

# 산업용 Turbo형 송풍기의 Cutoff 각도에 따른 유동특성

윤지훈\*, 정인국\*, 이종섭\*\*, 서정세#

## Flow Characteristics due to Cutoff angle of Turbo-Fan for Industries

Ji-Hun Yun\*, In-Guk Jeong\*, Chung-Seob Yi\*, Jeong-Se Suh#

(Received 18 July 2011; received in revised form 30 August 2011; accepted 6 October 2011)

### ABSTRACT

This study aims to analyze the flow characteristics of turbo-fan which is applied to the industrial field. Numerical analysis has been carried out to investigate the pulsation behavior of exhaust air flown out turbo fan by rotating impeller with constant speed. Moving mesh technique is proved as time-accurate solution for the flow inside impeller. As numerical results come within the error range of 1% by comparing with theoretical results, the numerical analysis can be verified. Cutoff angle has large influence on the amplitude of pulsation and the least pulsation of flow can be generated by the cutoff angle of 20°.

**Key Words** : Turbo-Fan(터보팬), Cutoff(컷오프), Pulsation(맥동), Moving Mesh(이동격자)

### 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 것 또한 현실이다. 이러한 개발 부담을 저감

시키기 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>[1,2]</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 호흡기 관련 질환이 높게 발생하고 있고 Wellbeing이라는 최근 이슈화된 건강에 대한 관심이 높아지면서 제조업분야의 중소기업에서도 환경에 관한 관심이 증가하고 있다.

\* 경상대학교 대학원

# 교신저자 : 경상대학교 기계공학부, 공학연구원(ERI)

E-mail : jssuh@gnu.ac.kr

\*\* 경상대학교 BK21(첨단기계)

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>[3,4]</sup>. 따라서 본 연구는 Fig. 1과 같은 산업용에서 많이 사용되는 대형 Turbo형 송풍기 내부 유동에 따른 압력에 대한 맥동현상을 파악하고 분석함으로써 설계에 적극적으로 반영할 수 있는 자료를 도출하고자 한다.

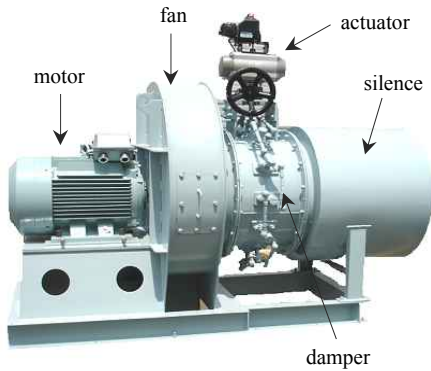


Fig. 1 Industrial turbo type fan

Table 1 Numerical analysis model

Parameter	Analysis model
Governing Eq.	Continuity
	Momentum
	Turbulence
	Energy
Pressure coupling	Segregated
Turbulence model	k-ε standard
Time domain	Steady and transient
Mesh type	Polyhedral moving mesh

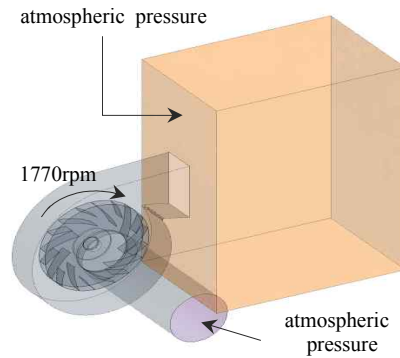


Fig. 2 Boundary conditions of analysis model

## 2. 해석모델 및 경계조건

### 2.1 수치해석 모델

본 연구를 위해 수치 해석적 모델은 현재 산업에서 가장 많이 사용되고 있는 Turbo형 송풍기이며 해석대상은 임펠러 출구를 벗어난 직후 임의의 point에 대한 맥동압력을 확인하고자 한다. 따라서 본 연구에 사용된 수치해석 모델은 Table 1과 같이 정리할 수 있다.

### 2.2 경계조건

Turbo형 송풍기의 임펠러는 기하학적 형상이 정지되어 있는 것이 아니라 실제로 회전을 하면서 압력을 형성하게 된다. 이때 수치해석상 기법에서 임펠러의 영역이 실제 회전하기 않고 회전한다고 가정하여

그 영역에 회전력을 부여하여 정상상태로 해석하는 MRF(Moving 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<sup>[5-7]</sup>.

이 방법은 회전영역인 임펠러와 정지영역인 케이싱 사이에 물리량을 전달받을 수 있는 Interface를 설치하여 이 Interface를 경계로 임펠러가 회전할 수 있도록 경계조건을 부여하였다. 또한 매 Time step시 Inner iteration은 50회로 설정하여 잔차 값이  $10^{-3}$ 이하로 유지되도록 하였다.

송풍기 입·출구는 대기압으로 가정하였으며, 이때 온도는 26℃이다. 또한 모든 벽면에 대해서는 단열조건을 부여하여 임펠러 회전에 의해 발생하는 밀도변화에 따른 온도영향을 고려하기 위해 작동유체를 이상기체로 가정하여 압력과 온도에 관한 함수를 적용하여 유동해석을 수행하였다.

유동해석을 통해 계산되는 비정상상태 유동영역의

특정지점인 Fig. 3과 같은 위치의 Point와 Cutoff 각도에 따른 정압 결과를 취득하여 시간에 따른 계산결과를 임펠러 회전각도 1°마다 저장하여 맥동압력 추이를 살펴보고, FFT분석을 통해 특정 주파수에서 진폭 차이를 고찰하여 진동의 세기를 판단하였다.

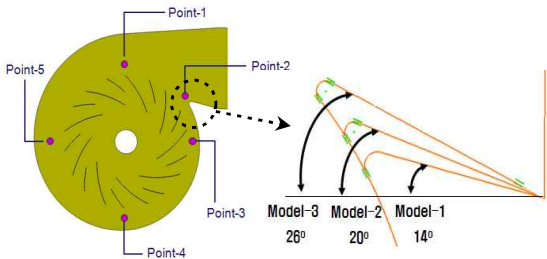


Fig. 3 Sensing positions and geometry parameter

### 3. 유동해석 결과 및 고찰

맥동유동을 분석하기 위해 초기단계로 정상상태일 경우에 대한 해석을 우선 수행한 후 임펠러 회전각도에 따른 비정상상태로 계산하였다. 이 방법을 채택한 이유는 비정상상태로 처음부터 계산할 경우 초기 임펠러 1~2회전까지 계산결과가 부정확하기 때문에 계산시간이 많이 소요된다. 따라서 정상상태의 수렴된 결과를 비정상상태의 초기 값으로 설정하여 해석할 경우 계산시간이 단축되기 때문이다.

Fig. 4는 Point-1에서 Cutoff 각도변화에 따른 맥동압력과 FFT 분석결과를 나타낸 것이다. 압력분포의 경우 Model-1이 500Pa 정도 낮은 분포를 나타내고 있는 반면 진폭은 가장 크게 발생함을 확인할 수 있었다. 또한 Model-2와 Model-3은 유사한 진폭으로 FFT 분석 결과에서도 고유진동수 지점인 1X(268.1Hz)에서 거의 같은 진폭을 나타내고 있으며, Model-1의 57% 정도로 진폭이 낮아짐을 확인할 수 있었다. 따라서 Point-1 지점에서는 Cutoff 각도가 20° 일 경우가 가장 진동발생이 적을 것으로 판단된다.

일반적으로 임펠러 깃 통과주파수(Blade Pass Frequency : BPF)는 식 (1)과 같이 간단하게 구할 수 있으며, 유동해석을 통한 고유진동수는 약 3Hz 높게

나타났지만 오차가 약 1%로 유동해석 결과가 적절한 것으로 판단된다.

$$BPF = \frac{Z \times N}{60} = \frac{9EA \times 1,770rpm}{60} = 265.5 [Hz] \quad (1)$$

여기서 Z는 임펠러의 블레이드 개수이며, N은 임펠러 회전속도이다. 분할 블레이드의 경우 임펠러 입구가 기준이므로 메인 블레이드 개수만 해당된다.

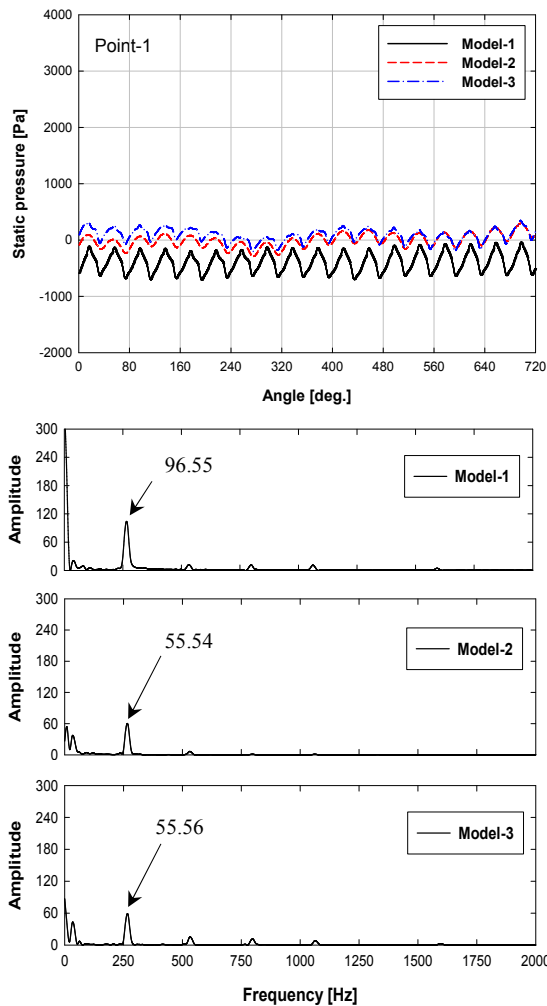


Fig. 4 Pressure pulsation and FFT analysis at point-1

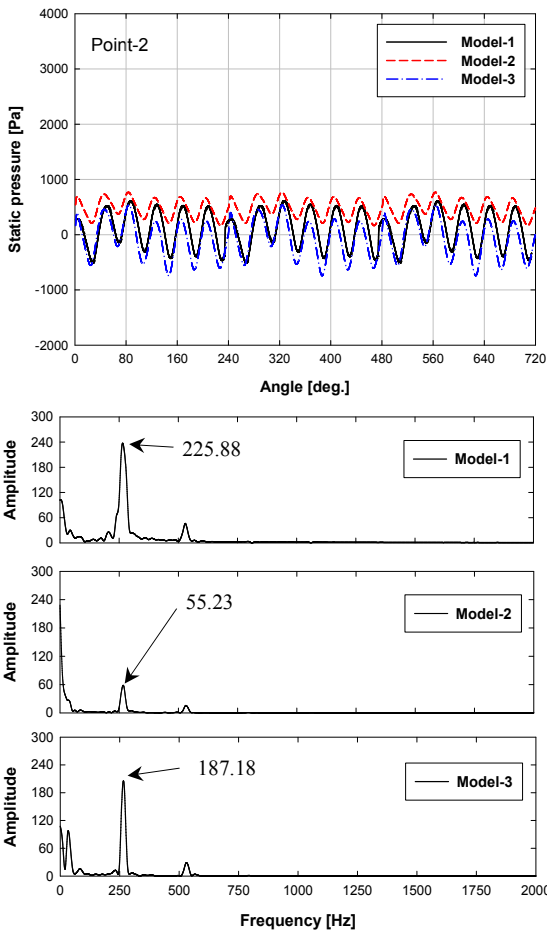


Fig. 5 Pressure pulsation and FFT analysis at point-2

Fig. 5는 Point-2에 대한 해석결과이며, Cutoff 지점에 해당된다. 압력분포의 경우 Model-1이 맥동에 의한 진폭이 가장 크게 나타났으며, Model-2가 가장 낮고 압력이 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

Cutoff 각도에 따라 진동에 영향을 많이 미치는 설계인자로 압력 진폭이 높게 나타남을 확인할 수 있었고, FFT 분석을 수행한 결과 Model-2의 경우 진폭이 가장 낮게 나타났다.

진폭변화에서 Model-2는 Model-1의 약 21%, Model-3의 약 30%로 감소됨을 확인할 수 있었다. 이는 Point-1의 결과와 같이 Cutoff 각도가 20° 일 경우가 가장 진동발생이 적을 것으로 판단되며, Point-1의 영향을 받은 것으로 사료된다.

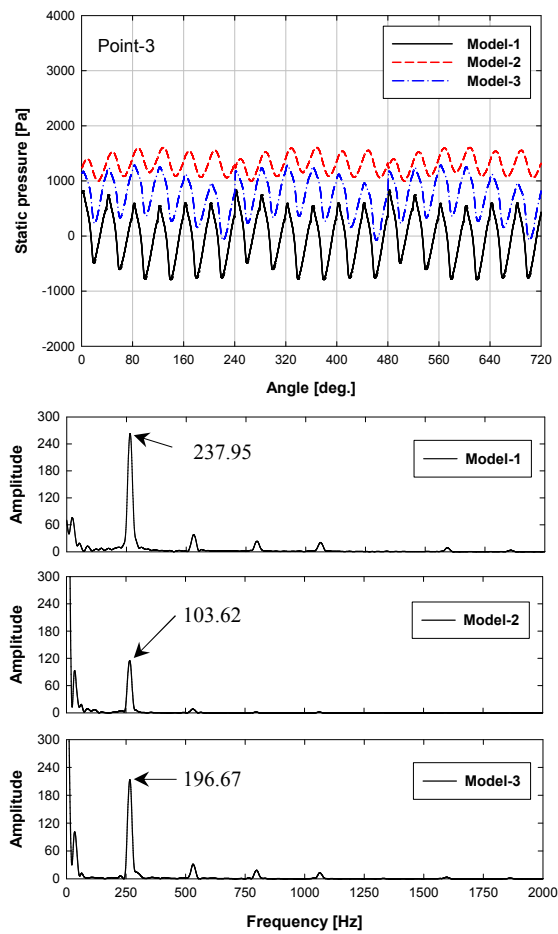


Fig. 6 Pressure pulsation and FFT analysis at point-3

Fig. 6은 Point-3에 대한 해석결과이며, Cutoff 지나 볼류트 입구쪽에 해당되는 지점이다. Model-1의 경우 진폭이 크게 상승함을 확인할 수 있었고, Model-2는 압력이 높게 발생하면서도 진폭은 가장 낮게 나타났다. Point-2와 비교할 때 Model-1과 Model-3은 진폭이 약 10 정도로 약간 상승한 반면 Model-2는 약 50 정도로 2배가량 진폭이 증가한 것을 확인할 수 있었다.

이 원인은 출구로 토출되지 못하고 일부 Cutoff 지점을 지나 볼류트로 유입되는 맥동유동과 임펠러로 빠져나오는 유동이 합쳐져서 맥동압력이 증가한 것으로 판단되며, 임펠러와 볼류트 사이의 간격이 좁기 때문에 증가한 것으로 사료된다.

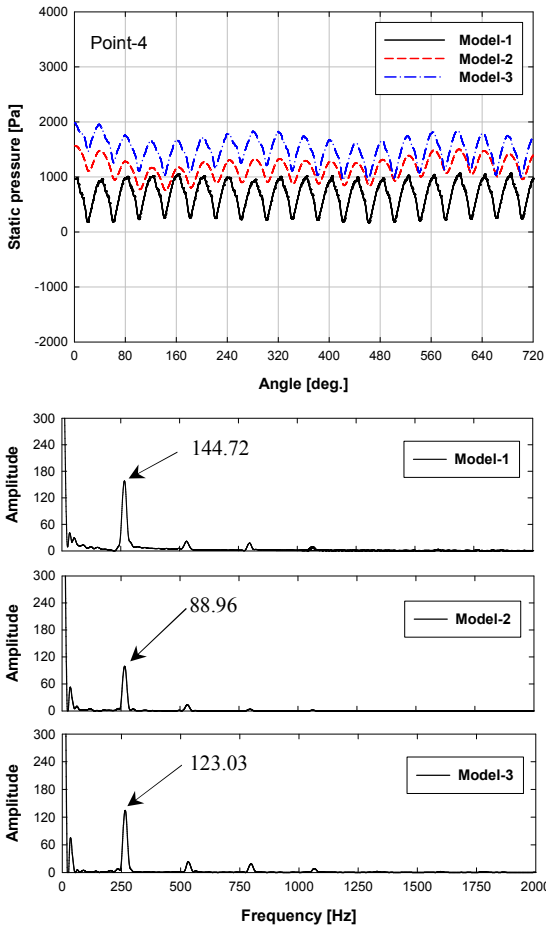


Fig. 7 Pressure pulsation and FFT analysis at point-4

Fig. 7은 Point-4에 대한 해석결과이며, 임펠러를 통과하여 압력이 증가되는 부분이다. 따라서 이전 위치에 비해서 압력이 전반적으로 상승함을 알 수 있었다. 반면 Model-2의 경우 압력이 Point-2와 Point-3에 비해 압력상승이 오히려 감소함을 확인할 수 있었다. 그러나 맥동압력에 대한 진폭의 경우 Point-3에 비하여 Model-2가 약 85%, Model-1과 Model-3은 약 60% 수준임을 확인할 수 있었다. 따라서 Cutoff의 영향에 의해 진폭은 감소되나 블류트에서 압력이 감소함에 따라 Cutoff 각도만 가지고 송풍기에 대한 전반적인 진동을 감소시키는 것 보다 블류트 설계와 함께 고려되어야 될 설계인자로 사료된다.

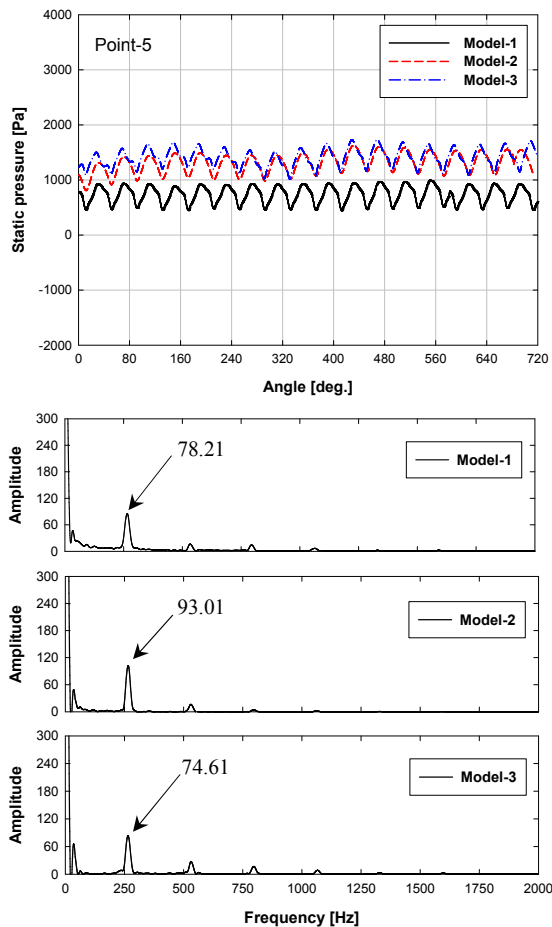


Fig. 8 Pressure pulsation and FFT analysis at point-5

Fig. 8은 Point-5에 대한 맥동압력 해석결과와 FFT 분석결과이며, Point-4와 유사한 압력분포를 나타내고 있다. 이는 출구가 대기압으로 바로 토출되기 때문에 블류트에서 압력상승이 이루어지지 않고, 임펠러와 블류트 사이의 간격이 크기 때문에 맥동압력의 진폭이 감소되는 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 고유진동수에서 진폭의 경우 출구로 향하면서 진폭이 감소되고 있는 경향을 나타내고 있었다. 그러나 Model-2의 경우 Point-4에 비해 약간 상승하여 변동폭이 낮은 반면, Model-1은 54%, Model-3의 경우 약 60% 수준으로 감소함을 확인할 수 있었다. 따라서 전반적으로 볼 때 Model-2가 각 구간별 진폭변화가 적은 것으로 나타났다.

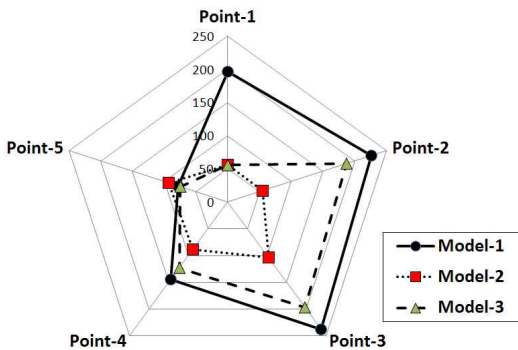


Fig. 9 Distributions of amplitude at 1X

Fig. 9는 1차 고유진동수에서의 진폭을 나타낸 것이며, 결과적으로 Cutoff 지점 부근에서 맥동압력에 의한 영향이 송풍기 전체의 압력형성에 많은 영향을 미치며, 블류트 형상과 함께 고려되어야 될 설계인자로 판단된다. 또한 Model-2가 진폭변화가 가장 적게 발생하여 진동저감에 유리한 Model로 판단된다. 결국 송풍기 설계에서 여러 가지 설계변수가 있지만 Cutoff 각도의 경우 맥동압력에 큰 영향을 미치는 설계인자인 것을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

산업용 Turbo형 송풍기 출구 Cutoff 각도변화에 따른 맥동압력변화와 FFT분석을 통해 고유진동수에서 진폭을 확인한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 비정상상태 수치해석 결과 고유진동수는 268.1Hz로 나타났으며, 임펠러 깃 통과주파수(BPS)가 265.5Hz로 이론식과 비교할 때 오차는 약 1% 미만으로 나타났다.
2. Cutoff 각도가 20°인 Model-2가 가장 진폭변화가 낮게 나타났고, Model-1이 가장 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 따라서 Cutoff 각도 20°일 경우가 유동에 의한 진동이 가장 적게 발생할 것으로 예측된다.
3. Cutoff 각도가 진폭변화에 가장 큰 영향을 미치고, 블류트 또한 진폭변화에 영향을 미치는 설계인자로 작용함을 확인할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 경상대학교 2단계 BK21사업 지원으로 이루어졌으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 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, 2007.
2. Yi, C. S., Hong, J. K., Suh, J. S., Shin, Y. I. and Park, Y. S., "Effect of Cutoff Angle on the Flow Characteristic of Turbo-Fan", Conference Proceedings of KSME Spring Annual Meeting(KSME 09TE068), pp. 311-318, 2009.
3. Kim, B. H., Ahn, C. K., Kim, D. K., Kim, Y. H. and Kang, J. P., 2009, "Development of the Linear Piston Pump for the Solid Transferring Driven by the Hydraulic Power Unit", Conference Proceedings of Korean Society of Manufacturing Process Engineers Spring Annual Meeting, pp. 171-176.
3. 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.
4. Kim, C. H., Ahn, H. S. and Chong T. H., "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, 2003.
5. Park, Y. H., Choi, H. J., Kim, C. S., and Cho, S. Y., 2011, "Study of Design Technology of a Turbo-impeller", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 2, pp. 16-25.