

# 섬유강화 복합재료의 가공시 강화재가 공구마모에 미치는 영향

정용운(국민대 대학원), 김주현(국민대 공대), 박주승(기술표준원), 좌성훈(삼성전자)

## The effects of reinforcements on the tool wear during cutting fiber-reinforced plastics

Yong-Woon Chung, Joo-Hyun Kim, Joo-Seung Park, and Sung-Hoon Choa

### ABSTRACT

In the use of glass fiber reinforced plastics(GFRP), cutting is often necessary. 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 on tool wear were investigated experimentally. By proper selection of cutting tool, the variables are cutting speed and fiber contents of 10, 20, 30wt% with fixed feed rate and depth of cut.

**Key words** : Cutting(절삭), Composites(복합재료), Wear(마모), Cutting force(절삭력)

### 1. 서론

유리섬유강화 복합재료(glass fiber reinforced plastics, GFRP)는 일반적으로 강도와 강성뿐만 아니라 피로특성과 낮은 열팽창계수를 가지고 있고, 가격이 저렴하고 다양한 형태로 제조될 수 있는 장점 때문에 첨단 항공산업, 자동차 산업뿐만 아니라 건축물의 골조 등에 널리 이용되고 있다. 이런 용도의 사용을 위하여 선삭, 드릴링, 밀링, 절단 등의 가공도 증가되는 추세이다. 그러나 기존의 복합재료의 절삭특성에 관한 연구들에서는 모재가 금속이거나, 장섬유를 이용한 복합재료에 관한 연구들이 대부분이었다. 복합재료의 절삭특성은 기존의 금속절삭과 비교해 볼 때 공구마모나 절삭력 등에서 많은 차이가 있다.

Sakuma와 Masafumi<sup>(1)</sup>가 GFRP의 절삭시

섬유 방향이 절삭저항, 표면거칠기, 공구마모에 미치는 영향을 연구하였고, Takeyama와 Iijima<sup>(2)</sup>가 칩형성, 평균 절삭력 변화를 분석하여 초음파 가공의 적용을 연구하였으며, Bhatnagar 등<sup>(3)</sup>이 적층한 FRP를 섬유방향에 따라 세이퍼로 가공하여 절삭특성을 연구했다.

이와 같이 기존의 연구들에서는 복합재료 가공시 주로 섬유 방향에 따른 절삭특성에 관한 연구가 주를 이루었다. 본 연구에서는 복합재료를 섬유 함유량을 변화시켜 사출성형한 후에, 코팅공구를 이용하여 선삭하였으며 공구동력계를 이용하여 절삭력을 측정하였다. 마모량은 공구현미경으로 측정한 후 SEM 촬영을 하여 공구마모 특성을 관찰하여 유리섬유강화 복합재료의 섬유 함유량에 따른 절삭특성을 실험적 연구를 통하여 알아보고자 한다.

## II. 실험

### 1. 공구 및 공작물

일정한 절삭조건을 얻기 위해 CNC선반(대우중공업, PUMA-150G)을 사용하였고, 절삭력을 측정하기 위하여 공구동력계(KISTLER 9257B)를 CNC 선반에 장착하여 Charge Amplifier, DAQ Board, IBM PC와 연결하여 사용하였고, 공구마모를 측정하기 위하여 공구현미경 및 SEM을 사용하였다.

공구는 일반적으로 널리 쓰이는 코팅공구(KORLOY, SNMG 120408-B25, P40)를 사용하였다. 사용된 공구는 다층코팅공구로서 표면층에서부터 TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC, TiCN의 순서로 코팅되어 있다.

공작물은 10, 20, 30wt%의 단섬유(LG화학 LUPOL)를 현대정공의 사출기를 이용하여 지름 60mm, 길이 100mm로 사출성형한 것을 이용하였다. Table 1에 사출성형 조건을 나타냈다.

### 2. 측정방법

절삭력을 측정하기 위하여 CNC선반에 공구동력계를 장착하고 공구동력계로부터의 신호를 Charge Amplifier로 증폭시킨 후 DAQ Board가 내장된 IBM PC에서 LabVIEW라는 프로그램을 이용하여 측정하였다. 이를 Fig. 1에 나타냈다.

Glass fiber contents	10, 20, 30 [wt%]
Injection pressure	1000 [kgf/cm <sup>2</sup> ]
Cooling time	20 [sec]
Barrel temperature	230 [°C]

Table 1 Injection condition.

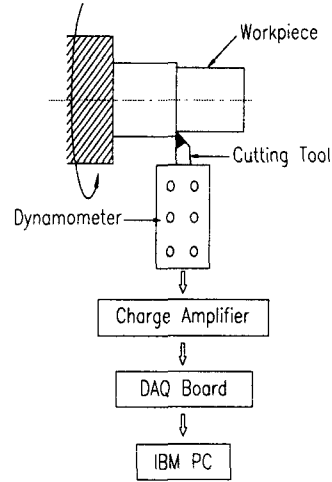


Fig. 1 Experimental setup for measuring cutting forces.

절삭력은 플랭크마모(flank wear)에 많은 영향을 미치는 주분력(principal force)을 회전수와 섬유 함유량에 따라 절삭길이(cutting length)를 1~10km로 변화시키며 측정하였다. 실험은 예비실험을 거친 후 3회 반복으로 얻어진 데이터 값을 평균값으로 계산하였다. Table 2에 사용된 공구와 절삭조건을 나타냈다.

섬유 함유량에 따라 CNC선반의 주축 회전수를 1000rpm부터 4000rpm까지 변화시키고 절삭깊이를 0.1mm, 이송을 0.1mm/rev로 고정시키고 절삭력을 측정할 때와 마찬가지로 절삭깊이를 1~10km로 변화시키며 공구마모를 측정하였다. 금속현미경으로 관찰하면서 현미경에 장착된 카메라로 촬영하였으며, 좀 더 명확한 공구마모의 해석을 위해 SEM 촬영을 하였다. 이때의 배율은 ×200으로 동일한 배율로 공구의 플랭크 부분을 촬영하였다. 역시 절삭력 실험과 마찬가지로, 예비실험 후 3회 실험을 통해 얻어진 데이터 값을 평균하여 값을 얻었다.

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]

Table 2 Cutting condition.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 공구마모

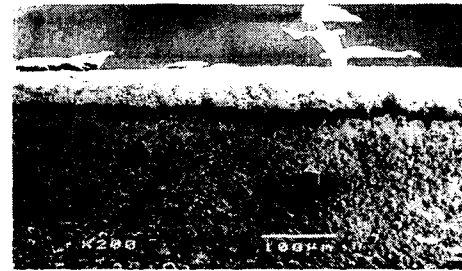
공구마모 측정은 섬유 함유량에 따라 1~10km의 절삭을 할 때 1km 마다 공구현미경으로 관찰·촬영하고 마지막 10km를 가공한 공구를 가지고 SEM 촬영을 하여 공구마모의 특성을 분석하였다. Fig. 2에 섬유함유량에 따른 공구마모의 변화를 SEM 사진으로 나타냈다.

Fig. 2에 보인바와 같이 섬유강화 복합재료의 마모는 전형적인 연삭마모의 형태이기 때문에 섬유 함유량이 증가할 수록 플랭크마모가 증가함을 알 수 있다. 사용된 공구가 다층코팅공구이기 때문에 마모에 의하여 벗겨진 다양한 코팅층을 볼 수 있다.

Fig. 3에 섬유 함유량이 공구마모에 미치는 영향을 1000~4000rpm의 주축 회전수 변화에 따라 도시하였다. SEM으로 관찰한 바와 같이 섬유 함유량이 증가함에 따라 마모량이 절삭길이에 따라 증가함을 알 수 있다.

보통 금속을 절삭할 때에는 절삭속도가 증가함에 따라 절삭온도가 높아지기 때문에 이로 인한 절삭날의 열연화현상이 일어난다. 따라서 절삭속도가 증가하게 되면 대체적으

로 공구마모가 심해지게 된다. 그러나 복합재료 가공시에는 절삭속도가 증가하여도 모재가 플라스틱이고 강화재가 고체윤활제 역할을 하기 때문에 높은 마찰력에 의한 열 발생이 상대적으로 금속절삭의 경우보다 높지 않다. 그러므로 절삭속도가 높아지더라도 절삭온도의 증가가 그다지 높아지는 것이 아니기 때문에 이로 인한 절삭날의 열연화현상이 일어나지 않는다. 따라서 Fig. 3에서와 같이 절삭속도가 증가함에 따라 공구마모의 증가가 그리 높지 않고 때로는 감소하는 경우도 있다.



(a) 10wt%

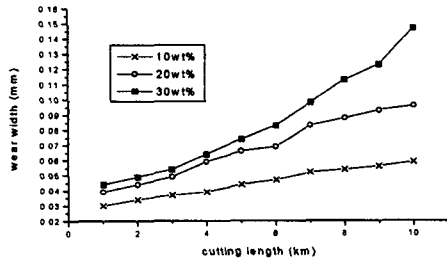


(b) 20wt%

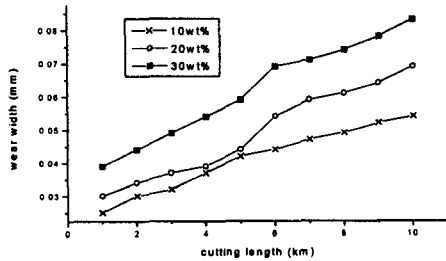


(c) 30wt%

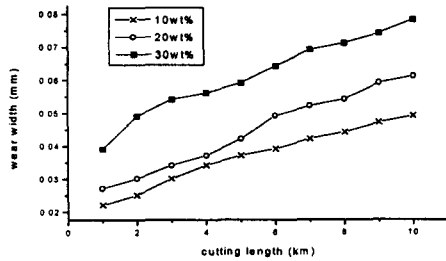
Fig. 2 SEM micrographs of the flank wear with respect to fiber contents at spindle speed of 4000rpm.



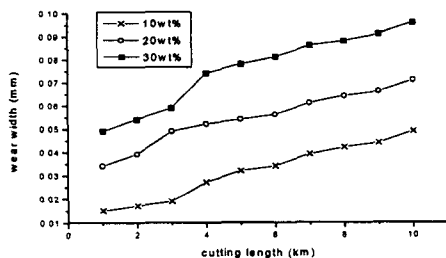
(a) 1000rpm



(b) 2000rpm



(c) 3000rpm



(d) 4000rpm

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

섬유강화 복합재료에서는 유리섬유에 의한 연삭작용으로 연삭마모가 주로 일어나는데 이와 같은 연삭마모에서는 속도가 증가함에 따라 마모량이 감소된다고 보고되고 있다<sup>(4)</sup>. 복합재료의 경우에는 고체윤활의 역할을 하는 유리섬유가 속도가 높아지면 윤활작용이 활발하여 지고 또한 두 재료간의 접촉이 확실히 이루어지지 않을 수 있기 때문에 이와 같은 현상이 나타난다고 할 수 있다.

따라서 Fig. 3에서와 같이 1000rpm일 때 마모가 가장 심하고 속도가 증가함에 따라 마모량이 점차 감소하는데, 4000rpm에서 다시 증가하는 것은 아마도 4000rpm에서 채터링 등이 심해져서 생기는 현상으로 짐작된다.

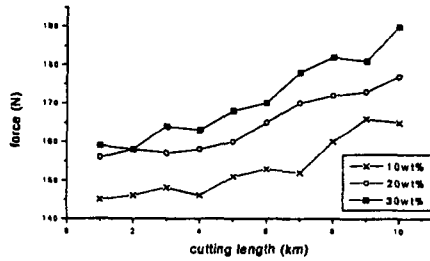
## 2. 절삭력

절삭력은 섬유 함유량을 변화시키면서 각 회전수에 대하여 측정하여 Fig. 4에 주분력의 변화를 나타냈다. 그림에서처럼 섬유 함유량이 증가할수록 주분력은 증가하는데 이는 금속재료의 경도가 증가하면 절삭력이 높아지는 것과 같은 현상으로 생각된다. 즉 섬유 함유량이 증가할수록 복합재료의 강도가 증가함으로써 나타나는 현상으로 생각된다.

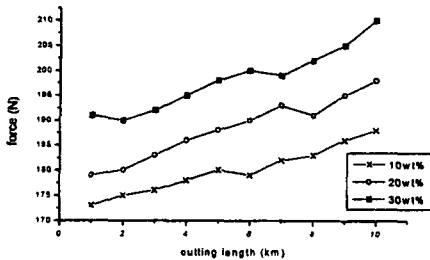
Fig. 4에 나타난 바와 같이 회전수의 변화에 따라 절삭력의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 오히려 측정된 절삭력 값들이 많이 분산되어 나타나는데 이것은 섬유 방향에 따라 절삭날에 작용하는 힘이 달라지게 되는데 사출성형된 제품의 특성상 섬유 분포가 균일하지 않기 때문인 것으로 생각된다.

## IV. 결론

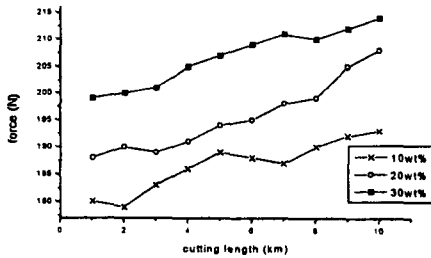
1. 단섬유가 강화재료 사용된 GFRP의 선삭



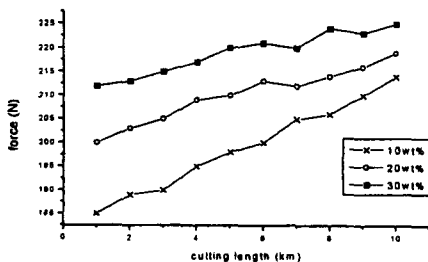
(a) 1000rpm



(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.

가공시 섬유 함유량이 증가할수록 공구마모와 절삭력이 증가하였다.

2. 섬유 함유량에 관계없이 회전수가 증가함에 따라 공구마모가 감소하다가 다시 증가하였다.
3. 섬유 함유량의 증가에 따라 절삭력도 같이 증가하지만 금속재료와는 달리 복합재료의 가공에서는 절삭력은 회전수 증가에 무관하게 거의 일정하였다.
4. 공구마모의 형태는 금속 가공시 발생하는 복합적인 마모가 아니라 전형적인 연삭마모만이 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. Keizo Sakuma and Masafumi Seto., "Tool Wear in Cutting Glass Fiber Reinforced Plastics," JSME Journal, Vol. 26, No. 218, pp. 1420-1427, 1983.
2. H. Takeyama and N. Iijima., "Machinability of Glass Fiber Reinforced Plastics and Application of Ultrasonic Machining," CIRP Journal, Vol. 37, No. 1, pp. 93-96, 1988.
3. N. Bhatnagar, N. Ramakrishnan, N. K. Naik & R. Komanduri, "On the Machining of Fiber Reinforced Plastic(FRP) composite Laminate," Int. J. Mach. Tools Manufact, Vol. 35, No. 5, pp. 701-716, 1995.
4. Y. Yamaguchi, "Tribology of Plastic Materials", Tribology Series 16, Elsevier, 1990.
5. J. E. Kaye, D-H. Yan, N. Popplewell and S. Balakrishnan., "Predicting Tool Flank Wear Using Spindle Speed Change," Int. J. Mach. Tools Manufact, Vol. 35, No. 9, pp. 1309-1320, 1995.
6. P. A. Dearnley, "Rake and Flank Wear Mechanisms of Coated and Uncoated Cemented Carbides," the ASME, Vol. 107, pp. 68-82, 1985.