

## 개선된 RTM 공법을 적용한 고강도 복합재 스포일러 설계 및 해석 연구

이용규<sup>1</sup> · 박현범<sup>1,†</sup><sup>1</sup>군산대학교 기계공학부

## A Study of the Design and Analysis of High Strength Composite Spoiler Applied to the Modified RTM Manufacturing Method

Yonggyu Lee<sup>1</sup>, Hyunbum Park<sup>1,†</sup><sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Kunsan National University

## Abstract

In this study, the design of spoiler applied to composite material was performed. The GFRP composite was adopted. Aerodynamic design was performed by analyzing the aerodynamic load of the target structure. As the applied velocity conditions, a normal speed of 80 km/h and a maximum speed of 90 km/h were applied. The aerodynamic design results were verified through CFD analysis. Structural design and analysis were performed by investigation of the aerodynamic design results. A prototype was manufactured by reflecting the structural design results. The manufacturing method applied the improved RTM method. The validity of the design results was investigated through final test and evaluation.

## 초 록

본 연구에서 복합재료를 적용한 스포일러의 설계 연구를 수행하였다. 적용된 재료는 유리섬유 복합재료가 채택되었다. 대상 구조물의 공력 하중을 분석하여 공력 설계를 수행하였다. 적용 속도 조건은 정상 속도 80km/h 속도와 최고 속도 90km/h가 적용되었다. 공력 설계 결과는 CFD 해석을 통해 검증하였다. 공력 설계 결과를 검토하여 구조 설계 및 해석을 수행하였다. 구조 설계 결과를 반영하여 시제품을 제작하였다. 제작 공법은 개선된 RTM 공법을 적용하였다. 최종 시험 평가를 통해 설계 결과의 타당성을 검증하였다.

**Key Words** : Structural Design(구조 설계), Structural Analysis(구조 해석), Composite Structure(복합재 구조), RTM(수지 주입 공법)

## 1. 서 론

항공우주 분야 및 자동차 분야에서 공기력에 대한 항력을 저감시키기 위해 다양한 연구가 수행되고 있다. 또한 경량화를 위해 복합재료 적용이 활성화 되면서 기존의 오토클레이브 공법을 탈피하여 제작 비용을 절감하는 공법에 대한 연구도 많은 분야에서 시도되고

있다. 기존의 저비용 복합재료 성형 공법은 수적층 공법(Hand Lay-up) 성형 공법으로 상형 몰드 없이 하형 몰드면에 적층하여 제품을 탈형하는 방법으로 품질이 저하되는 특성이 있다. 이를 개선한 오토클레이브 공법은 열과 압력을 동시에 가하기 때문에 제품의 품질이 대단히 우수하지만 고가의 장비 설치 비용이 추가 되는 단점이 있다. 이를 개선하기 위해 수지 주입 공법인 RTM 공법이 다양하게 개발되고 있다.

본 연구에서는 항공기 스포일러의 유동 해석 기법을 활용하여 자동차 항력을 감소시키기 위한 스포일러 설계 연구를 수행하였다. 제작 공법은 RTM 공법을 개선

Received: Jan. 28, 2023 Revised: Mar. 11, 2023 Accepted: Mar. 13, 2023

† Corresponding Author

Tel: +82-63-469-4729, E-mail: swordship@kunsan.ac.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

한 저압 수지 주입 공법인 LPI-RTM 공법을 채택하였다. 따라서 이를 적용하기 위한 구조 설계를 수행하였다. LPI-RTM 공법은 상형 및 하형 몰드를 이용하여 수지를 주입하는 성형 공법으로 품질이 우수한 구조물을 제작할 수 있다.

본 연구에 앞서 국내외 선행 연구 결과를 검토하였다. 스포일러 및 페어링에 대한 연구 동향을 분석한 결과 트럭의 루프 페어링의 공력 형상 특성을 연구한 사례가 있었다[1]. Gilhaus 등은 트럭의 공기역학적 항력에 대한 캡 형상의 영향을 분석하였다[2]. Garry 등은 상용차의 항력을 저감시키는 컨테이너 집합 장치를 설계하였다[3]. Han 등은 대형 트럭에 사용된 공기 저항 장치를 연구하였다[4]. Kim 등은 캡 루프 페어링에 대한 연구를 수행하여 운전 상황의 안정성을 연구하였다[5]. 선행 연구 분석 결과 대부분의 연구는 공력 형상에 대한 연구이다. 따라서 본 연구에서 차별화하여 제작 관점에서 새롭게 개선된 복합재료 제작 공법으로 공력 형상 설계 결과에 대해 구조 형상 제작성에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 공력 설계

항공기의 스포일러는 양력을 줄여서 고도를 낮추거나 속도를 제어하는 장치이다. 또한 페어링은 내부 구조물을 보호하는 유선형 덮개이다. 이를 응용하여 자동차에도 스포일러 개념으로 적용하여 수송 차량 등은 운전석 위의 항력을 저감시킨다. 상용차에 있어서 운전석 위의 스포일러는 연비를 상승시키는 효과가 있다. 버스나 대형 트럭들은 최대의 인원/화물을 운반해야 하는 속성상 공기역학적 특성을 적용하는 데 한계가 있다. 이에 따라 주행 중 공기의 마찰을 크게 받는 면적이 상당히 크게 된다. 스포일러를 장착하게 되면 주행 시 공기와의 마찰을 줄여 스포일러가 장착되지 않은 차량에 비해 연비가 약 15% 정도 상승하는 효과를 얻을 수 있다. 또한 루프에 직사광선이 전달되는 것을 차단하므로 운전석의 온도상승을 억제하여 에어컨 사용 등 에너지 절약의 효과를 가져 올 수 있다.

본 연구에서는 5톤급 트럭에 장착이 가능한 스포일러의 공력 설계를 수행하였다. 공력 설계를 위한 이론

은 유동 해석을 분석하기 위한 랭킨반체이론을 적용하였다. 본 연구에 앞서 선행연구에서 랭킨 반체 이론을 적용하여 페어링에 대한 연구를 수행한 바 있다[6]. 본 연구에서도 동일한 이론을 적용하여 스포일러 설계를 수행하였다. 랭킨 반체 이론은 유체의 균일한 흐름과 유체의 원점에서 발생하는 흐름을 통해 생성되는 유동의 흐름을 분석하여 유동 해석에 적용하는 이론이다.

대상 구조물의 속도 조건은 상용차 운행을 고려하여 정상 속도 80km/h 속도와 최고 속도 90km/h를 분석하여 공력 형상 설계를 수행하였다. 또한 스포일러 형상이 장착이 용이하도록 변할 수 있는 가변형으로 설계하였다. Figure 1은 공력 설계를 수행하여 3차원 형상을 모델링한 결과이다.

공력 설계 결과에 대한 성능 평가를 위해 유동 해석 소프트웨어를 활용하여 유동 해석을 수행하였다[7]. Figure 2는 유동 해석을 위한 경계조건을 보여주고 있다. 해석 범위는 대상 구조물에 발생하는 유동 박리를 충분히 회복할 수 있는 영역으로 설정하여 적용하였다. 스포일러의 형상은 가변형으로 낮은 형태의 스포일러의 경우 정상 속도 80km/h와 최고 속도인 90km/h의 두 가지 속도에 대해 유동해석을 수행하였다. 수행 결과 스포일러가 작동하지 않는 경우 압력 분포가 높아 저항이 높은 것을 확인하였다. Figure 3은 80km/h의 속도에서 낮은 형태의 스포일러에 대한 공력 해석 결과이다. Figure 4는 90km/h의 속도에서 높은 형태의 스포일러에 대한 공력 해석 결과이다. 높은 형태의 스포일러의 경우에도 정상 속도 80km/h와 최고 속도인 90km/h의 두 가지 속도에 대해 유동해석을 수행하였다. 수행 결과 스포일러가 작동하는 경우 압력 분포가 낮아 저항이 낮은 것을 확인하였다. Figure 5는 80km/h의 속도에서 낮은 형태의 스포일러에 대한 공력 해석 결과이다. Figure 6은 90km/h의 속도에서 높은 형태의 스포일러에 대한 공력 해석 결과이다. 공력 해석 결과 스포일러가 장착되면 20%의 항력 감소가 있는 것으로 분석되었다. 최종 설계된 공력 형상으로 구조 설계를 수행하였다.

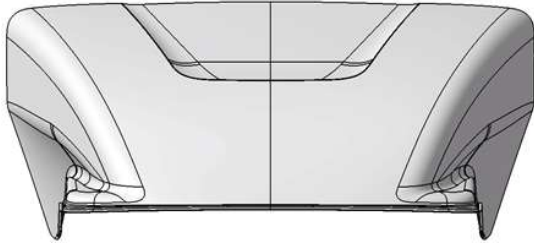


Fig. 1 Aerodynamic Design Result

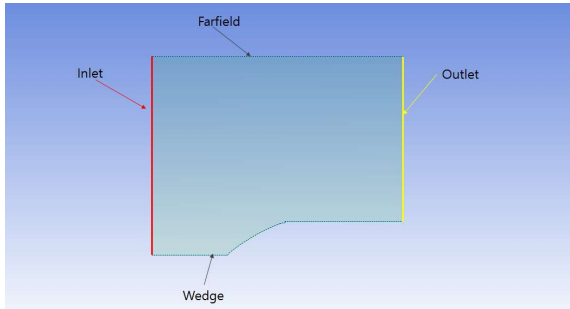


Fig. 2 Boundary Conditions for CFD Analysis

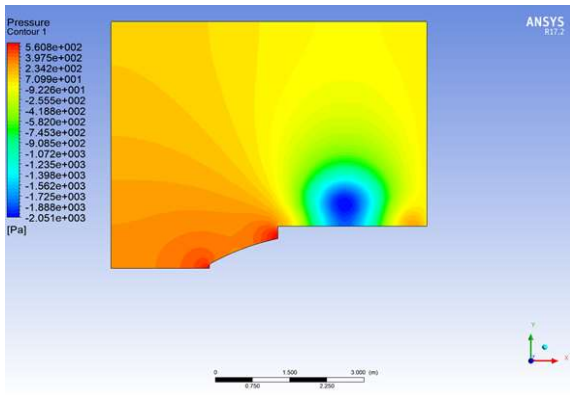


Fig. 3 CFD Analysis Result of Low Spoiler, 80km/h

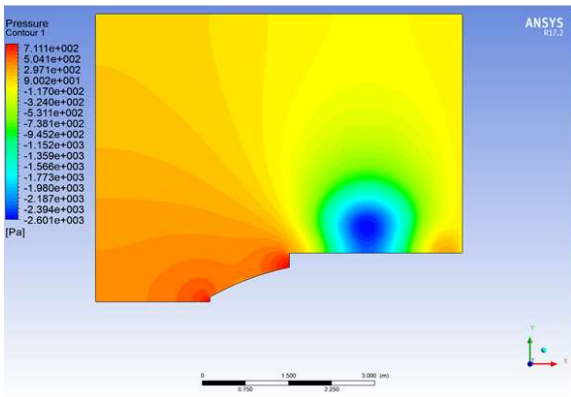


Fig. 4 CFD Analysis Result of Low Spoiler, 90km/h

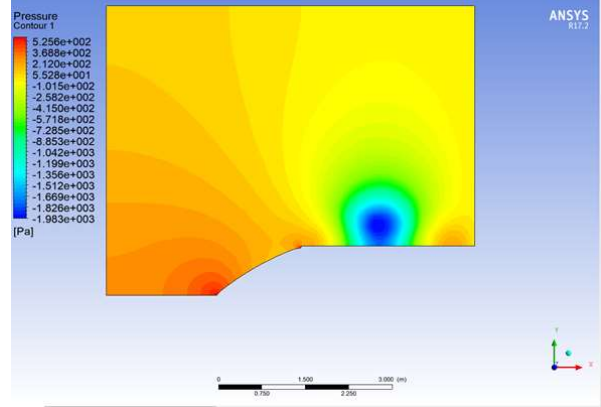


Fig. 5 CFD Analysis Result of High Spoiler, 80km/h

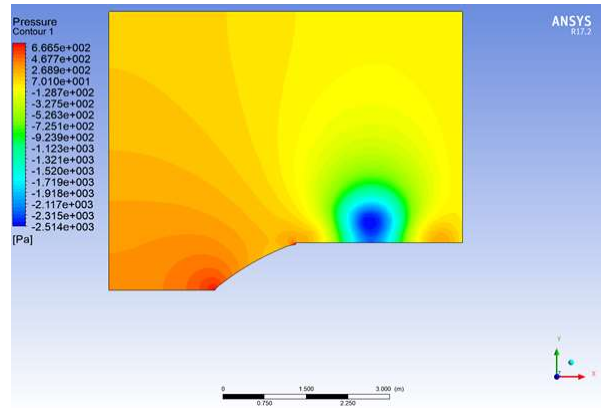


Fig. 6 CFD Analysis Result of High Spoiler, 90km/h

### 3. 구조 설계

구조 설계를 위해서 먼저 적용할 재료를 선정해야 한다. 본 연구에서는 비교적 저렴한 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic) Woven Fabric 복합재료를 선정하였다. 구조 설계를 위해 시편을 제작하여 재료의 기계적 물성치를 파악해야 한다. 인장강도는 ASTM D3039 복합재 인장 시험 규정을 적용하여 강도를 확인하였다[8]. 굴곡강도는 ASTM D790-17을 적용하여 시험을 수행하였다[9]. Table 1에 인장강도와 굴곡강도 시험 결과를 제시하였다. 시편 시험은 총 5개씩 시편 시험을 수행하여 평균값을 분석하였다. 본 연구에서는 기존의 RTM 제작 공법에서 진공 부위를 개선하여 제품의 질을 개선하였다.

**Table 1** Mechanical Properties of GFRP Specimen

Tensile Strength	325 MPa
Flexural Strength	307 MPa

시편 시험에 의한 재료의 기계적 물성치 결과를 적용하여 구조 설계를 수행하였다. 구조 설계 하중은 스포일러 상부의 압력 분포를 분포 하중으로 적용하여 구조 설계를 수행하였다. 구조 설계 결과는 하중 변화가 크지 않아서 전체 균일한 두께로 12mm로 적층 두께를 결정하였다. 1플라이 두께는 0.25mm의 GFRP가 적용되었다. 따라서  $[0^\circ/90^\circ]_{48}$  적층수로 결정되었다. 설계 결과를 검토하여 중량을 확인한 결과 기존의 스포일러와 비교하면 10%의 중량이 절감된 것으로 확인되었다. 목표 요구 중량인 23kg 이하인 것으로 분석되었다. 구조 설계 결과를 반영하여 최종 시제품을 제작한 후 시험 평가를 수행하였다.

#### 4. 제작 및 시험 평가

본 연구에서 공력 형상 설계 이후 구조 설계를 통해 최종 적층수를 결정하였다. 구조 설계 결과를 반영하여 스포일러 제작을 수행하였다. 제작을 위한 공법은 RTM 공법의 진공 시스템을 개선하여 보다 품질을 향상할 수 있도록 하였다.

저압 수지 주입 RTM 공법으로 개선하였는데 이는 상부 몰드와 하부 몰드에 여러 개의 진공 라인을 장착하여 제조 비용을 감소시키고 효율을 증대시키는 방법이다. 기존의 RTM 몰드는 상부 금속과 하부 금속 몰드가 결합된 후 진공을 형성하기 위해 클램핑 작업이 대부분 수행된다. 이러한 클램핑 작업은 작업 시간이 다수 소요되는 문제점이 있어 작업 효율이 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 이러한 부분을 복합재료 재질의 상부 몰드부와 하부 몰드부 및 복수 개의 씰링부 및 진공 라인을 적용시켜 작업 효율을 증대시킬 수 있도록 개선하였다. Figure 7은 진공 부분을 개선하기 위한 개념 형상이다.

시제품 제작을 위해 먼저 몰드 제작이 선행되어야 한다. 개선된 공법을 적용하기 위해 진공 라인이 구축

될 수 있는 몰드를 제작하였다. Figure 8은 제작된 상형 몰드의 형상이다. 몰드가 제작되면 몰드에 이형처리를 한 후 겔코트를 도포하게 된다. Figure 9는 겔코트가 도포된 몰드의 형상이다. 겔코트가 도포되면 몰드에 구조 설계 결과를 반영하여 GFRP 섬유에 대한 적층을 수행하게 된다. Figure 10은 유리 섬유를 적층하는 과정을 보여주고 있다.

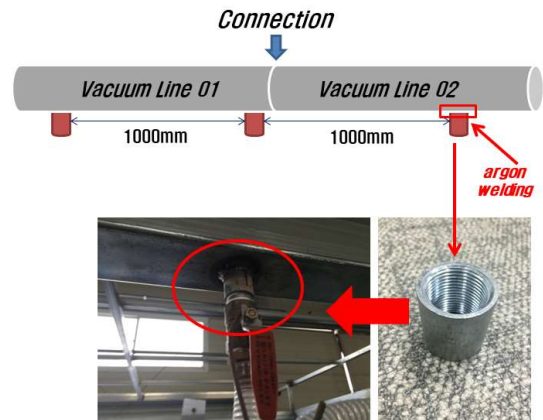
**Fig. 7** Modified Vacuum System**Fig. 8** Manufactured Mold**Fig. 9** Applied to Gelcoat on the Mold



Fig. 10 Lamination of GFRP on the Mold



Fig. 11 Demolding of Prototype to the Mold



Fig. 12 Manufactured Prototype

몰드에 유리섬유를 적층한 후 수지를 주입하고 배출구로 수지가 배출되도록 유도한다. 수지가 유리섬유에 모두 침투한 이후에 성형을 시작한다. 성형이 완료되면 경화 이후에 상형 및 하형 몰드를 분리하고 탈형하

여 시제품을 완성하게 된다. Figure 11은 몰드로부터 제품을 탈형 하는 장면이다. Figure 12는 최종 제작된 시제품 형상이다.

최종 시제품이 제작된 결과에 대해 중량 계측을 수행하였다. 중량 검토 결과 내부 구조물 8kg, 외부 구조물 14kg으로 총 22kg으로 계측되었다. 따라서 목표 요구 중량보다 절감된 중량인 것으로 평가되었다. Figure 13은 중량 계측 시험 결과이다. 또한 장착 부위의 끝단과 중앙 부분의 공차를 계측하여 검토한 결과  $\pm 5\text{mm}$  오차 이내인 것으로 확인되었다.



Fig. 13 Structural test for weight reduction

## 5. 결 론

본 연구에서 상용차에 적용되는 스포일러의 공력 설계 및 구조 설계를 수행하였다. 공력 설계를 위한 하중은 상용차 운행을 고려하여 정상 속도 80km/h 속도와 최고 속도 90km/h를 분석하여 설계를 수행하였다.

공력 설계 결과는 CFD 해석을 통해 성능을 검증하였다. 공력 설계 이후 구조 설계를 수행하였다. 구조 설계를 위한 재료의 물성치를 파악하기 위하여 GFRP 복합재료 시편의 강도 시험을 통해 기계적 물성치를 파악하였다. 구조 설계는 작용 하중에 대해 일정 두께 적용 방식으로 설계하였다. 구조 설계 결과는 구조 해석을 통해 구조 안전성을 평가하였다. 설계 결과의 타당성을 검증하기 위해 최종 시제품을 제작하였다. 제작 공법은 RTM 공법의 진공 부위를 개선하여 제품의 질을 향상하기 위한 개선된 RTM 공법을 적용하였다. 최종 제작된 시제품과 상용차와 장착성을 검토하였다. 총 5가지 부위의 결합 부위 공차를 검토한 결과 충분히 규정 이내로 설계된 것으로 확인되었다.

## 후 기

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원과 2018년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 2018R1D1A1B07043553)을 받아 수행된 연구임(P0012769, 2023년 산업혁신인재성장지원사업)

## References

- [1] C. H. Kim, C. B. Youn, "Aerodynamic effect of roof-fairing system on a Heavy-Duty Truck", *International Journal of Automotive Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 221-227, 2005.
- [2] Gilhaus. A. M. "The influence of cab shape on air drag of trucks." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 9, pp. 77-87, 1981.
- [3] Garry, K. P. "Development of container-mounted devices for reducing the aerodynamic drag of commercial vehicles. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 9, pp. 113-124, 1981.
- [4] M. S. Han, J. E. Cho, "Air resistance due to the deflector configuration of commonly used large trucks.", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, vol. 23, pp.

138-144, 2014.

- [5] J. J. Kim, J. W. Hong, S. J. Lee, "Bio-inspired cab-roof fairing of heavy vehicles for enhancing drag reduction and driving stability." *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 131-132, pp. 868-879, 2017.
- [6] Y. Lee, H. Park, "Fairing Design of Commercial Vehicles for Drag Force Reduction", *Journal of Aerospace System Engineering*, vol. 16, no. 2, 25-32, 2022.
- [7] ANSYS, ANSYS User's Manual Version 17.2, ANSYS Inc, 2016.
- [8] ASTM D3039 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.
- [9] ASTM D790-17 Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics.