

공기흐름 변경으로 임펠러의 수명연장과 전력비 절감을 위한 송풍기 개발을 위한 실험적 연구

김일겸¹, 박우철^{1*}, 손상석², 김용남³

¹강원대학교 기계시스템공학부, ²순천향대학교 기계공학과, ³한국송풍기 엔지니어링

Experimental Study for The Development of a Blower to Extend The Life of The Impeller and Reduce The Power Cost by Changing the Air Flow

Il-Gyoum Kim¹, Woo-Cheul Park^{1*}, Sang-Suk Sohn², Young-Nam Kim³

¹School of Mechanical System Eng., Kwangwon National University

²Dept. of Mechanical Eng., Soon Chun Hyang University

³Korea Fan Engineering

요약 본 연구는 요구되는 전압효율이 83% 이상인 풍량 10,000 m³/min급의 장수명 송풍기를 개발하기 위하여 송풍기를 설계·제작하여 송풍기 성능시험과 침식 실험을 통하여 개발품에 대한 성능을 확인하였다. Dust deflector의 영향을 살펴보기 위하여 각기 다른 길이의 Dust deflector를 갖는 5가지의 실험용 임펠러를 제작하여 침식 실험을 수행하였다. 가혹한 조건으로 실험을 수행하기 위하여 침식을 유발하는 분진 대체재로 1kg의 스틸 쇼트 볼(ϕ 0.2 mm)을 사용하였다. 자체 제작한 페루프 타입의 침식 실험 장치에서 160시간 동안 연속으로 가동 운전하여 실험하였다. Dust deflector에 의한 침식성을 평가하기 위하여 마모두께를 측정하였다. 3차원 스캐너로 침식 실험 전 형상과 침식 실험 후 형상을 스캐닝하여 마모두께를 측정하였다. 모델 송풍기를 설계·제작하여 송풍기 성능을 시험한 결과, 모델 송풍기 측정값을 기준으로 개발 송풍기로의 환산 결과 전압 690.6 mmAq, 풍량 16,243.6 m³/min, 효율 83.6%로 나타났다. 송풍기의 침식 실험 장치를 설계·제작하여 가혹한 조건으로 침식 실험을 수행하여 dust deflector가 부착된 송풍기인 개발 송풍기가 dust deflector가 없는 기존 송풍기에 비하여 임펠러 마모두께를 기준으로 190% 이상의 개선 효과가 있는 것으로 나타났다.

Abstract In this study, the prototype of a blower was designed and made to develop a long-life blower with a volume flow rate of 10,000 m³/min with a required total pressure efficiency of 83% or more. Five experimental impellers with various lengths of dust deflectors were manufactured and used for the erosion experiments. The erosion test was conducted by operating for 160 hours in a self-produced closed loop-type erosion test apparatus. A prototype of a model blower was designed, fabricated, and tested. The results revealed a total pressure, air volume flow rate, and efficiency of 690.6 mmAq, 16,243.6 m³/min, and 83.6%, respectively, as the result of conversion to a blower based on the measured value of the blower model. The prototype was designed and fabricated as the experimental erosion equipment of the blower. A blower with a dust deflector was developed by performing the erosion experiments under harsh conditions. The blower showed an improved effect of more than 190% based on the wear thickness of the impeller compared to a conventional blower without a dust deflector.

Keywords : Erosion, Dust Deflector, Blower, Impeller, Long-Life

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

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

email: wchpark@kangwon.ac.kr

Received July 17, 2020

Accepted November 6, 2020

Revised September 14, 2020

Published November 30, 2020

1. 서론

송풍기는 전동기로 임펠러를 구동하여 대량의 공기를 공급해주는 산업용 유체기계로서 철강, 발전, 석유화학, 반도체, LCD, 섬유, 식품, 시멘트 등 산업 전반에 광범위하게 사용되고 있다. 산업용 송풍기는 연중 지속적으로 가동되고 있어 전기 에너지를 상당히 많이 소비하고 있으며, 특히 대용량일수록 가동시간이 많아 전기 에너지의 소비가 많은 기기이다.

산업체에서의 송풍기는 전기에너지 사용량이 매우 높은 산업용 설비로 분류되어 에너지 효율 증대에 대한 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 분진이 발생하는 조건에서도 에너지 효율을 높고, 내마모성이 우수한 기술이 적용된 송풍기가 적용된다면 산업 현장에서는 비용 절감에서 큰 결과를 얻을 것이다. 송풍기의 효율 향상과 유지비용 절감을 위한 송풍기의 장수명 기술을 개발하여야 할 필요성이 있다.

Fig. 1은 양흡입 송풍기의 구조를 나타낸 것이고, Fig. 2는 기존 양흡입 송풍기의 분진에 의한 임펠러 침식을 나타낸 것이다.

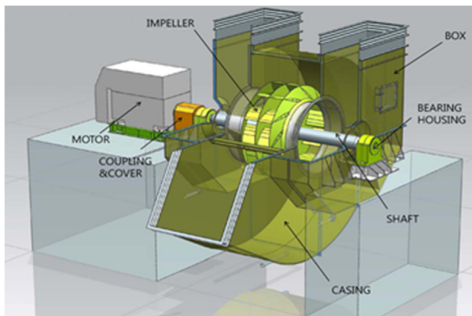


Fig. 1. Structure of double suction blower.

송풍기의 성능에 관한 국내 연구는 실험적 연구[1]와 수치해석[2,3] 등 많으나, 침식에 관한 국내 연구로는 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 수치해석이 있으나, 송풍기의 침식에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

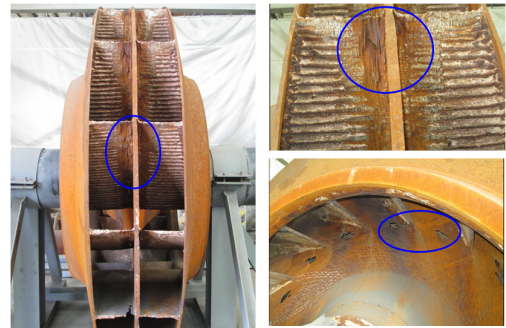


Fig. 2. Impeller erosion cases.

이에 본 연구에서는 전력비 절감을 위하여 요구되는 전압효율이 83% 이상인 풍량 10,000 m³/min급의 장수명 송풍기(수명이 기존 송풍기 대비 130% 이상)를 개발하기 위하여 임펠러 사이에 분진을 분산시키는 기능을 하는 Dust deflector의 유·무에 따른 송풍기를 설계·제작하였다. 제작된 송풍기에 대하여 침식실험과 성능시험을 수행하여 요구되는 성능의 송풍기를 개발하였다.

2. 본론

2.1 송풍기 침식현상

시멘트 제조사에서 사용되고 있는 소성공정용 송풍기는 고온과 고분진의 가동조건에서 운전을 함으로 인하여 침식이 매우 심하여 3~6개월 주기로 침식부분을 보완 사용하고 있다. Fig. 3은 S사의 소성공정용 송풍기의 침식 사진과 침식현상을 측정하여 3차원 CAD에 표현하였다. 침식은 주판 측 날개 끝 부분에 집중되며 날개의 각도에 따라 유입 부분과 주판에서 나타났으며, 3D CAD 모델에서는 녹색으로 표현한 부분이 집중적으로 침식이 나타나는 부분이다.

2.2. 침식실험

임펠러 사이에 분진을 분산시키는 기능을 하는 Dust deflector 유·무에 따른 송풍기의 침식 정도를 평가하기 위하여 송풍기 침식 실험장치를 자체적으로 설계·제작하였다. 내마모 실험용 송풍기는 풍량 150 m³/min, 전압 150 mmAq, 회전수 1760 rpm의 용량을 갖도록 설계·제작하였다.

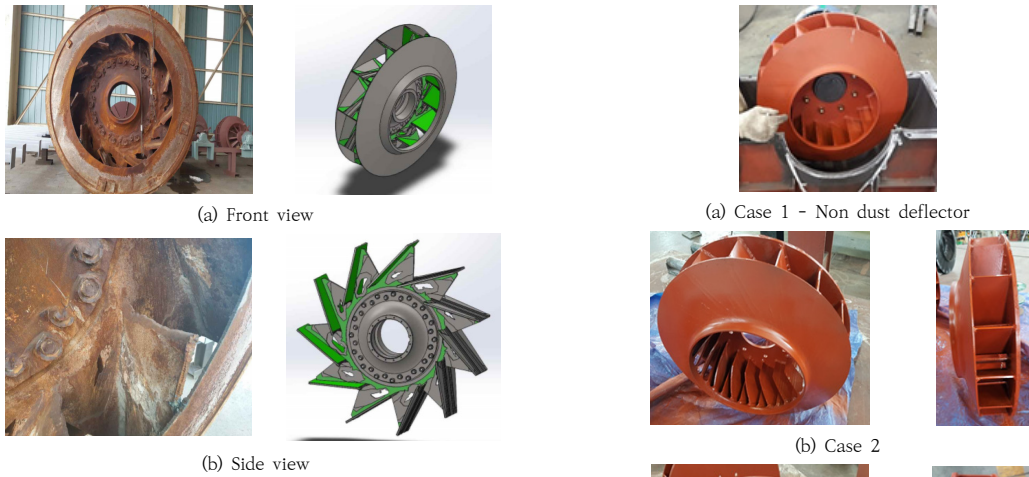


Fig. 3. Erosion of Kiln I.D. blower (S company).

Fig. 4는 Dust deflector 유·무에 따른 송풍기 임펠러의 3차원 현상을 나타낸 것이고, 내마모 실험을 위하여 4가지 Case의 송풍기 임펠러를 Fig. 5와 같이 설계·제작하여 실험을 수행하였다. Case 1은 Dust deflector가 없는 기존 송풍기이고, Case 2는 Dust deflector를 기존 Impeller의 1/3 지점까지 삽입하였고, Case 3는 Dust deflector를 기존 Impeller의 1/2 지점까지 삽입하였으며, Case 4는 Dust deflector의 높이를 약 60% 까지 부착하였으며 이는 Dust deflector의 길이와 형상에 따른 침식성능을 파악하기 위함이다.

Fig. 6은 송풍기의 침식 정도를 파악하기 위하여 실제 제작한 실험장치의 사진이다. 가혹한 조건으로 시험을 수행하기 위하여 순환 배관계는 폐회로로 설계하였다.

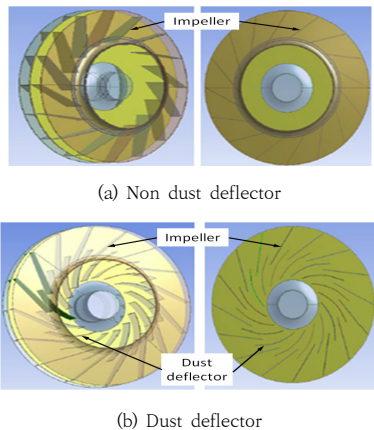


Fig. 4. Impeller 3D drawings for erosion test.

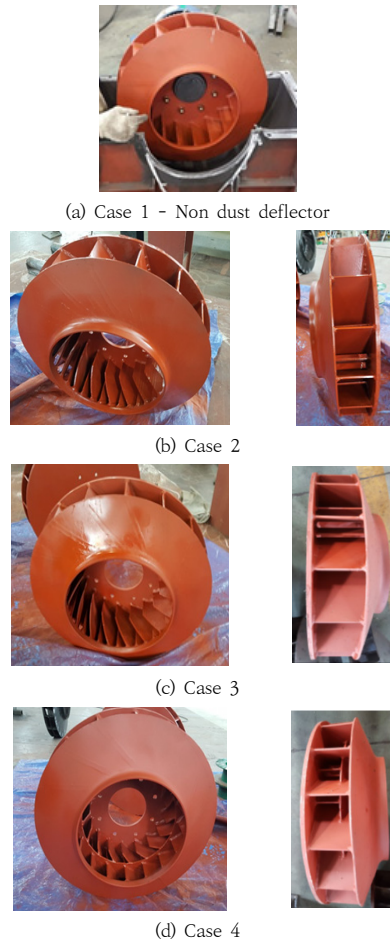


Fig. 5. Photograph of Impeller for erosion test.



Fig. 6. Photograph of blower erosion tester.

실제 시멘트 제조 공정 중 소성 공정에서의 분진은 비중이 3.15이고, 입도는 90 μm ~ 212 μm 이며, 양은 265 kg/min이다. 그러나 침식실험에서는 가혹조건으로 실험을 수행하기 위하여 침식을 유발하는 분진 대체재로 스틸 쇼트 볼($\phi 0.2$ mm)을 사용하였고, 더스트 량은 1 kg으로 하였다. 침식을 확인하기 위하여 160시간 동안 연속으로 실험용 송풍기를 가동 운전하여 실험하였다. 침식 실험에 사용된 스틸 쇼트 볼의 사양은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of cast steel shot

| | | |
|----------------------|--|------------|
| Chemical composition | C | 0.80~1.10% |
| | Mn | 0.60~1.20% |
| | Si | 0.50~1.20% |
| | P | ≤0.03% |
| | S | ≤0.03% |
| Hardness | Normal:40~50HRC(377~509HV) | |
| Hardness deviation | Max deviation 3.0 HRC or 40HV | |
| Density | ≥7.50g/cm ³ | |
| Durability | 2,200 to 2,500 times | |
| Microstructure | Homogeneous tempered martensite or troostite | |

Case 2 ~ Case 4의 임펠러를 장착하여 풍량 50 m³/min, 더스트(스틸 쇼트 볼, Ø0.2 mm) 1kg, 160시간을 가동하여 침식성능 실험을 수행한 결과를 Fig. 7에 나타냈다. 사진에 나타난 바와 같이 침식량을 일반 범용 계측기로 측정하기 어려워 3차원 정밀 스캐닝을 통하여 마모두께를 측정하였다.

Dust deflector 유·무에 따른 침식성능은 마모두께로 평가되므로 정밀한 마모두께의 측정을 위하여 Case 1과 Case 2를 다시 제작하고, 임펠러는 도색을 하지 않았다. 임펠러의 마모두께는 3차원 정밀 스캐너로 침식실험 전 형상과 침식실험 후 형상을 3차원 정밀 스캐닝하여 마모두께를 측정하였다.

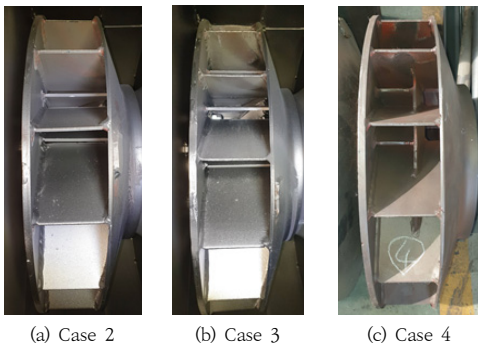


Fig. 7. Photograph of erosion test result.

Fig. 8은 Case 1과 Case 2를 다시 제작하여 동일한 실험방법으로 침식실험을 수행한 결과를 나타낸 것이고, 송풍기 침식실험 전후의 마모두께를 일반 계측기로는 측정이 어려워 3차원 정밀 스캐너 4DL(모델명 : 4DL RX30, 제조사 : 독일 LMI)을 이용하였으며, 분석 프로그램은 Geomagic control(3D systems/미국)을 이용하였다.

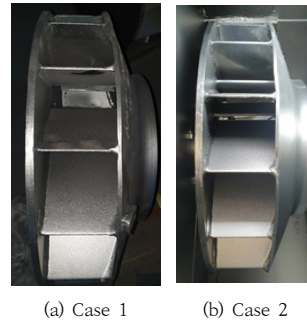


Fig. 8. Photograph of erosion test result.

Fig. 9는 Dust deflector가 없는 기존 송풍기와 Dust deflector가 부착된 개발 송풍기의 3차원 정밀 스캐닝 결과를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 Dust deflector가 설치된 경우에 마모가 적게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이 결과를 Table 2에 정리하였다. Dust deflector가 부착된 송풍기인 개발 송풍기가 Dust deflector가 없는 기존 송풍기에 비하여 임펠러 마모두께를 기준으로 190% 이상의 개선효과가 있는 것으로 나타났다.

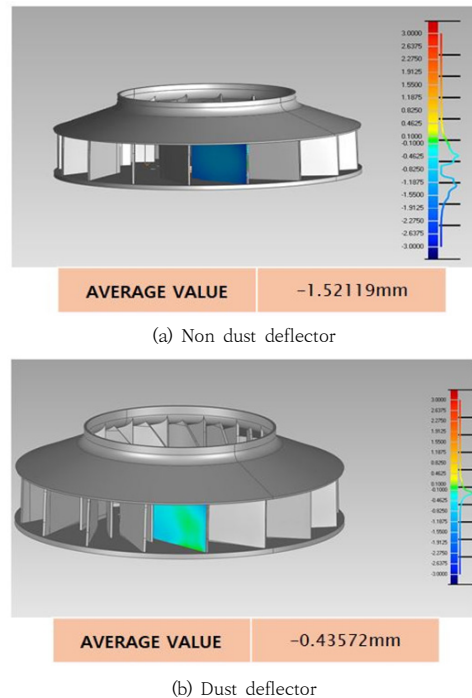


Fig. 9. 3D scanning data for erosion.

Table 2. Erosion [mm].

| Type | RMS (Max./Min. excluded) | | Average | |
|----------------|-----------------------------|----------|---------|----------|
| | Non dust deflector | 1.0191 | - | 1.5212 |
| Dust deflector | 0.5292 | 192.6 %↑ | 0.4357 | 349.1 %↑ |

Fig. 10은 S사의 시멘트 생산 공정에 설치된 Dust deflector가 부착되지 않은 기존 송풍기(풍량 3,250 m³/min, 전압 650 mmAq, Ø1,850 mm)로서 약 6개월 가동 후의 침식을 나타낸 사진이다. 사진에서 나타난 바와 같이 흡입부에 마모가 진행되었으며, 날개면 주판 측 넓은 영역에 심한 마모가 진행되었다. Fig. 11은 Dust deflector가 부착된 개발 송풍기(풍량 3,250 m³/min, 전압 650 mmAq, Ø1,850 mm)로 동일한 공정에서 동일한 기간 가동 후의 침식을 나타낸 사진으로 흡입 마모와 날개부분 마모가 없는 것으로 확인되어 실제 산업현장에서 내마모성이 개선되었음을 확인하였다.



Fig. 10. Photograph of erosion field test result (non deflector type blower).



Fig. 11. Photograph of erosion field test result (dust deflector type blower).

2.3 송풍기 성능시험

전력비 절감을 위하여 요구되는 전압효율이 83% 이상인 풍량 10,000 m³/min급의 장수명 송풍기(수명이 기존 송풍기 대비 130% 이상)를 개발하기 위하여 Dust deflector가 포함된 송풍기의 성능검증이 필수적이다. 이를 위하여 성능시험에 필요한 Dust deflector가 부착된 축소 모델 송풍기를 설계·제작하여 성능시험을 수행하였다.

실제 현장에 적용되는 임펠러의 직경은 Ø3,300 mm이지만, 성능평가를 위한 모델 임펠러의 직경은 Ø975 mm이다. Fig. 12는 모델 송풍기의 임펠러 실물 사진이고, Fig. 13은 성능시험을 하기 위하여 모델 송풍기를 설치한 사진이다. 송풍기의 성능 평가를 위하여 KS B 6311(송풍기의 시험방법)에 의거하여 성능시험을 수행하였다[8].

송풍기 성능시험 결과를 Table 3에 정리하였고, 이 결과를 바탕으로 한국산업기술시험원의 시험성적서(19-079238- 01-1)를 발급받았으며, 모델 송풍기 측정값을 기준으로 개발 송풍기로의 환산 결과, 전압 690.6 mmAq, 풍량 16,243.6 m³/min, 효율 83.6%로 나타났다.

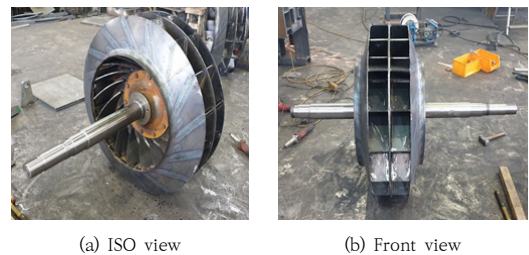


Fig. 12. Photograph of model blower impeller.



Fig. 13. Photograph of model blower installation.

Table 3. Model blower measurements and development blower specifications.

| Item | Model blower measurements | Development blower specifications |
|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Flow rate [m ³ /min] | 548.1 | 16.200 |
| Total pressure [mmAq] | 237.5 | 690 |
| Impeller diameter [mm] | 975 | 3.330 |
| Impeller speed [rpm] | 1,183 | 880 |
| Shaft power [W] | 25.4 | 2,201.7 |
| Gas temperature [°C] | 16.1 | 330.0 |
| Specific weight [kg/m ³] | 1.210 | 0.547 |
| Efficiency [%] | 83.6 | 83.0 |

3. 결론

본 연구에서는 전력비 절감을 위하여 요구되는 전압효율이 83% 이상인 풍량 10,000 m³/min급의 장수명 송풍기(수명이 기존 송풍기 대비 130% 이상)를 개발하기 위하여 송풍기를 설계·제작하여 송풍기 침식실험과 성능 시험을 통하여 개발품에 대한 성능을 확인하였다. 결과는 다음과 같다.

- (1) 송풍기의 침식 실험장치를 설계·제작하여 가혹한 조건으로 침식실험을 수행하여 Dust deflector가 부착된 송풍기인 개발 송풍기가 Dust deflector가 없는 기존 송풍기에 비하여 임펠러 마모두께를 기준으로 190% 이상의 개선효과가 있는 것으로 나타났다.
- (2) Dust deflector가 부착된 모델 송풍기를 설계·제작하여 송풍기 성능을 시험한 결과, 모델 송풍기 측정값을 기준으로 개발 송풍기로의 환산 결과 전압 690.6 mmAq, 풍량 16,243.6 m³/min, 효율 83.6%로 나타났다.

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] KS B 6311, "Testing methods for industrial fans", Korean Standards, 2017.

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