

## 복합재료의 직교 절삭가공 특성에 관한 연구

### A study on the orthogonal cutting characteristics of glass fiber reinforced plastics

송화용, 정용운(국민대 자동차전문대학원), 김준현, 김주현(국민대 기계자동차공학부)

#### Abstract

In the use of glass fiber reinforced plastics(GFRP) it is often necessary to cut the components, but the cutting of GFRP is often made difficult by the delamination of the compositions and short tool life.

Experimental investigation was conducted to evaluate the chip formation of the glass fiber reinforced plastics during orthogonal cutting. The chip formation process, cutting force, and thrust force were studied.

The chip formation processes were studied through the use of quick-stop device. Chip-tool contact areas were obtained with the use of the quick-stop device, and observed using optical microscopy after polishing. Cutting force and thrust force were measured through the use of the tool dynamometer.

Keywords: quick-stop device(급속정지 장치), glass fiber reinforced plastics(유리섬유강화플라스틱), thrust force(배분력), cutting force(절삭력), orthogonal cutting(직교절삭)

#### 1. 서론

최근 더욱 부각되고 있는 재료가 복합재료라고 할 수 있다. 복합재료는 자동차, 항공, 전자제품 등 전 산업분야에 점점 더 상용범위가 확산되고 있다. 특히 유리섬유로 강화된 복합재료를 통상 섬유강화플라스틱(Glass Fiber Reinforced Plastics : GFRP)이라 한다.

GFRP는 내수, 내약, 내열성이 좋은 수지와 항장력에 우수한 성능을 가지는 유리섬유를 혼합한 복합재료로 우수한 내식성과 높은 강도를 동시에 갖는 재료이다.

또한 GFRP는 비중이 철의 1/4, 열전도율이 철의 1/180밖에 되지 않으며, 기계적 강도가 좋은 동시에 내구성에도 좋은 점이 있어 금속과 대치하여 모든 설비, 건설기기 및 화학산업에 널리 사용되고 있다. 특히 GFRP는 복합재료 중 가장 대표적인 재료로 비강성(specific stiffness:  $E/\rho$ )과 비강도(specific strength:  $S/\rho$ )가 크고 낮은 열팽창계수, 내부식 및 내구성이 우수한 점 때문에 항공, 조선, 우주, 자동차 및 레저산업의 재료로 그 이용분야가 점차 확산되어 가고 있다. 실질적으로 이러한 재료를 사용함에 있어 드릴링, 절단 및 밀링 등 2차 가공이 대부분 뒤따르게 된다.

금속절삭가공에 관한 연구는 1850년대부터 재료의 발전에 따라 금속에서부터 합금에 이르기까지 계속되고 있지만, 복합재료의 절삭특성은 기존의 금속이나 합금의 절삭과 비교해 볼 때 공구마모, 절삭력, 칩의 형상 등에서 많은 차이점이

있다.

지금까지 금속을 절삭할 때의 절삭특성에 관한 연구는 여러 가지 공구를 이용해 칩 형성과정에 대한 연구<sup>(1)</sup>를 했으며, Takeyama와 Iijima<sup>(2)</sup>는 유리섬유 강화 플라스틱을 칩 형성, 평균 절삭력 변화를 분석하여 초음파가공을 적용해 연구하였으며, Bhathagar<sup>(3)</sup> 등은 적층한 GFRP를 섬유 방향에 따라 세이퍼로 가공하여 절삭특성을 연구하였다.

GFRP의 절삭 메커니즘은 금속과는 다소 다르며, 급격한 공구마모, 거친 표면마무리와 결합이 있는 표면층과 같은 좋지 못한 결과들이 초래된다<sup>(4)</sup>. Santhanakrishnan<sup>(5)</sup> 등은 GFRP를 기계가공 하는 동안 재료제거 메커니즘과 주사전자현미경을 이용하여 고속도강 공구로 가공할 때의 공구마모의 형태를 연구하였다.

이처럼 기존의 연구는 복합재료 가공시 섬유 방향에 따른 절삭특성과 공구마모의 메커니즘에 대해 집중적으로 연구가 이루어 졌다<sup>(6)</sup>. 또한 기존의 연구는 금속절삭에 관한 칩 형성 메커니즘을 연구하였고 복합재료에 관한 칩 형성 연구는 보고된 바가 거의 없다.

본 연구에서는 PP(Polypropylene)과 유리섬유를 혼합하여 사출성형된 GFRP 시편을 코팅공구를 이용하여 세이퍼에 급속정지 장치<sup>(7)</sup>와 공구동력계를 사용하여 칩의 형상 특성과 절삭력을 관찰하여 유리섬유강화 복합재료에서 강화재인 유리섬유가 칩의 형태와 절삭특성에 미치는 영향을 실험적으로 알아보려고 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

직교절삭(orthogonal cutting)시 유리섬유의 함유량에 따른 칩의 형태의 연구와 절삭력을 측정하기 위해 Table 1 과 같은 실험장치를 사용하였다.

Table 1 Instrument and Specification

Instrument	Company	Specification
Shaper	Sung Kwang Eng.	SKG-710
Dynamometer	KISTLER	9257 Type
Software	National Instruments	LabVIEW 4.1
Charge Amplifier	KISTLER	5019 Type
Polishing Machine	Struers	DAP-V Type
Optical Microscopy	Nikon	ME600 Type

### 2.2 절삭공구

절삭공구는 대한중석초경(주)에서 제작된 정삼각형 평면 정삭용 TPGN 160304 AB30 코팅 공구를 사용하였다.

### 2.3 실험용 피삭재

본 실험에서 사용된 시편은 강화제가 유리섬유인 단섬유를 섬유 함유량별로 LG화학의 폴리프로필렌(PP) 모재에 혼합하여 현대정공의 HD-150SPF 사출성형기를 이용하여 지름 60mm, 길이 100mm로 제작하였다.

### 2.4 실험 방법

칩 형성에 관한 연구를 위하여 가장 유용한 방법 중의 하나인 급속정지 장치를 사용하였다. 이 장치는 절삭작업을 순간적으로 멈추게 하여 칩제거 과정의 미시적 관찰을 가능하게 한다. 또한 급속정지 장치에서 공작물은 안내블록 내에서 자유롭게 이동할 수 있도록 되어 있는 바이스에 고정되어 있다. 절삭이 일어나는 동안 바이스는 안내블록과 지지고리를 모두 관통하는 전단핀으로 고정된 지지고리에 의하여 구속되어 있다. 전단핀은 칩을 제거하는 힘에 견디도록 설계되어 있다. 절삭이 일부 완료될 때, 공구홀더에 붙어 있는 돌출부가 바이스에 접촉하게 되면, 핀을 절단시키고, 바이스와 지지고리를 앞으로 밀게 하는 원리이다. 이러한 돌출부의 작동은 공작물의

속도를 절삭공구의 속도까지 빠르게 가속함으로써 절삭작업을 중지시킨다.

우선 공작물 재료를 급속정지 장치의 바이스에 맞게 머시닝센터를 이용해 50×50×10의 시편으로 제작한 후 칩형성 특성을 파악하기 위해 Fig. 1의 열처리된 급속정지 장치를 세이퍼의 바이스에 장착한 후 유리섬유 함유량(10wt%, 20wt%, 30wt%)에 따라 절삭깊이를 0.25mm, 0.5mm, 1mm로 변화시켜 실험을 수행하였다. 이렇게 얻어진 급속정지된 칩형상을 다시 20×20×20의 치수로 제작하여 열경화성 수지인 폴리에스테르와 경화제를 혼합한 수지에 담가서 3~4시간 경화시킨다. 경화된 시편의 단면을 연삭기로 폴리싱한 후 광학현미경으로 관찰하였다.

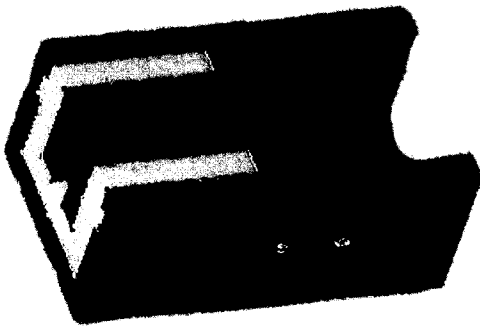


Fig. 1 quick-stop device

절삭력 측정은 공구동력계(9257B Type)를 사용하여 측정된 값을 증폭한 후 A/D 변환기로 데이터를 수치화하고, IBM PC를 이용하여 LabVIEW로 데이터를 저장한 후 MS Excel을 사용하여 데이터를 정리하였다.

본 실험에서는 Table 2와 같은 조건으로 실험을 수행하였다.

Table 2 Cutting condition

Tool	TPGN 160304 AB30
Cutting speed(m/min)	0.79, 1.65, 1.83
Depth of cut(mm)	0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25
Cutting length(mm)	50
Width of cut(mm)	10

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 절삭깊이의 변화에 따른 칩 형태

Fig. 2는 절삭속도를 1.65m/min, 섬유함유량을 20wt%로 일정하게 하고 절삭깊이를 0.25mm, 0.5mm, 1mm로 변화시켜 절삭하였을 때의 칩 형태를 비교한 그림이다. 그림에서 나타난 것처럼 절삭깊이가 깊어질수록 절삭력과 칩에 작용하는 전단력의 증가로 인하여 불연속칩의 형태가 되는 것을 알 수가 있다.



(a) 0.25mm (b) 0.5mm (c) 1mm

Fig. 2 Comparison of chip shapes by changing the depth of cut.

#### 3.2 유리섬유 함유량의 변화에 따른 칩 형태

Fig. 3은 절삭속도를 1.65m/min, 절삭깊이를 1mm로 일정하게 유지한 후 섬유 함유량을 10wt%, 20wt%, 30wt%로 변환시켜 절삭하였을 때의 칩 형태로서 섬유 함유량이 증가할수록 피삭재의 취성이 강해지기 때문에 칩의 길이는 짧아지면서 불연속칩의 형태가 된다.

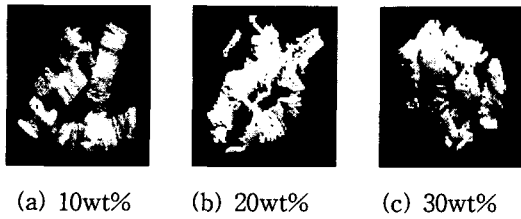


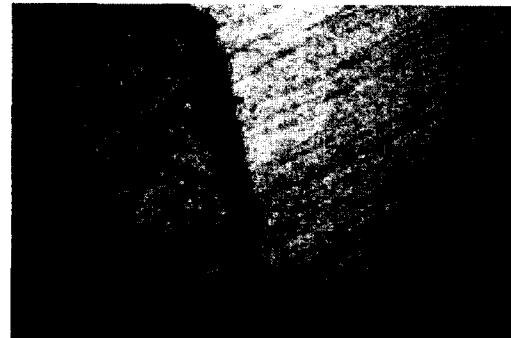
Fig. 3 Comparison of chip shapes by changing wt% of glass fibers.

### 3.3 절삭깊이의 변화에 따른 칩 형성

Fig. 4는 절삭속도를 1.65m/min, 유리섬유 함유량을 30wt%로 하고 절삭깊이를 0.25mm, 0.5mm, 1mm로 변화시켰을 때의 주변형영역을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 절삭깊이가 커질수록 칩의 형태가 톱니모양의 형태로 조각나는 것을 볼 수 있다. 분리되는 부분은 유리섬유와 PP 사이에서 발생하였으며 시편의 기공에서 전단되었다.

### 3.4 유리섬유 함유량의 변화에 따른 칩 형성

Fig. 5는 절삭속도를 1.65m/min, 절삭깊이를 1mm로 일정하게 유지하고 유리섬유 함유량을 10wt%, 20wt%, 30wt%로 변화시켰을 때의 주변형영역을 나타내고 있다. 그림에서 보여주듯이 섬유함유량이 증가할수록 칩의 형태가 조각나는 현상이 심했다. 이러한 현상은 취성인 유리섬유에서 더욱 심하게 발생하였으며, 유리섬유와 PP 사이에 기공이 있을 때에는 기공에서 전단되었다.



(a) 1.65m/min, 20wt%, 0.25mm



(b) 1.65m/min, 20wt%, 0.5mm



(c) 1.65m/min, 20wt%, 1mm

Fig. 4 Comparison of chip formations by changing the depth of cut.



(a) 1.65m/min, 0.25mm, 10wt%



(b) 1.65m/min, 0.5mm, 20wt%



(c) 1.65m/min, 1mm, 30wt%

Fig. 5 Comparison of chip formations by changing wt% of glass fibers.

### 3.5 절삭깊이에 따른 절삭력 비교

Fig. 6은 절삭깊이를 0.25~1.25mm까지 변화시켰을 때 섬유함유량에 따른 절삭력을 비교한 그림이다. 그림에서 나타나듯이 섬유 함유량이 증가할수록 재료의 강도 증가로 인하여 절삭력이

증가하는 것을 볼 수가 있다. 또한 절삭깊이의 증가에 따라 공구-칩 접촉면의 증가에 따라 절삭력이 증가된다.

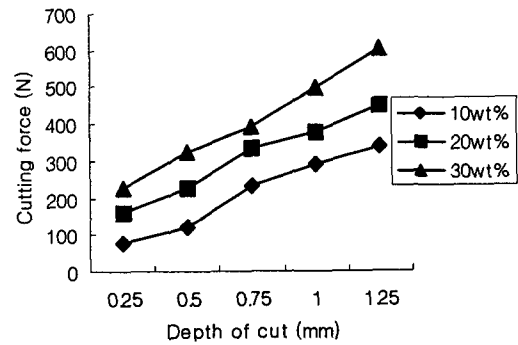


Fig. 6 Comparison of cutting forces with different wt% of glass fibers.

### 3.6 절삭깊이에 따른 배분력 비교

Fig. 7은 절삭속도를 1.65m/min로 일정하게 유지하고 절삭깊이를 0.25~1.25mm까지 변화시켰을 때 섬유함유량에 따른 배분력을 비교한 그래프이다. 그림에 나타난 것처럼 배분력도 절삭력과 비슷한 유형으로 유리섬유 함유량이 증가할수록 배분력도 증가하는 것을 알 수가 있다. 그러나 유리섬유 함유량이 10wt%와 20wt%일 때에는 절삭깊이가 1mm에서 1.25mm로 커짐에 따라 배분력은 다소 낮게 나타난다.

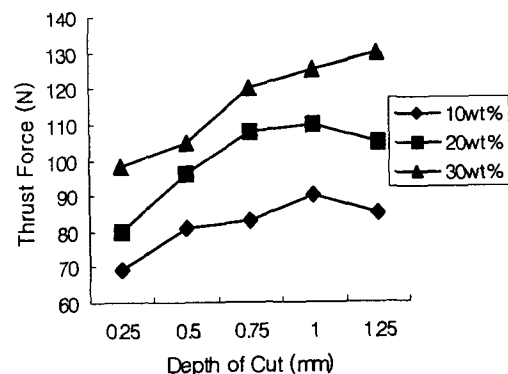


Fig. 7 Comparison of thrust forces with different wt% of glass fibers.

#### 4. 결 론

- (1) 절삭깊이가 작을 때는 연속칩의 형태를 나타내다가 절삭깊이가 커질수록 불연속칩 형태를 나타낸다.
- (2) 절삭속도와 절삭깊이를 일정하게 하고 가공했을 때 유리섬유 함유량이 증가할수록 칩의 형태는 톱니모양의 불연속칩을 나타낸다.
- (3) 주변형영역을 관찰하면 절삭깊이가 작을수록 연속형 칩의 형태를 띄고, 절삭깊이가 커지면 불연속칩의 형태를 띄며, 1mm이상의 깊이로 가공할 경우 단속형(segmented) 칩의 형태를 띄는 것을 알 수가 있다.
- (4) 섬유함유량과 절삭깊이가 증가할수록 재료자체의 강도 증가 및 공구-칩 접촉면 증가로 인하여 절삭력이 증가한다.
- (5) 배분력은 큰 변화 없이 비슷하게 나타났으며, 절삭깊이와 유리섬유 함유량이 증가할수록 다소 증가하는 것을 알 수가 있다.

#### References

- 1) Edward M. Trent, and Paul K. Wright., "Metal Cutting", Butterworth-Heinemann, Vol. 4., pp. 25., (2000).
- 2) H. Takeyama and N. Iijima, "Machinability of Glass fiber Reinforced Plastics and Application of Ultrasonic Machining," Annals of the CIRP, Vol. 37, pp. 93~96, (1988).
- 3) N. Bhatnagar, N. K. Naik and R. Komanduri, "On the Machining of Fiber Reinforced Plastic(GFRP) Composite Laminates," Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 35, No. 5, pp. 701~716, (1995).
- 4) Sang-Ook An, Eun-Sang Lee, Sang-Lai Noh, "A study on the cutting characteristics of glass fiber reinforced plastics with respect to tool materials and geometries", Journal of Materials Processing Technology Vol. 68, pp. 60-67, (1997).
- 5) G. Santhanakrishnan, R. Krishanmurthy and S. K Malhotra, "High speed steel tool wear studies in machining of glass-fiber-reinforced plastics", Wear, Vol. 132, pp. 327, (1989).
- 6) K. Sakuma and M Seto. "Tool wear in cutting glass fiber reinforced plastics". Bull. JSME. Vol 26, pp. 1420, (1983) .
- 7) 고태조, 김주현, 박영우, 양승환., "절삭이론과 공작기계", 동명사, Vol 2, pp. 81~82, (1998).