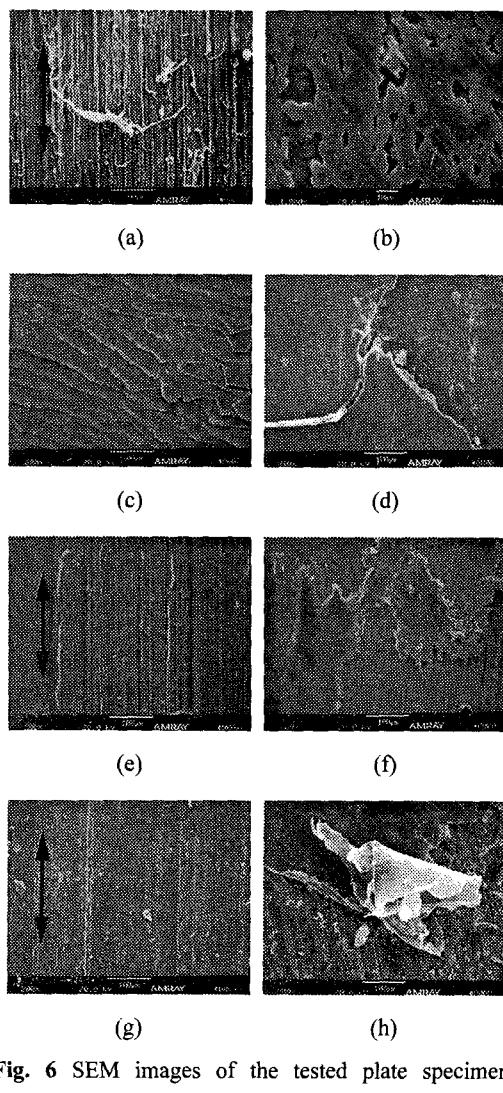


Fig. 6 SEM images of the tested plate specimens
 (a),(b),(c),(d) - Nylon, (e),(f) - Polyacetal,
 (g),(h) - PTFE
 : the arrow denotes sliding direction,
 normal load 85N, sliding distance 1000m

Fig. 6 (b), (c)는 나일론의 마찰면을 확대한 것으로서 (b)는 나일론이 마찰열에 의하여 용융, 냉각된 후 계속되는 마찰작용에 의하여 깎여나간 평坦한 마찰면을 볼 수 있다. 또한, 일정한 방향으로 패여나간 마찰흔이 보이는 데 이것은 열화된 나일론 표면과 디스크 사이에 외부로부터 유입된 경도가 큰 물질이나 경화된 마멸입자의 마찰작용에 의하여 긁힌 흔적으로 판단된다. Fig. 6 (c)의 나일론 표면은 마찰열에 의하여 용융되어 유동성이 발생한 나일론 표면이 마찰력의 영향을 받아 물결무늬를 이루며 밀려나간 후 계속되는 마찰작용으로 인하여 돌출부가 연삭되어 물결모양을 이룬 것으로 추측된다. Fig. 6 (d)는 나일론 마찰면에 균열이 발생한 것으로서 이것은 나일론이 용융, 냉각된 후 하중의 작용에 의하여 균열이 형성된 것으로 보여진다. 이를 SEM 사진을 통하여 내열성이 떨어지는 나일론이 마찰열에 의하여 고온에 노출될 경우 열화되면서 기계적 특성이 감소함으로써 마멸이 비교적 빠른 시간 내에 이루어지는 것으로 판단된다.

Fig. 6 (f)의 폴리아세탈 마찰면을 살펴보면 짧게 잘려나간 폴리아세탈 재질이 뭉쳐져 있는 것을 볼 수 있으며, 이로부터 폴리아세탈은 취성이 비교적 큰 재료일 것으로 판단된다. 인장강도 측정시 폴리아세탈은 나일론에 비하여 신장량이 매우 작았다는 점이 이를 뒷받침한다. 따라서, 나일론에 비하여 상대적으로 내열성이 우수하고 강도가 큰 특성을⁽¹⁾ 가지는 폴리아세탈은 동일한 실험조건하에서 나일론처럼 용융되기보다는 잘게 부수어지는 것으로 판단된다.

또한, Fig. 6 (h)의 PTFE 마찰면의 경계부분에서 얇게 박리된 PTFE 재질이 말려 올라간 상태로 붙어 있는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 현상은 전술한 바와 같이 전단력에 약한 PTFE 재질이 마찰면에서 판상형태로 이탈되기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 7은 작용하중이 85N일 때 미끄럼 거리 1000m인 실험을 수행한 후 디스크 시편의 마찰면을 SEM으로 관찰한 것으로서 Fig. 7 (a), (b)는 나일론, (c), (d)는 폴리아세탈과 각각 쌍을 이루었던 디스크 표면 사진이다.

Fig. 7 (a)의 우측에 검은 색으로 나타난 면이 디스크로 전이된 나일론 플레이트재질로서 나일론이 용융된 후 상대면인 디스크 표면으로 전이

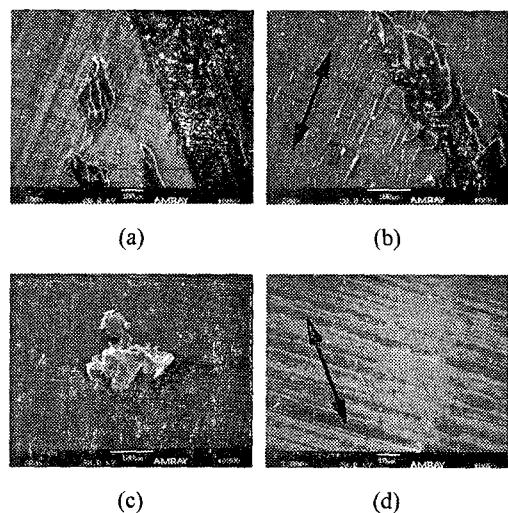


Fig. 7 SEM images of the tested disc specimens
(a),(b) - Nylon, (c),(d) - Polyacetal
: the arrow denotes sliding direction,
normal load 85N, sliding distance 1000m

된 것을 알 수 있으며 표면에서는 마찰흔이 관찰되었다. 사진 중앙의 전이된 나일론 표면에서는 크랙이 생겨난 것을 볼 수 있는데 이것은 용융, 전이된 나일론이 냉각된 후 하중의 작용을 받아 피로파괴를 일으키고 있는 것으로 판단된다. Fig. 7 (b)는 Fig. 7 (a)의 중앙하단부를 확대한 것으로서 검은 색 화살표는 미끄럼방향(sliding direction)을 나타낸 것이다. Fig. 7 (b)를 보면 미끄럼방향으로 점점이 이어지면서 디스크 표면에 나일론이 전이되어 있음을 확실하게 알 수 있었다. 이 때 미끄럼방향에 수직한 방향으로 나타난 흔적은 표면조건을 일정하게 위하여 실험 전에 사포(#320)로 연삭한 흔적이다.

Fig. 7(c), (d)는 폴리아세탈과 쌍을 이루었던 디스크의 마찰면으로서 (c)에서는 디스크로 전이된 폴리아세탈 마멸입자를 볼 수 있는데 플레이트 마찰면에서 관찰된 것처럼 짧게 잘려나간 폴리아세탈 재질이 뭉쳐져 있는 것을 볼 수 있다. Fig. 7 (d)는 배율을 1,000배로 높여서 관찰한 것으로서 역시 사진에 표시한 검은색 화살표는 미끄럼방향을 나타낸다. Fig. 7 (d)의 중앙부에서는 사포로 마무리가 공한 디스크 표면이 미끄럼방향으로 깎여 나간 흔적을 볼 수 있는데, 이러한 마멸흔적은 육안으로도 관찰할 수 있었다. 폴리아세탈

플레이트를 이용한 실험의 경우 이러한 디스크 표면의 흡집이 매 실험마다 관찰되는 것으로 볼 때 외부로부터의 이물질 개입에 의한 것이 아니라 마찰면에서 이탈된 폴리아세탈입자가 경화된 후 마찰면과 디스크 사이에 끼여들면서 디스크 표면이 연삭되는 것으로 판단된다. 디스크재질인 SM45C는 경도값이 HB = 163~269로서⁽⁷⁾ 기계구 조용 탄소강재 중에서 비교적 경도가 높다는 점을 감안하면 경화된 폴리아세탈 마멸입자의 경도는 매우 클 것으로 추측된다.

4. 결 론

SM45C 재질의 디스크 시편과 나일론, 폴리아세탈, 그리고 PTFE 재질의 플레이트 시편을 이용한 왕복동 마찰마멸실험을 통하여 전술한 실험조건 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 마찰계수값은 작용하중과 상관없이 나일론>폴리아세탈>PTFE의 순으로 작게 나타났다. 나일론은 마찰열에 의한 재질의 stick-slip 현상^(2,3)으로 인하여 마찰계수가 크게 나타난 것으로 판단되며, 전단력에 약한 PTFE는 마찰에 의하여 표면재질이 쉽게 박리되면서 마찰계수가 가장 작게 나타났다.

(2) 비마멸량은 전체적으로 볼 때 폴리아세탈이 가장 작았다. 가장 큰 마멸량을 보인 나일론의 경우에는 초기에 대부분의 마멸이 이루어진 후 일정한 감소세를 보였고, PTFE는 실험 전구간에 걸쳐서 비교적 일정하게 마멸이 이루어지는 것을 알 수 있었다.

(3) SEM을 이용한 마찰면의 관찰 결과 나일론은 마찰열에 의하여 용융, 냉각과정을 거치면서 열화되어 기계적 강도가 감소함으로써 마멸이 쉽게 진행되는 것으로 판단된다. 따라서, 나일론의 경우 폴리아세탈이나 PTFE에 비하여 내열성이 뒤떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

(4) 기계요소 재료로서의 활용 측면을 고려하여 이상과 같은 실험결과를 종합해 볼 때 전술한 실험조건 내에서 폴리아세탈이 나일론보다 더 우수한 마찰마멸 특성을 보유하고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) 이기만, 정동천, 1992, *플라스틱 해설과 물성집*, 한국플라스틱기술정보.
- (2) Schönherr, H. and Vancso, G. J., 1998, "The Mechanism of PTFE and PE Friction Deposition," *Polymer*, Vol. 39, No. 23, pp. 5705~5709.
- (3) Tanaka K., Uchiyama, Y., and Toyooka, S., 1973, "The Mechanism of Wear of Polytetrafluoroethylene," *Wear*, Vol. 23, pp. 153.
- (4) Clerico, M., 1980, "Tribological Behaviour of Polyacetals," *Wear*, Vol. 64, pp. 259.
- (5) Kang, T., Kim, Y. Cho, W., and Ha, C., 1997, "Effects of Amorphous Nylon on the Properties of Nylon," *Polymer Testing*, Vol. 16, pp. 391~401.
- (6) Bai, M., Xue, Q. and Guo, H., 1996, "Reciprocal Sliding Wear of SiC Particle-reinforced Al-Cu Aluminium Matrix Composites against Stainless Steel, High Speed Tool Steel and Ceramics II. Wear Mechanisms," *Wear*, Vol. 194, pp. 126~136.
- (7) 小栗達男, 1990, *기계설계도표편람*, 대광서림.
- (8) Pleskachevsky, Yu. M., Smurugov, V. A., 1997, "Thermal Fluctuations at PTFE Friction and Transfer," *Wear*, Vol. 209, pp. 123~127.
- (9) Stolarski, T. A., Hosseini, S. M., Tobe, Shogo, 1998, "Surface Fatigue of Polymers in Rolling Contact," *Wear*, Vol. 214, pp. 271~278.
- (10) Uchiyama, Yoshitaka, 1992, "Survey of Polymer Tribology," *Japanese Journal of Tribology*, Vol. 37, No. 6, pp. 657~665.
- (11) Ettles, CMMcC and Shen, JH, 1987, "The Influence of Frictional Heating on the Sliding Friction of Elastomers and Polymers," *Rubber Chem. Technol.*, Vol. 61, pp. 119~136.
- (12) 강석춘, 정대원, 1998, "오일함침형 고분자량 나일론의 마찰특성에 관한 연구," *대한기계학회 논문집 A권*, 제22권 제11호, pp. 2011~2020.