

A/C 실내기 배관 형상에 따른 냉매 유동 소음 특성에 관한 연구

배 성 원[†], 허 덕, 오 세 기, 정 백 영, 오 일 권^{*}
LG 전자 HAC 연구소, ^{*}전남대학교 기계시스템공학부

The refrigerant flow noise from the A/C distribute pipe line shapes
Seong Won Bae[†], Deok Huh, Saikye Oh, Baek Young Chung
and Il Kwon Oh^{*}

ABSTRACT

The distribution control of refrigerant flow is one of the basic technique to enhance system efficiency. However, if engineers forget to control the refrigerant flow speed in all operation range, refrigerant flow mal distribution becomes a noise source. The refrigerant flow noise should be checked and controlled at the lowest air flow mode which is the most silent mode and frequently used in night time.

Key words: Refrigerant flow noise(냉매 소음), Distribution (분지)

기 호 설 명

- Δm = mass flow rate (kg/h)
- Δm_l = mass flow rate of Liquid (kg/s)
- Δm_v = mass flow rate of Vapor (kg/s)
- D = Pipe outer diameter (Inner diameter)
- V_v = Flow speed of Vapor (m/s)
- V_l = Flow speed of Liquid (m/s)

1. 서 론

최근의 냉매를 이용한 공조시스템에 있어서, 효율, 이산화탄소 배출량, 소음, 진동 및 지구온난화 등의 일련의 환경 문제는 제품에 많은 변화를 가져왔다. 여기에 다양한 고객의 사용 편의성에 따른 수정들이 더해져, 제품과 이의 운용은 보다 복잡한 형태를 보이게 되었다.

제품은 TPS, MPS와 같은 다중 압축기나 인버터 구동 시스템과 같은 가변형 압축기 운전시스템을 이용하면서, 에너지를 저감하는 형태로 진화했고, 고효율 BLDC 모터의 적용이 보편화 됨에 따라서, 실내의 팬(Fan)들의 회전수도 매우 낮은 영역에서 높은 영역으로까지 운전 범위가 넓어졌다.

이렇게 압축기의 운전이 복잡해지면서, 냉매의 유량 변화도 매우 복잡한 형태를 갖게 되었다, 실내 외기의 팬 회전수가 낮아지면서 드러나지 않던 냉매소음이 노출되고, 회전수가 증가할 경우 상변화

[†] **교신저자 : 정회원, LG전자 HAC 연구소**
Tel.: +82-11-9941-0782; fax: +82-2-568-7853
E-mail address: flameyes@lge.com

를 촉진하여 다른 냉매 소음을 유발하는 등 냉매 소음에 대한 관리도 복잡성을 띄게 되었다.

기존의 냉매소음 발생에 대한 연구 논문^(1,2) 들은, 대부분 냉매가 흐르는 유로에 변경이 생기면서 유동의 흐름이 원활하지 않게 되는 상황에서 소음이 발생하는 공통점을 보여주고 있다.

본 연구에서는 실내기 팬의 회전수가 매우 낮아서 냉매소음을 마스킹(Masking)하기 힘든 상황에서, 분배 설계의 문제로 인해 소음이 발생했던 현상을 설명하고자 한다. 분지의 위치, 질량 유량, 상변화 및 이로 인한 유속 변화에 의해서 소음이 생기는 현상을 해석 및 실험을 통해 규명하였으며, 설계에 변경을 통해 문제를 해결하였다.

2. 실내기 분지 형상과 냉매 소음

2.1 분지 형상

본 논문은 SRAC 실내기에서 가장 간단한 실내기 분지의 형태로 냉매가 2분지로 실내기에 유입되었다가 다시 출구에서 합쳐지는 2-2 패스(path)에서 발생하는 냉매 소음을 대상으로 연구를 수행하였다. 2-2 패스를 간단하게 도식화 하면 다음과 같다.



Fig. 1 유로 개념도

냉매 분배 설계에 있어서 열교환기를 지나는 유속 분포의 불균형이 일정 수준 발생하여, 이 불균형이 심해서 2개의 패스의 열부하의 불균형이 발생할 경우, 냉매 분배 균일화를 위하여 Fig 2와 같은 직경이 다른 배관을 접속하는 이중 배관을 사용한다.

이중 배관을 이용한 분지를 크게 구별해 보면, 냉매를 분배해주는 분배기와 이중 배관 중 한쪽에 저항을 주는 축관부로 분류할 수 있다.

이중 분배기는 제조사별로 상이한 형태의 분배기가 사용되며, 축관부 역시 유동 저항을 주기 위한 형상인 만큼 다른 방법으로 저항을 주기도

한다. 본 논문에서는 축관과 분배기를 이용한 분배 형태에서 발생하는 냉매 소음을 대상으로 하여 논의하기로 한다.



Fig. 2 불균형 해소를 위한 2중 배관 분지

2.2 2중 배관 분지 냉매 소음 Spectrum

소음이 냉매에 의해서 발생하는 만큼, 냉매의 유동 특성 그중에서도 유량에 따라 그 소음이 달라 냉매의 유량이 많아질수록 그로 인해 냉매의 유속이 증가할수록 소음이 증가하는 경향을 보였다. 에어컨의 특징상 실내기 팬이 작동하지 않은 상태에서 냉매소음만 분리하여 관리하기 어려운 관계로 팬 소음에서 증가하는 소음량으로 냉매 소음을 측정하였다.

냉매의 유량은 압축기를 이용하여, 기준 유량으로부터 일정한 조절 가능한 일정한 비율로 증가시키면서 측정하였으며, 최저와 최대의 유량 비율은 약 2.05배에 해당한다.

주로 문제가 되는 분지 형상은 냉방 시에는 저압의 기체 또는 이상(Two phase)유동이 흐르고, 난방 시에는 고압의 기체가 흐르는 냉방 기준 실내기 출구측 분지에서 소음이 많이 발생하였다.

초기 이중 배관 분배기에서는 축관부에서 유동이 급변하는 형상으로 두 부품으로부터 발생하는 냉매 소음이 혼재하고 있었으며, 그 스펙트럼(Spectrum)은 Fig. 3과 같다.

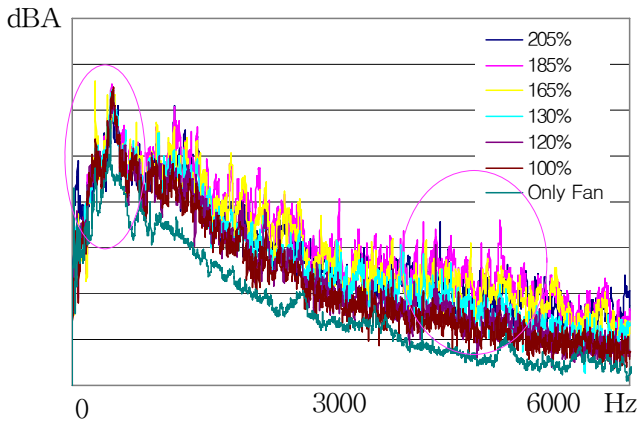


Fig. 3 Fig. 2의 분지형상에 의한 냉매 소음

소음의 특징은 냉매의 유량이 증가하면서 전반적인 소음 수준이 증가하고, 낮은 주파수 대역에서도 팬 소음 스펙트럼의 최대값을 초과하는 최고치(Peak)를 발견할 수 있었다.

유량이 초기의 165%이상 대역에서는 냉매소음이 4~5kHz 대역에서 많이 증가하여, 실제 청감이 매우 악화되었으며 개선 필요성이 대두되었다.

3. 냉매 소음 개선

3.1 분배기 영향 제거

Fig. 3의 실험 결과에서 분배기에 의한 소음과 축관에 의한 소음이 혼합되어 있는지 여부의 확인 작업이 필요했다. 한형석 등¹¹의 결과를 응용한, 유동 저항을 최소화한 형태의 분배기를 적용하여, 냉매 소음을 감소시키는 실험을 수행하였고, 논문과 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

유동 저항과 관련된 소음은 Screw tetra와 Flow noise의 두 상용 프로그램을 이용하여 상대 비교하였으며, Fig. 2의 분배기는 배관이 갈라지는 부분에 유동이 불안정하여 소음이 많이 발생하는 결과를 얻었다.

이에 착안하여 배관이 갈라지는 부분의 저항을 최소화한 분배기를 설계해서 해석한 결과, 유동 저항과 소음 발생이 해석적으로 완화되는 것을 발견하였고, 샘플을 제작하여 실험을 수행하였다.

실험 결과 Fig. 6을 참조하면, 저주파 대역의 냉매소음이 감소하였고, 반면 고주파 소음은 증가하였다. 유동해석 결과에서는 축관 효과가 누락되어, 축관에 의한 소음원을 찾을 수 없었으며,

분배기의 소음원 분포는 개선 후의 분배기가 소음원이 될만한 것이 적다는 사실을 보여준다.

분배기를 교체한 후에 고주파 소음이 증가하는 것은 축관부가 유동의 변화에 영향을 미치고 주로 중고주파 대역에 영향을 준다는 사실을 추정할 수 있었다.

총합 소음은 소음 수준(Level)이 높았던 저주파 대역의 소음치가 감소하면서 2.5~2.7dBA 정도 낮아지는 결과를 보였다.

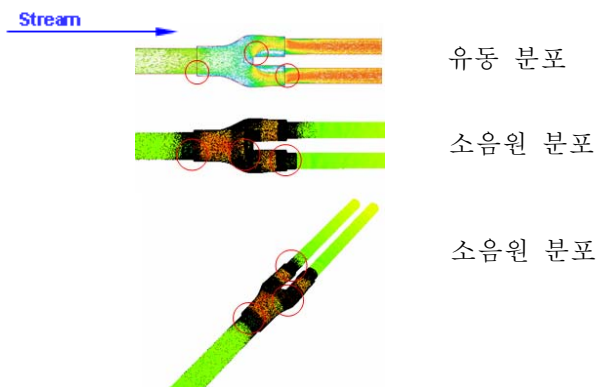


Fig. 4 개선 전 분배기의 유동 분포와 Noise source 분포

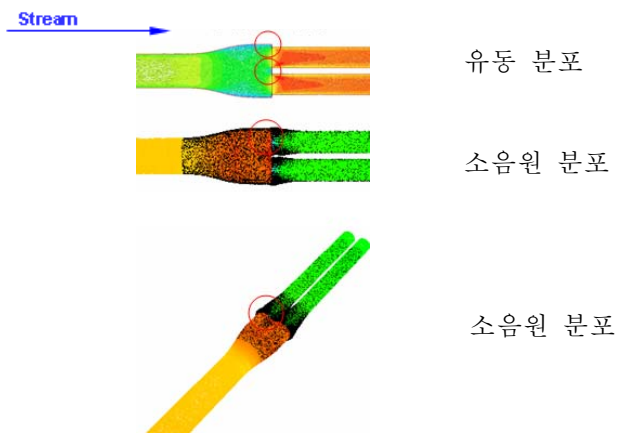


Fig. 5 개선 후 분배기의 유동 분포와 Noise source 분포

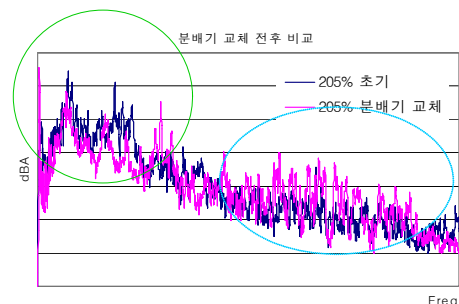


Fig. 6 분배기 교체에 의한 소음 저감

3.2 축관 제거와 냉매 소음

3.2.1 축관 제거 해석과 실험

냉매 소음의 원인이 축관부인지 확실하게 검증하기 위해 축관부를 제거하여 냉매 소음의 유무를 확인하였다. 축관부를 제거한 경우, 냉매 소음이 없었으며, 축관에 의한 소음원의 위치를 해석해 보았다.

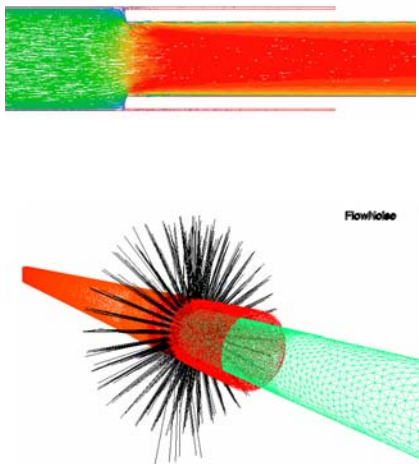


Fig. 7 축관에 의한 냉매 소음원 해석

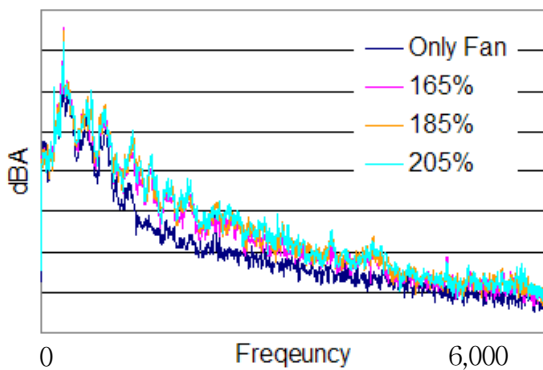


Fig. 8 축관 제거 후 Noise Spectrum

축관부를 제거한 이후에 냉매소음은 팬 소음에 비하여 매우 작아 여전히 남아 있기는 하지만, 실제 고객 문제점이 제기될 정도로 문제가 되는 모든 냉매 소음은 제거가 되었다.

그러나, 냉매 유속과 냉매 소음의 관계는 근본적으로 규명해야하는 문제로 제기되었다.

에어컨 배관 내에는 그림과 같은 축관 형태의 배관 굴곡이 매우 많은데, 냉방 실내기 출구 쪽

에서 3/16인치의 세경 관을 적용했을 때, 냉매 소음이 많이 발생한 원인을 분석할 필요가 있었다.

3.2.2 냉매 유속과 축관 소음의 관계

냉방 실내기를 지나는 냉매의 상(Phase) 정보를 열전대(Thermo-Couple)를 이용하여, 배관 표면온도로부터 구하고, 유량은 압축기의 냉매 유량을 통하여 계산하였다.

205% 압축기 속도에서 냉방 표준 조건으로 실내의 풍량 등의 변수를 고정하고 질량 유량을 계산하면, 99.4 kg/h 수준이다. 건도 0.2인 이상(2 Phase) 상태로 가정하여 냉매 유속을 구하면 아래와 같다. 2 분지관의 냉매 분배가 균일하다 가정하였다.

$$\begin{aligned} \Delta m &= 99.4 \text{ kg/h} \\ \Delta m_l &= 0.022 \text{ kg/s} \\ \Delta m_v &= 0.0055 \text{ kg/s} \\ D &= 3/16 \text{ inch} = 4.95\text{mm}(3.75\text{mm 내경}) \\ V_v &= 6.65 \text{ m/s (기체 상태의 냉매 유속)} \\ V_l &= 0.85 \text{ m/s (액체 상태의 냉매 유속)} \end{aligned}$$

냉방에서 과열 조건으로 가정하고 동일 질량유량에서 건도 1.0의 냉매 유속을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta m &= 99.4 \text{ kg/h} \\ \Delta m_v &= 0.027 \text{ kg/s} \\ D &= 3/16 \text{ inch} = 4.95\text{mm}(3.75\text{mm 내경}) \\ V_v &= 40.9 \text{ m/s (기체 상태의 냉매 유속)} \end{aligned}$$

약 유속이 6.23배 차이가 발생하고, 이때 운동에너지는 속도의 제곱에 비례하므로 38.9배의 운동에너지 차이가 발생한다.

실제 40.9m/s의 유속이 발생하는 질량 유량을 입력하여 Fig. 7과 같이 해석하여, 정량적인 값을 추정할 결과 내부 소음원은 100 dB가 넘는 높은 소음원이 추정되었다.

또 Fig. 8과 같이 냉매 소음이 개선되었을 때의 냉매의 유속을 계산하면 기체 상태의 냉매 유속은 18.9m/s로 3/16 인치 배관내의 냉매 유속의 46%에 해당하는 값이며, 이 경우에 냉매 소음이

개선되는 현상을 살펴 볼 수 있었다.

4. 결 론

본 실험 결과들은 에어컨 실내기 분지관의 중분배기의 형상을 제외한 배관 환경의 변화만으로도 냉매 소음이 발생할 수 있다는 것을 보여준다. 동일한 배관에 동일한 축관이라도 냉매의 소음이 발생할 수도 있고 발생하지 않을 수도 있는데, 이는 배관을 통과하는 유속과 관련이 있다는 것을 확인할 수 있었다.

냉매 유량이나 유속은 압축기 속도 외에도 상변화나 전자팽창밸브 개도, 실내외 공기 유량 등의 변수로부터 영향을 받으나 본 논문에서는 압축기 회전수 이외의 변수의 영향도를 분석하거나 일반화하지는 못하였다.

그러나 기존의 안정적인 에어컨 시스템을 개선하는 과정에서 분지를 변경할 경우 지나친 유속 변화가 발생하는 냉매 유량 분배는 냉매 소음을 유발하기 쉬움을 확인하였다.

향후, 이러한 변수에 관한 연구를 지속한다면 냉매 소음 방지 설계에 대한 유용한 기준이 만들어 질 수 있다고 생각한다.

참고문헌

1. 한형석, 시계오 아오야마, 모진용, 이재권, 송용재, 분리형 에어컨의 실내기 냉매 소음 저감 분석, 한국소음진동공학회, 2005년도 추계 학술대회 논문집 pp. 421-426.
2. G.M. Singh, E. Rodarte, N.R. Miller and P.S.Hrnjak, Noise generation from expansion devices in refrigerant. ACRC TR152, July 1999. IL, U.S.A.