

## 가공조건 변화에 따른 유리섬유 복합재료의 홈 가공 특성

### The Hole Machining Characteristics of Glass Fiber Reinforced Polyester for Various Machining Conditions

김성일\*(대불대), 신형곤(전북대 대학원), 김태영(전북대)

S. I. Kim(Daebul univ.), H. G. Shin, T. Y. Kim(Chonbuk Univ.)

#### Abstract

The experimental investigating is mainly focused on the hole machining characteristics of glass fiber reinforced polyester at different surface conditions, cutting conditions and machining methods. The entrance and exit surface holes of the glass fiber reinforced polyester is observed and the surface photographs of drilled holes is showed. The cutting force is also measured.

#### 1. 서론

유리섬유를 주 재료로 하여 불포화 폴리에스터 레진을 적층하여 경화 가공한 제조물을 유리섬유 강화 폴리에스터라 하며, 이들 복합재료는 알루미늄보다 가볍고 매우 큰 강도를 지니고 있으며, 철보다 내식, 내열 및 내부식성이 우수한 반영구적인 소재로, 응용분야가 건축, 조경분야, 선박, 자동차, 항공기 부품 등 다양하게 확대되고 있다<sup>(1,2)</sup>. 섬유와 매트릭스의 조합으로 각종의 복합재를 생각할 수 있으나 실용적으로 광범위하게 사용되고 있는 것이 GFRP(유리섬유 강화 플라스틱), CFRP(탄소섬유 강화 플라스틱), AFRP(알라미드섬유 강화 플라스틱), FRM(섬유 강화금속) 등 4종류이다.

이 중 가장 많이 사용되는 것이 유리섬유 강화 플라스틱으로 항공기, 특히 선박구조의 소재로 쓰여 경량화, 부식방지, 진동감소, 열로 인한 신

축방지, 그리고 내화확성이 요구되는 화학물 운반선의 적층 압력용기 외에도 적의 레이더에 전파를 흡수하여 감지되지 않는 잠수정 및 소해정의 구조 등에 그 응용영역이 확대되고 있는 추세이다. 특히 GFRP선은 목선이나 강선에 비하여 가벼우며, 부식되지 않아 선령이 목선의 3배, 강선의 2배 정도이며 수리하기 쉽고 연료비의 절약 면에서 이점이 있어 그 이용이 증가되고 있다<sup>(3)</sup>. 이에 대한 연구로는 유리섬유 복합재료의 드릴링시 절입속도에 따른 복합재료의 손상<sup>(4)</sup>, 이산화탄소 레이저(CO<sub>2</sub> laser)를 이용한 유리섬유 에폭시 복합재료 최적가공<sup>(5)</sup> 등이 있지만, 실제 현장에서 필요한 표면층의 조건에 따른 홈 가공 연구는 미진한 실정이다.

일반적으로 섬유강화 복합재료는 성형된 그대로 사용하는 것이 원칙이나 홈, 절단, 테두리 제거, 나사절삭, 부품을 볼트로 체결하기 위한 드릴을 이용한 홈 가공이 필요한 경우가 많다. 따라서 본 실험은 드릴을 이용한 홈 가공시 표면층의 섬유 및 도장 등의 가공조건 변화에 따른 홈 가공 특성을 살펴보고자 한다.

#### 2. 복합재료의 가공 특성

피삭재로서 본 복합재료의 절삭특성을 살펴보면<sup>(1)</sup> 다음과 같다 1) 섬유가 견고하고 강하여 공구의 마모가 빠르다 2) 매트릭스와 섬유의 불균질로 인하여 섬유가 잘 절단되지 않는다. 3) 재료에 절삭방향에 따라 절삭특성이 상이하고 구멍

가공에서는 구멍이 비틀어지는 방향성이 있다. 4) 소성변형을 하지 않아 견고한 입자를 함유한 미세한 절삭분이 발생하고 작업환경의 악화 및 공작기계를 손상시킨다. 5) 표준 피삭재가 없을 정도로 재료가 다종다양하다.

### 3. 절삭 실험장치 및 방법

홈 가공을 위한 공작기계로는 테이블 크기가 300×500mm, 주축회전수 범위가 70~3800 rpm, FANUC 0-M 컨트롤러를 사용하는 CNC 밀링머신(HANA HNC-150)을 사용하였다. 또한 홈가공을 위한 절삭 프로그램은 IBM PC에서 프로그램하여 RS-232C 통신 port를 사용하여 DNC 전송하였다. 시험편 설치는 테이블에 공구동력계를 체결하고, 그 위에 시험편을 고정시킨 Jig를 부착하여 드릴 가공하였다. 드릴 가공시 발생하는 토오크(Mz)와 스리스트(Fz) 절삭력 측정은 압전형 공구동력계(KISTLER, 9271A)를 사용하였으며, 공구 동력계로부터 미소 전류를 증폭하기 위하여 Charge amplifier(KISTLER, 5017A)를 사용하였다. Amplifier에서 증폭된 아날로그 신호는 A/D Converter를 통해 컴퓨터에 저장 분석하였다. Fig. 1은 절삭실험을 위한 실험장치의 배치 상태와 신호처리 과정을 보여준다.

홈 가공을 위한 드릴은  $\phi 8\text{mm}$ 의 고속도강 공구를 사용하였으며, 시험편은 Hand lay-up 방법으로 제작하였으며, Table 1과 같이 적층표면을 다르게 한 120mm(L)×100mm(W)크기의 2종류 판재(Woven Roving, Chopped Strand Mat(수밀 및 중간 접착), Gelcoat(표면도장))를 사용하였다. 절삭조건은 500, 1000, 1500rpm, 이송은 20~200mm/min 범위에서 6단계로 하였으며, 건식 절삭하였다. 드릴가공시 일반적인 방법과 시편아래에 목재를 받치고 가공하는 두 가지 방법을 사용하였다. 공구의 마모에 따른 영향을 방지하기 위하여 매회 절삭마다 새로운 공구를 사용하였다.

### 4. 실험결과 및 고찰

#### 4.1 절삭력 특성

복합재료의 홈 가공 특성을 강재와 비교하였

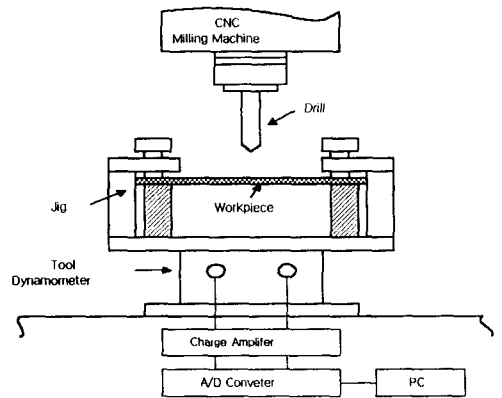


Fig. 1 Arrangement of cutting test

Table 1 Specimen Conditions

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

R : Woven Roving M : Chopped Strand Mat

다. Fig. 2는 500rpm, 이송75mm/min 조건에서,  $\phi 9\text{mm}$ 의 드릴로 두께 7mm의 구조용 강재의 홈 가공시 스리스트(Fz)와 토오크(Mz)의 절삭력 특성을 보여주고 있고, Fig. 3은 500rpm, 이송 60mm/min, 드릴  $\phi 8\text{mm}$ 의 조건으로 복합재료 7mm두께의 홈 가공시 스리스트(Fz) 절삭력, Fig. 4는 토오크(Mz)의 특성을 보여주고 있다.

절삭력으로 비교하여 본다면, 절삭력은 상당히 낮고, 강재의 절삭력 특성과 다르게 상당히 변동이 심함을 볼 수 있다. 이는 복합재료의 주재료인 유리섬유(Mat, Roving)가 절단될 때는 굽힘과 꺾에 의해 절단되고, 유리섬유가 일정하게 배열되어 있지 않기 때문이다.

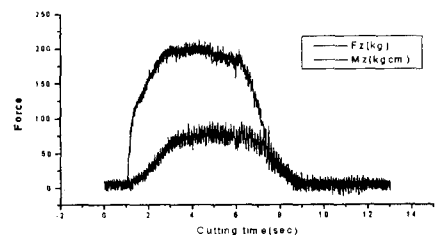


Fig. 2 Cutting Forces and Time (500rpm, f :75mm/min, 7t)

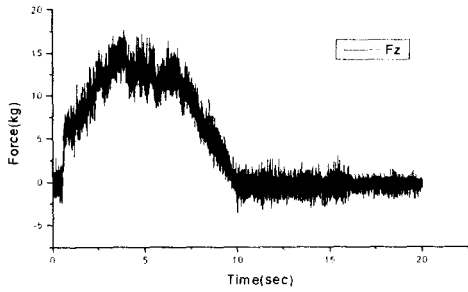


Fig. 3 Thrust force and cutting time (500rpm, f: 60mm/min, 7t)

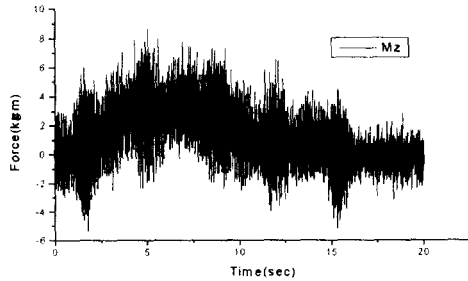


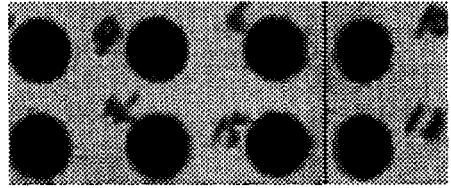
Fig. 4 Torque and cutting time (500rpm, f: 60mm/min, 7t)

#### 4. 2 가공물 표면에 따른 영향

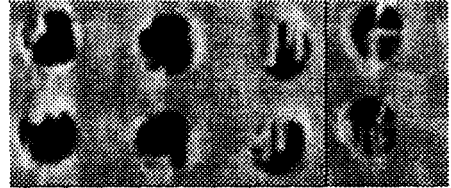
Photo. 1는 홈 가공 입구쪽의 표면은 도장, 출구쪽의 표면은 로빙으로 된 복합재료 5mm두께 시편을 500, 1000, 1500 rpm, 이송 20~200mm/min 조건으로  $\phi 8\text{mm}$  홈 가공한 후 사진이다.

구멍의 입구쪽의 모양은 양호함을 볼 수 있지만 출구쪽은 섬유 일부가 탈락되지 않음을 볼 수 있다. 이는 출구 부분의 절삭시 일부의 섬유가 분리되어 절단되지 않고 출구방향으로 밀리기 때문이다. 이런 현상은 실험조건 범위에서 이송과 주축회전수를 변화시킨 Photo. 1의 경우와 같이 거의 유사한 경향을 볼 수 있었다.

Photo. 2는 홈 가공 입구쪽의 표면은 Mat로, 출구쪽의 표면은 Mat이지만 레진을 평평한 판에 놓고 경화시킨 재료를 가공(a)한 홈의 모양, 같은 재료를 홈 가공시 밀면에 목재를 대고 가공(b)한 것이다.



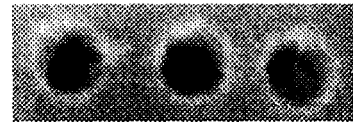
(a) Entrance



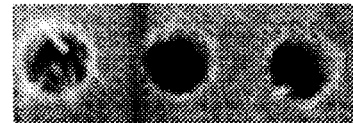
(b) Exit

Photo. 1 Photographs of the drilled holes for various cutting conditions

사진에서 살펴보면 일반가공 보다는 (b)에서 보듯이 목재를 대고 가공한 방법이 출구 쪽의 섬유가 절단이 잘되어 홈 형상이 양호함을 볼 수 있었다.

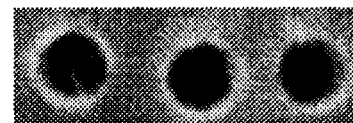


Entrance

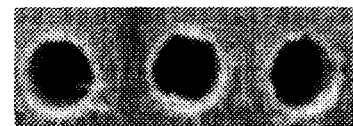


Exit

(a)



Entrance



Exit

(b)

Photo. 2 Photographs of the drilled holes for various machining method and laminating surface conditions

홈의 출구부분의 섬유가 잘 절단되지 않는 것은 드릴가공은 출구부에서 드릴의 끝에 선단각이 있어 시험편의 중심부부터 가공되어 출구방향으로 밀리면서 절단되지만, 홈의 외곽부 일부의 섬유는 절단되지 않고 출구 방향으로 밀리기 때문이다. 이런 경우는 입구 부분에서도 아주 적지만 절단되지 않은 섬유가 보인다.

Photo. 3은 홈 가공 입구쪽의 표면은 도장, 출구쪽의 표면은 로빙으로 된 시편을 샌딩(Sanding)한 5mm 두께의 재료의 가공된 홈을 보여준다.

(a)는 입구의 모양은 양호하고, 출구 쪽은 샌딩하기 전의 것보다는 약간 양호한 홈이 많지만 섬유가 완전히 절단되지 않은 것을 보여준다.



Entrance



Exit

(a)



Entrance



Exit

(b)



Entrance



Exit

(c)

Photo. 3 Photographs of the drilled holes after sanding of laminating surface

(b)는 시편의 입, 출구 방향을 반대로 가공한 사인으로 출구 쪽은 양호한 편이다. 그러나 입구쪽

은 섬유가 완전히 절단되지 않은 것을 보여준다. 따라서 드릴가공의 입구의 표면도 홈 가공에 중요한 인자이다.

(c)는 재료에 홈을 가공할 때 목재를 받치고 가공한 것을 보여주는 것으로, 목재를 받치고 홈을 가공한 시편의 입, 출구의 홈 가공부가 양호함을 볼 수 있다. 이는 목재를 받침으로 해서 섬유와 목재가 같이 가공되기 때문이다. 따라서 입구나 출구의 복합재료의 표면상태 및 가공방법이 홈 가공의 입, 출구 상태를 나타내는 중요한 인자임을 볼 수 있었다.

## 5. 결 론

- 1) 복합재료의 가공시 절삭력은 일반 강과는 달리 불규칙하게 배열 적층된 유리섬유가 절단됨으로 인하여 변동폭이 심하다.
- 2) 드릴을 이용한 홈 가공시 입구쪽의 상태는 양호한 편이지만, 출구쪽의 상태는 유리섬유가 완전히 절단되지 않아 양호하지 않으며, 재료 표면상태에 따라 다르게 나타난다.
- 3) 여러 가지 가공조건 중 표면이 도장된 재료와 목재를 받치고 가공하는 것이 가장 양호한 홈 가공방법이다.

## 참 고 문 헌

1. 月刊 機械技術, pp. 63~69, 1993. 2.
2. 月刊 機械技術, pp. 153~158, 1994. 9.
3. 대한조선학회편, 선박건조공학, 동명사, pp.60~73, 1998.
4. 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.
5. G. Caprino and V. Tagliaferri, and L. Covelli, "Cutting Glass Fibre Reinforced Composites Using CO<sub>2</sub> laser with Multimodal-Gaussian Distribution", Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 35, No. 6, pp.831~840, 1995.