

CFRP복합재료의 적층각에 따른 가공 특성

정성택*, 박종남*, 김선진**, 조규재***

- * 조선대학교 대학원 기계공학과
- ** 서강정보대학 소방안전관리과
- *** 조선대학교 기계공학부

Drilling Characteristic depend on the Orientation Angle of CFRP Composite material

seong-taek Jeong*, Jong-nam Park*, Sun-jin Kim**, Gyu-jae Cho***

- * Dept. of Mechanical Eng., Graduate School, Chosun Univ.
- ** Dept. of Mechanical Eng., Seokang College
- *** Dept. of Mechanical Eng., Chosun Univ

Abstract

In recent days the more use of CFRP composite is in the airplane, automobile, and sport goods, etc., the more necessity of research on it in this engineering. In this research, the CFRP composite specimen are fabricated by 48 CFRP plies with 8 orientation angles, and the specimens are drilled with 3 tools. The results are analyzed with consideration of cutting force, type of tools and fabrication condition. The specimens with each drilling conditions are also investigated with SEM. The optimal drilling conditions such as drill types and cutting force with respect to the fabricating condition are studied.

Key Words : Carbon Fiber Reinforced Plastics (탄소섬유 강화 플라스틱), Cutting force (절삭력), Orientation angle(배열각)

제 1 장 서 론

산업의 발달과 기술의 진보에 따른 고도의 제품생산능력과 생산성 향상에 부응하여 고 정밀도와 높은 생산성을 위한 노력이 계속 되어지고 있으며, 생산되는 제품에 대해서도 정밀도를 비롯한 높은 내구성을 가진 경량의 재료인 신소재에 관심이 높아져 이에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있는 실정이다. 특히 기지가 열경화성수지로 이루어진 복합재료는 기계적 화학적 성질이 비교적 양호한 에폭시 수지를 기지로하여 여기에 물리적 성질이 우수한 탄소수지를 사용한 탄소수

지 에폭시 복합재료(carbon fiber epoxy composites materials)이다. 이러한 복합재료는 금속재료에 비해 높은 비강성(E/ρ)과 비강도(St/ρ), 내 마멸성, 피로특성등 기계적 성질이 우수하고, 굽힘이 준비되면 정형가공을 할 수 있어서, 각종 기계부품을 비롯하여 자동차의 내장재와 구조재, 우주항공산업, 건축 구조물, 선박재료, 스포츠 용품, 장난감 자동차등 다양한 분야에서 이용이 증가되고 있다. 항공기나 장난감 자동차, 의공용품등을 복합재료로 제작할 경우에는 다른 금속이나 다른 복합재료 부품들에 결합시켜야 한다. 이러한 결합방법으로는 본딩이나 접합, 체결등의 방법이 있다. 볼트를 사용하여 체결하기 위해서는 구멍을 가공하는 작업이 요구되고, 또한 정밀한 부품을 위해서는 성형후 추가적인 가공이 필요하게 된다. 복합재료(CFRP)를 일반 가공이나 드릴링을 하였을 때 절삭날의 입구와 출구 등에서 각 플라이(ply)들의 분리, 재료내부의 층간박리, 가공면 가장자리나 벽면에서 수지 및 레진(resin)이 찢겨지는 등의 결함을 가지고 있다. 이러한 결함을 최소화 하고 생산성 있는 가공을 하기 위해서는 복합재료 가공에 대한 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 복합재료를 성형하기 전에 적층각을 달리하여 성형한 후 가공상태 및 절삭력을 측정하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용한 시험편은 Table.1과 같은 물성치를 갖는 한국화이버㈜ 에서 생산한 일 방향 Carbon Fiber/Epoxy Resin 프리프레그 시트(CUI25NS) 48매를 각기 다른 배열각으로 hand lay-up방법을 통해서 적층하였다. 시험편의 성형은 Photo.1과 같은 오토클레이브(autoclave)를 이용하였으며, 성형조건은 챔버 내부 둘레에 위치한 히터에 의해 경화점 온도130℃, 경화시간을 90분으로 하여 제작하였으며, 성형시에 진공펌프에 의해서 진공백 속을 10-10Pa까지 진공 시킨 후 컴프레셔에 의해서 진공백의 외측으로부터 3×105 Pa정도 가압시켜 제작하였다. 성형된 재료는 다이어몬드 휠 커터를 이용하여 40mm×40mm크기로 절단하여 시험편을 제작하였다.

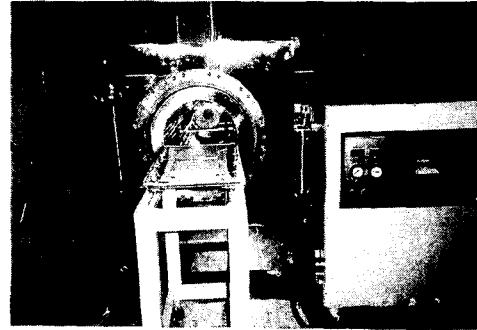


Photo. 1 Autoclave

Table 1. Material properties of Carbon/Epoxy(CUI25NS)

Types Characteristics	Fiber(Carbon)		Resin (Epoxy#350)	Prepreg Sheet (CUI25NS)	
	C1	C2		C1	C2
Density(kg/m ³)	1.75×10 ³	1.83×10 ³	1.24×10 ³	-	-
Tensile Strength(Pa)	353	489	0.08	1.85	253
Elastic Modulus(GPa)	230	240	3.60	132.7	138
Breaking Elongation(%)	1.7	2.1	3.0	1.3	1.7
Poissons ratio	-	-	-	0.30	0.30
Resin Content	-	-	-	37(±1)	
Curing Temperature	-	-	130℃	130℃×90min	

본 연구에 사용한 실험장치는 머시닝센터(HWACHON-HIPLUS)이고, photo2와 같으며 바이스 위에 자체 제작한 지그를 고정시키고 지그에 피삭재를 고정시켰다. 절삭력 측정은 회전공구 동력계(Kistler, type 9123C)인 절삭력 감지 시스템을(Real-time Monitoring System)을 이용하여 무선 데이터 전송방식으로 절삭가공시에 공구와 공구날에 미치는 힘을 증폭기(Charge amplifier)로 증폭하여 데이터 레코더에 기록한 다음 검출된 신호를 증폭하여 Dynoware(Kistler, type2825A)를 이용하여 A/D 변환후 컴퓨터에서 데이터처리 하여 토크(torque)와 트러스트(thrust)값을 측정하였다. 실험조건은 드릴의 이송속도를 5, 10, 25, 40, 60mm/min으로 하였으며, 절삭속도는31.4, 47.1, 62.8mm/min로 하였다. 또한 CFRP복합재료의 배열각은 1 : 0/90/0/90, 2 : 0₂/90₂/0₂/90₂, 3 : 0₆/90₆/0₆/90₆, 4 : 0/45/90/-45, 5 : 0/-45/0/45, 6 : 0₂/45₂/90₂/-45₂, 7 : 0₃/45₃/90₃/-45₃, 8 : 0₆/45₆/90₆/-45₆ 번의 직교이방성

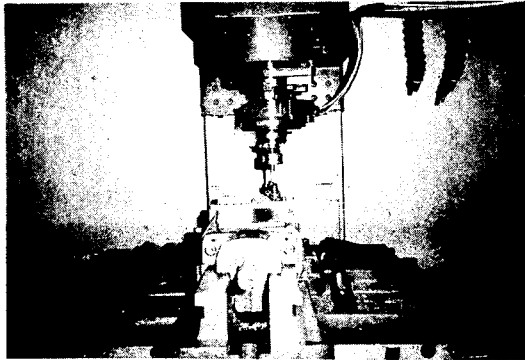


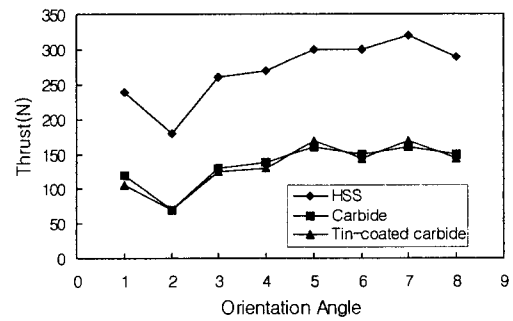
Photo. 2 Experimental apparatus

과 의사등방성으로 하였으며, 성형된 복합재료의 두께는 5mm로 하였다. 사용된 드릴은 직경이 10mm인 고속도강드릴, 초경드릴, TiN-코팅된 초경드릴 등 세 종류를 사용하였으며, 드릴가공은 건식상태에서 실시하였다

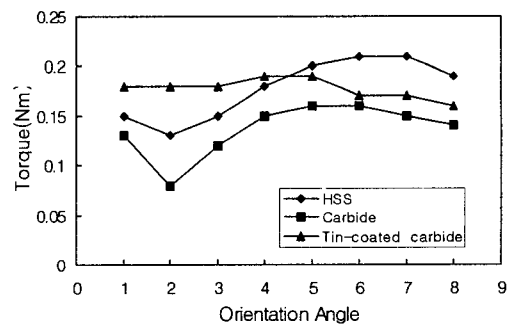
3. 각기 다른 적층각에 따른 절삭력 측정

CFRP복합재료인(CU125NS)을 적층각이 8가지 방향이 되도록 적층하여 직교이방성인 1 : 0/90/90, 2 : 0₂/90₂/0₂/90₂, 3 : 0₂/90₂/0₂/90₂, 과 의사등방성인 4 : 0/45/90/-45, 5 : 0/-45/0/45, 6 : 0₂/45₂/90₂/-45₂, 7 : 0₂/45₂/90₂/-45₂, 8 : 0₂/45₂/90₂/-45₂ 을 드릴의 재질이 다른 조건하에서 절삭실험한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 가공조건이 F=10mm/min이고, 회전수가 1000rpm일 때 고속도강드릴은 적층각에 관계없이 트러스트값이 초경드릴이나 TiN코팅된 초경드릴보다 훨씬 큼을 알 수 있었다. 또한 초경드릴과 TiN코팅된 초경드릴은 트러스트값이 거의 유사함을 나타냈다. 하지만 토크값은 배열각에 따라서 고속도강 드릴은 직교이방성 배열일때는 코팅 드릴보다 값이 낮고 의사등방성배열일때는 가장 높은 값을 나타내고 있으며, 초경드릴이 가장 적은 토크값을 나타냈다. 따라서 의사등방성 배열각이 트러스트와 토크값이 더 많이 발생되고 출구부의 가공상태도 더 불량함을 알 수 있었다. Fig. 1의 그림과같이 적층각이2번인 (0₂/90₂/0₂/90₂)의 배열각이 토크값이나 트러스트값 모두 가장 적게 발생되고 , 6번인(0₂/45₂/90₂/-45₂)과 7번인

(0₂/45₂/90₂/-45₂)의 배열각이 트러스트값이 가장 많이 발생됨을 알 수 있었다. Fig.2 는 이송속도와 절삭속도를 일정하게 하고 적층각을 다르게 한 8종류의 피삭재와 세종류의 드릴을 가지고 가공된 시편의 출구부를 나타낸 그림이다. 일반 금속재료 가공시와는 달리 출구부의 가공상태는 초경드릴이 가장 양호하고 TiN코팅된 초경드릴이 두 번째이고, 고속도강드릴은 거의 불량함을 알 수 있었다. 이는 입구부는 가공상태가 양호하나 출구부는 각 플라이의 박리현상이 발생함을 알 수 있다. 배열각에 따른 출구부의 가공상태는 절삭력이 적게 받는 직교이방성이 의사등방성보다 양호하게 나타났고 절삭력이 가장 적은 값을 나타내는 2번 배열각인 (0₂/90₂/0₂/90₂)적층각이 가장 양호한 가공상태를 보여주고 있다.



(a) Thrust force (F=10mm/min, N=1000)



(b) Torque force (F=10mm/min, N=1000)

Fig. 1 Relation between cutting resistance and orientation angle for each drill materials

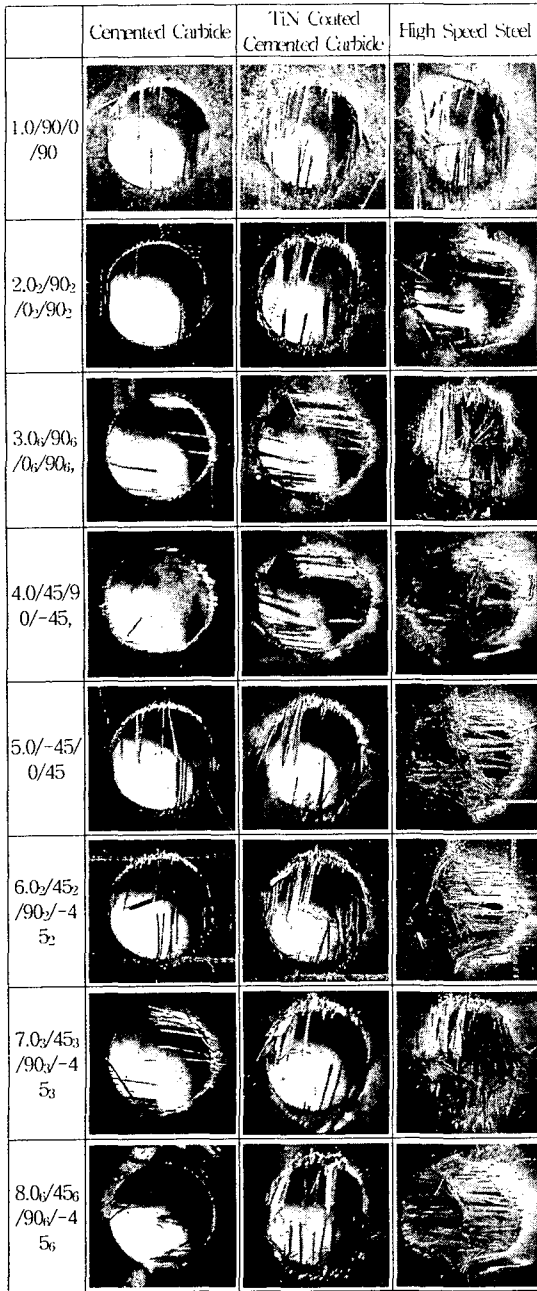
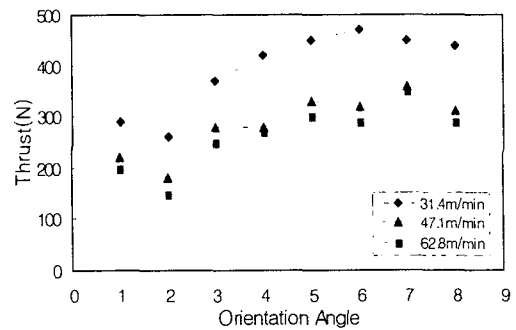


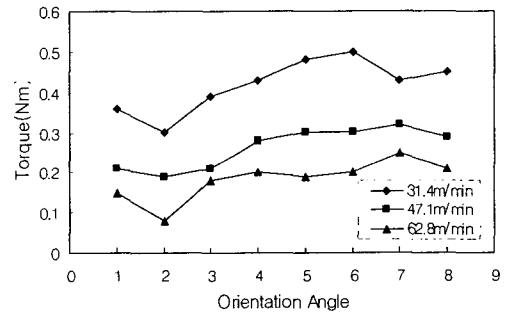
Fig. 2 Photograph on exit state of drilled(F=10mm/min, N=1000)

Fig. 3은 절삭속도를 31.4, 47.1, 62.8m/min로 하고, 이송속도를 25mm/min으로 고정시킨 상태에서 직경이 10mm인 고속도강 드릴로 가공했을때의 트러스트값과 토크값을 나타내고 있다. 그림에

서 절삭속도가 31.4m/min일 때는 절삭력이 크나 47.1m/min와 62.8m/min일때는 거의 유사함을 나타내고 있다. 또한 배열각에 따라서도 약간의 절삭력 차이가 나타남을 알 수 있었다. 가공상태는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 고속도강 드릴로 가공했을때는 이송속도가 일정할 때는 절삭속도를 빠르게 했을 때 가공상태가 더 양호함을 알 수 있었다.



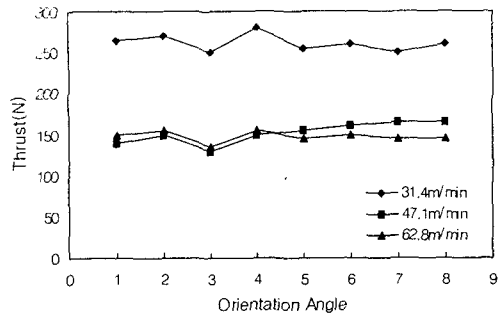
(a) Thrust force (F=25mm/min)



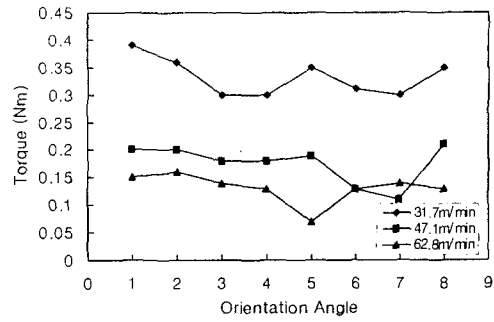
(b) Torque force (F=25mm/min)

Fig. 3 Relation between cutting resistance and orientation angle(HSS drill)

Fig. 4는 초경드릴로 가공했을때의 절삭력값들을 나타내고 있다. Fig.6에서와 같이 출구부의 가공상태는 절삭속도가 47.1m/min일 때가 가장 양호하다. 절삭속도가 31.4m/min일때는 트러스트값이 많이 발생하나 47.1m/min이상일때는 절삭속도에 관계없이 트러스트값이 거의 일정함을 나타내고 있다. 하지만 토크값은 절삭속도의 변화에 따라 토크값이 변화함을 알 수 있었다. 하지만 배열각에 따라서는 절삭력의 변화가 거의 발생하지 않았다.

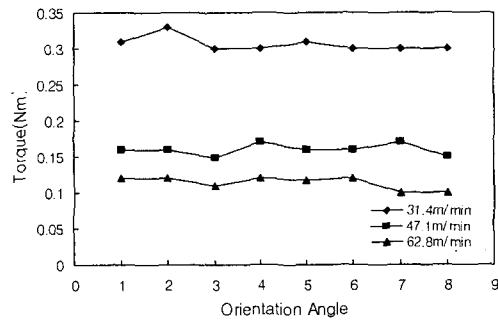


(a) Thrust force (F=25mm/min)



(b) Torque force (F=25mm/min)

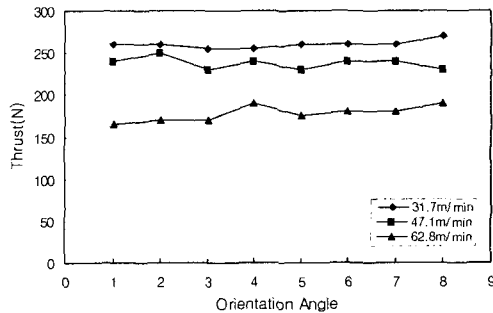
Fig. 5 Relation between cutting resistance and orientation angle (TiN-coated drill)



(b) Torque force (F=25mm/min)

Fig. 4 Relation between cutting resistance and orientation angle (Cemented Carbide drill)

Fig. 5는 TiN코팅된 초경드릴로 각기 다른 배열각을 가진 복합재료를 가공했을 때의 절삭력 상태를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 절삭속도가 47.1m/min일 때는 초경드릴보다 훨씬 큰 트러스트값이 걸리고 가공된 면의 상태도 더 불량함을 알 수 있었다. 따라서 TiN코팅된 초경 드릴로 가공시에는 절삭속도를 크게 해서 가공하는 것이 절삭력이 적게 걸린다. 하지만 배열각에 따라서는 절삭력이 거의 유사함을 알 수 있었다.



(a) Thrust force (F=25mm/min)

Fig. 6의 그림은 이송속도를 일정하게 하고 절삭속도를 달리하여 가공된 출구부의 가공상태를 나타낸 것이다. 출구부의 가공상태가 2번 배열각이 가장 양호하기 때문에 2번인 시험편을 나타냈다. 그림에서와 같이 절삭속도가 47.1m/min의 초경드릴로 가공한 것이 가장 양호하고 TiN코팅드릴이나 고속도강드릴은 62.8m/min인 절삭속도로 가공하는 것이 다른 절삭속도에 비해 더 양호함을 알 수 있다.

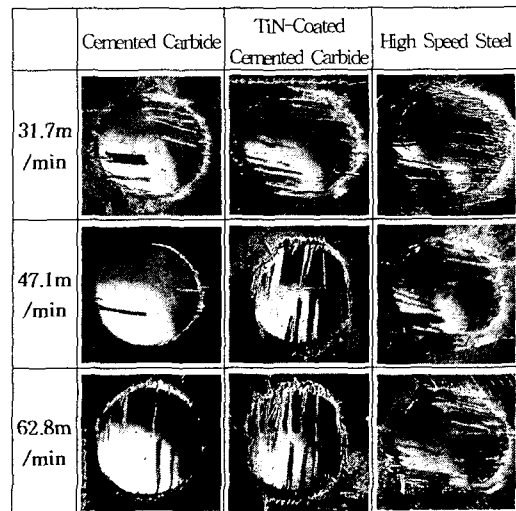


Fig. 6 Photograph on exit state of drilled (F=25mm/min)

4. 결론

1. 세 종류의 드릴로 CFRP복합재료를 드릴링 가공시 초경드릴이 가공상태가 가장 양호하고 TiN코팅된 초경드릴 다음이 고속도강 드릴 순으로 나타남을 알 수 있었다.
2. 적층각도가 $0_3/45_3/90_3/-45_3$ 일때 가장 큰 절삭력이 발생하고, $0_2/90_2/0_2/90_2$ 일때 절삭력이 가장 적고, 가공상태도 가장 양호함을 알 수 있었다
3. CFRP복합재료의 드릴링 가공시 배열각을 직교이방성으로 했을 때보다 의사등방성으로 배열했을 때 스러스트력과 토크력이 더 많이 발생함을 알 수 있었다.
4. 복합재료의 배열각에 따라서 고속도강 드릴은 절삭력의 차이를 나타내고 있지만 초경드릴이나 TiN코팅된 초경드릴은 절삭력이 거의 유사함을 알 수 있었다

5. M.Ramulu, D.Arola,K.Colligan, "Preliminary investigation of machining effects on the surface integrity of fiber reinforced plastics."Engineering systems design and Analysis. ASME1994, New York, USA. PD Vol.64-2,93-101.
6. Ferreira JR, Coppini NL, Miranda GWA, "Machining optimisation in carbon fibre reinforced composite materials", Journal of Materials Processing Technology , V.92-93 , 135-140 , 19990830

참고문헌

1. H.Ho-Cheng and C. K. Dharan, "Delamination during drilling in composite laminates", Transaction of the ASME, Journal of Engineering for Industry 112, 236-239(1990)
2. Rahman M, Ramakrishna S, Prakash JRS, Tan DCG, "Machinability study of carbon fiber reinforced composite", Journal of Materials Processing Technology , V.89-90 , 292-297 , 19990519 .
3. Chen WC, "Some experimental investigations in the drilling of carbide of carbon fiber-reinforced plastics(CFRP) composite laminates", International Journal of Machine Tools & Manufacture , V.37 N.8 , , 19970801
4. S.Jain,D.C.H, Yang, "Effect of feedrate and chisel edge on delamination in composites drilling." Journal of Engineering for industry, Transactions of the ASME.Vol.115,Nov.1993, 398-405