

CFRP복합재료의 적층수와 드릴직경에 관한 연구

정성택*, 박종남⁺, 조규재⁺⁺

(논문접수일 2003. 5. 6, 심사완료일 2003. 8. 12)

On the Machinability of CFRP Composites Dependent on the Number of Stacking and Drill Diameter

Seong-Taek Jeong*, Jong-Nam Park⁺, Gyu-Jae Cho⁺⁺

Abstract

CFRP composite has a lot of merits such as mechanical characteristic, light weight, and thermal resistance. For these merits CFRP is applied to so many industrial area. In order for the composite materials to be used in the aircraft structures or machine elements, accurate surfaces for bearing mounting or joints must be provided, which require precise machining. In this paper, the relationship between the stack thickness and drill diameter is examined from the drilling experiment, which is the drilling of 16, 32, 48plies specimen with the $\phi 8$, $\phi 10$, $\phi 12$ mm cemented carbide drill. The results are analyzed with consideration of cutting force, stack thickness and drill diameter.

Key Words : Carbon Fiber Reinforced Plastics(탄소섬유 강화 플라스틱), Cutting Force(절삭력), Stack Thickness(적층두께)

1. 서론

최근의 급격한 산업발전과 고도로 전문화된 산업사회에서 신소재 개발과 더불어 신소재를 응용하고 적절하게 사용하는 것은 무엇보다 중요하다. 신소재 중에서 열경화성 수지로 이루어진 복합재료로서 기계적, 화학적 성질이 비교적 양호한 에폭시 수지를 기지로 하는 섬유강화 복합재료는 비

강도, 비강성이 뛰어난 첨단복합재료로 각광을 받고 있다. 복합재료는 경량성, 내열성, 기계적특성, 제동특성 등이 양호하여 항공기, 인공위성의 항공 우주분야, 선박 및 철도, 자동차 등의 운송분야, 스포츠용품, 의료기기부품 등의 관련분야의 구조용 재료로 널리 사용이 증대되고 있다^(1,2). 그 중 대표적인 탄소섬유강화 복합재료는 금속합금에 비해 20~50% 정도의 중량을 감소시킬 수 있는 장점이 있

* 주저자, 조선대학교 대학원 기계공학과 (monojung@hanmail.net)
주소: 501-759 광주시 동구 서석동 375번지

+ 조선대학교 대학원

++ 조선대학교 기계공학부

는 반면, 이종재료의 조합에 의한 복합재료이기 때문에 불균질, 이방성 등의 성질을 가지고 있다.

복합재료의 결합방법으로는 본딩이나 접합, 체결 등의 방법들이 있는데 볼트를 사용하여 체결하기 위해서는 구멍을 가공하는 작업이 요구되고, 또한 정밀한 부품을 위해서는 성형후 부가적인 가공이 필요하게 된다⁽³⁾. CFRP 복합재료를 일반 가공이나 드릴링을 하였을 때 절삭날의 입구와 출구 등에서 각 플라이(ply)들의 분리, 재료내부의 층간 박리, 가공면 가장자리나 벽면에서 수지 및 레진이 찢겨지는 등의 결함을 가지고 있으며, 드릴 직경과 복합재료의 두께에 따른 상호관계에 대한 연구는 거의 없는 실정이다⁽⁴⁻⁷⁾. 따라서 본 연구에서는 복합재료의 적층수를 달리하여 적층수와 드릴 직경과의 관계에서 발생하는 절삭력과 가공된 구멍의 가공상태, 표면거칠기 등을 가공조건을 변화시켜 연구하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에 사용한 시험편은 한국하이바(주)에서 생산한 일방향 Carbon Fiber/Epoxy Resin 프리프레그 시트(CU125NS)이다. 시험편의 적층 방법은 Fig. 1에 나타난 방법으로 실시하였으며, 적층수가 48plies인 것은 $[0^{\circ}/45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}]_{6s}$ 으로, 32plies인 것은 $[0^{\circ}/45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}]_{4s}$ 으로 했으며, 16plies인 것은 $[0^{\circ}/45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}]_{2s}$ 인 적층 방법에 의하여 시험편을 적층하였다. 시험편의 성형은 오토클레이브(autoclave)를 사용하였으며, 성형조건은 챔버 내부 둘레에 위치한 히터에 의해 경화점 온도 130℃, 경화시간을 90분으로 하여 제작하였으며, 성형시에 진공펌프에 의해서 진공백 속을 10^{-10} Pa까지 진공시킨 후 컴프레서에 의해서 진공백의 외측으로부터 3×10^5 Pa 정도 가압시켜 제작하였다. 성형된 재료의 두께는 48plies는 6mm, 32plies는 4mm, 16plies는 2mm였으며

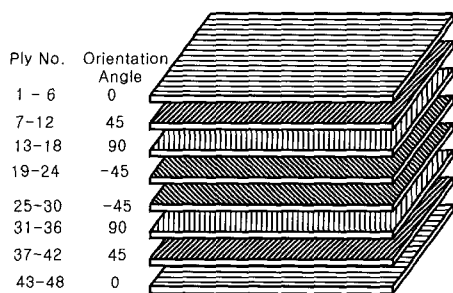


Fig. 1 Stacking sequences method of multi-direction hand lay-up($[0^{\circ}/45^{\circ}/90^{\circ}/-45^{\circ}]_s$)

고정된 지그에 시험편을 고정시키기 위해서 다이아몬드 휠 커터를 이용하여 30mm×30mm크기로 절단하였다.

Fig. 2는 실험장치의 개략도를 나타내고 있으며 사용된 실험장치는 수직형 머시닝센터(Hwachon, HIPLUS-V4)이고, 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 데이터 전송방식으로 절삭가공시에 공구와 공구날에 미치는 힘을 증폭기(charge amplifier)로 증폭하여 데이터 레코더에 기록한 다음 검출된 신호를 증폭하여 Dynoware(kistler, type 2825A)를 이용하여 A/D변환후 컴퓨터에서 데이터처리 하

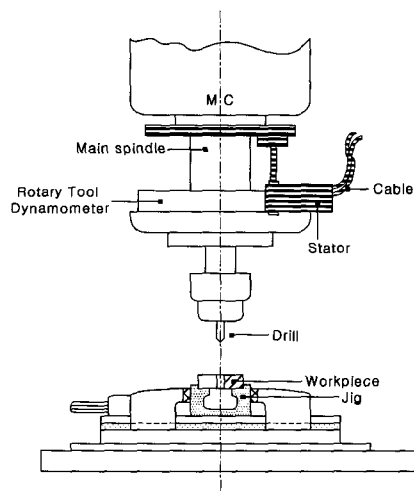


Fig. 2 Schematic diagram of experimental set up

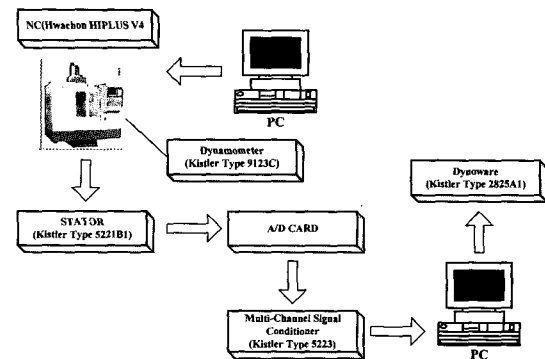


Fig. 3 Schematic diagram of experimental measuring system

여 토크와 트러스트를 측정하였다.

본 실험에서는 드릴의 직경과 복합재료의 적층수에 따른 가공특성을 살펴보고자 드릴의 선단각이 118°, 여유각 11° 및 비틀림각 30°인 초경드릴을 사용하였으며, 드릴의 직경은 $\phi 8, 10, 12\text{mm}$ 인 세 종류를 사용하였고, 절삭속도는 25.12m/min와 47.1m/min로 고정하였다. 또한 절삭속도에 따른 이송속도의 변동상태를 관찰하기 위해 이송속도는 5, 10, 40, 60mm/min의 네 가지 가공조건으로 실험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

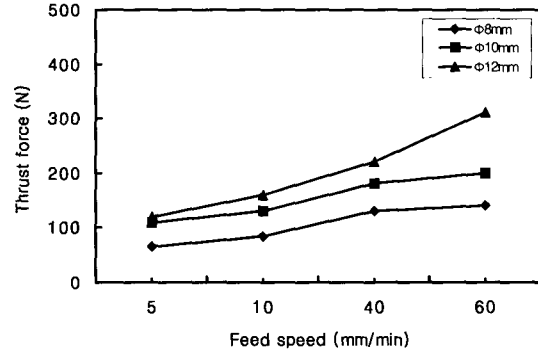
3.1 드릴의 직경이 복합재료의 적층수에 따라 절삭력 미치는 영향

Fig 4(a), (b), (c)는 CFRP 복합재료를 절삭속도 25.12m/min으로 고정하고, 드릴 가공시 발생하는 트러스트와 드릴의 이송속도 변화에 따라서 측정한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 4(a)와 같이 시편의 적층수가 16plies인 적층판은 드릴 직경에 따라서는 절삭력의 차이가 크게 발생하지 않았으나 이송속도가 5mm/min일때는 트러스트가 약 80N정도이고 60mm/min일때는 약 120N정도로 이송속도의 차이에 의해 약 40N정도의 트러스트 차이를 나타내고 있다. 그러나 Fig. 4(b)와 (c)는 시편의 적층수가 32plies, 48plies로 16plies일 때와는 달리 이송속도가 10mm/min이상부터는 트러스트가 급격히 증가하여 트러스트의 차이가 약 170N정도로 상당히 큰 차이를 보이고 있다.

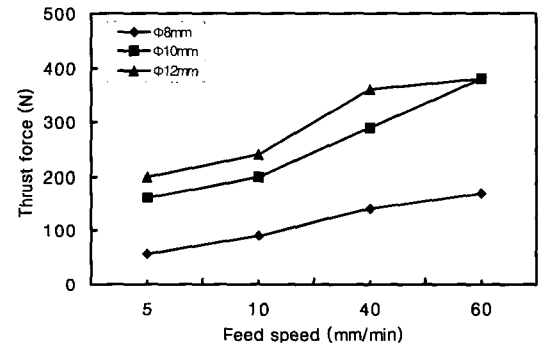
따라서 이송속도의 증가에 따라 트러스트가 증가하고, 드릴 직경이 8mm일 때의 절삭력과 10, 12mm일 때의 트러스트가 큰 차이를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 이러한 원인으로서는 드릴의 직경이 작을수록 가공면적이 적어지므로 절삭력이 적게 발생된다고 본다.

Fig. 5는 절삭속도를 47.1m/min으로 고정하고 이송속도의 변화에 따라 가공했을 때의 적층수와 드릴 직경 차이에 의한 절삭력을 나타내고 있다. Fig 5(a)는 이송속도가 5mm/min일 때 약 40N정도의 트러스트가 발생되었으며 드릴직경에 따른 트러스트의 차이는 거의 발생되지 않았다. 그러나 (b)와 (c)에서는 $\phi 10\text{mm}$ 와 $\phi 12\text{mm}$ 에서의 트러스트는 거의 일정하나 $\phi 8\text{mm}$ 보다는 약 40N정도 트러스트가 크게 발생되었다. 또한 절삭속도 25.12m/min로 가공했을 때와는 달리 트러스트가 훨씬 적게 나타나고 있으며, 이송속도의 증가에도 불구하고 트러스트는 절삭속도 25.12m/min일 때의 급격한 증가와는 달리 많은 차이를 보이지 않고 있다. 따라서

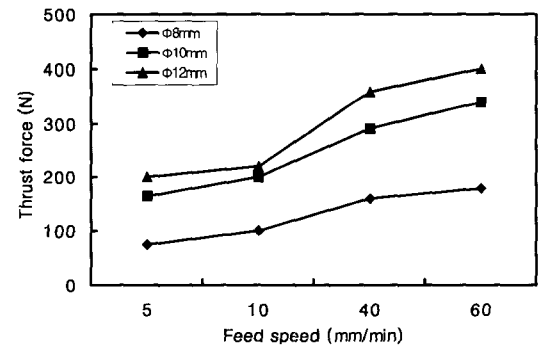
드릴의 직경에 따른 이송속도와 트러스트의 관계는 절삭속도가 25.12m/min일 때보다 47.1m/min일 때가 이송속도의 증가에 따라 절삭력이 적게 발생하였으며, $\phi 8\text{mm}$ 인 드릴



(a) Stacking sequences of specimens([0°/45°/90°/-45°]_{2s})

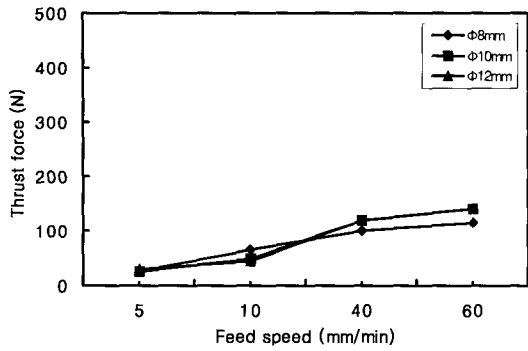


(b) Stacking sequences of specimens([0°/45°/90°/-45°]_{4s})

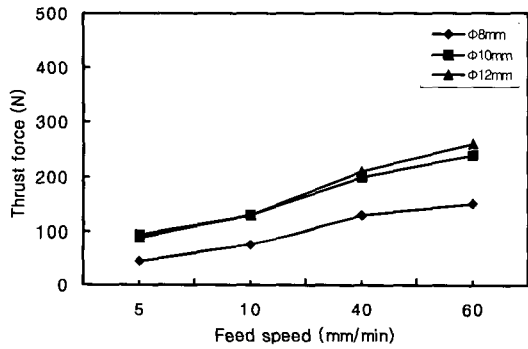


(c) Stacking sequences of specimens([0°/45°/90°/-45°]_{6s})

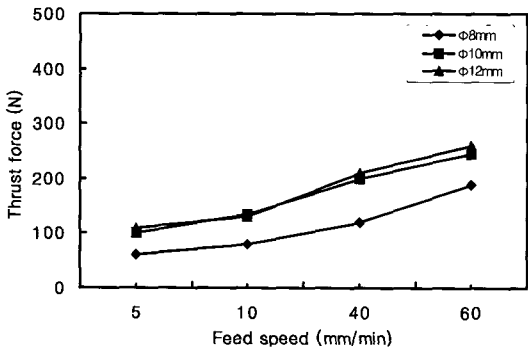
Fig. 4 Relationship between cutting resistance and feed speed with respect to thickness of specimens(V: 25.12m/min)



(a) Stacking sequences of specimens([0°/45°/90°/-45°]_{2s})



(b) Stacking sequences of specimens([0°/45°/90°/-45°]_{4s})



(c) Stacking sequences of specimens([0°/45°/90°/-45°]_{6s})

Fig. 5 Relationship between cutting resistance and feed speed with respect to thickness of specimens (V: 47.1m/min)

로 가공했을 때는 적층수의 차이에 따른 절삭력의 차이는 아주 미비하였으나, $\phi 10, \phi 12\text{mm}$ 인 드릴로 가공시에는 적층수가 16플라이일 때는 많은 절삭력의 차이를 보였으나

32, 48플라이는 절삭력의 차이가 거의 발생하지 않음을 알 수 있었다. 이러한 경향은 절삭속도에 관계없이 적층 두께와 직경의 관계에서 비슷하게 나타나고 있다.

3.2 드릴의 직경과 복합재료의 적층수에 따른 가공상태에 관한 영향

Fig. 6은 절삭속도 25.12m/min으로 고정하고 이송속도를 5, 10, 40 및 60mm/min으로 변화시키면서 적층구성이 [0°/45°/90°/-45°]_{6s}인 적층판을 가공했을 때의 표면 거칠기 평균값을 측정하여 표시하였다. 측정거리는 시편의 두께가 6mm인 점을 고려하여 입구부와 출구부 각각 1mm씩을 뺀 4mm를 측정거리로 하였으며 측정범위는 20 μm 로 하였으며 Ra값을 3회 측정하여 평균값을 이용하였다. 그림에 나타난 바와 같이 이송속도가 5mm/min일 때는 표면 거칠기 값이 0.4 μm 정도이나 60mm/min일 때는 약 1.7 μm 정도로 상당히 큰 차이를 나타내고 있으며 드릴의 $\phi 8\text{mm}$ 인 드릴로 가공했을 때가 $\phi 10\text{mm}$ 와 $\phi 12\text{mm}$ 인 드릴로 가공했을 때 보다 구멍 내면의 거칠기 값이 적게 발생하고 있다. 그러나 표면거칠기 형상은 주기적으로 요철 부분이 발생하는데 이러한 현상은 시편의 적층구성 방법에 따른 시편의 계면수의 접합부분에 의한 현상 때문이라고 생각된다. 이러한 현상은 이송속도가 60mm/min인 조건에서 더욱 심하게 나타났으며, 드릴의 직경이 클수록 계면 사이에서 거칠기 값이 크게 나타났다.

Fig. 7은 절삭속도를 47.1m/min으로 가공했을 때의 구멍 내면의 표면거칠기 값을 측정한 결과이다. 그림에 나타난 바와 같이 표면거칠기 값은 절삭속도 25.12m/min으로 가공했을 때와 거의 유사한 형상을 나타내고 있으나 이송속도 10mm/min 이상부터는 드릴의 직경에 따라 거칠기 값이 약 0.3 μm 정도의 차이를 나타내고 있다.

Fig. 6과 Fig. 7을 비교해보면 같은 가공조건에서 절삭속도에 따라서는 25.12m/min보다 47.1m/min으로 드릴가공시 구멍 내벽의 표면이 더 정밀하게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 원인은 회전수가 빠를 경우 같은 이송속도일 때 드릴의 절삭날당 피삭재의 가공면적이 적어지므로서 절삭속도가 적을 때보다 가공면이 더 매끄럽다고 생각된다. 또한 드릴의 직경에 따라서는 드릴의 직경이 작은 $\phi 8\text{mm}$ 로 가공했을 때가 표면거칠기가 가장 양호하게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 하지만 시편의 적층수에 따라서는 표면거칠기 값의 차이가 거의 발생하지 않았다.

Figs. 8~9는 절삭속도를 47.1m/min으로 고정하고 이송속도를 5, 10, 40, 60mm/min로 변화시켰을 때 드릴의 직

경이 $\phi 8$, $\phi 10$, $\phi 12$ mm인 초경드릴로 가공한 후의 출구부 가공상태를 사진으로 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 Fig. 8은 이송속도가 5mm/min일 때가 출구부 가공 상태가 가장 양호하고 이송속도가 증가할수록 출구부 가공에 의한 섬유 절단의 버(burr)생성이 많이 나타나고 있으나, 시험편의 적층수에 따른 출구부의 가공상태는 큰 차이가 없음을 나타내고 있다. 이러한 원인은 이송속도가 증가하면 절삭력이 증가하여 박리현상이 발생하고, 빠른 시간에 가공됨으로서 출구부 근처의 탄소섬유가 완전히 절단 파괴되지 못하고 남아있다고 사료된다. Fig. 9는 Fig. 8과 동일한 조건에서 드릴 $\phi 12$ mm로 달리 가공 했을 때의 출구부 가공면 상태이다. 가공 상태가 $\phi 10$ mm보다 불량하고 버(burr)현상은 드릴의 직경이 증가할수록 심하게 발생되고 있으며, $\phi 8$ mm에서와 마찬가지로 시험편의 적층수에 의한 가공상태의 차이는 거의 나타나지 않았다. 따라서 CFRP 복합재료를 드릴 가공하여 출구부가 양호한 가공상태를 얻기 위해서는 본 실험결과로는 이송속도 40mm/min이하의 속도로 가공함이 양호하고 피삭재의 두께가 적은 것은

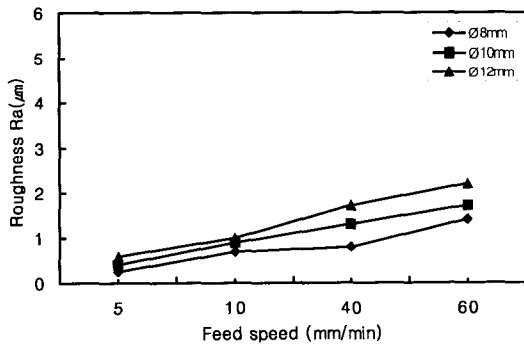


Fig. 6 Surface roughness of drilled holes(V: 25.12m/min)

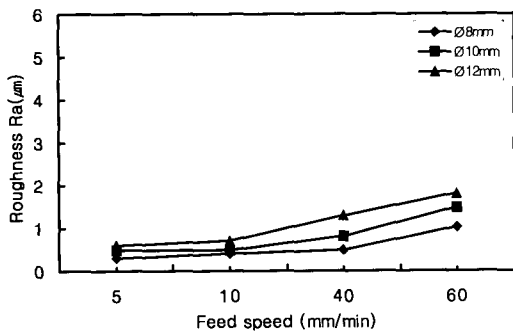


Fig. 7 Surface roughness of drilled holes(V: 47.1m/min)

드릴의 직경이 적은 드릴을 사용하는 것이 바람직하다고 본다. Figs. 10~11은 절삭속도를 25.12m/min으로 고정하고 이송속도를 변화하면서 $\phi 8$, 10mm인 드릴과 적층수가 다른 시험편을 가공한 후의 출구부 가공 상태를 나타낸 것이다.

출구면 가공상태는 $\phi 8$ mm인 드릴로 가공했을 때가 가장 양호하였다. 또한 절삭속도를 25.12m/min으로 가공했을 때는 섬유가 완전히 절단되지 않고 버(burr)발생 현상이 발생하여 출구부 가공상태는 불량하였다. 하지만 절삭속도를 47.1m/min으로 드릴 가공 시에는 출구부 가공상태가 훨씬 양호하였다. 그리고 적층수에 따른 가공상태의 경향은 절삭속도 47.1m/min으로 가공했을 때와 거의 비슷한 현상을 나타내었다.

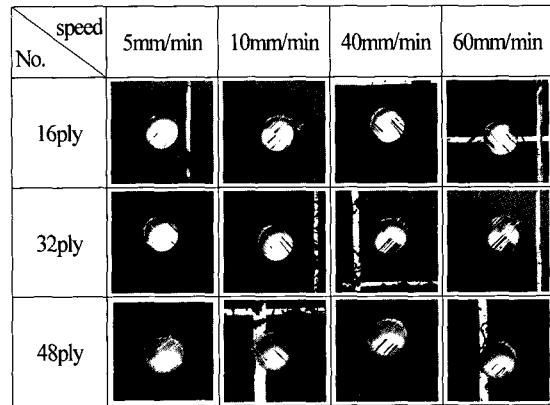


Fig. 8 Photograph on exit side of drilled specimen (ϕ : 8mm, rpm: 1500)

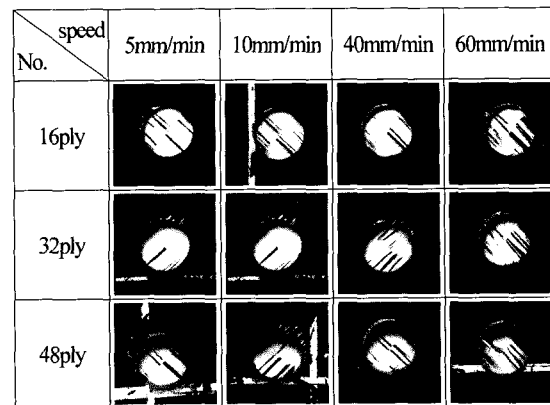


Fig. 9 Photograph on exit side of drilled specimen (ϕ : 12mm, rpm: 1500)

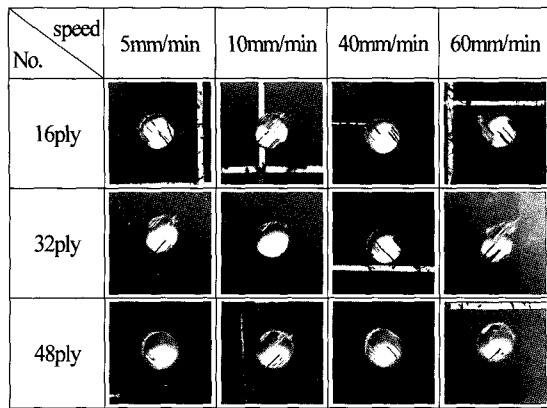


Fig. 10 Photograph on exit side of drilled specimen (ϕ : 8mm, rpm: 800)

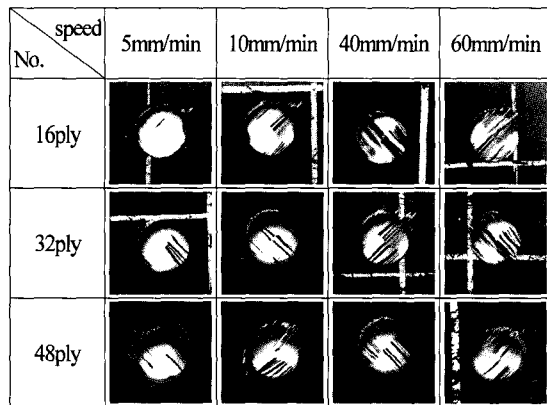


Fig. 11 Photograph on exit side of drilled specimen (ϕ : 12mm, rpm: 800)

4. 결론

- (1) 복합재료의 적층두께가 16plies일 때는 이송속도의 증가에 따라 절삭력 차이는 미비하였지만 32plies, 48plies 일 때는 이송속도의 증가에 따라 절삭력이 큰 차이를 나타냈다.
- (2) 드릴 ϕ 8mm에서는 이송속도에 따른 트러스트의 변화가 적었으나, 드릴의 직경이 커질수록 트러스트의 차이가 큰 폭으로 증가됨을 알 수 있었다.
- (3) 절삭속도 47.1m/min로 가공시 이송속도가 5mm/min일 때 출구부 가공상태가 가장 양호하고, 시편의 적층수의 차이에 의한 출구부의 가공 상태는 큰 차이가 발생되지

않았다.

- (4) 드릴 가공된 구멍 내면의 표면거칠기 값은 이송속도 5mm/min일 때 $0.4\mu\text{m}$ 정도이나, 60mm/min는 $1.7\mu\text{m}$ 로 나타났으며, 드릴의 직경이 가장 적은 8mm일 때의 거칠기값이 가장 양호하게 나타났음을 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2002년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) Jcantwell, W. J. and Morton. J., 1985, "Residual Strength Assessment of Impact Damaged CFRP Laminates", *Proceeding of Int. Conf. Post-Failure Analysis of FIBER Reinforced Composites, Dayton, Ohio*, Vol. 3, PP. 241~257.
- (2) Malick, P. K., 1988, *Fiber-Reinforced Composites*, Marcel Decker, Inc., pp. 3~4.
- (3) Ferreira, J. R., Coppini, N. L. and Miranda, G. W. A., 1999, "Machining Optimization in Carbon Fiber Reinforced Composite Materials", *J. of MPT*, Vol. 92, pp. 135~140.
- (4) Rahman, M., Ramakrishna, S., Prakash, J. R. S. and Tan, D. C. G., "Machinability Study of Carbon Fiber Reinforced Composite", *J. of MPT*, Vol. 89~90, pp. 292~297.
- (5) Chen, W. C., 1997, "Some Experimental Investigations in the Drilling of Carbide of Carbon Fiber-reinforced Plastics(CFRP) Composite Laminates", *Int. J. for Machine Tools & Manufacture*, Vol. 37, No. 8, pp. 302~315.
- (6) Kim, H. B., 1998, "Precise Drilling Characteristics of Glass Fiber Epoxy Composite Material", *Trans. of KSMTE*, Vol. 7, No. 4, pp. 117~122.
- (7) Kim, S. I., 2000, "Drilling Characteristics of Glass Fiber Reinforced Polyester", *Trans. of KSMTE*, Vol. 9, No. 3, pp. 90~95.