

이온도움반응법에 의한 탄소섬유복합재의 트라이볼로지 특성연구

오성모*, 김정기**, 이봉구#

Tribological Characteristics of Carbon Fiber Reinforced Plastics Prepared by Ion-Assisted Reaction

Seong-Mo Oh*, Jung-Ki Kim** and Bong-Goo Rhee#

ABSTRACT

Carbon fiber reinforced composites(CFRP) were fabricated with phenolic resin matrix by hot press molding, and its surface was modified by the ion-assisted reaction process. When we tested the friction coefficient and wear rate variation and observed the effect of fibers with respect to friction and wear characteristics, the amount of pitch based carbon fiber was 45wt% and the average friction coefficient was the lowest at 0.12. When the amount of ion-irradiation was 1×10^{16} ions/cm², the friction coefficient of the composites was about 0.12 and the wear mode was stable, whereas, the friction coefficient of the non-treated composites was 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 compared to that of 1×10^{16} ions/cm² ion-irradiation case.

Key Words : Carbon Fiber Reinforced Plastics(CFRP)(탄소섬유복합재), Ion-Assisted Reaction(이온도움반응법), Surface Modification(표면개질), Wear(마모), Friction(마찰), Tribology(트라이볼로지)

1. 서론

최근 주요 산업에는 첨단복합재료(Advanced Composite Materials; ACM)가 광범위하게 응용되고 있다. 이들 중 섬유보강 고분자 복합재료(FRP)는 보다 우수한 물리적, 화학적 물성을 얻기 위해서 고분자 기질(matrix)에 섬유를 보강 하거나, 무기물, 휘스커(whisker) 등을 충전 하여 제조되어진

다. 이것은 경량, 고강도 고탄 성률, 내마모성 내식성 등의 우수한 성질을 지니고 있어 기존의 금속 재료 등을 대체할 수 있는 대단히 매력적인 첨단복합재료이다.

또한, 첨단복합재료중 탄소섬유를 플라스틱 기지에 보강한 복합재료를 탄소섬유강화 복합재(Carbon Fiber Reinforced Plastics; CFRP)라고 하며, 이러한CFRP의 기계적인 특성 및 마찰, 마모 특성은 강화섬유의 재질, 구성, 함유량, 섬유방향

접수일: 2003년 3월 25일; 게재승인일: 2004년 1월 9일
교신저자: 원광대학교 기계자동차공학부
Email: bgrhee@wonkwang.ac.kr, Tel: (063) 850-6688
* 원광대학교 기계자동차공학부
** 전북기능대학

(fiber orientation) 및 수지의 종류, 환경조건, 표면 거칠기, 윤활여부, 미끄럼속도, 미끄럼거리 등 여러 복잡한 인자들에 의해서 그 특성이 좌우됨을 Lancaster¹과 Chou², Zum Gahr³, Klaus⁴ 등에 의한 연구결과에서 보이고 있다. 탄소섬유강화복합재(CFRP)의 일반적인 마찰계수는 약 0.16~0.21로 비교적 낮은 편이고, 섬유 함유량이 증가함에 따라 마찰계수는 오히려 감소하고 마모선도도 비교적 안정되어 있으며, 마모기 구에서 보면, 미끄럼 마모(sliding wear)가 일어나 다량의 섬유 절단현상과 이탈현상이 일어난다고 Sung⁵과 Tsukizoe⁶, Sarker⁷, Suh⁸등이 보고하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 CFRP를 이온도움반응법(Ion Assisted Reaction)으로 표면개질 하여 실제 제품화 하여 사용할 때 문제가 발생할 수 있는 보강섬유의 함유량에 따른 마찰, 마모의 트라이볼로지적인 특성을 고찰하고자 하였다.

2. 실험방법 및 조건

2.1 실험시편

섬유보강 복합 재를 제조하기 위하여 3~5mm의 단섬유 형태의 찢치계 탄소섬유를 보강섬유로 사용하였다. 각 보강섬유의 물성을 Table 1 에 나타내었다.

Table 1 Characteristics of the reinforced fibers

Types of fibers	Density [g/cm ³]	Tensile strength [MPa]	tensile Modulus [GPa]
Isotropic pitch based CF	1.65	720	32

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 물리적 성질은 Table 2와 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 가

Table 2 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±2
Density (kg/m ³)	1.59×10 ³

한 열제어장치(식장)가 부착되어 있다.

성형한 복합재료는 58mm×38mm×2mm의 크기로 제작하였고, 열 성형 온도와 압력 프로파일(profile)은 Fig.1에 나타내었으며, 20kPa의 압력을 일차적으로

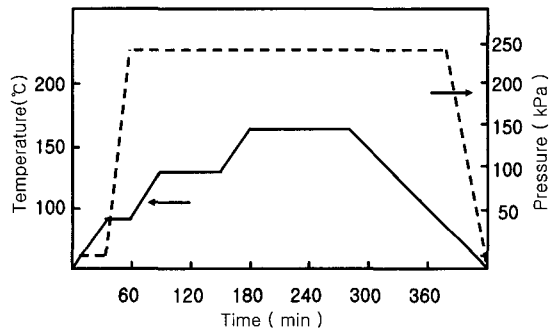


Fig. 1 Profile of the temperature and pressure of hot press molding for the fiber reinforced composites

가한 후 온도를 서서히 올려 용융점인 80°C 부근에서 250kPa의 압력을 가하였다.

제작이 끝난 시편에 이온도움반응법을 이용하여 표면 처리하였다. 처리시 질량유량조절기(Mass flow controller)를 이용하여 복합재 표면에 4scm의 산소를 흘려주고, 입사되는 Ar+ 이온은 중공 음극형 이온건(Hollow cathode type ion gun)을 이용하여 발생시켰으며, 이때 이온의 에너지는 1keV로 하였다. 표면에 도달하는 이온빔의 전류 양은 페러데이 컵(Faraday cup)을 이용하여 측정 하였다.

Fig. 2는 본 연구에 사용된 이온도움반응법의 개략도로써 시편면에 도달한 전체 이온양은 5×10¹⁵ ions/cm², 1×10¹⁶ ions/cm², 5×10¹⁶ ions/cm²로 각각 처리 하였으며, 처리후 강도 및 연신율은 약 15~22×10³ Psi와 2~5×10⁶Psi 범위에서 측정되었다.

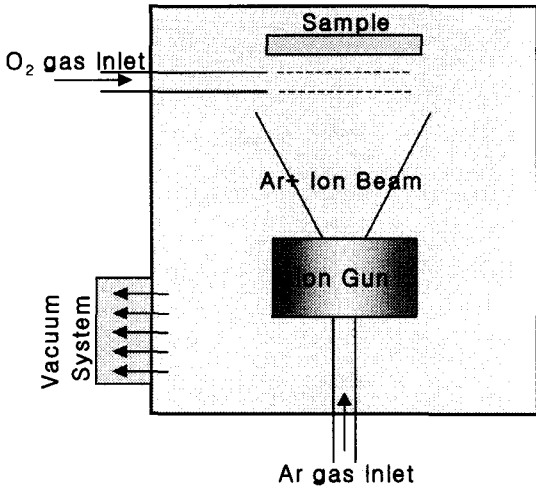


Fig. 2 Schematic diagram for an ion irradiation

복합재의 상대마찰재인 핀은 SUJ-2(고탄소 크롬 베어링강)로써 구형 태로 지름이 8mm이고, 길이는 58mm이다.

2.2 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용한 실험장치는 핀은 디스크형 마찰-마모시험장치로 시험부의 개략도를 Fig. 3에 나타내었으며, Fig. 4에 핀과 복합재료시편을 확대 도시하였다. 위 마찰력과 마모깊이는 스트레인게이지(strain gage)와 선형위치미터(linear potentiometer)에 의해서 측정되며, 자중은 유압튜브를 통하여 압력으로 전달된다. 실험은 건마찰 상태에서 탄소섬유 강화 복합재의 이온주입 조건에 따라서 압력조건을 변환시켰다. 미끄럼속도는 0.26m/sec로 일정하게 하였고, 압력은 200kPa와 250kPa이며, 환경조건은 온도 26~36℃, 습도 30~45%로 유지하였다.

미끄럼방향은 Sung⁵에 의하여 섬유배열(0°일방향)과 동일할 때 마찰·마모 특성이 가장 우수한 결과를 보이므로, 일방향시편과 같게 하였고, 실험시간은 미끄럼거리 500m까지를 기준으로 설정 하였으며, 이것은 500m 이후의 마찰계수가 변동 없이 일정한 정상상태를 유지하기 때문이다.

이와 같이 각 복합재료의 이온주입조건과 압력변화에 대한 실험을 통하여 이때의 예상측정 오차는 약 0.15% 이었으며, 마찰 특성은 마찰계수를 측정함으로써 나타내었고, 마모 특성은 Suh⁸에 의하여 탄소섬유강화 복합재의 경도가 압입시간(indentation time)의

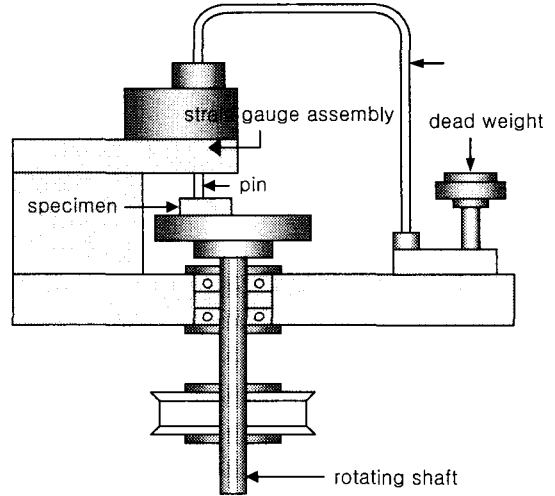


Fig. 3 Schematic diagram of test machine

함수이므로, 경도와 관련 있는 마모계수로는 나타낼 수 없다. 따라서 마모계수대신 미끄럼 접촉 후 주사전자현미경을 사용하여 시편 표면의 마모경향을 분석하였다.

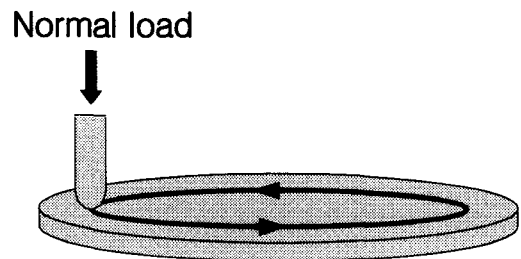


Fig. 4 Exploded view of Pin and Composites flat

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 보강섬유분율에 따른 마찰·마모 특성

복합재의 트라이볼로지적인 특성에 영향을 미치는 요소는 상당히 많으나, 복합재내의 보강재, 경합재 및 충전재 등에 따라서 상당한 영향을 받게 된다.

따라서 탄소 보강섬유의 분율을 달리하여 마찰계수 및 마모량을 측정하고 CFRP의 특성이 미치는 영향을 관찰하였다. Fig.5는 CFRP의 보강섬유 분율에 따른 평균 마찰계수를 나타낸 것으로서 등방성 핏치계 섬유보강 복합재는 섬유분율이 증가함에 따라 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

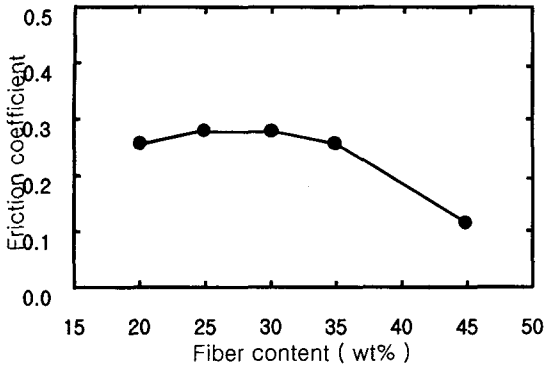


Fig. 5 Mean friction coefficient as a function of fiber content in fiber reinforced composites

등방성 핏치계 섬유를 45wt% 보강하였을 경우는 0.12로 가장 낮게 나타났다. 탄소섬유는 섬유의 배향이 잘 이루어져 있기는 하지만 섬유 자체의 윤활성이 좋은 특성을 갖고 있으므로 상대면과의 미끄러짐이 잘 이루어져 낮은 마찰계수를 나타낸 것으로 판단된다. Fig.6은 보강섬유의 분율에 따른 마모량을 나타낸 것으로서 초기에는 서서히 감소하는 경향을 보이다가 섬유분율이 30wt%를 초과 할 때부터 마모량은 증가 추세의 경향을 보였다. Fig.7은 마찰 표면에서 발생하는 최고 마찰온도를 나타낸 것이다. Fig.5에서 나타낸 마찰계수와 유사하였으며, 윤활특성과 고온특성을 갖고 있는 등방성 핏치계 섬유의 경우 최저값을 나타내고있다.

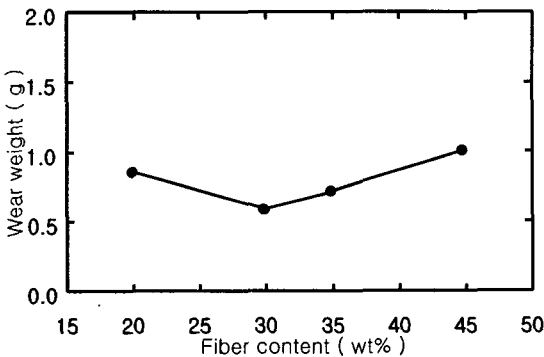


Fig. 6 Wear weight as a function of fiber content in fiber reinforced composites

Fig. 8, 9는 CFRP의 마찰계수에 따른 마모량과 마찰 표면온도를 나타낸 것으로서 Fig. 5와 Fig. 6, Fig. 7

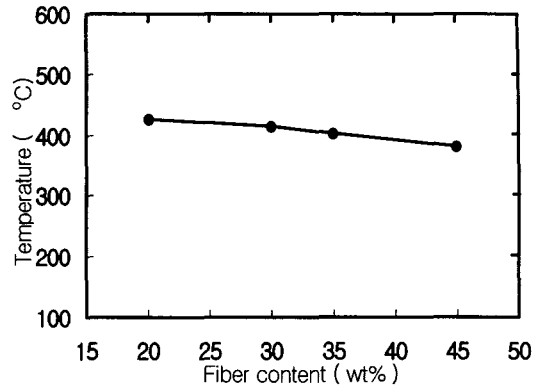


Fig. 7 Maximum contact temperature as a function of fiber content in fiber reinforced composites

에서 언급 하였듯이 CFRP는 낮은 마찰계수와 마모량 및 표면온도를 보여주고 있다. 이것은 등방성 핏치계 탄소섬유의 탄소격자층이 잘 적층 되어 있으며 자체 윤활효과와 함께 적당한 강도를 유지하고 있으므로 다른 보강 섬유보다 낮게 나타난 것으로 판단된다.

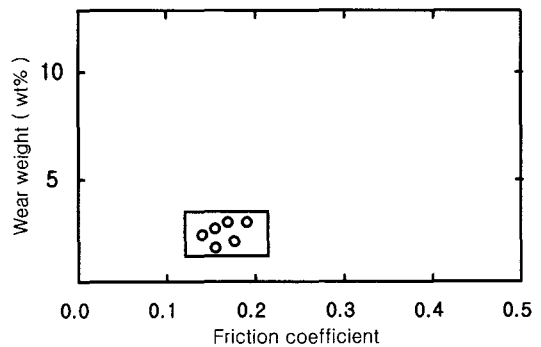


Fig. 8 Wear weight as a function of mean friction coefficient in fiber reinforced composites

3.2 미끄럼거리에 따른 마찰안정성

동일압력(200kPa)하에서 마찰의 안정성 실험을 한 결과, 미끄럼거리가 100m일 때의 마찰계수를 Fig. 10에 나타내었다. 이온 량이 1×10^{16} ions/cm²인 복합재료의 마찰계수가 가장 낮게 나타났으며, 실험초기의 브레이크인(break-in)구간에서 다른 조건의 복합재료보다 마찰계수가 매우 안정적인 곡선을 그리며 낮아졌다. 한편, 이온 량이 5×10^{16} ions/cm²인 복합재료의

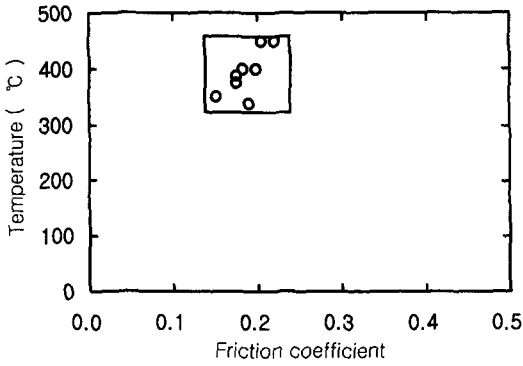


Fig. 9 Maximum contact temperature as a function of mean friction coefficient in fiber reinforced composites

마찰계수는 시운전구간 초반에 5×10^{15} ions/cm²인 복합재료와 표면처리하지 않은 복합재료보다 조금 낮지만 시운전 구간 후반에 가서는 거의 차이를 나타내지 않았다.

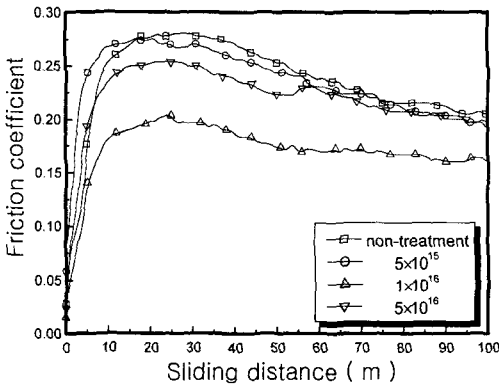


Fig. 10 Friction coefficient of carbon composites (Distance; 100m, Pressure; 200kPa, Velocity; 0.26m/sec)

Fig. 11은 미끄럼거리 300m까지의 마찰계수를 나타내었으며, 마찰계수가 브레이크인 구간을 지나고 점차적으로 감소하여 정상상태로 가고 있음을 알 수 있었다. 이온양이 1×10^{16} ions/cm²인 복합재료가 섬유적출 부분이 가장 작았고, 표면처리하지 않은 복합재료가 가장 심하게 마모되었으며, 5×10^{15} ions/cm²인 복합재료와 5×10^{16} ions/cm²인 복합재료는 마모의 정도

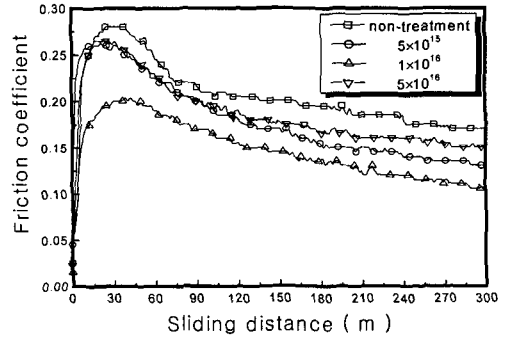
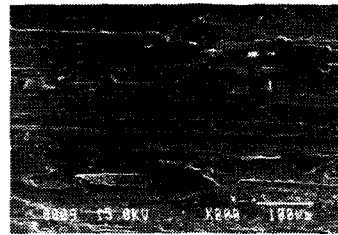
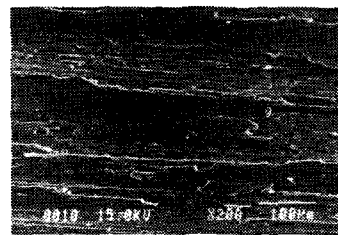


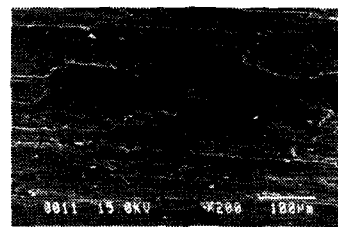
Fig. 11 Friction coefficient of carbon composites (Distance; 300m, Pressure; 200kpa, Velocity; 0.26m/sec)



(a) non-treatment



(b) 5×10^{16} ions/cm²



(c) 1×10^{16} ions/cm²

Fig. 12 SEM photographs of wear surface (300m, 200kPa, 0.26m/sec)

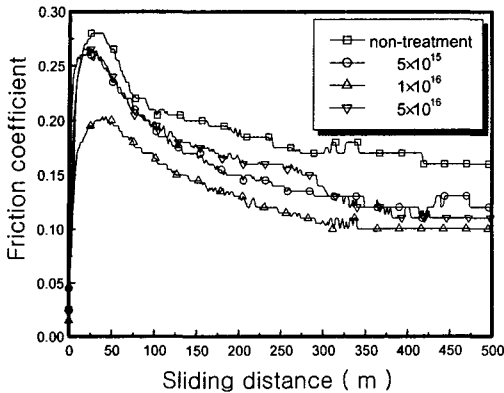


Fig. 13 Friction coefficient of carbon composites
(Distance; 500m, Pressure; 200kPa, Velocity;
0.26m/sec)

가 비슷하였다. 이때의 마모표면을 Fig. 12에 나타내었다.

Fig. 13은 압력 200kPa에서 500m까지의 마찰계수로써 마찰계수가 일정하게 유지되는 정상상태에서 표면처리와 표면 무처리를 복합재료와 비교할 때 처리하지 않은 복합재료의 마찰계수가 약 0.04-0.2정도로 높게 나타났으며, 마찰계수와 비례하여 표면처리 되지 않은 것의 마모정도도 상당하였다.

4. 결론

1. CFRP는 섬유분율이 45wt%일때 마찰계수가 약 0.12로 가장 낮게 나타났고, 마모량은 섬유분율이 증가함에 따라 오히려 증가하는 경향을 나타내었다.
2. CFRP는 미끄러짐 마모가 일어남으로서 마모율은 낮게 나타났고, 이온주입의 CFRP또한 대체적으로 안정한 형태를 나타내었다.
3. 표면 개질한 CFRP의 마찰계수가 개질되지 않은 것보다 약 0.04-0.2정도 낮게 나타났으며, 이 중에서 이온양이 1×10^{16} ions/cm²의 CFRP가 마찰계수 0.12로 가장 낮게 나타났다.

후기

이 논문은 2004년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨.

참고문헌

1. Lancaster, J. K., "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. Chou, Tsu-Wei., "Microstructural design of Fiber Composites," Cambridge University Press, Great Britain, pp. 1-28, 368-373, 1992.
3. Zum, Gahr, Karl-Heinz., "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. Sung, I. H., Yeo, I. W., Kim, D. E., "Tribological characteristics of Fiber-Reinforced plastics(FRP)," J. of KSTLE, Vol.12, No.1, pp. 6-14, 1996.
6. Tsukizoe, T., Ohmae, N., "Friction and Wear of Advanced Composite Materials," Fibre Sci. Tech., Vol.18, pp. 205-221, 241-253, 1983.
7. Sarkar, A. D., "Friction and wear," Academic Press., London, pp. 244-253, 1980.
8. Suh, N. P., "Tribophysics," Prentice-Hall, INC., pp. 4, 223-257, 1986.