

유리纖維強化樹脂의 切削特性

최수준 *, 이영문 **

On Cutting Characteristics of Glass Fiber Reinforced Plastic

Soo-Joon, Choi · Young-Moon, Lee

ABSTRACT

The purpose of this study is to understand the cutting characteristics of glass-fiber reinforced plastic (GFRP) by investigating the variation of cutting force and surface roughness, depending on the amount of flank wear and cutting conditions. And a Taylor type tool life equation is derived using the regression analysis.

The present study reveals that,

1. Taylor's equation can be applicable to GFRP and the constants n (0.170-0.175) and C (53.7-64.4) are smaller than those in cutting of steel.
2. Principal cutting force increases sharply with the increase of feed rate, but feed force and radial force are almost constant. This result is quite different from that of metal cutting.
3. Cutting forces (F_P , F_Q , F_R) increase with the increase of flank wear, and feed force especially increases sharply with the increase of flank wear.
4. Surface roughness changes very much along the circumference of the workpiece and the amount of flank wear has almost no effect on surface roughness.

I. 서 론

纖維強化樹脂 (FRP)는 2 가지 이상의 異質成分이 결합되어 만들어진 복합재료로서 比引張強度 (specific tensile strength : σ_w/ρ)가

일반 금속재료에 비하여 상당히 크며, 衝擊吸收性 및 化學的 安定성이 우수하여 그 이용범위가 점차적으로 확대되고 있는 실정이다. 특히 기계 및 구조물의 素材로 사용하면 重量減少에 의한 에너지節減 및 動作部の 位置決定精度를 높일 수

* 정회원, 창원기능대학 기계공학학과

** 정회원, 경북대학교 공과대학 기계공학과

있기 때문에 自動車, 航空 및 宇宙産業의 輕量設計要素, 工作機械의 테이블, 工作物 運送裝置 및 工具支持具의 素材로 利用되고 있다.^{1,2)}

切削에 의한 FRP의 가공은 비교적 높은 形狀精度와 칫수精度를 얻을 수 있고 소량의 부품을 융통성있게 가공할 수 있기 때문에 최근 그 이용이 점차 증대되고 있으며, 이에 따라 FRP의 切削性에 대한 연구, 특히 工具摩耗 및 纖維質의 方向에 따른 切削特性에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Spur 등은 유리纖維強化樹脂의 旋削時 工具摩耗形態, 가공면의 表面거칠기, 切削條件에 따른 切削力의 변화 및 切削溫度등에 대한 광범위한 연구를 수행하였다.³⁻⁷⁾ 한편 Tsueda 등⁸⁾은 유리섬유강화수지를 斷續切削할 때, 공구의 餘裕面마모는 절삭방향에 평행하게 진행되지 않으며 摩耗量은 섬유질 방향에 따라 큰 차이가 있음을 밝힌 바 있다.

그러나 아직까지 유리섬유강화수지 (GFRP)를 포함한 섬유강화수지 (FRP)의 切削時 工具壽命과 切削條件사이의 定量的인 관계를 체계화한 연구는 이루어지지 않고 있으며, 工具摩耗量에 따른 切削力의 변화에 대한 연구도 報告된 바 없다.

본 연구에서는 GFRP의 선삭시 절삭시간에 따른 工具餘裕面의 마모량을 측정하고, 그 결과가 Taylor의 工具壽命方程式에 적용될 수 있는가를 검토하였으며, 공구마모량에 따른 切削力 및 가공면의 表面거칠기의 변화를 조사하였다. 또한 工作物의 圓周位置에 따른 가공면의 表面거칠기의 비교를 통하여 GFRP 加工上의 특징을 고찰하였다.

II. 절삭 실험

1. 실험재료

본 실험에 사용한 被削材는 유리섬유함유량이 무게基準으로 70%인 유리섬유강화 熱硬化性樹脂 (Röchling-Durostone, EPRU 5)이었으며, 平板의 素材를 밀링가공 및 외경선삭가공을 하여

Fig.1과 같은 형상과 칫수를 가진 시험편을 제작하였다. 섬유질의 방향은 시험편의 軸방향 90%, 橫방향 10%로 구성되어 있다. 피삭재의 물리적 성질은 Table 1에 나타난 바와 같다.

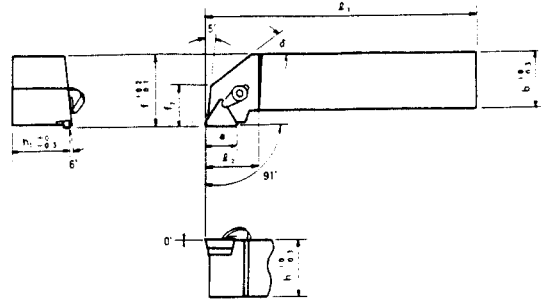


Fig. 1. Dimentions of workpiece

Table 1. Physical characteristics of EPRU 5

Density (g/cm ³)	Tensile Strength (N/mm ²)	Compressive Strength (N/mm ²)	E-Modulus (N/mm ²)	Linear Expansion Coefficient (10 ⁻⁶ K ⁻¹)
1.90	650	180	30 X 10 ²	10 - 20

2. 工具 및 切削條件

1) 工具

工具支持具로는 ISO 規格 CTGPR 2020-K16, 인서트로는 Iscar 社(西獨)의 THMF 0.8-K10 (ISO 規格: TPUN 160308)을 사용하였다.

2) 切削條件

切削條件으로서 切削速度(V)는 30, 40, 50m/min의 3단계, 移送速度(f)는 0.1, 0.25mm/rev의 2단계로 하였으며, 절삭깊이는 2mm로 일정하게 유지하였다.

절삭실험에 사용한 선반은 Heidenreich & Harbeck 社(西獨)의 S 500으로 動力은 24kw이며, 主軸回轉數는 90에서 5,600rpm까지 無段變速이 가능하다.

또한 절삭시에 발생되는 유리섬유 및 基地의 미세粒子和 칩을 효과적으로 제거하기 위하여

Fig. 2에 보이는 바와 같은 흡입장치를 설치하였다.

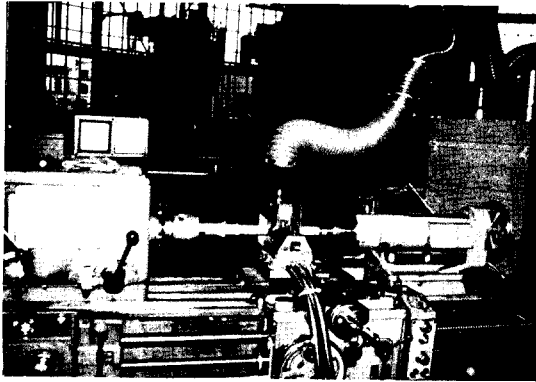


Fig. 2. Lathe with suction equipment

3. 測定

1) 切削力

工具動力計 (Kistler, Type 9623), 스트레인증폭기 (Kistler, Type 5001) 및 기록계 (Gould, Series 800)을 사용하여 각 절삭조건에 대한 主切削分力, 移送分力 및 背分力を 측정하였다.

2) 工具摩耗

공구현미경 (Ernst Leitz, Wetzler No. 38 090)을 사용하여 設定된 切削區間의 切削終了時마다 공구여유면의 摩耗幅 (V_B)을 측정하였다.

3) 加工面の 表面거칠기

表面거칠기의 측정은 表面거칠기측정기 (Perthen, Type Perth-O-Meter SIOB)에 측정헤드 (Perthen, PMK 720227)를 연결하여 절삭방향에 수직한 방향 즉, 移送방향으로 행하였다.

工具摩耗量 및 공작물의 원주위치에 따른 가공면의 표면거칠기 변화를 조사하기 위해서 設定된 工具摩耗量에 해당되는 切削區間마다 공작물의 원주를 8등분하여 표면거칠기를 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 工具摩耗 및 工具壽命方程式

工具摩耗의 形態는 주로 여유면의 마모와 刃先 무덤으로 나타났으며, 크레이터 마모는 거의 나타나지 않았다. Fig. 3은 이송속도 $0.1mm/rev$ 및 $0.25mm/rev$ 에 대한 절삭시간과 절삭속도에 따른 공구여유면 摩耗幅 (V_B)의 측정 결과를 兩對數 그래프에 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 마모폭과 절삭시간은 대략 線形의 관계를 나타내고 있다.

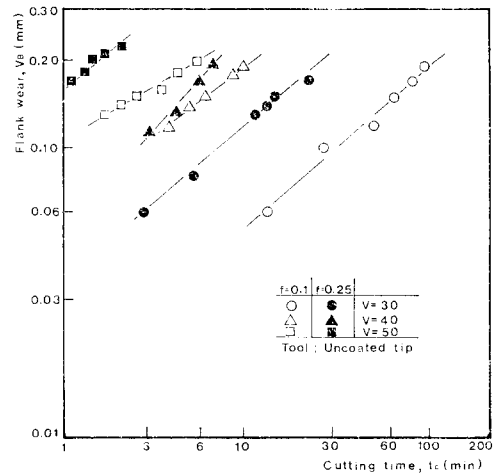


Fig. 3. Flank wear (V_B) vs. cutting time (t_c) for various cutting speeds (V) Tool; Uncoated tip (K10)

또한 일반 금속절삭에서와 마찬가지로 절삭속도 및 이송속도가 증가함에 따라 마모는 빠르게 진행됨을 알 수 있다.

이로부터 절삭시간 (t_c)와 마모폭 (V_B)의 관계를 式(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\log V_B = a \log t_c + b \dots\dots (1)$$

여기서 a 및 b 는 절삭조건에 따른 常數이다.

式(1)에서 마모폭 (V_B) $0.2mm$ 를 工具壽命判定基準으로 하여, 그때까지의 절삭시간을 工具壽命 (T)으로 하고, 절삭속도 (V) - 공구수명 (T)의 관계를 兩對數 그래프에 나타내면 Fig. 4와 같다. 또한 이 결과를 이용하여 回歸分析法에 의해 Taylor 工具壽命方程式 $VT^n = C$ 의 常數

n 과 c 를 구하면 Table 2에 나타낸 바와 같다. n 및 c 값의 범위는 각각 0.170~0.175, 53.7~64.4로 工具摩耗側面에서 볼때 유리섬유강화수지는 鋼의 경우⁹⁾보다 切削性이 不良한 것으로 판단된다. 이는 強化劑인 유리섬유의 높은 硬度和 基地인 樹脂의 낮은 熱傳導度에 起因하는 것으로 사료된다.

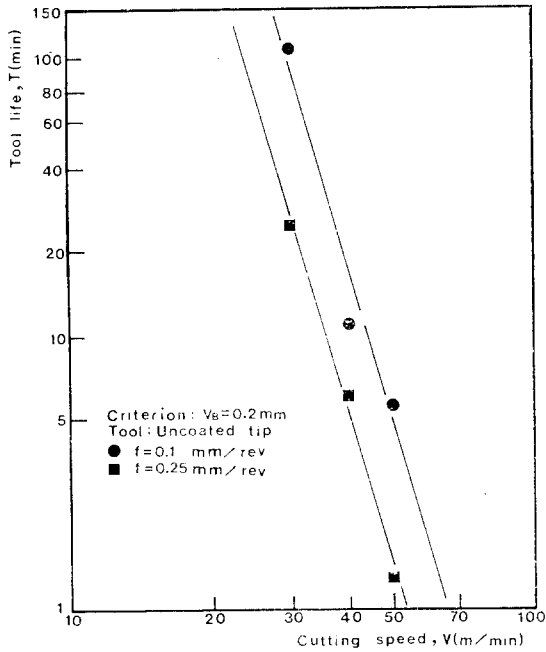


Fig. 4. Tool life (T) vs. cutting speed (V)
Tool : Uncoated tip (K10)

Table 2. Constants, n and C

Tool	Feed (mm/rev)	n	C
Uncoated	$f = 0.1$	0.170	64.4
Carbide Tip	$f = 0.25$	0.175	53.7

2. 工具摩耗와 切削力의 變化

Fig.5, 6은 각각 이송속도 0.1, 0.25 mm/rev에 대한 절삭속도와 마모량에 따른 切削3分

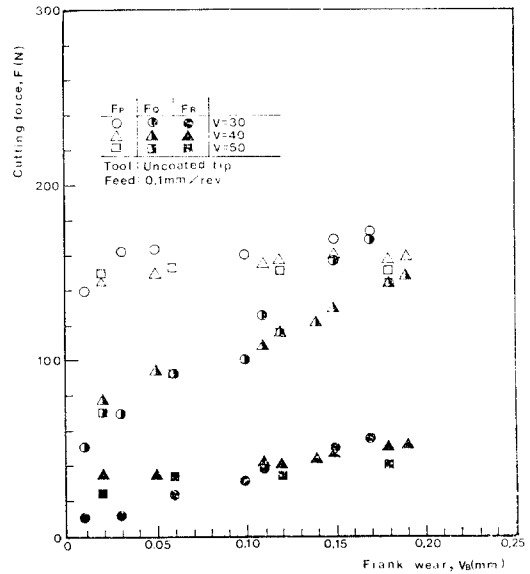


Fig. 5. Cutting forces (F_P, F_Q, F_R) vs. flank wear (V_B) for various cutting speeds (V) Feed: 0.1 mm/rev, Tool : Uncoated tip (K10)

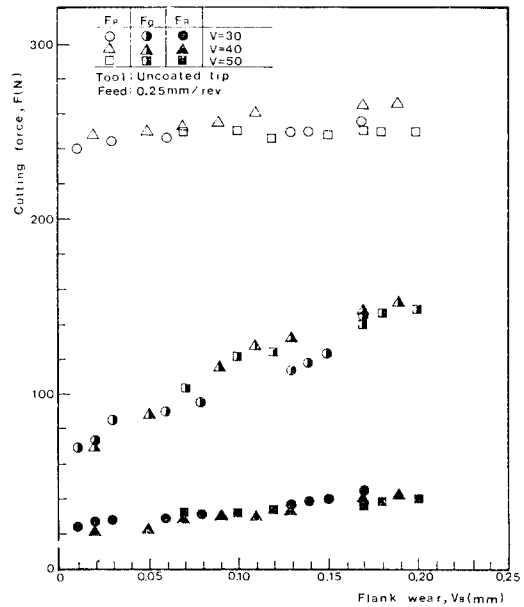


Fig.6. Cutting forces (F_P, F_Q, F_R) vs. flank wear (V_B) for various cutting speeds (V) Feed : 0.25 mm/rev, Tool : Uncoated tip (K10)

력의 측정결과를 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 절삭속도에 따라서는 切削3분력 모두 거의 일정하게 유지되고 있으며, 이송속도가 0.1 mm/rev에서 0.25 mm/rev으로 커지면 主切削分力(F_p)은 상당히 커지지만 移送分力(F_f) 및 背分力(F_R)은 거의 변하지 않는다.

이러한 결과는 金屬切削의 경우 이송속도가 커지면 切削3분력 모두 커지는 현상과 다른 것으로 유리섬유강화수지 특유의 異方性에 起因하는 것으로 사료된다.

한편 마모량이 증가함에 따라 절삭3분력 모두 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 특히 移送分力은 主分力 및 背分力에 비해 급격히 증가한다. 즉 마모량에 따른 主分力과 背分力の 증가율은 이송속도에 따라 약간의 차이가 있지만 마모량 0.01 mm에 대하여 대략 0.4 ~ 0.7 N 정도이나, 移送分力의 경우는 3.3 ~ 7.4 N으로 마모의 영향이 매우 큼을 알 수 있다.

3. 表面거칠기

Fig. 7은 切削速度, 移送速度 및 工具摩耗量에 따른 가공면의 표면거칠기 측정결과를 나타낸

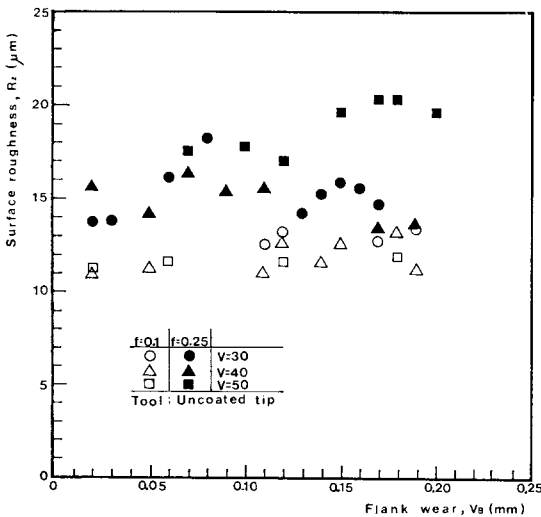


Fig. 7. Surface roughness (R_z) vs. flank wear (V_B) for various cutting speeds (V)
Tool: Uncoated tip (K10)

것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 표면거칠기는 절삭속도와는 뚜렷한 相關性을 보이지 않고 있으며, 이송속도가 큰 경우 높은 값을 나타낸다. 한편 마모량이 증가함에 따라 표면거칠기는 대체적으로 증가하는 경향을 보이나 그 정도는 微微하다.

工作物의 圓周位置에 따른 가공면의 표면거칠기 변화를 조사하기 위하여 표면거칠기의 측정 위치를 절삭방향과 횡방향의 섬유질방향과의 관계를 고려하여 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 8군

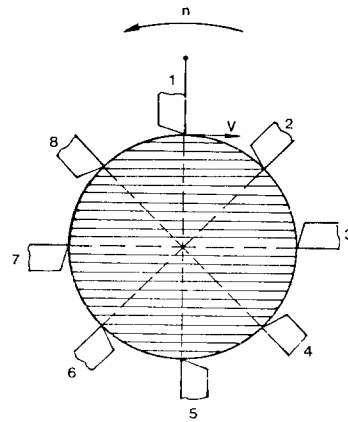
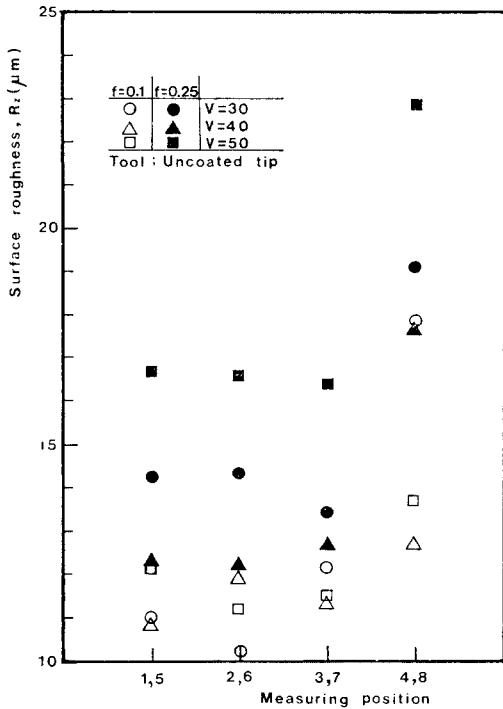


Fig. 8. Positions of surface roughness measurement

대를 선정하였다. 측정위치 1과 5는 절삭방향과 섬유질방향이 평행하고, 2와 6은 45°, 3과 7은 90°, 4와 8은 135°를 이루고 있다. Fig. 9는 全切削區間에 걸쳐 측정한 각 위치의 표면거칠기의 산술평균값을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 4와 8의 위치에서 가장 높은 표면거칠기를 나타내고 있으며, 나머지 위치에서는 절삭조건에 따라 약간의 차이가 있으나 대략 비슷한 값을 나타내고 있다. 4와 8의 위치에서 높은 표면거칠기값을 나타내는 이유로서는 이들 위치에서의 切削方向이 섬유질을 올려찍는 作用을 하기때문인 것으로 판단된다. 이와같이 원주위치에 따른 표면거칠기의 차이는 層狀으로 만들어진 복합재료인 경우 불가피하며, 균일한 표면거칠기를 얻기 위해서는 附加的인 加工이 뒤따라야 된다고 사료된다.



**Fig. 9. Surface roughness (R_z) depending on measuring position for various feed rates (f) and cutting speeds (V)
Tool : Uncoated tip(K10)**

IV. 결 론

以上的 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 유리섬유강화수지 (GFRP)의 切削時 Taylor의 工具壽命方程式이 적용될 수 있으며, n (0.170 ~ 0.175)과 C (53.7 ~ 64.4)의 값은 鋼의 경우에 비해 작다.
2. GFRP의 切削時 金屬切削의 경우와는 달리 移送速度가 증가하면 移送分力 및 背分力の 변화는 거의 없으나 主分力은 상당히 증가한다.
3. 工具摩耗量이 증가함에 따라 切削分力은 증가하며, 특히 移送分力은 급격히 증가한다.

4. 가공면의 表面거칠기는 工具摩耗의 영향을 거의 받지 않으나, 공작물의 圓周位置에 따라 큰 차이를 나타낸다.

[참고 문헌]

1. Wiendl, J. and Reimann, W., "Anwendung und Bearbeitung faserverstaerkter Werkstoffe", Werkstatt und Betrieb 120, PP. 189-197, 1987
2. Spur, G. and Wunsch, U. E., "Umfrage ueber die Substitutionsmoeglichkeit metallischer Werkstoffe durch faserverstaerkte Kunststoffe", Industrie Anzeiger Nr. 12, PP. 50-51, 1984
3. Spur, G. and Zug, G., "Oberflaechenguete und Werkzeugverschleiss beim Drehen von glasfaser- und graphithaltigen Polyamid-Werkstoffe", ZwF 66, Nr. 2, PP. 47-51, 1971
4. Spur, G., Klocke, F. and Wunsch, U. E., "Herstellen und Bearbeiten von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen mit Kunststoffmatrix", ZwF 78, Nr. 12, PP. 549-556, 1983
5. Spur, G. and Wunsch, U. E., "Drehen von glasfaserkten Kunststoffen und Schichtpresswerkstoff mit PKD-Werkzeugen", I DR 18, Nr. 14, PP. 221-227, 1984
6. Spur, G. and Wunsch, U. E., "Drehen faserverstaerkter Duroplaste", Kunststoff 76, Nr. 3, PP. 224-229, 1986
7. Spur, G. and Wunsch, U. E., "Werkzeugverschleiss beim Drehen von GFK", IDR 2, PP. 106-112, 1987
8. Tsueda, M., Hasegowa, Y. and Hanasaki, S., "On the tool wear in the intermittent cutting of the reinforced plastics", Bulletin of JSME 12, No. 51, PP. 601-609, 1969
9. Shaw, M. C., "Metal Cutting Principles", Oxford, 1984, P. 397