

철도차량 냉방 및 난방장치의 환경성능 시험방안 연구

Study on the environmental performance test of cooling and heating equipments' of passenger cabin

조영민* 이준석** 박덕신*** 권순박*** 정우성***
Cho, Youngmin Lee, Jun-Seok Park, Duck-Shin Kwon, Soon-Bark Jung, Woo-Sung

ABSTRACT

Cooling and heating equipments of railroad passenger cabin is one of the most important part in keeping the good thermal comfort of the passengers. The bad performance of these equipments usually results in the comfort of the passengers. However, there is no testing method for cooling and heating equipments during manufacturing the passenger car, and calculation method is frequently used. Many railroad operators spend a lot of money for the maintenance. In this study, a new environmental performance test for railroad passenger cabin was suggested. The temperature of the chamber will be changed from -40°C to 60°C. The performance test of cooling and heating equipment in controlling the passenger cabin temperature was carried out under various temperature condition. The testing method to investigate the effect of artificial sunlight irradiation on the passenger cabin temperature was also suggested.

1. 서 론

철도차량을 이용하는 승객이 제기하는 불만 중 가장 큰 비중을 차지하는 것 중의 하나가 바로 실내의 냉방 및 난방에 의한 열적 쾌적성이다. 특히 하절기와 동절기에 열적 쾌적성에 대한 불만이 가장 많이 제기되고 있는데, 이 시기에는 냉·난방이 부족하거나 과잉일 경우 모두 승객의 열쾌적성을 떨어뜨릴 우려가 있다. 이에 철도 선진국에서는 철도차량의 냉방 및 난방장치의 성능을 평가할 수 있는 실대형 환경챔버를 갖추고 이를 기반으로 기술의 신뢰성 향상 및 신규 기술의 개발, 검증에 이용하고 있으나, 국내에는 이런 시설이 없어 내수 차량의 경우에는 계산식에 의존하고 있다. 또한, 국내에서 제작한 차량을 수출하고자 할 경우에도 많은 해외 철도차량운영사가 환경챔버를 이용한 실제 시험을 의무화하고 있어 이러한 시험을 수행하고자 오스트리아, 캐나다 등으로 제작한 차량을 가지고 나가 환경챔버 실험을 수행하고 있는 실정이다.

이에 최근에 국내에도 철도차량 냉방 및 난방장치의 환경성능시험을 수행할 수 있는 철도차량용 실대형 환경챔버가 구축되고 있는데, 이를 통해 기존에 해외에서 수행하던 실험을 국내에서 수행함과 더불어 국내에 납품되는 철도차량에 대해서도 환경성능을 인증할 수 있도록 하는 시스템이 구축될 예정이다.

이를 통해 국산 철도차량의 국제적 신뢰성을 확보하고 다양한 환경조건에서의 성능시험을 통해 냉방 및 난방장치의 성능을 개선하여 철도차량 객실의 쾌적성과 안전성을 극대화하며, 철도차량에 적합한 최적의 운전조건을 도출할 수 있는 기반을 마련하고자 한다. 특히 시제모델의 환경성능 검증은 철도차량을 현업

* 한국철도기술연구원 철도환경연구실, 정회원

E-mail : ymcho@krri.re.kr

TEL : (031)460-5362 FAX : (031)460-5279

** 한국철도기술연구원 차륜궤도연구실

*** 한국철도기술연구원 철도환경연구실

투입시에 발생 가능한 문제점을 사전에 예방할 수 있으므로 생산 비용 절감 효과도 기대할 수 있다. 이 외에도 철도 궤도토목 및 신호설비 등 각종 운영설비에 대해서도 다양한 환경성능 시험을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

이에 본 연구에서는 해외의 철도차량 냉방 및 난방장치의 환경성능 시험법을 알아보고, 국내 철도차량의 냉방 및 난방장치의 환경성능을 시험할 수 있는 시험방법을 개발하고자 하며, 이러한 시험방법을 정립함으로써 철도차량용 냉방 및 난방장치의 성능시험 기준을 제정하고자 한다.

2. 국외 환경시험 기준

2.1 UIC 553 규격

UIC (국제철도연맹)에서는 철도차량의 냉방, 난방, 환경장치의 환경성능을 시험할 수 있는 방법으로 UIC 553, UIC 553-1 규격을 제정하였다. UIC 553 규격 (Heating, ventilation and air-conditioning in coaches)은 1947년에 처음으로 제정되어 2004년에 6판이 제정되었고, 이는 유럽의 13129-1 규격에도 적용되고 있다. UIC 553 규격에서 규정하는 철도차량의 환경제어설비는 철도차량의 환기장치, 냉방장치, 냉방장치는 물론 가습 및 제습장치를 통칭한다. 또한 승객이 사용하는 공간과 부수적인 공간으로 나누어 적용하며, 승객이 사용하는 공간은 칸막이칸 (compartments) 또는 열린 객실 (open saloons)이다. 부수적인 공간으로는 복도, 출입현관, 화장실, 식당, 수유실, 승무원실, 전화부스 등이 있다. 이러한 승객 사용 공간과 부수적인 공간에는 서로 다른 폐적성 기준이 적용된다. UIC 553 규격은 일반 좌석 차량, 간이침대 차량, 침대 차량에 대한 환경 제어 설비에 대한 것으로 UIC 660에 규정된 고속철도차량 및 국경을 넘어 운행하는 모든 승객용 차량에 적용된다. 폐적성의 일반적인 조건으로는 객실의 온도, 부속시설의 온도, 상대습도, 표면온도, 기류 속도, 공기 공급 등이 있다. 또한 기후 조건에 따라 국가들을 다음 표와 같이 분류하고 있다.

표 1. 동절기의 국가별 최저온도

동절기	최저 온도	국가
1지역	-10°C	영국, 그리스, 포르투갈, 스페인
2지역	-20°C	알바니아, 오스트리아, 벨기에, 보스니아-헤르체고비야, 불가리아, 크로아티아, 체코, 덴마크, 프랑스, 독일, 헝가리, 이태리, 룩셈부르크, 네덜란드, 폴란드, 유고슬라비아, 마케도니아, 루마니아, 세르비아-몬테네그로, 슬로바키아, 슬로베니아, 스위스
3지역	-40°C	핀란드, 노르웨이, 스웨덴

표 2. 하절기의 국가별 최고온도, 상대습도, 및 태양광 복사량

하절기	최고 외기 온도	상대습도	태양광 복사	국가
1지역	+40°C	40%	800 W/m ²	그리스, 이태리, 포르투갈, 스페인
2지역	+35°C	50%	700 W/m ²	알바니아, 오스트리아, 벨기에, 보스니아-헤르체고비야, 불가리아, 크로아티아, 체코, 덴마크, 프랑스, 독일, 헝가리, 이태리, 룩셈부르크, 네덜란드, 폴란드, 유고슬라비아, 마케도니아, 루마니아, 세르비아-몬테네그로, 슬로바키아, 슬로베니아, 스위스
3지역	+28°C	45%	600 W/m ²	핀란드, 영국, 노르웨이, 스웨덴

냉방장치 및 난방장치의 성능도 위의 표의 세 기후 지역에 각각 적합하여야 한다. 객실에 공급되는 신선공기 공급량은 외기온도의 함수로 다음 표와 같이 나타낼 수 있다.

표 3. 객차의 냉방시 신선공기량 (단, Te : 외기온도)

외기온도	20°C, 50% 습도조건에서의 최소 신선공기 공급량
$Te \leq -20^{\circ}\text{C}$	좌석 또는 침대당 $10 \text{ m}^3/\text{h}$
$-20^{\circ}\text{C} < Te \leq -5^{\circ}\text{C}$	좌석 또는 침대당 $15 \text{ m}^3/\text{h}$
$-5^{\circ}\text{C} < Te \leq +26^{\circ}\text{C}$	좌석 또는 침대당 $20 \text{ m}^3/\text{h}$
$Te \geq +26^{\circ}\text{C}$	좌석 또는 침대당 $15 \text{ m}^3/\text{h}$

표 4. 객차의 난방시 신선공기량 (단, Te : 외기온도, Tim : 평균 외기 온도)

외기온도	20°C, 50% 습도조건에서의 최소 신선공기 공급량
$Te \leq -20^{\circ}\text{C}$	좌석 또는 침대당 $10 \text{ m}^3/\text{h}$
$-20^{\circ}\text{C} < Te \leq -5^{\circ}\text{C}$	좌석 또는 침대당 $15 \text{ m}^3/\text{h}$
$-5^{\circ}\text{C} < Te \leq +20^{\circ}\text{C}$	좌석 또는 침대당 $20 \text{ m}^3/\text{h}$
$Te \geq +20^{\circ}\text{C}$ $Tim \geq +24^{\circ}\text{C}$	좌석 또는 침대당 $\geq 20 \text{ m}^3/\text{h}$

난방장치는 예열과 일반적인 난방으로 나누어 성능을 시험한다. 예열은 철도차량이 정지된 상태에서 외기 온도 0°C 에서 18°C 이상의 온도를 객실의 모든 공간에서 70분 안에 도달할 수 있어야 한다. 일반적인 난방의 경우, 최대 운행 속도에서 각 기후 지역별 최저 외기 온도 조건 및 주어진 신선공기 공급이 이루어지는 조건에서 22°C 의 평균 온도가 유지될 수 있어야 한다. (단, 빛 조사가 없고, 승객이 탑승하지 않은 상태이며, 태양광 조사도 이루어지지 않는 조건)

냉방장치는 예냉과 일반적인 냉방으로 나누어 성능을 시험한다. 예냉은 기후 지역별 조건에서 개별 온도 조절기를 최소로 맞춘 상태에서 이론적인 평균 온도보다 주위 온도가 2도 이상 높지 않은 온도로 정차 상태에서 100분 안에 달성할 수 있어야 한다. 일반적인 냉방의 경우 정지된 상태 (기류 속도는 최대로 함) 및 각 기후 지역별로 최대 외기 온도 및 태양광 복사 조건, 신선공기 공급, 승객이 가득 찬 상태, 온도 제어기는 ‘중간’으로 설정한 상태에서 기준 온도 범위 이하로 유지할 수 있어야 한다.

또한, 모든 설비는 표 1의 최소온도보다 5도 낮은 온도 및 표 2의 최고 온도보다 5도 높은 온도와 같은 극한 온도 조건 하에서도 작동하여야 한다. 철도차량 하단에 장착된 상태에서는 최고 온도보다 15도 높은 온도 조건 하에서도 작동하여야 한다. 이와 같은 극한 조건에서는 일반적인 퀘적성 기준을 맞출 필요는 없다. 장치의 일부분에 손상이 있어 신선공기 공급량을 만족시킬 수 없는 경우, 감소된 공기 공급량을 보충할 수 있는 환기시스템이 필요하다. 철도차량 충전지를 이용한 비상 환기 시스템이 30분 이상 가동될 수 있어야 한다.

2.2 UIC 553-1 규격

UIC 553-1 규격은 UIC 553 규격에서 제시한 냉방 및 난방장치의 성능조건을 만족시키는지를 시험하는 시험방법을 제시하는 것으로서 1992년에 최초로 제정되어 2005년에 2판이 나왔다. 냉방 및 난방 장치를 시험할 때 가능 시험은 문, 화장실 시설, 전기 공급 장치, 조명장치 등과 같은 다른 장비와 함께 수행할 것을 추천한다. 이 시험 조건은 칸막이칸 (compartments) 차량과 열린 객실 (open saloons)에 적용되고, 변형된 디자인에도 적용이 가능하다. 특수 시험 조건은 시험의뢰자와 시험센터 사이에 협의가 가능하다. 예비시험은 전기 장치, 냉방 및 난방 장치의 기본 기능 및 기능 제어, 회로의 기밀성 등을 시험하게 된다.

기류 시험은 크게 정적 기류 시험과 동적 기류 시험, 쾌적성 시험으로 나뉜다. 정적 기류 시험의 시험조건은 철도차량이 정차 상태이고 날씨의 영향을 받지 않아야 하며, 시험장소의 높이가 해발 1000 m 이하여야 하고, 외부 바람의 속도는 4 m/s보다 작아야 하며, 외기 온도는 +15°C와 +30°C 사이여야 한다. 공기 유동은 외기 (또는 신선공기), 배기, 순환 및 혼합공기의 양이 결정된다. 두 공간 사이의 압력차는 연기의 흐름을 이용하여 볼 수 있는데, 특히 식당차의 부엌, 흡연/비흡연차량, 화장실 또는 운전실 등에서 온도 제어 설비가 냄새의 확산을 막도록 제대로 설계되어있는지를 시험하는 것이다. 동적 기류 시험은 실제로 차량이 궤도를 달리는 조건에서 기류와 압력을 측정하는 것을 추천하는데, 측정항목은 외기와 배기 등이다. 본 시험이 이루어지는 동안 냉각 시스템의 응축팬의 기능을 점검하여야 한다. 또한 측정 결과는 정차 상태에서의 측정결과와 비교하여야 한다. 마지막으로 쾌적성 시험에서는 임계 기류 속도를 측정하는데 이 시험의 목적은 쾌적성 지역에서 가장 불쾌한 세 개의 좌석을 결정하는 것이다. 승객이 없는 조건과 있는 조건에서 기류를 측정하는데, 승객이 있는 조건의 경우, 승객의 탑승 조건에서의 유동 속도를 기록해야 하고, 시험은 승객이 차량에 탑승하고 있다고 가정하는 모델을 이용하여 이루어진다.

냉방 및 난방시험은 UIC 553 규격의 쾌적성 인자들에 대한 시험 방법에 따라 이루어진다. 시험 순서는 바꿀 수 있으며, 이는 시험용 챔버의 물리적인 특성과 가능한 시험시설에 따라 적절히 조절할 수 있다. 시험이 이루어지고 있는 동안에는 다음 그림의 측정 위치에서 연속적인 측정 및 기록이 이루어져야 한다.

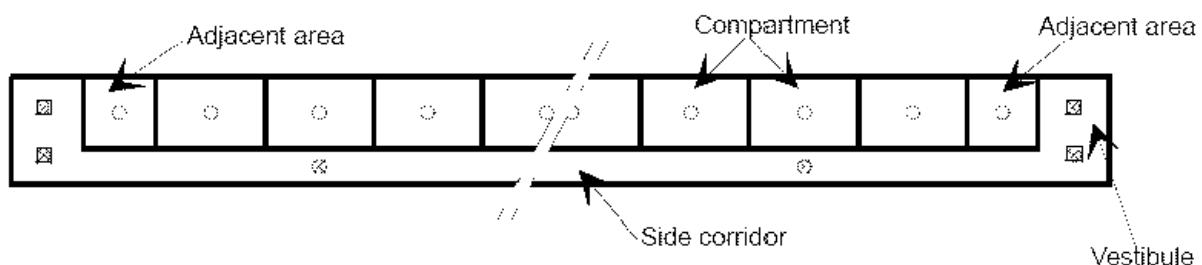


그림 2. 칸막이칸 차량의 측정 위치 (○위치는 바닥에서 1.1 m, X위치는 바닥에서 1.7 m)



그림 3. 열린 객실 차량의 측정위치 (○위치는 바닥에서 1.1 m, X위치는 바닥에서 1.7 m)

칸막이칸 차량에서의 측정 지점은 각 칸막이칸의 중심부이고, 열린 객실 차량은 그림 2에 나타난 바와 같이 대각선 지점이다 (객실은 세 개의 동일 크기 부분으로 나눈다). 칸막이칸 차량의 경우 복도에서는 두 번째 칸과 마지막에서 두 번째 앞 복도의 길이방향 중심라인을 따라 측정이 이루어진다. 현관의 경우 출입문과 0.5 m 떨어진 곳을 잇는 중심축에서 이루어진다. 이웃한 부분에서는 각 구역의 중심부에서 측정이 이루어진다. 환경 제어 설비 및 적용 가능한 모든 차량 설비의 에너지 소비량은 UIC 550 규격을 따라 측정한다. 문, 화장실 설비, 전기 공급설비, 조명 등과 같은 다른 설비를 점검하는 것이 필요한 경우 관련 시험은 환경 제어 측정과 겹쳐서는 안 된다.

예열 시험과 예냉 시험을 시작하기 전에 차량 실내 온도와 차량 내부 표면 온도가 외부 온도와 같아야 하며 최소한 한 시간 이상 ±1도를 유지하여야 한다. 예냉시험을 실제로 시작하기 전에 차량은 출입문과 창문을 닫은 채로 태양 아래에 2시간 동안 노출시켜야 하며, 이 때 태양광량은 UIC 553에 제시된 광강도여야 한다.

제어 시험은 온도 제어를 중간으로 설정하고 안정화된 조건으로 환경 제어 설비를 유지한 조건에서 이루어지고, UIC 553 규격의 폐적성 요구조건을 만족시키면서도 세 번의 제어 주기를 거치는 동안 또는 90분 동안 평균 실내 온도 (Tic)에 변화가 없어야 한다. 어떠한 변수 (내부 또는 외부)에 변화가 있으면, 다른 변수의 변화는 90분 또는 세 번의 동일 제어 주기 동안 관찰되어야 한다. 난방 조건 및 냉방 조건에서의 시험은 다음과 같은 외기 조건에서 수행된다.

표 5. 난방시험시 외기조건

1지역		2지역		3지역	
온도 (°C)		온도 (°C)		온도 (°C)	
—		−20		−40	
−10		−10		−10	
0		0		0	
+10		+10		+10	

표 6. 냉방시험시 외기조건

1지역			2지역			3지역		
온도	상대습도	태양광	온도	상대습도	태양광	온도	상대습도	태양광
°C	%	W/m ²	°C	%	W/m ²	°C	%	W/m ²
40	40	800	35	50	700	28	45	600
28	70	600	28	70	600	22	80	60
22	80	500	22	80	500			

그 외의 극한 조건에서의 시험은 UIC 553 규격의 조건을 따른다. 이 외에도 결빙시험이 있는데, 이는 급수 장치 및 폐쇄식 화장실 등에서 얼음이 형성되면서 동파하는지 여부에 대한 시험이다. 시험 시작 전에 물이 1/4와 1/3이 담긴 수조를 15°C에서 최소 5시간 이상 유지한 후 외기 온도를 −10°C로 유지하고 객실 내부는 20°C로 5시간 동안 유지시킨다. 냉각 시험은 일체의 동력 공급 없이 −10°C에서 최소 12시간 동안 방치한 후에 기능적으로 이상이 없는지 확인한다. 그 밖에 단열 성능, 소음 및 진동 성능 등을 시험하게 된다.

3. 국내 철도차량 환경시험

3.1 수행가능 환경시험 항목

현재 국내에 구축 중인 철도차량용 실대형 환경챔버에서는 기본적으로 UIC의 553, 553-1 규격시험을 수행할 수 있도록 하고, 부가적으로 ISO 7726, EN 13129-1,2, EN 14750-1,2, EN 14813-1,2 규격 시험도 수행이 가능하도록 하고 있다.

3.2 환경챔버 성능

국내에 구축 중인 철도차량 실대형 환경챔버에서는 저온 (-40°C), 고온 (+60°C), 저습 (10%), 고습 (95%), 결빙 시험 (-10°C), 태양광 복사시험 (최대 1,120 W/m²) 등의 시험이 가능하며, 부가적으로 0~15 km/h의 저속 풍동시험도 수행이 가능하다.

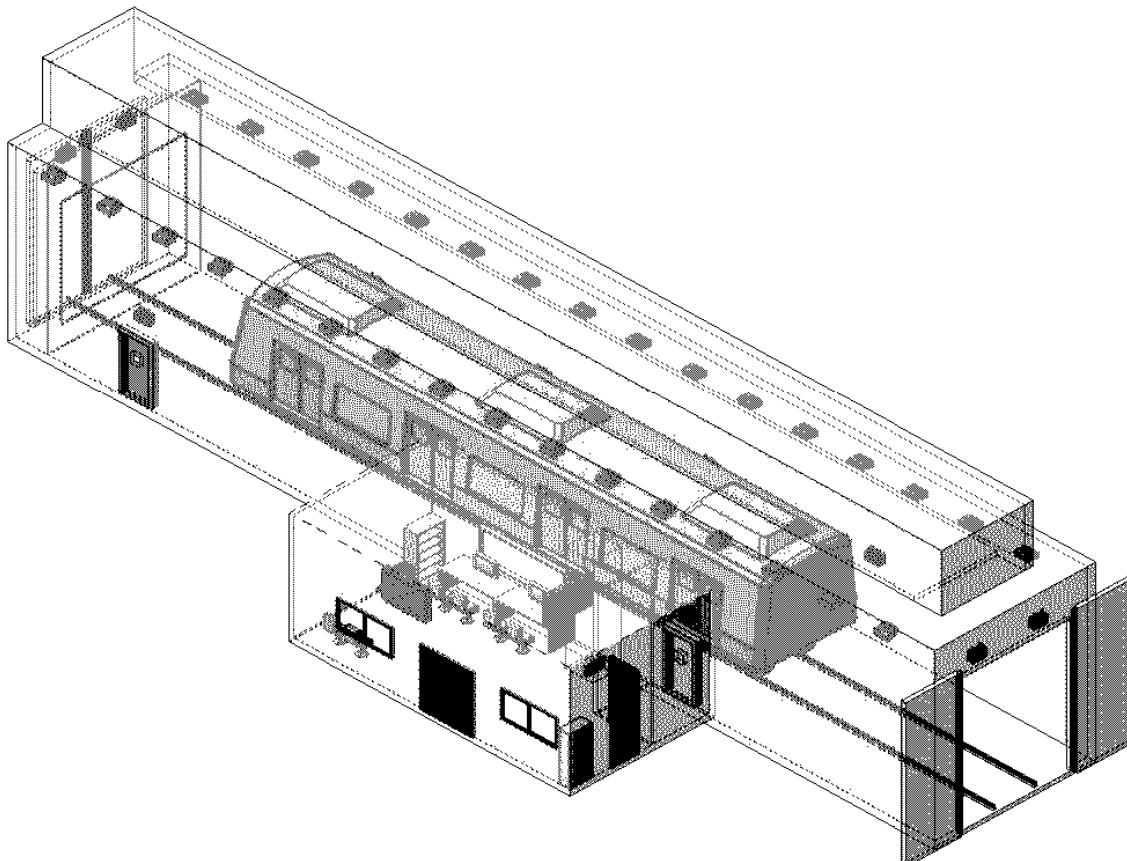


그림 4. 국내에 구축 중인 철도차량용 실대형 환경챔버의 개념도

4. 결 론

현재에 국내에 구축되고 있는 철도차량용 실대형 환경챔버는 철도차량의 냉방 및 난방장치 등에 대한 국제 규격의 환경시험 수행이 가능하도록 설계되어 있으나, 아직 외국의 환경시험 규격을 그대로 들여오는 수준에 머무르고 있다. 그러나, 향후 국내 기후 환경에 적합한 환경성능 시험방법과 절차가 마련되면, 선진국 수준의 우수한 철도차량 개발에 큰 역할을 할과 동시에 국내 철도이용 승객의 열적 쾌적성을 크게 향상시킬 것으로 기대된다.

참고문헌

1. UIC CODE 553, 6th edition, February 2004. "Heating, ventilation and air-conditioning in coaches", International Union of Railways.
2. UIC CODE 553-1, 2nd edition, October 2005. "Heating, ventilation and air-conditioning in coaches – Standard tests", International Union of Railways.