

# 송풍기 흡입 유동 제어를 통한 상치형 공조기의 소음 저감

김재원\* · 황태연\*\*

## 1. 서 론

1990년대 이후, 국내 가정용 공조기의 보급은 급성장을 이루어, 현재 각 가전사의 주력 상품으로 자리잡으면서, 연간 100만대 이상의 시장을 형성하였고, 이러한 에어컨 시장의 점유율이 가전사의 이미지를 좌우하는 중요 시장으로 변화하였다. 국내 에어컨 시장의 확대는 단순히 시장의 자연적 확대에 따른 구매력 상승에 의한 것만이 아니라, 국내 공조기술의 급격한 발전을 통한, 시장 창출의 성격이 강하다는 점에서 그 의미가 매우 크다. 이미 90년대 말 국내 시장을 비롯한 해외시장에서도 국내 가전업체의 공격적 마케팅과 기술력 확보는 세계 시장점유율의 급상승으로 이어졌고, 현재 국내 업체의 세계 시장 점유율이 25% 이상 달하는 것으로 확인되고 있다. 그러나, 중국 등, 우리보다 유리한 생산조건을 보유한 국가들의 추격으로 인해, 시장의 점유안정성은 매우 유동적인 형태로 남아있고, 이러한 추세를 극복하기 위한 제품 고급화와 기술력 확보는 국내 업체의 주요 과제로 부각되고 있다. 그 중 일정 주기로 반복되는 마케팅 특성 중에서, 소음의 중요도는 과거 여러 경우에서 대두되었듯이, 제품판매에 중요한 변수로 작용되어 왔고, 저소음 기술과 기술 방어능력은 업체의 기본조건으로 요구되어 왔다. 이러한 이유로 에어컨에 장착되는 주요부품인 송풍기에 대한 연구가 지속적으로 진행되어 왔고 많은 성과를 이루었다. 좀 더 다양한 설계에 대한 소비자들의 요구가 제품 판매에 중요변수로 떠오르면서, 송풍기 입구 및 출구 환경의 변화 역시, 빠르게 진행되고 있다<sup>(1)</sup>. 본 논문에서는 상치형 공조기의(Package or Slim Type) 실내기의 저소음 설계 변수 중, 이전에 많은 연구가 진행되어온 송풍기의 웬이나 케이싱의 설계 변수에 관해 논하기보다는, 구성 부품들의 조합과 설치형상에 관련된 입구 및 출구 유동의 제어를 통한 소음제어 기법에 관한 소개를 주로 다룰 것이다.

제품의 고급화와 소형화 설계 설계가 일반화되면서 흡입 유로의 다변화 및 저항 상승으로 인한 소음문제

의 해결은 매우 어려운 환경에 접해있다. 또한, 이러한 환경은 열 교환기를 통과하는 유동의 편차를 심화시켜, 열 교환기 회로 구성에서 보상받는 범위 밖의 열량을 풍량 상승으로 보상해야 하는 문제점으로 나타난다. 물론 이러한 문제점은 송풍기와 열교환기 배치 순서의 조정으로 해결이 가능하지만, 이는 각 가전사의 제품 특성에 관한 문제로, 본 논문에서는 여러 가지 공기 순환 방식 중에서 원거리 송풍이 유리한 송풍기가 열 교환기보다 순환 순서가 늦은 방식을 채택하였다<sup>(2)</sup>.

## 2. 본 론

상치형 공조기의 실내기는 흡입 망, 증발기, 송풍기, 토출 망으로 구성되며, 에어컨 실내기의 주요 소음을 크게 구분하여 보면, 웬의 편심 및 실내기 모터의 회전, 실내기와 실외기 연결 배관의 진동으로 인한 고체 유발 소음과 공기 순환으로 인한 유동 소음, 열교환기 통과 및 흡입, 토출 망 통과로 인한 고주파 소음, 송풍기의 웬 날개를 통과하면서 발생하는 난류 소음으로 구분된다.

성능에 관련된 주요 인자는 열 교환 능력(흔히 풍량 정의)대비 소음으로 나타낼 수 있으며, 실내기의 열 교환 능력은 경계 조건이 동일한 경우, 증발기의 단위 체적 당 통과 유량의 절대적인 수치와 유량 분포의 편차 및 열 교환 효율에 관한 함수로 정의된다.

유량의 절대적인 수치는 시스템 저항을 고려한, 송풍기 설계에 좌우되며<sup>(3)</sup>, 이러한 이유로, 웬과 스크롤 케이싱의 많은 변수들에 관한 실험이 진행되었다. 에어컨의 경우와 같이, 송풍기를 내재하는 제품들은 기존의 연구를 통한, 양정 설계로 비교적 정확한 풍량을 산출, 설계하는 것이 가능해 졌으나, 시스템 내부에 구성되는 유로 구성에 따른 소음문제 해결이 변수로 남아있다.

열 교환기 통과 유량의 편차에 관한 함수는 시스템 흡입구의 면적 및 위치, 전기집진기 및 공기필터의 위치 등, 열 교환기를 통과하기 이전의 부품배치와 송풍기 흡입 방식의 차이를 통한 편차로 나타낼 수 있다.

\* 선문대학교

\*\* 대우전자(주) 에어컨 연구소

E-mail : jwk@sunmoon.ac.kr

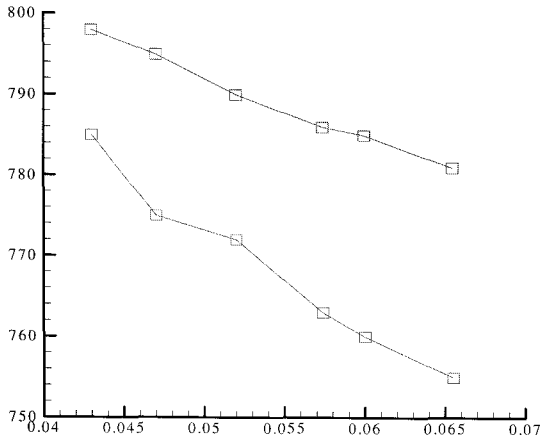


Fig. 1 Flow rate(ordinate in  $m^3/min.$ ) according to inlet area of blower(abscissa in  $m^2$ )

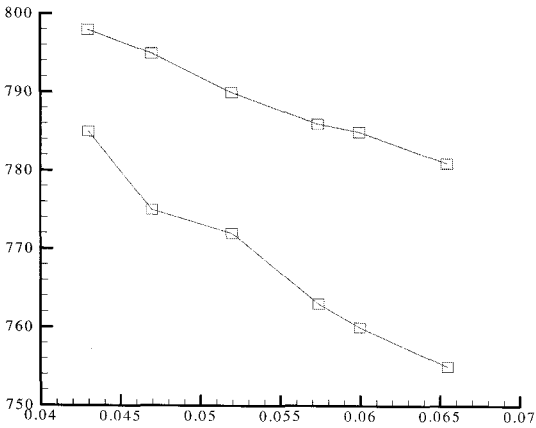


Fig. 2 Variation of rotational speed(ordinate in RPM) according to inlet area(abscissa in  $m^2$ ) of blower

즉, 열 교환기 통과 이전의 부품저항과 열 교환기에 의한 감압은 시스템 저항으로 고려되고, 통과 유동의 형태는 열 교환 효율에 영향을 미치는 변수로 취급되었다.

Fig. 1과 Fig. 2는 흡입부 면적에 따른 송풍기 부하를 측정된 것이다. 송풍기에서 발생하는 난류소음에 영향을 미치는 영역은 열 교환기를 통과한 이후의 유동으로, 공간편차나 유속형태에 의해 송풍기로 흡입되는 유선의 형태가 결정되게 된다.

본 논문의 대상이 되는 공기 순환 방식은 송풍기가 흡입망과 열 교환기를 거쳐 공기를 흡입해야 하므로, 흡입 유로의 형태에 매우 민감한 반응을 보이며, 토출 유속이 강하고, 소음의 측면에서는 흡입부가 토출부에 비해 저소음을 유지하는 특성이 있다.

흡입 유로의 형태에 가장 민감한 반응을 보이는 난류

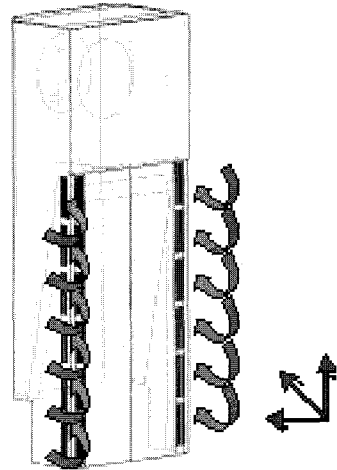


Fig. 3 Flow patterns in indoor unit of A/C

소음은 가장 넓은 주파수 범위에 존재하고, 시스템에 적합한 송풍기 설계능력이 가장 요구되는 소음 형태이다. 송풍기에서 발생하는 난류소음은 시로코 쉘의 날개를 통과하는 유동의 통과 면적에 가장 큰 영향을 받으며, 이러한 통과 면적은 송풍기의 벨 마우스(bell mouth)에 접근하는 유동의 방향에 크게 좌우되고, 송풍기 벨 마우스를 경계로 한 흡입 와동의 반경으로 나타난다. 열 교환기를 통과한 공기는 송풍기의 흡입방향에 수직으로 접근하여 1차 회절을 하게되고, 다시 스크롤 케이싱으로 흡입되기 위해 쉘 날개 사이로 2차 회절을 하게 된다. 이때, 흡입되는 유동의 속도에 따라 회절 와동의 반경이 좌우되는데 이를 각 기호로 표현하면 다음과 같다.

에어컨 실내기의 흡입부가 제품의 측면에 위치하는 경우, 아래의 Fig. 3과 같이, 흡입유동은  $\pm X$  Vector,  $+Y$  Vector,  $+Z$  Vector,  $-Y$  Vector,  $-R$  Vector의 복잡한 유로 형태를 거쳐 송풍기의 양정면에 접하게 되는데, 이는 다시 토출구의 유로에 의한 복잡하게 혼합되어, 토출 된다.

흡입그릴이나 열교환기를 통과하는 유동은 기본적으로 흡입부 부품 배치의 형태에 따라, 각각의 방향성을 가지게 되고, 이러한 방향성은 시스템 저항으로 통합되어 나타난다. 다시 말하면, 열교환기를 통과하기 이전의 유동은 흡입저항변수로 통합될 수 있고, 이것은 가장 문제가 되는 내부수직유동의 초기 유속  $V+y$ 와 연동된다. 또한, 흡입되는 유동의 배치와 연관되어 실질적으로 송풍기 벨 마우스를 통과하는 흡입 유동의 각도별 유속분포와 연관된다.

쉘 날개를 통과하는 유동의 통과면적과 관련된 실내기

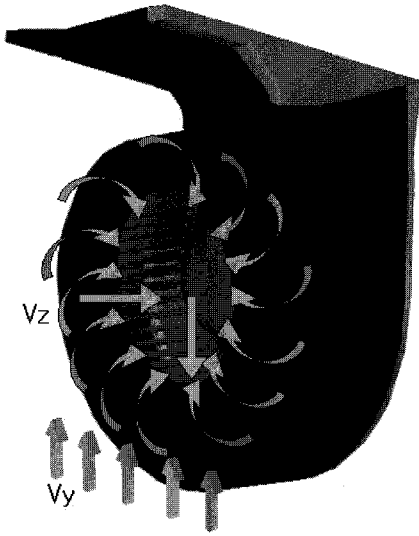


Fig 4 Typical inflows toward blower

내부 유동의 형상은 Fig. 4와 같다.

일정한 곡률을 가지는 유동의 유선곡률반경 R은 유속의 제곱에 비례하고, 구심 가속도에 반비례하며, 구심가속도는 아래의 식(1), 식(2)와 같이 유선의 중심과 유선상의 한 미소 채적이 수직선과 이루는 각  $\beta$ 의 함수로 정의된다. 따라서 밀도와 유선간의 압력변동비가 일정한 조건에서 회절반경의 크기를 줄이기 위해서는 접근유속의 저감을 도모하고,  $\beta$ 의 값을 개선하는 방향으로 접근하는 것이 유리하다<sup>(4)~(5)</sup>.

$$An_y = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial N} - V_{-z} \cdot \text{Cos}\beta \quad (1)$$

$$An_y = -\frac{V_{+y}^2}{R} \quad (2)$$

따라서, 웬 및 하우징의 설계가 제품의 목표성능에 최적화 설계가 이루어진다는 전제하에서, 흡입 유동은 위의 식과 같이 각 방향 흡입유속의 정량적 크기와 각 유속이 이루는 사이 각  $\beta$ 에 의한 함수로 크게 정의될 수 있다.

즉, 각 각의 부품군이 이루는 유동의 안정화는 송풍기의 성능에 부합하여 설계되어야 하며, 역으로 이러한 조건이 만족되어진 상태에서 대상 정압과 풍량을 만족시키는 날개 입출구각, 내외경비, 현절비, 웬 폭 및 축 방향 깊이, 하우징의 확장각, 설부의 간격 등이 최적화 되는 설계되는 것 또한 가능하다.

송풍기의 정압차에 의해 발생하는 유동은 시로코 웬의 반경방향  $V_{+r}$ 이고, 이러한 유동을 지속적으로 유지하기 위한 유량공급원은  $V_{+y}$ 의 형태를 보인다. 또한 이 유동은 Sink Flow인  $V_{-r}$  방향과  $V_{+z}$ 방향의 증첩 유동의 형태로 전환되어 최종적으로 송풍기 내부로 공급된다. 측면에서 살펴보면, 이러한 증첩유동은 유로의 형상에 따라 각각의 반경을 가지고 회절하며 공급되는데, 이러한 회절 반경의 크기가 시로코 웬의 날개 통과면적을 결정하게 된다. 따라서,  $V_{+y}$  Vector와  $V_{+z}$ ,  $V_{-r}$  Vector의 정량적 크기는 회절 되는 유로의 반경을 결정하고, 웬의 날개 통과면적에 결정적인 영향을 준다. 이를 수식으로 정리하면 식 (3)과 같다.

$$\ln R(r) = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho [ [ V_{yzsum} ] \cdot \text{COS}\beta + V_{-y} \cdot \text{COS}\beta ]} \quad (3)$$

여기서,  $V_{yzsum} = [ V_{+y} \cdot \text{COS}\theta + V_{+z} \cdot \text{COS}\theta ]$  이다.

위의 수식에서와 같이, 회절 와동의 크기는 유속의 절대적인 수치와 유선들이 이루는 각도에 좌우되며, 유속이 시스템에 의해 고정되었을 경우, 유동의 접근각도를 개선하는 방향으로 접근하는 것이 바람직하다<sup>(6)</sup>.

아래의 결과들은 유동 편차를 저감하기 위해 열 교환기 통과 유속에 관한 편차저감과 외장과 송풍기 흡입 단과의 흡입 면적조정, 흡입유동의 접근 각도를 개선하기 위해, 송풍기의 장작각도를 개선하여 실험한 것이다.

위의 결과는 열 교환기를 통과하는 유동의 편차가 송풍기의 흡입유동과 소음에 미치는 영향을 측정한 것이다. 열 교환기의 단면을 11×6의 격자로 나누어 각 격자에서 유속을 측정하여, 각 측정점들의 유속편차를 계산하였고, Figs. 5~7에서 보이는 것과 같이 개선전의 유속편차 0.505m/s가 Housing에 진입하는 유동에 그 영향을 전달하는 것으로 나타났다.

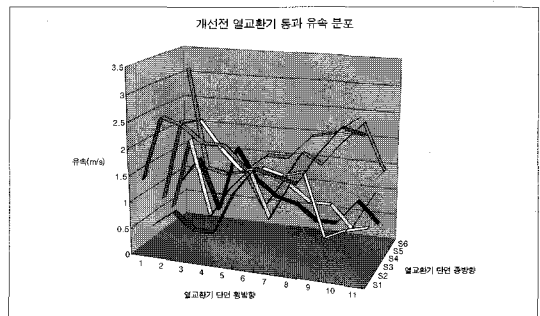


Fig. 5 Magnitude of velocities after evaporator in previous model

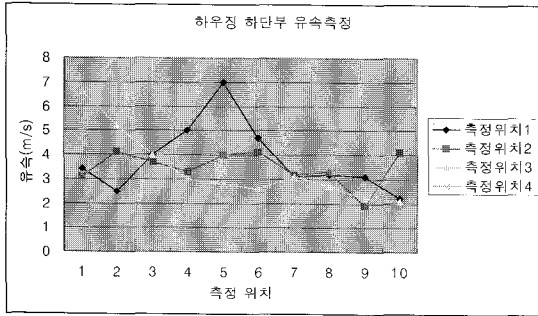


Fig. 6 Distribution of flow velocities at several points in previous model

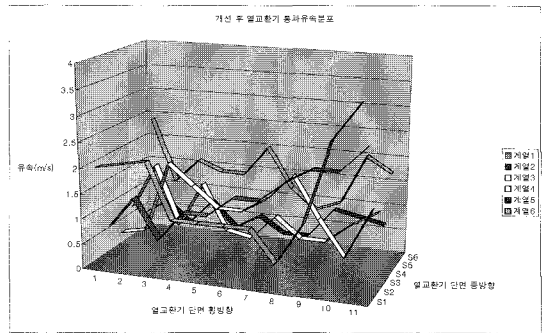


Fig. 9 Same as Fig. 5 except for after improvements

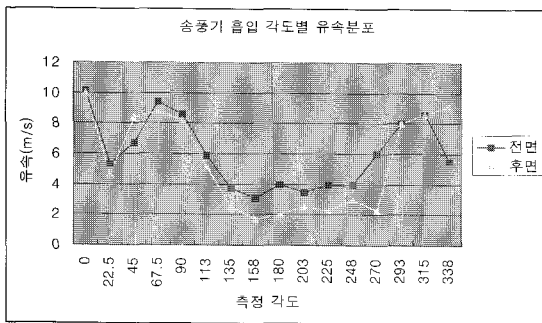


Fig. 7 Flow velocity according to inlet angles in previous model.

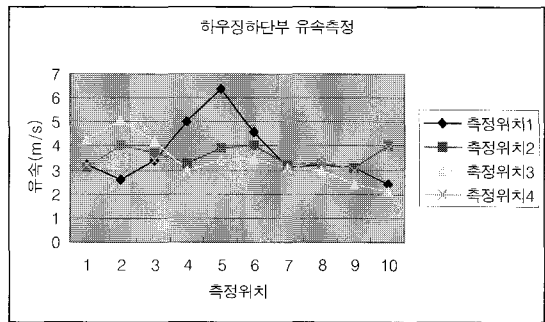


Fig. 10 Same as Fig. 6 except for after improvements

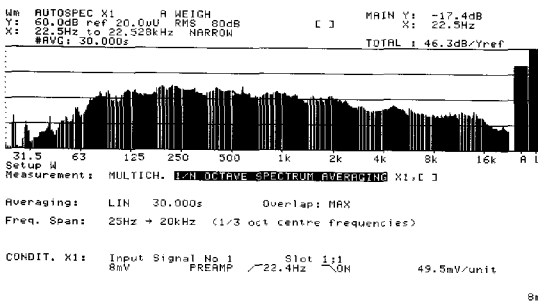


Fig. 8 Characteristics of noise levels before improvements

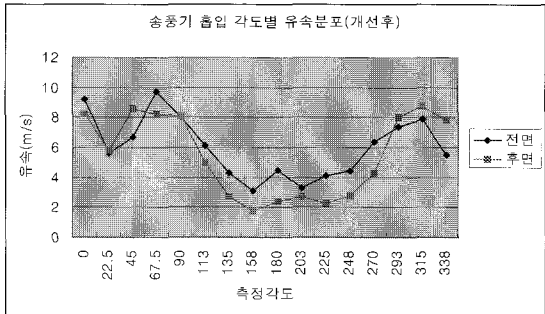


Fig. 11 Same as Fig. 7 except for after improvements

흡입부가 제품의 측면에 배치되는 경우에, 실내기 열 교환기를 통과하는 공기는 그 주유동이 열교환기의 양 측면을 기준으로 통과하게 되고, 이러한 흐름은 그대로 송풍기의 흡입부에 영향을 미치게 된다. 이러한 특성은 양 흡입방식을 적용하는 제품의 경우 그 영향이 상대적으로 작지만, 단 흡입방식을 채택하여 적용되는 경우 제품의 소음에 큰 영향을 미치게 된다. 일반적으로 시로코 휠을 적용한 송풍기의 특성은 흡입벨 마우스의 150°와 290°지역에서 가장 많은 공기유동의 특성을 보이는 반면, 제품내부에 장착되는 경우, 이러한 위치가 흡입부의 위치에 따라 일부 변하게 되며,

측면 흡입부 배치시에는 70°와 300°에서 가장 많은 흡입을 보인다. 이러한 이유는 이 각도에서 공기의 공급이 가장 원활하기 때문이며, 송풍기가 열 교환기와 근접한 거리에 존재할수록 이러한 현상은 증가하게 된다. 송풍기 내부에 유입되는 공기가 일정한 방향에서 진입하므로 휠 날개 통과 면적 대비 유속의 비가 현저하게 증가하여, 유동 소음이 급격히 증가하게 된다.

흡입이 열교환기 측면에 집중되는 것을 억제하기 위해 Mesh를 사용하여 유량을 열교환기 중앙 쪽으로 유도한 후, 동일한 측정을 반복한 결과 Figs. 9~11에서 보이는 것과 같이 열 교환기의 유속편차는 0.422m/s로

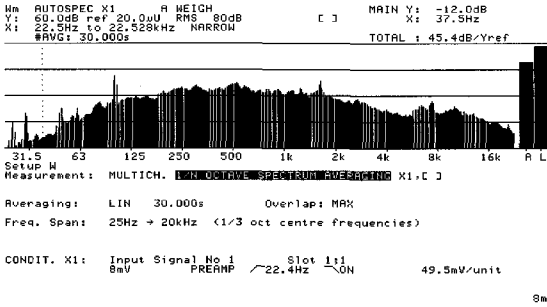


Fig. 12 Same as Fig. 8 except for after improvements

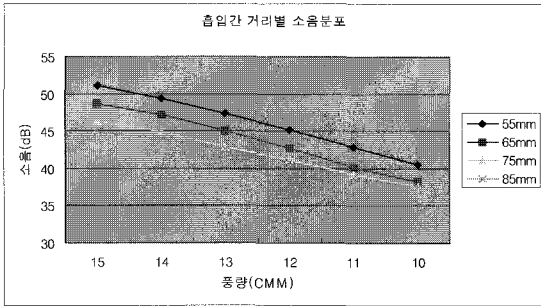


Fig. 13 Noise levels for different operating conditions.

개선되었고, 흡입부의 유동도 개선 전에 비해 그 편차가 줄어들었다. 이러한 결과로 Fig. 8과 2와 같이 발생 소음 대역에서 고체이상소음을 제외한 난류소음대역의 대부분이 저감되는 것을 발견 할 수 있다.

다음으로 송풍기의 흡입부와 Cabinet 사이의 단면적을 변화시키는 실험과 단면적은 유지하고, 흡입 각도를 개선하여 유효흡입면적 및 흡입각도를 개선하는 실험을 진행하였다. 즉, 송풍기를 흡입방향으로 기울여, 흡입면적을 편차 배치하였고, V+y Vector의 유속을 저감하였으며, 흡입 각도를 개선하여, 와동반경을 개선하였다.

송풍기를 제품에 평행하게 설치하고, Cabinet 후면과 송풍기 흡입부 사이의 간격을 조절하여 실험한 결과는 Fig. 13과 같다.

위의 결과를 살펴보면, 풍량이 설계치의 최고점에 위치 할 때에는 흡입간격에 따른 소음차이가 크고, 풍량이 적을때는 그 차이가 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 이는 유량에 따른 흡입유속이 유동면적에 영향을 받기 때문이다.

흡입단면적을 일정하게 유지하는 범위에서, 송풍기를 Fig. 14와 같이 기울이면서 실험한 결과는 아래와 같다.

Cabinet 후면과 송풍기 흡입 벨 마우스 간 단면적은 초기 수직배치의 값인 0.038m<sup>2</sup>을 유지하는 범위에서

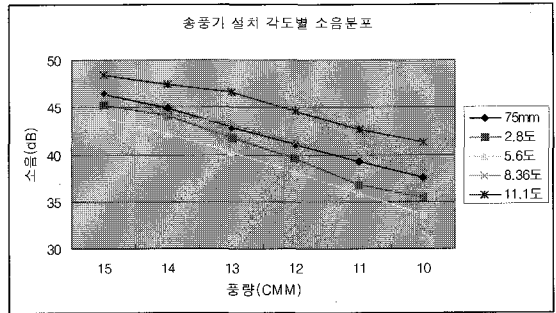


Fig. 14 Same as Fig. 13 except for inlet angle.

설치각을 주는 방식으로 진행하였으며, 각각의 각도는 2.8°, 5.6°, 8.3°, 11.1°이다. 아래의 결과를 살펴보면, 일정 각도까지는 각 풍량 대역 별로 소음저감의 효과가 나타나지만, 일정 각도 이상으로 설치되면, 오히려, 소음이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 Stand Type A/C의 토출단 특징에 따른 송풍기의 토출 정압 불안정이 원인이 되는 현상으로 보이며, 각 대상 풍량대역 별로 최적점을 보이는 각도로 선정이 중요하는 것을 의미한다.

위의 결과와 같이 흡입 유동의 각도를 개선한 결과 벨 마우스내부로 유입되는 와동의 반경이 줄어들어 날개 통과 면적이 증가하는 것을 유추할 수 있다. 또한, 이는 500Hz에서 2.5kHz 대역의 소음저감효과를 가져온다는 것을 알 수 있다. 또한, 흰 중심을 축으로 흡입방향 180°에 걸치는 벨 마우스 Guide Bender 또한, 적절한 효과를 기대할 수 있다.

제품의 크기에 대한 제한이 존재하기 때문에, 열 교환기와와의 거리를 늘려주기 위해 토출부와와의 거리를 너무 근접하게 위치시키면, 발생된 유동소음의 흡음면적이 작아져서, 전체 제품의 소음저감에 좋지 않다. 따라서, 송풍기 위치별 발생소음의 정량적 수치와 흡음면적에 따른 흡음량의 비교를 통해 가장 적당한 위치에 장착시키는 것이 중요하다.

### 3. 결론

에어컨 실내기의 유동소음을 저감하는데 있어서 흡입유동의 유선형상과 유속은 송풍기의 성능에 매우 중요한 영향을 미치며, 이러한 유동을 제품에 유리한 방향으로 개선함으로써, 소음저감에 효과가 있음을 확인하였다. 특히, 송풍기의 흡입부가 존재하는 부분의 체적과 수직 단면적에 따른 성능변화를 관찰하였다. 결과적으로는 유동의 흡입과 토출에 있어서의 양 방향

균형을 유지함으로써 맥동과 같은 불리한 유동 요소를 원천적으로 제거하였고 더 나아가서 유로의 단순화를 통해 유동의 소음을 제거할 수 있었다.

### 참고문헌

- (1) 민현석, 안철오, 류호선, 1997, "Neural Network을 이용한 시로코 팬 설계 인자 분석," 유체기계연구개발협의회 '97 강연회 및 연구개발 발표회 논문집, pp. 137~144.
- (2) 김제원, 1999, "송풍장치 설계의 최적화에 관한 연구," 공조기술 지역연구센터 과제.
- (3) Takashi Kato, 1992, "Low Noise Technologies for Packaged Type Air Conditioners," Refrigeration, Japan, Vol. 67, No.776, pp. 50~57.
- (4) 맹주성, 윤준용, 안태범, 윤종은, 한덕전, 1999, "다익 팬/스크롤 시스템의 로터 내부 유동 특성에 관한 실험적 연구," 대한기계학회논문집 B권, 제23권 제5호, pp. 646~652.
- (5) 하재홍, 문영준, 2000, "시로코팬의 3차원 유동 특성 및 성능에 대한 전산해석" 설비공학논문집 제12권 제7호, pp. 674~679.
- (6) 김장권, 1995, "저소음 패키지 에어컨 개발에 관한 연구," 대한기계학회논문집, 제10권, pp. 2710~2719.