

적층구성이 다른 복합재의 드릴 가공에 관한 연구

정성택*, 박종남*, 조규재**, 심재기**

* 조선대학교 대학원 기계공학과

** 조선대학교 기계공학부

A Study on the Drilling of Composites laminates with respect to Stacking sequences

seong-taek Jeong*, Jong-nam Park*, Gyu-jae Cho**, jae-ki Sim

* Dept. of Mechanical Eng., Graduate School, Chosun Univ.

** 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 6 stacking sequences, and the specimens are drilled with 4 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), Stacking sequences(적층배열)

제 1 장 서 론

산업사회의 발달과 함께 공작기계의 고 정밀도와 높은 생산성을 위한 노력이 계속 되어지고 있으며, 항공기 부재나 자동차 크랭크축등 과 같은 제품에 대해서도 정밀도를 비롯한 높은 내구성을 가진 경량의 재료인 신소재에 관심이 높아져 이에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있는 실정이다. 특히 기지가 열경화성 수지로 이루어진 복합재료는 기계적 화학적 성질이 비교적 양호한 에폭시 수지를 기지로 하여 여기에 물리적 성질이 우수한 탄소수지를 사용한 탄소수지 에폭시 복합재료 (carbon fiber epoxy composites materials) 이다. 이러한 복합재료는 금속재료에 비해 높은

비강성과 비강도, 내 마멸성, 피로특성등 기계적 성질이 우수하고, 금형이 준비되면 정형가공을 할 수 있어서 각 종 기계부품을 비롯하여 자동차의 내장재와 구조재, 우주항공산업, 건축구조물, 선박재료, 스포츠 용품, 장난감 자동차등 다양한 분야에서 이용이 증가되고 있는 실정이다¹⁻²⁾. 항공기 부재나 장난감, 자동차, 의공용품등을 복합재료로 제작할 경우에는 다른 금속이나 다른 복합재료 부품들에 결합시켜야 한다. 이러한 결합 방법으로는 본딩이나 접합, 체결등의 방법들이 있는데 볼트를 사용하여 체결하기 위해서는 구멍을 가공하는 작업이 요구되고, 또한 정밀한 부품을 위해서는 성형후 부가적인 가공이 필요하게 된다³⁾. CFRP 복합재료를 일반 가공이나 드릴링을 하였을 때 절삭날의 입구와 출구등에서 각 플라이(ply)들의 분리, 재료내부의 층간 박리, 가공면 가장자리나 벽면에서 수지 및 레진이 찢겨지는 등의 결함을 가지고 있다⁴⁻⁵⁾. 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 표준 고속도강 드릴, TiAlN-Coating 드릴, 초경드릴, PCD(polycrystalline diamond)드릴등 4종류의 드릴을 사용하여 실험을 실시하였다. 4종류의 드릴을 이용 드릴링 실험을 수행하여 가공된 구멍의 가공상태, 절삭력, 표면거칠기 등을 가공조건과 복합재료 적층구성의 변화에 따라 조사하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용한 시험편은 한국화이버(주)에서 생산한 일 방향 Carbon Fiber/Epoxy Resin 프리프레그 시트(CU125NS)이다. 시험편의 적층 방법은 Fig.1에 나타난 방법으로 실시하였다. Table.1과 같이 6가지 방법으로 적층하였으며, 총 적층수는 48플라이로 hand lay-up 방법을 통해서 적층하였다. 시험편의 성형은 Fig. 2와 같은 오토클레이브(autoclave)를 사용하였으며, 성형조건은 챔버 내부 둘레에 위치한 히터에 의해 정확점 온도 130°C, 경화시간을 90분으로 하여 제작하였으며, 성형시에 진공펌프에 의해서 진공백 속을 10^{-10} Pa까지 진공시킨 후 컴프레서에 의해서 진공백의 외

측으로부터 3×10^5 Pa정도 가압시켜 제작하였다. 성형된 재료의 두께는 6mm였고 드릴가공을 하기 위하여 다이아몬드 휠 커터를 이용하여 30mm×30mm크기로 절단하였다.

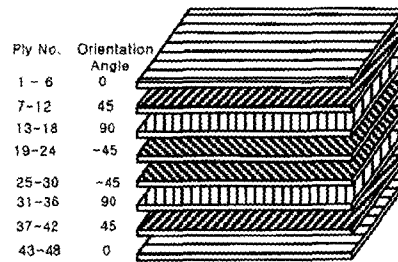


Fig. 1 Method of hand lay-up

Table.1 Stacking sequences of plies in multidirection lay-up

No	Stacking sequence	No	Stacking sequence
1	$(0^\circ / 45^\circ / 90^\circ / -45^\circ)_{6s}$	4	$(0^\circ / 90^\circ / 0^\circ / 90^\circ)_{6s}$
2	$(0^\circ_s / 45^\circ_s / 90^\circ_s / -45^\circ_s)_{2s}$	5	$(0^\circ_s / 90^\circ_s / 0^\circ_s / 90^\circ_s)_{2s}$
3	$(0^\circ_6 / 45^\circ_6 / 90^\circ_6 / -45^\circ_6)_3$	6	$(0^\circ_6 / 90^\circ_6 / 0^\circ_6 / 90^\circ_6)_3$

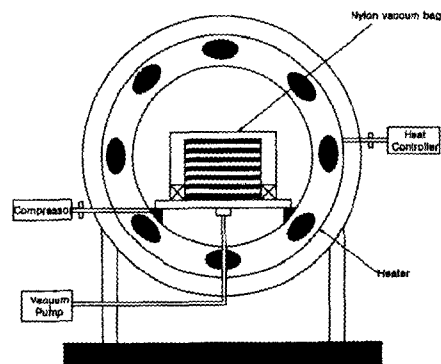


Fig. 2 Schematic diagram of Autoclave

본 연구에 사용한 실험장치는 수직형 머시닝센터이고, 바이스 위에 자체 제작한 지그를 고정시키고 지그에 피삭재를 고정시켰다. Fig. 3은 절삭력 측정 과정을 나타냈으며, 측정은 회전공구 동력계(kistler, type 9123c)인 절삭력 감지 시스템(real time monitoring system)을 이용하여 무선 테

이터 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 토포크와 트러스트값을 측정하였다.

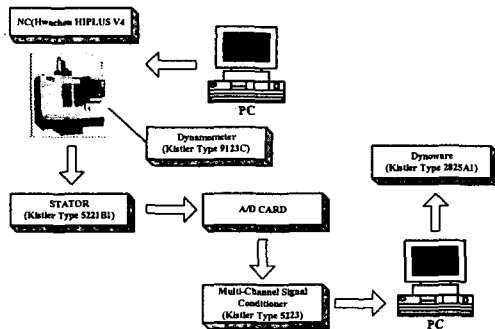


Fig.3 Schematic diagram of experimental measuring system

가공조건과 드릴의 재질은 Table. 2에 나타낸 것과 같은 조건으로 실험을 실시하였다.

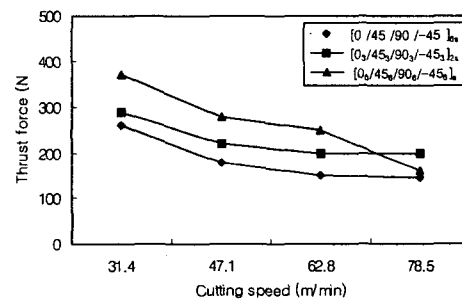
Table. 2 Dimension of drills and Cutting conditions

Specification	Dimension & Illustration
Work piece	CFRP
HSS drill	∅10 Twist drill
PCD drill	∅10 Twist drill
Carbide drill	∅10 Twist drill
TiAlN drill	∅10 Twist drill
Cutting speed	31.4, 47.1, 62.8, 78.5m/min
Feed speed	5, 10, 40, 60mm/min
Depth of cut	6mm
Coolant	None

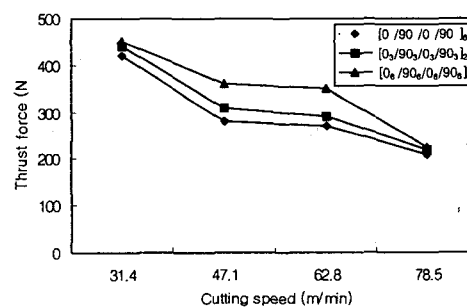
3. 실험결과 및 고찰

3.1 HSS드릴이 CFRP복합재료의 절삭력과 가공상태에 미치는 영향

고속도강 드릴은 값이 저렴하고 사용빈도가 높아서 동방성 재료인 금속재료 가공시 많이 사용되는 드릴이다. 따라서 본 실험에서도 고속도강 드릴을 이용하여 가공을 실시하였다. 가공시편은 의사등방성 세가지와 직교이방성 세가지의 총 6가지 방법으로 적층한 시험편을 사용하였다. Fig. 4의 (a)는 의사등방성이고 (b)는 직교이방성으로 적층한 시편을 HSS 드릴로 가공했을 때의 트러스트와 절삭속도와의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 보는바와 같이 의사등방성보다 직교이방성으로 적층한 시편의 절삭력이 더 크게 나타남을 알 수 있었다. 또한 절삭속도가 증가할수록 점진적으로 절삭력이 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한 적층방법을 달리하여 제작한 시편을 같은 가공조건으로 가공했을 때도 절삭력의 차이가 있음을 나타내고 있다는 것을 실험을 통하여 알 수 있었다. 이러한 원인으로서는 시편의 계면수가 차이가 나기 때문에 이러한 원인들로 인하여 절삭력의 차이가 발생된다고 사료된다.



(a) Thrust force of anisotropic materials



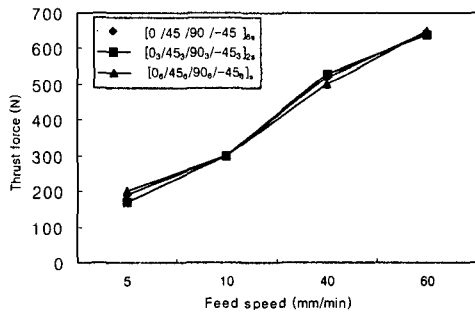
(b) Thrust force of orthotropic materials

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

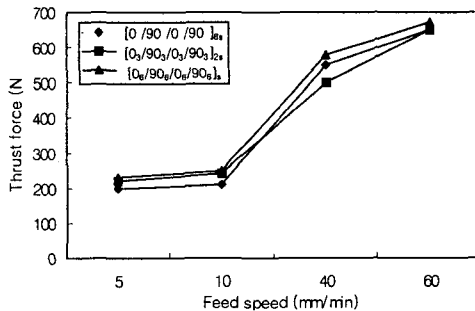
Fig. 5는 절삭속도를 31.4m/min로 일정하게 유지하고 이송속도를 5, 10, 40, 60mm/min로 변화시키면서 가공했을 때의 절삭력을 나타낸 그림이다. 그림에서와 같이 이송속도가 증가할수록 절삭력이 급격히 증가하고 있으며, 시험편의 적층 방법에 따라서는 절삭력의 차이가 거의 없음을 나타내고 있다. 또한 직교이방성이나 의사등방성에 영향을 받지 않고 절삭력이 거의 비슷함을 알 수 있었다.

Fig. 4와 Fig. 5를 통해서 적층방법이나 배향각에 따른 절삭력은 이송속도보다는 절삭속도에 의해서 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이러한 것은 드릴의 회전수가 달라짐에 따라 섬유와 드릴날 끝부분이 부딪히는 회수가 달라지면서 이로 인하여 적층방법에 따라 절삭력에 영향을 미친다고 사료된다.

또한 절삭속도가 감소할수록, 이송속도가 증가할수록 절삭력은 서서히 증가함을 알 수 있었다.



(a) Thrust force of anisotropic materials



(b) Thrust force of orthotropic materials

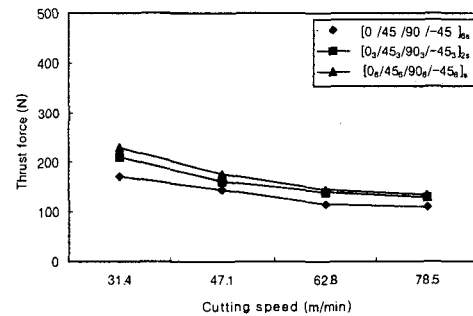
Fig. 5 Relationship between thrust force and feed speed by laminates

3.2.2 TiAlN Coating 초경드릴이 절삭력과 가공 상태에 미치는 영향

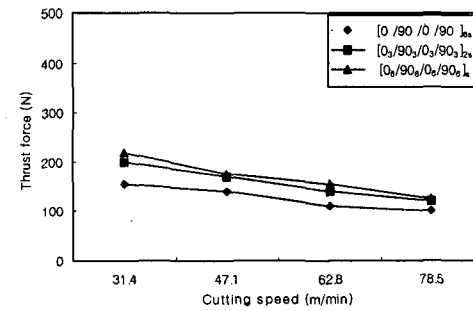
CFRP 복합재료 드릴링 가공시 탄소섬유에 의하여 드릴의 마모가 심하게 발생된다. 따라서 이러한 현상을 막기위해 초경드릴에 TiAlN를 코팅한 드릴을 사용하여 드릴링 실험을 실시하였다.

절삭력은 고속도강에 비하여 훨씬 적으며, 절삭속도가 증가함에 따라 절삭력이 감소함을 나타내고 있다. 이 때 감소비율은 적어서 절삭속도에 큰 영향을 미치지 않고 있다. 적층방법에 따른 절삭력의 차이는 미비하게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 6의 (a)는 시험편을 의사등방성으로 (b)는 직교이방성으로 적층했을 때의 절삭력을 비교한 것이다.



(a) Thrust force of anisotropic materials



(b) Thrust force of orthotropic materials

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

3.3.3 초경드릴과 PCD드릴이 절삭력과 가공상태에 미치는 영향

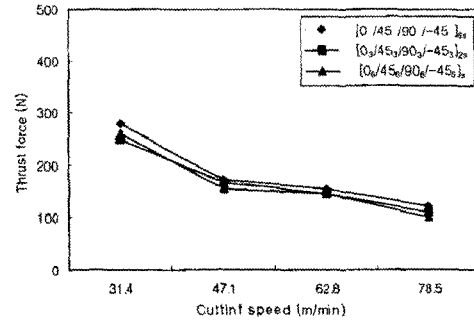
Fig. 7 은 초경드릴로 가공했을 때 절삭속도의 변화에 따른 절삭력과 관계의 그래프를 나타내고 있다. 초경드릴로 가공했을 때는 회전수가 1500rpm 이상부터는 회전수에 관계없이 절삭력이 거의 일정하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러므로 1500rpm 이하로 가공을 실시하는 것이 마찰열에 의한 박리와 수지의 찢어짐 현상등의 가공면에 미치는 영향을 최대한 줄일 수 있다.

가공후의 출구부의 가공면 상태를 보면 절삭속도가 78.5m/min는 가공면의 상태가 제일 불량함을 보여주고 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 이로인한 진동 및 변형도 따라서 커지게 되기 때문이라고 판단된다.

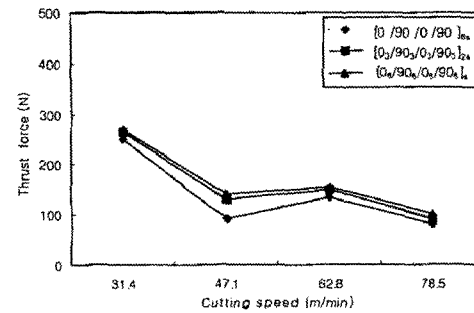
따라서 선단각이 표준각도인 118°를 변화시켜 보는 것도 고려해야 된다고 사료되며, 형상도 개선해야 된다고 생각된다. 그림에서와 같이 초경드릴로 가공했을 때가 다른 드릴에 비해 훨씬 가공상태가 양호하고 절삭력도 적게 발생된다는 것을 알 수 있었다.

PCD드릴은 가격이 너무 비싸므로 앞에서 언급한 가공조건 모두에서는 실험을 실시하지 못하고 Fig. 8에 나와 있는 회전수 1000rpm, 이송속도 10mm/min인 조건으로 각기 다른 배향각에 의해서만 가공을 실시하였다.

Fig. 8은 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 의사동방성 적층각보다 직교이방성 적층각의 절삭력이 더 크게 발생함을 알 수 있다.



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



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

Fig. 7 Relationship between thrust force and cutting speed by laminates

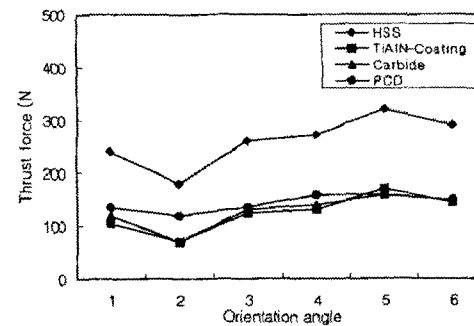


Fig. 8 Relationship between thrust force and orientation angle with respect to drill materials

4. 결 론

CFRP 복합재료의 적층 구성과 드릴 가공의 가공조건을 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 양호함.
3. 드릴가공시 발생한 절삭력은 배향각이나 적층방법에 따라 이송속도에 의해서는 절삭력의 차이가 미비하였고, 절삭속도에 의해서는 절삭력의 차이가 발생함을 알 수 있었다.
4. 적층방법에 따라서는 같은 방향으로 플라이수를 증가시킨 (0₆/45₆/90₆/-45₆)_s 이 각각 한장씩 적층한 (0/45/90/-45)_{6s}보다 시험편의 절삭력이 더 크게 발생되고 가공상태도 양호하지 않음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 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
2. Sreejith PS, Krishnamurthy R, Narayanasamy K, Malhotra SK, "Studies on the machining of carbon phenolic ablative composites", Journal of Materials Processing Technology , V.88 N.1-3 , 43-50 , 19990415

3. 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
4. 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
5. 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
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