

## 분리형 에어컨의 실내기 냉매 소음 저감 분석

### Analyzing for Refrigerant Induced Noise for Split Type Air Conditioner Indoor Unit

한 형 석<sup>†</sup> · 시게오 아오야마<sup>\*\*</sup> · 모 진 용<sup>\*</sup> · 이 재 권<sup>\*</sup> · 송 용 재<sup>\*\*</sup>

Hyungsuk Han, Shigeo Aoyama, Jinyong Mo, Jaekwon Lee and YongJae Song

(2005년 10월 24일 접수 ; 2006년 2월 8일 심사완료)

**Key Words** : Refrigerant Induced Noise(냉매 유발 소음), Quality(건도), Distributor(분배기), Sound Quality Paramete(음질 파라미터)

#### ABSTRACT

In the air-conditioner, refrigerant induced noise and vibration can be increased when the airflow rate is reduced in order to decrease the noise at the low mode. Through the test and analysis of this kind of noise, it can be verified that the main reasons of refrigerant induced noise are the velocity and flow induced force of the refrigerant at the inlet of the evaporator. So, in order to reduce this velocity, quality at the evaporator inlet should be minimized. And, in order to reduce flow induced force of the refrigerant, sudden change of fluid flow must not be occurred. So, in this paper, we will review the characteristics of refrigerant cycle and find how the quality and flow induced force can be minimized.

#### 기 호 설 명

- $A$  : 입구 단면적(inlet area)
- $h_f$  : 총 손실 헤드(total head loss)
- $\lambda$  : 관 마찰계수(tube friction coefficient)
- $\xi$  : 손실계수(loss coefficient)
- $v$  : 유체 속도(fluid velocity)
- $\rho$  : 유체 밀도(fluid density)
- $\theta$  : 부딪히는 면과 유체 흐름 방향과의 각도(angle between flow direction and collision plate)

#### 1. 서 론

최근 에어컨 보급이 확대되고 실내 음향 연구가 활발히 이루어 지면서 일반 가정의 실내 소음 자체가 크게 줄어들고 이에 따라 소비자들의 소음에 대한 민감도가 크게 증가되고 있는 실정이다. 최근 연구에 따르면 고급 아파트 침실의 경우 실내 암소음 수준이 약 25 dB 정도 수준이며 이 때문에 실내 소음에 대한 민감도가 예전에 비해 크게 증가되고 있음을 알 수 있다.

따라서 이 논문에서는 에어컨 동작 시 약풍 모드(mode)에서 에어컨 실내기 소음을 줄이는 것에 초점을 맞추고 이에 대한 소음 개선을 전개 하고자 한다. 실내기 소음의 경우 크게 송풍 소음과 냉방 소음으로 나눌 수 있으며 이 논문에서는 후자의 냉방 소음 저감을 주로 다루고자 한다.

일반적으로 실내기 냉방 소음 저감을 위해서는 단순히 송풍 풍량 저감으로 소음 절대 레벨(level)값은 줄일 수 있으나 이 경우 Fig. 1과 같이 냉매 소음, 컴프레셔(compressor) 전달 소음, 모터 소음 등의 이상

<sup>†</sup> 책임저자; 정희원, 삼성전자 공조개발팀  
E-mail : hyungsuk1123.han@samsung.com  
Tel : (031) 200-6248, Fax : (031) 750-5273

<sup>\*</sup> 정희원, 삼성전자 공조개발팀

<sup>\*\*</sup> 정희원, 삼성전자 공조개발팀

<sup>\*\*\*</sup> Samsung Yokohama Research Institut

소음 발생 가능성이 크며 증발기 온도 저하로 고습 조건에서 실내 응축수 증가로 응축수가 토출 블레이드(blade)로 토출 된다든지 저온 조건에서 실내 증발기 온도 저하로 인해 응축수가 증발기 표면에서 동결되는 등 신뢰성에서 문제가 발생할 수 있다.

이 논문에서 다루고자 하는 에어컨은 R410A 냉매를 사용하는 가정용 분리형 룸 에어컨으로 송풍 풍량 저감 시 냉매 소음이 가장 지배적인 이상소음 인자이며 기타 다른 이상 소음은 크게 문제가 되지 않았으며 신뢰성의 경우 고습 조건에서 응축수 토출 이 문제가 되었다.

따라서 이 논문에서는 송풍 풍량 저감에 따른 냉매 소음 개선 진행 및 이에 따른 신뢰성 문제의 개선 결과를 소개하고자 한다.

## 2. 냉매 소음 발생 메커니즘

일반적인 에어컨의 냉동 사이클(cycle)은 Fig. 2와 같다. 냉동 사이클에서 실외기를 통과하여 과냉 응축된 냉매는 팽창 밸브를 통과하면서 저압의 상태에서 2상 영역으로 실내기에 들어가게 된다. 이 때 상 변화에 따라 동일 질량 유량에서 기상 증가에 따른 비체적 증가로 체적 유량이 커지게 되며 실내기로 유입되는 냉매의 속도는 팽창밸브 입구 냉매에 비해 크게 증가하게 된다. 이러한 냉방 사이클적인 특성에 따라 증발기 입구에서 냉매 소음이 발생되며 증발기 입구에서의 냉매 상태에 따라 냉매 소음 차이가 발생하게 된다. 특히 팽창밸브 출구에서 증발기

입구까지 냉매가 흘러가면서 식 (1)과 같이 관 마찰 손실 및 형상에 따른 손실로 추가적인 압력 강하가 발생하게 된다.

$$h_f(\text{Capi.out} \sim \text{Eva.in}) = (\lambda d/l + \sum \xi) \times v^2/2g \quad (1)$$

$h_f$ : 총 손실 헤드,  $\lambda$ : 관 마찰계수,  $\xi$ : 손실계수  
 $d$ : 관 경,  $l$ : 관 길이,  $v$ : 유체 속도

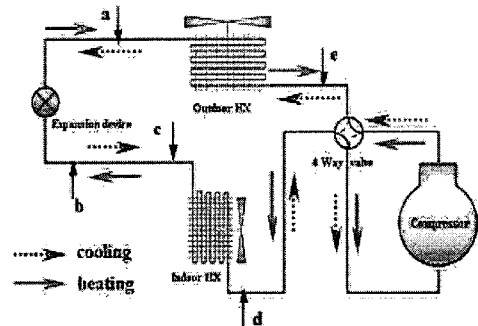


Fig. 2 Schematic diagram for general refrigerating cycle

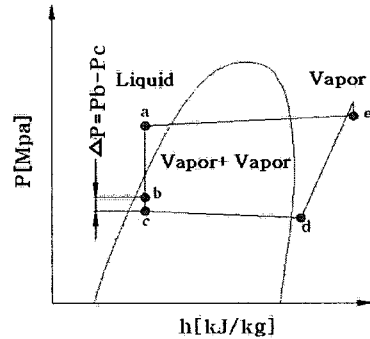


Fig. 3 P-h diagram for refrigerating cycle

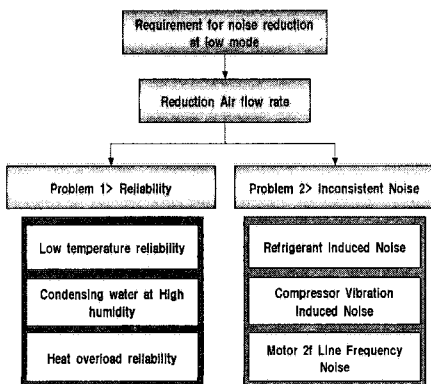


Fig. 1 The Problem for reducing air flow rate in order to noise reduction

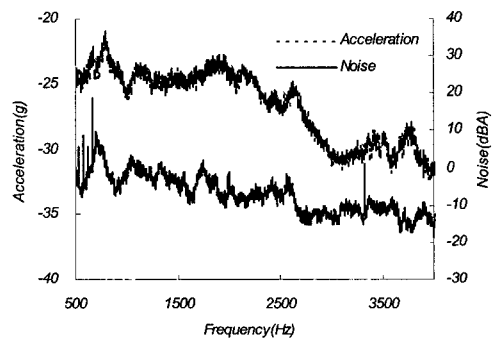


Fig. 4 Vibration on the evaporator inlet pipe and noise of the indoor unit

또한 일반적으로 증발기 입구로 들어가는 냉매의 경우 분배기를 통해 여러 개의 패스(path)로 나뉘어져서 증발기로 들어가게 되는데 이때 각 패스에 냉매 질량 유량을 조절하기 위해서 분배 관 경 및 관 길이를 조절하게 된다. 이 때 분배기 및 분배 관의 형태에 따라서 추가적인 압력강하가 발생하게 된다. 이러한 마찰손실 및 기하학적 형상에 의해서 발생하는 압력 강하는 Fig. 3의 싸이클 선도에서 “Pb-Pc” 이며 이 압력강하의 양이 클수록 증발기 입구 건도는 증가하게 되고 냉매의 속도는 그 만큼 빨라지게 된다.

따라서 냉매 소음 발생과 관련하여 분배기 및 분배관의 선정이 중요하며 증발기 유입 냉매의 건도가 소음의 중요한 인자 중 하나임을 알 수 있다. 이는 압력강하가 커지면 증발기의 입구 냉매의 건도가 증가하게 되고 건도가 증가하면 증발기 입구로 유입되는 냉매속도가 빨라지기 때문에 냉매소음 발생 가능성이 크기 때문이다.

실제로 증발기 입구에서의 진동 측정 결과 Fig. 4와 같이 실내기 소음과 유사한 패턴의 스펙트럼을 얻을 수 있었으며 이는 입구 유입 냉매의 특성이 그대로 소음으로 반영됨을 보여주고 있다.

따라서 이 논문에서는 냉매음이 발생하는 위치를 분배기 및 분배관을 포함한 증발기 입구로 한정하여 냉매 소음을 서술하고자 한다.

### 3. 분배기 형상 변경을 통한 냉매 소음 개선

이 절에서는 냉매 소음의 발생 원인 중 분배기 형상에 따른 영향을 다루고자 한다. Fig. 5는 오리피스(orifice) 형 분배기 형상을 보여주고 있다. 이 논문에서 다루고자 하는 분리형 룸 에어컨은 이러한 오리피스(orifice) 타입 분배기를 사용하고 있다. 오리피스 타입 분배기의 경우 증발기 입구로 들어온 2상 상태의 냉매를 좁은 노즐을 통해 가속시켜 벽면(Fig. 5의 surface “A”)에 충돌시켜 기상과 액상을 썩이게 만들어 분배하는 것으로 분배 특성을 향상시키는 이점이 있으나 노즐을 통과하면서 발생하는 압력손실로 증발기 내로 유입되는 냉매의 건도를 증가시키게 된다. 또한 분배기 벽면에 냉매의 충돌로 인해 추가적인 압력강하가 발생되고 충돌에 의한 분류력이 발생하게 된다. 일반적으로 증발기로 유입되는

냉매의 상태가 2상으로 유입되기 때문에 유동 상태가 불안정 하며 따라서 충돌에 의한 분류력도 시간에 따라 변동하게 된다. 이러한 분류력은 식 (2)와 같으며 시간에 따라 냉매 속도가 변하게 될 경우 시간에 따른 분류력 변화로 불규칙적인 파이프 진동을 초래하고 이는 곧 실내에 불규칙적인 소음을 유발시키게 되는 것으로 생각되어진다.

따라서 오리피스 형 분배기의 경우 압력강하에 의해서 증발기 입구에서 건도를 증가시키고 분류력 변화에 의한 소음을 발생시킬 수 있는 가능성이 크다는 단점이 있다.

$$\begin{aligned}
 F &= \rho Av^2 \sin\theta \\
 F_x &= F \sin\theta = \rho Av^2 \sin^2\theta \\
 F_y &= F \cos\theta = \rho Av^2 \sin\theta \cos\theta = \rho Av^2 \sin 2\theta / 2
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

$F$ : Distributed fluid induced force

$F_x F_y$ : Distributed fluid induced force  $x, y$  성분

$\rho$ : 유체 밀도

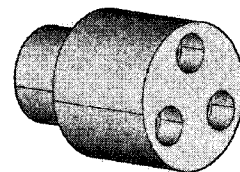
$A$ : 입구 단면적

$v$ : 유체 속도

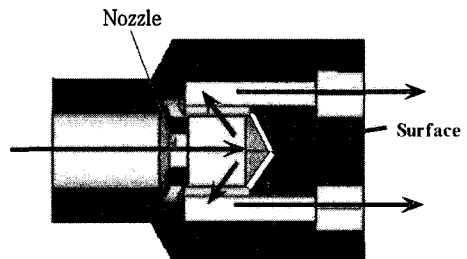
$\theta$ : 부딪히는 면과 유체 흐름 방향과의 각도

#### 3.1. 분배기 형상 변경을 통한 소음 개선

유동 속도의 가속 노즐을 제거하고 분류력을 최소화 하기 위해서 Fig. 6의 원뿔형 분배기로 변경 적용



(a) Orifice type distributor



(b) Cross section and flowing diagram for distributor

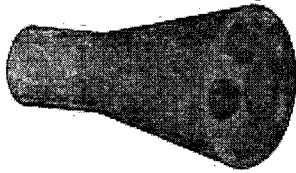
Fig. 5 Orifice type distributor

하여 소음 시험을 진행하였다. 시험 결과 가속된 냉매에 의한 분류력 제거 및 압력 강하 저하에 따라 소음이 크게 감소함을 알 수 있었다. 소음 시험 결과는 그림 7과 같으며 최소 웬 회전수에서 오리피스형 분배기를 사용한 실내기보다 약 3.3 dBA 정도의 소음 저감을 얻을 수 있었다.

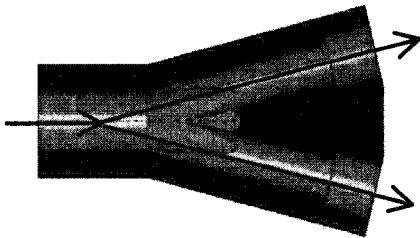
1/3 옥타브로 분배기 변경에 따른 소음 특성을 비교해 보았을 때 Fig. 8과 같이 500 Hz 이상의 고주파 영역에서 소음 레벨이 줄어들었음을 알 수 있었다.

체감 평가 결과 Fig. 9와 같이 시간에 따라 불규칙

적으로 발생하던 냉매음이 모두 사라짐을 알 수 있었으며 음질(sound quality) 비교 시에도 Fig. 10 및 Table 1과 같이 loudness, roughness, fluctuation strength가 크게 줄어들음을 알 수 있었다. 하지만 sharpness의 경우 크게 변하지 않았는데 이는 냉매에 의해 시간에 따라 불규칙적으로 발생하는 이상 냉매 소음이 줄어들었기 때문으로 판단되며 냉매 속도 증가에 따른 고주파 영역의 소음보다는 시간에 따라 불규칙적으로 발생하는 소음이 보다 음질(sound quality) 측면에서 문제가 되었던 것으로 판단된다.

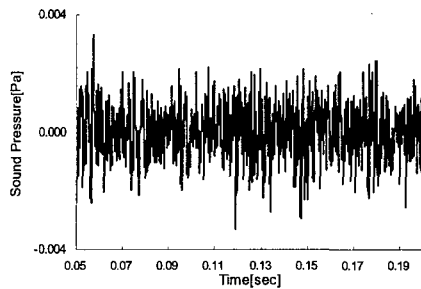


(a) Corn shape distributo

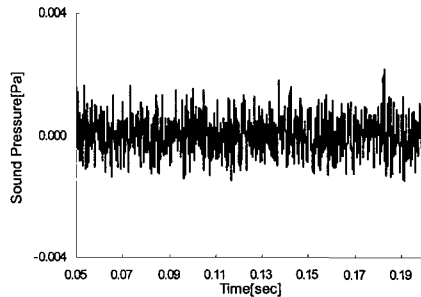


(b) Cross section and flowing diagram for distributor

Fig. 6 Corn shape distributor



(a) Sound pressure applied orifice type distributor



(b) Sound pressure applied corn shape distributor  
Fig. 8 Time signal of sound pressure for indoor unit as different type of distributor

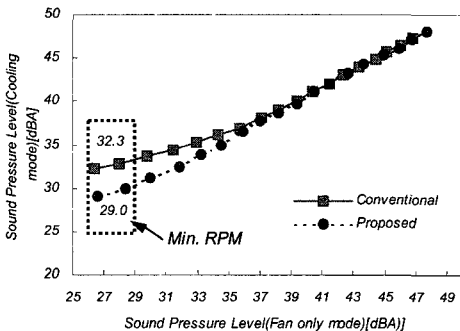


Fig. 7 Indoor unit sound level for different type of distributor (conventional : orifice type, proposed : corn shape)

Table 1 Sound quality comparison for different type of distributor (conventional : orifice type, proposed : corn shape)

Type	Sound quality parameter			
	Loudness (sone)	Sharpness (acum)	Roughness (asper)	Fluctuation strength (vacil)
Conventional	1.13	1.4	0.865	0.0975
Proposed	0.755	1.34	0.56	0.00638

#### 4. 증발기 입구 냉매 건도 감소로 인한 냉매 소음 개선

이 논문에서는 실외 과냉도를 증가시키기 위해서 냉매량을 기존 1250 g 에서 100 g을 추가 주입하였다. 냉매 추가로 인해 실내 증발기의 압력이 증가하고 실외 응축기 출구에서 냉매의 과냉도가 증가하게 되며 이는 증발기로 유입되는 냉매의 건도를 작게 만들게 된다. 앞 절에서도 언급했듯이 건도가 작아지게 되면 동일 질량 유량에서 체적비가 작아지게 되므로 증발기로 유입되는 냉매의 속도는 느려지게 되며 이로 인해 냉매 소음이 감소하게 된다.

이는 실내 외 온도를 변화시켜 실내 유입 냉매의 건도를 변경시켜 소음을 측정 한 결과 Fig. 11과 같이

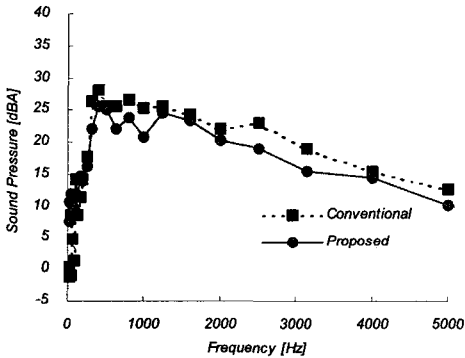


Fig. 9 One-third octave sound pressure level for different type of distributor (conventional : orifice type, proposed : corn shape)

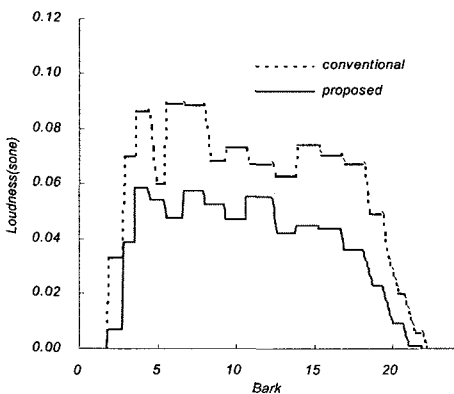
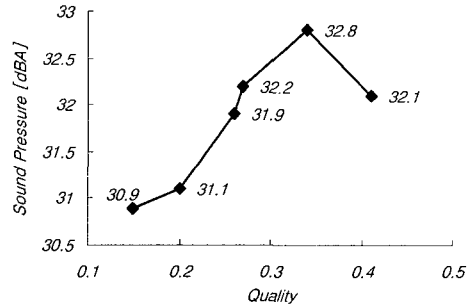


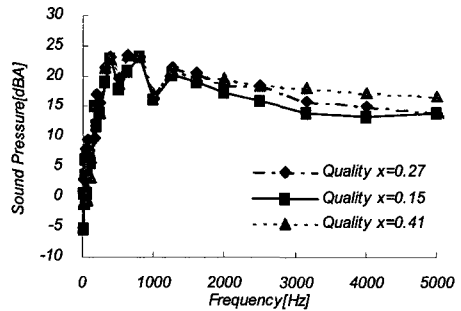
Fig. 10 Loudness as distributor (conventional : orifice type, proposed : corn shape)

건도가 클수록 소음레벨이 크게 증가하며 특히 1000 Hz 이상 영역의 냉매 소음이 크게 달라짐을 알 수 있었다.

따라서 냉매 추가를 통해서 응축기를 통과한 냉매의 과냉도를 7도에서 9.8도로 2.8도 가량 증가시킬 수 있었으며 증발기 입구 냉매의 건도가 0.263에서 0.246으로 감소하였다. 이러한 건도 감소를 통해서



(a) Total sound pressure level as quality of refrigerant



(b) 1/3 Octave of sound pressure as quality of refrigerant

Fig. 11 Sound pressure as refrigerant quality at the Evaporator inlet

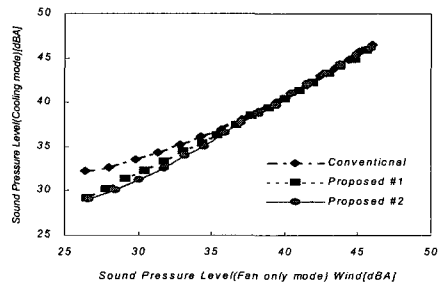


Fig. 12 Indoor unit Noise as reducing quality at the Evaporator inlet

냉방 소음의 경우 Fig. 12와 같이 냉매 추가 전과 비교해 볼 때 약 0.4 dB 정도 줄어들음을 확인 할 수 있었다. Fig. 12에서 기존의 경우 오리피스 형 분배기를 적용 했을 때, 제안 1의 경우 원뿔형 분배기를 적용 했을 때, 그리고 제안 2의 경우 원뿔형 분배기 적용과 동시에 냉매를 100 g 추가 하였을 때 웬 소음에 대한 냉방 소음을 나타내고 있다.

### 5. 분배 밸런스를 통한 응축수 저감 개선

소음 저감을 위해서 풍량을 줄일 경우 실내 증발기 온도가 낮아지면서 고습 조건에서 응축수가 많아

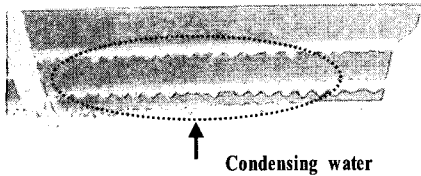


Fig. 13 Reliability test result at high humidity after reducing air flow rate

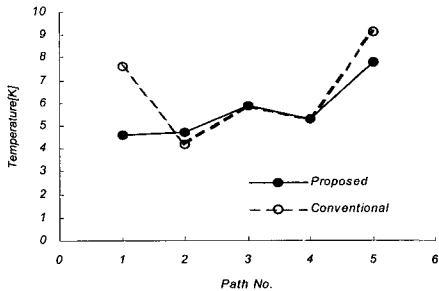


Fig. 14 Super heat for paths of Evaporator as changing distributed pipes (conventional : orifice type distributor, proposed : corn shape distributor + adding refrigerant 100 g)

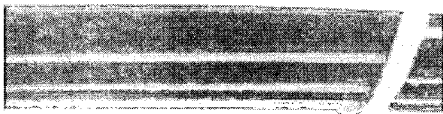


Fig. 15 Reliability test result at high humidity after improving refrigerant distribution

져 실내 토출구 및 뢰에 이슬이 맺히게 되고 이들이 토출되는 문제가 발생할 확률이 높다. 또한 저온 조건에서 동작시켰을 경우 실내 증발기 온도가 너무 낮아져서 실내 증발기가 동결될 수도 있다. 이 때문에 실내 풍량을 줄이는 데는 한계가 있다.

이 연구에서는 실내 풍량을 줄였을 경우 저온 조건에서는 크게 문제가 없었지만 Fig. 13과 같이 실내 뢰에 이슬이 맺혀 토출구로 튀어 나오는 현상이 발생하였다.

이러한 현상은 낮아진 증발기 온도 때문에 증발기를 통과한 공기의 온도가 낮아지며 특히 분배특성이 좋지 않아 증발기로 유입되는 각 분지 패스간의 온도차이가 커서 상대적으로 온도가 높은 공기와 낮은 공기가 같이 유입되는 과정에서 높은 온도의 공기에 포함되어 있는 습기가 응축되어 발생되는 것으로 보인다. 따라서 각 패스간의 질량 유량 비를 조절하여 증발기를 통과하는 공기의 온도 차를 최소화하여 응축수 발생을 최소화 하도록 하였다.

증발기의 각 패스로의 질량 유량 조절은 주로 분배관의 길이 및 직경으로 저항을 조절하는 방식을 주로 사용하고 있다.

고습 조건에서 분배관 조정을 통해서 과열도를 줄인 결과 Fig. 14와 같이 과열도 차를 약 3도 이상 줄일 수 있었으며 그 결과 Fig. 15와 같이 실내 뢰의 응축수 맺힘을 막을 수 있었다.

### 6. 결 론

약풍 모드에서 소음은 일반적으로 에어컨 실내 음향에서 매우 중요하며 시장에서의 요구 사항 역시 계속적으로 증가되고 있다. 따라서 이 논문을 통해서 약풍 소음 저감을 위해 송풍량을 줄였을 때 발생하는 이상소음, 특히 냉매 소음에 대한 개선 대책을 수립하였으며 풍량 저감에 따른 증발기 온도저하로 발생하는 신뢰성 문제에 대한 대책을 수립할 수 있었다.

이 논문에서 다루었던 가정용 분리형 에어컨의 경우 냉매음의 발생과 가장 큰 관련이 있다고 생각되어지는 요인을 증발기로 유입되는 냉매 속도 및 분류력으로 보고 이에 대한 개선을 진행 하였다. 냉매 속도의 경우 응축기에서의 과냉도 확보로 증발기 입구 냉매의 건도를 최소화하여 체적유량을 최소화 함

으로써 줄일 수 있었으며 분류력의 경우 분배기 형상 변경을 통해서 최소화 할 수 있었다. 그 결과 냉매 소음이 충분히 감소함을 알 있었으며 실험을 통해서 본문에서 제시한 냉매음 발생 인자에 대한 타당성을 검증할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- (1) Whalley, P.B., 1999, "Two Phase Flow and Heat Transfer", Oxford University Press.
- (2) Willam, S. J., 1993, "Design of Fluid Thermal Systems", PWS-Kent Publishing Company.
- (3) Arora, C. P., 2000, "Refrigeration and Air Conditioning", McGraw-Hill.
- (4) Yamamoto, 1998, "Study of Noise Reduction of Refrigerant for Capillary Tube in the Refrigerator", Mitsubishi, 32th Conference Journal of Refrigeration and Air-conditioning Association, Vol.4, pp.22 ~ 24.
- (5) Seo, Y.-S. and Jeong, W.-B., 2003, "Finite Element Vibration Analysis of Cylindrical Shells with Internal Fluid Flow", 2003 Spring Conference Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 911~ 916.
- (6) Jang, H. K., Kim, S. H., Rhee, J. H. and Yang, J. R., 1999, "Reduction of Flow-induced Vibration in the Heat Exchanger", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 9, No. 6, pp. 1200 ~ 1209.