

# Turbo Fan 형상에 따른 맥동압력에 관한 수치해석

이 중 섭\*, 서 정 세\*\*, 송 철 기\*\*, 홍 정 규\*\*\*, 신 유 인\*\*\*\*

\*경상대학교 BK21사업단(첨단기계), † 경상대학교 기계항공공학부

\*\*경상대학교 기계항공공학부, \*\*\*경상대학교 대학원

## A Numerical Analysis on Pressure Pulsation with Turbo Fan Shape

Chung Seub Yi\*, Jeong Se Suh†, Chul Ki Song\*\*, Jeong Kyu Hong\*\*\*, You In Shin\*\*\*\*

*\*2nd Stage BK21(AMAEPP), Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea*

*\*\*School of Mechanical & Aerospace Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea*

*\*\*\*Graduate School of Mechanical Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea*

**ABSTRACT:** This study simulates the flow characteristics of the turbo-fan which was applied to the industrial scale. Numerical analysis has been carried out to investigate a pulsation behavior of exhaust air that flow out the turbo fan, considering a constant rotating rate of impeller. Moving mesh technique provides time-accurate solutions for the flow inside an impeller. From the numerical results, FFT analysis has been made for pressure pulsations inside turbo-fan casing. The numerical simulation shows the pulsation of model-2 has higher than model. Additionally, BPF value is almost same as the numerical results.

**Key words:** Turbo Fan(터보형 송풍기), FFT(고속 푸리에 변환)

### 1. 서 론

본 연구는 산업용 보일러 강제급기용 또는 집진기에서 가장 널리 사용되고 있는 송풍기형식 중 하나인 Turbo-Fan에 대한 연구이다. 현재 산업용 송풍기의 경우 대형일 경우 대량생산체계를 갖추고 있는 것이 아니라 소량다품종 시스템으로 생산되고 있기 때문에 제품설계에 대한 최적화에 어려움이 따르는 것이 현실이다. 현재 대부분 제조업을 기반으로 하는 중소기업에서 대형 산업용 송풍기에 대한 제작을 담당하고 있기 때문에 신제품 개발에 대한 부담과 한계에 직면해 있는 것도 현실이다. 이러한 개발 부담을 저감시키기 위해 최근 컴퓨터를 이용한 유동시뮬레이션에 의한 해석적인 접근이 이루어지고 있다.

현재 송풍기관련 연구는 대부분 축류형에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며 대형 Turbo형에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않으며 소형

Turbo형 송풍기의 소음저감대책에 대한 연구가 이루어지고 있다. 또한 자동차 HVAC에 사용되는 시로코형 송풍기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(1-4)</sup>

최근 HVAC에 대한 관심이 증가되고 특히, 산업현장의 근로자들에 대한 보건환경에 대한 욕구가 점차 증가하여 Clean 사업장에 대한 관심이 높아지고 있다. 비교적 열악한 환경에 노출되어 있는 작업장 근로자들의 경우 일반 사무직 근로자에 비해 호흡기관관련 질환이 높게 발생하고 있고 Wellbing이라는 최근 이슈화된 건강에 대한 관심이 높아지면서 제조업분야의 중소기업에서도 환경에 관한 관심이 증가하고 있다.

산업에 적용되는 HVAC 시스템의 경우 기존 설비는 작업장 또는 특정구간에서의 환기성에 보다 많은 관심을 기울였으며, 설비자체에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 따라서 송풍기의 경우 HVAC 설비에서는 고작 일부 품목에 지나지 않기 때문에 설계 및 해석에서 기본적인 성능 데이터를 기반으로 HVAC 설비를 해석하고 있는 실정이다.<sup>(5-6)</sup> 따라서 본 연구는 Fig. 1과 같은 산업용에서 많이 사용되는 대형 Turbo형 송풍기 내부

† Corresponding author

Tel.: +82-55-751-5312; fax: +82-55-757-5622

E-mail address: jssuh@gnu.ac.kr

유동에 따른 압력과 온도에 대한 맥동현상을 파악하고 분석함으로써 설계에 적극적으로 반영할 수 있는 자료를 도출하고자 한다.

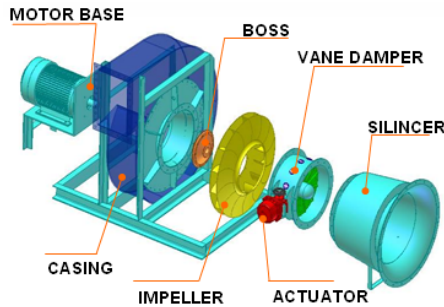
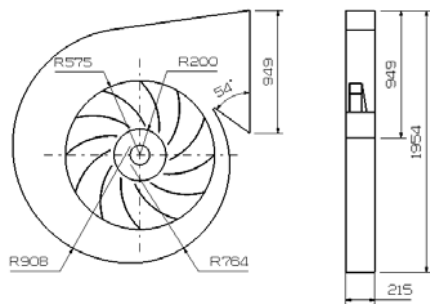


Fig. 1 Structure of industrial turbo type fan.

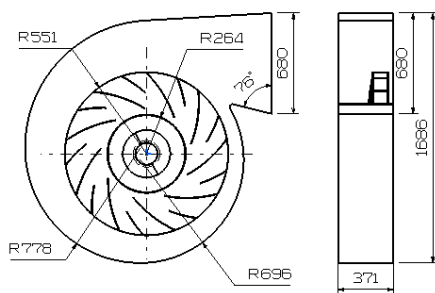
## 2. 수치해석 방법

### 2.1 수치해석 모델

본 연구를 위해 수치해석 모델은 현재 산업에서 가장 많이 사용되고 있는 Turbo형 송풍기이며 해석대상은 임펠러 출구를 벗어난 직후 임의의 point에 대하여 Fig. 2와 같이 임펠러 형상에 따른 맥동압력을 확인하고자한다. 따라서 본 연구에 사용된 수치해석 모델은 Table 1과 같이 정리할 수 있다.



(a) model-1



(b) model-2

Fig. 2 Numerical analysis model.

Table 1 Numerical analysis model.

Governing Eq.	continuity
	momentum
	turbulence
	energy
pressure coupling	segregated
turbulence model	k-ε standard
time domain	steady and transient
mesh type	moving mesh

### 2.2 경계조건

Turbo형 송풍기의 임펠러는 기하학적 형상이 정지되어 있는 것이 아니라 실제로 회전을 하면서 임펠러 입구에서 출구로 빠져나가면서 압력을 형성하게 된다. 이때 수치해석상 기법에서 임펠러의 영역이 실제회전하기 않고 회전한다고 가정하여 그 영역에 Spin을 주어 정상상태로 해석하는 MRF(Multiple Reference Frame)를 사용하여 송풍기에 대한 유동을 정상상태로 계산한 후 맥동에 관한 영향을 고찰하기 위해 Rigid Body Motion을 사용하여 임펠러 회전 각도를 1°씩 증가시켜 비정상상태로 계산을 수행하였다. 이 방법은 회전영역인 임펠러와 정지영역인 케이싱사에 물리량을 전달받을 수 있는 Interface를 설치하여 이 Interface를 경계로 임펠러가 회전할 수 있도록 경계조건을 부여하였다. 또한 매 Time step시 Inner iteration은 50회로 설정하여 잔차값이  $10^{-3}$ 이하로 유지되도록 하였다.

송풍기 입출구는 대기압으로 가정하였으며, 이때 온도는 26°C이다. 또한 모든 벽면에 대해서는 단열조건을 부여하여 임펠러 회전에 의한 압력분포를 확인하고자 하였다.

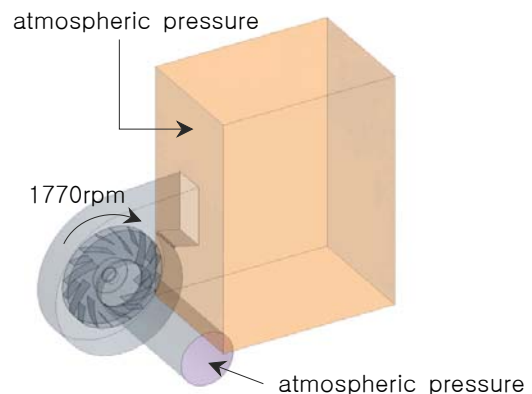
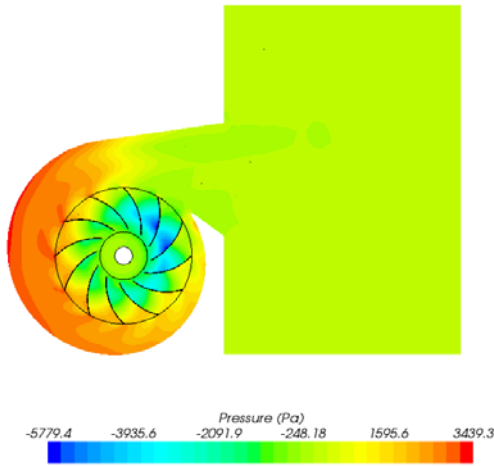
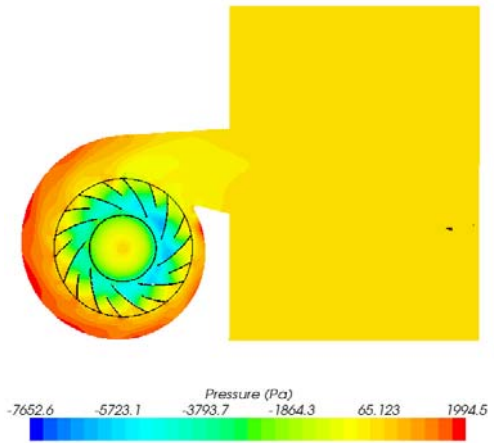


Fig. 3 Boundary conditions of analysis model.

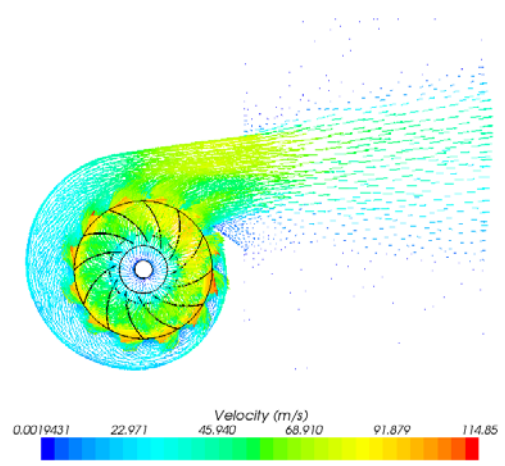


(a) model-1

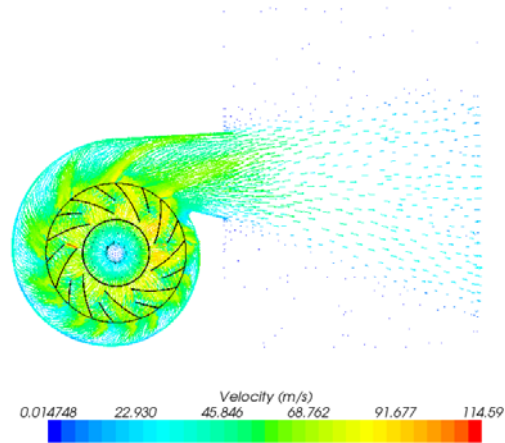


(b) model-2

Fig. 4 Result of pressure contour in turbo fan at impeller center.



(a) model-1



(b) model-2

Fig. 5 Result of velocity vector in turbo fan at impeller center.

### 3. 수치해석 결과 및 고찰

#### 3.1 정상상태 해석결과

송풍기 내부 맥동압력을 계산하기 전에 정상상태 해석을 통해 유동을 안정화 시킨 후 비정상상태 해석을 수행하였다. 따라서 정상상태 해석결과를 통해 정성적으로 분석하여 모델별 차이점을 파악하고자 한다.

Fig. 4는 정압분포 계산결과를 나타내고 있다. model-1에 비해 model-2의 경우 볼류터에서 압력이 증가되지 못하고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 결국 토출구로 작동유체가 빠져나갈 때 풍압이 낮아지는 결과를 초래하였다.

Fig. 5는 속도분포 계산결과를 나타내고 있다.

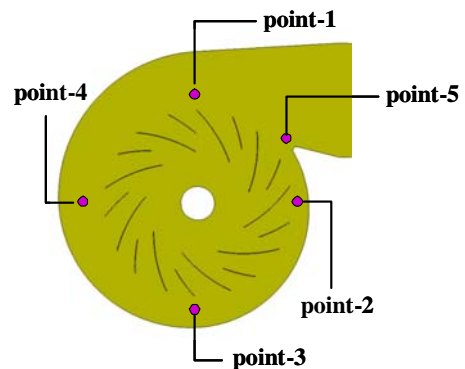


Fig. 6 Sensor positions for getting data.

임펠러 출구 주속도는 약 115m/s로 거의 동일하게 발생되지만 model-2의 경우 model-1에 비해 임펠러 출구를 빠져나가 볼류터에서 속도가 증가

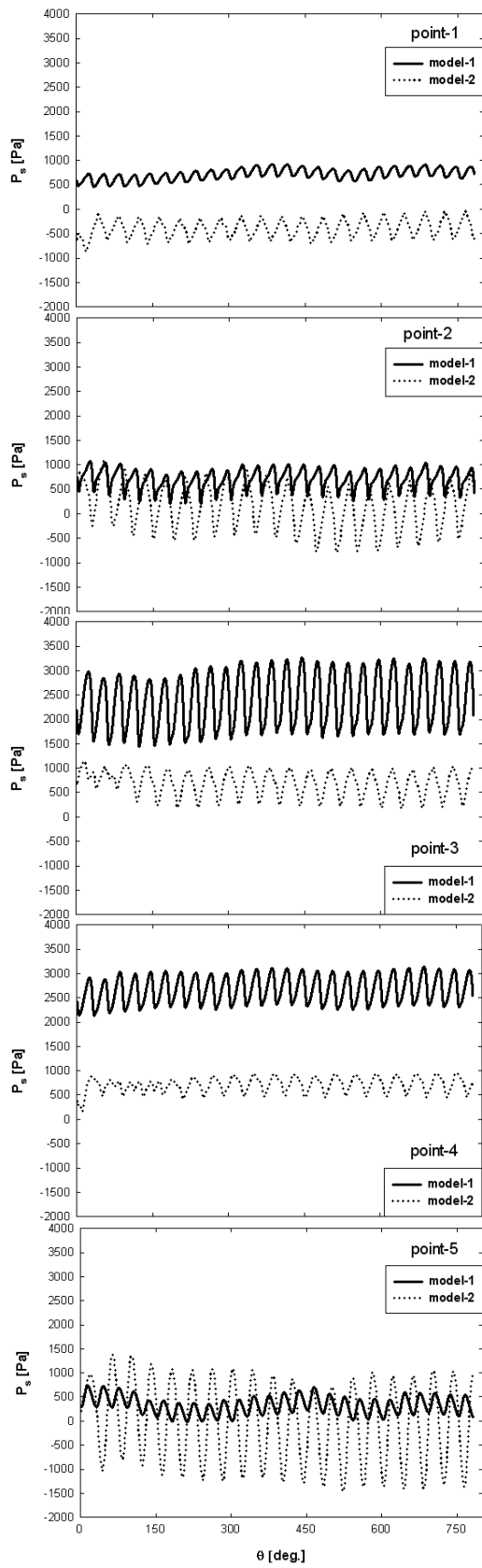


Fig. 7 Results of pressure pulsation at sensing position.

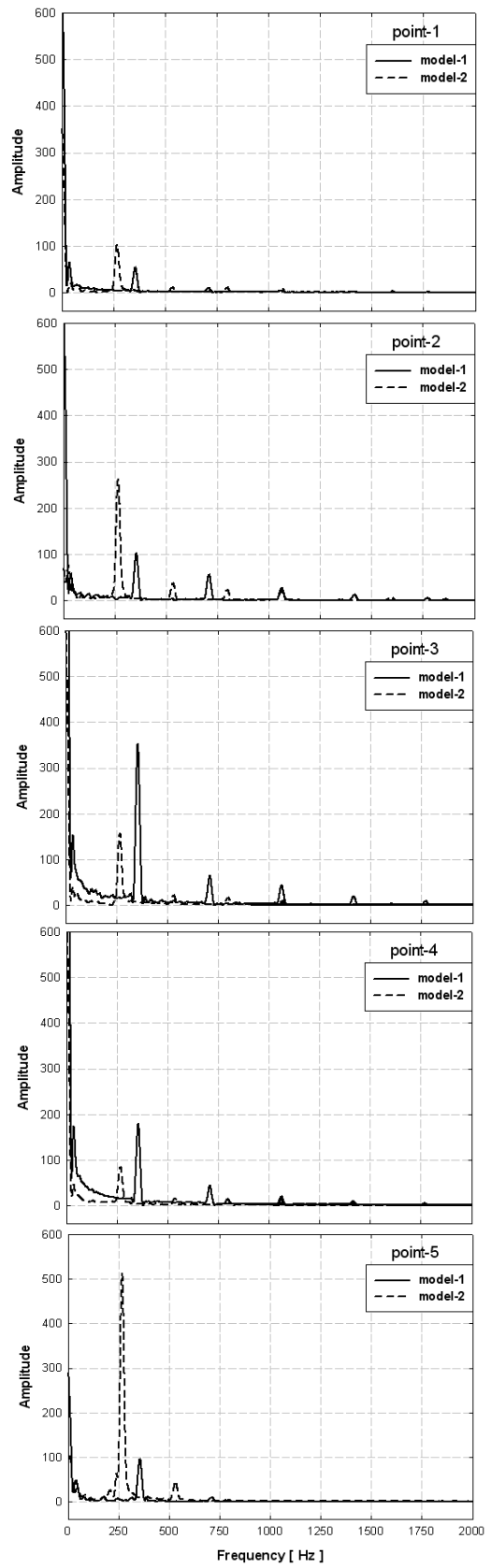


Fig. 8 Results of FFT for pressure pulsation at sensing position.

함을 알 수 있었다. 이러한 속도가 증가하게 되면 동압이 높아지게 되므로 상대적으로 정압이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과로만 볼 때 model-1이 다소 우수한 설계인 것으로 판단된다. 그러나 대부분의 송풍기는 덕트로 연결되어 있기 때문에 송풍기 출구에서 정압은 보다 높게 증가하기 때문에 실제 송풍기 블류터에서는 동압이 아주 낮게 나타나는 것을 감안해야 할 것으로 판단된다.

### 3.2 비정상상태 해석결과

본 연구의 주된 목적인 비정상상태에서 임펠러 출구에서의 맥동압력을 고찰하는 것이다. 따라서 Fig. 6과 같이 총 5지점에 가상의 센서를 설치하여 이 센서를 통과할 때의 압력을 측정하여 FFT 분석을 수행하였다.

임펠러 깃 통과주파수를 아래의 식(1)을 사용하여 계산한 후 수치해석 결과와 비교하고자 한다.

$$BPF = \frac{Z \times N}{60} \quad \text{식(1)}$$

여기서 Z는 임펠러 깃 개수, N은 회전수이다. 고유진동수의 경우 계산 값과 CFD 결과는 Table 2와 같으며 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

**Table 2** Numerical analysis model.

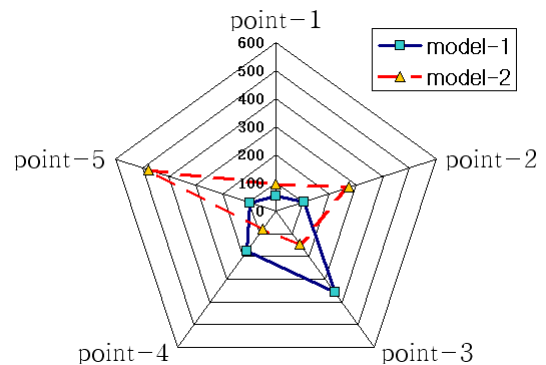
	calculation	CFD
model-1	354 Hz	353.22 Hz
model-2	265.5 Hz	270.11 Hz

Fig. 7은 가상의 센서를 설치한 지점에서 임펠러 회전각도에 따른 압력분포를 보여주고 있다. 여기서 point-1의 경우 송풍기 상부쪽이기 때문에 블류터에서 충분히 압력이 증가되어 대기로 토출되어야 되는 구간이다. 따라서 model-1이 정압이 높게 나타나므로 model-2에 비해 토출시에는 유리한 구조임을 알 수 있었다. 또한 point-2의 경우 송풍기 cutoff 지역을 지나 블류터의 시작구간이 된다. 여기서도 마찬가지로 model-1이 높은 정압분포를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 정압이 높게 나타나고 있는 것으로

보아 임펠러에서 충분히 압력을 생성하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 model-2의 경우 그렇지 못한 것으로 판단된다. 즉, model-2의 경우 정압보다는 동압이 큰 것으로 판단되며 동압이 커기 때문에 상대적으로 정압이 낮은 것으로 사료된다.

반면 point-3과 point-4의 경우 오히려 model-2가 맥동에 의한 진폭은 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 정압분포는 여전히 model-1이 높은 것을 확인할 수 있었다. 그러나 cutoff 지점인 point-5의 경우 model-2가 맥동에 의한 진폭이 높게 나타났고, 정압분포는 model-1이 낮은 것으로 나타났다. 이는 cutoff 각도가 model-1에 비해 model-2가 구조적으로 불합리하게 선정된 것으로 판단된다.

Fig. 8은 맥동압력에 따른 FFT 분석을 수행한 결과로써 맥동진폭 결과를 보면 model-1의 경우 54.47로 model-2의 96.55보다 약 42정도 낮은 것으로 나타났다. 또한 point-2도 마찬가지로 model-1이 102.93에 비해 model-2가 273.95로 약 171 정도 높은 압력진폭을 나타냄을 알 수 있었다. 반면 point-3의 경우 model-1이 353.78에 비해 model-2가 144.72로 약 209 정도 낮은 압력진폭을 나타내었고, point-4의 경우도 마찬가지로 model-1이 177.99에 비해 model-2가 78.21로 약 100 정도 낮은 압력진폭을 나타내고 있었다. 그러나 point-5의 cutoff 지점에서는 다시 model-1이 95.99로 model-2의 475.88에 비해 약 380 정도 낮은 압력진폭을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 고유진동수 지점인 1X에서의 압력진폭은 Fig. 9와 같이 정리할 수 있었다.



**Fig. 9** Comparison of amplitude at sensing positions.

결과적으로 cutoff 지점에서 맥동압력에 의한 영향이 송풍기 전체의 압력형성에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다. 즉, 정압분포가 대기압을 기준으로 음압이 크게 발생되기 때문에 이러한 영향이 point-2로 전달되고 결국 블류터에서 양압 생성에 불리한 환경을 조성한 것으로 사료된다. 결국 송풍기 설계에서 여러 가지 설계변수가 있지만 cutoff 각도의 경우 맥동압력에 큰 영향을 미치는 인자자인 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

산업용 공조시스템의 대형 송풍기로 널리 사용되고 있는 Turbo형 송풍기의 구조개선의 일환으로 송풍기 전체 높이를 줄이고, 덕트에 연결되지 않고 대기에 노출된 경우에 대하여 송풍기 내부 맥동압력에 대한 거동을 파악한 결과 임펠러 출구에서 생성된 압력은 model-1의 경우가 전반적으로 높게 나타남을 알 수 있었다. 반면 model-2의 경우 cutoff 지점인 point-5에서 가장 높은 압력진폭이 발생함을 알 수 있었다. 이로 인해 point-1과 point-2에 영향을 미치게 되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 실제 송풍기를 제작할 경우 유동에 의한 진동이 높아지는 결과를 초래할 것으로 사료된다. 추후 model-2의 cutoff 각도에 따른 맥동압력에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되며, 최적화된 cutoff 각도일 경우 model-2가 model-1에 비해 송풍기 높이는 낮으면서 동일한 요구성능을 가질 수 있을 것으로 기대된다.

#### 후 기

본 연구는 경상대학교 2단계 BK21 사업과 지역인력양성사업에 의한 지원과 삼원중공업(주)와 에스이엠(주)의 기술지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. B. G. Kim, H. W. Choi, H. T. Yong, M. H. Lee, 2005, Horizontal air-jet effect on the natural convection around a range-hood system, Korean Journal of Air-Conditioning

and Refrigeration Engineering, Vol. 4, pp. 333-340.

1. Werner, F. and Frik, S., 1995, "Optimization of an Automotive HVAC Module by Mean of Computational Fluid Dynamics, SAE, 950439.
2. Maeng, J. S., Yoon, J. Y., Ahn, T. J., Yoon, J. E. and Hahn, D. J., 1999, "An Experimental Study for Flow Characteristics Inside the Rotor of a Multi blade Fan/Scroll System", Trans. of the KSME(B), Vol. 23, No. 5, pp. 646~652.
3. Jeon, W. H., Baek, S. J. and Kim, C. J., 2003, "Analysis of the Aeroacoustic Characteristics of the Centrifugal Fan in a Vacuum Cleaner", Journal of Sound and Vibration, Vol. 268, Issues. 5, pp. 1025~1035.
4. Lee, D. W. and Yoo, S. Y., 2004, "A Numerical Study for Performance of Automotive HVAC System", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 11, pp.1084~1091.
5. P. J. Witt, C. G. Solnordal, L. J. Mittoni, S. Finn, J. Pluta, 2006, "Optimising the design of fume extraction hoods using a combination of engineering and CFD modelling", Applied Mathematical Modelling, Vol. 30, pp.1167-1179.
6. Lee, S. S., Moon, J. H., Lee, T. G., Lim Y. C. and Lee J. H., 2004, "Improvement of working environment by the space ventilation system in a large welding factory", SAREK winter conference, pp. 345-350.