

드릴에 의한 탄소섬유강화플라스틱의 절삭특성에 관한 연구

박종남*(조선대 대학원 기계공학과), 정성택(조선대 대학원 기계공학과),
김선진(서강정보대학 소방안전관리과), 조규재(조선대 기계공학과)

A Study on the Cutting Characteristics of the Carbon Fiber Reinforced Plastics by Drill Tools

J. M. Park*(Mech. Eng. Dept., Graduate School, Chosun Univ.), S. T. Jeong(Mech. Eng. Dept., Graduate School, Chosun Univ.), S. J. Kim(Fire Safety Dept., Seokang College), G. J. Cho(Mech. Eng. Dept., Chosun Univ.)

ABSTRACT

With the development of industrial society, the interest of new material is growing even in machining center. Composite materials in the new materials are superior to the metals in measure stability of strength, modulus and heat, moreover when mould is prepared, it can be done net shape manufacturing so it can be used widely in all sorts of machine parts, interior materials of car, structural constructions, the space aerial industry, ship materials, sports goods and so on. Therefore in this study, the property of processing drill on CFRP in composite materials by experimental study and some problems were examined.

Key Words : Machining Center (공작기계), 복합재료(Composite materials), 정형가공(Net Shape Manufacturing), 탄소섬유강화플라스틱(CFRP; Carbon Fiber Reinforced Plastics)

1. 서론

산업사회의 발달과 함께 공작기계에서는 이미 고 정밀도와 높은 생산성을 위한 노력이 계속 되어지고 있으며, 생산되는 제품에 대해서도 정밀도를 비롯한 높은 내구성을 가진 경량(輕量)의 재료인 신소재에 관심이 높아져 이에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 복합재료(Composite materials) 중에서 연속적인 섬유나 단 섬유로 강화된 섬유강화 복합재료는 특히, 밀도에 비하여 강도와 강성이 높고 좋은 피로 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라, 가격이 저렴하고 다양한 형태로도 제조가 가능한 장점이 있어 각 종 기계부품을 비롯하여 자동차의 내장재와 구조재, 우주항공산업, 건축 구조물, 선박재료, 스포츠 용품 등 다방면으로 이용되고 있다.^(1~2)

복합재료는 진공백성형, 전착, 증착, 포일성형,

압축성형 등의 1차 공정만으로 완성이 가능하나 최근에는 그 용도가 광범위해져서 선삭, 밀링, 드릴링, 연삭가공 등의 2차 공정이 필요하게 되었으며, 가공에 따른 정밀도 및 가공형상에 대한 복합재료의 절삭특성에 관한 연구의 필요성이 부각되어 이에 대한 많은 연구들이 진행되어 왔다.

복합재료를 이용한 실험들로는 Dharan⁽³⁾은 탄소섬유 에폭시 복합재료에 관한 연구에서 드릴을 이용하여 홈 가공 시 섬유배열 방향에 의한 추력과 토오크, 공구의 마모 상태, 입구와 출구 현상에 대한 이론적 절삭 모델을 제안했으며, Kim, Dong-Hyun.⁽⁴⁾, Kim, Woo-Soon 과 Kim, Kyong-Woo는 탄소섬유 에폭시 복합재료 프리프레그(Prepreg)로 적층한 복합재료의 절삭가공특성 연구에서 엔드밀을 이용한 홈 가공에서 발생하는 결함을 최소화하고 높은 생산성을 얻기 위해 절삭조건에 따른 홈 가공에서 발생하는 칩

의 형상, 입구와 출구의 형상, 공구마모와 절삭력에 미치는 영향 등을 연구함으로써 홈 가공 특성에 대한 규명을 하는 등 많은 연구가 수행되어져 왔다. (5) 건축구조물, 우주항공 산업분야에 비해 상대적으로 기계분야에서는 다른 재료의 대체가능성이 높음에도 불구하고 복합재료의 적용은 미진하다. 특히 복합재료에 대한 드릴가공특성을 정량적으로 규명한 연구결과는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 첨단화되어가고 있는 산업분야에서 복합재료의 사용이 확대될 수 있도록 복합재료 중 CFRP를 수직형 머시닝 센터에서 고속도공구강(HSS)의 드릴을 이용하여 절삭속도의 변화를 통한 절삭조건을 주면서 이에 따른 절삭력과 절삭 후의 공구마모 상태, 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 규명함으로써 복합재료의 드릴가공에 있어서 유용한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 시험편 제작

시험편은 Bisphenol-A계 액상 에폭시 수지에 반응성 회석제(BGE)로 변성한 저 점도형 에폭시 수지와 Poly-amide계의 에폭시 수지 전용경화제를 조합하여 만든 열경화성 고분자 에폭시 수지를 도포 후 직물 형태의 탄소섬유를 50겹으로 적층시켜 상온에서 24시간 경화시킨 후 80℃의 오븐에서 3시간 양생시키고 다시 50℃에서 24시간 양생시켜 제조하였다.

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

Table 1. Physical properties of Carbon fiber & Epoxy resin

종 류 \ 항 목	Carbon fiber	Epoxy resin
Tensile strength(kgf/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

Specifi- cation	Dimension & Illustration	Specifi- cation	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 moter	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

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-DPSN20-90 콜레트 홀더인 강력형 스프링 콜레트(spring collet)를 사용하였다. 절삭공구는 (주)금강코리아 사의 고속도공구강(HSS)의 드릴을 사용하였으며, 드릴의 형상은 $\psi 10 \times 90 \times 130$ mm의 스트레이트 샹크 드릴로서 선단각이 130.이며 여유각 11. , 비틀림각이 38. 이다.

2.3 실험방법

본 실험은 고속도강의 드릴로 강화 플라스틱 재료를 가공할 때 적합한 범위내의 절삭조건에서 31.4m/min, 62.8m/min, 94.2m/min의 3종류 절삭속도와 0.67mm/rev, 0.1mm/rev, 0.2mm/rev의 이송속도로 하였다. 드릴을 홀더에 체결시킬 때의 체결은 드릴홀더를 지그에 고정시킨 후 드릴 척 고정공구를 이용하여 충분한 힘으로 체결하였다. 가공부위는 구멍들간의 절삭열에 대한 영향을 최소화하기 위해 일정한 간격으로 하여 각 시험편에 $\psi 10$ mm의 드릴을 사용하여 구멍의 총 깊이 15mm를 한 번에 절삭하여 관통하는 일반이송방식으로 건식절삭가공을 하였다.

각 실험조건에 대한 드릴의 절삭력 변동 성분을 압전형 공구동력계(Kistler社, type9272)를 사용하여 측정하였으며, 이때 공구동력계로 부터 측정된 절삭력 성분은 증폭기(Charge Amplifier)를 사용하

여 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 제외한 나머지 측정치의 평균값으로 정하였다. 또한, 홈 가공한 가공물의 기지 조직의 변화를 검사하기 위하여 다이아몬드 커팅기로 절단 한 후 비교 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 절삭특성

Fig. 1은 CFRP를 절삭속도 64.2m/min 와 드릴 이송속도 0.1mm/rev 인 절삭조건에서 ψ 10mm의 고속도강 드릴을 사용하여 구멍깊이에 따른 절삭성분인 스러스트 F_z 를, Fig. 2에는 토오크를 나타내었다.

Fig. 1,2 에서 CFRP는 구멍깊이에 따른 스러스트와 토오크의 변화가 초반부와 후반부를 제외한 가공을 시작한 2.5mm부근에서 13mm부근까지 거의 변화가 없이 일정하게 나타나며, 스러스트와 토오크는 각각 230N, 12N·cm정도의 값을 가진것을 볼 수 있다. 또한 절삭저항 중에서 토오크에 대한 동적성분이 스러스트 보다 변화가 크게 나타남을 알 수 있다.

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

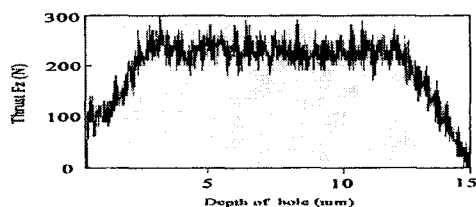


Fig.1 Relation between hole depth and thrust on CFRP for HSS, $V=62.4$ m/min, $f=0.1$ mm/rev

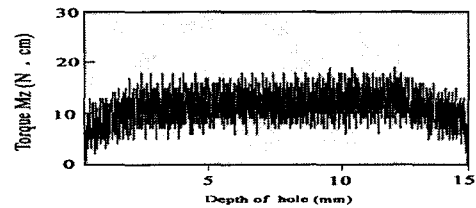
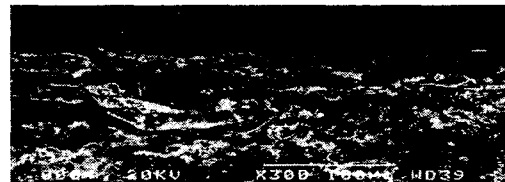


Fig.2 Relation between hole depth and torque on CFRP for HSS, $V=62.8$ m/min, $f=0.1$ mm/rev



(a) IN



(B) OUT

Photo. 2 Groove of CFRP, $V=31.4$ m/min

3.2 가공물의 기지변화

Photo.2(a),(b)는 시험편을 ψ 10mm의 드릴을 이용하여 절삭속도를 31.4m/min으로 하여 홈 가공 한 후의 입구와 출구의 상태를 나타낸 것이다.

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



Photo.3 Chip schematics of CFRP, $V=62.8$ m/min

3.3 칩의 형상

Photo. 3은 절삭속도를 62.8m/min로 하여 ψ 10mm의 드릴공구로 의한 5번째의 홈 가공 시 CFRP에서 발생하는 유동형의 칩이다. 유동형의 칩이 발생하는 가장 큰 이유는 플라스틱 성질의 수지가 다량 함유되어 있기 때문이다.

드릴에 의한 홈 가공을 30개째 했을 때 칩은 길이도 많이 짧아졌으며 배출된 칩의 50% 정도가 분진가루처럼 생성되었다. 이 현상은 공구의 주 절단부인 플랭크 부분 선단면의 상당한 마모로 인하여 절삭성이 저하되어 피삭재의 가공을 제대로 하지 못하기 때문이라 생각된다. 이렇게 변한 칩은 홈 가공을 72개째 가공했을 때 완전한 분진가루의 형태로 변하는데 이것은 절삭 시 피삭재의 기지재인 에폭시 수지와 보강재인 탄소섬유에 의해 발생하는 열이 공구에 축적되어 공구의 온도가 극도로 상승하여 공구의 수명을 거의 잃어버렸기 때문이라 생각된다.

4.5 표면 거칠기(Ra)

동일한 절삭조건에서 시험편을 드릴가공을 하였을 때 홈 가공 면의 표면 거칠기를 비교·검토하기 위하여 고속도강의 드릴로 절삭속도를 각각 31.4, 62.8, 94.2m/min, 이송속도를 0.1mm/rev로 하여 가공한 후 표면 거칠기 값을 Fig.3에 나타내었다.

표면 거칠기는 각각 9.56 μ m, 14.50 μ m, 22.66 μ m의 값을 나타냈으며, 그림에서 보는바와 같이 불안정한 모습을 보이고 있으며, 절삭속도가 증가할수록 표면 거칠기가 나빠지는데, 이는 섬유 배열이 일정하지 않고 피삭재의 재질이 절삭속도의 증가에 따른 열의 발생량으로 공구 또는 피삭재의 표면에 악 영향을 주었기 때문에 발생했을 거라 생각된다.

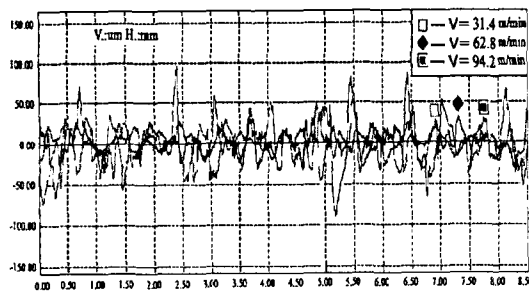


Fig.1 Surface roughness with respect to cutting length at cutting speed of CFRP

제 4 장 결론

CFRP 시험편을 고속도강의 드릴로 일반이송절삭을 통한 홈 가공을 하면서 이에 따른 절삭력, 가공부위의 기지조직 변화, 칩의 형태, 표면 거칠기 등을 실험적 고찰을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 스러스트와 토크는 CFRP에서 230N, 12N·cm의 값을 나타내었으며 홈 가공 길이 2.5mm 지점부터 13mm 부근까지 거의 일정한 스러스트와 토크 값을 가지면서 변화한다.
2. 홈 가공한 입구 쪽의 형상은 대체로 양호하나 출구 쪽에서는 심한 내부 표면 박리현상이 일어난다.
4. 처음엔 유동형의 칩이 생성되나 홈 가공을 72개째 했을 때의 칩은 공구의 심한 마모로 인하여 분진가루처럼 변한다.
5. 절삭속도가 증가할수록 표면 거칠기는 나빠져 나타나며, 표면 거칠기의 값은 절삭속도 31.4m/min, 62.8m/min, 94.2m/min에서 각각 2.19 μ m, 5.63 μ m, 8.01 μ m 로 나타났다.

Reference

- (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) H.Ho-Cheng and CKH.Dharan, “Delamination During Drilling in Composite Laminates”, Transactions of the ASME, PP.236~239, (1990)
- (4) Kim, D.H., Kim, W.S. and Kim, K.W. “A Study on the Machining Properties of CU175NS Composite Laminates”, Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol.10, No.1, pp.88~93, (2001)
- (5) W.K nig, Ch.Wulf, P.Graß and H. Willerscheid, “Machining of Fiber Reinforced Plastic”, Annals of the CIRP, Vol.38, No.1, pp.119~124, (1989)
- (6) 조규재, “오스템퍼링한 球狀黑鉛鑄鐵의 드릴 加工特性이 工具壽命에 미치는 影響에 關한 研究”, 東亞大學校 大學院 博士學位論文, (1996)