

에어컨 실내기 터보팬의 소음 저감

Noise Reduction of Turbo Fans for Air-Conditioner Indoor Units

김진백**·최원석***·구형모****·이재권****

Jin Baek Kim, Weon Seok Choi, Hyoung Mo Koo and Jai Kwon Lee

Key Words : Turbo-Fan(터보팬), 4-WAY Cassette(4-Way 카세트), Shroud(쉬라우드), Blade(날개), Bellmouth(벨마우스)

ABSTRACT

A turbo-fan for the 4-way cassette indoor units of air-conditioners has been investigated. The main purpose of this investigation is the reduction of the turbo-fan noise. In order to reduce the noise level, many design parameters of turb-fans such as blade section, blade thickness, geometry of blade leading edge, blade width, blade angle and bellmouth depth have been studied. With the experimental data of these parameters, a new turbo-fan was made for our system. The noise level of the new system was at least 3 dB(A) lower than that of the current in use.

구를 진행하면서 시험팬 간의 소음 스펙트럼과 채 감적인 소음 평가도 동시에 진행하였다.

———— 기호설명 ————

- Z : 날개수
- D_2 (mm) : 외경
- D_1 (mm) : 내경
- W (mm) : 날개폭
- T_{max} (mm) : 날개최대두께

2. 4-WAY 카세트 실내기

1. 서론

2.1 4-Way 카세트 구조와 종래의 터보팬
4-Way 카세트의 구조는 (그림 1)과 같다.

최근 천정매립형 4-Way 카세트 에어컨의 보급이 확대되고 있다. 사무실, 학교, 공공건물 등 다양한 곳에 설치가 가능하며 공간 활용성과 운전 제어가 뛰어나고 냉,난방 효율성이 우수하여 지속적인 발전이 예상된다. 사용자의 편의와 쾌적성을 위해서는 기본적인 냉,난방능력이 확보되어야 하고 설치 기술과 기류제어 등의 기술을 종합적으로 고려하여야 한다. 특히 실내의 쾌적성은 실내기의 성능과 소음 수준과 많은 관계가 있다. 4-WAY 카세트는 내측에 터보팬과 구동 모터 그리고 토출 측에 열교환기를 위치시키고 흡입, 토출 유로가 형성되는 구조를 갖고 있다. 터보팬과 주변 구성 요소와 유로 등의 여러 부분이 성능과 소음 수준에 함께 영향을 미치지만 기본적으로 터보팬 자체가 고효율의 구조로 설계되어야 하며 저소음의 특성을 갖는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 터보팬의 여러 설계 인자들을 실험을 통해 성능과 송풍소음 관점에서 고찰하였다. 실내기의 실사용 조건을 위주로 풍량과 소음레벨을 평가하였으며 연

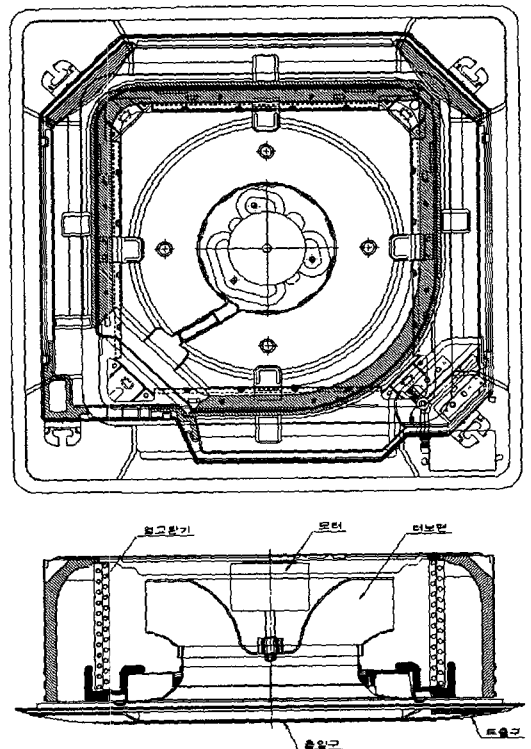


Fig. 1 4-Way 카세트 실내기 구조

* 삼성전자

E-mail : jinbaek.kim@samsung.com
Tel : (031) 200-6065, Fax : (031) 200-6416

** , *** , **** 삼성전자

4-Way 카세트는 (그림 1)과 같이 터보팬과 구동모터가 세트의 중앙에 위치하며 팬 토출측 외곽에 열교환기가 둘러져 있다. 별도의 팬 케이싱이 없으며 전면의 판넬 중앙부에 흡입구가 형성되고 열교환기 외측의 유로를 따라 흡입구 둘레로 4 방향의 토출구가 있는 구조이다. 설치 시에는 흡입구와 토출구만인 천정면에 노출이 되고 나머지 부분은 천정 내에 설치된다.

(그림 1)은 기존 터보팬이 조립된 형상이다. (그림 2)의 시험팬의 형상과 비교하면 허브 부분과 쉬라우드 부분의 설계 형상이 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

(1) 기존의 터보팬

기존의 터보팬은 날개 형상이 3 차원으로 뒤틀려진 익형의 복잡한 구조이다. 날개 형상이 복잡하기 때문에 사출성형의 생산성이 떨어지는 단점이 있어서 이 점에 대한 개선이 필요한 실정이었다. 본 연구에서는 성능과 송풍소음 특성의 개선과 함께 팬 설계의 단순화에 초점을 맞추었다. 기존팬의 성능, 소음특성과 제품의 양산성을 동시에 개선하고자 한 것이다.

기존팬의 중요한 설계 인자인 내/외경, 날개수, 날개폭, 날개 최대두께는 다음과 같다. $D_1=333$, $D_2=460$, $Z=7$, $W=100$, $T_{max}=11.0$ 이다. 이러한 설계 인자 외에 팬의 허브의 형상이나 쉬라우드의 형상 등도 성능과 소음에 영향을 미치는 설계 인자이다. 기존 터보팬의 허브와 쉬라우드 형상의 개선이 필요하여 신규 팬에서는 (그림 2)와 같은 형상의 허브와 쉬라우드를 적용하였다.

3. 시험 터보팬

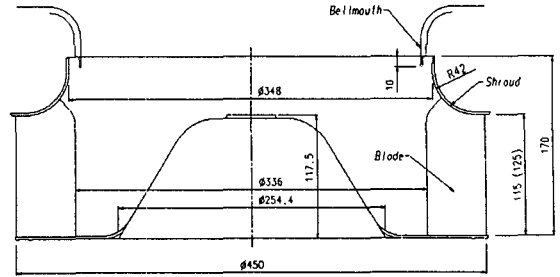
3.1 시험 터보팬의 설계 인자

터보팬의 성능과 송풍소음 특성에 영향을 검토하기 위하여 다음 (표 1)과 같은 설계 인자로 팬을 설계하여 시험팬을 제작하여 평가하였다,

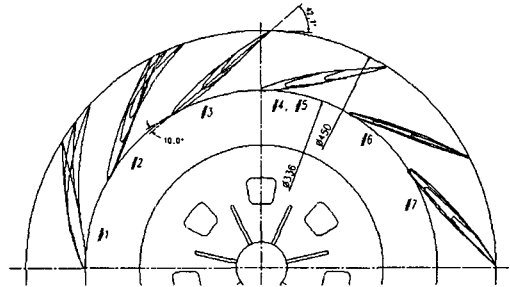
Table 1 평가용 시험팬별 설계 인자

No.	W	T_{max}	날개 단면 형상
#1	115	11.3	3D Twisted Airfoil, Blunt Leading Edge
#2	115	10.3	3D Twisted Airfoil, Sharp Leading Edge
#3	115	10.3	2D Straight NACA Airfoil
#4	115	10.3	2D Straight Simplified Arc Airfoil
#5	125	10.3	2D Straight Simplified Arc Airfoil
#6	115	8 → 5	2D Straight Simplified Arc Airfoil
#7	115	12 → 9	2D Straight Simplified Arc Airfoil

(공통인자 : $Z=7$ (등피치), $D_2=450$, $D_1=336$)



(a) 터보팬 형상



(b) 터보팬 #1, #7의 날개 형상

Fig. 2 평가용 시험팬 형상

(1) 시험 터보팬의 익형

#1은 NACA 65 익형을 사용하였다. 날개 쉬라우드쪽 Leading Edge가 날카롭지 못하여 무딘 형상을 갖고 있다.

#2은 #1의 쉬라우드쪽 L.E.를 매끄럽고 날카롭게 처리한 것이다.

#3은 NACA65-208의 날개 형상이다.

#4은 NACA65-208의 익형을 단순화시킨 Arc 익형이다,

#5는 #4의 날개형상과 동일하고 날개폭이 10mm 늘어난 것이다.

#6은 #4의 날개두께를 축소하여 구배를 준 것이다. #7은 #4의 날개두께를 증가시켜 구배를 준 것이다.

#7은 #4의 날개두께를 2mm 증가시킨 단면 형상에서 쉬라우드쪽으로 갈수록 얇아져 쉬라우드 쪽 최대두께가 9mm가 되도록 구배를 형성시킨 날개형상이다.

(2) 평가한 설계 인자

#1과 #2은 날개 L.E. 형상의 영향을 비교하여 평가할 수 있다. #1의 날개의 무딘 형상과 #2의 날카로운 L.E. 형상이 성능과 유동소음에 얼마나 영향을 주는지 보기 위한 것이다.

#2과 #3은 날개 폭방향 형상의 영향을 비교

할 수 있다. #2은 날개가 폭방향으로 뒤틀려진 3차원 형상을 갖는다. #3은 날개를 폭방향으로 2차원 형상을 갖고 있어 단순화시킨 것이다.

#4은 #3의 Airfoil 익형 단면을 Arc 형상으로 단순화한 것이다. #3과 비교하여 성능, 소음 특성이 동등하다면 날개 형상이 단순한 Arc 익형을 적용하기 위한 것이다.

#5과 #4은 적정한 날개폭을 검토하기 위한 것이다. #5은 날개폭을 더 증가시켜 성능, 소음의 개선 가능성을 검토하기 위한 것이다.

#6과 #7은 터보팬을 제품의 대량생산 방법인 플라스틱 사출을 위해 고려한 형상으로 금형이 단순해지고 사출성이 개선되어 생산성이 좋아지는 날개 설계 형상이다. 최종적으로는 #6, #7과 같이 터보팬은 빼기구배가 있는 구조로 설계가 되어야 한다.

3.2 벨마우스의 영향

터보팬의 흡입 유동에 영향을 미치는 벨마우스에 대해 평가하였다. (그림 2)는 벨마우스가 팬 흡입구로 10mm 삽입되어 있는 형상을 나타내고 있다. 벨마우스의 구조와 내경은 일정하게 유지하고 팬 흡입구쪽으로서의 깊이를 10mm 간격으로 변경하여 평가하였다. 벨마우스의 영향은 #3팬을 이용하여 살펴보았다.

4. 성능과 소음레벨의 결과

4.1 터보팬별 풍량, 소음레벨 평가

9종류 터보팬의 풍량, 송풍 소음레벨은 다음과 같다. 마지막의 사출팬은 #7의 형상으로 금형을 제작하여 사출한 것이다. #1~#7은 ABS로 제작한 목업 터보팬이다. (그림 3)은 각 터보팬의 풍량에 대한 소음레벨 특성을 나타낸 시험 결과이다. (표 2)는 동일한 풍량에서의 소음레벨, 회전수와 소비전력을 비교한 것이다.

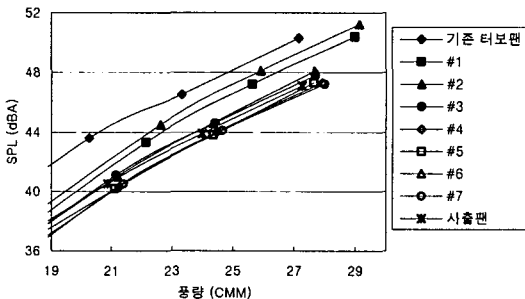


Fig. 3 팬 별 풍량-소음레벨 비교

Table 2 소음, 회전수, 소비전력 비교

팬 구분	SPL(dBA)	RPM	소비전력(W)
기준팬	50.2	704	204
#1	48.5	704	171
#2	49.2	715	165
#3	47.1	681	183
#4	46.4	672	181
#5	46.6	669	186
#6	47.4	670	183
#7	46.3	671	181
사출팬	46.9	682	186

전반적으로 기준팬과 비교하여 시험팬의 소음레벨이 개선되었다. 3차원 형상으로 뒤틀려져 있는 기준팬과 #1, #2팬은 회전수가 높고 소음레벨이 높은 특성을 나타내었다. #1, #2은 소비전력 측면에서 다소 유리하였으며 2차원 익형의 #3~#7보다 소음레벨이 2dB(A) 이상 높았다. 2차원 형상의 #3~#7팬은 서로간에 동일 풍량에서 1~1.5dB(A) 정도로 차이를 보였으며 그 중에서 #7이 가장 낮은 소음레벨이었다. 사출팬은 #7의 형상으로 제작되어 성능과 소음레벨을 확인하였다.

(1) 날개 L.E. 형상의 영향

(표 2)에서 #1과 #2의 소음레벨을 비교해보면 날카로운 L.E. 형상인 #2이 소음레벨이 0.7dB(A) 높게 측정되었다. L.E.를 날카롭게 할 경우 흡입 유동에 의한 유동소음의 발생이 커진 것으로 생각된다. 날개 L.E. 부분을 유동손실과 유동소음을 억제할 수 있는 구조로 하여야 하며 너무 날카롭게 하는 것은 바람직하지 않은 것을 알 수 있다.

(2) 날개 3차원 형상의 영향

#1, #2와 #3~#7을 비교하면 날개의 폭 방향을으로 2차원 형상을 한 #3~#7의 소음레벨이 우수한 것을 알 수 있다. 체감적인 소음도 2차원 형상의 터보팬이 우수하였다. 따라서 복잡하게 3차원으로 뒤틀린 구조가 유동 소음측면에서 유리하지만은 않은 것을 알 수 있었다. 다만 #2, #3의 소비전력이 낮은 것을 보면 효율 측면에서는 유리한 것으로 생각된다.

(3) 익형의 단순화

#3과 #4을 비교하면 익형을 NACA 익형에서 Arc 익형으로 단순화시킨 #4의 소음레벨이 0.7dB(A) 낮아진 것을 알 수 있다. 단순화된 익형이 더 개선되는 효과가 있었다. 단순화시킨 #4의 Arc 익형은 NACA 익형을 4개의 Arc로 가장 유사하게 단순화시킨 것이다.

(4) 날개 폭의 영향

날개 폭은 10mm 증가시킨 #5 은 #4 과 비교하여 소음레벨과 소비전력이 약간 나빠지는 경향이 있었다. 폭 증가에 의한 소음레벨과 소비전력의 개선 효과가 없는 것을 알 수 있다.

(5) 날개 구배의 영향

#6 은 #4 보다 날개 두께를 2mm 줄여 쉬라우드 쪽으로 빼기구배를 준 것으로 날개 두께가 얇아진 것이다. L.E.를 날카롭게 한 것과 유사하게 소음레벨이 상승하였다. #4 보다 1 dB(A)가 상승하였다.

#7 은 #4 보다 날개 두께를 2mm 증가시켜 구배를 준 것으로 #4 과 소음레벨, 회전수와 소비전력이 거의 동등한 수준을 나타내었다. 가장 좋은 특성을 나타내어 제품 설계형상으로 결정하였으며 이 형상으로 금형을 제작하여 사출팬을 제작하였다.

(6) 사출팬의 확인

신규 사출팬은 기본 날개형상과 중요 설계 인자는 #7 과 동일하며 금형 측면에서 제작이 가능하여야 하므로 날개와 쉬라우드의 초음파 융착부에 설계 구조가 추가되었다. #7 과 비교하여 소음레벨이 0.6dB(A) 상승하였으며 회전수와 소비전력이 다소 증가하였다. 최종적으로 기존팬과 비교하였을 때 소음레벨이 3.3dB(A) 감소하였고 회전수는 20rpm 이상 감소하였다. 소비전력도 약 20W 감소하여 전체적으로 성능과 송풍소음이 크게 개선되었다.

(그림 4)는 기존팬과 최종 사출팬의 음압 스펙트럼을 비교한 것이다.

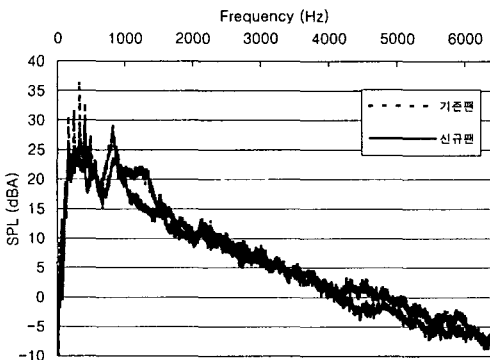


Fig. 4 기존팬과 사출팬의 스펙트럼 비교

-기존팬: 707 RPM, 27.2 CMM, 음압레벨= 50.3 dB(A)

-사출팬: 688 RPM, 27.3 CMM, 47.1dB(A)

거의 동등한 풍량에서 전체 음압레벨이 3 dB(A) 이상의 차이를 나타내고 있다. 기존팬은 500Hz 이하의 영역에서 BPF(Blade Passing Frequency)의 2nd, 3rd, 4th, 5th Harmonic peak 가 뚜렷이 나타났다. 사출팬에서는 그 정도가 각 peak 주파수에서 5~10 dB(A) 정도 감소되어 BPF 소음이 크게 개선된 것을 알 수 있다. 0.5~1.5 kHz 영역에는 넓은 주파수 영역에서 음압레벨의 차이가 크게 나는 것을 볼 수 있다. 4 kHz 이상의 주파수 대역에서도 그 레벨이 낮기는 하지만 사출팬이 넓은 영역에서 낮은 레벨을 유지하였다.

4.2 벨마우스 변경 평가

벨마우스 깊이에 따른 측정값은 다음과 같다.

Table 3 벨마우스 깊이의 영향 (#3 팬)

깊이(mm)	SPL(dBA)	RPM	소비전력(W)
0	48.4	678	183.7
5	50.0	684	183.5
10	47.1	681	182.7
15	47.7	692	186.5
20	49.2	707	187.8

벨마우스의 팬 흡입구쪽으로 깊이를 조정하여 평가한 결과 (그림 2)에 나타난 것과 같이 10mm 깊이일 경우가 가장 소음레벨 수준이 낮게 측정되었다. 벨마우스의 최적의 깊이는 10mm 로 결정하였다. 앞의 시험 결과는 모두 벨마우스 깊이가 10mm 에 대해 수행한 것이다.

5. 결론

터보팬의 송풍소음과 성능을 개선하기 위하여 터보팬의 날개 형상을 위주로 시험팬을 설계 제작하여 평가하였다. 시험팬 중에서 가장 우수한 팬에 대해 금형을 제작하여 신규 사출팬으로 소음레벨과 성능을 재확인하였으며 목업팬 수준의 성능과 송풍 소음레벨을 이루었다. 이를 통해 기존팬과 비교하여 송풍 소음레벨이 3dB(A) 이상 낮아 체감소음이 대폭 개선되었으며 금형과 플라스틱 사출 측면에서 유리한 단순한 구조의 터보팬을 개발할 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) Ira H. Abbott and Albert E. Von Doenhoff, 1959, Theory of Wing Sections, Dover Publications, Inc., New York.