온습도 변화에 따른 철도차량 바닥재의 변형
Deformation of the floor structure of railway vehicle depending on temperature and humidity

신범식* 김명수** 최연선***
Shin, Bum-Sik Kim, Myong-Soo Choi, Yeon-Sun

ABSTRACT

The floor structure of railway vehicle can deflect and warp due to variation of temperature and humidity at the inside and outside of vehicle. In this study, its temperature and humidity characteristics was investigated experimentally for beam and plate specimen and numerically for the floor structure assembly. The temperature and humidity characteristics of a part were measured and the deformation and stress distribution of the floor structure were calculated using a commercial software. And the warp deformation of the plywood was measured experimentally. The results show that the temperature and humidity effects on the floor structure are the important factor to decide the strength and the quality of the floor structure of railway vehicles.

1. 서 론

철도차량 바닥재의 변형에 영향을 미치는 주요 인자는 하중과 더불어 온도와 습도이다. 이중 하중은 설계단계에서 예측하기 쉬우나 온습도에 의한 변형은 정량적 예측이 쉽지 않다. 또한 차량의 바닥재는 철판, 합판, 고무 등이 적층되어있는 구조로 각 요소별 온도와 습도에 의한 변형이 다르며, 적층 위치에 따라 외부 환경요인에 노출되는 정도가 다르므로 설계에 반영하는데 어려움이 있다. 따라서 각 요소별 온습도 특성을 파악하여 설계를 하여야 한다.

복합재의 열팽창 및 습윤 특성에 관련한 선행연구로 김태우[1]는 습도 환경에 따른 페놀복합재의 기계적 특성연구를 통해 고습윤, 온도 특성에 따른 재료의 기계적 성질에 대하여 연구하였고, 강대갑[2]은 복합재료의 열팽창 특성에 따른 각 방향성을 고려한 응력을 시험을 통하여 도시하였다. 또한 김승택[3]은 광섬유센서를 이용하여 열팽창계수를 측정하는 방법을 제시하여 비접촉식 열팽창을 측정하였다. 그러나 철도차량 바닥재의 온도와 습도의 변화에 의한 변형을 연구한 경우는 찾아보기 어려웠다.

본 연구에서는 철도차량의 바닥구조를 구성하는 각 요소에 대한 열팽창 및 습윤 팽창을 비접촉식 레이저 변위기를 사용하여 측정하였고, 바닥재 합판의 고습윤 상태의 뒤틀림을 시험을 통하여 확인하였다. 또한 이를 바탕으로 전산 시뮬레이션 모델을 구성하여 차량 바닥의 온습도 변화에 따른 철도차량의 변형을 예측하였다.

* 성균관대학교, 기계공학부
E-mail :tahl98@skku.edu
TEL : (031) 290-7501 FAX : (031) 290-5889
** (주) 현대로템,
*** 성균관대학교, 기계공학부,정회원
E-mail :yschoi@yurim.skku.ac.kr
TEL : (031) 290-7440 FAX : (031) 290-5849

2. 바닥재 온도 및 습도 시험

바닥재의 온도 및 습도 영향에 의한 변형을 측정하기 위하여 그림 2.1와 같은 연결부를 갖는 3개 모델을 준비 하였다. 시험은 우선 그림 2.2와 같이 각 단순모델을 구성하는 일반 합판재질의 시편 ①, 일반합판 재질에 양면 SUS판을 붙인 시편 ②, 합판 양면을 코팅한 시편 ③의 단품시편 3개와 그림 2.3의 차량 바닥구조를 구성하는 각각의 시편에 대하여 열팽창 과 습윤 팽창 시험을 하였다. 또한 1500 × 1500 × 12 T 합판시편에 대하여 습윤 상태에서 뒤틀림 시험을 하였다.

(a) model① (b) model② (c) model③

그림 2.1 연결부 단품 시편

(a) 시편 ① (b) 시편 ② (c) 시편 ③

그림 2.2 재질별 단품 시편

(a) sp/페노필림 합판 (b) car body 'L','ㅁ' (c) floor covering (d) cushion rubber

그림 2.3 바닥재 시편

2.1 열팽창 시험

열팽창 시험을 위하여 시편을 냉장고에 24시간 냉동시켜 -20 ℃상태를 유지시킨 후 대기상태에서 시험틀에 놓아 시편의 온도가 올라감에 따라 시편의 변형량을 측정하여 열팽창계수를 구하였다.

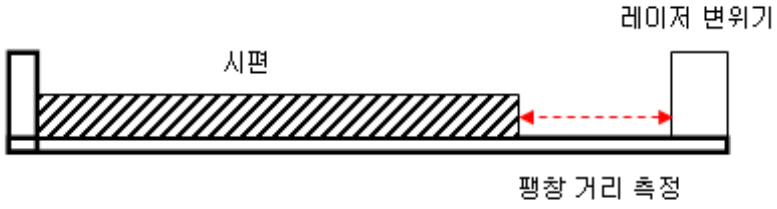


그림 2.4 시험 장치

표 2.1은 각 시편의 측정된 열팽창계수이다. 합판 단품 시편을 제외한 요소에 대하여 car body'ㅁ', 'L', cushion rubber의 열팽창계수가 컸으며, sp/페노필림 합판이 낮았다. 차량 구조물에서의 연결되는 구조물은 sp/페노필림 합판과 floor covering이 상호 접합되어 차량에 설치되는 열팽창계수의 차이로 인해 문제가 발생할 수 있으나, floor covering과 합판 단품 시편 ②의 SUS 양면 합판과의 열팽창 계수가 유사함으로 가장 양호한 조합임을 알 수 있었다.

표 2.1 시편 열팽창 계수

시 편	열팽창계수(1/℃)
floor covering	1.725×10^{-5}
sp/페노필림 합판	0.686×10^{-5}
cushion rubber	2.966×10^{-5}
car body'L'	2.133×10^{-5}
car body'ㅁ'	1.833×10^{-5}
시편 ①	0.467×10^{-5}
시편 ②	1.750×10^{-5}
시편 ③	0.575×10^{-5}

2.2 습윤 팽창 시험

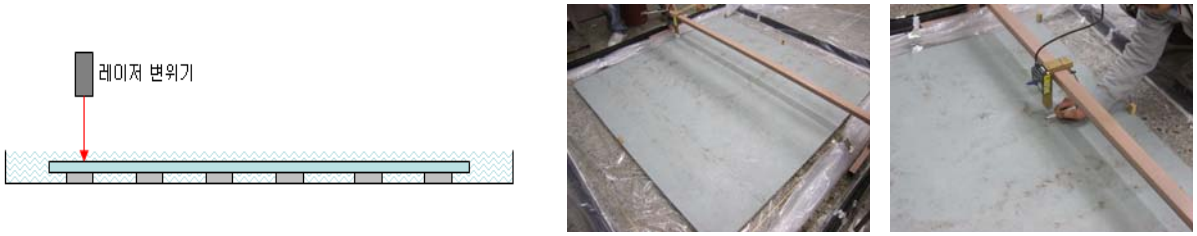
습윤 팽창 시험은 열팽창 시험과 같은 측정 틀에서 측정하였으며, 이때 시편은 물이 담긴 수조에서 6시간 동안 넣어 고습윤 상태를 만들고 이를 정상 대기상태에서 건조시켜가면서 변화량을 측정하였다. 고습윤 상태의 시편의 함수율은 30 %, 정상상태의 함수율은 10 %로 측정되었다. 시험 결과, 표 2.2와 같이 일반 합판의 습윤 팽창이 낮았으며, 양면 코팅 합판의 경우 높은 수치를 보였다.

표 2.2 시편 습윤 팽창 계수

시 편	습윤 팽창 계수(1/%(습도))
시편 ①	5.833×10^{-6}
시편 ②	6.667×10^{-6}
시편 ③	7.501×10^{-6}

2.3 합판 뒤틀림 시험

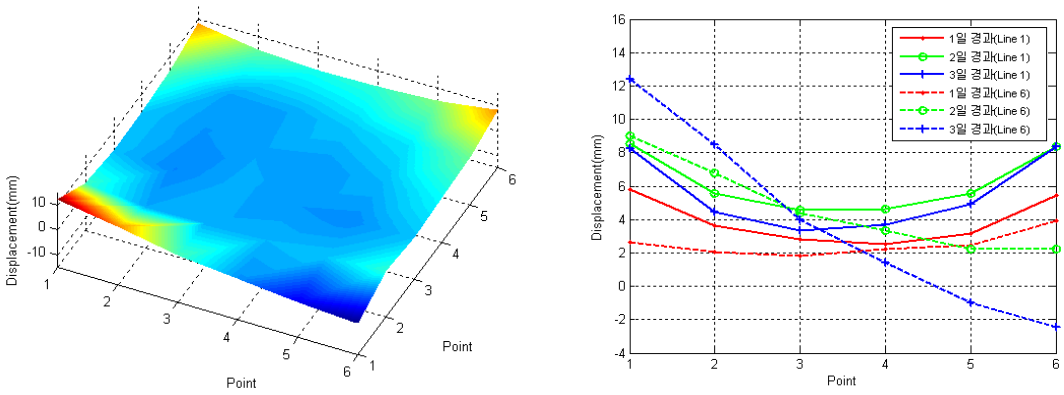
단품 수분팽창은 합판의 단방향 팽창의 정도를 확인할 수 있을 뿐, 실 차량 바닥의 수분 팽창에 의한 뒤틀림의 정도는 확인할 수 없다. 따라서 합판 모델을 사용한 뒤틀림 시험을 그림 2.5(a)와 같이 합판이 잠길 수 있는 간이 수조를 만들고 물을 부어 합판을 물에 잠기게 하고 시간 경과에 따른 뒤틀림을 측정하였다. 시험은 약 4일에 걸쳐 24시간 경과에 따라 레이저 변위기를 사용하여 합판의 뒤틀림을 측정하였다. 그림 2.5(b)는 시험장치 사진이다.



(a) 시험 개략도 (b) 시험 사진

그림 2.5 시험 개략도 및 사진

측정 결과, 초기 위치를 기준으로 합판의 습윤 뒤틀림 변화는 3일 경과 시, 최대 12 mm 변화를 보였으며, 합판의 뒤틀림 및 휨 형상은 그림 2.6(a)와 같았다. 그림 2.6(b)는 합판의 끝단의 변화량을 시간 경과에 따라 비교한 것으로 한 쪽 면은 합판이 들리면서 휨을 보였고, 다른 면은 합판의 뒤틀림이 나타났다. 이와 같은 결과로 고습윤 상태에 노출된 철도차량 바닥구조는 온습도 상태의 선팽창에 의한 변형보다 큰 값을 보였으며, 이는 차량이 온도 및 습도의 선팽창을 고려한 설계조건에 만족하더라도 관리상태에 따라 품질에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다.

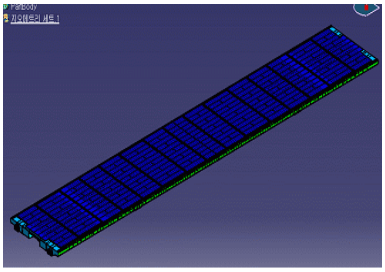


(a) 3일 경과 후 (b) 시간의 변화에 따른 휨

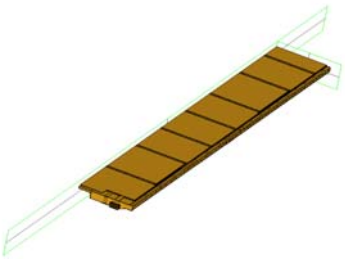
그림 2.6 시간 경과에 따른 합판의 휨 변화

3. 차량바닥 전산 시뮬레이션

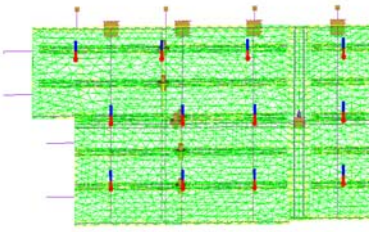
차량바닥모델은 그림 3.1(a)와 같이 객차의 바닥면에 대해 해석모델을 구성하였다. 모델 구성 시 모델의 대칭성을 고려하여 그림 3.1(b)와 같이 1/4 차량으로 모델링하였으며, 이때 온도와 습도를 각각 고려하기 위하여 경계조건상의 온도 및 습윤 조건을 부여하였다. 유한요소모델은 쉘(shell)요소의 경우 삼각형(triangle)의 형태로 차량의 전체 크기를 고려하여 20 mm의 크기로 형성하였으며, 솔리드(solid) 요소의 경우 사면체(tetrahedron)의 Delaunay-Voronoi 방법으로 형성하였다. 해석 시 정상상태 온도의 경우 20 ℃를 기준으로 대기상태 50 ℃ 고온 상태의 변위를 계산하였으며, 습윤 상태의 경우 정상상태 10 %를 기준으로 30 %의 고습윤 상태의 바닥재 팽창에 의한 변위와 응력을 해석하였다. 해석결과 합판의 고습윤 상태인 30 %, 대기 온도 상태의 고온인 50 ℃ 기준에서 온도에 의한 변형이 습도에 비하여 크며, 합판 연결부 간극이 존재하여 응력은 연결부에서 크게 발생하지 않음을 확인하였다.



(a) 전체 바닥 구조물

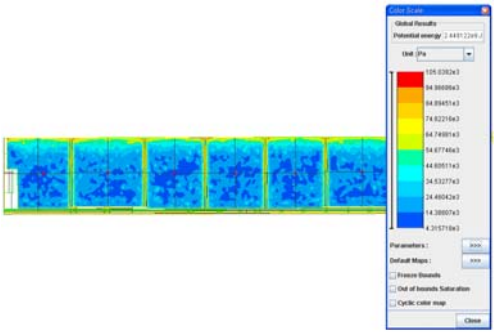


(b) 1/4 바닥 구조물

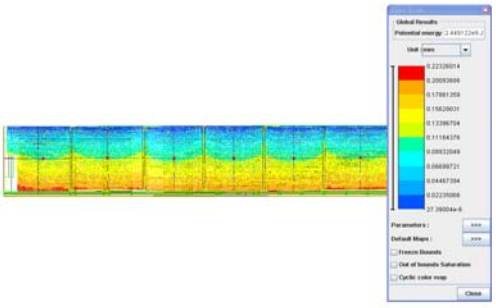


(d) 유한요소모델

그림 3.1 차량 바닥 해석 모델

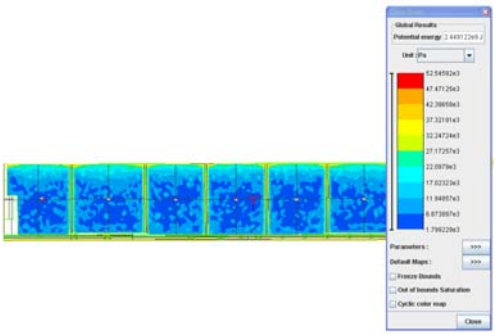


(a) 응력

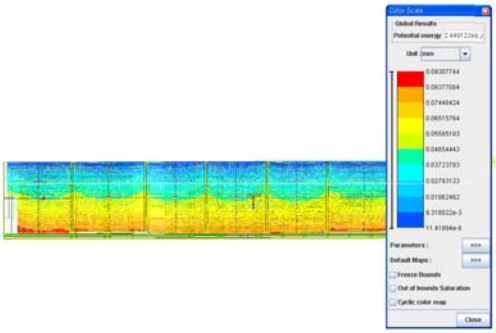


(b) 변위

그림 3.2 온도 50℃ 측정 변위(기준 20 ℃)



(a)응력



(b)변위

그림 3.3 습윤 30% 상태 해석(기준 10 %)

표 3.1 온습도 변위 및 응력

	변위(mm)	응력(MPa)
온도(50 ℃)	0.22	105.1
습도(30 %)	0.09	52.5

4. 결 론

본 연구에서는 온도 및 습도 변화에 따른 철도차량 바닥구조의 팽창에 의한 뒤틀림 여부를 검토하기 위해 온도 및 습도변화에 따른 각종 바닥구조 자재에 대한 열팽창계수 및 습윤 팽창 계수를 시험으로 구하고 이를 바탕으로 전산해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 양면 SUS 합판과 바닥커버(floor covering)는 유사한 열팽창 계수를 가지므로 뒤틀림이 최소화 될 수 있다.

2) 합판시편의 뒤틀림은 함수율 35% 상태에서 3일 침수 시켰을 경우 최대 12 mm 변화하여 선팽창에 의한 영향 보다 뒤틀림의 크기가 컸다.

3) 차량바닥 전산해석결과 습도의 최대 변위 보다 온도의 변위가 크게 변하며, 바닥재 연결부의 초기 간극에 의하여 휨과 뒤틀림이 발생하지 않았다.

결과를 통하여 설계 시 길이방향 변화의 경우 온도의 영향이 크게 작용하여 최적조합을 확인할 수 있었으나 뒤틀림의 경우 길이방향의 변화량보다 커 그 영향에 대한 바닥재의 변형이 클 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 선팽창에 의한 영향을 최소화하기 위하여 일반 바닥커버와 양면 SUS합판을 사용하고, 바닥재의 뒤틀림을 고려한 설계가 필요하다.

감사의 글

본 연구에 도움을 주신 (주)현대로템 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 김태우 · 이재학 · 이시영, “페놀 복합재의 습도환경에 대한 기계적 특성 평가,” 1996, 대한기계학회, 대한기계학회 춘추학술대회 pp. 135~139.
2. 강대갑, Weisskopf, “코디어 라이트-SiC 위스커 복합재료의 열팽창 특성,” 1987, 한국세라믹학회, 한국세라믹학회지, 제24권 제5호, pp. 411~416.
3. 김승택, 전흥재, 최흥섭, “브래그 그래이팅 광섬유 센서를 이용한 복합재료의 열팽창 계수 측정,” 1999, 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, pp. 621~624.