

차량용 냉방시스템에의 열전소자 적용에 관한 연구

A Study on the Application of Thermoelectric Module in the Air Conditioner System Using Automotive

김 순 호
S. H. Kim

(접수일 : 2008년 5월 6일, 수정일 : 2008년 7월 24일, 채택확정 : 2008년 8월 25일)

Key Words : Air Conditioner(에어컨), Cooling Ability(냉동능력), Thermoelectric Module(열전소자) Reduction Effect(저감효과), Production of Liquid Hammer(리퀴드 해머 발생)

Abstract : The improvement of cooling ability for the air conditioner is the most efficient method of application of its system. Therefore, this study has been investigated the improvement of cooling ability for the air conditioner using automotive by attached of a thermoelectric module. According to the result of test, capacity of the thermoelectric module make temperature range from -75°C to $+300^{\circ}\text{C}$ possible to cooling and exothermic. In addition to, the reduction effect of energy revealed and the effect of liquid hammer remained with safety by attached the thermoelectric module. It was found that the air conditioner system by attached thermoelectric module have better cooling ability than the air conditioner system of existing vehicle.

1. 서 론

자동차 산업을 지속적으로 발전시키기 위해서는 자동차에 들어가는 각종 장치 및 부품에 대한 기술 개발이 필수적으로 필요하다. 특히 자동차 공조기술은 인공적으로 온도, 습도, 기류, 청정도를 차내에 있는 사람 또는 물품에 가장 적합한 상태로 유지하기 위한 기술인데, 최근의 공조산업은 고성능화, 소형화, 에너지 절약화, 저소음화, 환경 친화적 기술개발을 통하여 각종 산업 환경에 그 응용범위가 확대되어 가고 있으며, 그 중요성도 높아지고 있다.¹⁻³⁾ 최근 우리나라도 에어컨 시스템의 보급증가로 자동차 출고 시 옵션이 아닌 필수품으로 인식되고 있다. 일반적으로 자동차용 에어컨 시스템의 가동형태는 실내에 태양, 대기, 도로, 또는 엔진 등과 같이 외부 및 내부에서 가해지는 여러 가지의 열들에 의해 차내에 열이 쌓여있게 되면 에어컨을 가동하게 되는데, 이 때 이루어지는 냉방은 송풍기가 증발기(Evaporator)를 통해 차가운 바람을 자동차 실내로 불어주게 되고, 공기 중에 포함된 실내의 온도와 습도가 수분이 응축되어 외부로 배출하게 됨으로써

낮아져 쾌적한 실내 환경이 이루어지게 된다. 즉, 자동차 에어컨 시스템은 컨트롤러의 지시에 따라 에어컨 냉매를 압축-응축-팽창-증발시키는 과정을 반복함으로써 쾌적한 실내를 유지해주는 시스템으로, 증발기, 압축기(Compressor) 및 응축기(Condenser)와 이를 연결하는 파이프 및 호스, 그리고, 이를 통제하는 컨트롤러와 여러 가지의 안전장치로 구성되어 있다.^{4,5)} 그러나 이 시스템은 외부 온도, 습도, 승차인원, 엔진의 회전수 등에 따라 일정한 냉방 부하를 가질 수 없기 때문에 동작조건이 일정한 경우는 거의 없다고 볼 수 있다. 실제로 하절기 자동차 에어컨 시스템 작동 시, 차량 구동력이 현저히 저하될 뿐만 아니라 평균 20~30%의 연료손실이 나타나고 있으며, 압축기 밸브, 커넥팅 로드 및 피스톤 등의 파손 등을 초래할 수 있는 리퀴드 해머(Liquid hammer) 현상 등의 문제점들이 발생되고 있다.⁶⁾ 따라서, 본 연구에서는 기존차량 에어컨 시스템 모델 및 여기에 열전소자(Thermoelectric module)를 부착한 경우의 차량 에어컨 시스템모델을 개발, 비교시험을 행함으로써, 이러한 기존차량 냉방장치의 문제점들에 대하여 열전소자의 활용방안을 모색하고자 한다. 특히, 압축기 장치를 장착하지 않은 상태로 열전소자만 활용한 기존의 다양한 냉방공조장치에 관한 연구들^{1,7)}에 비해, 본 연구에서는 기존차

김순호(책임저자) : 신라대학교 자동차기계공학과
E-mail : skim@silla.ac.kr, Tel : 051-999-5623

량의 경우와 같이 압축기를 그대로 장착한 상태에서 열전소자를 추가로 장착한 모델을 개발, 시험해 보고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

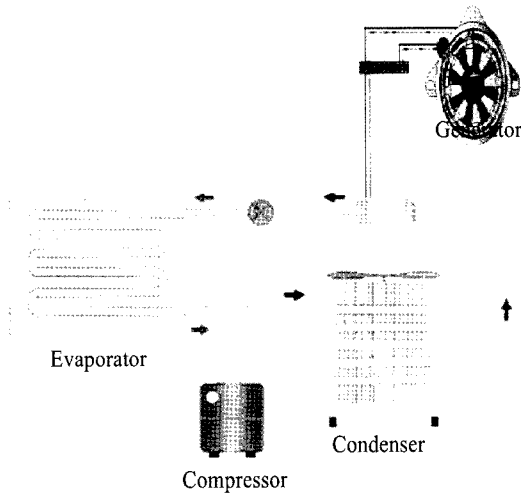
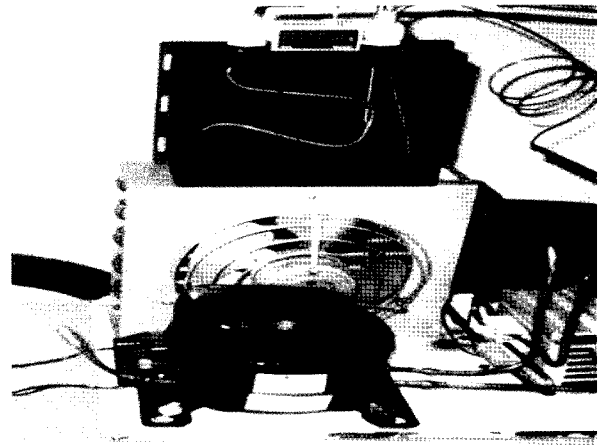


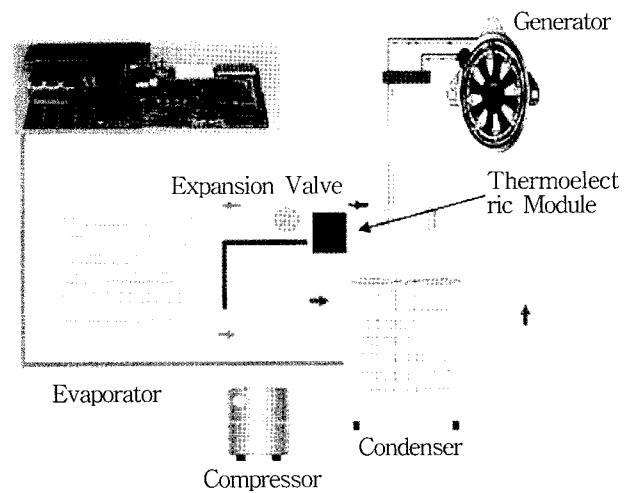
Fig. 1 Diagram of operating structure for the air conditioner of existing vehicle

Fig. 1은 현재 상용차량의 에어컨 시스템을 축소 리모델링한 장치의 내부 작동구조를 나타낸 개략도이다. 즉, Fig. 1에서 나타낸 바와 같이, 자동차 에어컨 시스템의 작동은 냉동사이클을 순환하면서 자동차 실내 냉방효과를 나타내고 있다. 냉동장치에 있어서 냉매는 팽창밸브를 통하면서 저압으로 된 후 증발기에 들어가고, 증발기에서는 액체냉매가 증발 잠열을 취하여 증발하게 된다. 그리고 증발된 냉매 증기는 압축기에서 외부로부터 일을 받아 냉매 증기를 압축하여 고온, 고압으로 되는데 그 압축된 고압의 증기가 응축기로 보내어지며, 여기서 응축열을 방출해서 응축하게 되고 응축액은 다시 팽창밸브로 들어가는 사이클을 형성하게 되는 것이다. 이와 같이, 냉동사이클을 순환하는 냉매는 냉동장치에서 연속적으로 액체로 되기도 하고 증기로 되기도 하는 등 끊임없이 변환하면서 에너지 손실 및 차량구동 출력 저하 등의 문제점들을 발생시키게 된다.⁸⁾

특히, 냉매가스는 증발기속에서 많은 열을 흡수하게 되어 액상에서 기상으로 변하게 되는데 이 때, 여러 가지 이유로 완전 기체화되지 않은 상태로 압축기에 유입됨으로써 리퀴드 해머 현상이 발생되어 궁극적으로 기계적 파손의 원인이 되기도 한다.



(a) Curtail remodeling



(b) Diagram of operating structure

Fig. 2 Curtail remodeling and diagram of operating structure in air conditioner by attached thermoelectric module

따라서, 본 연구에서는 Fig. 2에서와 같은 장치를 개발하였는 바, 즉, Fig. 2(a)는 기존차량의 에어컨 시스템에 열전소자를 부착한 경우를 축소 리모델링한 구조이며, Fig. 2(b)는 그것의 내부 작동구조의 개략도를 나타낸 것으로써, 개략도에서 나타낸 바와 같이 응축기와 팽창밸브 사이에 열전소자의 N소자를 사용한 흡열부를 이용하여 불응축된 냉매 가스가 완전 응축되도록 하였고, 이와 동시에 P소자를 사용한 발열부를 증발기와 압축기 사이에 적용하여 과냉 현상을 완전 차단할 수 있도록 하였으며, Table 1에서 실험장치의 그 주요사양을 제시하였다. 아울러 본 실험에서는 압축기의 과냉을 방지하기 위하여 발열부 적정온도를 실험 취합하여 측정할 설정온도를 셋팅하였고, 내부온도센서로부터의 목표치와 비교하여 열전소자 전원을 $\pm 1\%$ 단위로

ON/OFF시키는 PID 제어시스템인 자동 온도제어시스템을 개발, 부착하였다. 이와 같이 본 연구에서는 Fig. 1의 상용차량의 경우와 Fig. 2의 열전소자 부착의 경우에 대하여, 플래쉬 가스 저감, 리퀴드 해머 발생의 저감 등에 관한 비교시험을 행함으로써, 상용차량의 에어컨 시스템에 있어서 열전소자의 활용방안을 모색하고자 한다.

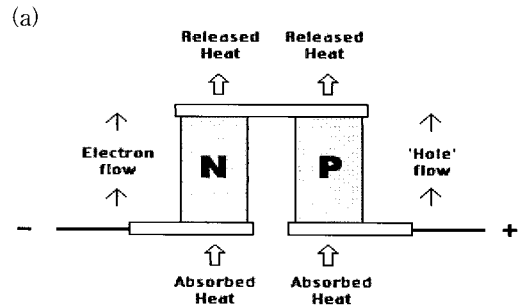
Table 1 Main specifications of experimental equipments

Items	Specifications
Refrigerator	0.1hp (enclosed type)
Condenser Fan	60Hz, 6W, 4p type
Expansion Valve	Capillary Tube (2.5φ Cu)
Refrigerant	R-12
Charging Quantity of Refrigerant	Low temperature : 1.5Kg/cm ³ , High temperature : 6.7Kg/cm ³
The Degree of Superheat	5℃
The Degree of Supercool	5℃
Pipe Diameter	6.5φ Cu
Temperature Sensor	PT 100Ω(-99℃ ~+199℃)
Indicator	PT 100Ω, T4Y1 type

2.2 실험 방법

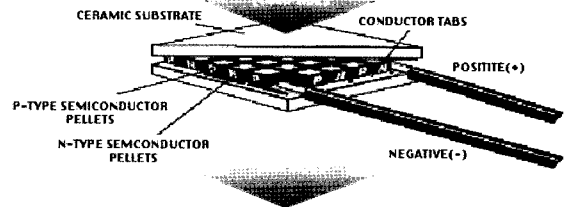
2.2.1 열전소자 선정 및 방열기 설계, 제작

열전소자라 함은 냉각이나 가열을 동시에 수행하여야 하는 경우 및 열원을 이용한 발전이 필요한 경우에 어디든지 사용할 수 있는 열과 전기의 교환시스템으로, 기존의 콤프레샤 냉각방식을 대체할 차세대 냉각방식으로서 (+, -)극 전환을 통해 어디든지 간편하게 냉각과 발열이 동시에 가능하여 상온에서 대상물을 평균 -75℃에서 +300℃ 까지 냉각과 가열을 통해 일정 온도로 유지되게 할 수 있으며, 아울러 최소 가로, 세로 0.8 cm x 0.8 cm부터 국소부위 및 광범위한 범위까지 냉각과 가열이 가능한 반도체 소자이다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 조건에 부합하는 열전소자를 결정하여 적용하고자 하며, 특히, 열전소자의 성능을 극대화하며, 발열부위의 외기환경 온도변화, 열전소자와 외기환경사이의 열교환 효율 등의 외란을 고려한 방열구조를 설계, 제작하여 부착하였다.



(a) Basic connection diagram

(b)



(b) internal structure diagram

Fig. 3 Basic connection diagram and internal structure of thermoelectric module

이러한 열전소자의 연결도 및 내부구조도를 Fig. 3에 나타내었으며, Table 2에서 열전소자의 주요 사양을 나타내었다.

Table 2 Specifications of thermoelectric module

Item	DESCRIPTION				
	Max. Current (I _{max} (A))	Max. Temp. (T _{max} (C))	Max. voltage (V _{max} (V))	Max. Efficiency (Q _{max} (W))	Size (L×W×H)
CP1.0-127-08L	6.0	69	8.4	28.7	29.72 × 3.99 × 29.72

2.2.2 플래쉬가스 감소 및 리퀴드해머 개선효과

Fig. 4에서와 같이 일반적 냉동모형의 모리엘 선도⁹⁾에서 살펴보았을 때, 플래쉬가스(Flash Gas) 존재영역부분이 에너지 손실부분인데, 이는 응축기에서 팽창밸브로 가기전의 냉매가 완전한 액체상태를 유지할 수 없기 때문으로 판단되는데, 이러한 플래쉬가스의 존재를 감소시키기 위한 방안으로 본 연구에서는 적절한 열전소자 및 방열기 등을 선택하여 냉각과 발열부위 모두를 이용할 수 있도록 부착하였을 뿐만 아니라 PID 자동온도제어기를 Fig. 5에 나타난 바와 같이 자체 개발, 부착하여 각 온도

점에 대한 적정 온도제어도 가능하게 장착한 후, 플래쉬가스의 감소 및 리퀴드 해머 현상에 관한 시험을 실시하였다.

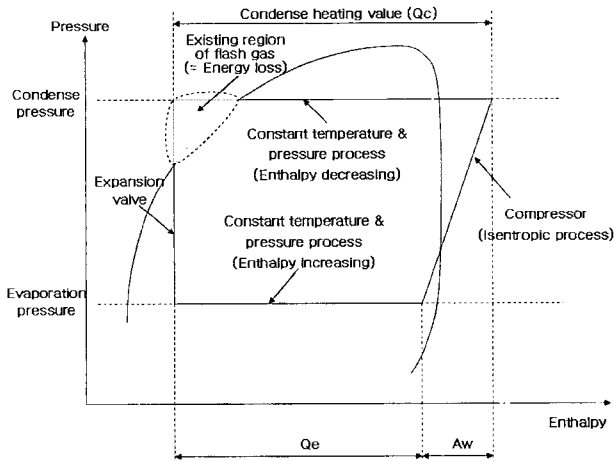
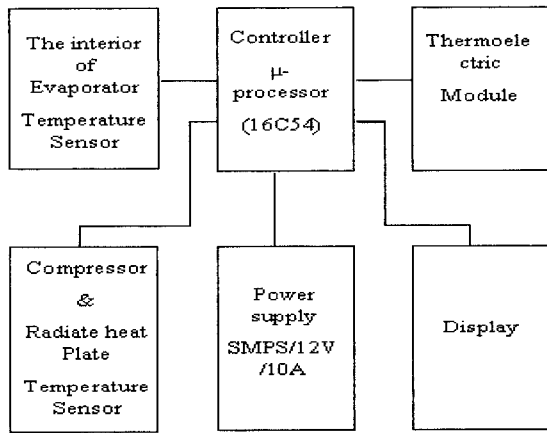
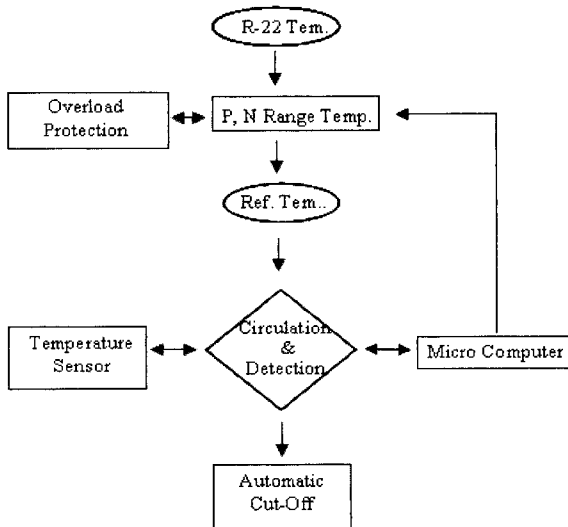


Fig. 4 Moriel diagram of general cooling pattern



(a) H/W Connection Diagram



(b) S/W Connection Diagram

Fig. 5 H/W and S/W Connection Diagram of PID Automatic Temperature Control System

3. 실험결과 및 고찰

3.1 열전소자 성능시험

Fig. 6은 본 연구에 사용된 열전소자의 선택을 위해 다양한 적용환경에 적합한 설계프로그램 (AZTEC사 제공)¹⁰⁾이다. 적용 환경에 따른 외기 온도는 50°C로 기준하였으며, 노점온도는 공기선도에서 습기가 결빙되지 않는 상태에서 가장 왕성한 냉각이 이루어지는 1°C를 기준으로 하여, 그 성능을 분석한 결과, 부품번호 CP1.0-127-08L의 열전소자로 나타났다. 이는 -75°C ~ +300°C까지 냉각과 발열이 동시에 가능하며, 26db의 저소음, 저진동의 성능을 나타내어 상용 열전소자의 규격 및 본 연구에 적합한 열전소자이었다.

아울러 열전소자의 성능을 더욱 극대화시키기 위해서, 본 연구에서는 발열부위의 외기 환경 온도 및 열전소자와 외기 환경 사이의 열교환 효율 등의

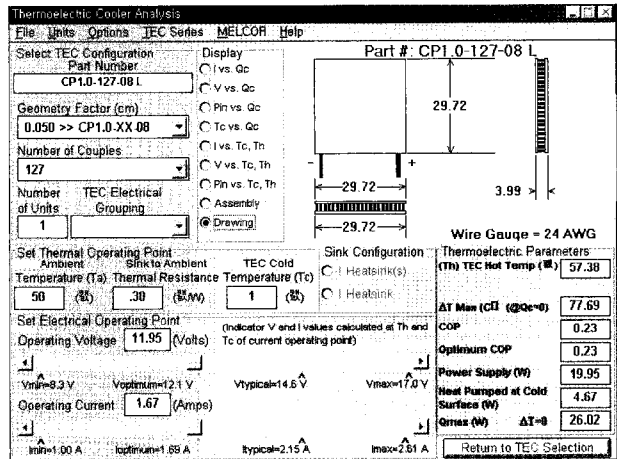
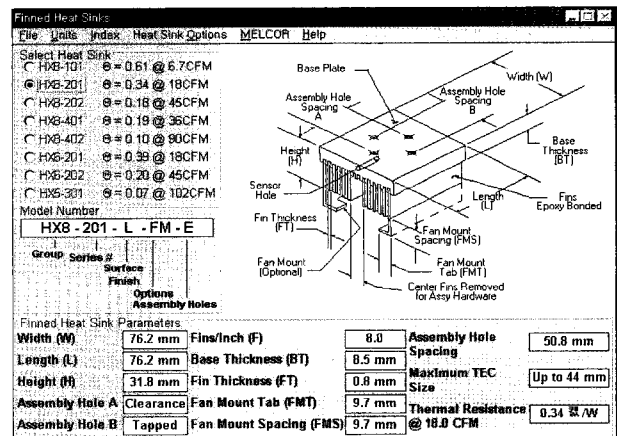
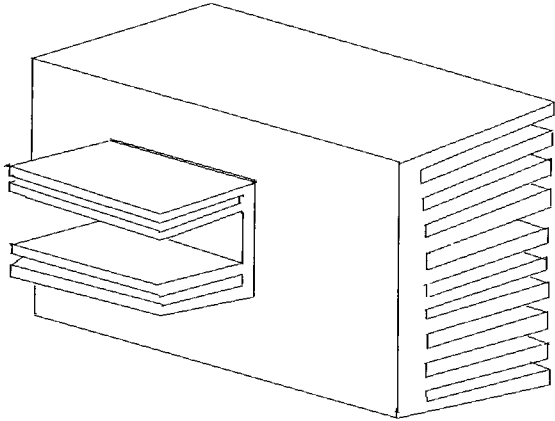


Fig. 6 Result of cooling analysis for the thermoelectric module



(a) Result of radiant heat analysis



Items	Small Size(mm)	Large Size(mm)
External Form (W×L×H)	76.2×76.2×31.8	17.4×17.4×57.8
Base Thickness(BT)	6.5	9.8
Pin Thickness(PT)	0.6	4.6

(b) Schematic diagram for the heat sink

Fig. 7 Result of radiant heat analysis and schematic diagram for the heat sink

외란을 고려하여 방열판(Heat sink)을 결정하였는데, 본 연구에 적용된 CP1.0-127-08L 열전소자의 열저항이 0.30°C/W인 것에 착안하여 열저항이 최소 0.34°C/W를 유지할 수 있도록 Fig. 7에서와 같이 AZTEC 프로그램 방열기 설계 모드에서 최적으로 방열할 수 있는 방열판을 설계, 제작하여 장착하였다.

3.2 플래쉬가스 저감효과 시험

Fig. 8은 기존 상용차량의 경우와 열전소자 및 PID 자동온도제어장치를 부착한 경우의 에어컨 시스템에 대한 증발기 내부 온도변화를 조사함으로써, 플래쉬가스 존재영역의 감소여부를 시험한 결과이다. 예비 실험을 통해 온도 변화 추이가 장치 구동 후 평균 30초 차이로 측정값의 변화를 알 수 있었기 때문에, 측정방법으로 실내에서 매회 30초 주기로 30회 반복시험을 20일간 연속적으로 실시하였으며, 값은 평균값으로 나타내었다. 즉, Fig. 8에서와 같이 상용 에어컨 시스템의 경우에 비해 열전소자 적용의 에어컨 시스템의 경우가 시험시간에 따라 증발기내부 온도가 현저히 감소되고 있음을 확인할 수 있는데, 이는 Fig. 4에서의 플래쉬가스 존재영역의 감소를 의미하는 것으로 판단할 수 있으며, 이러한 결과는 본 연구에 적용된 열전소자의 급속 흡발열

및 최적화된 방열기 구조와 이들의 원활한 적용을 위해 장착한 자동온도제어장치의 구동효과라고 사료된다. 아울러, 본 연구에 사용된 열전소자의 전원 공급장치를 실제 차량에 장착할 경우, 차량 시동 후 지속적인 발전이 이루어지게 할 수 있어, 에너지 낭비가 거의 없을 것으로 사료되어지며, 궁극적으로 플래쉬가스 저감을 통한 에너지 절감효과를 가져올 수 있을 것으로 사료된다.

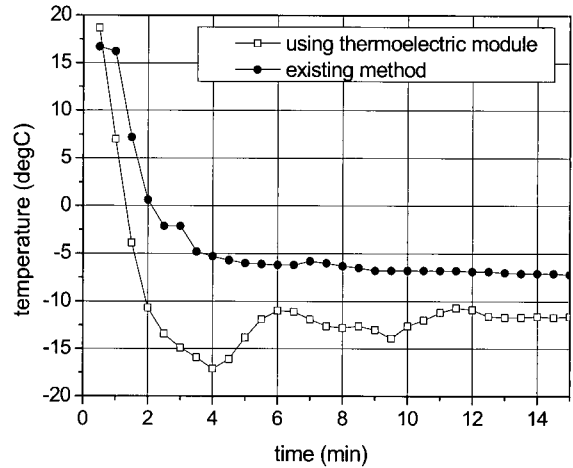


Fig. 8 Comparison with the internal temperature change of evaporator between that of existing and air conditioner by attached thermoelectric module

3.3 리퀴드해머 저감효과 시험

Fig. 9는 기존 상용차량의 경우와 열전소자를 응용한 PID 자동온도제어장치를 부착한 경우의 에어컨 시스템 장치에 대하여 증발기와 압축기 간 파이

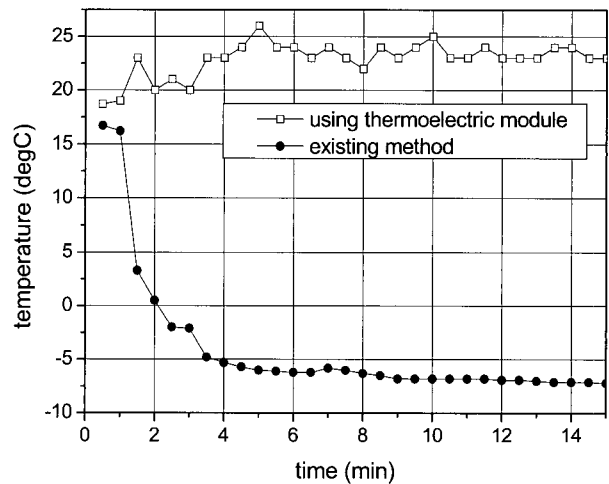


Fig. 9 Comparison with the temperature change of the pipe cable for space of evaporator and compressor between that of existing and air conditioner by attached thermoelectric module

프 배선의 온도변화 정도를 측정함으로써, 리퀴드 해머 발생에 대한 안정성 조사를 실시한 결과이다. 시험방법은 실내에서 매회 30초 주기로 30회 반복 시험을 20일간 연속적으로 실시하였으며, 값은 평균 값으로 나타내었다. 즉, Fig. 9에서와 같이 상용의 에어컨 시스템의 경우는 영하의 온도로 내려가 리퀴드 해머 현상이 일어날 수 있는 온도변화를 보이고 있는 반면 열전소자를 이용한 장치를 부착한 에어컨 시스템의 경우에는 평균 23℃를 시험기간 내 지속적으로 유지하고 있어, 리퀴드 해머에 대하여 안정성을 유지하고 있었다. 또한 이러한 리퀴드 해머 안정성에 대한 실제 압축기 작동 시험을 실시하여, 그 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 즉, 압축기 작동 후, 각각 5분, 10분, 15분 경과마다의 결과 사진에서 알 수 있는 바와 같이, 기존 차량 에어컨 시스템의 압축기인 (a1), (b1), (c1)의 경우는 측정시간이 경과할수록 리퀴드 해머 현상이라 할 수 있는 불응축 기체의 액상화가 뚜렷이 나타난 반면, 본 연구 장치의 압축기인 (a2), (b2), (c2)의 경우는 측정시간에 무관하게 불응축기체의 액상화 현상이 거의 나타나지 않았다.

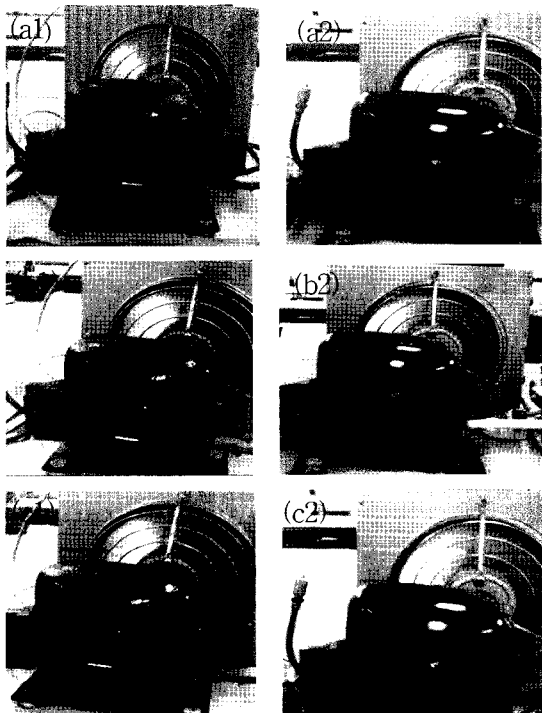


Fig. 10 Comparison with the result of practical compressor operating between that of existing and air conditioner by attached thermoelectric module

이러한 Fig. 9 및 Fig. 10의 시험결과에서와 같이

본 연구 장치의 리퀴드 해머현상에 대한 안정성 확보는 열전소자의 발열부를 활용, 증발기에서 나오는 불안전 기체상태의 냉매를 완전 기체화시켜 압축기에 유입시킴으로써 리퀴드 해머 발생에 대한 안정성 확보가 나타났다고 판단되어진다.

4. 결 론

자동차용 냉방장치의 냉동능력 향상을 위한 방안의 일환으로, 상용자동차 에어컨 시스템 및 열전소자를 응용한 온도제어장치를 부착한 에어컨 시스템에 대하여 열전소자 성능시험, 플레쉬가스 저감효과 및 리퀴드 해머 저감효과에 관한 시험 등을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 플레쉬 가스 저감효과는 증발기내부 온도변화의 조사를 실시한 결과, 열전소자 응용 온도제어장치를 부착한 에어컨 시스템의 경우가 기존의 경우에 비해 더욱 플레쉬가스 존재영역이 감소하고 있음을 확인할 수 있었다.
- 2) 리퀴드 해머 저감효과 시험에서도 본 연구에 적용한 에어컨 시스템의 경우가 리퀴드 해머발생 현상에 대하여 안정성을 유지하고 있었다.
- 3) 실제 압축기 작동시험결과에서도 본 연구를 위하여 개발한 시스템인 경우가 상용의 경우에 비하여 불응축기체의 액상화 현상이 거의 나타나지 않았다.

참고 문헌

1. Won, S. I., 2003, "Freezing Engineering", Bosu-nggak.
2. Majumdar, A., 2004, "Thermoelectricity in Semi-conductor Nanostructures", Science p. 303, p. 777.
3. Kim, D. S., 1995, "Bull. of the Korea Inst. of Met. & Mater", p. 8, p. 19.
4. Terrill, J. J., Cochran, C. N., Stokes, J. J. and Hatpin, W. E., 1971, "Welding Journal", p. 50, p. 833.
5. Fortin, P. E., Kellermann, W. M., Smith, F. N., Rogers, C. J. and Wheeler, M. J., 1986, SAE technical paper No. 852228.
6. Maeda, K., Yasunaga, I. and Namba, K. S., 1994, "Light Metal Technical Report", p. 35,

p. 57.

7. Marshal, G. J., Bolingbroke, I, R. K. and Gray, A., 1993, "Metallurgical Transactions A(24A)" p. 9, p. 1935.
8. Liu, J. and Worlitz, T., 1985, SAE. technical paper No. 950117.
9. Oh, H. K., 1991, "A manual of freezing technology", Korea-America Publication.
10. Brandes, E. A., 1983, "Smithells Metals Reference Book", Six Edition, pp. 11~36.