

# 백필터 집진기의 지능형 IoT 탈진 시스템 개발

장성철<sup>1\*</sup>, 이정원<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국폴리텍IV대학 충주캠퍼스 기계시스템과, <sup>2</sup>에스엠티(주) 기술연구소

## Development of Intelligent IoT Exhaustion System for Bag Filter Collector

Sung-Cheol Jang<sup>1\*</sup>, Jung-Won Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of Mechanical System, Korea Polytechnic IV Choongjoo

<sup>2</sup>Division of R&D Center, SMT Co. Ltd.

**요약** 백필터 집진기는 여러개 또는 수십개의 여과포를 구성하여 미세먼지를 정화시켜 깨끗한 공기를 대기에 방출시키는 일종의 공기청정기이다. 백필터 길이가 5m 이하인 경우 다이어프램 밸브에서 발생하는 압축공기를 벤추리를 통과시키는 것만으로도 백필터에 부착된 분진 및 흡을 효율적으로 탈진 할 수 있었다. 7m 이상의 롱백 탈진에 만족스러운 결과를 얻기 위해서는 더욱 효율이 높고 경제성 있는 인젝터 개발이 시급한 실정이다. 기존 국내외 인젝터의 경우 유지 보수시 다수의 블루튜브 해체작업과 인젝터와 블루튜브가 결합되어 중량증가로 인한 작업의 불편성 등 많은 문제를 내포하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 코안다 효과를 이용한 최적의 인젝터 개발을 위한 유동해석과 4차 산업의 지능형 자동화 탈진 기술이 접목되어, 기존 설비 대비 에너지 비용저감 및 필터 수명향상 등을 획기적으로 개선시키고자 하는 상용화 연구를 수행하였다.

**주제어** : 백필터 집진기, 벤추리, 블루튜브, 인젝터, 지능형 탈진, 에너지

**Abstract** A bag filter collector is a kind of air purifier that organizes several or dozens of filters to purify fine dust and release clean air into the atmosphere. If the bag filter length is less than 5m, the dust and fume attached to the bag filter could be effectively removed by passing the compressed air generated by the diaphragm valve through the venturi. Injectors that are more efficient and economical are urgently needed to achieve satisfactory results for long-bag exhaustion of more than 7 meters. In the case of existing domestic and foreign injectors, a number of blow tubes were dismantled during maintenance, and the injector and blow tube were combined to pose a number of problems, including inconvenience of work due to weight increase. In this study, injector flow for the development of the best use of interpretation of the coanda effect and the fourth round of industrial technology Intelligent automation of exhaustion, have been engineered energy than standard equipment. lowering costs and filter life to radically improve the commercial studies.

**Key Words** : IoT; Bag Filter Collector, Venturi, Blow Tube, Injector, Intelligent Exhaustion

\*교신저자 : 장성철(jsc@kopo.ac.kr)

접수일 2019년 3월 17일 수정일 2019년 05월 25일 심사완료일 2019년 06월 3일

## 1. 서론

백필터 집진기는 여러개 또는 수십개의 여과포를 구성하여 미세먼지를 정화시켜 깨끗한 공기를 대기에 방출시키는 일종의 공기정정기이다. 백필터 길이가 5m 이하인 경우 다이어프램 밸브에서 발생하는 압축공기를 벤추리를 통과시키는 것만으로도 백필터에 부착된 분진 및 흙을 효율적으로 탈진 할 수 있었다. 그러나 화력발전소에 사용되는 대형 집진기는 면적을 축소시키기 위해 백필터 길이가 7m 이상으로 길어지면서 필터 하부에 부착된 분진 및 흙의 탈진이 되지 않아 필터의 눈 막힘 현상이 자주 발생한다. 이로 인해 수명이 단축되고, 환경오염을 발생시키는 원인이 되어 왔다. 이러한 문제를 해결하기 위해 벤추리보다 더욱 효과적으로 압축공기를 분사할 수 있는 분사 노즐이나 고가의 인젝터를 사용하고 있으나, 7m 이상의 롱백 탈진에 만족스러운 결과를 얻기 위해서는 더욱 효율이 높고 경제성 있는 인젝터 개발이 시급한 실정이다<sup>[1-3]</sup>. 기존 국내의 인젝터의 경우 유지 보수 시 다수의 Blow Tube 해체작업과 인젝터와 Blow Tube가 결합되어 중량증가로 인한 작업의 불편성 등 많은 문제를 내포하고 있는 실정이다<sup>[4-5]</sup>.

본 연구에서는 코안다 효과를 이용한 최적의 인젝터 개발을 위한 유동해석과 4차 산업의 지능형 자동화 탈진 기술이 접목되어, 기존 설비 대비 에너지 비용저감 및 필터 수명향상 등을 획기적으로 개선시키고자 하는 상용화 연구를 수행하였다.

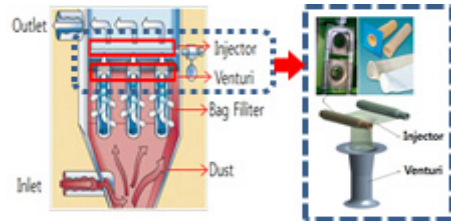
## 2. 집진 및 탈진 인젝터 원리

본 연구 개발의 대상범위는 집진 후 분진의 탈진을 원활하게 수행하기 위해 백필터 역세척시 사용되는 공기작동 방식의 대용량 싱글형 인젝터가 장착된 초미세분진 제거용 집진기용 탈진 인젝터 개발 및 지능형 탈진 기술 개발에 관한 것이다. 일반적인 백필터 집진기는 Fig. 1에서 보는 것과 같이 입구에서 유입된 분진이 집진기 몸통 내부로 유입되어 백필터를 거쳐서 좋은 공기가 대기로 배출되는 원리이다. 그러나 앞에서 언급한 것과 같이 백필터 길이가 길어질수록 백필터 상부 벤추리 위의 인젝터에서 압축공기 분사형 공기가 분출이 된다. 해외 제품의 경우 밀폐된 공간내에서 압축공기가 분사되고, 개발제품의 경우 대기에 개방된 상태에서 탈진이 이루어지

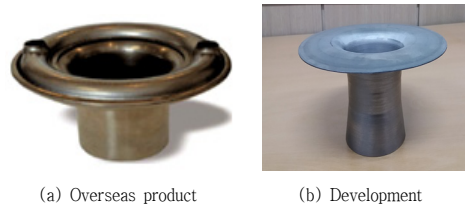
므로 더 많은 유입공기가 형성될 수 있다.

Fig. 2 (a)는 해외에서 수입되어 구동되는 인젝터를 나타낸 것이고 (b)는 자체 개발되어 신기술 인증을 받은 제품을 나타낸 것이다.

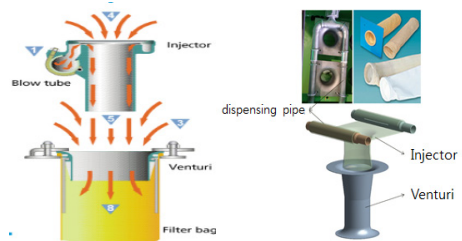
Fig. 3은 백필터에 부착된 분진을 탈진하기 위한 인젝터의 작동원리를 나타낸 것이다.



[Fig. 1] Components of back filter collector



[Fig. 2] Model comparison



[Fig. 3] Operating principles of injector

그림에서 알 수 있는 것과 같이 압축공기가 들어오는 부분과 인젝터의 출구 부분에서 많은 공기가 유입되는 작동원리를 나타낸 것이다. 이러한 부분은 유동해석을 통한 최적화 해석에서 많은 시간이 소요되고, 여러 가지 해석 변수를 가지고 실험계획법에 의한 기술이 선행되어야 한다.

## 3. 수치해석

백필터 집진기의 유동분포를 계산하기 위한 지배 미

분방정식으로 질량보존 방정식, 운동량보존 방정식을 활용하였고, 난류유동의 수치해석을 위해 SST(Shear Stress Transportation) 난류모델을 활용하였다.

### 2.1 기초방정식

유체의 유동을 정상상태, 비압축성이라 가정할 때 질량보존 방정식과 운동량보존 방정식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

질량보존 방정식:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad [1]$$

U-방정식:

$$\rho U \frac{\partial U}{\partial x} + \rho V \frac{\partial U}{\partial y} + \rho W \frac{\partial U}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial U}{\partial x} - \rho \overline{u^2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial U}{\partial y} - \rho \overline{uv} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial U}{\partial z} - \rho \overline{uw} \right) \quad [2]$$

V-방정식:

$$\rho U \frac{\partial V}{\partial x} + \rho V \frac{\partial V}{\partial y} + \rho W \frac{\partial V}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial V}{\partial x} - \rho \overline{uv} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial V}{\partial y} - \rho \overline{v^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial V}{\partial z} - \rho \overline{vw} \right) \quad [3]$$

W-방정식:

$$\rho U \frac{\partial W}{\partial x} + \rho V \frac{\partial W}{\partial y} + \rho W \frac{\partial W}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu \frac{\partial W}{\partial x} - \rho \overline{uw} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial W}{\partial y} - \rho \overline{vw} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial W}{\partial z} - \rho \overline{w^2} \right) \quad [4]$$

여기서 U, V, W는 각 x, y, z 방향으로의 속도성분들을 나타내며, P는 압력을 의미한다. 그리고 ρ는 밀도이고, μ는 점성계수이다.

### 2.2 난류모델

난류유동은 매우 불규칙하고 비정상인 복잡한 3차원 와동이 발생하므로 난류의 물리량 수송방정식(Navier-Stokes 방정식)을 직접 풀 수가 없다. 따라서 난류모델을 적용하여 이러한 와동을 묘사하는 방법을 이용한다. 본 과제에서는 여과집진기의 난류유동 묘사를 위해 SST 모델을 활용하였다. 일반적으로 난류유동의 해석을 위해 Launder와 Spalding의 표준 k-ε 모델을 가장 많이 사용한다. 표준 k-ε 모델은 벽 함수를 이용한 와점성계수(eddy viscosity) 모델로 회전유동의 예측이나 벽 근처 저 레이놀즈수 영역에서 다소 부정확한 것으로 알려져 있으나, 복잡한 유동을 계산할 때 수렴성이 뛰어나고, 계산시간이 단축되므로 많이 이용되고 있다. 이 모델에서는 레이놀즈 응력항(Reynolds Stress)을 분자점성에 의해 발생하는 전단응력과 같이 그 응력의 크기를 평균속도의 변형을 속도구배에 비례한다고 가정한 아래의 Boussinesq 모델을 사용한다.

나고, 계산시간이 단축되므로 많이 이용되고 있다. 이 모델에서는 레이놀즈 응력항(Reynolds Stress)을 분자점성에 의해 발생하는 전단응력과 같이 그 응력의 크기를 평균속도의 변형을 속도구배에 비례한다고 가정한 아래의 Boussinesq 모델을 사용한다.

$$-\rho \overline{u_i u_j} = \mu_t \left( \frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{U}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{3}{2} \rho k \delta_{ij} \quad [5]$$

여기서 비례계수 μ<sub>t</sub>는 난류점성계수(turbulent eddy viscosity) 또는 와점성계수라고 한다. 이 난류점성계수는 유체의 물성치가 아니라 난류의 상태에 의존하기 때문에 경험식으로부터 간단하게 구하거나 또는 방정식을 푸는 것으로 주어진다. 난류점성계수 μ<sub>t</sub>는 다음과 같이 정의된다.

$$\mu_t = \rho c_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad [6]$$

여기서 k와 ε은 각각 난류운동에너지와 난류운동에너지의 소멸률을 나타내며 그 값들은 다음과 같은 방정식들로부터 계산된다.

k-방정식

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \rho \epsilon \quad [7]$$

ε-방정식

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\epsilon}{k} (c_{\epsilon_1} P_k - c_{\epsilon_2} \rho \epsilon) \quad [8]$$

P<sub>k</sub>는 난류 운동에너지의 생성률을 나타내며 다음과 같이 계산된다.

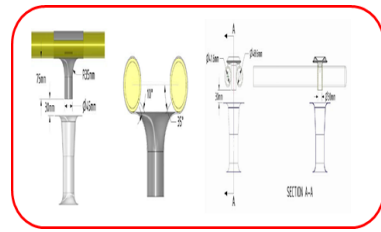
$$P_k = \mu_t \left( \frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{U}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \overline{U}_i}{\partial x_j} \quad [9]$$

SST 모델은 k-ω 모델과 k-ε 모델의 장점을 결합한 모델이다. SST 모델의 장점으로는 표준 k-ε 모델보다 정체구역에서의 난류증진을 고려할 수 있다.

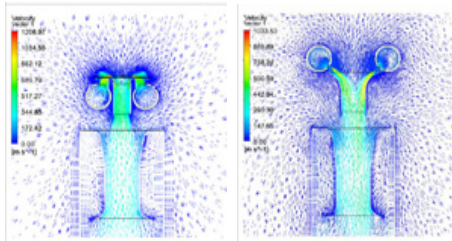
## 4. 탈진 인젝터의 성능비교

Fig. 4~Fig. 6은 Fig. 2의 그림을 근거로 하여 해외제품과 개발품의 유체유동해석을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 두 모델의 백필터 토출부에서의 유량에 상당한 차이가 있음을 확인할 수 있다. 해외 제품의 인젝터는 내부로의 유동흐름 패턴을 형성하지 못함을 볼 수 있고[10,11], 개발품의 경우는 분사관의 공기노즐부로 부

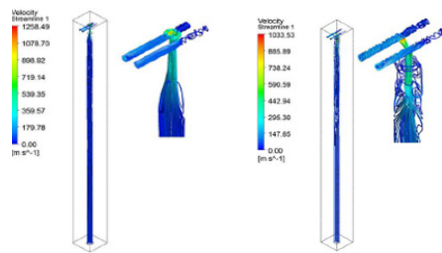
터 인젝터 내부로 유동흐름이 생성되는 것을 알 수 있다. 해외 제품의 경우 분사관의 노즐부를 통해 배출된 공기가 인젝터와 벤추리를 통과하여 백필터의 출구부로 100% 토출되지 못하고 일부가 외기 공기층으로 유출되고 있음을 알 수 있고, 개발품의 경우 해외 제품과 다르게 백필터의 토출부를 통해 분사되는 공기유량이 약 4배 이상 차이가 나고 있음을 알 수 있다[12,13].



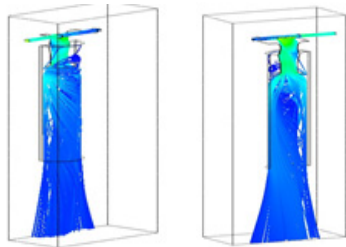
[Fig. 8] Optimized dimensions of injectors



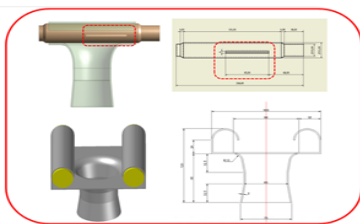
(a) Overseas product (b) Development  
[Fig. 4] CFD Analysis of injector-flow rate



(a) Overseas product (b) Development  
[Fig. 5] CFD Analysis of injector-flow lines



(a) Overseas product (b) Development  
[Fig. 6] CFD Analysis of injector-wired area



[Fig. 7] Optimization design of injectors

Fig. 7과 8은 Fig. 4~Fig. 6의 해석결과에서 얻은 최적화 해석 모델을 제시한 것이다. Fig. 3에서 보는 것과 같이 분사관 노즐의 길이와 폭 및 분사각도, 인젝터의 길이 등이 큰 변수이나 실험계획법의 설계 방법에 따라 50가지 모델을 변수로 정하여 얻어진 해석 결과이다[14,15].

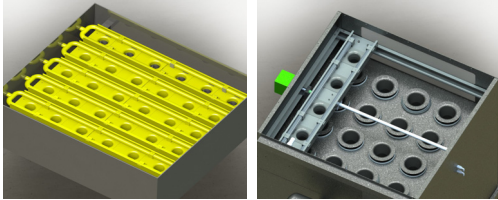
## 5. 지능형 탈진

지능형 탈진 컨트롤 기술은 기존 시스템의 경우 10~15초 간격으로 지속적으로 압축공기 탈진 공정을 진행하여 필터 수명저하 및 압축공기 소모량 과다로 인한 유틸리티 비용증가의 원인이 되어 왔다.

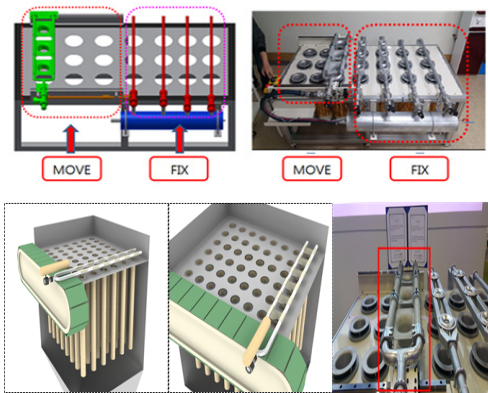
4차 산업과 연계된 지능형 이동식 탈진 방식에 따른 필터 사용 수명 향상 효과 및 교체 횟수 감소에 따른 노동력, 설비 비용 저감 및 생산성 향상 효과를 가진다. 개발품의 경우 기존 제품과 비교하여 인젝터, Blow Tube, 다이어프램 밸브 및 커넥터의 필요수량을 현저하게 감소시키게 된다.

Fig. 9는 기존의 탈진 시스템과 지능형 탈진 시스템의 형상을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 기존의 인젝터 탈진 시스템은 다수의 탈진 밸브가 필요하고, 설치된 필터의 수와 고가의 탈진 인젝터 수가 동일하게 구성되며, 이로 인해 초기 설비 비용이 증가하고, 백필터 교체 작업시 인젝터 및 탈진노즐을 동시 제거해야 하는 등 불편이 가중되어 교체시간 및 인건비의 증대 요인이 되어왔다. 지능형 탈진기술의 경우하나 또는 두 개의 탈진 밸브, 하나의 탈진노즐 및 이에 해당되는 필터수 만큼의 인젝터가 필요하며, 탈진시스템이 이동식으로 작동되어 필터 교체시 별도로 탈진노즐 및 밸브를 분리할 필요가 없는 것을 큰 장점으로 한다. 이러한 이유로 초기 설비비용이 절감되고 필터 교체시간 및 인건비 절감 효과를 가지며, 탈진 밸브 숫자를 최소화하여 밸브 교체시 보수시간을 최소화 할 수 있고, 설비가동률을 상승시켜 생산성

증대에 기여할 수 있을 뿐 아니라 기존설비에도 약간의 구조 변경과 저비용 투자만으로 고효율, 고성능의 적용이 가능한 장점을 가진다.



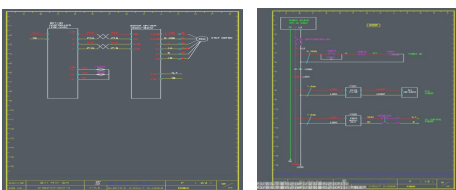
[Fig. 9] Fixed and intelligent discharge system



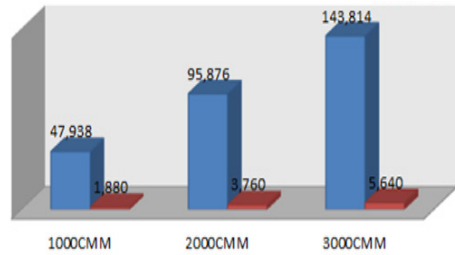
[Fig. 10] Development of intelligent system



[Fig. 11] Demonstration system



[Fig. 12] Intelligent discharge PLC



[Fig. 13] Facility cost comparison

Fig. 10은 지능형 탈진 시스템의 작동원리를 구체화시킨 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 백필터를 탈진시키기 위해서 기존과 다르게 인젝터 1라인만이 구동되게 되어 있고, 1라인에는 탈진 인젝터 1Set와 다이어프램 밸브 및 솔레노이드 밸브만이 장착되어 있는 것을 알 수 있다. 이러한 실증장치를 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 12는 지능형 탈진을 구현하기 위한 PLC 프로그램을 나타낸 것이고, Fig. 13은 기존의 고정식 탈진과 지능형 탈진의 설비비용을 비교한 것이다. 기존 방식에 비해 개발 방식인 지능형 탈진 방식이 최소 7배 이상 부품 절약 효과가 있는 것을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 코안다 효과를 이용한 최적의 인젝터 개발을 위한 유동해석과 4차 산업의 지능형 자동화 탈진 기술이 접목되어, 기존 설비 대비 에너지 비용저감 및 필터 수명향상 등을 획기적으로 개선시키고자 하는 상용화 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 해외 제품의 경우 분사관의 노즐부를 통해 배출된 공기가 인젝터와 벤추리를 통과하여 백필터의 출구부로 100% 토출되지 못하고 일부가 외기 공기층으로 유출되고 있음을 알 수 있고, 개발품의 경우 해외 제품과 다르게 백필터의 토출부를 통해 분사되는 공기유량이 약 4배 이상 차이가 나고 있음을 알 수 있다.
- (2) 기존의 인젝터 탈진 시스템은 다수의 탈진 밸브가 필요하고, 설치된 필터의 수와 고가의 탈진 인젝터 수가 동일하게 구성되며, 이로 인해 초기 설비 비용이 증가하지만 지능형 진기술의 경우하나 또는 두 개의 탈진 밸브, 하나의 탈진노즐 및 이에 해당되는 필터 수 만큼의 인젝터가 필요한 것을 알 수

있다.

- (3) 기존의 고정식 탈진과 지능형 탈진의 설비비용을 비교한 결과 기존 방식에 비해 개발 방식인 지능형 탈진 방식이 최소 7배 이상 부품 절약 효과가 있는 것을 알 수 있다.

## REFERENCES

[1] G Klein, T Schrooten, L Schenk, R Esser and A Köogel, "Face the operating costs," Intensiv-Filter GmbH, Germany. 2009.

[2] Jang, S. C., Han, S. M., Lee, C. K., & Jung H. C., "FSI Analysis of Pneumatic Actuator", KSPSE Spring Conference, pp.81-83, 2016.

[3] Menter, F. and Esch, T., "Elements of Industrial Heat Transfer Predictions," 16th Brazilian Congress of Mechanical Engineering (COBEM), Uberlandia, Brazil. 2001.

[4] D. C. Wilcox, "Turbulence modeling for CFD, DCW industries", Inc. La Canada, CA, 1993.

[5] Launder, B. E. and Spalding, D. B., "The numerical computational of turbulence flows", Computational methods in applied mechanics and engineering, Vol.3, pp.269-289, 1972.

[6] K. Keller, "Low cost, high performance, high volume heatsinks", in Proc.Electronics Manufacturing Technology Symposium, pp. 113 - 118, 1998.

[7] S. Narasimhan and J. Majdalani, "Characterization of compact heat sink models in natural convection", IEEE Trans. Components and Packaging Technologies, Vol. 25, Issue 1, pp.78-86, March 2002.

[8] S. P. Watson and B. G. Sammakia, "The thermal performance of a chip scale package array with simple block and plate heat sinks", in Proc. Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems Conf, pp 276284, 2002.

[9] Jang, S. C., Han, S. M., Lee, C. K., & Jung H. C., "FSI Analysis of Pneumatic Actuator", KSPSE Spring Conference, pp.81-83, 2016.

[10] Jang, S. C., Cho, H. D., and Kim, N. K., "Development of Gear Type Vane Damper Change Link Type in FD Fan, "KSMTE, Vol. 13, No. 1, pp.104~109. 2000.

[11] Jang, S. C., Han, S. H., and Kim, J. W., , "A Study on Performance Improvement of Gear Type Vane Damper in FD Fan(Productivity Increases & Construction Improvement)" KSMTE J. Vol. 19, No.1, pp. 134~139. 2010.

[12] Yi, C. S., Hong, J. K., Suh, J. S., Shin, Y. I. and Park, Y. S., 2009, "Effect of Cutoff Angle on the Flow Characteristic of Turbo-Fan", Conference Proceedings of KSME Spring Annual Meeting(KSME 09TE068), pp. 311~318. 2015.

[13] P. J. Witt, C. G. Solnordal, L. J. Mittoni, S. Finn, J. Pluta, "Optimising the Design of Fume Extraction Hoods Using a Combination of Engineering and CFD Modelling", Applied Mathematical Modelling, Vol. 30, No.11, pp.1167-1179. 2006,

[14] Dudley, D.W., 1984, Hanbook of Practical Gear Design, McGraw-Hill. ANSI/AGMA 2003-A86, Rating the Pitting and Bendinf Strength of Generated Straight Bevel, ZEROL Bevel, and Spiral Bevel Gear Teeth. 2008,

[15] Choong Hyun Kim, Hyo Sok Ahn and Tae Hyong Chong, 2003, "On a Method for the Durability Enhancement of Plastic Spur Gear Using Finite Element Analysis", Transactions of the KSME A, Vol. 27, No. 2, pp.223-230. 2006.

### 장 성 철(Sung-Cheol Jang)

[정회원]



- 2004년 2월 : 경남대학교 대학원 기계공학과(공학박사)
- 2004년 3월 ~ 2009년 8월 : 삼원중공업(주) 기술연구소 연구소장/상무이사
- 2009년 9월 ~ 현재 : 한국폴리텍IV대학 충주캠퍼스 기계시스템과 교수

<관심분야>

공유압/PLC 자동화, 사물인터넷, 인공지능, 제조혁신

### 이 정 원(Jung-Won Lee)

[정회원]



- 1982년 2월 : 한국폴리텍VII대학 창원캠퍼스 졸업(전문학사, 기능장)
- 2007년 2월 : 창원대학교 경영학과(경영학사)

- 2009년12월 ~ 현재 : (주)에스엠티 대표이사/연구소장, 경상대학교 대학원 기계공학과 석사과정 재학 중

<관심분야>

자동화, 조선/해양, 환경플랜트, 소방설비 및 부품