

# FCEV 블로워의 소음특성과 개선방향에 관한 연구

## A Study on the Noise Property and its Reduction of the FCEV Blower

오기석\* · 이상권<sup>†</sup> · 서상훈\*\*  
Ki-Seok Oh, Sang-Kwon Lee, Sang-hoon Seo

**Key Words** : Fuel Cell Electric Vehicle(FCEV, 연료전지자동차), Centrifugal Turbo Blower(원심형 터보 블로워), Blade Passing Frequency(날개통과주파수), Broadband Noise(광대역소음), Splitter Impeller(스플리터형 임펠러)

### ABSTRACT

Centrifugal turbo blower is requested highly efficiency and low noise in FCEV, but the noise generated by this machine causes of the most serious problems in the NVH performance. In general, centrifugal turbo blower is dominated by mechanical noise and aerodynamic noise. Mechanical noise is generated by rotation of the bearing, misalignment and unbalance. And aerodynamic noise is generated by the strong intersection between the flow discharged from the impeller and the cut-off in the casing. The first object of this study is to comprehend a noise property of the blower through the noise test. And, second object is to bring up the method that can reduce blower noise.

## 1. 서 론

FCEV 는 수소와 산소가 화학반응을 할 때 나오는 전기가 곧바로 모터를 돌려 움직이기 때문에 기존 차량의 가솔린이나 디젤 엔진에 의해 발생하는 진동이나 소음이 발생하지 않는다. 대신 스택(stack)에 공기를 공급하는 블로워나 전동기, 기타 모터에 의한 소음이 크게 작용한다. 특히 블로워는 고속으로 회전하기 때문에, 여기에서 발생하는 진동과 소음이 차량의 NVH 성능에 큰 영향을 미친다. 일반적으로 블로워의 성능과 소음은 임펠러 깃의 끝단(tip) 속도에 비례한다고 알려져 있다.

블로워 소음은 소음의 발생원에 따라 크게 공기역학적 소음(aerodynamic noise)과 기계적 소음(mechanical noise)으로 구분할 수 있다. 공기역학적 소음은 임펠러(impeller)와 casing 사이의 공기의 압력변동(pressure fluctuation)에 의해 발생하는 회전소음, 임펠러가 casing 내부에서 형상이 급격하게 변하는 부위(cut-off point)를

통과할 때 발생하는 급격한 압력변화에 의한 간섭음, 그리고 임펠러 주변이나 토출구 등에서 발생하는 난류에 의한 소용돌이음이 있다. 그리고 기계적 소음에는 베어링, 축 정렬 불량(misalignment), 기계적 헐거위짐, 불균형(unbalance) 등이 원인이 되어 발생하는 소음이 있다<sup>1)</sup>.

현재 개발 중인 FCEV 에 장착되어 있는 블로워는 원심형 터보 블로워(Centrifugal turbo blower)로, 원주상으로 배열된 여러 개의 날개로 이루어진 임펠러를 회전시켜 외부로부터 공기를 흡입한다. 원심형은 다른 터보형 블로워에 비해 취급 기체량은 적지만 승압능력이 큰 특징을 갖는다. 이번 연구에 사용된 블로워에는 Fig.1 의 (b)와 같이 임펠러의 원래 깃 사이에 작은 깃을 배치시키는 스플리터형 임펠러(splitter impeller)를 적용하고 있다. 스플리터형 임펠러는 기존의 임펠러보다 출구 부위의 유동이 많이 균일화되고 이로 인해서 날개통과주파수(Blade Passing Frequency) 소음을 감소시키는 역할을 한다<sup>2)</sup>.

본 연구에서는 먼저 basemodel 의 입·출구 소음과 두 방향의 방사소음을 측정해 basemodel 의 기본 소음특성에 대해 알아보았다. 그런 다음 블로워 casing 의 수정에 따른 소음저감 효과를 알아보기 위해 Fig.2 의 방사소음 측정실험을 basemodel 과 modification model 에 동일하게 실시한 후 그 결과를 분석해 보았다.

<sup>†</sup> 책임저자; 정회원. 인하대학교 기계공학과  
E-mail : sangkwon@inha.ac.kr  
Tel : (032) 860-7305, Fax : (032) 868-1716

\* 인하대학교 대학원

\*\* 현대자동차

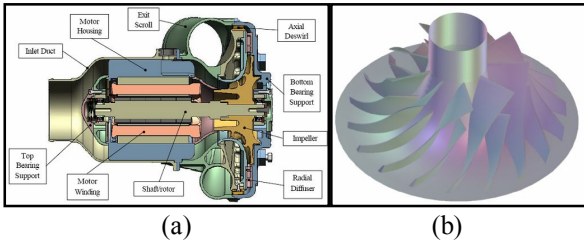


Fig.1 Centrifugal Turbo Blower ; (a) sectional view, (b) splitter impeller

## 2. 소음레벨 측정 실험

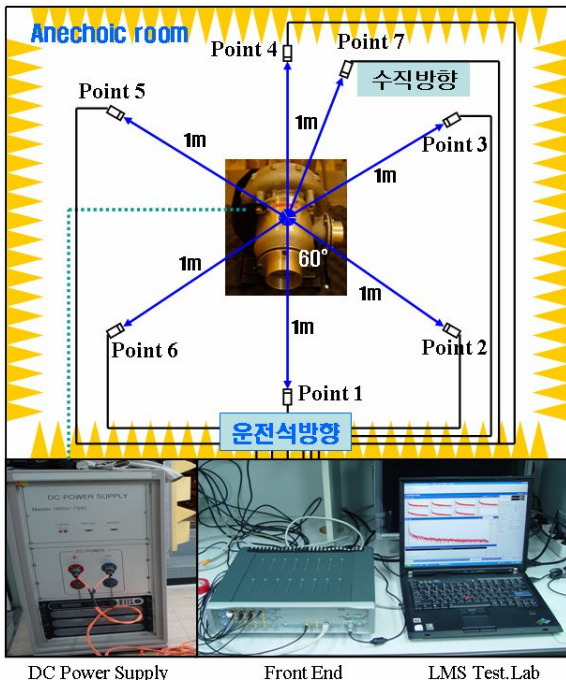


Fig.2 Experimental set-up

블로워의 소음레벨 측정 실험은 기본적으로 Fig.2 와 같은 조건으로 수행되었다. DC Power Supply 를 통해 블로워의 전원을 공급해 주었고, LMS Test.Lab 을 이용해 신호를 측정·분석 하였다.

실험은 무향실에서 이루어졌고, '0' rpm 에서 최대 회전수(rpm#6)까지 완가속 측정과 각 rpm (rpm#1, rpm#2,..., rpm#6) 별 측정을 실시하였다. 주파수 측정 범위는 0.3~20kHz 로 하였다.

블로워 축의 불균형에 의한 기계적 소음은 식 (1)과 같이 회전주파수의 배수되는 성분으로 나타나게 된다. 특히 고속으로 회전할수록 그 영향은 커지게 된다.

$$f_m = \frac{n \times rpm}{60} (Hz) \quad (1)$$

where in  $n = \text{integer}$

공기역학적 소음의 경우 그 발생 메커니즘이 매우 복잡해 해석적으로 예측하기가 어렵다. 다만 고속으로 회전하고, casing 의 존재에 의한 차단 (cut-off tongue)이 있는 경우 광대역 소음 (broadband noise)보다 BPF 와 그 조화 주파수 (harmonic frequency)에 의한 영향이 비교적 큰 것으로 알려져 있다<sup>3)</sup>.

$$BPF = \frac{N \times rpm}{60} (Hz) \quad (2)$$

where  $N = \text{number of impeller}$

### 2.1 기본모델(basemodel)의 소음특성 규명 실험

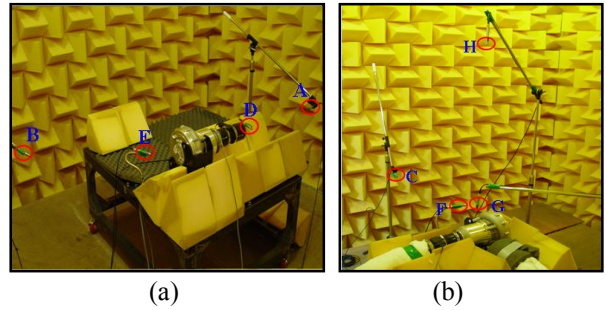


Fig.3 Noise measurement test of the basemodel ; (a) inlet and outlet test, (b) radiated noise test

블로워 기본 모델(basemodel)의 소음특성을 알아보기 위해 우선 입·출구를 개방한 후 각 방향의 소음레벨을 측정하였다. 입구(point A,D)는 직선 방향에, 출구(point B,E)쪽의 측정은 배출되는 압축공기의 영향을 최소화하기 위해 출구에서 45° 방향에 마이크로폰을 설치하였다. 방사소음은 입·출구의 압축공기를 무향실 밖으로 유도한 후, Fig.3(b)과 같이 블로워 수직방향(point G,H)과 출구 반대방향(point F,C)의 4 개의 point 에서 측정하였다.

### 2.2 방사소음 측정실험

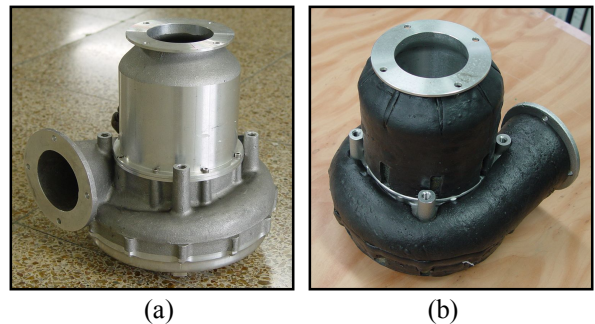


Fig.4 Blower casing ; (a) basemodel, (b) modification model

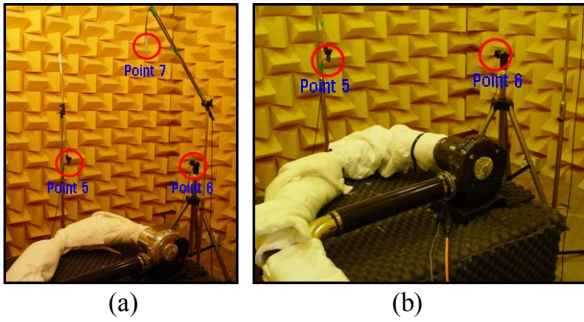


Fig.5 Radiated noise measurement test ; (a) basemodel, (b) modification model

블로워 basemodel 에 대한 소음특성을 파악한 후 방사소음 저감의 한 방법으로서, casing 을 합성고무를 이용해 수정한 modification model 을 적용해 보았다. Fig.4 에서 두 모델의 외형을 보여주고 있다. 두 모델에 대해 각각 Fig.2 와 같은 조건에서 동일한 실험을 수행하였다. 블로워 중심에서 원주 방향으로 총 6 개의 마이크론을 60° 간격으로 무향실 바닥으로부터 1m, 소음원인 블로워로부터 1m 거리에 위치시켰고, 블로워 수직방향에도 1m 거리에 하나의 마이크론(point7)을 위치시켰다. 실험 후 각 point 의 소음레벨 값을 여러 방법을 이용하여 비교·분석해 보았다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 기본모델의 소음특성 실험 결과

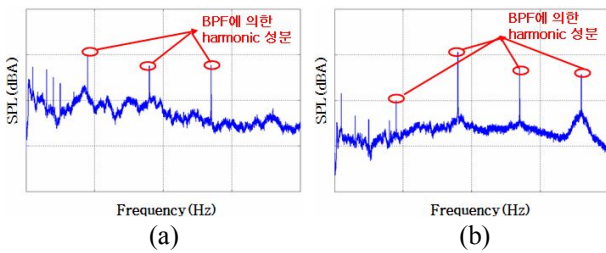


Fig.6 Spectral analysis of the inlet and outlet noise level at rpm#6 ; (a) point A (inlet), (b) point D(outlet)

Fig.6 은 basemodel 의 입·출구 소음레벨을 나타내고 있다. 지금까지 발표된 많은 논문에서 알려졌듯이 광대역 소음(broadband noise)보다는 BPF 와 BPF 의 조화주파수(harmonic frequency)에서 발생하는 소음이 지배적으로 존재하는 것을 알 수 있다<sup>4)5)</sup>. 두 그래프를 비교해보면 저주파에서의 광대역소음은 입구방향에서 우세하게 나타나지만, BPF 와 그 조화주파수에서의 소음레벨은 입구보다 출구 방향에서 더 크게 나타나는걸

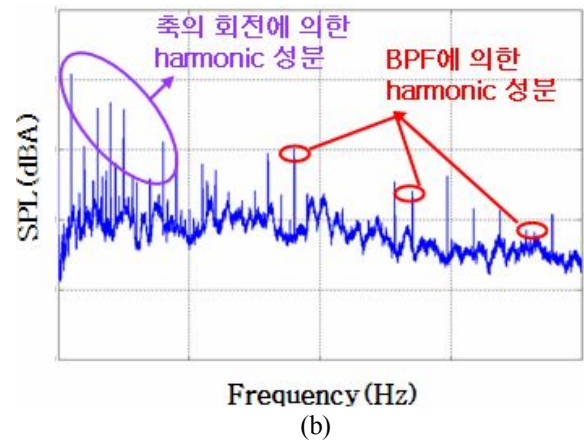
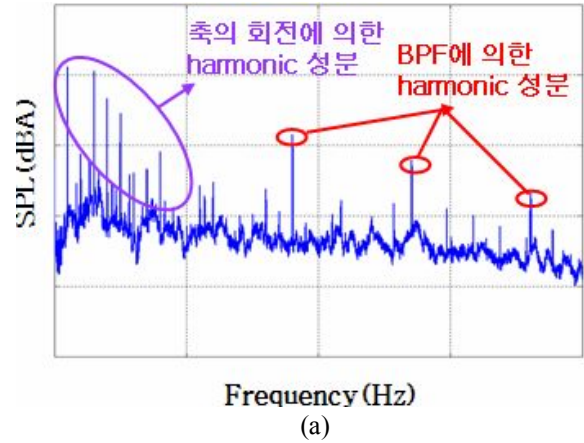


Fig.7 Spectral analysis of the radiated noise level at rpm#6 ; (a) point C, (b) point H

알 수 있다. 출구소음에서 18 order 의 경우 광대역소음과 30dB 가까이 차이가 나기도 한다. 하지만 Fig.7 의 방사소음 측정결과를 보면 BPF 와 그 조화주파수에서의 소음 보다는 상대적으로 저주파에 존재하고 있는 1~8order 의 기계적 소음이 더 큰 값을 보이고 있다. 그 중에서도 1,3,4,5order 의 값들이 대부분 70dBA 이상의 큰 값을 갖는다. 특히 축의 불균형(unbalance)에 의해 발생하는 1order 성분의 값이 두 point 모두에서 가장 큰 값을 보인다.

#### 3.2 실험결과

Fig.8 은 basemodel 에서 point1 의 rpm#1 에서 최대 rpm(rpm#6)까지 6 구간의 각 rpm 별 소음 스펙트럼을 보여주고 있다. 이 그래프를 통해 블로워의 주된 소음원이 3.1 장에서의 결과와 같이, 전 주파수에 고르게 나타나는 광대역소음 보다는 peak 성분으로 나타나는 기계적 소음과 날개통과주파수 소음이라는 것을 알 수 있다. rpm 이 올라갈수록 그 영향은 더 뚜렷해진다. 이런 결과는 Fig.9 의 waterfall analysis 를 통해서

도 확인할 수 있다. 블로워가 rpm#6 으로 회전할 때, 기계적 소음은 식(1)에 의해서 계산된 1~8order 성분으로 나타나는데 그 값이 1order는 75dBA, 2order는 74dBA, 3order는 77dBA로 매우 큰 수치로 나타난다. 날개통과 주파수 소음은 임펠러가 총 18 개의 날개로 이루어진 스플리터형이기 때문에 식(2)에 의해서 계산된 9,18,27.. order의 peak 성분으로 나타난다. 일반적으로 18order 성분이 제일 큰 값을 갖는다. rpm#6 에서 18order는 67dBA로 기계적 소음보다는 낮게 나타나는데, 이런 결과는 모든 point

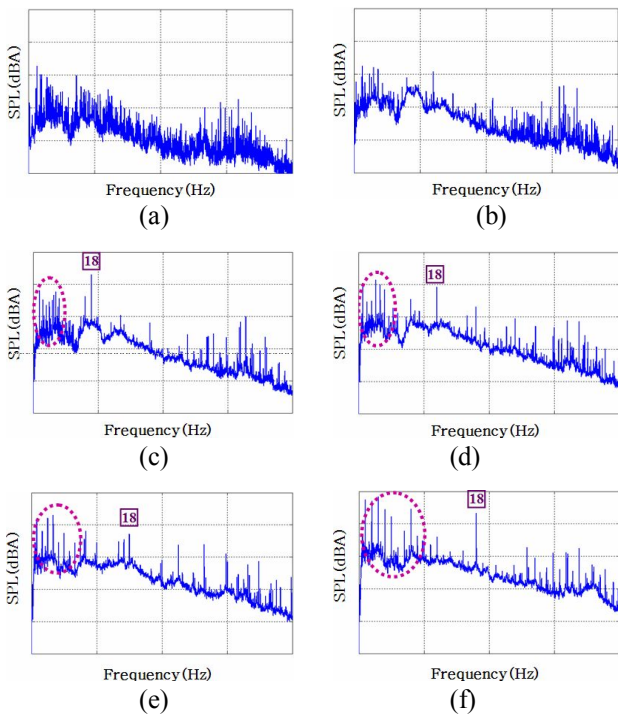


Fig. 8 Spectral analysis at each rpm of the basemodel ; (a) rpm#1, (b) rpm#2, (c) rpm#3, (d) rpm#4, (e) rpm#5, (f) rpm#6

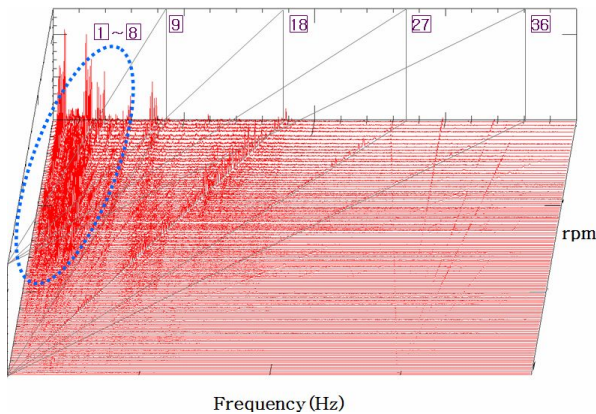


Fig. 9 Waterfall analysis at point 1 of the basemodel

에서 전체적인 레벨의 차이는 조금씩 나타나지만 동일한 경향을 보인다. 결론적으로 전 rpm에 걸쳐서 BPF와 그 조화주파수에 의한 소음보다는 저주파에 분포하고 있는 1~8order의 기계적 소음이 블로워 소음에 더 큰 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다. 결국 이러한 기계적 소음을 줄이는 것이 블로워 방사소음을 가장 효과적으로 저감시킬 수 있는 방법이 될 것이다.

블로워 casing의 수정으로 얻을 수 있는 방사소음레벨의 저감 효과는 Fig.10과 Fig.11을 통해 알아볼 수 있다. Fig.10은 블로워 가속시 각 point에서의 소음레벨 변화를 basemodel과 modification model을 비교하여 보여주고 있다. 그리고 Fig.11은 rpm#6에서 point1과 point6에서의 두 모델의 소음 스펙트럼을 비교해 보여주고 있다. 먼저 Fig.10을 보면 전체적으로 모든 point에서 modification model의 소음레벨이 낮게 나오는 것을 알 수 있다. 특히 중간 rpm 이상에서의 소음저감 효과가 뚜렷이 나타나고 있다. 방향 별로 살펴보면, 출구 방향인 point3의 경우 다른 point에 비해 전체적으로 소음레벨이 높게 나오고 소음저감효과도 작게 나왔다. 이는 반대 방향에 있는 point6과 비교하면 더 뚜렷이 나타난다. Fig.11의 소음스펙트럼을 통해 좀 더 자세히 살펴보면, point3의 경우 두 model 간 광대역소음의 차이는 거의 없고, peak 소음만 조금 감소했다. 1order는 8dBA, 8order는 11dBA가 감소했다. 반면 point6은 고주파 부분에서 광대역소음의 저감 정도가 크고 peak 소음도 2order에서 20dBA, 3order에서 19dBA 그리고 18order에서 14dBA 감소해 point 3에 비해 큰 저감 효과를 보여줬다.

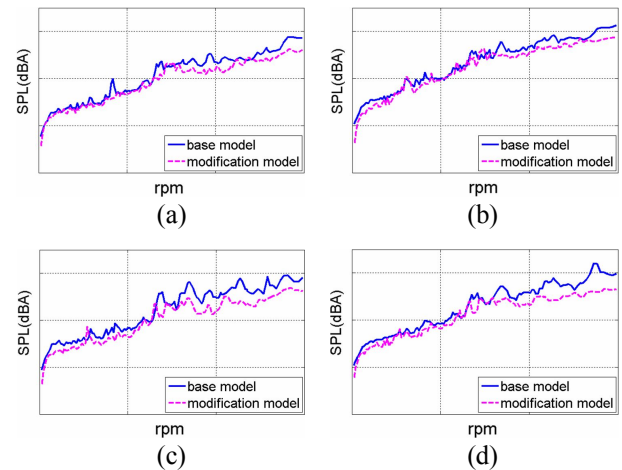


Fig.10 SPL through the rpm ; (a) point 1, (b) point 3, (c) point 6, (d) point 7

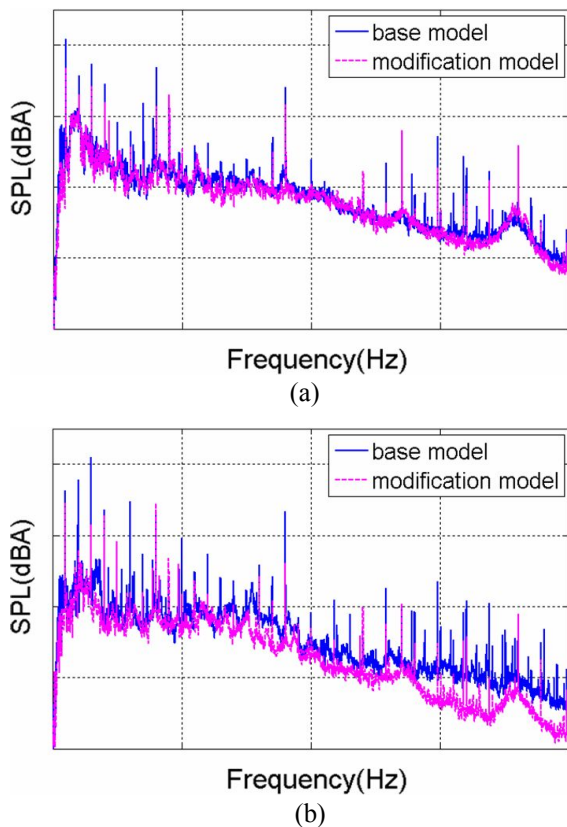


Fig.11 Spectral analysis comparison between basemodel and modification model at rpm#6 ; (a) point 3, (b) point 6

Fig.12 와 Fig.13 은 각 rpm 에서의 방사소음의 지향성(Directivity pattern)을 각 모델 별로 보여주고 있다. 각 point 의 위치를 살펴보면, point1 은 운전석 방향에 위치하고 있고, point4 는 차량 전방 그리고 point5,6 과 point2,3 은 각각 차량의 좌우방향에 위치하고 있다. 두 그림을 보면 블로워 방사소음레벨이 방향 별로 큰 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이런 차이는 basemodel 보다 modification model 에서 더 크게 나타나는데, rpm#4, rpm#5 에서 point3 과 point6 의 소음레벨이 10dBA 이상 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

Fig.12 와 Fig.13 을 비교해보면 modification model 의 모든 point 에서 전체적인 소음레벨이 basemodel 에 비해 많이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 특히 point1,5,6 에서의 소음레벨저감이 출구방향의 측정점(point 2,3,4)에 비해 크게 나타났다. rpm#6 에서 modification model 의 소음레벨저감 정도를 살펴보면 point1,5,6 은 각각 10~20dBA 감소한 반면, point2,3,4 는 3~8dBA 감소하는데 그쳤다. 이는 출구의 소음레벨 자체가 다른 방향에 비해 크기 때문으로, 출구와 스택(st

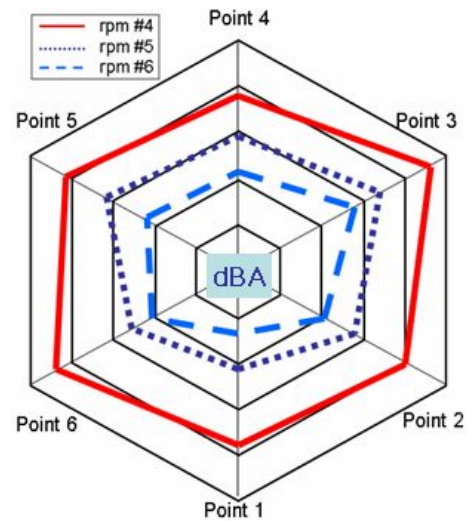


Fig. 12 Directivity pattern of the basemodel

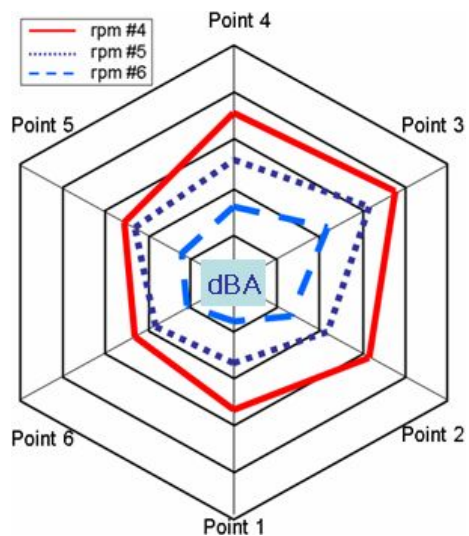


Fig. 13 Directivity pattern of the modification model

ack) 사이에 소음기(silencer)와 같은 방음대책이 요구된다. 하지만 원심형 블로워의 경우 그 성능이 출구의 공기흐름에 민감하기 때문에 이에 대한 연구가 먼저 수행되어야 할 것이다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 실험을 통해 블로워 가동시 블로워의 소음레벨 특성을 알아보고, 수정된 블로워 casing 을 적용해 그 효과도 확인해 보았다.

- 1) 블로워의 소음은 광대역 소음보다는 기계적 소음과 날개통과 주파수에 의한 peak 소음이 주된 소음원이다.
- 2) 기계적 소음에 의해 발생하는 저주파 소음이 basemodel 의 경우, 최대 rpm(rpm#6)에서

1order 는 75dBA, 2order 는 74dBA 그리고 3order 는 77dBA 의 값을 갖는다. 이는 공기역학적 소음인 날개통과주파수 소음이나 광대역소음보다 월등히 큰 값이다. 결국 기계적 소음을 줄이는 것이 가장 효과적인 소음저감 방법이 될 것이다.

3) modification model 의 실험 결과, 모든 point 에서 소음저감 효과를 거둘 수 있었다. rpm 별로 보면 중간 rpm 이상에서 저감 효과가 두드러지고, 방향 별로 보면 출구방향(point 2,3,4)보다는 반대방향(point 5,6,1)에서의 저감이 크게 나타났다. 이는 출구의 소음레벨이 다른 방향에 비해 크기 때문으로, 출구 방향의 소음대책이 요구된다.

향후 연구에서는 블로워의 유한요소모델을 이용해 블로워 casing 의 구조변경을 통한 소음저감을 실시할 예정이다.

## 후 기

이 연구는 산업자원부의 “승용연료전지차량 NVH 설계기술 개발” (과제번호 : 10028994)의 지원으로 진행되었습니다.

## 참고문헌

- (1) Jun-Jea Cho, Yeon-Sun Cho , "Experimental Investigations on the Noise and Vibration Sources of Electrical Motor", KSNVE, vol. 1997, No. 0, pp.37~42, 1996
- (2) Wan-Ho Jeon, "A Numerical Study on the Acoustic Characteristics of Centrifugal Impeller with Small Added Vane", KFMA, vol. 4, No. 1, pp 22~29, 2001
- (3) Wan-Ho Jeon, "Noise Source and Noise Control of the HVAC System", KFMA, vol. 4, No. 3, pp 119~126, 2001
- (4) G. H. Koopmann, D. J. Fox and W. Neise, "Active Source Cancellation of the Blade Tone Fundamental and Harmonics in Centrifugal Fans", Journal of Sound and Vibration, vol. 126(2), 209~220, 1998
- (5) Wan-Ho Jeon, Duck-Joo Lee, "An Analysis of the Acoustic Source and Radiation Acoustic Field of Centrifugal Fans", KFMA, '98 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp 97~104, 1998
- (6) S.H.Seo, H.K.Kwon, C.H.Lee, Y.S.Park, "Noise Reduction of Fuel Cell Vehicle", KSAE, 추계학술대회논문집, pp.1695~1700, 2006
- (7) KS B 6361, "Method of A-Weighted Sound Pressure Level Measurement for Fans, Blowers and Compressors", 2002