

## 객차의 단열성능 시험방법 연구.

### Study on Testing of Thermal Insulation Performances for Railroad Passenger Cabin

조영민<sup>\*†</sup>, 이충희<sup>\*</sup>, 박덕신<sup>\*</sup>, 권순박<sup>\*</sup>, 정우성<sup>\*</sup>, 김희만<sup>\*\*</sup>

Youngmin Cho<sup>\*†</sup>, Choong-Hee Lee<sup>\*</sup>, Duck-Shin Park<sup>\*</sup>, Soon-Bark Kwon<sup>\*</sup>, Woo-Sung Jung<sup>\*</sup>,

Hee-Man Kim<sup>\*\*</sup>

**Abstract** Thermal insulation performance of passenger cabin is one of the most important parameters indicating the performance of the car. Furthermore, rising cost of energy induces the development of better thermal insulation performance to save the heating and cooling energy. However, because the testing method was not established, there are still many difficulties in measuring the thermal insulation performance. In this study, the effects of ambient temperature condition, power of heaters, air mixing using fans, location of heaters were studied to propose a method to evaluate the thermal insulation performances. It was found that the power of heaters, air mixing using fans, location of heaters could cause change while ambient temperature could not.

**Keywords** : Thermal Insulation Performance, Heaters Power, Air mixing, Heaters Location

**초 록** 객차의 단열성능은 철도차량의 냉난방 성능을 좌우하는 중요한 요소 중의 하나이다. 특히 최근에는 에너지 비용이 크게 증가하면서 차량의 냉난방 에너지를 절감할 수 있는 방안의 하나로 객차의 단열성능을 향상시키는 방법이 대두되고 있다. 그러나, 객차의 단열성능을 평가하는 시험방법이 아직 정립되어 있지 않기 때문에 차량의 단열성능을 객관적으로 비교 및 평가하는데 많은 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 외기 온도 조건, 난방기의 용량, 객실 내부 공기순환, 난방기의 위치 등에 의한 영향을 조사하여 객차의 단열성능을 정량적으로 평가하는 방법을 제시하고자 하였다. 실험결과 난방기의 용량, 공기순환, 난방기 위치 등은 단열성능에 영향을 미치지만, 외기온도는 결과에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

**주요어** : 단열성능, 외기온도조건, 난방기 용량, 객실 내부 공기순환, 난방기의 위치

## 1. 서 론

객차의 단열성능은 철도차량의 냉난방 성능을 좌우하는 중요한 요소 중의 하나이다. 특히 최근에는 에너지 비용이 크게 증가하면서 차량의 냉난방 에너지를 절감할 수 있는 방안의 하나로 객차의 단열성능을 향상시키는 방법이 대두되고 있다. 그러나, 객차의 단열성능을 평가하는 시험방법이 아직 정립되어 있지 않기 때문에 차량의 단열성능을 객관적으로 비교

† 교신저자: 한국철도기술연구원 에코시스템연구실(ymcho.krri.re.kr)

\* 한국철도기술연구원 에코시스템연구실

\*\* 코레일 환경경영처

및 평가하는데 많은 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 외기 온도 조건, 난방기의 용량, 객실 내부 공기순환, 난방기의 위치 등에 의한 영향을 조사하여 객차의 단열성능을 정량적으로 평가하는 방법을 제시하고자 하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험차량 및 실대형 환경챔버

#### 2.1.1 실험차량

본 실험에는 Fig. 1과 같은 수도권 운행 전동차를 사용하였다. 차량에는 30 kW 출력의 난방기가 객실 의자 아래에 설치되어 있고, 출력은 10 kW, 20 kW, 30 kW의 세 가지로 조절이 가능하도록 되어 있다. 차량에 공급되는 전원의 전압은 난방용 교류전원 200 V, 제어용 직류전원 100 V였다.



Fig. 1 Test car used in this study

#### 2.1.2 실대형 환경챔버

본 연구에서는 철도차량의 저온시험 (최저  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), 고온시험 (최고  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), 저습시험 (상대습도 최저 5%), 고습시험 (상대습도 최고 95%), 태양광 복사시험 최대 ( $1,120\text{ W/m}^2$ ), 저속 풍동시험 ( $0\sim 15\text{ km/h}$ ) 등이 가능한 Fig. 2 와 같은 실대형 환경챔버를 이용하였다.

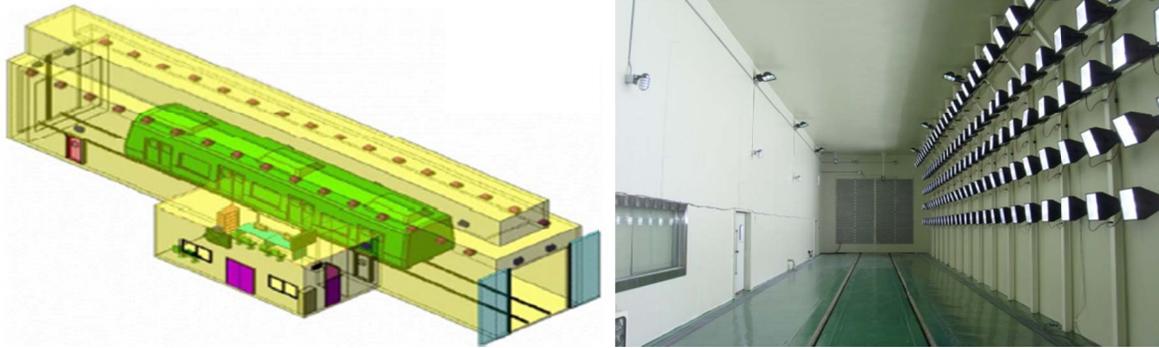


Fig. 2 Overview of climatic chamber

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 온도센서 설치

Fig. 3에서 보는 바와 같이 실험차량 내부에는 온도센서(열전대, Thermocouple)를 높이 (0.1 m 높이에 32개, 1.1 m 높이에 56개, 1.7 m 높이에 56개)에 따라 총 144지점, 외부에는 4지점에서 온도를 측정하도록 하였다. 온도센서(열전대, Thermocouple)를 통해 측정된 온도는 데이터로거(Data logger, Graphtec GL 800, Japan)를 이용하여 실험 종료 시까지 지속적으로 측정하고 자동으로 저장되도록 하였다

### 2.2.2 실험방법

실험방법은 실험차량을 실험용 환경챔버에 두고, 실험용 환경챔버 내부온도를 다양한 온도 조건 (-18 ℃, -6 ℃, 5 ℃ 등)에서 일정하게 유지하였다. 실내와 객실 내부의 온도가 같아지면, 차량의 난방기를 다양한 출력 (10 kW, 20 kW, 30 kW 등)으로 가동하여 객실 내부의 온도를 상승시켰다. 이 때 객실 내부에 6개의 선풍기를 설치하고, 다양한 개수의 선풍기를 가동한다. 객실의 온도가 일정하게 유지되면 평균 객실온도값을 취하여 식 1을 이용하여 단열계수를 계산하였다.

$$UA = \frac{3.413 \times P}{(T_2 - T_1)}$$

여기서,  $UA$ : 열전달 계수,

$P$ : 투입된 총 에너지

$T_2$ : 객실 평균 온도

$T_1$ : 외기 온도

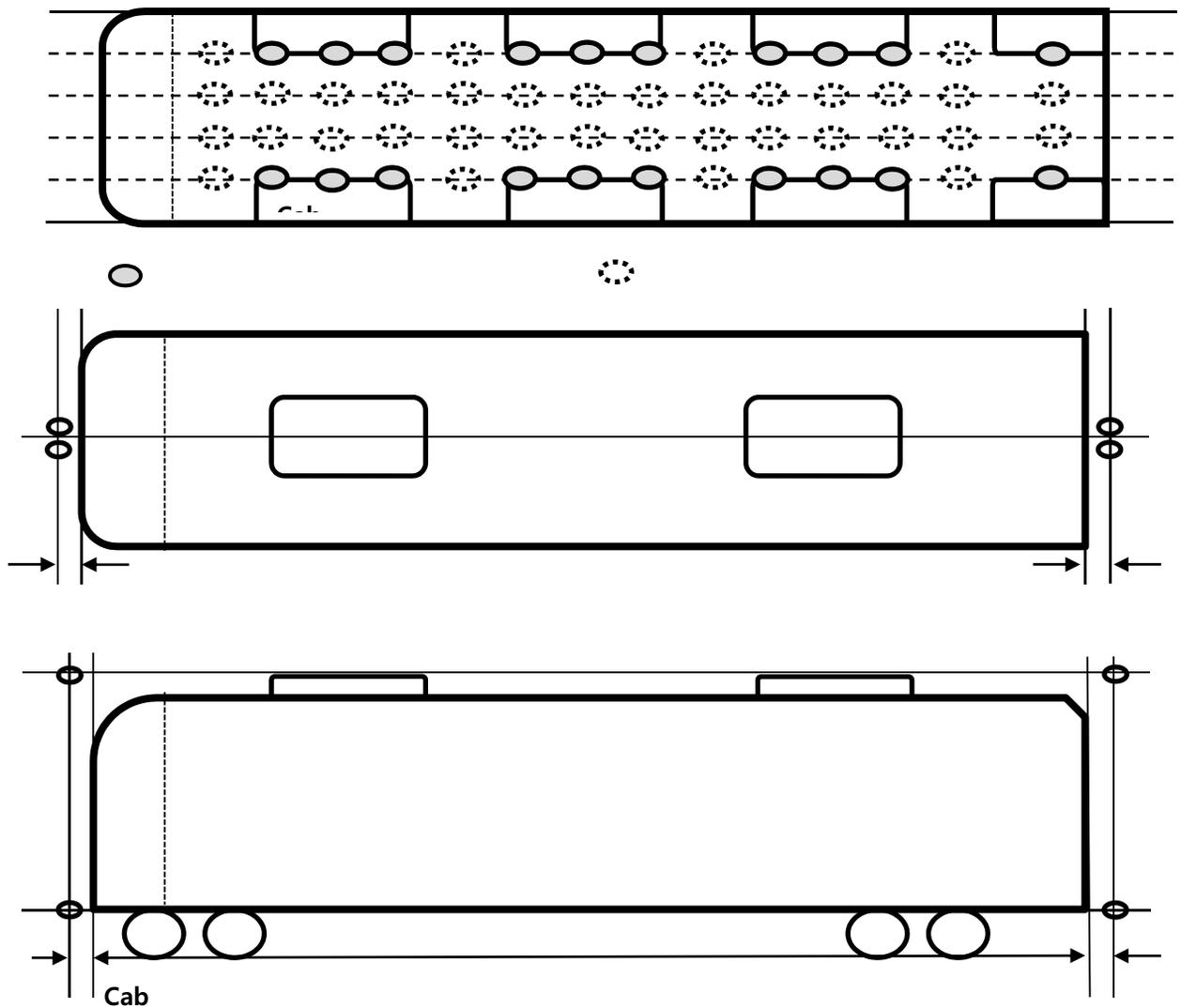


Fig. 3 Temperature measuring points outside and inside of the test car

### 2.3 실험결과

외기온도에 따른 열전달 계수의 변화를 알아보기 위하여 동일한 조건에서 외기의 온도를  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 세 가지 온도로 변화시키고, 각각의 경우에 대하여 평형 상태가 되었을 때의 평균온도를 Fig. 4와 같이 구하였으며, 이 온도를 이용하여 각 조건에서의 열전달 계수를 산정하였다. 난방기의 출력은  $30\text{ kW}$ 로 고정하였고, 가동한 선풍기의 수는 6개였다. 난방기를 가동하기 시작한 후로부터 4시간까지는 온도가 가파르게 상승하고, 이후에는 온도 상승속도가 감소하였으며, 약 6시간에서 8시간 경과한 이후부터는 안정화되는 것으로 나타났다. 평형에 도달한 후의 객실 평균온도는 외기 온도가  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 때  $34.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 때  $24.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 일 때  $11.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. Table 1에 정리한 바와 같이 외기온도에 따른 UA

값은 큰 차이가 없었다. 이는 외기온도가 차량의 단열성능 평가에 있어 큰 영향일 미치지 않음을 의미한다.

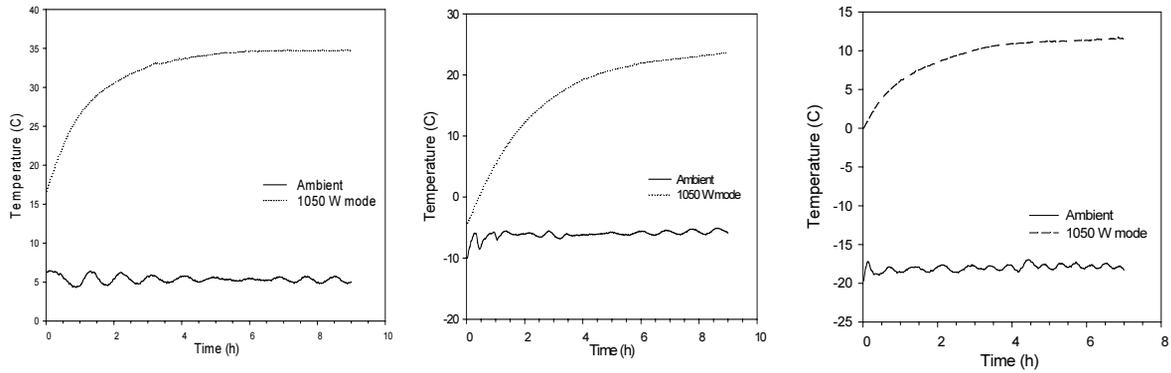


Fig. 4 Change in averaged cabin temperature at 5 °C (left), -6 °C (mid), -18 °C (right) of ambient temperature.

Table 1. UA (heat transfer rate) factor under various ambient temperature conditions

Ambient Temperature (°C)	Heater			Fan			Interior Temperature (°C)		Ambient Temperature (°C)		UA
	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)	
5 °C	45.3	221.4	10,092	1.5	221.4	332	35.4	95.7	5.4	41.7	1,133
-6 °C	46.1	221.4	10,207	1.5	221.4	332	24.3	75.7	-5.9	21.4	1,145
-18 °C	45.7	221.4	10,118	1.5	221.4	332	11.7	53.1	-18.3	-0.9	1,143

Fig. 5는 동일한 외기 온도(-18 °C) 조건에서 실험차량 난방기의 용량, 객실 내부 공기순환, 난방기의 위치에 따른 객실 내부의 평균 온도 변화를 나타낸 것이다. 시험결과 실험차량 난방기의 용량, 객실 내부 공기순환, 난방기의 위치에 상관없이 난방기 가동 후 4시간까지는 온도가 상승하였으며 난방기 용량이 30 kW, 20 kW, 10 kW 인 경우 객실 내부의 평균온도는 각각 11.7 °C, 2.6 °C, -5.7 °C까지 증가하는 것을 볼 수 있었다. 내부 공기순환의 경우에는 차량에 설치된 환기장치를 가동할 경우 내부 평균온도가 11.6 °C까지 상승하였으며, 선풍기 6대를 가동할 경우 12.2 °C까지 상승하였다. 또한 난방기의 위치에 따른 실험 측정 결과 객실 내부의 평균 온도는 실험차량 중앙 14.6 °C, 의자 밑 코너 11.5 °C, 의자 밑 13.3 °C까지 상승함을 확인할 수 있었다. Table 2~4에 열전달 계수값을 나타냈다.

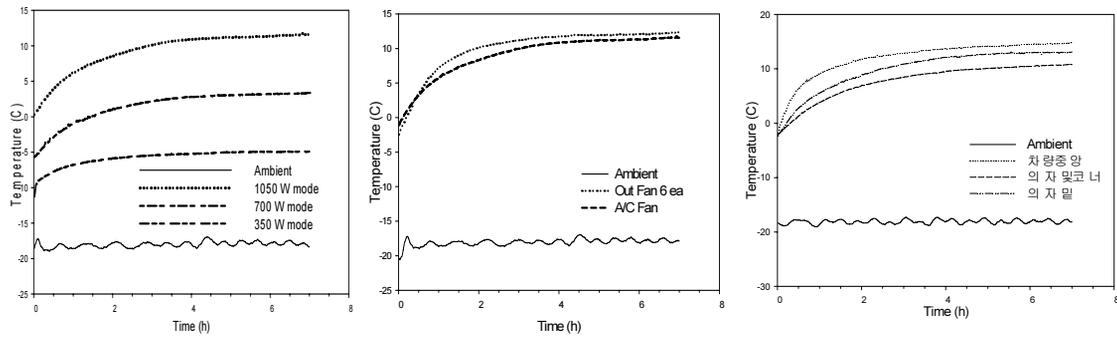


Fig. 5 Effect of Heater power (left), Effect of Fan (mid), Effect of Heater Location (Right)

Table 2. UA (heat transfer) factor under various heater power conditions (-18 °C of ambient temperature, 30 kW of heater power, 6 fans operated)

Heater Power (kW)	Heater			Fan			Interior Temperature (°C)_		Ambient Temperature (°C)		UA
	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)	
30	45.7	221.4	10,118	1.5	221.4	332	11.7	53.1	-18.3	-0.9	1,143
20	30.8	221.4	6,819	1.5	221.4	332	2.6	36.7	-18	-0.4	1,139
10	15.1	221.4	3,343	1.5	221.4	332	-5.7	21.7	-18.6	-1.5	935

Table 3. UA (heat transfer) factor under various fan operation conditions (-18 °C of ambient temperature, 30 kW of heater power, 6 fans operated)

Operation of Fan	Heater			Fan			Interior Temperature (°C)_		Ambient Temperature (°C)		UA
	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)	
6 fans	45.7	221.4	10,118	1.5	221.4	332	11.7	53.1	-18.3	-0.9	1,143
Car air mixing	45.5	217.7	9,905	11.2	217.7	2,438	13.3	55.9	-17.8	0.0	1,302

**Table 4. UA (heat transfer) factor under various heater location conditions (-18 °C of ambient temperature, 30 kW of heater power, 6 fans operated)**

Heater Location	Heater			Fan			Interior Temperature (°C)		Ambient Temperature (°C)		UA
	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)	Current (A)	Voltage (V)	Power (W)	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)	
Below Seat	45.7	221.4	10,118	1.5	221.4	332	11.7	53.1	-18.3	-0.9	1,143
Center of Cabin	45.5	225.1	10,242	1.5	225.1	338	13.7	56.7	-18.1	-0.6	1,091
Below Seat Corner	45.4	220.7	10,020	1.5	220.7	331	12.4	54.3	-18.1	-0.6	1,113

### 3. 결론

최근 수년간 우리나라 계절의 기후 이상현상으로 인한 에너지 사용량이 증가되어 에너지 비용이 크게 증가되었다. 이러한 에너지 비용을 절감하기 위해 실험차량의 단열성능을 좀 더 향상시키기 위한 실험을 수행하여야 한다. 단열성능 실험결과 외기온도에 따른 시험난방기의 용량, 공기순환, 난방기 위치 등은 단열성능에 영향을 미치지 않지만, 외기온도는 단열성능 결과에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 따라서 난방기의 용량 최적화, 공기순환 방법 개발, 난방기 위치 조정 등을 통하여 에너지 소비량을 줄이면서도 단열성능을 향상시킬 수 있는 다양한 기술 개발이 필요함을 확인 할 수 있었다.

### 참고문헌

[1] Y. Cho, Y.-K. Yoon, D.-S. Park, T.-W. Kim, S.-B. Kwon, W.-S. Jung, H.-M. Kim (2012) Study on the Temperature Distribution of Cabin under Various Car Heating Modes, Autumn Meeting of Korean Society for Railway Engineers.