

터보 블로워 표준화 제품 개발 사례

송귀은* · 김광호* · 강신형** · 김희룡***

Development of Standard Series for Turbo Blowers

Kween Song, Kwang-Ho Kim*, Shin Hyoung Kang**, Hwe-Ryong Kim***

Key Words: Turbo Blower(터보 블로워), Standardization(표준화), Fan design(송풍기 설계), Noise(소음), Performance characteristics (성능특성)

ABSTRACT

This paper describes the development of standard series for turbo blowers. In mass production system, it is very required to standardize blowers to improve the productivity of ordering, estimating, manufacturing. To standardize blowers, we performed researches on the effects of b_1 (impeller inlet width), b_2 (impeller outlet width), β_1 (blade inlet angle), β_2 (blade outlet angle), Z (number of blades) of impellers and geometry of casing experimentally. Through this study, we chose the several best model of turbo blowers with high efficiency and low noise, which represent each specific speed series 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315. After the development of such standardized blowers, the test results are used to prepare the fan geometry and performance database for a selection software.

1. 서 론

터보 블로워는 화학공정, 펄프, 제지, 광산, 제철, 유리, 섬유, 식품 등의 제조산업, 발전소, 환기설비 등에서 공기압축, 공기이송, 유리압출, 연소로 통풍, 가스 송압 공급, 공해 방지 시스템, 녹제거, 건조, 배기, 냉각, 집진용 등으로 널리 사용되고 있는 중요장치로서 대표적인 유체기계의 하나이다. 그러나 현재 국내의 관련 기술수준은 외국에 비하면 아직도 많이 뒤지고 있는 것도 사실이다. 특히 기본 설계기술의 부족으로 모델 변경과 성능 개선시 어려움에 직면하고 있다. 또한 국내에서 개발된 제품의 성능평가가 제대로 이루어

지지 않아 성능에 대한 신뢰성이 부족한 형편이다. 외국의 경우에는 터보 블로워의 형상을 결정하고 성능을 예측하는 설계기술을 이미 확보하고 있으며, 고효율화 및 저소음화를 위한 기술개발이 계속 진행 중에 있다. 최근 들어 국내에서도 고효율 저소음 터보 블로워 개발과 관련된 연구가 학교, 연구소, 산업체에서 활발하게 진행이 되고는 있지만 아직은 연구개발에 좀더 많은 투자가 이루어져야 할 것이며, 기술인력의 저변확대가 절실한 실정이다[1].

이러한 터보 블로워 기술을 선진국 수준으로 한 단계 끌어올리고자 본 연구에서는 고유모델 설계, 시제품 제작, 성능시험, 성능시험 결과를 바탕으로 한 설계 개선, 개선된 시제품 제작 및 시험에 의한 성능확인 등에 이르는 전체의 과정을 광범위하게 수행하였다.

* 한국과학기술연구원 열·유동제어연구센터

** 서울대학교 기계항공공학부

*** (주)태일송풍기

2. 터보 블로워 표준화 설계

본 연구에서는 매우 다양한 운전사양과 운전조건들이 요구되고 있는 터보 블로워의 제품 표준화 설계를 수행하였다. 표준화 설계란 다양한 요구조건에 대해 매년 서로 다른 터보 블로워를 설계·제작하는 기존의 공정에서 탈피하여 소품종 대량생산의 개념 하에서 미리 모델들을 설계해두고 이들 모델들을 기본으로 사용자 또는 구매자의 요구에 맞추어 상사법칙 등을 응용하여 설계·제작하게 된다. 이를 구체적으로 생산현장에서 적용하기 위해서는 견적-수주-설계-제작-시험-납품의 전과정을 통해 표준화된 터보 블로워 모델들이 필요하게 되고, 이에 관한 상세한 정보를 사용자, 구매자 및 제조사 사이에서 공유하기 위한 정보 인프라를 구축할 필요가 있다.

이러한 관점에서 각각의 비속도 군에서 표준으로 삼을 수 있는 터보 블로워를 설계·시험·선정하는 것이 본 연구의 주된 관심사이다.

본 연구에서는 비속도 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315의 모델들을 주요 연구 대상으로 삼았으며, 각 임펠러들은 후향익이고 직선깃, 곡선깃 또는 익형의 형태를 갖고 있다. 시제품 제작 후 각각에 대한 성능시험 결과 각 비속도 그룹에서 가장 좋은 성능을 보이는 모델을 그 비속도 그룹에서의 표준화된 제품으로 선정하였다. 비속도 N_s 는 다음과 같이 계산된다.

$$N_s = \frac{N \cdot \sqrt{Q}}{(P_{ad} / \gamma_1)^{0.75}}$$

여기에서 N : 회전속도 (rpm)

Q : 흡입풍량 (m³/min)

P_{ad} : 단열압력 (mmAq)

γ_1 : 비중량 (kg/m³) 이다.

여기에서 단열압력 P_{ad} 는 다음과 같이 계산된다.

$$P_{ad} = \frac{k}{k-1} \cdot P_1 \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

여기에서 k : 비열비

P_1 : 입구절대압력 (mmAq)

P_2 : 출구절대압력 (mmAq) 이다.

3. 성능시험 장치 및 방법

시험장치는 흡입관, 토출관 양쪽을 갖도록 구성되었으며 성능시험 장치구성[2,3], 검사 방법[4], 접속관 및 정류격자의 구조[3], 소음 측정방법[5] 등은 각각의 규정에 의거하여 설계·제작되었다. Fig. 1, Fig. 2는 시험장치를 보여주고 있다.

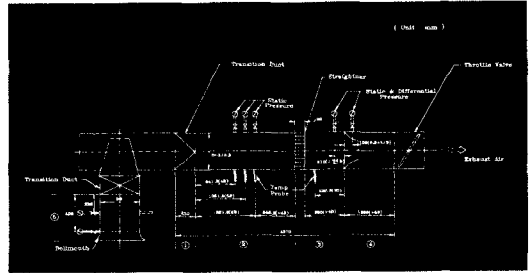


Fig. 1 Performance Test Rig of Turbo Blower

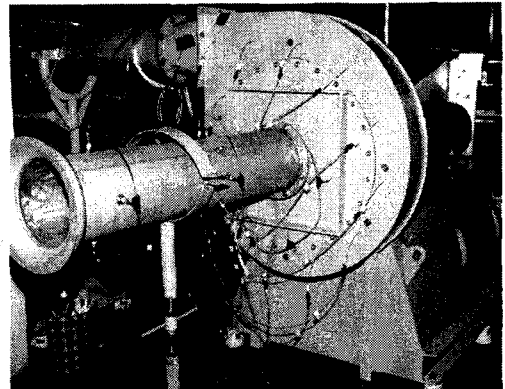


Fig. 2 Photo of Test Blower

터보 블로워 성능시험장치의 흡입, 토출관로의 직경은 비속도 200인 터보 블로워의 출구 면적과 거의 같은 유로 면적을 갖도록 내직경을 210mm로 설계하였다. 시험모델 변경(비속도 80, 125, 200, 315 등)시, 각 모델에 대한 Reynolds수가 유량 측정을 위한 노즐의 적용 범위 안에 속해 측정관로 직경의 변경 없이 접속관의 변경만으로 시험이 가능했으며, 블로워 후류의 선회속도 성분에 의해서 발생할 수 있는 유량측정의 오차를 막기 위해서 정류격자를 노즐 앞쪽에 설치하였고, 유량측정을 위하여 flange type 노즐을 사용하였다. 노즐 형태는 KS A 0612에서 규정된 고조임비 타원노

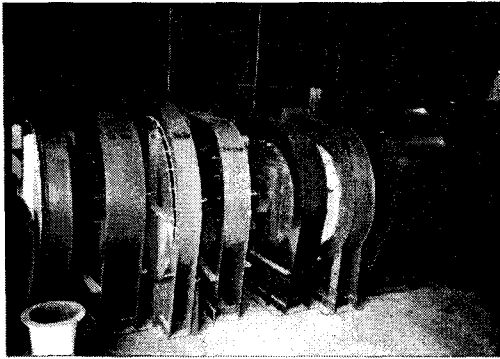


Fig. 3 Standard Turbo Blower

즐의 형태를 갖고 있으며 유량조절을 위하여 토출구에 원추모양의 댐퍼를 설치하였다. 댐퍼의 개폐를 조절하기 위하여 스테핑 모터가 부착된 traverse를 이용하였다.

입구관과 토출관에서의 압력측정 위치는 Fig. 1에 나타내었으며 토출관에서 송출압력의 측정위치는 비속도 변경에 따른 송출압력 변화에 따라 측정이 가능하도록 토출구에서 4D, 5D, 6D 떨어진 지점에 압력측정공을 제작하였다.

압력측정은 PSI의 System 8400을 사용하였으며 U자형 액주계를 이용하여 검증하였다. 온도 측정은 K형 열전대를 사용하였으며 HP사의 HP3497A 모델을 사용하였다. 축동력은 Elcontrol사의 VIP System 3를 사용하였다.

본 실험설비 외에도 (주)태일송풍기에서는 더 큰 비속도를 가지는 블로워를 시험하기 위해 chamber type의 시험 설비를 설계·제작하였으며, 본 연구의 많은 시험도 이 설비를 활용하였다. 이에 대한 자세한 설명은 참고문헌[6,7]을 참조 바란다.

시험은 유량 조절 댐퍼를 이용하여 최소 유량에서부터 점차 유량을 늘여가면서 12종류의 유량에 대하여 측정하였다. 우선 적절한 댐퍼의 위치를 설정한 후, 온도와 압력이 안정화 될 때까지 기다린 후 공기의 온도, 정압, 회전수, 동력, 소음 등을 측정하였다. 소음 측정 시에는 소음계의 주파수 보정으로 A특성을 사용하였으며, 소음측정에 앞서 측정점의 암소음을 측정하며 소음계의 마이크로폰을 음원의 방향으로 향하게 하고 1m 거리에서 측정하였다.

본 시험에서는 소음 예측을 위해서 비소음값을 다

음과 같은 관계식을 이용하여 계산하였다.

$$L_s = L_a - 10 \log_{10} Q P_t^2$$

여기서 L_s : 비소음 레벨 (dBA)

L_a : 측정 소음 레벨 (dBA)

Q : 풍량 (CMM)

P_t : 전압 (mmAq) 이다.

4. 성능시험 결과 및 분석

본 연구에서는 이론적 지식과 경험에 바탕을 두어 1차적으로 터보 블로워의 설계를 수행하고, 시제품 제작, 성능시험을 통해 얻어지는 자료를 분석함으로써 이후의 모델들의 설계변수들에 피드백을 주어 설계를 개량하고 최종 설계를 확정하였다. 설계 및 결과분석에 적용되는 설계변수로는 b_1 (입구폭), b_2 (출구폭), β_1 (입구각도), β_2 (출구각도), Z (날개수), 흡입구경, 케이싱폭 등등의 다양한 성능 영향인자들이 있으며 본 연구에서는 주로 b_2 와 β_2 를 주된 설계 변경인자로 활용하였다. 장기간에 걸친 설계와 반복시험을 통해 이러한 설계인자의 각 비속도 계열에 미치는 영향을 파악할 수 있었고 그 결과로서 각 비속도별 표준화 설계모델을 확정할 수 있었다 (Fig. 3 참조). 선정에 있어서는 고효율과 저소음을 확보하는 것이 우선적으로 고려되었다.

한 예로서 Fig. 4~Fig. 7에 비속도 200 계열의 최종 표준화 제품 및 임펠러 크기 변화에 따른 성능변화 (일명 dia cut)를 나타내었다.

임펠러 출구직경을 초기모델(200A)의 631.0mm에서 613.1mm (200B), 595.7mm (200C), 578.8mm (200D)로 줄이면서 시험하였다. 압력은 직경의 감소에 따라 줄어들고 있으나(Fig. 4) 효율에 있어서는 큰 변화가 없으며 오히려 약간 증가함을 알 수 있다(Fig. 5). 이는 임펠러의 유로 길이가 줄어들면서 나타나는 이점이라고 생각된다. 또한 설계사양 대로 비속도 200에서 최고의 효율을 나타내고 있으며(Fig. 6) 소음도 점차 줄어들고 있다(Fig. 7).

최종적으로 개발된 표준제품들의 비속도에 따른 전압효율과 비소음의 변화 및 대표소음의 크기를 Fig. 8~Fig. 10에 정리하여 놓았다. Fig. 8은 각 비속도 계열의 표준제품들의 비속도-전압효율을, Fig. 9에서는 비속도-비소음 관계를 정리하여 놓았다. 굵은 실선은

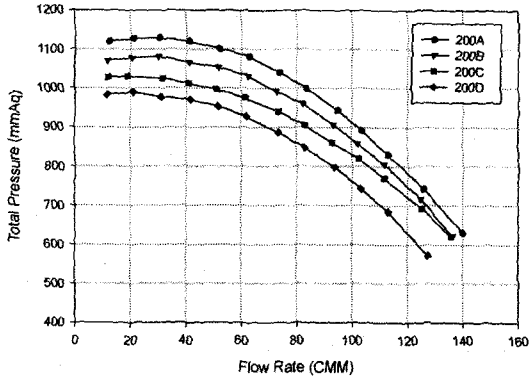


Fig. 4 Flow Rate vs. Total Pressure

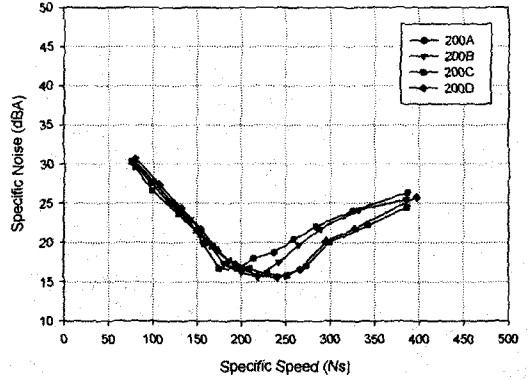


Fig. 7 Specific Speed vs. Specific Noise

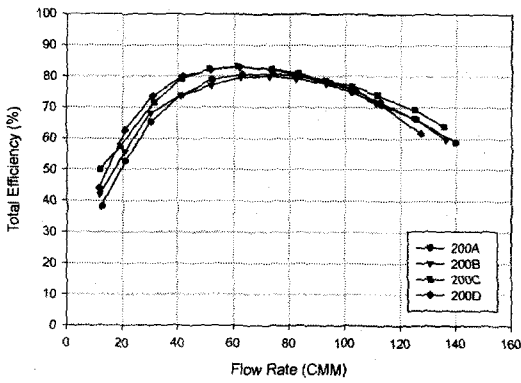


Fig. 5 Flow Rate vs. Total Efficiency

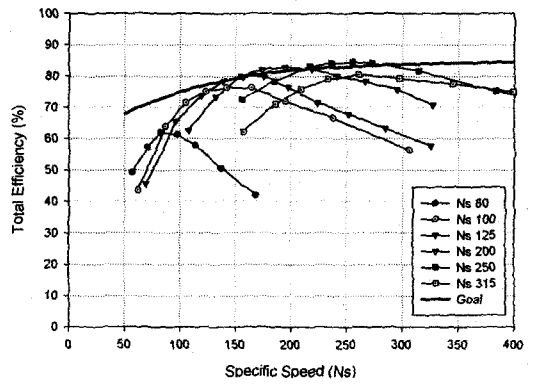


Fig. 8 Total Efficiency Characteristics

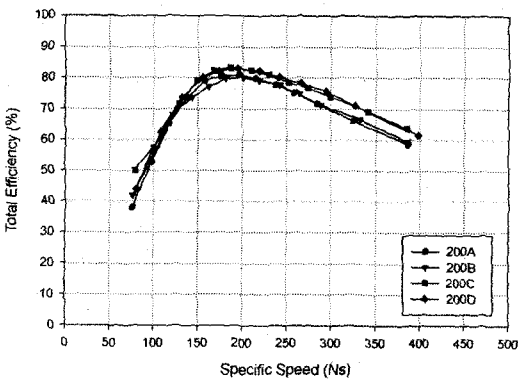


Fig. 6 Specific Speed vs. Total Efficiency

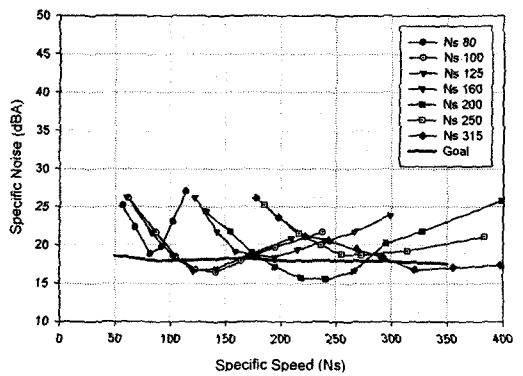


Fig. 9 Specific Noise Characteristics

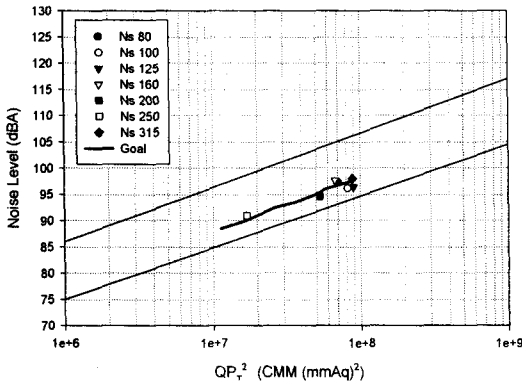


Fig. 10 Noise Level of Standard Models

목표로서 설정한 목표 효율과 목표 비소음으로, 비속도가 작은 계열을 제외하고는 만족할만한 결과를 얻었다. Fig. 10은 최고 효율점에서의 소음값을 도시하였다.

본 연구에서는 단순히 고효율만을 추구한 것이 아니라 저소음의 터보 블로워를 설계·제작하기 위해 소음에 관한 추가적 연구를 수행하였으며 대표소음에서 유체역학적 소음의 영향을 살펴보기 위해서 여러 가지 실험을 수행하였다. 특히 임펠러와 케이싱 cut-off 사이의 거리를 변화시키면서 효율 및 소음의 변화를 살펴보았으며 이 거리에 대한 최적의 값을 얻을 수 있었다.

이상에서 확정된 표준화 모델을 대상으로 송풍기 선정 S/W도 작성하였다[6]. 이 S/W에서는 요구되는 송풍기의 기술적 사양, 즉 압력, 풍량, 구동방법, 사용상태의 온도 또는 밀도 등을 입력하면 여기에 가장 적합한 모델을 선정해주고 성능곡선과 성능 데이터를 표시 또는 출력해준다.

5. 맺음말

본 연구에서는 산업계에서 널리 사용되고 있는 터보 블로워의 표준화 제품을 개발하였다 (비속도 범위 63~315). 각 제품들에 대해 독자적으로 설계를 시행하고 제작된 시제품들에 대한 성능시험 및 분석·평가를 수행하였으며 그 결과 개발된 모델들은 효율, 소음 등 성능 면에서 매우 우수한 제품으로 평가되었다.

성능시험의 신뢰성 확보를 위해서 본 연구에서는 국내·외 규격에 맞는 성능시험 설비를 설계하고 제작하였다. 그리고 본 연구의 결과물인 다양한 시험 자료와 경험들을 데이터베이스로 활용하여 송풍기 selection S/W를 작성하였다.

이러한 신뢰성 있는 설계 자료 및 성능 데이터의 확보는 국내 송풍기의 기술 수준을 국제적 수준으로 향상시키는데 크게 기여할 것으로 평가된다.

참고문헌

- (1) 김희룡, 김광호, 1999, "산업용 송풍기의 연구개발 동향", 유체기계저널, 제 2권 제 3호, pp 77~82.
- (2) N. N., 1992, "Power Test Codes: Compressors and Exhausters", ASME PTC 10.
- (3) 한국표준협회, 1999, "터보형 블로어·압축기의 시험 및 검사 방법", KS B 6350.
- (4) 한국표준협회, 1997, "송풍기의 시험 및 검사 방법", KS B 6311.
- (5) 한국표준협회, 1997, "송풍기·압축기의 소음레벨 측정 방법", KS B 6361.
- (6) 송기은, 홍용의, 김광호, 김희룡, 2000, "후향의 송풍기 Selection S/W 개발", 공기조화·냉동공학회 2000동계학술발표 논문집 (발표예정).
- (7) N. N., 1997, "Industrial fans - Performance testing using standardized airways", ISO 5801, pp 153~161.