

# 축냉 시스템이 차 실내 열 쾌적성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

이 대 응\*

한라비스테온공조 연구본부

## Experimental Study of the Effect on Cabin Thermal Comfort for Cold Storage Systems in Vehicles

Daewoong Lee\*

Research Division, Halla-Visteon Climate Control Corp., 95 Sinilseo-ro, Daedeok-gu, Daejeon 306-230, Korea

(Received 26 December 2014 / Revised 1 April 2015 / Accepted 13 April 2015)

**Abstract** : This paper presents the experimental study of cabin thermal comfort using a cold storage heat exchanger in a vehicle air-conditioning system. Recent vehicle-applied ISG functions for fuel economy and emission, but when vehicles stop, compressors in the air-conditioning system stop, and the cabin temperature sharply increases, making passengers feel thermal discomfort. This study conducts thermal comfort evaluation in the vehicle, which is applied to a cold storage system for the climate control wind tunnel test and the vehicle fleet road test with various airflow volume rates and ambient temperatures blowing to the cold storage heat exchanger. The experimental results, in the cold storage system, air discharge temperature is 3.1-4.2°C lower than current air-conditioning system when the compressor stops and provides cold air for at least 38 extra seconds. In addition, the blowing airflow volume to the cold storage heat exchanger with various ambient temperature was examined for the control logic of the cold storage system, and in the results, the airflow volume rate is dominant over the outside temperature. For this study, a cold storage system is economically useful to keep the cabin at a thermally comfortable level during the short period when the engine stops in ISG vehicles.

**Key words** : Cold storage heat exchanger(축냉 열교환기), Fuel efficiency(연비), ISG(공회전 제한장치), Latent heat(잠열), Phase change material(상 변화 물질), Thermal comfort(열 쾌적성), Thermal storage system(축열 장치)

### Nomenclature

CSH : cold storage heat exchanger  
HEX : heat exchanger  
PF : parallel flow  
 $T$  : temperature, °C  
 $V$  : voltage, V

### Subscripts

ac : air conditioner  
amb : ambient temperature  
B : blower motor

### 1. 서 론

화석연료의 유한함과 환경보호 때문에 차량에서 연비(fuel efficiency)와 배기가스 저감은 그 어느 때 보다 더 중요시 되고 있다. 이러한 관점에서 ISG (Idle Stop & Go)는 차량이 신호대기나 짧은 시간 정차시 엔진을 정지함으로써 연료 소비량을 줄이고, 배기가스를 저감할 수 있는 기술로 최근 적용이 증가하고 있다. 김현수 등<sup>1)</sup>은 42 V용 ISG 장치를 차량에 적용하여 차량 중량이 8 kg이 증가하였음에도 불구하고, Idle Stop시 엔진휴지, 회생제동, 발전효율 향상 등으로 총 6.74% 연비가 향상된다고 보고하였다. 또한 해석결과는 Japan 10-15모드에서 실험 결과

\*A part of this paper was presented at the KSAE 2014 Annual Conference and Exhibition

\*Corresponding author, E-mail: dlee6@hvccglobal.com

와 비교하여 타당함을 입증하였다.

일반적으로 ISG가 장착된 차량은 연비와 배기가스 측면에서는 유리하지만, 엔진이 정지되면 엔진으로부터 동력을 전달받는 에어컨 시스템의 압축기도 함께 정지되어 여름철에 냉방을 할 수 없게 된다. 따라서 ISG 장치의 출현은 자동차 공조산업 입장에서 하나의 위협으로 엔진 정지 시에도 실내 열 쾌적성 확보라는 새로운 도전에 직면해 있다. 여기에 대응 가능한 기술로 경제성을 고려하여 짧은 시간 정차동안에 열 쾌적성을 제공할 수 있는 기술로 상 변화 물질을(phase change material) 이용한 빙축 시스템을 차량에 이용하려는 연구들이 진행되고 있다.<sup>2,3)</sup>

축냉 장치는 산업용 공조나 사무용 빌딩과 같은 건물 공조에서는 에너지 저감 기술로 오래전부터 사용되어 왔다. 특히 여름철에 심야 전력으로 빙축을 하고, 낮 시간의 최대 냉방 부하 시에 방냉을 하여 에어컨에 사용되는 전력의 첨부 부하를 저감할 수 있는 그린에너지 기술로 각광을 받고 있다.<sup>4)</sup>

이관수 등<sup>5)</sup>은 축냉재에 물을 가득 채운 구리관 다발의 축열 열교환기 주위로 냉각수(ethylene glycol)를 공급하여 시동 초기에 빠른 시간 내에 열을 방출하는 장치로 자동차용 열전지에 대하여 연구를 진행하였다.

이기형 등<sup>6)</sup>은 겨울철 냉시동 개선과 빠른 워업(warm-up)을 위해 상 변화 물질로 10 kg의 에틸렌(ethylene)을 채운 새로운 엔진 냉각시스템에 대하여 연구를 하였다. 상 변화 물질을 이용한 축열식 냉각시스템은 라디에이터의 방열면적이 35% 감소함에도 불구하고 엔진 냉각수 온도는 더 낮아졌으며, 냉각수 용량도 줄일 수 있어 엔진 냉각시스템의 소형화 및 경량화가 가능하였다.

Elisele 등<sup>7)</sup>은 이중 루프 에어컨 시스템에 축냉 장치를 연계하여 실내 열 쾌적성을 향상하고자 하였다. 기존의 에어컨 시스템과 비교하여 최대 냉방 성능시 에너지 소비는 약 21%, 쾌적 온도에 도달하는 시간은 약 16% 단축하였고, 또한 압축기 정지 후 실내온도의 상승 지연이 약 20분 정도 가능하였다.

Craig 등<sup>8)</sup>은 증발기의 상부에 상 변화 물질을 채

우고 하부에 증발기를 위치하여 열사이폰 효과를 이용하여 빙축과 해빙을 반복하는 일체형 축냉 열교환기를 개발하였다. 증발기의 튜브를 통한 열전달은 축냉재가 효과적으로 축냉이 되도록 하였고, 연비와 쾌적성을 고려하여 공조장치에서 조절되는 운전 전략에 대하여도 연구를 하였다.

그 외에도 차량에서 증발기(evaporator)와 축냉 열교환기를 하나로 만들기 위한 축냉 시스템의 구성에 대하여도 많은 연구들이 있었다. 이대웅 등<sup>9)</sup>은 증발기와 일체인 축냉 열교환기를 개발하였고, 여러 설계변수와 다양한 상 변화 물질을 검토하여 성능을 최적화 하였다. 또한 축냉 열교환기에 충전된 상 변화 물질의 유동 가시화 실험으로 축냉과 방냉 과정을 규명하였다.

본 연구에서는 ISG가 장착된 차량에서 엔진 정지 시 에어컨 시스템의 압축기도 함께 정지하여 실내 열 쾌적성이 나빠지는 것을 방지하는 기술로 증발기와 일체로 구성된 축냉 열교환기를 차량에 적용하여 실차 환경제어 풍동과 실 도로주행 시험으로 빙축과 방냉 성능에 대하여 사용자 입장에서 유효성과 그 효과에 대하여 확인하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 환경제어 풍동 시험

Fig. 1은 축냉 시스템 성능 시험에 사용된 실차 환경제어풍동(climate control wind tunnel)의 제어범위와 개략도를 보여주고 있다. 환경제어 풍동은 차량의 주행은 물론이고, 주행속도와 동일하게 주행풍을 모사할 수 있고, 보일러와 냉동기, 스티밍 발생기가 구비되어 다양한 기후 환경을 모사할 수 있다. 특히 환경제어 풍동의 천정에는 인공광원이 설치되어 있어 태양에 의한 일사부하를 고려할 수 있고, 차량 동력계(dynamo-meter)는 200 km/h까지 주행이 가능하며, 평지, 등판 등 다양한 주행 조건 모사가 가능하다.

시험은 먼저 현재의 차량에서 엔진이 정지하여 에어컨 시스템이 작동을 멈출 때 차 실내 열 환경에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다. 시험차량은 현대자동차에서 생산하는 CUV(Crossover Utility Vehicle)와 일본 혼다자동차의 소형 승용차이고, 공조장치의 조작은 차량이 주행을 하다가, 정차하면

Chamber temperature	-40 ~ 60°C
Wind speed	0 ~ 200 km/h
Humidity control	20 ~ 90%, RH
Dynamo absorption load	210 HP
Sun load	300 ~ 1400 W/m <sup>2</sup>

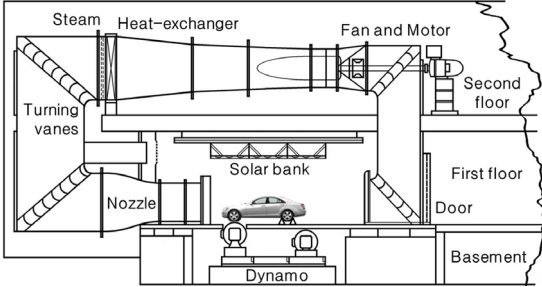


Fig. 1 Specification and diagram of climate control wind tunnel

에어컨 시스템의 압축기도 함께 정지하여 냉방 공급이 중단될 때와 계속 작동하여 냉방이 지속될 때 온도를 비교하였다. 이때 송풍기는 모두 최대로 작동하였다.

다음은 최대 냉방 성능 시험을 하여, 축냉 시스템의 빙축과 방냉 성능을 살펴보고, 이어서 신호등 지나 교통체증으로 차량이 가다, 서다를 반복하는 Go-Stop 시험을 진행하였다. 시험차량은 국내에서 생산한 중형 세단으로 차량에 장착된 축냉 시스템은 기존 증발기 대신에 증발기와 일체로 구성된 축냉 열교환기를 사용하여 에어컨이 작동될 때는 증발기의 역할을 수행함과 동시에 전도와 대류 열전달에 의하여 열교환기에 일체로 구성된 축냉부의 상 변화 물질에 빙축을 하게 된다. 이후 차량이 정지 시에는 에어컨 시스템의 압축기 작동이 멈추고 동시에 빙축된 상 변화물질이 해빙을 하면서 잠열로 실내에 차가운 공기를 공급하게 된다. 시험조건은 차량이 50 km/h로 주행을 하면서 에어컨 시스템을 가동하여 축냉 열교환기가 충분히 빙축이 되었다고 판단되면, 엔진을 정지하여 압축기의 작동도 멈추고 송풍기만 가동하여 공조장치에서 토출되는 공기의 온도를 축냉 시스템이 없는 Base차량과 비교하였다.

상세 시험조건은 Table 1에 나타나 있으며, 여름철 혹서지 조건인 45°C, 45% RH의 온도와 일사는 1 kW/m<sup>2</sup>이고, 송풍량은 450 m<sup>3</sup>/h이다.

Table 1 Experimental conditions of cold storage system performance in vehicle

Air temperature and humidity		45°C, 40% RH
Sun load		1000 W/m <sup>2</sup>
Air-handling system	Air intake Temperature	Re-circulation
	Mode	Max. Cool Vent
	Air volume	450 m <sup>3</sup> /h
Air-conditioning system		On → Off
Vehicle speed		50 km/h → Idle

차 실내 평균 온도는 차량의 전석과 후석의 가슴 부위와 발 부위에 각각 8개씩의 열전대를 설치하여 온도를 측정하였고, 공조장치에서 토출되는 공기 온도를 측정하기 위하여 각 토출구마다 열전대를 설치하였다. 압축기의 토출압력과 흡입압력, 응축기와 증발기 입구와 출구의 냉매 온도를 측정하였으며, 차량의 주행속도와 엔진회전수, 송풍기 모터에 공급되는 인가전압도 각각 측정하였다.

Fig. 2는 본 연구에 사용된 축냉 시스템의 개략도이다. 축냉 시스템은 증발기 일체형 축냉 열교환기가 기존의 증발기 대신에 사용된다. 증발기는 274W × 250H × 45t의 크기로 27개의 플레이트(plate)를 적층한 반면, 축냉 열교환기는 증발기와 축냉기가 포함되어 두께가 15 mm 커진 274W × 250H × 60t로 얇은 알루미늄 판을 31개 적층하여 용접(brazing)한 형태로 축냉제가 주입되는 가운데 부분을 중심으로 양쪽은 냉매가 흐르는 기존의 증발부와 동일하며, 가운데는 상 변화 물질인 축냉제가 약 185 cm<sup>3</sup> 충전



Fig. 2 Configuration of cold storage system and controller

Table 2 Air-conditioning system components of cold storage system in vehicle

Condenser	Type Size	PF type, 34 tubes 677W × 341H × 16t
Cold storage heat-exchanger	Type Size	Integrated evaporator 274W × 250H × 60t
Compressor		VS-18 Swash plate type
Thermal expansion valve		1.5K at 0°C, 1.05S

되어 있다. 축냉제는 파리핀 계열로 어는점은 대략 6°C정도이다.<sup>9)</sup>

최대 냉방 성능시험과 Go-Stop 시험차량에 장착된 에어컨 시스템의 주요 제원에 대하여 Table 2에 정리하였다.

### 2.2 실 도로주행 시험

사용자 입장에서 축냉 시스템의 효과를 확인하고자, 하절기에 실 도로를 주행하면서 시험을 진행하였다.

시험 차량은 앞서 환경제어 풍동 시험에서 사용한 국내제조사의 중형 승용차로 한 대에는 축냉 시스템 공조장치가, 다른 한 대에는 기존의 공조장치가 각각 장착되어 있다. 주행은 대전 근교의 야외 도로를 주행하면서 신호대기, 정차의 상황을 모사하여 잠시 엔진을 정지하고 에어컨 시스템이 작동을 멈춘 후 공조장치에서 토출되는 온도를 비교하였다. 또한 축냉 시스템에서 풍량을 변화하면서 차 실내의 온도변화에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다.

Fig. 3은 실 도로주행 시험시 차량에 설치된 센서의 위치와 데이터 취득 장치를 보여주고 있다. 차 실내에 설치된 각종 열전대의 위치는 전석과 후석 탑승자의 가슴부위와 발 부분에서 각 좌석당 4개씩이고, 실내온도는 이들 측정값을 평균하였다. 공조 장

치의 토출구에는 별도로 열전대를 설치하여 토출 공기 온도를 측정하였다. 또한 외기온도, 공조장치의 송풍기와 압축기의 클러치(clutch)에 인가되는 전압 및 에어컨 시스템의 운전 상태를 확인하기 위하여 냉매의 압력과 온도, 증발기와 축냉 열교환기의 입출구 온도를 측정하였다. 일사 측정은 Kipp & Zonen사의 CMP6 모델을 사용하였으며, 센서감도(sensitivity)는 13.52  $\mu\text{V}/\text{m}^2$  이다.

차량 공조장치의 조작은 Table 1과 동일하게 여름철 냉방시 주로 사용하는 벤트(vent)와 최대냉방, 내기 순환 모드이고 송풍량만 달라진다. 시험 결과는 Agilent 34970을 노트북 컴퓨터와 연결하여 실시간으로 저장하였다.

### 3. 실험결과 고찰

#### 3.1 환경제어 풍동 시험 결과

먼저 환경제어 풍동에서 실내 열환경 변화에 대한 시험으로 차량에서 에어컨 시스템이 작동을 멈추었을 때 차 실내 온도변화를 살펴보았다. Fig. 4(a)는 현대자동차에서 생산한 1.5리터 가솔린 엔진을 장착한 CUV이고, Fig. 4(b)는 일본 혼다자동차에서 생산한 Civic승용차로 차량이 50 km/h로 주행을 하다가, 공회전(idle)에 도달하면 에어컨 시스템의 작동유무에 따라 토출 온도 변화를 비교한 것이다. 차량의 실내체적, 에어컨 시스템의 차이 등으로 두 차량 간 약간의 차이는 있지만, 압축기가 작동을 멈춘 후 약 60초가 지나면 공조장치에서 토출되는 바람은 이미 20 ~ 22°C에 도달해 에어컨을 작동했을 때 대비 토출 온도가 9.1 ~ 11.2°C가 상승하고, 120초가 지나면 11.7 ~ 13.9°C가 높아져 일반적으로 쾌적 범위를 벗어나는 것을 알 수 있다. Fig. 4의 결과로 볼

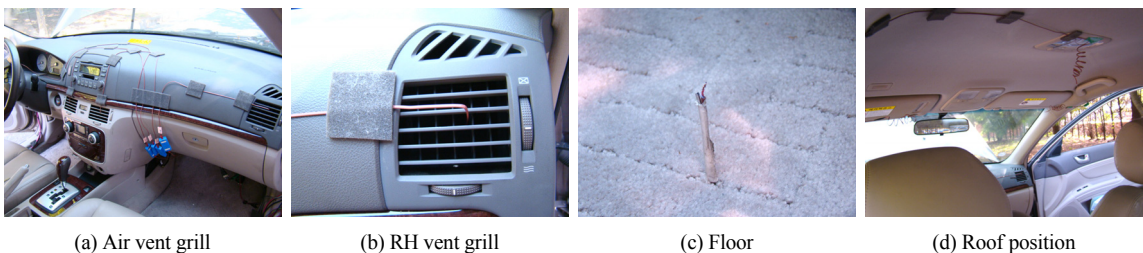
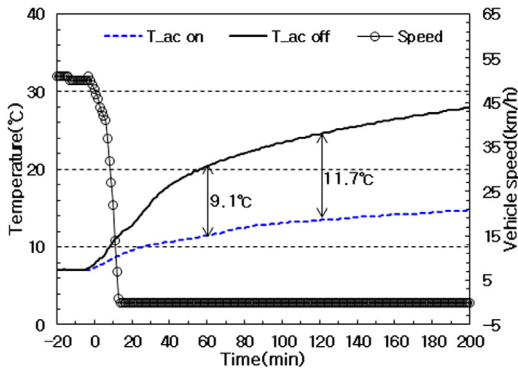
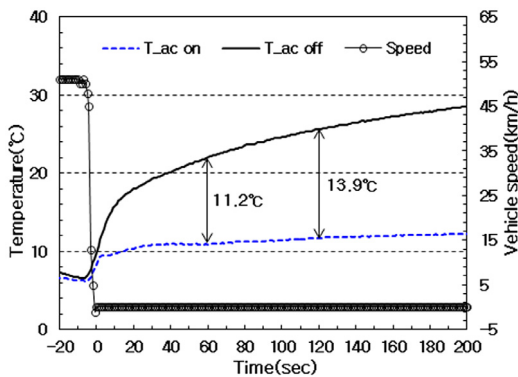


Fig. 3 Temperature measurement positions in the vehicle



(a) Hyundai motors Lavita



(b) Honda motors Civic

Fig. 4 Comparison of air discharge temperature when vehicle engine stops

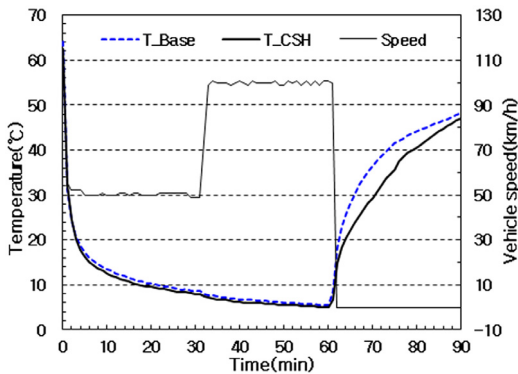


Fig. 5 Comparison of air-conditioning system cool down performance in vehicle

때, ISG의 작동으로 압축기가 작동을 멈추면 차량 탑승자는 불과 1분 후부터는 열적으로 불쾌감을 느낄 수 있다.

Fig. 5는 기존 공조시스템이 장착된 Base차량과

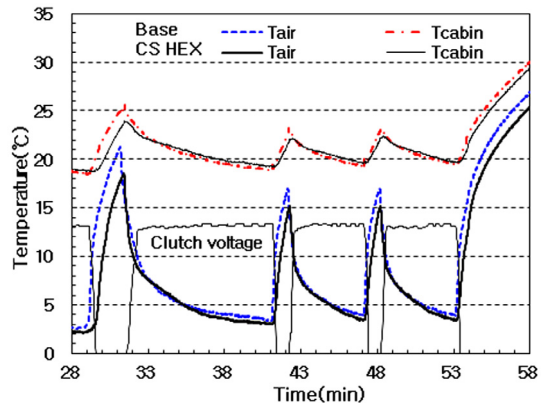


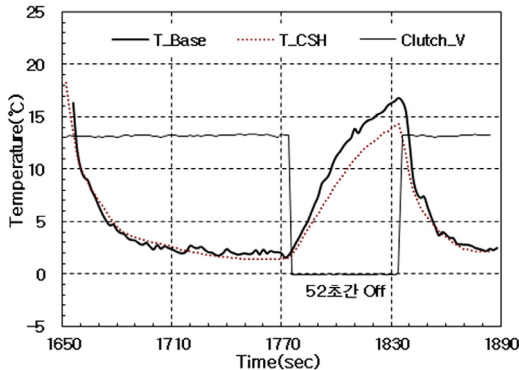
Fig. 6 Comparison of air discharge temperature with go-stop conditions in vehicle

축냉 열교환기가 장착된 축냉 공조시스템 차량에 대하여 최대 냉방 성능을 시험한 결과이다. 에어컨 시스템을 가동하면서 차량은 50 km/h로 30분 주행을 하고, 이어서 100 km/h로 주행을 하여, 실내가 충분히 차가워진 다음 엔진을 정지함과 동시에 압축기 구동도 정지하여 토출되는 공기 온도를 비교하였다. 축냉 열교환기는 기존의 증발기와는 달리, 에어컨이 작동될 때에는 증발기 역할과 함께 빙축하기 때문에 최대 냉방 성능에 영향을 미칠 수도 있지만, 압축기가 구동되는 60분 시점까지의 온도변화를 보면, 축냉 열교환기가 빙축을 하는 동안에도 최대 냉방 성능에는 크게 영향을 미치지 않는 것을 볼 수 있다. 60분 이후 시점에서 압축기가 정지하는 즉시, 토출 공기 온도는 급격히 상승하며, 약 4분 만에 Base차량은 토출 온도가 약 27°C에 도달하였고, 축냉 시스템이 장착된 차량은 약 21.7°C로 축냉 시스템에 의해 온도 상승이 지연되는 것을 확인할 수 있었다.

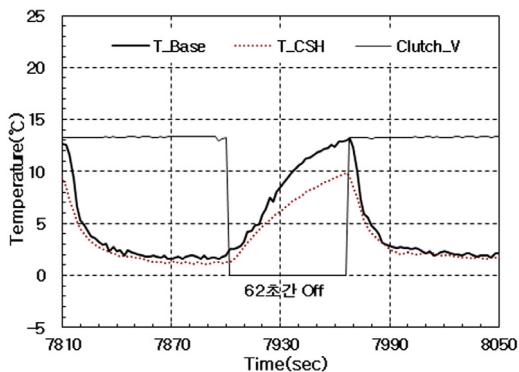
Fig. 6은 환경제어 풍동에서 축냉 시스템이 장착된 차량과 기존 공조시스템을 장착한 Base차량의 Go-Stop 시험 결과이다. 압축기 정지 시간에 따라 약간씩 다르지만 축냉 시스템이 장착된 차량의 경우 토출 온도는 약 2.5~4.1°C 낮아지고, 실내 평균온도도 0.6~2.1°C 낮아졌다. 또한 축냉 열교환기의 빙축 성능을 보면, 에어컨 시스템의 작동 시간에 따라 다르기는 하지만, 대략 4~5분이면 토출 온도가 4°C이하로 낮아져 축냉이 가능한 것으로 보인다.

### 3.2 실 도로주행 시험 결과

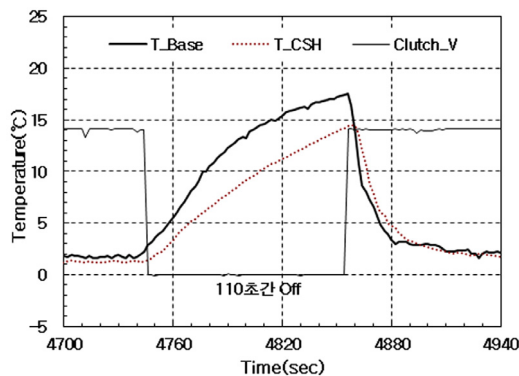
사용자의 관점에서 여름철에 축냉 시스템이 장착된 차량과 기존 공조장치가 장착된 Base 차량을 한적한 도로를 주, 정차조건으로 주행하면서 시험한 축냉 시스템의 효과를 Fig. 7에 나타내었다.



(a) VB=6.0V and  $T_{amb}=34^{\circ}\text{C}$



(b) VB=4.9V and  $T_{amb}=26^{\circ}\text{C}$



(c) VB=3.9V and  $T_{amb}=32^{\circ}\text{C}$

Fig. 7 Comparison of air discharge temperature with various blower input voltage and outside temperature

공조장치의 조작은 환경제어 풍동 시험과 같지만, 송풍량은 최대 송풍이 아닌 저풍량 조건이다. 사용자의 입장에서는 차량 주행과 함께 에어컨 시스템을 가동하여 일정시간이 지나 온도가 안정된 이후부터는 최대 송풍량이 필요하지 않기 때문이다. Fig. 7(a)는 공조장치의 송풍기에 6.0 V의 전압이 인가될 때 토출 공기 온도를 비교한 것이다. 에어컨 시스템이 작동시 온도는 약 2.0°C이고, 압축기가 정지 후 토출 온도는 급격히 상승하여, 52초 후에는 16.5°C까지 높아졌다. 반면 축냉 열교환기가 장착된 차량은 14°C 정도로, Base차량 보다 3.1°C 정도 온도가 낮게 상승하였다.

Fig. 7(b)는 송풍기에 인가되는 전압이 4.9 V일 때 공기 온도를 비교하였다. 에어컨 시스템이 작동될 때 온도는 약 1.8°C이나, 압축기가 정지후, 토출 온도는 점차로 상승하여 62초 시점에서 13.3°C까지 높아졌다. 앞서 살펴본바와 같이 축냉 열교환기가 장착된 차량은 9.9°C 정도로 약 3.9°C 공기 온도가 낮게 나타났다. Fig. 7(a)와 비교시 압축기 정지후 토출 온도의 상승폭이 높지 않은 것은 외기온도가 낮기 때문으로 생각된다.

Fig. 7(c)는 송풍기에 3.9 V의 전압이 인가될 때이다. 에어컨 시스템이 작동시 토출 온도는 약 2.0°C, 압축기가 정지후 110초 시점에서 토출 온도는 17.5°C이다. 하지만 축냉 열교환기가 장착된 차량은 14.1°C로 Base차량 대비 4.2°C 온도가 낮게 상승하였다. 앞서 살펴본 Fig. 7(a)와 외기온도는 비슷하지만, 토출 온도의 상승폭이 상대적으로 적은 것은 송풍량의 차이 때문으로 보인다.

실 도로주행 시험 결과, 토출 온도의 상승은 외기 온도와 송풍량에 따라 다르지만, 짧은 시간동안의 정차에도 불구하고, 축냉 열교환기가 장착된 차량이 기존의 Base차량보다 약 3.1 ~ 4.2°C 정도 토출 온도가 낮게 상승하였으며, 지연시간은 약 38 ~ 83초 정도로 나타나 사용자 관점에서도 축냉 시스템은 효과가 있을 것으로 보인다.

Fig. 8은 공조 장치의 송풍량이 축냉 시스템에 미치는 영향을 확인 하고자 송풍기에 인가되는 전압을 변경하면서 기존 Base차량과 축냉 시스템이 장착된 차량과의 토출 온도차( $\Delta T$ )를 비교하였다. 일

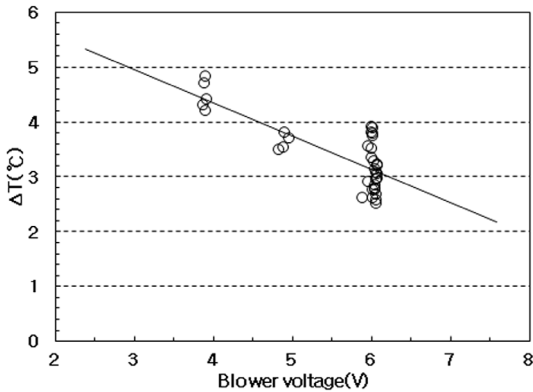


Fig. 8 Experimental results of  $\Delta T(T_{Base}-T_{CSH})$  with various blower motor input voltage

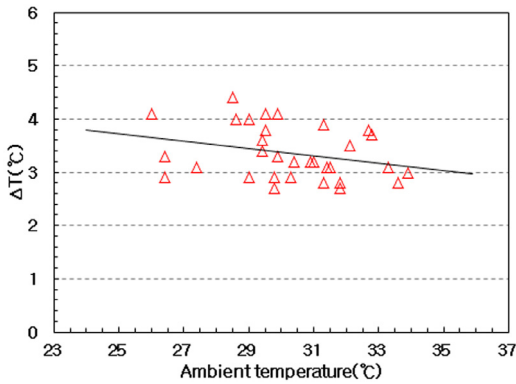


Fig. 9 Experimental results of  $\Delta T(T_{Base}-T_{CSH})$  with various outside temperature ( $V_B=6.0V$ )

반적으로 인가 전압과 풍량은 비례 관계에 있으며, 외기온도에 따라 온도차가 약간씩 변동은 하지만, 송풍기에 인가되는 전압이 낮아지면 온도차는 크고, 송풍기 인가 전압이 높아지면 온도차는 작게 나타나 풍량의 변화에 따라 온도차는 거의 선형적으로 변하는 것을 확인하였다. 즉, 송풍량에 따라 달라지는 온도차를 적절히 이용한다면, 축냉 시스템의 냉기를 차 실내에 공급할 수 있는 시간을 지연할 수 있을 것으로 판단되어, 향후 열 쾌적성과 연관 지어 축냉 시스템의 운전전략으로 검토가 필요할 것이다.

Fig. 9는 외기 온도가 축냉 시스템에 미치는 영향에 대하여 실험한 결과로, 외기 온도가 26°C ~ 34°C 정도의 범위에서는 Base차량과 축냉 시스템이 장착된 차량간의 온도차( $\Delta T$ )에 미치는 영향은 크지 않았다.

#### 4. 결론

차량용 공조 시스템에서 증발기 일체형 축냉 열교환기가 적용된 차량과 기존 증발기가 장착된 차량에 대하여 다양한 조건에서 축냉 시스템의 성능을 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 최대 냉방 성능 시험 결과 축냉 시스템은 기존의 에어컨 시스템과 동등한 냉방 성능을 확보하였다.
- 2) 환경제어 풍동의 Go-Stop 시험에서 축냉 열교환기의 축냉 성능은 4 ~ 5분 정도에서 빙축이 가능하였다.
- 3) 환경제어 풍동 시험에서 축냉 시스템은 Base차량 대비 토출 온도가 2.5 ~ 4.1°C, 실내 평균온도는 0.6 ~ 2.1°C 낮게 나타났다.
- 4) 실 도로주행 주행 시험시 축냉 시스템의 토출 온도는 Base보다 약 3.1 ~ 4.2°C 낮고, 38 ~ 83초 온도 상승 지연 효과가 있었다.
- 5) 축냉 시스템에서 토출 온도 상승은 송풍량의 영향이 외기온도의 영향보다 크게 나타났다.

이상의 결과로 볼 때 차량용 축냉 시스템은 Idle Stop 기능이 적용된 차량에서 실내 열 쾌적성을 향상할 수 있는 효과적인 기술로 생각된다. 향후 차량에 적합한 상 변화 물질의 연구와 부가적으로 축냉 장치의 성능변화에 따르는 축냉 및 방냉 특성에 대한 연구가 필요할 것이다.

#### References

- 1) J. Kim, K. Oh, J. Lee and H. Kim, "Analysis of Fuel Economy for a 42-volt ISG Vehicle Using Performance Simulator," Transactions of KSAE, Vol.13, No.3, pp.1-9, 2005.
- 2) K. Okuda, Y. Komatsu, S. Aoki, T. Fujiwara and Y. Nakahara, "Research of Low Tension ISG Belt-riven System for Idling Stop System," IPC 13, pp.238-243, 2005.
- 3) G. Guyonvarch, R. Haller and L. Lepetit, "A Comparison between Climate Control Systems Providing Thermal Comfort during Vehicle Stops," SAE 2003-01-1073, 2003.
- 4) J. Bailey, P. Pilato, F. Wicks and R. Wilk, "Modeling and Assessment of Ice Storage for Air Conditioning," SAE 1999-012719, 1999.

- 5) K. S. Lee, H. J. Kim, C. I. Baek, Y. K. Song, C. S. Han and D. J. Kim, "Numerical Analysis on the Performance for Automobile Heat Storage System Using Phase Change Material," Transactions of KSAE, Vol.4, No.3, pp.187-198, 1996.
- 6) K. B. Kim, B. H. Moon, K. W. Choi and K. H. Lee, "Automotive Engine Cooling Using a Phase Change Material," Transactions of KSAE, Vol.21, No.3, pp.24-29, 2013.
- 7) M. Eisele, Y. Hwang and R. Radermacher, "Utilization of Ice Storage in Secondary Loop Automotive Air-conditioning Systems," SAE 2013-01-0235, 2013.
- 8) T. Craig, J. O. Brien, D. Polisoto and N. Wolfe, "Integrated Air Conditioning Evaporator with Phase Change Material for Thermal Storage," SAE 10AARS-002, 2010.
- 9) D. Lee, D. Keon, S. Chung, C. Jeong and Y. Wang, "Performance Investigation of Cold Storage Heat-exchanger or Vehicle Applied ISG," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.485-492, 2014.