

FRP 선박 외판재의 연삭마모 특성에 관한 연구

김병탁・고성위

부경대학교 기계공학부

A study on abrasive wear characteristics of side plate of FRP ship

Byung Tak KIM and Sung Wi KOH*

School of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608 – 739, Korea

Generally the side plate materials of FRP ship are composed of glass fiber and unsaturated polyester resin composites(GFRP composites). In this study, the effect of applied load and sliding speed on friction and wear characteristics of these materials were investigated at ambient temperature by pin-on-disc friction test. The cumulative wear volume, friction coefficient and wear rate of these materials for SiC abrasive paper were determined experimentally. The cumulative wear volume showed a tendency to increase nonlinearly with increase of sliding distance and was dependent on applied load and sliding speed for these composites. The friction coefficient of GFRP composites was increased as applied load increased at same sliding speed in wear test. It was verified by SEM photograph of worn surface that major failure mechanisms were microfracture, deformation of resin, cutting and cracking.

Key words : Abrasive wear, Wear characteristics, SiC paper, Cumulative wear volume, Friction coefficient

서 론

섬유강화 복합재료는 경량이기 때문에 과거 에는 구조물의 무게를 경감하기 위한 부재로 사 용되어 왔으나, 최근에는 고강도이며 고강성의 성질을 가지는 열경화성 복합재료가 구조물의 주 부품으로 사용되고 있고, 소형 선박에는 거의 전 구조물이 이러한 복합재료로 대체되고 있다. 한편 선박에 사용되는 부재는 특수한 환경에서 사용되는 재료로서 환경요인과 함께 기계적 성 질 및 마찰과 마모 특성에 대한관심이 증대되고 있는 실정이다.

복합재료의 마찰 및 마멸 특성에 영향을 미치 는 것은 강화섬유의 재질, 구성, 함유량, 섬유방 향및 수지의 미끄럼 거리 등 여러 복잡한 인자들 이 있다. 미끄럼 마모시 섬유 방향의 영향과섬유 방향에 대한 마찰계수의 변화(Sung and Suh,

^{*}Corresponding author: swkoh@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-6192, Fax: 82-51-629-6188

1979), 마찰 및 마모거동은 섬유방향, 하중 그리 고 마찰 속도에 영향(Koh and Yang, 2004; Koh et al., 2004; Koh et al., 2006)을 받는다는 결과가 있 으며, 마찰및 마모 거동은 마찰조건과 섬유방향 에 따라 변한다(Shim et al., 1991)는 연구결과 등 이 있다. 또한, 마모의 박리이론(Suh, 1977)에 대 한 미끄럼 속도, 윤활제, 하중조건에 대한 연구 결과들을 종합적으로 검토하였고, 마찰계수의 차이가 마모의 환경을 지배한다(Suh and Sin, 1981)는 마찰이론을 발표하였다. 그 외에도 다 양한 폴리머 복합재의 연삭마모가 일어나는 동 안 지배적인 미소 마모 메커니즘을 분류하였고 (Friedrich, 1986), 18가지의 고분자에 대하여 실 험하여 저밀도 폴리에틸렌은 거친 연강에 대하 여 낮은 연삭마모율을 나타낸다(Evans and Lancaster, 1979)는 연구및 상용 치과재료4가지 재료에 대하여 마찰계수를 구하였고, 이들주 마 찰기구는 응착마모라고(Ren et al., 2001) 한 연구 결과등 많은 연구가 있다.

이상과 같이 복합재료의 마찰 및 마모에 관한 많은 연구가 이루어지고 있으나 실제 선박에 사 용된 부재인 FRP에 대한 연구는 그리 많지 않으 며, 이에 대한 깊이 있는 연구가 필요한 실정이다. 따라서 이 논문에서는 복합재료의 건조 미끄 럼 마모거동에 대한 종합적인 연구의 일환으로 FRP 선박의 외관에 사용되는 GFRP 복합재료를 사용하여 SiC 연마지에 대한 누적 마모체적, 마 찰계수 그리고 마모율을 미끄럼 속도와 적용하 중의 변화에 대하여 실험적으로 고찰하였다. 또 한 이 재료의 마모메커니즘을 파악하기 위하여 주사현미경(SEM)의 관찰을 통한 연삭마모특성 을 비교·고찰하였다.

재료 및 방법

실험에 사용된 재료는 선박 외판재로 사용되는 GFRP 복합재료로서 섬유는 잘려진 섬유매트 (chopped strand mat : 450g/m²)와 직조섬유 (woven roving : 860g/m²))이고, 수지는 불포화 폴 리에스테르를 사용하였으며, 잘려진 섬유매트 와 직조섬유를 각각 한층씩 교대로 수지에 함침 시켜 12플라이(fly)를 적층하였다. 적층작업시 기포, 부풀음, 수지 부족 또는 과다현상이 발생 하지 않도록 주의하여 작업하였으며, 최하부층 과 최상부층은 잘려진 섬유매트가 위치하도록 적층하였다. 이 재료의 다른 기계적 성질은 참고 문헌(Kim et al., 2005)에 기술되어 있다.

연삭마모시험은 핀온디스크(pin-on-disc) 형 시 험기를 사용하여 실시하였다. 시험 시 환경조건 은 온도와 습도의 조절이 가능한 환경 챔버를 제 작하여 온도 20℃와 상대습도 60% 를 일정하게 유지시켰다. 마찰 및 마모시험편은 동일방향이 되도록 15mm ×4.5mm ×5.5mm의 크기로 절단 하여 표면을 사포로 연마하여 사용하였다. 마찰 및 마모시험 전의 복합재료는 표면의 불순물과 습기를 제거하기 위하여 알콜로 깨끗이 세척하 고 건조로 속에서 24시간이상유지시킨 후 실험 을 실시하였다.

상대재인 SiC 연마지(3M)는 지름 80mm, 두께 1.5mm인 디스크의 표면에 접착제를 사용하여 부착하고 건조로에서 7일간 완전히 경화 시킨 후 연삭마모시험을 실시하였으며, 본 연구에 사 용한 SiC 연마지의 평균입자지름은 9, 15, 30 µm 이다. Fig. 1은 준비된 시험편과 디스크 표면에 SiC 연마지를 부착한 모습을 나타낸 것이다.

적용하중은 10N, 20N 그리고 30N, 미끄럼 속 도는 0.1m/s, 0.3m/s, 0.6m/s로 변화시켜가면서 각각의 경우에 대하여 미끄럼거리 1000m까지 마모시험을 실시하였다. 마모손실은 실험 전 및 실험도중 50m와 100m의 미끄럼 거리를 포함해 서 200m마다1000m까지 무게손실을 구하여 누 적마모체적을 계산하였고, 또한 실험기간 중의 마찰계수 및 마모율을 구하였다.

동일한 시험조건에서 3개의 시험편을 각각의 시험거리에 대하여 연삭마모시험을 실시하였으 며, 시험 전후의 시험편의 질량손실은 Mettler 분 석천칭(감도 0.01mg)으로 측정하여 같은 환경조



Fig. 1. Photograph of specimen and stainless disk bonded SiC paper.

건에서 3번 이상 측정하여 마찰계수를 구하였다. 마모된 시험편의 마찰 특성 비교 및 마모기구 조사를 위한 표면관찰은 주사전자현미경(SEM) 으로 관찰하였다.

결과 및 고찰

35 톤급 FRP 선박의 외판재로 사용하는 유리 섬유 강화 폴리에스테르 복합재료의 연삭마모 특성을 하중과 미끄럼 속도의 변화에 대하여 실 험하였다. 실험한 결과는 초기마모가 일어나는 시간이 대체적으로 3분-5분정도 소요되었으 며, 초기마모동안 복합재료 시험편과 마찰상대 재 사이에는 단단한 SiC 입자들에 의한 연삭과 쟁기질 등으로 인하여 마모가 많이 일어났으며, 마찰계수가 떨어져 안정상태가 되면 마모가 현 저히 줄어들었다.

Fig. 2는 GFRP 복합재료에서 미끄럼 속도 0.1m/s, 상대재인 SiC 연마지의 평균입자가9µm 일 경우에 적용하중이 10, 20, 30N으로 변화할 때 미끄럼 거리에 따른 누적 마모체적의 변화를 나타낸 것이다. 적용하중이 10N일 경우 미끄럼 거리가 증가하더라도 누적 마모체적은 비교적 완만하게 증가하더라도 누적 마모체적은 비교적 완만하게 증가하여 그 차이가 적게 되는 것을 알 수 있으나 적용하중이 증가할수록 미끄럼 거리 가 짧은 초반에는 경사가 급해지다가 점차적으



Fig. 2. Variation of wear volume as a function of sliding distance for the composites tested on 9μ m SiC paper at sliding speed of 0.1 m/s and applied load of 10, 20, 30N.



Fig. 3. Variation of wear volume as a function of sliding distance for the composites tested on 9μ m SiC paper at sliding speed of 0.3 m/s and applied load of 10, 20, 30N.

로 경사가 완만해짐을 알 수 있다. 이것은 미끄 럼 거리가 짧은 때에는 마모가 많이 일어나지만 미끄럼 거리가 증가할수록 점차 마모가 적게 일 어난다는 것을 의미한다. 또한 각각의 적용하중 에서도 선형적으로 증가하지 않고 비선형적으 로 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 비선형 적 으 로 증 가 하 는 것 은 Ravikiran and Jahanmir(2001)의 결과와 유사한 경향을 나타내 고 있으나 Chand et al.(2000)의 결과와는 상반됨 을 알 수 있다.



Fig. 4. Variation of wear volume as a function of sliding distance for the composites tested on 9μ m SiC paper at applied load 10N and sliding speed of 0.1, 0.3, 0.6 m/s.



Fig. 5. Variation of wear volume as a function of applied load for the composites tested on 9μ m SiC paper at sliding speed of 0.1, 0.3, 0.6 m/s.

이와 같은 경향은 미끄럼 속도가 0.3m/s으로 다르나 다른 조건은 Fig. 2와 동일한 경우에도 유사한 결과를 나타냄을 Fig. 3을 통해서 알 수 있다. 하지만 미끄럼 속도가 0.3m/s에서 하중이 10N과 20N인 경우의 누적 마모체적이 크게 차 이가발생하지 않음을 알 수 있어서 미끄럼 속도 와 적용하중에 비례하지 않는다는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 4는 적용하중 10N, SiC 연마지의 평균입 자가 9µm 일 경우에 미끄럼 거리에 따른 누적마



Fig. 6. Variation of friction coefficient as a function of sliding distance for the composites tested on 9μ m SiC paper at sliding speed of 0.1 m/s and applied load of 10, 20, 30N.

모체적을 각각의 미끄럼 속도에 따라 나타낸 것 이다. 미끄럼 속도가 낮은 경우보다 미끄럼 속도 가 큰 경우가 누적 마모체적이 크게 됨을 알 수 있지만, 미끄럼 속도가 0.3m/s와 0.6m/s의 두 가 지 경우에는 누적마모체적이 거의 비슷함을 알 수 있다.

Fig. 5는 각각의 미끄럼 속도에서 적용하중의 증가에 따른 누적마모체적을 나타낸 것으로 적 용하중이 적은 10N에서는 누적마모체적이 미끄 럼 속도에 따라 크게 나타나지만 적용하중이 20N, 30N으로 증가함에 따라 미끄럼 속도에 따 른 누적마모체적의 차이가 적게 됨을 알 수 있다.

Fig. 6은 FRP 선박외판재에서 미끄럼 속도 0.1m/s, SiC 연마지의 평균입자지름이 9µm일 때 각각의 적용하중에 대하여 미끄럼 거리의 변화 에 따른 마찰계수의 변화를 나타낸 것이다. 미끄 럼 거리가 짧은200m 미만에서는 마찰계수는 점 차 감소하는 것을 알 수 있으나 미끄럼 거리가 400m 이상에서는 거의 일정한 값이 되어 안정상 태가 됨을 알 수 있다. 또한 동일 미끄럼 속도에 서 적용하중이 증가함에 따라 마찰계수는 크게 됨을 알 수 있다.

Fig. 7은 미끄럼 속도 0.6m/s, SiC 연마지의 평 균입자지름이 9μm일 때 각각의 적용하중에 대



Fig. 7. Variation of friction coefficient as a function of sliding distance for the composites tested on 9μ m SiC paper at sliding speed of 0.6 m/s and applied load of 10, 20, 30N.



Fig. 8. Variation of friction coefficient as a function of sliding distance for the composites tested on 9μ m SiC paper at applied load 20N and sliding speed of 0.1, 0.3, 0.6 m/s.

하여 미끄럼 거리의 변화에 따른 마찰계수의 변 화를 나타낸 것으로 미끄럼 거리가 400m 이상에 서는 마찰계수는 거의 일정한 값을 나타내는 경 향은 Fig. 6과 유사하다. 그러나 적용하중이 증 가함에 따라 마찰계수가 다소 증가하지만 그 값 의 차이가 상당히 적어 적용하중에 따른 마찰계 수의 경향을 뚜렷하게 기술하기는 곤란하고 이 에 대한 상세한 연구가 필요하다.

한편, Fig. 8은 적용하중이 20N으로다소 큰 적 용하중일 때의 결과로서, SiC 연마지의 평균입



Fig. 9. Variation of wear rate as a function of sliding distance for the composites on 9μ m SiC paper at sliding speed of 0.3 m/s and applied load of 10, 20, 30N.



Fig. 10. Variation of wear rate as a function of sliding distance for the composites tested on 9μ m SiC paper at sliding speed of 0.6 m/s and applied load of 10, 20, 30N.

자지름이 9µm으로 동일할 때 각각의 적용하중 에 대하여 미끄럼 거리의 변화에 따른 마찰계수 의 변화를 나타낸 것이다. 동일 미끄럼 속도에서 미끄럼 거리가 400m이상에서는 마찰계수가 거 의 일정하게 되는 경향은 비슷하였다.

Fig. 9는 미끄럼 속도 0.3m/s, 9μm의 SiC 연마 지에 대하여 각각의 적용하중에서 미끄럼 거리 의 변화에 따른 마모율의 변화를 나타낸 것이다. 동일 적용하중에서 미끄럼 거리가 증가할수록 마모율은 초반에는 급격히 감소하다가 그 감소



Fig. 11. Variation of wear rate as a function of sliding distance for the composites tested on 9μ m SiC paper at applied load of 30N and sliding speed of 0.1, 0.3, 0.6m/s.



composites on each test condition at sliding distance 50m.

폭이 매우 적게 됨을 알 수 있다. 또한 동일 미끄 럼 거리에서 각각의 적용하중에 대한 마모율을 살펴보면 적용하중이 높을수록 마모율도 크게 됨을 알 수 있다. Fig. 10은 미끄럼 속도 0.6m/s, SiC 평균입자지름이 9µm의 경우에 대한 각각의 적용하중에 대하여 미끄럼 거리의 변화에 따른 마모율을 나타낸 것으로서 미끄럼 속도가 큰 경 우가 마모율의 변화가 크다는 것을 알 수 있으나 이에 대한 상세한 연구가 필요하다. Fig. 11은 적 용하중 30N, 9µm의 SiC 연마지에 대하여 각각 의 미끄럼 속도에서 미끄럼 거리에 따른 마모율 을 나타낸 것으로서 그경향은 앞의 결과와 유사 하게 나타났다. 한편 시험된 적용하중과 미끄럼 속도에서 선박외관재의 마모율은 매우 낮음을 알 수 있으며, 그 값은 CFRP 복합재료의 값보다 매우 낮음을 알 수 있다(Koh et al., 2006).

Fig. 12는 GFRP 복합재료에서 핀온디스크 마 모시험기를 사용하여 미끄럼속도와 적용하중을 다르게 하였을 때 시험한 시험편의 대표적 마모 면을 나타내고 있다. 이때 마모면은 각각의 경우 에 미끄럼 거리가 50m까지 마모시험을 행한 상 태를 SEM 사진촬영한 것을 나타낸 것이다. Fig. 12(a)는 미끄럼 속도 0.1m/s, 적용하중 10N의 경 우에 대한 마모면을 나타낸 것으로서 마모막이 형성되었다는 것을 알 수 있다. 수지인 폴리에스 테르가 변형되어 미시균열(micorcrack)과 미시파 괴(microfracture)가 발생하고, 유리섬유의 일부 단면에 미시균열, 미시절단(microcutting)과 파단 이 발생하여 부스러기가 주변에 떨어져 있음을 알 수 있다. 동일한 미끄럼 속도에서 하중이 20N 이 작용하면, 수지인 폴리에스테르의 변형이 점 차 많아지고, 이와 더불어 섬유에 작용하는 응력 이 커짐에 따라 섬유의 파단과 절단이 증가하여 파손된 섬유의 형상을 더욱 많이 증가함을 알 수 있다(Fig. 12(b)참조). 또한 미끄럼 속도는 동일하 지만 적용하중이 30N인 Fig. 12(c)의 경우는 섬유 의 파단과 손상된 모습이 더욱더 증가하고 섬유 와 수지의 부스러기가 많아짐을 알 수 있다. Fig. 12(d)는 적용 하중은 10N이지만 미끄럼 속도가 가 장 빠른 0.6m/s 인경우의 마모면을 나타낸 것으로 서 마모막이 형성되었다가 그 마모막이 깨어지 고 수지와 섬유의 파손이 가장 많이 이루어져서 심각한 손상이 발생되었음을 확인 할 수 있었다.

결 론

FRP 선박외판재와SiC 연마지인 상대재에대 한 마찰 및 마모 거동을 적용하중과 미끄럼 속도 의 변화에 따라 실험적으로 고찰하여 얻어진 결 론은 다음과 같다. FRP 선박 외판재인 복합재료 의 누적마모체적은 미끄럼 거리가 증가함에 따 라 급격히 증가하다가 그 증가폭이 떨어지는 비 선형적으로 증가하였으며, 또한 누적마모체적 은 적용하중과 미끄럼 속도가 증가함에 따라 증 가하였다. 미끄럼 거리가 짧은 경우에는 마찰계 수는 감소하다가 미끄럼 거리가 400m 이상에서 는 거의 일정한 값이 되어 안정된 값을 나타내고 있으며, 동일 미끄럼 속도에서 적용하중이 증가 함에 따라 복합재료의 마찰계수는 크게 되었다. 사용된 복합재료의 마모율은 매우 낮게 나타나 내마모성이 우수하게 나타났으며, 동일 하중에 서 미끄럼 속도의 증가에 따라 증가하다가 감소 하였다. 연삭마모 시험에서 섬유파괴 메커니즘 은 미시파괴, 기지의 변형, 절단(cutting) 및 균열 (cracking) 등이 주 메커니즘이라는 것을 파면의 SEM 사진을 통해 확인 할 수 있었다.

사 사

이 논문은 2006학년도 부경대학교 기성회 학 술연구비에 의하여 연구되었음(PK - 2006 -8500)

참고문헌

- Chand, N., A. Naik and S. Neogi, 2000. Three-body abrasive of short glass fibre polyester composite. Wear, 242(1-2), 38-46.
- Evans, D.C. and J.K. Lancaster, 1979. The wear of polymers. Treatise on materials science and technology, 13, ed. Academic Press, New York, USA, pp. 85 – 139.
- Fridrich, K., 1986. Friction and Wear of Polymer Composites, Composite Materials Series, 1, ed. Elsevier, Amsterdam, pp. 233 – 287

- Kim, H.J., J.J. Lee, J.D. Kim and S.W. Koh, 2005. A study on the impact fracture behavior of side plate of 35 ton class ship. Journal Kor. Soc. Pow. Sys. Eng., 9(4), 137 – 142.
- Koh, S.W. and B.C. Yang, 2004, Effect of sliding velocity on the wear and friction characteristics of a carbon fiber composites. Journal Kor. Soc. Fish. Tech., 40(4), 337 – 343.
- Koh, S.W. and B.C. Yang, H.J. Kim and J.D. Kim, 2004. Effect of sliding velocity on the wear and friction characteristics of a carbon fiber composites. Journal Kor. Soc. Fish. Tech., 40(4), 344 – 350.
- Koh, S.W. and B.C. Yang, H.J. Kim and J.D. Kim, 2006. Study on abrasive wear behavior of a carbon fiber composites. Journal Kor. Soc. Pow. Sys. Eng., 10(1), 46 -51.
- Ravikiran, A. and S. Jahanmir, 2001. Effect of contact pressure and load on wear of alumina. Wear, 251(1-12), 980-984.
- Ren, J.R., K.H. Kim and S.S. Kim, 2001. Tribological evaluation of dental composite resins containing prepolymerized particle fillers. KSME International Journal, 15(6), 727 – 734.
- Shim, H.H., O.K. Kwon, J.R. Youn, 1991. Effects of structure and humidity on friction and wear properties of carbon fiber reinforced epoxy composites. Proc. SPE ANTEC' 91, pp. 1977.
- Sung, N. and N.P. Suh, 1979. Effect of fiber orientation in friction and wear of fiber reinforced polymer composites. Wear, 53(1), 129 – 141.
- Suh, N.P., 1977. An overview of the delamination theory of wear. Wear, 44(1), 1 16.
- Suh, N.P. and H.C. Sin, 1981. The genesis of friction. Wear, 69(1), 91 –114.

2008년 7월 15일 접수 2008년 7월 28일 1차 수정 2008년 8월 6일 수리