

# 공기흐름 변경으로 임펠러의 수명연장과 전력비 절감을 위한 송풍기 개발을 위한 수치해석

김일겸<sup>1</sup>, 박우철<sup>1\*</sup>, 손상석<sup>2</sup>, 김용남<sup>3</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 기계시스템공학부, <sup>2</sup>순천향대학교 기계공학과, <sup>3</sup>한국송풍기 엔지니어링

## Numerical Analysis for the Development of a Blower to Extend the Life of the Impeller and Reduce Power Costs by Changing the Air Flow

Il-Gyoum Kim<sup>1</sup>, Woo-Cheul Park<sup>1\*</sup>, Sang-Suk Sohn<sup>2</sup>, Young-Nam Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical System Eng., Kwangwon National University

<sup>2</sup>Dept. of Mechanical Eng., Soon Chun Hyang University

<sup>3</sup>Korea Fan Engineering

**요약** 본 연구는 요구되는 전압효율이 83% 이상인 풍량 10,000 m<sup>3</sup>/min급의 장수명 송풍기를 개발하기 위하여 송풍기 침식 현상을 조사하고, 수치해석을 통하여 송풍기 성능과 송풍기 침식을 예측하였다. 송풍기 해석에 주로 많이 사용되는 검증된 상용코드인 ANSYS CFX 13.0을 사용하여 수치해석을 수행하였다. 수치해석에 사용된 조건은 풍량 16,200 m<sup>3</sup>/min, 회전수 893 rpm, 온도 330 °C이다. 분진의 비중은 3.15이고, 입도는 90µm~212µm이며, 양은 265kg/min으로 하였다. 송풍기로 유입되는 분진으로 인한 송풍기의 침식현상을 정확히 해석하기 위하여 수직복원계수의 변화에 따른 침식 현상을 실제 침식현상과 비교하였다. Finne 모델을 적용하여 수치해석을 수행한 결과 평형복원계수는 1, 수직복원계수는 0.1인 경우가 실제 침식현상과 유사하게 나타났다. Duct deflector가 침식에 관하여 미치는 영향을 살펴보기 위하여 Duct deflector가 있는 모델과 없는 모델을 비교하여 침식해석을 수행하였다. 수치해석의 결과, Duct deflector를 설치한 경우 Impeller에서 평균 167% 감소하고, Boss에서는 평균 133% 증가하는 경향으로 나타났다. Dust deflector의 길이에 따라 총 5가지 모델을 생성하고, 이에 대하여 침식 수치해석을 수행하였으며, 길이가 가장 긴 Case 5가 침식성능이 가장 우수한 것으로 나타났다. Case 5의 송풍기 성능은 회전수 880 rpm, 풍량 16,200 m<sup>3</sup>/min일 경우, 전압 691.7 mmAq와 전압효율 83.3%로 나타났다.

**Abstract** The blower erosion phenomenon was investigated to develop a long-life blower with a volume flow rate of 10,000 m<sup>3</sup>/min with the required total pressure efficiency of 83% or more. The blower performance and blower erosion were predicted through numerical analysis by computational fluid dynamics(CFD). The conditions used for numerical analysis were an air volume of 16,200 m<sup>3</sup>/min, a rotation speed of 893 rpm, and a temperature of 330°C. The specific gravity, particle size, and amount of the dust was 3.15, 90 µm~212 µm, and is 265 kg/min, respectively. To examine the effects of a dust deflector on erosion, erosion analysis was performed by comparing the models with and without a dust deflector. Numerical analysis showed that when the dust deflector is installed, the average tended to decrease by 167% in the impeller and 133% in the boss. CFD using the Finne's model for erosion revealed a parallel restitution coefficient of 1 and a perpendicular restitution coefficient of 0.1. The blower performance of case 5 was 691.7 mmAq, and the efficiency was 83.3% when the rotation speed and the air volume flow rate were 880 rpm and 16,200 m<sup>3</sup>/min, respectively.

**Keywords** : Numerical Analysis, Computational Fluid Dynamics, Erosion, Dust Deflector, Blower, Impeller

본 논문은 중소기업부 2018년 창업성장기술개발사업(S2675977) 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Woo-Cheul Park(Kangwon National Univ.)

email: wchpark@kangwon.ac.kr

Received July 17, 2020

Revised September 14, 2020

Accepted December 4, 2020

Published December 31, 2020

## 1. 서론

송풍기는 전동기로 임펠러를 구동하여 대량의 공기를 공급해주는 산업용 유체기계이며 철강, 발전, 석유화학, 반도체, LCD, 섬유, 식품, 시멘트 등 산업전반에 광범위하게 사용되고 있다. 산업용 송풍기는 연중 지속적으로 가동되고 있어 전기에너지를 상당히 많이 소비하고 있으며, 특히 대용량일수록 가동시간이 많아 전기에너지의 소비가 많은 기기이다.

산업체에서의 송풍기는 전기에너지 사용량이 매우 높은 산업용 설비로 에너지 효율증대의 요구가 증가하고 있다. 또한, 송풍기가 사용되는 공정은 대부분 분진 등이 많이 발생하는 철강, 발전, 시멘트 산업에 사용되고 있어, 유입되는 분진과의 마찰에 의하여 마모가 심하게 발생되고 있어 임펠러의 잦은 교체가 요구되고 있다.

따라서 열악한 사용 환경인 다량의 분진발생 조건에서도 고효율 성능을 포함한 내 마모 기술을 적용하여 송풍기의 효율 향상과 유지비용 절감을 위한 송풍기의 장수명 기술을 개발하여야 할 필요성이 있다.

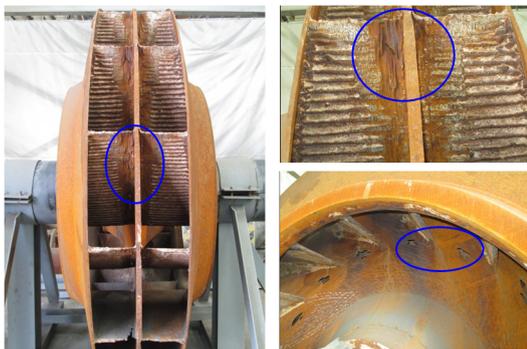


Fig. 1. Impeller erosion cases.

Fig. 1은 기존 송풍기의 분진에 의한 임펠러 침식을 나타낸 것이다.

송풍기 성능에 관한 국내 연구는 많으며[1~3], 침식에 관한 국내 연구는 배관내의 침식[4,5], 월 블로워 노즐을 통해 분사된 유동에 의한 벽면의 침식[6], 프란시스 수차(Francis turbine)의 침전물에 의한 침식[7]에 관한 수치해석 연구가 있으나, 송풍기에 대한 침식해석은 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 전력비 절감을 위하여 요구되는 전압효율이 83% 이상인 풍량 10,000 m<sup>3</sup>/min급의 장수명 송풍기(수명이 기존 송풍기 대비 130% 이상)를 개발하기 위하여 송풍기 침식 현상을 조사하고, 수치해석을

통하여 송풍기 성능과 송풍기 침식을 예측하였다.

## 2. 본론

### 2.1 송풍기 침식 현상 조사

시멘트 제조사에서 사용되고 있는 소성공정용 송풍기는 고온, 고분진의 가동조건으로 인하여 침식이 매우 심하여 3~6개월 주기로 침식부분을 보완 사용하고 있다. Fig. 2는 S사의 소성공정용 송풍기의 침식 사진이다. 침식은 주판 측 날개 끝 부분에 집중되며 날개의 각도에 따라 유입 부분과 주판에서 나타났다.



Fig. 2. Erosion of Kiln I.D. blower (S company).

### 2.2 침식해석

#### 2.2.1 침식모델

침식모델은 Finnie 모델[8]과 Tabakoff 모델[9]이 사용되고 있다. Finnie 방정식은 낮은 충돌각에 대한 정확한 결과를 산출하지만, 표면에 수직한 충돌에 대한 침식을 예측하지 않는다. Tabakoff 방정식은 낮은 받음각(angle of attack)에서 작용하고 다른 하나는 높은 받음각에서 작용하며, 또한 높고 낮은 받음각이 있는 조건에서 충돌이 일어날 때에도 해석이 가능하다. 송풍기의 분진에 의한 침식 모델에서는 낮은 충돌각에 대한 해석이 필요하여 Finnie 모델을 이용하여 해석하였다.

Finnie 모델에서 입자충돌침식으로 인한 벽의 침식은 입자 충돌과 입자 및 벽 특성에 따른 함수이고, 대부분 모든 금속에 대한 침식은 충돌 각과 속도에 관계에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다. 다음 식은 Finnie 모델에서 적용되는 식이다.

$$E = k (V_p)^n f(\theta) \quad (1)$$

여기서,  $E$ 는 침식률을 나타내고,  $k$ 는 침식률을 무차원화하기 위한 상수이며,  $V_p$ 는 입자 속도이고,  $n$ 은 보통 금속재료의 경우 2.3에서 2.5 값이며 본 연구에서는 2.41을 적용하였고,  $f(\theta)$ 는 충돌각에 관한 함수이며 다음과 같다.

$$f(\theta) = \frac{1}{2} \cos^2\theta \quad ; \tan\theta > \frac{1}{3} \quad (2)$$

$$f(\theta) = \sin 2\theta - 3\sin^2\theta \quad ; \tan\theta < \frac{1}{3}$$

침식률 상수  $k$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$V_o = \left(\frac{1}{k}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

식 (3)에서 벽 재료(wall material)에 따라  $V_o$ 값이 결정이 된다. 본 해석에서는 송풍기의 재료를 강(steel)로 가정하였고,  $V_o = 590$  m/s를 사용하였다. 따라서 식 (1)은 다음과 같이 변형된다.

$$E = (V)^n f(\theta) \quad (4)$$

여기서  $V \equiv V_p / V_o$ 이고, 침식률은 식 (4)와 같다.

### 2.2.2 실제 침식현상과 수치해석의 비교

송풍기의 실제 침식현상과 수치해석을 비교·검토하기 위하여 Fig. 3은 송풍기 모델링이고, Fig. 4는 격자의 민감도 분석을 통하여 해석에 사용된 격자(mesh)를 나타낸 것이다. 송풍기 해석에 주로 많이 사용되는 검증된 상용코드인 ANSYS CFX 13.0을 사용하여 수치해석을 수행하였다. 난류모델은 유동의 박리형상 해석에 유용한 전단응력 이송모델(Shear stress transport model)을 사용하였으며, 회전과 정지 도메인의 경계는 Frozen rotor interface를 적용하였다[2].

침식모델로는 Finnie 모델을 적용하였다. 계산조건은 풍량 16,200 m<sup>3</sup>/min, 회전수 893 rpm, 온도 330 ℃이다. 분진의 비중은 3.15이고, 입도는 90 μm ~ 212 μm이며, 양은 265 kg/min이다.

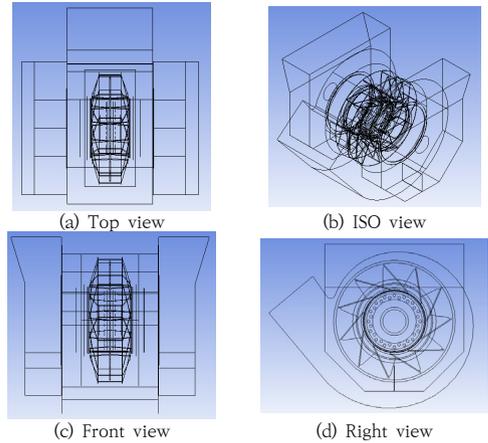


Fig. 3. Model for CFD.

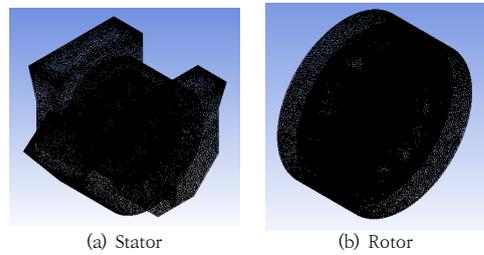


Fig. 4. Mesh of CFD.

입자에 대한 복원계수(restitution coefficients for particle)는 벽에 부딪칠 때 입자의 작용을 나타낸다. 복원계수 1은 탄성 충돌을 의미하고 1보다 작은 값은 비탄성 충돌을 의미한다. 복원계수에는 평행복원계수와 수직복원계수가 있다. 평행복원계수는 모든 입자에 대하여 거의 항상 1이고, 수직복원계수는 입자 물질에 따라 달라진다. 벽에서 튀어 나오는 입자는 수직복원계수가 1에 가까우며, 벽에 달라붙는 입자(예 물방울)는 수직복원계수가 0이다[10]. 따라서 송풍기로 유입되는 분진으로 인하여 송풍기의 침식현상을 정확히 해석하기 위하여 수직복원계수의 변화에 따른 침식현상을 실제 침식현상과 비교하였다.

Fig. 5는 침식성능을 나타내는 침식률 밀도에 대한 침식해석 결과를 나타낸 것이다. 평행복원계수를 1로 고정하고, 수직복원계수를 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9의 5가지로 달리하였다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 수직복원계수가 0.1인 경우가 실제와 유사한 침식현상을 보이는 것으로 나타나 이후 침식해석에서는 평행복원계수는 1과 수직복원계수는 0.1로 해석을 수행하였다.

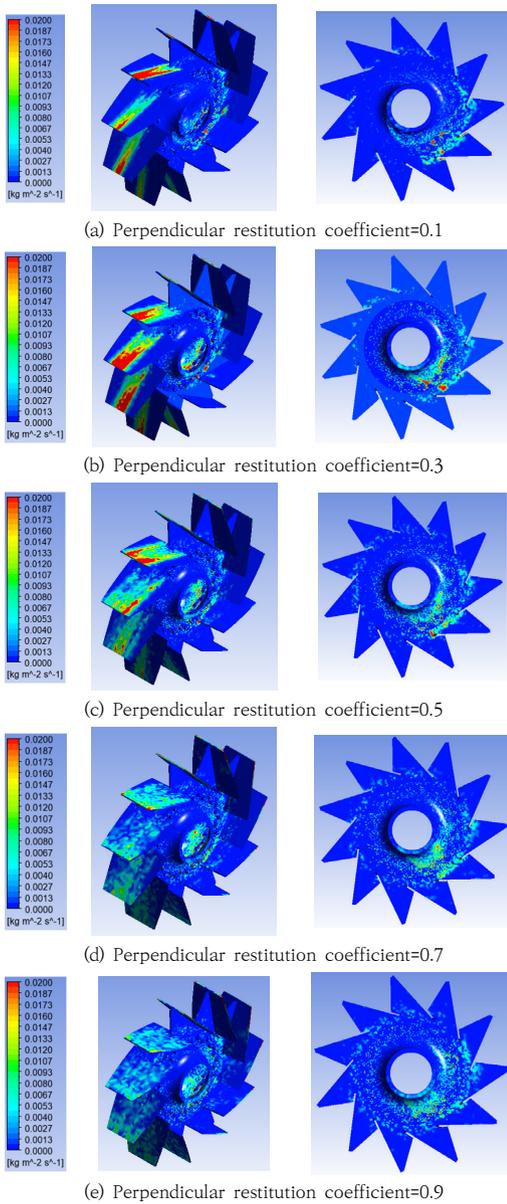


Fig. 5. Erosion rate density [kg/m<sup>2</sup>s].

### 2.2.3 Dust deflector의 침식 영향 수치해석

침식에 강한 장수명 송풍기를 개발하기 위하여 기존 임펠러 사이에 분진을 분산시키는 기능을 하는 Dust deflector가 부착된 모델을 생성하고, Dust deflector가 침식에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 침식해석을 수행하였다. Fig. 6은 임펠러 사이에 Dust deflector를 설치한 형상을 나타낸 것이고, 보스(Boss)는 축과 연결되는 부분이고, 메인 플레이트(Main plate)는 임펠러

(Impeller)와 Dust deflector를 지지하는 부분이다. 수치해석은 2.2.2절과 동일한 운전조건과 해석조건으로 수행하였다.

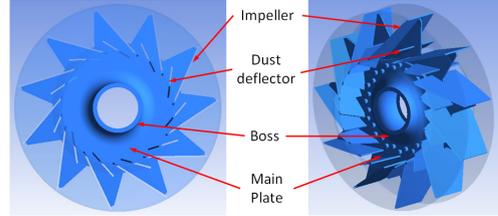


Fig. 6. Shape of impeller and dust deflector.

Fig. 7은 Dust deflector 유·무에 따른 침식을 밀도를 나타낸 것이고, Table 1은 침식을 밀도의 평균값을 정리한 것이다.

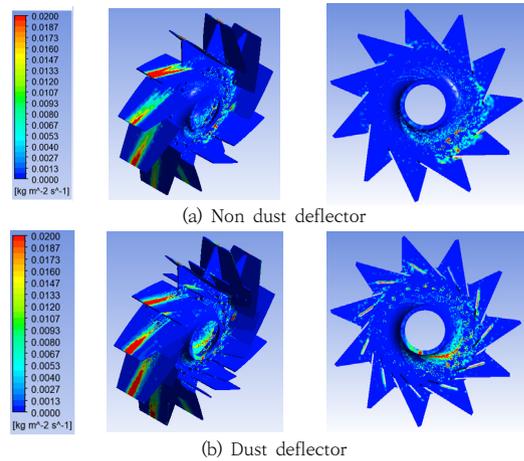


Fig. 7. Erosion rate density [kg/m<sup>2</sup>s].

Table 1. Average value of Erosion rate density [kg/m<sup>2</sup>s].

Type	Impeller		Boss	
Non dust deflector	0.0024	-	0.0012	-
Dust deflector	0.0008	167% ↓	0.0016	133% ↑

Dust deflector를 설치한 경우 임펠러에서 평균 167% 감소하고, 보스에서는 평균 133% 증가하는 경향으로 나타났다. 따라서 송풍기에 Dust deflector를 설치하고, 보스의 재질을 침식에 강한 재질 사용과 추가적인 표면처리(Hard facing)를 한다면 송풍기로의 분진유입에 따른 송풍기 마모를 줄일 수 있을 것이라 판단된다.

### 2.2.4 요구되는 성능의 송풍기 수치해석

Dust deflector의 길이에 따른 침식해석 및 성능해석을 수행하기 위하여 Fig. 8과 같이 총 5가지로 모델링하여 수치해석을 진행하였다. Dust deflector가 없는 경우를 Case 1으로 하였으며, Dust deflector가 길이가 커짐에 따라 Case 2, Case 3, Case 4, Case 5로 구분하였다.

전력비 절감을 위하여 요구되는 송풍기 성능은 풍량  $16,200 \text{ m}^3/\text{min}$ , 회전수 880 rpm, 전압 690 mmAq, 전압효율 83% 이상이고, 장수명 송풍기(수명이 기존 송풍기 대비 130% 이상)를 개발하기 위하여 송풍기를 모델링하였다. 수치해석은 송풍기의 운전 조건은 요구되는 송풍기 성능 조건과 침식과 관련된 해석조건은 2.2.2절과 동일하게 수행하였다.

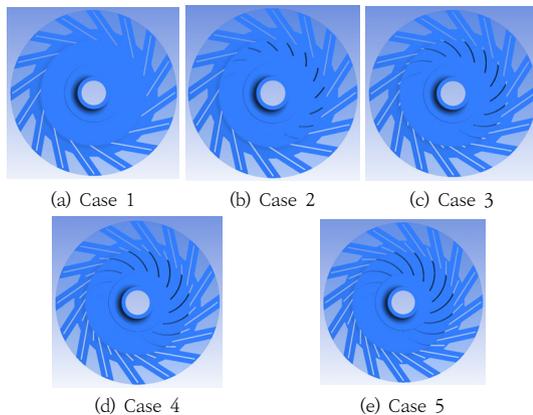


Fig. 8. Impeller front view along the length of the dust deflector.

Fig. 9는 Dust deflector의 길이에 따른 침식률 밀도를 나타낸 것이고, Table 2는 침식률 밀도의 평균값을 정리한 것이다. Dust deflector의 길이가 증가함에 따라 임펠러와 보스 모두 침식률 밀도는 감소하였다. 임펠러는 Case 1에 비하여 길이가 가장 긴 Case 5는 150.0% 감소하였으며, Boss는 Case 1에 비하여 Case 5는 119.0% 감소하였다.

침식성능이 가장 우수한 Case 5의 유선을 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 11에는 전압-풍량 특성곡선을, Fig. 12에는 효율-풍량 특성 곡선을 각각 나타내었다. 송풍기의 성능은 회전수 880 rpm, 풍량  $16,200 \text{ m}^3/\text{min}$ 일 경우 전압 691.7 mmAq와 전압효율 83.3%로 나타났다. 따라서, 전력비 절감을 위하여 요구되는 성능조건인 전압

효율 83% 이상인 풍량  $10,000 \text{ m}^3/\text{min}$  급의 장수명 송풍기(수명이 기존 송풍기 대비 130% 이상)로 Case 5가 타당하다고 판단된다.

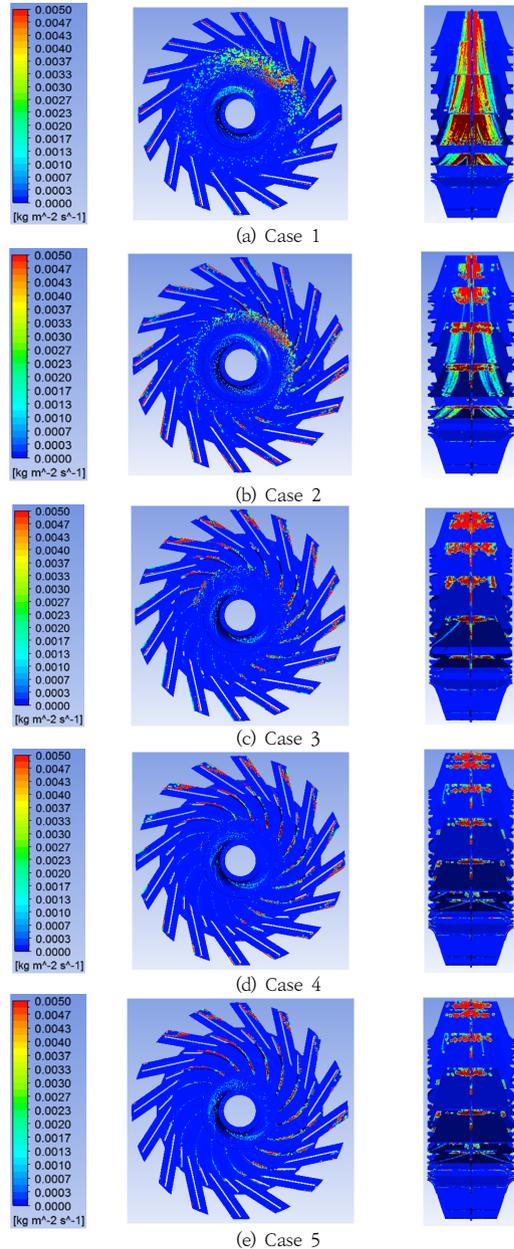


Fig. 9. Erosion rate density  $[\text{kg}/\text{m}^2\text{s}]$ .

Table 2. Average value of Erosion rate density [kg/m<sup>2</sup>s].

Type	Impeller		Boss	
	Value	Change (%)	Value	Change (%)
Case 1	0.00080	-	0.00023	-
Case 2	0.00074	106.5% ↓	0.00022	105.5% ↓
Case 3	0.00061	123.5% ↓	0.00020	114.7% ↓
Case 4	0.00045	143.2% ↓	0.00019	119.0% ↓
Case 5	0.00040	150.0% ↓	0.00019	119.0% ↓

### 3. 결론

본 연구에서는 전력비 절감을 위하여 요구되는 전압효율이 83% 이상인 풍량 10,000 m<sup>3</sup>/min급의 장수명 송풍기(수명이 기존 송풍기 대비 130% 이상)를 개발하기 위하여 송풍기 침식 현상을 조사하고, 수치해석을 통하여 송풍기 성능과 송풍기 침식을 예측하였으며 결과는 다음과 같다.

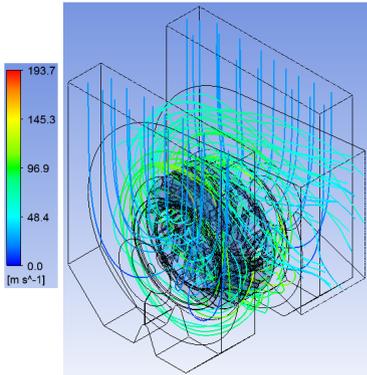


Fig. 10. Velocity streamline[m/s] of case 5.

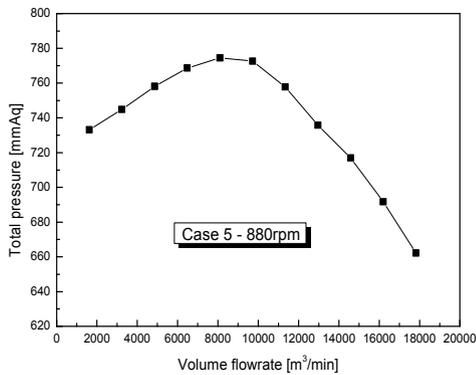


Fig. 11. Total pressure-volume flowrate curve of case 5.

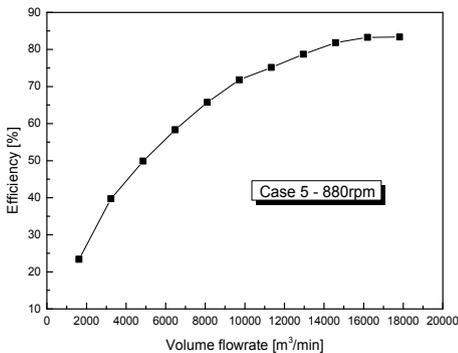


Fig. 12. Efficiency-volume flowrate curve of case 5.

- (1) 풍량 16,200 m<sup>3</sup>/min, 전압 690 mmAq, 회전수 893rpm, 전압효율 76%, 사용온도 330℃이고, 운전 중 송풍기로 유입되는 분진의 양은 265 kg/min 정도이며, 분진의 비중은 3.15이다. 또한 분진의 입도는 90 $\mu$ m ~ 212 $\mu$ m 정도이다. 이러한 사용 조건에서 송풍기가 유입된 분진으로 인한 침식현상은 Finne 모델을 적용하여 수치해석을 수행한 결과 평형복원계수는 1, 수직복원계수는 0.1인 경우가 실제와 유사하였다.
- (2) Dust deflector 유·무에 따라 송풍기로의 분진 유입에 따른 침식성능을 나타내는 침식률 밀도는 Dust deflector를 설치한 경우가 임펠러에서는 평균값 167% 감소하였고, 보스에서는 평균값 133% 증가하였다. 따라서 송풍기에 Dust deflector를 설치하고, 보스를 침식에 강한 재질로 변경하고 추가적인 표면처리(Hard facing)를 한다면 송풍기로의 분진유입에 따른 송풍기 마모를 줄일 수 있을 것이라 판단된다.
- (3) 요구되는 장수명 송풍기 개발을 위하여 Dust deflector의 길이(Dust deflector가 없는 Case 1에서 Dust deflector가 길이에 따라 Case 2, Case 3, Case 4와 길이가 가장 긴 Case 5)에 따라 총 5가지 모델에 대하여 침식 수치해석을 수행하여 침식성능을 나타내는 침식률 밀도는 Impeller는 Case 1에 비하여 Case 2는 106.5%, Case 3는 123.5%, Case 4는 143.2%, Case 5는 150.0% 감소하였으며, Boss는 Case 1에 비하여 Case 2는 105.5%, Case 3는 114.7%, Case 4는 119.0%, Case 5는 119.0% 감소하여, Case 5가 침식성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.
- (4) 전력비 절감을 위하여 요구되는 성능의 송풍기(전압효율 83% 이상, 풍량 10,000 m<sup>3</sup>/min 이상) 개발을 위하여 송풍기 성능해석을 침식성능이 우수

한 Case 5에 대하여 수행하였으며, 송풍기 성능은 회전수 880 rpm, 풍량 16,200 m<sup>3</sup>/min일 경우 전압 691.7 mmAq와 전압효율 83.3%로 나타났다.

DOI: <https://doi.org/10.2514/3.59826>

- [10] ANSYS, Inc., "ANSYS CFX - Solver Modeling Guide Release 13.0", 2010.

## References

- [1] Sung-Taek Jeon, Jin-Pyo Cho, "Effect of Pitch Angle and Blade Length on an Axial Flow Fan Performance", *Journal of the Korea Academia- Industrial cooperation Society*, Vol. 14, No. 7, pp. 3170-3176, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.7.3170>
- [2] Jong-Sung Lee, Choon-Man Jang, "Performance Characteristics of the Double-Inlet Centrifugal Blower according to the Shape of an Impeller", *Journal of Fluid Machinery*, Vol. 17, No. 1, pp. 28-34, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5293/kfma.2014.17.1.028>
- [3] Jeong-Seok Kang, Jin-Taek Kim, Cheol-Hyung Lee, Byung-Joon Baek, "A Study on Three-Dimensional Flow Analysis and Noise Source of Sirocco Fan", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No. 12, pp. 896-902, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.12.896>
- [4] Ho-Sang Jang, Hawon Lee, Se-Yun Hwang, Jang-Hyun Lee, "Numerical Simulation of Erosion Rate on Pipe Elbow Using Coupled Behavior of Fluid and Particle", *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 31, No 1, pp. 14-21, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.5574/KSOE.2017.31.1.014>
- [5] Chul Hee Jo, Jun-Ho Lee, Choon-Man Jang, Su-Jin Heang, "Numerical Study for the Influence of Environment Temperature on Offshore Arctic Pipeline and Impingement Erosion Analysis by using Thermal Flow Simulation", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 39, No. 3 pp. 201~205, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5916/ikosme.2015.39.3.201>
- [6] Jae Ho Paek, Ilkwang Jang, Yong Hoon Jang, "Performance Evaluation of Wall Blower Nozzle using Erosion Analysis", *Tribology and Lubricants*, Vol. 34, No. 5, pp. 175~182, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.9725/kts.2018.34.5.175>
- [7] Md Rakibuzzaman, Hyoung-Ho Kim, Kyungwuk Kim, Sang-Ho Suh, Kyung Yup Kim, "Numerical Study of Sediment Erosion Analysis in Francis Turbine", *Sustainability*, Vol. 11, No. 5, pp. 1423~1431, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/su11051423>
- [8] I. Finnie, "Some observations on the erosion of ductile metals", *Wear*, Vol. 19, No. 1, pp. 81~90, 1972.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(72\)90444-9](https://doi.org/10.1016/0043-1648(72)90444-9)
- [9] G. Grant, W. Tabakoff, "Erosion prediction in turbomachinery resulting from environmental solid particles", *Journal of Aircraft*, Vol. 12, No. 5, pp. 471-478, 1975.

김 일 겸(II-Gyoum Kim)

[정회원]



- 1988년 2월 : 인하대학교 공과대학 기계과 (공학사)
- 1990년 2월 : 인하대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 인하대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 2010년 10월 : 강남필터(주) 연구소장
- 2012년 1월 ~ 2018년 2월 : 첨단기공(주) 연구소장
- 2016년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 기계시스템공학부 강사

<관심분야>

유체기계, 산업기계설비, 공기조화

박 우 철(Woo-Cheul Park)

[중신회원]



- 1987년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1997년 8월 ~ 현재 : 강원대학교 기계시스템공학부 교수

<관심분야>

지능형 구조물 및 시스템, 진동 및 소음, 친환경기계설비

손 상 석(Sang-Suk Sohn)

[정회원]



- 1983년 2월 : 인하대학교 공과대학 기계공학과 (공학사)
- 1985년 2월 : 인하대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 9월 ~ 2012년 1월 : 삼성 전자 종합기술원 상무
- 2012년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 교수

<관심분야>

유체기계, 공기조화

---

김 용 남(Young-Nam Kim)

[정회원]



- 2018년 8월 : 한국방송통신대학교 첨단공학부 메카트로닉스과 (공학사)
- 1984년 7월 ~ 2014년 9월 : (주) 동양 플랜트사업본부 공장장
- 2014년 10월 ~ 현재 : ㈜한국송풍기 엔지니어링 대표이사

<관심분야>

유체기계