

외기 온도와 난방 출력의 철도차량 객실 온도에 대한 영향 연구

조영민^{*}, 박덕신¹, 권순박¹, 정우성¹
¹한국철도기술연구원 교통환경연구팀

Study of the Effects of Ambient Temperature and Car Heater Power on the Train Cabin Temperature

Youngmin Cho^{*}, Duck-Shin Park¹, Soon-Bark Kwon¹, Woo-Sung Jung¹

¹Transport Environment Research Team, Korea Railroad Research Institute

요약 최근 기후변화와 기상이변 등으로 동절기에 더욱 가혹한 기상 조건이 자주 보고되고 있다. 그러나, 철도차량의 난방 용량은 이렇게 극도로 추운 기후환경에서는 객실을 난방하기에 충분하지 않은 경우가 많으며, 이는 난방에 대한 승객의 민원을 야기하는 주요 원인이 되고 있다. 본 연구에서는 외기 온도와 난방 출력이 객실 온도에 미치는 영향을 알아봄으로써 차량의 난방용량에 따른 운행 가능한 외기온도를 실험적으로 도출하고자 하였다. 실험방법으로는 우선 시험용 철도차량을 대형 기후환경 챔버에 넣고, 다양한 외기온도조건을 모사하였다. 난방 장치 출력의 영향은 난방 장치의 출력을 변화시키면서 객실의 온도를 측정하여 조사하였다. 외기온도가 -10 °C인 조건에서는 난방기의 출력을 최대로 한 경우에도 객실의 평균 온도는 14.0 °C에 불과하여, 동절기의 객실온도 최소 요구조건인 18 °C보다 훨씬 낮았으나, 외기 온도가 0 °C와 10 °C인 경우의 객실 온도는 각각 26.1 °C와 34.0 °C였다. 내삽법으로 계산한 결과 객실 내부 온도를 18 °C 이상으로 유지할 수 있는 최저 외기온도는 -6.7 °C임을 알 수 있었다. 객실 내부에서의 수직 온도 차이는 난방기 출력이 높을수록, 외기온도가 높을수록 커서 10 K 이상 차이가 나는 경우도 있었다. 그러나, 수평 온도 차이는 난방기 출력이나 외기온도에 무관하게 최대 2 K 이하로 매우 낮게 나타났다. 따라서, 우수한 난방성능을 확보하기 위해서는 수직 온도 차이를 줄이는 것이 중요함을 알 수 있었다.

Abstract Recently, abnormally cold weather has been reported more frequently in winter due to the climate change and abnormal weather changes. On the other hand, the heating capacity of a railcar may be not enough to warm the cabin under severe cold climatic conditions, which is one of the reasons for the passengers' complaints about heating. In this study, the effects of ambient temperature and heater power on the cabin temperature was investigated to obtain the minimum ambient temperature for the tested railcar. The test railcar was placed in a large-climatic chamber, and various ambient temperature conditions were simulated. The effects of the heater output were investigated by monitoring the cabin temperature under a range of heater output conditions. The mean cabin temperature was 14.0 °C, which was far lower than the required minimum temperature of 18 °C, under a -10 °C ambient temperature condition with the maximum heat power. When the ambient temperature was set to 0 °C and 10 °C, the maximum achievable cabin temperature was 26.1 °C and 34.0 °C. Through calculations using the interpolation method, the minimum ambient temperature to maintain an 18 °C cabin temperature was -6.7 °C for this car. The vertical temperature difference was higher with a higher power output and higher ambient temperature. The maximum vertical temperature difference was higher than 10 °C in some cases. However, the horizontal temperature difference vs. low temperature (< 2 °C) was independent of the power output and ambient temperature. As a result, it is very important to reduce the vertical temperature difference to achieve good heating performance.

Key Words : Climatic chamber, Heating performance, Thermal comfort, Climatic test

^{*}Corresponding Author : Youngmin Cho(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5362 email: ymcho@krii.re.kr

Received March 28, 2014

Revised (1st July 3, 2014, 2nd August 12, 2014, 3rd August 21, 2014)

Accepted September 11, 2014

1. 서론

지하철을 이용하는 승객들이 제기하는 민원 중 가장 많은 수를 차지하는 것이 객실의 냉방 및 난방과 같은 열적 쾌적성에 관한 것이다. 서울 메트로의 경우 2011년에 승객이 제기한 민원의 92.5%가 냉난방에 대한 것이었으며, 이러한 민원은 봄이나 가을보다는 냉난방이 이루어지는 하절기와 동절기에 집중된다[1]. 실제로 서울 메트로에 지난 2012년 7월 중에 접수된 민원 중 10,000여명의 승객이 객실 온도에 대한 불만을 제기하였으며, 이 중에서도 9,600여 건은 객실 내부가 너무 덥다는 민원이었고, 330여 건은 너무 춥다는 민원이었다[1].

이처럼 승객이 냉난방에 대한 불만이 많은 요인으로는 더위나 추위를 느끼는 승객별 개인적 정도의 차이, 승객이 착용한 의복의 상태, 객실 내부의 혼잡도 등이 여러 가지 요인이 있으나, 가장 근본적인 것은 외기온도와 객실 내부의 온도분포이다. 외기온도가 높거나 낮을 경우 객실의 냉난방 장치를 가동하게 되는데, 이 때 냉난방 장치의 자동 제어에서 기준이 되는 온도는 실제 승객 옆에서 측정되는 것이 아니라 객실 내의 특정 1~2 지점에서 측정하는 온도이기 때문에 실제 객실 내부의 온도를 반영하는 데에는 한계가 있다. 특히 같은 객실에서도 높이나 위치에 따라 온도가 크게 달라질 수 있으며, 이 때문에 같은 객실에서도 승객의 위치에 따라 체감하는 열적 쾌적성도 크게 달라진다.

이에 유럽과 북미 등에서는 객실의 냉난방 성능을 실차 시험을 통하여 입증하도록 요구하고 있으며, 이에 다양한 외기조건에서 객실 내부의 온도변화 및 온도분포 등이 요구사항을 만족하여야 납품할 수 있도록 하고 있다[2-5]. 이 때 객실 내부의 평균온도와 객실 내부의 온도 차이가 가장 중요한 요소이다. 평균온도는 동절기와 하절기에 따라 다소 차이가 있지만 일반적으로 18 ~ 24 °C를 요구하고 있으며, 온도 차이는 차량의 종류나 운행지역, 운행구간 등에 따라 다소 차이가 있지만 대체로 3 ~ 6 K를 요구하고 있다[2-5]. 객실 평균온도와 온도 차이가 이러한 조건을 만족하지 못 할 경우 납품이 어려워지거나 지연되고, 이는 차량제작사의 경제적 손실과 직결되기 때문에 완성차 환경시험은 매우 중요하다.

완성차의 열적 쾌적성 연구에서 우선적으로 필요한 것은 외기온도가 객실 내부의 평균온도에 미치는 영향을 조사하는 것이며, 그 다음은 객실 내부에서의 온도 차이

를 측정하는 것이다. 이는 객차의 냉난방성능과 단열성능 및 기타 환기성능 등 차량의 열적 쾌적성과 밀접하게 관련되어 있기 때문이다[6-9]. 이에 세계철도연맹(UIC)과 유럽 연합(EN) 등에서는 철도차량의 냉난방성능 및 열적 쾌적성을 평가하는 시험항목과 방법을 규격으로 정하고 있다[10-17].

본 연구에서는 다양한 외기 기후환경 조건을 구현할 수 있는 철도차량 실험대형 환경챔버를 이용하여 다양한 동절기 온도조건을 모사하고, 각 온도조건에서 시험차량의 난방장치 가동시 객실 내부의 온도변화 및 분포를 알아보았다. 외기온도와 난방장치 출력의 변화에 따른 객실 내부의 온도에 대한 영향을 알아보고, 이를 통해 철도차량의 난방에 따른 각 차량의 운행이 가능한 외기온도를 실험적으로 도출함과 동시에 겨울철 승객의 열적 쾌적성을 극대화할 수 있는 방안을 모색하고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험차량 및 실험장치

본 실험에는 Fig. 1과 같은 전동열차 1량을 실험차량으로 사용하였다. 실험차량에는 3상 200 V 교류전력을 난방기 가동용으로 공급하고, 100 V 단선전력을 제어용으로 공급하였다. 실험차량의 난방장치는 승객용 의자 하단부에 설치되어 있었으며, 난방장치의 출력은 350 W 모드, 700 W 모드, 1,050 W 모드의 세 가지 난방모드로 난방 출력을 변화시키면서 실험을 수행하였다. 객실 내부에는 온도의 자동제어 시스템이 없어서 난방장치 출력 모드를 설정하면 객실 내부의 온도와 무관하게 설정한 출력이 그대로 일정하게 유지되었으며, 실험 중에는 환기장치나 냉방장치를 가동하지 않았다.

2.2 실험 방법

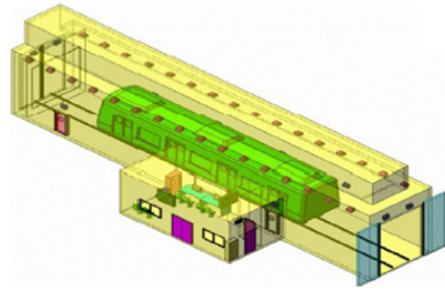
실험 방법은 기본적으로 유럽의 철도차량 기후환경 시험규격인 EN 14750-1 [14]과 EN 14750-2 [15]에서 제시한 철도차량의 난방성능 시험방법에 따라 수행하였다. 외기온도의 영향을 알아보기 위하여 철도차량의 환경시험이 가능한 Fig. 2와 같은 철도차량 실험대형 환경챔버를 이용하였다. 실험 차량을 철도차량 실험대형 환경챔버에 위치시킨 후 Fig. 3과 같이 EN 14750-2 규격에 따라 실험차량 객실 내부의 15개 지점에 온도센서로 T 타입의

열전대 (PMC Division, USA)를 설치하여, 수직적 평면의 높이 (0.1 m 높이 3개, 1.1 m 높이 9개, 1.7 m 높이 3개)와 수평적 평면의 위치 (전두부 5개, 중간부 5개, 후미부 5개)에 따른 온도분포 변화를 모니터링 하였다. 또한 실험차량 객실의 외부에도 Fig. 4와 같이 온도센서를 설치하여 실험차량의 외기 온도를 측정하였다. 온도센서를 통해 측정된 온도는 데이터 로거 (Data logger, Graphtech GL 800, Japan)를 이용하여 실험 종료 시까지만 10초 간격으로 측정 및 저장하였다[18].

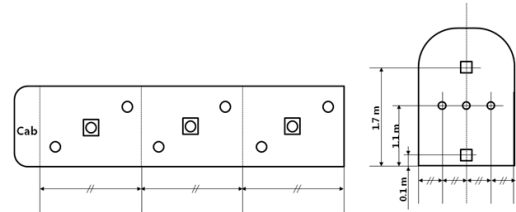
실험방법은 실험차량 내부와 외부의 온도측정을 위한 온도 센서의 설치를 완료한 후 실험차량이 있는 챔버의 온도를 실험조건에 따라 각각 -10 °C, 0 °C, 그리고 10 °C 등으로 일정하게 유지하고, 차량의 출입문을 열어둔 채로 12시간 이상 방치하여 객실 내부와 외부의 온도가 평형상태에 도달하도록 하여 EN 14750-1,2 등의 시험규격에서 제시된 것처럼 실제로 차량 운행을 시작하기 전에 동절기의 외기에 방치한 것과 같은 조건으로 만들었다[14,15]. 이렇게 평형상태에 이르게 되면, 실험차량의 출입문을 닫고, 실험차량의 난방장치 및 조명장치를 가동하였다. 온도 측정은 실험차량 객실 내부의 평균온도 변화가 한 시간 동안 0.3 K 이내가 되어 완전히 안정화될 때까지 지속하였다. 이렇게 평균온도 변화가 한 시간 동안 0.3 K 이내가 되어 안정화되는 때의 온도를 본 연구에서는 열평형 온도라고 정의하였다.



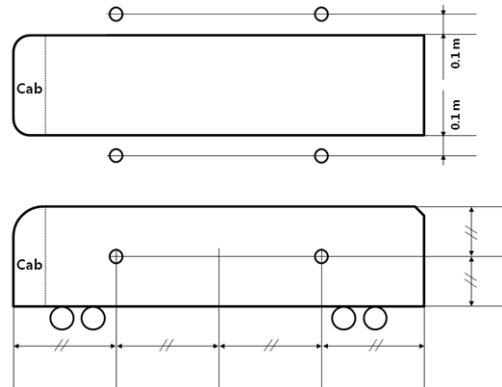
[Fig. 1] Tested railcar in this study



[Fig. 2] Overview of climatic chamber



[Fig. 3] Temperature measuring points inside of the passenger cabin: Top view (left) and section view (right)



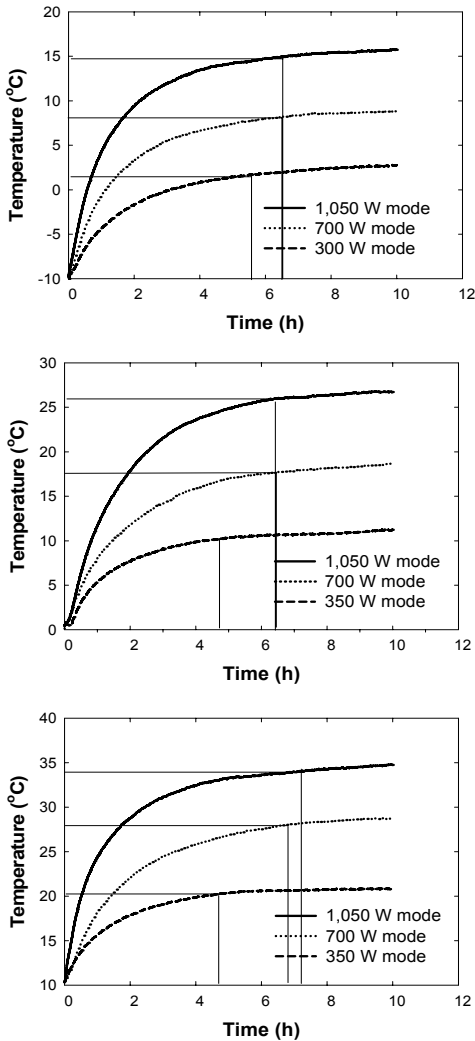
[Fig. 4] Temperature measuring points outside of the passenger cabin: Top view (top) and side view (bottom)

3. 결과 및 고찰

3.1 객실 평균온도 변화

외기온도의 영향을 알아보기 위하여 외기온도를 각각 -10 °C, 0 °C, 10 °C로 일정하게 유지한 상태에서 난방장치를 가동하였을 때의 난방장치의 출력에 따른 객실 내부의 평균온도 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 모든 실험조건에서 실험차량의 난방장치 가동을 시작함과 동시에 초

기에는 객실 내부의 모든 지점에서 온도가 급격하게 상승하기 시작하였다. 그러나, 온도 상승률은 시간이 지남에 따라 감소하여 7시간이 경과한 이후부터는 객실 내부 평균 온도는 크게 증가하지는 않았는데, 이는 객실의 난방장치에 의해 발생하는 열과 차량 외부로 빠져나가는 열이 평형을 이루는 열평형 온도에 도달하기 때문인 것으로 보인다. 이러한 온도변화 특성은 외기온도가 -20 °C인 조건에서 수행하였던 이전 연구[18]의 결과와도 일치하는 경향으로서 이러한 온도변화 특성은 외기 온도와의 무관함을 알 수 있었다.



[Fig. 5] Change of averaged temperature at 350 W mode, 700 W mode, 1,050 W mode at -10 °C (top), 0 °C (mid), and 10 °C (bottom) of ambient temperature.

Table 1은 각각의 외기온도 조건 및 난방기 출력 조건에서 열평형 온도 및 열평형 온도에 도달하는 시간을 나타낸 것이다. 여기서 열평형 온도는 시간당 온도 상승 값이 0.3 K보다 작아지는 온도로 하였다.

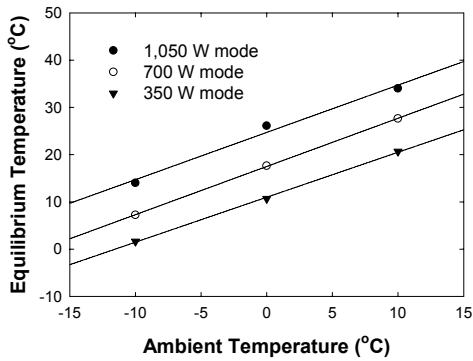
[Table 1] Equilibrium temperature at given experimental conditions.

Heating Mode	Ambient Temperature (°C)		
	-10	0	10
350 W	1.63	10.67	20.66
700 W	7.23	17.63	27.63
1,050 W	14.01	26.09	34.01

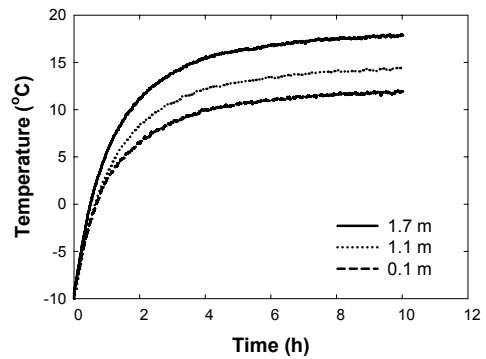
외기온도와 열평형 온도의 상관관계를 알아보기 위하여 Table 1의 데이터를 Fig. 6에 도식화하였다. 그 결과, 열평형 온도는 외기온도에 선형적으로 비례하는 것으로 나타났으며, 이에 얻어진 일차 선형식의 매개변수 값을 Table 2에 나타냈다. 일반적으로 동절기에 승객이 열적으로 쾌적하다고 느끼는 온도는 18 ~ 22 °C 인데 [15], 실험결과 -10 °C의 외기조건에서는 본 실험에 사용된 열차로는 난방 출력을 최대로 가동하더라도 승객이 열적으로 쾌적하다고 느끼는 온도에 도달할 수 없음을 알 수 있었다. 이에 본 실험차량에서 승객이 열적으로 쾌적하다고 느낄 수 있는 18 °C에 도달할 수 있도록 하는 최저 외기온도 조건을 구하기 위하여 Table 2에서 구한 매개변수 값을 이용하였다. 그 결과 350 W 모드에서는 외기온도가 최소한 7.38 °C 이상, 700 W 모드에서는 0.49 °C 이상, 1,050 W 모드에서는 -6.7 °C 이상이어야 함을 알 수 있었다.

[Table 2] Relationships between ambient temperature and equilibrium temperature at 350 W mode, 700 W mode, and 1,050 W mode ($x_{18°C}$ stands for the minimum ambient temperature to reach 18°C of equilibrium temperature).

Heating Mode	Parameter ($y = y_0 + a*x$)			
	y_0	a	R^2	$x_{18°C}$
350 W	10.99	0.95	0.9992	7.38
700 W	17.50	1.02	0.9999	0.49
1,050 W	24.70	1.00	0.9858	-6.7



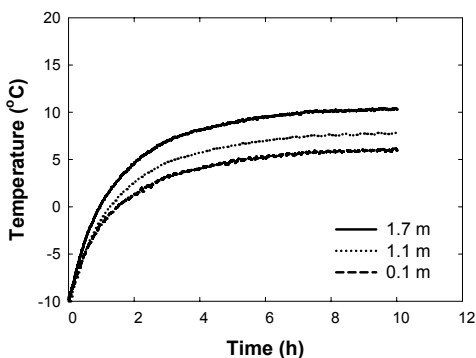
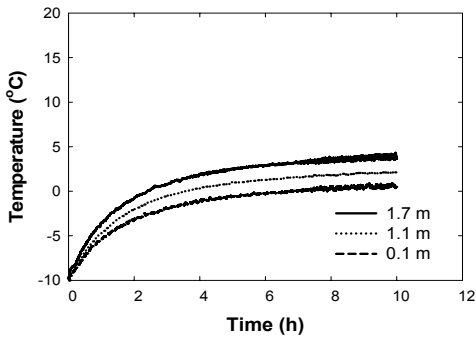
[Fig. 6] Relationships between ambient temperature and equilibrium temperature at 350 W mode, 700 W mode, and 1,050 W mode.



[Fig. 7] Change of averaged temperature at 0.1 m, 1.1 m, and 1.7 m height at 350 W mode (top), 700 W mode (mid), and 1,050 W mode (bottom) under -10 °C of ambient temperature conditions.

3.2 객실 내부 수직적 온도분포 분석

객실 내부의 높이에 따른 수직적 온도분포를 알아보기 위하여 동일 위치에서 높이에 따른 온도를 비교하였다. 외기온도가 -10 °C인 조건에서 바닥에서 0.1 m, 1.1 m, 1.7 m 등의 다양한 높이에서 난방장치의 가동시간에 따른 평균 온도 변화를 Fig. 7에 나타냈다. 바닥에서 0.1 m 지점, 즉 객실 내 하부 온도는 바닥에서 1.7 m 지점, 즉 객실 내 상부 온도보다 낮게 나타났으며, 이러한 현상은 난방장치의 출력에 상관없이 동일하게 나타났다.



본 실험조건에서는 의자 하부의 난방장치 외에는 환기장치나 기타 공기의 흐름을 유도할 수 있는 어떠한 장치도 가동하지 않았고, 승객이 탑승하지 않았기 때문에 승객에 의한 공기의 흐름의 영향도 없어서 객실 내부 공기가 잘 섞이지 않았다. 이 조건에서 승객 의자 하부에 설치된 난방장치에서 발생된 열에 의하여 데워진 공기는 상대적으로 그 밀도가 낮아져서 위쪽으로 올라가고, 반대로 밀도가 큰 차가운 공기가 객실 하부로 내려가기 때문에 바닥면에서의 높이가 높을수록 온도가 높게 나타났다.

3.3 객실 내부 수평적 온도분포 분석

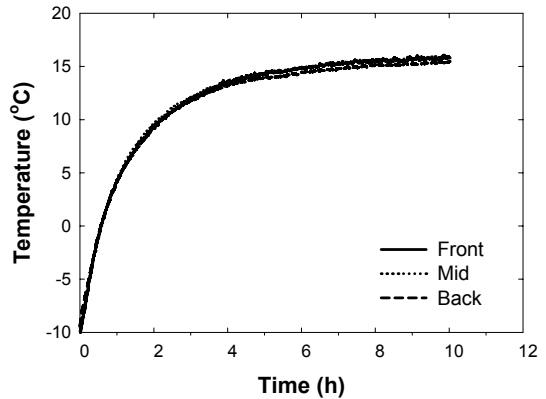
객실 내부의 평면 위치에 따른 수평적 온도분포를 알아보기 위하여 동일 높이에서 위치에 따른 온도를 모니터링 하여 보았다. Fig. 8은 외기온도가 -10 °C인 경우에 객실을 전두부, 중간부, 후미부의 세 구역으로 구분하였을 때의 각 구역에서의 난방장치 가동시간에 따른 평균 온도 변화를 나타낸 것이다. 실험 결과 각 구역의 평균 온도는 거의 유사하게 나타났다. 그러나 실험시간 동안의 전체 평균을 계산한 결과 Table 3과 같이 중간부의 온도가 다소 높았고, 전두부와 후미부의 온도가 다소 낮게 나타났다. 전두부와 후미부의 온도는 난방장치의 출력에 따라 전두부가 더 높기도 하고, 후미부가 더 높기도 하였으나, 공통적으로 중간부의 온도가 가장 높게 나타났다.

그 이유는 전두부와 후미부는 운전실 및 복도와 연결되는 부분이 있어서 이 부분을 통해 열손실이 발생하였기 때문인 것으로 보인다. 이에 비해 중간부는 외기와 맞

닿는 부분이 적기 때문에 열손실이 적어서 평균 온도도 다소 높게 나타난 것으로 보인다. 그러나 앞에서 살펴본 수직적 분포와 비교했을 때 그 온도 차이는 2 K 이내로 매우 적어 수평적 분포에서의 온도 분포는 매우 균질하였다.

[Table 3] Averaged temperature for each section

Ambient temperature (°C)	Mode	Averaged temperature (°C)		
		Front	Mid	Back
-10	350 W	0.1	0.3	0.3
	700 W	5.6	5.8	5.5
	1,050 W	11.9	12.0	11.7
0	350 W	8.9	9.2	9.3
	700 W	14.5	15.0	15.1
	1,050 W	21.9	22.0	21.6
+10	350 W	19.0	19.3	19.2
	700 W	24.9	25.2	24.9
	1,050 W	31.2	32.8	30.8



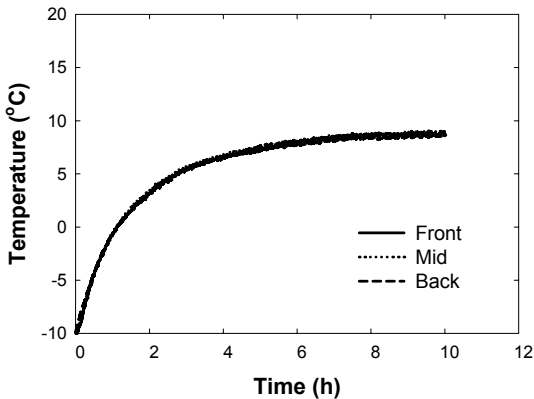
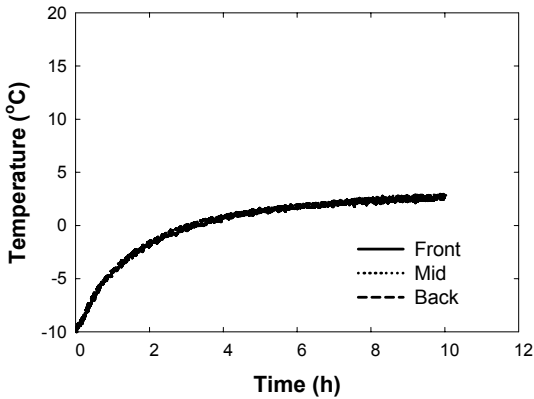
[Fig. 8] Change of averaged temperature at front section, mid section, and back section at 350 W mode (top), 700 W mode (mid), and 1,050 W mode (bottom) under -10 °C of ambient temperature conditions.

4. 결론

본 연구에서는 -10 °C, 0 °C, +10 °C의 다양한 외기 온도 조건에서 철도차량 객실의 난방장치를 가동할 때 난방장치의 출력에 따른 객실 내부 온도 변화를 알아보았다. 실험결과, 난방장치를 가동하기 시작한 처음에는 객실 내부 온도가 급격히 증가하였으나, 점차 온도 상승추세가 감소하여 약 7시간 경과 이후에는 온도가 일정하게 유지하는 것을 볼 수 있었다. 이 때의 객실 온도는 외기 온도에 비례하는 것을 볼 수 있었으며, 이를 통해 난방용량에 따라 객실 내부 온도를 18 °C 이상으로 유지할 수 있는 외기 온도를 구할 수 있었다. 객실내부의 온도는 수직 평면으로는 위와 아래의 온도 차이가 최대 10 K 이상으로 컸으나, 수평적 평면으로는 앞과 뒤의 온도 차이가 2 K 이내로 작음을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통해 외기 온도 조건에 따른 난방용량의 적정성을 평가할 수 있는 방법을 제시할 수 있었다. 또한, 우수한 난방성능 확보를 위해서는 수직 온도 차이를 줄일 수 있는 방법을 고안하는 것이 중요함을 알 수 있었다.

References

[1] Seoul Metro, "Analysis of Customers' Complaints Registered to Call-center of Seoul Metro", 2012.



- [2] Southern California Regional Rail Authority "Technical Specification Requirement, Contract No. EP142-06, Section 17 Testing and Analysis", Section 17.1-17.79, 2006.
- [3] Hyundai-Rotem Co., "Massachusetts Bay Transit Authority Bi-level Coach Climate Room Test Procedure", pp. 1-38, 2011.
- [4] Hyundai-Rotem Co., "Turkey Marmaray EMU (440) Climate Room Test Procedure", pp. 1-21, 2010.
- [5] Rotem-Hanwha Consortium, "Test Procedure of Performance Test of HVAC of Athens Metro", pp. 1-44, 2011.
- [6] D.-S. Park, J.-Y. Lee, W.-S. Jung, "Evaluation of Comfortableness in Railroad Electric Rolling Stock - Focused on Temperature and Humidity -", 2002 Autumn Conference of the Korean Society for Railway, pp.954-961, 2002.
- [7] D.-S. Park, S.-H. Bae, B.-C. Jung, J.-Y. Lee, "A Basic Study on Evaluation of Comfortableness in Electric Rolling Stock", Journal of the Korean Society for Railway, 6, pp. 41-48, 2003.
- [8] Y. Cho, Y.-K. Yoon, J.-S. Choi, D.-S. Park, W.-S. Jung, S.-B. Kwon, "Study on the Cooling Performance Testing of Newly Manufactured Car Using Real-Scale Climatic Chamber for Passenger Car", 2012 Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp.475-480, 2012.
- [9] Y. Cho, Y.-K. Yoon, J.-S. Choi, D.-S. Park, W.-S. Jung, S.-B. Kwon, "Study on the Effect of Ambient Temperature on Cabin Temperature Change during Car Heating Mode, 2012 Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp.469-474, 2012.
- [10] International Union of Railways, "Heating, Ventilation and Air-Conditioning in Coaches", 6th Ed., UIC Code 553, 2004.
- [11] International Union of Railways, "Heating, Ventilation and Air-Conditioning in Coaches - Standard Tests", 2nd Ed., UIC Code 553-1, 2005.
- [12] European Committee for Standardization, "Railway applications-Air conditioning for Main Line Rolling Stock - Part 1: Comfort Parameters", BS EN 13129-1: 2002, 2002.
- [13] European Committee for Standardization, "Railway applications-Air conditioning for Main Line Rolling Stock - Part 2: Type tests", BS EN 13129-2: 2004, 2004.
- [14] European Committee for Standardization, "Railway Applications-Air Conditioning for Urban and Suburban Rolling Stock - Part 1: Comfort Parameters", BS EN 14750-1: 2006.
- [15] European Committee for Standardization, "Railway Applications-Air Conditioning for Urban and Suburban Rolling Stock - Part 2: Type tests", BS EN 14750-2: 2006, 2006.
- [16] European Committee for Standardization, "Railway Applications-Air Conditioning for Driving Cabs - Part 1: Comfort Parameters", BS EN 14813-1: 2006+A1: 2010, 2010.
- [17] European Committee for Standardization, "Railway Applications-Air Conditioning for Urban and Suburban Rolling Stock- Part 2: Type Tests", BSEN14813-1:2006+A1:2010, 2010.
- [18] Y. Cho, Y.-K. Yoon, D.-S. Park, T.-W. Kim, S. B. Kwon, W.-S. Jung, H.-M. Kim, "Study on the Temperature Distribution of Cabin under Various Car Heating Modes", 2012 Journal of the Korean Society for Railway, 15, 6, pp. 558-565, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2012.15.6.558>

조 영 민(Youngmin Cho)

[정회원]



- 1998년 2월 : 서울대학교 공업화학 과 (공학사)
- 2000년 2월 : 포항공과대학교 환경 공학부 (공학석사)
- 2003년 8월 : 포항공과대학교 환경 공학부 (공학박사)
- 2003년 9월 ~ 현재 : 한국철도기 술연구원 선임연구원

<관심분야>
환경공학

박 덕 신(Duckshin Park)

[정회원]



- 1992년 2월 : 경희대학교 환경학과 (이학사)
- 1995년 8월 : 경희대학교 환경학과 (이학석사)
- 2003년 8월 : 경희대학교 환경학과 (이학박사)
- 1995년 1월 ~ 현재 : 한국철도기 술연구원 책임연구원

<관심분야>
대기환경

권 순 박(Soon-Bark Kwon)

[정회원]



- 1997년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학학사)
- 2003년 2월 : 광주과학기술원 환경공학과 (공학박사)
- 2004년 4월 ~ 2006년 1월 : 일본 산업기술총합연구소(AIST) JSPS 박사후연구원
- 2006년 2월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

실내환경, 미세먼지

정 우 성(Woo-Sung Jung)

[정회원]



- 1986년 2월 : 부산대학교 화학과 (이학석사)
- 1994년 8월 : 부산대학교 화학과 (이학박사)
- 1995년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 수석연구원

<관심분야>

철도환경