

송풍기 분야 연구동향

박 원 규*

1. 서 언

2004년동안에 국내에 발표된 쉘 및 송풍기 관련 논문을 바탕으로 주요 연구동향을 요약하여 소개한다. 2004년도에도 국내 전문학술지와 학술대회들을 통해 많은 수의 쉘 및 송풍기 논문들이 발표되었지만, 본 원고는 그 중에서도 국내의 터보기계 관련 전문 학술지인 유체기계저널, 대한기계학회 논문집 (B) 및 학술대회 논문집, 한국전산유체공학회지 및 학술대회 논문집, 대한설비공학회 논문집, 한국소음진동공학회 논문집, 한국항공우주학회지, 대한조선학회 논문집 등에 2004년도 게재된 쉘 및 송풍기 분야의 논문을 중심으로, 이 분야의 연구동향을 분석하였다. 2004년도에 상기 학술지에 게재된 논문은 총 21편으로 (유체기계저널: 6편, 대한기계학회 논문집 및 학술대회 논문집: 6편, 설비공학논문집: 1편, 한국전산유체공학회지 및 학술대회논문집: 3편, 한국소음진동공학회논문집: 2편, 한국항공우주학회지: 1편, 대한조선학회 논문집, 대한조선학회 학술대회 논문집: 2편)이며, 쉘 및 송풍기 관련 설계, 유동, 성능 및 소음에 이르는 각 분야에 있어서 심도있는 연구 및 기술 개발이 폭넓게 이루어졌다. 또한 논문 내용의 분석을 통해, 2004년도에 이루어진 연구결과들이 송풍기 및 쉘에 대한 다양한 형태의 형상설계, 최적화, 기초실험, 성능실험 및 유동/소음 해석등의 방법들에 의해 시도되었다는 점을 알 수 있으며, 이를 통해 국내 송풍기 및 쉘 연구가 점차적으로 그 깊이와 폭을 넓혀가고 있음을 알 수 있다. 또한 대형 건물에서의 환기시설 설치 유무에 따라 쾌적성에 어떤 영향을 주는지에 관한 연구도 계속하여 발표되고 있다. 그러므로, 본 원고는 2004년도 학술지에 게재된 21편의 내용을 분석, 요약하여, 송풍기 및 쉘 관련 산업계, 연구계 및 학계의 향후 연구에 도

움을 주고자한다.

2. 연구 내용의 분석

먼저 유체기계저널에 발표된 총 6편으로 쉘 설계, 전산해석 및 실험적 연구에 관련된 내용을 포함하고 있다.

전완호 등⁽¹⁾에 의해 발표된 “후드겸용 전자레인지 시로코쉘의 유동 및 소음특성에 관한 연구”는 저소음화를 위한 기본연구로 시로코쉘의 유동특성을 FLUENT 6.0에서 임펠러에 미끄럼 격자 (sliding mesh)를 사용한 CFD해석과 PIV (Particle Image Velocimetry) 실험을 이용하여 흡입구에서는 강한 이차유동이 띠형태로 존재하고 토출구부분에서는 임펠러의 중앙판 위치에 집중 토출됨을 확인하였다. 공력소음은 Ffows-Williams & Hawking방정식으로 음압을 계산하였고 광역소음 저감을 위해서 케이싱 내부에 임펠러 깃 높이의 20~30% 사이의 크기를 갖는 유로가이드를 장착하고, 피크소음 저감을 위해 출구는 V자 형상의 cutoff를 사용한 저소음 시로코쉘의 개발 과정을 보여주었다.

장춘만 등⁽²⁾은 “축류쉘 익단누설와류의 수치적 해석”에서는 3차원 RANS 방정식을 기초 방정식으로 하고 비점성 거동에서는 TVD기법과 3차 정도를 갖는 MUSCL법, 점성거동에서는 Gauss이론에 근거한 중앙차분법을 그리고 와점성 (eddy viscosity)을 평가하기 위하여 Baldwin & Lomax 대수난류모델을 사용하여 해석하였다. 케이싱의 경계층내에 한계유선을 이용하여 익단의 와류 유동을 해석하였고, 두 종류의 서로 다른 날개 틱을 갖는 축류쉘의 비교를 통하여 틱간격이 커질수록 누설유량이 증가하고 따라서 누설와류의 크기가 커질 뿐 아니라, 박리점 및 와류중심도 상대적으로 하류로 이동한다는 것 과 흐름방향 절대와도는 속도벡터가 강하게 누설와류 중심을 감고 있는

* 자료제공 부산대학교 기계공학부
E-mail : wgpark@pusan.ac.kr

영역에서 큰 값을 갖는다는 것을 보여주었다.

이상환 등⁽³⁾은 “유전자 알고리즘을 이용한 축류 송풍기 설계최적화”에서는 전역적 최적화 작업으로 널리 사용되는 유전자 알고리즘을 이용하여 임의의 운전점에 대하여 송풍기의 효율과 총 소음도를 고려한 다목적 최적화에 대하여 논하였고 설계자의 의사가 적극적으로 반영되기 위해 제어가능한 설계해를 구하는 방법을 제시하였으며 이는 기존의 가중합 방법과 비교를 통해 효과적임을 알 수 있었다.

서성진 등⁽⁴⁾은 “원심다익송풍기의 고효율 설계를 위한 수치최적설계” 논문에서 송풍기 정압에 대한 제한조건이 부과된 상태에서 난류 모델로는 표준 $k-\epsilon$ 모델을 사용하고 대류항에 대한 수치도식으로는 linear upwind 도식(LUDS)과 선형대수방정식의 계산을 위해서 SIP(Strongly Implicit Procedure), 그리고 압력계산을 위해서 SIMPLEC 알고리즘을 사용해서 삼차원 Navier-Stokes 방정식을 계산하여 유동해석을 하였다. 또한 계산시간을 줄이기 위해 임펠러 회전블레이드의 힘을 수학적으로 모형화 하였다. 그리고 실험계획법(DOE; Design Of Experiment)이 사용된 반응면기법을 이용하여 최적설계기법을 적용하였다. 그 결과, 1~2%의 효율감소만으로도 성공적인 최적화가 가능하다는 것과 스크롤 내부에서의 삼차원적 유동특성이 커질수록 전압효율은 증가하나 반대로 정압효율은 감소함을 확인할 수 있었다.

김동원 등⁽⁵⁾은 “스태빌라이저 위치 및 리어가이더 형상변화에 따른 횡류팬의 성능특성연구” 논문에서 리어가이더 곡선부 형상은 통과단면에서 동일한 유속이 발생하는 아르키메데스 나선이 단순원호보다 성능 및 운전 안정성면에서 우수하고 스태빌라이저 와 편심와의 간격이 좁을수록 편심외에 의한 임펠러 방향으로의 재유입이 감소하여 성능이 향상됨을 알 수 있었다.

김재원 등⁽⁶⁾은 “원심형 송풍기의 날개 특성에 따른 성능에 관한 연구” 논문에서 전산해석과 실험을 통해 전향익과 후향익을 가진 원심 송풍기의 성능 비교와 유동 해석을 수행하여 토출 유량의 차이는 날개의 형상에 따라 유발되는 익차 출구에서의 절대속도의 차이에 의해 발생하는 것과 전향익의 경우 입구 가까운곳에 유로의 확장이 요구되며 후향익의 경우는 케이싱 출구에서의 유로 확장이 필요함을 확인하였다.

최범석 등⁽⁷⁾은 “가변속 고속블로워의 성능특성에 관한 연구” 논문에서 단단 가변속 제어형 고압 송풍기 개발을 위해 가변속제어형 고속 전동기를 채용한

원심형의 고속 송풍기를 CFX-TASCFLOW를 이용하여 임펠러와 디퓨저 부분을 계산영역으로 하여 유동 해석하고 해석결과를 바탕으로 설계, 제작하여 그 성능을 확인하였다. 또한 송풍기 내부 유동해석을 통해 세부적인 유동특성을 보여주었다.

한국전산유체공학회지와 학술대회 논문집을 통해 발표된 총 3편 논문은 송풍기 성능향상을 위한 전산해석과 실험적 방법으로 이를 검증하였다. 김재원 등⁽⁸⁾은 “회전하는 임펠러를 포함한 스크롤 케이싱 내부 유동장의 전산해석” 논문에서는 공기 정화기에 사용되는 원심 팬을 상용 소프트웨어인 SCRYU/TETRA를 사용하여 필터는 저항을 유발하는 다공체(porous media)로 간주하여 해석하였다. 흡입 저항이 큰 경우 유량이 감소하였으나 그 감소를 최소화하기 위해서 토출면적을 축소하여 고압의 유동의 에너지를 증대시켜 배출하는 것이 유량증대에 도움이 됨을 확인할 수 있었다.

최용규 등⁽⁹⁾은 “진공청소기용 원심팬의 성능향상을 위한 유동해석” 논문에서 격자생성은 상용 소프트웨어인 ICFM-CFD를 사용하였고 실제로 움직이는 이동격자법(moving mesh)을 사용하여 전산해석해서 회전차 흡입면에서 유로폐쇄나 저속영역등의 수력손실이 발생하는 것과 회전차 입구각도의 무리한 증가는 원심팬의 효율을 저하시키고, 이상적인 출구각도는 $20^\circ \pm 1^\circ \sim 2^\circ$ 임을 밝혔다.

대한설비공학회 논문집에서 총 1편의 송풍기 및 팬 관련 논문이 발표되었으며, 이승철⁽¹⁰⁾은 “기류유인팬을 이용한 새 국립 중앙박물관 로툰다에서의 열환경 평가” 논문에서는 상용 소프트웨어인 FLUENT를 사용하여 기류유인팬의 설치 유무에 따른 해석을 수행한 후 PMV(Predicted Mean Vote)와 PPD(Predicted Percentage of Dissatisfied)에 의한 열환경 평가를 수행하였다. 기류팬이 미설치된 경우 약 50%의 불만족률이 예상되지만, 기류팬이 설치된 경우 로툰다 전체의 순환기류를 발생시킴으로써 약 20%로 감소하는 것을 밝혔고 앞으로 건물내 쾌적감을 향상시키 방법에 대한 연구방향을 제시하였다.

대한기계학회 논문집의 논문 3편에서는 소음저감 및 최적설계를 위한 실험적, 해석적 방법을 적용하여 연구하였다. 장준만 등⁽¹¹⁾은 “축류 팬의 익단누설와류 및 후류에서 유량에 따른 변동속도의 주파수 특성” 논문에서 축류 팬의 로터 익간유동장에 대해 상대 좌표계에서 측정할 수 있는 회전 열선센서를 사용하여

날개 끝단의 익간 유동과 후류를 실시간으로 측정하고 유량에 따른 속도변동의 주파수특성을 분석하였다.

김성협 등⁽¹²⁾은 “프로펠러팬에서의 Tip Vortex 거동” 논문에서 LDV(Laser Doppler Velocimetry)를 이용하여 프로펠러팬 날개 전, 후에서의 와류 유동형태를 측정하였으며 얻어진 결과는 비점성 거동에서는 고해상도 풍상차분법, 점성거동에서는 Gauss 이론에 근거한 중앙차분법을 그리고 와점성(eddy viscosity)을 평가하기 위하여 Baldwin & Lomax 대수난류모델을 사용하여 3차원 RANS 방정식을 계산한 해석결과와 비교하였다. 결과로 날개 출구 위치면, tip vortex와 정압면 사이에 실험에서는 고난류 강도가 해석에서는 고손실 유체가 집중되어 있음을 관찰할 수 있었다.

박현수 등⁽¹³⁾은 “엇회전식 축류팬의 3차원 비정상 유동에 관한 실험적 연구” 논문에서 3차원 비정상 공력특성을 파악하기 위해서 전단 동익과 후단 동익의 전방과 후방에서 45° 경사 열선(slanted hot-wire)을 사용하여 각 측정점에서 속도 성분을 얻기 위해 측정위치에서 3방향으로 120° 회전시키면서 주기적인 신호를 PLAT(Phase-Locked Averaging Technique)방법을 사용하여 같은 위상으로 평균화하였고 회전할 때 동일한 위치에서 데이터를 획득하도록 스톱트리거(stop trigger)를 사용하여 실험을 하였다.

배춘근 등⁽¹⁴⁾은 “자동차 프런트 엔드 쿨링팬 주위의 점성유동 해석” 논문에서 지배방정식을 수치해석하기 위해서 유한체적법을 사용하였고 선회류를 고려한 $k-\epsilon$ 모델, power-law 수치기법등을 이용하여 유동을 해석하여 팬입구까지는 거의 대기압을 유지하다가 팬을 통과하면 압력이 급격히 상승하고 다시 하류에서 압력이 일정하게 유지되는 팬의 압력특성이 나타내었다. 그리고 흡입면에서 압력면으로 갈수록 압력이 증가하고 있음 볼 수 있었다.

한국소음진동공학회 논문집을 통해 발표된 김병주 등⁽¹⁵⁾은 “자동차용 냉각팬의 설계와 시스템 개선을 통한 저소음화 연구”에서 팬을 설계하기 위하여 구조적, 공간적인 제약조건 한도에서 필요한 성능 및 소음 목표값을 설정한 후 이러한 기본조건으로부터 블레이드의 삼차원 형상을 만들고 그것을 바탕으로 성능해석 코드인 비균일 유동 모델링-블레이드 요소 혼합 해석 프로그램으로 개념설계를 한 후 시간적분 자유후류 해석프로그램으로 기본설계를 하고 FLUENT를 이용하

여 상세설계를 하였다. 해석을 통해서 설계한 것을 바탕으로 실험을 통하여 팬 시스템 전체를 분석하여 소음이 저감되는 결과를 얻었다.

정일호 등⁽¹⁶⁾은 “유한요소법을 이용한 냉각팬의 진동 및 간섭에 관한 연구” 논문에서 범용 유한요소 해석 패키지를 이용하여 CFA(Cooling Fan Assembly)의 모델링, 고유모드 해석 및 정적 해석을 수행하고 진동 실험을 통하여 모드해석에서 구해진 고유진동수와 측정에서 구해진 것을 비교하였다. 소음 유발과 제곱 파손의 원인인 공진주파수 영역을 벗어남을 확인하였고 CFA의 변위와 응력을 얻을 수 있어 공진 문제와 간섭에 대해 영향을 받지 않는다는 것을 검증하여 실차에 적용할 수 있다는 것을 확인하였다.

대한조선학회 논문집을 통해 발표된 이승수 등⁽¹⁷⁾은 “선박용 송풍기의 날개 끝 간격과 정익이 성능에 미치는 영향에 대한 전산 유체 해석” 논문에서 선박에 사용되는 축류송풍기를 개발하기 위하여 표준 $k-\epsilon$ 난류 모델과 동익영역(rotor)과 정익영역(guide vane)을 mixing plane으로 구분해 경계조건을 적용하여 상용프로그램인 FLUENT를 이용하여 수치해석을 하였다. 그리고 계산 결과를 검증하기 위하여 스로틀 장치를 이동시켜가면서 정압을 기준으로 하여 풍속과 소비전력을 측정하였다. 정익의 형상과 동익의 날개 끝 간격을 변화시키며 전산해석을 수행한 결과 날개끝 간격의 크기는 3 mm 이하로 하는 것이 좋으며 효율을 증대시키기 위해서는 동익을 지나는 유동이 허브 근처에서 축방향 유속성분이 빠르게 지나도록 정익 앞단을 설계하는 것이 좋다는 것을 증명하였다.

유혜란 등⁽¹⁸⁾은 “Shrouded propeller 주위의 유동 전산 해석” 논문에서 스크류 프로펠러를 가지는 shrouded propeller 주위의 유동을 저레이놀즈수 $k-\epsilon$ 난류 모델과 3차원 비압축성 RANS 방정식을 반복시간진행 방법(iterative time marching)을 이용하여 해를 구하였다. 그리고 실험과 비교해 비교적 잘 일치하는 결과를 얻었고 이러한 전산해석 방법은 프로펠러 팬에도 응용 가능하다는 것을 보여주었다.

한국 항공우주학회지를 통해 발표된 조이상 등⁽¹⁹⁾은 “축류식 In-line duct fan의 공력특성에 관한 전산해석” 논문에서 기존의 동익과 정익으로 구성된 축류팬의 설계 기법을 확장하여, 서로 반대방향으로 회전하는 전단 동익과 후단 동익의 블레이드 형상을 설계하였다. 그리고 압축기나 터빈등의 터보기계 관통 유동 해석 기법인 행렬법을 엷회전식 축류팬에 적용하

였고, 주파수 영역패널법을 확장하여 엠티전식 축류팬의 공력 해석 및 성능 예측을 수행하였다. 엠티전식 축류팬의 관통 유동해석 결과, 전단 동익과 후단 동익의 허브 부분에서 많은 유동 손실이 발생했고 주파수 영역 패널법을 이용한 공력해석을 통해 블레이드의 유동손실이 주로 블레이드 전연에 나타남을 알 수 있었다.

3. 결 언

지금까지 2004년도의 국내 팬 및 송풍기 분야에서 발표된 논문들에 대해서 살펴보았다. 2004년 한 해도 국내 송풍기 분야 연구의 수준과 깊이가 설계, 해석, 실험 분야에 있어서 한층 더 심화되어있음을 알 수 있었다. 올해도 대부분 기업과의 산학 협동을 통해 회원들의 연구 활동이 대폭 증대되어 학문적인 연구 역시 병행되어졌으며, 대부분 연구에서 전산해석 결과가 설계에 선행되어 반영되어지는 비중이 높아졌다. 이를 통해 국내 송풍기 산업계에서도 좀 더 체계적이고 지속적인 연구/개발 체계가 점차 그 자리를 잡아가고 있음을 알 수 있었다. 특히 2004년 논문들에서 주목할 만 한점은 과거에 중요한 것은 바로 성능이었으나 현대에 접어들면서 단지 성능뿐만 아니라 디자인, 크기, 소음, 또 그 밖에 다양한 기능을 요구하게 되었다는 것을 발표된 논문에서 엿볼 수 있었고 따라서 앞으로 관련 연구가 많이 발표되리라 예상되어진다. 올해 또한 국내의 송풍기 및 팬 연구가 더욱 깊이와 폭을 더해 활발히 연구되어지기를 기대한다.

참고문헌

- (1) 전완호, 류호선, 송성배, 손상범, 2004, “후드 겸용 전자레인지 시로코팬의 유동 및 소음특성에 관한 연구”, 유체기계저널, 제7권, 제1호, pp. 17~23.
- (2) 장춘만, 김광용, 2004, “축류팬 익단누설와류의 수치적 해석”, 유체기계저널, 제7권, 제1호, pp. 36~44.
- (3) 이상환, 안철오, 2004, “유전자 알고리즘을 이용한 축류 송풍기 설계 최적화”, 유체기계저널, 제7권, 제2호, pp. 7~13.
- (4) 서성진, 김광용, 2004, “원심다익송풍기의 고효율 설계를 위한 수치최적설계”, 유체기계저널, 제7권, 제3호, pp. 32~38.
- (5) 김동원, 김형섭, 윤태석, 박성관, 김운제, 2004, “스테빌라이저 위치 및 리어가이더 형상변화에 따른 횡류팬의 성능특성 연구”, 유체기계저널, 제7권, 제4호, pp. 7~15.
- (6) 김재원, 안은영, 2004, “원심형 송풍기의 날개 특성에 따른 성능에 관한 연구”, 유체기계저널, 제7권, 제5호, pp. 13~19.
- (7) 최범석, 박무룡, 황순찬, 박준영, 2004, “가변속 고속블로워의 성능특성에 관한 연구”, 유체기계저널, 제7권, 제5호, pp. 43~49.
- (8) 김재원, 박진원, 2004, “원심형 송풍기에 있어서 전향익과 후향익에 따른 성능 특성에 관한 연구”, 한국전산유체공학회지, 제9권, 제1호, pp. 10~17.
- (9) 최용규, 박형구, 2004, “진공청소기용 원심팬의 성능향상을 위한 유동해석”, 한국전산유체공학회 추계 학술대회, pp. 69~72.
- (10) 이승철, 2004, “기류유인팬을 이용한 새 국립 중앙박물관 로트unda에서의 열환경 평가”, 설비공학논문집, 제16권, 제3호, pp. 303~309.
- (11) 장춘만, 김광용, 후카노 토오루, 2004, “축류팬의 익단누설와류 및 후류에서 유량에 따른 변동속도의 주파수 특성”, 대한기계학회논문집 B권, 제28권, 제2호, pp. 181~188.
- (12) 김성협, 古,川雅人, 井,上雅弘, 2004, “프로펠러팬에서의 Tip Voltex 거동”, 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 1377~1382.
- (13) 박현수, 조이상, 조진수, 2004, “엠티전식 축류팬의 3차원 비정상 유동에 관한 실험적 연구”, 대한기계학회논문집 B권, 제28권, 제9호, pp. 1005~1014.
- (14) 배춘근, 오건제, 조원봉, 주필호, 김종철, 2004, “자동차 프런트 엔드 쿨링팬 주위의 점성유동 해석”, 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 1371~1376.
- (15) 김병주, 강상규, 김규영, 이덕주, 이재영, 이덕호, 신동수, 2004, “자동차용 냉각팬의 설계와 시스템 개선을 통한 저소음화 연구”, 한국소음진동공학회논문집, 제14권, 제11호, pp. 1107~1114.
- (16) 정일호, 서중휘, 송하중, 박태원, 김주용,

- 2004, “유한요소법을 이용한 냉각팬의 진동 및 간섭에 관한 연구”, 한국소음진동공학회논문집, 제14권, 제9호, pp. 903~909.
- (17) 이승수, 김학선, 남광현, 홍재익, 천승현, 2004, “선박용 송풍기의 날개 끝 간격과 정익이 성능에 미치는 영향에 대한 전산 유체 해석”, 대한조선학회 논문집, 제41권, 제6호, pp. 24~32.
- (18) 유혜란, 박원규, 2004, “Shrouded propeller 주위의 유동 전산 해석”, 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 863~868.
- (19) 조이상, 안광원, 조진수, 2004, “축류식 In-line duct fan의 공력특성에 관한 전산해석”, 한국항공우주학회지, 제32권, 제4호, pp. 1~11.