

표면개질에 따른 탄소섬유복합재의 마찰마모 특성에 관한 연구 .

오성모*, 이봉구*

A Study on the Friction and Wear Characteristics of Carbon Fiber Reinforced Plastics by Surface Modification

Seong-Mo Oh*, Bong-Goo Rhee*

ABSTRACT

The objective of the present study was to investigate the characteristics of the friction and wear according to the amount of ion-irradiation for the carbon fiber reinforced plastic(CFRP). Unidirectional carbon fiber reinforced composites were fabricated with epoxy resin as a matrix and carbon fiber as a reinforcement, and its surface was modified by the ion-assisted reaction.

When the amount of ion-irradiation was 1×10^{16} ions/cm², the friction coefficients of composites were about 0.1 and the wear mode was stable, whereas, the friction coefficient of non-treatment composites were about 0.16 and the wear mode was very unstable. But if the amount of ion-irradiation was 5×10^{16} ions/cm², the friction coefficients were higher rather than that of 1×10^{16} ions/cm². Consequently, the amount of ion-irradiation was not in proportion to the friction coefficients, and it was conformed that the optimal conditions would exist between both of them.

Key Words : Carbon Fiber Reinforced Plastics(CFRP), Ion-Assisted Reaction(이온도움 반응), Surface Modification(표면개질), Wear Mode(마모 모드), Wear Factor(마모 요소)

1. 서론

최근 여러산업에 쓰이는 기계요소들의 경량화가 요구되면서 각 소재의 특성을 지닌 첨단복합재료가 등장하였다. 이러한 복합재료는 고분자 기지(matrix)에 섬유를 보강하거나, 무기물 입자 등을 충전하여 물리적, 화학적 물성을 개량할 목적으로 제조되며, 내식성, 내충격성, 내열성, 전기절연성,

이방성등의 중요한 특징을 지니고 있어 첨단산업인 우주항공분야는 물론 자동차, 스포츠 용품, 의공학분야에 이르기까지 그 응용분야는 매우 다양하다.⁽¹⁻⁴⁾

첨단복합재료중 탄소섬유를 플라스틱 기지에 보강한 복합재료를 탄소섬유강화 복합재(Carbon

* 2001년 3월 22일 접수

* 원광대학교 기계공학부

Fiber Reinforced Plastics; CFRP)라고 하며, 이러한 CFRP의 기계적인 특성 및 마찰, 마모특성은 강화섬유의 재질, 구성, 함유량, 섬유방향(fiber orientation) 및 수지의 종류, 환경조건, 표면거칠기, 윤활여부, 미끄럼속도, 미끄럼거리 등 여러 복잡한 인자들에 의해서 그 특성이 좌우됨을 여러 연구결과에서 보이고 있다^[2-5].

CFRP의 일반적인 마찰계수는 약 0.16~0.21로 비교적 낮은 편이고, 섬유의 함유량이 증가함에 따라 마찰계수는 오히려 감소하고 마모선도도 비교적 안정되어 있으며, 마모 메카니즘에서 보면, 활주마멸(sliding wear)이 일어나 다량의 섬유의 절단현상과 이탈현상이 일어난다^[5-8].

따라서, 본 연구에서는 CFRP를 이온도움반응법(Ion-Assisted Reaction)으로 표면개질하여 실제 제품화하여 사용할 때 문제가 되는 CFRP의 마찰·마모특성을 고찰하고자 하였다.

2. 실험방법 및 조건

2.1 실험시편

본 실험에 사용된 시편은 탄소섬유/에폭시 복합재료 (주)SK케미칼의 USN 150B형의 프리프레그(prepreg)를 핸드 레이업(Hand Lay-up)방법으로 적층하여 제작하였으며, 탄소섬유/에폭시 복합재료의 물리적성질은 Table 1과 같다. 탄소섬유/에폭시 복합재료 시편은 두께 2mm의 0° 일방향 시편으로 성형하였고, 시편제작에 이용된 오토클레이브(Autoclave)는 내용적이 600mm× 800mm로, 압력을 가할 수 있으며, 2°C/min의 온도상승이 가능한 열 제어식장치가 부착되어 있다.

Fig. 1은 오토클레이브(Autoclave)내의 온도와 압력, 시간을 나타내는 큐어링 사이클(Curing Cycle)이고, 성형한 복합재료는 다이아몬드 톱으로 잘라서 58mm× 38mm× 2mm의 크기로 제작하였으며, 제작이 끝난 시편에 이온도움반응법을 이용하여 표면처리하였다. 처리시 질량유량조절기(Mass flow controller)를 이용하여 복합재 표면에 4sccm의 산소를 흘려주고, 입사되는 Ar⁺ 이온은 중공음극형 이온건(Hollow cathode type ion gun)을 이용하여 발생시켰으며, 이때 이온의 에너지는 1keV로 하였다. 표면에 도달하는 이온빔의 전류 양은 페라데이 컵(Faraday cup)을 이용하여 측정 하였

다.

Fig. 2는 본 연구에 사용된 이온도움반응법의 개략도로써 시험편에 도달한 전체 이온양은 5×10^{15} ions/cm², 1×10^{16} ions/cm², 5×10^{16} ions/cm²로 각각 처리 하였다.

복합재의 상대마찰재인 편은 SUJ-2(고탄소 크롬 베어링강)로써 구 형태로 지름이 8mm이고, 길이는 58mm이며, 표면거칠기는 약 0.08 μ m이다.

Table 1 Material properties of carbon fiber/epoxy composites.

Tensile strength (GPa)	1.61
Tensile modulus (GPa)	124
Poisson ratio (ν)	0.28
Fiber content (Volume %)	65 \pm 2
Density (Kg/m ³)	1.59 \times 10 ³

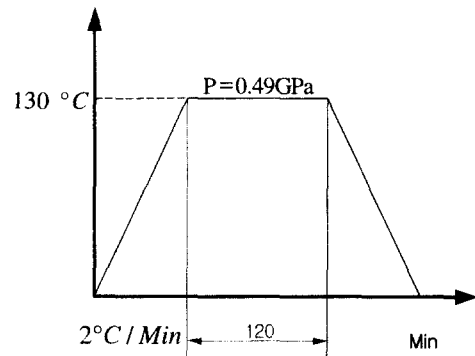


Fig. 1 Illustration of consolidation cycle

2.2 실험장치

본 연구에 사용한 실험장치는 변형된 편온플랫형 마찰·마모시험장치로 시험부의 개략도를 Fig. 3에 나타내었으며, 마찰력과 마모깊이는 스트레인게이지(strain gage)와 선형위치메터(linear potentiometer)에 의해서 측정되며, 하중은 유압튜브를 통하여 압력으로 전달된다.

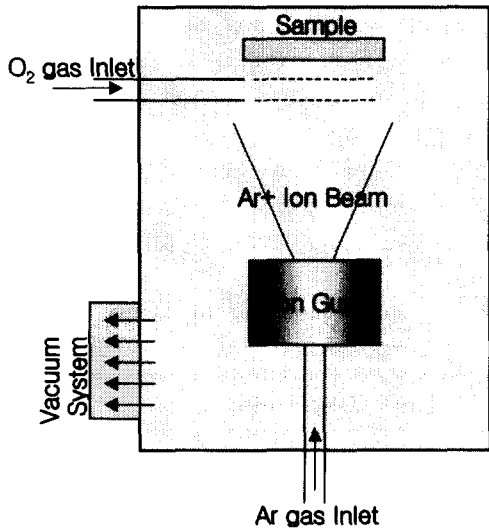


Fig. 2 Schematic diagram for an ion irradiation

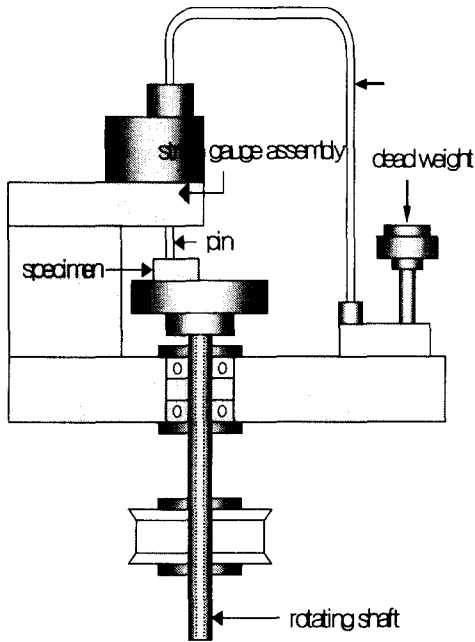


Fig. 3 Schematic diagram of test machine

2.3 실험방법

실험은 건마찰 상태에서 탄소섬유강화 복합재의 각 코팅조건에 따른 하중조건을 변화시켜 실험 시간에 따라 마찰실험을 하였다. 미끄럼속도는 0.26 m/sec로 일정하게 하였고, 하중은 10.0N과 12.5N, 15.0N이며, 환경조건은 온도 26~36℃, 습도 30~45%로 유지하였다.

미끄럼방향은 섬유배열(0° 일방향)과 동일할 때 마찰·마모특성이 가장 우수한 결과를 보이므로^[5] 일방향시편과 같게 하였고, 실험시간은 미끄럼거리 500m까지를 기준으로 설정하였으며, 그 이유는 500m 이후의 마찰계수가 변동 없이 일정한 정상상태(steady state)에 이르러 마모막이 충분히 두껍게 형성되어 있을지라도 강성이 높아서 실접촉면적이 적어 실접촉압력이 평균마찰면 온도에 해당하는 소성유동압력 정도를 가질 것이고, 실접촉면적도 하중에 비례 할 것이다. 그리고 실접촉점에서의 순간마찰속도가 높아지면 유동전단응력이 낮아져 그 접착점은 하중지지 능력을 상실하여 다른 곳으로 실접촉점이 이동할 것이다. 결국 주어진 평균마찰면 온도의 유동전단응력과 하중에 비례한 마찰력이 발생하기 때문에 마찰계수가 거의 일정하게 유지되기 때문이다.

마찰특성은 마찰계수로 나타내었고, 마모특성은 마모량 측정으로써 실험전후의 시편무게는 0.001g의 정밀도를 갖는 전자저울로 측정하여 산출하였으며, 마모지수는 마모된 부피를 마찰거리와 수직 하중으로 나누어 산출하였다. 그리고 실험 후 주사전자현미경을 사용하여 시편 표면의 마모트랙으로 마모경향을 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

하중 10.0N와 12.5N, 그리고 15.0N에서 미끄럼거리가 500m일 때, 마찰·마모 실험을 한 결과 마찰계수를 Fig. 4, 6, 8에 나타내었고, 이때 마모가 일어난 마찰 면을 Fig. 5, 7, 9에 나타내었다.

Fig. 4는 하중 10.0N에서 미끄럼 거리에 따른 각 이온주입량의 마찰계수를 나타내었다. 마찰계수가 일정하게 유지되는 정상상태에서 표면처리와 표면 무처리의 복합재료를 비교할 때 처리하지 않은 복합재료의 마찰계수가 약 0.04-0.10정도 높게 나타

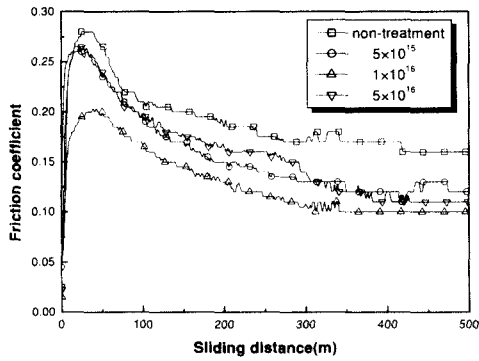
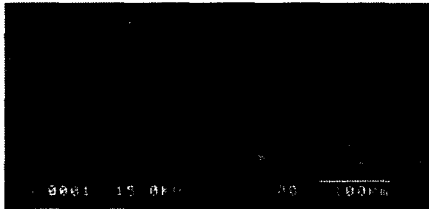


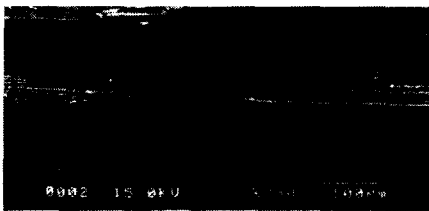
Fig. 4 Friction coefficient of carbon composites(Distance; 500m, Load; 10.0N, Velocity ; 0.26m/sec).



(a) non-treatment



(b) 5×10^{15} ions/cm²



(c) 1×10^{16} ions/cm²



(d) 5×10^{16} ions/cm²

Fig. 5 SEM photographs of worn surface(500m, 10.0N, 0.26m/sec).

났으며, 마찰계수와 비례하여 표면처리 되지 않은 것의 마모정도도 상당하였다. 그리고, 이때의 마찰면 마모트랙 표면사진을 Fig. 5에 나타내었다. 마찰계수가 가장 낮은 1×10^{16} ions/cm²의 복합재료는 섬유부분이 거의 적출되지 않고 기지재로 대부분 덮여있는 것처럼 마모의 정도가 가장 작았으며, 나머지 복합재료들은 거의 차이를 나타내지 않았다.

Fig. 6은 하중 12.5N에서의 마찰계수를 나타내었으며, 하중 10.0N의 Fig. 4와 같이 마찰계수가 시운전 구간을 지나고 점차적으로 감소하여 정상상태로 가고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 7의 마모사진에서도 마찰계수와 비례하여 이온량이 1×10^{16} ions/cm²인 복합재료가 섬유적출부분이 가장 작았고, 표면처리하지 않은 복합재료가 가장 심하게 마모되었으며, 5×10^{15} ions/cm²인 복합재료와 5×10^{16} ions/cm²인 복합재료는 마모의 정도가 비슷하였다

Fig. 8은 하중 15.0N일 때, 각 이온주입량이 미끄럼 거리에 따른 마찰계수를 보이고 있다.

이온량이 1×10^{16} ions/cm²인 복합재료의 마찰계수가 가장 낮게 나타났으며, 실험초기의 시운전 (break-in) 구간에서 다른 조건의 복합재료 보다 마찰계수가 매우 안정적인 곡선을 그리며 낮아졌다. 그리고, 이온량이 5×10^{16} ions/cm²인 복합재료의 마찰계수는 시운전 구간 초반에 5×10^{15} ions/cm²인 복합재료와 표면처리하지 않은 복합재료보다 조금 낮지만 시운전 구간 후반에 가서는 거의 차이를 나타내지 않았다. Fig. 9(a)는 탄소섬유가 확연히 보이며, 절단되어 있으나, Fig. 9(b)에

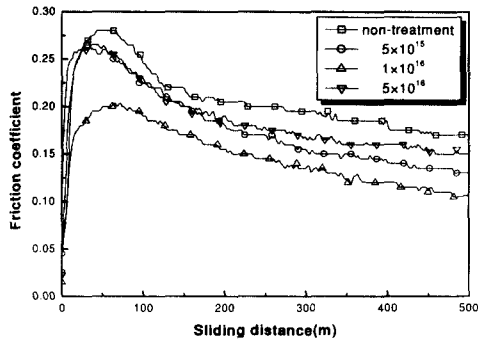


Fig. 6 Friction coefficient of carbon composites (500 m, 12.5N, 0.26m/sec)

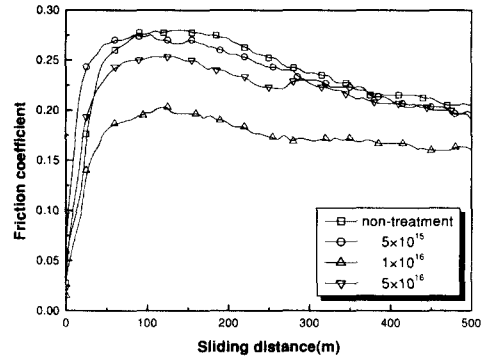
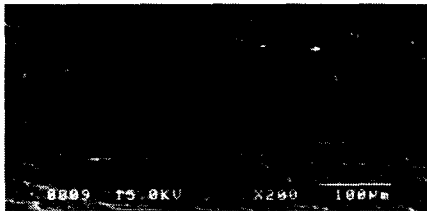
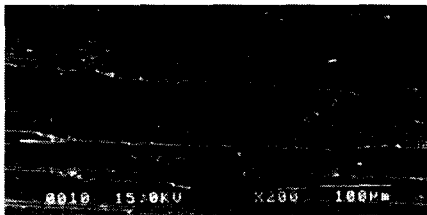


Fig. 8 Friction coefficient of carbon composites (500m, 15.0N, 0.26m/sec).

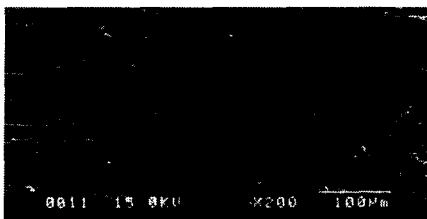
는 탄소섬유 대부분이 기지재로 덮여 있는 것을 볼 수 있다.



(a) non-treatment

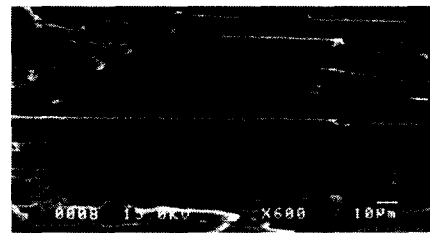


(b) 5×10^{16} ions/cm²

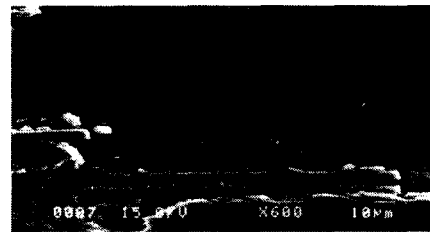


(c) 1×10^{16} ions/cm²

Fig. 7 SEM photographs of worn surface (500m, 12.5N, 0.26m/sec).



(a) non-treatment



(b) 1×10^{16} ions/cm²

Fig. 9 SEM photographs of worn surface(500m, 15.0N, 0.26m/sec)

위와 같은 실험에 의한 마찰특성은 결과적으로 이온 주입량이 서로 다른 모든 시험편에서 15.0N 일 때보다는 12.5N일 때가 그리고 12.5N일 때보다는 10.0N일 때가 마찰계수가 더 낮았다. 이러한

경향은 일반적으로 고분자재료가 금속과는 달리 점탄성 재료이므로, 마끄림속도에 따라 특정한 하중에서 마찰계수가 최대값을 나타내는 특성에 부합된다¹⁷⁻¹⁸.

한편, 위의 마찰특성과 더불어 마모지수에 의한 마모특성을 Fig. 10에 나타내었는데 Fig. 10은 하중의 변화에 따른 마모지수들을 나타내고 있다.

CFRP는 다른 재료들에 의하여 마모지수가 높은 편으로써 CFRP의 마모지수의 특징을 보면, 첫째 표면 개질한 경우 이온 주입량에 따라 다르지만 대체로 하중 증가에 따라 완만한 증가를 보였고, 표면개질하지 않은 경우는 마모지수가 급격히 증가하였다. 둘째 이온주입량 5×10^{15} 과 5×10^{16} 에서의 마모지수는 거의 동일한 증가로 큰차이를 보이지 않았지만 이온주입량 1×10^{16} 의 마모지수가 5×10^{15} 과 5×10^{16} 의 경우보다 훨씬 낮았다.

그리고, 마모지수가 급증하는 이유는 접촉압축응력이 CFRP의 에폭시가 마찰표면의 마찰열을 받아 가속화되어 대규모로 유동되는 것이 마모가

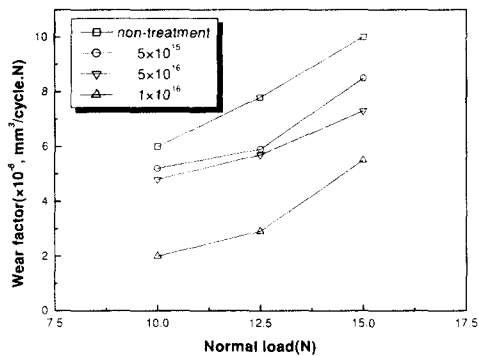


Fig. 10 Wear factor of carbon composites at different normal load.

급증하는 주된 원인으로 보인다. 그리고, 이온주입한 시편들의 마모지수가 낮은 편인 것은 표면 또는 표면 가까이에서 진단이 일어나 낮은 성분비율의 카본으로도 충분한 하중지지 역할을 하고 있으며 이때 탄소가 주성분인 마모이착막이 상대마찰면과의 직접접촉을 방지하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5, 7, 9의 현미경 관찰에 의하여 표면개질한 경우가 개질하지 않은 경우와 다른 점은 상대마찰

면에 마모이착막이 매우 얇게 형성되어 있었으며, 부분적으로 마모막이 마찰에 의하여 제거되어 섬유면이 노출된 상태를 보였다. 이는 마찰조건에서 하중이 낮고, 마찰온도가 상온임으로 CFRP의 강도가 유지되고, 유동성이 비교적 낮기 때문으로 보인다.

4. 결론

탄소섬유복합재(CFRP)를 이온도움반응법으로 표면개질하였을때 마찰 마모특성에 대한 결과를 다음과 같이 나타내었다.

1. CFRP마찰계수는 표면개질하지 않은 것보다 낮으며, 표면개질의 이온주입량에 따라 변한다.
2. 표면개질의 최적 이온주입량은 1×10^{16} ions/cm²이다.
3. 마모지수는 이온주입량을 1×10^{16} ions/cm²로 표면개질한 경우 가장 낮다.
4. CFRP의 마찰특성은 마모지수와 함께 하중이 증가함에 따라 증가한다.

참고문헌

1. J. K. Lancaster, "The Effect of Carbon Fiber Reinforcement on the Friction and Wear of Polymers," Brit.J.Appl. Phys., SER.2, Vol.1, pp. 549-559, 1968.
2. Tsu-Wei Chou, Microstructural design of Fiber Composites, Cambridge University Press, Great Britain, pp. 1-28, 368-373, 1992.
3. Karl-Heinz Zum Gahr, Microstructure and Wear of Materials, Elsevier science publishers B.V., Amsterdam, pp. 318-328, 461-477, 1987.
4. Klaus Friedrich, Friction and Wear of Polymer Composites, Elsevier science publishers B.V., Amsterdam, pp. 250-221, 241-253, 329-349, 1986.
5. 성인하 외 2명, "섬유강화복합재의 Tribological 특성에 관한 연구," 한국윤활학회지, Vol.12, No. 1, pp. 6-14, 1996.
6. Tsukizoe, T, and Ohmae, N., "Friction and Wear

- of Advanced Composite Materials," Fibre Sci. Tech., Vol.18, pp. 205-221, 241-253, 1983.
7. A. D. Sarkar, Friction and wear, Academic Press., London, pp. 244-253, 1980.
 8. N. P. Suh, Tribophysics, Prentice-Hall, INC., pp. 4, 223-257, 1986.