

피치각 조정형 송풍-역풍 겸용 축류팬에서 배연용 피치각 선정을 위한 실험적 연구

장택순, 허진혁, 문승재*, 이재현[†], 유호선**, 임윤철***
한양대학교 대학원 기계공학과, *한양대학교 기계공학부, **충실대학교 기계공학과, ***(주)명진에어테크

An Experimental Study on Selection Pitch Angle on backward flow of an Axial Fan with Adjustable Pitch Angle Blades

Taek-Soon Chang, Jin-Huek Hur, Seung-Jae Moon*, Jae-Heon Lee[†], Ho-Sun You**,
Yun-Chul Im***

ABSTRACT: In this study, the experimental study has carried out to select pitch angle on the backward flow in an axial fan that has adjustable pitch blades. With the change of pitch angle of axial fan with adjustable blade, air flow rate, pressure and air flow direction can be changed. Because of this merit, adjustable axial fan can be used in the backward flow. For the selection of the backward flow pitch angle, fan performance test method is selected by KS B 6311. Dynamic pressure, static pressure, electric current and voltage are measured in each pitch angles of axial fan that are 36°, -16°, -21°, -26°, -31° and -36°. In the result of test, fan performance curves at several pitch angle has been investigated. Finally, pitch angle of -26° has been selected to get largest flow rate at backward flow situation.

Key words: Adjustable Pitch angle Blades(조정피치형 블레이드), Axial Fan(축류팬), Fan Performance Test(팬성능시험)

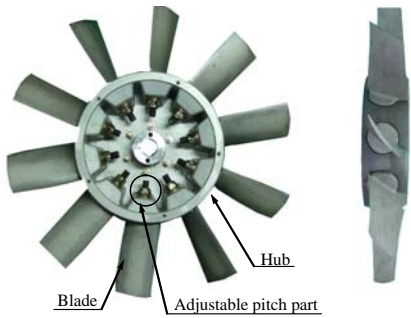
1. 서론

국내의 경우 국토가 좁고 산악지형이 많은 지리적 특성으로 인하여 터널의 건설과 이의 활용성이 더욱 더 증대되고 있다. 터널은 외부공기의 유출입이 자유롭지 못한 반밀폐형의 구조이므로 화재 발생시 인명과 재산의 피해가 크게 발생한다. 2000년 11월 12일 오스트리아 카프룬 터널에서 발생한 화재에서는 터널 입구로부터 멀지 않은 600 m 위치에서 화재가 발생하였으나 155명

이 연기에 질식사하여 사망하였다. 이 경우와 같이 화재 발생으로 인한 인명피해의 대부분은 유독가스 및 연기에 의한 질식이 원인이다. 따라서 터널 내 화재발생시 화재초기 승객의 안전을 확보하고 피난구조활동 및 화재진압활동을 펼 수 있도록 하기 위해서는, 대피방향 반대방향으로 연기류를 형성시켜 주는 배연설비가 필요하다.

터널에서의 배연설비는 일반적으로 환기설비와 병용으로 사용되어 평상시에는 터널 내부공기의 환기를 목적으로 사용되지만 화재시 배연을 목적으로 사용된다. 축류팬을 이용한 터널 환기방식은 환기설비의 설치가 용이하고, 설비비가 적어 경제적이고, 교통량변화에 따라 쉽게 대처할 수 있는 장점이 있다. 축류팬 환기방식의 경우 화재

† Corresponding author
Tel.: +82-2-2220-0425; fax +82-2-2220-4425
E-mail address: jhlee@hanyang.ac.kr



(a) Front view (b) Side view
 Fig. 1 Adjustable pitch angle impeller

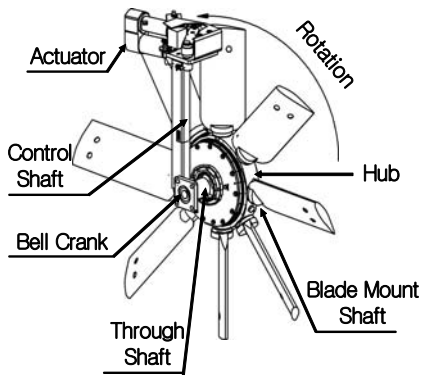


Fig. 2 Pitch angle Adjustment unit.

시 배연설비로 운전되기 위해서는 상황에 따라 기류방향을 제어하기 위해 평상시 송풍운전의 반대방향으로 기류를 토출하는 역풍운전이 가능해야 한다. 축류팬을 역풍운전이 가능하도록 하는

방법으로는 모터를 역방향으로 회전시키는 방법과 블레이드의 피치각을 조정하는 방법이 있다.

모터를 역방향으로 회전시켜 역풍운전을 하는 경우, 송풍운전에서 역풍운전으로 전환하기 위하여 운전중인 모터의 회전속도가 일정속도 이하로 내려갈 때까지 기다린 후 역회전을 시작해야 하므로 화재발생시 신속하게 배연모드로 변경할 수 없다. 또한 모터의 회전속도를 줄이지 않고 역풍운전을 시작한 경우에는 모터에 과부하가 인가되어 고장이 발생할 수 있으며 실제로 이러한 상황이 발생하여 터널 화재사고가 신속히 진압되지 못한 사례도 있었다. 이에 비하여 피치각 조정형 송풍-배연 겸용 축류팬은 배연을 필요로 하는 비상시 수십초 이내로 블레이드 피치를 조정하여 역풍운전을 실시할 수 있으므로 비 가동 기간이 거의 발생하지 않는 장점을 가지고 있다.

블레이드의 피치각을 조정하는 피치각 조정형 송풍-배연 겸용 축류팬은 Fig. 1에 나타낸 블레이드의 피치각을 조정할 수 있는 임펠러와 Fig. 2에 나타낸 피치조정장치를 이용하여 제작될 수 있다. 이러한 축류팬은 모터의 회전방향을 역전시키지 않고 역풍운전으로의 신속한 전환이 가능한 장점을 가진다.

Fig.2에 나타낸 피치조정장치의 구동원리는 다음과 같다. 액츄에이터(Actuator)가 벨 크랭크(Bell Crank)와 연결되어 있는 콘트롤 샤프트

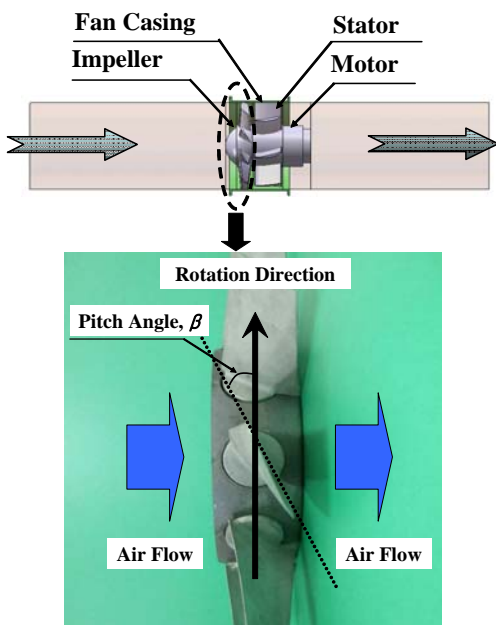


Fig. 3 Air flow direction and impeller shape at forward flow.

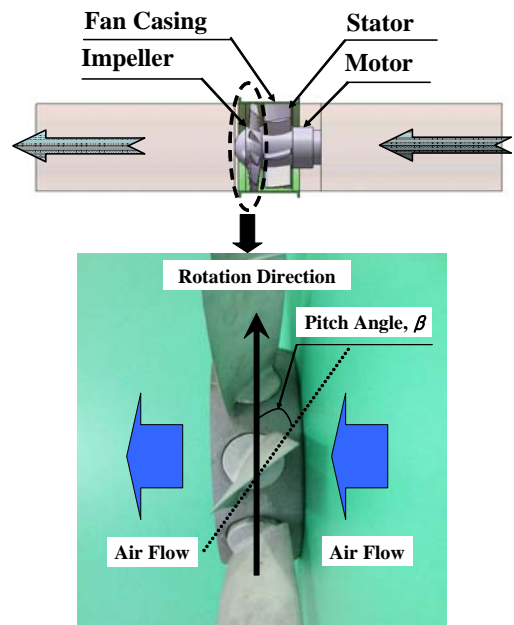


Fig. 4 Air flow direction and impeller shape at backward flow.

(Control Shaft)를 회전시킨다. 벨 크랭크가 회전함에 따라 스로우 샤프트(Through Shaft)가 앞으로 이동하여 허브에 있는 블레이드 마운트 샤프트(Blade Mount Shaft)를 회전시킴으로서 피치각이 조정된다.

Fig. 3은 송풍운전 모드에서의 팬 구성요소의 배열과 공기유동방향을 보여준다. 공기는 임펠러에서 유동력을 얻고 고정익(stator)을 통과하면서 직진성을 향상시키면서 모터를 통과하여 송출된다. 허브측 연결부위의 블레이드 양쪽 끝단을 일직선으로 이은 현과 회전방향이 이루는 각으로 정의되는 피치각 β 는⁽¹⁾ 송풍운전시 역시계방향으로 20° - 40° 범위의 값을 가진다.

Fig. 4는 역풍운전시 공기의 유동방향과 팬구성요소를 보여준다. 여기서 보면 피치각만이 반시계방향에서 시계방향으로 변동된 것을 확인할 수 있다. 즉 송풍운전을 기준하여 설계된 팬 구성에서 임펠러 블레이드의 피치각만 변동시켜 역풍을 발생시키는 구조로 볼 수 있다. 이에 따라 역풍운전시에는 모터와 고정익의 위치가 오히려 유동의 장애물로 작용될 것을 예상 된다.

Koo⁽²⁾가 수치해석 방법에 의하여 산업용 조정 피치형 축류팬의 송풍운전시 임펠러 블레이드의 피치각 변경에 따른 팬의 전압, 정압 등을 예측하여 팬성능 변화를 예측한 바 있으나 역풍운전시의 성능예측에 관한 연구는 찾아보기 어렵다. 본 연구에서는 운전중 블레이드의 피치각을 조정하여 역풍을 발생시킬 수 있도록 설계된 임펠러가 적용된 축류팬을 이용하여 역풍운전시의 전압 및 정압과 모터의 전류 및 전압을 측정함으로써 역풍운전에서 최대풍량을 낼 수 있는 적정 블레이드 피치각을 선정하고자 하였다.

2. 연구모델

본 연구에서 연구모델로 채택한 조정피치형 축

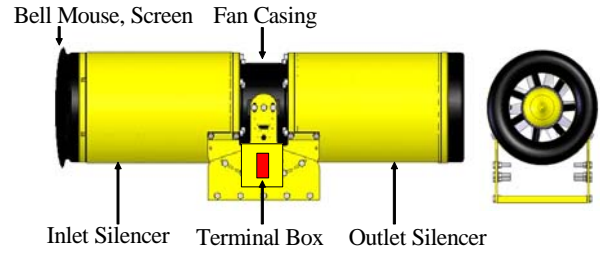


Fig. 5 Adjustable pitch axial fan in the present study.

류팬을 Fig. 5에 나타내었다. 축류팬은 벨마우스(bell mouse), 스크린(screen), 입구 소음기(inlet silencer), 팬 케이싱(fan casing), 출구소음기(outlet silencer) 및 터미널박스로 구성된다.

팬 케이싱 내부에는 임펠러, 고정익 그리고 모터가 설치되어 있다. 송풍운전시를 기준으로 설계된 임펠러의 피치각은 반시계방향으로 36° 이며, 시계방향으로도 회전이 가능하다. 모터는 제한전류 12A, 출력 5.5 kW, 전압 440V 그리고 주파수 60 Hz의 3상 모터가 사용되었다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

피치각 조정형 송풍-역풍 겸용 축류팬의 성능을 측정하기 위한 실험 장치는 KS B 6311⁽³⁾의 표준화된 규격에 준하여 제작되었으며 이를 Fig. 6에 나타내었다.⁽⁴⁾ 팬과 덕트를 포함한 전체길이는 8450 mm이고, 팬과 접속관 그리고 덕트의 직경은 500 mm로 동일하게 제작됐다.

덕트는 내면이 매끈하고, 그 단면적이 팬의 흡입구 및 토출구 단면적과 같은 원형 단면의 끝은 관으로서 길이는 5950 mm이다. 덕트의 토출구 쪽에는 풍량을 조절하는 댐퍼(damper)가 설치되어 있다. 팬의 흡입구와 토출구의 중심은 흡입

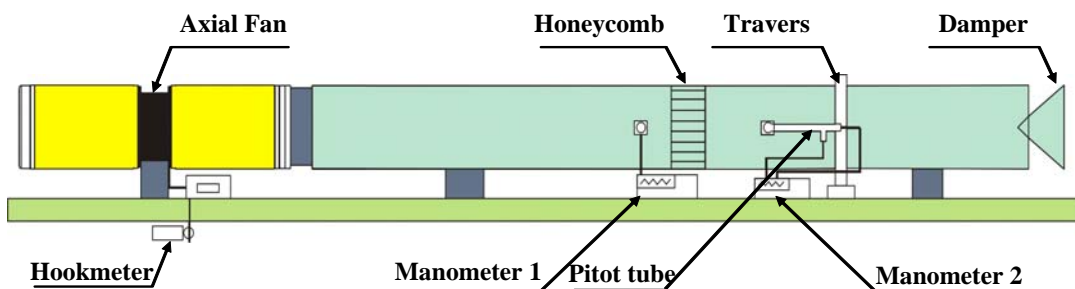


Fig. 6 Experimental equipment for a fan performance test.

및 토출시에 발생할 수 있는 유동 저항을 없애기 위해 벽과 바닥으로부터 송풍기의 흡입구 및 덕트의 직경인 1D이상 떨어지게 설치 되었다.

정압 측정 센서는 덕트의 입구로부터 6.2D의 위치로서 덕트 내부의 유동이 완전히 발달할 것으로 예상되는 지점인 5D보다 뒤쪽 부분에서 설치했다. 유량과 전압을 산정하기 위한 동압은 정류 격자로부터 600 mm 하류위치에서 피토관에 의하여 측정되었다. 추가적으로 덕트 내부의 유동 중 난류 성분을 제거하여 유동을 균일하게 만드는 150 mm 길이의 정류격자(honeycomb)는 정압 측정 위치로부터 0.5D 떨어진 뒤쪽부분에 설치했다.

3.2 실험방법

팬 성능 실험은 KS B 6311에 준하여 수행 되었으며 본 실험에서는 팬의 흡입구와 덕트의 토출구에서 공기의 유동이 주변 공기의 유동으로부터 영향을 받지 않도록 실내실험방법을 선택하였다. 본 연구에서는 반시계방향의 피치각을 “+”각도로 규정하였을 때 송풍운전시의 피치각 36°와 역풍운전시의 피치각 -36°, -31°, -26°, -21°, -16° 등 모두 6개 피치각의 경우에 동압, 정압, 전류 그리고 전압을 측정함으로써 팬 성능 곡선을 작성하고자 하였다.

전류와 전압은 후크미터를 이용하여 측정했고, 정압은 측정관로의 좌우 두 지점을 관벽에 수직하게 뚫고 정압측정구멍에 압력탭(pressure tap)을 이용하여 측정했다. 정압측정은 좌우측 두 곳에서 각각 별도로 측정했고, 이들의 평균치를 취했다. 동압측정은 측정관로의 상하좌우에서 5개씩 총20지점에서 피토관을 이용하여 측정하였다.

풍량조절을 위하여 댐퍼의 개도를 완전밀폐상태인 댐퍼개도1부터 댐퍼개도11까지 11단계로 열어가며 정압과 동압을 측정하였다.

댐퍼로 유량을 조절하면 모터가 받는 부하가 변하기 때문에 각 개도에서의 전류와 전압을 측정하여 식(1)-(4)을 통해 소비전력 $E[W]$, 축동력 $L[W]$, 풍량 $Q[m^3/s]$ 그리고 전압효율 η_T 를 계산하였다.

$$E = \sqrt{3} V I f \quad (1)$$

$$L = \eta_m \times E \quad (2)$$

$$Q = A \sqrt{\frac{2P_D}{\rho}} \quad (3)$$

$$\eta_T = \frac{QP_T}{L} \quad (4)$$

여기서, V 는 전압[V], I 는 전류[A] 그리고 f 는 모터역률, η_m 은 모터효율, A 는 유동단면적[m²]이고, P_D 는 송풍기 동압[Pa], P_T 는 송풍기 전압[Pa] 그리고 ρ 는 공기의 밀도[kg/m³]를 나타낸다. 본 연구에 사용된 팬의 경우 전압 V 는 440 [V]이고, 제조사에서 제공한 모터 성능표에 의하면 전류 4.4~11.7 A의 범위에서 모터효율 f 는 78~86% 그리고 모터역률 η_m 은 52~89%의 값을 갖는다. 유동단면적 A 는 0.196 m²이다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 송풍운전

송풍운전에서의 실험은 역풍운전에서 팬 성능과 비교하기 위해 수행되었다. Fig. 7은 송풍 피치각 36°에서의 송풍기 성능그래프로 풍량에 따른 정압, 전압 그리고 전압효율을 나타낸다. 풍량이 증가 할수록 정압과 전압은 감소하였다. 최대 정압은 1526 Pa이며, 최대전압효율은 풍량 181 CMM에서 61%로 나타났다. 모든 풍량에서 전류는 제한전류 12 A미만으로 안전적으로 운전되었다. 최대풍량은 정압 '0'에서 발생 될 것이므로

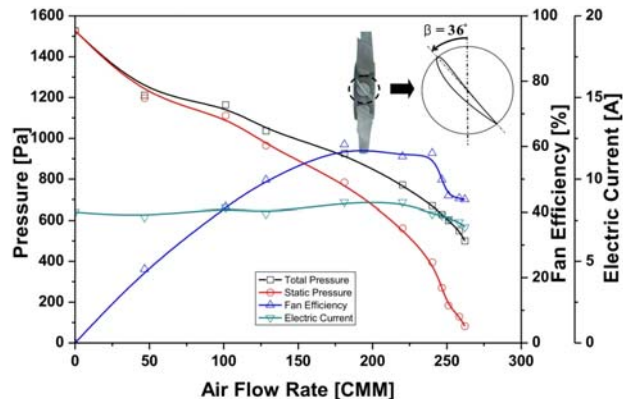


Fig. 7 Fan performance curve at 36° pitch angle at forward flow situation.

최소자승법을 이용하여 3차 다항식으로 표현되는 풍량-정압 상관식을 구한 후 보간하여 구하였으며 269 CMM으로 산정되었다.

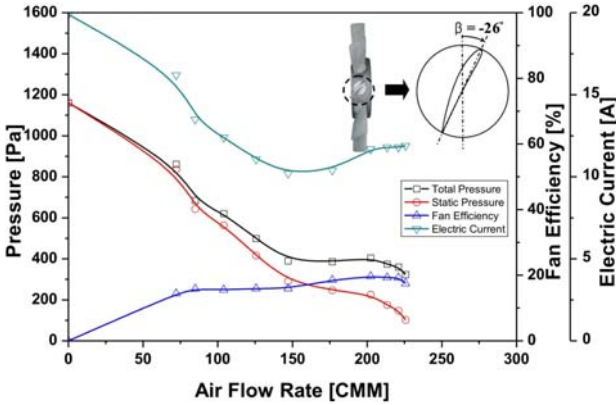


Fig. 8 Fan performance curve at -26° pitch angle at backward flow situation.

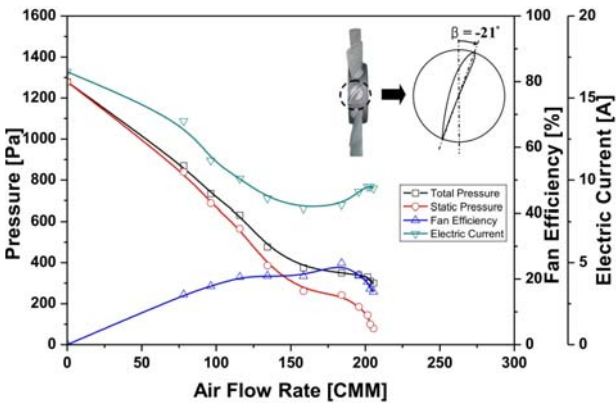


Fig. 9 Fan performance curve at -21° pitch angle at backward flow situation.

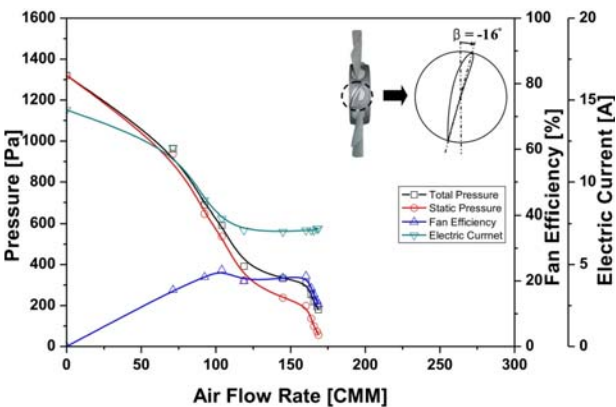


Fig. 10 Fan performance curve at -16° pitch angle at backward flow situation.

4.2 역풍운전

역풍운전에서의 실험은 축류팬이 터널의 천정에 설치된 상태, 즉 정압 '0'에 가까운 상태에서 모터의 안전성을 고려한 제한전류 12 A내로 풍량을 크게 낼 수 있는 피치각을 선정하기 위해 수행되었다. 피치각 -36° 및 -31° 에서의 운전시 송풍운전의 풍량-전류 측정에 의하여 모든 풍량범위에서 전류가 14.3 A 및 13.7 A이상으로서 모터의 제한전류 12 A보다 크게 나타났기 때문에 이 두가지 피치각은 역풍운전에 적절하지 않은 것으로 판단되었다.

피치각이 -26° 인 경우에 풍량증가에 따른 정압, 전압 그리고 전압효율의 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 최대 정압은 1160 Pa이며 최대전압효율은 풍량 202 CMM에서 20%로 나타났다. 풍량 110 CMM 이상에서는 소모전류가 제한전류 12 A보다 낮은 것으로 나타나 안전한 운전이 가능할 것으로 판단된다. 보간법에 의한 최대풍량은 237 CMM으로 산정되었으며 이는 송풍운전시 최대풍량의 88%에 해당한다.

피치각이 -21° 인 경우의 풍량증가에 따른 정압, 전압 그리고 전압효율의 변화를 Fig. 9에 나타내었다. 최대정압은 1279 Pa이며 최대전압효율은 풍량 184 CMM에서 25%로 나타났다. 풍량 90 CMM 이상에서는 소모전류가 제한전류 12 A보다 낮은 것으로 나타났다. 보간법에 의한 최대풍량은 214 CMM으로 산정되어 피치각이 -26° 인 경우에 비하여 최대정압 및 최대전압효율이 높으나 최대풍량은 작게 나타났다.

피치각이 -16° 인 경우의 풍량증가에 따른 정압, 전압 그리고 전압효율의 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 최대정압은 1320 Pa이며 최대전압효율은 풍량 145 CMM에서 21%로 나타났다. 풍량 71 CMM 이상에서는 소모전류가 제한전류 12 A보다 낮은 것으로 나타났다. 보간법에 의한 최대풍량은 171 CMM으로 산정되어 역풍 피치각 -21° 인 경우에 비해 최대정압은 높으나 최대풍량은 작게 나타났다.

Fig. 11에는 (역풍)피치각이 -16° , -21° 그리고 -26° 로 증가함에 따른 최대풍량의 변화를 나타내었다. 그림을 보면 피치각이 -26° 보다 큰 피치각에서 최대풍량이 더 커질 것으로 예상되나 피치각 -26° 인 경우의 운전 전류가 제한전류 12 A

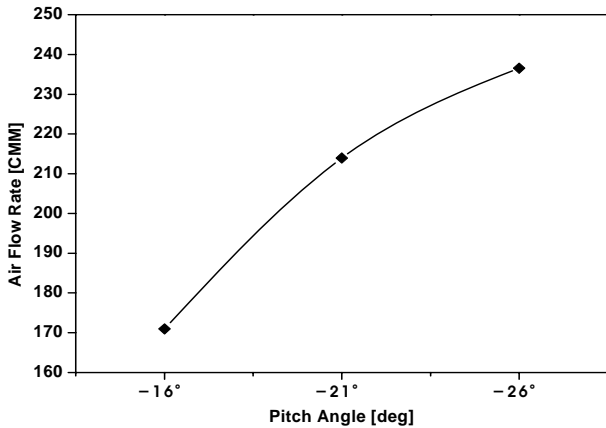


Fig. 11 Maximum air flow rate with pitch angle at backward flow situation.

에 근접하였으므로 배연용 피치각으로는 -26° 가 적정할 것으로 판단된다.

송풍운전 피치각인 36° 인 경우와 배연용 역풍운전 피치각으로 선정된 -26° 인 경우에서의 최대풍량, 최대정압, 최대풍량시 소비전력 및 최대풍량시 전압효율을 Fig. 12에 나타내었다. 역풍운전시 최대풍량은 송풍운전시의 최대풍량의 88% 정도로 많이 감소하지 않지만 소요전력량은 2배이상 증가하였다. 결과적으로 역풍운전시 팬 효율은 송풍운전 경우에 비해 1/3 수준으로 떨어진다. 이러한 비효율성은 전술한 바와 같이 본 연구에 사용된 팬이 송풍운전을 목적으로 하여 설계되었기 때문에 사료되며 역풍운전은 비상시의 짧은 시간 동안만 행하여지므로 역풍운전 가능에 의하여 얻어지는 효과에 비하면 무시할 만 하다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 3상 440V, 12A 제한 전류를 가지는 모터에 의해 구동되는 구경 500mm의 피치각 조정형 송풍-역풍 겸용 축류팬에 대한 팬성능 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 피치각 36° 인 송풍운전시 정압-풍량 관계식의 보간에 의하면 최대풍량은 269 CMM으로 산정되었다.

(2) 역풍 피치각 -36° 및 -31° 인 경우의 역풍운전은 제한전류 12 A를 초과할 수 있으므로 안전한 운전을 위해서는 이러한 피치각은 선택될 수 없다.

(3) 정압 '0'에 가까운 상태로 설치되어 있는 축류팬에서 제한전류 내로 운전 가능한 역풍 피

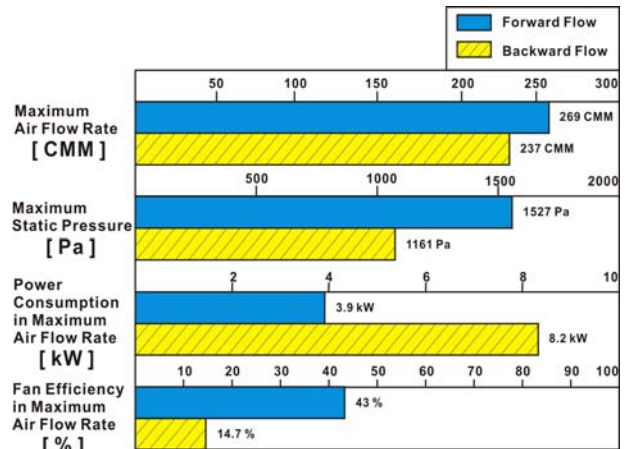


Fig. 12 Comparison of fan performance between forward flow and the backward flow.

치각 -26° , -21° 그리고 -16° 인 경우의 팬 성능 시험결과에 의하면 역풍 피치각 -26° 에서 최대풍량이 나타났으며 이 풍량은 송풍운전 최대풍량의 88% 정도에 해당되므로 이 피치각도가 배연용 피치각으로 적절하다고 판단된다.

(4) 역풍 피치각 -26° 에서의 팬효율은 피치각 36° 인 송풍운전시에 비해 1/3 수준으로 감소되었으며 이러한 비효율성은 송풍운전을 목적으로 하여 설계된 팬을 역풍운전시켰기 때문으로 사료되며 역풍운전은 비상시의 짧은 시간 동안만 행하여지므로 역풍운전 가능에 의하여 얻어지는 효과에 비하면 이러한 비효율성은 무시할 만하다.

참고문헌

1. Kang S. Y., 2005, Performance of an axial turbo fan by the revision of impeller pitch angle, Korean Journal of SAREK, Vol. 15 No.3, pp. 268-276
2. Koo, J. I., 2001, Study on performance prediction of industrial axial flow fan with adjustable pitch blades, Proceedings of the KFMA '01 Annual Conference, pp.30-34
3. 한국표준협회, "송풍기의 시험 및 검사방법," KS B 6311, 2006
4. Cho, L. S., 1998, An Experimental Analysis of High Performance Two Stage Axial Flow Fans, MS Thesis Hanyang University, Seoul, Korea.