

유리섬유 강화 폴리에스터의 드릴가공 특성

김성일*

Drilling Characteristics of Glass Fiber Reinforced Polyester

S. I. Kim*

Abstract

Today, fiber composite materials are routinely used in such wide applications as ships, automobiles, aircraft, space vehicles, containers, sporting goods, and appliances. The current knowledge of machining glass fiber reinforced polyester composites, unfortunately, is inadequate for its optimum utilization in many applications. Therefore, This paper deals with *drilling characteristics of glass fiber reinforced polyester composites*. In the drilling of glass fiber reinforced polyester, the quality of the cut surfaces is strongly dependent on the drilling parameters. Drilling tests were carried out on glass fiber reinforced polyester, using standard HSS tools. The material, containing random chopped strand fibers and woven roving was fabricated by hand lay-up. The entrance and exit surface of the holes was examined. The cutting force was also measured to analyze the drilling characteristics.

Key Words : glass fiber reinforced polyester(유리섬유 강화 폴리에스터), HSS(고속도강), hand lay-up(핸드레이업), entrance and exit surface(입구와 출구 표면)

1. 서론

복합재료란 여러 가지 재료를 조합하여 필요한 방향에 요구되는 특성을 가지도록 설계하여 만든 재료로, 특히 섬유 강화 복합재료는 비강도(강도/중량)와 비탄성율(탄성률/중량)이 크기 때문에 중량의 경감이 도모되고 섬유의 비율이나 배열방향에서 강도를 조절할 수 있고 복잡한 형상을 성형할 수 있다는 이유에서 자동차, 항공기, 컨테이너,

스포츠 용품, 전기 등 여러 분야에서 이용되고 있다.⁽¹⁾ 섬유와 수지의 조합으로 각종의 복합재를 생각할 수 있으나, 실용적으로 광범위하게 사용되고 있는 것이 GFRP(유리섬유 강화 플라스틱)이다. 특히 함정이나 요트에서 사용하는 유리섬유 강화 복합재료의 특성은 파괴직전까지 영구변형은 극히 작고, 아주 크게 변형시켜도 외력을 제거하면 원래의 형태로 복원하는 성질이 있다. 이와 같은 특성 때문에 고속정과 같이 파랑 충격에 의해 단시간에 커다란

* 대불대학교 기계산업정보공학부

외력을 받는 경우, 적당하게 변형해서 충격에너지를 흡수하며 외력을 제거하면서 다시 복원한다. 또한 경량성, 내구성(내수, 내해수성), 디자인의 자유도, 미관, 보수유지가 양호, 양산성과 자재의 입수성, 작업성 등이 좋아 소형 선박재료로 완전히 정착하고 있다.¹⁾

이들 복합재료, 특히 수치제 복합재료는 부품의 대형화, 일체 성형화되는 경향이지만, 그래도 기계가공을 요하는 부분이 많이 있다. 기계가공에는 절단, 절삭 및 드릴링 가공이 있으며, 드릴링 가공에 관한 연구로는 CFRP의 드릴링시 공구형상, 절삭조건에 따른 박리현상의 실험적 연구²⁾, 기계구조용 탄소강의 가공시 드릴의 선단각, 나선각 및 가공조건이 가공성에 미치는 영향에 관한 연구³⁾, ADI 재료의 드릴 가공시 절삭 특성⁴⁾, 유리섬유 에폭시 수지의 복합재료 드릴가공 특성⁵⁾, GFRP의 가공시 표면에 관한 연구⁶⁾, GFRP의 드릴가공시 드릴공구와 재료사이의 상호 메커니즘 및 이송변화에 따른 파손현상에 관한 연구⁷⁾ 등이 있다. 그러나 선박에 사용되는 유리섬유 강화 폴리에스터를 가공하는데 필요한 현장의 자료는 부족한 실정이다. 따라서 제품을 볼트 등으로 체결하기 위한 복합재료의 드릴 가공시 가공조건, 가공방법, 복합재료의 표면 조건의 변화에 따른 특성에 대하여 검토하였다.

2. 유리섬유 강화 폴리에스터의 특성

유리섬유 강화 폴리에스터의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

1) 강도 : 유리섬유 강화 폴리에스터는 강화재를 사용하지 않은 일반 플라스틱에 비하여 수배의 강도를 갖고 있으며, 또한 특수한 성형법에 의한 성형품은 강재보다 더 큰 인장력을 가지고 있다. 2) 경량성 : 비중이 다른 재질에 비교하면 대단히 가벼우며, 철의 1/5배, 알루미늄의 1/2배의 경량성을 갖고 있다. 3) 내화학성, 내약품성 : 플라스틱의 최대 특성은 녹이 슬지 않으며 물, 해수, 오수 등에도 부식이 안되며, 각종 화학 약품류에도 우수한 내식성을 가지고 있다. 4) 내충격성 : 탄성 반발력이 크기 때문에 충격에너지를 잘 흡수하여 단위 체적당 철에 비하면 10배 이상이 되며, 충격을 당했을 시 충격을 완화시킨다.

3. 절삭실험 장치와 방법

드릴가공을 위해 주축회전수 범위가 70~3800 rpm, FANUC 0-M 컨트롤러를 사용하는 CNC 밀링머신

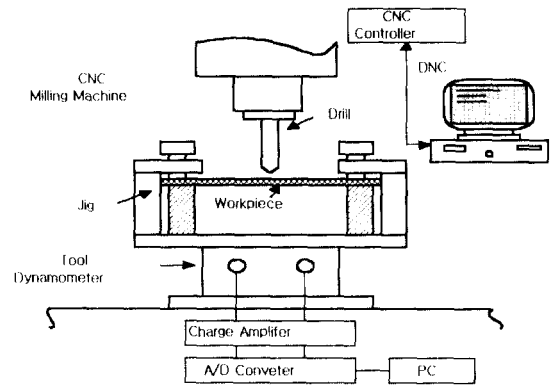
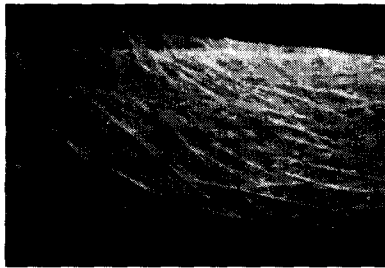


Fig. 1 Experimental set up for drilling test

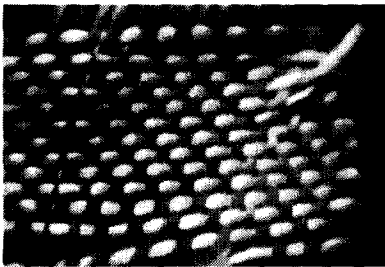
(HANA HNC-150)을 사용하였으며, 공구로는 $\phi 8\text{mm}$ (HSS, 선단각 : 118°)의 표준 twist 드릴을 사용하였다. 드릴 절삭을 위한 NC 프로그램은 IBM PC에서 프로그램하여 RS 232C 통신 port를 사용하여 DNC 전송하였다. 시험편 설치하는 테이블에 공구동력계를 체결하고, 그 위에 시험편을 고정시킨 Jig를 부착하여 드릴 가공하였다. 드릴 가공시 일반적인 방법과 시편아래에 목재를 받치고 가공하는 두 가지 방법을 사용하였다. 드릴 가공시 발생하는 토오크(Mz)와 스러스트(Fz) 절삭력 측정은 압전형 공구동력계(KISTLER, 9271A)를 사용하였으며, 미소 전류를 증폭하기 위하여 Charge amplifier (KISTLER, 5017A)를 사용하였다. 증폭기에서 증폭된 아날로그 신호는 A/D Converter를 통해 컴퓨터에 저장 분석하였다. 절삭조건은 500, 1000, 1500rpm, 이송은 20~200mm/min 범위에서 7단계로 하였으며, 건식 절삭하였다. 공구의 마모에 따른 영향을 방지하기 위하여 매회 절삭마다 새로운 공구를 사용하였다. Fig. 1은 절삭실험을 위한 실험장비의 배치 상태와 신호처리 과정을 보여준다.

본 연구에서 사용된 시편은 FRP 선박의 제조에 사용되고 있는 Roving Cloth, Chopped Strand Mat를 불포화 폴리에스터 수지에 함침시켜 적층하는 Hand lay-up방법으로 제작한 판재이며, Fig. 2의 (a)는 베트로텍스(주)에서 제작한 Roving Cloth, (b)는 한국화이버(주)에서 생산하는 Chopped Strand Mat(수밀 및 중간 접착용)를 보여준다.

시험편은 Table 1과 같이 적층표면을 다르게 한 120mm(L)×100mm(W)크기의 3종류 판재(Woven Roving Cloth, Chopped Strand Mat(수밀 및 중간 접착), Gel-coat(표면도장))를 사용하였다.



(a) Roving Cloth



(b) Chopped Strand Mat

Fig. 2 Roving Cloth and Chopped Strand Mat

Table 1 Specimen Conditions

No.	Conditions	Thickness
1	M+R+~+M+R+M	7mm
2	Gelcoat+M+R+~+M+R	5mm
3	Gelcoat+M+R+~+M+Gelcoat	3mm

R : Woven Roving M : Chopped Strand Mat

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 500, 1000, 1500 rpm, 이송은 20~150mm/min 범위에서 6단계의 절삭조건으로 하여, 드릴 가공 입구쪽의 표면은 도장(Gelcoat), 출구쪽의 표면은 로빙(Roving)으로 제작된 5mm두께의 Table 1의 2번 시편을 ϕ 8mm의 드릴로 홈 가공한 결과로 주축회전수의 변화에 따른 이송속도와 스러스트(Fz) 절삭력과 관계를 보여준다. 절삭력은 이송속도에 증가함에 따라 증가하고, 주축회전수가 증가하면 감소한다. 이는 이송속도가 일정할 때 주축회전수가 증가하면 절삭 단면적이 감소하기 때문이다. 그러나 주축회전수가 고속일 때는 절삭력이 큰 차이가 없고, 미소하게 감소함을 보여주고 있다. 이는 주축을 고속으로 회전시킨 유리섬유 강화 폴리에스터의 드릴

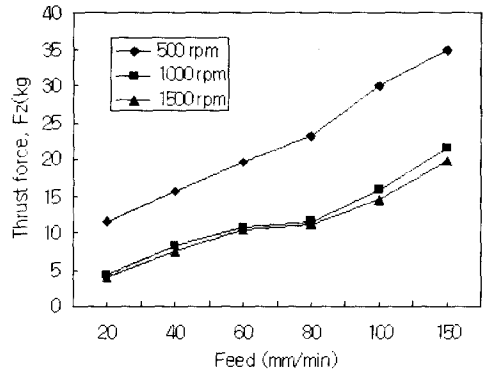
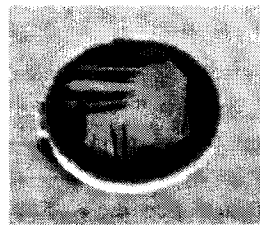


Fig. 3 Thrust force and feed for various spindle rotational speed



(a) Entrance



(b) Exit

Fig. 4 Photographs of the drilled holes

가공시 주축회전수 증가에 따라 재료와 드릴의 마찰이 심해지고 분진의 발생이 많아져 절삭면의 절삭단면적이 비슷해지기 때문이다. 따라서 주축회전수의 증가에 따라 절삭력이 감소하는 일반 강과는 달리 본 실험에서 사용한 유리섬유 강화 폴리에스터의 드릴 가공시 1000rpm 이상에서는 주축회전수에 별 영향이 없고 분진 발생만 많아짐을 보여주었다.

Fig. 4는 Fig. 3에서 사용한 시편을 1000 rpm, 이송 40mm/min 조건으로 홈 가공 한 후 드릴 입구와 출구의 표면을 보여주는 사진이다.

구멍 입구쪽의 모양은 양호함을 볼 수 있지만 출구쪽은 섬유 일부가 탈락되지 않음을 볼 수 있다. 이는 출구 부분에 있는 강한 유리섬유의 일부가 절단되지 않고 출구방향으로 밀리면서 분리되기 때문이다.

Fig. 5는 Fig. 3조건 실험범위에서 이송과 주축회전수를 변화시켜 가공한 홀의 입, 출구 표면을 보여주는 것으로 거의 모든 조건에서 Fig. 4의 현상과 유사하게 출구방향에서 섬유가 절단되지 않고 밀리는 현상을 보여준다.

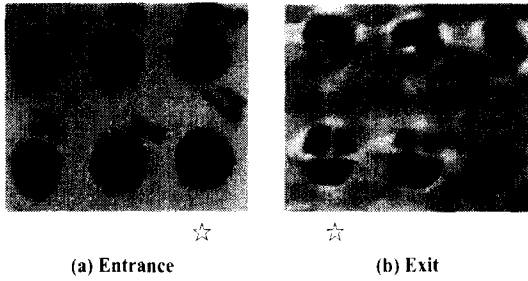


Fig. 5 Photographs of the drilled holes with various cutting conditions

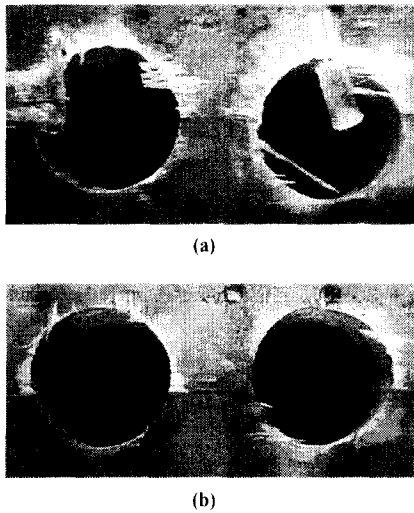


Fig. 6 Photographs of the drilled holes after sanding of laminating surface

Fig. 6은 Table 1의 2번 시편(입구쪽의 표면은 도장, 출구쪽의 표면은 로빙)의 출구부 사진을 보여주는 것으로, 로빙으로 제작된 시편의 드릴가공 출구부는 샌딩(Sanding)하였다. (a)는 일반가공, (b)는 목재를 받치고 가공한 것이다. (a)에서 보면 샌딩하기 전의 것보다는 약간 양호한 표면이지만, 섬유가 완전히 절단되지 않은 것을 보여준다. (b)는 홀을 가공할 때 목재를 받치고 가공한 것으로, 목재를 받치고 가공한 시편 출구표면의 홀 가공부가 양호함을 볼 수 있다. 이는 목재를 받침으로 해서 섬유가 목재 때문에 출구 방향으로 밀리지 않고 섬유와 목재가 같이 가공되기 때문이다. 따라서 입구나 출구의 복합재료의 표면상태 및 가공방법이 홈 가공의 출구 상태를 나타내는 중요한 인자임을 볼 수 있었다.

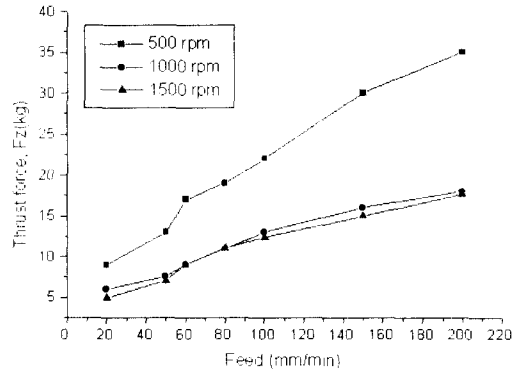


Fig. 7 Thrust force and feed for various spindle rotational speeds

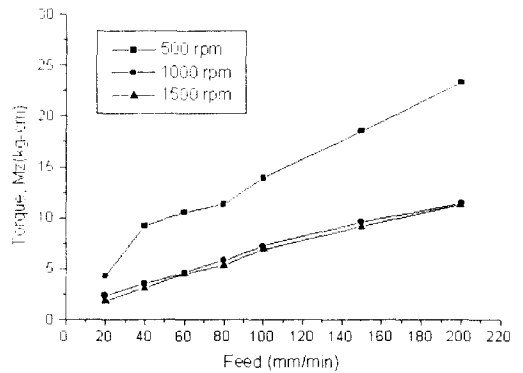
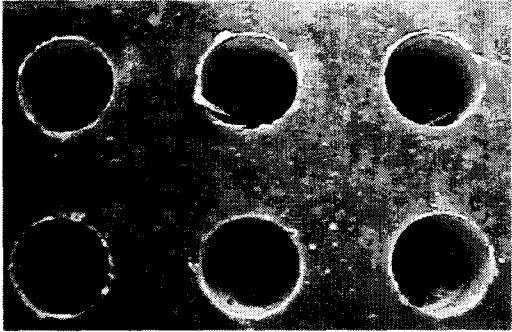


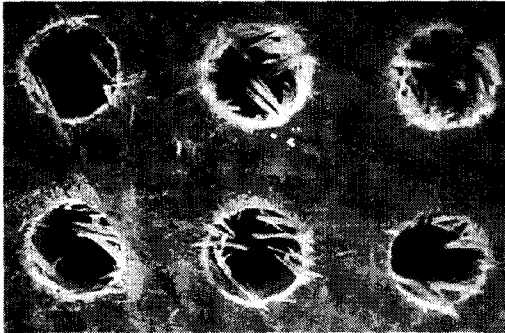
Fig. 8 Torque and feed for various spindle rotational speeds

Fig. 7~8은 500, 1000, 1500rpm, 이송은 20~200mm/min 범위에서 7단계의 절삭조건으로 하였으며, 드릴 $\phi 8$ mm로 홈 가공 입구쪽의 표면은 Mat, 출구쪽의 표면은 Mat이지만 레진을 평평한 판에 놓고 경화시킨 7mm두께의 Table 1의 1번 시편을 가공한 후의 스러스트(F_z)와 토오크(M_z) 평균 절삭력을 보여준다. Fig. 7은 스러스트(F_z)와 이송속도와의 관계를 주축 회전수 변화에 따라 살펴본 것으로, 절삭력은 이송속도의 증가에 따라 증가하고, 주축회전수의 증가에 따라 감소한다. 그러나 1000, 1500rpm에서의 절삭력은 거의 차이가 없음을 보여준다. 이것은 Table 1의 드릴가공 출구표면이 Roving인 2번 시편의 가공 후 절삭력의 경우와 유사한 결과가 나타남을 보여주고 있다.

Fig. 8은 토오크(M_z)와 이송속도와의 관계를 회전수 변화에 따라 살펴본 것으로 스러스트 절삭력과 유사한 경향을 보여주고 있다.

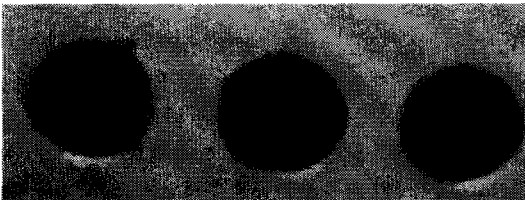


(a) Entrance

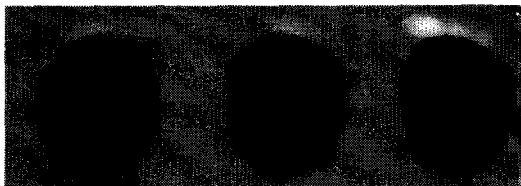


(b) Exit

Fig. 9 Photographs of the drilled holes with different laminating surface



(a) Entrance



(b) Exit

Fig. 10 Photographs of the drilled holes on gelcoat surface

Fig. 9는 Fig. 7~8의 조건으로 가공한 드릴의 입, 출구 표면을 보여준 것으로, 입구는 양호한 형상이지만, 출구는 매트(Mat)가 절단되지 않고 출구방향으로 밀리는 경향을 보이고 있다.

Fig. 10은 양 표면이 도장된 Table 1의 3번시편을 드릴 가공시 드릴 출구부에 목재를 받치고 가공한 후의 드릴 입, 출구 표면을 보여준 것으로, 입, 출구 표면이 모두 양호함을 보여준다. 목재를 받치고 가공함으로써 출구부의 도장이 깨지는 것을 방지할 수 있고 섬유도 출구 방향으로 밀리지 않아 양호한 홀 가공을 할 수 있다.

5. 결론

유리섬유 강화 폴리에스터 복합재료의 가공방법, 절삭 조건, 표면조건의 변화에 따른 드릴가공 실험으로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 복합재료의 가공시 토오크(Mz)와 스톱(Fz) 절삭력은 이송속도가 증가함에 따라 증가하고, 주축회전수의 증가에 따라 감소한다.
- (2) 고속의 주축회전에서 절삭력은 이송속도가 증가함에 따라 증가하지만, 주축 회전수의 증가에는 별 영향을 미치지 않는다.
- (3) 드릴을 이용한 홈 가공시 입구쪽의 상태는 양호한 편이지만, 드릴 출구쪽의 재료 표면상태에 따라 다르게 나타나며, 표면이 매끄러우면 양호한 홀을 얻을 수 있다.
- (4) 출구의 표면 및 가공방법을 달리한 여러 가지 가공 조건 중 출구표면이 도장된 상태, 다음으로 목재를 받치고 가공하는 것이 가장 양호한 홈 가공방법이다.

참고 문헌

- (1) 박익민, 최정철 공역, “複合材料”, 반도출판사, pp. 223~256, 1990.
- (2) Wen-Chou Chen, “Some Experimental Investigations in the Drilling of Carbon Fiber-Reinforced Plastic(CFRP) Composite Laminates”, Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 37, No. 8, pp. 1097~1108, 1997.
- (3) 이영식, 정석주, “드릴의 선단각, 나선각 및 가공조건이 가공성에 미치는 영향”, 한국공작기계학회지 제6권 4호, pp. 138~146, 1997. 12.

- (4) 조재규, 전언찬, “ADI 재료의 드릴 가공시 절삭 특성이 공구 수명에 미치는 영향”, 한국공작기계학회지 제5권 2호, pp. 46~56, 1996. 6.
- (5) 김홍배, “유리섬유 에폭시 복합재료의 정밀드릴가공 특성”, 한국공작기계학회지 제7권 4호, pp. 117~122, 1998. 8.
- (6) X. Wang, K. Nakayama, M. Arai, “Improvement of Surface Finish in Cutting of GFRP”, Proceeding of First International Conference on New Manufacturing Technology, pp. 33~38, 1990.
- (7) G. Caprino and V. Tagliaferri, “Damage Development in Drilling Glass Fibre Reinforced Plastics”, Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 35, No. 6, pp. 817~829, 1995.