

## 드릴재질에 따른 복합재료의 가공에 관한 연구

정성택\*· 박종남(조선대 대학원 기계공학과), 김선진(서강정보대 소방안전관리과)  
김정호(순천대 기계자동차공학부), 조규재(조선대 기계공학과)

A Study on the drilling CFRP composites laminates with respect to drill materials

S.T.Jeong, J.N.Park(CSU), S.J.Kim(SGIC), J.H.Kim(SCU), G.J.Cho(CSU)

### ABSTRACT

In recent days the more use of CFRP composite is in the airplane, 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 6 orientation angles, and the specimens are drilled with 4tools . 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** : Cutting force (절삭력), Orientation angle (배향각),  
Carbon Fiber Reonforced Plastics (탄소섬유강화플라스틱)

### 1. 서론

섬유강화복합재료(FRP)는 금속재료에 비해 비강성과 비강도가 뛰어난 첨단복합재료로(Advanced Composite Materials:ACM)로 에너지 절약, 신 소재로써 기계적 특성, 경량성, 내열성, 제동특성 등이 양호하여 항공기, 인공위성 등의 우주항공분야, 선박, 철도, 자동차등의 운송분야, 스포츠용품, 의료기기 부품 등 관련 분야의 구조용 재료로 널리 사용되고 있다. 그 중 대표적인 탄소섬유강화 플라스틱(Carbon Fiber Reinforced Plastics :CFRP)는 금속합금에 비해 20~50%정도의 중량을 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점들 때문에 산업사회에서 경량화와 기계적 성질이 우수한 복합재료가 다양한 분야에서 이용이 증가되고 있는 실정이다. 따라서 이러한 재료들을 이용하기 위해서는 다른 금속이나 다른 복합재료 부품들에 결합시켜야 한다. 이러한 결합방법으로는 본딩이나 접합, 체결등의 방법이 있다. 볼트를 사용하여 체결하기 위해서는 구멍을 가공하는 작

업이 요구되고, 또한 정밀한 부품을 위해서는 성형 후 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 드릴재질에 따른 가공상태 및 절삭력을 측정하고자 한다.

### 2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용한 시험편은 한국화이바(주)에서 생산한 일 방향 Carbon Fiber/Epoxy Resin 프리프레그 시트(CU125NS)이다. 시험편의 적층 구성은 Fig.1에 나타낸 방법으로 하였으며, Table.1과 나타낸 것처럼

런 배향각을 6 가지 방법으로 달리하여 적층하였다. 총 적층수는 48플라이로 하였으며 habd lay-up 방법을 통해서 적층하였다. 시험편의 성형은 오토 클레이브(autoclave)를 사용하였으며, 성형조건은 챔버 내부 둘레에 위치한 히터에 의해 경화집 온도 130℃, 경화시간을 90분으로 하여 제작하였으며, 성형시에 진공펌프에 의해서 진공백 속을  $10^{-10}$ Pa까지 진공시킨 후 컴프레셔에 의해서 진공백의 외측으로부터  $3 \times 10^5$ Pa정도 가압시켜 제작하였다. 성형된 재료의 두께는 6mm였고 드릴가공을 하기 위하여 다이아몬드 휠 커터를 이용하여 40mm×40mm크기로 절단하였다.

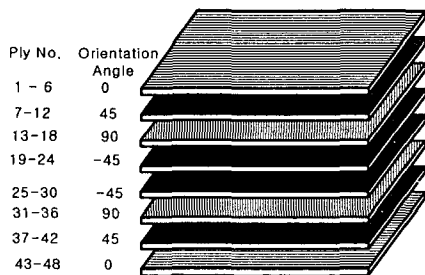


Fig. 1 Method of hand lay-up

Table.1 Orientation angle of plies in multidirection lay-up

No	Orientation angle	No	Orientation angle
1	$(0^\circ/45^\circ/90^\circ/-45^\circ)_{6s}$	4	$(0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ)_{6s}$
2	$(0_3^\circ/45_3/90_3^\circ/-45_3^\circ)_{2s}$	5	$(0_3^\circ/90_3/0_3^\circ/90_3^\circ)_{2s}$
3	$(0_6^\circ/45_6/90_6^\circ/-45_6^\circ)_s$	6	$(0_6^\circ/90_6/0_6^\circ/90_6^\circ)_s$

본 연구에 사용한 실험장치는 수직형 머시닝센터(HWACHON-HIPLUS)이고, Fig. 2에 나타냈으며, 바이스 위에 자체 제작한 지그를 고정시키고 지그에 피삭재를 고정시켰다. 절삭력 측정은 회전공구 동력계(kistler, type 9123c)인 절삭력 감지 시스템(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/D변환후 컴퓨터에서 데이터처리 하여 토크와 트러스트값을 측정하였다. 실험에 사용된 드릴은 직경이 10mm인 고속도강드릴, TiAlN코팅드릴, 초경드릴,

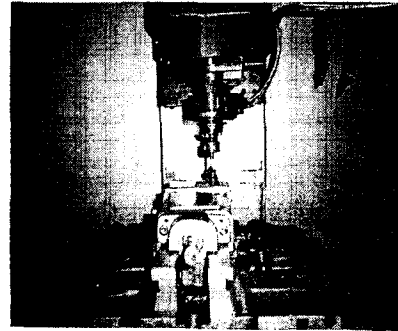


Fig. 2 Photograph of experimental apparatus

PCD드릴등 네 종류의 드릴을 사용하였다. 가공조건은 드릴의 이송속도 5, 10, 40, 60mm/min로 하였으며, 절삭속도는 31.4m, 47.1, 62.8, 78.5m/min로 하였다. 성형된 복합재료의 두께는 6mm이고, 드릴가공은 건식상태로 드릴링 작업을 실시하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

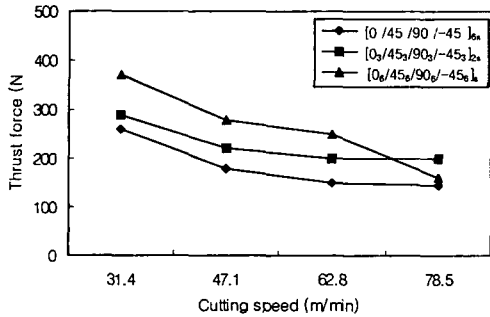
#### 3.1 HSS드릴이 CFRP복합재료의 절삭력과 가공 상태에 미치는 영향

가공시편은 의사등방성 적층구성 세 종류와 직교이방성 적층구성 세 종류등 모두 6종류의 시편을 가공조건에 따라 가공한 결과 Fig.3과 같은 트러스트와 절삭속도와와의 관계를 나타내고 있다. 그림과 같이 의사등방성보다 직교이방성으로 적층한 시험편의 절삭력이 더 크게 발생함을 알 수 있었다. 또한 절삭속도가 증가할수록 점진적으로 절삭력이 감소하고 있음을 알 수 있다. 적층구성을 달리하여 제작한 시편을 같은 가공조건으로 가공했을때도 절삭력의 차이가 있음을 나타내고 있다는 것을 실험을 통하여 알 수 있었다. 이러한 원인으로는 시편의 계면수가 차이가 나기 때문에 이러한 원인들로 인하여 절삭력의 차이가 발생된다고 사료된다.

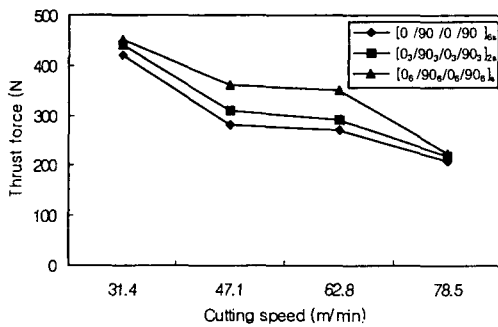
또한 절삭속도를 31.4m/min로 일정하게 유지하고 이송속도를 5, 10, 40, 60mm/min로 변화시키면서 가공했을 때의 절삭력은 이송속도가 증가할수록 절삭력이 급격히 증가했으며, 시험편의 적층방법에 따라서는 절삭력의 차이가 거의 없음을 알 수 있었다. 또한 직교이방성이나 의사등방성에 영향을 받지 않고 절삭력이 거의 비슷함을 알 수 있었다.

Fig. 4를 통해서 적층방법이나 배향각에 따른 절삭력은 이송속도보다는 절삭속도에 의해서 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이러한 것은 드릴의 회전수가 달라짐에 따라 섬유와 드릴날 끝부분이 부딪히

는 회전수가 달라지면서 이로 인하여 적응방법에 따라 절삭력에 영향을 미친다고 사료된다. 또한 절삭속도가 감소할수록, 이송속도가 증가할수록 절삭력은 서서히 증가함을 알 수 있었다.



(a) Thrust force of anisotropic materials (stacking sequence: 0°/45°)

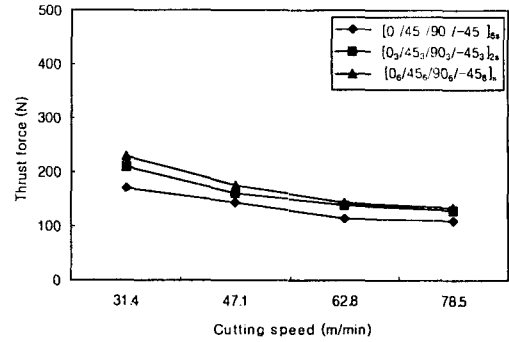


(b) Thrust force of orthotropic materials (stacking sequence : 0°/90°)

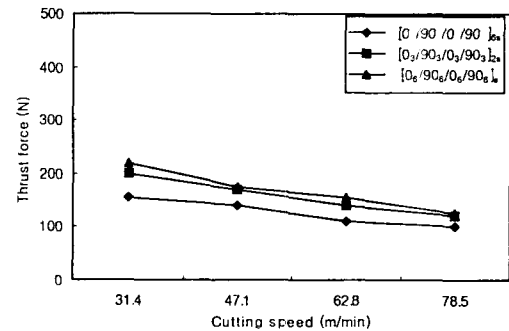
Fig. 4 Relationship between thrust force and cutting speed by laminates

### 3.2 TiAlN Coating 초경드릴이 절삭력과 가공상태에 미치는 영향

CFRP 복합재료의 드릴링 가공시 탄소섬유에 의하여 드릴의 마모가 심하게 발생된다. 따라서 이러한 현상을 방지하기 위하여 초경드릴에 TiAlN를 코팅한 드릴을 사용하여 드릴링 실험을 실시하였다. 절삭력은 고속도강에 비하여 훨씬 적으며, 절삭속도가 증가함에 따라 절삭력이 감소함을 나타내고 있다. 이 때 감소비율은 적어서 절삭속도에 큰 영향을 미치지 않고 있다. 적응방법에 따른 절삭력의 차이는 미비하게 나타나고 있음을 알 수 있었다. Fig. 5의(a)는 시편을 의사등방성으로 (b)는 직교이방성으로 적응했을 때의 절삭력을 비교한 것이다



(a) Thrust force of anisotropic materials



(b) Thrust force of orthotropic materials

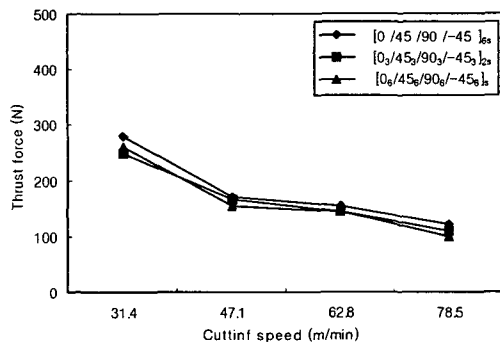
Fig. 5 Relationship between thrust force and cutting speed by laminates

### 3.3 초경드릴과 PCD드릴이 절삭력과 가공상태에 미치는 영향

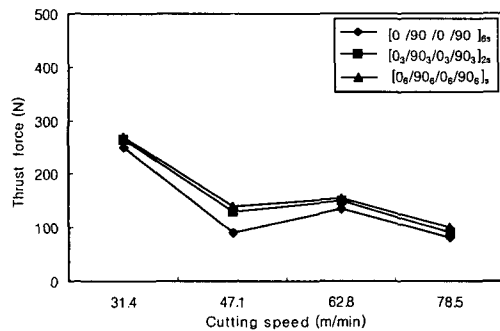
Fig. 6은 초경드릴로 가공했을 때 이송속도와 절삭속도의 변화에 따른 절삭력과 관계를 나타내고 있다. 초경드릴로 가공했을 때는 회전수가 1500rpm 이상 부터는 회전수에 관계없이 절삭력이 거의 일정하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러므로 1500rpm 이하로 가공을 실시하는 것이 마찰열에 의한 박리와 수지의 찢어진 현상등의 가공면에 미치는 영향을 최대한 줄일 수 있다.

가공후의 출구부의 가공면 상태를 보면 절삭속도가 78.5m/min는 가공면의 상태가 제일 불량함을 보여 주고 있다. 이것은 절삭속도가 증가할수록 드릴 선단부에 구성인선과 비슷한 기구가 형성되기 때문에 가공면의 상태가 나빠진다고 생각된다. 아울러 이송도 증가하게 되면 칩의 배출량도 많아지고 드릴 공구에 잔류물도 붙고해서 절삭저항이 증가되어 이로 인한 진동 및 변형도 따라서 커지게 되기 때문이라고 판단된다. PCD드릴은 가격이 너무 비싸므로 앞에서 언급한 가공조건 모두에서는 실험을 실시하지 못하고 Fig.7에 나와 있는 회전수 1000rpm,

이송속도 10mm/min인 가공조건으로 각기 다른 배향각에 의해서만 가공을 실시하였다. Fig. 7은 지금까지 언급한 네 종류의 드릴을 같은 가공조건으로 실험을 실시했을 때 배향각에 따른 트러스트값을 나타내고 있다. 전체적으로 봤을 때 고속도강 드릴의 트러스트값이 가장 크고 초경드릴의 트러스트값이 가장 적게 나타나고 있다. 또한 의사등방성 적층각보다 직교이방성 적층각의 절삭력이 더 크게 발생함을 알 수 있었다.



(a) Thrust force of anisotropic materials



(b) Thrust force of orthotropic materials

Fig. 6 Relationship between thrust force and cutting speed by laminates

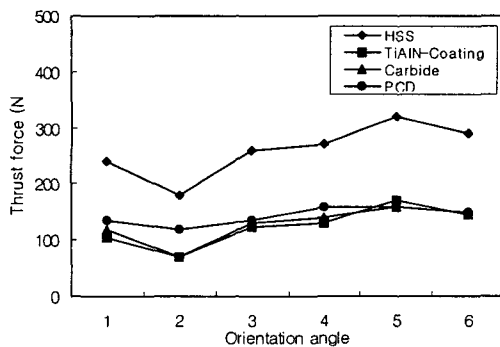


Fig. 7 Relationship between thrust force and orientation angle with respect to drill materials

#### 4. 결 론

CFRP 복합재료의 적층 구성과 드릴 가공의 가공 조건을 달리했을 때 네 종류의 드릴에 어떠한 영향을 미치는가를 연구하기 위하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CFRP 복합재료를 드릴링 가공시 발생한 절삭력은 직교이방성 적층구성 보다 의사등방성 적층구조 시가 더 적게 발생됨.
2. 드릴종류에 따라 가공시 가공상태는 초경드릴로 가공했을때가 다른 드릴로 가공했을 때보다 절삭력도 적고 출구부의 가공상태도 양호함을 알 수 있었다.
3. 드릴가공시 발생한 절삭력은 배향각이나 적층방법에 따라 이송속도에 의해서 는 절삭력의 차이가 미비하였고, 절삭속도에 의해서 는 절삭력의 차이가 발생함을 알 수 있었다.
4. 적층방법에 따라서는 같은 방향으로 플라이 수를 증가시킨 (0<sub>6</sub>/45<sub>6</sub>/90<sub>6</sub>/-45<sub>6</sub>)<sub>s</sub> 이 각각 한장씩 적층한 (0/45/90/-45)<sub>6s</sub>보다 시험편의 절삭력이 더 크게 발생되고 가공상태도 양호하지 않음을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- (1). Chen WC, "Some experimental investigations in the drilling of carbon fiber-reinforced plastic(CFRP) composite laminates", International Journal of Machine Tools & Manufacture , V.37 N.8 , , 19970801
- (2). 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
- (3). Sreejith PS, Krishnamurthy R, Malhotra SK, Narayanasamy K, "Evaluation of PCD tool performance during machining of carbon/phenolic ablative composites", Journal of Materials Processing Technology , V.104 N.1-2 , 53-58 , 20000818