

## 비순정품 자동차 머플러의 성능개선

이성원<sup>1</sup>, 최두석<sup>2</sup>, 박성영<sup>2\*</sup>  
<sup>1</sup>공주대학교 일반대학원 기계공학과  
<sup>2</sup>공주대학교 기계자동차공학부

### Study on the Performance Improvement of the Aftermarket Automotive Muffler

Sung-Won Lee<sup>1</sup>, Doo-Seuk Choi<sup>2</sup> and Sung-Young Park<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Mechanical Engineering Dept., Graduate School, Kongju National University

<sup>2</sup>Div. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

**요 약** 비순정품 머플러는 경험에 의존하여 개발하는 경우가 다수이며, 국내에서는 그 해석과 평가가 미흡한 실정이다. 기존 비순정품 머플러는 지나치게 높은 압력강하량으로 인하여 엔진의 순조로운 작동을 저해하였다. 본 연구에서는 1500cc 가솔린 엔진의 비순정품 머플러의 압력강하량 저감을 위하여 각종 해석과 실험을 수행하였다. 다양한 모델을 실험한 결과, 동등한 흡음효과를 가지면서 기존의 비순정품 머플러 대비 우수한 압력강하량과 진동 특성을 가지는 머플러를 개발하였다. 개발된 머플러는 압력펄스에 기인하여 진동을 발생시키는 폐쇄된 공간을 배제하고 입구파이프를 이분화하는 구조를 가지고 있다.

**Abstract** Aftermarket muffler has been developed mainly by personal experience and trial-and error and has not been properly simulated or evaluated its performance. One of the aftermarket muffler problems is that the aftermarket muffler has quite high pressure-drop across the passage. To reduce the pressure-drop, various simulation and test has been performed for various muffler models. As a result, the muffler that has superior pressure-drop and vibration characteristics compared to the previous muffler has been developed. Developed aftermarket muffler has a structure that avoids confined space causing vibration due to exhaust pressure pulsation and bisects an inlet pipe from the engine.

**Key Words** : Muffler, Exhaust gas flow, Transmission loss, Pressure-drop

### 1. 서론

음향에너지의 전달이 최소화 되도록 하는 머플러는 자동차 소음저감 장치의 가장 큰 부분을 차지하며 엔진의 소음저감을 위하여 설계자가 가장 큰 노력을 해야 할 부품이다[1]. 최근에는 엔진 관련 부품의 성능과 감성적인 부분이 강조되면서 엔진의 성능과 운전자의 감성에 직접적인 영향을 미치는 중요한 부품 중 하나로 인식되고 있다[2]. 머플러는 팽창식, 공명식, 흡수식, 격벽식의 형식 및 구조를 가지며 현재 대부분의 머플러는 각 방식을 혼합한 격벽식의 구조를 따르고 있다.

머플러에 대한 관심이 높아지면서 많은 연구가 활발히 진행되었으며, 이정권[3]과 Munjal[4]은 머플러의 구조에 따른 작동원리와 음향성능 특성에 대한 연구를 수행하였다.

해석을 통한 머플러 설계에는 3-D모델이 적용되며 이는 간단한 기하학과 수치해석에 의해 이루어지기 때문에 분석적인 해결책을 위하여 유한요소법이 제시되었으며, 확장형, 축소형, 격판의 유무, 천공의 유무 등 다양한 구조의 머플러에 이러한 해석적 접근방법이 적용되어 연구가 진행되었다. 또한 각각의 형상에 대한 음향특성, 성능지수 및 계산상 처리방법 등도 연구되

\*교신저자 : 박성영(sungyoung@kongju.ac.kr)

접수일 09년 07월 20일

수정일 (1차 09년 09월 29일, 2차 09년 10월 08일)

게재확정일 09년 10월 14일

었다[5-9]. Kirby[10]와 Dokumaci[11]는 머플러 내부관에 천공을 가공하는 것이 소음 성능의 중요 설계인자임을 확인하였다.

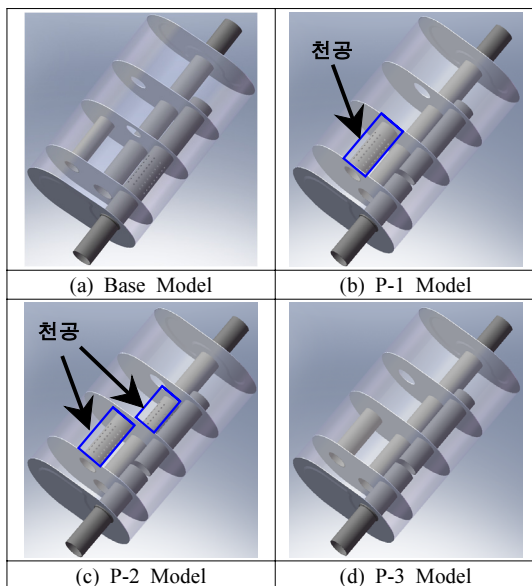
본 연구의 개발 대상이 되는 머플러는 1500cc 가솔린 엔진에 장착되는 비순정품이다. 비순정품은 경험에 의존하여 개발하는 경우가 다수이며, 국내에서는 그 해석과 평가가 미흡한 실정이다. 현재 시장에 유통되는 비순정품 머플러의 가장 큰 문제점은 지나치게 높은 압력손실로 엔진의 순조로운 작동에 악영향을 미치는데 있다. 이러한 영향은 엔진의 출력을 감소시키고 연료소비율을 악화시킬 수도 있다.

본 연구의 목표는 해석과 실험에 의한 최적화를 통하여 비순정품 머플러의 고질적인 문제점인 압력손실을 최소화하고, 소음 및 진동 부문에서 개선된 새로운 모델을 제시하는데 있다.

## 2. 본론

### 2.1 해석 모델 및 경계조건

이러한 문제점들을 개선하기 위하여 유동해석과 소음해석을 통하여 비순정품 머플러의 성능을 평가 분석하여 개선 방안을 제시한 바 있으며, 이전의 연구결과[12]에서 상세한 모델의 정보를 설명하고 있다.



[그림 1] 유동 해석 모델링

그림 1은 본 연구의 대상이 되는 1500cc급 자동차 머플러의 3-D 모델이다. 특히, (a)의 베이스 모델은 현재 생산되어 시중에 판매되고 있는 제품이다. (b) ~ (d)의 머플러 모델은 소음기 성능해석을 통하여 최적화된 모델이며 상세한 도출과정 및 결과는 참고문헌[12]에 상세히 기술되어있다.

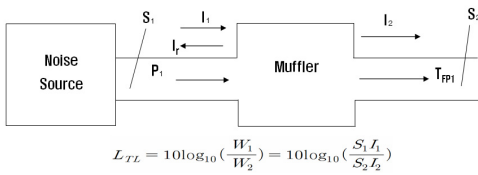
제안된 세가지 모델은 구조적으로 동일한 형상을 가지고 있으나, 천공의 배치가 상이하다. 즉, P-1은 엔진측으로부터 3번째 공간에 연결된 파이프에 천공을 배치하였으며, P-2는 P-1에 엔진측으로부터 2번째 공간에 천공을 추가하였다. P-3은 천공을 배제한 파이프와 격판만으로 설계된 사양이다. 천공의 갯수는 90개로 한정하였으며 지름4mm의 9×10열로 가공되었다. 이러한 천공 배치의 변경은 최적화된 형상에서 추가적인 소음효과 유무를 파악하기 위한 것이다.

본 연구에서는 그림 1의 3-D 모델을 직접 적용하여 유동해석을 수행하였다. SolidWorks의 통합 환경을 지원하는 유동해석 소프트웨어(FloWorks)를 사용하였으며[13], 약 30만 개의 유체 계산격자를 구성하여 유동해석을 수행하였다.

머플러 내부의 배기가스 유동은 정상 상태의 난류 유동으로 가정하였으며, 난류 모델은 표준  $k - \epsilon$  모델을 사용하였다[13]. 아이들 엔진 조건인 700rpm과 최고빈도 운전조건인 2000rpm 그리고 최대출력 엔진 회전수인 6000rpm에 대한 해석을 진행하였다. 각각의 엔진 운전조건에서 체적효율을 100%로 가정하여, 0.01kg/s, 0.03kg/s, 0.09kg/s의 질량유량을 입구조건으로 적용하였다. 이때의 배기가스 온도는 500K으로 설정하였으며 출구부는 대기압 조건으로 설정하였다.

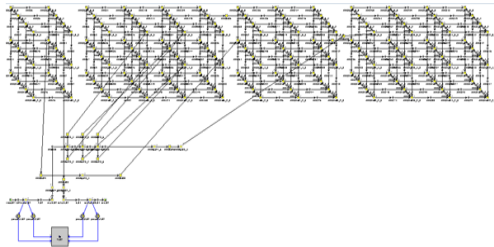
수렴 조건은 FloWorks에서 제공되는 자동 목표치 수렴방식을 사용하였다. 이는 일정 수렴기간동안 목표치의 최대값과 최소값의 차로서 정의되는 분산값을 계산하여 수렴의 여부를 결정하는 방식이다. 본 연구에서는 출구의 질량 유동율, 정압력을 목표치로 설정하여 수렴 조건을 제어하였다.

소음해석은 Gamma Technology사의 상용 소프트웨어(GT-Power)를 사용하여 전달손실(Transmission Loss, TL)을 계산하였다[14]. 전달손실은 소음기에 입사된 음향파워레벨(Sound power level)에서 하류의 음향파워레벨을 뺀 값이며, 그림 2는 전달손실의 개념도를 보이고 있다. 전달손실은 머플러의 개발에서 계산치와 실측치의 비교에 널리 사용되며, 소음기 성능의 비교 기준으로 사용된다[3,5].



[그림 2] 전달손실의 개념도

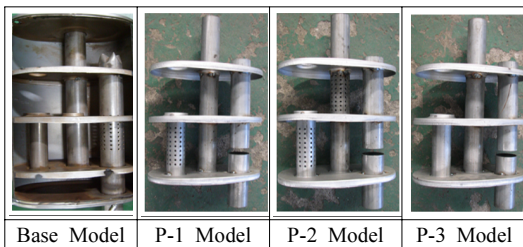
그림 3은 머플러의 소음 해석을 위한 1-D 모델을 보이고 있다. GT-Power 내의 모델링 툴인 GT-Muffler를 통해 모델링을 수행하였으며 GT-ISE 6.2를 통해 맵핑과 성능 해석을 수행하였다.



[그림 3] 소음해석을 위한 1-D 모델링

2.2 실험 모델 및 장치

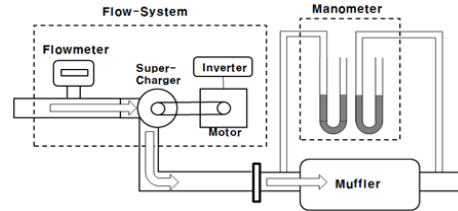
해석결과를 검증하기 위하여 각 모델의 시제품을 제작하고 실험적 연구를 수행하였다. 그림 4는 그림 1의 모델을 기준으로 제작된 시제품의 내부 형상을 보여주고 있다. 각 모델별 3개의 시제품을 제작하여 실험을 수행하였다.



[그림 4] 제작된 머플러 시제품 내부형상

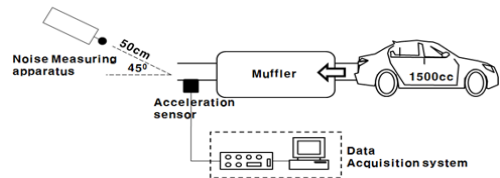
그림 5는 압력강하량 측정을 위한 실험장치의 개략도이다. 일정 유량을 제어, 공급할 수 있는 Flow-System을 이용하여 유동해석의 입구 경계조건과 동일한 유량을 공급하면서 입구부와 출구부의 압력차이를 마노미터를 통하여 측정하였다. 이때 사용한 Flow-system은

슈퍼차저와 유량계로 구성되어 있으며, 인버터로 슈퍼차저와 연결된 모터의 회전수를 제어하여 일정 유량을 공급하였다. 이때 유량측정은 KC-MASS 사의 KC-2110S 유량계를 사용하였다. 제어 유량값은 체적유량 30, 60, 90, 120 및 150 Nm<sup>3</sup>/h로 실험을 수행하였다.



[그림 5] 압력강하 실험 장치도

소음과 진동 실험은 머플러의 탈부착이 용이하도록 차량용 리프트를 이용하여 실차에 장착 후 진행하였다. 그림 6은 차량의 소음 및 진동 측정 장치의 개략도를 보여주고 있다. 머플러의 소음은 KS표준인 KSR 1045에 의거하여 측정하였으며, 소음측정기(Digital Sound Level Meter AR824)를 사용하였다. 진동측정은 3축 가속도센서와 Data Acquisition system을 사용하여 머플러의 가속도 성분을 측정하였다. 소음 및 진동 실험은 아이들 상태(700rpm) 및 2000rpm에서 3회 반복 실험하여 평균값을 분석하였다.



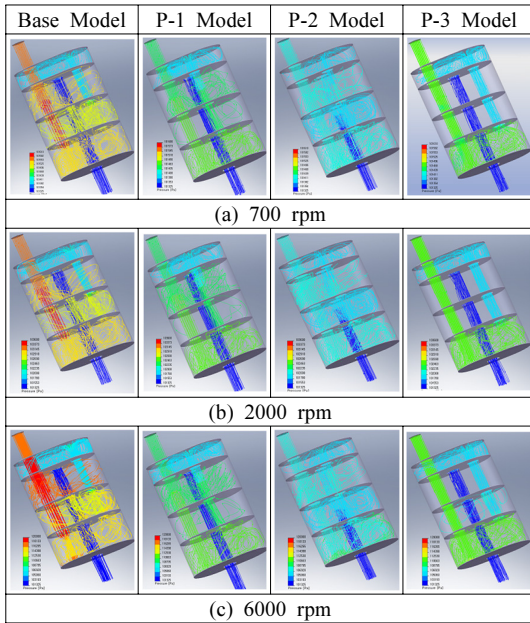
[그림 6] 차량 소음 및 진동실험장치 개략도

3. 결과 및 고찰

3.1 머플러 유동해석

그림 7은 본 연구에서 제안하는 머플러 모델의 유동 해석 결과인 유선과 압력 강하량을 보여주고 있다. 실험에 적용된 엔진운전 조건 모두에서 베이스모델 대비 제안된 모델의 압력강하량이 감소하였음을 확인할 수 있고, 이는 제안된 모델들의 유동 조건이 개선되었음을 나타낸다. 특히, P-2 모델이 가장 낮은 압력강하량을

을 보였으며, P-1 모델, P-3 모델 순으로 압력강하량이 증가한다. 이들이 동일한 격판의 기본 구조임을 고려해볼 때, 천공 개수가 최대인(그림 1 참조) P-2 모델이 가장 낮은 압력강하량을 나타낸다. 압력강하량의 관점에서 천공은 단순히 유동저항을 감소시키는 유동면적의 증가로 작용하였다.



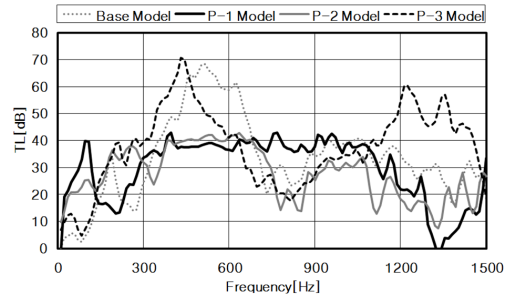
[그림 7] 배기가스 유동 해석결과

### 3.2 머플러의 소음해석

본 연구에서 소음해석을 위하여 사용한 상용 소프트웨어는 절대적인 음압을 예측하기보다는 소음 저감특성을 분석하는 상대적인 비교에 유용하다. 전달손실 분석에서 아이들 상태는 0~300Hz에서의 성능이 일반적으로 비교된다. 전체적인 영역에서의 위상차 역시 무시 할 수는 없으나 일반적으로 1000Hz 이상의 영역은 실제모델과 해석모델의 오차 증가로 해석결과의 신뢰도가 미약한 것으로 보고되고 있다[2].

그림 8은 해석에 의해 얻어진 모델들의 전달손실 값을 비교한 그래프이다. 전달손실은 입출구 음향파위 레벨의 차이이므로 그 값이 커질수록 소음 효과가 증대되는 것을 의미한다. 주 비교대상인 300Hz이하에서는 각 제안모델에서 베이스 모델 대비 긍정적 소음 효과를 보인다. 특히 150Hz 이하에서는 P-1 및 P-2 모델이 우수한 소음특성을 나타내며, 150Hz ~ 300Hz영역에서는 P-2 및 P-3 모델이 우수한 특성을 나타내고 있다.

300Hz ~ 500Hz에서 기존 비순정품 머플러와 P-3 모델이 유사한 전달손실 값의 크기를 보이고 있다. 전달손실의 관점에서 볼 때, 제안된 신규 사양이 아이들시의 소음을 악화시키지 않음을 알 수 있다.

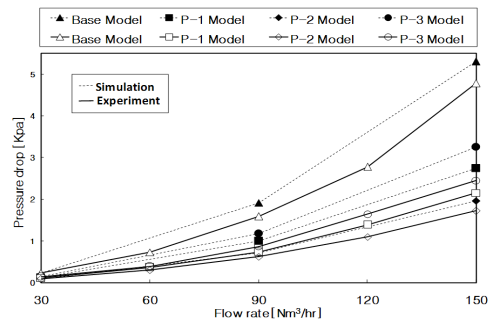


[그림 8] 700rpm 전달손실 해석결과 비교

### 3.3 압력강하량 실험

그림 9는 압력강하량 실험 결과와 해석치의 비교를 보여주고 있다. 유량이 증가할수록 압력 강하량이 증가하며, 각 제안모델에서 비순정품 머플러대비 40~60% 압력강하량 저감효과를 보인다. 이는 압력강하량 측면에서 제안모델의 내부 구조가 비순정품 머플러보다 우수함을 알 수 있다. 압력강하량의 크기는 해석과 동일하게 P-2, P-1, P-3순으로 압력강하량이 증가한다. 일반적으로 압력강하량의 감소는 엔진 운전시 연소가스의 배기저항을 감소시켜 엔진의 출력을 향상시키는 효과가 있다.

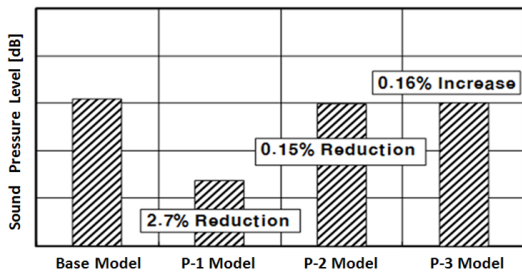
해석과 실험결과 값의 차이가 보이는 것은 시제품과 모델링의 차이 때문이다. 모델링에서는 격판과 외벽이 완전히 밀착되어 있으나 시제품에서의 격판과 외벽은 spot 용접으로 일부분만을 고정하였기 때문에 그 사이로 유동이 발생하게 된다. 이 차이로 인하여 실험값이 해석값 대비 낮은 압력강하량을 보이는 것으로 판단된다.



[그림 9] 압력강하량 실험 및 해석결과 비교

### 3.4 머플러의 소음실험

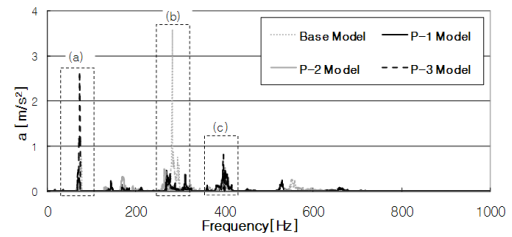
소음실험은 실험실의 기본 소음을 감안하여 분석하였으며, 그림 10에 그 결과를 도시하였다. 그림 8의 150Hz이하에서 우수한 흡음특성을 보였던 P-1 모델에서 미미하지만 소음 저감효과가 있었다. 150Hz 이하에서 비순정품 머플러 대비 우수한 소음특성을 보였던 P-2 모델에서도 소음저감효과는 미미한 수준이었다. 엔진 아이들 운전영역에서의 전반적인 소음 수준은 전 모델에서 동등한 수준이다.



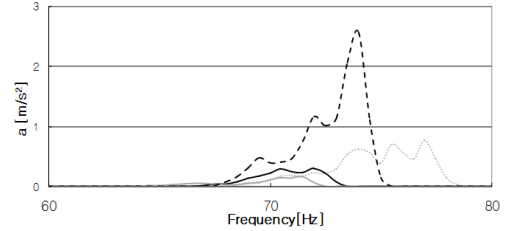
[그림 10] 700rpm 소음측정 결과

### 3.5 머플러의 진동실험

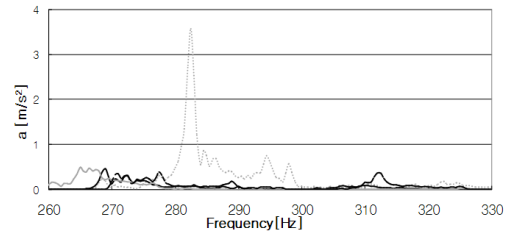
그림 11은 엔진의 작동조건을 대표하는 운전조건인 2000rpm에서의 3차원 가속도 성분 측정결과이다. 약 75, 280 및 400Hz 근처에서 가속도 성분이 증가함을 알 수 있다. 각 영역으로 나누어 살펴보면, 그림 11(a)영역의 최대값에서 베이스모델 대비 P-3 모델이 약 3배의 값을 보이며, P-1, P-2 모델은 절반 이하의 값을 보이고 있다. 이와 같이 P-3 모델이 낮은 주파수에서 큰 진폭으로 진동하는 것은 입구로부터 2번째 격벽사이 공간이 천공없이 폐쇄되어 엔진 배기가스의 압력펄스를 머플러 외부로 직접 전달하기 때문인 것으로 판단된다. 그림 11(b)영역에서 베이스모델의 최대값이 각 제안모델에서 80%이상 감소하였다. 이는 머플러 입구 파이프를 이분화하면서 입구로부터 2번째 와 4번째 공간으로 배기가스의 압력펄스가 분산되기 때문인 것으로 판단된다. 그림 11(c)에서는 각 제안모델에서 베이스모델에는 없던 가속도 성분이 나타났으나 그 값이 작았으며, 특히 P-1모델에서 가장 작은 값을 나타내었다. 전반적으로 전 영역에서 P-1 모델이 가장 우수한 진동특성을 보였다.



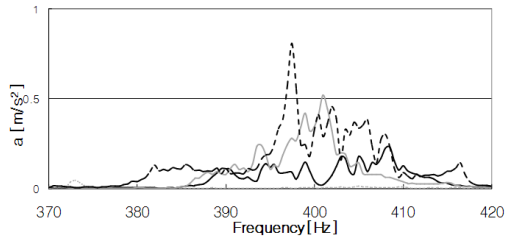
전체 영역



(a) 60~80Hz 영역



(b) 260~330Hz 영역



(c) 370~420Hz 영역

[그림 11] 2000rpm 진동실험 결과

## 4. 결론

1500cc 가솔린 엔진에 장착되는 머플러의 배기가스 유동해석, 소음 해석, 배압 실험 및 실차 실험을 통하여 신규 비순정품 머플러 모델을 제안하였으며, 다음과 같은 결론 및 효과를 얻을 수 있었다.

- 1) 동등한 흡음효과를 가지면서, 우수한 압력강하량을 가지는 비순정품 머플러 모델을 개발하였다. 제안된 신규 머플러는 엔진의 고속 운전조건에서



기존 제품대비 50%이상의 압력강하량 저감 효과를 가진다. 이는 엔진의 배기저항을 감소시켜 출력 성능을 향상시킬 것으로 판단된다.

- 가속도 성분을 분석한 결과, 압력펄스에 기인하여 진동을 발생시키는 폐쇄된 공간을 배제하고 입구파이프를 이분화하는 것이 진동을 감쇠하는데 유리한 것으로 판단된다. 이를 적용한 P-1 모델은 270~300Hz 영역에서는 기존의 모델대비 80%이상의 감쇠효과를 나타내었다.

### 참고문헌

- 1) L. H. Bell and D. H. bell, "Industrial Noise Control", Marcel Dekker, 1994.
- 2) P. H. Smith and J. C Morrison, "The Scientific Design of Exhaust and Intake Systems", Robert Bentley Inc., 1971.
- 3) 이정권, "배기소음기의 음향 해석 및 설계 : I. 구조에 따른 작동원리", *Transaction of KSAE*, Vol. 16, No. 4, pp.37-50, 1994.
- 4) M. L. Munjal, "Analysis and Design of Mufflers-An Overview of Research at the Indian Institute of Science", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 211, No. 3, pp.425-433, 1998.
- 5) 이정권, "배기소음기의 음향 해석 및 설계 : II. 음향성능의 표현법", *Transaction of KSAE*, Vol. 16, No. 5, pp.10-19, 1994.
- 6) K. S. Peat and K. L. Rathi, "A Finite Element Analysis of The Convected Acoustic Wave Motion in Dissipative Silencers", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 184, No. 3, pp.529-545, 1995.
- 7) 이정권, "배기소음기의 음향 해석 및 설계 : III. 선형 모델링 및 설계지침", *Transaction of KSAE*, Vol. 17, No. 1, pp. 20-30, 1995.
- 8) A. Selamet and P. M. Radavich "The Effect of Length on The Acoustic Attenuation Performance of Concentric Expansion Chambers: An Analytical, Computational and Experimental Investigation", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 201, No. 4, pp.407-426, 1997.
- 9) J. F. Dowling and K. S. Peat, "An Algorithm for The Efficient acoustic analysis of Silencers of Any General Geometry", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 65, pp.211-227, 2004.
- 10) R. Kirby, "Simplified Techniques for Predicting The Transmission Loss of A Circular Dissipative Silencer", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 243, No. 3,

pp.403-426, 2001.

- 11) E. Dokumaci, "Sound Transmission in Mufflers with Multiple Perforated Co-Axial Pipes", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 247, No. 3, pp.379-387, 2001.
- 12) 이성원, 박성영, "유동 및 소음해석을 통한 Aftermarket 자동차 머플러의 성능개선", 한국자동차 공학회 대전충청지부 2008년도 춘계학술대회 논문집 pp.71-78, 2008.
- 13) NIKA GmbH, "COSMOS-FloWorks User's Manual", 2007.
- 14) Gamma Technology, "GT-Power User's Manual Version 6.2", 2006.

### 이성원(Sung-won Lee)

[준회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부(학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 재학

<관심분야>

열 및 유체 유동해석, 기관 성능개발

### 최두석(Doo-Seuk Choi)

[정회원]



- 1996년 8월 : 충남대학교 기계공학과 (공학 박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 공주대학교, 기계자동차공학부, 교수

<관심분야>

대체연료, 자동차 배출가스 저감장치, 초음파 연료개질장치 개발

**박 성 영**(Sung-young Park)

[정회원]



- 2002년 5월 : Texas A&M Univ., 기계공학과 (공학 박사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교, 기계자동차공학부, 조교수

<관심분야>

열 및 유체 유동해석, 기관 성능개발