

환기 성능 향상을 위한 횡류팬을 이용한 덕트 형상의 최적화

이상혁* · 권오준** · 허남건***†

Optimization of Duct System with a Cross Flow Fan to Improve the Performance of Ventilation

Sang Hyuk Lee*, Oh Joon Kwon**, Nahmkeon Hur***†

Key Words : CFD(전산유체역학), Optimization(최적화), Ventilation duct(환기 덕트), Cross flow fan(횡류팬)

ABSTRACT

Recently, the duct system with a cross flow fan was used to improve the ventilation in various industrial fields. For the efficient ventilation, it is necessary to design the duct system based on the flow characteristics around the cross flow fan. In the present study, the flow characteristics around a cross flow fan in the ventilation duct were predicted by using the moving mesh and sliding interface techniques for the rotation of blades. To design the duct system with the high performance of ventilation, the CFD simulations were repeated with the revised duct model based on the DOE. With the numerical results of flow rate through the ventilation duct with various geometric parameters, the optimized geometry of ventilation duct to maximize the flow rate was obtained by using the Kriging approximation method. From the performance curves of cross flow fan in the original and optimized models of ventilation duct, it was observed that the flow rate through the optimized model is about 16 percent larger than that through the original model.

1. 서 론

건물과 터널과 같은 밀폐 공간에서의 쾌적한 환경을 구축하기 위해서는 환기 시스템이 매우 중요한 역할을 한다. 최근 건물의 고층화와 터널의 장대화로 인해 길이가 긴 환기 덕트가 설치됨에 따라, 환기 성능을 향상시키기 위하여 덕트 내 다양한 장치가 추가 설치되고 있다. 이 때, 환기 덕트의 굽힘부와 같이 유동 저항이 큰 부분에서의 환기량 증가는 덕트 시스템 전반의 성능 향상을 가져올 수 있다.

이를 위하여, 덕트 시스템 내 팬과 송풍기와 같은 유체계의 설치는 환기량을 증가시켜 환기 성능을 향상시킬 수 있다. 그러나 덕트의 굽힘부는 형상학적 특성으로 인해 유체계를 설치하는데 있어 어려움이 있고 환기 성능을 최대화하기에는 한계가 있다. 반면에 회전하는 블레이드 내에서 형성되는 와도를 편심시킴으로써 축방향으로 넓은 영역에 균일

한 유동을 발생시키는 횡류팬의 경우, 굽힘부의 형상학적 특성을 활용하여 효율적인 환기가 가능하다.^(1~3) 이러한 특성을 이용하여 본 연구에서 덕트 굽힘부에서의 환기 성능을 향상시키기 위해서 적용하고자 하는 횡류팬은 주변 덕트의 형상 및 구조물의 특성에 의해 형성되는 유동장 특성이 팬의 성능을 결정하기 때문에, 주변 구조물의 형상에 따른 횡류팬 내 유동 특성을 파악하는 것이 매우 중요하다. 이와 관련하여 횡류팬에 대한 다양한 연구가 활발히 수행되어 왔다. Gebrehiwot 등⁽⁴⁾은 주변 구조물의 영향으로 횡류팬 내 형성되는 편심 와류의 위치 변화 특성을 분석하였다. 또한, Toffolo 등⁽⁵⁾은 실험을 통해 주변 형상 변화에 따른 횡류팬의 성능 특성을 도출하였으며, Toffolo⁽⁶⁾는 수치해석적 연구를 통해 주변 형상이 횡류팬 내 유동 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 이러한 연구를 통해 횡류팬 주변 형상은 팬 성능에 직접적인 영향을 미치는 것을 볼 수 있으나, 횡류팬의 성능을 최대화하기 위한 최적화 연구는 부족한 실정이다. 이에 기존 연구 결과를 기반으로 효율적인 환기를 위한 덕트 시스템의 설계는 한계가 있다.

* 서강대학교 다중현상 CFD 연구센터

** 한국과학기술원 항공우주공학과

*** 서강대학교 기계공학과

† 교신저자, E-mail : nhur@sogang.ac.kr

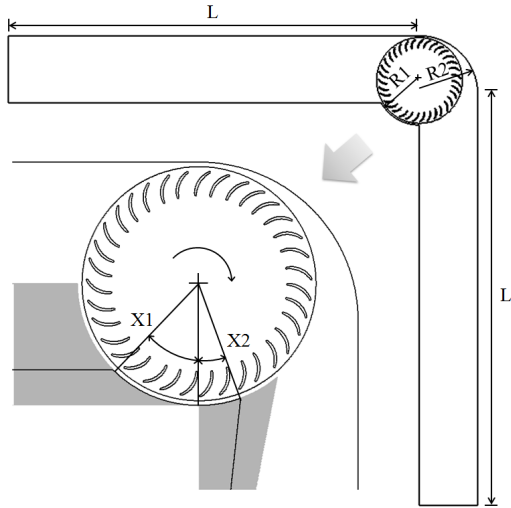


Fig. 1 Ventilation duct using a cross flow fan

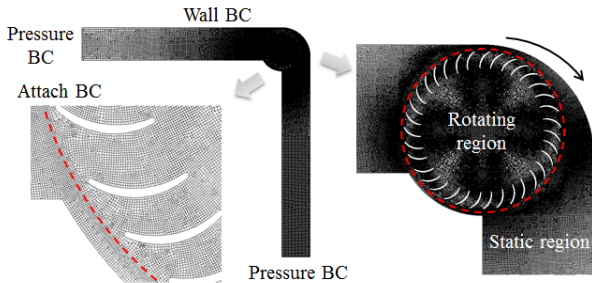


Fig. 2 Computational meshes for the prediction of flow characteristics around a cross flow fan

이에 본 연구에서는 횡류팬을 이용한 환기 덕트의 최적 형상을 도출하기 위한 수치해석적 연구를 수행하였다. 이를 위하여, 유동 해석을 통해 횡류팬에 의해 발생하는 덕트 내 유동장을 예측하고, 최대 환기량을 갖기 위하여 덕트의 형상 변수에 대해 실험계획법을 기반으로 하는 최적화를 수행하였다. 이를 통해 얻어진 최적 형상의 덕트와 기존 덕트 내에서의 횡류팬 성능 특성에 분석하였다.

2. 수치 해석 방법

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 횡류팬을 이용하는 덕트 시스템의 환기 성능을 향상시키기 위한 수치해석적 연구를 수행하였다. 이를 위하여, 입출구 간에 90도의 각도를 갖는 굽힘부를 중심으로 1.5 m (L)의 길이를 갖는 덕트 시스템을 해석 영역에 포함하였다. 이 때, 덕트 굽힘부의 안쪽면은 162.5 mm (R1), 바깥면은 212.5 mm (R2)의 반경을 갖는다. 이러한 덕트 내 반경 151.0 mm (R0)를 갖는 35개의 블레이드가 일정하지 않은 간격으로 구성되어 있는 횡류팬을 설치하였으며, 횡류팬은 1,000 RPM의 회전속도를 갖는다. 이러한 덕트 시스템의 환기 성능을 향상시키기 위하여, 횡류팬의 성능

과 직결되는 와도의 생성 정도를 결정하는 입구부와 출구부 영역에 대한 형상 변수 X1과 X2를 최적화하기 위한 연구를 진행하였다.

2.1 유동 해석 기법

본 연구에서는 덕트 시스템 내 횡류팬 블레이드의 회전에 의해 발생하는 비정상상태 비압축성 유동 특성을 예측하기 위하여, 다음의 질량 및 운동량 보존 방정식을 사용하였다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial (u_j - u_{j,g})}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

여기서, ρ 는 밀도, μ 는 점도, p 는 압력, u_i 는 속도 벡터, $u_{i,g}$ 는 격자의 이동속도 벡터를 나타낸다. 또한, 덕트 내에서 횡류팬에 의해 발생하는 난류 유동 특성을 예측하기 위하여 standard $k-\epsilon$ 난류 모델을 사용하였다.

이와 같은 지배 방정식을 사용하여 횡류팬 블레이드의 회전에 따른 유동을 예측하기 위해서는, 블레이드의 회전에 의한 효과를 구현하여야 한다. 최근 유체 기계 내에서의 유동 특성을 정확히 예측하기 위하여, 다양한 해석 방법들이 개발되어 사용되어지고 있다. 그 중에서, MRF (Multiple Reference Frame) 기법^(7,8)의 경우 회전영역 내에서 유체가 갖는 원심력(Centrifugal Force)과 전향력(Coriolis Force)을 고려하기 위한 방법으로, 정상상태의 간단한 해석을 통해 유체 기계 내 전반적인 유동 특성을 얻기 위하여 널리 사용되고 있다. 그러나 본 연구에서 수행한 횡류팬의 경우는 블레이드가 회전함에 따라 횡류팬 내에서 형성된 와도의 편심 특성에 의해 유동장이 결정되기 때문에, MRF 기법을 사용할 경우 고정된 블레이드에 의한 회전 효과가 고려됨에 따라 횡류팬 내 편심 와도에 따른 유동 특성을 얻을 수 없게 된다. 이에 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 블레이드 주변의 회전 영역과 덕트 내 고정 영역에 대한 분리된 해석 격자를 생성하고, 이동 격자 (Moving Mesh) 기법을 사용하여 회전 영역의 격자를 회전시키고 회전 영역과 고정 영역의 격자 간 연결을 위하여 임의의 이동 경계면 (Arbitrary Sliding Interface) 기법을 사용하였다.^(9,10) 이를 통해, 횡류팬의 블레이드 회전에 따른 비정상 상태 유동 해석에서 횡류팬 내 형성되는 편심 와도를 구현하였으며, 이로부터 덕트 내 횡류팬의 회전에 따른 유동 특성을 예측할 수 있었다.

이와 같은 해석 기법을 사용하여, 횡류팬을 이용하는 덕트 시스템에 대한 유동 해석을 수행하는데 있어 해석 격자의 분포 특성은 매우 중요하며, 특히 회전하는 블레이드 주변의 유동을 정확히 예측하기 위하여 회전영역 주변의 해석 격자

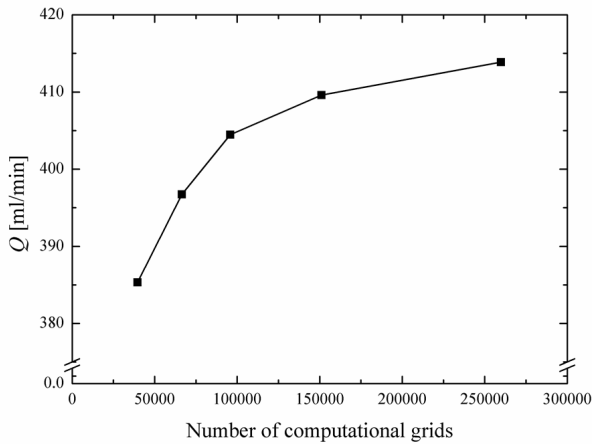


Fig. 3 Grid sensitivity test

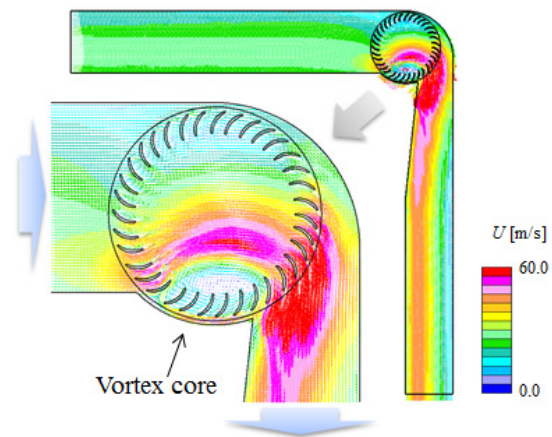
크기는 해석 결과와 밀접한 연관을 갖는다. 이에 본 연구에서는 블레이드 주변 격자 크기를 변화시켜 생성한 다양한 해석 격자를 사용하여 얻은 덕트를 통과하는 평균 유량을 Fig. 3과 같이 비교하였다. 이와 같은 격자 민감도 테스트로부터, 해석 격자를 70% 증가하여도 예측한 평균 유량 결과가 약 1% 변화하는 경향을 보이는 약 15만개의 해석 격자(블레이드 주변 격자 크기 0.85 mm)를 사용하였다.

이와 같은 덕트 내 횡류팬 블레이드의 회전에 따른 유동 특성을 예측하기 위하여, 본 연구에서는 상용 CFD 프로그램인 STAR-CD⁽¹¹⁾를 사용하였다. 이 때, 횡류팬의 회전에 위해 발생하는 덕트 시스템 내 주기적인 유동 특성을 얻기 위하여, 횡류팬의 한 바퀴 회전당 1440 steps에 해당하는 해석 시간 간격을 설정하여 30바퀴 회전 후 형성되는 주기적인 유동 특성 결과를 도출할 수 있었다. 이를 얻기 위하여 본 연구에서는 2.4GHz AMD Opteron 64 bit 8CPU를 사용하여 약 2일의 계산을 수행하였다.

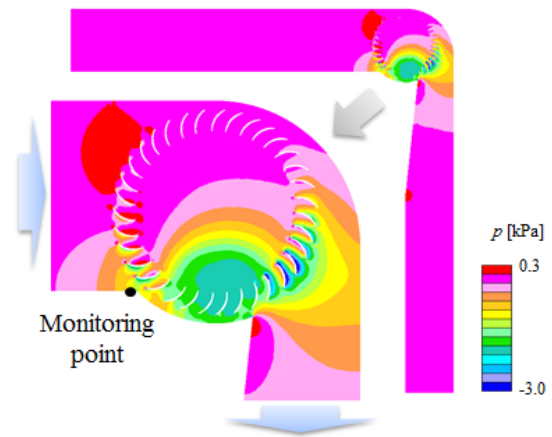
2.2 최적화 기법

본 연구에서는 고효율의 환기 성능을 갖는 덕트 시스템을 개발하기 위하여, 덕트를 통과하는 유량을 최대로 갖은 횡류팬 주변 덕트 형상을 최적화하였다.^(12,13) 이 때, 환기 성능을 갖는 덕트의 형상을 얻기 위하여, 입구 영역에 대한 형상 변수인 X1이 45도(X1₀)이고 출구 영역에 대한 형상 변수인 X2가 20도(X2₀)인 기본 모델을 기반으로, X1이 0~90도, X2가 0~40도의 범위 내에서 덕트를 통과하는 유량을 최대로 갖는 덕트 시스템의 형상을 도출하고자 한다. 이 때, 형상 변수에 대한 실험계획법(DOE)을 수립하기 위하여, FFD (Full Fractional Design)와 ICCD (Interior Central Composite Design) 방법을 고려하였다. 이와 같은 실험계획법을 통해 얻어진 형상 변수 값을 갖는 덕트 내에서 횡류팬의 작동에 따른 유동 특성에 대한 유동 해석을 통해, 목적 함수(Object Function)인 유량을 얻을 수 있었다. 이와 같은 유동 해석을

통해 얻어진 유량 결과를 기반으로 형상 변수의 범위 내에서 근사 함수 (Approximation Function)를 도출하기 위하여, RSA (Response Surface Approximation) 모델, RBNN (Radial Basis Neural Network) 모델, KRG (Kriging) 모델을 사용하였다. 이러한 근사 모델을 통해 얻어진 형상 변수에 따른 근사 함수를 기반으로 EA (Evolution Algorithm)를 사용하여 변수의 최적값을 얻을 수 있었다. 이 때, 형상 변수에 따른 근사 함수의 비선형성으로 인해, 도출된 최적의 형상 변수 값을 기반으로 형상 변수의 범위를 40%씩 감소시켜 위와 같은 실험계획법을 기반으로 하는 최적화 과정을 반복하였다. 이를 통해, 근사 함수로부터 예측된 최적 형상에서의 유량과 유동 해석을 통해 얻어진 최적 형상에서의 유량 간의 차이가 1% 이내가 될 때까지 최적화 과정을 반복 수행하였다. 이와 같은 덕트 시스템의 형상 변수에 대한 최적화를 수행하기 위하여, 본 연구에서는 상용 최적화 프로그램인 PIANO⁽¹⁴⁾를 사용하였다.



(a) Flow field in ventilation duct



(b) Pressure field in ventilation duct

Fig. 4 Flow characteristics in an original model of ventilation duct with a cross flow fan

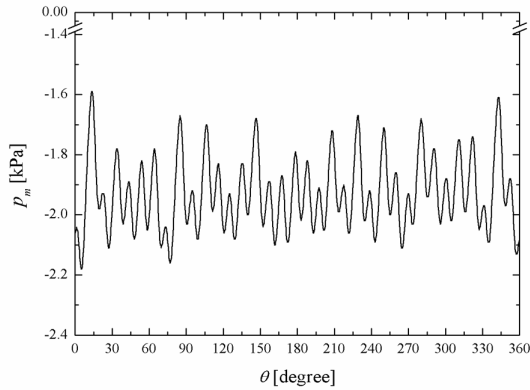


Fig. 5 Fluctuating pressure at monitoring point around the rotating blades

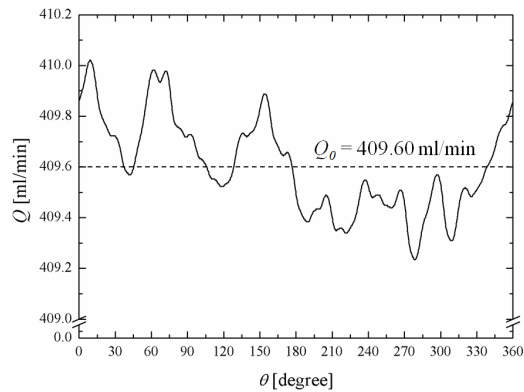


Fig. 6 Flow rate through an original model of ventilation duct with the rotation of blades

3. 결과 및 고찰

3.1 덕트 내 횡류팬 주변 유동 특성

본 연구에서는 위에서 언급한 것과 같이 회전하는 횡류팬 주변 유동 특성을 예측할 수 있는 해석 기법을 사용하여, 덕트 시스템 내 유동 특성을 수치해석적으로 분석하였다. Fig. 4는 양단의 압력차가 없는 기본 모델의 덕트 시스템 내에서 횡류팬의 회전에 따른 특정 시간에서의 유동 특성을 보여주고 있다. 이를 보면, 회전하는 횡류팬의 블레이드 주변의 덕트 형상의 영향을 받아, 블레이드 회전에 따른 운동에너지로 인해 횡류팬 내부에 형성되는 와도가 편향되는 특성을 갖게 된다. 이와 같이 편향된 와도를 중심으로 횡류팬을 통과하는 유동이 발생하게 된다.

이 때, 회전하는 블레이드와 덕트의 상대적인 위치와 움직임의 영향으로 횡류팬 내부에 형성되는 와도의 크기가 변화하게 되며, 이는 횡류팬 주변 압력 및 유동의 진동을 초래하게 된다. 덕트의 특정 지점에서의 압력 변동 특성을 보여주는 Fig. 5를 보면, 회전하는 블레이드와 덕트 간의 상호관계에 의해서 압력 진동이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이와

같은 횡류팬 주변의 압력 진동은 덕트 시스템 내에 설치되어 있는 횡류팬의 가동에 불안정성을 초래할 수 있으며, 블레이드 회전에 따른 유동 소음을 야기시킬 수 있다.^(15,16) 이러한 횡류팬에 의한 압력 및 유동의 진동 특성은 Fig. 6과 같이 덕트를 통과하는 유량에도 변화를 초래하게 된다. 그러나 횡류팬의 주기적인 특성에 의해 발생하는 진동 폭은 평균 유량 Q_0 의 0.1% 이하로써, 덕트 시스템의 가동에 있어 이러한 유동 진동 특성은 극히 미미한 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해, 본 연구에서의 급힘부를 갖는 덕트 시스템을 통하여 효율적인 환기를 위한 횡류팬의 적용은 다양한 용도의 덕트 시스템의 환기 성능을 향상 시키는데 기여할 것으로 기대한다.

3.2 환기 특성 향상을 위한 덕트 형상 최적화

덕트 시스템 내 횡류팬의 적용은 환기 성능을 향상시킬 수 있지만, 횡류팬에 의해 발생하는 유동 특성은 주변 구조물의 형상에 민감하게 영향을 받기 때문에 환기 성능을 극대화하기 위해서는 횡류팬에 의해 발생하는 유동을 활발히 할 수 있는 주변 덕트 형상의 설계가 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 횡류팬의 성능을 결정하는 편심된 와도가 안정적으로 형성될 수 있도록, 급힘부를 중심으로 입구부와 출구부에 대한 최적의 형상 변수인 $X1_{opt}$ 와 $X2_{opt}$ 를 도출하기 위한 연구를 진행하였다.

이와 같은 최대 환기 유량을 갖는 덕트 시스템의 설계를 위하여, 본 연구에서 수행하고자 하는 실험계획법을 기반으로 근사 모델을 활용한 최적 설계를 효율적으로 수행하기 위해서는 최적화 방법의 영향성 검토가 필요하다. 이에 본 연구에서는 다양한 실험계획법 및 근사함수 도출을 위한 방법에 따른 최적 형상에서의 유동 특성을 분석하였다. 이를 통해, 형상 변수에 따른 목적 함수인 덕트를 통과하는 평균 유량에 대한 해석 결과인 Q_s 가 비선형적인 관계를 갖는 것을 볼 수 있었으며, 이로 인해 사용하는 실험계획법 및 근사모델에 따라 예측된 평균 유량 결과인 Q_0 에 있어 다소 차이가 발생하였다. 본 연구에서는 효과적인 최적화를 수행하기 위하여, 다양한 최적화 방법에 따라 얻어진 최적 형상의 덕트를 통과하는 유량을 Table 1과 같이 비교하였다. 이를 통해,

Table 1 Effect of approximation method on optimization results

		$X1_0$	$X2_0$	Q_0			
Original model		45.00	20.00	409.59			
		$X1_{opt}$	$X2_{opt}$	Q_p	Q_s	Q_s/Q_p	Q_s/Q_0
FFD	RSA	28.18	21.04	400.88	396.95	0.990	0.969
FFD	RBNN	33.84	18.93	419.80	423.68	1.009	1.034
FFD	KRG	40.93	19.81	412.23	442.46	1.073	1.080
ICCD	RSA	28.99	12.02	444.05	424.53	0.956	1.036
ICCD	RBNN	28.83	14.45	427.62	406.61	0.950	0.993
ICCD	KRG	37.02	18.03	416.12	436.38	1.049	1.065

FFD 기반의 실험계획법을 사용하여 KRG 모델로 근사함수를 도출할 경우, 얻어진 최적 형상에서 최대 유량을 갖는 것을 볼 수 있었다. 이는 본 연구에서 최적화를 수행하는 덕트 형상에 따른 유량 특성이 갖는 비선형 특성에 의한 것으로 사료된다.

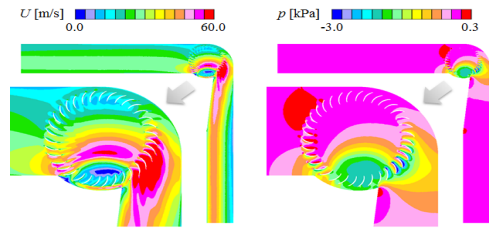
이에 본 연구에서는 FFD 기반의 실험 계획법과 KRG 모델을 사용하여 얻은 근사함수를 기반으로 환기 유량을 최대로 갖는 덕트 시스템의 형상을 도출하기 위하여 최적화 과정을 반복 수행하였다. 이 때, 최적화를 통해 얻어진 형상을 중심으로 형상 변수 범위를 40%씩 감소하여 최적화 과정을 반복 수행함으로써, 도출된 최적 형상 변수 주변의 근사모델을 보다 정확하게 구축할 수 있도록 하였다. Fig. 7은 최적화 과정을 수행함에 따라 도출된 덕트의 최적 형상에서의 유동 특성을 보여주고 있다. 이를 보면, 최적화 단계를 진행하면서 덕트 내에 설치된 횡류팬 내 편심 와류가 더 안정적으로 형성되며, 이 영향으로 덕트를 통과하는 유동이 더 활발히 발달하는 것을 확인할 수 있다. 이 때, 최적화 단계별로 도출된 최적 형상은 형상 변수의 특정 범위 내 결과를 기반으로 하는 근사함수로부터 얻어졌기 때문에, 근사함수에서 예측된 값과 도출된 형상에서의 유동 해석으로부터 얻은 값 사이에는 차이가 존재하게 된다. 각 최적화 단계에서 도출된 최적 형상에서의 근사함수를 통해 예측된 유량 및 유동 해석으로부터 얻은 유량에 대한 Table 2를 보면, 최적화 단계가 진행될수록 덕트를 통과하는 평균 유량에 대한 근사함수로부터 예측된 값 Q_p 와 유동 해석 결과 값 Q_s 사이의 차이가 줄어들었으며, 이로부터 보다 많은 유량을 갖는 덕트 형상이 도출되었다. 이 때, 총 4번의 최적화를 통해 근사함수와 유동 해석으로부터 얻어진 결과 사이에 1% 미만의 차이를 보였다. 또한 이로부터 얻어진 최적 형상은 기존 형상의 덕트 시스템보다 약 16%의 유량의 증가를 가져왔다.

3.3 덕트 내 횡류팬의 성능 곡선

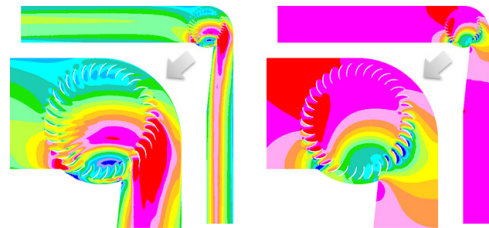
덕트 시스템은 설치된 장소 및 주변 시설물의 영향을 받아 양단의 압력차를 초래할 수 있다. 이에 위와 같이 도출된 최적의 덕트 형상에서의 특성이 덕트 시스템의 압력차의 영향으로 인해 성능이 저하될 수 있다.

Table 2 Design optimization of ventilation duct with a cross flow fan to improve the performance of ventilation

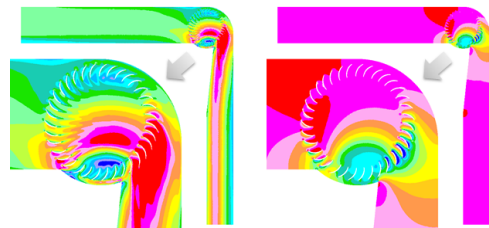
	$X1_0$	$X2_0$	Q_0			
Original model	45.00	20.00	409.59			
	$X1_{opt}$	$X2_{opt}$	Q_p	Q_s	Q_s/Q_p	Q_s/Q_0
1st optimization	40.93	19.81	412.23	442.46	1.073	1.080
2nd optimization	41.63	19.98	442.97	451.27	1.019	1.102
3rd optimization	34.63	23.16	465.86	472.25	1.014	1.153
4th optimization	34.64	24.44	473.29	473.30	1.000	1.156



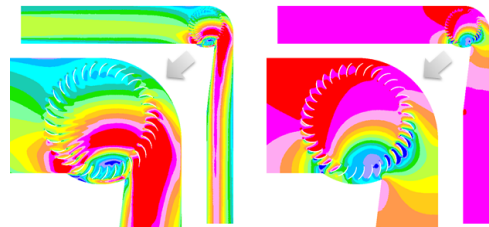
(a) Original model ($X1=45.00$ degree, $X2=20.00$ degree)



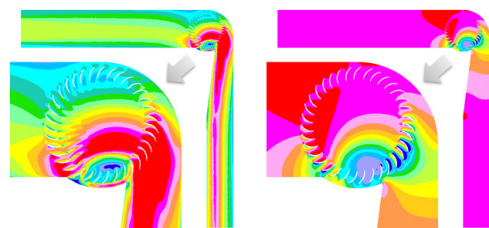
(b) 1st optimized model ($X1=40.93$ degree, $X2=19.81$ degree)



(c) 2nd optimized model ($X1=41.63$ degree, $X2=19.98$ degree)



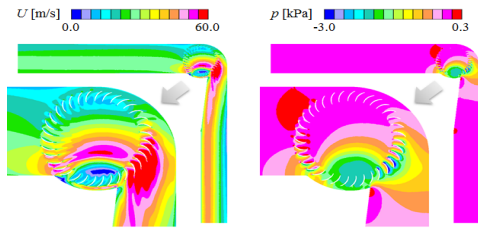
(d) 3rd optimized model ($X1=34.63$ degree, $X2=23.16$ degree)



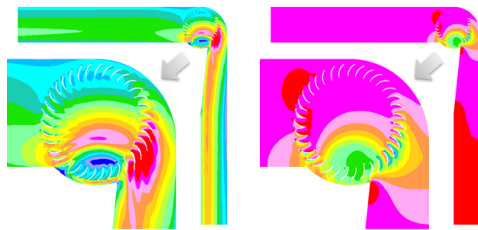
(e) 4th optimized model ($X1=34.64$ degree, $X2=24.44$ degree)

Fig. 7 Design optimization of ventilation duct with a cross flow fan

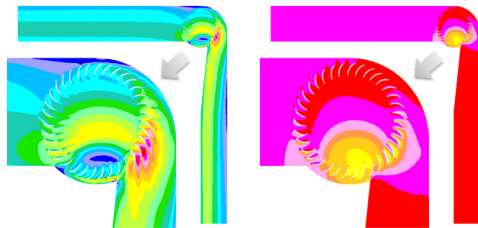
환기 성능 향상을 위한 횡류팬을 이용한 덕트 형상의 최적화



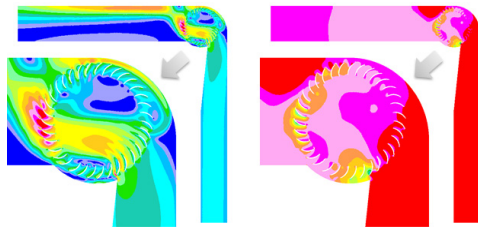
(a) $dp = 0.0$ kPa



(b) $dp = 0.1$ kPa

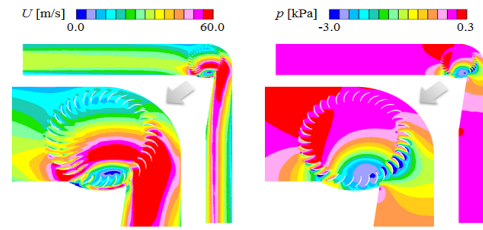


(c) $dp = 0.3$ kPa

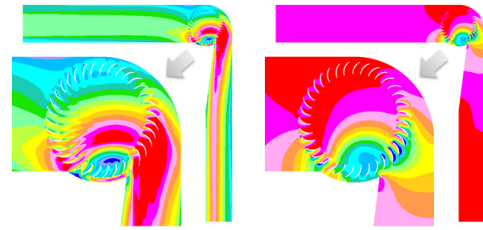


(d) $dp = 0.5$ kPa

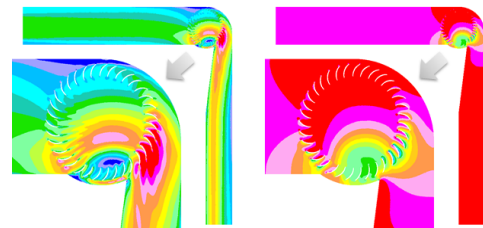
Fig. 8 Flow characteristics in an original model of ventilation duct for various pressure differences between inlet and outlet



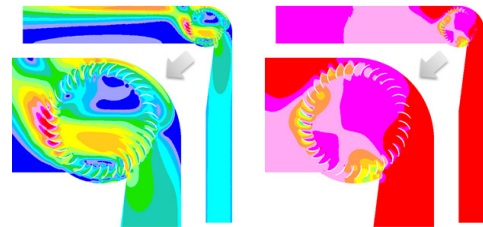
(a) $dp = 0.0$ kPa



(b) $dp = 0.1$ kPa



(c) $dp = 0.3$ kPa



(d) $dp = 0.5$ kPa

Fig. 9 Flow characteristics in an optimized model of ventilation duct for various pressure differences between inlet and outlet

이에 본 연구에서는 기존 덕트 시스템과 최적화를 통해 얻어진 덕트 시스템에서의 입출구간 압력차에 따른 환기 성능을 분석하기 위하여, 다양한 압력차를 갖는 덕트 내에서의 횡류팬의 성능을 Fig. 8과 9에서와 같이 비교하였다. 이를 보면, 출구 부분에서의 압력이 상승할 경우 횡류팬의 회전에 따른 가압 성능이 감소되는 특성을 확인할 수 있었다. 이러한 영향으로, 입출구 간 압력차가 0.5 kPa일 경우 횡류팬에 의해 가압되는 특성보다 더 큰 압력차이로 인해 덕트 내에서 역류가 발생하였다. 이와 같은 유동 특성을 기반으로, 기존 형상의 덕트와 최적 형상의 덕트에서의 횡류팬의 성능 곡선

을 Fig. 10과 같이 얻을 수 있었다. 이를 보면, 입출구간 압력차가 커질 경우 횡류팬 내 와도가 안정적으로 형성되지 못하게 됨에 따라, 유량이 200 ml/min 이하인 범위에서 덕트 내 유동이 불안정적으로 형성되었으며 이로 인해 덕트를 통해 역류가 발생되었다. 그러나 횡류팬이 안정적으로 구동되는 구간에서는 최적화된 형상의 덕트 시스템 내에서 횡류팬의 성능이 기존 형상의 덕트 시스템보다 약 15% 이상 향상되었다. 이에 본 연구를 통해 도출된 덕트 시스템은 다양한 산업현장에서 환기 성능을 향상시키기 위한 장치로 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

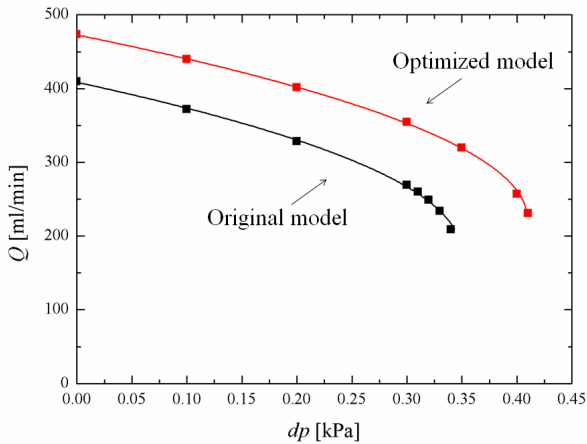


Fig. 10 Performance curves of cross flow fan in the original and optimized ventilation ducts

4. 결론

본 연구에서는 덕트 시스템의 환기 성능을 향상시키기 위하여, 급힘부에 횡류팬을 적용한 덕트 시스템에 대한 환기 특성을 수치해석적으로 분석하였다. 이로부터, 횡류팬 주변 덕트 형상의 영향으로 블레이드 내부에 형성되는 편심 와류의 특성에 의해, 덕트 내에서 발생하는 유동장 특성이 결정되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 특성을 기반으로, 본 연구에서는 최대 유량을 갖기 위한 덕트 형상을 도출하기 위한 최적화 연구를 진행하였으며, 이로부터 도출된 최적 형상의 덕트는 기존 형상의 덕트보다 약 16%의 환기 성능이 향상되었다. 이와 같은 횡류팬을 이용한 덕트 시스템 내 유동 특성 결과는 효율적인 환기를 위한 덕트 시스템 설계에 있어 기본 데이터로 활용할 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 2009년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 '다중현상 CFD 연구센터 (ERC)' 과제 의 일환으로 수행된 연구임 (No. 20090083510).

참고문헌

(1) Gabi, M. and Klemm, T., 2004, "Numerical and Experimental Investigations of Cross-flow Fans," *Journal of Computational and Applied Mechanics*, Vol. 5, No. 2, pp. 251~261.
 (2) Sowa, A., 2004, "Flow Simulations in Cross-flow Fans using the Finite Element and Finite Volume Methods," *Task Quarterly*, Vol. 8, No. 1, pp. 41~49.

(3) Dang, T. Q. and Bushnell, P. R., 2009, "Aerodynamics of Cross-flow Fans and Their Application to Aircraft Propulsion and Flow Control," *Progress in Aerospace Sciences*, Vol. 45, pp. 1~29.
 (4) Gebrehiwot, M. G., Baerdemaeker, J. D. and Baelmans, M., 2010, "Numerical and Experimental Study of a Cross-flow Fan for Combine Cleaning Shoes," *Biosystems Engineering*, Vol. 106, pp. 448~457.
 (5) Toffolo, A., Lazzaretto, A. and Martegani, A. D., 2004, "An Experimental Investigation of the Flow Pattern within the Impeller of a Cross-flow Fan," *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 29, pp. 53~64.
 (6) Toffolo, A., 2005, "On the Theoretical Link between Design Parameters and Performance in Cross-flow Fans: a Numerical and Experimental Study," *Computers & Fluids*, Vol. 34, pp. 49~66.
 (7) Bujalski, W., Jaworski, Z. and Nienow, A. W., 2002, "CFD Study of Homogenization with Dual Rushton Turbines-Comparison with Experimental Results Part II: The Multiple Reference Frame," *Trans IChemE*, Vol. 80, pp. 97~104.
 (8) Lin, S.-C. and Tsai, M.-L., 2012, "An Integrated Performance Analysis for a Backward-Inclined Centrifugal Fan," *Computers & Fluids*, Vol. 56, pp. 24~38.
 (9) Moon, Y. J., Cho, Y. and Nam, H.-S., 2003, "Computation of Unsteady Viscous Flow and Aeroacoustic Noise of Cross Flow Fans," *Computers & Fluids*, Vol. 32, pp. 995~1015.
 (10) Steiji, R. and Barakos, G., 2008, "Sliding Mesh Algorithm for CFD Analysis of Helicopter Rotor-Fuselage Aerodynamics," *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, Vol. 58, pp. 527~549.
 (11) CD-adapco Group, 2009, STAR-CD V4.12 User Guide.
 (12) Samad, A. and Kim, K.-Y., 2009, "Surrogate Based Optimization Techniques for Aerodynamic Design of Turbomachinery," *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 179~188.
 (13) Kim, J.-H., Choi, J.-H. and Kim, K.-Y., 2010, "Surrogate Modeling for Optimization of a Centrifugal Compressor Impeller," *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, Vol. 3, No. 1, pp. 29~38.
 (14) FRAMAX Inc., 2010, PIAO V3 User's Manual.
 (15) Cho, Y. and Moon, Y. J., 2003, "Discrete Noise Prediction of Variable Pitch Cross-Flow Fans by Unsteady Navier-Stokes Computations," *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 125, pp. 543~550.
 (16) Gan, J., Liu, F., Liu, M. and Wu, K., 2008, "The Unsteady Fluctuating Pressure and Velocity in a Cross Flow Fan," *Journal of Thermal Science*, Vol. 17, No. 4, pp. 349~355.