KIGAS Vol. 20, No. 2, pp 10~15, 2016
(Journal of the Korean Institute of Gas)
http://dx.doi.org/10.7842/kigas.2016.20.2.10

자동차 에어컨 냉매 가스 누설에 대한 고장사례 고찰

†이일권 · 국창호 · 문학훈* · 유창배**
대림대학교 자동차공학과, 오산대학교 자동차과*, 신성대학교 자동차계열**
(2016년 3 월 17일 접수, 2016년 4월 27일 수정, 2016년 4 월 28일 채택)

A Study of Failure Examples for Refrigerant Gas Leakage in Automotive Air Conditioner System

†Il Kwon Lee · Chang Ho Kook · Hak Hoon Moon* · Chang Bae You**
Department of Automotive Engineering, Daelim University College,
**Department of Automotive Engineering, Osan University,*
***Department of Automotive Engineering, Shin Sung University*
(Received March 17, 2016; Revised April 27, 2016; Accepted April 28, 2016)

요 약

이 논문의 목적은 자동차 에어컨 가스 누설에 관련된 고장사례를 분석하고 고찰한 것이다. 첫 번째 사례는 냉매가 누설된 상태에서 에어컨 컴프레서가 계속 작동되었다. 이로 인해 에어컨 컴프레서 내부의 피스톤이 윤활부족으로 인해 피스톤이 부분적으로 에어컨 컴프레서 내부의 실린더에 소착되는 현상이 발생하였다. 이것이 엔진 작동 중 부하를 증대시켜 엔진의 회전수 변동과 함께 엔진의 작동이 정지되는 현상이 발생된 것으로 확인되었다. 두 번째 사례는 에어컨 라인과 관련 시스템을 확인한 결과 에어컨 컴프레서에서 뒤쪽으로 가는 컨덴서 고압파이프에서 미세한 균열에 의해 에어컨 냉매 가스가 누설되는 것을 확인하였다. 세 번째 사례는 에어컨 컨덴서 핀 부에서 육안으로 확인하기 어려운 미세한 크랙에 의해 컨덴서 내부 안쪽에서 에어컨 가스가 미세하게 누설되는 것을 확인하였다. 따라서, 에어컨 시스템은 에어컨 냉매가스에 의해 자동차의 실내의 온도를 낮춰 공기조화를 하는 시스템이므로 최적의 상태를 유지할 수 있도록 철저한 관리를 하도록 하여야 한다.

Abstract - This paper is to analyze and study the failure examples of refrigerant gas in automotive air conditioner. The first example, the air conditioner compressor continually operated that the refrigerant was leaked in air conditioner system. By lubrication shortage, the piston was partially sticked on cylinder of air conditioner compressor inner part. This was caused the phenomenon of engine operation trouble by load increasing with engine rpm variation during engine running. The second example, it sought the fact that the air conditioner refrigerant gas was leaked from air conditioner compressor to condenser high pressure pipe toward rear air conditioner checking with the lines of air conditioner. The third example, the refrigerant gas of air conditioner found that was leaked imperceptible from condenser inner by crack that was generated on the fins of air conditioner condenser. Therefore, the air conditioner system that maintain the air conditioner by decreasing the in-car temperature must meticulously manage to not leak the air conditioner refrigerant gas.

Key words : air conditioner system, refrigerant gas, leakage, compressor, line pipe, condenser

†Corresponding author:smokie@jejunu.ac.kr
Copyright ⓒ 2016 by The Korean Institute of Gas

I. 서 론

자동차의 에어컨은 인간의 삶을 풍요롭게 변화시킨 획기적인 시스템이라 할 수 있다. 오래전부터 농경생활을 하던 인류는 대기의 온도가 증가함으로써 하던 일을 멈추고 쉬어야만 하였다. 그러나 공조시스템의 개발에 의해 어떤 밀폐된 공간에서 적정 온도를 제어함으로써 계속적으로 일을 할 수 있게 되었다. 이러한 생활의 변화는 인류에게 온도의 조절을 함으로써 계속적으로 일을 할 수 있는 조건을 만들어 주었다. 따라서, 이러한 에어컨 시스템은 인간의 산업 생산성의 효율을 높여 더욱 풍족한 삶을 영위할 수 있도록 하였다.

에어컨은 실내의 뜨거운 공기를 흡수하여 냉동하는 방식으로 자동차에서 공급되는 에너지원을 사용하여 구동하는 시스템 사이클로 제시되었다[1].

최근에는 자동차를 이용하여 물류의 혁명을 가져옴으로써 자동차 내부에 공조시스템을 설치하여 자동차를 운전할 수 있음으로 화물과 사람들을 이동시켜 계속적으로 인류가 하던 일을 계속함으로써 획기적인 산업 발전을 가져왔다. 이러한 자동차는 우리 생활의 필수적인 공산품으로 자리잡게 되었다. 또한, 최근의 에어컨은 운전자가 자동차를 운전할 때 자동차 내부의 온도가 높아지면 이를 조절하여 우리 몸의 균형이 깨지지 않도록 하는 기능을 추가하여 자동차의 편리성을 높이게 되었다. 이러한 에어컨은 내부에 냉매라는 가스를 순환시켜 물성을 변화하면서 운전자의 요구에 맞게 자동차 실내의 높아진 온도를 낮추는 기능을 하는 공기조화 시스템(air conditioner system)이다.

자동차 에어컨의 냉매 가스는 초기에는 CFC 12를 사용하였으며, 이것은 낮은 독성, 불연성, 안정성, 우수한 열적특성 등의 장점으로 사용되었다. 그러나 대기의 오존층(Ozone layer)의 파괴에 대한 지구온난화로 인해 HFC-134 냉매로 대체되었으며 이에 대한 연구결과도 발표되었다[2,3,4,5]. 에어컨 시스템은 엔진의 작동에 의해 작동되며 엔진이 회전할 때 이 힘에 의해 에어컨 냉매를 순환하여 자동차 실내로 유입시켜 자동차 실내의 온도를 낮춤으로써 최적의 운전 조건을 제공한다. 그러나. 이 에어컨 순환 시스템이 순환하면서 시스템의 손상이나 각 부품의 내구성 약화에 따른 작동불량, 냉매 순환 라인의 파손과 막힘, 어떤 물체와 부딪힘에 의한 라인의 찌르러짐 현상 등에 의해 에어컨 냉매의 누설, 관련시스템의 작동 소음이나 진동 등의 문제가 발생될 수 있다. 따라서, 에어컨 시스템의 성능을 검증하기 위한 1차원 해석법에 대한 연구결과도 발표되었다[6]. 냉매 충전에 대한 효율성을 확인하기 위해 자동차 에어컨의 냉매 사이클의 성능분석에 대한 연구도 발표되었다[7,8,9].

이 논문에서는 에어컨 시스템의 내부를 순환하는 에어컨 냉매의 누설에 의해 발생되는 사례를 수집하여 이를 분석하고 고찰하기 위한 것이다.

II. 이론적 배경

2.1. 에어컨 시스템 개요

인간의 쾌적한 환경을 구성하는 온도, 소음과 진동, 습도, 환기성, 바람 등의 여러 가지 자연 환경의 요인이 있다. 이 가운데 공기의 적절한 최적 시스템의 조건은 온도, 습도의 영향이 크다고 할 수 있다. 일반적으로 쾌적한 온도는 25℃가 쾌적대의 중심값이라 할 수 있으나, 자동차에 있어서는 복사열의 영향을 크게 받으므로 냉한시는 27~28℃, 여름의 햇볕이 내리쪼일 때는 23~24℃로 제어하는 것이 쾌적하다고 느끼는 경우가 많다[10].

이러한 목적으로 자동차는 여름철의 탑승자가 적절한 운전을 할 수 있도록 에어컨 시스템을 설치하여 실내의 온도를 조절할 필요가 있다. 따라서, 이러한 에어컨 시스템은 내부의 에어컨 냉매를 투입하여 이러한 냉매를 압축과 팽창을 반복하면서 증발할 때 외부의 열을 뺏는 원리에 의해서 실내에 시원한 바람을 공급하는 시스템이다. Fig.1은 에어컨 작동 공기 흐름 메커니즘 사례를 보여주는 것이다.

2.2 에어컨 시스템 관련부품

에어컨은 에어컨 컴프레서, 에어컨 응축기, 에어컨 팽창밸브, 에어컨 드라이어 또는 어큐뮬레이터, 증발기 및 에어컨 파이프 및 호스 등으로 구성되어 있다. Fig. 2는 에어컨 구성부품을 보여주는 것이다.

Fig. 1. Mechanism example of air flow in air conditioner.

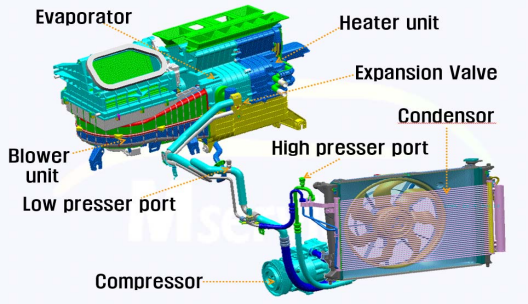

Fig. 2. Component parts example of air conditioner.

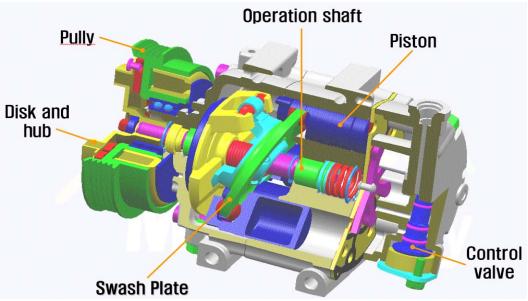

Fig. 3. Construction example of air conditioner compressor.

2.2.1 압축기(compressor)

현재 자동차용 압축기에는 크게 나누어 왕복식과 회전식의 2종류가 있다. 압축기는 사판식이 다수를 차지하고 있으나, 소형 경량인 회전식도 증가하고 있다 최근에는 냉방 능력의 필요량에 따라 압축기의 능력을 조정할 수 있는 가변 용량 압축기가 등장하고, 에어컨 사용시의 가속성능, 연비의 향상이나 취출구의 온도 변동을 적게 하여 에어컨이 작동할 때 사람이 느끼는 감성(feeling)도 향상되고 있다. Fig.3은 에어컨 압축기의 형상을 보여주는 것이다.

2.2.2 응축기(condensor)

응축기는 압축기에서 압축된 고온 고압의 가스 냉매를 쿨링 팬 등으로 강제적으로 냉각함에 따라 액상의 냉매로 변환하기 위한 것이다. 실제의 자동차에서 라디에이터 전면에 설치된다.

2.2.3 증발기(evaporator)

증발기는 팽창밸브에서 저온 저압이 된 무상의 냉매와 실내 또는 외기의 공기를 교환시키는 열교환기이다. 공기는 냉각됨과 동시에 공기 중에 포함된 수분도 제습되어 응축수로 되어 배수된다.

2.2.4 팽창밸브(expansion valve)

팽창 밸브는 증발기 출구의 냉매 과도열을 일정하게 유지하는 온도 평형식이 사용되고 증발기의 증발 압력의 취하는 방법에 따라, 내부 균압식과 외부 균압식 등이 있다.

2.2.5 수액기(reciever drier)

리시버 드라이어는 냉동 사이클을 원활하게 작동시키기 위해 필요한 냉매를 저장해 두는 용기로서, 응축기에서 액화된 냉매를 저장해 두는 용기로서 응축기에서 액화된 냉매를 기포와 분리하고, 냉방 부하에 따라 팽창 밸브에 보낸다. 리시버 드라이어 내에는 일반적으로 스트레이너와 건조제, 사이트 글라스(sight glass), 가용플러그가 내장되어 있다.

Ⅲ. 자동차 에어컨 냉매가스 누설에 관련된 고장사례

3.1 주행중 간헐적 시동꺼짐 및 에어컨 미작동 고장사례

3.1.1 현상

운전자가 에어컨을 작동하였을 때 간헐적인 시동꺼짐 현상과 에어컨이 작동되지 않는 현상이 발생되었다.

3.1.2 분석

시운전을 하면서 주행중에 에어컨을 점검한 결과 엔진의 회전수가 변동하였고, 엔진의 시동꺼짐 현상이 발생하였다. 재시동을 하였을 때 시동이 다시 걸렸다. 그러나 재시동을 걸었을 때 엔진의 작동상태가 부하(load)를 많이 받는 것과 같이 무거움 현상과 엔진의 회전수가 일정하지 않았다. 자동차의 정비이력을 확인한 결과 3회의 정비이력이 있는 것을 확인하였다. 엔진튜업 및 연료계통과 점화계통 점검 및 수리 이력이 확인되었다. 시동이 걸린 상태에서 점검을 하던 중 시동이 꺼지면서 배선이 타는 냄새를 확인하였다. 점검한 결과, 컴프레서 내부의 마그네틱 클러치가 소손된 것을 확인하였다. 또한, 컴프레서 호스를 탈착한 다음 쿨러의 파이프를 분해한 다음 확인하였을 때 이물질이 과다하게 유입된 것을 확인하였다. 또한, 컨덴서를 확인한 결과 컨덴서의 핀 부분에서 미세하게 에어컨 가스가 누출되는 것을 확인하였다. 즉, 이 사례는 에어컨 냉매가 누설된 상태에서 계속 에어컨을 작동하였고, 에어컨 컴프레서로 유입된 이물질이 에어컨 컴프레서 내부의 피스톤의 윤활부족으로 인해 피스톤이 부분적으로 에어컨

Fig. 4. Piston and cylinder damage example by foreign substance inflow of compressor.

컴프레서 내부의 실린더에 소착되는 현상이 발생하면서 이것이 엔진 작동중 부하를 증대시켜 엔진의 회전수 변동과 함께 엔진의 작동이 정지되는 현상이 발생된 것으로 확인되었다. 컴프레서 윤활유는 컴프레서에 내부의 움직이는 부품을 윤활하기 위해 주입된다. 일반적으로 컴프레서 윤활유 용량은 100~200cc 정도 혼합된다. 에어컨 냉매가 순환될 때 함께 혼합되어 순환한다. 따라서, 일반적으로 에어컨 라인의 냉매를 제거하게 됨에 윤활유의 일부가 함께 나오므로 30~50cc 가량의 윤활유도 반드시 함께 넣어주어야 한다. 윤활유가 부족하면 컴프레서 내부의 윤활요소가 급격하게 마모되어 고장이 발생되어 에어컨 가동이 불량해지거나 엔진이 손상될 수 있다[11,12]. Fig.4는 에어컨 컴프레서 내부의 이물질 유입에 의한 컴프레서 피스톤과 실린더의 소손사례를 보여주는 것이다.

3.1.3 고찰

에어컨 컴프레서는 작동을 할 때 마그네틱 스위치에 의해 작동과 비작동을 반복한다. 이 때 에어컨 냉매와 에어컨 컴프레서 피스톤의 윤활역할을 하는 냉동유는 에어컨 냉매와 함께 섞여 순환된다. 만약 이 냉매가 부족한 상태에서 계속적으로 에어컨을 작동하면 에어컨 컴프레서 내부의 피스톤은 소착현상을 일으킬 수 있다. 에어컨 컴프레서 오일은 컴프레서를 윤활시키기 위해 사용되는 오일로 컴프레서가 작동중에 계통내로 순환하기 때문에 계통내의 부품을 교환하거나 많은 양의 가스나 누설되었을 때는 오일을 보충해 주어야만 규정 오일의 총량을 유지한다. 또한 오일에 습기나 먼지, 금속편이 유입되지 않도록 하여야 한다. 만약 오일이 금속편이나 기타 이물질에 의해 오염되었을 때는 에어컨 장치에 냉매를 충전시킨 다음 리시버 드라이어를 교환하도록 한다.

Fig. 5. Refrigerant leaking example of air conditioner pipe.

3.2 에어컨 컴프레서에서 컨덴서로 가는 고압 라인에서 누설로 인한 고장사례

3.2.1 현상

운전자가 에어컨을 작동하였을 때 에어컨에서 나오는 바람이 시원하지 않는 현상이 발생하였다.

3.2.2. 분석

이 자동차는 150,000km를 주행한 자동차로 에어컨을 작동하였을 때 별로 시원하지 않은 상태임을 확인하였다. 에어컨 파이프와 호스는 냉동 시스템의 각 구성 부품들을 연결하여 냉매를 순환시키는 기능을 한다. 파이프는 알루미늄 또는 철제로 진동부위 또는 좁은 공간 등에는 파이프 사이에 플렉시블호스(flexible hose)를 추가하여 사용한다. 이런 파이프와 호스류는 각 차종별로 크기와 형상이 서로 다르다. 이러한 파이프와 호스의 내구성이 떨어지거나 균열 또는 미세한 홀이 발생되면 이 사이로 에어컨 냉매가 누설될 수 있다. 이 사례의 경우는 에어컨 라인과 관련 시스템을 확인한 결과 에어컨 컴프레서에서 뒤쪽으로 가는 컨덴서 고압파이프에서 미세하게 새는 것을 확인하였다. 파이프의 미세한 균열에 의해 발생된 홀에서 가스가 누출되었다. Fig. 5는 파이프에서 냉매가 누설되는 것을 보여주는 것이다.

3.2.3 고찰

에어컨 파이프의 연결방식은 스프링 록 커플링(spring lock coupling), O링 방식 및 조인트 플랜지(joint flange)방식의 3가지가 사용된다. 또한, 플렉시블 호스(flexible hose)는 진동부위나 치구 관리가 어려운 부위의 배관에 사용되며, 냉매나 컴프레서 오일과 상용성이 있는 재질의 특수 합성 고무가 사용된다[13]. 따라서, 이러한 파이프와 호스의 균열이나

내구성을 잘 점검하여 철저한 관리가 되도록 하여야 한다.

3.3 에어컨 켄덴서 라인의 미세한 홀에서 냉매 누설로 인한 고장사례

3.3.1 현상

운전자가 에어컨을 작동하였을 때 에어컨에서 시원한 바람이 나오지 않는 현상이 발생하였다.

3.3.2 분석

이 자동차는 48,500km를 주행한 자동차로 에어컨 냉매를 주입하였을 때 초기에는 찬바람이 정상적으로 나왔다. 3일정도 잘 나오다 시원한 바람이 나오지 않는 것을 확인하였다. 누출되는 곳을 찾기 위하여 컴프레서, 컨덴서, 이베퍼레이터 등의 시스템을 모두 점검하였으나 누설부를 발견할 수가 없었다. 에어컨 파이프 및 호스의 전체 라인을 모두 점검하였다. 에어컨 가스를 주입한 다음 에어컨 냉매가 유동하는 각 라인 외부에 거품을 분사하면서 확인한 결과 컨덴서와 파이프를 연결한 파이프의 벤딩부와 접하는 컨덴서 핀 부위에서 미세하게 가스가 누설되는 것을 확인하였다. 즉, 이 부위는 에어컨 컨덴서 핀 부에서 육안으로 확인하기 어려운 부분으로 이 부위에서 미세한 크랙(crack)에 의해 에어컨 가스가 누설되는 것을 확인하였다. 에어컨 냉매량이 부족하면 에어컨의 성능이 떨어진다. 또한, 냉매의 충전을 규정량보다 많이 하게 되면 에어컨에 좋지 않은 영향을 주므로 충전시 유의하여야 한다. Fig.6은 에어컨 컨덴서부의 미세한 크랙으로 인해 가스가 누설된 사례를 보여주는 것이다.

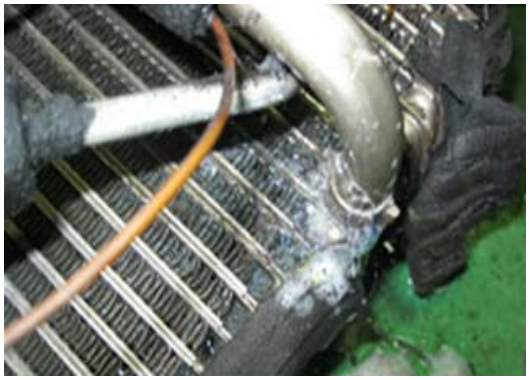

Fig. 6. Refrigerant leaking example on minute hole caused by crack of condenser.

3.3.3 고찰

에어컨 냉매의 누설이 의심스럽거나 연결 핏팅(fitting)분해 또는 푸는 작업을 했을 때에는 전자 누설 감지기로 누설시험을 한다. 핏팅부를 다시 조인 다음 누설이 계속되면 냉매를 배출시키고 핏팅을 분리시켜 접촉면의 손실을 점검하여 조금이라도 손상이 되었으면 신품으로 교환한다. 냉매 부족으로 인해 에어컨의 성능이 저하하면 라인 내의 냉매를 완전히 제거하고 라인내부를 진공상태로 한 다음 적정량의 냉매를 충전하도록 하여야 한다. 에어컨 냉매를 충전시키고 누설을 점검하여 누설되지 않으면 시스템을 진공시킨 다음 완전히 충전시키도록 한다. 따라서, 에어컨 냉매에 대한 누설점검을 철저하게 하여 에어컨 시스템이 최적의 상태로 되도록 관리한다.

Ⅳ. 결 론

자동차 에어컨 시스템의 냉매 누설에 관련된 고장 현상을 분석하고 이를 고찰하여 봄으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 첫 번째 사례는 에어컨 냉매가 누설된 상태에서 계속 에어컨을 작동하였고, 에어컨 컴프레서 내부의 피스톤이 윤활부족으로 인해 피스톤이 부분적으로 에어컨 컴프레서 내부의 실린더에 소착되는 현상이 발생하였다. 이것이 엔진 작동중 부하를 증대시켜 엔진의 회전수 변동과 함께 엔진의 작동이 정지되는 현상이 발생된 것으로 확인되었다.

2) 두 번째 사례는 에어컨 라인과 관련 시스템을 확인한 결과 에어컨 컴프레서에서 뒤쪽으로 가는 컨덴서 고압파이프에서 미세하게 새는 것을 확인하였다.

3) 세 번째 사례는 에어컨 컨데서 핀 부에서 육안으로 확인하기 어려운 미세한 크랙에 의해 에어컨 가스가 누설되는 것을 확인하였다.

REFERENCES

[1] Joseph R. Akerman, " Automotive Air Conditioning Systems with Absorption Refrigeration", SAE paper 710037

[2] David J. Bateman," Performance Comparison of HFC-134a and CFC-12 in an Automotive Air Conditioning System", SAE paper 890305

[3] Akio Yamada, Yasuhisa Sonoda, Yoshie Arakawa," Development of an Air Conditioning System Using the HFC-134a ", SAE paper 920216

[4] M. S. Bhatti,“ Global Warming Impact of Automotive Air Conditioning System ”, SAE paper 982929
[5] M. S. Bhatti,“ Ehnancement of R-134a Automotive Air Conditioning System”, SAE paper 1999-01-0870
[6] Sadek Rahman, France Ragazzi, Richard Sun, Pritam Bathla,“ Modeling of an Automotive Air Conditioning System and Validation with Experimental Data”, SAE paper 2003-01-0735
[7] Saergio M. Hanriot, Bruno Teixeira Vieira,“ Analysis of performance of the refrigeration Cycle of an Automotive Air Conditioning”, SAE paper 2011-36-0098
[8] Cristian Ristiti, Stephanis Stocker, Marcello Canova,“ A Rule-Based Control for Fuel-Efficient Automotive Air Conditioning System”, SAE paper 2015-01-0366
[9] Hoekyeong Seo, Sewook Song, Yangin Hwang, Hyunchul Ha, “ Numerical Study on the HCFC-123 Leak in Turbo Chiller by Using CFD”, KIGAS, 18(5), 85-90, (2014)
[10] The Korean Society of Automotive Engineering, “ Automotive Technology Handbooks - Design Part ”, (1996)
[11] Maintenance manual of Hyundai Motors, (2015)
[12] Maintenance manual of Kia Motors, (2015)
[13] Hyundai Motor Company,“ Automotive Service Training Manual – Electric Part, (2002)