

냉매 내 수분의 혼입량이 차량 에어컨의 냉각성능에 미치는 영향

문성원¹ · 민영봉^{1*} · 정태상²

¹경상대학교 농업생명과학연구원 생물산업기계공학과, ²경남과학기술대학교 기계공학과

Effects of Water Amount in Refrigerant on Cooling Performance of Vehicle Air Conditioner

Seong Won Moon¹, Young Bong Min^{1*}, Tae Sang Chung²

¹Dept. of Bio-Industrial Machinery Eng., Gyeongsang Nat'l Univ. (Insti. of Agric. & Life Sci.), Jinju 660-701, Korea

²Dept. of Mechanical Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju, 660-756, Korea

(Received: August 10th, 2011; Revised: August 30th, 2011; Accepted: September 9th, 2011)

Abstract

This study was conducted to figure out the diagnosis basis of cooling performance depending on water amount in the refrigerant of air conditioner, which can be estimated by the temperatures and pressures along the refrigerant circulation line. A car air conditioner of SONATA III (Hyundai motor Co., Korea) was tested at maximum cooling condition at the engine speed of 1500 rpm in the room controlled at 33~35°C air temperature and 55~57% relative humidity conditionally. Measured variables were temperature differences between inlet and outlet pipe surfaces of the compressor, condenser, receive drier and evaporator; and high pressure and low pressure in the refrigerant circulation line; and temperature difference between inlet and outlet air of the cooling vent of evaporator.

In this study, changes of the water amount in the refrigerant were correlated to the temperatures and pressure changes and also water amount caused poor cooling performance. As water amount increased in the refrigerant in the air conditioner, the performance of the cooling or the heat transfer became worse. Temporal variations of the surface temperature of the evaporator outlet pipe and the low-side pressure showed various patterns that could estimate the water amount. When the water amount caused bad cooling performance, the patterns of the temperature of the evaporator outlet pipe indicated irregular fluctuation greater than 5°C. When the diagnosis system is using just external sensors of the low-side pressure and the temperatures of inlet and outlet air of cooling vent of the evaporator, the precise pattern of bad cooling performance caused by excess water amount in the cooling line was irregular pressure fluctuation, 25 kPa under 120 kPa, and temperature, 12°C and less.

Keywords : Air conditioner, Refrigerant charge, Diagnosis of air conditioner

1. 서론

냉방 시스템은 현대에 있어서 자동차, 가정, 사무실, 농업

시설 및 식품 공장의 필수장비로 다양하게 많이 이용되고 있다. 농업분야에서는 1990년대에 들어서면서 농산물 저온저장과 원예작물 냉방을 위하여 냉방시스템을 이용하기 시작하여 2000년대에 와서 저에너지를 투입할 목적으로 히트펌프를 이용한 농산물 건조(Kang et al., 2007)와 저장(Kwon et al., 2006) 및 원예작물 냉방(Kang et al., 2002)에 대한 연구

*Corresponding author: Young Bong Min
Tel: +82-55-772-1892; Fax: +82-55-772-1899
E-mail: mybong@gnu.ac.kr

들이 활발하게 진행되고 있다.

에어컨의 냉방 불량은 기계적 고장, 냉매의 부족 및 냉매 내 이물질의 혼입이 원인이 되고 있다. 기계적 고장은 외형적 형태, 작동상태 및 입출력 동력변화 등으로 쉽게 알 수 있는 반면에 냉매의 이상에 대한 것은 냉매 부족, 공기 혼입 및 물 혼입 등에 의한 것으로 상태 진단만으로 구별하여야 하는 어려움이 있다. 에어컨의 바람이 시원하지 않을 때 즉, 냉방성능저하 시 고장 및 성능저하 요인을 정확하게 진단하여야 하는데 대부분 정비사의 경험에 의한 진단에 의존하고 있는 실정이다. 가장 자동화된 에어컨을 많이 사용하는 자동차의 경우도 냉방성능저하의 원인을 운전자에게 제시하는 자동진단 장치는 설비되지 못하고 있다.

선행 연구에서 Moon et al.(2008)은 승용차량을 대상으로 엔진회전수 1,500 rpm에서 냉매충전량의 적정 및 부족을 진단할 수 있는 자료를 제시하였으며, Moon et al.(2009)은 냉매 내 공기혼입량 변화에 따른 냉매라인의 온도와 압력 변화를 측정 분석하여, 에어컨의 냉매 내 공기혼입상태를 진단할 수 있는 자료를 제시한바 있다.

에어컨의 냉매 내 수분의 혼입은 대부분 공기혼입과 함께 일어나며, 공기 내 수분이 많은 경우로서 그 원인은 공기혼입과 마찬가지로 냉매충전 전 진공작업불량, 사용 중인 성능불량 에어컨의 냉매재생 없는 보충, 재생냉매 충전 및 에어컨 냉매순환 라인의 기밀 불량 등으로 추정된다. 에어컨의 냉매 내 수분이 혼입되어 에어컨 상태가 변화하는 것에 대한 문헌은 찾아볼 수 없었으나 참고서와 정비지침서에서 언급된 것은 다음과 같다. 에어컨 냉매 내 수분이 혼입된 경우 에어컨 시스템 가동 중 팽창밸브가 동결되는 현상이 나타나며, 에어컨 냉방상태가 주기적으로 차거나 차지 않으며, 압력이 가끔 떨어졌다가 정상 압력이 되는 현상이 나타난다고 하였다.

본 연구는 일정한 공기 온도와 습도를 유지시킨 실내에서 승용 자동차 에어컨의 냉매 내 수분을 인위적으로 혼입시키고 엔진 회전수 1,500 rpm로 가동하여 최대냉방 상태에서 냉매순환라인의 온도와 압력 및 벤트 입출구 공기 온도를 측정하는 시험을 실시하고, 냉매 내 수분혼입량이 냉매순환라인 온도와 압력 및 냉각성능에 미치는 영향을 분석하여, 에어컨의 냉매 내에 수분이 혼입됨에 따른 냉방성능 저하를 냉매순환라인의 온도와 압력으로 진단하기 위한 기초자료를 얻고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 재료

시험용 에어컨은 SONATA III(Hyundai motor Co., Korea) 차량에 장착되어있는 에어컨을 이용하였다. 차량용 에어컨냉매는 신냉매인 HFC-134a를 사용하였다. 시험 대상차량은 온

도와 상대습도를 일정하게 제어할 수 있는 실험실($9.3 \times 11 \times 3$, L \times W \times H, m³) 내에 중방향의 중앙, 횡(W)방향 우측 1/3지점에 위치시키고 시험을 실시하였다. 그림 1은 에어컨 냉매라인의 각 부분 온도와 압력 그리고 대기의 상대습도를 측정하기 위한 장치이다. 각 부분의 온도측정은 열전대(T type), 냉매라인의 고압과 저압 측정은 압력센서(-760 mmHg ~ 6.86 MPa, PSM B 0070KAAA, Sensor system technology Co. Ltd., Korea)를 이용하였다. 또한 실험실 내의 상대습도는 실험실내 중앙에 습도센서(0~90% RH, YHD-R-V, Autronics Corp., Korea)를 설치하여 측정하였다.

각각의 센서의 출력단은 데이터 측정장치(System10K7, Daytronic Corp., USA)의 열전대카드(10A9-8C, Thermocouple conditioner card)와 전압카드(10A60-4, quad voltage conditioner card)에 연결하여 각각의 데이터를 측정하였다. 데이터 측정 장치로부터 측정된 데이터들은 RS-232 통신을 통하여 컴퓨터(Pentium4 2.4 GHz, Windows XP)로 전송하여 하드디스크에 저장되도록 하였다. 에어컨에 냉매회수, 진공 및 냉매주입 작업은 상업용 냉매충전장치(MS-482, MS motor system Co. Ltd., Korea)를 이용하였다.

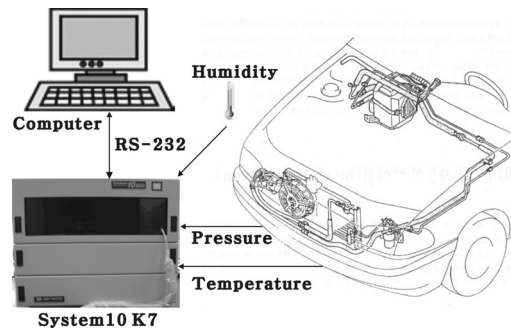


Fig. 1 Equipments for measuring temperature, pressure and humidity of car air conditioning system.

그림 2는 에어컨시스템 냉매라인의 온도와 압력의 측정지점을 나타낸 것이다. 냉매라인의 각 온도 측정지점은 압축기, 응축기, 리시버드라이어 및 증발기의 입구와 출구로부터 1cm 떨어진 지점의 냉매라인 파이프 표면과 응축기와 증발기벤트의 송풍기 입구와 출구 지점으로 하였다. 냉매라인 파이프 표면에 부착한 온도센서는 엔진으로부터 방열되는 열과 외부 열을 차단하기 위해 단열 처리하였다. 냉매라인의 고압과 저압의 압력측정은 압축기 전후의 고저압 점검 밸브에 압력센서를 장착하여 측정하였다. 표 1은 그림 2에 나타낸 에어컨시스템의 각 구성요소와 관련한 온도, 압력 및 상대습도 측정값의 기호를 나타낸 것이다.

Table 1 Symbols used in Fig. 2

| Symbols | Representations |
|---------|---|
| Tcomi | Temperature of compressor inlet pipe surface |
| Tcomo | Temperature of compressor outlet pipe surface |
| Tconi | Temperature of condenser inlet pipe surface |
| Tcono | Temperature of condenser outlet pipe surface |
| Treci | Temperature of receiver inlet pipe surface |
| Treco | Temperature of surface outlet pipe surface |
| Tevai | Temperature of evaporator inlet pipe surface |
| Tevao | Temperature of evaporator outlet pipe surface |
| Tveni | Temperature of evaporator inlet air |
| Tveno | Temperature of evaporator outlet air |
| Tcooi | Temperature of condenser inlet air |
| Tcooo | Temperature of condenser outlet air |
| HP | High pressure in circulation line |
| LP | Low pressure in circulation line |
| Hum | Relative humidity in ambient air |

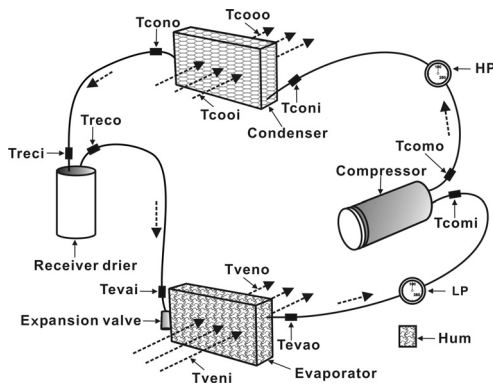


Fig. 2 Measuring points of temperature, pressure and relative humidity for car air conditioner.

나. 시험방법

2007년 6월부터 9월까지 에어컨 가동시기의 서울과 진주의 대기 온도와 상대습도를 조사한 결과, 1일 최대온도 33 ~ 35°C 에서 상대습도 52~58%로 냉방부하가 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서 실험실 내 실내온도는 난방기(GHC- 125KF, LG electronics Inc., Korea)를 이용하여 33~35°C 범위로 조절하고, 습도는 이류체노즐식 기습장치를 이용하여 55~57%RH 로 조절하였다. Moon et al.(2008)은 승용차량을 대상으로 엔진회전수 1,500 rpm과 2,000 rpm 상태에서 냉매충전량 변화에 따른 냉매라인의 온도와 압력 변화를 측정 분석하여, 액화상태의 냉매충전량이 무게로 0.72 kg일 때 최적성능을 가지며, 0.4 kg이상에서는 냉각성능이 유지되는 것으로 보고한 바 본 시험에서의 냉매 주입량 변화는 0.4 kg이상에서 실시하였다. 수분과 냉매 주입방법은 엔진을 정지시키고 냉매를

회수한 후 냉매라인을 진공시킨 상태에서 저압라인 내의 꼭을 이용해 미리 설치한 주사기의 물이 혼합되도록 저압밸브를 열어 소정의 수분을 주입시키고 저압밸브를 닫고, 주사기를 제거하고 다시 저압밸브에 냉매충전기의 냉매투입호스를 연결하여 소정의 냉매를 주입하였다. 수분혼입량의 정량화는 주사기를 이용하여 주입한 물의 무게로 하였고 냉매충전량은 냉매주입기가 표시하는 냉매저장기의 액화상태의 무게로 하였다.

각 시험시의 냉매주입 전 수분혼입량은 0.04 kg, 0.05 kg, 0.06 kg 및 0.07 kg로 하였으며, 냉매충전량은 0.40 kg, 0.55 kg, 0.72 kg으로 하였다. 수분혼입량 범위가 0.07 kg까지인 것은 그 이상에서는 냉각작용이 거의 나타나지 않았기 때문이다. 시험 시 엔진회전수는 1,500 rpm으로 고정하였고, 에어컨의 작동조건은 증발기벤트의 풍량 스위치를 최대로 하고, 온도조절 스위치는 최대냉방으로 하고, 외기유입 상태에서 차량의 문을 완전히 개방하였다. 시험구별 3반복하여 시험하였고, 데이터 측정시간은 엔진시동 후 증발기벤트 입출구 공기온도가 안정되는 시간(3분) 이후 10분간으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

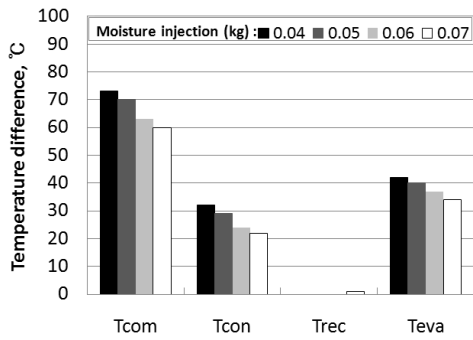
그림 3은 냉매충전량 0.4 kg, 0.55 kg, 0.72 kg일 때 냉매 주입 전 수분혼입에 따른 에어컨 구성요소의 전후 냉매라인의 평균 파이프표면 온도차를 나타낸 것이다. 냉매의 수분혼입량 증가에 따라 파이프라인의 평균 파이프표면 온도차가 전반적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 냉매의 수분함유량이 증가할수록 에어컨의 냉각성능이 저하되는 것을 보

여주는 것으로 판단된다. 또한 냉매충전량의 변화에 따른 각 파이프 평균 표면온도차의 변화는 수분혼입량의 변화에 따라 유의차가 나타나지 않았는데 이것은 Moon et al.(2008)의 시험결과에서 냉매충전량 0.4 kg 이상에서는 에어컨의 냉각성능이 정상으로 작동하는 것과 같은 이유로 생각된다.

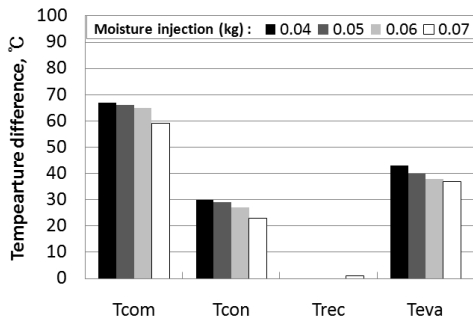
한편 평균 파이프표면 온도차의 감소는 냉매량 부족이나 공기혼입량 증가에 의해서도 같은 경향(Moon et al., 2008, 2009)으로 나타나므로 평균 파이프표면 온도차의 감소의 측정만으로 수분혼입량의 영향을 진단하기 어려울 것으로 판단된다. 그렇지만 수분혼입량이 증가하여 일정량 이상이 되면

증발기의 낮은 온도에 의해 팽창밸브에서 수분이 응결 및 동결되고 팽창밸브가 막히게 되어 냉매의 증발작용이 중지되고 증발기의 냉각작용이 일어나지 않게 되고 증발기를 통과하는 고온의 바람에 의해 일정 시간 후 팽창밸브의 수분동결이 풀리게 되고 다시 냉매의 정상 순환이 이루어지는 과정을 반복할 것으로 예상된다. 따라서 냉매라인의 각부 온도와 압력의 상세한 시간적 변화를 측정 분석하여 냉매의 수분혼입 진단이 가능함을 조사하였다.

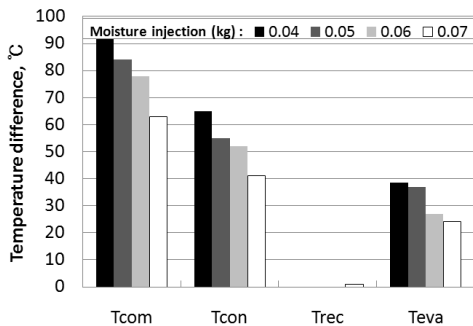
그림 4는 냉매충전량 0.4 kg, 0.55 kg 및 0.72 kg일 때 냉매주입 전 수분혼입에 따른 증발기 출구의 냉매파이프 표면



(a) At refrigerant charging 0.4 kg

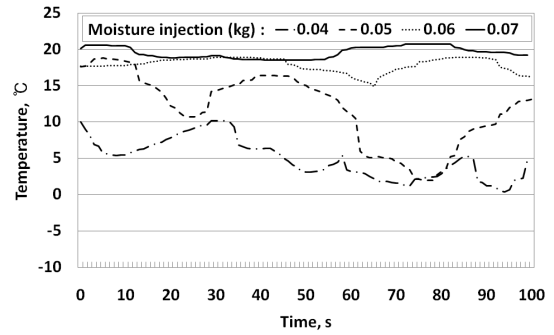


(b) At refrigerant charging 0.55 kg

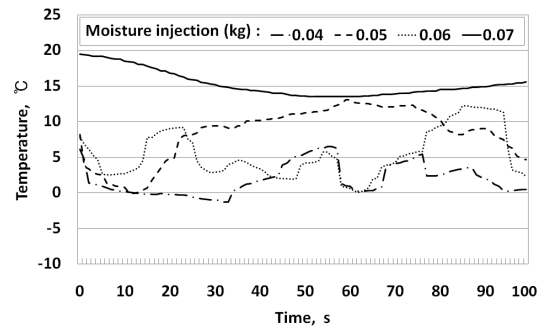


(c) At refrigerant charging 0.72 kg

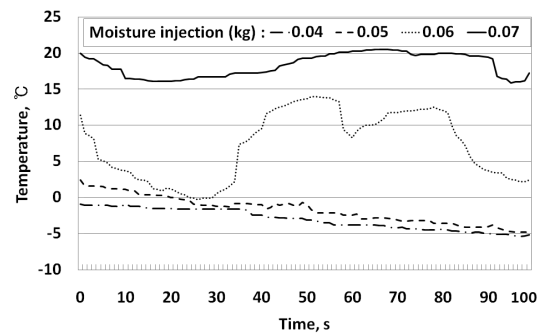
Fig. 3 Mean temperature difference between inlet and outlet pipe surfaces of the compressor (Tcom), condenser (Tcon), receive drier (Trec) and evaporator (Teva) of the air conditioner during operation according to the water amount injected into refrigerant circulation line initially being vacuum prior to the charge of refrigerant.



(a) At refrigerant charging 0.4 kg



(b) At refrigerant charging 0.55 kg



(c) At refrigerant charging 0.72 kg

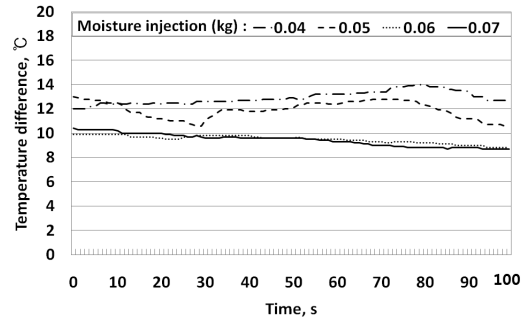
Fig. 4 Temperature variations on outlet pipe surface of the evaporator (Teva) of the air conditioner during operation according to the water amount injected into refrigerant circulation line initially being vacuum prior to the charge of refrigerant.

온도의 상세한 시간적 변화를 나타낸 일레이다. 냉매충전량 0.55 kg 이하에서는 증발기출구 냉매파이프 표면온도가 모든 수분혼입량에 대하여 불규칙 주기의 변동이 나타나고, 전반적으로 수분혼입량이 많을수록 변동폭이 작고 긴 주기의 불규칙 변동이 있는 것으로 나타났다. 시험대상 에어컨의 규정 최대 냉매충전량 0.72 kg 일 때 수분혼입량 0.05 kg 이하에서는 증발기 출구의 냉매파이프 표면온도가 영하이하로 떨어지고 변동폭이 거의 없는 에어컨 정상가동의 양상을 보였고, 0.06 kg 이상에서는 불규칙 주기의 변동현상을 나타내었다. 이와 같은 현상은 냉매에 수분이 혼입되면 에어컨 가동 시 팽창밸브의 수분응결과 동결 그리고 해결의 반복현상의 영향으로 추측되며 냉매충전량이 많을수록 수분혼입량이 적을수록 그 영향은 적지만 반복주기나 변동폭은 특정현상을 나타내지 않았다. 이것은 냉매충전량과 냉매의 수분혼입량의 조건에 따라 팽창밸브의 막힘이 수분 응결과 동결 현상 중 어느 것이 원인으로 작용하였기 때문으로 생각되며, 본 시험에서는 두 현상의 경계를 명확하게 찾을 수는 없었다. 결론적으로 에어컨의 성능을 저하시킬만한 냉매의 수분혼입이 있을 때 증발기 출구의 냉매파이프 표면온도는 5°C 이상의 불규칙 주기의 변동을 가지는 것으로 판단된다.

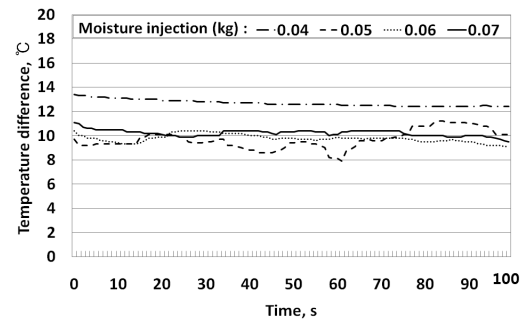
그림 5는 냉매충전량 0.4 kg, 0.55 kg 및 0.72 kg 일 때 냉매주입 전 수분혼입에 따른 실내 벤트입출구 온도차의 변화를 나타낸 것이다. Moon et al.(2008)은 불순물 혼입이 없는 순수 냉매충전량이 0.4 kg 이상이면 벤트입출구 온도차가 14°C 이상으로 나타난다고 하였는데, 각 경우 모두 수분혼입량의 증가에 의해서 벤트입출구 온도차가 낮아져 냉방불량이 되는 것으로 나타났고 벤트입출구 온도차의 주기적 변동이 발생하였으나 미미하여 계측오차의 범위를 벗어나지 못한 것으로 판단되었다. 냉방불량은 냉매충전량 부족과 공기혼입에 의해서도 일어나므로 벤트입출구 온도차만으로 냉매에 수분이 혼입된 것을 진단할 수 없을 것으로 판단된다.

그림 6은 냉매충전량 0.4 kg, 0.55 kg 및 0.72 kg 일 때 냉매 내 수분혼입에 따른 냉매라인의 저압측압력(게이지압, kPa-g) 변화를 나타낸 것이다. Moon et al.(2008)의 시험에서 에어컨 상태가 정상일 때 저압측압력은 147~196 kPa-g 이라고 한데 반해 전반적으로 120 kPa-g 이하로 낮게 나타났고, 또한 이 압력이 변동폭 25 kPa-g 이상의 불규칙한 변동현상을 보였다. 따라서 저압측 평균압력이 120 kPa-g 이하로 낮고 이 압력의 변동폭이 25 kPa-g 이상이면 냉매 내 수분이 혼입된 것으로 진단할 수 있을 것으로 판단된다.

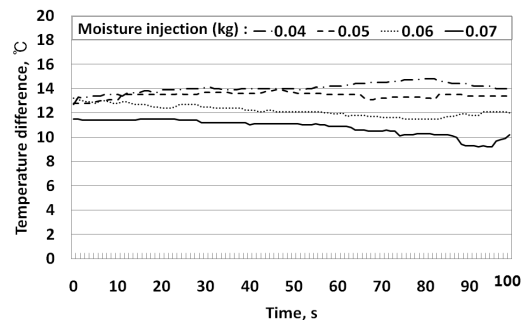
반면에 냉매라인의 고압측압력은 냉매충전량 0.4 kg, 0.55 kg 및 0.72 kg 일 때 냉매의 수분혼입량이 증가하면 Moon et al.(2008)이 제시한 정상 고압측압력 1.47~1.52 MPa-g 보다 약간 높게 나타나지만 계측오차의 범위내로 추정되고 이 압력변화는 진동현상이 없었다. 따라서 고압측압력만을 측정하



(a) At refrigerant charging 0.4 kg



(b) At refrigerant charging 0.55 kg



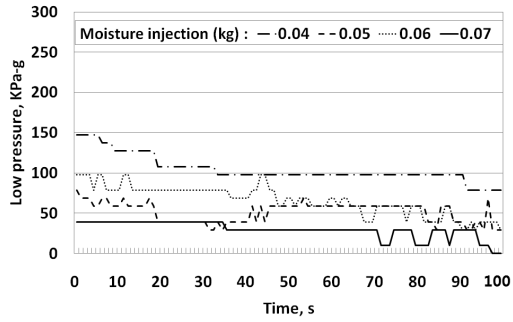
(c) At refrigerant charging 0.72 kg

Fig. 5 Variation of air temperature (T_{ven}) differences between inlet and outlet vents of the air conditioner during operation according to the water amount injected into refrigerant circulation line initially being vacuum prior to the charge of refrigerant.

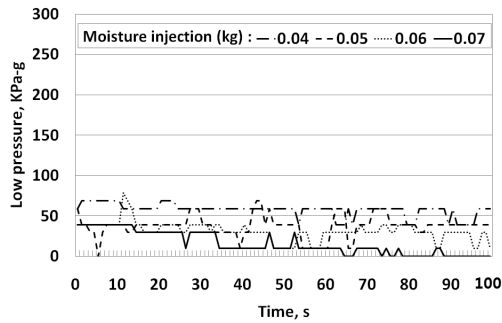
여 에어컨의 냉방불량은 추측이 가능하지만 수분혼입에 의한 냉방불량의 진단은 불가능한 것으로 판단된다.

그림 7은 수분혼입량과 냉매충전량 변화에 따른 증발기벤트의 입출구 공기온도차를 나타낸 것이다. 수분혼입량이 증가하면 증발기벤트입출구 공기온도차는 거의 직선적으로 낮아지는 것으로 나타났다.

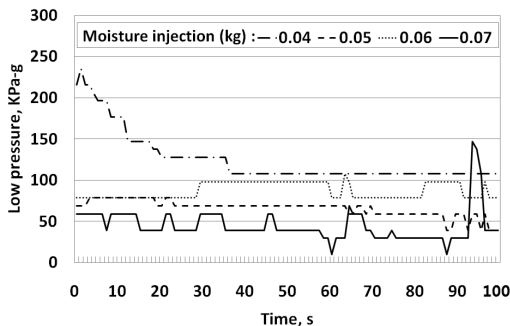
에어컨이 냉매가 0.4 kg 이상이고 냉매 내 불순물이 거의 없는 정상가동일 경우 증발기벤트입출구 공기온도차가 14.°C 이상인 것을 감안하면 그림 7의 경우 냉매 내 수분혼입이 0.04 kg 이상인 경우 냉방불량으로 나타났다. 그러나 냉매의 부족과 공기의 혼입에 의해서도 냉방불량은 일어나므로 증발



(a) At refrigerant charging 0.4 kg



(b) At refrigerant charging 0.55 kg



(c) At refrigerant charging 0.72 kg

Fig. 6 Variation of low pressures of the air conditioner during operation according to the water amount injected into refrigerant circulation line initially being vacuum prior to the charge of refrigerant.

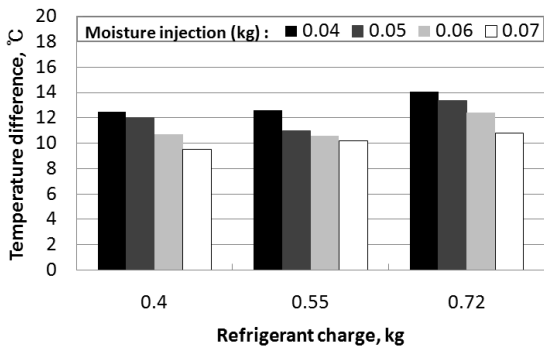


Fig. 7 Air temperature difference between inlet and outlet cooling vents of evaporator according to the moisture injection and refrigerant charge.

기벤트입출구 공기온도차가 14.℃ 이하인 냉방불량이 수분혼입만의 영향으로 판단하기 어려우며 각 부 온도와 압력의 변화를 모두 병행해서 수분혼입으로 인한 냉방불량으로 판단하여야 좋을 것으로 생각된다.

일반적으로 냉매에 수분이 혼입되면 냉각성능이 떨어진다는 것은 당연히 예측되는 사항이나 이 냉각성능 저하를 진단하는 변수는 여러 가지이다. 냉매 가스의 특성상 증발온도와 액화온도의 변화를 보고 수분혼입을 알 수 있는데 이 둘 온도의 간접측정 부위는 압축기, 응축기, 증발기의 파이프 온도차가 될 수 있다. 또한 사람에 의한 진단은 고압압력계, 저압압력계 및 사이트글라스의 관찰에 의하여 행하고 있다. 이들 측정방법과 진단을 컴퓨터화 하기 위해서는 보다 정확하고 많은 데이터 정보가 필요할 수도 있지만, 이의 진단변수로 외부에서 센서의 접촉과 측정이 가능한 것을 조건으로 하면 고압측과 저압측 압력 및 증발기벤트입출구 공기온도차이다. Kim(1998)은 수분혼입량이 증가하면 냉각성능이 떨어지고 고압과 저압의 압력이 정상에 비해 불안정하다고 하였으며, 증발기벤트 입출구 공기온도차가 12℃ 미만이면 냉방불량으로 판단해야 한다고 하였다. Moon et al.(2008)은 엔진회전속도 1,500 rpm에서 순수냉매의 충전량이 0.4 kg 이상에서는 정상 냉각성능을 나타낸다고 하였다. 이들 사실을 감안하면, 외부측정센서를 이용할 때 냉매의 수분혼입에 의한 냉방불량의 확실한 진단은 저압측압력이 120 kPa-g보다 낮으면서 이 압력의 변동폭이 25 kPa-g이상이고, 증발기벤트 입출구 공기온도차가 12℃ 이하일 때인 경우로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 에어컨의 냉매 내에 수분이 혼입됨에 따른 냉방성능을 냉매순환라인의 온도와 압력으로 진단하기 위한 기초 자료를 얻고자 수행하였다. 실험실 내에서 SONATA III(Hyundai motor Co., Korea) 차량의 에어컨을 대상으로 엔진회전수 1,500 rpm을 유지하고 최대냉방 조작 상태에서 냉매 내 수분혼입량 변화에 따른 냉방성능시험을 실시하였다. 실험실의 실내온도와 상대습도는 33~35℃와 55~57%로 유지하였다. 측정변수는 냉매순환라인 상의 압축기, 응축기, 리시버드라이어 및 증발기의 입출구 파이프 표면 온도차와 고압과 저압측 압력 및 증발기벤트 입출구 공기온도차이며, 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 냉매 내 수분혼입의 변화는 온도와 압력 들의 변화와 관련이 있으며 냉방성능을 저하시키는 원인으로 나타났다.
- (2) 냉매의 수분혼입량 증가는 에어컨시스템의 냉각성능을 저하시키며, 냉매파이프라인의 증발기 출구점 온도와 저압측 압력의 시간적 변화 양상으로 수분혼입을

판단할 수 있는 것으로 나타났다.

- (3) 에어컨의 성능을 저하시킬만한 냉매의 수분혼입이 있을 때 증발기 출구의 냉매파이프 표면온도는 5℃ 이상의 불규칙 주기의 변동을 가지는 것으로 나타났다.
- (4) 외부 측정센서를 이용할 때 냉매의 수분혼입에 의한 냉방불량의 확실한 진단은 저압측압력이 120 kPa-g보다 낮으면서 이 압력의 변동폭이 25 kPa-g 이상이고, 증발기벤트 입출구 공기온도차가 12℃ 이하일 때로 판단된다.

감사의 글

This work was Supported by Gyeongnam National University of Science and Technology.

참고 문헌

1. Kang, G. C., Y. J. Kim, Y. S. Ryou and Y. Paek. 2002. Development of heating and cooling system with heat pump for nutrient solution bed in greenhouse. *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery* 27(6):565-572. (In Korean)
2. Kang, Y. K., C. S. Han and D. H. Keum. 2007. Drying and low temperature storage system for agricultural products using the air to air heat pump (1) - drying performance -. *Journal of Biosystems Engineering* 32(1):20-29. (In Korean)
3. Kim, C. W. 2005. *Automotive Air Conditioner*. pp.199-214. Joongwonsa, Seoul, Republic of Korea, (In Korean)
4. Kwon, K. H., J. W. Jeong, J. H. Kim and C. H. Choi. 2006. Development of cold chain system using thermal storage with low-energy type. *Journal of Biosystems Engineering* 31(3): 161-167. (In Korean)
5. Lee, G. H., J. D. Jung, K. H. Choi and J. Y. Yoo. 1998. An experimental study on the performance of automobile air conditioning system with variations of charging conditions. *Transactions of Korea Society of Automotive Engineers* 6(2):203-211. (In Korean)
6. Moon S. D., Y. B. Min, S. W. Moon, D. H. Kang and T. S. Chung. 2008. Effect of refrigerant charging variation on temperature and pressures of refrigerant circulation line for air conditioner. *Journal of Agriculture and Life Science in Gyeongsang National University* 42(3) : 29-34. (In Korean)
7. Moon. S. W., Y. B. Min, and T. S. Chung. 2009. Cooling Performance Deficiency of Air Conditioning System According to Air Quantity Included in Refrigerant. *Journal of Biosystems Engineering* 34(6):470-475. (In Korean)
8. Suh, E. K. and O. N. Ha. 2003. Performance characteristics of heat exchanger for the automobile air-conditioner. *Journal of Research Institute of Energy and Resources Technology* 25(2):119-133. (In Korean)