

알루미늄 압출재와 샌드위치 복합재를 적용한 하이브리드 경량 모듈화 차체 구조물의 이종재료 접합기술 연구

A Study on the Joint Technique of Dissimilar Materials for Hybrid Lightweight Modular Carbody Structures made of Aluminum Extrusions and Sandwich Composites

장형진* 강승구* 신광복*† 한성호**
Hyung-Jin Jang Seung-Gu Kang Kwang-Bok Shin Sung-Ho Han

Abstract This paper is to introduce new method for joints of dissimilar materials for hybrid lightweight modular carbody structures composed of aluminum extrusions and sandwich composites. In order to improve the productibility, maintainability, stiffness and strength of joints between composites and aluminum extrusions, new joining technique using a slot coupling and liquid adhesive has been proposed in this study. The dimensions of joint parts such as adhesive length and thickness have been determined through finite element analysis and experiments. The results showed that the proposed joining technique has the advantages of having high structural stiffness and strength and reducing the weight in comparison with conventional joints using a rivet and adhesive film.

Keywords : Modular carbody structure, Sandwich composites, Slot coupler, Dissimilar materials, Joint technique

초 록 본 논문은 알루미늄 압출재와 샌드위치 복합재를 적용한 하이브리드 경량 모듈화 차체 구조물의 이종재료에 대한 새로운 접합방법에 대해 소개한다. 복합재와 알루미늄 압출재 접합부의 제작성, 유지보수성, 강성 및 강도를 향상시키기 위하여 본 연구에서는 슬롯결합과 액상접착제를 이용한 새로운 접합기술을 제안하였다. 이때, 유한요소해석과 시험을 통해 접착제 길이 및 두께 등의 접합부 치수를 선정하였다. 결과적으로 기존의 리벳 및 접착필름을 사용한 접합방법보다 높은 구조적 강성 및 강도 그리고 무게의 감소 효과를 얻을 수 있었다.

주요어 : 모듈화 차체 구조물, 샌드위치 복합재, 이종재료, 접합기술, 슬롯결합

1. 서 론

1990년 후반부터 철도차량의 차체 재료로 적용되기 시작한 신소재 복합재료는 금속재 철도차량에 비해 차체 무게의 절감 효과가 크며, 내구성, 내식성이 우수하여 유럽과 일본의 철도 선진국에서는 철도차량 차체 구조물에 적용되고 있다[1]. 우리나라에서도 복합재를 적용한 철도차량에 대한 연구가 수행되어, 자동무인경전철, 틸팅열차, 바이모달 트램 등이 개발되어 상용화를 위한 연구가 진행 중에 있다[2]. 이때, 기존의 스틸이나 알루미늄으로 제작되던 차체를 복합소재로 설계 및 제작함에 따라 복합소재와 금속재 사이의 이종재료간 접합문제가 발생하게 된다[3].

† 교신저자: 국립한밭대학교 기계공학과(shin955@hanbat.ac.kr)

* 국립한밭대학교 경량구조 및 CAE 실험실

** 한국철도기술연구원 신소재틸팅열차시스템연구단

기존 하이브리드 철도차량에 적용되는 복합재와 금속재료의 결합은 접착제와 리벳의 결합으로 이루어져 있으나 공정시간의 증가, 무게증가 그리고 접합부의 강도저하로 건전한 접합부를 얻기가 어려운 실정이다[4].

따라서, 본 연구에서는 제작성, 유지보수성, 강성 및 강도를 향상시킬 수 있는 슬롯결합 및 접착제를 이용한 접합방법을 제시하였으며, 유한요소해석과 시험을 통해 접합부의 치수를 선정하였다. 또한, 기존 리벳 및 접착필름을 통해 제작되는 접합부와 비교를 통해 슬롯결합형상의 구조적성능을 검증하였다.

2. 알루미늄 압출재와 샌드위치 복합재를 적용한 이종재료간의 슬롯결합 제시

2.1 슬롯 결합부 설계

복합소재와 알루미늄 압출재의 접합부 결합은 주요 하중을 담당하는 기계적 체결 방법과 방수, 방진, 방음 등과 같은 기능을 위한 접착 체결 방법을 고려하여 설계를 수행하였다. 기존 이종재료간의 기계적 접합방법인 리벳팅은 재료의 손상으로 인한 강성 및 강도 저하, 무게 증가 등의 문제가 있으며, 차량 외관의 미려성을 떨어뜨리는 단점이 있다. 이에, 본 연구에서는 재료의 어떠한 변형도 가하지 않고 접합할 수 있는 슬롯 결합을 적용하였다. 슬롯결합은 용접이나 드릴링 같은 추가적인 제작 공정없이 단순히 길이방향으로 끼워 맞춤으로서 제작공정의 단축 및 유지보수성을 향상시킬 수 있으며, 구조적으로 강도 및 강성을 확보할 수 있다. 이때, 알루미늄 압출재와 복합재가 접촉되는 면에는 액상 본드를 이용하여 방수, 방진, 방음 등의 효과를 얻을 수 있다. 알루미늄 압출재와 슬롯 결합되는 복합재의 경우 알루미늄 블록을 삽입하여 적층복합재의 제작이 용이하도록 하였으며, 추가적인 구조적 강성 및 강도가 향상되도록 하였다. Fig. 1은 알루미늄 압출재와 복합재의 슬롯결합을 위한 단면형상을 나타낸다.

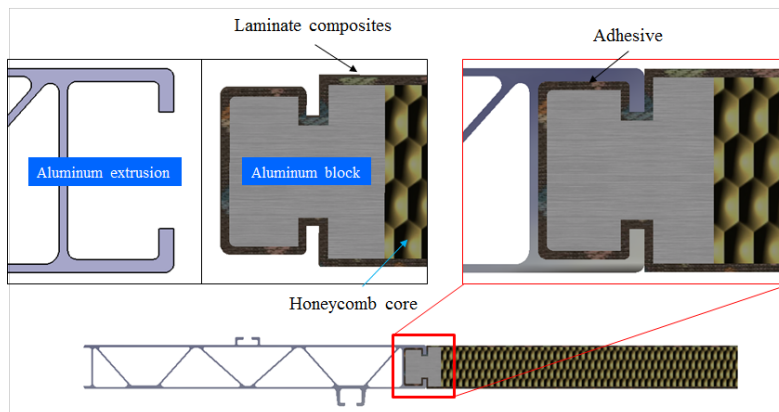


Fig. 1 Slot coupling conceptual diagram of joint part

2.2 슬롯 결합부의 해석적 평가

제시된 슬롯결합 형상에 대해 구조적 안전성을 평가하기 위하여 알루미늄 압출재의 용접부와 해석적 비교검증을 수행하였다. Fig. 2는 접합방법에 따른 처짐 및 응력결과를 나타낸다. 이때, 하중은 알루미늄 용접부 응력이 항복강도(115MPa)를 넘도록 하는 하중을 부여하였으며, 알루미늄 접합부 평가방법인 3점 굽힘 시험조건을 적용하였다.

해석결과 알루미늄 용접부의 경우 최대처짐은 중앙부분에서 3.74mm, 용접부에서 Von-Mises Stress가 115MPa이 나타났으며, 이에 반해 슬롯결합부의 최대처짐은 알루미늄 압출재 지지부에서 4.12mm 결합부에서 30MPa이 발생함을 확인하였다. 이는 슬롯결합부분의 강성 및 강도가 높아 중앙부분이 아닌 알루미늄 압출재 지지부분에서 처짐이 높게 나타난 것으로 사료된다. 복합재의 경우 Tsai-Wu 파손기준식을 적용하여 안전기준(Limit value < 1)보다 낮은 값이 나타남을 확인하였다.

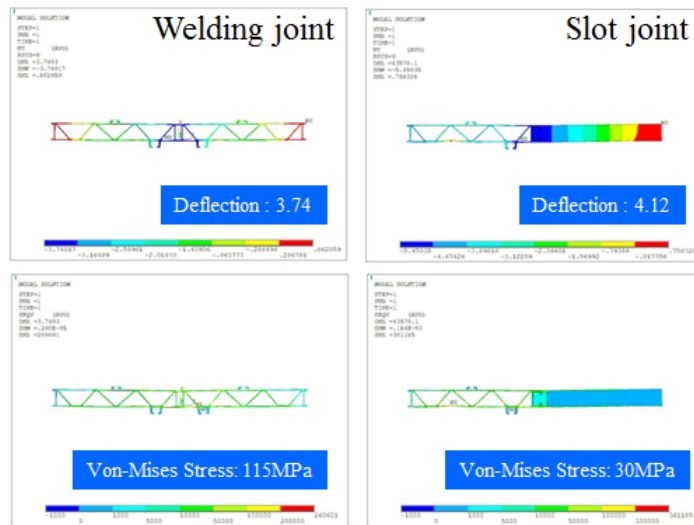


Fig. 2 The Comparison results between welding joint and slot joint

3. 결 론

본 논문은 알루미늄 압출재와 샌드위치 복합재가 적용된 하이브리드 경량 모듈화 차체 구조물의 이중재료간 접합기술에 대해 연구하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다. 기존 하이브리드 철도차량의 접합방법인 리벳 및 접착제의 단점을 보완하며, 제작성 및 유지보수성을 높일 수 있는 슬롯결합 방안을 제시하였다. 결과적으로 알루미늄 압출재 용접부와 슬롯결합부의 해석적 비교 검증을 통해 슬롯결합이 강성 및 강도가 우수함을 확인하였으며, 제작공정의 단순화 및 유지보수성을 향상시킬 수 있는 가능성을 제시하였다. 추후, 실제시험을 통해 슬롯결합부의 구조안전성을 검증할 예정이다.

후 기

본 논문은 한국철도기술연구원의 한국형 틸팅열차 신뢰성평가 및 운용기술 개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] J. S. Kim, J. C. Jeong, S. J. Lee (2005) An experimental study on the hybrid composite carbody structure, *Journal of the Korean Society for Composite materials*, 18(6), pp. 19-25.
- [2] H. Y. Ko, K. B. Shin, J. C. Jeong (2009) A study on the comparison of structural performance test and analysis for design verification of bimodal tram vehicle made of sandwich composites, *Journal of the Korean Society for Railway*, 12(4), pp.518-525.
- [3] J. C. Jeong, S. H. Cho, H. J. Cho, K. B. Shin, S. H. Yoon (2004) Evaluation for joint performance of the hybrid composite carbody structure, *Autumn Conference of the Korean Society for Composite Materials*, pp. 185-188.
- [4] A. Zinno, E. Fusco, A. Prota, G. Manfredi (2010) Multiscale approach for the design of composite sandwich structures for train application, *Composite Structures*, 92, pp. 2208~2219.