

터보 송풍기의 연구개발 동향

엄 윤 섭*

1. 서 론

1862년경 제철 광산업에서 처음으로 사용된 원심식 송풍기 이후 터보 송풍기의 역사는 1899년 Rateau의 논문발표를 시작으로 오늘까지 지속적으로 연구되어 오고 있다. 외국에서는 1973년 오일 쇼크로 고효율의 송풍기가 요구되어 3차원 익형의 임펠러가 주로 사용되었고 1980년 이후 설계, 제작, 검사, 제어, 보수 등에 전자계산기 기술의 도입으로 복잡한 기술 계산 뿐 만아니라 설계와 도면제작에 CAD (Computer Aided Design)를 사용하였으며 부품의 가공을 위하여 CAM(Computer Aided Manufacturing)을 사용하여 송풍기의 성능에 큰 발전이 있었다. 그러나 국내의 송풍기 역사는 약 30여년 정도로 짧기 때문에 일부 분야 외에는 그 기술 수준이 선진국과 비교하여 뒤떨어진다.

송풍기는 크기가 크고 높은 압력이 요구되는 산업용에서부터 크기가 작고 정속성이 요구되는 가전기기용까지 매우 광범위하게 사용이 되고 있으나 송풍기의 설계에 필요한 유체 역학적 지식자료의 축적 미비로 인하여 에어컨이나 냉장고를 생산하는 대기업 가전업체 연구소를 제외하고는 국내 송풍기 전문 제조업체들의 기술 수준은 낙후된 상태를 벗어나지 못하고 있다. 가전기기에 사용되는 송풍기는 강제대류에 의한 열교환기의 효율 향상이나 열 발생 기구의 방열과 같은 본연의 임무 외에 소비자들의 생활환경이 인텔리전트(intelligent)화 및 고급화 되어 쾌적한 환경에 대한 요구가 크기 때문에 설계를 할 때 소음 저감을 위하여 서도 많은 노력을 하고 있다.

따라서 가전제품에 사용되는 소형 송풍기의 설계를 위하여 요구되는 압력과 풍량 확보 및 에너지 저감을 위한 효율의 향상 같은 송풍기의 기본성능을 만족하면

서 날개의 회전으로 인한 BPF (Blade Passing Frequency)음과 난류 유동에 의한 광대역 소음과 같은 유동소음의 저감도 추구하여야 한다.

다양한 여러 제품의 가전기기에 사용되어지는 송풍기는 거의 모든 종류의 송풍기가 쓰이고 있다. 일반적으로 송풍기의 분류는 압력의 크기, 용적변화 등에 따라 나눌 수 있으며 일본과 유럽 등에서는 사용 압력에 따라 압축기, 블로우어 (blower), 팬 (fan)으로 분류한다. 가전기기에서는 사용 압력이 1000 mmAq 이하 이므로 팬으로 부르고 이하에서는 송풍기 대신 팬으로 사용한다. 또한 유동의 형태에 따라 축류 팬, 원심 팬, 관류 팬으로 분류가 되며 축류 팬은 주로 냉장고와 공조기의 실외기 등에 사용이 되고 원심 팬은 슬림형 에어컨의 실내기와 청소기 등에 사용되며 관류팬은 룸 에어컨의 실내기에 사용되고 있다.

고효율, 저소음을 위한 팬의 설계를 위하여서는 팬의 입출구 및 임펠러 날개 사이의 유동정보가 필요하며 이것을 위하여 실험과 수치해석의 기법을 사용한다.

실험을 통하여 정성적 유동정보를 얻기 위하여 여러 가지와 수법이 사용되며, 정량적 정보를 얻기 위하여 LDV (Laser Doppler Velocimetry)와 PIV (Particle Image Velocimetry) 등의 첨단 정밀 측정장치를 사용하여 유속을 측정한다. 또한 컴퓨터를 사용한 수치해석을 하기 위하여 자체 프로그램을 개발하여 해석을 하기도 하지만 software의 발달에 따라 상용 프로그램을 많이 사용하고 있다. 국내에는 주로 FLUENT와 CFX, STAR-CD 등의 범용 프로그램이 사용되며 팬의 해석을 위하여 CFX-TASCflow와 같은 팬 전용 프로그램이 사용되기도 한다.

팬의 분류에 따라 나누어진 팬들은 각자의 고유 특성을 갖고 있기 때문에 각각의 특성에 따라 사용이 되어져야 하나 설계를 하는 사람의 지식이 한정적인 관례로 사용제품에 따라 이미 고정된 형태의 팬만을 사용하므로 적용이 제한되고 있다. 따라서 다양한 종류의 팬 설계를 위하여 기본적으로 필요한 실험장치 및

* 자료제공 (주) LG 전자 DAC연구소
E-mail : yseom@lge.com

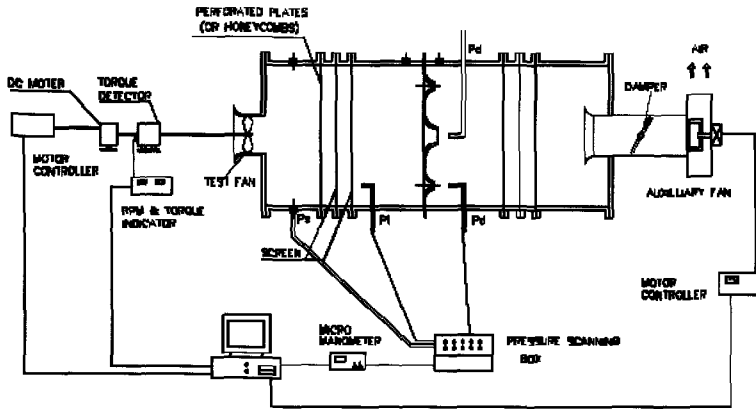


Fig. 1 Experimental apparatus of fan tester

각 팬들의 특성과 최근의 동향을 소개하고자 한다.

2. 성능 측정 장치

팬의 성능을 나타내기 위하여 각각의 팬 풍량, 압력, 입력, 효율, 회전수, 직경크기에 따른 성능곡선이 필요하며 이를 위하여 다음의 측정 장치인 팬 테스트를 필요로 한다. 팬의 성능 및 유로 저항, 풍량 측정을 위한 팬 테스트는 Fig. 1과 같이 팬 시험 부, 압력 및 풍량 측정 부, 풍량 조절 부, 그리고 각종 계측기 및 컴퓨터로 구성되며 풍량 측정을 위하여 풍량 측정용 노즐을 통과하는 공기의 차압을 측정하여 풍량을 계측하며 유량 조절용 댐퍼(damper)와 보조 송풍기의 회전수에 의해서 유량이 조절된다. 팬 시험부는 팬의 토크(torque) 변화에 관계없이 일정한 회전수를 내도록 피드백(feedback) 제어하는 서보(servo) 모터에 의해서 구동이 되며 토크미터와 회전수 측정기를 사용하여 토크와 회전수를 측정하였으며 팬의 풍량과 압력을 측정하기 위하여 마이크로 압력변환기를 사용하였다.

이상의 측정값들은 컴퓨터와 통신하면서 자동화 되어있는 계측 시스템에 의하여 계측된다⁽¹⁾.

3. 팬 성능 특성

3.1 축류 팬 (Axial Fan)

공기가 축방향으로 유입되어 축방향과 임펠러의 토

오크에 의해 가해진 일 만큼의 반경방향 속도성분을 가지고 방출되는 축류팬은 주로 많은 풍량과 유로저항이 적은 경우에 사용되며 단위 압력에서 단위 풍량을 내기위한 회전수인 비속도(m^3/min , m , rpm) 1500이상에 사용한다. 성능에 관련된 주요 설계인자는 임펠러와 케이싱 사이의 간격(clearance)과 임펠러의 삼입 깊이, 날개의 설치 각, 스위프(sweep) 각, 날개 수 등이 있다. 보통의 가전기와 생활용품에 주로 쓰이는 프로펠라(propeller) 팬은 축류 팬의 한 종류로 유로저항이 매우 적을 경우에 사용이 되며 구조가 간단하고 비용이 적게들기 때문에 많이 사용이 된다. 특히 냉장고에서 고내의 냉각기류를 흐르게 하기위하여 사용이 되며, 방출되는 쪽에 특이하게 냉기를 넓게 퍼지게 하기위하여 그릴이 장착되어 있다. Fig. 2는 그릴 유 무와 그릴과 팬 간격에 따라 측정 한 팬의 성능곡선으로 그릴이 있을 경우 없을 때 보다 고 유량 영역에서 풍량이 증가하였다.

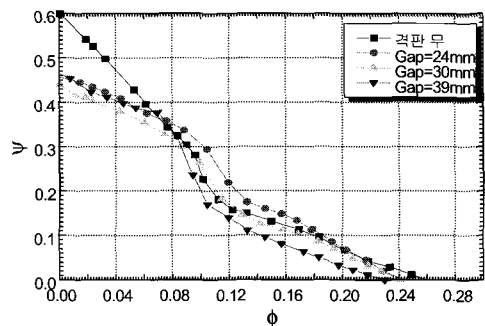


Fig. 2 Performance curve of the propeller fan between Φ and Ψ

보통의 경우 축류 팬의 효율은 정익 등의 부가적 장치를 부착하지 않는 경우 전압 효율이 약 75% 정도이며 축류 팬에서 성능저하와 소음발생은 케이싱과 날개 끝단의 틈새에서부터 생성되는 익단누설와류 (tip leakage vortex)의 비정상 (unsteady), 3차원 특성으로 인해 날개 끝단에서 발생하는 큰 압력 손실 때문으로 알려져 있다.

축류 팬의 날개는 3차원의 형태를 가지기 때문에 설계가 어렵지만 최근의 수치해석 기법의 발달로 인하여 보다 용이하게 3차원 설계를 할 수 있게 되었으며, Fig. 3은 날개에 요구되는 속도분포에 따라 날개가 설계되는 역설계 방법에 의한 수치해석 결과이다.

최근의 진일보된 설계 방식에 따라 일본에서는 Fig. 4와 같이 날개 끝단의 형상을 부압 면이 날개 회전방향과 반대 방향이 되도록 굽혔으며, 날개의 전단에서 발생한 경계층이 박리되어 다음의 날개에 충돌하는 것을 방지하기 위하여 날개 수가 2개인 사류 팬도 개발 되었다⁽²⁾.

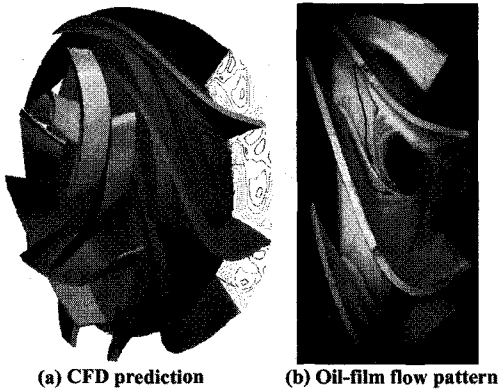


Fig. 3 CFD analysis by Inverse design method

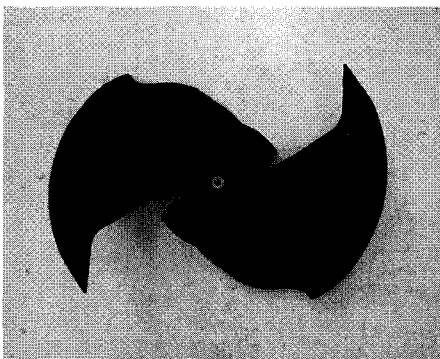


Fig. 4 Two blade fan

3.2 원심 팬 (Centrifugal Fan)

가장 널리 사용되는 팬인 원심 팬은 공기가 축 방향으로 유입되어 반경 방향으로 방출되고 임펠러와 나선형의 케이싱으로 구성되어 있다. 크기가 작지만 높은 압력이 필요한 경우에 사용이 되며 날개의 형태에 따라 출구 각이 90°보다 크면 다익 팬 또는 시로코 팬, 출구각이 90°보다 작으면 터보 팬, 출구각이 90°인 경우 반경류 팬으로 분류한다. 출구 각이 증가하면 압력과 풍량도 증가하므로 시로코 팬은 직경의 크기와 회전수가 같을 경우 압력과 풍량이 가장 크게 되어 throttling을 피하기 위하여 날개의 길이가 짧으며 날개의 수가 많으므로 다익 팬 이라고도 한다. 단점으로 터보 팬에 비해서 팬 효율이 떨어지며 최대 효율이 75% 정도이며 설계된 운전 점에서 조금만 벗어나도 풍량 증가에 비해 입력이 급속하게 증가하여 모터의 부하가 크게 되므로 적용에 조심하여야 한다. 터보 팬의 경우 효율이 가장 높으며 익형의 날개를 가진 경우 최대 효율이 90%까지 가능하고 시로코 팬과 달리 운전점을 벗어나더라도 입력의 증가가 거의 나타나지 않아서 적용이 매우 편리하다.

원심 팬의 성능에 관련된 주요 인자는 외경, 팬 폭, 날개 수, 팬 입구경, 내외경 비, 출구 폭, 날개의 입구 각, 출구 각, 케이싱의 형상, 확대각 등이 있으며 Fig. 5는 원심 팬의 설계를 위한 수치해석 결과이다.

기존의 임펠러 설계에서는 공기의 흐름을 2차원성으로 가정하여 설계를 하였지만 실제 원심 팬은 입구에서 출구까지의 유동이 강한 3차원성을 가지므로 효율 및 소음 저감을 위하여 3차원 형상의 날개를 설계하여야 한다. 그러나 제조업체에서 대량 생산을 위하여 금형을 사용하여야 하므로 날개의 형상을 2차원의

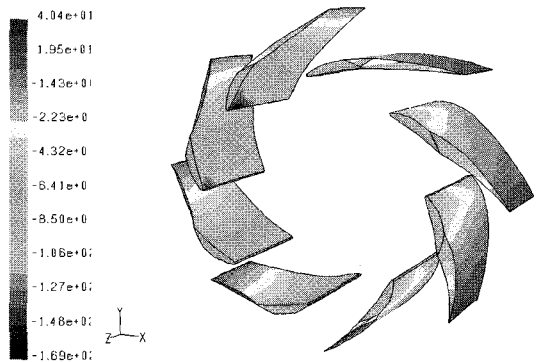


Fig. 5 Pressure distribution in turbo fan

로 할 경우 날개의 입구 형상을 변경하여 3차원 흐름에 대응하는 설계를 하기도 한다. 또한 원심 팬의 경우 BPF 소음은 주로 임펠러와 케이싱의 cut-off부에서 발생이 되므로 틈새를 크게 하면 소음이 작아지지만 유량의 손실이 있으므로 관리에 주의를 하여야 한다. 최근의 원심 팬에서는 이러한 특정 소음을 저감하기 위하여 이 곳에 공명 형 소음기를 설치하기도 하며 대용량의 풍량이 필요한 곳에서는 원심 팬을 대칭으로 설치한 양 흡입 원심 팬을 사용하기도 한다.

3.3 관류 팬 (Cross Flow Fan)

축류 팬이나 원심 팬과 달리 관류 팬은 임펠러 내부를 횡단하는 내부 흐름을 가지고 있으므로 관류 혹은 횡류 팬으로 부르며 1892년 프랑스인 Mortier에 의해서 발명되었지만 및 효율이 떨어지는 관계로 사장이 되었다. 그러나 설계기술이 발달하고 임펠러의 폭을 크게 하면 비례하여 풍량이 증가하는 고유의 장점을 활용하여 임펠러의 직경을 작게 하고 팬 폭을 길게 하면 제품의 소형화 및 저소음화를 할 수가 있기 때문에 최근에는 소음이 매우 중시되는 룸 에어컨의 실내기에는 거의 모두 사용이 되고 있다. 또한 직경과 폭의 비를 조정하여 축류 팬과 원심 팬에 대응할 수 있으며 비속도가 같을 경우 소형화가 가능하며 크기가 같을 경우 비속도가 작아 고 정압 팬의 설계가 가능한 장점을 갖고 있다.

관류 팬은 다익 팬과 유사하게 출구 각이 90° 이상인 날개를 가지며 양 측면에 측판이 있어서 축 방향으로 공기가 유입되지 않고 스테빌라이저 부근에 순환류가 발생하는 것이 특징이며 Fig. 6은 수치해석 결과로 순환류가 발생하는 것을 잘 보여주고 있다. 성능 관련 주요 인자로는 스테빌라이저의 형상, 각도, 위치와 임펠러의 직경, 내외경비, 입구각, 출구각과 리어 가이드의 형상, 확대 각이고 원심 팬의 임펠러와 cut-off 사이 간격과 마찬가지로 스테빌라이저와 임펠러 사이의 간격이 매우 중요하다. Fig. 7은 스테빌라이저의 설치 각도에 따라 효율 및 성능이 변하는 것을 보여주고 있다. 팬 입구의 유동이 축 방향으로 대칭이므로 날개 각각에 유입되는 속도가 같은 축류 팬이나 원심 팬과 달리 관류 팬에서는 각각의 날개에 유입되는 속도가 모두 다르며 입구와 출구에서 입구각과 출구각이 서로 뒤바뀌므로 날개를 설계 할 경우 어려움이 있다. 또한 관류 팬은 흡입구와 토출구 주위에 장애물

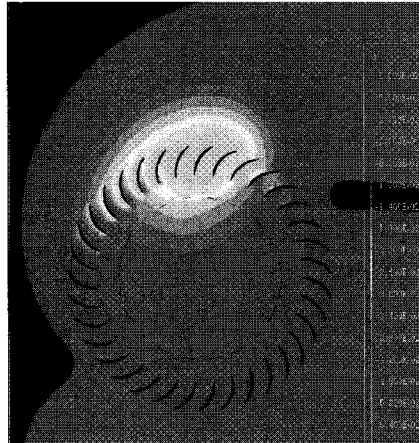


Fig. 6 pressure distribution by CFD

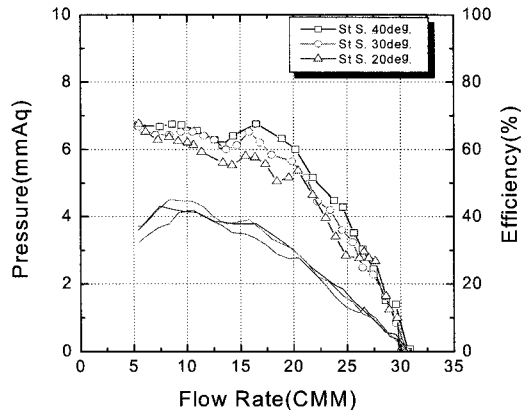


Fig. 7 Fan performance curve by stabilizer setting deg.

이 있을 경우 성능 저하가 발생하므로 일반적으로 반경보다 가까운 곳에 열교환기와 같은 장애물이 설치되지 않도록 조심하여야 한다.

4. 결론

이상으로 가전용 기기에 사용되는 축류 팬과 원심 팬, 관류 팬의 특징과 연구 동향에 대하여 살펴보았다.

고려된 일반적 특징은 팬 단독의 특성으로 팬이 가전 기기에 적용이 될 경우 입출구 조건이 달라지고 운전점인 부하를 결정하기도 어려운 경우가 종종 있으므로 적용될 가전기기에 가장 적합한 팬을 선정하기가 매우 곤란하다.

경우에 따라서는 최대 효율 60%의 팬이 적용되어도 입구 조건에 따라 효율 약 30% 지점에서 운전될

경우도 있으므로 적용될 기기의 유로 특성에 맞게 각각의 팬이 적용될 필요가 있다. 예를 들면 지금까지 냉장고의 고내 팬에는 축류 팬의 일종인 프로펠라 팬이 적용되어 왔으나 팬 입구의 유동이 축 방향으로 비대칭 이므로 최근에는 소음측면 에서 프로펠라 팬보다 유리하며 고내 유로의 형상에도 적합한 원심 팬을 적용하기도 하며⁽³⁾, 에어컨 실내기 에서는 기존의 시로코 팬 대신 효율이 높고 운전 범위가 넓은 터보 팬을 적용하여 소비전력의 저감과 저소음을 도모하기도 한다.

팬의 설계에 고려를 하여야 할 또 다른 요소로 기본 성능 외에 소음, 강도 신뢰성 등이 있으며 기존에는 성능을 만족한 이후에 소음과 신뢰성에 따라 다시 설계를 하여야 하므로 시간과 비용에서 손실이 발생하였으나 최근에는 설계의 초기 단계에 성능과 소음, 성

능과 신뢰성을 동시에 고려한 설계도 시도되고 있다.

참고문헌

- (1) 엄윤섭., 2000, “프로펠라 팬과 앞판과의 간격이 팬 성능에 미치는 영향에 관한 연구,” 韓國船舶機關學會誌 第24卷 第 4號, pp. 494~501.
- (2) Takashi SUGIO., 2003, “2 Wings Mixed Flow Fan for the Outdoor Unit of a Room Air Conditioner” 터보機械 第31卷 第 9號, pp. 8~12
- (3) 大冢芽生., 1996, “입구교란을 받아서 작동하는 Fan의 성능과 소음 특성” 터보機械 第24卷 第3號, pp. 21~27