

## 2002년도 유체기계공업학회 송풍기분과 연구개발 발표회

김재원\*

유체기계공업학회의 송풍기 분과의 연례 학술 행사가 올해는 연구 개발 발표회의 형식으로 지난 6월 18일에 충남의 선문대학교에서 개최되었다. 선문대학교는 공조기술 연구센터가 설치된 대학으로 공조 분야의 연구가 매우 활발하다.

유체 기계 공업 학회 송풍기 분과의 학술 행사는 강습회와 연구 발표회를 큰 주제로 교대로 개최되는 데 2001년의 경우 연세대학교에서 강습회가 개최되었고 올해에는 연구 개발 발표회의 성격으로 준비되고 개최되었다. 이 연구 개발 발표회에는 송풍기의 개발에 주요하게 사용되는 도구인 전산 해석 프로그램의 소개 및 그 응용 사례가 오전에 소개되었고 오후 세션에서는 송풍기 관련 연구 개발 사례가 제작 업체 및 소요 업체를 중심으로 이루어졌다. 본 연구 개발 발표회에는 총 60여명이 참석하여 진지한 정보 교류의 장을 마련하였으며 일부 참석자들 사이에는 구인을 포함한 실용적인 정보 교환이 이루어졌다. 각 발표 논문들을 소개하면서 그 중심 내용과 함께 참석 못한 많은 관계자들을 위한 요약 정보를 제공하고자 한다.

### 송풍기 관련 상용 프로그램

오전에 진행된 송풍기 설계 관련 상용 프로그램의 소개에는 총 6개 사의 제품이 선 보였다. 그 중 국내 기업이 개발하여 출시한 것이 2종이고 나머지는 일본과 미국 및 유럽의 개발사가 중심이 된 제품이다. 국내 프로그램의 경우 에어로네트사의 *iDesignFan<sup>TM</sup>*은 자체의 영업망과 기술 지원 체계를 갖고 있으며, *Fan Noise*의 제품은 FLUENT로 알려진 ATES사에서 그 판매와 기술 지원을 대행하고 있다. 이제 그 각 작에 대해 소개된 내용을 요약하여 설명하고자 한다.

에어로네트사 (대표 이승배)는 “성능 및 소음의 Inverse Design Method를 이용한 송풍기(팬) 설계”란 제목으로 역 설계의 기법을 통해 송풍기의 성능을 예측하고 그 기하학적 형상을 제공하는 자체 제작 프로그램 (*iDesignFan<sup>TM</sup>*)을 소개하였다. 이는 역설계 개념을 도입하여, 주어진 회전수에서 유량과 전압을 갖는 팬의 최적의 형상을 평균유선법과 손실을 고려한 성능예측을 통해 1차적으로 구현하며, 이를 바탕으로 날개 후류에서의 전압의 분포함수를 다시 역설계 변수로 사용하여 다차원 시간영역 음향역설계를 수행하는 기능을 갖고 있다. 또한 반복 설계과정 중 BEM 및 CFD 해석이 가능하도록 날개설계과정이 Bezier 설계방식으로 연동되어, 유동 역설계도 가능하도록 한 소프트웨어로 그 계산의 정도가 매우 높게 소개되었다.

CFTech 사에서는 *FAN/Design<sup>TM</sup>*과 *FINE<sup>TM</sup>/Turbo*이라는 프로그램을 활용하여 축류팬을 설계하고 그 성능을 예측하는 과정을 소개하였다. 축류팬은 공조 및 산업 전반에 널리 사용되고 있는 송풍기이기에 축류팬의 사용자들은 보다 조용하고 고효율의 성능을 요구한다. 이에 성능과 소음 두 가지 성능을 예측 할 수 있는 방법이 필요하게 되었다. 이 연구에서는 축류팬의 공기역학적 성능향상과 공기유발소음의 감소를 목표로 *FAN/Design<sup>TM</sup>*과 *FINE<sup>TM</sup>/Turbo*를 사용하여 냉각탑의 축류팬을 개발하였다. *FAN/Design<sup>TM</sup>*은 축류팬의 성능과 소음을 예측하고 블레이드 설계를 위해 개발되어졌으며 그 제안된 블레이드의 형상을 기초로 한 송풍기 전체의 상세 전산 해석은 3D CFD 장비인 *FINE<sup>TM</sup>/Turbo*를 통해 수행되어 매우 상세한 유동 정보를 제공하였다. 이와 같은 프로그램의 활용이 결과적으로도 우수한 송풍기의 구현에 큰 도움이 된 내용을 소개하였다.

ATES사에서는 KAIST 이덕주 교수가 작성한 *FanNoise* 프로그램을 활용한 그 사례를 ATES사의 라선욱 회원이 소개하였다. “팬의 유동 및 소음해석을 위한 프로그램 개발 및 적용”이라는 제목으로 소개된 이 발표에서

\* 선문대학교 기계 및 제어공학부, 회원  
E-mail : jwk@sunmoon.ac.kr

휨 유발 소음에 대한 진지한 논의가 이루어졌다. 이 소개에 따르면 휨은 비 균일 유동장을 가지고 있고, 소음원이 덕트와 케이싱 등에도 있기 때문에 휨 소음 예측은 상당히 어려운 부분이다. 따라서 휨 소음예측을 위한 분석 틀은 거의 발표된 바 없다고 한다. **FanNoise**는 사용자의 사용 환경에 편리한 GUI로 개발되어졌고 축류휨과 원심휨을 설계할 수 있으며 유동장 해석과 성능분석, 웨지, 케이싱, 덕트의 소음을 예측할 수 있다고 한다. 또한 이 프로그램의 수치해석 방법은 원심휨은 2D vortex method, 축류휨은 3D time-marching free wake method에 의해 해석하므로, 그 Solver는 Simple Solver(실험식을 사용한 소음과 성능계산), Flow Solver(유동장계산, 성능계산), Free Field Noise Solver(자유장에서 소음특성 확인, 발생소음의 시간 주파수분석), Noise Solver(케이싱, 덕트, 슈라우드를 포함한 소음계산 [scattering, reflection, diffraction effect]) 등의 네 가지 형태를 가지고 있다.

“CFX를 이용한 송풍기 유동해석 및 설계”라는 제목으로 CFX Korea의 이형욱 회원이 소개한 상용 프로그램은 그 응용의 편리성과 함께 선 처리 작업(Pre-process job)의 간편성에 대해 소개하였다. 그 발표 내용에 의하면 해당 프로그램은 그래픽 환경을 기반으로 한 블레이드 3차원 설계 소프트웨어이므로, 사용이 편하고 쉬우며 3차원 형상의 격자 생성 및 수정 가능함을 차별화하였다. 또한 그 소프트웨어의 다른 장점으로는 CFD format 간의 호환성, 각종 CAD(IGES, IBL, KXF) 자료의 읽음, text format 등으로 출력, 그 소프트웨어의 특정 모듈인 **CFX-BladeGen**에서 만들어진 블레이드 형상을 즉석에서 해석, CFD 초보자도 교육 없이 바로 사용이 가능함을 꼽을 수 있다. 한 가지 경우의 해석에 필요한 전체 소요시간은 약10~15분 정도였고, 그 해석 결과의 오차율은 5% 이내이며, Topology를 별도로 만들 필요 없는 블레이드 전용 자동 격자 생성기가 특징이다.

범용 유체 역학 프로그램을 송풍기 문제에 적용할 수 있는 사례가 **STAR-CD**를 활용하여 이경현 회원에 의해 소개되었다. 그 내용은 각종 휨의 소음, 성능해석의 결과를 보이고 또한 유동장 해석 예제를 소개하는 것으로 이루어졌다.

마지막 발표는 CMS Tech의 원영수 회원에 의해 “유체기계에 대한 SC/Tetra 적용사례”라는 제목으로 새로운 상용 유체 역학 해석 프로그램인 **SC/Tetra**의 유체 기계로의 응용이 소개되었다. 그 소개 내용에 따

르면, 이 프로그램은 삼차원 CFD 해석 프로그램으로 계산 기술의 경감화를 위한 Adaptive Solution과 해석 효율화를 위한 연속실행 기능의 특징이 있으며, Adaptive Mesh 기능은 파라메타 Mesh제작이 가능하고, 목표 격자수 설정을 통한 해석, 최적 격자 수를 생성하여 이에 대한 해석 수행이 가능하다고 한다. 또한 대화 형식의 사용자 인터페이스 기능으로 마법사 기능을 통한 해석 조건 설정, 해석 효율화를 위한 사용자 작업과 컴퓨터 작업의 2분화 및 연속 실행, Parallel Solver 사용 시 병렬처리 해석 기능, Import/Export Mesh Interface 기능 등의 유용한 기능을 가지고 있다고 하며, 특히 ALE기능(Rotating Boundary, Moving Boundary)을 가지고 있어 Fan 모델 등의 여러 가지 해석을 할 수 있는 종합 Simulation 도구로 소개되고 있다.

## 송풍기 관련 연구개발 사례

오후에는 연구 개발 성공 사례를 중심으로 발표회가 계속되었다. 오후 첫 발표는 선문대학교의 김재원 회원에 의해 진행되었는데, 이 논문에서는 공기 정화 기용 송풍기의 개발을 언급하였다. 구체적으로는 “고압력 흡입 환경에서의 시로코 휨 개발”이라는 제목으로 기존의 원심형 송풍기와는 매우 다르게 입구 측에서 공기 정화 장치에 의해 매우 큰 정압이 걸리는 공기정화기 송풍기 시스템의 개발 과정을 소개하였다. 연구의 대상이 되는 원심형 송풍기는 시로코 휨으로 기존의 조건과는 달리 흡입 측에 공기정화용 고능률 공기여과 장치가 장착되어 있고, 제품 내부가 매우 협소하여 유로의 확보에 많은 어려움이 있는 성능 손실의 요소를 가지고 있다. 일반적으로 가정용 에어컨의 경우 열교환기로 인한 압력손실이 약 2 mmAq. 정도인 반면, 연구대상의 공기필터로 인한 정압손실은 19mmAq.로서 전자에 비하여 약 9.5배의 손실이 더 많다. 따라서 이와 같은 불리한 환경에 적용될 수 있는 송풍기 시스템의 개발에 관련된 설계 개선의 대상은 원심 송풍기의 핵심 구성품인 휨과 설부형상을 포함한 그 케이싱을 선택하여 개발을 진행시켰다. 결과적으로 해당 연구에서는 휨의 날개는 에어포일의 형상을 채택하고, 휨의 허브방향과 팁 방향의 코드길이를 일정비율로 감소시키는 경사 날개 길이를 갖는 송풍기를 고안하였다. 또한 휨의 케이싱의 설부의 형상은 둥근형으로 일반적인 설계 방법에 따라 휨 외경에 0.8 배로 설계하였으며 설부에 기울기를 주어 전체 유동의 입장에서 노즐

형상이 되게 설계하였다. 이를 바탕으로 고 흡입 압력의 환경에 적합한 공기정화기용 송풍기의 설계에 성공한 사례를 보고하였다.

동해기연의 연구진이 당사의 개발 대상인 사류 송풍기를 영국의 ELTA사의 제품을 기본모델로 하여 인하대의 김광용 회원과 함께 산학 협동 사례를 소개하였다. 일반적으로 사류송풍기는 원심 송풍기와 축류 송풍기의 공기 역학적인 장점을 모두 가지고 있는 유체계로서 넓은 용량 범위에서 효율이 높고 구동 동력의 변화가 작다는 특징을 가지고 있다. 원심 송풍기의 경우 설치 공간이 커서 공간 활용상의 비효율성이 크고, 경우에 따라 과도한 유로의 굴곡으로 인해 소음이 커지고 효율이 저하되는 문제가 있는 반면, 사류 송풍기는 소형, 경량이며 효율이 높고 소음 특성이 좋아 그 활용도가 높다. 해당 연구에서는 날개 형상은 원심형과 축류형의 흐름을 통합한 날개 구조로서 Bossaus이 45~55도의 경사면으로 형성하였고, 날개폭은 넓고(대 유량 특성), 길이는 짧은 형태를 선정하여 개발 목표를 달성하였다. 완성된 시제품의 유체의 흐름을 살펴볼 때에 흡입구가 기존의 원심형에 비해 확대되어 있어 유체의 유속이 감소하는 구조이며 토출측(외경)으로 점차 넓어지는 사발형(경사면)모양을 형성하여 유동장에서 기존 원심형 제품에 비해 난류나 와류 손실을 최소화하는 구조로 이루어져 있다고 한다. 또한 토출된 공기의 유동장이 고정익(Guide Vane)을 통하여 정류되어져 덕트 내에서 정류된 층류를 형성하여 원활한 유동장을 구성함으로써 기존의 난류 층에서 발생하는 와류손실이나 소음을 최소화 할 수 있는 구조를 이루고 있다고 한다. 해당 연구에서 평균 유선 해석을 이용한 성능 해석방법을 이용하여 미끄럼계수의 수정, 내부손실 해석 등을 수행하였고 이와 같은 연구를 통해 개발된 사류송풍기의 시제품을 제작하였으며, 성능 실험을 통해 개발된 사류송풍기가 기존의 외국 제품과 비교해서 성능 면에서 크게 향상되었음을 알 수 있었다고 한다.

경인기계에서는 상용 프로그램 공급사인 (주)씨에프텍의 기술 자문을 통해 냉각탑용 저소음 축류 팬을 개발한 사례를 보고하였다. 축류형 송풍기는 저압에서 많은 풍량을 요구하는 경우에 적합한 송풍기이지만 최근에는 고압용에서도 좋은 효율을 얻을 수 있게 되어 적용 범위가 점점 넓어지고 있다. 축류형 송풍기는 원심력을 이용하는 원심형 송풍기에 비해 소음이 크고 설계점 이외의 운전 조건에서는 효율이 급격히 떨어지

는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 발표사에서는 설계 요구 조건과 비속도식에 의해 최고 효율점에서의 팬의 회전수를 얻었고 날개 시위길이는 날개 끝 기준으로 현절비가 0.25가 되는 길이로 결정하여 수치 계산을 수행하여 그 결과를 판정하는 방법으로 제품 설계를 추진하였다고 한다. 그 결과 몇 번의 시행착오 끝에 Clark-Y의 날개 형상을 선택하였으며, 각 날개 단면의 설치각과 전, 후연의 각도는 free vortex 방법에 의해 결정하여 이 각도를 바탕으로 생성된 캠버라인에 Clark-Y 익형을 입혀 익형의 기하학적 정보를 완성하였다고 한다. 실제 날개는 FRP의 중공 구조로 제작될 예정이었으므로 구조 강도 면에서 문제가 발생할 일은 없을 것으로 예상하고 있다. 실증용 팬을 냉각탑에 설치하고 시동 후 정상상태에서 30분이 경과한 다음 풍속계와 소음계를 이용하여 팬의 성능 및 소음을 측정 실험결과 동력만 다소 높게 나왔을 뿐 *Fan/Design<sup>TM</sup>*에서의 예측 값과 상당히 잘 일치한 내용을 얻었다고 한다.

만도공조(주)의 박지호 회원 외 4인에 의해 실외기 축류팬 저소음화 연구의 결과가 소개되었다. 이 연구에서는 팬 소음을 BPF(Blade Passing Frequency)와 난류 유동에 의한 광역소음으로 구분하여 축류팬과 관련된 설계변수인 pitch angle에 의한 설계 완성도 향상에 주력한 내용을 소개하였다. 그 소개 내용에 따르면, Pitch angle을 크게 하면 풍량을 어느 정도 증가시킬 수는 있지만 부하가 증가하여 stall 현상이 발생할 가능성도 높고, 소음이 증가하고 효율이 떨어지는 등 많은 문제가 발생 할 수 있다. 또한, Sweep angle은 사람이 실질적으로 느끼는 감청소음을 줄이는데 있어 대단히 효율적이며, Rake angle은 날개 tip 유동소음에 영향을 미치므로 이에 대한 기준 값을 실험적으로 제시한 우수한 논문이다. 마지막으로 팬의 날개의 camber에 대한 지침을 소개하여 공기유동소음을 저감하기 위해 저소음 축류 팬을 새롭게 개발한 사례를 소개하였다. 구체적으로는 Shroud를 새롭게 개발하여 유동소음 2.4dB[A]가량 저감하였으며, 910~930rpm 대역에서 720~740rpm 대역으로 약 160~200rpm 가량 내려가면서 160Hz대의 공진 주파수를 회피하게 되었고 이음“봉봉거리는 소리”도 잡아 음질을 크게 개선한 결과도 소개하였다.

대우전자(주)의 황대연 회원의 실제 개발 사례는 다소 인상적이었다. 유동 소음의 해소를 유로의 개선을 통해 적극적으로 대처한 내용으로 그 대상은 상치형

가정용 공조기였다. 해당 연구 개발 사례에서는 상치형 공조기(Package A/C)의 실내기 저소음 설계 변수 중, 구성 부품들의 조합과 설치형상에 관련된 입구 및 출구 유동의 제어를 통한 소음제어 기법에 관하여 연구하였다. 이 논문에 따르면, 송풍기에서 발생하는 난류 소음에 영향을 미치는 영역은 열교환기를 통과한 이후의 유동이고, 송풍기에서 발생하는 난류소음은 시로코헨의 날개를 통과하는 유동의 통과 면적에 가장 큰 영향을 받으며, 이러한 통과 면적은 송풍기의 벨 마우스에 접근하는 유동의 방향에 크게 좌우되고, 송풍기 벨 마우스를 경계로 한 흡입 와동의 반경으로 나타나며, 열교환기를 통과한 공기는 송풍기에 흡입되기까지 2~3차의 회절을 하게 되어, 소음과 맥동을 발생하게 한다. 따라서 이 회절을 줄이기 위해서 송풍기의 흡입단 면적은 일정하게 유지하면서 열교환기 방향으로 기울여 가며 실험한 결과, 일정 각도까지는 각 풍량대역 별로 소음저감의 효과가 나타나지만, 일정각도 이상으로 설치되면 오히려 소음이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 해당 공조기의 토출단 특징에 따른 송풍기의 토출 정압 불안정이 원인이다. 흡입부가 제품의 측면에 배치되는 경우에, 실내기 열교환기를 통과하는 공기는 그 주유동이 열교환기의 양 측면을 기준으로 통과하게 되고, 이러한 흐름은 그대로 송풍기의 흡입부에 영향을 미치게 된다. 이러한 특성은 양 흡입방식을 적용하는 제품의 경우 그 영향이 상대적으로 작지만, 단 흡입방식을 채택하여 적용되는 경우 제품의 소음에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 흡입이 열교환기 측면에 집중되는 것을 억제하기 위해 Mesh를 사용하여 유량을 열교환기 중앙 쪽으로 유도한 후, 동일한 측정을 반복한 결과 열교환기의 유속편차가 개선되었고, 흡입부의 유동도 개선 전에 비해 그 편차가 줄어들었다. 다음으로 송풍기의 흡입부와 Cabinet 사이의 단면적을 변화시키는 실험을 진행하였다. 실험결과 Cabinet 후면과 송풍기 흡입부 사이의 간격을 조절하여 실험한 결과 풍량이 설계치의 최고점에 위치 할 때에는 흡입간격에 따른 소음차이가 크고, 풍량이 적을 때는 그 차이가 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 이는 유량에 따른 흡입유속이 유동면적에 영향을 받기 때문이다. 결론으로 에어컨 실내기의 유동소음을 저감하는 데 있어서 흡입유동의 유선형상과 유속은 송풍기의 성능에 매우 중요한 영향을 미치며, 이러한 유동을 제품에 유리한 방향으로 개선함으로써, 소음저감에 효과가 있음을 확인하였고, 송풍기의 흡입부가 존재하는 부분의 체적과

수직 단면적에 따른 성능변화를 관찰하였다. 이러한 노력을 통해 소음 성능이 개선된 공조기 개발의 과정을 소개하여 참석자들에게 유익한 정보를 제공하였다.

LG전자(주)의 류호선 회원 외 3인은 청소기용 터보헨 및 모터 개발에 관한 내용으로 연구 개발 사례를 소개하였다. 그 소개 내용은 청소기용 터보헨 및 모터의 저소음화에 관한 것이다. 그 소개 내용에 따르면, 청소기 모터에서 발생하는 소음은 축의 회전 불균형 문제로 발생하는 진동소음, 베어링의 소음 등 진동 관련된 소음, commutator와 brush의 마찰 소음, 전자기 소음 그리고 헨 및 모터 내부의 유로소음인데, 이 중에서 터보헨은 30000~40000 RPM으로 회전하므로 헨의 유동 소음이 전체 소음에 미치는 영향은 상당히 큰데, 청소기 원심헨의 대부분의 소음은 임펠러와 디퓨저의 상호작용에 의한 토출 소음과 입구 유동의 불안정과 임펠러 깃에서의 박리 그리고 난류 등에 의한 광역소음이다. 해당 연구에서는 impeller blade와 diffuser를 uneven 하게 설계하는 방법과 이 개념을 확장하여 tapered impeller에 대한 효과도 활용하여 사람의 귀에 민감한 10 kHz 대역의 소음을 줄였다. 실험결과 전체 SPL 값은 동등 수준이지만, BPF에서의 음압 수준은 많이 떨어지는 것을 확인하였다고 한다. 또한 Impeller와 디퓨저의 상호 작용이 Impeller와 디퓨저 간극에 민감한 점과 Impeller의 토출각도는 직경에 따라 바뀐다는 점을 감안하여 Impeller 토출구 부위에 경사를 주어 소음수준이 좋아지고, 특히 음질과 밀접한 관련이 있는 peak frequency에서의 음압 수준이 상당히 낮아짐을 확인하였다고 한다. 또한 헨의 구동 전동기에 대한 개선도 수행되어 가시적인 효과를 거두었다고 한다.

삼성전자(주)의 박성관, 지선구 회원에 의해 냉장고용 축류 헨의 개발 사례가 소개되었다. 그 소개 내용을 인용하면, 냉장고의 소비전력 개선 노력들을 보면 대부분 압축기의 에너지 소비효율(EER)을 높이거나 증발기 및 응축기 등에서 열 전달율을 개선하거나, 신단열재 연구 등에 집중되었는데, 그 경우 해당 분야의 획기적인 기술이 나오기 어렵고 단열재의 경우는 공장 설비와 연결되어 있어 즉각적인 적용이 어렵다. 이에 헨 단품의 효율의 증대뿐만 아니라 토출구나 덕트 구조 등의 적절한 설계에 의하여 압축기 운전율을 낮춤으로써 소비전력 저감이 가능하다고 판단되어 해당 연구가 진행되었다고 한다. 그 연구에서는 당사 냉장고에 적용되는 원심헨 및 모터를 일체화하여 재료비 절감 및 소비전력을 저감하고자 하는 목적으로 헨 설계

시스템을 이용하여 일체형 원심팬을 개발하였고 이를 삼성전자의 개념설계 프로그램, 수치해석(CFD)를 이용한 단품 및 통합해석, 실험에 의한 검증으로 이루어진 일련의 프로세스로 원심 팬을 빠르고 효율적으로 설계하여 설정된 유량 및 압력손실을 만족시키면서 기존대비 80% 정도의 성능향상이 이루어졌음을 확인 할 수

있었고 또한 효율곡선을 보면 최고 효율점이 0.4CMM 부근으로 적절히 설정되었음을 알 수 있었다고 한다.

발표회 순서를 모두 마친 후 일부 참석자들은 공조 기술연구센터를 견학하며 연구 정보를 자유롭게 교환하는 기회를 가져 본 발표회의 의미를 더 한층 의미 있게 하였다.

