

축류형 흡배송 송풍기의 성능에 관한 실험적연구

최형준* · 박영하* · 안국영** · 조수용****

A Experimental Study on the Performance of an Axial-Type Suction-Blowing Fan

Hyoung-Jun Choi*, Young-Ha Park*, Kook-Young Ahn**, Soo-Yong Cho****

Key Words : Axial-Type Fan(축류형송풍기), Suction-Blowing Fan(흡배송송풍기), Aerodynamic Design(공력설계), Air Curtain(공기차단막), Performance Test(성능실험)

ABSTRACT

An experimental study was conducted to examine the effectiveness of a suction-blowing fan that could not only remove polluted air by suction but also create the air-curtain by blowing. In order to create the air-curtain, rotors were installed on the surface of the shroud. These blows fresh air into the polluted region. The fresh air is spouted backward 45° on the basis of the axial direction using a double-ducted bellmouth. In the same suction operating condition, the suction region was extended by increasing the blowing velocity. However, the increasing rate of suction region was reduced when the blowing velocity was increased steadily. Thus, an efficient blowing velocity should be determined depending on the suction operating condition. In addition, the blowing requires additional input power. In a fixed suction operating condition, the input power was linearly increased in proportion to the blowing flowrate. When the suction-blowing fan was operated in the same input power as the suction fan, the suction region was increased more than 30% based on the 0.6m/sec velocity.

1. 서론

산업의 발달에 따라 대두되고 있는 직업성 질병의 대부분이 유해한 작업환경으로부터 기인하므로 작업 환경의 개선은 작업자 보호 측면뿐만 아니라 노동 생산성의 향상을 위하여 필요 불가결한 과제이다. 유해한 환경은 대분류로 소음, 진동, 방사선 등에 의하여 야기되는 물리적 환경과 유해가스, 분진 등의 유해 물질 환경으로 구분할 수 있다. 특히 악취, 유해가스, 분진 등은 공정개선에 의한 근원적인 차단이 불가능할 경우에는 환기시스템에 의하여 제거한다. 환기시스템이 요구되는 장소로 용접 및 절단이 이루어지는 작업장, 연마작업이 빈번하여 분진이 많이 발생하는 곳, 유해성분의 가스나 악취를 발생하는 화합물을 다루는 작업장 등이 있다.

유해가스나 악취에 의하여 오염된 공기를 환기장치에 의하

여 제거하는 경우에 가장 간단한 방식으로 송풍기와 연결된 흡입관을 사용하여 오염된 공기를 배출한다. 만일, 환기가 효과적으로 짧은 시간 내에 이루어지지 않는 경우에는 건물내부에 있는 사람들이 오염물질에 노출되어 인체에 해를 받게 된다. 가령 철 구조물의 용접 절단에서 발생하는 유해가스를 효과적으로 제거하지 못할 때 공장 내부의 공기는 항상 탁한 상태로 유지된다. 이러한 원인은 오염된 공기를 제거하기 위한 흡입관에서의 흡입영향영역(polluted air suction region) 즉, 오염된 공기가 흡입구로 흡입될 수 있는 거리가 짧기 때문이다.

오염된 공기의 제거를 보다 확실하게 하기 위하여 환기장치의 흡입구를 오염원 근처에 설치하게 되면 작업자의 활동 반경이나 생활 영역이 침범되어 원활한 작업이나 활동이 이루어지지 못한다. 이러한 문제를 개선하기 위하여 흡입구 주위에 벨마우스를 설치하여 흡입영향영역을 향상하고 있다. 흡입영향영역의 증대는 벨마우스의 형태보다는 벨마우스의 크기에 영향을 많이 받으며, 벨마우스가 어느 이상으로 증대하게 되면 흡입영역은 더 이상 확대되지 못한다⁽¹⁾. 아울러 벨마

* 경상대학교 대학원

** 한국기계연구원 환경에너지연구본부

*** 경상대학교 항공기부품기술연구센터(기계항공공학부)

† 교신저자, E-mail : sycho@gnu.ac.kr

우스의 크기가 증대하게 되면 작업자의 작업공간을 제약하는 문제가 발생된다. 따라서 벨마우스의 크기를 증대하지 않으면서 흡입영향영역을 확대하는 방법을 사용하고 있다.

오염원 주위에 공기차단막의 설치하는 작업자의 활동에 제한을 주지 않으면서도 흡입영향영역을 확대할 수 있으므로 많이 사용된다⁽²⁾. 하지만 효과적으로 공기차단막을 형성하기 위하여서는 공기차단막을 형성하기 위한 공기의 분출방향과 속도가 중요하며⁽³⁾, 공기차단막을 45도 역방향으로 분출 시에 흡입성능을 66% 이상 향상할 수 있다⁽⁴⁾. 또한 공기차단막에 외류를 형성하여 흡입성능을 향상하는 방법도 적용된다⁽⁵⁻⁸⁾. 하지만 상기의 방법에서는 유해가스를 흡입하는 송풍기와 공기차단막을 형성하기 위한 공기차단막용 송풍기 두 대가 사용되었다.

공기차단막을 사용하여 흡입하는 환기장치에서는 동심을 갖는 이중 덕트(double duct)를 사용하여야 한다. 따라서 두 대의 송풍기에 연결된 각각의 덕트를 하나의 이중 덕트로 만들어야 하므로 공기차단막을 위한 덕트와 흡입관이 상호교차하게 되어 유체역학적으로 완전한 동심관을 만들지 못하게 된다. 즉, 공기차단막이 덕트의 끝부분에서 원주방향 전체에서 동일한 공기차단막을 형성하지 못하여 어떤 구역은 강한 공기차단막이 형성되고 또 다른 구역은 약한 공기차단막이 형성되어 전반적으로 흡입성능의 향상을 저해하였다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 완전한 이중 덕트를 적용하며, 덕트간의 교차가 없도록 하는 흡배송송풍기(9)를 개발하였다. 아울러 흡배송송풍기를 사용하는 경우에 흡입성능의 향상에 대한 실험적인 연구를 수행하였으며, 보다 향상된 환기시스템의 개발에 일조하고자 한다.

2. 흡배송송풍기의 설계

본 연구에 적용된 축류형 흡배송송풍기의 구조도를 Fig. 1에서 보여주고 있으며, 이 송풍기가 실제 오염원이 발생하는 공간에 설치되어 사용되는 예를 Fig. 2에서 보여주고 있다.

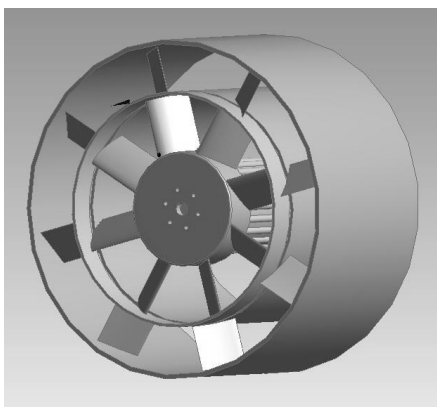


Fig. 1 Structure of axial-type suction-blowing fan

흡배송송풍기는 일반적인 송풍기와는 다르게 두 개의 부분으로 구성되어 있는데, 송풍기의 안쪽부분은 흡입을 위한 부분이다. 이 흡입 덕트의 밖으로 보다 큰 덕트가 설치되어서 이중 덕트로 구성된다. 바깥쪽에 있는 이중 덕트에서는 흡입 덕트에서의 공기 유동방향과는 반대방향으로 유동이 형성된다. 따라서 이 유동은 흡입과는 달리 오염원이 있는 영역으로 분사되어 흡입성능을 향상하기 위한 공기차단막을 형성하도록 되어있다. 그러므로 이중 덕트에 설치되는 송풍기의 동익 설치각도는 흡입송풍기에서의 동익 설치각과는 반대로 설정된다.

환기시스템에 적용되는 송풍기의 표준적인 사양을 바탕으로 본 연구에서는 Table 1과 같이 흡입을 위한 송풍기의 요구조건을 설정하였다. 주어진 회전수에서 요구조건의 풍량과 압력을 달성할 수 있는 것은 익형의 형상에 의하여 결정되어지므로, 전압력의 상승은 오일리식과 송풍기에서 예상되는 총효율(η)을 사용하여 이를 선회계수(ω)와 유량계수(λ)에 의하여 표현하면 식 (1)과 같이 얻어진다.

$$\Delta P_t = 2P_{dy}(\omega_2 - \omega_1) \frac{\eta}{\lambda} \quad (1)$$

식 (1)에서의 하첨자 1과 2는 동익의 전후를 의미하며, P_{dy} 는 축방향속도(C_x)를 기준으로 하는 동압을 나타낸다. 아울러

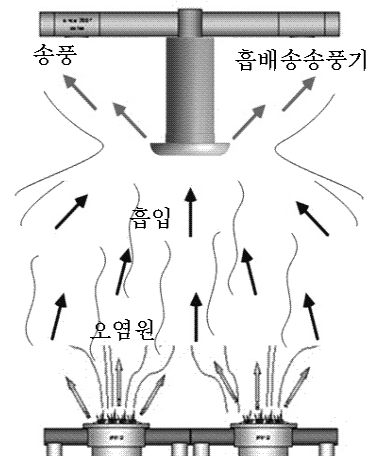


Fig. 2 Application of a suction-blowing fan

Table 1 Specifications of an axial-type suction fan

Contents	Specification	Remarks
Air flow	78m ³ /min	
	1.62kg/sec	
Static pressure	108Pa	suction
Fan speed	3570RPM	
Casing diameter (D)	345mm	$R=D/2$
Hub diameter	156mm	

러 선회계수는 원주방향속도(C_θ)와 축방향속도의 비로 나타내어지며, 유량계수는 축방향속도와 선회속도(U)의 비로 얻어진다. 따라서 요구하는 전압력의 상승을 얻기 위하여서는 총효율을 정확히 예측하여야 하며 설계되어질 익형은 동익 전후에서 요구하는 선회계수가 얻어지도록 형상화하여야 한다.

요구하는 전압력의 상승을 달성할 수 있도록 1차원적인 평균반경을 기준으로 선회계수와 유량계수를 간단히 얻을 수 있다. 다음으로 3차원 동익을 형상화하기 위하여서는 반경방향의 위치에 따라 유동의 상태를 정확히 예측하여야 하나, 초기의 형상이 완전히 정하여지지 않은 상태에서 3차원 운동량 방정식을 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서 반경방향의 여러 유선을 기준으로 해석을 수행하는 준3차원의 방식을 일반적으로 사용한다. 이를 위하여 반경방향으로의 유동 변화를 무시한다고 가정하면 식 (2)과 같이 반경방향으로 단순화된 평형방정식⁽¹⁰⁾을 얻게 된다.

$$C_x \frac{dC_x}{dr} + C_\theta \frac{dC_\theta}{dr} + \frac{C_\theta^2}{r} = 0 \quad (2)$$

식 (2)에서 r 은 반경방향을 의미한다. 반경방향 평형방정식을 해석하기 위하여 반경방향을 따라서 원주방향의 속도를 어떻게 분포하는가에 따라서 여러 설계방식이 얻어진다. 가장 간단한 방법이 평균반경의 결과를 반경방향에 분포하는 방법이며, 자유와류방식, 강제와류의 방식⁽¹¹⁾, 익형에서의 반동을 일정하게 하는 법⁽¹²⁾, 자유와류법의 와류와 일정 반동법의 와류를 평균하여 적용하는 방법, 출구에서의 와류를 일정하게 하는 방법, 자유와류에 의한 와류를 조정하는 지수적인 방식 등 여러 가지 방법이 있다. 본 연구에서는 3차원의 익형에서 전반적으로 균일한 선회계수의 값과 양호한 효율⁽¹³⁾을 보여주었던 케이스카이드 이론을 적용하였다. 동익의 개수는 8개로 선정되었으며 평균반경에서의 현절비(solidity)는 0.647로 설정되었다. 아울러 공기차단막을 형성하는 동

익은 구조의 안정성을 고려하여 흡입송풍기의 동익과 같은 위치에 설정하였으며, 효율적인 공기차단막에 대한 연구결과⁽³⁻⁴⁾를 바탕으로 분사송풍기에서의 익형 높이는 흡입송풍기 케이싱 직경의 9%로 설정하였다. Fig. 3은 실험에 적용된 흡배송송풍기의 로터를 보여주고 있다.

3. 성능시험장치

Fig. 4는 실험장치의 개략도를 보여주고 있다. 실험에서 모터가 흡입덕트의 내부에 설치되어 흡입성능에 잘못된 영향을 미칠 수 있으므로 충분히 긴 축을 사용하여 덕트의 뒷부분에 설치하였다. 또한 내부덕트에서는 안쪽과 바깥쪽에서 공기의 유동방향이 다르므로 로터의 설치로 인한 누설이 없도록 하였다. 이를 위하여 덕트 사이에 베어링으로 차단하는 방법, 라바란스 실을 적용하는 방법 등이 있으나 덕트의 두께가 얇으므로 덕트간 진원도의 정밀도를 향상하고, 접촉되는 간극을 1mm 이하로 축소하여 누설이 없도록 하였으나 축간극에 대한 추가적인 보완으로 고정 덕트의 주위로 셀룰로즈막을 부착하여 회전에는 전혀 영향을 미치지 않도록 하면서도 상호교차하는 유동이 완전히 차단되도록 하였다.

흡입구에서는 공기차단막의 형성을 위하여 벨마우스를 설치하였으며, 이중 덕트에 맞도록 각각의 벨마우스를 제작하였다. 벨마우스의 최대 직경은 흡입송풍기 케이싱의 두 배로 설정하였으며, 공기차단막을 형성하기 위하여 분사되는 공기의 방향은 45도 후향을 향하도록 하는 경우가 분사공기량의 증가에 대하여 가장 효과적⁽³⁻⁴⁾이었으므로 45도 후향으로 제작하였다.

흡입영역에서의 유동장은 축방향에 대하여 동일하므로 하나의 평면을 기준으로 유동장의 측정이 이루어졌다. 측정은 Kanomax사의 IHW-100의 열선유속계를 사용하였으며, 열선을 유동에 수직한 방향이 되도록 하여 측정하였다. 측정영역은 벨마우스의 중심을 기준으로 축방향(x)과 반경방향(r)으로 흡입송풍기 케이싱반경(R)대비 5.8X3.48의 영역에 대해 50mm간격으로 총 273개소에서 속도를 측정하였다. 측정의 정확성을 향상시키기 위해서 전체를 각각 3번의 반복 실험을 수행하고 평균하였다. 아울러 공기온도의 변화에 대한 보정도 이루어졌다.



Fig. 3 Picture of a suction-blowing fan rotor

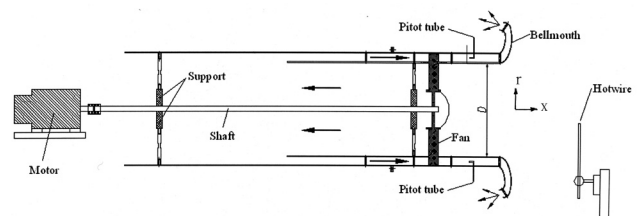


Fig. 4 Experimental apparatus

4. 흡입유동장

공기차단막을 형성하여 흡입성능의 실험을 수행하기 앞서 흡입송풍기만 작동하는 실험을 수행하였다. Fig. 5에서 보여주는 것과 같이 흡입송풍기 로터의 외주면에 공기차단막을 형성하는 동익을 설치하지 않았으며, 실험에서는 흡입레이놀즈수(Re_s)를 변경하면서 흡입구 앞에 있는 영역에서의 유동장을 측정하였다. 흡입레이놀즈수는 흡입구에서의 평균유속과 흡입구의 직경을 기준으로 정하였다.

Fig. 6은 흡입송풍기의 로터만이 작동되는 경우에 흡입되어지는 영역에서 흡입속도 크기의 변화를 보여주고 있으며, 흡입구에 가까워지면서 흡입속도는 급격히 증가하고 있음을 알 수 있다. 이때 흡입구에서의 흡입레이놀즈수는 340,000이었다. 로터의 회전수를 조정하여 흡입레이놀즈수를 변경하였을 때, 각각의 흡입레이놀즈수에 따른 흡입영역에서의 속도크기의 분포도는 Fig. 6과 비슷한 결과를 보여주었다. 하지만 동일한 위치에서 속도의 절대적인 크기는 흡입레이놀즈수의 감소에 따라서 줄어들었다. Fig. 7에서는 흡입속도 0.6m/sec를 기준으로 흡입레이놀즈수의 감소에 따라 흡입영역이 축소되고 있음을 보여주고 있다.

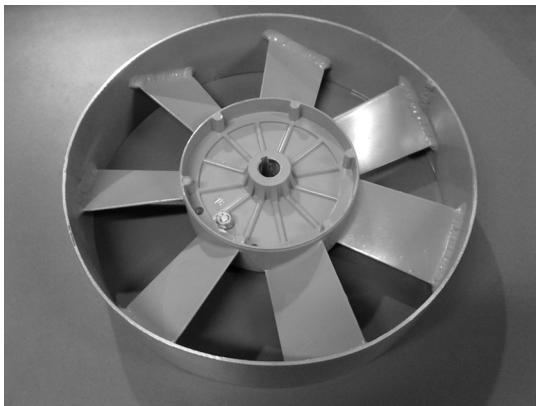


Fig. 5 Picture of the suction fan rotor

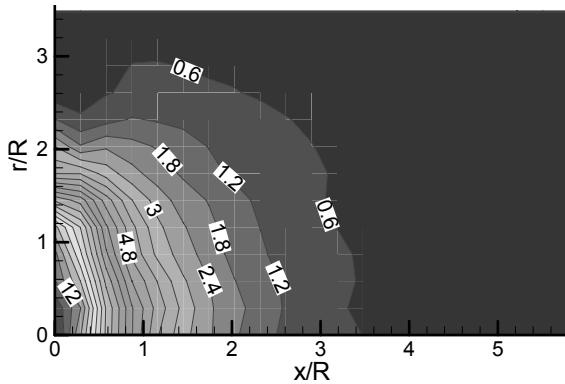


Fig. 6 Velocity contours by the suction fan at $Re_s=340,000$

공기차단막에 의한 흡입영향영역을 확인하기 위하여 흡입송풍기 로터의 쉬라우드 외주면에 동익을 설치하여 공기를 후향 45도로 분사하였다. 동일한 흡입레이놀즈수에서 분사레이놀즈수(Re_b)를 조정하기 위하여 분사용 동익의 각도가 다른 3대의 로터를 제작하여 분사량을 조절하였으며, 아울러 각각의 로터는 회전수의 변화에 따른 흡입성능을 측정하였다. 분사레이놀즈수는 직선의 이중 덕트에서 측정하였으며, 이중 덕트에서의 평균 유속과 등가 지름을 기준으로 정하였다.

Fig. 8은 흡입레이놀즈수가 340,000인 상태에서 단지 공기차단막을 형성하였을 경우에 흡입영역이 확장되고 있음을 Fig. 6의 결과와 비교하여 보면 명확하여진다. 두 경우의 차이는 분사레이놀즈수가 0인 경우와 40,400인 경우의 차이이며, 흡입조건은 동일하다. 두 개의 그림에서 비교되어지는 속도분포는 2차원으로 단순히 단면에서의 비교가 이루어지고 있지만 실제사용에서는 공간이므로 흡입영역의 증가는 2차원 단면에서 비교되는 것보다는 그 이상으로 증가됨을 알 수 있다.

동일한 흡입 작동조건에서 공기차단막의 영향력을 비교하

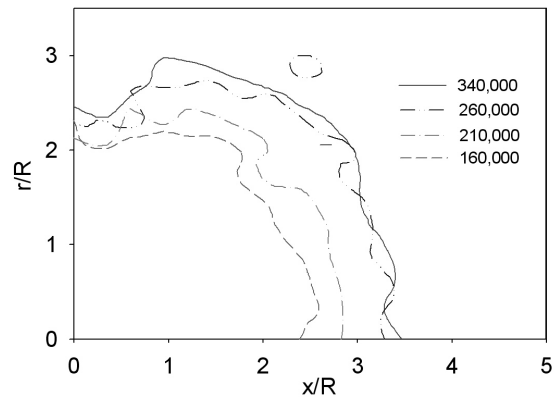


Fig. 7 Velocity contour of 0.6m/sec with various Re_s

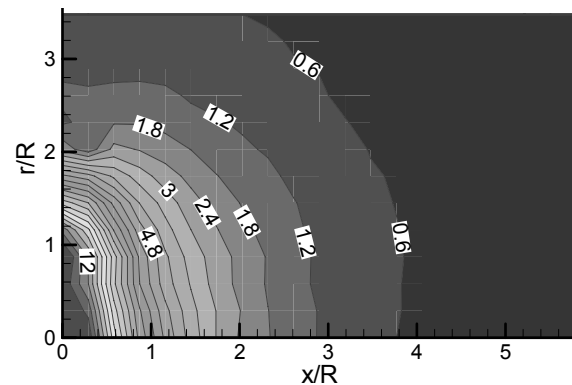


Fig. 8 Velocity contours by the air-curtain at $Re_s=340,000$ and $Re_b=40,400$

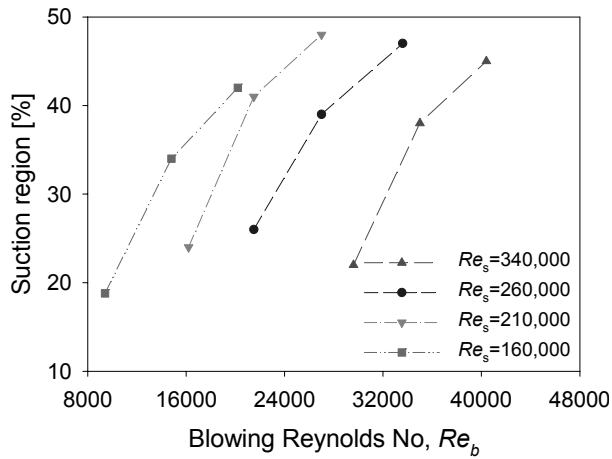


Fig. 9 Increasing rate of suction region by the air-curtain

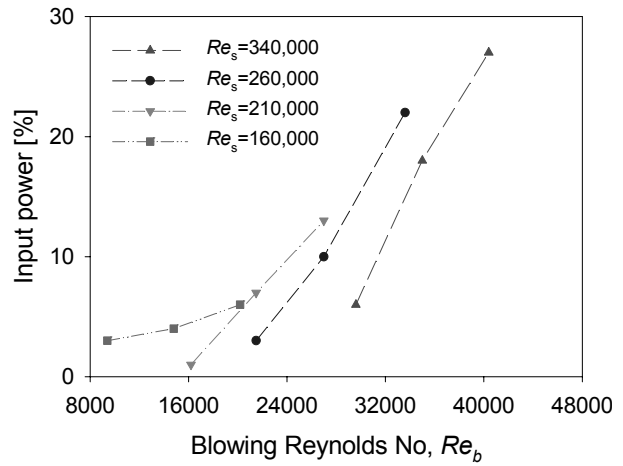


Fig. 10 Input power consumption rate by the air-curtain

기 위하여 분사레이놀즈수를 변경하였을 경우에 흡입영향영역의 비교를 Fig. 9에서 보여주고 있다. 흡입영역은 유동속도 0.6m/sec를 기준으로 2차원의 단면에서 흡입면적을 구하였으며, 공기차단막이 없는 경우의 흡입면적에 대하여는 분사레이놀즈수의 증가에 따라서 더욱더 커지는 경향을 흡입영역의 증가를 백분위로 나타내었다. 흡입영역의 증가보여주고 있으나, 분사레이놀즈수가 커짐에 따라서 흡입영역의 증가에 대한 변화율은 점차 완화되어짐을 알 수 있다. 따라서 흡입영역의 효율적인 증가는 단순히 분사레이놀즈수의 증가만이 아닌 흡입조건에 따라 적절한 분사레이놀즈수를 정하여야 함을 알 수 있다. 즉 Fig. 9에서 보여주는 것과 같이 흡입을 위한 네 가지의 다른 작동조건에서 흡입레이놀즈수가 줄어드는 경우에는 분사영역의 최대 증가를 위한 분사레이놀즈수도 같이 줄어들고 있음을 알 수 있다.

공기차단막에 의한 흡입영역의 증가는 환기시스템에서의 능률을 향상하고 있다. 하지만 공기차단막을 형성하기 위하여 공기를 분사하여야 하므로 추가적인 동력이 소요된다. 따라서 흡입영역의 증가에 대하여 흡배송송풍기를 작동하는 입력의 증가가 더 많이 요구된다면 효율적인 차원에서 공기차단막에 의한 흡입영향영역의 확대는 의미가 없게 된다. 따라서 본 실험에서는 각각의 작동조건에서 소모되는 입력을 측정정밀도가 $\pm 0.1\%$ 이내인 요코가와의 WT1600 동력측정계를 사용하여 측정하였다.

Fig. 10은 소모되는 동력의 변화를 보여주고 있는데 동일한 흡입작동조건에서 공기차단막을 형성하기 위한 분사레이놀즈수가 증가하게 되면 소모동력은 분사공기량의 증가에 따라서 동력의 증가는 전반적으로 직선적인 변화를 보이고 있다. 소모동력의 변화에서 완전한 직선적인 변화를 보여주지 못하고 있는 것은 송풍기 로터의 외주면에 설치된 분사용 동익의 설정각이 회전속도에 따라서 적정한 입사각에서 벗어나게 되는 경우에 따라서 손실의 차이가 발생되기 때문이다. 그러므로 소모되는 동력은 분사레이놀즈수의 증가에 따

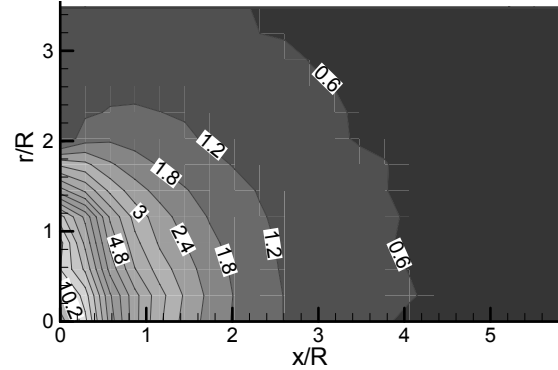


Fig. 11 Velocity contours by the air-curtain at $Re_s=260,000$ and $Re_b=33,600$

라서 대체적으로 직선적인 증가를 하거나 미세하게 증대율이 증가할 것으로 예상된다. 즉, 분사량의 증가는 분사압력의 증가를 요구하게 되기 때문이다. 하지만 바로 흡입공간으로 분사하게 되므로 높은 압력의 증가를 필요로 하지 않을 것이므로 미세한 증가율을 보일 것으로 예상된다. 따라서 흡배송송풍기에서 흡입영역의 증가율이 흡배송송풍기의 성능에 중요한 지표가 된다.

입력동력을 동일하게 하고 흡입송풍기만 작동하는 경우와 공기차단막을 형성하여 흡입하는 경우를 기준으로 흡입영역의 비교를 수행하였다. 흡입레이놀즈수가 340,000으로 흡입송풍기만이 작동할 때 흡입영역에서의 속도분포를 Fig. 6에서 보여주었다. 이와 동일한 입력으로 작동하기 위하여서는 흡입레이놀즈수를 낮추고, 공기차단막을 형성하도록 하여야 한다. 이를 위하여 흡입레이놀즈수를 260,000으로 설정하고 분사레이놀즈수를 33,000으로 설정하였을 때 동일한 입력이 되었다. Fig. 11은 이 작동조건에서 얻어진 흡입영역에서의 속도분포를 보여주고 있다. Fig. 6과 비교하여 흡입구 직전에서의 속도는 흡입레이놀즈수가 낮아졌으므로 당연히 적은 속도분포를 보이고 있다. 하지만 중요한 것은 단순히 흡입만

을 하는 경우에 비하여 공기차단막을 형성한 경우에 흡입영역이 증대되었음을 알 수 있다. 흡입속도가 0.6m/sec인 경우를 기준으로 흡입면적은 30% 이상 향상되었음을 알 수 있다. 따라서 동력의 추가적인 소모가 없이 공기차단막의 설치만으로도 흡입영역의 증대를 달성할 수 있음을 알 수 있다. 또한 동일한 입력에서 작동하는 경우에 B&K사의 Pulse-3560의 장비로 소음을 측정된 결과 공기차단막을 설치한 경우에 소음이 다소 낮아지는 효과를 나타내었다. 이는 흡입속도의 감소와 공기차단막에 의한 압력분포의 완화 때문이라고 판단되어진다.

4. 결 론

본 연구에서는 하나의 로터에 의하여 공기차단막을 형성하고 흡입하는 흡배송송풍기를 개발하였으며, 아울러 흡배송송풍기의 효과를 실험적으로 규명하였다. 흡입작동조건을 일정하게 설정하고 단지 공기차단막을 형성하기 위하여 분사되어지는 유속을 변경하게 되면 이 유속의 증가에 따라서 흡입영역은 증대하였다. 하지만 분사유속을 크게 하였을 경우에 흡입영역의 증가율은 감소되어졌다. 또한 분사에 따른 송풍기 입력은 증대되었으나 대체적으로 동일한 흡입작동에서 분사유량의 증가에 따라 입력은 직선적으로 증대하였다. 동일한 입력조건에서 흡입작동만 하는 경우와 공기차단막을 형성하는 경우의 비교에서 흡입영역은 흡입속도를 낮추더라도 공기차단막을 형성하는 경우가 흡입영역을 30%이상 향상하였다. 따라서 공기차단막을 사용하여 흡입성능을 향상하는 것이 상당히 효과적임을 알 수 있으며, 하나의 흡배송송풍기를 사용하는 것이 기술적으로나 경제적으로 효과적인 방법이 된다.

후 기

본 연구는 한국기계연구원에서 시행하는 일반사업의 및 기초기술연구회가 지원하고 한국항공우주연구원이 주관하는 DRC사업의 일부로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) 조종현, 김재실, 조수용, 2008, “흡입관의 형상에 따른 흡입성능에 대한연구,” 대한설비관리학회지, Vol. 13, No. 3, pp. 67~78.
- (2) 함진식, 2001, “흡기용 에어커텐이 렌지후드의 환기성능에 미치는 영향에 관한 연구,” 대한 건축학회논문집, 계획계 Vol. 17, No. 6, pp. 153~160.
- (3) 조종현, 정양범, 조수용, 2009, “흡입성능향상을 위한 공기차단막의 효과에 관한연구,” 한국실내환경학회지, Vol. 6, No. 1, pp. 27~37.
- (4) 조종현, 김재실, 조수용, 2009, “흡입관 주위에 형성된 공기차단막이 흡입성능에 미치는 영향,” 유체기계저널, Vol. 12, No. 5, pp. 25~32.
- (5) Chokhar, I. A., Prozorov, D. S., Spotar, S. Y., 1993, “An Efficient Extraction of Fumes by Means of The Vortex Suction Device,” Russian Academy of Science.
- (6) Hijikata, K. and Suzuki, Y., 1995, “Local Ventilation and Heat Transfer by Tornado-Like Vortex,” ASME/JSME Thermal Engineering Conference, Volume 1.
- (7) Li Y. and Desante, A., 1996, “Derivation of Capture Efficiency of Kitchen Range Hoods in a Confined Space,” Building and Environment, Vol 31, No. 5, p. 461.
- (8) 김수용, 정상현, 최범석, 박무룡, 2000, “와류유동을 이용한 환기시스템개발,” 한국기계연구원 연구보고서 2000-01-31.
- (9) 최형준, 조종현, 조수용, 2010, “A Ventilation Device Using the Air Curtain and a Ventilation Fan,” PCT/KR2010/001504
- (10) Horlock, J. H., 1973, “Axial Flow Compressor,” Robert E. Krieger Publish Co.
- (11) 조수용, 최범석, 오종학, 1999, “축류송풍기의 설계시 적용된 와류형식의 영향에 관한 실험적 연구,” 유체기계저널, Vol. 2, No. 3, pp. 7~16.
- (12) 손상범, 주원구, 조강래, 남형배, 윤인규, 남임우, 1999, “축류 송풍기의 공력학적 설계,” 유체기계저널, Vol. 2, No. 1, pp. 22~28.
- (13) 최형준, 김창수, 조종현, 조수용, 2010, “축류형 흡입송풍기 설계기술에 관한연구,” 유체기계저널 13권, No.1, pp. 42~51.