

## 에어컨 실외기 토출그릴 형상 최적화

최 석 호<sup>†</sup>, 오 세 기, 김 현 종, 진 근 호, 오 시 영, 김 병 순\*  
 LG전자 AE연구소, \*LG전자 CAC연구소

### A Study on the Optimization of Discharge Grille of Outdoor Unit of Air Conditioner

Seok-Ho Choi<sup>†</sup>, Sai-Kee Oh, Hyun-Jong Kim,  
Geun-Ho Jin, Si-Young Oh, Byung-Soon Kim\*

*AE Laboratory, LG Electronics Inc., Seoul 153-802, Korea*

*\*CAC Laboratory, LG Electronics Inc., Gyeongnam 641-713, Korea*

*(Received September 2, 2011; revision received October 6, 2011)*

**ABSTRACT:** The aerodynamic and aeroacoustic performance of discharge grille of outdoor unit of air-conditioner was investigated in this study. Discharge grille is one of outdoor unit's important parts to affect the flow rate and Overall Sound Pressure Level(OSPL). New type of discharge grille was suggested based on the results of numerical simulation. To simulate the flow pattern near the propeller fan, commercial flow solver FLUENT was used. Sliding mesh method was used for rotating propeller fan and initial condition for unsteady model was calculated by Multiple Reference Frame(MRF) method. To minimize the interaction noise between fan blade wake and discharge grille, new discharge grille has radial rib which is aligned with trailing edge of fan blade. And inclined radial rib was adopted for reducing flow rate drop in discharge grille. The optimization of inclined angle of radial grille was performed experimentally.

**Key words:** Discharge grille(토출 그릴), Air conditioner(에어컨), Propeller fan(프로펠러 휠), Outdoor unit(실외기)

#### 기 호 설 명

$C_1, C_2, C_\mu$  : standard  $k-\epsilon$  모델의 실험상수  
 $k$  : 난류 운동에너지  
 $P$  : 압력 [ $N/m^2$ ]  
 $Q$  : 유량 [ $m^3/min$ ]  
 $u$  :  $x$  방향의 속도성분 [ $m/s$ ]

$v$  :  $y$  방향의 속도성분 [ $m/s$ ]  
 $w$  :  $z$  방향의 속도성분 [ $m/s$ ]

#### 그 리 스 문 자

$\rho$  : 밀도 [ $kg/m^3$ ]  
 $\nu$  : 층류 동점성계수 [ $m^2/s$ ]  
 $\nu_t$  : 난류 동점성계수 [ $m^2/s$ ]  
 $\epsilon$  : 난류 소산에너지  
 $\sigma_k, \sigma_\epsilon$  :  $k, \epsilon$ 의 난류 Prandtl 수  
 $\phi$  : 유량계수

<sup>†</sup> Corresponding author  
 Tel.: +82-10-2301-3209; fax: +82-2-6915-1069  
 E-mail address: seokho.choi@lge.com

## 하첨자

$i, j$  : 텐서 인덱스

## 1. 서 론

최근 생활수준이 향상됨에 따라서 쾌적한 생활을 영위하기 위해 에어컨의 사용이 날로 증가하는 추세이다. 에어컨에서 냉방능력을 높이기 위해서는 실외기의 풍량을 높이는 방법이 있다. 그러나 실외기의 풍량 상승은 소음 상승과 직결된다. 특히 분리형 에어컨의 실외기의 경우 건물 외벽에 주로 설치됨에 따라서 사용자 본인뿐만 아니라 주변의 이웃에게도 소음이 전달되는 문제점이 있다. 이에 따라 환경부에서는 에어컨을 포함한 가전제품의 소음등급제를 마련하고자 준비하고 있다. 소음에 대하여 민감할 수 있는 에어컨, 세탁기, 냉장고 등의 생활가전제품에 소음등급제를 마련하여 소비자의 선택권 확보 및 기업 간 저소음제품 개발의 자발적 유도 및 제품의 수출경쟁력 확보를 목표로 하고 있다. 따라서 에어컨 실외기에 대한 저소음화는 지속적으로 연구해야 할 문제이다.

에어컨 실외기의 소음원은 크게 팬 및 유로에 의한 공력소음과 압축기에 의한 구조진동음으로 나눌 수 있다. 이 중 팬 및 유로에 의한 공력소음에 대한 연구는 주로 프로펠러 팬에 대하여 집중되어 기존의 많은 연구가 진행되어 왔다. Jang et al.<sup>(1, 2)</sup>은 에어컨 실외기에 적용된 프로펠러 팬 주위에서 발생하는 볼텍스(vortex)의 종류 및 생성원리를 규명하고, 발생된 볼텍스의 비정상 거동에 대한 연구를 수행하였다. Jiang et al.<sup>(3)</sup>은 수치해석을 통한 유동해석 결과를 바탕으로 에어컨 실외기 프로펠러 팬의 공력소음을 예측하는 기법에 대한 연구를 수행하였다. 에어컨 실외기에서 공력소음에 영향을 주는 부품으로 프로펠러 팬 이외에도 유로를 형성하는 토출그릴(discharge grille) 및 오리피스(orifice)가 있으며 그 중 토출그릴에 대한 연구는 거의 진행된 것이 없다. Jie et al.<sup>(4)</sup>만이 실외기 그릴의 형상에 대한 연구를 수행하였으며, 사각형 격자형태의 그릴과 원형형태의 그릴 두 종류를 공력소음 측면에서 비교분석하였다.

토출그릴은 외부로부터 이물질의 침입에 대하여 팬을 보호하는 역할 및 회전하는 팬으로부터 사용자의 안전성을 확보하고자 설치된다. 토출그릴이

팬의 후류에 설치됨에 따라 팬의 성능저하를 초래하며, 팬 후류와의 간섭소음에 의하여 소음이 발생하게 된다. 에어컨 실외기의 공력소음에 대한 연구 중 프로펠러 팬에 대한 연구는 이미 많이 진행되었고, 토출그릴이 실외기 유량 및 소음에 큰 비중을 차지하고 있으므로 본 연구에서는 실외기의 토출그릴 형상에 대한 연구를 수행하고자 한다. 수치해석을 통하여 프로펠러 팬의 토출유동의 특성을 분석하여 새로운 그릴형태를 제안하며, 새롭게 제안된 그릴형태를 가지고 송풍소음에 대한 인자 최적화를 소음실험으로 수행하였다.

## 2. 수치해석 및 실험장치

### 2.1 수치해석

실외기의 프로펠러 팬의 후류와 토출그릴 사이의 간섭에 의하여 발생하는 소음을 개선하기 위하여 팬 후류의 유동특성을 분석할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 프로펠러 팬의 유동특성을 분석하기 위하여 수치해석을 수행하였다.

프로펠러 팬에 의해서 야기되는 실외기의 내·외부 유동에 있어서 난류발생이 예상되므로 난류모델을 기본적 이론모델로 도입한다. 난류해석을 위한 수치적 시뮬레이션으로 현재 광범위하게 적용되고 있는 standard  $k-\epsilon$  난류모델을 도입하며, 선정된 난류모델의 수치해석을 위해 사용되는 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left( P + \frac{2}{3}k \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\nu + \nu_t) \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

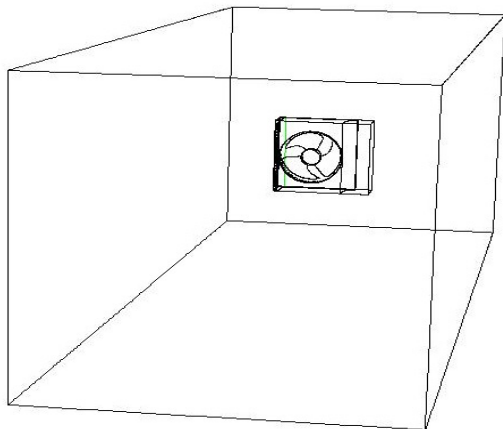
$$\frac{\partial k u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \nu_t S - \epsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial \epsilon u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\epsilon}{k} (C_1 \nu_t S - C_2 \epsilon) \quad (4)$$

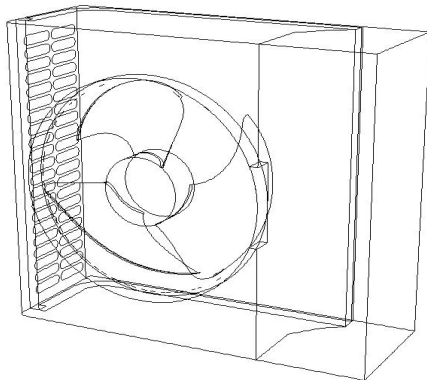
여기서,  $S = \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$ ,  $\sigma_k = 1.0$ ,  $\sigma_\epsilon = 1.3$ ,

$$C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, C_\mu = 0.09, \nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \text{이다.}^{(5)}$$

본 연구에서는 컴퓨터를 활용한 수치적 시뮬레이션으로 현재 많이 사용되고 있는 상용 코드인 FLUENT를 이용하였다. 비선형 방정식을 풀기 위해 하향 이완(under-relaxation)을 사용하였으며, 압력과 속도를 결합하여 유동장을 풀기 위해 SIMPLE 알고리즘<sup>(6)</sup>을 채택하였다. 운동량방정식 및 난류방정식에서는 2계 상류 도식이 사용되었다. Fig. 1에 수치 해석 영역 및 실외기 형상을 나타내었다. 프로펠러 웬은 복잡한 곡면의 형상을 가진 블레이드로 이루어져 있으므로, 실외기 내부는 비정렬 삼각형 격자(5,173,117개)를 사용하였고, 실외기 외부 영역은 격자 수를 줄이기 위하여 육면체의 정렬 격자(1,781,004개)를 사용하였다. 축류웬의 회전유동을 모사하기 위하여 회전체 모델링 기법인 sliding mesh 기법을 사용하였으며, 비정상 상태 해석의 초기조건을 구하기 위하여 MRF(multiple reference frame)를 이용하였다.



(a) Whole domain



(b) Outdoor unit

Fig. 1 Computational domain.

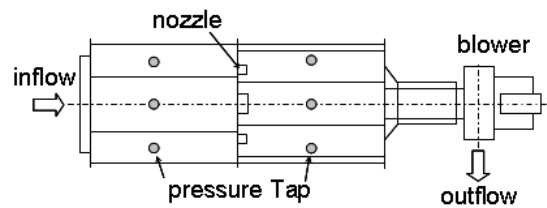
## 2.2 실험장치

### 2.2.1 풍량측정실험

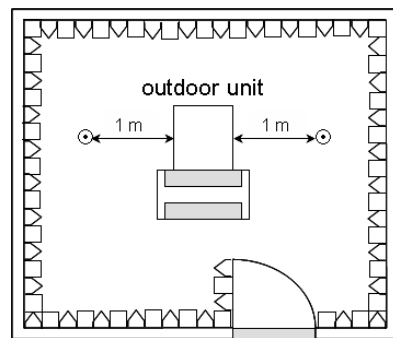
실외기의 풍량을 측정하기 위하여 Fig. 2(a)에 도시한 웬 테스터(fan tester) 실험장치를 이용하였다. 웬 테스터에 의한 풍량 측정은 KS C 9306 : 2010 (에어컨디셔너)의 풍량 측정 방법에 준하여 수행되었으며, 풍량 측정 장치의 종류는 노즐법을 따른다. 노즐법은 KS A 0612에서 규정하고 있는 노즐을 사용하여 노즐 전단과 후단의 차압을 측정함으로써 풍량을 구하는 방법이다. 노즐 전후의 압력은 풍동에 설치된 압력탭과 압력변환기(pressure transducer)를 연결하여 측정되며, 압력변환기에서 출력된 신호는 컴퓨터를 통하여 기록된다.

### 2.2.2 소음측정실험

소음의 측정은 Fig. 2(b)에 도시한 무향실(anechoic chamber)에서 수행되었다. A-weighted 음압 레벨(SPL)을 측정하기 위한 무향실은 ISO 14695 : 2003(Industrial fans. Method of measurement of fan vibration)의 규격에 준하여 설계되었다. 음압 레벨을 측정하기 위하여 사용된 장비는 B&K Pulse 3560B, B&K 1/2" 4190 마이크로폰이 사용되었으며, 실험을 시작할 때마다 교정을 실시하였다. 추가적인 장비로는 웬의 회전수를 측정하기 위한 타코미터(tachometer)와 삼각대가 사용되었고, 실험실 공



(a) Fan tester



(b) Anechoic chamber

Fig. 2 Experimental apparatus.

기 상태를 측정하기 위하여 온도계와 기압계가 사용되었다.

소음측정을 위한 마이크로폰의 위치는 실외기의 전후 두 곳에 위치하며, 두 측정값 중 높은 소음치로 실외기의 소음을 대표한다. 마이크로폰의 높이는 모터축의 높이와 같이 유지하고, 전방 마이크의 경우 실외기 전면 중앙에서 수직으로 1 m거리에서, 후방 마이크의 경우 실외기 후면 중앙에서 수직으로 1 m거리에 위치한다. 무향실의 크기는 5.0 m×5.0 m×5.0 m이며, 암소음(ambient noise)은 18.1 dB이다.

### 3. 수치해석 및 실험결과

#### 3.1 실외기 프로펠러 휠의 유동특성

기존의 에어컨 실외기에 많이 적용되던 원형 형태의 토출그릴을 Fig. 3에 나타내었다. 토출그릴은 프로펠러 휠의 토출부에 위치하며 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 원형살(circular rib)과 방사형살(radial rib)로 구성되어 있다. 원형살의 경우 그 두께와 간격은 그릴의 강성 및 사용자의 안전성을 만족하는 범위 내에서 유동저항이 최소화 될 수 있도록 최소두께 및 최대간격으로 설계되므로 조절 가능한 인자가 없다. 따라서 본 연구에서는 토출그릴 중 방사형살에 대하여 휠의 토출유동 특성을 반영한 새로운 형상을 도출하고자 한다.

Fig. 4에 휠 토출구에서의 와도(vorticity) 분포를 나타내었다. 휠 블레이드에 의하여 발생된 유동은 끝전(trailing edge)에서 블레이드와 떨어지면서 후류(wake)를 형성한다. 후류가 생성되는 형태는 와도의 분포에 의해서 파악할 수 있으며 그 형태가 블레이드 끝전의 라인을 따라서 생성되는 것을 Fig. 4에서 볼 수 있다. 실외기의 토출측에서 발생하는 소음은 휠의 블레이드 자체에 의한 소음과 휠의 후류와 토출그릴 살과의 간섭에 의한 소음이다. 휠 후류와 그릴의 간섭소음은 정의불이 축류팬(vane axial fan) 시스템에서 휠과 토출측 가이드 베인(outlet guide vane) 사이에서 발생하는 간섭소음과 동일한 현상이며 이는 기존에 많은 연구가 수행되었다.<sup>(7-9)</sup> 토출그릴의 방사형 살이 직선인 경우 곡선형태를 가지는 블레이드 끝전에서 발생하는 후류와 더 많은 간섭을 가지게 되어 후류의 불안정성이 더 커지게 된다. 따라서 본 연구에서는 이 간섭을 최소화하기 위

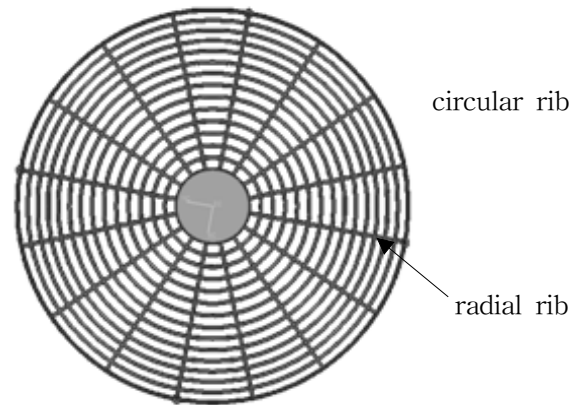


Fig. 3 Configuration of outlet grille(base model).

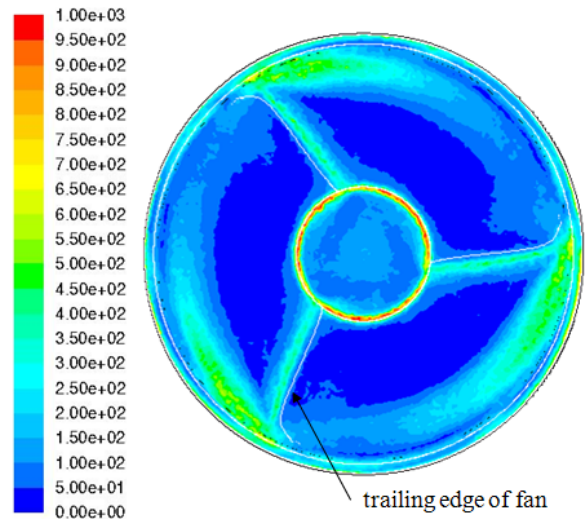


Fig. 4 Contour of vorticity magnitude on fan exhaust surface[1/s].

하여 토출그릴의 방사형살 형상을 블레이드 끝전의 형상과 같이한 새로운 형태의 그릴을 개발하였다. Fig. 5에 새로운 형태의 토출그릴을 나타내었으며, 휠 블레이드의 끝전과 그릴의 방사형살이 맞춰진 것을 볼 수 있다. 이와 같이 방사형살의 형상을 휠의 끝전과 동일하게 하면 휠 후류에서 발생하는 와류의 띠와 방사형 살과의 간섭을 줄여서 후류를 안정시키고 소음을 저감할 수 있다.

새로운 형태의 그릴에 대한 소음 개선 여부를 알아보기 위하여 기준 풍량에서 실외기의 송풍소음을 비교하였다. 그 결과 기존 직선형태의 방사형살에 비하여 휠의 끝전형태에 맞춘 방사형살을 가진 토출그릴의 경우 Table 1에 나타낸 것과 같이 동일 풍량에서 소음이 0.5dB 개선되었다.

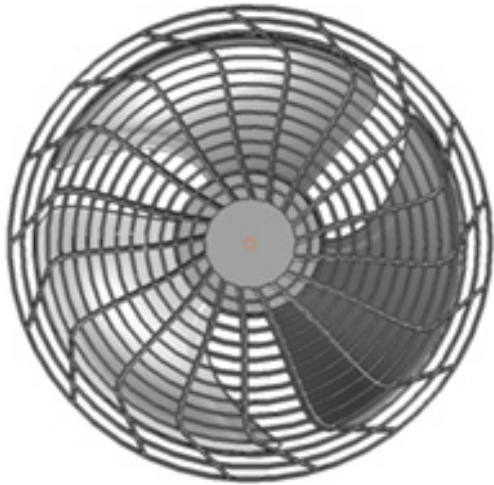


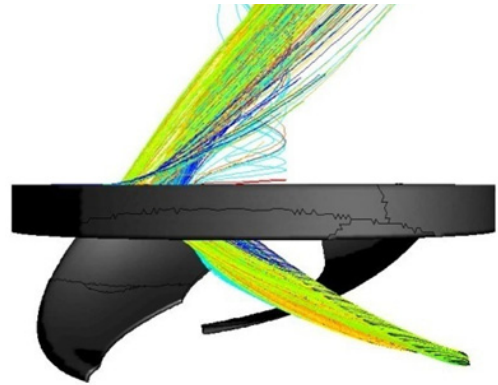
Fig. 5 Configuration of new outlet grille aligned with trailing edge of blade.

Table 1 Noise level of outdoor unit according to discharge grille type(at  $\phi = 0.29$ )

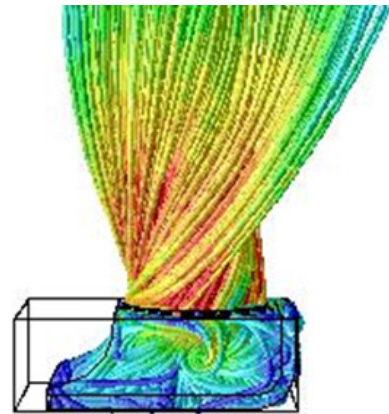
| Radial grille type | OSPL[dB] |
|--------------------|----------|
| Linear             | 52.0     |
| Trailing edge      | 51.5     |

프로펠러 쉘의 경우 쉘의 특성상 토출유속에 회전방향으로의 속도성분을 가지게 된다. 이 회전방향 속도성분은 결국 소멸하게 되어 프로펠러 쉘의 손실이 된다. 이러한 손실을 막기 위한 시스템으로는 정익블레이드 축류쉘이 있으나 이를 에어컨 실외기에 도입하기에는 공간상의 제약으로 어려운 실정이다.

수치해석 결과를 바탕으로 프로펠러 쉘의 토출유동 특성을 분석하기 위하여 토출유동 패턴을 Fig. 6에 나타내었다. 앞서 언급한 바와 같이 프로펠러 쉘의 회전방향(반시계)으로 토출 유동이 회전하는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 프로펠러 쉘에서 회전속도 성분은 블레이드의 허브(Hub)측에서 크게 나타나며 팁(Tip)측으로 갈수록 약해진다. 회전속도 성분을 정압으로 회수해 주는(static regain) 장치인 출구측 가이드 베인을 장착하기에는 실외기의 공간상의 제약으로 어려운 실정이다. 이러한 경우에는 회전속도 성분에 대한 저항을 최소화하는 것이 좋다. 따라서 본 연구에서는 기존의 방사형살이 쉘의 축방향과 평행하게 설치되어 있는 것을 쉘 토출유동에 맞추어 경사지게 설치하도록 한다. 이 때 허브측의 경사각을 팁측의 경사각보다 크게 하는 Twist type을 적용하며 경사각에 대한 최적값을 풍량 및 소음 실험을 통하여 구한다.



(b) Path line from fan blade



(b) Path line from outdoor unit

Fig. 6 Exhaust flow pattern of propeller fan (flow path line).

### 3.2 토출그릴 인자 실험

수치해석을 통해서 도출된 새로운 형상의 토출그릴에 대하여 방사형살의 각도에 대한 풍량 및 소음 실험을 수행하였다. 방사형살의 기본 형상은 앞서 소음개선 효과가 확인된 블레이드 끝전에 맞춘 형상으로 하였다. 또한, 유동해석의 결과에 따라 허브측의 경사각을 팁측의 경사각보다 크게 설계하였으며, 팁측과 허브측 사이의 각도변화는 선형변화를 적용하였다. 방사형살의 각도에 따라서 총 실험 횟수는 6가지로 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타낸 각도는 Fig. 7에 도시한 것처럼 기울어져 있는 방사형살의 면과 쉘 축방향이 이루는 각도를 의미한다.

6가지 토출그릴을 실외기에 장착하여 소음특성을 비교하였다. 서로 다른 토출그릴의 소음을 비교하기 위해서는 에어컨이 요구하는 능력을 내기 위한 기준 풍량에서의 소음값으로 비교하여야 한다. 따라서



소음 비교를 위한 실험순서는, 우선 웬 테스트에 실외기를 설치하여 웬의 회전수대비 풍량을 측정한다음 무향실에서 웬의 회전수대비 소음을 측정하여 최종적으로 풍량대비 소음 결과를 비교하였다.

Table 2에 나타난 6가지 경우에 대한 실험 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 풍량변화에 따른 실외기 송풍 소음값의 변화를 각각의 토출그릴 Type 별로 비교하였다. 경사각이 제일 작은 Type 1이 동일 풍량

Table 2 Noise test cases according to twisted angle of radial grille

|              | Twisted angle[°] |    |    |    |    |    |
|--------------|------------------|----|----|----|----|----|
|              | 10               |    |    | 20 |    | 30 |
| Hub angle[°] | 10               | 20 | 30 | 20 | 30 | 30 |
| Tip angle[°] | 0                | 10 | 20 | 0  | 10 | 0  |
| Grille type  | 1                | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |

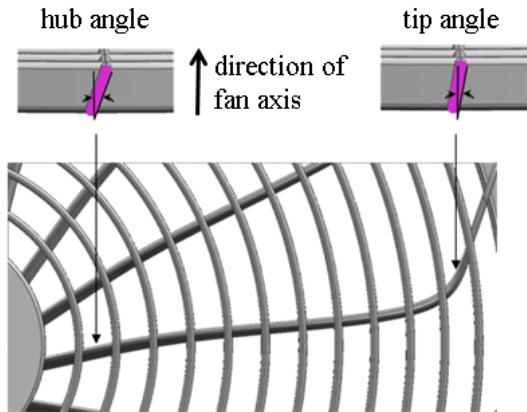


Fig. 7 Configuration of twisted radial grille.

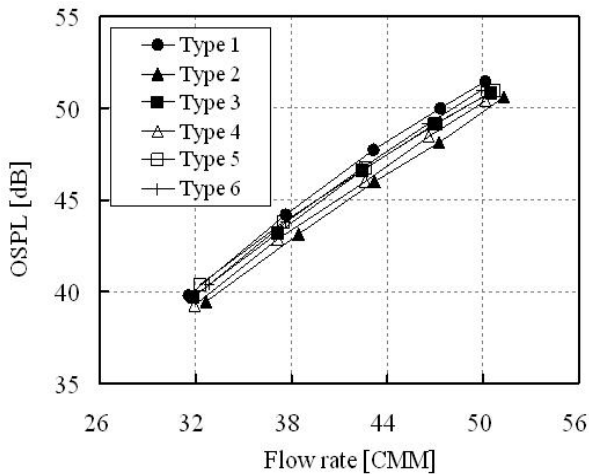


Fig. 8 Comparison of noise level according to discharge grille type.

대비 소음이 가장 높게 나타났으며, 허브측 경사각 20°, 팁측 경사각 10°의 Type 2가 동일 풍량대비 소음이 가장 낮게 나타났다. 경사각이 가장 작은 경우 (Type 1) 및 경사각이 큰 경우 (Type 3, Type 6)는 프로펠러 웬의 토출 유동각과 맞지 않아서 유동저항이 증가하게 되고, 그에 따라 풍량이 감소하여 기준 풍량 대비 소음이 상승하는 결과가 나타났다. 따라서 실외기 토출그릴의 방사형살의 경사각도는 프로펠러 웬의 토출유동에 맞는 최적값이 존재함을 알 수 있다. 본 연구에서 제시된 방사형 그릴의 최적 경사각도는 본 연구에 적용된 프로펠러 웬에 맞춰진 최적각도이며 웬의 블레이드 각도(pitch angle)가 변경되거나 시스템 저항이 변경되는 경우에는 그 최적값이 달라질 수 있다. 본 연구에 적용된 프로펠러 웬의 경우 블레이드 각도가 팁측에서 24°이며 허브측에서는 37°이다. 방사형살의 각도까지 최적화된 최종 형태의 토출그릴은 기존 토출그릴에 비하여 2dB 소음이 개선되는 효과가 있다.

#### 4. 결 론

에어컨 실외기의 송풍 시스템인 프로펠러 웬에 대한 유동분석을 통하여 새로운 형상의 토출그릴에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 에어컨 실외기 프로펠러 웬의 토출면에서 와도의 분포를 분석해본 결과, 끝전에서 생성되는 후류와 토출그릴과의 간섭소음을 최소화하기 위해서는 토출그릴의 방사형살을 끝전의 형태에 맞춰서 설계하는 것이 바람직하다. 이 때, 기존 직선형태의 방사형살의 경우 소음이 0.5dB 낮게 측정되었다.

(2) 에어컨 실외기 프로펠러 웬의 토출속도성분에는 웬이 회전함에 따라 회전방향으로의 속도성분을 가지게 된다. 토출그릴에 의한 유동저항을 최소화하기 위해서는 이 회전방향 속도성분에 맞게 방사형살을 경사지게 설계해야 한다.

(3) 방사형살의 경사각은 블레이드의 팁측에 비해 허브측을 크게 가져가는 것이 좋으며, 본 연구에 적용된 실외기의 경우 허브측 경사각 20°, 팁측 경사각 10°에서 최적의 소음성능을 나타내었다.

#### 참고문헌

1. Jang, C. M., Furukawa, M., and Inoue, M., 2001,

- Analysis of vortical flow field in a propeller fan by LDV measurements and LES-Part 1 : Three-dimensional vortical flow structures, *Journal of Fluids Engineering-Transactions of the ASME*, Vol. 123, pp. 748-754.
2. Jang, C. M., Furukawa, M., and Inoue, M., 2001, Analysis of vortical flow field in a propeller fan by LDV measurements and LES-Part II : Unsteady nature of vortical flow structures due to tip vortex breakdown, *Journal of Fluids Engineering-Transactions of the ASME*, Vol. 123, pp. 755-761.
  3. Jiang, C. L., Chen J. P., and Chen, Z. J., 2007, Experimental and numerical study on aeroacoustic sound of axial flow fan in room air conditioner, *Applied Acoustics*, Vol. 68, pp. 458-472.
  4. Jie, T., Hua, O., and Yadong, W., 2009, Experimental and numerical study on aerodynamic noise of outdoor unit of room air conditioner with different grilles, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 32, pp. 1112-1122.
  5. Fluent Version 5.0 Users Manual, Fluent Inc.
  6. Patankar, S. V., 1980, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Taylor and Francis.
  7. Envia, E. and Nallasamy, M., 1999, Design selection and analysis of a swept and leaned stator concept, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 228, No. 4, pp. 793-836.
  8. Morfey, C. L., 1970, Sound generation in subsonic turbomachinery, *J. Basic Eng.*, Vol. 92D, 450-458.
  9. Chen, M. Z. and Wu, X. H., 1999, Vortex simulation of rotor/stator interaction in turbomachinery, *Trans. ASME*, Vol. 121, pp. 358-364.