

다공성 PTFE 복합소재의 마모 및 윤활 특성 연구 A Study on the Wear and Lubricating Properties of Porous PTFE Composite

김시영 · 김호양 · 주창식
Y. S. Kim, H. Y. Kim and C. S. Ju

(접수일 : 2011년 08월 17일, 수정일 : 2011년 10월 26일, 채택확정 : 2011년 11월 12일)

Key Words : PTFE(polytetrafluoroethylene), Sodium Bicarbonate(소듐 비카보네이트), Lubrication(윤활성), Wear (마모), Porous(다공성)

Abstract : Because of excellent mechanical properties, such as good friction coefficient and heat resistance characteristics, PTFE parts have been widely used in the industries. However, the poor wear resistance of PTFE has been a main problem limiting wider applications. In this study, to improve the poor wear resistance of PTFE, porous PTFE composites were prepared by mixing additives(sodium bicarbonate and graphite) with PTFE powder. The friction coefficient, wear resistance and lubricating property of porous PTFE composites were measured and the results were compared with those of untreated PTFE.

1. 서 론

듀폰(Dupont)에서 개발한 불소수지 중 하나인 PTFE는 낮은 마찰계수와 높은 내열성 및 전기절연성 등 많은 장점을 지니고 있는 고분자 소재이다¹⁾.

이러한 PTFE 소재의 연속 사용온도는 260℃ 이하이며 -268℃에서도 사용이 가능²⁾할 정도로 넓은 사용 온도를 가지고 있다. 그리고 특유의 비점착성³⁾ 등으로 산업 전반에 널리 사용되고 있는 소재이지만 내마모성과 강도가 낮고, 사용 중 소성 변형이 일어나며 파괴 현상이 잦아 부품의 수명이 짧다는 문제가 있다. 이러한 단점을 개선하기 위해 현재 여러 가지 충전제를 사용⁴⁾하여 강도 및 압축성을 개선하여 사용하고 있다.

그리고 개선된 e-PTFE 는 새로이 각광 받고 있는 소재 중 하나로, cm³ 당 14억 개의 미세 구멍이 생성되는 다공성 소재를 개발하여 방수성 및 멤브레인 등으로 사용하고 있다. 이 방법은 PTFE를 필름으로 제작한 후 인장 확장하는 장치를 사용하여

다공성으로 제조하고 있으나, 이 소재를 실링 및 패킹 등으로 사용할 때는 어려운 점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 PTFE 분말에 흑연 분말 충전제를 혼합하여 강도를 높이고, 소듐 비카보네이트(NaHCO₃)를 발포제로 하여 PTFE 내부에 다수의 기공을 생성시켰다. 이렇게 생성된 PTFE 소재를 이용하여 베어링으로 사용할 경우 마찰 및 마모 실험을 실시하여 윤활성을 개선할 수 있는지 검토하였다.

2. 실험 및 방법

본 연구에서는 PTFE에 발포제로 NaHCO₃를, 강화용 충전제로 흑연을 각각 사용하였다. 시편의 제조 방법은 PTFE 분말에 NaHCO₃을 발포제로, 그리고 흑연을 충전제로 하여 PTFE의 질량분율을 94~100 wt(%)가 되도록 하고 NaHCO₃과 흑연의 질량분율을 1~3 wt(%)로 변화시키면서 혼합하였다.

시편 제작 방법은 다음과 같다.

1. PTFE, NaHCO₃ 및 흑연을 무게 저울로 측정 한 후 혼합하여 사용하였다.
2. 시편 제작용 장치에 혼합된 분말을 넣고 100 MPa의 압력으로 10분간 가압 성형하였다.
3. 성형된 시편을 전기로에서 300℃의 온도로 24

김시영(교신저자) : 부경대학교 기계시스템공학과
E-mail : ksy2107@empas.com, Tel : 051-629-6191
김호양 : 부경대학교 산업대학원
주창식 : 부경대학교 화학공학과

시간소결 하였다.

Fig. 1은 본 실험의 시편 성형에 사용된 장치를 나타내었으며, Fig. 2는 이 장치의 모식도를 나타냈다. Table 1에는 시편 성형에 혼합된 시료의 함량을 표시 하였다.

성형 및 소결된 다공성 PTFE 시편의 다공성, 마모성 및 윤활 특성을 알아보기 위하여 제작된 시편의 분석을 실시하였다. 시편의 조직분석은 SEM 사진 분석을 실시하였으며 마모성 및 윤활성은 비윤활 및 유윤활 상태로 실험 조건을 변화시켜 가면서 실시하였다.

Fig. 3은 마찰 및 마모 시험을 하기 위한 장치이다.



Fig. 1 Compression apparatus for porous PTFE composite.

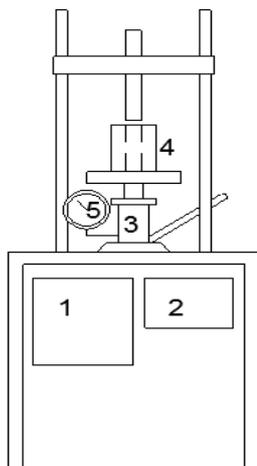


Fig. 2 Schematic diagram of compression apparatus.

- 1) Power supply 2) Digital controller
- 3) Jockey 4) Circular cylinder dies
- 5) Pressure gauge

Table 1 Mixing ratios of NaHCO₃ and graphite in experimental specimen

Specimens	PTFE(wt%)	NaHCO ₃	Graphite
a	100	-	-
b	99	-	1
c	98	-	2
d	97	-	3
e	98	1	1
f	97	2	1
g	96	3	1
h	97	1	2
i	96	2	2
j	95	3	2
k	96	1	3
l	95	2	3
m	94	3	3



Fig. 3 Pin on disk system of friction and wear test apparatus

3. 결과 및 고찰

3.1 다공성 조직 분석

Fig. 4는 제작된 시편의 내부 조직을 확인하기 위해 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 모습이다. NaHCO₃이 첨가되지 않은 시편(a)의 경우 내부에 기공이 관찰되지 않으며 NaHCO₃의 양이 1, 2, 3%로 증가하는 (b), (c), (d) 시편의 내부에는 기공이 관찰되었다. 기공의 수 및 크기는 첨가된 NaHCO₃의 양과 비례하여 증가하였으며, 그 크기 또한 커지는 경향을 확인할 수 있었다.

이것은 NaHCO₃이 100℃ 이상 가열될 때 탄산나트륨과 물, 그리고 이산화탄소(CO₂)로 분해되는데 이 때 생성된 CO₂가 시편 내부에 기공을 형성하기 때문인 것으로 판단된다.

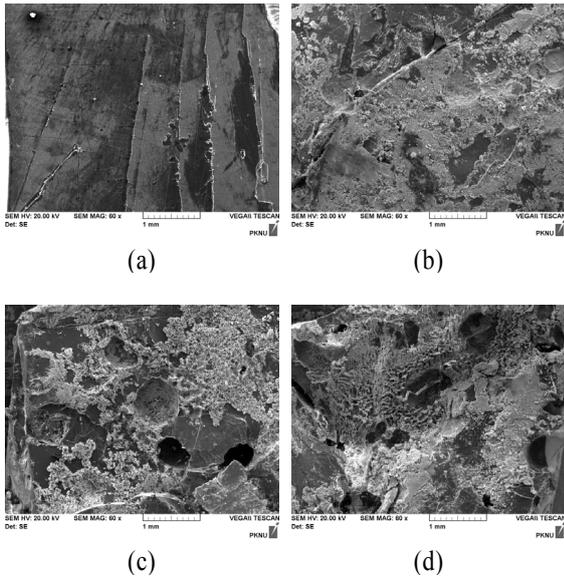


Fig. 4 SEM photos of porous PTFE composites with different NaHCO_3 content (Graphite 2%)
 (a) NaHCO_3 0%, (b) NaHCO_3 1%,
 (c) NaHCO_3 2%, (d) NaHCO_3 3%

3.2 흡유성 분석

다공성 PTFE 복합소재 시편 조직 내부에 생성된 조직이 어느 정도 윤활유를 흡유하는지 검토하였다. 1 시간 동안 윤활유 내에 시편을 넣어둔 후 무게 변화를 측정하였다. PTFE 복합소재에 함유된 NaHCO_3 와 graphite의 함량에 따른 시편 무게 변화를 측정한 결과를 Fig. 5에 나타내어 비교하였다.

윤활유 첨적 결과 NaHCO_3 이 들어가지 않은 (a) 시편의 경우 무게 변화는 없었으며, NaHCO_3 이 첨가된 시편의 경우에는 무게가 증가하였다. NaHCO_3 이 1% 첨가된 시편의 경우 graphite의 함량이 각각 1%, 2% 및 3%인 경우 무게 증가치는 각각 1.32%,

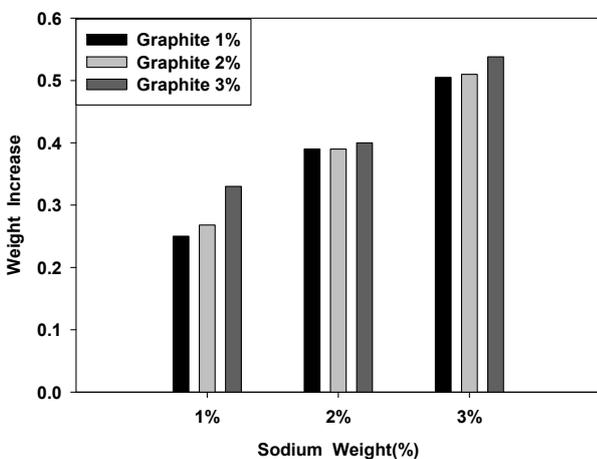


Fig. 5 Comparison of weight increase after 1 hour.

1.40%, 및 1.65% 정도였으며, 2% 첨가된 시편은 2.04%, 2.01% 및 2.07%, 3%가 첨가된 시편의 경우 2.6%, 2.56% 및 2.57% 정도 증가하였다. 이러한 현상은 NaHCO_3 에 의해 생성된 시편 내부의 기공이 오일을 흡유하여 무게를 증가시키는 것으로 해석할 수 있다.

3.3 무 윤활 및 윤활 마모시험 분석

PTFE 조직 내부에 생성된 다공성 조직이 마찰 및 마모 현상에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 무 윤활 마찰과 윤활 마찰시험을 실시하였다.

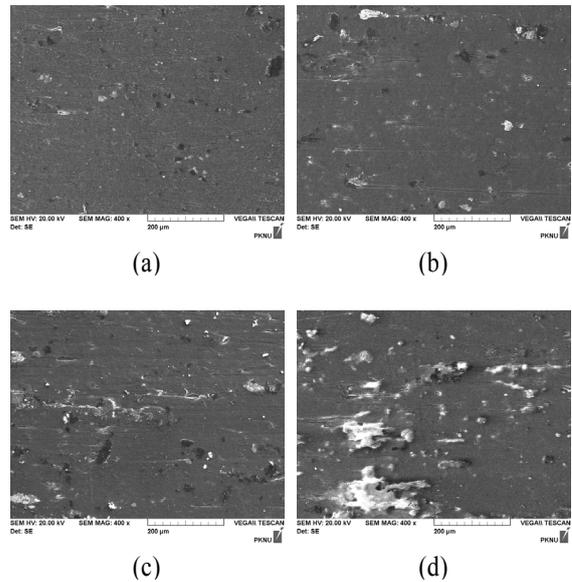


Fig. 6 SEM photos of porous PTFE composites with different NaHCO_3 content at sliding speed 1.0 m/s (graphite 2%)
 (a) NaHCO_3 0% (b) NaHCO_3 1%
 (c) NaHCO_3 2% (d) NaHCO_3 3%

Fig. 6은 무윤활 마찰 시험을 마친 후 단면의 조직 사진이며 NaHCO_3 이 들어가지 않은 시편 (a)의 경우 마찰 흔적은 보이지 않으며 NaHCO_3 의 잔류 물질인 흰색 분말도 보이지 않는다. 반면 NaHCO_3 의 함유량이 1% 시편(b)일 때에 마모 흔적이 나타나기 시작하여 2% 시편(c) 시편에서는 마찰 회전 방향으로 띠 모양 흔적이 발생하기 시작하여 3% 시편(d)에서는 전 마모 면적에 걸쳐 흔적이 골고루 나타났으며 NaHCO_3 의 잔류물로 보이는 희백색 물질도 나타났다.

또한 시편의 표면에 존재하던 기공의 존재는 거의 보이지 않았다. 마모 단면 중 마모흔적이 뚜렷하

게 나타난 곳은 분쇄되지 못한 채 남아 있던 Na 결정체로 보이며 이것이 전면적에 흔적이 나타났다.

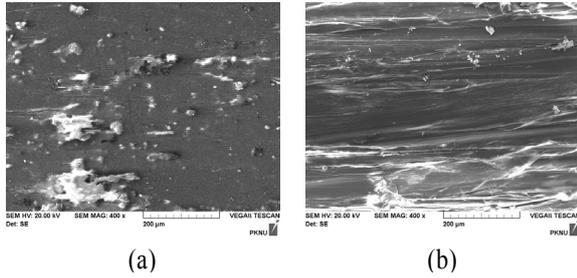


Fig. 7 SEM Photos of porous PTFE composites with graphite(2%) and NaHCO₃(3%) at different sliding speed.

(a) 1.0 m/s (b) 1.5 m/s

Fig. 7은 NaHCO₃ 3 %로 제작된 시편의 마찰 속도를 달리하여 분석한 사진으로 (a)는 1.0 m/s, (b)는 1.5 m/s의 속도로 마찰시킨 단면의 사진이다.

(a) 시편에서는 NaHCO₃의 잔류물로 보이는 물질은 큰 덩어리째 남아 있는 것이 많으며 일부에서는 녹아서 막을 친 것처럼 얇게 퍼진 자국이 존재한다.

(b) 시편에서는 거의 잔류물질이 막처럼 얇게 퍼져 시편의 표면에 넓게 분포하고 있으며 아주 일부 막처럼 퍼지지 않고 잔류 물질로 남아 있었다.

이러한 차이점은 마찰 속도에 따른 PTFE의 응착과 무윤활 시 마찰 시에 발생하는 열 발생으로 마찰 속도가 1.0m/s의 경우에 비해 1.5m/s인 경우 마찰

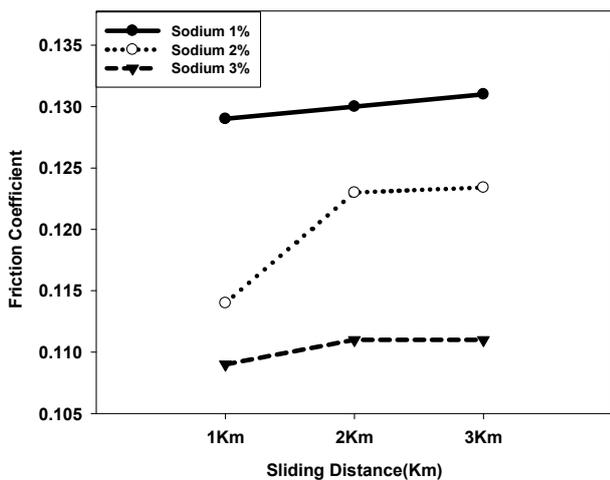


Fig. 8 Relationship between friction coefficient and sliding distance of porous PTFE composites with different NaHCO₃ content (without lubrication). ● NaHCO₃ 1%, ○ NaHCO₃ 2%, ▼ NaHCO₃ 3%

속도의 증가에 따른 마찰온도가 상승하여 PTFE의 표면이 용융 응착 되어 NaHCO₃의 잔류물질로 보이는 회백색의 물질이 얇은 막을 이루어 퍼지는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 무윤활 마찰 시, 그리고 Fig. 9는 유윤활 마찰의 결과를 나타낸 것이다.

무윤활 마찰 시에는 마찰 거리가 증가할 때 마찰 계수가 감소하고 있음을 알 수 있으며 유윤활 마찰 시에는 마찰 거리가 증가할 때 반대로 마찰 계수가 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 마찰 계수는 NaHCO₃의 양이 많아질수록 마찰 계수 값이 낮게 나타났는데 이것으로 미루어 볼 때 NaHCO₃의 양이 마찰계수를 감소하는데 기여하는 것으로 판단된다.

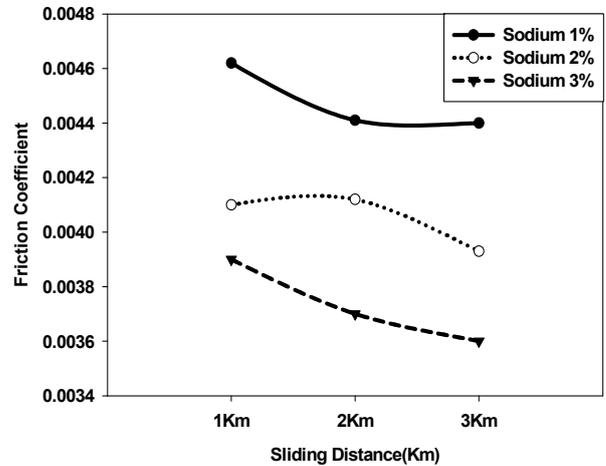


Fig. 9 Relationship between friction coefficient and sliding distance of porous PTFE composites with different NaHCO₃ content (with lubrication).

● NaHCO₃ 1%, ○ NaHCO₃ 2%, ▼ NaHCO₃ 3%

4. 결 론

PTFE 분말, Graphite 및 NaHCO₃을 사용하여 제작한 다공성 PTFE 복합소재 실험을 통해 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1) NaHCO₃의 첨가량이 증가함에 따라 PTFE 복합 재료에 생성되는 기공의 수와 크기가 증가하는 것을 확인하였다.

2) 기공이 형성된 PTFE 시편에 윤활유를 침적하였을 경우 윤활유가 흡수되었으며 NaHCO₃의 함량 증가에 따라 윤활유의 양도 증가하였다.

3) 무윤활 마찰의 경우 다공성 부분이 파괴되어 마찰거리 증가에 따라 마찰계수가 증가하였고 이는

다공성의 조직이 파괴되어 거칠기가 증가하는 것으로 판단된다.

4) 윤활마찰의 경우 마찰 거리가 증가함에 따라 마찰계수가 감소하는 경향을 보였으며 이는 윤활유가 다공성 조직에 흡유되는 양이 증가하여 유막형성이 개선된 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. DuPont Fluoroproducts, 1994, "TeFlon^R PTFE Fluoro-polymer Resin-processing Guide for Fine Powder Resin", Technical Bulletin, DE, pp. 22-130.
2. 심현해, 권오관, 이규한, 1996, "PTFE-폴리이미드 복합재료의 마찰과 마모에 대한 성분비와 온도의 영향", 윤활학회지, Vol. 12, No. 3, pp. 55-62.
3. 이병민, 2003, "복합분자형 표면개질제 개발", 한국화학연구원, pp.30-150.
4. J. Y. Lee, D. S. Lim, 2004, "Tribological Behavior of PTFE Film with Nanodiamond", Surface & Coatings Technology, Vol. 188-189, No. 10, pp. 534-538.