

# 전술차량 FRP 구조물 적층 구조 최적화를 통한 강도개선 방안 연구

김선진<sup>1\*</sup>, 박진원<sup>2</sup>, 김성곤<sup>1</sup>, 강태우<sup>1</sup>, 신철호<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>국방기술품질원 기동화력5팀, <sup>2</sup>국방기술품질원 기획조정팀

## A study on the way to improve strength of LTV's FRP structures by optimizing laminated structure

Seon-Jin Kim<sup>1\*</sup>, Jin-Won Park<sup>2</sup>, Sung-Gon Kim<sup>1</sup>, Tae-Woo Kang<sup>1</sup>, Cheol-Ho Shin<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Land System Team 5, Defence agency of Technology and Quality(DTaQ)  
<sup>2</sup>Planning & Coordination Team, DTaQ

**요약** 본 연구는 전술차량에 적용된 FRP 구조물의 품질문제 해소 및 예방을 위한 강도개선 방안에 대한 것이다. 소형전술차량은 후드조립체와 후방벤 조립체 등에 FRP 소재를 적용하여 전체적인 차량의 여유중량(공차중량)을 확보하였다. 그러나 FRP가 갖는 태생적인 한계로 인해 접합부 균열과 같은 초기 품질문제가 다수 발생되었다. 더구나, 후드조립체는 개발 시 고려한 조건과 다른 비정상적인 조건으로 운용됨을 확인하였다. 이러한 비정상적인 조건으로 장기간 장비 운용 시 해당 부품의 내구수명 저하가 우려되었다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 FRP 구조물의 문제점에 대한 개선과 운용개념 변화에 따른 설계 안전을 추가 확보를 위한 굴곡강도 향상을 목표로 적층구조 최적화를 수행하였다. 그 결과, 접합부는 FRP 소재 적층수를 증가시킴으로써 후드조립체와 후방벤 조립체의 굴곡강도가 각각 8.1배, 1.5배 개선되었다. 또한, 후드조립체의 모재 부위는 FRP 적층구조 최적화를 통해 굴곡강도 1.4배 향상시켰으며, 그 결과 비정상 운용조건에 대한 내구수명 확보 및 한계하중 1.7배 개선효과를 확인하였다.

**Abstract** This paper presents the means of improving the strength of LTV's FRP structure for resolve and prevent quality problems. LTV secures enough kerb weight by applying FRP materials at hood and rear van assembly. However, because of FRP's inherent limitations, many initial quality problems such as crack at connections have occurred. Moreover, hood assy' is concerned about fall of endurance, because hood assy' have operated in abnormal condition. Therefore, this study executes lamination structure optimizations of FRP structure for improving bending strength. As a results, hood and rear van's bending strength at connections is improved 8.1 times and 1.5 times, respectively. Also hood assy's plate secures endurance life and improve 1.7 times of critical load about abnormal operating conditions through 1.4 times improvement of bending strength.

**Keywords** : Light Tactical Vehicle(LTV), Fiber Reinforced Plastic(FRP), Lamination, Resin Transfer Molding(RTM), Optimization

### 1. 서론

국내에서 신규 개발된 소형전술차량(Light Tactical

Vehicle, 이하 LTV)은 해외에서 운용중인 전술차량인 HMMWV(High Mobility Multi-purpose Wheeled vehicle), LMV(Light Multipurpose Vehicle) 등과 동

\*Corresponding Author : Seon-Jin Kim(DTaQ)  
Tel: +82-62-940-8718 email: sjkim@dtaq.re.kr

Received February 15, 2019

Revised March 18, 2019

Accepted May 3, 2019

Published May 31, 2019

급의 차량 개발을 목표로 하였다. 이들 차량은 전장 상황에서 원활한 작전임무 수행을 위한 고기동성(High Mobility), 전장 상황에서의 생존성(Survivability) 그리고 다양한 계열차량으로의 전개가 가능한 다목적성(Multi-purpose)을 확보하였으며, LTV 역시 상기 세 가지의 특성이 잘 반영될 수 있도록 차량의 작전요구성능(Required Operation Capability, 이하 ROC)을 설정하여 차량을 개발하였다[1].

LTV의 ROC는 차량총중량과 적재중량 같은 제원과 생존성 확보를 위한 방호력 등이 포함되어 있다. ROC에서는 차량 자체의 중량을 의미하는 공차중량 값을 직접적으로 규제하고 있지 않지만, 차량총중량(0,000 kg 이하)과 적재중량(0,000 kg 이상)을 통해 간접적으로 제한되어 있다. 공차중량은 차량에 적재하거나 부수적으로 장착하는 중량을 제외한 순수한 차량의 중량으로 기존에 운용중인 군용차량의 사례를 보았을 때 후속 양산간 품질문제에 대한 품질개선을 수행하며 중량의 증가가 수반되는 경우가 많기 때문에 차량의 공차중량에 대한 여유중량 확보가 필요하다. 또한, 생존성을 위해 장착되는 방탄유리, 방탄복합재 등도 공차중량에 해당되는데 이들의 성능은 무게의 증가를 무조건 수반하기 때문에 개발 간 방탄성능 확보 및 추가 안전율을 고려했을 때 충분한 여유중량 확보가 필요하였다. 이를 위해 LTV는 Fig. 1과 같이 큰 부피를 차지하는 후드조립체와 후방벤 조립체 등에 복합소재를 적용하였다[2].

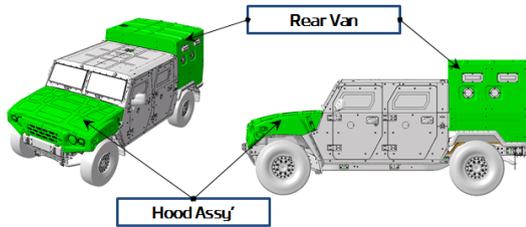


Fig. 1. Composite material parts at LTV

복합소재는 경량대체재의 대표적인 재료로서 높은 비강도, 높은 비탄성으로 재료의 경량화 및 재단성(Tailorability)이 우수한 장점을 가지고 있다[3]. 차량의 구조물에 적용하는 복합소재로는 탄소섬유를 적용한 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)와 유리섬유를 적용한 GFRP(Glass Fiber Reinforced plastic)등이 있다. 최근에는 승용차량 부품의 소재 경량화를 통해 차량의 연비 향상 및 배출가스 규제 만족 등을 위해 자동차

용 도어 등에 복합소재를 적용하는 방안에 대한 연구가 진행되고 있으며, 주로 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)가 활용되고 있다[4-5].

이에 반해, LTV의 후드와 후방벤 조립체에는 GFRP(이하 FRP) 소재를 사용하였다. 성형공법은 RTM(Resin Transfer Molding)공법으로 Fig. 2와 같이 금형에 FRP 소재를 재단하여 넣고 수지를 통과시켜 섬유에 수지를 함침 시키는 비교적 비용이 저렴한 사출방식이다[6].

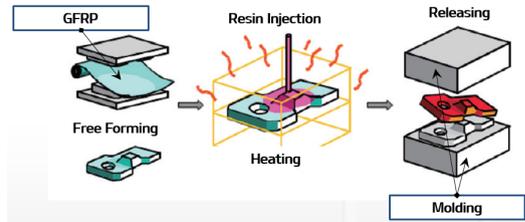


Fig. 2. The method of resin transfer manufacturing[6]

FRP는 스틸 대비 높은 비강성과 비강도를 통해 중량을 줄일 수 있었으며, RTM 공법을 통한 금형 제작비용 감소 등을 통한 원가 절감이 가능하였다. 하지만, FRP 소재의 특성, 제작 방법 그리고 구조물의 형태 및 크기 등의 복합적 요인으로 인해 해당부품의 공정은 완전한 자동화가 어려웠다. 이러한 이유로 차량 양산간 Fig. 3과 같이 부품의 균열(Crack), 수지 함침미흡에 따른 표면 불량현상 등의 품질문제가 많이 발생되었다.

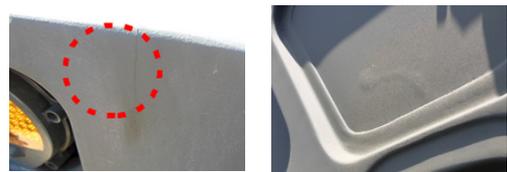


Fig. 3. The quality problem of FRP structure

이러한 품질문제는 FRP가 갖는 특성과 자동화되지 못한 공정에서 발생하는 품질산포에 의한 것으로 설계적인 안전율 강화를 통해 제품이 내포한 품질문제를 해소할 수 있는 방안이 필요하였다. 또한, 후드조립체의 경우에는 장비 개발 시 예상했던 운용개념과 달리 양산 후 부대 운용 간 FRP 구조물을 밟고 올라가거나 FRP 구조물을 향해 뛰어내리는 등의 비정상적인 운용 실태를 확인하였다. 이러한 비정상적인 운용에 대해 부품 개발 시 설계적

인 안전율이 반영되지 않았기 때문에 장비 운용 간 설계 시 예상하지 못한 품질문제가 발생할 수 있어 이에 대한 개선이 수행되어야 할 필요성을 확인하였다.

따라서 본 연구에서는 FRP 구조물 품질문제에 대한 원인을 분석하고 후드조립체의 경우 운용개념 변화에 따른 실태를 확인하여 적층구조와 같은 설계 개선을 통해 품질문제를 예방하고 해소하는 것을 목표로 하였다.

## 2. 본론

### 2.1 현실태 및 문제점

LTV의 FRP 구조물은 RTM 공법 적용 시 일체형 몰드 적용에 어려움이 있어 Fig. 4와 같이 몰드를 통해 형상구현이 가능한 조각으로 성형(이하 모재 부위)한 후 각 조각을 Hand lay-up 방식으로 접합하고 있다.

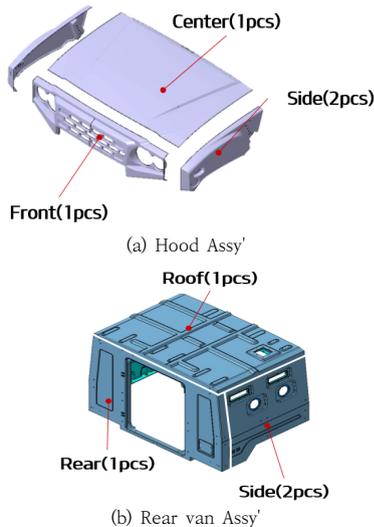


Fig. 4. The production method of hood and rear van assy'

1장에서 언급한 균열과 같은 품질문제는 각 모재 부위를 접합하는 부위에서 거의 대부분이 발생되었다. 하지만, 이러한 균열문제는 초기 품질문제로 판단되는데 이는 초도양산 시험 간 수행한 32,000 km 내구주행시험 완료 후 접합부의 균열은 확인되지 않았으며, 양산이후에도 부대에서 운용중인 차량에서 추가적인 균열 현상이 발생되지 않았기 때문이다.

후드조립체의 경우에는 개발 시 고려되지 않은 비정상

적인 운용개념이 확인되었다. 비정상적인 운용개념은 Fig. 5와 같이 기동 위장망 설치 개념이 변경됨에 따라 위장망 설치를 위해 후드조립체를 밟고 올라서거나, 차량상단 부분 작업 시 사다리를 이용하지 않고 후드조립체를 밟거나 뛰어 내려오는 경우이다. 이러한 운용개념은 개발 시 고려되지 않은 것으로 장기간 비정상적 운용 시 내구문제가 발생할 우려가 있어 이에 대한 개선도 필요할 것으로 보인다.

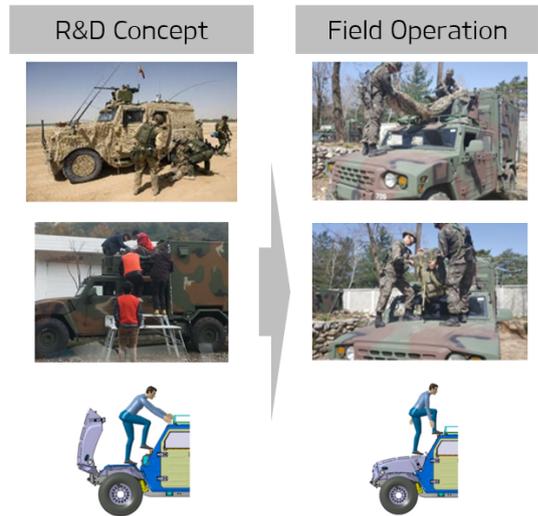


Fig. 5. The change of operational concept

### 2.2 FRP 구조물 사양 확인

2.1절에서 확인된 현실태 및 문제점을 바탕으로 본 연구에서는 후드 및 후방벤 조립체의 모재 간 접합부위의 균열문제와 후드조립체의 비정상적인 운용환경에 대한 내구수명 확보를 개선목표로 수립하였다.

개선을 수행하는데 있어서 개선여부를 확인하기 위한 방안으로 ASTM D 790에서 규정하는 굽힘 강도를 기준으로 하였다. 이는 비대칭으로 적층되는 FRP 적층구조에 대해 한쪽 방향으로만 하중을 받는 구조물의 특성을 충분히 반영할 수 있으며, 실제로 구조물을 밟는 상황에 대한 모사가 가능하다고 판단하였기 때문이다. 따라서 FRP 구조물의 개선방안 수립을 위해 현재 부품에 적용된 적층구조와 기계적 성질(굽힘 강도)을 먼저 확인하였다.

LTV의 FRP 구조물에 주로 적용된 소재로는 Fig. 6과 같이 Chop mat와 Combo mat로 볼 수 있다. Chop mat는 랜덤하게 섬유를 분산시켜 접착한 것으로 방향성을 가지고 있지 않다.

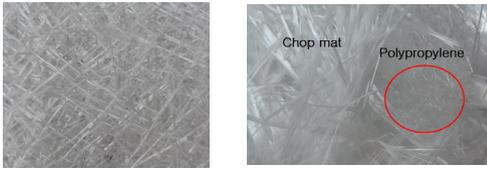


Fig. 6. The shapes of chop mat(left) and combo mat(right)

Combo mat는 RTM 공법에 적용 시 FRP 섬유 간 수지의 흐름이 원활하도록 섬유 중심부에 PP(Polypropylene)이나 나일론 층을 위치시키고 양면에 Chop mat를 부착한 섬유로 RTM 공법에서는 반드시 필요한 소재이다. 후방벤에 적용되는 Roving mat와 DBLT는 방향성을 갖는 직조된 형태의 소재이다.

소형전술차량에 적용된 FRP 구조물의 각 부위에서 발생하는 문제점과 해당 부위에 대한 현재 구조 및 굽힘 강도를 확인한 결과는 Table 1과 같다.

후드조립체의 접합부에서는 균열이 발생하는 문제점이 있었으며, 접합부의 내측에는 FRP + 수지(2겹), 외측에는 퍼티라는 접착제만 적용되는 적층구조를 가지고 있으며 굴곡강도는 28 MPa이었다. 모재 부위는 설계 시 현재의 운용개념이 고려되지 않아 내구성이 저하될 수 있는

문제점을 가지고 있다. 모재 부위의 적층구조는 Combo mat와 Chop mat가 상·하로 대칭을 이루는 2겹의 구조이며, 굴곡강도는 155 MPa이다.

후방벤 조립체의 접합부는 후드와 마찬가지로 균열이 발생하는 문제가 있으며, 내측에는 FRP + 수지(2겹), 외측에는 FRP + 수지(1겹)의 적층구조를 가지고 있으며, 굴곡강도는 132 MPa이다. 모재 부위는 현재까지 양산·운용되는 과정에서 특별한 문제는 발생되지 않았으며, 5개의 섬유가 적층된 구조로 굴곡강도는 223 MPa이다.

### 2.3 FRP 구조물 강도개선방안

#### 2.3.1 관련연구

FRP 구조물의 강도개선 방안에는 제작공법의 변경, FRP 섬유의 적층구조 변경 등 다양한 방법이 있다. 이중 현재 여러 제반 상황을 고려하여 적용 가능한 강도개선방안을 수립하기 위해 관련연구를 확인하였다.

최한규 등은 선체구조용 FRP의 강도 특성에 관한 연구에서 진공 성형 방법이 Hand lay-up 공법에 비해 시험편의 기계적 성질이 우수하였으며, 진공 성형 방법의 경우 섬유의 함유량이 더 많아짐을 통해 진공 성형 공법이 경량화 및 대량 생산에 더 유리함을 보여주었다[7]. 송하철 등은 FRP의 적층구성과 제작 공법 등에 따른 구조

Table 1. The problems of FRP structures and their laminated structure, bending strength

	Problems	Quality control item	Laminated structure/Bending strength
Hood Assy' (Connection)	Cracks at the connections	Bending strength	
Hood Assy' (Plate)	Concerns about durability deterioration of hood's plate due to change in operational concepts	Durability, Bending strength, Crack	
Rear van Assy' (Connection)	Cracks at the connections	Bending strength	
Rear van Assy' (Plate)	-	-	

강도 특성을 연구하였으며, FRP 섬유층의 적층구조 변경을 통해 비강도를 향상할 수 있음을 보여주었다. 또한, 최한규 등의 연구와 같이 진공 성형 공법이 Hand lay-up 공법에 비해 인장 비강도는 43%, 굽힘 비강도는 53%가 우수함을 연구를 통해 제시하였다[8]. 마지막으로 Mohammed 등의 연구에서는 FRP 구조물은 소재에 따라, 소재의 적층방법에 따라 또는 방향성을 갖는 소재의 경우에는 소재의 적층 방향에 따라 다양한 기계적 성질을 가지므로, 이러한 FRP 소재의 특성을 활용하여 원하는 강도를 갖도록 구성하거나 최적화 할 수 있음을 실험결과와 함께 제시하였다[9].

따라서 본 연구에서는 접합부의 경우에는 제작조건을 고려하여 Hand lay-up 공법, 모재 부위의 경우에는 비강도가 훨씬 우수한 진공을 활용한 성형방법은 그대로 유지하고, FRP의 적층구조를 변경하여 FRP 구조물에 대한 강도개선을 수행하고자 한다.

### 2.3.2 FRP 구조물 접합부 강도개선 방안

후드 및 후방벤 조립체의 접합부의 강도 개선을 위해서는 앞서 관련연구에서 살펴본 바와 같이 제작 방법을 Hand lay-up에서 진공 성형으로 바꾸는 방법과 FRP의 적층구조를 증가시키는 방법이 있다. 그러나 제작방법의 변경은 접합부의 구조적인 한계로 몰드를 통한 제작이 제한되어 비교적 단순하게 접근이 가능한 FRP 적층구조를 증가하는 방법을 통해 개선하고자 하였다. 이는 접합부의 접합방식과도 연관되는데, 접합부는 각 모재 부위를 제작 지그에 안착시킨 후 Hand lay-up 공법을 통해 Chop mat를 적층시키고 있다. 또한, 접합부는 FRP 구조물 전체에서 차지하는 비중이 매우 작기 때문에 섬유 적층을 증가시켜도 비용이나 중량의 변화가 거의 없어 강도를 개선할 수 있는 최적의 방안으로 판단되었다.

### 2.3.3 후드조립체 모재 부위 강도개선 방안

후드조립체 모재 부위는 상·하형 몰드를 활용한 RTM 공법을 통해 제작되기 때문에 적층섬유의 선정, 적층방법 및 섬유 적층 수의 선정이 매우 중요한 인자이다. 따라서 모재 부위의 강도개선을 위한 FRP 적층구조 최적화를 위해 비용측면에서 최소한의 변동을 갖도록 비교적 쉽게 구할 수 있고 비용이 변동이 최소화 되도록 3가지(Chop mat, Combo mat, Yarn cloth) 섬유를 선정하였다. 이 세 가지의 섬유에 대해 2~3층의 적층구조에 대한 경우의 수를 계산하였을 때, 총 36가지의 조합이 나올 수 있다.

하지만 앞서 언급하였듯이, RTM의 공법의 특성상 상·하형 몰드 사이의 수지 흐름이 원활하기 위해서는 Combo mat가 필수적이므로 Combo mat가 없는 조합(12가지)은 제외하였고, Combo mat가 2번 이상 사용된 조합(3가지)도 제외하였다. 이를 통해 남은 21가지 사양에 대해 실제 제작 금형을 활용하여 샘플을 제작하였으며, 샘플은 가장 큰 형상을 가진 Center plate로 하였다.

적층구조 최적화를 통한 후드조립체 모재 부위의 강도 개선을 위해 3가지의 기준을 선정하였다. 먼저, 첫 번째 기준으로 생산성, 형상안정성 그리고 표면품질을 선정하였으며, 각 기준에 대한 불량 사례는 Fig. 7과 같다.

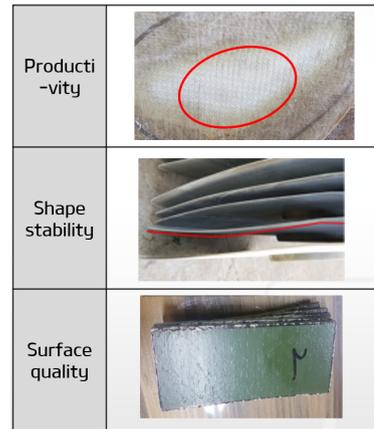


Fig. 7. The examples of identified defect on samples

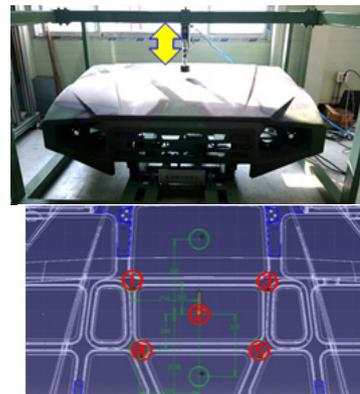


Fig. 8. The verification test method

두 번째 기준은 굽힘 강도로 현재 사양대비 약 30% 이상 향상되어야 하며, 여러 부위의 샘플을 통해 시편 간

Table 2. The problems of FRP structures and their laminated structure, bending strength

	Quality control item	Laminated structure/Bending strength	
		Before	After
Hood Assy' (Connection)	Bending strength	 <Bending strength : 28 MPa>	 <Bending strength : 228 MPa>
		 <Bending strength : 132 MPa>	 <Bending strength : 236 MPa>

굽힘 강도의 편차가 5% 이내로 작아야 한다. 이는 편차가 크게 발생하는 경우 FRP 제작 간 제품의 품질 문제를 내포하고 있을 가능성이 커지기 때문으로, 현재 업체에서 제작 중인 제품을 통해 5% 이내의 편차를 확보하는 것을 기준으로 하였다. 마지막으로 세 번째 기준은 실제 운용 조건을 반영한 검증시험에서 개선효과가 확인되어야 하는 것으로, 반복하중시험과 한계하중시험을 기준으로 선정하여 개선 전·후 제품에 대해 비교하였다.

두 시험은 Fig. 8과 같은 시험 장비를 활용하며, 반복하중시험은 후드조립체 상부의 취약부위 5개소에 대해 100 kgf의 하중을 각 부위에 5,000회 부여하며 균열 및 균열 징후를 확인하였다. 한계하중시험은 반복하중시험과 동일한 부위에 대해 100 kgf부터 일정하중을 증가시키며 FRP 구조물의 균열 또는 균열 징후를 확인하였다. FRP는 특정 하중에서 파열음이 발생하는데 이 파열음은 섬유유의 파단, 수지 균열, 적층부의 분리 등 여러 복합적인 파괴양상에 의해 나타나기 때문에 이를 판단 기준으로 선정하였다[10].

## 2.4 FRP 구조물 강도개선 결과

### 2.4.1 FRP 구조를 접합부 강도개선 결과

후드 및 후방벤 조립체의 접합부는 Table 2와 같이 접합부 내·외측의 FRP 섬유 적층구조를 증가시켜 굽힘 강도를 개선하였다. FRP 섬유 적층구조는 내·외측 동일하게 Chop mat +Resin이며 내측은 3층, 외측은 2층으로 구성하였다. 그 결과, 후드조립체 접합부의 경우에는 228 MPa로 약 8.1배 향상되었으며, 후방벤 조립체 접합부는 236 MPa로 약 1.8배 증가함을 확인하였다. 두 구조물

의 접합부는 동일한 적층구조를 적용하였으나, Chop mat의 종류가 상이함(업체 제작 노하우로 공개 불가함을 양해바랍니다.)에 따라 굽힘 강도에 있어 차이를 보였다.

### 2.4.2 후드조립체 모재 부위 강도개선 결과

후드조립체 모재 부위는 세 가지의 기준을 설정하고 이에 대한 개선 효과를 검증하였다. 첫 번째 기준에 대해서는 앞서 언급하였듯이 3개의 섬유유에 대해 2~3층의 적층 수에 대해 경우의 수를 산출하여 제작공법을 고려하여 21가지의 적층구조에 대해 샘플 제작을 수행하였다. 이 21가지 적층구조 중 Table 3과 같이 7가지가 생산성, 형상안정성, 표면품질을 만족하였다. 이 7가지 적층구조에 대해서는 제작된 샘플의 여러 부위에서 시편을 채취하여 굽힘 강도 시험을 수행하였다. 시험결과는 Table 3과 같으며, 현사양 대비 약 30%의 굽힘 강도 개선효과가

Table 3. The results of FRP lamination of hood's plate

Group	FRP material			Bending Strength (variation)
	#1	#2	#3	
1	Chop mat	Combo mat	Chop mat	203 MPa (27.7%)
2	Chop mat	Combo mat	Yarn cloth	232 MPa (45.9%)
3	Chop mat	Combo mat	-	132 MPa (-17.0%)
4	Combo mat	Chop mat	-	159 MPa (-)
5	Yarn cloth	Combo mat	Chop mat	224 MPa (40.9%)
6	Yarn cloth	Combo mat	Yarn cloth	215 MPa (35.2%)
7	Yarn cloth	Combo mat	-	188 MPa (18.2%)

확인된 적층구조는 1, 2, 5, 6번이었다. 이들 4가지 중 샘플 간 굽힘 강도의 편차를 확인한 결과 5번 적층구조만이 5% 이내의 편차를 보였다.

따라서 최종적으로 후드조립체 모재 부위의 강도 개선을 위한 최종 검증시험인 반복하중시험 및 한계하중시험은 5번의 적층구조를 적용한 제품을 통해 수행하였다.

먼저, 반복하중시험을 수행한 결과, 개선 전·후 모두에서 균열 및 균열징후가 확인되지 않았으며, 이를 통해 비정상 운용조건에 대한 충분한 내구수명을 확보한 것을 확인할 수 있었다.

Table 4. The results of limit load test

Load	Position									
	No.1		No.2		No.3		No.4		No.5	
	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)	(A)	(B)
100kgf	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
120kgf	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
140kgf	O	X	O	X	O	X	O	X	O	X
160kgf	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X
180kgf	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X
200kgf	-	X	-	O	-	X	-	X	-	X
220kgf	-	X	-	X	-	X	-	X	-	X

다음으로 수행한 한계하중시험은 반복하중시험과 동일한 부위에 대해 100 kgf부터 일정하중을 증가시키며 FRP 구조물의 균열 또는 균열 징후를 확인하였다. 이를 기준으로 한계하중시험을 수행한 결과는 Table 4와 같

았다. Table 4에서 (A)는 개선 전 사양, (B)는 개선사양이며, O는 파열음 발생, X는 파열음이 발생되지 않은 경우이다. 한계하중시험은 파열음이 발생된 경우 추가적인 시험은 수행하지 않았다.

한계하중시험 결과, 개선 전 사양의 경우에는 5개소 모두에서 140 kgf의 하중 부여 시 파열음이 발생되었으며, 개선사양의 경우에는 2번 부위만 200 kgf의 하중에서 파열음이 발생되었고, 나머지 부위는 최대 220 kgf 하중에서도 파열음이 발생되지 않았다.

이를 통해 파열음이 발생되기 이전의 부여하중을 한계하중으로 보았을 때, 개선 전 사양은 120 kgf이고 개선 사양은 200 kgf로 약 1.7배 개선됨을 확인할 수 있었다.

### 3. 결론

본 연구에서는 전술차량에 적용된 FRP 구조물인 후드 조립체와 후방벤 조립체에서 발생하는 품질문제에 대한 개선과 비정상 운용환경에 대한 설계 안전을 확보를 위해 FRP 적층구조 최적화를 수행하였으며, 그 최종 결과는 Table 5와 같다.

후드 및 후방벤 조립체의 접합부는 적층 수 및 방법을 개선하여 후드조립체의 경우 약 8.1배, 후방벤 조립체의 경우 약 1.8배의 강도 개선효과를 통해 품질문제 해소가 가능하였다.

후드조립체의 모재 부위의 경우에는 비정상적인 운용 환경에 대한 안전을 확보를 위해 Yarn-Combo- Chop

Table 5. The optimization results of lamination structure for LTV's FRP parts

	Quality control item	Before	After
Hood Assy' (Connection)	Bending strength	<p>Glue(Puttty)</p> <p>Hood, Center plate    Hood, Front plate</p> <p>FRP(CHOPMAT + Resin)</p> <p>FRP(CHOPMAT + Resin)</p> <p>&lt;Bending strength : 28 MPa&gt;</p>	<p>FRP(CHOP MAT + Resin)</p> <p>FRP(CHOP MAT + Resin)</p> <p>Hood, Center plate    Hood, Center plate</p> <p>FRP(CHOP MAT + Resin)</p> <p>FRP(CHOP MAT + Resin)</p> <p>FRP(CHOP MAT + Resin)</p> <p>&lt;Bending strength : 228 MPa&gt;</p>
Hood Assy' (Plate)	Durability, Bending strength, Crack	<p>Hood, Center plate</p> <p>FRP(Combo MAT + Resin)</p> <p>FRP(CHOP MAT + Resin)</p> <p>&lt;Bending strength : 155 MPa&gt;</p> <p>&lt;Durability 1 : 5,000 cycle at 100 kgf&gt;</p> <p>&lt;Durability 2 : 140 kgf&gt;</p> <p>&lt;Crack : No identified&gt;</p>	<p>Hood, Center plate</p> <p>FRP(YARN CLOTH + Resin)</p> <p>FRP(COMBO MAT + Resin)</p> <p>FRP(CHOP MAT + Resin)</p> <p>&lt;Bending strength : 224 MPa&gt;</p> <p>&lt;Durability 1 : 5,000 cycle at 100 kgf&gt;</p> <p>&lt;Durability 2 : 180 kgf&gt;</p> <p>&lt;Crack : No identified&gt;</p>
Rear van Assy' (Connection)	Bending strength	<p>FRP(CHOPMAT + Resin)</p> <p>Rear Van, Roof plate    Rear Van, Side plate</p> <p>FRP(CHOPMAT + Resin)</p> <p>FRP(CHOPMAT + Resin)</p> <p>&lt;Bending strength : 132 MPa&gt;</p>	<p>FRP(CHOP MAT + Resin)</p> <p>FRP(CHOP MAT + Resin)</p> <p>Rear van, Roof plate    Rear van, Side plate</p> <p>FRP(CHOP MAT + Resin)</p> <p>FRP(CHOP MAT + Resin)</p> <p>FRP(CHOP MAT + Resin)</p> <p>&lt;Bending strength : 236 MPa&gt;</p>

으로 구성된 최적화된 적층구조 도출하였다. 이를 통해 기존 사양 대비 1.4배의 강도개선 효과, 비정상 운용조건에 대한 내구수준 만족 그리고 약 1.7배의 한계하중 향상을 통해 설계 안전율을 추가 확보할 수 있었다.

## References

- [1] The criteria of Required Operational Capability (Appendix), Republic of Korea Army Headquarters, 2014
- [2] J. W. Park, D. H. Kim, B. G. Song, S. J. Kim, S. J. Yoon, "A study on the way to improve the rear van's durability of korean light tactical vehicle", Journal of the korean society for quality management, Vol. 46, No. 2, pp. 269-282, 2018  
DOI: <https://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2018.46.2.269>
- [3] Y. M. Ryu, E. P. Yoon, Y. S. Yoon, S. H. Lee, "Stiffness Comparison with Design of GFRP Roof Panels Prepared by RTM Method", The Korean Society of Automotive Engineers, No. 98370073, pp. 32-38, 1998
- [4] J. H. Mun, K. D. Han, S. H. Hong, Y. G. Kwon, R. M. Do, "A study on development of automobile parts using CFRP", The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Jeju, Korea, pp. 59, November, 2011
- [5] C. Kim, S. Y. Lee, "Optimum design and analysis of a fiber-reinforced polymer composite side door used for a mid-size passenger car", The Korean Society of Automotive Engineers, Gyeongju, Korea, pp. 770, May, 2015
- [6] M. K. Um, J. W. Lee, Auto journal, pp. 32-35, KSAE, 2017
- [7] H. K. Choi, K. W. Nam, S. H. Ahn, "Strength characteristics of FRP composite materials for ship structure", The Korean society of ocean engineers, Vol. 27, No. 4, pp. 45-54, 2013
- [8] H. C. Song, J. S. Yum, "A study on the mechanical properties of fiberglass reinforcements with constitution of lay-up, manufacturing method and resins", The Korean society of ocean engineers, Vol. 24, No. 5, pp. 75-80, 2010
- [9] F. Mohammed, O. Shinji, V. Vladimir, "The effect of matrix cracking on mechanical properties in FRP laminates", Mechanics of advanced materials and modern processes, 2018  
DOI : <https://doi.org/10.1186/s40759-018-0036-6>
- [10] J. W. Jeong, Experimental study of fiber reinforced polymer composite decks and beams, Master's thesis, Sejong university, Seoul, Korea, p. 41-45, 2004

김 선 진(Seon-Jin Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한국항공대학교 기계공학과 졸업
- 2019년 2월 : 전남대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

군용차량 설계 및 품질관리

박 진 원(Jin-Won Park)

[정회원]



- 2009년 8월 : 전남대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

군용차량 설계 및 품질관리

김 성 곤(Sung-Gon Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 한양대학교 기계공학과(공학석사)
- 2013년 1월 ~ 2012년 7월 : 삼성 전자 컴퓨터시스템사업부 책임연구원
- 2012년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

군용차량 및 특장차량 설계 및 품질관리

강 태 우(Tae-Woo Kang)

[정회원]



- 2011년 2월 : 중앙대학교 기계공학과 졸업
- 2012년 12월 : LS산전 설계팀
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

군용차량 및 전차 변속기 설계 및 품질관리

---

신 철 호(Cheol-Ho Shin)

[정회원]



- 2012년 2월 : 고려대학교 기계공학과 졸업
- 2014년 8월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

군용차량 및 전차 궤도류 설계 및 품질관리