

군용 전술차량 후드조립체 강성 향상 및 품질개선 방안에 관한 연구

김선진*, 박진원, 김세영
국방기술품질원 기동화력센터 기동화력1팀

A Study on the way to improve the stiffness and quality of military tactical vehicle's hood assembly

Seon-Jin Kim*, Jin-Won Park, Se-Young Kim
Landsystems Center 1st team, Defense Agency for Technology and Quality(DTaQ)

요약 군용 전술차량의 후드조립체는 차량의 개발 조건 중 하나인 공차중량을 만족하기 위해 GFRP 소재를 적용하였다. GFRP는 스틸 소재 대비 비강도가 높기 때문에 무게를 줄이는데 효과적이거나, 제작 공법의 한계로 차량 운용 중 많은 품질문제가 발생되었다. 또한, 후드에 대한 운용 환경 변화로 상부를 밟지 않아야 하는 개발 개념이 지켜지지 않으면서 품질문제가 유발되고 사용자의 강성 향상 요구가 지속되었다. 이러한 이유로 후드에 대한 강성 향상과 품질문제에 대한 개선을 함께 수행하였다. 후드의 구조적 강성 향상을 위해 외판 + 보강재의 현재 구조를 외판 + 보강재 + 내판의 구조로 변경하였으며, 이를 위해 제작방법을 RTM 공법에서 수적층법(Hand lay-up)으로 변경하였다. 이를 통해 후드의 강성 향상과 동시에 품질문제를 해소할 수 있었으며, 개선 방안에 대해서는 전산해석 및 시험평가를 통해 검증하였다. 특히, 시험평가에서는 후드 상부를 밟는 운용 환경을 조사 분석하여 신규 시험방법을 수립하여 시험평가를 수행하였다. 전산해석 및 시험 평가 결과 개선된 후드는 개선 전 제품에 비해 동등 이상의 성능을 가지는 것이 확인되었고 특히 후드 상부를 밟는 경우에 대한 시험에서는 확연한 성능 향상이 확인되었다.

Abstract The hood assembly of military tactical vehicles was made of GFRP to satisfy the curb weight. GFRP has the advantage of high specific strength compared to steel, so it effectively reduces the weight, but many quality problems occur. In addition, owing to changes in the operating environment, the development concept of not stepping on the hood top was not followed, causing quality problems and user demands for improved stiffness. Therefore, improvements were made to the stiffness of the hood to address quality issues. Improvements were made by changing the structure of the outer plate and reinforcement to the outer plate, reinforcement, and inner plate. Therefore, the manufacturing method was changed from RTM to Hand lay-up. Moreover, the stiffness was improved. Problems were solved simultaneously, and the improvement plan was verified through CAE and tests. In particular, a new test regarding the operating environment of stepping on the top of the hood was established and performed. The CAE and test confirmed that the improved hood had equivalent or better performance than the previous product. In particular, a clear improvement was confirmed in the test when stepping on the top of the hood.

Keywords : Military Vehicle, Hood Assembly, GFRP, Stiffness, RTM, Hand Lay-up

*Corresponding Author : Seon-Jin Kim(DTaQ)

email: sjkim@dtaq.re.kr

Received May 13, 2024

Accepted August 2, 2024

Revised June 12, 2024

Published August 31, 2024

1. 서론

섬유강화플라스틱(이하 FRP, Fiber Reinforced Plastic)은 유리섬유(GFRP, Glass Fiber Reinforced Plastic) 또는 탄소섬유(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic)에 열경화성 수지를 함침하는 복합재료의 일종으로 금속소재 대비 비강도 및 복잡한 형상의 구현성이 우수하다. 이러한 장점 때문에 항공기, 선박, 정밀기기, 전기·전자기기 부품으로 널리 사용되고 있다[1,2].

자동차 산업에도 자동차의 연비 향상 및 전동화로 인한 차량의 경량화를 목적으로 복합재료의 적용을 위해 GFRP를 활용한 차량용 루프의 강성확보 방안, 소형 전기차의 프레임에 CFRP 적용을 위한 강성 특성의 연구, CFRP를 활용한 자동차 부품 개발을 위한 공정 최적화 설계 방안 등 다양한 연구들이 수행되었다[1,3,4].

군용 전술차량은 운용 환경을 고려하여 고기동성(High Mobility), 생존성(Survivability) 그리고 다목적성(Multi-purpose)을 확보하였으며, 이를 위해 작전운용성능(ROC, Required Operation Capability)을 설정하여 차량을 개발한다. 군용 전술차량은 차량 총중량과 적재중량이 규제되어 있어 간접적으로 공차중량이 제한되어 있으며, 차량의 생존성을 위한 방탄성능 확보로 차량의 중량이 증가함에 따라 차량의 구조적 강성에 상대적으로 영향이 덜한 후드조립체(Hood assembly, 이하 후드)와 후방벤 조립체에 GFRP 소재를 적용하였다 [2].

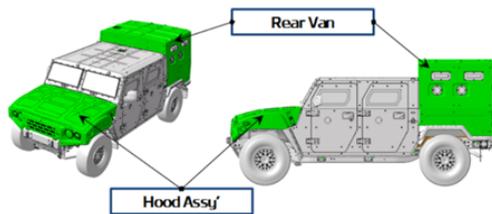


Fig. 1. The parts applied GFRP of the vehicle

이러한 군용 전술차량의 후드는 개발 당시 후드 상단부를 밝지 않는다는 운용개념과 달리 실제 운용 환경에서는 후드 상단부를 밝고 작업하는 경우가 빈번하게 발생되었다. 그러나 이러한 경우는 개발 시 고려하지 않은 운용조건으로 부품에 요구되는 성능기준과 이에 대한 만족여부 등이 검증되지 못했으며, 이를 만족하기는 어려울 것으로 보인다.

따라서 본 연구에서는 GFRP가 적용된 군용 전술차량 후드의 실제 운용조건과 과거 품질문제 등을 고려하여 후드의 강성 향상 및 개선 방안을 수립하고 실제 운용조건 분석을 통한 성능 요구조건을 설정하여 요구조건에 맞는 강성확보 여부 및 기존 제품과의 비교 분석(해석 및 시험)을 통한 개선효과 등을 검증하여 실제 운용 환경을 고려한 품질문제 개선을 수행하고자 한다.

2. 본론

2.1 현실대 및 문제점

군용 전술차량의 후드는 상·하형 몰드(Mold)에 유리섬유를 적층하고 수지를 주입하는 RTM(Resin Transfer Mold) 공법을 적용하였다. RTM 공법은 금형을 활용하기 때문에 복합적 3차원 형상의 구현이 제한되어 Fig. 2와 같이 8조각을 따로 제작한 후 서로를 접합하는 형태로 제작되며, 구조물의 강성 확보를 위해 Fig. 3과 같이 내부에 스틸(Steel) 소재의 보강재를 적용하였다.

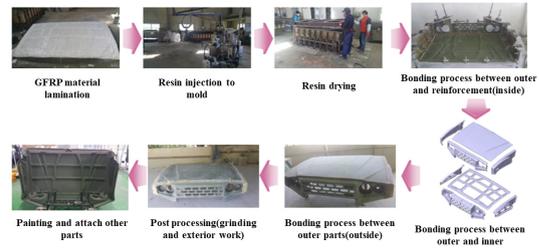


Fig. 2. The manufacturing process of hood assembly

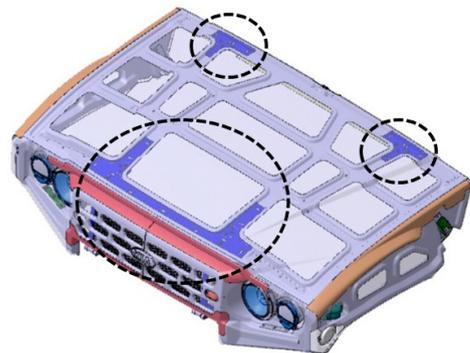


Fig. 3. The locations of reinforcement application

후드 조립체의 운용 개념은 서론에서 언급한 바와 같이 실제 운용 시에는 Fig. 4와 같이 후드 상부를 밝는 경

우가 빈번하게 발생하는 것으로 확인되었다.

이러한 후드의 제작 공법과 후드의 운용 개념 변화로 인해 차량 운용 간 Fig. 5와 같이 GFRP 소재로 제작된 각 판의 접합부, 금속 보강재 적용 부위에서의 균열 문제들이 발생되었다.



Fig. 4. The environment of hood actual operating

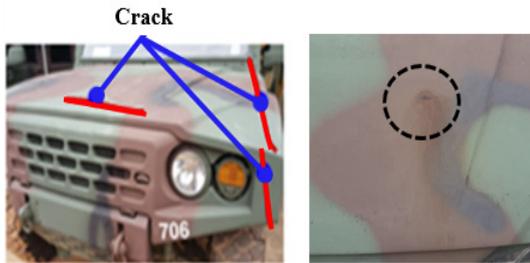


Fig. 5. The locations of crack on hood assembly

또한, Fig. 4와 같이 후드의 운용개념이 변화하면서 개발 시에는 후드 상부를 밟는 개념이 없었기 때문에 이에 대한 시험 기준이 부재하고 이에 따라 변화된 운용개념에 대한 검증이 되지 않았다. 다만, Fig. 5와 같은 품질 문제 발생 현상들을 보았을 때 현재 후드는 상부를 밟는 경우에 대한 성능은 만족하기 어려울 것으로 보여 본 연구를 통한 추가적인 강성 확보는 반드시 필요하였다.

2.2 후드조립체 개선방안

앞서 확인한 현실상태 및 문제점을 바탕으로 Fig. 6과 같이 품질개선 목표를 수립하고 목표 달성을 위해 설계 개선 방안을 수립하였다.

후드의 강성 보안을 위해서 기존의 외판(4조각) + 보강재의 접합 및 일부 구간 스틸 구조물 적용 구조를 외판(일체형) + 보강재 + 내판(일체형)의 구조 및 스틸 구조물 적용 부위를 최소화하는 구조로 변경하였다. 스틸 구조물은 후드의 자체 강성 보안을 통해 최소화할 수 있었으며, 이에 대한 검증은 CAE 해석 및 시험평가를 통해 확인하였다.

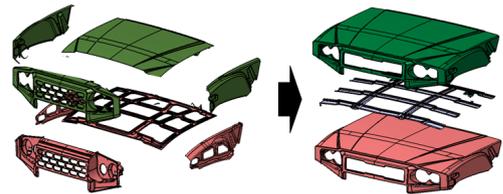


Fig. 7. The improvement plan of hood stiffness

후드의 구조를 일체형 내·외판 구조로 개선하기 위해서는 제작공법을 진공 성형법 중 하나인 RTM 공법에서 수적층법(Hand lay-up) 구조로 변경이 필요하였다. 수적층법의 경우 많은 연구에서 진공 성형법에 비해 강도가 저하되는 결과를 보여주고 있으나, 대부분의 연구결과는 소재 자체의 강도에 대한 비교를 하고 있기 때문에 제품의 구조 강성을 향상하는 측면에서는 수적층법을 통한 일체형 구조로의 변경이 상당한 효과가 있을 것으로 보인다[5,6].

또한, 수적층법 적용 시 기존 RTM 적용과는 달리 전체 부품을 GFRP와 수지의 접합을 통해 일체형 구조로

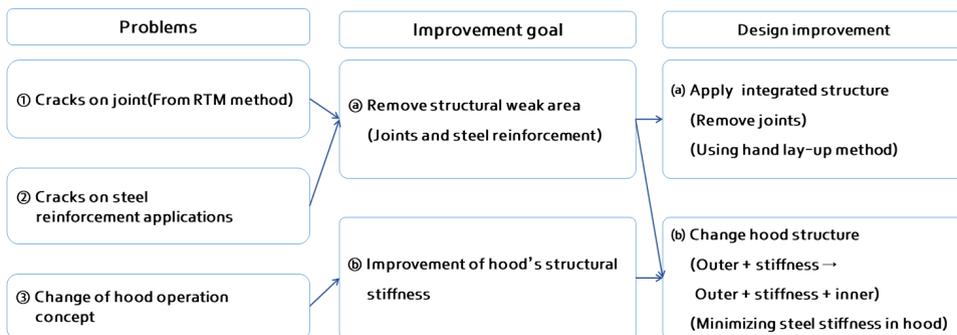


Fig. 6. The relation between problems and design improvement

제작이 가능해진다. 이 경우 RTM을 적용하여 완전히 경화된 두 제품을 접합하는 경우에 비해 인장강도의 경우 약 1.7배, 굽힘강도의 경우 약 1.2배가 높음(이음부의 접합 방법에 따라 차이가 있으며 이음부 접합 방법 중 최대 값과 원소재의 강도를 비교하였음)을 확인할 수 있었으며 이를 통해 제품의 강성 뿐만 아니라 이음부의 품질문제 개선효과까지 있어 후드에 상당히 좋은 효과가 있을 것으로 판단된다[7].

이러한 관련 연구 결과 검토를 통해 수립한 후드의 강성 향상 및 품질개선 방안은 Fig. 8, 9와 같으며 후드의 강성확보를 통해 내부 금속 보강재까지 최소한으로 적용하는 것이 가능할 것으로 보이며, Fig. 6과 같이 식별된 현실태 및 문제점을 충분히 개선할 수 있는 방안으로 보인다.

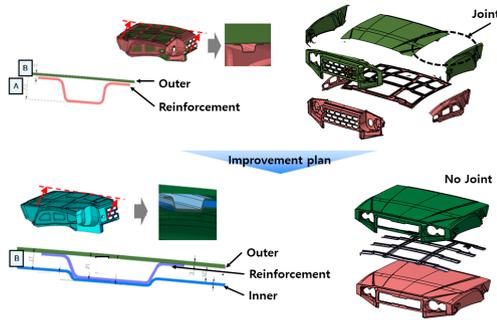


Fig. 8. The design plan for figure 7(a) and (b)

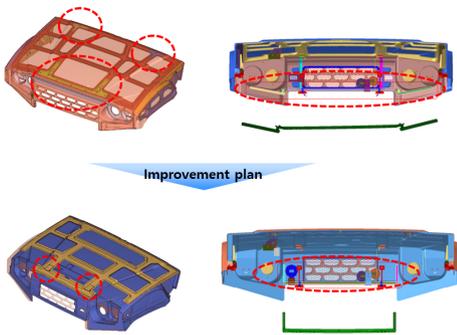


Fig. 9. The design plan for minimizing steel reinforcement

2.3 후드조립체 개선품 검증 방안

2.3.1 후드조립체 전선해석 방안

개선방안이 수립된 후드에 대한 개선효과 검증을 위한 시험평가에 앞서 후드 설계 개선방안의 효과성을 확인하고 시험평가 간 중점적으로 확인이 필요한 부분을 검토

하기 위해 과거 유사 소재로 제작된 후방벤 조립체의 품질개선 시 활용한 사례가 있는 치환해석을 수행하였다. 치환해석은 GFRP의 비선형적 특성 상 절대적인 결과의 유효성 검증 및 확인이 상당히 어렵기 때문에 GFRP를 등방성 소재인 SPCC로 치환하여 해석을 수행하였으며, 해석 결과는 절대적인 결과 분석 보다는 개선 전·후 부품에 대한 성능 및 내구도 등을 비교하여 개선 여부를 간접적으로 확인할 수 있는 방안으로 볼 수 있다[8].

전산해석은 Fig. 10과 같이 비틀림 변위량 해석, 벨지안로(Belgian road) 내구해석의 2가지 모드에 대해 수행하였다.

비틀림 변위량 해석은 후드의 힌지 및 고정부 4개소 중 전방 힌지 2개소와 후방 캐치 1개소를 고정하고 나머지 1개소에 수직 상부 방향으로 50 kgf의 하중을 부여하여 변위량을 확인하여 후드조립체가 갖는 구조적 비틀림 강성을 비교하기 위한 방안이다.

벨지안로 가속 내구해석은 군용 차량의 32,000 km 내구 주행 시험 시 도로의 가속도와 벨지안로의 가속도를 비교하여 차량에 32,000 km 내구 주행로에 상당하는 벨지안로의 주행거리를 설정하는 가속 내구시험으로 볼 수 있으며, 벨지안로를 통한 내구 주행거리(860 km)에 대한 노면 하중 이력을 통해 차량의 내구도를 검증하는 해석 방안으로 GFRP로 구성된 유사 부품의 품질개선 시 적용된 사례가 있으며, 본 연구에서는 후드조립체에 대한 내구도를 비교하고 실제 시험평가 시 확인이 필요한 부분을 식별하기 위한 방안으로 활용되었다[8,9].

2.3.2 후드조립체 시험평가 방안

후드 개선품에 대한 시험평가는 Fig. 10과 같이 후드 단품에 대한 비틀림 강성, 비틀림 진동 내구시험과 후드 조립체의 운용 환경 변화에 따라 후드 상단부를 밟는 경우를 고려하여 신규로 시험 방안을 수립한 반복 하중 내구시험, 한계하중 시험 그리고 후드를 차량에 장착하여 차량 조립 상태에서 후드의 내구도를 평가하는 벨지안로 내구도 시험을 수행하였다.

비틀림 강성 시험은 전산해석의 비틀림 변위량 해석과 동일한 조건으로 전방 힌지 2개소와 후방 캐치 1개소를 고정하고 남은 캐치 1개소에 50kgf의 하중을 부여하여 후드를 비틀어 변위량을 측정함으로써 후드의 구조적 비틀림 강성을 확인할 수 있는 시험이다.(후드 구조 Fig. 11 참조)

비틀림 진동 내구시험은 차량 전방 힌지부 2개소에 ± 1.2 mm의 변위를 30 Hz의 주파수로 부여하여 100

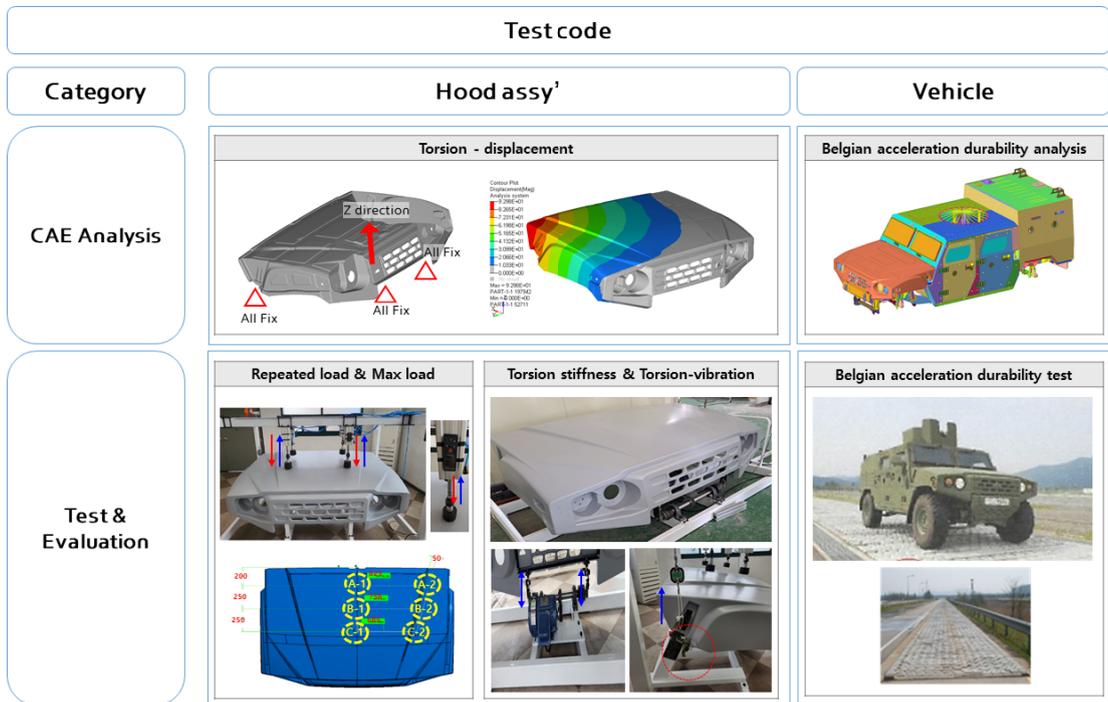


Fig. 10. The CAE analysis and test plan for verification of hood's improvement

만회를 수행하는 시험으로 Fig. 11과 같이 후드의 전방 힌지 2개소는 프레임에 고정되고 후방 캐치 2개소는 운전실 조립체에 장착되어 차량 운용 간 후드에 가해지는 비틀림 진동에 대한 내구성을 확인하기 위한 시험이다.

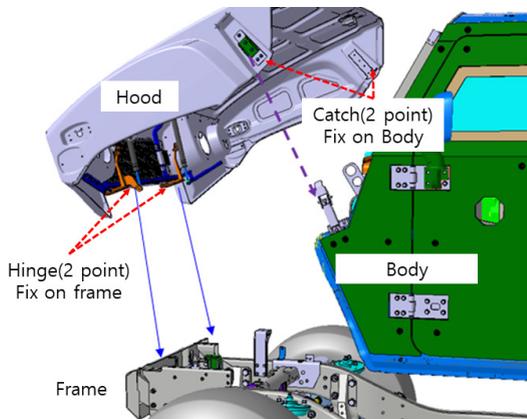


Fig. 11. The structure of the hood mounted on vehicle

비틀림 진동 내구 시험은 기존에도 부품의 성능 기준으로 수립된 항목으로 개선품에 대한 동등 이상의 성능 만족여부를 확인하였다. 다만, 본 연구에서는 추가적으로 비틀림 진동 내구시험 전·후 후드 상부 6개소(Fig. 10

반복 하중 내구시험 위치 6개소와 동일)에 100 kgf의 하중을 부여하는 조건과 후드 캐치 1개소에 50 kgf의 하중을 부여하는 조건에 대해 각각 변위 변화량을 측정하여 내구 전·후 제품에 대한 강성 유지 여부를 확인하였다.

반복 하중 내구시험은 후드 상부를 밟는 운용개념에 대한 성능 검증을 위한 시험으로 금번 연구를 통해 신규로 시험 방법 및 기준을 수립하였다. 반복 하중 내구시험은 차량을 운용하는 환경을 분석하여 선정하였으며, 운용자의 몸무게와 운용자가 장착하는 기타 장비류 등을 고려하여 한쪽 발에 작용하는 힘을 100 kgf로 선정하였다. 하중이 부여되는 크기는 운용자가 착용하는 신발 앞굽 크기를 고려하여 \varnothing 100 mm로 선정하였고 하중을 부여하는 시험기의 재질은 운용자가 착용하는 신발과 유사한 경도를 갖는 고무재질로 선정하였다. 하중을 부여하는 위치는 사용자가 후드 상부를 밟을 때 주로 밟게 되는 위치를 확인하여 Fig. 12와 같이 6개소를 선정하였다. 내구 횟수는 운용자로부터 획득한 후드 상부 작업 횟수를 바탕으로 안전율 등을 고려하여 5,000 회로 선정하였으며, 하중 부여 위치 6개소 중 2개소(A-1/A-2, B-1/B-2, C-1/C-2) 씩 수행하였다. 반복 하중 내구시험은 내구시험 후 후드의 균열, 파손 등의 발생여부를 확인하였으며, 내구시험 전·후에는 100 kgf에 대한 후드

상부 하중에 대한 변위 변화량을 비교하여 내구 전·후 제품에 대한 강성 유지 여부를 확인하였다.

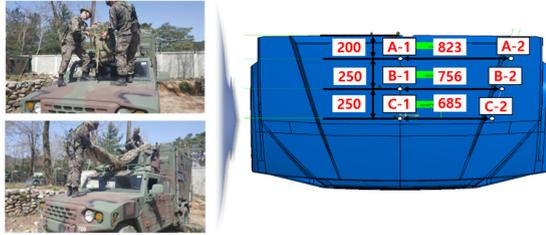


Fig. 12. The locations of load point on hood

최대 하중 시험은 후드가 견디는 최대 하중을 평가하기 위한 시험으로 하중 부위 위치에 대해 후드 상부에서 100 kgf에서 400 kgf 까지 지속적으로 하중을 증가하여 소재의 파손 여부를 확인하는 시험으로 반복 하중 내구 시험과 동일하게 6개소 중 2개소 씩 시험을 수행하였다.

벨지안로 가속 내구시험은 앞서 언급한 바와 같이 군용 차량의 내구 주행거리 32,000 km에 준하는 벨지안로의 노면 가속도를 분석하여 가속 내구시험을 수행하는 방안으로 벨지안로 가속내구 시험 조건은 차량 속도 25 ~ 30 km/h의 속력으로 벨지안로 주행거리 860 km로 설정하였다. 벨지안로 가속 내구시험은 개선 후 제품에 대해서만 수행하였으며, 이는 개선 전 제품은 개발 및 최초양산 당시 32,000 km 내구 주행을 통해 내구도가 검증된 것으로 판단하였기 때문이다.

2.4 후드조립체 개선품 CAE 해석 결과

2.4.1 비틀림 변위량 전산해석 결과

후드에 대한 비틀림 변위량 전산해석 결과는 Fig. 13과 같으며, 개선 전 제품은 50 kgf 하중에 대해 27.51 mm의 변위를 보인 반면 개선 후 제품은 동일 하중에 대해 약 28 % 감소한 19.71 mm의 변위를 보였으며, 이를 통해 보았을 때 후드의 비틀림 강성(k)은 Eq. 1의 식을 활용하여 계산하면 개선 전 1.82 kgf/mm, 개선 후 2.54 kgf/mm로 약 39 % 향상됨을 확인할 수 있었다.

$$F = kx \quad (1)$$

Where, F denotes load, k denotes torsional stiffness, x denotes displacement

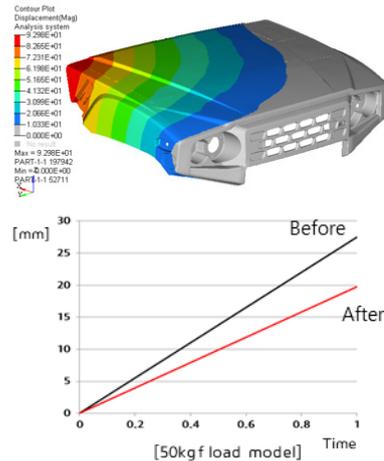
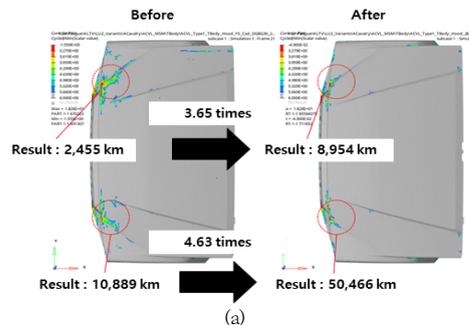


Fig. 13. The results of torsion-displacement analysis

2.4.2 벨지안로 가속 내구해석 결과

벨지안로 가속 내구해석 결과 Fig. 14와 같이 개선 후 제품이 개선 전 제품에 비해 전반적으로 1.5 ~ 20.9 배의 내구수명이 증대된 것으로 확인되었다. 다만, 후드 앞쪽에 위치한 램프 마운트 부근에서는 Fig. 15와 같이 개선 후 제품이 개선 전 제품에 비해 내구도가 0.21배 수준인 것으로 해석되었다. 해당 부위는 Fig. 9와 같이 스틸 구조물의 보강재가 적용되는 부분으로 개선 전 제품은 램프 마운트 부위 하단부를 지지하는 구조인 반면 개선 후 제품은 후드 자체의 강성을 향상시킴으로써 램프 마운트 하단부의 스틸 구조물을 적용하지 않았다. 또한, 강성 보안을 위해 외판 + 보강재 + 내판 구조로 변경하면서 수행된 생산 공법에서 발생하는 내용이 해석 시에는 완전히 반영되지 않음에 따라 이러한 결과가 발생된 것으로 보인다. 따라서, 해당 부위는 앞서 해석 방안에서 언급하였듯이 실차 벨지안로 가속 내구시험 및 진동내구 시험 등을 수행하면서 해당 부위의 균열, 파손 여부를 집중적으로 확인하였다.



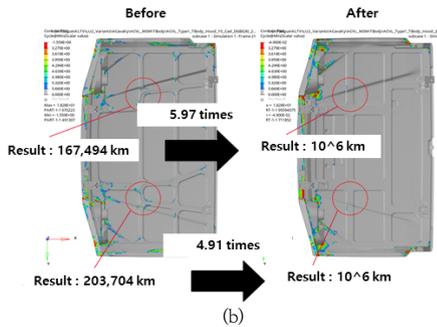


Fig. 14. The results of acceleration durability analysis (a) Hood outer plate (b) Hood inner plate

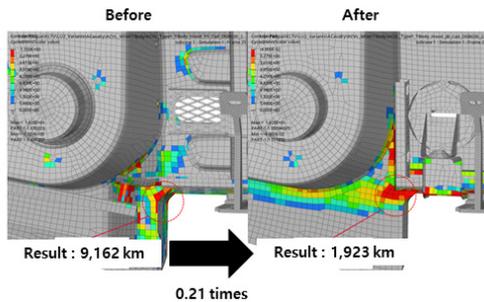


Fig. 15. The results of acceleration durability analysis near lamp mount area

2.5 후드 개선방안 검증시험 결과

2.5.1 반복 하중 내구시험 결과

반복 하중 내구시험 수행 결과 개선 전·후 제품 모두에서 5,000회의 내구시험 동안 소재의 균열 현상은 발생

[Unit : mm]

| Load-displacement | Before | | After | |
|-------------------|--------|-----|-------|-----|
| | #1 | #2 | #1 | #2 |
| A-1 | 1.8 | 2.3 | 1.8 | 1.0 |
| A-2 | 1.3 | 1.3 | 1.0 | 1.2 |
| B-1 | 0.7 | 2.1 | 0.8 | 1.5 |
| B-2 | 1.2 | 1.5 | 1.2 | 1.3 |
| C-1 | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.2 |
| C-2 | 1.1 | 1.0 | 0.7 | 0.8 |
| Avg. | 1.44 | | 1.15 | |

Fig. 16. The results of repeated load durability test

되지 않아 후드 상부를 밟는 조건에 대해서는 성능을 만족하는 것으로 확인되었다.

내구시험 전·후 하중 부여위치 6개소에 대해 100 kgf 하중에 대한 변위 변화량 확인 결과 Fig. 16과 같이 대부분의 위치에서 개선 후 제품의 변위 변화량이 적은 것으로 확인되었으며, 모든 위치에 대한 내구 전·후 100 kgf 하중에 대한 변위 변화량의 평균값은 개선 전 제품의 경우 평균 1.44 mm, 개선 후 제품의 경우 평균 1.15 mm로 확인되어 개선 후 제품이 내구시험 이후에도 더 강한 것으로 확인되었다.

2.5.2 최대하중시험 결과

후드가 외부 하중에 견디는 최대 능력을 측정하기 위한 최대하중시험을 수행한 결과 개선 전 제품은 A 위치 2개소의 경우 240 kgf, C 위치 2개소의 경우 160 kgf에서 소재의 파손이 발생되었다. B위치에 대해서는 A 위치에서 파손에 의한 영향으로 정확한 데이터 확보가 제한될 것으로 판단되어 시험을 생략하였다. 이에 반해 개선 후 제품은 개선 후 제품은 A, B, C 모든 위치에서 400 kgf 까지 제품의 파손이 발생되지 않아 최대 하중에 대해 견디는 제품의 강성이 개선되었음을 확인할 수 있었다. 앞선 반복 하중 내구시험과 한계 하중시험 결과를 토대로 보았을 때 후드 상부에 더 큰 하중이 작용하거나 하중이 작용하는 횟수가 증가되는 경우 개선 후 제품의 개선 효과가 더 클 것으로 판단된다.



Fig. 17. The results of maximum load test(C-1 point)

2.5.3 비틀림 강성 시험 결과

후드 개선 전·후 제품에 대해 비틀림 강성 시험을 수행한 결과 개선 전 제품의 경우 평균 변위량은 7.0 mm로 비틀림 강성은 Eq. (1)에 의해 7.14 kgf/mm, 개선 후 제품의 경우 평균 변위량이 2.5 mm로 비틀림 강성은 20.0 kgf/mm로 확인되었다. 시험 결과 개선 후 제품의 비틀림 변위량은 약 64 %가 감소하였으며, 비틀림 강성은 약 185.7 % 향상되었음을 확인할 수 있었다.

후드 개선품에 대한 비틀림 강성 전산해석 결과와 실제 시험의 결과를 비교해보면 해석 대비 실제 시험의 결과에서 비틀림 강성이 약 7.8배 높은 것으로 확인되었으며, 이 결과로 미루어 볼 때 단순 치환해석을 통해 수행한 해석 결과가 실제와는 상당한 차이는 있으나 개선의 경향성을 확인이 가능함을 확인하였다.

2.5.4 비틀림 진동 내구 시험 결과

비틀림 진동 내구 시험 수행 결과 개선 전·후 제품 모두 내구시험 후 소재의 균열은 확인되지 않았으나 GFRP의 표면을 매끄럽게 하기 위해 도포하는 표면 코팅층(Gel coat)의 균열이 개선 전 제품의 경우 60만회에 5건을 시작으로 100만회 완료 이후 총 7건이 확인되었으며, 개선 후 제품은 100만회 이후에 7건이 확인되었다. 또한, 개선 전 제품의 경우에는 4군데의 접합부에서 균열이 확인되었다.(Fig. 18 참조) 벨지안 내구해석 결과를 통해 확인된 후드 전방부 램프 하우징 부위에 대해 비틀림 진동 내구 시험 후 균열 여부를 확인한 결과 균열은 확인되지 않았다.

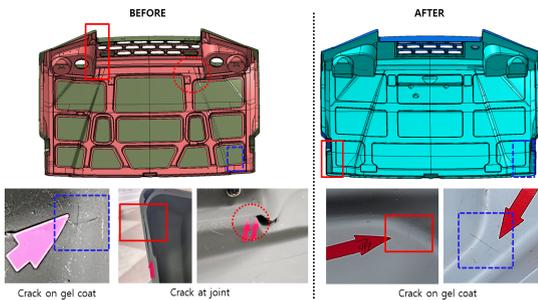


Fig. 18. The results of torsional vibration durability test(1)

비틀림 진동 내구시험 전·후 100 kgf 하중에 대한 변위 변화량 및 비틀림 변위 변화량을 측정된 결과 Fig. 19와 같이 100 kgf 하중에 대해서는 개선 후 제품의 변위 변화량 평균값이 약 70 % 감소됨을 확인되었고, 비틀림 하중에 대해서는 약 64 %의 변위 변화량 감소 및 비틀림 강성 향상(약 185.7 %)이 확인되어 비틀림 진동 내구시험 후 수행된 변위 변화량 시험을 통해 개선 후 제품이 개선 전 제품에 비해 강건함을 확인할 수 있었다.

[Unit : mm]

| Category | Area | Before | | After | |
|----------------------|------|-------------|-----|-------------|-----|
| | | #1 | #2 | #1 | #2 |
| Load - displacement | A-1 | 2.9 | 3.5 | 0 | 0.5 |
| | A-2 | 4.1 | 4.5 | 0 | 0.5 |
| | B-1 | 5.2 | 4.0 | 2.5 | 2.0 |
| | B-2 | 4.6 | 4.5 | 3.0 | 1.1 |
| | C-1 | 1.5 | 1.5 | 0.5 | 0.5 |
| | C-2 | 1.0 | 2.5 | 1.0 | 0.5 |
| | Avg. | | 3.3 | | 1.0 |
| Torsion-displacement | - | 6.0 | 8.0 | 3.0 | 2.0 |
| | Avg. | 7.0 | | 2.5 | |
| Torsional stiffness | Avg. | 7.14 kgf/mm | | 20.0 kgf/mm | |

Fig. 19. The results of torsion-vibration durability test(2)

2.5.5 벨지안로 가속 내구시험 결과

후드 개선 후 제품을 적용한 차량에 대한 벨지안로 가속 내구시험을 수행한 결과, 제품의 강성에 영향이 없는 표면의 젤코트 크랙이 일부 확인되었으며 벨지안로 시험 조건에 대한 내구해석 결과 취약부로 확인된 전방 램프 마운트 부위에서의 균열, 파손 현상은 확인되지 않았다. 위 결과를 분석하였을 때 내구 해석 간 식별된 취약부인 전방 램프 하우징 부위는 해석 시 치환해석을 수행한 점과 실제제품의 제작 공법이 해석에 완전히 반영되지 못한 부분 그리고 제품 강성확보에 따른 금속 소재 보강재의 적용부위 변경에 의해 발생된 것으로 보이며, 시험을 통해 개선 전 제품과 동등 이상의 내구도를 가지는 것으로 확인되었다.

3. 결론

군용 전술차량에 적용된 GFRP 소재의 후드 조립체에 대한 품질문제 개선 및 운용환경 변화에 따른 강성 향상을 위해 다음과 같은 설계 개선방안을 수립하였으며 이에 대한 개선 효과는 다음과 같다.

첫째, 후드조립체 구조 변경(외판 + 보강재 → 외판 + 보강재 + 내판)을 통한 부품의 강성 향상으로 운용 환경 변화에 대한 제품의 성능 확보 및 스틸 구조물 보강재 최소화를 통한 품질문제점을 해소하였다.

둘째, 후드조립체 구조 변경에 대한 제작성 확보를 위한 성형 방법 변경(RTM 공법 → 수직층법) 및 이를 통한

RTM 제작 공법 상 구조적으로 발생하는 접합부 균열 문제점을 해소하였다.

후드조립체 개선 방안에 대한 검증을 위해서는 CAE 해석과 실제제품을 통한 시험 평가를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, CAE 해석 수행 결과 : 개선품의 강성 및 내구도가 전반적으로 향상되었으나, 전방 램프 하우징 부위의 스틸 구조물의 축소로 인한 내구도 저하가 확인 되었다. 다만, 해당 부위는 실차 시험평가를 통해 충분한 내구도를 갖는 것으로 확인하였다.

둘째, 시험평가 결과 : 시험평가는 기존의 성능 기준인 차량 상태 32,000 km 내구도시험 및 진동 내구 시험을 비롯하여 제품의 강성 개선 효과 등을 검증하기 위해 비틀림 강성시험을 수행하였으며 운용환경 변화에 따른 반복 하중 내구시험과 한계하중 시험 등을 새롭게 수립하여 시험을 수행하였고 최종적으로 개선 후 제품의 강성 향상 및 품질개선 효과를 확인할 수 있었다.

본 연구를 통해 GFRP 소재로 제작된 후드조립체의 품질문제를 해소하고 운용환경 변화에 따른 제품의 강성 향상을 수행하고 이에 대한 검증을 통해 개선효과를 확인할 수 있었으며, 향후 동일 또는 유사한 복합소재의 구조물에 대한 개발 또는 강성 확보 시 개선방안, 시험평가 방안 등이 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Y. M. Ryu, E. P. Yoon, S. H. Lee, "Stiffness comparison with design of GFRP roof panels prepared by RTM method", *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 6, No. 4, pp. 32-38, 1998.
- [2] S. J. Kim, J. W. Park, S. G. Kim, T. W. Kang, C. H. Shin, "A study on the way to improve strength of LTV's FRP structures by optimizing laminated structure", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 20, No. 5, pp. 468-476, Dec. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.5.468>
- [3] H. W. Jung, Y. S. Min, B. J. Jo, J. H. Lee, "A study on the stiffness characteristics of CFRP frame for light electric vehicles", *Proceedings of fall KSAE Conference*, Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Jeju, Korea, pp.892-895, November 2020.
- [4] J. H. Mun, K. D. Han, S. H. Hong, Y. G. Kweon, R. M. Do, "A study on development of automobile parts using CFRP", *Proceedings of the KSMPE conference*, The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Jeju, Korea, pp. 59, November 2011.

- [5] H. K. Choi, S. Y. Kwon, "A study on the structural strength assessment of FRP composites boat", *Journal of the Korea Ship Safety Technology Authority*, No. 28, pp. 46-63, 2010.
- [6] H. C. Song, J. S. Yeom, "A study of the mechanical properties of fiberglass reinforcements with constitution of lay-up, manufacturing method and resin", *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 24, No. 5, pp. 75-80, October 2010.
- [7] K. W. Kim, D. K. Kang, M. K. Baek, J. H. Park, "A study on the strength characteristics of the FRP bonding method", *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 21, No. 6, pp. 778-783, December 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2015.21.6.778>
- [8] J. W. Park, D. H. Kim, B. G. Song, S. J. Kim, S. J. Yun, "A study on the way to improve the rear van's durability of korean light tactical vehicle", *Journal of Korean Society Quality Management*, Vol. 46, No. 2, pp. 269-282, June 2018.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7469/JKSQM.2018.46.2.269>
- [9] K. Suh, M. Yu, M. Lim, C. Jeong, "Durability analysis on the prototype of a korean light tactical vehicle", *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 21, No. 3, pp. 148-156, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.7467/KSAE.2013.21.3.148>

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 세 영(Se-Young Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 경상대학교 전자공학과 (공학사)
- 2021년 8월 : 경상국립대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2022년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방, 정보통신