

송풍기 분야 연구동향

이 찬*

1. 서 론

2001년도의 국내 웬 및 송풍기 분야의 주요 연구동향을 요약하여 소개한다. 2001년도에도 국내 전문학술지와 학술대회들을 통해 많은 수의 웬 및 송풍기 논문들이 발표되었지만, 본 원고는 그 중 에서도 국내의 터보기계 관련 전문 학술지인 대한기계학회 논문집(B), 설비공학논문집, 유체기계저널에 2001년도 게재된 웬 및 송풍기 분야의 논문을 중심으로, 이 분야의 연구동향을 분석하였다. 2001년도 게재된 논문은 총 5 편(대한기계학회 논문집: 2편, 설비공학논문집: 1편, 유체기계저널: 2편)으로 웬 및 송풍기 관련 설계, 유동, 성능 및 소음에 이르는 각 분야에 있어서 심도 있는 연구 및 기술 개발이 폭넓게 이루어졌다. 논문 내용의 분석을 통해, 2001년도 이루어진 연구결과들이 송풍기 및 웬 에 대한 다양한 형태의 기초 실험, 성능시험 및 유동/소음 해석 등의 방법들에 의해 시도되었다는 점을 알 수 있으며, 이를 통해 국내 송풍기 및 웬 연구가 점차적으로 그 깊이 와 폭을 넓혀가고 있음을 알 수 있다. 2001년 논문들이 대부분 기업과의 산-학 협동을 통해 이루어진 연구 결과라는 사실이 주목할 만한 점이며, 이를 통해 국내 송풍기 산업계에도 체계적이고 지속적인 연구/개발 체계가 뿌리 내리고 있음을 알 수 있다. 그러므로, 본 원고는 2001년도 학술지에 게재된 5편의 논문의 내용을 분석, 요약하여, 송풍기 및 웬 관련 산업계, 연구계 및 학계의 향후 연구에 도움을 주고자 한다.

2. 연구 내용의 분석

2.1 작은 안내 깃이 붙은 원심형 임펠러 소음 특성에 대한 연구

유체기계저널 제4권 제1호에 게재된 “작은 안내 깃

* 수원대학교 기계공학과
E-mail : cleec@mail.suwon.ac.kr

이 붙은 원심형 임펠러 소음 특성에 대한 연구⁽¹⁾(저자: 전완호)” 는 원심형 임펠러의 유동과 소음 해석을 수행한 논문으로서, 웬 임펠러 사이에 부착하는 스플리터(splitter)가 웬의 유동과 소음특성에 미치는 영향을 수치적으로 확인하였다. 저자는 웬 임펠러 내부 2차원, 비정상, 비점성 유동장 해석에 이산와류법을 사용하였고, 계산된 유동 해석결과를 사용하여 웬의 이론 수두(theoretical head), 일(work) 및 토크(torque)를 계산하였다. 유동장 해석 결과를 바탕으로, Lowson 방법을 이용하여 소음원(acoustic source)과 음향장을 예측하였다.

저자는 대상 웬으로서 Weidmann 웬을 사용하였고, 본 방법에 의한 예측결과가 실험치와 2-3 dB 이내에서 잘 일치함을 보여주었다. 본 논문은 비교대상을 위한 계산모델로서 다음과 같은 4개의 모델들을 고려하였다. Impeller I 의 경우 깃이 6개인 임펠러이고, Impeller II 는 깃이 12개인 임펠러이다. 또한 Impeller III 과 Impeller IV 는 원래 깃 사이에 스플리터(작은 베인)가 1, 2 개씩 부착된 경우들이다.

저자는 4가지 임펠러들에 대해 후류 와류 분포를 해석하였고, 음압레벨 및 주파수 스펙트럼을 비교하였다. 음압레벨은 Impeller I, II, III과 IV에 대해 66.67, 67.25, 66.90, 66.63 dB 로서 거의 변화가 없었지만, Fig. 2에 보이는 바와 같이, 스펙트럼 특성은 많은 변화를 보여주었다. 스플리터형 임펠러는 스플리터가 없는 임펠러에 비해 출구 부근의 유동이 균일해 지고, 이로 인해 깃통과수주파수(BPF: Blade Passing Frequency) 소음이 많이 감소됨을 확인하였다. 또한 스플리터가 2개 있는 Impeller IV 의 경우가 훨씬 더 많은 스펙트럼

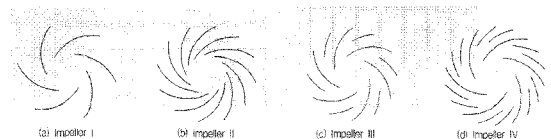


Fig.1 Configuration of the various impeller type

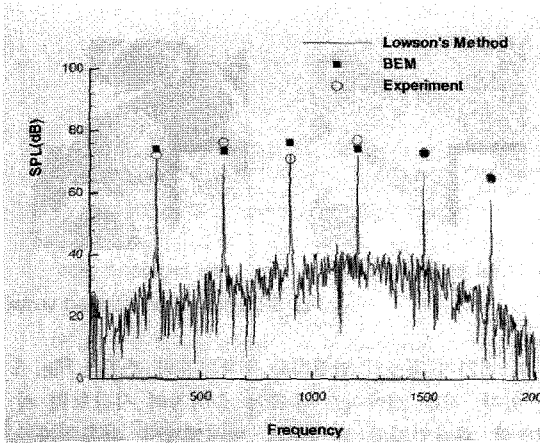


Fig. 2 Predicted acoustic pressure at far field

변화가 있었고, 스플리터가 1개인 경우에 비해 소음 저감에 더욱 효과적임을 보여주었다. 또한 스플리터의 위치가 임펠러 깃의 흡입면보다 압력면에 가까이 있는 경우가 저소음에 훨씬 효과적임을 확인하였다.

2.2 프로펠러 팬 날개 위의 역류 유동

유체기계저널 제4권 제2호에 게재된 본 연구⁽²⁾(저자: 김재원, 남임우)는 평판형 날개를 가진 축류팬의 날개 표면에서 발생하는 역류 현상을 실험적 및 이론적으로 분석하고, 역류 유동을 줄이기 위한 개선된 설계를 제안하고 이를 통해 팬의 성능을 향상시키고 소음을 저감하였다. 저자들은 팬의 유동해석을 위해서 Fine/Turbo를 사용하였고, 팬 내부 유동장의 가시화를 위해서는 영상유속장치(PIV: Particle Image Velocimetry)를 이용하였다. 또한 풍동을 이용하여 팬의 성능을 측정하였다.

Fig. 3은 곡률이 152 mm 인 평판 날개를 가진 팬의 반경방향 속도 분포를 보여주고 있으며, 날개 표면 전체에 대해 날개 끝단 및 허브에 대해서 역류가 발생함을 볼 수 있다. 이러한 역류 현상을 줄이기 위해서 날개의 곡률을 180 mm로 증가시켜 곡면을 다소 완만하게 만들었으며, 이때의 속도 분포가 Fig. 4에 나타나 있다. Fig. 3과 Fig. 4의 비교를 통해, 팬 날개의 곡률 증가를 통해 역류 현상이 줄어들음을 볼 수 있었다.

성능 측정을 통해 곡률 증가를 통해 개선된 팬 설계 모델(곡률=180 mm)이 종래 설계(곡률=152 mm)에 비해 유량 범위도 증가되었고, 설계점 전효율도 68.5%에서 75.2%로 증가하였다. 또한 설계 개선을 통해 팬의 소음레벨도 약 3-4 dB 정도 저감되었다.

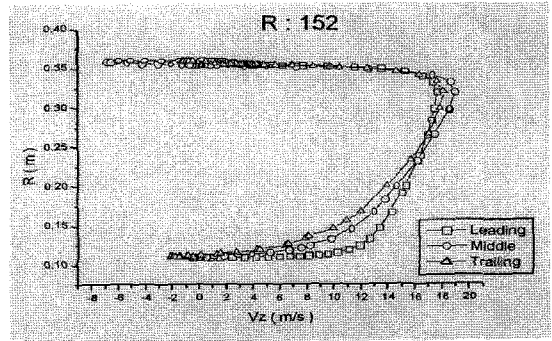


Fig. 3 Radial variation of velocity at different spanwise points (radius of curvature : 152 mm)

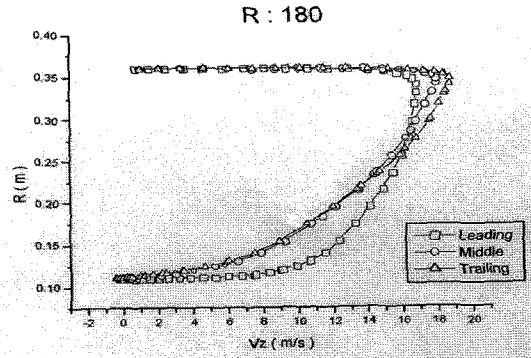


Fig. 4 Radial variation of velocity at different spanwise points (radius of curvature : 180 mm)

2.3 원심형 송풍기에서 베인리스 디퓨저의 폭변화 가 선회실속에 미치는 영향

대한기계학회논문집(B) 제25권 제10호에 수록된 본 연구⁽³⁾(저자: 김진형, 조강래)는 실험적으로 송풍기 디퓨저 폭이 회전차 및 디퓨저 선회실속에 미치는 영향을 검토하였다. 저자들은 주로 회전차 선회실속만을 발생시키는 것으로 알려진 반경방향 깃 회전차와 회전차 실속과 디퓨저 실속의 발생이 기대되는 뒤굽은 깃 회전차를 대상으로 실험하였다. 두 회전차의 깃 입구각은 43°로 고정하였고, 깃 출구각은 반경방향 깃 회전차와 뒤굽은 깃 회전차에 대해 각각 90°, 45°로 설정하였다. 또한 회전차의 깃 수는 모두 12개이고, 회전수는 700 rpm(각속도=73.3 rad/s)로 고정하였다. 또한 저자들은 디퓨저 폭의 변화에 따른 선회실속을 고려하기 위해 디퓨저 폭을 기준으로 한 디퓨저 유량계수를 회전차 유량계수 대신 사용하였다.

Fig. 5에서 관찰되듯이, 회전차 선회실속은 회전차 깃 통로 단면적의 약 50% 이상을 차지하였을 때 발생하였으며, 깃 통로 내의 유동방향으로 역압력 구배가 큰 반경방향 깃 회전차는 뒤굽은 깃 회전차에 비해 큰 유량계수에서 실속이 일찍 발생하였다. 이 경우 디퓨저 선회실속의 발생은 억제되고 회전차 선회실속만이 나타났다. 한편 압력구배가 작은 뒤굽은 회전차의 경우는 매우 작은 유량계수에서 디퓨저 선회실속이 발생하게 되므로, 회전차 선회실속 발생점보다 큰 유량계수에서 먼저 디퓨저 선회실속이 발생하였다.

또한, Fig. 6에서 보여지듯이, 저자들은 Senoo가 제시한 임계 유동각(critical flow angle, α_{crit})을 이용하여, $\alpha_{crit}=10.5^\circ$ 이하에서 디퓨저 선회실속이 나타남을 보여주었다.

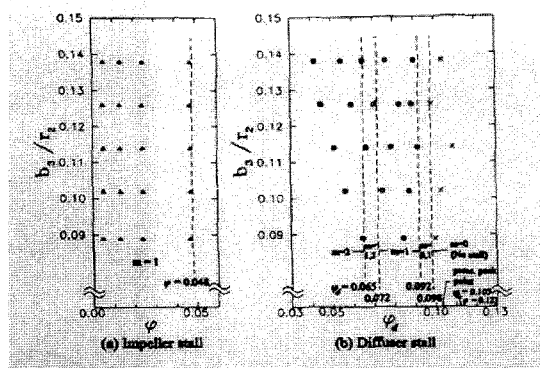


Fig. 5 Rotating stall appearance of backward curved vane impeller (●: diffuser wall, ▲: impeller stall, ×: no stall)

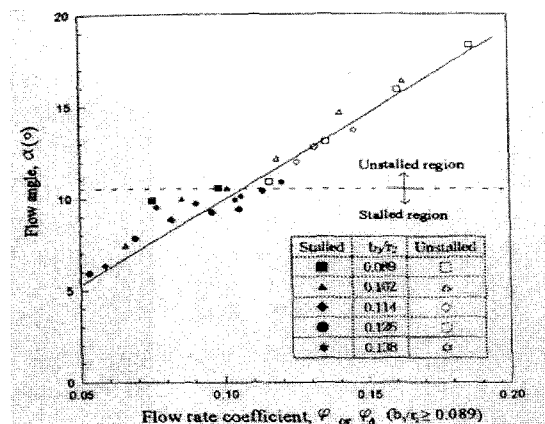


Fig. 6 Flow angle vs. flow coefficient, including the effect of diffuser width ratio, b_2/r_2

2.4 2단 축류팬과 엇회전식 축류팬의 공력특성에 관한 실험적 연구

대한기계학회논문집(B) 제25권 제10호에 수록된 본 연구⁽⁴⁾(저자: 조진수, 조이상)는 2단 축류팬(TSF: two-stage axial flow fan)과 엇회전식 축류팬(CRF: counter-rotating axial flow fan)의 성능 및 유동장 실험을 통해 각각의 성능 및 유동 특성을 비교하였다. 저자들은 개방형 풍동과 프리즘형 5공 프로브를 사용하여 팬의 유동장 및 성능을 측정하였다.

Fig. 7에서 볼 수 있듯이, 엇회전식 축류팬은 2단 축류팬에 비해서 약 1.1 배의 축동력을 소모하지만, 2단 축류팬에 비해 유동 손실이 적으므로 최고효율이 약 2% 정도 높은 성능 특성을 나타냈다.

2단 및 엇회전식 축류팬의 유동장 측정결과로부터 구해진 편차각 분포에 따르면 허브 부근에서 편차각이 상당히 크게 나타나며, Fig. 9의 전향각 분포를 살펴보

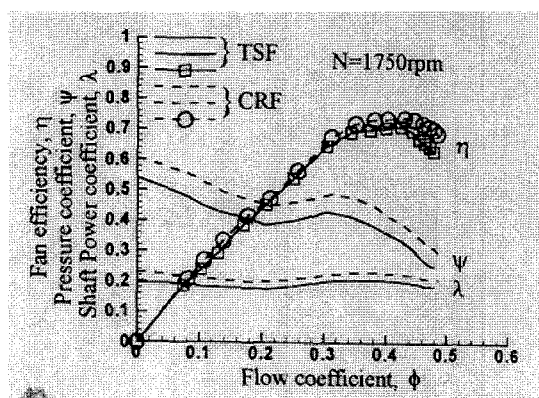


Fig. 7 Comparisons of characteristic curves for TSF and CSF

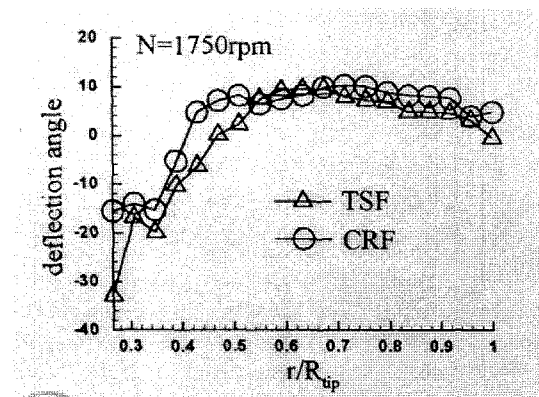


Fig. 8 Deflection angle distribution of TSF and CSF

면, 엠티전식 축류팬이 2단 축류팬에 비해 허브부근에서 손실성분이 더 적게 발생하는 것을 알 수 있었다.

저자들은 2단 축류팬은 단과 단사이의 간격이 증가함에 따라 최고효율은 약간 감소하지만, 전체적으로 팬효율에 큰 영향을 미치지 않음을 보여주었다. 또한 엠티전식 축류팬의 경우 후단 동익의 피치각이 증가하면 동압, 정압 그리고 축동력이 동시에 증가하였다.

2.5 제트팬 노즐내부 유동에 대한 고정익 출구 원주속도의 영향

설비공학 논문집 제13권 제3호에 게재된 본 연구⁽⁵⁾ (저자: 최충헌, 이재현)는 제트팬 원주속도의 크기가 팬 토출구의 기류 특성에 미치는 영향을 실험적으로 관찰하였고, 실험결과와의 비교를 위해 수치적 전산모사를 수행하였다. 실험은 개방형 풍동에 제트팬을 설치하고 3차원 유속은 5공 프로브를 사용하였고, 기류 방향은 tuft 방법을 사용하였다.

Fig. 9의 기준조건 제트팬 노즐 출구의 주유동방향 속도분포를 보면, 대칭축상의 풍속이 낮고 노즐벽면

근처에서 최고값을 가지는 경향을 알 수 있다. 따라서 제트팬의 노즐 출구에서 포물선 속도분포를 유도하여 침투거리를 증가시키기 위해서는, 노즐형상 및 고정익 설치각도의 조정이 요구됨을 알 수 있었다.

Fig. 10에서 보여지듯이, 저자들은 팬 유입구쪽 원주속도를 0배, 1배, 2배, 3배 증가시켜, 주유동속도가 감소되고 속도분포의 불균일성이 증가됨을 관찰하였고, 이러한 결과는 원주속도 성분의 증가로 인해 팬 내부에서 회전기류가 발달하여 이로 인해 후방노즐에서 마찰 손실이 커지는 것으로 분석하였다.

3. 맺음말

본 조사/분석 연구를 통해, 2001년 송풍기 및 팬 연구도 매우 다양한 주제와 방법으로 활발히 이루어졌음을 확인할 수 있었고, 특히 산업 현장에서 발생하는 기술적 문제를 산-학협동의 체계적 연구로 해결해 나가는 시도가 점차적으로 더욱 큰 성과를 얻고 있음을 볼 수 있었다.

참고로, 이 원고를 통해 미처 소개하지 못한 2001년도에 발표된 다른 논문들도 매우 높은 기술적 가치와 창의성을 보여주었음을 밝혀두는 바이다. 또한 올해 2002년에도 국내의 송풍기 및 팬 연구가 그 깊이와 폭을 더해가기를 기대해 본다.

참고문헌

1. 전완호, 2001, "작은 안내 깃이 붙은 원심형 임펠러 소음특성에 대한 연구," 유체기계저널 제4권, 제1호, pp. 22~29.
2. 김재원, 남임우, 2001, "프로펠러 팬 날개 위의 역류 유동," 유체기계저널 제4권, 제2호.
3. 김진형, 조강래, 2001, "원심형 송풍기에서 배인리스 디퓨저의 폭변화가 선회실속에 미치는 영향," 대한기계학회논문집(B) 제25권, 제10호, pp. 1293~1302.
4. 조진수, 조이상, 2001, "2단 축류팬과 엠티전식 축류팬의 공력특성에 관한 실험적 연구," 대한기계학회논문집(B) 제25권, 제10호, pp. 1281~1292.
5. 최충헌, 이재현, 2001, "제트팬 노즐내부 유동에 대한 고정익 출구 원주속도의 영향," 설비공학논문집 제13권, 제3호, pp. 209~216.

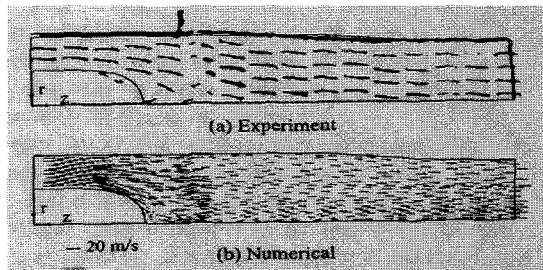


Fig. 9 Flow field in the nozzle(reference case)

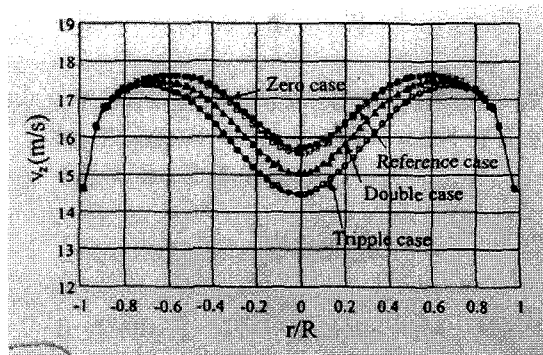


Fig. 10 Comparisons of main flow velocity at nozzle exit with various inlet velocity