

중국철도차량의 복합재료 적용 현황

김정석^{*†} · 윤혁진^{*} · 김상수^{*} · 최성훈^{*} · 신광복^{**}

Application Status of Composite Materials in Chinese Rolling Stock

Jung-Seok Kim^{*†}, Hyuk-Jin Yoon^{*}, Sang-Soo Kim^{*}, Sung-Hoon Choi^{*}, Kwang-Bok Shin^{**}

ABSTRACT: As of November 2024, China's total railway network has reached 159,000 km, with high-speed railways accounting for a significant portion. China also operates an urban transit network exceeding 10,000 km, currently the longest in the world. CRRC, a Chinese state-owned enterprise, holds a commanding position in the global rolling stock market with approximately 28.7% market share. The company manufactures a comprehensive range of railway vehicles, including high-speed trains, maglev systems, urban transit solutions, and hydrogen-powered trains. Recently, the integration of composite materials into rolling stock has accelerated, driven by the rapid growth of domestic carbon fiber production and advancements in composite material technology. This paper investigates and analyzes the current status of composite material application in China's rolling stock sector, with a specific focus on CRRC's technological developments.

초 록: 2024년 11월 기준 중국의 철도 총 연장은 159,000 km이며, 이 중 고속철도 연장도 상당 부분을 차지한다. 중국은 또한 약 10,000 km를 넘는 도시 철도망을 보유하고 있어 세계에서 가장 긴 도시 철도 네트워크를 보유하고 있다. 특히, 중국 국영기업인 중차(CRRC)는 철도차량 분야 시장점유율 약 28.7% 수준으로 세계 1위 기업이다. 중차는 고속철도, 자기부상철도, 도시철도 및 수소열차 등 전분야의 철도차량을 제작하는 제작사이다. 최근에는 중국내 탄소섬유 생산량 증가와 복합재료 기술 발전으로 철도차량분야에서도 복합소재의 적용이 확대되고 있다. 본 논문에서는 현재 중국내 철도차량분야에서 복합소재의 적용 현황을 중차를 중심으로 조사 분석하고자 한다.

Key Words: 복합재료(Composite materials), 철도(Railway), 차체(Carbody), 대차(Bogie), 동력분산식(EMU)

1. 서 론

최근 철도차량은 주행시 에너지 비용을 저감하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 열차가 고속화되는 현실에서 에너지 비용은 급속도로 증가하여 증속에 가장 큰 장애물이 되고 있다. 철도차량 주행시 에너지 비용에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 공기저항과 중량이다. 공기저항은 차량의 속도에 제곱으로 증가하기 때문에 증속시 에

너지 비용의 가장 많은 부분을 차지하게 된다. 공기저항과 더불어 중량 역시 철도차량의 에너지 비용 증가에 중요한 인자인데 최근 중국을 중심으로 탄소섬유 복합소재의 적용이 활발하게 진행되고 있다.

현재 전세계적으로 이러한 에너지 비용 때문에 고속철도의 경제 운행속도는 약 300km/h이다.

그러나, 이러한 경제 운행속도의 향상을 위해 국내외적으로 다양한 시도를 하고 있는데, 중국에서는 경제 운행속

Received 23 May 2026, received in revised form 6 June 2026, accepted 17 June 2026

^{*}Korea Railroad Research Institute, Cheoldobangmulgwan-ro 176, Uiwang-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

^{**}Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Dongseodaero, Yuseong-gu, Daejeon 34158, Republic of Korea

[†]Corresponding author (E-mail: jskim@krri.re.kr)



(a) CR400AF Fuxing high-speed train



(b) CR450 EMU high-speed train

Fig. 1. China's high-speed trains CR400 and CR450

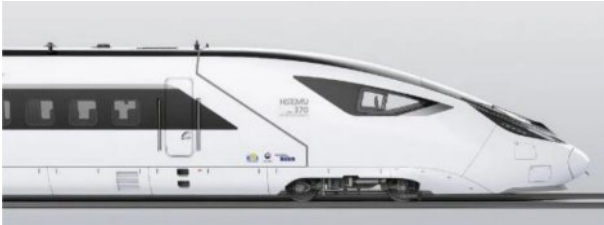


Fig. 2. EMU 370 high-speed train

도를 400km/h 이상을 증속하기 위한 연구의 일환으로 CR400 열차와 CR450열차를 개발하여 시험운행을 하고 있다(Fig. 1).

국내에서도 경제 운행속도를 현재 보다 50km/h 향상시키기 위해 최고설계속도가 370km/h인 EMU370열차에 대한 핵심기술을 개발하였으며(Fig. 2), 더 나아가 최고설계속도가 400km/h인 EMU400 열차 개발에 착수한 상태이다.

Fig. 3과 같이 철도차량의 중량은 대차(bogie) 부분이 약 41%, 차체(carbody) 부분이 약 24% 정도를 차지한다. 이에 따라 철도차량의 주요 경량화 대상은 대차와 차체 구조물이다. 여기서 대차는 차량의 견인력과 제동력을 발생시키고, 차량 전체를 지지하며, 차량의 주행성능을 좌우하는 부품이다. 차체는 승객이 탑승하는 공간을 제공하고, 외부의 소음을 차단하고, 충돌시 에너지를 흡수하는 부품이다.

특히, 철도차량 차체 구조물의 경우 Fig. 4와 같이 과거 1800년대에는 주로 목재를 이용하였으나, 강도와 강성확보를 위해 연강(mild steel)로 진화하였다. 현재 운행중인 KTX열차의 차체가 연강으로 제작되었다.

연강의 경우 목재대비 강도와 강성은 우수하지만 무겁

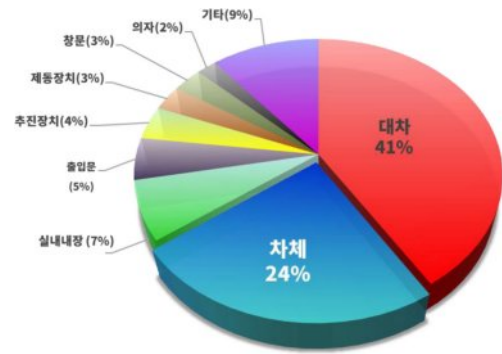


Fig. 3. Weight distribution of railway vehicles

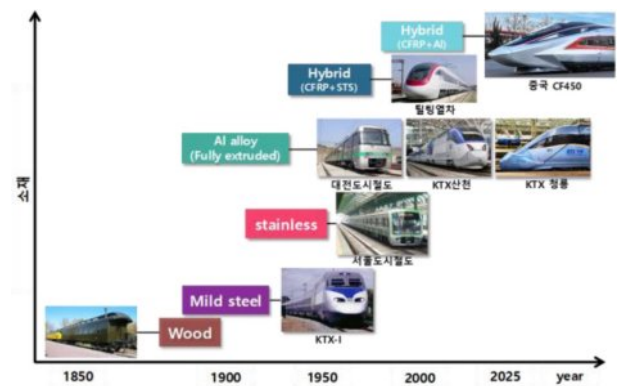


Fig. 4. Trends in material changes for railway vehicle body structures

과 부식에 취약하여 이후, 스테인레스 스틸로 대체되어 현재 운행중인 서울도시철도차량 등에 적용되고 있다. 스테인레스 스틸의 경우 내부식성은 우수하지만 경량화에는 한계가 있어 1900년대 후반부터 알루미늄 소재로 대체되었다. 현재 운행중인 대전도시철도차량과, KTX산천 및 KTX 청룡 등 차량이 알루미늄 소재로 제작되었다. 알루미늄 소재의 경우 압출재의 형태로 제작되며, 각 압출부재들을 용접하여 차체를 제작하게 되는데, 알루미늄 소재의 압출성 때문에 추가적인 경량화에는 한계에 도달한 상태이다. 이에 경제 속도 400km/h 이상의 고속열차에 필요한 추가 경량화를 위해서는 탄소섬유 복합소재의 적용이 필수적인 상황이다. 철도선진국인 일본의 경우 여전히 알루미늄 소재가 주류를 이루고 있으나, 독일과 중국을 중심으로 알루미늄 소재와 탄소섬유 복합소재를 동시에 적용하여 차체 구조물을 경량화 하는 연구를 진행하고 있다.

Fig. 5는 각 소재별로 철도차량 차체 구조물의 경량화율을 비교한 그림이다.

스테인레스 차체 구조물의 중량을 기준으로 알루미늄 합금을 적용할 경우 20%-35% 경량화가 가능하며, 탄소섬유 복합소재를 적용할 경우 최대 50%까지 경량화가 가능하다[1-5]. 그러나, 제작비용 측면에서 전체 차체 구조에 탄소섬유 복합소재를 적용할 경우 비용 증가로 실용화에는 어려

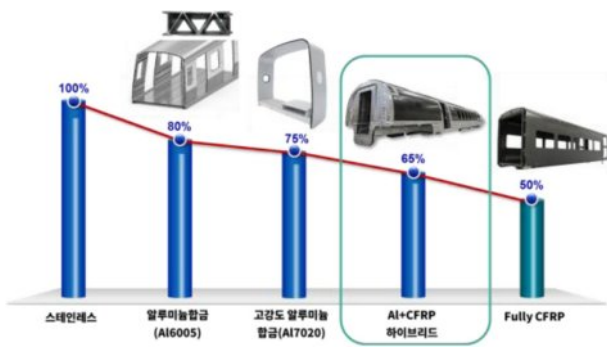


Fig. 5. Weight reduction rate of railway vehicle body structures by material

움이 있다. 이에 대한 대안으로 알루미늄 골조에 탄소섬유를 적용한 방식에 대한 연구가 중국을 중심으로 진행 중이다 [6,7].

알루미늄과 탄소섬유 복합소재를 적용할 경우 최대 35% 경량화가 가능하고, 제작 비용 측면에서도 경제성을 확보할 수 있기 때문이다.

국내에서는 아직 탄소섬유 복합소재의 철도차량분야 적용이 미미한 상태로 향후 이 분야 기술 개발이 필요한 상황이다. 이에 본 논문에서는 이러한 철도차량의 개발 환경에 근거하여 최근 알루미늄 합금과 탄소섬유 복합소재의 적용분야에서 가장 연구가 활발한 중국의 철도차량 기술을 소개하고자 한다.

2. 중국 철도분야 복합소재 확대 배경

2.1 중차 소개

베이징에 본사를 둔 중차는 1881년 설립되었으며 약 17만 명 이상의 직원을 보유한 거대 국영기업이다. 중국 중차는 중국 양대 고속철 중앙(央企)기업인 중국남차(中國南車·CSR)와 중국북차(中國北車·CNR)의 합병을 통해 탄생한 기업이다. 주요 생산 공장은 칭다오에 위치한 중차 칭다오 쓰팡과 창춘에 위치한 중차 창춘 궈도객차가 있다. 현재 세계 철도차량 시장의 28.7% 정도 점유율을 보유하고 있으며 2024년 기준 매출액은 약 49조원이다.

Fig. 6은 현재 전세계 철도차량 시장 점유율을 나타낸 것



Fig. 6. Global railway rolling stock manufacturer market share (%)

으로 중차의 점유율이 약 28.7% 수준으로 선두이며, 한국의 현대로템은 약 1.4%의 점유율을 차지하고 있다.

2.2 중국내 탄소섬유 복합재료 산업 확대 배경

중국 내 복합재료 산업, 특히 탄소섬유 복합재료 산업의 확대는 다음의 네 가지 주요 원인에 의해 추진되고 있다.

1. 강력한 정부 정책 지원 및 전략적 육성

- 국가 전략 산업 지정: 복합재료, 특히 탄소섬유는 중국 정부가 제시한 전략적 신흥 산업(Strategic Emerging Industries)의 핵심 소재
- 5개년 계획 포함: 5개년 계획(十四五规划)과 같은 국가 개발 계획에 복합재료 활용 항공우주, 전기차, 첨단 장비 산업 포함
- 수입 대체 목표: 고성능 복합재료 분야를 지속적으로 수입 대체해야 하는 핵심 분야로 지정

2. 폭발적인 후방 산업 수요 증가

- 재생에너지(풍력블레이드), 항공우주(민항기, 드론, eVTOL), 전기자동차/고속철도, 스포츠 레저 분야

3. 생산능력의 급격한 확대 및 규모의 경제 실현

- 생산능력 급증: 국유 기업들의 주도로 탄소섬유 원재료 생산 능력의 고속 확장 및 최근 5년간 평균 40% 이상 성장
- 비용 절감: 생산 능력이 확대 및 기술 혁신으로 탄소섬유 원재료 가격 최근 5년간 40% 이상 하락

4. 핵심기술의 국산화 및 수입 대체 강화

- 기술 혁신 가속: 중국 기업들은 T700, T1000과 같은 고성능 탄소섬유 제품의 개발과 국산화에 주력

3. 중국 철도분야 복합소재 적용 사례

3.1 탄소섬유 복합소재 차체 구조물

Fig. 7은 중국 중차(CRRC)와 칭다오 지하철 그룹이 공동 개발한 CETROVO 1.0 열차로 현재 칭다오 지하철 1호선에서 공식적으로 상업 운영을 시작했다. 이는 철도차량의 주요 하중 지지 구조에 탄소 섬유 복합재가 적용되고, 상업 운



Fig. 7. Urban train with composite body(CETROVO 1.0)



Fig. 8. Carbon composite body of CETROVO 1.0 train



Fig. 9. Electromagnetic suspension maglev vehicle

행된 세계 최초의 사례이다. 이 열차는 기존 금속 기반 차량과 비교하여 차체를 25% 경량화 했고, 운행 에너지 소비는 7% 감소 및 각 열차는 연간 약 130톤의 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있다고 한다. Fig. 8은 탄소섬유로 제작된 CETROVO 1.0 열차의 차체 구조이다[8,9].

차체의 길이는 19m, 폭은 2.8m로 차체에 적용된 소재는 탄소복합소재 스킨에 알루미늄 허니콤이 적용된 샌드위치 구조이다. 성형기법은 제작 비용 절감을 위해 탈오토클레이브 성형법(out-of-autoclave), 진공 인퓨전 공정(Vacuum Assisted Resin Infusion)과 인발성형 기법을 적용하였다.

Fig. 9는 최고설계속도 600km/h인 상전도 자기부상열차이며, 이 차량의 경우 알루미늄 합금과 탄소섬유 복합소재를 하이브리드 형태로 적용한 사례이다[10].

길이 16m인 차체의 전두부 부분에 탄소섬유 스킨과 발포 폼을 적용한 샌드위치 구조를 적용하였으며, 이를 통해 차체 중량을 5.6톤으로 경량화 하였다. 이 차량은 현재 상하이 푸둥 공항에서 도심까지 운행중인 자기부상열차인 Transrapid 차량을 대체할 예정이다. Transrapid 차량은 독일 기술로 개발된 차량으로 현재 300km/h로 운행 중이며 세계에서 유일하게 상용화된 자기부상열차이다.

Fig. 10은 상전도 자기부상 차량에서 탄소섬유 복합소재가 적용된 전두부(nose) 부분이다.

Fig. 11은 최고설계속도 700km/h 이상인 초전도 자기부상열차이며, 이 차량의 경우 차량 하부 프레임과 주요 프레임 구조는 알루미늄 합금으로 제작하고, 차체 지붕과 측벽에 탄소섬유 복합소재를 적용하여 경제성을 확보하였다.



Fig. 10. Nose part of the electromagnetic suspension maglev vehicle



Fig. 11. Superconducting maglev vehicle

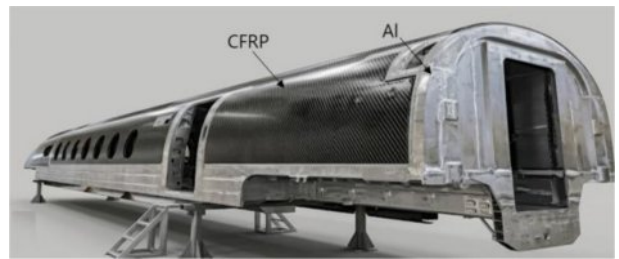


Fig. 12. Carbody of the superconducting maglev vehicle

이 차량은 향후 진공튜브에서 운행할 예정으로 하이퍼루프의 개념이 적용된 사례이다[11]. Fig. 12는 초전도 자기부상열차의 차체 구조물을 나타낸 것으로 주요 구조물은 알루미늄 압출구조로 제작이 되고 측벽과 지붕구조에 탄소섬유 복합소재를 적용한 하이브리드 구조를 가지고 있다.

3.2 탄소섬유 복합소재 대차 구조물

Fig. 13은 중국 중차와 타이저우 도시철도가 공동으로 개발에 참여한 탄소섬유 복합소재 사이드 빔이 적용된 Acro 대차이다. 이 대차는 탄소섬유 복합소재를 적용하여 기존 용접대차 대비 25% 경량화를 달성했고, 차량 운행에너지 15% 및 전체 수명주기 비용도 15% 저감하였다. 현재 스자좡시 지하철 1호선, 톈진시 지하철 5호선, 타이저우시 S2노선에 적용되어 상업운행 중이다[12,13].

Fig. 14와 같이 이 대차에 적용된 두개의 이중 사이드 빔은 차량의 중량에 따라 공차(empty weight) 상태에서는 하부의 사이드 빔들만 하중을 감당하고, 만차(full weight) 상태가 되면 두개의 사이드 빔이 접촉하면서 동시에 하중을 감당하는 구조로 설계되었다. 이 사이드 빔의 적용으로 기



Fig. 13. Acro bogie featuring carbon fiber composite side beams

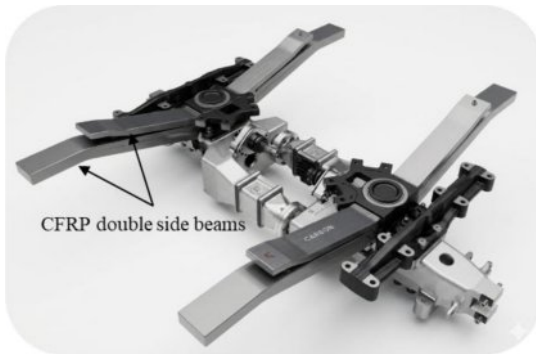


Fig. 14. CFRP double side beams

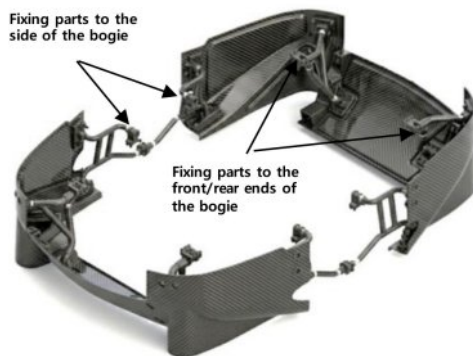


Fig. 15. Composite material bogie cover for reducing air resistance and noise



Fig. 16. Composite material bogie cover installed on the bogie

존 현가장치가 제거되어 추가 경량화를 달성하였다.

철도차량이 고속운행시 대차와 차체 하부 설비에서 발생하는 공기저항이 전체 공기저항의 약 22%-53% 정도로 차량 주행시 에너지 효율을 저하시키는 중요한 요인이다. 철도차량이 점점 고속화 되면서, 철도차량 대차부에 대한 공기저항 저감 및 소음 저감을 위한 장치를 설치하는 추세이다. Fig. 15는 대차에 적용되는 탄소섬유 복합소재 공기저항 및 소음 저감 커버이다[14]. 이 장치는 단순히 덮개의 개념이 아닌, 고속주행시 차량 하부의 공기유동을 원활하게 하고, 차륜에서 발생하는 소음의 방사를 차단하며, 대차 내부에 설치된 제동장치를 냉각시키기 위한 공기유로 설계를 포함한 장치이다. Fig. 16은 대차에 설치된 모습을 나타낸 것이다.

Fig. 17은 중국 중차와 독일의 CG rail이 공동으로 개발한 차세대 도시철도 차량용(next generation metro train) 탄소섬유 복합소재 대차이다[15-17]. 이 대차의 프레임은 Fig. 18과 같이 브레이딩(braiding) 공정과 RTM공정으로 제작한 것이다. 이렇게 제작된 각 부분은 강재 빔으로 체결하였다. 이를 통해 기존 용접 대차 대비 50%의 경량화를 달성하였고, 1,200만 사이클의 피로하중 시험을 통과하였다. 경제성 분석에서도 30년 수명주기에서 약 60% 경과 시점에 초기비용을 상쇄하는 것으로 평가되었다.

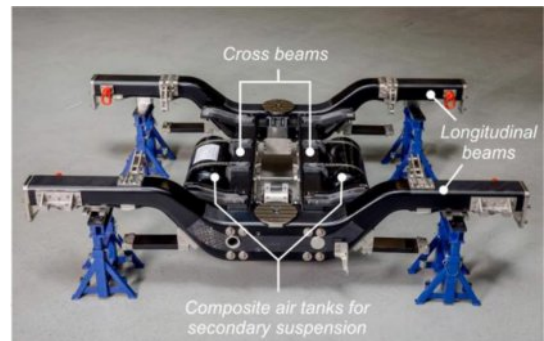


Fig. 17. Composite bogie of next generation metro train



Fig. 18. Side beam fabrication through the braiding process

4. 결 론

철도차량 기술은 과거 단순 기계기술에서 철도차량이 고속화 되면서 고부가가치 산업으로 전환하고 있다. 또한, 전 세계적으로 상업운행 경제속도인 300km/h를 400km/h로 증속하기 위한 연구개발이 진행 중이다. 국내에서도 350km/h로 증속하기 위해 EMU400 차량에 대한 기술 개발에 착수한 상태이다. 그러나, 아직 국내에서는 이러한 고속철도차량에 탄소섬유 복합소재를 적용하는 기술은 초기 단계에 머무르고 있다. 이에 반해 중국은 정부주도의 투자와 연구개발로 고속철도차량과 자기부상열차에 탄소섬유 복합소재를 적용하는 연구뿐만 아니라 상업화를 달성하였다. 향후 고속철도차량 기술분야에서 경쟁력과 경제성 확보를 위해서 차량 경량화는 필연적이며, 이를 위해 탄소섬유 복합소재의 적용이 반드시 필요하다.

본 논문에서는 이러한 철도차량 연구개발 추세에 맞추어 현재 세계에서 가장 철도차량분야에서 탄소섬유 복합소재 적용 기술에 적극적인 중국 중차의 기술을 소개하였고, 향후 국내 철도차량 개발과 탄소섬유 복합소재 산업에 참고가 되었으면 한다.

후 기

본 연구는 과기부 전략연구사업 “고효율·대용량 차세대 고속철도차량 기술개발(PKS26001)”에서 지원하는 연구과제로 수행된 것이며, 지원에 대해 진심으로 감사드립니다.

REFERENCES

- Seo, S.I., Kim, J.S., and Cho, S.H., “Development of Hybrid Composite Bodyshell for Tilting Trains,” *Proc. IMechE Part F: J. Rail and Rapid Transit*, Vol. 222, No. 1, 2008, pp. 1-13.
- Kim, J.S., Lee, J.H., and Jung, S.K., “A Study on the Low Velocity Impact Response of Woven Fabric Composites for the Hybrid Composite Train Bodyshell,” *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 18, No. 3, 2005, pp. 7-13.
- Jang, H.J., Shin, K.B., and Han, S.H., “A study on the Crashworthiness Evaluation and Performance Improvement of Tilting Train Carbody Structure made of Sandwich Composites,” *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 24, No. 5, 2011, pp. 9-16.
- Kim, J.H., Shin, K.B., Ko, H.Y., and Kim, J.S., “A Study on Optimum Design Analysis of Bolt Locations for Metal Joint Parts of Railway Composite Bogie Frames using Sub-modeling Method,” *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 23, No. 6, 2010, pp. 19-25.
- Jeon, K.W., Shin, K.B., and Kim, J.S., “A Study on the Evaluation of Tension-Compression Fatigue Characteristics of Glass Fiber/Epoxy 4-Harness Satin Woven Laminate Composite for the Railway Bogie Application,” *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 23, No. 5, 2010, pp. 22-29.
- Shangguan, Y., Wang, W., He, A., Ma, W., and Tian, H., “Lightweight Design for the Aluminum Alloy-carbon Fiber Hybrid Structure of the EMU Car Body,” *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 37, No. 12, 2023, pp. 6441-6452.
- Liu, C., Ma, K., Zhu, T., Ding, H., Sun, M., and Wu, P., “A New Car-Body Structure Design for High-Speed EMUs Based on the Topology Optimization Method,” *Applied Science*, Vol. 14, 2024, pp. 1-36.
- CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., *A Composite EMU Body Made of Multiple Materials and Its Molding Method*, CN 111688733 A, China, 2020.
- CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., *A Carbody Structure of Rail Vehicle and Molding Method Thereof*, CN 117360561 A, China, 2017.
- CRRC Tangshan Locomotive & Rolling Stock Co., Ltd., *Car body and maglev vehicle*, CN 113619627 A, China, 2021.
- CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., *An Integral Reinforced Composite Material Car Body Structure*, CN 117360561 A, China, 2024.
- CRRC Tangshan Locomotive & Rolling Stock Co., Ltd., *Bogies and rail vehicles*, CN 112519825 A, China, 2021.
- Zhang, L., Dong, L., and Liu, Z., “Application of Carbon Fibre Composites in Rail Transit Vehicle Bogie,” *Urban Rail Transit*, Vol. 23, 2020, pp. 190-193.
- CRRC Tangshan Locomotive & Rolling Stock Co., Ltd., *A Bogie Cabin and Bogie System for Rail Vehicles*, CN 112519821 A, China, 2021.
- Hesselbarth, H., Leutenegger, S., and Hartwig, M., “Lightweight Car Body Thanks to Integrated Sandwich Technology,” *Lightweight Design*, Vol. 11, 2018, pp. 48-51.
- Ulbricht, A., “Rail Vehicle in CFRP-intensive Construction,” *Lightweight Design*, Vol. 12, 2019, pp. 36-41.
- Ulbricht, A., “Development and Technological Realization of an Innovative Lightweight Rail Vehicle in Composite Design,” *Zevrail*, Vol. 143, 2019, pp. 220-227.