

# 환기시스템용 4000CMM급 송풍기 개발에 관한 연구

이천석\*, 이원욱\*, 장성철\*\*, 이종섭\*\*\*,#

\*(주)디에이치아이 기술연구소, \*\*한국폴리텍IV대학 충주캠퍼스 기계시스템과,

\*\*\*경남과학기술대학교 엔진부품검증센터

## A Study on the Development of a 4,000CMM Grade Blower for a Ventilation System

Cheon-Suk Lee\*, Won-Uk Lee\*, Sung-Cheol Jang\*\*, Chung-Seob Yi\*\*\*,#

\*R&D Center, DHI LTD., CO., \*\*Korea Polytechnic IV College Dept. of Mechanical System

\*\*\*Gyeognam National University of Science and Technology, Engine Parts Verification Center

(Received 22 November 2016; received in revised form 9 December 2016; accepted 14 December 2016)

### ABSTRACT

This study is about the development and revision of a blower design for a ventilation system. In this study, to describe the flow in the 4000CMM grade blower, 3-dimensional steady-state turbulence was assumed to govern the flow equation. The flow field with velocity distribution according to the elbow duct of the ventilation system is also compared. Finally, vibration was observed in the blower at the installation to ventilation system. The cause was due to a problem in the manufacturing process of the airfoil type impeller.

**Key Words :** Blower(송풍기), Ventilation System(환기시스템), Impeller(임펠러), CFD(전산유체역학)

### 1. 서 론

일반적으로 산업용 송풍기는 플랜트 등 널리 적용되고 있는 유체기계 중의 하나이다. 특히 소형 송풍기의 경우 용량별 대량생산을 통해 환기용 등으로 사용되고 있는 반면 육상 및 해상 플랜트에 적용되는 송풍기의 경우 플랜트 특성상 시스템 설계를 통해 최종 요구 송풍기의 성능이 결정되기 때문에 주문생산을 통해 생산되고 있는 것이 특징이다. 산업용으로 사용되는 송풍기는 대부분 환기용으로 많이 사용되고 있으며, 집진기 등 여과장치와

함께 운전되고 있다. 반면 대형보일러와 같이 강제 급기용 송풍기의 경우 풍량제어를 위한 댐퍼를 설치하여 댐퍼 개폐각도에 따른 유량을 공압식 또는 전기식 액추에이터를 통해 제어하고 있다.<sup>[1-2]</sup>

대형공장의 경우 작업자의 호흡기 질환 등에 대한 작업장내 공기질 관리를 위해 실내 환기시스템을 구축하고 있다. 과거 국내의 작업장의 경우 천장에 설치하는 자연환기장치나 환기창 및 소형 환기용 송풍기가 많이 설치되어 있었다. 그러나 최근 작업자의 작업환경 개선을 위해 환기시스템을 체계적으로 시스템화 시켜 적용하고 있다. 특히, 유독성 가스가 많이 배출되거나 사용하는 작업장의 경우 환기시스템 적용이 적극적으로 이루어지고 있다.

최근 컴퓨터 시뮬레이션 기술이 발전함에 따라 설계에 대한 검증은 수치해석을 통해 확인하고 있으며, 특히, 본 연구 대상인 환기시스템용 대형 송

# Corresponding Author : [csyi@gntech.ac.kr](mailto:csyi@gntech.ac.kr)

Tel: +82-55-751-3865, Fax: +82-55-751-3631

풍기의 경우 대량생산이 아닌 설비성능에 따라 송풍기 성능이 달라지기 때문에 개별설계를 통해 생산할 수 밖에 없는 구조를 가지고 있다.<sup>[3-4]</sup>

본 연구는 대형 작업장에 적용되는 환기시스템에 적용되는 송풍기에 관한 연구이며, 플랜트 설계상 요구되는 송풍기 용량에 대한 설계와 유동해석을 통해 예측한 성능을 비교하였고, 실제 송풍기를 제작하여 설치하였때 발생하였던 진동발생 문제를 해결한 과정을 통해 향후 설계 개선점을 확인하고자 하였다.

## 2. 송풍기 유동해석

### 2.1 유동해석모델

본 연구 대상인 4,000CMM급 송풍기에 대한 정상상태에 대한 유동상태를 파악하기 위한 지배방정식으로는 연속방정식, 운동량방정식, 난류에너지 방정식, 난류소산방정식 그리고 에너지방정식이 사용되었다. 여기서 난류모델은 Realizable  $k-\epsilon$  two layer 모델을 적용하였고, 속도와 압력의 연결은 Segregated 알고리즘을 채택하였다. 또한 작동 유체에 대한 밀도변화는 온도와 압력에 영향을 받는 이상기체 상태방정식을 적용하였다.

임펠러에 회전력을 부여하기 위해 MRF기법을 적용하여 제어체적인 격자를 회전시키지 않고도 임펠러의 회전효과를 부여하여 정상상태에서 송풍기에 대한 유동해석을 상용코드인 STAR-CCM+를 사용하여 수행하였다.

송풍기는 항상 일정하게 유동이 흡입되고 토출되는 특성이 있기 때문에 MRF를 사용한 계산이 공학적으로 타당성이 있으며<sup>[4]</sup>, 특히, 본 연구의 주된 관심인 전반적인 유동형태를 파악하기 위한 계산에서 효율적인 해석결과를 도출할 수 있다.

### 2.2 경계조건

송풍기에 대한 유동해석을 수행하기 위해 Fig. 1과 같이 입구는 대기압인 101,1305Pa로 설정하고, 출구는 104,757Pa로 가정하였다. 이러한 이유는 송풍기 성능에 대한 요구조건을 반영한 것이었다. 일반적으로 산업용 송풍기의 경우 플랜트에 설치되기 때문에 전체 플랜트 설계자가

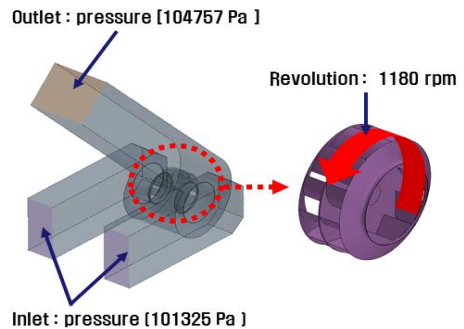


Fig. 1 Boundary conditions

요구한 풍량-풍압을 만족시켜야 되기 때문이다.

송풍기 케이싱과 임펠러 사이에 물리량을 전달 받을 수 있는 Interface를 설치하여 이를 경계로 임펠러가 1,180rpm 으로 회전할 수 있도록 경계조건을 부여하였고, 케이싱의 벽면은 모두 단열조건을 부여하였다. 또한 해석 값의 수렴판정은 잔차 값이  $10^{-3}$ 이하로 설정하였다.<sup>[7-9]</sup>

### 2.3 유동해석 결과 및 고찰

Fig. 2는 유동해석을 수행한 결과를 나타내고 있으며, 임펠러를 중심으로 단면에 대한 결과 값을 나타내고 있다. 우선 속도분포인 (a)의 경우 임펠러 토출측에서 가장 큰 속도가 발생되고 케이싱 내부에 유동재순환 영역을 발생시키면서 불류터를 따라 출구로 빠져나가고 있는 것을 확인할 수 있었다. (b)의 정압분포의 경우 입구측에 흡기부압(-)이 발생하고 임펠러를 거치면서 압력이 정압(+) 발생되어 출구까지 압력이 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 (c)의 전압의 경우 정압과 마찬가지로 임펠러 토출구간 부터 압력이 상승함을 확인할 수 있었다. (d)의 경우 임펠러 회전에 의해 유입된 대기공기가 압축되어 온도가 상승함을 확인할 수 있었다.

Table 1은 송풍기 설계 값과 유동해석 값을 비교한 것으로, 유량과 전압이 설계 값에 비해 약 5% 이내 범위에 있었다. 따라서 유동해석결과를 바탕으로 식(1)을 사용하여 송풍기에 대한 효율이 81.30%가 됨을 확인할 수 있었다.

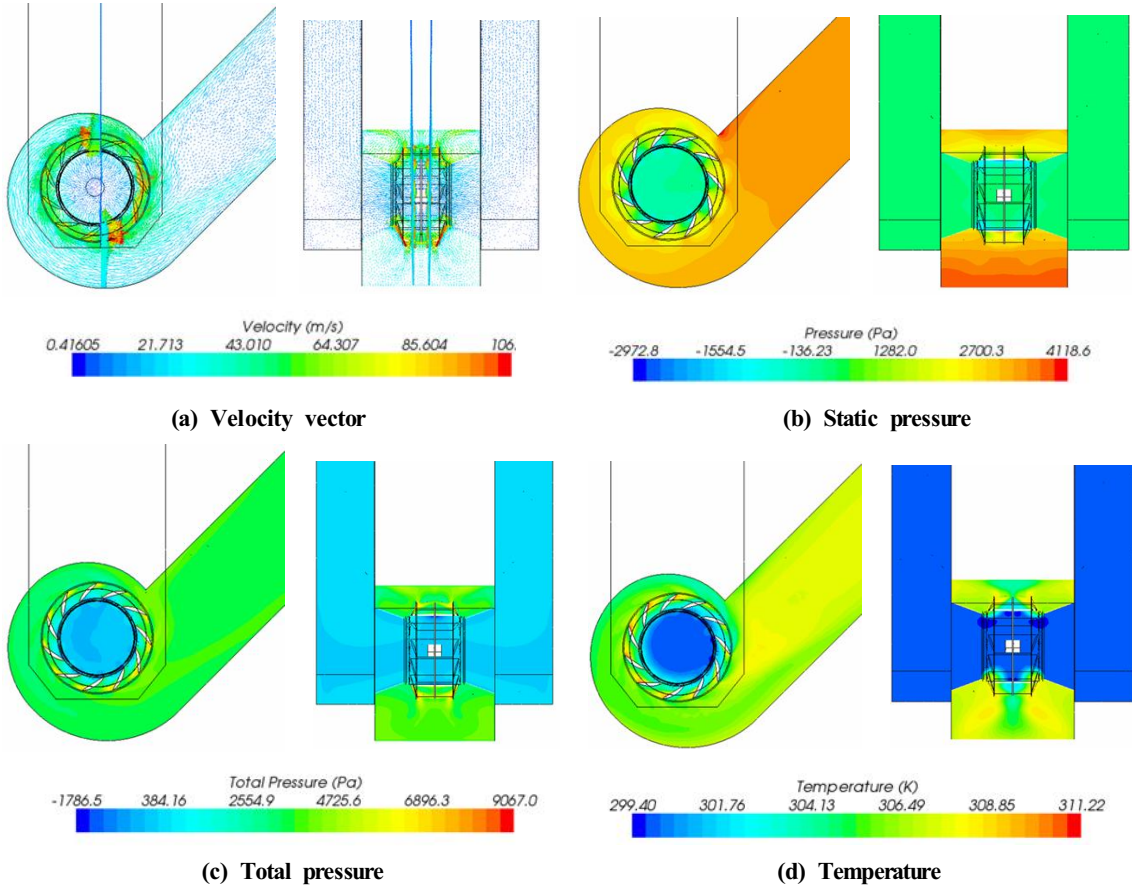


Fig. 2 Results of vector and scalar contour

Table 1 Comparison of results

	Design	CFD
Flow rate[CMM]	4,000	4,158
Total pressure[mmAq]	350	359

$$\eta = \frac{Q \times P_t}{3,600 \times 102 \times HP} = 81.30\% \quad (1)$$

여기서 유량  $Q=249,480\text{m}^3/\text{hr}$ , 전압  $P_t=359\text{mmAq}$ , 동력  $HP=300\text{kW}$ 이다.

해석을 통해 송풍기에 대한 성능을 예측하였고, 이를 근거로 Fig. 3과 같이 4,000CMM급 송풍기를 제작하였다.



Fig. 3 Production of 4,000CMM grade fan

### 3. 송풍기 운전문제점 보완

최종 환기용 4,000CMM급 송풍기 제작 후 실제 환기시스템에 적용하여 시운전한 결과 송풍기에서 진동문제가 발생하였다. 따라서 Fig. 4와 같이 송풍기를 지지하고 있는 하부 프레임에 지지대를 1차적으로 보강하여 구조물을 보완하였다.

최초 과대진동 발생이 발생하여 보강작업을 수행한 결과 진동 값이 수평과 축 방향에서 28mm/s에서 26mm/s로 감소하였으나 여전히 높은 진동 값을 나타내고 있었다. 따라서 Fig. 5와 같이 댐퍼를 개방할 때 입구쪽에서 와류가 발생하여 송풍기 케이싱을 주기적으로 흔드는 형식의 유동에 의한 진동이 발생하여 Inlet Cone과 댐퍼 하단에 유동을 안내할 수 있는 가이드를 설치하여 유동분포를 확인하였다.

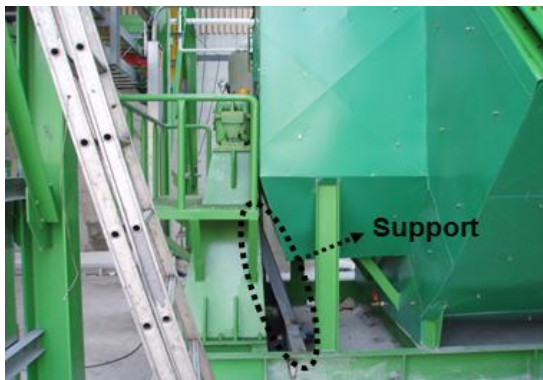


Fig. 4 Result of 1<sup>st</sup> complement

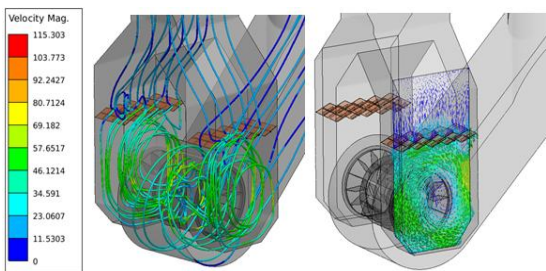


Fig. 5 Result of velocity according to install the damper



Fig. 6 Result of 2<sup>nd</sup> complement



Fig. 7 Result of 3<sup>rd</sup> complement

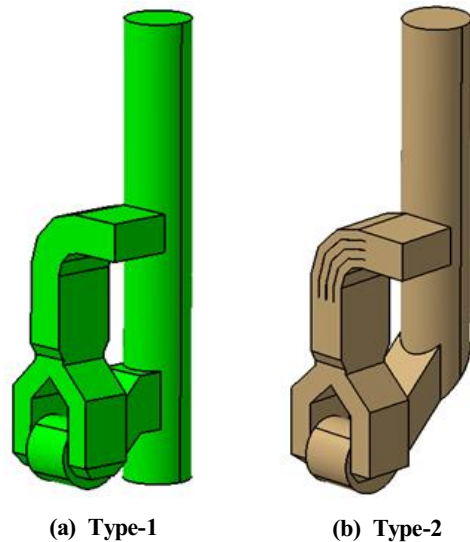


Fig. 8 Modification of the fan design

Fig. 6은 유동 시뮬레이션 분석을 기반으로 Damper 와 Inlet Cone 에 유동의 흐름을 안내할 수 있는 Guide 를 설치하여 수평방향과 축방향의 진동이 26mm/s에서 22mm/s로 감소하였으나 여전히 근본적인 문제해결은 아니었다. 이때 현장에서 분석한 결론으로 부하측 베어링 베이스 강성부족에 의해 진동이 발생하는 것으로 판단하여 Fig.

7과 같이 반 부하측 베어링 하우징 베이스를 콘크리트로 강성을 보강하고 Inlet Chamber 양쪽에 각각 강성을 부여하기 위하여 콘크리트로 보강하여 진동을 억제시키려 하였다. 진동 측정 결과 수평방향에서 22mm/s에서 18mm/s 의 진동이 감소하였으나 여전히 근본적으로 진동이 억제되지 않았다. 여러 가지 강성을 보강하는 방법으로 진동을 저감시키려고 시도하였으나 최초 28mm/s에서 18mm/s정도만 감소하는 결과를 얻을 수 밖에 없었다. 따라서 임펠러 축 직경과 형상이 근본적으로 문제가 발생한 것으로 판단하였다.

Fig. 8은 전반적으로 송풍기 시스템에 대한 문제점을 파악하기 위해 일부 설계 변경하여 유동해석을 통해 유동적인 영향을 파악하고자 하였다. (a)의 경우 최초 설계된 타입이며, (b)의 경우 최종 설계된 모델이다. Type-1에서 Type-2로 변경되는 과정을 보면 Fig. 9와 같이 임펠러, 가이드, 스택구조변경이 이루어졌다. (a)의 임펠러의 경우 최초 에어포일 타입으로 설계하여 제작하였으나, 판재용접을 통해 제작하는 방식으로 제작되었기 때문에 블레이드 형상이 일부 균일하지 못한 점이 발생되었기 때문에 용접시 변형이 상대적으로 적은 터보타입으로 변경하였다.

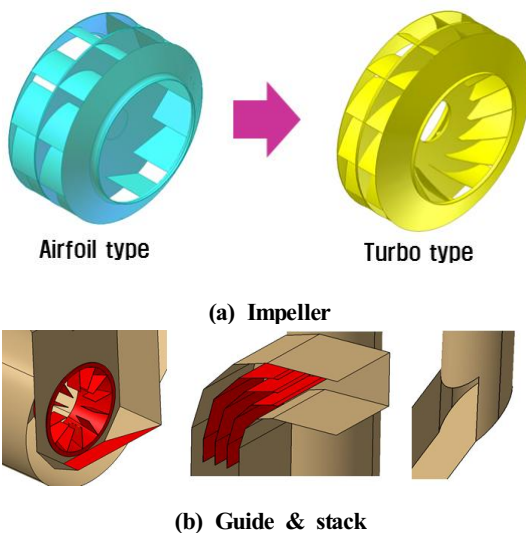


Fig. 9 Modification of inlet

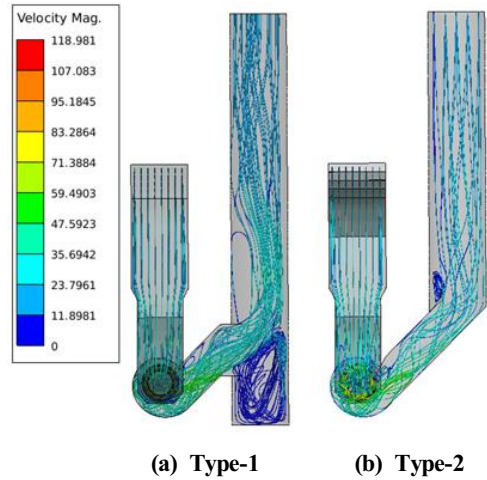


Fig. 10 Comparison of streamline

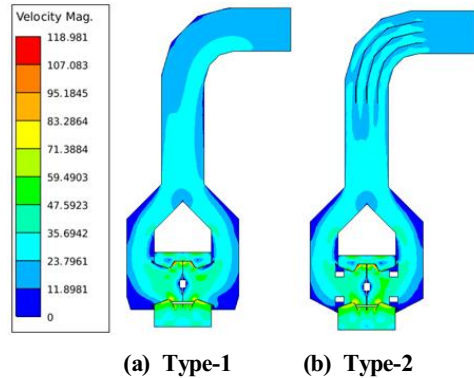


Fig. 11 Comparison of velocity

엘보덕트에 베인을 설치하여 분지관에서 유동을 안정화 시키는 시도와 토출구의 스택을 유동이 매끄럽게 흘러갈 수 있도록 설치하여 유동흐름의 추이를 살펴보고자 하였다. 또한 Inlet Cone에 부착되는 베인을 조정하고, 엘보덕트에 베인을 설치하여, 흡입유동을 매끄럽게 흐르도록 하였고, 출구부의 스택을 기존모델에서 완전 수정하여 매끄럽게 빠져나가도록 구조변경을 수행하였다.

Fig. 11은 유선분포를 비교한 것이며, Type-1에 비해 최종 수정된 Type-2가 송풍기 출구와 스택에서 유동 재순환 발생이 억제되어 배기가 원활하게 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다.

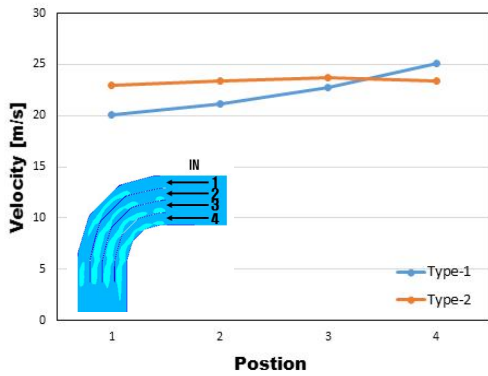


Fig. 12 Comparison of elbow duct inlet

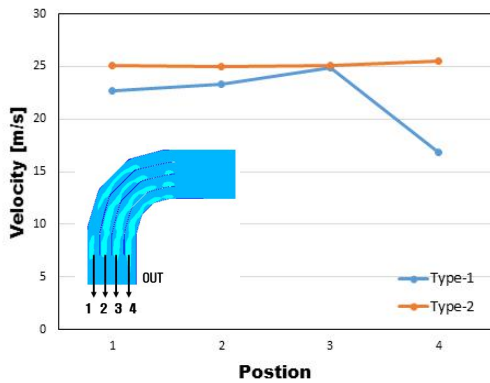


Fig. 13 Comparison of elbow duct outlet

한 Fig. 12에서 Type-2 입구부에 엘보 덕트 내부에 설치된 가이드 베인과 임펠러 유입부에 설치된 가이드 베인 덕분으로 유입되는 유동이 Type-1에 비해 유동이 좌우 균일하게 유입되는 것을 확인할 수 있었다.

송풍기로 흡입되는 흡입덕트가 수직으로 설치되어 있어 임펠러 Inlet Cone으로 유입될 때 기존모델의 경우 아래방향으로 편심되는 각도가 비교적 컸고, 엘보 덕트 내부에 가이드 베인이 설치될 경우 분지관에서 유량분배가 비교적 배분되는 것을 확인할 수 있었다.

가이드 베인이 없을 경우 왼쪽 분지관으로 먼저 유입됨을 확인할 수 있었고, 엘보 덕트 내부



Fig. 14 Final production of 4,000CMM grade fan

에 가이드 베인을 설치할 경우 분지관 오른쪽으로 먼저 유입되지만 왼쪽과 시간차이는 미약하였다. 즉, 가이드 베인의 설치로 인해 분지관에서 동일한 유량을 배분할 수 있는 구조를 가지고 있는 것으로 판단된다. 송풍기의 토출덕트와 스택과의 연결은 유동이 잘 빠져나갈 수 있도록 최대한 장애물이 없는 구조를 가져야됨을 알 수 있었다.

Fig. 14는 최종 설계변경을 통해 보완된 송풍기의 설치사진이며, 임펠러 축 직경을 190mm 에서 300mm 로 변경하고 임펠러 형상을 에어포일 타입에서 터보타입으로 변경하여 진동을 측정된 결과 18mm/s 에서 2mm/s 로 감소됨에 따라 근본적인 진동문제를 해결할 수 있었다.

#### 4. 결론

대형 작업장의 환기시스템에 적용되는 대형송풍기에 대한 설계와 유동해석을 통해 예측된 기본적인 성능을 비교한 결과 해석 값이 다소 높게 나타났으나 전반적으로 설계치를 잘 만족하였다. 또한 유동해석을 통한 결과를 바탕으로 송풍기의 전압효율을 예측한 결과 약 81%로 비교적 높게 나타났다.

실제 송풍기를 제작하여 현장에 설치하였을 때 송풍기에 설치된 에어포일 타입의 임펠러 제작공정에 의해 균일하지 못한 에어포일 형상으로 인한 진

동이 발생하였고, 최종적으로 임펠러를 터보 타입으로 변경함에 따라 진동이 억제되었다.

송풍기를 환기시스템에 결합할 때 덕트의 각도가 중요하며, 특히 흡입부인 엘보 덕트를 사용할 경우 유동 안정성을 확보할 수 있는 충분한 길이가 필요하며, 작업여건상 길이 확보가 되지 않을 경우 내부에 가이드 베인을 설치할 경우 유동 안정성을 확보할 수 있는 것을 확인하였다.

## REFERENCES

1. Jang, S. C., Cho, H. D., Kim, N. K., "Development of Gear Type Vane Damper Change Link Type in FD Fan," J. of KSMTE, Vol. 13, No. 1, pp. 104, 2007.
2. Jang, S. C., Han, S. H., Kim, J. W., "A Study on Performance Improvement of Gear Type Vane Damper in FD Fan(Productivity Increases&Construction Improvement)", J. of KSMTE, Vol. 19, No. 1, pp. 134-139, 2010.
3. Yi, C. S., Jeong, I. G., Yun, J. H., Suh, J. S., Jang, S. C., "A Study on Development of Vane Damper for Industry Flow Control Fan", J. of KSMTE, Vol. 21, No. 1, pp. 137-143, 2012.
4. Yun, J. H., Jeong, I. G., Yi, C. S., Suh, J. S., "Flow Characteristics due to Cutoff angle of Turbo-Fan for Industries", J. of KSMPE, Vol. 10, No. 5, pp. 91-96, 2011
5. Jang, S. C., Jung, W. B., Yi, C. S., "A Study on Performance Improvement of Gear Type Vane Damper in Marine/Offshore FD Fan", J. of KSMPE, Vol. 14, No. 2, pp. 7-13, 2015.
6. Lim, K. B., Lee, K. S., Lee, C. H., "A Numerical Study on the Characteristics of Flow Field, Temperature and Concentration Distribution According to Changing the Shape of Separation Plate of Kitchen Hood System" J. of KSME(B), Vol. 30, No. 2, pp. 177-185, 2006.
7. Yi, C. S., Jang, S. C., Choi, J. H., "Numerical Analysis on Hood Shape Improvement of Local Ventilation System", J. of ACRE, Vol. 21, No. 4, pp. 260-265, 2009.
8. Park, J. Y, C., Yi, C. S., Chin, D. H., "Numerical Analysis on the Development of Shut off Damper for Tsunami at Nuclear Plant", J. of KSMTE, Vol. 23 No. 5, pp. 471-477, 2014.
9. Yi, C. S., "Numerical Analysis of the Kitchen Hood Ventilation System for Marine Environment", J. of KSMPE, Vol. 14, No. 5, pp. 96-101, 2015.