

코팅공구에 의한 섬유강화 복합재료의 선삭가공 특성

정용운*, 김주현**

Turning Characteristics of Fiber-Reinforced Plastics by Coated Tools

Yong-Woon Chung*, Joo-Hyun Kim**

Abstract

In the machining of glass fiber reinforced plastics(GFRP), turning has been often used. But the most of past studies have been interested in the effect of fiber orientation on tool wear. In this study, the effects of fiber contents and cutting speeds on tool wear, cutting force and surface roughness are investigated experimentally. By proper selection of cutting tool, the variables are cutting speed, fiber contents and cutting length with fixed feed rate and depth of cut. The fiber contents have major effects on coated tool wear which observed as abrasive wear type.

Key Words : GFRP(섬유강화복합재료), tool wear(공구마모), cutting force(절삭력)

1. 서론

오늘날 제품들은 경량이면서 높은 내구성을 가진 재료를 추구하고 있는 경향이다. 이런 요구조건을 충족시키기 위해서는 복합재료를 사용하여야 하고, 복합재료도 여러 가지가 있지만 특히, 유리섬유강화 플라스틱(glass fiber reinforced plastics, GFRP)은 일반적으로 강도와 강성, 피로특성이 좋고 낮은 열 팽창계수를 가지고 있을 뿐 아니라 가격이 저렴하고 다양한 형태로 제조될 수 있는 장점으로 첨단 항공산업, 자동차 산업 및 건축물의 골조 등에 널리 이용되고 있다¹⁾.

유리섬유강화 플라스틱 제품은 주로 사출성형의 1차 공정만으로 제품이 완성되나, 최근에는 그 용도가 광범위해져서 선삭, 밀링, 드릴링 등의 2차 가공이 필요하게 되었다.

복합재료를 이용한 기존의 실험들로는 Sakuma와 Seto²⁾가 GFRP의 절삭시 섬유방향이 절삭저항, 표면거칠기와 공구마모에 미치는 영향을 연구하였고, Bhatnagar³⁾ 등이 적층한 FRP(fiber reinforced plastics)를 섬유방향에 따라 세이퍼로 가공하여 절삭특성을 연구했다. 이처럼 기존의 연구들은 주로 장섬유를 강화재로 이용하여 섬유방향성에 따른 절삭특성을 관찰하였다.

본 연구에서는 섬유함유량에 따라 회전수를 변화시키면

* 국민대학교 자동차공학전문대학원
** 국민대학교 기계자동차공학부(kim@kookmin.ac.kr)

서 일반적으로 많이 쓰이는 코팅공구를 이용하여 절삭하면서 공구동력계와 공구현미경을 이용하여 절삭력과 공구마모를 측정하였고, 10km의 절삭을 마친 후 SEM촬영을 하여 마모 특성을 관찰하였으며, 가공된 피삭재의 표면거칠기를 측정하여 유리섬유강화 복합재료의 절삭특성을 실험적 연구를 통하여 알아보려고 한다.

2. 실험

2.1 실험장치 및 시편

본 실험에 사용된 실험장치로는 동일한 절삭조건을 주기 위해 대우중공업 PUMA150G 모델이 사용되었고, 절삭력을 측정하기 위해서 선반의 베드 위에 공구동력계를 장착하였다. 공구동력계는 KISTLER 9257 모델이며 Charge Amplifier와 DAQ Board를 연결하여 IBM PC로 데이터를 분석하였다. 절삭공구는 KORLOY사의 SNMG 120408로 다층코팅 공구이며 공구의 선정은 일반적으로 널리 쓰이는 것을 선택하였다. 또한, 공구의 플랭크면의 마모를 측정하기 위해 NIKON사의 ECLIPSE ME600 모델을 사용하였고 좀 더 명확한 분석을 위해 SEM 촬영을 하였다. 절삭면의 표면거칠기를 측정하기 위해 영국의 Rank-Taylor Hobson사의 Form Talysurf Series 2를 사용하였다.

본 실험에 사용된 피삭재는 현대정공의 HD-15SPF 사출성형기를 이용하여 길이 100mm, 지름 60mm로 사출 성형 하였으며, 사용된 수지는 LG화학에서 생산되는 수지로 폴리프로필렌의 도재에 단섬유의 유리섬유가 10, 20, 30wt%의 비율로 포함되어 있는 것을 사용하였다. Table 1과 2에 사출성형조건과 절삭조건을 나타내었다.

2.2 실험방법

본 연구의 목적은 유리섬유 강화재의 함유량의 변화에 따른 절삭특성을 실험·분석하는 것으로 절삭력과 공구마모의 절삭조건은 절삭길이를 1~10km까지 1km씩 변화시켰고, 회전수를 1000~4000rpm까지 1000rpm씩 변화시켰다. 이송속도와 절삭깊이는 각각 0.1mm/rev, 1mm로 고정시켰다. 실험 데이터는 예비실험을 거친 후 공구마모와 절삭력은 3회 반복하여 평균값으로 하였고, 표면거칠기는 5회 반복한 평균값으로 하였다.

공구마모는 플랭크(flank)부분에서 일어나는 공구마모, 크레이터(crater)부분에서 일어나는 공구마모, 노즈(nose)부분에서 일어나는 공구마모로 나눌 수 있는데⁽⁴⁾, 본 연구에서는 절삭력과 관계가 깊은 플랭크마모를 측정하였다.

Table 1 Injection condition

Fiber contents	10, 20, 30 [wt%]
Injection pressure	1000 [kg/cm ²]
Cooling time	20 [sec]
Barrel temperature	230 [°C]

Table 2 Cutting condition

Tool (coated)	SNMG 120408-B25, P40
Spindle speed	1000, 2000, 3000, 4000 [rpm]
Cutting length	1~10 [km]
Depth of cut	1 [mm]
Feed	0.1 [mm/rev]

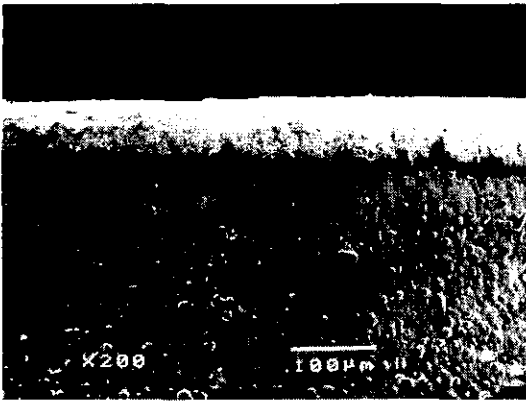
측정방법은 공구현미경의 렌즈에 장착된 scale을 이용하여 육안으로 측정한 것을 폴라로이드 사진으로 확인하였으며, 매 1km의 절삭길이마다 공구마모량을 측정하였다. 최종 10km를 절삭한 공구를 가지고 SEM 촬영을 통해 공구마모의 세부적인 경향을 분석하였다. 표면거칠기는 최종 10km로 가공된 시편의 외경부분을 5회 이상 측정하여 평균값을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

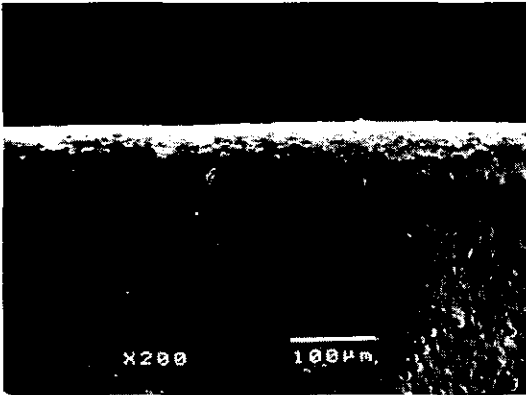
3.1 공구마모

공구마모의 측정은 섬유함유량별로 절삭길이를 1~10km까지 1km씩 절삭할 때마다 공구현미경으로 관찰·촬영하고 마지막 10km의 절삭을 마친 후 SEM 촬영을 하여 공구마모의 특성을 분석하였다.

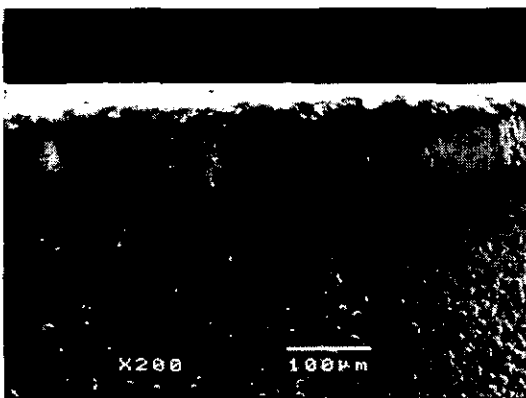
Fig. 1은 회전수가 1000rpm이고 섬유함유량에 따라 공구마모의 변화를 SEM 촬영한 사진을 나타내었다. Fig. 1에서처럼 섬유강화 복합재료의 강화재에 의한 공구마모는 전형적인 연삭마모의 형태이기 때문에 섬유함유량이 증가할수록 플랭크마모가 증가함을 알 수 있고, 실험에 쓰여진 공구가 다층코팅 공구이기 때문에 마모에 의해 공구의 플랭크면이 여러 층으로 나타남을 알 수 있었다.



(a) 10wt%



(b) 20wt%



(c) 30wt%

Fig. 1 SEM micrographs of the flank wear with respect to fiber contents at spindle speed of 1000rpm

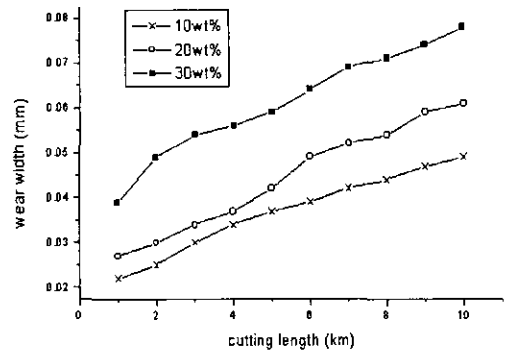


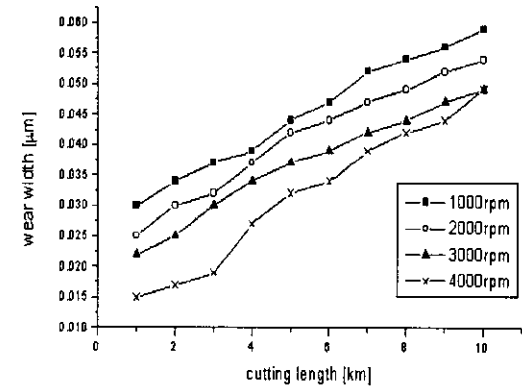
Fig. 2 The effect of fiber contents on the flank wear with respect to cutting length at spindle speed of 3000rpm

Fig. 2에는 섬유함유량에 따른 공구마모량의 변화를 3000rpm의 회전수일 때 나타내었다. 섬유함유량이 증가할수록 공구마모량도 증가하며, 금속절삭에서와 같이 절삭길이가 증가할수록 공구마모량이 증가한다는 것을 알 수 있었다. 다른 회전수에서 실험한 결과도 같은 경향을 나타냈다.

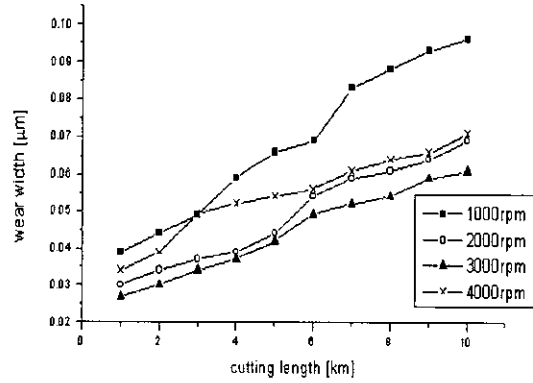
Fig. 3에는 각각의 섬유함유량에 대해 회전수의 변화에 따른 공구마모량을 나타내었다. 금속재료의 경우는 일반적으로 회전수의 증가에 따라 공구마모가 증가하는데⁵⁾그림에서와 같이 복합재료의 경우는 3000rpm까지는 회전수가 증가함에 따라 섬유함유량에 상관없이 공구마모가 감소하는 경향을 나타낸다. 그러나 4000rpm이 되면 섬유함유량이 10wt%일 때는 여전히 공구마모가 감소하지만 20, 30wt%일 때는 오히려 공구마모가 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 4000rpm으로 가공할 때 절삭면에서 관찰되는 채터링(chattering)현상에 기인하여 불안정한 절삭을 하기 때문으로 판단된다. 복합재료가 금속절삭에서와는 달리 회전수가 증가함에 따라 공구마모가 감소하는 것은 연삭작용에 의한 연삭마모에 의한 것인데 연삭마모에서는 속도가 증가함에 따라 공구마모가 감소한다고 알려져 있다⁶⁾. 즉, 복합재료의 경우에는 고체윤활의 역할을 하는 유리섬유가 속도가 높아지면 윤활작용이 활발하여지게 되기 때문에 이러한 현상이 나타난다고 할 수 있다.

3.2 절삭력

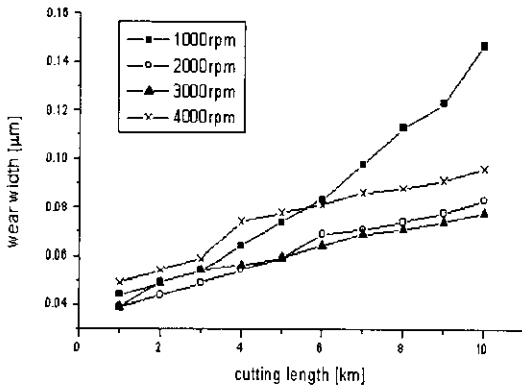
절삭력 측정은 공구마모의 측정과 마찬가지로의 조건으로 섬유함유량을 변화시키면서 각각의 회전수에서 측정하여 Fig. 4에 주분력의 변화를 그래프로 나타냈다.



(a) 10wt%

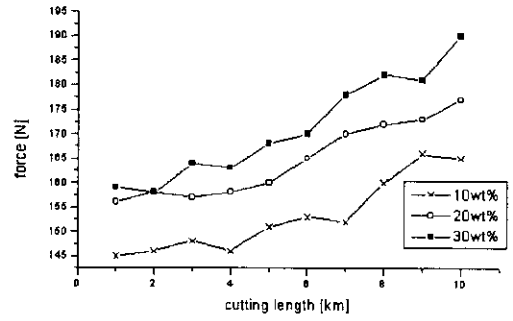


(b) 20wt%

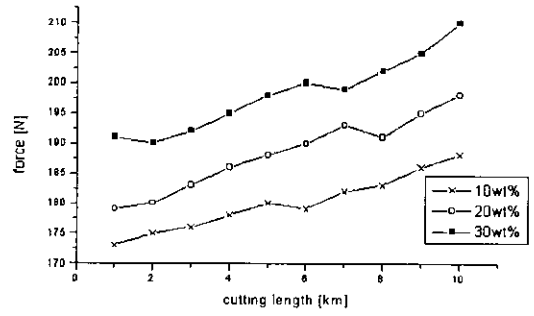


(c) 30wt%

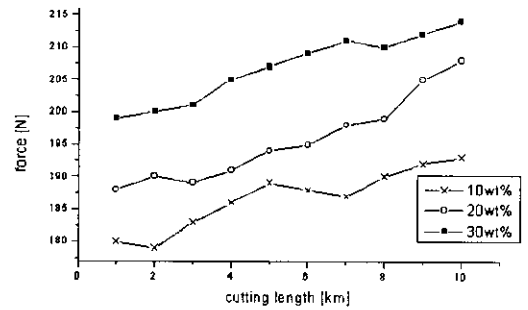
Fig. 3 The effect of spindle speeds on the flank wear with respect to cutting length for each fiber content



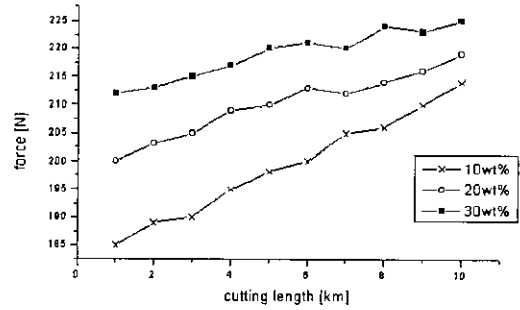
(a) 1000rpm



(b) 2000rpm



(c) 3000rpm



(d) 4000rpm

Fig. 4 The effect of fiber contents on the cutting force with respect to cutting length for each spindle speed

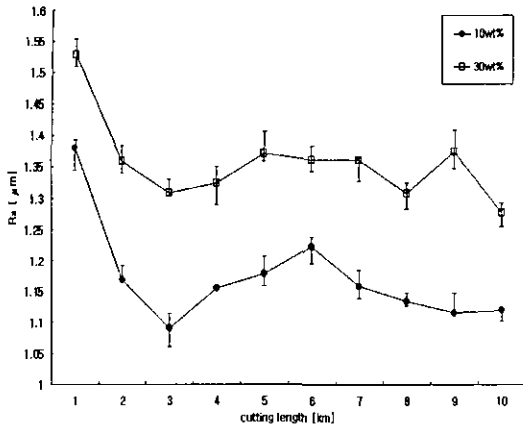


Fig. 5 Surface roughness with respect to cutting length at spindle speed of 2000rpm

Fig. 4에서와 같이 절삭길이와 섬유함유량이 증가하면 절삭력도 약간씩 증가하는데, 이는 금속재료의 절삭시 경도가 올라가면 절삭력도 증가하는 것처럼 섬유함유량의 증가를 경도의 증가로 볼 수 있다. 또한 측정된 절삭력들의 값이 최대 5%까지 분산되어 나타나는데 이는 사출성형된 제품의 특성상 섬유의 방향성이 일정하지 않기 때문에 섬유방향에 따라 절삭날에 작용하는 힘의 방향이 달라지게 되기 때문이다.

3.3 표면거칠기

Fig. 5는 주축회전수가 2000rpm일 때, 섬유함유량이 10wt%와 30wt%의 표면거칠기 측정값을 그래프로 나타냈다. 사용된 시편이 사출성형으로 제작된 것이기 때문에 유리섬유의 분포가 일정하지 않아 절삭이 진행되는 동안 그림에서 보는 바와 같이 표면거칠기가 불안정한 모습을 보이고 있고, 섬유함유량이 30wt%일 때가 10wt%일 때보다 표면거칠기가 나쁘게 됨을 알 수 있다. 이는 섬유함유량이 많을수록 공구마모가 심하게 되어 표면거칠기도 나쁘게 됨을 알 수 있고, 또한 섬유함유량이 많을수록 절삭날에 의한 유리섬유 강화재의 이탈현상으로 표면이 거칠어지게 된다.

4. 결론

- (1) 단섬유가 강화재로 사용된 유리섬유 강화플라스틱 복합재료의 선삭가공시 섬유함유량 및 절삭길이 증가할수록 공구마모는 증가하며 마모 형태는 전형적인 연삭마모이다.
- (2) 회전수가 3000rpm까지는 강화재의 윤활 작용으로 회전수의 증가에 따라 공구마모가 감소하는데 회전수가 4000rpm이 되면 섬유함유량이 높은 20, 30wt%일 때 채터링 현상에 의해 공구마모가 증가한다.
- (3) 유리섬유 강화플라스틱 가공시 섬유함유량과 회전수가 증가하면 절삭 주분력이 증가한다.
- (4) 섬유함유량이 증가하면 강화재의 이탈 현상과 공구마모가 증가하게 되어 표면거칠기가 나쁘게 된다.

참고 문헌

- (1) 이지환, 문창권, 박상보, "복합재료", 원창출판사, pp. 7~12, pp. 163~169, 1993.
- (2) Keizo Sakuma, and Masafumi Seto, "Tool Wear in Cutting Glass Fiber Reinforced Plastics", JSME, Vol. 26, No. 218, pp. 1420~1427, 1983.
- (3) N. Bhatnagar, N. Ramakrishnan, N. K. Naik, and R. Komanduri, "On the Machining of Fiber Reinforced Plastic Composite Laminate", Int. J. Mach. Tools Manufact, Vol. 35, No. 5, pp. 701~716, 1995.
- (4) Edward M. Trent, and Paul K. Wright, "Metal Cutting", Butterworth-Heinemann, pp. 211~225, 2000.
- (5) E. O. Ezugwu, and K. S. Soh, "Wear of Coated Carbide Tools When Machining an Ni-Cr-Mo(817M40) Steel", Lubrication Engineering, pp. 18~24, November, 1997.
- (6) Y. Yamaguchi, "Tribology of Plastic Materials," Tribology Series 16, Elsevier, pp. 121~141, 1990.