

하이브리드 복합재 차체의 접합부 특성 평가

정종철*, 조세현*, 조현주*, 신광복**, 윤성호***

Evaluation for Joint performance of the Hybrid Composite Carbody Structure

Jong-Cheol Jeong*, Se-Hyun Cho*, Hyun-Joo Cho*, Kwang-Bok Shin**, Sung-Ho Yoon***

Abstract

Regarding some of the components of the Korean Tilting Train eXpress(TTX), the lightweight-vehicle development was mainly focused to this study, and so as using the materials, the existing material, steel or aluminum carbody was changed to the composite carbody with both design and manufacturing methods. Therefore the evaluation of the performance of joint strength between composite and metallic boundary area, especially the under frame and the carbody was required, and the compressive and the bending tests were conducted as the sub-scale specimen. In this evaluation, there was involved the sufficient strengths at the joint area between the underframe and the carbody, and is resulted as the increment of the safety factor through the observation of failure conditions.

Key Words: Composites, Hybrid Carbody, Composites Joint.

1. 서 론

철도의 고속화를 이루는 방안으로는 직선화되고, 발달된 레일 설비를 설치한 철도 노선을 새로 구축하고, 차량도 고속 운행이 가능한 고속차량을 제작하여 운행하는 방안과, 기존의 노선을 보완하여 최대한 활용하며, 고속화가 가능한 차량을 운행시키는 방법이 있다. 차량의 추진 성능은 이미 고속화 급에 도달하였기 때문에 이와 더불어 곡선 부분에서의 주행속도를 증가시키는 방법이 많은 관심을 받고 있다. 즉, 열차가 곡선 구간을 운행할 때 차량 몸체를 자동으로 기울이면서 원심력을 최소화해 곡선 구간을 속도의 감소 없이 안전하게 통과할 수 있고, 승객들의 승차감도 높일 수 있는 방안이다. 현재 철도 선진국에서는 틸팅 차량을 개발하여 기존의 선로를 개량하지 않고 신속한 수송에 대한 수요를 만족시키

고 있으며 국내에서도 틸팅차량에 대한 개발이 진행 중에 있다.

본 논문에서는 틸팅차량 시스템을 구성하는 여러 가지 중요한 요소 중 차량의 경량화에 관한 연구와 관련하여 기존의 스틸이나 알루미늄으로 제작되던 차체를 복합소재로 설계/제작함에 따라 발생되는 복합소재와 이종재질간의 접합부 특히, 언더프레임과 차체의 접합체결부분에 대한 성능평가에 대하여 기술한다.

2. 복합소재 차체의 구성

2.1 단면구성

틸팅차량의 차체는 그림 1.1에서와 같이 크게 스틸계열로 이뤄지는 언더프레임과 복합소재로 이뤄지는 측부/천정부/단부(이후 복합소재 차체라 함)로 구성된다. 복합소재 차체는 금속이 혼합된 하이브리드 개념의 차체로서 기본 구성은 주요 하중을 담당하는 일차구조물로서 탄소섬유와 알루미늄 하니콤폴트 구성된 샌드위치 구조물과 보

* (주)한국화이버 철도차량사업부

** 한국철도기술연구원

*** 금오공과대학 기계공학부

강 및 취부를 위한 스테인레스 스틸 재질의 보강재가 삽입된 세미모노코크 구조 이다.

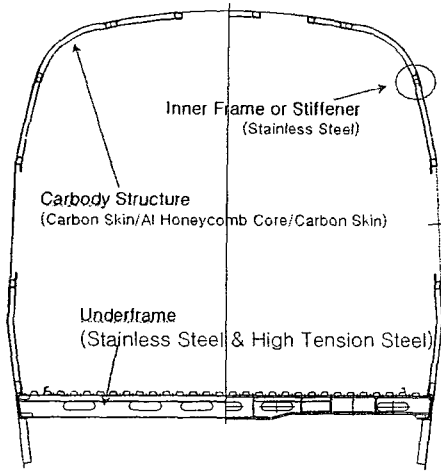


그림 1. 툴링 차체 단면 구성

복합소재 차체 부분은 일체 성형이 된 후 언더프레임에 조립된다. 따라서 복합소재 차체에 걸리는 상당부분의 하중은 언더프레임과 접합되는 체결부분에 작용하게 되므로 접합부에 대한 상세한 검토가 이뤄져야 한다.

2.2 접합 체결부 설계

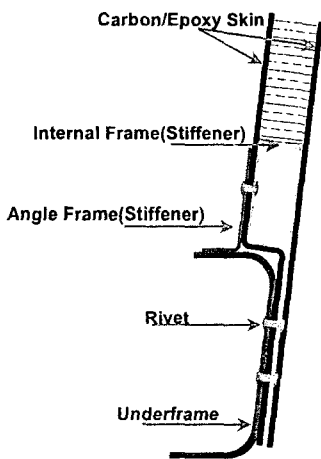


그림 2. 접합부 조립 개념도

복합소재 차체와 언더프레임과의 접합부 조립은 주요 하중을 담당하는 기계적 체결 방법과 방수, 방진, 방음 등과 같은 기능을 위한 접착 체결

을 동시에 적용하는 것을 기본으로 하여 설계를 수행 하였으며, 설계에서는 충분한 구조적인 강도의 확보, 제작성 및 실내에 취부되는 설비와의 간섭 등을 고려하여 여러 가지 안을 검토하고 이를 유한요소 해석을 통해 평가하여 접합 체결부의 단면 형상을 그림 2와 같이 확정하였다.

3. 접합 체결부의 특성 평가

접합 체결부의 특성 평가는 압축시험과 굽힘시험을 통해 접합부가 갖는 강도를 측정하고 이를 유한요소 해석의 결과와 비교하여 해석결과의 신뢰성을 평가 한 후, 120ton의 압축하중과 40ton의 수평하중이 차량에 작용하는 경우 접합부의 안전율이 어느 정도 되는지를 예측하였다.

3.1 접합부 시편 제작

접합부 시편은 실제 차체에 적용할 동일한 재질 및 두께로 하였으며 크기는 시험치구에 맞도록 폭100mm, 길이 450mm로 하였다. 제작방법 역시 동일한 절차를 적용하여 제작하였다. 제작공정은 그림3과 같다.

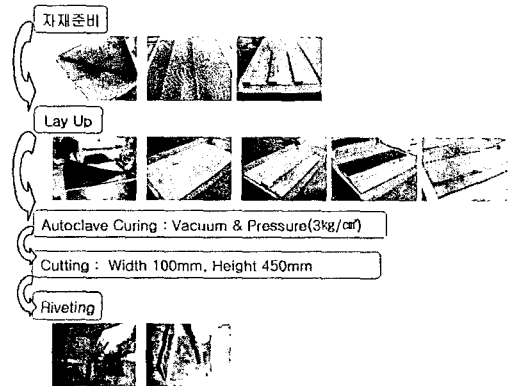


그림 3 접합부 시편 제작 절차

3.2 접합부 시험을 위한 치구 제작

시편에 가하는 적절한 하중조건을 적용하기 위해서는 특별한 치구가 필요하다. 그림 4에서와 같이 실제 차량의 언더프레임에 부착되는 형상을 유지하면서 하중을 부가할 수 있도록 취부부와 하중 부가 부를 각각 제작하였으며 하중시험기인

Zwick/Z100에 설치될 수 있도록 고정부를 설계하였다.

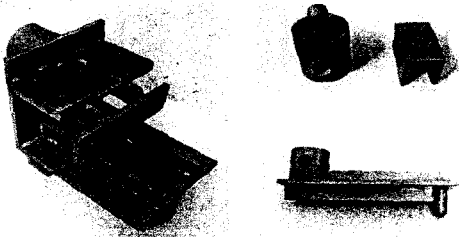


그림 4 접합 체결부 시험 치구형상

3.3 접합체결부 굽힘 특성 평가

접합 체결부의 굽힘시험을 위한 시험장비의 구성이 그림 5와 같다. 시험에 사용된 하중시험기는 Zwick/Z100이며 5.0mm/min의 변위제어상태로 연속적인 하중을 작용하였다. 변형률 측정은 Kyowa사의 단축게이지(G=2.11)를 사용하여 그림 6과 같이 8 군데를 측정하였다.

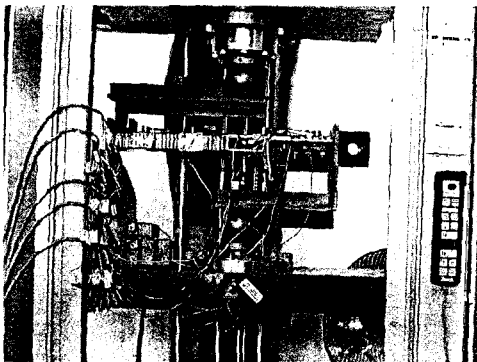


그림 5 접합 체결부 굽힘시험용 장비 구성

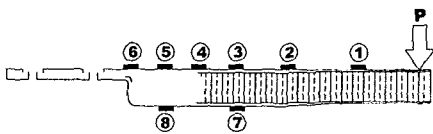


그림 6 게이지 부착 위치

굽힘 시험에 사용된 시편은 총 5개이며 평균 4kN의 굽힘 하중에서 파괴가 발생하였다. 그러나 그림 7과 같이 파괴의 양상을 살펴보면 재료의 파괴가 아닌 내부골조와 복합재료 간의 층간분리

가 주요한 원인임을 확인할 수 있다. 그림 8에 하중에 따른 처짐량을 나타내었으며 그림 9에 하중에 따른 변형률을 나타내었다.

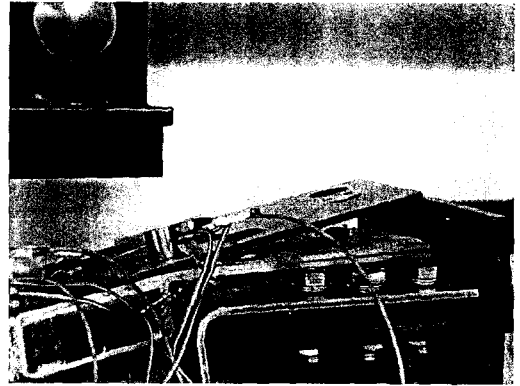


그림 7 굽힘시험 결과

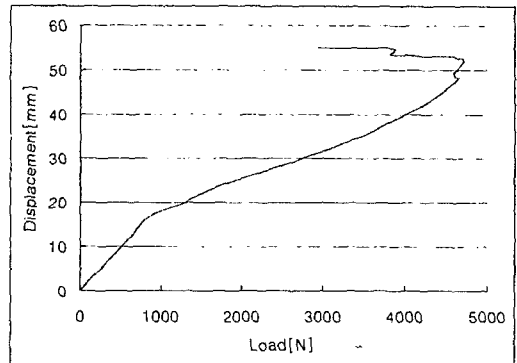


그림 8 하중-변위 선도

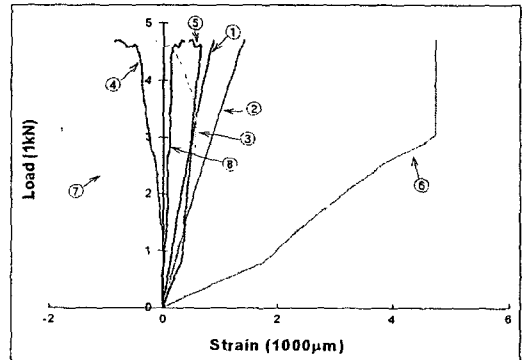


그림 9 하중-변형률 선도

3.3 접합체결부 압축특성 평가

접합체결부의 압축시험을 위한 시험장비의 구성이 그림 10과 같으며 사용된 하중시험기 및 계

이지의 개수/위치 등은 굽힘 시험과 동일하다.

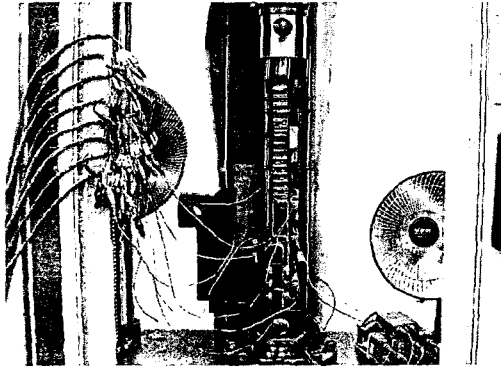


그림 10 접합체결부 압축시험 장치

압축시험 결과 그림 11과 같이 약 7ton의 압축 하중에서 스킨의 두께가 4t에서 2t로 변하는 부분에서 파괴가 발생하였다.

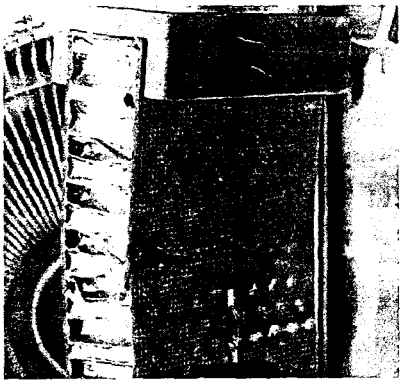


그림 11 압축하중에 의한 파괴

3.4. 접합체결부 특성평가 결과 고찰

접합체결부의 특성평가를 통해 압축하중이 걸리는 경우 충분한 안전율이 확보됨을 확인하였으나 굽힘하중이 작용하는 경우 접합체결부에서 층간분리가 발생하였다. 이것은 내부골조로 삽입되는 스테인레스 재질의 보강재와 카본/에폭시 재질의 스킨 사이의 접착성능 저하로 인해 발생하는 문제로 판단된다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 그림 12의 A와 같이 끝단부위를 이중재질로 접착된 상태로 끝나지 않게 하였으며 B의 경우와 같이 기존에 리벳 머리가 내부 골조만을 고정시키는 구조에서 전체를 고정하는 구조로 변경하여

층간분리가 쉽게 발생하지 못하도록 설계하였다.

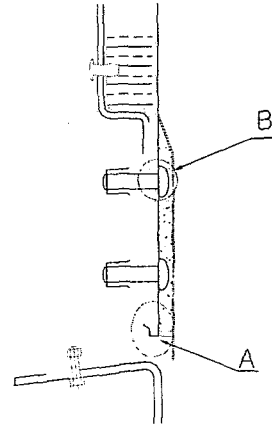


그림 12 접합 체결부 수정설계 결과

4. 결론

본 논문에서는 복합소재 차체와 언더프레임과 접합 체결되는 부분의 압축하중과 굽힘 하중에 대한 특성을 실험적인 방법으로 접근하여 평가하였다.

실험결과 굽힘 시험의 경우 약 4kN의 하중에서 층간분리로 인한 파괴가 발생하였고, 압축 시험의 경우 7ton 이상의 굽힘 하중에서 복합소재의 파괴가 발생하였다. 시험 결과와 실제 차체에 작용하는 하중과 비교한 결과 충분한 안전율이 확보됨을 확인하였다.

또한 접합부 시편의 파괴 형태에 대한 고찰을 통해 이중 재질 간에 쉽게 발생하는 층간분리를 억제할 수 있는 방안을 제시하였다.

후 기

본 연구는 철도청의 철도기술연구사업개발사업에 의해 지원되고 있으며 이에 감사드립니다.