

축산 농가용 광역방제기 팬의 성능실험 및 분석

홍준택 · 민병로 · 김동우 · 서광욱 · 김 응* · 이승기* · 김성엽** · 이대원

성균관대학교

Analysis and Performance Test for the Fan of a Wide Area Sprayer of Livestock Farm

Hong, J. T., Min, B. R., Kim, D. W., Seo, K. W., Kim, W.* , Lee, S. K.* , Kim, S. Y.** and Lee, D. W

Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, SungKyunKwan Univ., Suwon, 440-746 Korea

Summary

This research was carried out to test and analyse the capability of a fan for development of a sprayer in actual livestock farm. A fan was designed and made to be able to spray agricultural chemicals within 140mm in a maximum scattering range and 100m in an effective scattering range. Accordingly, its' flow rate was 3,600 m³/min, and static pressure was 100 mmAq for a wide area sprayer to be sprayed widely and far.

Fan performance, which was given 600 m³/min flow rate and 500 mmAq total pressure, was tested for basic experiment. As the result, the axial power showed minimum error, which be designed to keep the fan performance. And power efficiency was the maximum. Sound level was 92.1dB that wasn't enough to environmental standard. If we take the sealed place into consideration, sound level is suitable for environmental standard.

(Key words : Wide area sprayer, Axial flow fan, Static pressure)

서 론

방제기의 살포에 가장 중요한 영향을 미치는 것은 팬(Fan)이다. 방제기의 경우 팬의 풍압에 따라 살포거리가 결정된다. 팬은 날개의 회전을 통해 얻어지는 양력이나 원심력을 이용해 요구되는 유량의 위치를 필요한 위치

까지 이송시키는 역할을 수행하는 기계로서 산업분야에서는 매우 폭 넓게 사용되고 있다.

Johnsen(1999) 등은 설계 제작한 축류 팬에 대하여 기본적인 성능실험과 분석을 하여, 설계에 필요한 자료의 도출과 설계기술 개발을 위한 세부실험을 통해 충분한 성능을 발휘하는 축류 팬을 제작하였다. Frank(1994) 등,

* 공주대학교 (The University of Kong ju)

** 한경대학교 (The University of Han kyong)

Corresponding author : Lee, D. W. Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, SungKyunKwan University, Suwon, 440-746, Korea. E-mail : deaweon@skku.edu

Miller(2000), 구(2001) 등과 Wadia(2001) 등은 축류 팬의 성능 및 유동특성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구를 하였다. 김(2002) 등과 이(2003) 등은 개발된 팬의 성능시험 결과를 데이터베이스하여 팬을 자동으로 선정하고 성능예측 하였다.

본 연구는 방제작업에 있어서 우리나라 축산농가에 적합한 광역방제기 팬 개발에 대한 기초연구로서 팬에 대해 가장 중요하고 기본적인 성능변수들을 이용하여 예비실험을 통한 성능예측 및 분석을 하는 것이다.

재료 및 방법

1. 실험 장치

팬의 성능실험은 설계 성능뿐만 아니라 팬의 성능개선 및 설계를 위한 성능 관련 변수의 특성을 분석하여 해석이론의 보완 및 검증을 위해서 필요하다. 본 실험의 장비구성은 “한국표준협회 KS B 6311 송풍기의 시험 및 검사방법”에 의거하여 실험 장치를 구성하였다. 방제기 팬의 성능실험을 위한 실험 장치의 설계는 Fig. 1에 나타냈다. Fig. 1에서 A는 팬, B는 팬을 구동하는 모터이다. 팬의 크기는 1,535 mm로 제작 하였다.

Fig. 2는 설계에 의해 제작된 팬을 나타낸 것이다. 제작된 팬은 날개수가 8개인 축류 팬이다. 덕트 설계는 지름이 1,540 mm이므로 KS규격을 기준으로 Fig. 3과 같이 설계하였다. Fig. 4는 덕트의 실제 모습을 보여주고 있다.

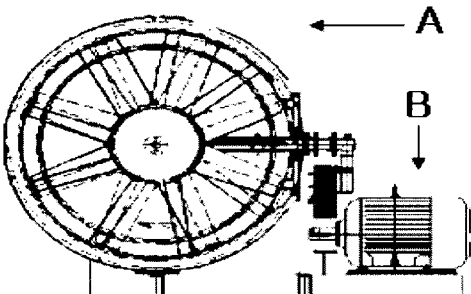


Fig. 1. Design of axial flow fan and motor.

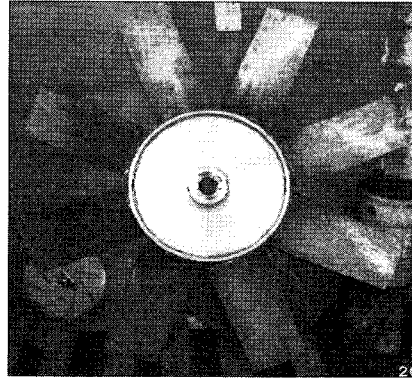


Fig. 2. Axial flow fan.

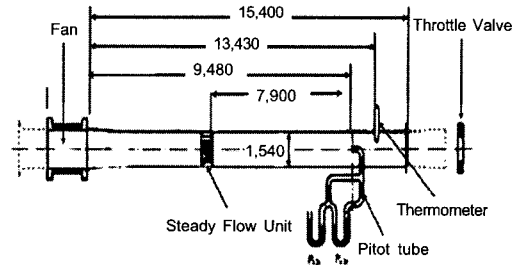


Fig. 3. Duct design.

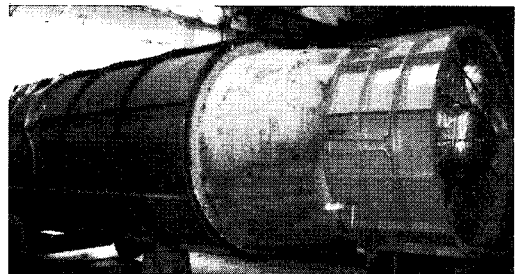


Fig. 4. Duct.

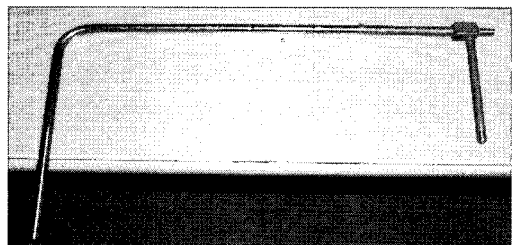


Fig. 5. Pitot tube.

팬의 풍압측정은 피토크관을 이용하였다. 실험에 사용된 피토크관은 Fig. 5에 나타냈다. 덕트에 피토크관을 설치하여 풍량의 흐름과 전압과 정압의 차인 동압을 측정하여 평균풍속을 구하였다. 재질은 스테인리스이고, 길이는 95×20 mm이다.

2. 실험 방법

풍동실험은 KS에 명시된 규격의 덕트를 사용하여 시험한다. 덕트 끝단에 위치한 스로틀 밸브를 이용하여 풍량을 조절하여 정류격자를 거쳐 나오는 지점의 압력 및 속도를 측정한다. 먼저 스로틀 밸브를 완전히 닫아서 덕트를 밀폐한 후 밸브를 조금씩 열어서 풍량을 늘리고 이에 따른 압력의 변화를 측정한다. 풍동실험을 통해서 실제 성능곡선을 얻을 수 있는데, 이를 위해서는 최소 6지점에서의 풍량에 따른 압력 변화를 측정하여야 한다. 먼저 스로틀 밸브를 완전히 닫아서 덕트를 밀폐한 상태에서의 정압과 동압을 측정 한 후 스로틀 밸브를 완전히 열어서 덕트가 개방된 상태에서의 정압과 동압을 측정한다. 스로틀 밸브를 조절하면서 정압이 최대가 되는 지점에서의 동압을 측정한다. 측정값을 기준으로 각 지점의 중간위치에서 전압을 측정하여 총 6지점을 구한다. 각 6개의 지점에서 전압과 정압을 측정하고, 이를 통해 동압과 풍속을 알 수 있다. 측정된 값을 가지고 성능곡선을 얻은 후 이를 설계시의 성능곡선과 비교하여 팬의 설계가 정확하게 되었는지를 알 수 있다. Fig. 6은 덕트 끝단에 위치한 스로틀 밸브와 정류격자를 보여주고 있다.

실험을 수행하기 위한 순서는 Fig. 7과 같다. 먼저 스로틀 밸브를 밀폐시킨 후 정압을 측정하고, 다음으로 KS에 명시된 10지점에 대하여 동압을 측정한다. 각 지점에 따른 동압 측정이 완료되면 스로틀 밸브를 조절하면서 다시 동압을 측정하고, 이를 6번 반복 수행한다.



Fig. 6. Throttle valve(left) and steady flow unit(right).

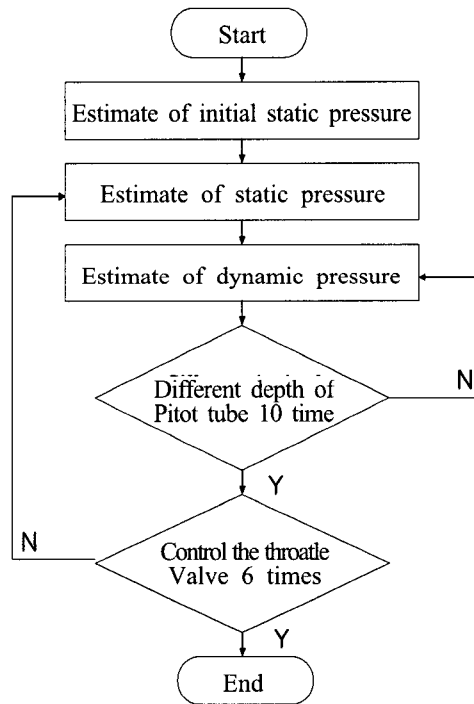


Fig. 7. Flow chart.

결과 및 고찰

1. 예비 실험

본 실험의 성능을 예측하고 실측을 비교 검증하기 위하여, 기초적이 실험을 선행하였다. 예비실험을 수행한 팬의 성능사양은 Table 1

Table 1. Specification of blower for basic test

Flow Rate (m ³ /min)	Static Press (mmAq)	Density (kg/m ³)	Speed (rpm)	Motor Power (kW)	Efficiency (%)
600	500	0.776	1770	90	68.0

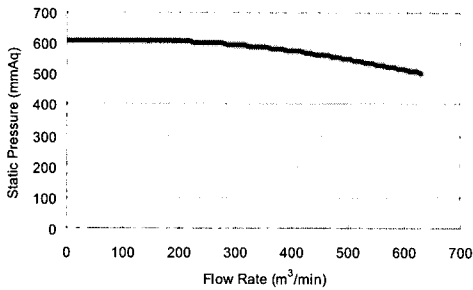


Fig. 8. Static pressure according to flow rate.

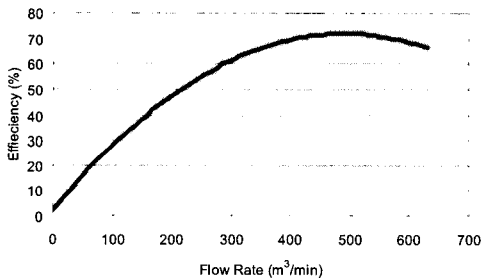


Fig. 9. Shaft power according to flow rate.

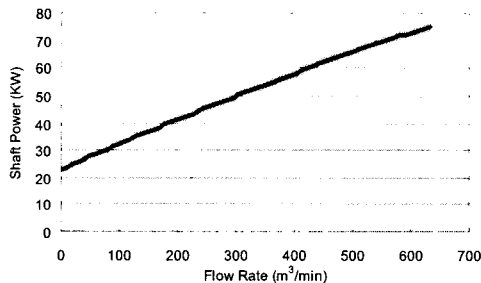


Fig. 10. Efficiency according to flow rate in prediction model.

과 같으며, 풍량이 600 m³/min이고, 정압이 500 mmAq에서 최적화 하여야 한다. Fig. 8은 기초 실험에 의한 풍량에 따른 정압의 변화

에 대한 성능, Fig. 9는 효율변화, Fig. 10은 축동력의 변화를 예측한 그래프이다.

기초실험의 측정 결과 Table 2와 같이 나타났으며, 구한 동압을 이용하여 각 관내에서의 속도 분포 또한 알 수 있었다. Fig. 11의 (A)는 정압 588 mmAq하에서 관내 속도 분포를 나타내며, (B), (C), (D)는 정압 555 mmAq, 450 mmAq, 360 mmAq하에서의 각 관내 속도 분포를 나타내고 있다. 관 벽으로 갈수록 풍속이 줄어들며 중심에서 속도가 최대가 되는 것을 알 수 있다. 이와 같은 분포로 인하여 각각의 위치에 따라 측정된 동압을 제공 평균하여 관내의 동압을 구하였다.

Table 3은 팬을 가동시키기 위하여 모터에 전압과 회전수를 일정하게 하고 풍량이 변할 때(정압 변화)마다 전류, 전압 및 회전수를 다시 측정한 것이다. 전압과 회전수는 일정하였으나, 전류는 풍량이 늘어나면서 증가하였다. 이는 팬의 출력에 의해서 동력이 증가한 것이다. Table 4는 진동 및 소음 측정값을 나타낸 것이다. 소음 측정의 결과 92.1 dB이 나왔다. 이는 환경기준인 85dB 보다 크게 나왔으나 밀폐된 실험 장소를 감안한다면 좋은 결과라고 판단된다.

Fig. 12는 풍량에 따른 정압의 변화를 예측한 성능 곡선과 비교한 것이다. 본 시스템의 최적 사양인 600 m³/min에서 오차가 최소로 나타났다. Fig. 13은 풍량에 따른 효율의 분포를 나타내고 있으며, Fig. 14는 풍량에 따른 축동력을 나타내고 있다. 정압, 효율 및 축동력을 예측한 성능 곡선과 비교하였을 때 실험 Fan의 최적 사양인 600 m³/min에서 최소의 오차를 보임을 알 수 있다.

Table 2. Experimental results of static pressure and dynamic pressure

Static pressure		551		588		555		450		360	
Dynamic pressure	Velocity	Pd	v	Pd	v	Pd	v	Pd	v	Pd	v
r5U		0.5	0.9	1.9	1.8	7.0	3.4	14.0	4.8	19.0	5.5
r4U		0.5	0.9	2.5	2.0	6.5	3.2	14.5	4.8	23.0	6.1
r3U		0.5	0.9	2.4	2.0	8.0	3.6	19.0	5.5	30.0	7.0
r2U		0.5	0.9	2.6	2.1	8.3	3.7	20.5	5.8	30.0	7.0
r1U		0.5	0.9	2.6	2.1	10.5	4.1	23.0	6.1	32.0	7.2
r1L		0.5	0.9	2.5	2.0	11.0	4.2	22.0	6.0	31.0	7.1
r2L		0.5	0.9	3.3	2.3	10.0	4.0	21.5	5.9	30.0	7.0
r3L		0.5	0.9	4.0	2.5	10.0	4.0	21.0	5.8	31.0	7.1
r4L		0.5	0.9	3.5	2.4	9.5	3.9	18.0	5.4	29.0	6.9
r5L		0.5	0.9	3.0	2.2	7.0	3.4	15.5	5.0	20.0	5.7
Average		0.5	0.9	2.8	2.1	8.8	3.8	18.9	5.5	27.5	6.6

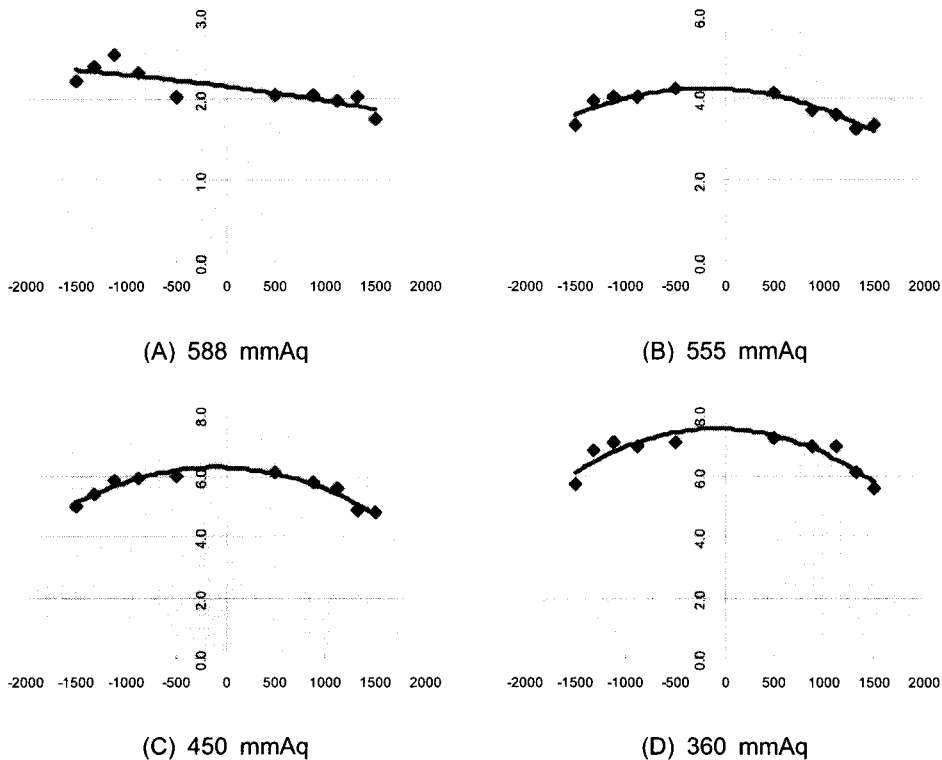


Fig. 11. Velocity according to diameter (Static pressure).

Table 3. Electric current, voltage and rpm according to static press

Static press (mmAq)	Electric (A)	Voltage (V)	Rpm
551	45.2	367	1394
588	65.7	376	1392
555	88	378	1390
450	105	367	1380
360	113.7	377	1386

Table 4. Vibration and noise

Shop condition (Fan)						
Fan side			Motor side			Sound level(dB)
V	H	A	V	H	A	
0.9	1.6	1.5	1	1.2	2	92.1

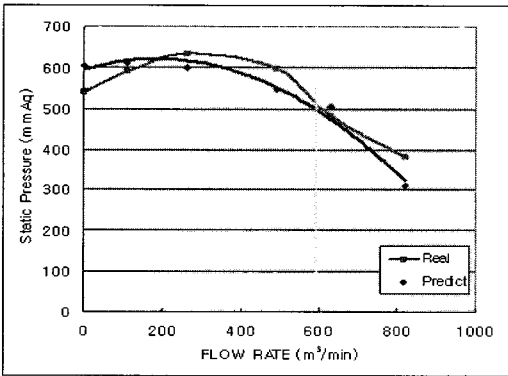


Fig. 12. Static pressure according to flow late.

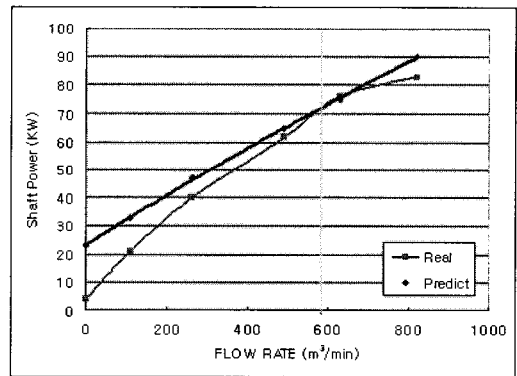


Fig. 14. Shaft power according to flow late.

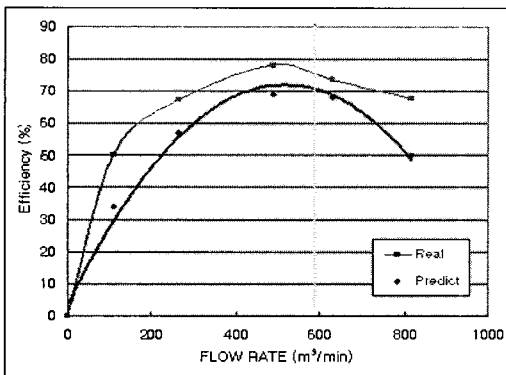


Fig. 13. Efficiency according to flow late.

2. 예상 성능 곡선

본 실험을 통해 방제기 팬의 성능을 예측하고 실험을 통하여 나온 결과 값과 비교 검증하기 위하여 성능곡선을 구현하였다. 상온의 환경에서 시험을 수행할 풍량이 3,600 m³/min이고 압력이 100 mmAq인 팬을 설계 및 제작 하였고, 성능실험을 통해 적합여부를 판단하였다. Table 5는 성능 예측프로그램에 입력으로 들어가기 위한 방제기 팬의 Data Sheet이다.

Table 5. Specification of axial flow fan and motor

Flow rate (m ³ /min)	Static press (mmAq)	Temperature (°C)	Density (kg/m ³)	Speed (rpm)	Fan input (kW)
3600	100	20	1.198	1785	136.7

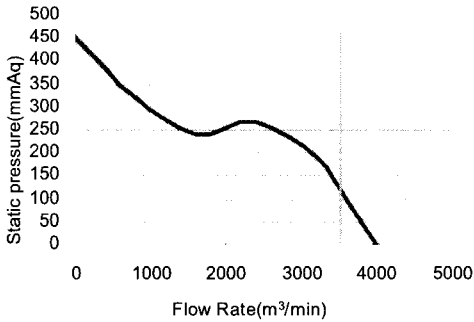


Fig. 15. Static pressure according to flow rate.

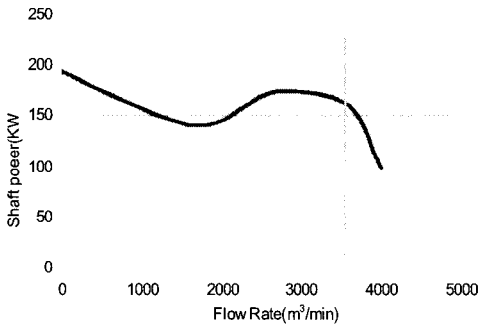


Fig. 16. Shaft power according to flow rate.

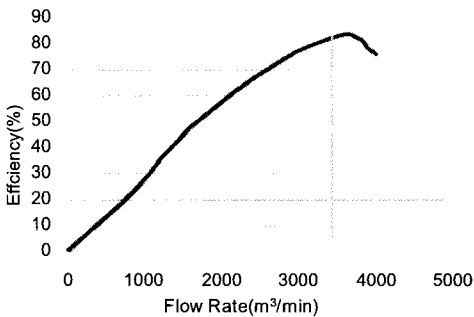


Fig. 17. Efficiency according to flow rate in prediction model.

성능실험은 풍량이 3,600 m³/min이고, 정압이 100 mmAq에서 최적화 하여야 한다. 따라서 이렇게 예측된 결과와 실험을 통해 얻어진 결과를 비교하여 방제기용 팬의 성능 및 분석을 할 수 있다.

Fig. 15는 풍량에 따른 정압의 변화에 대한 성능예측을 나타낸 것이고, Fig. 16은 축동력의 변화를 예측한 곡선, Fig. 17은 효율변화를 예측한 곡선이다.

본 실험은 모터의 구동축에서 팬 회전축의 동력을 V벨트로 전달하였다. 하지만 팬의 구동이 1,785 rpm의 고속회전과 130 kw 이상의 높은 동력으로 전달되면서 벨트가 과열되어 손상을 일으켰다. 고속회전에는 V벨트를 이용한 동력전달에 한계를 나타낸 것이라고 판단된다. 또한, 벨트로 연결되는 회전축과 동력축 간의 거리가 짧아 벨트가 가열되어 발생한 것이다. 벨트가 손상되기 이전의 측정 결과는 최대 풍량이 4,100 m³/min로 측정되었다. 이는 최적의 효율을 나타내었을 때 3,600 m³/min의 풍량을 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

적 요

본 연구는 축산 농가에 적용할 광역방제기를 개발하는데 있어 선행되어야 할 팬의 성능을 실험하고 분석하는데 목적이 있다. 연구에 사용된 방제기 팬은 최고 살포거리가 140m이고 유효 살포거리가 100 m가 되도록 설계 및 제작 되었다. 따라서, 멀리 살포될 수 있도록 설계된 팬의 풍량은 3,600 m³/min, 정압은 100 mmAq로 하였다. 이러한 팬의 성능을 측정하고 분석하기 위하여 덕트를 이용

한 풍동실험장치를 구성하였다.

본 실험에 앞서, 풍량 600 m³/min, 전압 500 mmAq을 요하는 팬을 이용하여 기초 실험으로 수행하였다. 덕트 끝단에 설치된 스톱 밸브를 통하여 풍량을 조절하며, 송풍 출구와 정류격자 사이에 설치된 피토판을 이용하여 전압과 정압을 측정하였다.

풍량은 5개의 구간으로 나누고, 각 풍량에서 덕트 단면 내의 10개 지점에서 피토판 측정을 하였다. 이렇게 풍동실험을 통해 나온 결과를 예측된 결과와 비교하여 방제기 팬의 성능을 분석하였다. 측정 결과 풍량에 따른 축동력은 예측한 성능곡선과 비교하였을 때 실험 팬의 최적설계사양과 같은 최소의 오차가 났으며, 동력 효율이 최대로 나타났다. 소음측정 결과는 92.1 dB로 나타나 환경기준인 85 dB에는 미달되지만 밀폐된 실험장소를 감안한다면 기준에 적합한 것으로 판단되었다.

인 용 문 헌

1. 구재인, 정진택, 김광호. 2001. 설치각 변화에 의한 축류 팬의 성능예측에 관한 연구. 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집 :1257-1261.
2. 이승수, 김학선, 천승현. 2003. 3차원 CAD를 이용한 축류 팬 모델링 자동화 기술개발. J. Industrial Science and Technology Institute. 17(1):165-171.
3. Frank P. Bleier. 1997. Fan handbook selection, application, and design. McGraw-Hill.:4. 34-4.37.
4. Johnsen, I. A. and Bullock, R. O. 1999. Aerodynamic design of axial flow compressors. NASA SP-36.
5. Miller, F. 2000. Analysis of flow and sound field of ducted axial fan. InterNoise. : 1531-1534.
6. Sullivan, T. 1998. Blade sweep for low-speed axial fans. 112:151-158.
7. Wadia, L. J. 2001. Sources of noise in axial flow fans. J. Sound and Vib. 1:302-322.