

特輯

“철도분야에서의 신소재 복합재 응용 기술”(총 7편) 중 - 제4편

복합재 철도차량 차체의 유지보수기법

한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단
김정석*, 신광복*

1. 서론

한국철도기술연구원에서 연구개발 중인 한국형 고속틸팅 열차(TTX)는 신개념의 하이브리드 복합재 차체, 즉, 금속재 내부 골조와 카본/에폭시 복합재 면재로 갖고 알루미늄 하나 콤을 심재로 갖는 샌드위치 구조물이 일체형으로 제작되고 있다(약 23m길이의 차체 6량이 일체형으로 제작되고 있음).

전 세계적으로 본 사업에서 개발 중인 형태의 복합재 차체를 적용한 사례는 일부 시험용으로 제작된 경우를 제외하고는 전무하며 특히 상업운행중인 차량은 거의 없는 실정이다. 따라서 25년 이상 장기간 운행되는 복합재 철도차량 차체에 대한 유지보수기법 개발은 상업 운행에 앞서 반드시 선행되어야 하는 과제이다.

본 논문에서는 신소재 복합재를 적용한 철도차량 차체의 상용화에 대비하여 하이브리드 복합재 차체의 개발 후 유지보수를 위한 기본방안에 대한 연구 수행이 목적이며 이를 위해 본 연구에서는 아래와 같은 항목에 대한 검토를 수행하였다.

- ① 기존 금속재 차체의 유지보수 현황
 - 검수 항목
 - 검수 주기
 - 금속재 차체의 손상유형
- ② 철도차량분야에서 복합재 적용사례
 - 해외 철도차량분야 사례
- ③ 기존 복합재 적용구조물에서의 유지보수기법
 - 항공기나 선박분야에서의 유지보수 사례
 - 복합재 구조물의 유지보수 기법

위에서 언급한 바와 같이 기존 금속재 차체 유지보수기법, 철도차량분야에서의 적용사례 및 기존 복합재 구조물의 유지보수사례에 대한 분석을 통해 현재 개발 중인 하이브리드 복합재 차체의 유지보수기법을 간략히 소개하고자 한다.

2. 기존 금속재 차체의 유지보수 현황

현재 개발 중인 하이브리드 복합재 차체의 유지보수기법에 대한 연구를 수행하기 이전에 기존에 운행되고 있는 금속재 차체 차량에 대한 연구가 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서 기존 금속재 차체의 주요 검사항목과 항목별 검수주기에 대한 검토를 수행하고 철도차량 차체에 주로 발생하는 손상의 형태에 대해 분석하였다.

2.1 주요 검수 항목 및 검수 주기

일반적으로 철도차량은 객차, 발전차, 화차 및 기관차 등 차종에 따라 정비 시 검사항목 및 검수 주기가 약간씩 차이가 있는데 Table 1은 무궁화나 새마을 같은 일반 객차에 적용되는 정비지침서의 일부분으로 차체의 주요부분에 대한 검사항목 및 검수 주기이다.

Table 1 객차의 검사항목 및 주기

No.	검수 내용	검수 주기				
		제작	2M	6M	1Y	2Y
1	정기검수 해당 유무와 도장상태	O				
2	차체누수, 차체경사 여부	O				
3	측판, 단판 및 지붕상태			O		
4	차체 부분도장, 각종 표기 및 청소				O	
5	차체 골격부의 균열, 훼손, 부식 및 리벳 부분의 이완 또는 용접부의 균열 여부(해체하지 않고 외부로부터 발견이 용이한 개소)					O
6	구성 철판류의 부식, 노후, 파손여부					O
7	언더프레임(키스톤 플레이트) 녹, 오염 제거 후 도장시행					O

*M : Month, Y : Year

* 한국철도기술연구원 기존철도기술개발사업단 시스템엔지니어링팀

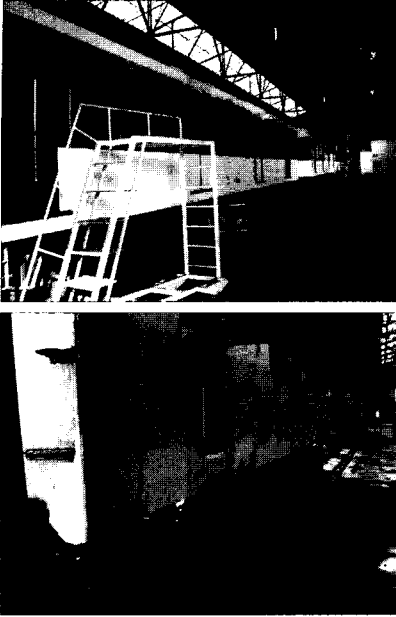


Fig. 1 금속재 차체의 충돌손상 유형.

Table 1에서 알 수 있듯이 차체 제작당시에 도장상태 및 누수를 검사하고, 측판이나 지붕은 2개월 마다 정기 검사하며 차체 골격부의 균열 및 부식은 2년 주기로 검수하도록 규정하고 있다. 금속재 차체의 경우 사고가 발생하지 않을 경우에는 부식에 의한 손상과 도장의 벗겨짐이 일반적인 유지보수 항목이다. Fig. 1은 금속재 차체에 대한 부식부위의 도장모습을 나타내고 있다.

2.2 금속재 차체의 손상유형

이전 정비시 검사항목에서 알 수 있듯이 금속재 철도 차량 차체의 경우 손상을 유형은 아래와 같다.

- 차체 골격부의 균열, 훼손, 부식
- 리벳 부분의 이완
- 용접부의 균열
- 구성 철판류의 부식, 노후, 파손
- 언더프레임(키스톤 플레이트)의 녹

이상의 손상은 일반적인 손상유형이고 충돌과 같은 사고 발생시에는 손상형태가 더욱 심각하게 된다. 일반 철도차량에 발생하는 흔한 사고 중의 하나가 승용차나 기타 지형지물과의 충돌이나 차량 간 접촉사고 등이다. 이러한 사고 발생시에는 Fig. 2와 같이 파손부위가 광범위하고 손상정도 또한 심한 상태이기 때문에 손상부 절단분리 후 용접 등으로 복구하게 된다.

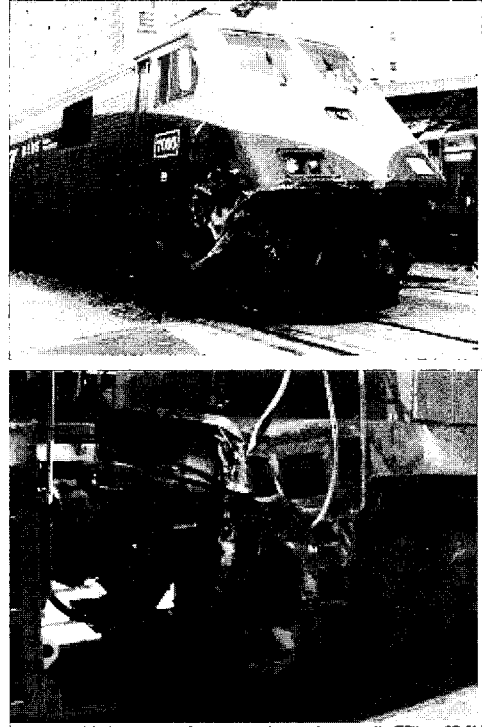


Fig. 2 금속재 차체의 충돌손상 유형.



Fig. 3 금속재 차체의 유지보수.

금속재 차체의 경우 충돌에 의한 손상이 가장 심각한 손상중의 하나이므로 복합재를 적용한 차체의 경우에도 이러한 손상에 대한 충분한 거동파악 연구, 즉 충격에너지 별 손상면적이나 파손모드에 대한 연구가 선행되어야 한다. 이와 더불어 파손발생시 손상면적이나 파손모드별 유지보수 적용기법 및 검사 기준에 대한 기본 연구 또한 수행되어야 한다.

금속재 차량의 경우 정비 시 손상파악은 거의 육안검사를 통해서 수행되고 있다.

Fig. 3은 유지보수중인 새마을호 객차와 전기기관차의 모습을 나타낸 것이다.

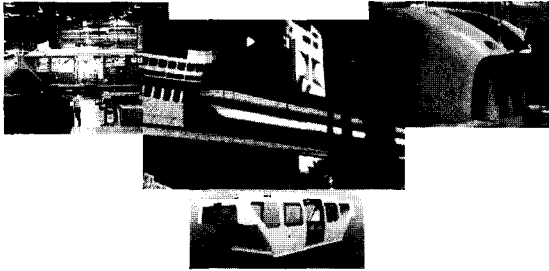


Fig. 4 라스베가스 모노레일 복합재 차체.

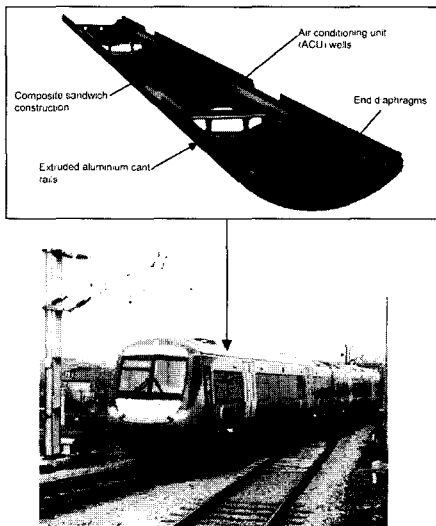


Fig. 5 Composite sandwich roof of Turbostar.

3. 철도차량 분야에서의 복합재 적용사례

복합재 차체의 유지보수를 위해서는 철도차량 분야에서 복합재의 적용사례에 대한 고찰이 필요하다. 특히, 철도차량 차체구조물에서 복합재 구조물이 주로 적용되는 부위에 대한 고찰은 발생 가능한 손상 및 유지보수 기법을 정립하는데 중요한 요인이다. 국내에서 운행 중인 차량의 경우에는 전두부 구조물이나 내장재에 복합재가 적용되고 있는 실정이다. 그러나 철도선진국들의 경우에는 전두부 뿐만 아니라 차체 일부 구조물에도 복합재를 적용한 사례를 찾아볼 수 있다.

Fig. 4는 라스베가스 모노레일의 차체를 나타낸 것이다. 이 모노레일의 경우 미국 AAR사에서 복합재로 제작되었으며 차체의 길이는 약 8.8m이고 2.4×2.4m의 단면을 가졌다.

Fig. 5는 1999년에 프랑스의 봄바디어(Bombardier)사가

영국의 Vosper Thornycroft사의 composite technology center와 공동으로 개발하여 영국에서 널리 운행하고 있는 최고 운행속도 160km/h 통근열차인 Turbostar의 복합재 지붕구조를 나타낸 것이다. 복합재 지붕구조를 적용함으로써 기존 알루미늄 지붕구조에서는 분리 제작되었던 지붕과 공기조화설비를 레진 인퓨전(resin infusion)성형기법으로 제작함으로써 제작비용 절감, 부품 수 감소 및 내구성을 향상시킬 수 있었다. 샌드위치 복합재 지붕구조에 적용된 재료는 면재(skin)의 경우 유리/비닐에스터(glass/vinylester)를 사용하고 심재(core)의 경우 PVC 폼(foam)을 사용하였다. 이렇게 제작된 샌드위치 복합재 구조는 알루미늄 차체와 상온경화 에폭시를 사용하여 접합하였다.

4. 기존 복합재 적용구조물의 유지보수 기법

철도분야에 비해 상대적으로 복합재의 적용이 일반화되어 있는 항공기나 선박분야의 경우에는 복합재 구조물에 대한 유지보수 기준과 기법이 많은 부분 정립되어 있다. 따라서 이러한 기존 복합재 구조물들에 적용되는 유지보수 기법을 벤치마킹(benchmarking)하여 철도차량분야에 적용 시 유지보수기법의 적용시간과 시행착오를 최소화 할 수 있을 것이다.

일반적으로 복합재 구조물의 손상에 대한 유지보수 시 최적인 유지보수 기법을 선정하기 위해 고려되어야 할 사항은 아래와 같다.

- 손상전의 기계적 성능을 회복시키는 정도
- 유지보수 비용
- 손상의 면적
- 손상이 구조물의 강도에 미치는 영향
- 손상위치 및 접근성
- 적절한 대체 재료의 조달성

4.1 복합재 구조물 유지보수 유형

운행 중에 복합재 구조물에 손상이 발생할 경우 아래의 3단계 유지보수기법 중 하나가 적용된다.

- ① 표면보수(cosmetic repair) : 손상감지를 통해 손상이 구조적 성능에 영향을 미치지 않을 정도로 미소할 경우에 수행하는 기법으로 표면 보수는 손상된 면의 보호(protection) 및 외형을 유지하는 것이 목적이다. 이 경우에는 섬유와 같은 강화재료는 사용하지 않는다.
- ② 임시보수(temporary repair) : 운용 중 구조물의 성능이나 기계적 성질의 저하에는 영향이 미소할 정도의 작은 영역의 손상이나 방지할 경우 손상의 전파,

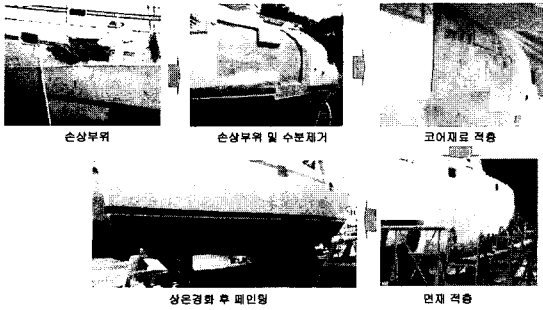


Fig. 6 선박구조물의 유지보수 사례.

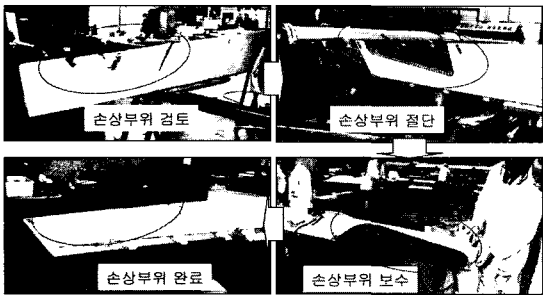


Fig. 7 항공기 날개구조물의 유지보수 사례.

습기 침입 및 피로파괴를 통해 구조물에 심각한 영향을 미칠 것으로 판단되는 손상에 대해서 수행되는 기법이다. 일반적으로 패치를 이용해서 손상부위를 임시적으로 보수하는 방법으로 추후 구조적 보수가 수행되어야 한다. 이러한 임시 보수된 부위는 구조적 보수가 수행될 때까지 정기적인 검사를 수행해야 한다.

- ③ 구조적 보수(structural repair) : 손상이 섬유파단, 층간분리를 통해 구조물의 성능이나 기계적 성질을 저하시킬 경우 손상된 강화섬유나 샌드위치구조물의 경우 코아에 대한 교체를 통해 원래 구조물의 성능이나 기계적 성질을 회복시키기 위해 수행하는 기법이다. 파단부에 본딩에 의한 접합은 기존 적층구조에 불연속성을 발생시키므로 응력집중을 발생시키게 된다. 따라서 본딩에 의한 접합부에는 반드시 추가적인 적층을 통한 보강이 필요하다. 구조적 보수의 주요 목적은 보수된 부위의 기계적 성질을 완전히 회복시켜 하중이나 응력을 온전히 전달하는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 반드시 보수부에는 겹치기 적층(overlapped plies)을 해야 한다.

Fig. 6과 7은 선박과 항공기 날개 구조물의 유지보수 사례를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 층돌과 같은 심각한 손상의 발생시에는 손상부를 절단하여 수분을 제거하고

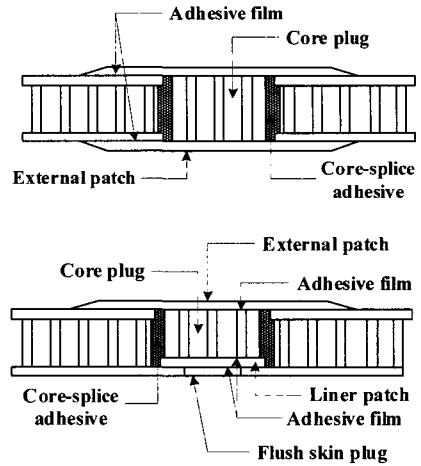


Fig. 8 패치적층판을 이용한 샌드위치 구조물의 유지보수 기법.

이전과 동일한 강화섬유와 수지를 적용하여 유지보수를 하게 된다. 만약 동일한 강화섬유와 수지 조달이 불가능할 경우에는 가장 기계적 성질이나 화학적 성질이 유사한 재료를 적용하는 것이 바람직하다. Fig. 8은 복합재 적층패치를 이용한 샌드위치 구조물의 유지보수 기법을 나타낸 것이다.

5. 맺음 말

본 논문에서는 180km/h급 한국형 고속틸팅열차 차체 적용되는 하이브리드 복합재 차체의 개발과 관련하여 추후 상용화를 대비한 복합재 차체의 유지보수기법을 간략히 정리하였다. 향후 보다 체계적인 복합재 철도차량의 유지보수기법을 정립하기 위해서는 아래와 같은 연구가 심도 깊게 진행되어야 할 것이다.

- 기존 금속재 차체의 가장 심각한 손상원인은 층돌
- 층돌하중에 대한 복합재 차체 적용 재료에 대한 거동 및 손상평가 기법확립 필요
- 금속재와 달리 복합재는 적층구조물이므로 육안검사와 더불어 NDT검사 추가 필요
- 운용중 자외선, 수분 및 염분에 대한 환경내구성 평가 필요
- 금속재와 달리 복합재에 적합한 검사항목 및 주기 마련 필요