

# 전투 배낭 프레임 경량화를 위한 섬유강화복합재의 홀가공 조건이 미치는 영향

## Effect of Hole Processing Condition on Carbon Fiber-Reinforced Plastic Composites for Lightweight Combat Backpack Frames

### \*Corresponding author

Hyeok-Jin Kim  
(hyeokj@dyetec.or.kr)

김혁진\*, 권동준<sup>1</sup>, 이재동, 손현식, 진영호

다이텍연구원 섬유소재솔루션사업단 테스트베드연구센터  
<sup>1</sup>경상국립대학교 나노신소재공학부 고분자공학과

Hyeok-Jin Kim\*, Dong-Jun Kwon<sup>1</sup>, Jea-Dong Lee, Hyun-Sik Son, and Young-ho Jin

Test-Bed Research Center, Textile Material Solution Group, Korea Dyeing and Fishing Technology Institute(DYETEC Institute), Daegu, Korea

<sup>1</sup>Department of Materials Science and Convergence Technology, Engineering Research Institute(ERI), Gyeongsang National University, Jinju, Korea

Received\_October 19, 2022  
Revised\_November 17, 2022  
Accepted\_November 21, 2022

**Abstract** As for military backpacks in Korea, utility backpack products equipped with various functions along with comfort and convenience are being developed. As a result, the volume and weight of the backpack increase, and many lightweight studies of the materials forming the backpack are being conducted. This study is a basic study on frame lightweight using fiber-reinforced composites to deal with aluminum, a back frame that maintains the shape of a backpack and provides stability when worn by combatants. As is known, only fiber-reinforced composites have sufficient light weight and mechanical properties, but the mechanical properties were reviewed by drilling holes to maximize the light weight. Tensile strength and flexural strength were measured by drilling 6mm, 12mm, 18mm, and 24mm holes, and the tensile strength and flexural strength were measured when 1, 3, 5, and 7 holes of 12mm were increased. As a result, even when the number of holes was increased, tensile strength did not change significantly, and the flexural strength showed to be higher in the case of 3 holes and 5 holes than in the case of 1 hole.

### Textile Coloration and Finishing

TCF 34-4/2022-12/241-249

© 2022 The Korean Society of Dyers and Finishers

**Keywords** fiber reinforced composites, mechanical strength, bag back frame, open-hole, light weight

## 1. 서 론

대한민국의 군용 전투 배낭은 육군용, 해병대용, 특전사용으로 분류되어 있으며 용도에 따라 주배낭, 공격배낭, 보조낭, 어깨낭 등으로 구성되어 상황에 맞게 별도로 또는 결속하여 사용하고 있다. 전투 배낭은 작전에 필요한 물품, 전투원들의 개인

물품을 보관하여 군 작전상황 또는 전시상황에서 물품을 이동하는데 쓰인다<sup>1,2)</sup>.

따라서 전투 배낭은 전투원들 각각 개인이 착용하여 이동하기 때문에 착용감, 편의성 면에서 요구되고 보호하는데 있어서 내구성 면에서도 요구가 높다<sup>3-5)</sup>. 또한 최근 군병력의 감소와 전투의 양상변화로 인해 전투원 한 명이 효율적이고 지속적인 전투를 위해 배낭의 이송 역할 뿐만 아니라 다양한 유틸리티성

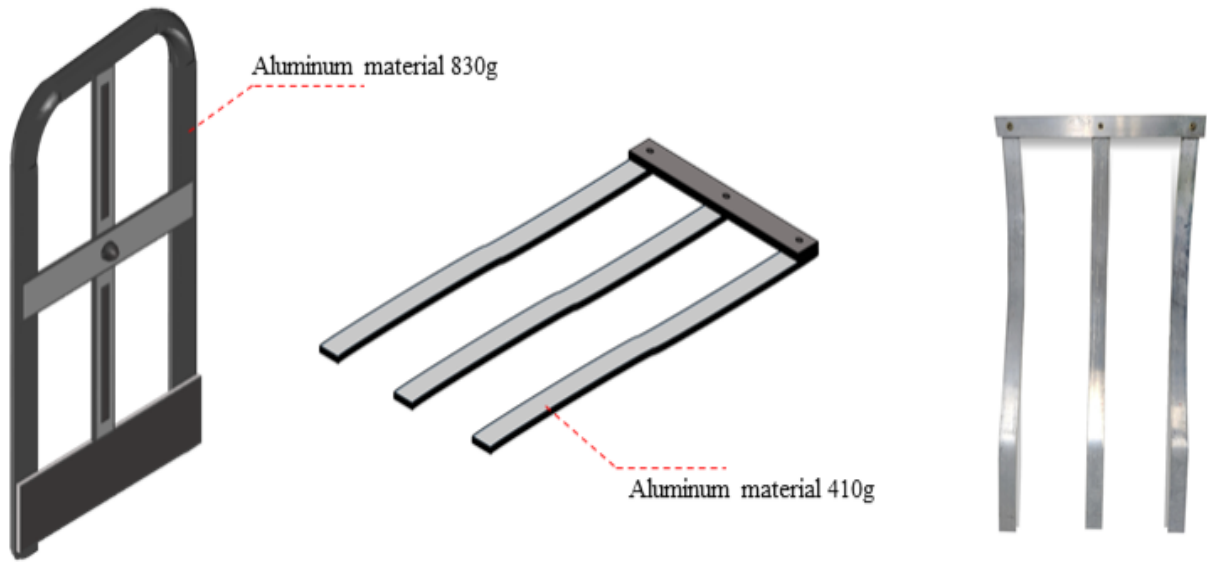


Figure 1. Military backpack's aluminum frame design and weight.

을 보유한 배낭의 필요성이 대두되고 있어 다양한 전투 배낭 개발 요구가 늘고 있다. 이러한 전투 배낭에 여러 기능이 추가 되면 배낭의 부피와 무게가 증가하게 될 것이며 배낭의 원초적인 이동성, 착용성 면이 무시될 수 있다.

따라서 기능성을 가진 우수한 전투 배낭을 확보하기 위해서는 전투 배낭에 사용되는 소재들의 경량이 필요하다. 일반적으로 배낭은 전체를 이루고 있는 섬유 소재, 결속품, back 프레임 등으로 구성된다. 배낭 구성 중에 back 프레임은 배낭의 뼈대로서 전투원이 착용 시 안정감을 주며 배낭의 형태를 유지해주고 던지거나 충격에 의한 완충 작용을 해 줄 수 있는 기능을 가진다. 배낭의 back 프레임은 현재 알루미늄 소재를 사용하고 있으며 back 프레임의 디자인, 사이즈를 Figure 1과 같이 쓰이고 있다.

배낭 전체의 무게를 고려하여 back 프레임의 알루미늄 소재 만큼의 물성을 가지고 보다 경량화된 소재를 사용할 수 있는 탄소섬유 강화 복합재료(Carbon fiber reinforced plastic, CFRP)를 생각할 수 있다. CFRP란 탄소섬유를 기반으로 수지와 함께 적층하여 제작된 플라스틱 또는 복합재 형태를 말하며 탄성, 경량성이 우수하여 스포츠용품, 항공 분야, 자동차 분야 등 다양한 산업 분야에 활용되는 고 부가가치성 있는 소재다<sup>6-8)</sup>. 뿐만아니라 철이나, 알루미늄 등의 금속 소재를 대체할 소재로 다양한 연구가 진행되고 있다<sup>9)</sup>.

CFRP는 탄소섬유에 일정 수지량이 함침된 프리프레그를 적층하여 제작되며 섬유의 가닥수, 수지 함량, 적층 수에 따라 중량을 제어할 수 있다<sup>10,11)</sup>. 원하는 모양의 CFRP를 만들기 위해 금형을 제작하여 제조하거나 그 모양에 맞게 드릴, 레이저, 워터젯 커팅을 이용하여 제작한다. 또한 CFRP는 어떠한 결속품을 제작하기 위해 홀을 뚫는 방법을 이용하기도 하는데 홀을 뚫음으로서 소재의 경량화라는 긍정적인 영향을 끼치지만 홀

주변으로 기계적 물성이 약해지므로 서로 상호보완적인 관계를 도출하기 위해 다양한 연구가 진행될 필요가 있다<sup>12-14)</sup>.

본 연구는 전투 배낭이 점차 유틸리티성 기능 추가로 인한 중량 증가가 예측되며, 이에 배낭의 경량화를 위한 back 프레임 경량의 기초연구를 진행하였다. 현재 배낭 프레임에 사용되는 알루미늄은 Figure 1에 나타나듯 최대 830g에서 최소 410g이며 이 중 가벼운 410g 판 형태의 알루미늄 프레임을 타겟으로 연구하고자 한다. 410g 알루미늄 프레임보다 가볍고 우수한 물성을 확보하기 위해 탄소섬유를 활용하여 CFRP back 프레임 설계하고 제작하고자 한다. 우선 다양한 탄소섬유 프리프레그를 이용하여 CFRP를 제작하였고 알루미늄 소재의 중량과 물성을 비교하였다. 그리고 CFRP back 프레임의 경량을 극대화하기 위해 CFRP에 홀의 직경 별로 뚫어 홀 직경을 제외한 소재의 단면적 대비 기계적 물성을 검토하였다. 더불어 홀의 개수가 증가하였을 때 기계적 물성과 중량을 검토하여 배낭 back 프레임에 적용 가능성을 검토하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시료

연구에 사용된 탄소섬유 프리프레그는 양방향 Woven(W) 타입과 단방향 Uni Directional (UD) 타입 2가지를 사용하였다. 두 프리프레그 모두 열경화성 에폭시 수지가 도포되어 있다. Woven 타입의 프리프레그는 3K 능직, 무게 204±7g/m<sup>2</sup>, 두께 0.25±0.02mm, 에폭시 수지 함량이 42wt%이며, (주)현대화이바에서 구매하였다. UD 프리프레그는 T700, 무게 200g/m<sup>2</sup>, 두께 0.168mm, 에폭시 수지 함량이 33wt%이며, 티카카본에서

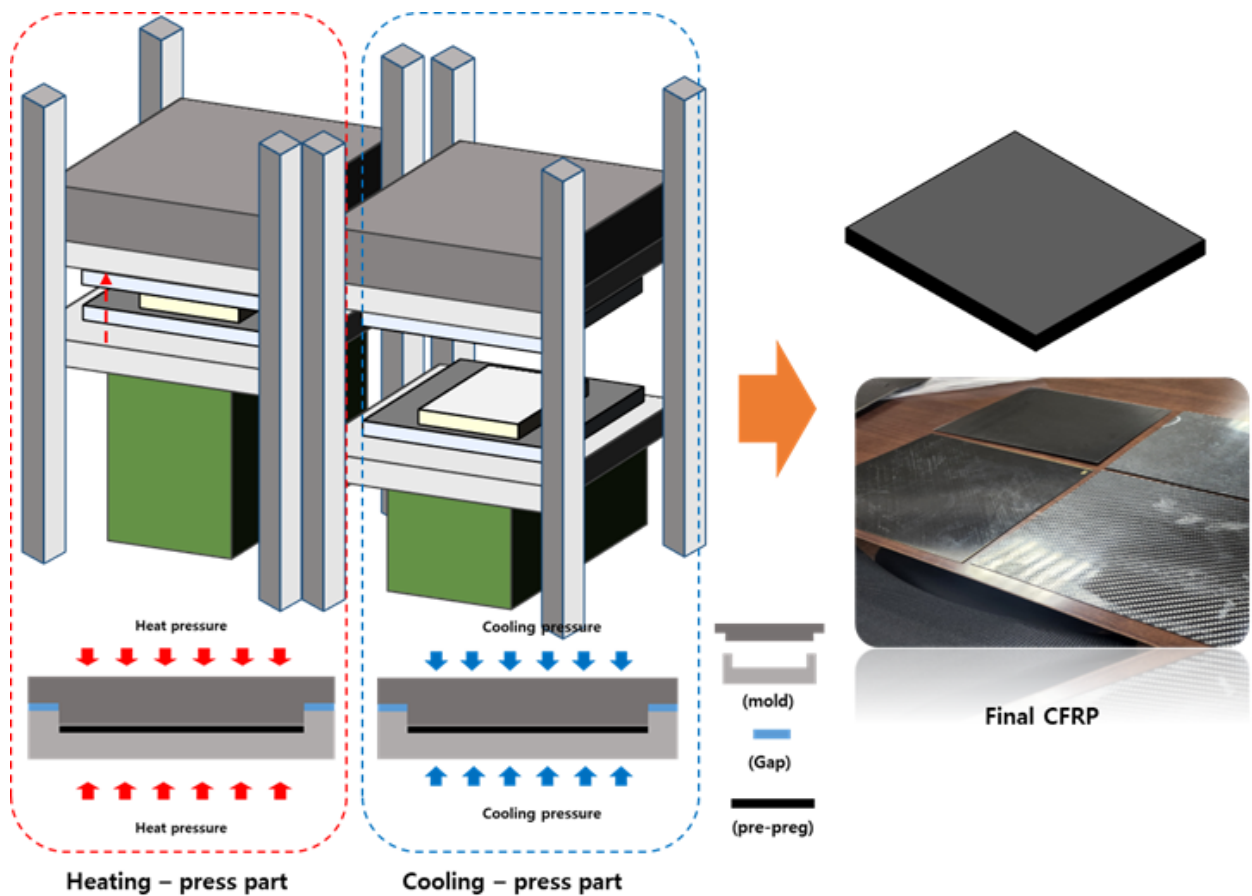


Figure 2. Schematic diagram of the CFRP manufacturing process.

구매하였다.

## 2.2 성형 및 시편 제작

프리프레그의 적층 순서는 W, UD(0°/±45°/90°), W, UD(0°/±45°/90°), W 순으로 11 ply로 적층하여 시료를 준비하였다.

Figure 2는 CFRP 프레스 성형공정을 나타낸 것으로 적층한 프리프레그를 몰드에 넣은 후 프레스 성형기(Höfer Press technik, Austria) 장비를 이용하여 성형하였다. 성형 공정 조건으로 heating 온도 150°C, 압력 100bar, 시간 30min 조건에서 성형 후 냉각 온도 50°C, 압력 100bar, 시간 20min 조건으로 냉각하였다. CFRP의 최종 두께가 2.2mm였으며, 홀을 뚫지 않은 CFRP를 CFRP-D00로 나타내었다.

CFRP의 시편 크기는 홀의 직경 크기와 개수가 실험에 미치는 영향을 관찰하기 위해서 가로 36mm, 세로 200mm로 통일하여 준비하였으며, Figure 3에 따라 홀의 길이는 직경 6mm, 12mm, 18mm, 24mm로 레이저 커팅을 하였다. 커팅에 따른 홀 내의 변부 정리를 위해 사포를 사용하여 고르게 정리하였다. 각각의 코드명 CFRP-D06, CFRP-D12, CFRP-D18, CFRP-D24로 나타내었다. 시편의 무게는 10개를 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 나머지를 평균한 값으로 결과를 나타

내었다. 홀 개수의 증가에 따른 물성 평가를 위해 앞의 홀의 직경 길이 별 기계적 물성과 중량을 확인한 결과로 적절한 홀의 직경 길이를 선택하였다. 이 직경 길이로 시편 중간에 홀을 1개 뚫고 개수를 2개씩 증가하여 홀을 뚫은 시편을 제조하고 기계적 물성을 측정하여 데이터를 비교하였다.

## 2.3 기계적 물성 평가

제작한 CFRP의 기계적 물성을 확인하기 위해 만능재료 시험기(Shimadzu, Japan) 장비를 활용하여 인장강도와 굴곡강도를 확인하였다.

인장강도는 Open-hole tensile strength 방법인 ASTM D5766 시험법에 의거하여 실험하였다. Jig 간의 거리를 150mm로 하고 시험속도는 2mm/min으로 하였고 Pre-road 상태로 10N으로 설정하고 실험하였다. 굴곡강도는 ASTM D790 시험법에 의거하여 3점 굽힘 시험 방식으로 실험하였다. Span length는 150mm로 하였고 시험속도는 2mm/min으로 하였다. 시편의 개수는 각각 5개씩 측정하여 최대값, 최소값을 제외한 나머지 시편 결과의 평균값을 결과로 나타내었다. 인장강도 시험 후 시편 절단 상태를 현미경(Nikon, Japan)으로 관찰 하였다.

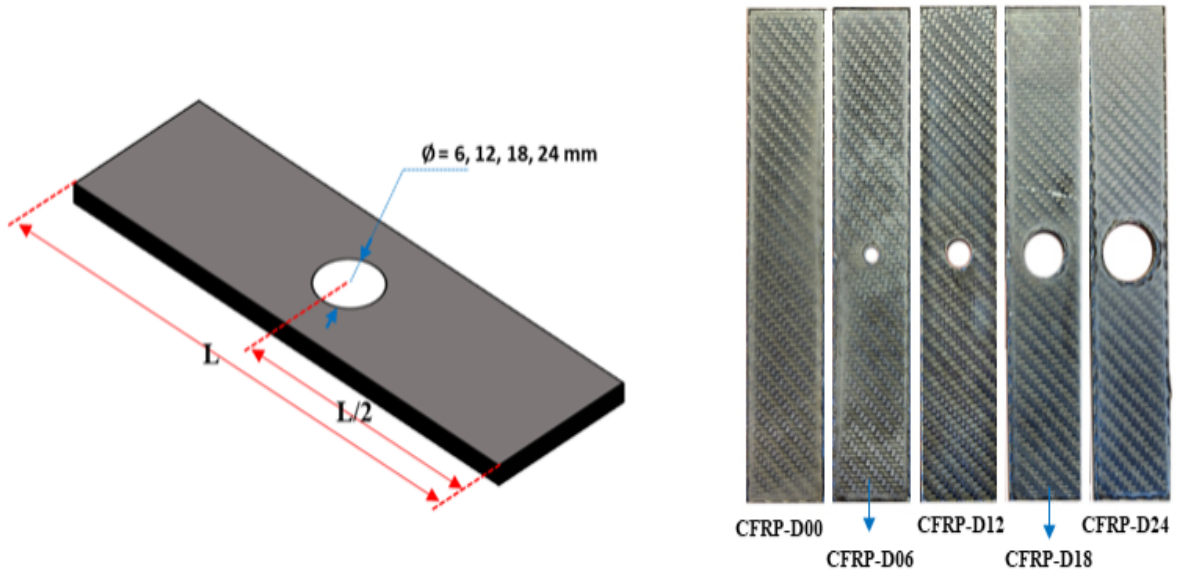


Figure 3. Specimens by hole diameter size.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 무게 비교

CFRP와 알루미늄 프레임의 중량을 비교하기 위해 Table 1에 무게를 나타내었다. 기존 전투 배낭의 알루미늄 프레임 중 가장 무게가 낮은 프레임은 0.05m<sup>2</sup> 면적에 410g을 나타냈다. holes를 뚫지 않은 CFRP-D00을 알루미늄 프레임 면적당 무게는 158g으로 알루미늄보다 252g 낮게 나타났다. 더불어 holes를 뚫은 CFRP들의 중량도 각각 155g, 152g, 150g, 143g으로 더 경량화된 중량을 보였으며 holes를 뚫은 CFRP들이 기계적 강도가

알루미늄 소재보다 우수하다면 더 얇은 두께와 중량이 가벼운 전투배낭 back 프레임을 얻을 수 있을 것으로 예측된다.

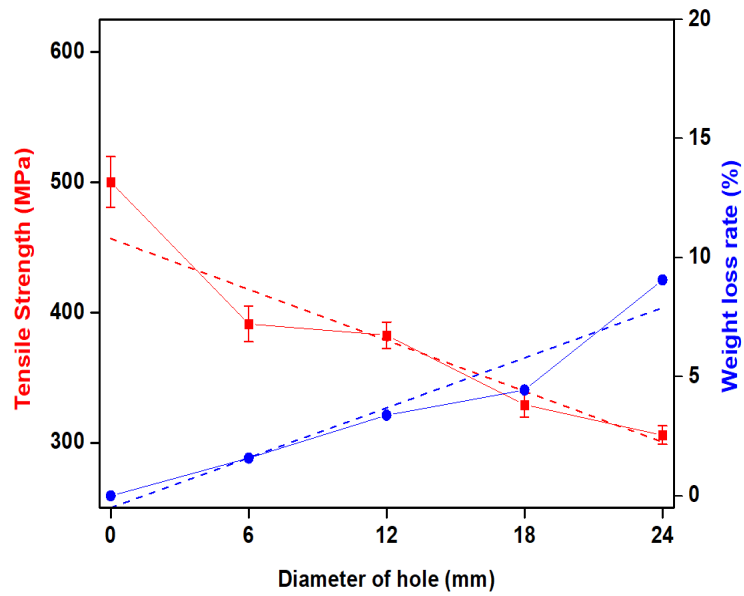
#### 3.2 인장강도 변화

holes를 뚫지 않은 CFRP-D00과 holes 직경 크기 별로 뚫은 CFRP들의 무게 절감률과 인장강도 변화를 Figure 4(a)에 나타내었고 알루미늄 소재의 인장강도와 정량적으로 비교분석 하였다. 먼저 holes를 뚫지 않은 CFRP-D00의 인장강도 값은 500.2 MPa 값을 나타내어 기존 전투 배낭에 쓰이는 알루미늄 프레임의 264.6 MPa 보다 약 1.9배 높은 인장강도를 확인할 수 있었다.

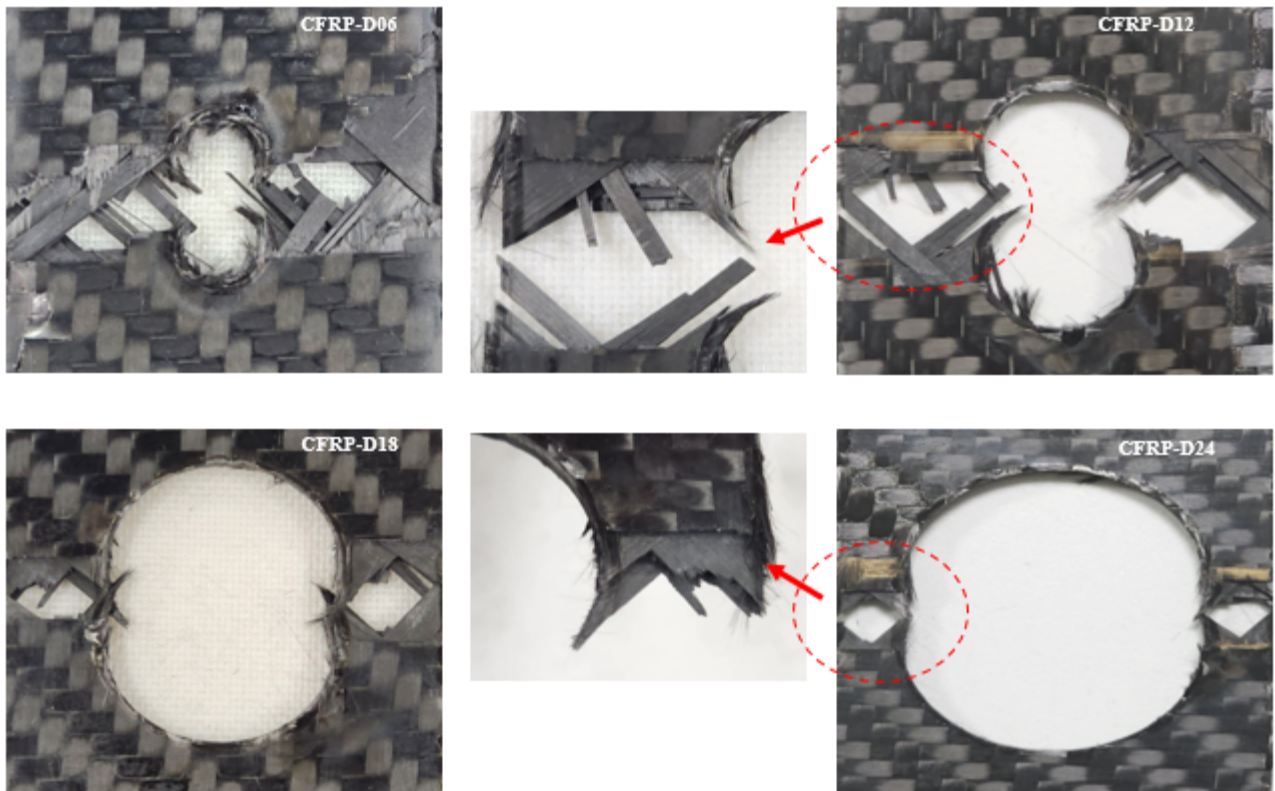
holes를 뚫은 CFRP의 인장강도는 직경이 증가할수록 무게 절감

Table 1. Weight comparison between CFRP and aluminum material

Material	Properties	Weight (kg/m <sup>2</sup> )	Frame size weight (g/0.05m <sup>2</sup> )
Aluminum frame		8.2	410
CFRP-D00		3.16	158
CFRP-D06		3.10	155
CFRP-D12		3.05	152
CFRP-D18		3.02	150
CFRP-D24		2.87	143



(a)



(b)

Figure 4. (a) Tensile strength and weight loss rate according to hole diameter size and (b) Break specimen taken out.

률이 증가되며 인장강도는 감소하는 모습을 보였다. 최소 홀 직경 6mm(CFRP-D06)일 때 초기 무게대비 절감률이 1.58%를

보였으며 인장강도 값이 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 홀로 인해 인장 응력이 받는 단면적이 감소하면서 인장 응



**Table 2.** Mechanical properties and weight loss rate of CFRP and aluminum materials

Material	Properties	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Weight loss rate (%)
Aluminum frame		264.60	418.64	-
CFRP-D00		500.25	586.86	0
CFRP-D06		391.18	565.13	1.58
CFRP-D12		382.55	499.96	3.39
CFRP-D18		329.23	424.50	4.45
CFRP-D24		305.75	385.75	9.06

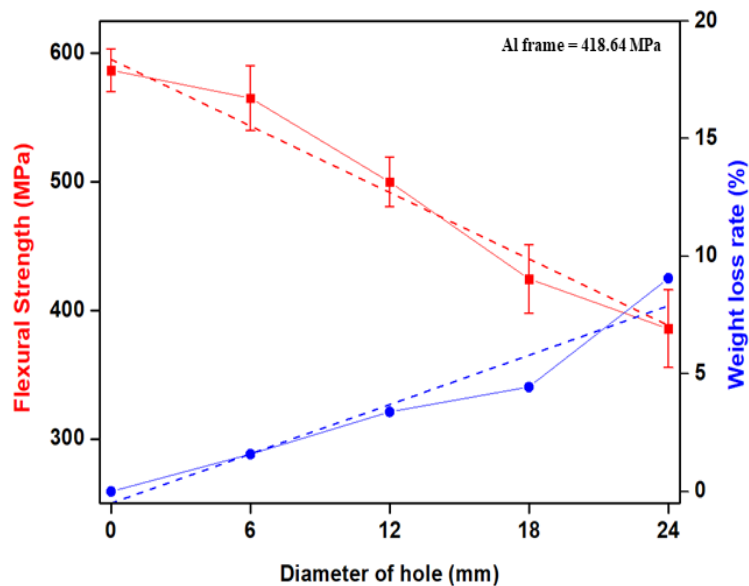
력의 저항이 약해진 것으로 판단된다. 홀을 뚫은 CFRP의 인장강도는 Table 2에 나타냈듯이 각각 391.2 MPa, 382.5 MPa, 329.2 MPa, 305.8 MPa 순으로 무게 절감율이 증가할수록 인장강도는 완만하게 감소하는 경향을 나타냈다. 홀의 직경이 가장 큰 CFRP-D24의 경우 무게 절감률이 9%로 무게가 가벼우며, 인장 응력을 받는 단면적이 가장 적음에도 불구하고 알루미늄 소재의 인장강도보다 높게 나타났다. 즉 CFRP에 홀을 뚫어도 충분한 인장강도가 나타났음을 확인할 수 있었다. 섬유 사이 접촉된 계면들과 설계한 여러 각도의 단방향의 섬유들의 영향으로 최소 단면적에서도 인장하중에 충분히 견딜 것이라

예측된다.

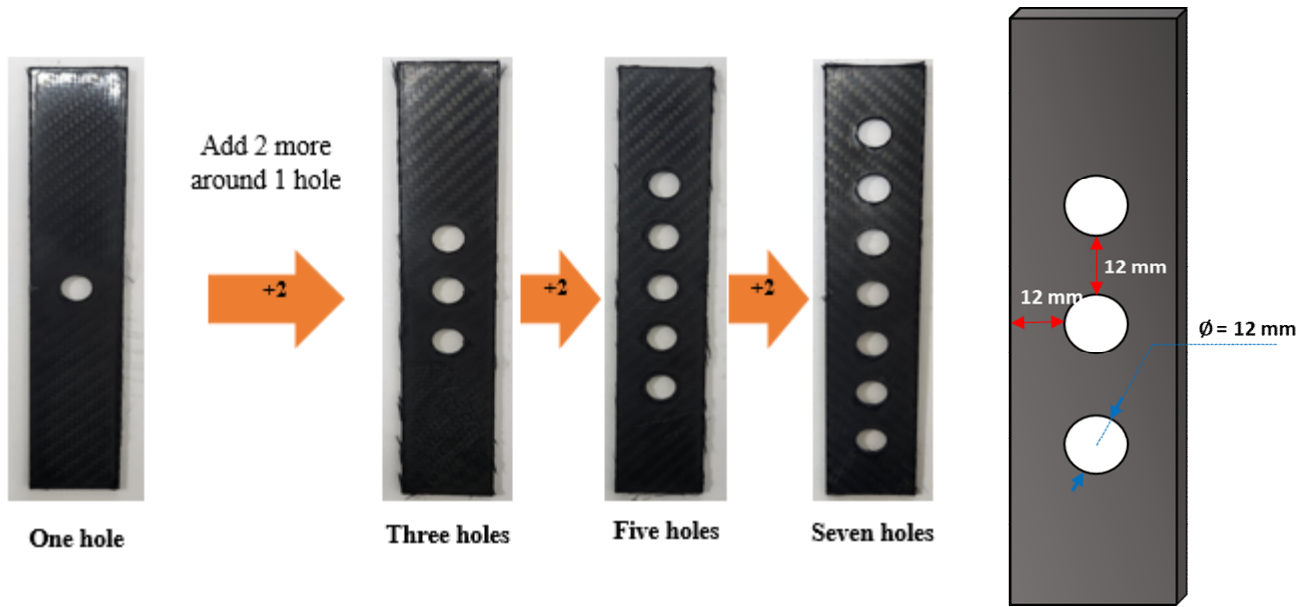
홀 직경 크기 별로 뚫은 CFRP들의 인장강도 실험 후 파단된 사진을 Figure 4(b)에 나타내었다. 모든 실험에서 시편에 가장 약한 홀 부분에 파단 되었으며 탄소섬유의 결 방향으로 파단 된 것을 확인할 수 있었다.

### 3.3 굴곡강도 변화

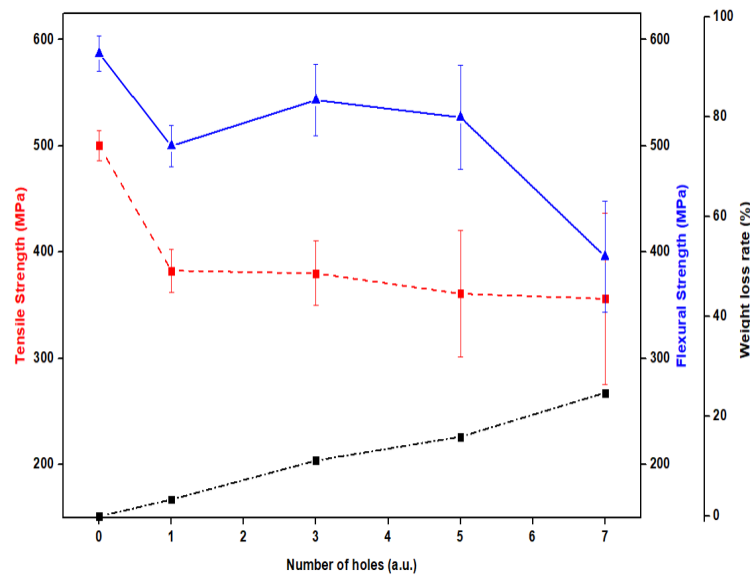
Figure 5는 홀을 뚫지 않은 CFRP-D00과 홀 직경 크기 별로 뚫은 CFRP들의 굴곡강도와 무게절감을 변화를 나타내며 알



**Figure 5.** Flexural strength and weight loss rate according to hole diameter size.



(a)



(b)

Figure 6. (a) The distance between holes and (b) Mechanical strength with increasing number of holes.

루미늄 소재의 굴곡강도와 정량적인 비교분석을 하였다.

홀을 뚫지 않은 CFRP-D00의 굴곡강도는 587 MPa로 나타났다. 홀을 뚫은 시편들은 무게 절감률 증가에 따라 굴곡강도가 Table 2에 나타냈듯이 각각 565.1 MPa, 500 MPa, 419.8 MPa, 385.7 MPa로 점점 감소하는 모습을 보였다. 최소 홀 직경인 6mm(CFRP-D06)를 뚫었을 때 인장강도와 달리 굴곡강도는 급격히 감소하지 않았다. 홀에 의해 응력을 받는 단면적이

줄어도 굴곡강도는 인장강도에 비해 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 판단된다.

그러나 홀의 길이가 점점 늘어나면서 굴곡강도의 감소율은 초기에 비해 급격히 감소하였다. 최대 홀의 직경 길이 18mm (CFRP-D18)까지는 알루미늄의 굴곡강도보다 우수한 결과를 나타내었다. CFRP의 홀에 의한 인장강도와 굴곡강도의 정량적인 데이터를 비교하면 당겨지는 저항보다 굽어지는 저항에 더 강

**Table 3.** Mechanical properties and weight loss rate according to the number of holes in CFRP

Number of hole	Properties	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)	Weight loss rate (%)
0		500.25	586.86	0
1		382.55	499.95	3.39
3		380.01	543.15	11.17
5		360.81	529.94	15.95
7		355.97	425.88	24.72

한 것으로 나타났다. 배낭 프레임에 적용 시 전투원 및 내부 물품들에 누르는 하중들이 굴곡강도에 더 영향을 끼칠 것으로 판단되어 배낭 프레임의 소재로서 적절할 것으로 판단된다.

실험을 바탕으로 두 그래프 모두 홀의 직경 길이 증가는 무게를 감소하는 긍정적인 효과 대신 기계적 물성이 감소하는 반비례 관계를 보였다. CFRP-D06의 경우 CFRP-D12보다 물성이 우수하나 전체 중량 감소에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단되어 최종 CFRP-D12 시편의 홀 직경 길이가 적절할 것으로 판단하였다.

### 3.4 홀 개수 변화에 따른 기계적 물성 변화

홀의 직경 길이별 기계적 물성 변화와 더불어 홀을 점차 개수를 증가하였을 때 기계적 물성을 확인하고자 하였다. 앞에 선정된 CFRP-D12 시편의 홀 직경 길이로 개수를 증가하는 작업을 하였다. 홀 개수 증가는 홀 1개를 뚫은 시편 중심으로부터 2개씩 증가하였으며 홀 간의 거리는 시편에 홀을 뚫어 나머지 폭만큼 일정한 간격으로 하였다. Figure 6(a)에 홀 간의 거리를 자세하게 나타내었다.

최종 홀을 뚫은 개수는 3개, 5개, 7개이며 홀을 뚫지 않은 시편과 기계적 물성을 비교하여 Figure 6(b), Table 3에 나타내었다. 먼저 홀 개수 증가는 무게 절감률을 증가시켰고 인장강도의 변화는 큰 감소 없이 홀 1개부터 일정한 구간이 확인되었다. 힘을 당기는 방향으로 홀의 개수를 증가하여도 인장강도 값은 거의 일정하게 나타남을 확인하였다. 이는 인장 응력을 받는 단면적이 홀의 개수를 늘려도 일정하기 때문에 비슷한 인장강도 값을 나타내는 것으로 판단된다.

굴곡강도는 홀의 개수 증가에 따른 일정한 감소 그래프가 아닌 3차 곡선 경향을 확인하였다. 홀의 개수가 1개일 때 보다 3개, 5개에서 굴곡강도가 더 높게 나타났다. 시편이 지지대 사이에 있는 중간 지점 홀에 하중이 가해졌을 때, 중간 홀 주변으로 홀을 추가하게 되면 소재의 유연성이 더 작용하여 구부러지는 저항이 크게 나타나는 것으로 판단된다.

그러나 홀이 7개인 경우 굴곡강도가 가장 낮게 나타났고 지지대와 가까운 홀이 지지하는 힘의 영향으로 먼저 파단 되어 굴곡강도의 값이 낮게 나타났으며 이로 인해 측정된 값의 오차가 크게 발생된 것으로 판단된다. 12mm의 홀을 시편 중간에 일정한 간격으로 3개를 뚫었을 때 인장강도는 380 MPa, 굴곡강도 543 MPa, 무게 절감률 11% 일 때가 가장 우수한 CFRP의 물성과 무게 경량을 보였다.

따라서 지지대로부터 가까운 부위에 홀을 뚫기보다는 소재의 중앙에 홀을 일정한 간격으로 여러 개를 뚫는 것이 배낭 프레임 적용 시 적합할 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

군용 전투 배낭의 경량화를 위한 기존 배낭의 알루미늄 back 프레임을 CFRP로 적용하여 경량을 위한 기초연구를 진행하였다. 홀을 뚫지 않은 CFRP-D00 자체만으로도 충분히 알루미늄보다 가볍고 기계적 물성이 우수하나 CFRP에 홀을 뚫어 경량을 더 극대화했을 때 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 홀의 직경의 증가는 CFRP의 무게 절감률이 증가되고 인장강도와 굴곡강도는 감소하였다. 홀에 의해 측정되는 단면적이 감소에도 불구하고 알루미늄 소재의 인장강도, 굴곡강도 보다 높게 나타나 CFRP에 홀을 뚫어도 충분한 물성을 보였다. 무게 절감률과 기계적 강도를 비교하여 CFRP-D06의 경우 충분한 무게 절감을 얻지 못할 것으로 판단되어 최종 CFRP-D12가 가장 적절한 것으로 판단되었다.
2. CFRP-D12 홀 1개를 기준으로 홀의 개수를 2개씩 증가하여 홀 1개, 3개, 5개, 7개의 기계적 물성을 비교한 결과 인장 응력을 받는 측정 단면적이 홀의 개수를 늘려도 변함없으므로 인장강도는 비슷한 값을 나타내었다. 굴곡강도는 지지대 사이에 있는 중간 홀 주변으로 홀을 2개, 4개를 추가하여도



소재의 유연성이 더 작용하여 구부러지는 저항이 크게 나타나 홀이 1개일 때보다 3개, 5개일 때 굴곡강도 값이 우수하였다. 그러나 홀 7개의 경우 소재의 유연성이 더 작용할 것으로 판단되었으나 지지대와 마지막 홀 사이가 가까워 지지대 근처 홀에서 파단 되는 현상이 발생되어 가장 낮은 굴곡강도를 보였다.

이러한 결과를 바탕으로 CFRP를 적용한 군용 배낭 back 프레임을 설계할 때 필요한 자료로 사용될 수 있을 것이다. 배낭 프레임에 전달되는 하중의 인자는 전투원과 배낭 내 물품 등이 있을 것이며 굴곡과 같은 기계적 물성에 영향이 많이 발생 될 것으로 예상된다. 따라서 프레임 제작 시 지지대가 될 프레임의 바깥쪽이 아닌 중간에 홀을 일정한 간격으로 뚫는 방식을 적용한다면 적절한 물성과 경량화된 프레임을 제작하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 국방섬유소재산업육성사업(20016160)의 연구비 지원으로 수행된 연구의 일부 결과입니다.

### References

1. M. F. Heller, J. H. Challis, and N. A. Sharkey, Changes in Postural Sway as a Consequence of Wearing a Military Backpack, *Gait Posture*, **30**(1), 115(2009).
2. S. H. Chung, A Study of the Infantry Backpack System for Portability and Mobility Performance, *J. Kor. Soc. Comp. Info.*, **19**(3), 155(2014).
3. A. Susanto, S. Gunadi, and P. Suprayito, Product Design of Marine Soldier Backpack with Quality Function Deployment Method, *Int. J. ASPO*, **12**(2), 43(2021).
4. Y. Zhao and W. J. Xu, The Design of a Backpack System to Meet the Requirements of New Type of Individual Combat, *Proc. MEACM*, **99**, 127(2021).
5. S. H. Chung, S. H. Son, and C. G. Hwang, A Study of Carriage Load for Infantry Backpack System, *J. Kor. Soc. Comp. Info.*, **21**(2), 149(2013).
6. M. S. Kim, J. D. Lee, H. S. Son, and B. O. Lee, Evaluation of Stitching Properties of Thermoplastic and Thermosetting Carbon Fiber-Reinforced Composite, *Text. Sci. Eng.*, **58**(6), 298(2021).
7. J. H. Sim, S. M. Park, J. H. Kim, D. W. Shin, J. S. Chon, J. K. Kim, and J. S. Bae, Transverse Low Velocity Impact Failure Behavior of Triaxial Braided Composite Tube with Different Braiding Angles, *Textile Coloration and Finishing*, **28**(4), 246(2016).

8. M. K. Kim, I. G. Shin, S. J. Kim, D. K. Park, and J. K. Seo, Torsional Strength of CFRP Material for Application of Ship Shaft System, *J. Soc. Nav. Arch.*, **50**(6), 431(2021).
9. J. D. Lee, Y. H. Jin, M. S. Kim, H. S. Son, and D. J. Kwon, Effect of Measuring Parameters of Tensile Strength of Fiber-reinforced Composite Materials, *J. Adhes. Interface*, **22**(3), 85(2021).
10. J. H. Sim, J. H. Kim, S. M. Park, K. H. Koo, K. W. Jang, and J. S. Bae, Mechanical Characteristics of CF Laminated Prepreg with UV-thermal Dual Curable Epoxy Resin, *Textile Coloration and Finishing*, **29**(1), 37(2017).
11. D. R. Bea, J. W. Lee, J. W. Yi, and M. K. Um, Evaluation of Compression Molding Simulation with Compression Properties of Carbon Fiber Prepreg, *Composites Research*, **31**(6), 421(2018).
12. J. M. Hong, H. R. Lee, J. S. Won, J. S. Kim, J. Y. Yoon, and S. G. Lee, Effects of Molding Process Conditions on the Properties and Hole Machining Characteristics of Carbon Fiber Composites, *Text. Sci. Eng.*, **56**(4), 248(2019).
13. M. Tayyab, M. Imran, and A. Rafai, Experimental Investigation of Open-hole Compression Strength of Carbon Epoxy Composite Material and Determination of Localized Strains using Digital Image Correlation Technique, *Scientia Iranica B*, **28**(6), 3201(2021).
14. Y. Lin, Y. Huang, T. Huang, and Z. Yin, Open-Hole Tensile Behaviour and Failure Prediction of Carbon Fibre Reinforced Aluminium Laminates, *Polym. Compos.*, **37**(11), 4123(2018).

### Authors

- 김혁진** 다이텍연구원 전임연구원
- 권동준** 경상국립대학교 고분자공학과 조교수
- 이재동** 다이텍연구원 선임기술원
- 손현식** 다이텍연구원 단장
- 진영호** 다이텍연구원 전임기술원