

CPU 냉각용 저소음 Micro-Cooling Fan의 개발

⁰김기황*, 박용민*, 김진화**, 이승배**

Development of Micro-Cooling Fans for Cooling of CPU

⁰K.-H. Kim*, Y.-M. Park*, J.-H. Kim** and S. Lee**

Key Words: Micro Fan(초소형 팬), Random Swept-Blade(복합형상 날개)

ABSTRACT

Micro fans of randomly swept-blades were designed to provide C.P.U. in a personal computer with effective cooling in a very quiet mode. The proto-type axial micro-fans machined by a laser sintering machine were tested against manufactured products by comparing the performance and overall sound pressure level with spectral measurements in an environment suggested by ASHRAE and ANSI standards. The predicted OSPLs and directivity patterns of fans by iDesignFan software were in good agreements with measured data. The newly introduced fans of randomly swept-blades were proved to provide a very promising mode of low noise at small loading conditions.

1. 서론

팬이란 연속적으로 공기나 기체에 회전하는 날개를 이용하여 원심력 및 양력을 작용시켜 시스템의 저항을 이겨내며 관성 및 유량을 갖게 하는 기계 장치의 하나이다. 팬 개발에 대한 시대적 경향은, 특별히 컴퓨터 CPU 냉각팬 개발에 있어서는 고성능 및 저소음화로 요약될 수 있다.

최근 펜티엄 II Processor 300MHz가 40Watt의 발열량을 돌파한 이후, 계속되는 고집적 CPU는 열부하에 대한 기술적 장벽의 극복을 요구하고 있다. 또한 Portable P.C.의 경우 냉각공간의 최소화로

더욱 작아진 냉각팬의 고회전수 설계가 불가피해졌으며, 저전력 Chip의 개발에도 불구하고 팬의 냉각성능 및 저소음화 요구는 더욱 거세지고 있다.

더욱이 기존의 마이크로팬, 일명 롤러 제조업체들은 외국회사가 개발한 팬의 형상을 모방하여 제작하여 왔으며, 기술적 노하우가 쌓이지 않은 상태에서 빠른 시장변화로 기술개발에 투자할 여력을 잃게 되어 국내시장이 외국업체들에 의해 쉽게 잠식되는 상황에 이르렀다. 일부 국내 대기업 연구소를 중심으로 가전용 팬설계 프로그램의 개발이 부분적으로 있어 왔으며, 최근 대학교에서도 팬소음 해석에 대한 연구가^{(2),(3)} 활발하게 이루어지고 있으나 CPU 냉각팬에 대한 관심은 미미한 상태이다. 본 개발에서는 저소음 팬 역설계의 기술을 바탕으로 24종의 마이크로팬을 설계하였다. 즉, 설계점에

* 인하대학교 기계공학과 대학원

** 정희원, 인하대학교, 기계공학과, 에어로네트

서의 유량, 전압상승, 그리고 회전수를 입력변수로 하여 저소음역설계를 수행 후, 설계된 형상의 STL format을 이용하여 S.L.S. 기계를 이용하여 Rapid Proto를 제작하였다. 또한 본 연구를 위하여 마이크로팬 성능 및 소음의 동시측정장치를 제작하여 설계된 Proto들의 성능 및 소음을 측정하여 예측된 결과와 비교/분석하였다.

2. 복합형상 날개의 마이크로팬

본 연구에서의 팬 날개설계는 기존 C.P.U 냉각팬의 규격화된 크기와 요구되는 성능을 고려하여 수행되었다. 즉, 성능/소음실험을 바탕으로 기존의 개발된 냉각 팬의 유량 및 소음레벨 등을 측정하였으며, 이를 기준으로 설계 유량을 설정하였다.

또한 외경은 기존 냉각 팬과 호환성을 갖도록 규격화하여 설계하였다. 즉, 현재 양산되는 C.P.U. 냉각팬은 유량이 보통 0.004 m³/s 정도이며, 외경은 46 mm 이다. 각 마이크로팬에 따라 회전수 및 설계점 정압은 서로 차이가 있어 축류팬의 일반적인 설계점을 고려하여 결정하였다. 즉, 비속도가 8.0정도가 되도록 설계압력과 RPM을 정하였다.

또한 축류팬이 이상적인 작동 조건을 갖도록 날개의 전 영역에서 축방향 속도와 전압력이 일정하도록 설계하였다. 즉, $C_m = \text{constant}$, $\Delta\rho UC_0 = \text{constant}$ 가 되도록 하였다. 속도삼각형을 이용하여 상기의 두 관계를 만족시키며, 앞에서 언급했던 성능이 나오는 설계 변수를 계산하였다. 설계 변수들은 날개를 31등분한 후 반경방향으로 이동하며, 각각의 반경 위치서 NACA65 날개의 축류팬 익형 2차원 실험 상관식을 이용하여 계산이 수행되었다(상세한 방법은 참고 문헌(4)를 참조).

날개의 삼차원적 형상을 구현할 때, 회전하는 물체 표면에서의 유선을 고려하여 미소 날개를 회전축을 중심으로 하는 원통에 감듯이 형성하였다. 날개두께는 소음을 고려하여 허브 쪽에서 팁 쪽으로 갈수록 감소하도록 설계하였다. 날개 형태에 따라 약간의 차이는 있지만, 대체로 허브에서는 코드길이의 11% 정도이고, tip에서는 7% 정도가 되도록 하였다. 예를 들어 C4 형태의 날개 형상과 형성

과정은 다음 그림과 같다.

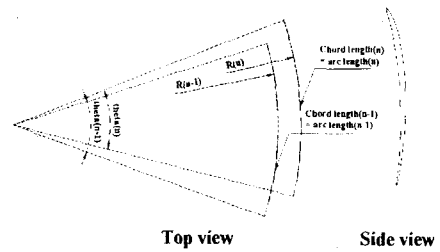


Fig. 1 날개 형성과정

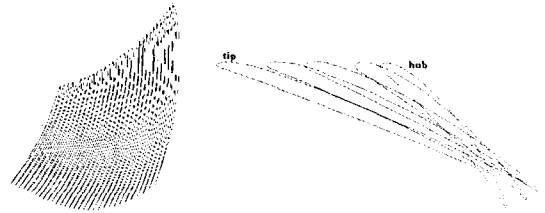


Fig. 2 날개 형상과 두께 변화

이상에서 구한 설계 변수를 바탕으로 성능과 소음을 예측하였으며, 주어진 성능을 만족하며 저소음 설계가 되도록 변수들을 조금씩 조정하며 반복 계산 및 설계를 수행하였다.

소음에 영향을 주는 인자는 여러가지 있으나, 본 연구에서는 코드길이와 캠버각 그리고 스윙각을 고려하여 소음이 최소가 되도록 고려하였다. 우선, 코드길이를 살펴보면, 필요한 압력 상승과 유량 발생을 위해서는 적당한 길이가 요구되나, 코드길이가 증가할수록 압력이 증가한다. 또한 코드길이의 증가는 소음레벨을 증가시키고 동력도 증가하게 되어 부정적 영향을 끼친다. 캠버각은 영각과 함께 C_L 에 직접적인 영향을 준다. 캠버각이 증가하면, C_L 이 증가하여 발생압력도 증가하게 된다. 그러나 과도하게 큰 캠버각은 유동박리를 발생시키며 날개후단과의 상호작용에 의한 소음과 Profile 손실 등을 증가시킨다. 상기 두 변수들의 설명에서 알 수 있듯이 소음을 줄이는 전략으로 코드길이나 캠버각을 줄이는 방법이 있으나, 모두 줄이면 원하는 설계 성능이 나올 수 없으므로 두 변수를 조정하여 성능이 나오는 범위에서 소음이 최소가 되는

적정 코드길이와 캠버각을 계산한다. 스윙각은 성능에는 큰 영향을 주지 않지만 소음에는 영향을 주는 변수이므로 소음에만 초점을 두어 조정할 수 있다. 본 연구에서는 전향 스윙각을 날개마다 여러 가지로 달리하여 동일한 위상의 소음원이 반복되지 않게 설계하였으며⁽⁵⁾, 생성된 각각의 Proto에 대해 소음레벨 및 특성을 비교하는 실험을 수행하였다. 즉, 기존의 동일한 날개의 피치를 불균일하게 변화시키는 방법에서 진일보하여 날개마다 스윙각을 조금씩 달리 줌으로써 축류형 팬소음의 특징인 BPF에서의 이산소음을 줄이는데 역점을 두었다. 서로 다르게 분포된 스윙각의 몇 가지 경우를 살펴 보면 다음 표와 같다.

Table 1. 날개 스윙각의 분포 예

	CASE 1.	CASE 2.
blade #1.	16.3°	22.0°
blade #2.	22.6°	21.1°
blade #3.	20.4°	16.5°
blade #4.	23.0°	24.5°
blade #5.	23.5°	15.8°
blade #6.	17.2°	24.0°
blade #7.	23.0°	16.2°

즉, 스윙각의 차가 $\pm 5^\circ$ 미만으로 되도록 하여 임의적으로 몇몇 날개의 스윙각을 정하여 준다. 스윙각이 날개마다 서로 다르기 때문에 토크의 평형분체가 발생한다. 문제 해결을 위해 몇 가지 토크 평형방정식을 이용하였다. 즉, 정해진 날개의 스윙각을 중심으로 힘의 평형방정식과 질량 평형 방정식 그리고, 스윙각 변화량의 합이 '0'이 되도록 하는 방정식들이다.

본 연구에서는 소음까지 고려한 최종적인 변수를 이용하여 날개형상 설계변수들을 구하였으며, 이 자료들을 이용하여 삼차원 형상으로 변환시켰

고, 이를 STL format 으로 변환시켜 제작하였다. 설계한 팬의 삼차원 형상의 예는 다음그림과 같다.

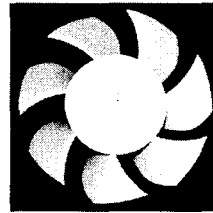


Fig. 3 USZ7형상

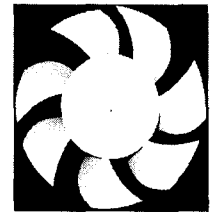


Fig.4 RSZ7형상

3. 실험장치 구성 및 측정방법

본 연구에 사용된 팬 성능 시험장치는 Fig.6에 나타난 바와 같이 ANSI/AMCA/ASHRAE standard 210-85 (AMCA 1985)⁽⁶⁾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 조리기개 부분, 유량 및 압력 조절을 위해 후류에 설치된 보조 팬으로 구성된다.

송풍기소음의 경우에는 송풍기 본체로부터 방사하는 소음측정시 실용 반자유음장법과 간이 반자유음장법을, 그리고 덕트로부터 방사되는 소음은 덕트내법, 준자유음장법 그리고 준확산음장법으로 측정할 수 있다.⁽⁷⁾ 그러나 소형팬과 같은 공기유동장치에 대해서는 ANSI 측정플레넘이 여러 부하조건에서 팬소음방사를 측정하도록 규정하고 있다 (ANSI S12.11-1987)⁽⁸⁾. 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 공

명형 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.

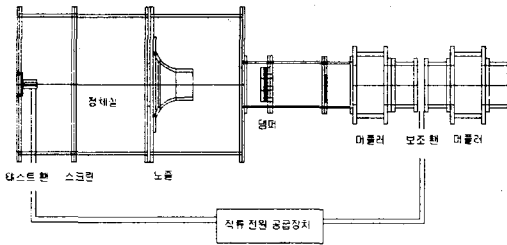


Fig. 5 마이크로 팬 성능 및 소음 실험 장치

팬의 성능 비교는 기존 양산된 팬과 본 연구실에서 자체 개발한 프로토 팬들을 이용하여 수행하였으며, 이때 사용된 모든 팬들의 직경은 46mm이다. 본 실험 장치 설계 및 계측 장비의 설치는 KS B 6311⁽⁹⁾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 조정하게 된다.

정체실의 정압 측정을 위해 정체실내에 설치된 스크린 앞의 지정된 위치에 총 네 군대의 구멍을 90° 간격으로 일정하게 원주방향으로 내어 각각의 정압을 측정 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 정압측정을 위한 구멍은 그 중간 지점인 75mm 위치에 자리잡게 하였다.

유량은 ISO 5801과 ASHRAE에 근거하여 피토판

관 이송에 의하여 얻어지는 동압이나 유동 노즐 전후의 압력차를 측정하여 계산한다. 피토판의 각 지름에 대한 측정점의 수와 위치는 Fig.6에 명시된 바를 준하여 수행하였다.

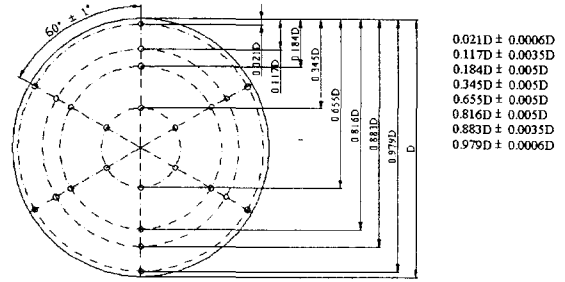


Fig. 6 노즐을 이용한 유량측정방법

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 점이기에 때문에 그 점에 있어서 측정값이 그대로 대표 소음레벨이 된다.

4. 측정결과 및 고찰

본 실험에서는 기존 양산 팬 및 스위프각과 날개 개수가 각각 다르게 설계된 Proto 팬의 성능 및 소음을 비교하였다. 동일 설계점에서 설계된 팬의 날개 개수가 팬 성능 및 소음에 어떠한 영향을 주는지 실제 비교하였으며, 스위프각에 따라 소음이 어떻게 다른지를 비교해 보았다. 실험한 팬은 날개 수가 5개이고 스위프각이 일정한 팬(USZ5)과 날개 수가 7개이고 스위프각이 일정한 팬(USZ7), 날개 수는 7개이고 스위프각이 날개마다 다른 팬(RSZ7), 그리고 날개 수는 9개이고 스위프각을 달리한 팬(RSZ9)이었다. 비교한 Proto팬들의 평균 캠버각은 13°, 스택각과 현절비는 모두 허브에서 팁까지 21°에서 40°, 1.05에서 0.65까지의 분포를 갖도록 설계

되었다. 측정된 모델의 날개들은 모두 NACA65 형태이며 날개 두께는 코드길이의 7~11%의 범위를 갖는다. 또한, 현재 양산되어 시판되는 팬 중 소음이 가장 낮은 팬과도 비교해 보았다.

성능 실험은 RPM을 고정시키고 부하를 감소시켜가며 유량계수와 압력계수를 측정하였다. 측정결과 팬들의 성능은 날개 수에 따라 달리 나타났으며, 스위치에 따라서도 다른 경향을 보임을 알 수 있었다. 즉, 날개수가 작으며 상대적으로 코드의 길이가 큰 USZ5 모델은 유량계수가 0.4이하의 범위에서는 동일부하시 상대적으로 큰 유량이 확보됨을 알 수가 있다. 그러나 날개의 높이가 커지는 단점이 있다. 대체적으로 유량계수 0.4를 기점으로 유동패턴이 바뀌며 불안정한 모드가 발생함을 알 수가 있다.

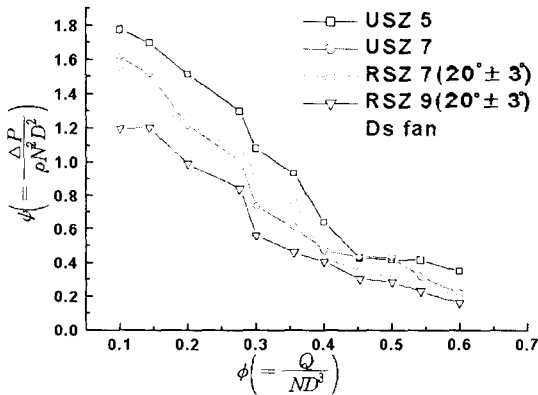


Fig. 7 성능곡선

또한, 유량계수별로 소음을 측정된 결과 Fig. 9에서 보듯 팬의 부하가 감소할수록 대체로 소음도 감소하는 경향을 보였다. 양산된 팬과 비교하면 부하가 낮은 영역에서 소음 차가 크게 나타나며, 설계한 팬들의 소음이 크게 감소함을 알 수 있다.

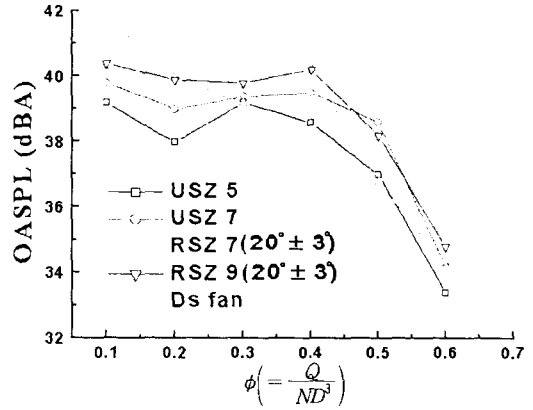


Fig. 8 유량계수별 소음레벨

실험한 팬들중 날개수가 5개이고 스위치각이 일정한 USZ5 모델은 같은 유량에서 높은 압력특성에도 불구하고 전 영역에 걸쳐 우수한 소음특성을 나타낸다.

스위치각의 변화가 소음에 미치는 영향을 알아보기 위해 날개 수가 7개이며, 스위치각이 일정한 팬과 날개마다 다른 스위치각을 채용한 팬을 이용하여 소음 스펙트럼을 비교하여 Fig. 9에 나타내었다.

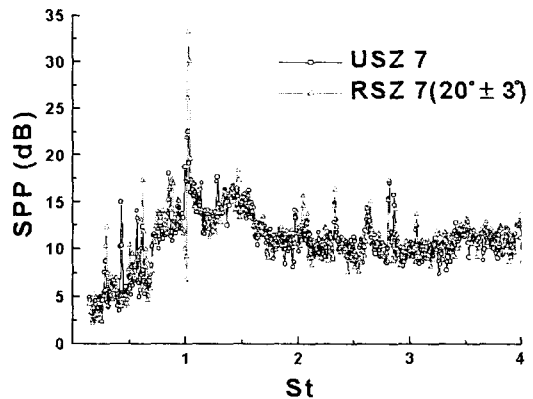


Fig. 9 소음 스펙트럼

측정 결과를 살펴보면 스위치각을 날개마다 다르게 한 모델이 스위치각이 일정하게 한 모델보다 이산소음 주파수들에서 소음 최대치가 매우 낮음을 알

수 있다. 이는 Fig 8.의 소음 특성곡선에서도 나타나듯 OASPL의 감소로 나타났다. 또한, Fig.8에서 두 팬의 성능차이를 비교해보면, 스윙을 달리 준 팬이 성능은 조금 낮게 나타나긴 했지만 큰 차이는 보이지 않았다.

5. 결론

C.P.U. 냉각팬의 저소음 역설계를 수행하여 설계, 제작된 Proto들을 성능 및 소음의 동시 측정장치를 이용하여 비교 분석하였다.

같은 현열비에서 상대적으로 코드길이가 길게 설계된 모델이 같은 유량에서 높은 성능을 나타내었으며 좋은 소음특성을 보였다. 또한, 스윙각을 불균일하게 분포시킨 모델은 저 부하시 이산소음의 저감에 매우 기여를 하는 것으로 나타났다.

본 연구 개발을 통해 기존의 C.P.U 냉각팬보다 컴퓨터 냉각팬 부하 설계조건에서 최고 5 dBA가량 감소하였으며, 동일 소음조건에서는 유량이 최고 30%가량 증가하는 Proto모델을 개발하였다.

참고문헌

1. Keyes, R.W., 1981, "Fundamental limits in Digital Information Processing," Proceedings of the IEEE. Vol. 69, No.2, pp.267-278
2. Lee, D.J., Jeon, W.H., Chung, K.H., 2000, "analysis software," Proceedings of Inter Noise 200, pp.1521-1526
3. 정동규, 홍순성, 이찬, 2000, "축류형 송풍기의 성능 및 소음 예측을 위한 전산 프로그램의 개발 및 적용," 유체기계저널 제3권 제3호, pp.31-40
4. 김기황, 박주철, 김진화, 이승배. 2001, "축류형 송풍기 저소음 설계 프로그램의 개발 및 평가," 소음 진동학회 춘계학술대회 논문집(계재예정)
5. 이승배, 복합형상 날개를 지니는 저소음 송풍기, 특허출원 번호 10-2000-0067499
6. ASHRAE, 1985, Laboratory Methods of Testing Fans for Rating, ASHRAE Standard 51

7. 국립기술품질원, 1999, 펌프, 송풍기 관련 유체기계 규격의 선진화 연구(II), 유체기계공업학회
8. Acoustical Society of America, 1987, American National Standard Method for the Measurement of Noise Emitted by Small AMDs, ANSI S12-1987
9. 한국공업규격, 1982, 송풍기의 시험 및 검사방법, KS B 6311
10. ISO, 1997, Industrial fans-Performance testing
11. 한국공업규격, 1987, 송풍기·압축기의 소음레벨 측정방법, KS B6361, pp.1-33