



에어컨 실내기 냉매 소음의 정량적 평가 인덱스 개발

Development of Refrigerant-induced Noise Quantitative Index for Air Conditioner Indoor Unit

정운창* · 오재응[†]
Un-Chang Jeong* and Jae-Eung Oh[†]

(Received July 10, 2019 ; Revised July 10, 2019 ; Accepted July 22, 2019)

Key Words : Refrigerant-induced Noise(냉매소음), Noise Quantitative Index(소음 평가 인덱스), Air Conditioner Indoor Unit(에어컨 실내기)

ABSTRACT

In this study, the objective and subjective sound quality of refrigerant-induced noise from air conditioner indoor units are conducted, particularly on the noise of two-phase flow, which is the main refrigerant-induced noise in air conditioner indoor units. To this end, Zwicker's parameters were determined for an objective evaluation of two-phase flow noise via signal processing. In addition, virtual sound sources were produced such as the amplification of noise level, frequency shift, and increase/decrease in playback time. Sound quality evaluation was performed on the virtual sound sources, and a multiple regression equation was established using the objective evaluation parameters. Finally, a sound quality index with more than 90 % reliability is established through statistical processing and objective and subjective sound quality assessment of virtual sound.

1. 서 론

가전제품은 소비자의 생활 환경에 많은 영향을 끼친다. 특히, 최근 생활수준의 향상으로 가전제품의 음질 및 소음 성능은 제품 선택의 주요한 요인이 되었다. 따라서 가전제품에서 발생한 소음 및 진동은 소비자들에게 불쾌감을 주기때문에 제품 개발 시 중요한 요소로 간주된다⁽¹⁻³⁾.

가전제품 중 에어컨은 소비자의 주요 생활 반경에 설치되어 소음 발생시 저소음에 대한 요구가 많다⁽⁴⁾. 이에 따라 제조업체들은 소음 저감 대책에 많은 노력을 기울이고 있다. 이런 많은 저감대책으로 인해 낮은 음압을 만족시키는 제품을 개발하였으나 소비자의

음질에 대한 불만족은 여전히 제기되고 있다. 에어컨 실내기의 소리의 만족도는 단순히 작동 시 음압에 의해 결정되는 것이 아니라 소비자의 심리를 고려한 음질요소에 의해 표현되기 때문에 심리음향을 고려한 에어컨 실내기의 연구가 필요하다.

이러한 낮은 음압임에도 불구하고 소비자들에게 불쾌함을 주는 소음은 대표적으로 냉매에 의한 소음이 있다. 에어컨의 냉매란 열을 이동시키기 위한 매체로 냉매는 열 전달을 위하여 증발, 압축, 응축 및 팽창을 반복하게 되는데, 이때, 냉매의 비선형적인 상변화에 의해서 이상유동이 생기게 된다. 이에 따라 유동 패턴이 달라지고 다양한 소음이 발생하게 된다. 근래에는 Monahna⁽⁵⁾ 및 Krepper⁽⁶⁾ 등에 의해 이상유동의 예측 및 분류에 관한 연구가 이루어졌으며 이러

[†] Corresponding Author ; Fellow Member, Hanyang University
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr

* Member, Dept. of Automotive Engineering, Honam University

[‡] Recommended by Editor Soo Il Lee

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

한 이상유동의 예측과 소음의 평가가 Heo⁽⁷⁾에 의해 진행되었다. 하지만 이런 냉매에 의한 음압레벨의 평가만 이루어졌을 뿐 사람의 감성을 고려한 음질 평가는 이루어지지 않고 있다.

음질은 심리 음향적 파라미터인 Zwicker's parameter를 이용하여 평가한다⁽⁸⁾. Zwicker에 의해 제안된 loudness, sharpness, fluctuation strength, tonality, roughness를 통해 세탁기, 냉장고 등 여러 가전제품의 경우 이러한 방법을 통해 음질 평가를 수행한 연구가 있다^(1,9). 하지만 에어컨의 냉매 소음의 경우 정확한 발생 메커니즘이 규명되지 않아 음질 평가를 위한 소음 데이터의 확보가 어렵다.

따라서 이 연구에서는 에어컨 실내기에서 발생하는 냉매 소음을 대상으로 소비자들의 객관적, 주관적 음질평가를 수행한다. 특히, 에어컨 실내기의 주요 냉매 소음인 slug류의 소음에 대한 연구를 수행한다. 이를 위해 소음 레벨의 증폭, 주파수 변경 등 가상음원 제작을 수행하고, 신호처리 기법을 통하여 slug류 냉매 소음의 객관적 평가에 적합한 Zwicker's parameter를 결정하였다. 최종적으로 가상음에 대한 객관적 및 주관적 음질 평가를 실시하고 통계처리를 통하여 90% 이상의 신뢰도를 갖는 음질 인덱스 구축을 수행한다.

2. 소음의 측정 및 음질 분석

2.1 소음 측정

에어컨의 냉매 유동 소음을 측정하기 위하여 microphone(B&K Type 4189)과 FFT analyzer(Muller-BBM PAK-MK II)를 사용하였다. 냉매 유동 소음 측정 대상 에어컨은 가장 일반적인 wall mount model으로 선정하였다. 에어컨에서 발생하는 냉매 유동 소음을 무향실에서 측정하였다. 냉매 유동 소음 측정을 위한 실험 장치를 Fig. 1에 나타내었다. 소음은 일반적으로 에어컨 소음 측정에 사용되는 표준인 에어컨 정면으로부터 거리 1 m, 높이 0.8 m를 떨어진 곳에서 측정하였다(Fig. 1).

에어컨의 여러 가지 작동상태 중 다양한 냉매 유동 소음이 발생하는 defrost 상태로 하였다. 에어컨의 운전 시간은 600초로 하여 slug류 냉매 유동 소음이 발생할 수 있도록 하였다.

2.2 음질 분석

음원을 취득하여 slug류의 냉매 소음이 발생하는

구간에 대해 실시간으로 주파수 분석을 실행하였다.

Slug류의 냉매소음의 주요 주파수 대역은 전문가들이 청음평가를 수행하여 발생한 시간 대역을 구분하여 선정하였다. 약 200초~300초 사이에 slug류가 발생한다고 평가하였으며 300초~400초에서는 slug류가 발생하지 않는다고 평가하여, 주요 주파수 대역은 270 Hz~1870 Hz 대역으로 확인되었다(Fig. 2). Slug류 냉매 소음의 음질을 분석하기 위하여 냉매 소음이 발생하는 구간에 band pass filter를 적용하고 Zwicker's parameter를 계산하였다. Band pass filter 적용 전후를 비교하여 slug류를 나타내는 Zwicker's parameter를 선정하였다. Zwicker's parameter는 음지 평가 시 객관적인 수치를 제공하기 위해 사용된다(Table 1). Zwicker's Parameter를 계산하기 위해 상용 음질 분석 프로그램인 Head Acoustics의 Artemis를 이용하여 음질 분석을 수행하였다.

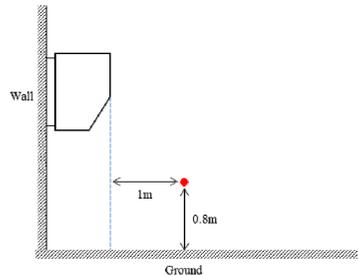
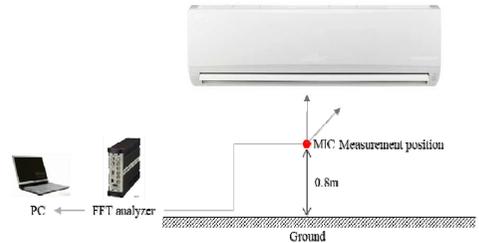


Fig. 1 Experimental setup

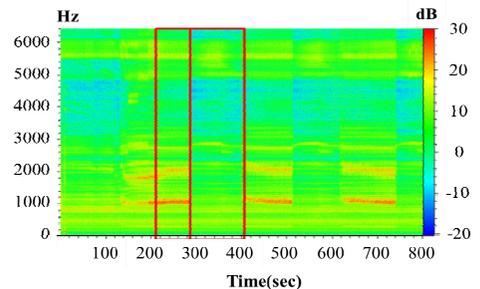


Fig. 2 Spectrogram of air conditioner indoor unit noise

Table 1 Zwicker’s parameters

Parameter (unit)	Equation
Loudness (sone)	$N^r = 0.08 \left(\frac{E_{TQ}}{E_o} \right)^{0.23} \left[\left(0.5 + 0.5 \frac{E}{E_{TQ}} \right)^{0.23} - 1 \right] \frac{sone}{Bark}$
Sharpness (acum)	$S = C \frac{\int_0^{24bark} N(z)g(z)zdz}{\ln \left(\frac{N}{sone \times 20} + 1 \right)} \frac{acum}{sone}$
Roughness (asper)	$R(z) = 0.0003 \cdot f_{mod}(z) \cdot \Delta L_{E_r}(z) \cdot \Delta z$
Fluctuation strength (vacil)	$F(z) = \frac{0.032 \cdot \Delta L(z) \cdot \Delta z}{f_{mod}(z)/4 + 4/f_{mod}(z)}$
Tonality (tu)	$\omega_{sp} = \frac{\sqrt{[r \cos(\theta) - \hat{r} \cos(\hat{\theta})]^2 + [r \sin(\theta) - \hat{r} \sin(\hat{\theta})]^2}}{r + \hat{r}}$

BPF 적용 전 신호처리 결과에서는 나타나지 않았던 특성이 fluctuation strength에서 나타나는 것을 알 수 있다(Fig. 3). Slug류의 저주파 변동 성분을 fluctuation strength가 잘 나타냄을 확인하였다.

3. 인덱스 구축을 위한 청음평가

3.1 가상음 제작

측정을 통해 얻은 소음을 상용 소프트웨어인 Sound Forge 8.0을 이용하여 가상음을 제작하였다. 가상음은 Table 2와 같이 제작하였다. 주파수 대역 레벨의 변화는 8수준으로 음원을 제작하였고, 발생 주파수의 변화는 4수준, 변동 주기의 변화도 4수준으로 가상음을 제작하였다.

가상음에 대한 Zwicker’s parameter별 객관적 평가 결과는 Table 3과 같다.

에어컨 실내기의 slug류 레벨 변화 가상음은 loudness, roughness가 민감하게 변화하며 sharpness를 제외한 대부분 파라미터들이 변화 특성을 잘 나타냄을 알 수 있다. 또한 주파수 변화의 경우 tonality만이 약간 변화한 것을 알 수 있다. 마지막으로 채생속도 변화의 경우 fluctuation strength와 tonality가 특성을 잘 나타냄을 알 수 있다.

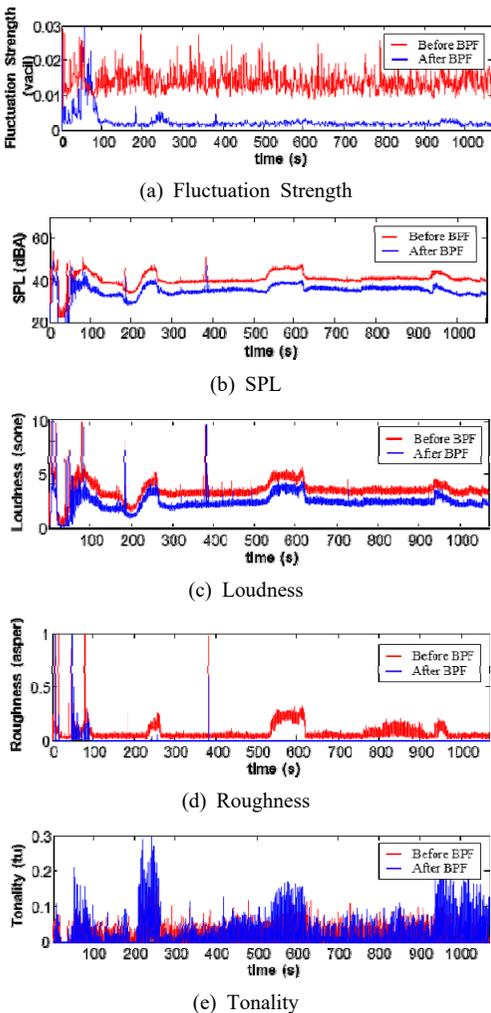


Fig. 3 Applying a BPF to noise

Table 2 Virtual noises

Source	Explanation
1	Reference sound
2	Overall level -12 dB
3	Overall level -9 dB
4	Overall level -6 dB
5	Overall level -3 dB
6	Overall level +3 dB
7	Overall level +6 dB
8	Overall level +9 dB
9	Overall level +12 dB
10	Freq. × 0.8
11	Freq. × 0.9
12	Freq. × 1.1
13	Freq. × 1.2
14	Time × 0.25
15	Time × 0.50
16	Time × 2.00
17	Time × 4.00

Table 3 Objective evaluation of virtual noises

Source	Explanation	Loudness	Fluctuation	Roughness	Sharpness	Tonality
1	Reference sound	1.320	0.0094	0.1340	1.480	0.0633
2	Overall level -12 dB	0.3840	0.0079	0.0000	1.740	0.0351
3	Overall level -9 dB	0.6110	0.0083	0.0001	1.690	0.0447
4	Overall level -6 dB	0.8760	0.0091	0.0067	1.620	0.0543
5	Overall level -3 dB	1.170	0.0951	0.0561	1.540	0.0599
6	Overall level +3 dB	1.480	0.00965	0.2180	1.430	0.0662
7	Overall level +6 dB	1.910	0.0104	0.3990	1.390	0.0661
8	Overall level +9 dB	2.460	0.0112	0.6470	1.390	0.0651
9	Overall level +12 dB	3.130	0.0123	0.8370	1.410	0.0634
10	Freq. × 0.8	1.290	0.00952	0.1090	1.500	0.0568
11	Freq. × 0.9	1.30	0.0105	0.1300	1.470	0.0574
12	Freq. × 1.1	1.340	0.00987	0.1530	1.460	0.0558
13	Freq. × 1.2	1.320	0.00913	0.1440	1.460	0.0589
14	Time × 0.25	1.280	0.0132	0.1390	1.290	0.0521
15	Time × 0.50	1.410	0.0099	0.1860	1.390	0.0551
16	Time × 2.00	1.430	0.00848	0.1830	1.430	0.066
17	Time × 4.00	1.440	0.0109	0.1970	1.390	0.0597

3.2 청음평가

가상음에 대한 주관적 음질 평가를 수행하기 위하여 암소음의 영향을 줄이기 위해 청음 평가실에서 수행하였다. 또한 청력의 문제가 없는 사용자 48명을 대상으로 4명씩 12그룹으로 나누어 실험을 수행하였다. 또한 스피커를 이용하여 청음평가를 수행할 경우 음의 왜곡이 발생 할 수 있기 때문에 헤드폰을 사용하여 실험을 수행하였다. 음원은 각 음원별 10초간 재생하여 청음 후 평가하였다. 평가 방법으로는 평정 척도법을 사용하였다. 평정 척도법은 피험자에 의해 아주 판단이 쉽고 한편 일상 생활에 사용되는 언어로 판단이 요구되어지기 때문에 소음의 허용 기준을 고려하는데 있어서나 영향 정도를 파악하는데 유용하다. 또한 계류효과를 고려하기 위해 가장 낮은 수준과 가장 높은 수준의 음원을 먼저 제시하고, 판단의 기준으로 삼을 수 있도록 하였다. 음원은 불규칙하게 제시하여 2번의 반복 시험을 수행하였다.

2회의 반복 시험 후 각 평가 결과간 상관도 분석을 통하여 0.7 이상의 상관도를 가지는 평가자의 결과를 신뢰성이 있다고 판단하여 인덱스 구축에 사용하였다.

4. 음질 인덱스 구축 및 검증

4.1 상관도 분석

가상음의 Zwicker's parameter를 이용한 객관적 평

가결과와 청음평가의 주관적 평가 결과의 상관관계를 확인하기 위해 상용통계프로그램인 Minitab을 이용하여 분석을 수행하였다.

Table 3에 정리한 것과 같이 상관도 분석결과는 loudness와 fluctuation strength가 높은 것을 알 수 있다. 여기서 상관관계 값이 1에 가까울수록 높은 상관관계를 나타낸다.

2.2절의 신호처리를 통해 소음원의 특성을 잘 반영한 파라미터는 fluctuation strength으로 나타났으나 상관도 분석의 결과 loudness가 가장 크고 다음으로 fluctuation strength 순이었다. Loudness는 가청주파수 내에서 주파수레벨이 높아질수록 커지며, fluctuation strength는 20 Hz 미만 영역의 주파수 변조 특성을 나타낸다. 이는 변동하는 slug류의 소음은 fluctuation strength에 의해 특성이 규정되고 전체적인 overall level을 증가시키면 더욱더 소비자들은 변동 폭이 커져 소음을 불쾌하게 느끼는 것을 알 수 있다.

4.2 회귀 분석을 이용한 음질 인덱스 구축

회귀분석은 변수들 사이의 인과관계를 규명하고자 하는 분석방법으로 변수의 선정이 중요하다. 먼저 변동하는 특성을 나타내는 fluctuation strength를 단일 변수로 하여 회귀식을 구축하였다.

$$Index = -6.52 + 1256 \times Fluc.Strength \quad (1) \\ (R^2 = 95.5)$$

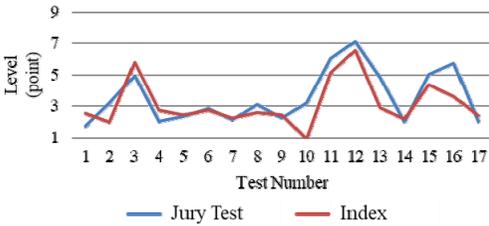


Fig. 4 Validation of index

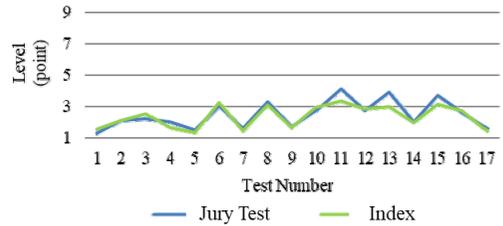


Fig. 5 Validation of index after applying BPF

단일회귀식 구축 결과 가상음에 대한 fluctuation strength 양의 상관관계를 나타내므로 fluctuation strength의 계수가 양수를 나타내게 된다.

다음으로 신뢰도를 더욱 향상시키기 위해 높은 상관관계를 갖는 변수인 loudness를 다른 하나의 변수로 삼아 다중 회귀식을 구축해보았다. 일반적으로 다중 선형 회귀모형은 단순선형회귀 식보다 신뢰도를 높일 수 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 주관적 평가와 높은 상관도를 갖는 loudness와 fluctuation strength를 사용하여 다중 회귀식을 구축하였다.

$$Index = -2.80 + 47 \times Fluc.Strength + 0.233 \times Loud. \quad (2)$$

$(R^2 = 99.4)$

다중회귀식을 이용하여 신뢰도를 더욱 향상시킬 수 있었다. 다음으로는 구축된 음질 인덱스의 타당성 검토를 위해 새로운 소음에 적용하여 주관적 평가결과와 비교를 할 필요가 있다.

4.3 음질 인덱스의 타당성 검증

구축된 에어컨 실내기 slug류 냉매 소음의 음질 인덱스의 실제 적용 가능성을 타진하기 위해 새로운 소음에 적용해 보았다. 소음은 앞서 인덱스 구축을 위한 측정 방법과 동일하게 측정하였다. 또한 청음평가도 앞서 음질 인덱스를 구축하는 방법과 동일하게 수행하였다.

수행결과는 Fig. 4에 나타내었다. 소음이 발생하지 않는 구간에서는 음질 인덱스와 주관적 평가 모두 낮은 점수를 보였으며 소음이 발생하는 구간에서는 주관적 평가와 음질 인덱스의 값이 모두 높아지는 것을 알 수 있다.

또한, 이 두 가지의 평가방법의 결과는 0.84의 높은 상관도를 갖는 것을 알 수 있었다.

구축된 인덱스의 신뢰도보다 낮은 상관성을 보인

이유로는 측정된 소음에서 다양한 소음원들이 있었으며 주관적 평가 시 다른 소음과 구별하지 못하는 비전문가 집단이므로 결과에 영향이 있었을 것으로 추정된다.

따라서 slug류의 특성이 반영된 BPF를 소음에 적용하여 타당성 검증을 수행하였다(Fig. 5) 그 결과 인덱스 점수와 주관적 평가 점수의 상관도가 0.91로 매우 높아지는 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

이 연구에서는 에어컨 실내기에서 발생하는 냉매 소음을 대상으로 소비자들의 객관적, 주관적 음질평가를 수행하였다. 특히, 에어컨 실내기의 주요 냉매 소음인 slug류의 소음에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 slug류에 영향을 미치는 주관적 평가 파라미터를 규명하였고, 소음 레벨의 증폭, 주파수 변경 등 가상음원 제작을 수행하였다. 제작된 가상음원에 대하여 음질평가를 수행하여 주요 객관적 평가 파라미터를 이용하여 다중회귀식을 구축하였다. 구축된 음질 인덱스의 타당성을 검토하기 위해 새로운 측정 소음에 대해 평가를 실시하였다. 최종적으로 가상음에 대한 객관적 및 주관적 음질 평가를 실시하고 통계처리를 통하여 90% 이상의 신뢰도를 갖는 음질 인덱스 구축을 수행하였다.

이 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, slug류의 소음은 변동특성이 큰 소음으로 심리 음향학적 파라미터인 fluctuation strength가 가장 이를 잘 반영하는 요소인 것을 알 수 있었다.

둘째, 제작된 가상 소음에 대한 청음평가 결과와 심리음향학 파라미터의 관계는 loudness와 fluctuation strength 순으로 나타났다. Loudness는 변동 하는 소음의 overall level이 증가하면 더욱 변동이 큰 것으로

느껴지는 것을 알 수 있었다.

셋째, 측정된 소음에 slug류 소음의 주요 주파수 대역의 band pass filter를 적용하여 slug류에 대한 타당성을 검토 시 상관관계가 90 % 이상의 결과를 얻을 수 있었다. 이를 이용하여 에어컨 실내기 slug류의 소음 평가에 대한 적용가능성을 검증하였다.

References

- (1) Kim, H. S., Park, S. G., Kang, G. H., Lee, J. Y. and Oh, J. E., 2007, The Analysis of Noise Contribution about Drum Washer under Dehydrating Condition Using Multi-dimensional Spectral Analysis, Journal of Sound and Vibration, Vol. 17, No. 11, pp. 1056~1063.
- (2) Oh, J. E., Lee, J. Y., Hong, J. H., Lee, H. S. and Lee, J. H., 1998, A Study on the Evaluation of Noise Contribution and Counterplan about the Mechanical Structure Using Multi-dimensional Spectral Analysis and Vector Synthesis Method, Proceedings of the KSPE 1998 Annual Autumn Conference, pp. 515~519.
- (3) Jung, D. H., Park, S. G., Noor, F., Lee, Y. Y. and Oh, J. E., 2007, The Sound Quality Evaluation and Preference Analysis of Vacuum Cleaner, Proceedings of the KSNVE 2007 Annual Autumn Conference, pp. 1297~1301.
- (4) Lee, J. H., 2010, A Study on the Process of Sound Quality Evaluation of Air-conditioner Indoor Unit, M.S. Thesis.
- (5) Monahan, S. M. and Vitankar, V. S., 2005, CFD

Predictions for Flow-regime Transitions in Bubble Columns, American Institute of Chemical Engineers, Vol. 51, No. 7, pp. 1897~1923.

(6) Krepper, E., 2008, The Inhomogeneous MUSIG Model for the Simulation of Polydispersed Flows, Nuclear Engineering and Design, Vol. 238, No. 7, pp. 1690~1702.

(7) Heo, S. J., 2011, Prediction of Two-phase Flow Patterns and Noise Evaluation for Evaporator Pipe in a Refrigerator, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 21, No. 10, pp. 916~923.

(8) Zwicker, E. and Fastl, H., 1999, Psycho-acoustics Facts and Models, 2nd Edition, Springer.

(9) Jeong, J. E., Yang, I. H., Park, G. D. and Oh, J. E., 2010, Case Study for Sound Quality Index of Vacuum Cleaner' Operating Noise, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 12, pp. 1223~1228.



Jae-Eung Oh received his B.S. form Hanyang University(1975), M.S. from Yokohama National University(1980) and Ph.D. degree in Environment Engineering from the graduate school from the Tokyo Institute of Technology(1983) with his thesis in the area of Noise & Vibration and Signal Processing. Since 1985, he has been a Member of Korean Society for Noise and Vibration Engineering.