

TTX 하이브리드 차체 개발 방향과 국외 사례 분석

신광복* · 조세현** · 이상진**

The Development Plan of TTX Hybrid Carbody Structures and Study on Foreign Cases

Kwang-Bok Shin, Se-Hyun Cho and Sang-Jin Lee

Key Words: Hybrid carbody structure(하이브리드 차체), TTX(한국형 고속틸팅열차)

Abstract

Tilting trains could offer a low cost solution as they can be operated on existing track and attain higher speeds (as compared to conventional trains) thanks to a mechanism that tilts the vehicle body of the train when negotiating curves, thus giving it additional superelevation. Also, the weight saving of the carbody structures of the tilting train is a significant problem to operate the tilting mechanism without failure and to minimize wear and tear on wheels and rails. Therefore, the TTX will be developed using hybrid design concept to match the challenging demands with respect to cost efficient lightweight design for carbody structures. Hybrid design helps to save production costs and to reduce the weight of carbodies.

1. 서론

철도의 고속화를 이루는 방안으로는 크게 두 가지 방법이 있다. 그 중 하나는 직선화되고 레일 설비를 설치한 철도 노선을 새로 구축하여 고속 운행이 가능한 철도차량을 제작하여 운행하는 것이며, 두 번째 방안은 기존의 노선을 보완하고 최대한 활용하여 고속화가 가능한 차량을 운행시키는 방법이다. 전자의 경우 현재 경부고속전철 사업이 진행되어 상용운전을 눈앞에 두고 있으며, G7 고속전철의 국산화 개발이 완료되어 300km/h급의 고속전철에 대한 시험운행을 하고 있는 실정이다. 하지만 고속전철은 근본적으로 신선로를 건설해야하기 때문에 비용적으로나, 시간적인 측면에서 단점을 지니고 있다. 따라서, 최소한의 비용투자로 일부 기존선로를 개량함으로써 차량을 고속화시키는 방안이 추진되고 있다.

한국철도기술연구원(KRRI)에서는 철도기술연구개발사업을 통해 기존선로를 일부 개선함으로써 속도 향상과 승차감을 개선시킬 수 있는 한국형 고속틸팅열차(TTX) 개발사업을 수행하고 있다. 틸팅열차(tilting train)는 곡선 구간에서 차체를 기울여 원심력을 최소화함으로써 곡선구간에서 속도의 감소 없이 안전하게 통과할 수 있고, 승객들의 승차감 또한 향상시킬 수 있는 신 개념의 철도차량이다[1]. 틸팅열차는 기존 차량에 비해 곡선부에서 속도 증가를 통해 운행시간을 단축시키는 것이 중요한 목적 중의 하나이다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 국내와 같이 선로조건이 열악한 상황에서 곡선주행 시 축하중을 줄이기 위한 차체 및 차체 내/외장재의 경량화는 필수적이다. 차량의 안전도를 저하시키지 않으면서 차체 구조물의 경량화를 이루려면 차체 구조물의 재료를 바꾸는 것이 가장 효과적이라 할 수 있는데 최근에 경량화를 위해 철도차량 구조물 소재로 관심을 받고 있는 재료가 복합재료이다. 복합재료는 그동안 항공기, 위성체 등의 일부 응용 분야에서 많이 사용되어 왔으나 철도차량에는 그다지 많은 적용이 없었다. 그러나 유럽의 선진국

* 한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단 시스템엔지니어링팀 선임연구원

** 한국화이버(주) 철도차량사업부

들과 일본 등에서는 이미 신소재 복합재료를 적용한 철도차량 개발에 많은 투자를 하고 있으며 실제 철도차량의 전두부 및 내/외장재뿐만 아니라 1차 부재인 차체에 대해서도 복합재료를 적용하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 한국형 고속 틸팅열차의 하이브리드 차체 개발 방향과 국외 복합재 차체 개발 사례를 분석함으로써 복합재료의 철도차량 응용을 활성화시키고자 한다.

2. 국외 복합재 차체 적용 사례

차량을 제작하는 데에서 철이나 알루미늄 같은 전통적인 재료의 사용법은 많은 발전을 이루었으나 중량과 제작비를 줄이기 위해서 차체에 복합재료를 적용하는 방안이 많은 관심이 집중되고 있다. 철도차량의 차체는 충분한 강도 및 기밀구조에 적합하여야 할 뿐 아니라 저렴한 제조비용, 유지보수의 용이성, 작업의 편리성 및 경제성이 고려되어야 한다. 차체를 알루미늄으로 제작할 경우 화재발생시 산소흡수현상이 발생하여 대형 화재사고의 위험을 초래할 수 있으며 제작공정시간이 길며 용접에 어려움이 있다. 특히 틸팅열차는 곡선주행시 차체를 기울여야 하므로 이로 인한 무리한 축중하중은 선로의 손상을 초래하여 탈선의 위험 및 유지보수비용의 증가를 초래할 수 있으므로 틸팅차량 차체 경량화는 가장 중요한 과제이다. 차체 경량화 방법으로는 경량화효과가 뛰어나며 제작공정시간이 짧은 신소재 복합재료를 적용한 차체개발이 연구되고 있다.

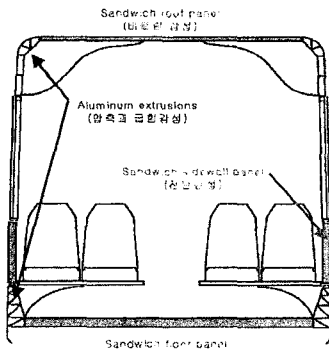


그림 1. 전형적인 하이브리드 차체 구조

최근의 복합재를 응용한 차체 개발 추세는 그림 1과 같이 알루미늄이나 철을 단독으로 적용하

기보다 부분적으로 복합재를 적용하는 하이브리드 설계(hybrid design)가 추세를 이루고 있다[2].

철도차량의 차체 외각(bodyshell)은 중량과 제작비 면에서 모두 큰 비중을 차지하는 부분이다. 과거에는 차량제작에 있어서 철이나 알루미늄과 같은 금속 재료를 사용했으나 최근에는 중량과 제작비를 줄이기 위해서 차체외각을 복합재를 적용하는 사례가 증가하고 있다. 프랑스의 알스톰(Alstom)사는 그림 2와 같이 최고운행속도 300 km/h급의 TGV 이중열차(double decker)의 차체를 샌드위치 복합재를 적용하여 제작하였다.

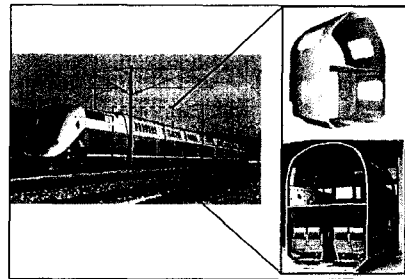


그림 2. TGV 이중열차

스위스의 쉐들러 와그용(Schindler Waggon)은 1995년 5월 필라멘트 와인딩 기법을 이용한 자동화 공정에 의해서 차량외각 전체가 제작된 3대의 시제차를 개발하였다(그림 3). 이 공정의 특징은 최종 표면에 사용되는 염료, 수지(resin)로 포화된 유리 또는 탄소 섬유 그리고 보온을 위한 하드 폼 패널(hard form panel)등이 순서대로 투입되면서 철이나 알루미늄보다 높은 등급의 표면재를 생산하는 방식이었다. 자동화 공정의 장점은 제작공정의 절감, 높은 보온성과 낮은 중량에 의한 비용절감 그리고 높은 부식 저항성을 들 수 있다. 이러한 시설을 이용하면 완전한 차체외각을 제작하는데 8일이 소요된다고 하였다.



그림 3. 필라멘트 와인딩기법에 의한 차체

프랑스 봄바디어(Bombardier)는 공항에서 승객들을 지하철역이나 버스 정류장까지 수송하는 Innovia라는 차량을 복합재료를 적용하여 제작하였다. 그림 4에서 보듯이 Innovia의 경우 바닥 구조를 제외한 차체의 나머지 부분을 발사 코어(Blasa core)를 갖는 복합재 샌드위치 구조물로 제작하였다.

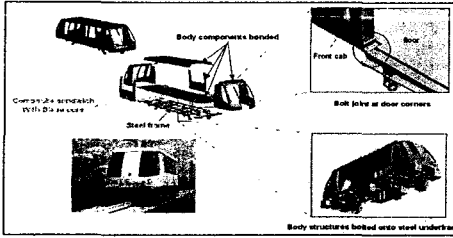


그림 4. Innovia

또한, 캐나다 봄바디어(Bombardier)는 미국의 AAR Composites사와 공동으로 Las Vegas 모노레일(monorail)의 차체와 전두부를 탄소/에폭시 적층 복합재를 적용하여 제작하였다(그림 5). 차체의 길이는 약 8.8m이고 차량의 약 2.4×2.4m의 단면을 가진다.

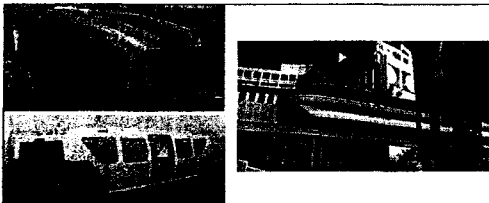


그림 5. Las Vegas monorail

3. TTX 하이브리드 차체 개발 방향

3.1 TTX 차체 개발 요구사항

3.1.1 경량화

틸팅열차의 경량화의 장점은 곡선주행 시 축중 하중 감소에 의한 주행 안정성 향상과 차륜 마모 감소로 인한 유지비용 절감 및 에너지 효율 증가 등에 의한 비용 절감을 들 수 있다. 일반적으로 철도차량 구조물의 비용 대비 성능(performance per cost)은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다[3].

$$\frac{\text{성능}}{\text{비용}} = \frac{\text{구조성능}}{\text{재료비} + \text{생산비} + \text{운영비}} \quad (1)$$

식(1)에서 재료비와 생산비는 재료의 선택과 제작 방법에 따라 다르겠지만 차이가 크지 않을 것이다. 따라서, 경량화로 인해 얻을 수 있는 장점은 운영비 절감이고 이로 인해 가격 대비 성능은 향상 될 것이다. 즉, 30년 이상의 장기간 상업운행을 해야 하는 틸팅열차의 경우 차체 경량화는 매우 중요한 요구사항이다.

3.1.2 신소재의 적용 및 신기술의 확보

철도차량 차체 재료는 철(1세대), 알루미늄(2세대)을 지나 복합재료(3세대)로의 이동이 철도 선진국을 중심으로 서서히 진행되고 있다. 현재 철도선진국인 일본과 유럽에서는 경량전철과 자기 부상열차에 복합재료를 적용하여 상용화에 성공하였으며 200km/h 이상의 고속열차에의 적용을 시도하고 있는 실정이다. 반면, 100년의 철도 역사를 가지고 있는 우리나라는 100년의 역사만큼 철도기술이 발전하지 못한 상태지만 선진기술에 단기간 내에 접근하기 위해서는 신기술에 과감한 투자가 필요하다. 단적인 예로 G7 고속전철의 경우 정부의 전폭적인 투자에 의해 단기간 내에 세계 5번째 고속전철 보유국으로 발돋움하게 되었다. 따라서, 철도선진국에서 차체 경량화를 위해 지속적인 연구개발을 시도하고 있는 복합재의 철도차량 차체 적용 기술은 우리나라가 철도선진국으로 가는 또 하나의 지름길이라 할 수 있다.

3.2 철도차량의 경량화 방법

경량화 차체 구조를 제작하는 방법은 다양하다. 어떤 방법을 사용하여 경량화를 이룰 것인가는 개발 책임자의 몫이지만 제작성, 제작비, 실용성 등을 감안해야 한다.

표 1 제작 및 조립방법 선택에 의한 경량화

제작방법	조립/접합 방법	비고
Differential construction method	- screws or bolts - nails - rivets - sewn seams - spot welds	이종 재료/부품
Integral construction method	- casting - forging - extruding - machining etc.	단일제품/단일재료
Integrating construction method	- bonding - gluing - welding	준동방성 부품
Composite construction method		섬유강화 적층복합재
Sandwich construction method		면재+심재 구조
Hybrid construction method	- Hybrid joint	샌드위치(또는 섬유강화복합재)+금속재

3.2.1 경량 구조 사용에 의한 경량화

첫 번째 단계로는 경량구조 개념을 도입하는 방법으로 경량 재료의 사용, 경량 부품들의 사용 그리고 모듈화 설계 기법 도입 등이 있다.

3.2.2 제작/조립방법에 의한 경량화

두 번째 단계로는 제작/조립방법에 따른 경량화 방법으로 표1과 같다. 샌드위치를 사용하는 경우 철도차량에는 그림 6과 같은 심재(core)가 사용된다.

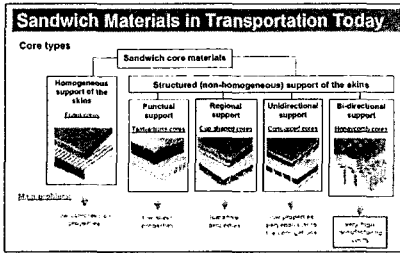


그림 6 철도차량에 사용된 심재

3.3 TTX 차체 개발 방향

철도차량의 경량화는 앞에서 언급한 바와 같이 여러 가지 방안 중에 적절한 방법을 선택하여 달성해야 한다. 특히, 그림 7과 같이 설계/재료/제작 방법 등이 중요한 설계인자로 작용하게 되고 그림8과 같이 다양한 요구사항을 만족시켜야 한다.

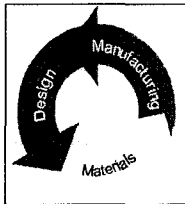


그림 7 경량화를 위한 설계변수

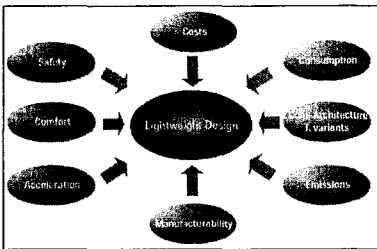


그림 8 경량화 설계 시 요구사항

한국형 틸팅열차(TTX)의 차체는 해외 복합재 차체의 개발 방향에 대한 사례 분석, 다양한 재료와 설계 방안을 고려한 타당성 분석 그리고 국내 제작 기술 등을 종합적으로 분석한 결과 다음

과 같이 개발방향을 선정하여 연구개발을 추진하고 있다.

- 모듈화 설계 기법 도입
- 내장재의 복합재 사용
- 샌드위치 차체 외각(bodyshell)과 금속재 언더프레임의 결합 구조를 갖는 하이브리드 차체
- 접착제와 기계적 결합을 동시에 적용하는 하이브리드 체결방법
- 오토클레이브에 의한 성형 기법

그림 9는 TTX 하이브리드 차체에 대한 제작 개념도를 나타내고 있다.

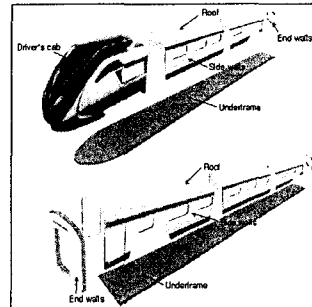


그림 9 TTX 하이브리드 차체 제작 개념도

4. 결 론

한국형 틸팅열차는 국의 복합재 차체의 개발 사례 분석 및 타당성 조사 등을 통해 하이브리드 설계 기법을 적용한 경량화 구조로 개발방향을 확정하여 한국철도기술연구원과 참여기업, 학계의 참여하에 원천기술 확보 및 설계/제작기술의 국산화를 위해 지속적으로 추진하고 있다.

후 기

본 연구는 철도청의 철도기술연구개발사업에 의해 지원되고있으며 이에 감사합니다.

참고문헌

- (1) K.B.Shin, W.H.You, H.S.Moon, 2002, "The application of composite materials in railway vehicle system," The Korean society for composite materials, Vol.15, No.5, pp.66-71.
- (2) Abaqus User's Conference, Maastricht, Netherlands, May 30-June 1. 2001, pp. 1-16.
- (3) P. Jochen and V. Bart, 2003, "New sandwich material concepts - Continuously produced honeycomb cores", COMPOSIT Whorkshop.