

입자지름의 변화에 따른 실리카 복합재료의 마찰 및 마모 특성

고성위* · 김형진** · 김재동** · 김창수*

*부경대학교

**경상대학교 해양산업연구소

Friction and Wear Characteristics of Silica/Epoxy Composites for various Particle Size

SUNG WI KOH*, HYUNG JIN KIM**, KAE DONG KIM** AND CHANG SOO KIM*

*Pukyong National University, Busan, Korea

**Institute of Marine Industry, Tongyoung, Korea

KEY WORDS: Silica/Epoxy composites 실리카/에폭시 복합재료, Wear characteristics 마모 특성, Particle size 입자크기, Sliding distance 미끄럼 거리, Friction coefficient 마찰계수, Cumulative wear volume 누적 마모 체적, Wear rate 마모율

ABSTRACT: In this study, the friction and wear characteristics of pure epoxy and silica-filled epoxy resin composites with average silica particle diameter of 6-33 μ m were investigated at ambient temperature by pin-on-disc friction test. The cumulative wear volume, friction coefficient and wear rate of these materials against SiC abrasive paper were determined experimentally. The cumulative wear volume tended to increase nonlinearly with increase of sliding distance and depended on diameter of the silica particle for all these composites. The sliding wear tests of the materials demonstrated that the friction coefficient and the wear rate of silica filled epoxy composites were lower than those of the pure epoxy. silica filled epoxy.

1. 서 론

입자강화 복합재료는 부싱, 케이블 터미널, 변압기 구성품, 회로차단기와 같은 중압과 고전압 절연체로 광범위하게 사용되고 있다. 첨가제인 강화 입자로는 실리카, 알루미늄, 유리, 백운석 등과 같은 무기질 재료가 사용되며, 매트릭스로는 에폭시 레진이 주로 사용된다. 이러한 복합재료는 유기질 기지와 무기질 첨가제의 취성 때문에 취성의 성질을 갖는다. 입자복합재료의 전기적 특성을 제외하고도 그들의 기계적 성질, 특히 강도, 강성, 파괴 및 피로 저항, 파괴 인성, 마찰 및 마모 특성 등은 주요한 변수들이다.

복합재료의 미끄럼 마모나 연삭 마모에 대한 많은 연구들이 수행되고 있다. 이러한 연구들은 표면의 마모저항이 재료의 성질, 마모기구 그리고 적용하중, 접촉 속도, 상대적인 접촉 운동과 상대재의 마모의 성질 등에 영향을 받는다고 발표하였다 [1-4]. 김 등[5-6]은 금속입자복합재료에서 경도와 강도는 SiC 입자가 감소함에 따라 증가한다고 발표하였다. Sahnoune 등[7]은 CaCO₃ 입자강화 HDPE 복합재료에서 계면활성제 양의 증가에

따른 항복강도 상승의 범위는 첨가제의 체적과 계면의 면적 두 가지에 의존한다는 것을 관찰하였다. 그러나 실리카 입자 강화 복합재료에 대한 연구는 기계적 성질이나 파괴거동에 대한 연구는 있으나 마찰 및 마모 거동에 대한 연구[8]는 상대적으로 적은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 입자강화 복합재료에서 평균입자지름이 6, 13, 18, 33 μ m로 변화함에 따른 마찰 및 마모거동에 고찰하였다. 또한 SiC 연마재의 입자크기에 따른 마모체적, 마찰계수 그리고 마모율의 거동을 고찰하였다.

2. 재료 및 시험방법

2.1 시험편

시험에 사용한 재료는 일본의 Nitto Kenko 사에서 만들었으며 간략히 기술하면 다음과 같다. 레진으로 사용한 에폭시는 비스페놀 A형(Epokote 828 Shell Chemical사, 평균분자량 380)이다. 경화제로서 1,2 cyclohexane-dicarboxylic anhydride를 사용하였고 에폭시 레진의 경화가속제로서 tri-n-butylane을 사용하였다. 구형실리카 입자는 4염화실리콘을 가수분해시켜 실리카 덩어리를 만든 후 이를 수소와 산소염에서 용해시키고 이를 2, 6, 13, 18, 24, 33, 42 μ m로 분류하여 입자강화 복합재료를 만들었으며 이중 6, 13, 18, 33 μ m를 사용하였다. 체적분율은 64wt%로

교신저자 고성위: 부산광역시 남구 용당동 산100

051-620-1579 swkoh@pknu.ac.kr

하였다. 실리카 입자(204 혹은 296 phr: parts per weight)를 에폭시 레진 100 phr과 경화제 66phr를 실온인 진공상태에서 1시간 혼든 후 혼합한 후 경화가속제를 첨가하여 10분 흔들었다. 이 혼합물을 120°C에서 2시간 동안 몰드(몰드 4x10, 높이 100mm)에서 경화시킨 후 140°C에서 21시간 경화시켜 만들었다.

실리카 입자복합재료 판에서 다이아몬드 톱으로 조심스럽게 절단한 후, 이것을 입자가 작은 고운 연마지(15 μ m)로 시편을 연마하여 단면이 4.5x5.5mm, 길이 15mm의 마모시험편으로 사용하였다.

2.2 실험방법

연삭마모시험은 Fig. 1과 같이 자체 제작한 핀온디스크(pin-on-disc)형 시험기를 사용하여 실시하였다. 시험 시 환경 조건은 온도(20°C)와 습도(60%RH)의 조절이 가능한 환경 챔버를 제작하여 온도와 습도를 일정하게 유지시켰다. 시편의 마찰은 실시간으로 측정을 하며 시험을 실시하였고, 마모손실은 실험전후의 시편의 질량을 측정하였다. 상대재인 SiC 연마지(3M)는 지름 80mm x 두께 1.5mm인 디스크의 표면에 접착제를 사용하여 부착하고 건조로에서 7일간 완전히 경화 시킨 후 연삭마모시험을 실시하였으며, 본 연구에 사용한 SiC 연마지의 평균입도는 9~30 μ m이다.

수직하중(p) 10N, 미끄럼 속도(v)인 0.1m/s를 유지시키며 미끄럼 거리 1000m까지 마모시험을 실시하였으며, 실험도중 50m와 100m미끄럼 거리를 포함해서 200m마다 측정하여 마모율, 마찰계수를 구하였다.

각각의 실험에서 3개 이상의 시험편을 사용하여 실험 후 평균값을 사용하였다.

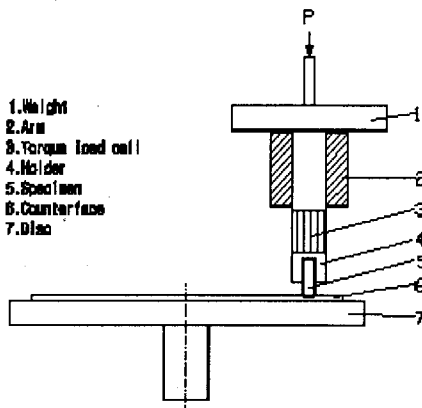


Fig. 1 Schematic diagram of pin-on-disc test apparatus.

3. 결과 및 고찰

Fig.2는 에폭시와 실리카 입자(6-33 μ m) 복합재료에서 미끄럼 거리에 따른 누적 마모 체적을 나타낸 것이다. 미끄럼 속도는 0.1m/s, 적용하중은 10N, 상대재인 SiC 연마지의 입자는 9 μ m이다. 에폭시 재료에서는 미끄럼 거리에 따라 누적 마모 체적이 강하게 의존함을 알 수 있다. 미끄럼 거리가 증가함에 따라 누

적 마모 체적은 증가함을 알 수 있으나, 그 경향이 선형적으로 증가하는 것이 아니라 비선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이와 같이 비선형적으로 증가하는 것은 Ravikiran and Jahannir [3]의 결과와 유사하나 Chand 등[4]의 결과와는 다르게 나타남을 알 수 있다. 한편 순수 에폭시의 경우에 누적 마모 체적은 실리카 입자복합재료의 그것보다 매우 높게 나타남을 알 수 있으며, 실리카 입자 복합재료에서도 실리카 입자 지름이 증가함에 따라 누적 체적 손실량은 다소 적게 나타나고 있으나 그 차이가 미세함을 알 수 있다.

Fig. 3은 13 μ m 실리카 입자복합재료에 대하여 SiC 연마지의 입자크기를 9 μ m, 15 μ m, 30 μ m로 변화 시켰을 때 누적 마모 체적을 나타낸 것이다. 각각의 경우 미끄럼 속도는 0.1 m/s이고, 적용하중은 10N이다. 미끄럼 거리에 따른 누적 마모 체적의 경향은 Fig. 2와 유사하게 비선형적으로 증가하지만 상대재인 SiC 연마지의 입자가 큰 경우에 누적 마모 체적이 매우 높게 나타남을 알 수 있다. Fig. 4는 33 μ m 실리카 입자복합재료에 대하여 미끄럼 속도 0.1m/s, 적용하중 10N의 경우에 SiC 연마지의 입자크기를 9 μ m, 15 μ m, 30 μ m로 변화 시켰을 때 누적 마모 체적을 나타낸 것으로 그 경향은 Fig.3과 유사하다.

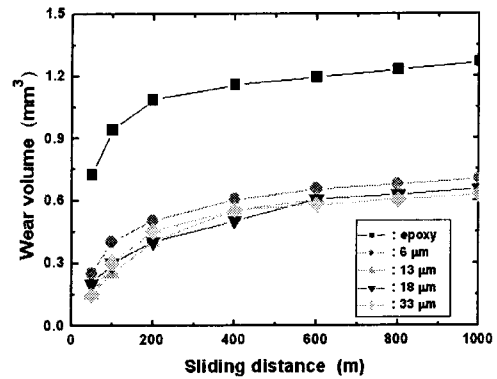


Fig. 2 Variation of wear volume as a function of sliding distance for pure epoxy and silica-filled epoxy composites at sliding speed of 0.1 m/s and applied load of 10N.

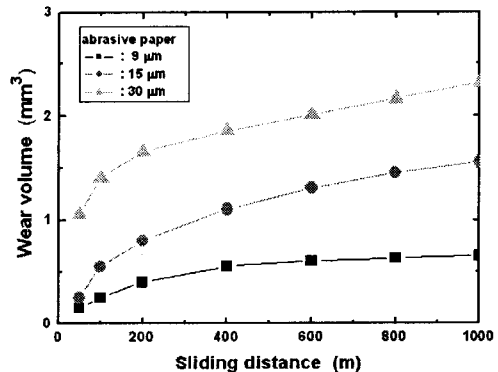


Fig. 3 Variation of wear volume as a function of sliding distance for 13 μ m silica-filled epoxy composites at sliding speed of 0.1 m/s and applied load of 10N and abrasive paper of 9 μ m, 15 μ m, 30 μ m.

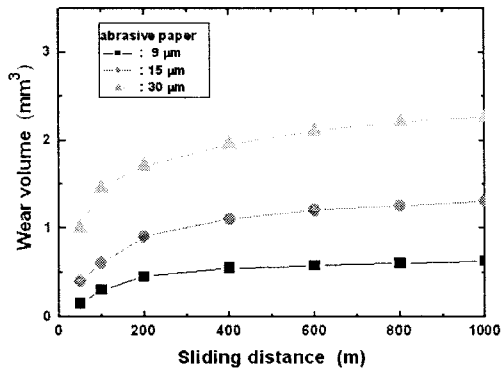


Fig. 4 Variation of wear volume as a function of sliding distance for 33 μm silica-filled poxy composites at sliding speed of 0.1 m/s and applied load of 10N and abrasive paper of 9 μm , 15 μm , 30 μm .

Fig. 5는 에폭시와 실리카 입자 복합재료에 대하여 미끄럼 거리에 대한 마찰계수의 변화를 나타낸 것이다. 미끄럼 속도는 0.1m/s, 적용하중 10N, 상대재인 SiC 연마지의 거칠기는 30 μm 이다. 순수 에폭시 재료나 실리카 입자강화(6 μm - 33 μm) 복합재료 공히 미끄럼 거리가 짧은 200m까지는 마찰계수가 급격하게 감소하지만 그 이후는 거의 일정한 값에 도달하여 안정상태가 됨을 알 수 있다. 그러나 강화제인 실리카 입자 지름이 6 μm 에서 33 μm 으로 증가하더라도 마찰계수의 경향은 일정한 경향을 나타내지 않았다.

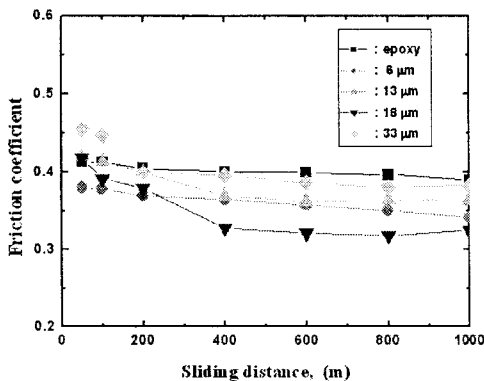


Fig. 5 Friction coefficient as a function of sliding distance for epoxy and silica-filled composites at applied load of 10N and sliding speed of 0.1m/s and abrasive paper of 30 μm .

Fig. 6은 33 μm 실리카 입자복합재료에 대하여 SiC 연마지의 입자 크기가 9 μm , 15 μm , 30 μm 로 변화 시켰을 때 마찰계수를 나타낸 것이다. 미끄럼 속도는 0.1m/s이고, 적용하중은 10N이다. 마찰계수는 SiC 연마지의 입자크기가 제일 큰 30 μm 인 경우에서 가장 높게 나타나고 있다. 이는 연마지의 거칠기가 크기 때문에 마찰 손실량이 많아지고 이것이 마찰계수에 영향을 주기 때문이라 생각한다.

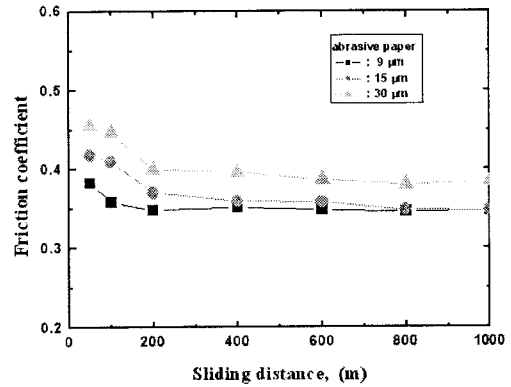


Fig. 6 Friction coefficient as a function of sliding distance for 33 μm silica-filled composites at applied load of 10N and sliding speed of 0.1m/s and abrasive paper of 9 μm , 15 μm , 30 μm .

Fig. 7은 에폭시와 실리카 입자 복합재료에 대하여 미끄럼 거리에 대한 마모율의 변화를 나타낸 것이다. 미끄럼 속도는 0.1m/s, 적용하중 10N, 상대재인 SiC 연마지의 거칠기는 9 μm 이다. 순수 에폭시와 실리카 입자 복합재료의 마모율을 비교하여 보면 순수 에폭시의 경우가 미끄럼 거리에 따른 마모율이 가장 높게 나타나고 또한 그 차이가 크게 되고 있다. 강화제인 실리카 입자 지름에 따른 마모율은 미끄럼 거리가 짧은 초기 단계에는 입자지름이 큰 경우에 작게 나타나고 있으나 미끄럼 거리가 긴 경우인 400m 이상에서는 그 값의 차이가 거의 없이 일정하게 됨을 알 수 있다. 따라서 순수 에폭시나 실리카 입자강화 복합재료의 마모율은 미끄럼 거리가 증가함에 따라 초기단계에는 급격히 감소하다가 점차 일정한 값이 됨을 알 수 있다.

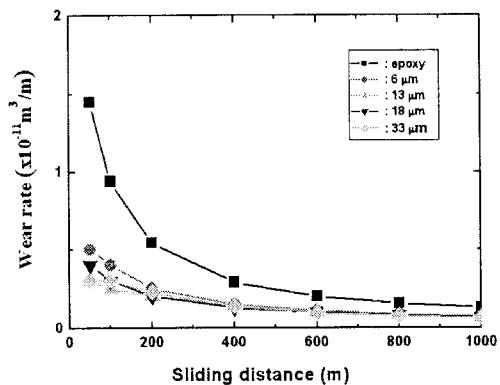


Fig. 7 Variation of wear rate as a function of sliding distance for epoxy and silica-filled epoxy composites at sliding speed of 0.1 m/s and applied load of 10N.

Fig. 8은 13 μm 실리카 입자복합재료에 대하여 미끄럼 속도는 0.1m/s, 적용하중이 10N인 조건에서 SiC 연마지의 입자 크기가 9 μm , 15 μm , 30 μm 로 변화 시켰을 때 마모율을 나타낸 것이다. 마모율의 변화에 대한 양상은 Fig. 7과 거의 유사하게 됨을 알 수 있고, 동일 미끄럼 거리에서 SiC 연마지의 입자가 30 μm 인

경우가 마모율이 가장 높게 나타나고 있다. Fig. 9는 33 μ m 실리카 입자복합재료에 대하여 미끄럼 속도 0.1 m/s, 적용하중 10N에서 SiC 연마지의 입자 크기가 9 μ m, 15 μ m, 30 μ m로 변화시켰을 때 마모율을 나타낸 것으로 동일 미끄럼 거리에서 SiC 연마지의 입자가 30 μ m인 경우가 마모율이 가장 높게 나타나고 있으며, 전체적인 경향은 Fig.8과 유사하다.

실리카 입자 강화 복합재료에서 누적 체적 손실량과 마찰계수, 그리고 마모율은 동일재료에서 상대재인 SiC 연마지를 제외하고 미끄럼 속도가 0.1m/s, 적용하중이 10N으로 같은 조건에서는 연마지의 입자크기가 큰 경우에 높게 나타나서 연마지의 입자크기 즉 상대재의 조건에 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

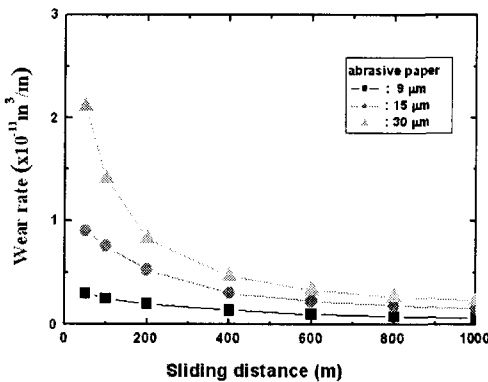


Fig. 8 Variation of wear rate as a function of sliding distance for 13 μ m silica-filled epoxy composites at sliding speed of 0.1 m/s and abrasive paper of 9 μ m, 15 μ m, 30 μ m.

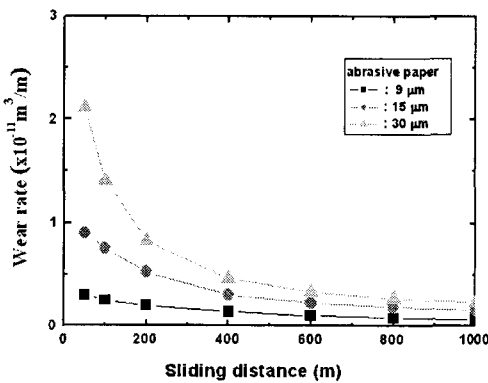


Fig. 9 Variation of wear rate as a function of sliding distance for 33 μ m silica-filled epoxy composites at sliding speed of 0.1 m/s and abrasive paper of 9 μ m, 15 μ m, 30 μ m.

5. 결 론

본 논문에서는 입자강화 복합재료에서 평균입자지름이 6, 13, 18, 33 μ m로 변화함에 따른 마찰 및 마모거동에 고찰하였다. 또한 SiC 연마재의 입자크기에 따른 누적 마모체적, 마찰계수 그

리고 마모율의 거동을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 순수 에폭시 및 실리카 입자강화 복합재료의 누적 마모 체적은 미끄럼 거리가 증가할수록 비선형적으로 증가하고 있으며, 순수 에폭시재료의 누적 마모 체적은 실리카 입자 복합재료의 그것보다 매우 높게 나타남을 알 수 있다. 이 복합재료의 누적 마모 체적량은 실리카 입자지름이 증가할수록 적게 나타났으나 그 값의 차이는 적었다.

(2) 순수 에폭시와 실리카 입자강화 복합재료의 마찰계수는 미끄럼 거리가 짧은 200m까지는 급격하게 감소하지만 그 이후는 거의 일정한 값에 도달하였다.

(3) 실리카 입자강화 복합재료의 마모율은 실리카 입자지름이 증가할수록 낮게 나타났으며, 미끄럼 거리가 증가할수록 초반에는 급격히 감소하지만 점차 일정한 값에 도달하였다.

(4) 실리카 입자강화 복합재료의 누적 마모 체적량, 마찰계수, 그리고 마모율은 SiC 연마지의 입자지름이 가장 큰 30 μ m인 경우에 가장 높게 나타내서 연마지의 입자에 대해 의존한다는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Cenna, A.A., Dastoor, P., Beehag, A. and Page, N.W. (2001). "Effects of graphite particle addition upon the abrasive wear of polymer surfaces", *J. of Mater. Sci.* Vol. 36, pp 891-900.
- [2] Zhang, M.Q., Rong, M.Z., Yu, S.L., Wetzel, B. and Friedrich, K. (2002). "Effect of particle surface treatment on the tribological performance of epoxy based nanocomposites", *Wear* Vol. 253, pp 1086-1093.
- [3] Ravikiran, A. and Jahanmir, S. (2001). "Effect of contact pressure and load on wear of alumina", *Wear* Vol. 251, pp 980-984.
- [4] Chand, N., Naik A. and Neogi, S. (2000). "Three-body abrasive of short glass fibre polyester Composite", *Wear* Vol. 242, pp 38-46.
- [5] Kim, J.D., Kim, H.J. and Koh, S.W. (2006). "Effects of Processing Parameters on the Mechanical Properties of SiCp/AC8A Composites by pressureless Metal Infiltration Process", *Mater. Sci. Forum* Vols. 510-511, pp 230-233.
- [6] Kim, J.D., Kim, H.J. and Koh, S.W. (2006). "Wear Characteristics of Particulate Reinforced Metal Matrix Composites fabricated by a Pressureless Metal infiltration Process", *Mater. Sci. Forum* Vols. 510-511, pp 234-239.
- [7] Sahnoune, F., Lopez-Cuesta, J.M. and Crespy, A. (1999). "Effect of elastomer interfacial agents on tensile and impact properties of CaCO₃ filled HDPE", *J. of Mater. Sci.* Vol. 34, p.535-544.
- [8] Xing, X.S. and Li, F.K.Y. (2004). "Wear behavior of epoxy matrix composites filled with uniform sized sub-micron spherical silica particles", *Wear* Vol. 256, pp 21-26.