

가공방법에 따른 GFRP의 절삭특성

박종남*, 정성택, 이승철(조선대 대학원 기계공학과), 조규재(조선대 기계공학부)

The Cutting Characteristics of the GFRP by Processing methods

J. M. Park*, S. T. Jeong, S. C. Lee(Mech. Eng. Dept., Graduate School, Chosun Univ.),
G. J. Cho(Mech. Eng. Dept., Chosun Univ.)

ABSTRACT

It is widely used in composite materials like several mechanical parts, aerospace industries, internal and structural materials of cars, building structures, ship materials and sporting goods, but it is insufficient to apply in field of mechanical processing. Therefore, GFRP which is possible to use in industrial field was examined about cutting force, tool wear condition of cutting, chip shape, surface roughness and inlet or outlet shape of processing parts with changing cutting condition and using HSS drill which is in vertical machining center in this paper.

Key Words : 복합재료(Composite materials), 절삭력(Cutting force), 유리섬유강화플라스틱(GFRP; Glass Fiber Reinforced Plastics)

1. 서론

최근 산업사회는 제품의 생산성 향상을 위한 일환으로 신소재 개발에 대한 관심이 높아져 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 신소재 중 섬유강화플라스틱복합재료는 비강도와 비강성이 높은 첨단복합재료로서 좋은 피로 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라, 가격이 저렴하고 다양한 형태로도 제조가 가능하다는 장점이 있어 각 종 기계부품을 비롯하여 의료기의 부품, 자동차의 내장재와 구조재, 우주항공 산업분야, 건축내장재와 구조물, 선박재료, 스포츠 용품 등 다방면으로 이용되고 있으며, 사용이 증대되고 있다.⁽¹⁻²⁾

섬유강화복합재료는 1차 성형공정으로도 완성이 가능하나 최근에는 그 용도가 광범위해져서 절삭가공, 밀링, 드릴링, 인삭가공 등의 2차 공정이 필요하게 되었으며, 가공에 따른 정밀도 및 가공형상에 대한 절삭특성에 관한 연구의 필요성이 부각되어 많은 연구들이 진행되어 왔다.

복합재료에 관한 실험들로는 Chen⁽³⁾은 CFRP 복합재료를 고속도강을 이용하여 선단각과 랩두께 등을

여러 가지 형상으로 변화시켜 공구마모와 절삭력의 관계를 연구하였으며, Ho-Cheng⁽⁴⁾은 탄소섬유 에폭시 복합재료에 관한 연구에서 드릴을 이용하여 홈가공 시 섬유배열 방향에 의한 추력과 토크, 공구의 마모 상태, 입구와 출구 현상에 대한 이론적 절삭 모델을 제안하였다.

Wang⁽⁵⁾ 등은 GFRP 절삭에서 가공면의 형상을 향상시키기 위하여 가공표면의 형태, 섬유의 파괴형태와 절삭조건과의 관계를 연구하였으며, CFRP복합재료를 매일에 따른 절삭가공시 절삭력, 칩의 형상, 표면거칠기에 관한 연구 등 많은 연구가 수행되어져 왔다. 우주항공산업, 건축산업, 자동차산업 분야등에 비해 상대적으로 기계분야에서는 다른 재료의 대체 가능성이 높음에도 불구하고 복합재료의 적용은 미진하다. 특히 복합재료에 대한 드릴가공특성을 정량적으로 규명한 연구결과는 미흡한 실정이다.

비록서 본 연구에서는 절단화되어가고 있는 산업분야에서 복합재료의 사용이 확대될 수 있도록 복합재료 중 GFRP를 수직형 머시닝 센터에서 고속도강(HSS)의 드릴을 이용하여 절삭속도의 변화를 통한 절삭조건을 주면서 이에 따른 절삭력과 절삭 후의

공구마모 상대, 절삭조건에 따라 발생하는 칩의 형상, 가공된 피삭재의 기지조직 및 표면 거칠기 등을 관찰하여 이 재료에 대한 절삭특성을 실험적 연구를 통하여 알아보고 드릴 절삭특성과 공구마모 등의 문제점을 규명하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 시험편 제작

시험편은 Bis phenol-A계 역상 에폭시 수지에 반응성 희석제(BGE)로 변성한 저 점도형 에폭시 수지와 Poly-amide계의 에폭시 수지 전용경화제를 조합하여 만든 열경화성 고분자 에폭시 수지를 도포 후 직물형태의 탄소섬유를 50겹으로 적층시켜 상온에서 24시간 경화시킨 후 80℃의 Autoclave에서 3시간 성형한 후 다시 50℃에서 24시간 성형하였다.

Table 1에 시험편에 사용된 에폭시 수지의 물성치와 유리섬유에 대한 물성치를 나타내었다.

2.2 실험장치

본 연구의 절삭실험에 사용된 실험장치는 수직형 머시닝센터(Fanuc korea. Co. Sirius-2)이며 실험장치에 대한 사양은 Table 2에 나타내었다.

드릴홀더는 드릴을 완전히 고정시키기 위하여 (주) 코로이社의 BT40-DPSX20-90 콜레트 홀더인 강력형 스프링 콜레트(spring collet)를 사용하였다. 절삭공구는 (주)금강코리아 사의 고속도공구강(HSS)의 드릴을 사용하였으며, 드릴의 형상은 $\Phi 10 \times 90 \times 130$ mm의 스트레이트 샹크 드릴로서 선단각이 130, 이머 어유각 11, 비틀림각이 38, 이다.

2.3 실험방법

본 실험은 고속도강의 드릴로 강화플라스틱 재료를 가공할 때 적합한 범위내의 절삭조건에서 31.4, 62.8, 94.2m/min의 3종류 절삭속도와 0.067, 0.1, 0.2mm/rev의 이송속도로 하였다. 가공부위는 절삭열에 대한 영향을 최소화하기 위해 일정한 간격으로 하여 각 시험편에 $\Phi 10$ mm의 드릴을 사용하여 구멍의 총 길이 15mm를 한 번에 절삭하여 관통하는 일반이송절삭과 세 구간으로 나누어 5mm씩 단계적으로 이송절삭을 하면서 관통하는 단계이송절삭으로 간접 절삭가공을 하였다.

각 실험조건에 대한 드릴의 절삭력 변동 성분을 압전형 공구동력계(Kistler社. type9272)를 사용하

Table 1 Physical properties of Glass fiber & Epoxy resin

Classification \ Item	Glass fiber	Epoxy resin
Tensile strength(kg/mm ²)	35	7
Density(g/cm ³)	1.74	-
Thickness(mm)	0.2	-
Strain to failure(%)	0.5	-
Poisson's ratio(ν)	0.2	-
Viscosity(25℃,cps)	-	840
Specific gravity(25℃)	-	1.1
Equivalence(g/eq)	-	206

Table 2 Specifications of machining center & servo motor

Specification	Dimension & Illustration	Specification	Dimension & Illustration
Type	Vertical 3 axis machining center	Steady torque	4.87 kgf·m
Model	Sirius-2 Fanuc korea. Co.	Rapid travel speed	X, Y, Z axis 30000 mm/min
Table size	760×430 mm	Feed speed	1~24,000 mm/min
Table length	X axis 660mm	Servo motor	X axis 1.4 kW
	Y axis 410mm		Y axis 1.4 kW
	Z axis 460mm		Z axis 2.8 kW
Main shaft rpm	80~8,000 rev/min	Table movable load	400 kgf

여 측정하였으며, 이때 공구동력계로 부터 측정된 절삭력 성분은 증폭기를 사용하여 증폭하였다. 증폭된 아날로그 신호를 A/D 변환기(DAS-16)를 이용하여 디지털화하여 개인용 컴퓨터에서 데이터 해석을 하였으며, 컴퓨터에 전송된 신호는 절삭력 소프트웨어를 이용하여 분석하였다.

피삭재 가공 시 배출되는 칩은 절삭조건에 따라 공구현미경을 통하여 관측하였고, 표면 거칠기는 3차원 측정기(Mitutoyo社, BRT-S916)를 이용하여 7회 반복하여 측정하여 최고 값과 최소 값을 제외하 나머지 측정치의 평균값으로 정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 일반이송절삭

Fig.1은 GFRP를 절삭속도 64.2m/min 와 드릴 이송속도 0.1mm/rev 인 절삭조건에서 $\Phi 10$ mm의 고속도강 드릴을 사용하여 구멍길이에 따른 절삭성분인 스



Fig.1 Relation between hole depth and thrust on GFRP for HSS, $V=62.4\text{m/min}$, $f=0.1\text{mm/rev}$

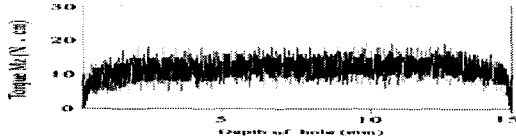


Fig.2 Relation between hole depth and torque on GFRP for HSS, $V=62.8\text{m/min}$, $f=0.1\text{mm/rev}$



Fig.3 Relation between hole depth and thrust on step feed for and GFRP, $V=62.8\text{m/min}$, $f=0.1\text{mm/rev}$



Fig.4 Relation between hole depth and torque on step feed for and GFRP, $V=62.8\text{m/min}$, $f=0.1\text{mm/rev}$

리스트 F_z 를, Fig. 2에는 토오르크를 나타내었다.

Fig.1,2에서 GFRP는 구멍깊이에 따른 스리스트와 토오르크의 변화는 홈 가공된 부위의 초반부와 후반부를 제외한 2.5mm부근에서 13mm부근까지 거의 변화없이 일정하게 나타나며, 스리스트와 토오르크는 각각 110N, 12N·cm 정도의 값을 가진 것을 볼 수 있다.

이 결과로부터 스리스트와 토오르크의 두 절삭지향 성분은 구멍의 초반부와 후반부를 제외한 나머지 부분은 깊이의 영향을 거의 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 그러나 절삭지향의 동적성분에서 토오르크의 동적성분이 스리스트 보다 크게 나타나는 것은 드릴의 외주부와 공작물의 내벽과의 마찰에 의한 영향이 지배적으로 작용하고, 또한 내부에서 발생한 열의 영향과 생성된 칩의 누적 때문이라고 생각된다.

3.2 단계이송절삭

단계이송절삭은 피삭재의 구멍깊이가 15mm이기 때문에 5mm씩을 한 구간으로 하여 3단계 이송가공을 하였다. 공구는 기계 좌표계 원집에서 위치결정을

한 후 공구인선이 피삭재와 5mm의 거리가 되면 절삭이송을 하도록 하였다. 일정깊이까지 드릴가공한 후 드릴이 후퇴할 경우에는 가공시간을 단축하기 위하여 급속이송을 행하도록 프로그램을 작성하였다.

Fig.3은 GFRP를 절삭속도 62.8m/min, 이송량 0.1mm/rev의 3단계 이송절삭을 한 경우의 스리스트를 나타낸 것이다. 스리스트는 일반 이송절삭의 경우인 Fig. 1과 비교할 때 약간 상승한 130N 정도의 값을 가지는 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 4에는 GFRP의 토오르크를 표시한 것으로서 구멍의 깊이가 증가할수록 토오르크는 미소하게 상승하고 있고, 일반 이송절삭인 Fig. 2보다 토오르크가 5N·cm 정도 적음을 알 수 있다. 이것은 단계이송절삭의 경우 일반 이송절삭 때 보다 칩의 배출이 용이하여 이로 인한 절삭온도가 감소로 스리스트와 토오르크가 감소된다고 생각된다. 그리고 단계이송절삭의 경우 이송회수의 증가에 따라 토오르크의 진폭변화가 크게 나타나는 것은 단계이송으로 인한 충격력으로 공구인선에 미세 파쇄(micro chipping) 현상이 연속적으로 발생하기 때문이라고 생각된다.

3.3 가공물의 입·출구형상

Fig.5는 $\Phi 10\text{mm}$ 의 드릴을 이용하여 절삭속도를 94.2m/min으로 하여 홈 가공 한 후에 시험편의 입구와 출구의 상태를 나타낸 것이다.

그림에서처럼 홈 가공된 입구부의 형상은 대체로 양호하게 나타나고 있으며 출구부는 심하게 내부 표면 박리현상이 나타나고 있음을 알 수 있다. 이것은 출구 쪽으로 갈수록 공구마모로 인하여 보강제인 섬유와 기지제인 수지를 절삭하지 못하고 인장시켜 찢기는 현상으로 절삭되기 때문이라 생각된다.

3.4 칩의 형상

Fig.6(a),(b)은 절삭속도를 94.2m/min으로 하여 $\Phi 10\text{mm}$ 의 드릴공구에 의한 홈 가공을 각각 5개, 112개 했을 때 GFRP에서 발생하는 칩의 형상이다.

Fig.6(a)처럼 유동형의 칩이 발생하는 가장 큰 이유는 플라스틱 성질의 수지가 다량 함유되어 있기 때문이며, 홈 가공을 112개째 가공했을 때 칩은 Fig.6(b)처럼 분진가루의 형태로 변하는데, 이 현상은 절삭 시 피삭재의 기지제인 에폭시 수지와 보강제인 유리섬유에 의해 발생하는 일이 공구에 축적되어 공구의 온도가 극도로 상승하여 공구의 수명을 거의 잃어버렸기 때문이라 생각된다.

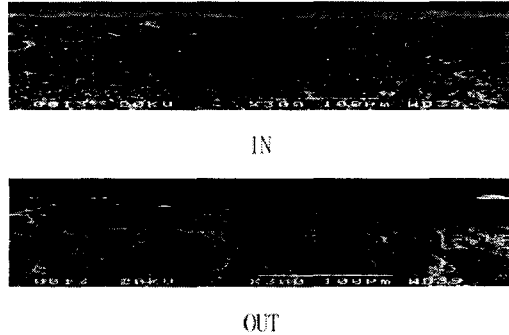


Fig.5 Groove of GFRP; V=94.2m/min

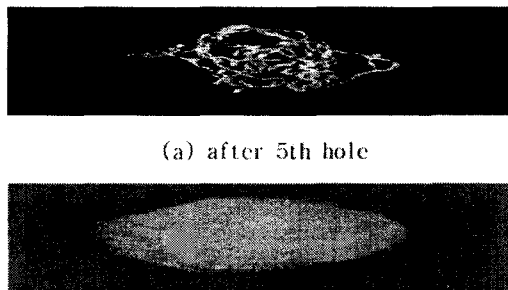


Fig.6 Chip schematics of and GFRP, V=94.2m/min

3.5 표면 거칠기(Ra)

동일한 절삭조건에서 시험편을 드릴가공을 하였을 때 홈 가공 면의 표면 거칠기를 비교·검토하기 위하여 공구의 이송속도를 0.1mm/rev로 일정하게 하고 절삭속도를 각각 31.4m/min, 62.8m/min, 94.2m/min로 하여 가공한 후 표면 거칠기 측정값을 그래프로 Fig.7에 나타내었다. 표면 거칠기는 각각 7.37 μ m, 8.87 μ m, 14.65 μ m 의 값을 나타냈으며, 그림에서 보듯바와 같이 표면은 모두 불안정한 모습을 보이고 있으며, 절삭속도가 증가할수록 표면 거칠기가 나빠지는데, 이는 섬유 배열이 일정하지 않고 피삭재의 재질이 절삭속도의 증가에 따른 일의 발생량으로공구 또는 피삭재의 표면에 악 영향을 주었기 때문에 발생했을 거라 생각된다.

제 4 장 결론

1. 스리스트와 토오크는 홈 가공된 2.5mm 지점부터 13mm부분까지 거의 일정한 스리스트와 토오크 값을 가지며, 단계이송에 의한 절삭이 일반이송에 미하이 스리스트는 80N, 토오크는 4N·cm정도 감소하였다.
2. 홈 가공한 입구 쪽의 형상은 대체로 양호하나 출구 쪽에서는 심한 내부 표면 박리현상이 일어난다.

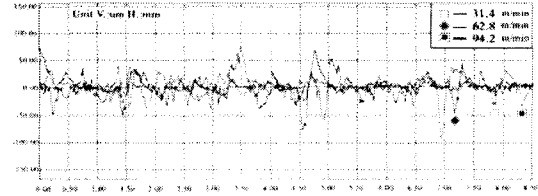


Fig.7 Surface roughness with respect to cutting length at cutting speed of GFRP

3. 칩의 형태는 유동형의 칩에서 가공을 할수록 길이나 폭이 작아지고 홈가공을 112개째 했을 때의 칩은 공구의 심한 마모로 인하여 분진가루로 변한다.
4. 절삭속도가 증가할수록 표면은 거칠게 나타났으며, 절삭속도 31.4, 62.8, 94.2m/min에서 표면 거칠기의 값은 각각 7.37, 8.87, 14.65 μ m 로 나타났다.

참고문헌

- (1) 이대길, 정광섭, 최진호, "복합재료 역학 및 제조기술", 시그마프레스, (1998)
- (2) Bang, K.G., Kim, H.S., Lee, D.G. and Jeon, H.S., "Development of Guide Roller Using Electroplated Carbon Fiber Composite for Thin Polymer Film Processing", Composite Structures, Vol.38, pp.321~328, (1997)
- (3) Chen Wen-Chou, "Some Experimental Investigations in the Drilling of Carbon Fiber-Reinforced Plastics Composite Laminates", Int. J. Mach. Tools, Manufact, Vol.37, No.8, pp.639~650, (1997)
- (4) H.Ho-Cheng and CKH.Dharan, "Delamination During Drilling in Composite Laminates", Transactions of the ASME, PP.236~239, (1990)
- (5) D. H. Wang, K. Nakayama, M. Arai, "Improvement of Surface Finish in the Cutting of GFRP", Proceedings of the First International Conference on New Manufacturing Technology, pp.33~38, (1990)
- (6) D. H. Wang, M. Ramulu and D. Arola, "Orthogonal Cutting Mechanism of Graphite/Epoxy Composite", Part 1.2: Multi- Directional Laminate, Int. J. Mach. Tools, Manufact, Vol.35, No.12, pp1623~1648,(1995)