

## 축류형 팬 성능 및 소음에 영향을 미치는 설계변수 분석

### Design Parameter Analysis on the Performance and Noise of Axial Fan

김기황\*, 이승배\*\*, 주재만\*\*\*  
K.-H. Kim\*, S. Lee\*\* and J.-M. Joo\*\*\*

**Key Words** : Axial Fan(축류팬), Design Parameter(설계변수), Sweep Angle(스융각), Solidity(철현비), Camber Angle(캠버각), Inverse Design(역설계)

#### ABSTRACT

While basic input parameters for the performance and noise of axial fan are flow rate, pressure rise, rotating speed, and fan diameter, the geometric parameters of blade are sweep angle, solidity, and camber angle. The sweep angle does not affect fan performance much, but on fan noise significantly. Solidity and camber angle are very critical design parameters acting on the fan performance directly. The solidity and camber angle are closely related, therefore they have to be carefully determined for the low-noise and high-performance fan. In this paper, different design points are selected and also geometric parameters are deliberately changed for the comparison of fan noise. As a result, at the same performance, the input rotational speed affects radiated noise more significantly than others. When solidity and camber angle are increased more than those by "DesignFan" program, more noise is experienced. The blade sweep method and blade numbers at same solidity are observed to results in different levels of performance and noise.

#### 1. 서론

사회가 발전하고 생활수준이 향상됨에 따라 좀더 쾌적하고 조용한 환경에서 살고자 하는 욕구도 점차 높아지고 있다. 우리 주위에는 다양한 소음원이 존재하고 있으며, 이러한 소음원의 개선을 위해 많은 연구 및 개발이 수행되고 있다. 여러 소음원 중 일상생활에서 흔히 볼 수 있는 것이 팬이다. 팬은 알게 모르게

생활 곳곳에 많이 사용되고 있으며, 그 종류로는 축류형과 원심형 그리고 사류형 등 다양하다. 이들 팬은 각각 사용 목적과 용도에 맞게 요구되는 냉각 능력 혹은 송풍능력 별로 여러 형태로 사용되고 있다.

축류형 팬의 경우 비속도가 크고 비직경이 작아 같은 회전경에서 저부하시에 많은 유량을 낼 수 있는 장점이 있다. 따라서 축류팬은 저 부하조건하에서 많은 유량을 필요로 하는 산업용 송풍기나 공조기기, 자동차/중장비의 냉각팬, 에어컨 실외기, 냉장고 등의 가전제품, 그리고 컴퓨터 CPU 냉각팬 및 각종 O.A.기기, 네트워킹 장비 등의 냉각장치 등 그 활용범위가 매우 광범위하다.

다양한 용도로 사용되는 축류팬의 개선을 위해서는 성능과 소음에 영향을 주는 변수에 대한 연구가 선행되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 성능 및 소음에

\* (주)에어로네트  
E-mail : fluidguy@orgio.net  
Tel : (032) 429-9790, Fax : (032) 429-9798

\*\* 정희원, 인하대학교 기계공학과

\*\*\* (주)삼성전자

영향을 주는 여러 변수들을 분석하고 각각의 변수가 팬 소음 및 성능에 어떠한 영향을 미치는지를 정량적 실험을 통해 파악하려고 하였다.

축류형 팬에서 성능과 소음에 영향을 주는 변수들은 기본 설계에 필요한 회전수(N), 직경(D), 유량(Q), 전압( $\Delta P_T$ ), 그리고 날개 수(Z)가 있다. 이들 설계 변수로부터 계산되는 여러 가지 날개형상변수와 팬날개위의 유동 속도성분들의 분석을 통해 팬의 성능과 소음을 예측할 수 있다. 날개형상변수 중 성능에 직접적인 영향을 주는 주요변수는 날개 코드길이(chord length)와 날개 스패ん길이(blade span length) 그리고 날개 설치각(stagger angle)이 있으며, 그 외에도 날개 스융각(sweep angle), 캠버각( $\theta$ ), 전향각( $\delta$ ), 영각( $i$ ) 등이 있다. 날개 유동 변수로는 평균축방향속도( $C_m$ ), 유입스융속도( $C_{e1}$ ), 출구스융속도( $C_{e2}$ ) 등이 있다. 설계 입력 변수들과 날개 형상 변수들 그리고 유동 변수들은 서로 밀접한 관련이 있으며, 이들 변수들을 적절히 조합하여 설계함으로써 성능과 소음을 개선할 수 있다. 이러한 적절한 조합은 팬설계과정에서 여러 설계 조건을 동시에 만족시킬 수 있는 형상 변수들의 영향이 선형적으로 정확하게 예측되어야 가능하다. 본 연구의 실험용으로 제작한 팬의 설계는 **iDesignFan™**<sup>(1)</sup> 프로그램을 이용하여 수행하였으며, 이 팬 설계 프로그램은 주어진 설계 조건을 만족시킬 수 있는 최적의 팬 형상설계가 가능한 프로그램이다.

본 연구에서는 축류형 팬이 비교적 높은 부하를 갖는 시스템에서 요구되는 유량을 제공하며 저소음으로 작동하도록 **iDesignFan™** 을 이용하여 여러 설계 변수들을 변화시켜 가며 팬 설계를 하였으며, Proto형태로 제작하여 성능 및 소음비교 실험을 수행 하였다.

## 2. 설계된 팬의 종류

팬 형상에 따른 비교실험을 위해 기본 설계 조건 및 날개 형상 변수들을 달리 하여 팬을 설계하였다. 설계 조건을 변화시켜 설계된 팬의 기본 모델은 날개 수가 9개이고 직경이 80mm이며 팬의 높이가 15mm인 가전 냉각용 팬이었다. 팬의 외관은 Fig. 1과 같다.

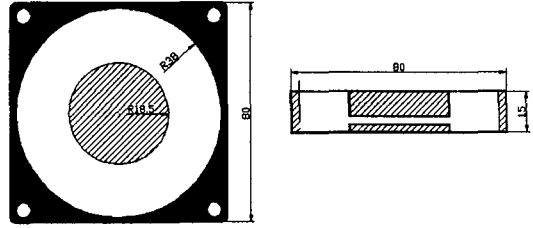


Fig. 1 팬 하우징

팬의 기본 설계 조건은 아래 table 1과 같이 설계점에서의 비속도와 비직경이 서로 다르게 설계 하였다.

	비속도	비직경	전압	스융각	Cordier's			
Fan #1	0.66	2000	8.1	13(Q)	5.2E	1.29	1.23	□
Fan #2	0.60	2000	8.0	13(Q)	5.0E	1.31	1.28	□
Fan #3	0.60	2000	8.1 1	20(L)	5.0E	1.32	1.28	□
Fan #4	0.78	2500	12. 5	15(Q)	5.1E	1.30	1.26	□
Fan #5	0.84	2500	13. 5	15(Q)	5.07	1.31	1.24	□
Fan #6	0.75	2500	11. 0	15(Q)	5.5E	1.25	1.24	□
Fan #7	0.66	2500	10. 5	15(L)	5.4E	1.27	1.31	□
Fan #8	0.78	2500	11. 0	15(Q)	5.7E	1.24	1.22	Cam,T
Fan #9	0.48	2500	9.0	15(Q)	5.2E	1.30	1.48	Chor
Fan #10	0.84	2500	10. 0	15(Q)	6.3E	1.18	1.15	Cam
Fan #11	0.72	2500	8.0	13(Q)	6.9E	1.13	1.17	Cam
Fan #12	0.60	2500	8.0	13(Q)	6.3E	1.18	1.28	Cam,T

L : linear, Q : quadratic, Ns:비속도, Ds:비직경  
Cam : 캠버각 변형, Chor : 코드길이 변형, T:날개 두께

Table 1 설계 조건

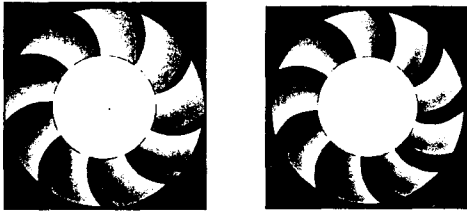
즉, 설계 조건은 비속도와 비직경을 기준으로 결정하였으며, 설계한 비속도에서 Cordier선도상의 비직경과 설계한 비직경을 비교해 보면 Cordier선도를 기준을 조금 높거나 약간 낮은 값으로 설계하였음을 알 수 있다.

상기 설계 조건의 변화 외에도 Fan #3과 Fan#7은

스윙각을 선형적으로 주었으며, 다른 팬은 반경에 따라 이차함수의 형태로 스윙각이 증가하도록 설계하였다. 팬 스윙각을 주는 방식을 달리한 팬의 비교는 Fig. 2와 같다. 또한, Fan #9\_s부터 Fan #12\_s는 위 설계 입력변수로 설계한 팬에 형상변수 즉, 날개폭(chord length)이나 캠버각, 날개 두께를 변화시켜 다시 설계하고 제작한 팬이다. 그 형상 비교는 Fig. 3에 제시하였다.



Fan #2(Q) Fan #3(L)  
Fig. 2 스윙주는 방식이 다른 팬형상비교



Fan #9\_s Fan #10\_s  
Fig. 3 형상변수를 변화시킨 팬

위에서 설계한 팬들을 정리하면 팬 내경과 외경 그리고 날개 수가 같고 팬의 높이 제한이 있을 때 설계 변수인 회전수(N), 설계 유량(Q), 설계 전압( $P_T$ ), 스윙각을 달리하여 팬을 설계하였고, 또한, 형상 변수인 날개 코드길이(chord length)이나 캠버각( $\theta$ ), 날개 두께를 인위적으로 변화시켜 제작한 것이다. 스윙각을 주는 방식도 위 그림에서와 같이 달리하였다. 본 연구에서는 이렇게 설계하고 제작한 팬을 이용하여 여러 형상 변수와 설계변수들이 소음과 성능에 어떠한 영향을 주는지를 비교 실험하였다.

위에서 설계한 팬과 동일한 80mm의 외경을 갖지만 팬의 높이 제한이 25mm이며, 날개 수가 5개 그리고 허브의 직경이 37mm에서 33mm로 감소시킨 팬을 제

작하여 소음과 성능에 어떠한 변화가 있는지 실험하였다. 실험한 팬의 설계 형상은 Fig. 4에 나타나 있다.

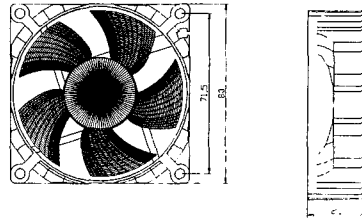


Fig. 4 직경이 80mm이고 팬높이가 25mm인 팬형상

위에서 설명한 여러 종류의 팬 이외에도 같은 비속도 범위에서 날개 수가 소음과 성능에 어떠한 영향을 주는지를 비교하기 위해 외경이 50mm인 컴퓨터 CPU 냉각용 축류팬<sup>(2)</sup>을 이용하였다. 날개 수를 제외한 설계조건이나 형상변수는 모두 동일하게 설계 하였다. 설계 결과 날개 수가 변하여도 절현비(solidity)는 동일하게 설계되기 때문에 날개 수에 따라 날개 코드길이(chord length)만 변하였다. 다른 형상변수나 유동속도, 유동각들은 모두 동일하게 설계되었다. 날개 수는 5, 7, 9개로 하여 설계하였고 이 세 종류의 팬의 성능과 소음을 실험을 하여 비교 분석하였다.



Fig. 5 지경이 5cm인 CPU냉각팬

### 3. 실험장치 구성 및 측정방법

본 연구에 사용된 팬 성능 시험장치는 Fig.6에 나타난 바와 같이 ANSI/AMCA/ASHRAE standard 210-85 (AMCA 1985)<sup>(3)</sup>에 준하여 크게 테스트 팬 부분, 유량과 압력 측정 및 유동을 안정화하기 위해 유동이 머무는 정체실과 노즐 부분, 테스트 팬에 부하를

걸기 위해 댐퍼역할을 할 조리개 부분, 유량 및 압력 조절을 위해 후류에 설치된 보조 팬으로 구성된다.

송풍기소음의 경우에는 송풍기 본체로부터 방사되는 소음측정시 실용 반자유음장법과 간이 반자유음장법을, 그리고 덕트로부터 방사되는 소음은 덕트내법, 준자유음장법 그리고 준확산음장법으로 측정할 수 있다.<sup>(4)</sup> 그러나 소형팬과 같은 공기유동장치에 대해서는 ANSI 측정플레넘이 여러 부하조건에서 팬소음방사를 측정하도록 규정하고 있다(ANSI S12.11-1987)<sup>(5)</sup>. 그러나 ANSI 측정플레넘은 무반사의 팬소음을 측정하기는 용이하나, 성능을 정밀하게 측정하기 어려운 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 ASHRAE규격의 성능시험장치를 무향실내에 설치한 후, 팬시험장치 유동입구에서 자유음장으로 방사되는 소음을 준자유음장법에 준하여 측정하였다. 이 경우 ASHRAE규격의 성능시험장치에서 요구하는 보조팬으로 인해 원하지 않는 소음이 불가피하게 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 소음을 제거하기 위해 보조 팬 앞뒤에 공명형 머플러를 설치하였다.

또한 본 시험장치의 부속장치로는 테스트 팬과 보조 팬의 일정 회전수 제어를 위한 직류 전원 공급장치, 마이크로 마노미터, 피토판, 주파수분석기, 1/2" 마이크로폰 및 소음계 등으로 구성되어 있다.

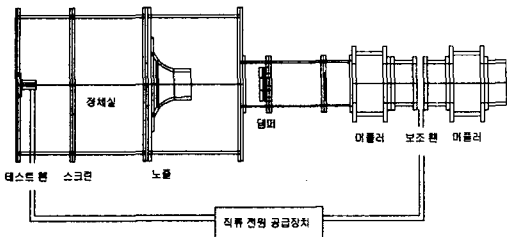


Fig. 6 마이크로 팬 성능 및 소음 실험 장치

팬의 성능 비교는 기존 양산된 팬과 본 연구실에서 자체 개발한 프로토타입 팬들을 이용하여 수행하였으며, 이때 사용된 모든 팬들의 직경은 46mm이다. 본 실험장치 설계 및 계측 장비의 설치는 KS B 6311<sup>(6)</sup>의 규격에 의거하여 수행되었다.

테스트 팬 부분에서는 입력 전압을 일정하게 조절함으로써 팬의 회전수를 고정하였으며, 후류에 설치된 보조 팬의 가동 유무에 따라 무부하를 유지할 수도

있고 댐퍼를 이용하여 부하를 걸어줄 수도 있으며 결과적으로는 테스트 팬이 달린 정체실 내의 압력을 일정하게 된다.

정체실의 정압 측정을 위해 정체실내에 설치된 스크린 앞의 지정된 위치에 총 네 군대의 구멍을 90°각으로 일정하게 원주방향으로 내어 각각의 정압을 측정한 후 네 값의 평균값을 정체실 내의 정압으로 사용했다. 이때 구멍의 위치는 KS B 6311의 규격에 의거하여 설치되었다. 즉 테스트 팬의 송출 지름인 46mm의 최소한 2.0배 이상을 유지시키기 위해 팬으로부터 150mm 떨어진 곳에 스크린을 설치했고 정압 측정을 위한 구멍은 그 중간 지점인 75mm 위치에 자리잡게 하였다.

유량은 ISO 5801과 ASHRAE에 근거하여 피토판 이용에 의하여 얻어지는 동압이나 유동 노즐 전후의 압력차를 측정하여 계산한다. 피토판의 각 지름에 대한 측정점의 수와 위치는 Fig.7에 명시된 바를 준하여 수행하였다.

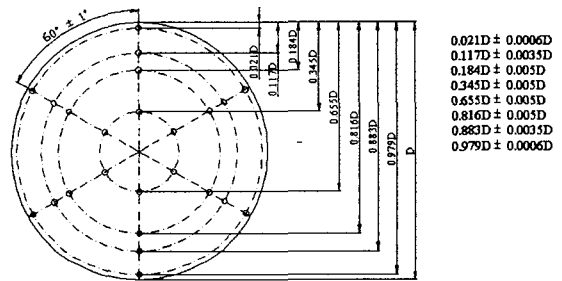


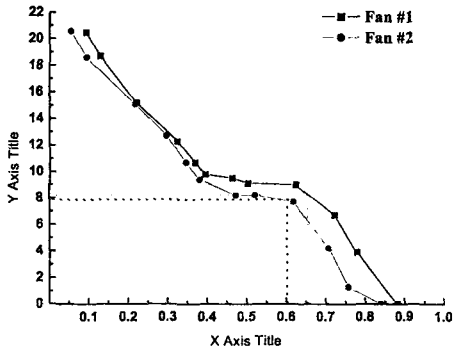
Fig. 7 노즐을 이용한 유량 측정 방법

소음 측정시 만일 마이크로 폰의 위치를 여러 점에서 측정할 경우의 대표 소음레벨은 KS B 6361의 규격에 따라 각 점에서의 측정값의 에너지를 평균하여 구한다. 본 실험과 같이 흡입구 또는 토출구에서 방사하는 소음의 측정에서는 측정점이 한 점이기 때문에 그 점에 있어서 측정값이 그대로 대표 소음레벨이 된다.

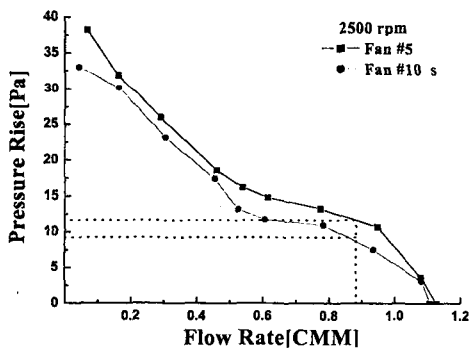
#### 4. 팬성능 및 소음 비교 실험 결과

직경이 80mm이고 팬 높이가 15mm인 팬 실험을 통해 우선 설계조건과의 성능 비교를 하였다. 팬 설계

프로그램에서 예측한 성능과 제작한 팬의 성능을 비교하여 성능 검증 작업을 하였다. 성능 실험은 4 종류의 팬을 임의로 선별하여 수행하였다. 실험결과는 Fig. 8에 나타나 있으며, 참고로 실험했던 팬의 설계 입력값과 측정된 변수의 비교는 Table 2에 나타나 있다.



Fan #1, Fan#2 성능곡선



Fan #5, Fan#10\_s 성능곡선  
Ffig. 8 팬 성능 검증 실험 결과

Flow Rate [CMM]	Pressure Rise [Pa]	Flow Rate [CMM]	Pressure Rise [Pa]	Flow Rate [CMM]	Pressure Rise [Pa]	Flow Rate [CMM]	Pressure Rise [Pa]
0.66	2000	13	8.1	7.9	2.50		
0.60	2000	13	8.0	7.7	3.75		
0.84	2500	15	13.5	13.1	2.96		
0.84	2500	15	10.0	9.5	5.00		

Table 2 검증 실험한 팬의 설계 조건

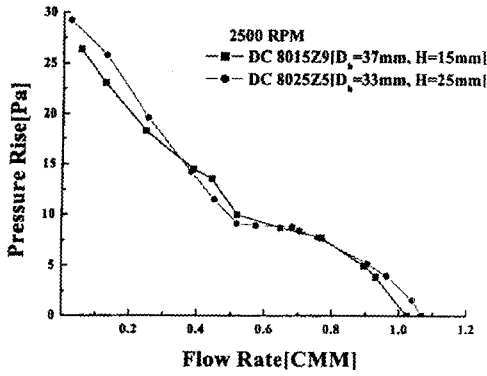
위 그래프에서 볼 수 있듯이 예측한 성능과 실험결과는 5%내에서 거의 일치하였다. 설계 과정에서의 성능 예측이 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다.

설계 과정에서 성능예측이 정확히 이루어지고 있기 때문에 설계 입력조건이 팬 소음에 어떠한 영향을 주는지 비교 할 수 있다. 팬의 소음 실험은 팬이 같은 부하조건에서 같은 유량을 낼 때의 소음을 비교하였다. 실험 결과 같은 성능을 내기 위해서는 설계 팬들의 작동점이 다르기 때문에 각 팬들의 회전속도를 변화시켜 비교하였다. 즉, 팬 후류 부하조건을 같게 하고 유량이 0.44[CMM]일 때 소음을 측정하였다. 소음음압 레벨(SPL) 비교표는 다음 Table.3과 같다.

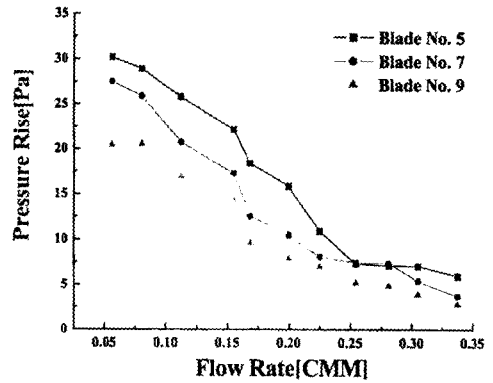
팬종류	유량(Q)	회전속(N)	소음
Fan #1	0.44	2350	41.2
Fan #2	0.44	2400	41.2
Fan #3	0.44	2420	42.3
Fan #4	0.44	2500	43.6
Fan #5	0.44	2430	42.6
Fan #6	0.44	2520	43.0
Fan #7	0.44	2580	43.1
Fan #8	0.44	2500	43.6
Fan #9	0.44	2600	44.3
Fan #10	0.44	2440	42.5
Fan #11	0.44	2550	44.6
Fan #12	0.44	2610	45.8

Table 3 소음 비교표

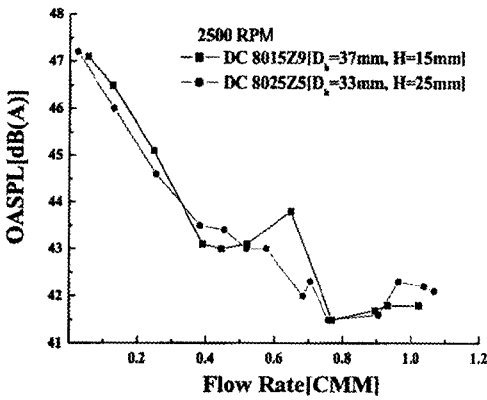
팬 직경이 80mm이고 날개수가 5개이며 팬 높이와 허브 직경이 각각 25mm, 33mm인 팬과 Table 1에 나타난 제원 중 성능과 소음이 가장 우수한 팬과 비교 실험을 하였다. 실험 결과 성능과 소음이 그림 Fig. 9에서와 같이 차이가 있었다.



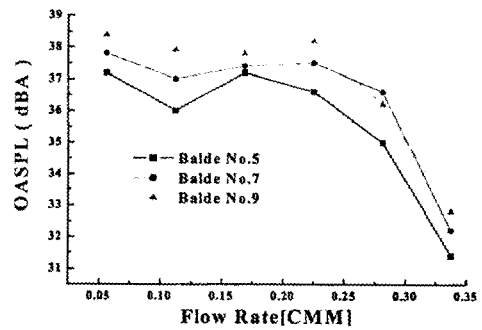
성능곡선



성능곡선



소음곡선



소음곡선

Fig. 9 동일 팬 직경에서 허브높이, 허브직경, 날개 수가 다른 팬의 성능 및 소음 비교

Fig. 10 날개 수만 다른 팬의 성능 및 소음 비교

설계점에서의  $N_s$ 를 5.0 근처로 설계된 두 팬의 성능 특성은 서로 비슷하나 코드 길이가 긴 팬이 최대 유량 값이 더 크며, 작동점에서의 소음도 더 낮게 나타났다.

끝으로 직경이 50mm인 CPU 냉각팬을 이용하여 팬 날개 수가 팬 성능과 소음에 어떠한 영향을 주는지 실험해 보았다. 앞서 언급한 것처럼 모든 유동각이 같고 절현비(solidity)도 같으며 날개 수에 따른 날개 폭(chord length)만 다른 경우의 실험 결과는 Fig. 10과 같다.

실험 결과에서 볼 수 있듯이 날개 수가 감소 할 수록 성능과 소음이 향상하는 것을 관찰하였다.

## 5. 결과

실험 결과 설계 입력변수와 날개 형상변수에 따라 성능 및 소음특성이 현저하게 영향을 받음을 확인 할 수 있다.

설계 조건은 비속도와 비직경을 변화시키면서 결정 하였으며, 주어진 부하조건에서 작동하는 팬을 설계할 때는 같은 비속도에서 비직경을 Cordier 선도 값보다 조금 작은 값으로 설계하는 것이 성능면에서 우수하였다. 날개 스윙은 선형적(linear)으로 많이 주는 것

보다는 스윙각은 13° 전후로 하고 스윙을 날개 톱쪽에서 많이 주도록 하는 방법(quadratic)이 성능과 소음 모두 좋았다. 또한, 동일 성능을 만족시키면서 익현길이(chord length)만 임의로 길게 하였을 때는 소음이 증가하였으나, 뺨 높이의 제한이 없다면 동일 현절비에서 날개 갯수를 줄여 익현길이(chord length)를 길게 설계했을 때 소음이 감소하였다. 즉, 모든 형상 변수가 같을 때 날개 수를 줄여 익현길이(chord length)를 길게 한 뺨이 성능 과 소음 모두 우수하였다.

## 참고문헌

1. 김기황, 박준철, 김진화, 이승배. 2001, "축류형 송풍기 저소음 설계 프로그램의 개발 및 평가," 소음 진동학회 춘계학술대회 논문집, pp. 967-972
2. 김기황, 박용민, 김진화, 이승배. 2001, "Development of Micro-Cooling Fans for Cooling of CPU," 소음 진동학회 춘계학술대회 논문집, pp961-965
3. Sharland, I.J., 1964, "Sources of Noise in Axial Flow Fans," J. of Sound & Vibration, Vol.1, pp.302-322
4. Lee, C., Chung, M.K. and Kim, Y.H., 1993, "A Prediction Model for the Vortex Shedding Noise from the Wake of an Airfoil or Axial Flow Fan Blades," J. of Sound & Vibration, Vol.164, pp.327-336
5. 배일성, 장성욱, 이승배. 2001, "DRL 축류팬 주위의 난류유동 및 공력소음의 계산," 소음 진동학회 춘계학술대회 논문집, pp.762-767
6. Wright, I, 1999, *Fluid Machinery*, CRC Press 7. ISO, 1997, *Industrial fans-Performance testing*
8. 한국공업규격, 1987, *송풍기·압축기의 소음레벨 측정방법*, KS B6361, pp.1-33