

경량 복합소재 차체의 시험에 의한 구조강도 평가

윤성철*(한국철도기술연구원), 전창성(한국철도기술연구원),
김원경(한국철도기술연구원), 김명룡(한국철도기술연구원)

An Evaluation of Structural Strength by Testing the Carbody of Light Composite Material

S. C. Yoon(KRRI) , C. S. Jeon(KRRI) , W. K. Kim(KRRI) , M. Y. Kim(KRRI)

ABSTRACT

This study introduces the testing results of the composite carbody which is applied to tilting train. The composite carbody is made of aluminum honeycomb structure materials like a sandwich. The static load test was performed to evaluate the structural characteristic and stability of the composite carbody. Considering the vertical, compressive, twisting load and 3-point supporting type as a testing terms, the structural stability of a carbody was evaluated.

Key Words : Carbody (차체), Composite carbody (복합재 차체), Aluminium honeycomb (알루미늄 하니콤), Load test (하중시험)

1. 서론

차량운전 에너지 절감 및 보수, 유지비 저감 등의 문제가 대두됨에 따라 차체 재료의 절약을 위하여 차량 구조물의 경량화에 대한 연구는 계속 되고 있다. 우리나라에서도 1980년 이후로 차량의 경량화를 계속 추진하고 있다. 철도차량의 차체로는 재질에 있어서 강에서 스테인리스, 스테인리스에서 알루미늄 합금과 같은 가벼운 재질로 변화하고 있는 추세에 있다. 최근에는 복합재료가 차체의 재질로서 적절한 강도를 가질뿐 아니라 가볍기 때문에 차세대 철도차량의 재질로서 각광을 받고 있다. 1990년 후반부터 차체재질로 각광을 받고 있는 신소재 복합재료는 차체무게의 절감효과가 크며 내구성 내식성이 우수할 뿐만 아니라 일체성형으로 인한 생산비 절감, 제조공정 단축 및 미려한 외관제작이 용이하며 많은 장점을 가지고 있어서 현재 국외에서 철도차량에 많이 적용되고 있다. 본 논문은 국내에서 처음 적용된 철도차량 차체에 대하여 구조안전성을 평가하고자 한다.

2. 차체의 하중시험

차체 하중시험의 시험차량으로는 하중조건이 제일 가혹한 차량인 동력차를 시험차량으로 선정하였고 응력집중이 예상되는 부위, 형상 및 단면의 변화가 심한부위에 스트레인 게이지를 부착하여 응력을 측정하였으며 시험항목으로는 수직하중, 수평압축하중, 비틀림하중, 3점지지를 실시하여 그 특성을 비교하였다.

2.1 하중조건

복합재 차량의 중량으로는 공차중량 46 ton, 정비중량 47.8 ton, 차체중량 8.85 ton, 대차중량 18.2 ton, 최대승객하중 6.3 ton이며 동하중 계수는 0.3 g를 적용하였다. 차량의 하중은 수직하중, 수평압축하중, 비틀림하중, 3점지지의 경우를 검토하였다.

차체에 작용하는 하중은 성능시험의 차체 하중시험에 따라 계산하였으며 계산결과는 Table 1과 같다.

Table 1 Load conditions of the carbody

하중조건	하중크기
수직하중	36.3 ton
수평압축하중	수직하중(17.4 ton) + 압축하중(120 ton)
3점지지하중	17.4 ton
비틀림하중	4 ton-m

2.2 차체 재질의 기계적 성질

차체의 Bolster와 Center Sill은 고장력강이며 Side Sill은 스테인리스강이고 Carbody 등 나머지 부분은 복합재료로 제작되었다.

Table 2 Mechanical property of the composite carbody

재 질	허용강도	비 고
SMA490B	37 kgf/mm ²	Bolster, Cener Sill
STS301L-HT	70 kgf/mm ²	Side Sill
Carbon Composite	25.5 kgf/mm ²	Carbody

3. 차체의 하중시험 결과

3.1 수직하중시험

차체를 차체지지대를 이용하여 4곳을 지지하고 하중을 10→25→36.3 ton으로 순차적으로 객실바닥에 균일하게 분포시켜 응력을 측정한다. 수직하중에서의 최대응력은 볼스터 위치부분의 창문 모서리(스트레인 게이지 No. 4)와 언더프레임의 볼스터와 센터실 연결부(스트레인 게이지 No. 72)에서 발생하였으며 그 값은 복합소재의 경우 -6.37 kgf/mm², 금속재질의 경우 -6.49 kgf/mm² 이다. 복합소재의 허용응력은 25.5 kgf/mm² 이고 SMA490B 재질의 허용응력은 37 kgf/mm² 이므로 모든 측정값들은 허용응력 이내에 있음을 알 수 있다.

3.2 수평압축하중시험

차체를 차체지지대를 이용하여 4곳을 지지하고 객실바닥에 17.4 ton의 등분포하중 상태로 하여 연결기부분에 36→62→93→120ton 압축하중을 가하여 그때의 응력을 측정한다. 수평압축하중에서의 최대응력은 센터실의 연결기 부착되는 부분(스트레인 게이지 No. 67)과 중앙 창문 모서리(스트레인 게이지 No. 50)에서 발생하였으며 그 값은 복합소재의 경우 -1.94 kgf/mm², 금속재질의 경우 -32.44 kgf/mm² 이다. 복합소재의 허용응력은 25.5 kgf/mm² 이고 SMA490B 재질의 허용응력은 37 kgf/mm² 이므로 모든 측정값들은 허용응력 이내에 있음을 알 수 있다.

3.3 비틀림하중시험

차체의 한쪽을 고정하고 다른끝에 비틀림하중 4 ton-m의 비틀림모멘트를 가하여 응력을 측정한다. 비틀림하중에서의 최대응력은 중앙 창문 모서리 부분(스트레인 게이지 No. 12)과 볼스터와 센터실이 연결되는 부분(스트레인 게이지 No. 72)에서 발생하였으며 그 값은 복합소재의 경우 2.55 kgf/mm², 금속재질의 경우 -2.1 kgf/mm² 이다. 복합소재의 허용응력은 25.5 kgf/mm² 이고 SMA490B 재질의 허용응력은 37 kgf/mm² 이므로 모든 측정값들은 허용응력 이내에 있음을 알 수 있다.

3.4 3점지지시험

차체를 차체지지대를 이용하여 4곳을 지지하고 객실바닥에 17.4 ton의 등분포하중 상태로 하중이 가해진 상태에서 지지대 1곳을 하강한 후 응력을 측정한다. 3점지지 시험에서의 최대응력은 첫 번째 창문 모서리 부분(스트레인 게이지 No. 4)과 볼스터와 센터실이 연결되는 부분(스트레인 게이지 No. 72)에서 발생하였으며 그 값은 복합소재의 경우 -21.88 kgf/mm², 금속재질의 경우 4.06 kgf/mm² 이다. 복합소재의 허용응력은 25.5 kgf/mm² 이고 SMA490B 재질의 허용응력은 37 kgf/mm² 이므로 모든 측정값들은 허용응력 이내에 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 복합소재로 제작된 텀링열차의 차체에 대한 구조안전성을 살펴보기 위하여 수직하중, 수평압축하중, 비틀림하중, 3점지지시험을 실시하였다. 이 외에도 차체의 처짐량, 굽힘고유진동수 및 비틀림고유진동수 측정을 실시하였지만 이 논문에는 포함하지 않았다. 포함된 4가지 시험결과만을 검토하여 보면

1) 수직하중시험시 최대응력은 복합소재의 경우 볼스터 위치부분의 창문 모서리에서 -6.37 kgf/mm², 금속재질의 경우 언더프레임의 볼스터와 센터실 연결부에서 -6.49 kgf/mm² 이 발생하였고, 수평압축하중시 최대응력은 복합소재의 경우 센터실의 연결기 부착되는 부분에서 -1.94 kgf/mm², 금속재질의 경우 중앙 창문 모서리에서 -32.44 kgf/mm² 이 발생하였다.

2) 비틀림하중시 최대응력은 복합소재의 경우 중앙 창문 모서리 부분에서 2.55 kgf/mm², 금속재질의 경우 볼스터와 센터실이 연결되는 부분에서 -2.10 kgf/mm² 이 발생하였고, 3점지지시 최대응력은 복합소재의 경우 첫 번째 창문 모서리 부분에서 -21.88 kgf/mm², 금속재질의 경우 볼스터와 센터실이 연결되는 부분에서 4.06 kgf/mm² 이 발생하였다.

3) 하중시험결과 최대응력은 복합소재의 경우 3점지지시험 일 때 첫 번째 창문 모서리 부분에서 발생하였고, 금속재질의 경우 수평압축하중시험 일 때 중앙 창문 모서리 부분에서 발생됨을 알 수 있었으나 모두 허용응력 범위 이내에 있어 강도적으로 안전하다고 판단된다.

참고문헌

1. 고무차륜형 AGT 경량전철 차량용 알루미늄 차체의 개발, 김연수 외 3인 대한기계학회춘계 학술대회논문집, 2003
2. 구조해석 및 시험에 의한 경량화 차체 구조강도 평가, 윤성철 외 3인, 한국철도학회추계 학술대회논문집, 2005
3. Japanese Industrial Standards, "Test methods for static load of body structure of railway rolling stock", E 7105, 1989
4. 건설교통부, "도시철도차량의 성능시험에 관한 기준", 구조체 하중시험, 2000