

차량용 공조 팬의 소음 저감에 대한 실험적 연구

이진갑*, 정병훈²

¹경기과학기술대학교 기계자동차학과, ²씨엠에스코리아

Experimental Study on Noise Reduction of Fan for Automotive Air Conditioner

Jin-Kab Lee^{1*} and Byung-Hoon Chung²

¹Division of Mechanical Automation, Gyeonggi College of Science and Technology

²KCMS LTD. Research Lab

요약 본 논문은 철도 차량에 사용하는 라인 플로우 팬의 소음 저감을 위해 소음원을 규명하여 저감하는 실험적인 연구이다. 라인 플로우 팬의 소음은 공기 유동에 의한 난류성 유동 및 랜덤성 소음, 블레이드 통과 주파수(681Hz)의 소음, 모터 회전에 의한 로터의 불균형(28.4Hz)의 구조물 진동에 의한 소음 등 여러 요인에 의해 발생된다. 각각의 소음원에 대해 대책을 수립하여 하우징 가이드 각도 및 거리 조정, 유동 통로의 형상 변경, 로터 밸런싱을 통해 총 5.7dB(A)의 소음을 저감하였다.

Abstract This paper is the experimental study to investigate the noise sources location in order to reduce the noise level of line flow fan for the air conditioner in the subway car. The noise of line flow fan is caused by various factors such as the turbulence by air flow, random noise, noise of blade passing frequency(681Hz) and noise due to structural vibration of rotor unbalance(28.4Hz) by motor revolution. By performing the noise reduction on each sound source, the noise level is decreased as much as 5.7dB(A) through the controls of housing guide angle and distance, the configuration changes of flow passage shape and rotor balancing.

Key Words : Balancing, Blade passing frequency, Line flow fan, Noise, Vibration

1. 서론

일반적으로 분리형 공기 조화기에서 실내기에는 최소의 공간을 점유하면서 최대의 풍량을 발생시킬 수 있도록 구성되어 있다. 실내기에는 일반적으로 원심형 다익팬의 일종인 시로코팬을 사용하는데, 낮은 부하에서 소형으로 많은 유량을 낼 수 있다. 시로코 팬의 일종인 라인 플로우 팬(Line flow fan)은 다수의 격판이 일정 간격으로 배열된 상태에서 격판에 수평 방향으로 길게 형성된 블레이드가 다수 설치되어 있는 구조로 철도 차량, 엘리베이터, 에어컨 등 많은 분야에 사용되고 있다. 전동차에서는 내부의 쾌적한 환경을 유지시키기 위해 객실 천정에 라인 프로우팬과 공기 토출구상에 공기 안내판을 설치하여

공기 토출을 일정 각도로 골고루 확산시켜 내부로 공기를 순환시킨다. 최근, 에너지 규제와 승객의 안락함 증대를 위해 라인 플로우 팬에 대한 저소음화의 요구가 증대되고 있다.

일반적으로 팬은 축류팬, 원심팬으로 구분되며 축류팬에 대한 연구는 많이 이루어진 반면, 원심팬 중 블레이드의 길이가 긴 시로코팬의 경우 연구는 실험적인 것에 치우쳐 있고, 소음원에 대한 파악이 쉽지 않아 저소음 시로코팬에 대한 지침도 미흡한 실정이다.

시로코 팬에 대하여서는 팬 설계 및 설계 인자의 소음 영향에 관한 연구[1,2], 공력 음향에 의한 소음[3~5] 및 저소음화에 관한 연구[6]가 행해져 왔다. 본 논문에서는 라인 플로우 팬의 저소음화를 위한 연구이다. 소음을 줄이

*Corresponding Author : Jin-kab Lee (Gyeonggi College of Science and Technology)

Tel: +82-31-496-4729 email: ljk@gtec.ac.kr

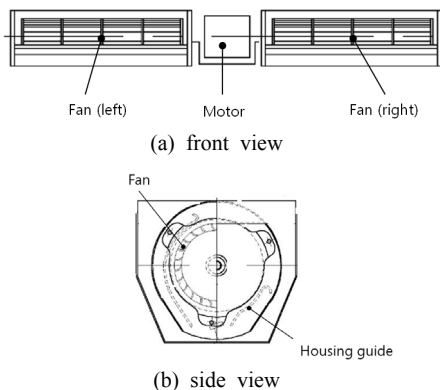
Received December 18, 2012 Revised January 7, 2013 Accepted January 10, 2013

기 위해 소음과 진동의 현상 분석을 통해 소음원을 실험적으로 규명하였고, 소음을 유발하는 각각의 인자들에 대책을 수립하여 소음을 규제 소음치 이하로 저감하였다.

2. 라인 플로우 팬의 구조 및 특징

시로코 팬의 가장 큰 특징은 팬의 블레이드가 팬 휠의 회전 방향으로 굽어있다는 것이며, 이로 인해 팬의 바깥으로 나오는 유동의 속도가 빠른 특징을 가지고 있고, 상대적으로 작은 크기와 회전속도에서도 많은 유동을 공급할 수 있는 장점을 지니고 있다. 또한, 풍속 분포가 균일하고 풍속 유형이 일정하여 다량의 풍량을 내는데 적합하나, 팬이 회전하는 경우 유동의 바리 등으로 인해 유동의 소음이 크다.

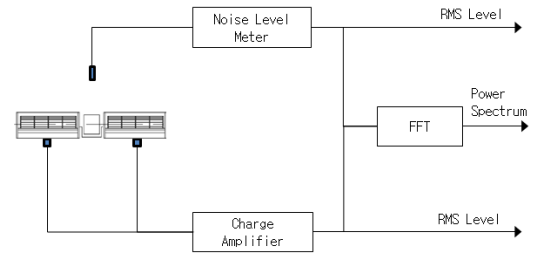
본 연구에 사용된 라인 플로우 팬은 Fig. 1과 같으며, (a)는 라인 플로우 팬의 정면도를 보인 것이고, (b)는 측면도를 확대한 것이다. 감속기가 장착된 구동 모터를 중심으로 좌우에 축으로 결합되어 회전하는 라인 플로우 팬, 공기 토출구를 형성하는 팬 커버인 하우징 가이드로 구성된다.



[Fig. 1] Schematic diagram of line flow fan

3. 현상 분석

Fig. 2는 본 연구의 실험 장치 구성도이다. 라인 플로우 팬의 소음을 측정하기 위해 모터 프레임 중앙으로부터 1m 떨어진 지점에서 정밀 소음계를 사용하였으며, 팬이 장착된 구조물의 동특성을 구명하기 위해 구조물의 여러 곳에 가속도계를 부착하여 진동을 측정하였다. 마이크로폰과 가속도계의 신호는 FFT 분석기를 사용하여 소음과 진동 특성을 규명하였다.



[Fig. 2] Noise and vibration measurement set-up

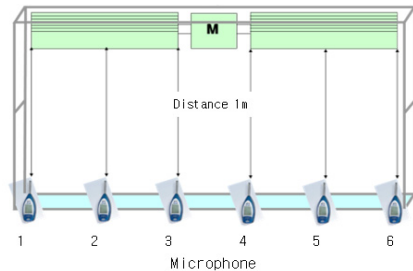
3.1 소음 측정 결과 및 분석

3.1.1 소음 레벨

라인 플로우 팬의 모터 프레임 중앙으로부터 1m 지점에서 정밀 소음계로 수십 회 측정하여 평균값을 산출하였다. 팬 회전 시 공기 유동 변화의 랜덤 오차를 최소화하여 안정된 평균값을 얻기 위해 10초 동안을 평균하였더니 0.7dB 정도의 소음 편차 범위를 확보할 수 있었다. 측정된 평균 소음 레벨은 59dB(A)로 저 소음화 요구 값인 53dB(A) 비해 약 6dB 높게 나타났다.

3.1.2 위치별 소음 측정

가장 우세한 소음원을 규명하기 위해 팬의 길이 방향으로 소음을 측정하였다. Fig. 3은 측정 위치이며, Table 1은 측정된 소음 레벨이다.



[Fig. 3] Position of noise measurement

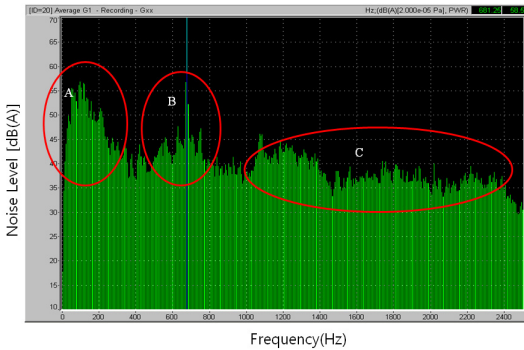
[Table 1] Noise level [dB(A)]

Fan (left)			Motor Center	Fan (right)		
P. 1	P. 2	P. 3		P. 4	P. 5	P. 6
58.1	58.5	58.2	58.1	59	59.5	59.3

우측 팬이 좌측보다 약 1dB 높게 나타났으나 위치에 따른 소음값이 큰 차이가 없다. 소음이 특정위치에서 발생되지는 않고 바람이 나오는 라인을 타고 전체적으로 영향을 주고 있다고 판단된다.

3.1.3 소음 주파수 분석

소음을 발생시키는 특정 주파수 성분을 찾기 위해 소음 신호를 주파수 분석기로 신호 분석을 하여 Fig. 4에 표시하였다. 소음 주파수 분석 결과 소음 분포는 100Hz 부근(A), 681Hz 부근(B)와 고주파 성분(C)에 특징 성분이 있다.



[Fig. 4] Noise spectrum

100Hz 부근(A)의 성분은 난류 소음, 681Hz 부근(B)는 순음 성분으로 소음문제를 일으키는 성분이고 고주파 성분(C)는 공기 유동에 의한 랜덤성 노이즈로 구성되어 있으며, 총 소음값은 59dB(A)이다. 특히 681Hz는 팬의 블레이드 통과 주파수(Blade Passing Frequency (BPF)) 성분으로 회전수와 블레이드 숫자를 곱한 것이다.

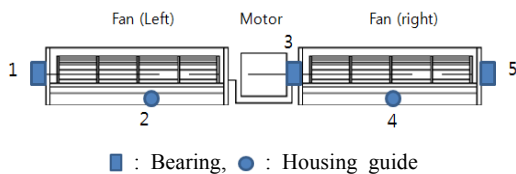
$$BPF=1702RPM/60 \times 24 = 681Hz$$

전체 소음값은 스펙트럼의 모든 성분을 합한 값이므로 소음값을 줄이기 위해서는 랜덤성 성분인 바람 소리와 BPF를 모두 줄여야 가능하다고 판단된다.

3.2 진동 측정 결과 및 분석

3.2.1 위치별 진동 측정

주요 부위별 동특성을 측정하기 위해 Fig. 5와 같이 팬의 각 부위의 진동을 측정하여 위치 별로 가속도 값을 Table 2에 비교하였다.



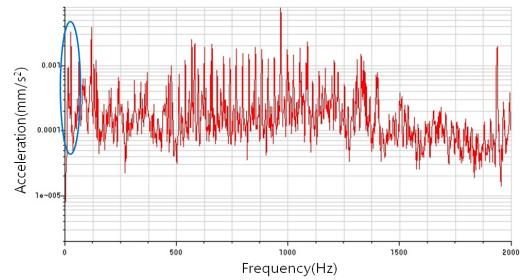
[Fig. 5] Position of vibration measurement

[Table 2] Vibration level [mm/s²]

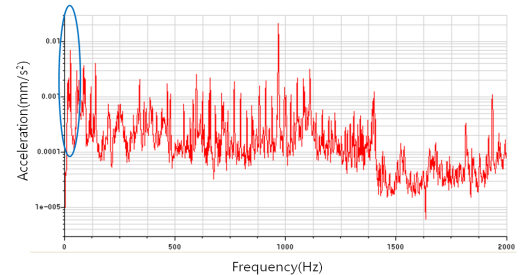
Fan (left)		Motor Center	Fan (right)	
P. 1	P. 2	P. 3	P. 4	P. 5
0.66	1.65	0.26	0.84	0.21

분석 결과 좌우 팬의 모터 축 지지 베어링 부위의 진동보다 하우징 가이드의 진동이 크게 나타났다. 하우징 가이드는 얇은 양철 판이므로 모빌리티가 커서 크게 떨리는 것이다. 이 부위의 진동은 상대적으로 낮은 레벨이므로, 진동으로부터의 소음방사는 큰 영향이 없다고 판단된다. 팬 좌우측 베어링에서의 진동이 값이 작고, 낮은 주파수이므로 소음에 직접적으로 영향을 주지 않지만 이것의 고차수 하모닉 성분은 소음에 많은 영향을 준다.

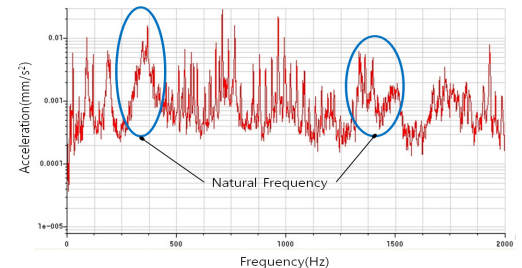
좌측 팬의 베어링, 모터, 하우징 가이드의 진동 신호를 주파수 분석한 것을 Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8에 나타내었다.



[Fig. 6] Vibration spectrum of bearing(P. 1)



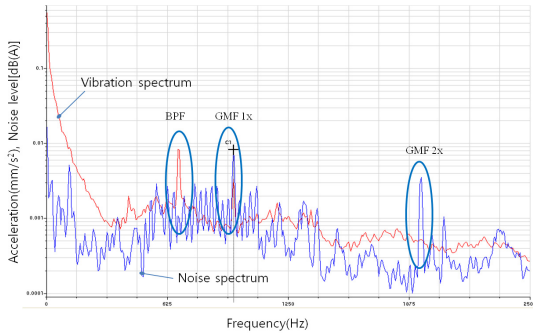
[Fig. 7] Vibration spectrum of motor(P. 3)



[Fig. 8] Vibration spectrum of housing guide(P. 4)

Fig. 6~8에서 모두 28.4Hz 주파수 성분의 하모닉 성분이 고차까지 분포되어 있다. 28.4Hz 성분은 불균형에 의한 성분이므로 이 성분을 줄이기 위해서는 정밀 펠드 밸런싱이 필요하다.

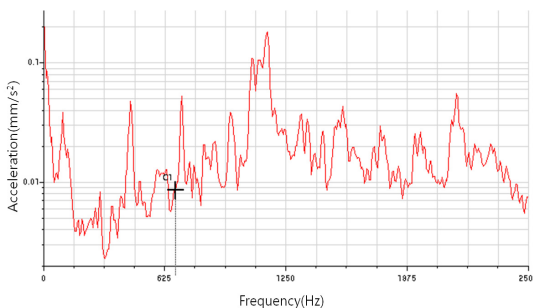
팬 회전수와 관련된 성분과 구조물의 공진에 의한 영향을 찾아내기 위해 진동과 소음 스펙트럼을 비교 검토하였으며, Fig. 9에 나타내었다.



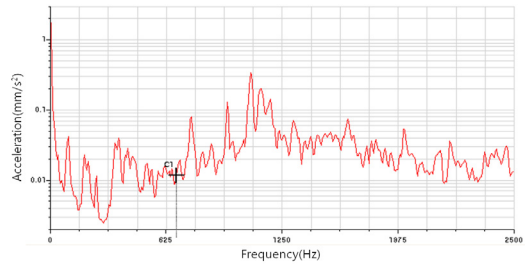
[Fig. 9] Comparison of vibration and noise spectrum

진동과 소음의 관련된 주파수도 역시 BPF이며, 그 외 주파수는 큰 관련성이 없었다. BPF인 681Hz는 소음에서는 나타나고 있으나, 진동에서는 나타나지 않고 있다. 이 성분은 순전히 팬의 회전에 따른 공기 저항에 의한 소음 성분으로 판단된다. 소음과 진동 스펙트럼의 주파수 969.75Hz 성분은 모터 내에 들어있는 기어 박스에서의 기어 맞물림 주파수(GMF)이다.

팬 회전에 의한 공기 유동의 영향을 가장 많이 받을 것으로 예상되는 하우징 가이드의 고유진동수를 측정하여 가진 주파수와 고유진동수가 일치하는지 검토하였다. Fig. 10은 하우징 가이드의 고유 진동 주파수 특성, Fig. 11은 팬의 고유 진동 주파수 특성을 보인 것이다.



[Fig. 10] Dynamic vibration characteristics of housing guide



[Fig. 11] Dynamic vibration characteristics of fan

하우징 가이드는 BPF와 고유진동수와는 무관한 것으로 분석된다. 팬 고유진동수는 BPF와 매우 근접해 있으므로 소음에 의한 가진력이 증폭되어 소음값이 높아질 가능성이 높다. 따라서 팬의 형상을 약간 변경하여 고유진동수를 피하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

3.3 소음원 규명

진동과 소음의 현상 분석을 통해 소음 문제를 일으키는 주성분은 다음과 같이 찾아내었다.

- a. 공기 유동의 난류성 소음, 랜덤성 성분
- b. 블레이드 통과 주파수(BPF)인 681Hz 성분
- c. 회전 주파수 성분(28.4Hz)에 의한 영향
- d. 구조물 및 팬의 고유진동수의 영향

4. 소음 저감

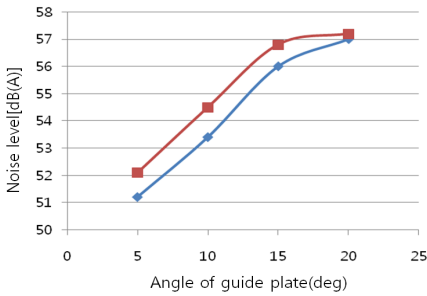
라인 플로우 팬의 진동 소음 현상 분석을 통해 규명된 3.3절의 여러 소음원에 대해 대책을 수립하여 소음 저감을 하였다.

4.1 공기 유동의 난류성 성분과 랜덤성 성분

팬 회전에 의한 공기 유동의 소음은 기류가 코너 또는 장애물을 통과할 때 발생하는 불안정한 난류에 의한 소음, 기류가 토출될 때 나오는 제트기류 소음 등에 의해서 영향을 받는다.

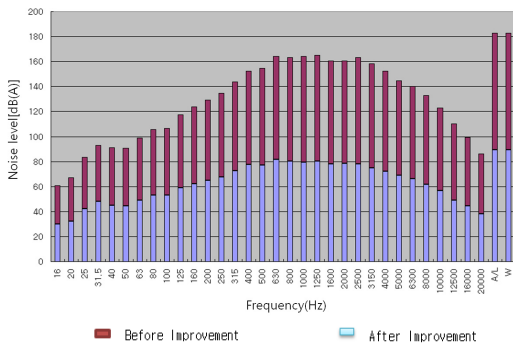
따라서 기류가 지나는 곳에 급격한 꺾임이나 기류의 통로 상에 있는 장애물이 없도록 설계하여야 한다. 본 연구에서는 팬 기류 통로의 코너 부위를 제거하여 블레이드의 각도를 완만하게 처리하고 통로의 장애물을 없도록 형상을 변경하였다.

하우징 가이드 판의 각도는 기류 토출량과 소음 레벨과 밀접한 관계가 있으므로 기류량의 변화가 없는 한도 내에서 각도에 따른 소음값을 측정하여 최적의 각도를 Fig. 12에 나타내었다.



[Fig. 12] Noise level vs. Angle of the guide plate

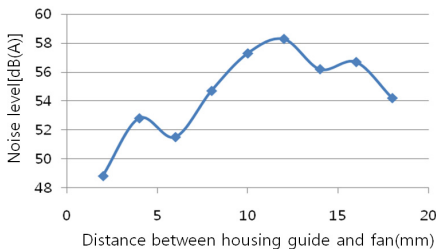
가이드 판의 각도가 커지면 소음과 풍량도 커지므로 각도는 작을수록 좋으나, 요구되는 풍량을 얻을 수 있는 최소한의 각도로 정해야 한다. 여기서는 10도를 선택하였다. 개선 전후의 소음 스펙트럼을 비교하면 Fig. 13과 같으며, 약 3dB의 소음 저감이 얻어졌다.



[Fig. 13] Comparison of noise spectrum

4.2 블레이드 통과 주파수(BPF) 성분

BPF 성분은 블레이드가 회전할 때 공기의 압력차에 의해 발생하는 것으로 문제가 되는 소음이다. 블레이드가 스칠 때 압력차를 최소화하는 방법으로 설계해야 한다. 하우징 가이드와 팬 블레이드의 거리에 따른 소음값을 측정하여 최적의 위치를 찾아보았으며, Fig. 14에 나타내었다.



[Fig. 14] Noise level : Distance between housing guide plate and fan

팬과 하우징 가이드 판의 거리에 따른 소음은 12.5mm에서 최대이며 이것을 중심으로 거리의 증감에 따라 소음값은 감소한다. 저 소음화를 위해서 풍량에 지장을 받지 않고 최소 소음 레벨의 위치인 6mm의 거리를 적용하였다.

4.3 회전 주파수 성분

팬의 로터가 불평형되어 발생하는 진동을 저감하기 위해 밸런싱을 실시하였다. 초기에 좌측 팬과 우측 팬에 각각 2면 밸런싱으로 시도하였다. 좌측 팬의 밸런싱을 잡으면 우측 팬의 밸런싱이 틀어지고, 우측을 잡으면 좌측 팬의 밸런싱이 틀어져서 여러 차례 반복 시도하였으나, 효과를 동시에 얻지 못했다. 4면 밸런싱을 시도한 결과 진동은 90%이상, 소음은 0.7dB 이상의 저감 효과를 보였다.

밸런싱 실시 전후의 진동과 소음값의 비교를 Table 3에 나타내었다.

[Table 3] Balancing effect on noise and vibration

	Vibration [mm/s ²]	Noise [dB(A)]
Before	1.324	58.6
After	0.113	57.9
Difference	1.211	0.7

4.4 구조물 제진 처리

구조물의 고유진동수와 팬에서 발생하는 진동이 일치하여 공진에 의해 소음이 증폭되는 것을 회피하기 위해 구조물에 제진을 추가하여 소음 진동을 측정하였다.

밸런싱 작업 후 총 진동량이 1mm/s² 이하로 매우 작아서 제진 처리 효과가 미미하였다. 고유진동수도 문제의 주파수 678Hz와 일치하는 성분이 없고, 진동 스펙트럼에서 고유진동수가 특이한 문제를 일으키는 성분을 찾을 수 없으므로 제진 처리는 효과가 없었다.

4.5 소음 저감

위의 모든 조치를 실행하였을 때 얻은 소음 저감치는 총 5.7dB로 Table 4에 표시하였다.

[Table 4] Noise reduction depend on main parameter

Improvement work	Main component	Noise reduction level
Blade shape change	High frequency random noise	2dB
Distance of housing guide	681Hz	2dB
Angle of housing guide	Random noise	1dB
Field balancing	28.4Hz and harmonic	0.7dB
Total noise reduction		5.7dB

5. 결론

본 연구에서는 철도 차량 공조에 사용하는 라인 플로우 팬의 소음 저감을 위해 소음원을 규명하고, 각 소음원에 대해 대책을 수립한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 소음을 유발하는 주 성분은 팬 공기 유동에 의한 난류성 소음과 랜덤성 성분, 블레이드 통과 주파수(BPF)인 681Hz 성분, 회전 주파수 28.4Hz의 로터 불평형에 의한 진동의 영향, 구조물 및 팬의 고유진동수의 영향 등이다.
2. 랜덤성 유동 소음을 줄이기 위해 유동 통로의 형상 변경 및 하우징 가이드 판 각도 조정, BPF 성분을 줄이기 위해 팬과 하우징 가이드 거리 조정, 로터 불평형 진동 저감을 위해 로터에 4면 필드 밸런싱을 적용한 결과 총 5.7dB의 소음을 저감하였다.

본 연구에서 찾아낸 저소음화 기법을 유사한 팬의 설계에 적용하면 소음저감 효과가 기대된다.

References

- [1] Kim J. W., Jung Y. Y., "Development of an Air-conditioning fan for a Van", J. of Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 1, No. 1, pp. 1~4, 2000.
- [2] Morinushi K., "The Influence of geometric Parameters on F. C. Centrifugal Fan Noise", T. of ASME, Vol. 109, pp. 227~234, 1987.
- [3] Kim K. H., Park K. C., Lee S. H., "Measurement and Prediction of Aerodynamic Noise from Sirocco Fans", J. of Fluid Machinery, Vol. 2, No 4,, pp. 57~64, 1999.
- [4] Choi H. L., et al. "A Study for noise properties of Sirocco fan blades", Proc of KSNVE, pp. 257~263, 2001.
- [5] Jeon W. H., et al., "A study on the aeroacoustic characteristics of the sirocco fan of over the range", Proc. of KFMA, pp. 123~128, 2002.12.
- [6] Koo H. M., "An Experimental Study for Noise Reduction of the Cross-Flow Fan of the Room Air-Conditioners", Inter. J. of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 8, No. 2, pp. 89~100, 2002.

이진갑(Jin-Kab Lee)

[정회원]



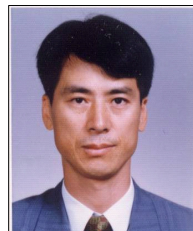
- 1993년 : Bochum University in Germany (기계공학 박사)
- 2001년 ~ 현재 : 경기과학기술대학교 기계자동화과 교수

<관심분야>

진동 소음, 동역학, 기계 설비 진단

정병훈(Byung-Hoon Chung)

[정회원]



- 2004년 : 호서 대학교 (전기공학 박사)
- 2008년 ~ 현재 : 씨엠에스코리아(주) 연구소 소장

<관심분야>

진동 소음, 전동기 설계, 기계 설비 진단