

소형 축류팬의 난류유동 특성치에 대한 LDA 측정

김 장 권*

LDA Measurements on the Turbulent Flow Characteristics of a Small-Sized Axial Fan

Jang-kweon Kim

Key Words: Axial Fan(축류팬), Characteristic Curve(특성곡선), Flow Coefficient(유량계수), LDA(레이저 유속계), Operating Point(운전점), Turbulent Flow(난류유동)

Abstract

The operating point of a small-sized axial fan for refrigerator is strongly dependent upon the system resistance. Therefore, the turbulent flow characteristics around a small-sized axial fan may change significantly according to the operating point. This study represents three-dimensional turbulent flow characteristics around a small-sized axial fan measured at the four operating points such as $\varphi=0.1, 0.18, 0.25$ and 0.32 by using fiber-optic type LDA system. This LDA system is composed of a 5 W Argon-ion laser, two optics in back-scatter mode, three BSA's, a PC, and a three-dimensional automatic traversing system. A kind of paraffin fluid is utilized for supplying particles by means of fog generator. Mean velocity profiles downstream of a small-sized axial fan along the radial distance show that both the streamwise and the tangential components exist predominantly in downstream except $\varphi = 0.1$ and have a maximum value at the radial distance ratio of about 0.8, but the radial component, which its velocity is relatively small, is acting role that only turns flow direction to the outside or the central part of axial fan. Moreover, all of the velocity components downstream at $\varphi = 0.1$ show much smaller than those upstream due to the static pressure rise at the low-flowrate region.

1. 서 론

프로펠러(propeller) 팬(fan)이라고도 말하는 축류팬(axial fan)은 냉장고, 컴퓨터, 에어컨, 자동차 등의 각종 산업 전반에 걸쳐서 기기의 열전달 현상을 촉진하기 위해서나 또는 건물 등의 실내 공기를 쾌적하게 환기시키는 용도로 인간생활에 매우 밀접하게 응용되고 있다.

특히 냉장고에서 사용되고 있는 소형 축류팬은 냉동실 및 냉장실에서 냉기류의 적정 분배 및 순환을 제어하기 위해 사용되고 있으며, 또 냉장고 밖의 뒷면 기계실 내에서 콤프레서 및 콘덴서의 냉각을 위해 널리 사용되고 있다. 이런 소형 축

류팬은 날개(blade) 두께가 매우 얇은 플라스틱 사출물로 만들어져 있어 부하 변동에 따라 소음, 진동 및 풍량 성능이 변화하는 문제점을 가지고 있다.

축류팬에 대한 연구는 크게 저소음화 및 효율 향상을 위해 축류팬을 적용하고자 하는 시스템의 배열구조에 맞는 치수 변경을 통해 공력특성과 주변 유동장 속도분포 및 날개 면에 작용하는 압력분포를 다루거나 유동소음의 개선 효과를 다룬 내용들이 있다.^(1~7) 또 열선풍속계나 레이저유속계(이하 LDA로 표기함)를 이용한 날개 케이스케이드에서의 유동속도 벡터를 다루는 경우^(8~10)와 설계점을 만족하는 운전점에서 형성되는 팬 후류의 유동속도를 회전각도별로 분석한 경우⁽¹¹⁾가 대부분이다.

본 연구에서는 냉장고에서 냉기순환용으로 사용 중인 소형 축류팬을 가지고 저유량역에서 최

* 회원, 군산대학교 기관공학과

E-mail : flowkim@kunsan.ac.kr

TEL : (063)469-1848 FAX : (063)469-1841

대유량역을 포함한 4개의 운전점에서 형성되는 난류유동장의 3차원 속도성분들, 즉 축방향 속도 성분 V_z , 반경방향 속도 성분 V_r , 접선방향 속도 성분 V_θ 를 반경방향의 위치 변화에 따라 3차원 LDA 시스템으로 측정하여 상류 및 후류에서 형성되는 난류의 평균 유동장을 상호 비교 분석하고자 한다.

본 연구의 목적은 소형 축류팬의 저유량역에서 최대유량역까지 존재하는 4개의 운전점 조건하에서 팬 후류의 3차원 각 방향 속도성분의 분포가 반경방향의 거리증가에 따라 어떻게 변하고 또 그 절대크기들이 얼마인지를 LDA시스템을 이용하여 명확히 밝히고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 소형 축류팬의 구동장치와 3차원 난류유동장을 측정하기 위해서 사용한 3차원 LDA 시스템(Dantec)을 나타낸다.

Fig. 2는 축류팬과 오리피스(orifice)의 기하학적 배치도를 나타내는데 특히 본 연구에서는 오리피스 틈새가 축류팬의 외경 대비 3%의 크기를 갖고, 또 축류팬이 오리피스 출구 끝단부를 기준하여 팬 깊이의 1/3이 돌출되도록 하였다. 여기서 축류팬은 실제 냉장고에서 사용하는 소형 축류팬으로 외경 110mm, 허브(hub) 직경 25mm, 오리피스 직경 116.6mm, 날개두께 2mm, 날개수 4개 등의 제원을 갖는다. Table 1은 축류팬의 기타 자세한 상세 자료를 나타내고 있다. 먼저 소형 축류팬을 구동시켜 운전점을 조정할 수 있도록 만든 소형 팬 구동장치는 먼저 4개의 지주(支柱)와 함께 투명아크릴(acryl)로 만들어진 두께 1mm인 측면판과 두께 10mm인 상하부 판재로 만들어진 300mm(가로) x 350mm(세로) x 600mm(높이)의 사각통 상부에 부착된 오리피스와 사각통 하부내에 설치된 모터(Toei, VLBSE-04040, 400Watts) 등으로 구성되어 있다. 여기서 모터와 직경 10mm인 구동축은 입구유동에 영향을 미치지 않도록 Fig. 1과 같이 두께 8mm, 폭이 60mm, 높이가 300mm인 수직 강판위에 커플링과 두 개의 베어링으로 연결하였으며 축 끝에 척(chuck)을 결합하여 직경 2mm인 소형 축류팬의 축을 연결하였다. 그리고 사각통을 구성하는 300mm의 측면에는 하단부로부터 높이 100mm까지의 위치에 직경 10mm인 구멍을 좌우모서리부분을 제외한 공간에 20mm간격으로 10개를 4줄 형성시켰으며, 350mm 측면에는

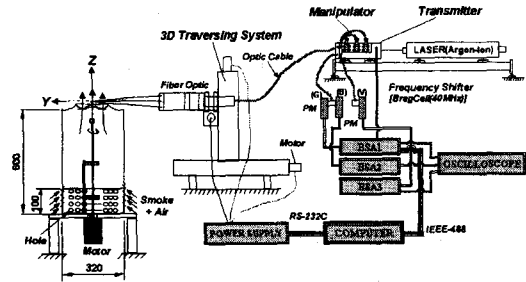


Fig. 1 Schematic diagram of data acquisition by using 3-dimensional LDA system

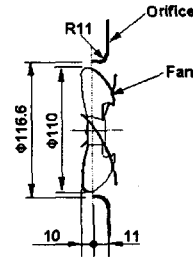


Fig. 2 Geometry configuration of axial fan and orifice

같은 방법으로 13개를 4줄 형성시켜 모두 184개의 구멍을 확보한 다음 이 구멍들을 통해서 외부로부터 공기가 들어가도록 하였다. 또 이 구멍들의 총면적(144.5cm²)은 실제 팬이 오리피스를 빠져나가는 단면적(90.1cm²)보다 크게 설정하였다. 이때 소형 축류팬과 오리피스는 구동장치에 Fig. 2와 같은 조건으로 조립하였다.

축류팬으로부터 3차원 난류유동장을 측정하기 위한 3차원 LDA 시스템의 하드웨어 구성요소들

Table 1 Specification of a small-sized axial fan

Item	Specification
Outer diameter, D_2	110
Hub diameter, D_H	25
Orifice diameter, D_0	116.6
Blade number, Z_b	4
Blade thickness, T_b	2
Blade curvature radius, R_c	109
Chord length at tip, L_T	73.6
Chord length at hub, L_H	14.54
Blade aspect ratio, B/L	0.4076
Camber ratio at tip, C/L_T	0.08
Solidity at tip, $(L/t)_T$	0.8519
Solidity at hub, $(L/t)_H$	0.7408
Blade attachment angle, θ	24

Table 2 Specification of optical setup of three dimensional LDA system

Item	Specification		
	BSA1	BSA2	BSA3
Calibration factor, C_D [m/s/MHz]	8.824	8.369	8.172
Wavelength, λ [nm]	514.5 (Green)	488 (Blue)	476.5 (Violet)
Beam separation, [mm]	70	70	70
Focal length, [mm]	1200	1200	1200

은 먼저 레이저 광원으로 Coherent사의 용량 5Watt의 수냉식 아르곤-이온 레이저를 사용하였고, 광원의 전달장치는 Fiber방식의 Optic 시스템을 사용하였다. 또 자료 취득 및 연산에는 PC와 On-line으로 연결된 Dantec사의 BSA(burst spectrum analyser)들을 사용하였으며, 레이저빔의 초점거리로부터 형성된 Probe 체적의 정밀이송에는 Dantec사의 3차원 자동이송장치를 사용하였다. 그리고 Table 2는 실험자료의 연산처리에 사용된 광학장치의 상세 내용을 나타내고 있다. 한편, 축류팬의 공력특성을 얻기 위해 사용한 소형 팬테스터는 KSB6311 및 AMCA STANDARD 210-85를 참고로 하여 직경 30mm의 노즐 1개를 갖는 흡입식으로 제작되었다. 그리고 정압측정에는 마이크로 마노미터(Furness, FC012)를 사용하였으며, 팬테스터의 전용 팬 구동장치는 소형 모터(Toei, VLBSE-01040, 100Watts)와 회전수 검출기(Ono-Sokki, MP-981)가 부착된 토크 센서(OnoSokki, MD-502R)를 각각 축상에 커플링으로 상호 연결한 다음 이 축상에 팬 축을 물릴 수 있도록 축 끝에 척을 연결하여 제작하였다. 이때 토크와 회전수를 측정하기 위해서는 신호지시계(OnoSokki, TS-3600A)를 사용하였다.⁽¹²⁾

2.2 실험방법

Fig. 3은 본 연구에서 사용한 소형 축류팬 단품을 팬 테스터에 부착한 후 팬의 회전수를 각각 2100rpm과 2400rpm으로 일정하게 구동시켰을 때 팬테스터로부터 측정된 매 위치별 풍량, 정압, 토크로부터 계산된 유량계수에 대한 정압계수, 전압계수, 동력계수 및 효율을 나타내는 무차원 특성곡선의 그림이다. 본 연구에서는 저유량역, 최고정압효율, 최고전압효율 및 최대유량역을 만족하는 4개의 유량계수로 각각 $\phi = 0.1, 0.18, 0.25, 0.32$ 위치를 결정하였다. 따라서 소형 축류팬의 상하류에서 형성되는 반경방향에 따른 3차원 속도 분포 측정은 이 운전점 위치들을 만족하는 풍

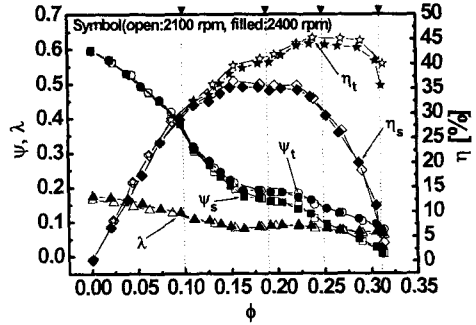


Fig. 3 Non-dimensional characteristic curve of small-sized axial fan

량 대 정압조건을 Fig. 1의 좌측에 나타난 팬 구동장치에서 4면의 아크릴 측판의 구멍들을 공기와 연기가 고루 통과하도록 상단부의 구멍부터 비닐 접착테이프를 막아 이 조건들을 설정하여 수행하였다.

Fig. 4는 본 연구에서 사용한 축류팬의 유동 측정점에 대한 속도방향의 기준을 나타내고 있다. 즉, 축방향 속도성분(V_z)은 상방향, 반경방향 속도성분(V_r)은 바깥쪽을, 그리고 접선방향 속도성분(V_θ)은 반시계방향을 각각 양(+), 음(-)의 값으로 하여 처리하였다.⁽¹³⁾ 특히 설정된 운전점에서 소형 축류팬의 3차원 속도성분을 측정하기 위해서는 먼저 3차원 정밀 이송이 가능한 이송장치 위에 1차원 측정용 Fiber Optic Probe와 2차원 측정용 Fiber Optic Probe를 서로의 초점이 일치하도록 마주보게 한 후, 각각의 Fiber Optic Probe와 이송장치가 서로 이루는 일정각도 $\alpha_1 = 18.9^\circ$, $\alpha_2 = 20.9^\circ$ 를 각각 구한 다음, 레이저 초점위치를 소형 축류팬의 중심점에 일치하도록 이송장치를 조정하여 수행하였다.⁽¹⁴⁾

본 연구에서는 축류팬의 속도측정에 필요한 산란 입자로 파라핀 계통의 연기를 사용하였다. 이

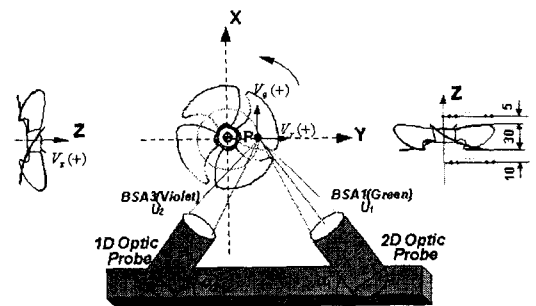


Fig. 4 Definition of velocity direction at the measuring point of axial fan

연기공급에는 Invent사의 연무(fog) 발생기를 사용하였다. 모든 속도의 측정에는 BSA1, BSA2, BSA3 으로부터 얻어지는 속도 측정 데이터의 유효성(validation)과 정보수집률(datarate)의 상태를 살펴가며 각 방향 속도성분의 정보들이 양호하게 얻어지도록 BSA를 지배하는 소프트웨어의 각종 변수들과 연기발생장치의 연기량을 제어해가며 행하였다. 한편 소형 축류팬의 3차원 속도성분의 측정위치는 Fig. 4의 우측 그림과 같이 축류팬으로 유입되는 상류측에서는 날개 전연 끝단에서 Z축 하부로 10mm 떨어진 위치에서 측표면을 벗어난 반지름 4mm부터 2mm간격으로 58mm까지 총 28개 지점을 측정위치로 하였으며, 축류팬에서 빠져나가는 후류측에서는 레이저빔이 날개에 부딪치지 않는 최소한의 떨어진 거리로 날개 후연에서 Z축 상부로 5mm 떨어진 위치에서 반지름 0mm에서부터 2mm간격으로 58mm까지 총 30개 지점을 선택하였다. 또 각 방향 평균속도성분의 통계학적 연산을 앙상블(ensemble)평균치리로 원활히 하기 위해서는 각 측정위치에서 후향산란(back-scatter) 방식의 3차원 LDA로부터 얻어진 총버스트(burst) 수를 BSA1, BSA2, BSA3 모두 일치 모드(coincidence mode)인 "Master" 기능으로 선택하여 각각 5000개로 설정하였다.⁽¹³⁾

3. 실험 결과 분석

Fig. 5는 축류팬의 각 운전점에 따른 상류와 하류에서 얻어진 축방향과 반경방향의 속도벡터 분포를 나타낸 그림이다. Fig. 5(a)의 상류측에서는 저유량영역의 운전점 $\phi = 0.1$ 의 일부영역을 제외하고는 비교적 균일한 속도크기를 보이며 팬 하류쪽으로 흐르는 모습을 볼 수 있다. 그러나 Fig. 5(b)의 하류측에서는 운전점의 위치에 따라 매우 다른 모습을 보여주고 있다. 즉 저유량영역인 $\phi = 0.1$ 에서는 같은 상류측보다 속도벡터크기가 현

저히 작게 나타나며, 그 유동방향도 Fig. 5(c)에서 알 수 있는 바와 같이 모두 반대방향으로 나타나 역류현상을 보여주고 있다. 유량계수가 증가한 운전점 $\phi = 0.18$ 에서는 $r/R = 0.3$ 이전까지는 역류현상을 보이나, 그 이후부터는 반경방향 거리 증가에 따라 속도벡터크기가 증가하여 약 $r/R = 0.8$ 근처에서 최대값을 보이다가 그 이후부터 점차 감소하여 나타나는데 날개 끝단부에서는 유동의 슬립(slip)과 누설 등으로 인한 역류현상이 시작되는 모습을 볼 수 있다. 특히 최대전압효율을 보이는 $\phi = 0.25$ 과 최대유량영역을 나타내는 $\phi = 0.32$ 에서는 날개 끝단부에서만 역류현상을 나타내고 반경비 약 0.8부근에서 최대의 속도크기를 보여주는 데 이것은 날개의 형상에서 오는 양력이 가장 크게 발생되기 때문으로 생각된다.

Fig. 6은 각 운전점에서 축류팬의 상류 및 하류에서 각각 측정된 3차원 평균 유동속도 성분들, 즉 축방향 성분, 반경방향 성분 및 접선방향(회전방향) 성분의 평균속도를 날개 팁(tip) 기준 원주속도로 나누어 무차원으로 나타낸 그림이다. 상류측에서 얻어진 Fig. 6(a)의 평균속도분포는 $\phi = 0.1$ 의 경우 다른 유량계수의 결과와는 달리 축방향, 반경방향 및 접선방향 평균속도 모두 전 반경비에 대해 크게 분포되어 있다. 이것은 축류팬 하류측으로 빠져나가려는 축방향 유동이 역류되어져 상류측에서 정체되어 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 이 밖에 상류측 반경방향 평균속도는 $\phi = 0.1$ 의 경우 양의 값으로 나타나 축류팬 바깥쪽으로 향하지만, 나머지 유량계수에서는 거의 균일한 음의 크기 분포로 나타나 축류팬 중심부쪽으로 유동이 형성되어 있다. 이것은 Fig. 5(a)의 속도벡터의 분포에서도 알 수 있다.

한편 하류측에서 얻어진 Fig. 6(b)의 평균속도 분포는 $\phi = 0.1$ 의 경우 반경비에 관계없이 각 방향 속도가 거의 0에 가까운 크기 분포를 보여준다. 축방향 속도성분은 Fig. 5(c)에서도 알 수

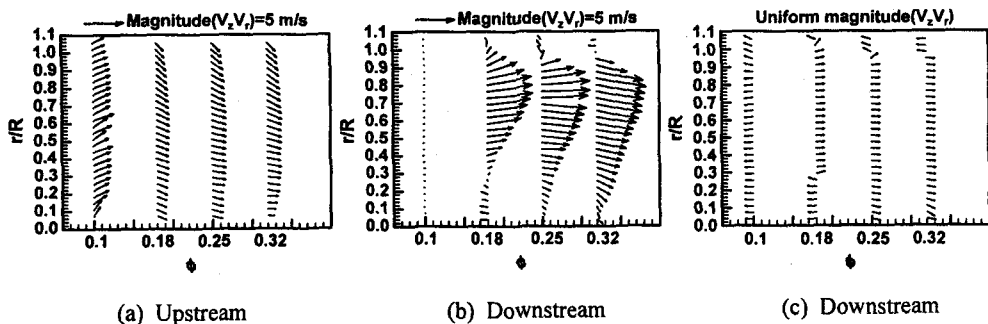
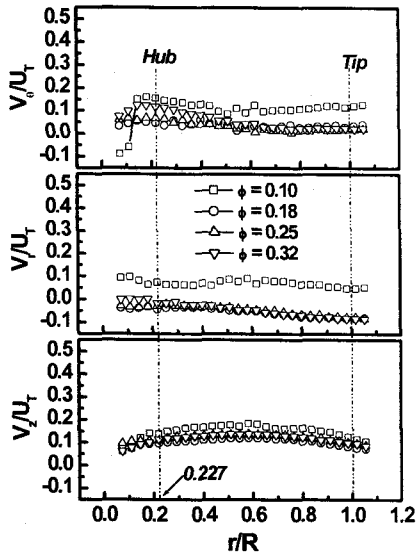
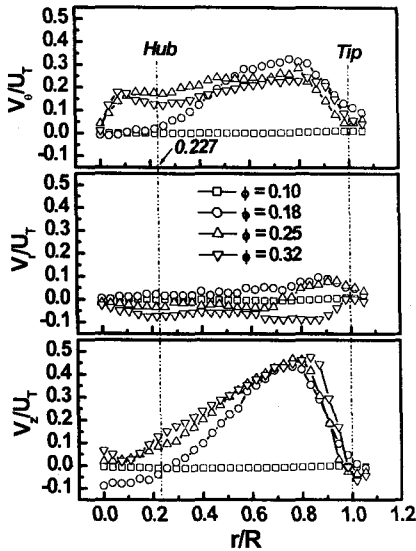


Fig. 5 Vector plot of the z-r direction according to operating point of axial fan



(a) Upstream



(b) Downstream

Fig. 6 Mean velocity profiles along the radial distance

있듯이 전체적으로 음의 값을 보여주고 있다. 하류측의 축방향 속도성분은 반경비 약 0.8부근까지는 증가하며, 특히 유량계수 $\phi = 0.1$ 에서는 반경비 약 0.3 이전까지는 여전히 음의 값으로 나타나 역류현상을 볼 수 있다. 또 반경비 약 0.8부근에서는 원주속도 대비 약 0.45배로 가장 큰 속도 값을 보여주나, 그 이후부터 날개 끝단부까지는

현저히 감소하는 분포를 보여주고 있다. 이 같은 평균속도크기는 김진권 등⁽⁶⁾과 星野 등⁽¹¹⁾의 연구에서도 측정 조건은 서로 다르지만 유사한 크기로 분포됨을 확인할 수 있다.

Fig. 6(b)의 하류측 반경방향 평균속도 크기 분포는 전체적으로 원주속도 대비 약 0.1배로 상대적으로 작은 속도값을 보여주고 있다. 유량계수 $\phi = 0.1$ 의 경우 거의 0에 가까운 값을 보이며, $\phi = 0.18$ 의 경우 전체적으로 양의 값을 보여 그 유동방향이 축류현 바깥쪽으로 향하는 유동 방향성을 보여주고 있다. 그러나 $\phi = 0.25$ 의 경우 반경비 약 0.7 부근 전까지는 음의 값으로 비교적 완만한 기울기로 나타나 역시 축류현 중심쪽으로 향하는 유동방향성을 가지나, 약 0.7 이후 영역부터는 양의 값으로 증가하다가 날개 끝단부에서 약간 감소하는 분포를 보여주는데 이곳에서는 축류현 바깥쪽으로 향하는 유동 방향성을 보여주고 있다. 그러나 유량계수 $\phi = 0.32$ 의 경우 전체적으로 음의 값으로 나타나 축류현 중심부쪽으로 향하는 유동방향성을 가지는 것을 알 수 있다.

Fig. 6(b)의 하류측 접선방향 평균속도 크기 분포는 모두 양의 값으로 나타나 축류현의 회전방향과 동일한 반시계방향을 보여주고 있다. 유량계수 $\phi = 0.1$ 의 경우 거의 0에 가까운 값을 보이며, $\phi = 0.18$ 의 경우 반경비가 허브영역 이전까지는 거의 0에 가까운 값을 보이나, 그 이후부터는 급속히 증가하다가 반경비 약 0.8 부근에서 원주속도 대비 약 0.3배로 최대값을 보이며 강한 선회류가 존재함을 알 수 있다.⁽¹¹⁾ 유량계수 $\phi = 0.25$ 와 $\phi = 0.32$ 에서도 반경비 약 0.8부근에서 원주속도 대비 약 0.2배의 최대치를 보이고 있으며, 전체적으로 유사한 분포모습을 볼 수 있다. 반경비 약 0.8 이후부터는 하류측 접선방향 평균속도 크기 분포는 모두 급속히 감소하다가 날개 팁 부근에서는 다시 완만한 분포를 보여주고 있다.

4. 결론

현재 냉장고에서 사용되는 소형 축류현의 저유량영역에서 최대유량역까지 4개의 운전점에 따라 형성되는 3차원 난류유동으로부터 3차원 LDA 시스템을 이용하여 난류속도 성분들을 측정된 결과, 상류측에서 z방향과 r방향의 평균속도에 의한 벡터분포는 각 유량계수에서 반경비에 관계없이 비교적 균일한 크기를 보여주며, 유량계수 $\phi = 0.1$ 에서 유동의 방향은 축류현 바깥쪽으로 향하고 축방향, 반경방향, 접선방향의 평균속도성분 모두

가 다른 유량계수의 경우와는 달리 약간 큰 값을 형성하고 있다. 이것은 하류측 $\phi = 0.1$ 에서 평균속도들이 모두 0에 가까운 값을 가지면서 축방향성분의 역류현상 등에 의해 상류측에 정체현상이 가중되기 때문이다. 상류측 나머지 유량계수 위치에서 벡터는 웬 중심부쪽으로 향하고 있다. 그러나 하류측에서 벡터분포는 $\phi = 0.18$ 의 경우 허브영역에 해당하는 반경비 약 0.3까지는 축방향속도의 음속도에 의해 역류모습이 나타나고 있으며, $\phi = 0.25$ 와 $\phi = 0.32$ 에서는 유동이 모두 하류로 향하며 반경비 약 0.8에서 축방향 평균속도는 원주속도 대비 약 0.45배의 최대값을 보이며, 특히 날개 끝단부에서는 역류모습도 확인할 수 있다. 한편 $\phi = 0.1$ 을 제외한 하류측에서 평균속도분포는 축방향성분과 접선방향성분이 지배적으로 크게 존재하나, 그 크기가 상대적으로 작은 반경방향 성분은 단지 유동방향을 축류웬 중심부쪽과 바깥쪽으로 향하게 하는 역할을 하고 있다.

참고문헌

- (1) 青木美昭, 近藤文男, 松田憲兒, 山口信行, 富永哲雄, 林昌照, 1987, "カーエアコン用コンデンサ冷却ファンの低騒音化," 三菱重工技報, Vol. 24, No. 2, pp. 161~167.
- (2) 赤池茂, 北田基博, 松島尚義, 菊山功嗣, 1993, "車兩用冷却ファンの低騒音化研究," 日本機械學會論文集(B編), 59卷, 558號, pp. 447~452.
- (3) 川口清司, 門田茂, 鈴木昌彦, 松井數馬, 菊山功嗣, 1993, "低騒音ファンの研究," 日本機械學會論文集(B編), 59卷, 558號, pp. 453~459.
- (4) 조진수, 한철희, 조이상, 1999, "고성능 2단 축류송풍기의 공력설계를 위한 수치해석 및 실험에 관한 연구," 대한기계학회논문집 B권, 제23권, 제8호, pp. 1048~1062.
- (5) 조진수, 원유필, 이문철, 2000, "엇회전식 축류웬의 공력특성에 관한 전산해석 및 실험," 대한기계학회논문집 B권, 제24권, 제3호, pp. 325~337.
- (6) 김진권, 강신형, 2000, "전향 스윙 프로펠러 웬의 성능 및 유동특성," 대한기계학회논문집 B권, 제24권, 제1호, pp. 75~84.
- (7) 김장권, 2001, "냉장고용 소형 축류웬의 통계학적 3차원 난류유동 특성에 관한 연구," 대한기계학회논문집 B권, 제25권, 제6호, pp. 819~828.
- (8) Adachi, T., 1998, "Flow in the Moving Blade Passage of an Axial-Flow Fan," *Proceedings of the 7th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery*, Volume C, pp. 1285~1294.
- (9) Rew, H. S., Kim, S. H., Jung, Y. G., Kim, C. J. and Cha, J. E., 1996, "LDA Measurement and Calculation in a Small Axial Fan," *Proceedings of the 6th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery*, Vol. 2, pp. 209~218.
- (10) Myung, H. J. and Baek, J. H., 1999, "Mean Velocity Characteristics behind a Forward-Swept Axial-Flow Fan," *JSME International Journal Series B*, Vol. 42, No. 3, pp. 476~488.
- (11) 星野徹二, 大島明, 1986, "3成分 Laser Doppler Velocimeter(LDV)によるプロペラ周りの流場計測," 三菱重工技報, Vol. 23, No. 3, pp. 343~350.
- (12) 김장권, 1993, "FAN TESTER의 성능평가에 대한 연구," 한국항공우주학회지, 제21권, 제1호, pp. 45~51.
- (13) Dantec, 1991, *Burstware 2.00 Installation Guide*.
- (14) Buchhave, P., 1984, "Three-Component LDA Measurements," *DISA Information*, No. 29, pp. 3~9.