

설계인자 분석을 통한 Aftermarket용 자동차 머플러의 성능개선

이성원*, 최두석**, 박성영**

*공주대학교 일반대학원 기계공학과

**공주대학교 기계자동차공학부

e-mail: lnn77@naver.com

Design Parameter Study to Improve Performance of the Aftermarket Automotive Muffler

Sung-Won Lee*, Do-Suk Choi**, Sung-young Park**

*Mechanical Engineering, Graduate School, Konju Nation

**Div. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요약

본 논문은 1500cc 가솔린 엔진의 aftermarket 머플러의 성능 향상에 관한 연구이다. Aftermarket 머플러의 압력강하량과 소음레벨을 유동해석과 소음해석을 분석하여 제안모델들을 선정하였다. 제안모델들은 해석과 실험을 통하여 aftermarket 머플러 대비 우수한 아이들 소음특성과 압력강하량 저감효과를 확인하였다. 이러한 압력강하량의 감소는 엔진의 최대출력을 증대하는데 유리하게 작용한다. 결론적으로, 머플러의 각종 설계인자 분석 및 실험을 통하여 aftermarket 머플러의 신규 개선 사양을 제안하였다.

1. 서론

2. 본론

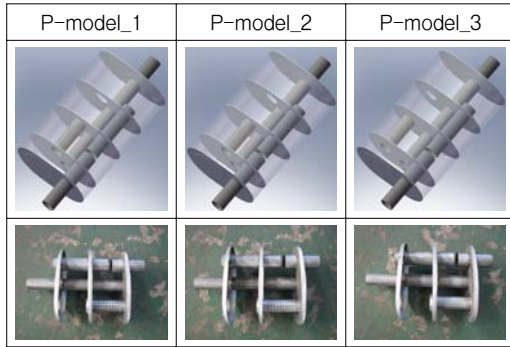
머플러는 엔진을 구성하는 배기계의 한 부품으로 엔진 효율의 저하를 최소화 하면서 음향에너지의 전달이 최소화 되도록 제어하는 것을 목적으로 한다.[1-2] 최근에는 엔진 관련 부품의 감성적인 부분이 강조되면서 머플러는 운전자의 감성에 직접적인 영향을 미치는 중요한 부품 중 하나로 인식되고 있다. 이전의 경험만을 바탕으로 개발하는 것은 비효율적이기 때문에 배기 머플러의 투과손실(Transmission Loss)에 대한 많은 해석과 개발이 활발하게 이루어져 왔다.[2-3]

본 연구의 목표는 머플러의 배기가스 유동 및 소음해석을 통하여 압력강하 개선 및 아이들 상태의 소음개선 효과를 가진 제안모델들을 해석과 실험을 통하여 제안모델의 성능을 검증하고자 한다.

2.1 모델선정 및 시제품 제작

개발 대상이 되는 머플러는 1500cc 가솔린 엔진에 장착되는 aftermarket품이다. aftermarket품은 경험에 의존하여 개발하는 경우가 다수이며 국내에서는 그 해석과 평가가 미흡한 실정이다. 이를 개선하기 위하여 유동해석과 소음해석을 통하여 aftermarket 머플러의 성능을 평가 분석하여 개선 방안을 제시한 바 있으며, 이전의 연구결과[4]에서 상세한 모델의 정보 및 해석결과를 설명하고 있다.

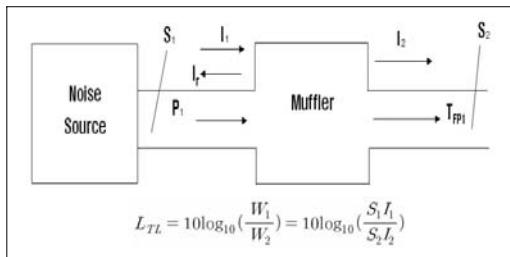
본 연구에서는 이전의 해석결과를 검증하기 위하여 시제품을 제작하고 실험적 연구를 수행하였다. 그림 1은 본 연구의 해석 및 실험모델이다. 파이프의 천공의 갯수는 90개로 일정하게 한정하였다. 여러 변수들의 해석결과를 분석하여 P-model_1 외에 2개의 모델을 추가로 설계하였다. P-model_2는 천공을 배기파이프에 추가한 사양이고, P-model_3는 천공을 배재한 파이프와 격판만으로 설계된 사양이다.



[그림 1] 해석, 실험모델

2.2 지배방정식 및 경계조건

모델링과 유동해석은 SolidWorks의 통합 환경을 지원하는 해석 소프트웨어(FloWorks)를 사용하였으며, 총 290,000여개의 유체 유동 격자로 구성하여 계산을 수행하였다. 또한 소음해석은 Gamma Technology사의 상용 소프트웨어(GT-Power)를 사용하여 전달손실(Transmission Loss, TL)을 계산하였다.[5] 전달손실 그림 2는 소음기에 입사된 음향 파워레벨(Sound power Level)에서 하류의 음향파워레벨을 뺀 값이며, 계산치와 실측치의 비교에 주로 사용된다.[6]



[그림 2] 투과 손실의 개념도

머플러 내부의 배기가스 유동은 정상 상태의 난류 유동으로 가정하였으며 본 연구에서 사용된 상용 소프트웨어에서 적용된 연속방정식, 운동량방정식 및 에너지 방정식의 표현은 식 (1)~ (3)와 같다. 또한 난류운동에너지방정식과 난류운동에너지 소산방정식은 식 (4) 및 식 (5)로 표현된다.[7]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial P}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} [\mu_j (\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i] + \frac{\partial p}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \epsilon + S_i u_i + Q_H \quad (3)$$

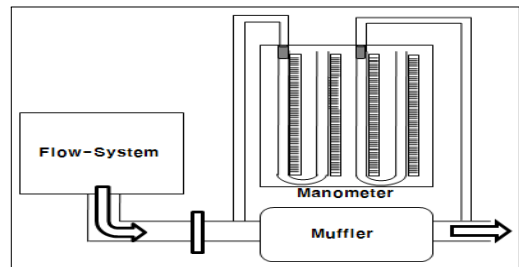
$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} ((\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_i}) + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} ((\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i}) + S_\epsilon \quad (5)$$

본 연구에서는 난류 모델로서 표준 $\kappa - \epsilon$ 모델을 사용하였으며, 아이들 엔진 조건인 700rpm과 최고빈도 운전조건인 2000rpm 그리고 최대출력 엔진 회전수인 6000rpm으로 해석을 진행하였다. 각각의 조건에서 0.0105kg/s, 0.03kg/s, 0.09kg/s의 질량유량을 입구조건으로 적용하였다. 이때의 배기가스 온도는 500K으로 설정하였으며 출구부는 대기압 조건으로 설정하였다.

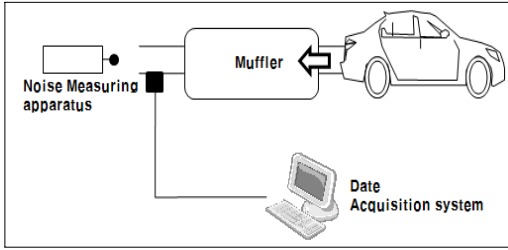
2.3 실험 장치

그림 3은 압력강하량 실험장치도이다. 일정 유량을 제어, 공급할 수 있는 Flow-System을 이용하여 해석값과 동일한 유량을 공급하면서 입구부와 출구부의 압력을 마노미터로 측정하였다.

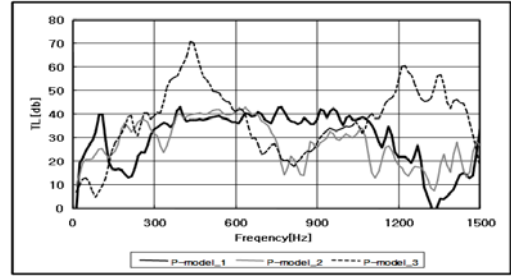


[그림 3] 압력강하량 실험 장치도

소음과 진동 실험은 머플러의 탈·부착이 용이하도록 차량용 리프트를 이용하여 실차에 장착 후 진행하였다. 그림 4에서 소음측정은 소음측정기(Digital Sound Level Meter AR824)를 사용하였으며, 진동측정은 3축 진동센서와 Data Acquisition system을 사용하여 실험을 수행하였다. 소음 및 진동 실험은 3종 3개의 머플러를 아이들 상태와 2000rpm에서 3회 반복 실험하여 평균값을 분석하였다.



[그림 4] 차량 소음, 직동실험 모사도

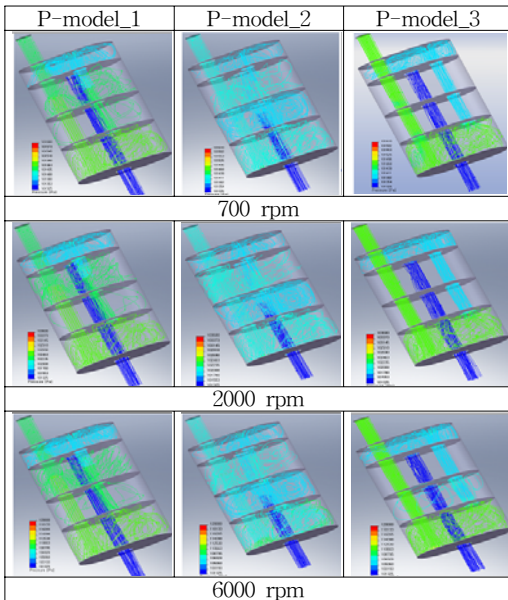


[그림 6] 투과손실 해석결과 그래프

3. 결과 및 고찰

3.1 유동해석

그림 5는 본 연구에서 제안하는 모델의 유선과 압력 강하량 결과를 보여주고 있다. 제안모델 중에서 P-model_2가 가장 낮은 압력강하량을 보인다.



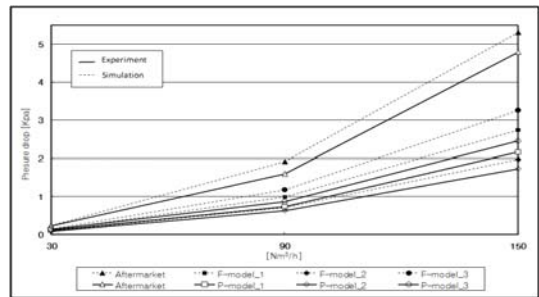
[그림 5] 압력강하량 해석결과

3.2 소음해석

그림 6은 P-model_1, 2, 3의 투과손실 값을 비교한 그래프이다. 천공의 갯수가 변경됨에 따라 투과손실의 위상차가 발생하는 것을 확인하였고, 150Hz 이상 300Hz이하에서는 P-model_1 대비 P-model_2와 P-model_3이 긍정적 소음저감 효과를 보인다. 300Hz ~ 600Hz에서 기존 aftermarket 머플러와 P-model_3이 유사한 위상변화를 보이고 있다.

3.3 압력강하량 실험결과

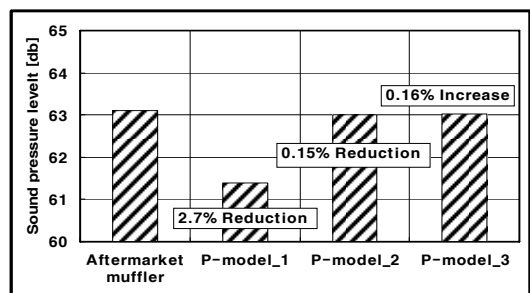
그림 7은 각 모델의 압력강하량 결과이다. 유량이 증가할수록 압력 강하량이 증가하며, 압력강하량 측면에서 제안모델의 구조가 aftermarket 머플러보다 우수함을 알 수 있다. 해석결과의 경향과 유사하게, 실험결과 P-model_2가 가장 우수한 압력 강하량 성능을 보이고 있다.



[그림 7] 압력강하량 실험결과 그래프

3.4 소음 실험결과

소음실험은 실험실의 기본 소음을 감안하여 분석하였다. 그림 8에서 150Hz이하에서 우수한 소음특성을 보였던 P-model_1에서 소음 저감효과가 나타났다. 그러나 150Hz 이하에서 Aftermarket 머플러 대비 우수한 소음특성을 보였던 P-model_2에서 소음 저감효과가 미미한 것은 600Hz 이상의 영역에서 소음특성이 악화되기 때문인 것으로 판단된다.



[그림 8] 소음실험 결과 그래프

4. 결론

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

- 1) 경험에 의존하여 개발되었던 aftermarket 머플러의 개발 체계를 확립하였다. 개발 절차로 소음해석, 유동해석 및 리그/실차 실험을 수행하였으며 각 절차별 최적화를 진행하였다.
- 2) 소음해석과 실험을 통하여 Aftermarket 머플러의 아이들 영역 소음특성을 개선할 수 있는 모델을 도출하였다.
- 3) 압력강하량 저감효과를 해석과 실험을 통하여 확인하였다. 제안된 신규 머플러의 구조는 엔진의 고속 운전조건에서 기존 제품대비 50%이상의 압력강하량 저감 효과가 있으며, 이는 엔진 성능에 긍정적 영향을 미칠 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 이정권, "배기소음기의 음향 해석 및 설계 : I. 구조에 따른 작동원리", Transaction of KSAE, Vol. 16, No. 4, pp. 37-50, 1994.
- 2) 이정권, "배기소음기의 음향 해석 및 설계 : II. 음향성능의 표현법", Transaction of KSAE, Vol. 16, No. 5, pp. 10-19, 1994.
- 3) 이완수, 김창수, 이상인, 염경민, 최두석, 박성영, "소형엔진 머플러의 내부 열 및 유동 특성 연구", 한국자동차공학회 대전충청지부 2007년도 추계학술대회 논문집 pp.42-48, 2007.
- 4) 이성원, 박성영, "유동 및 소음해석을 통한 Aftermarket 자동차 머플러의 성능개선", 한국자동차공학회 대전충청지부 2008년도 춘계학술대회 논문집 pp.71-78, 2008.
- 5) Gamma Techology, "GT-Power User's Manual Version 6.2", 2006.
- 6) 이종범, 조성용, 백춘호, "자동차용 머플러 투과손실 시험 및 해석에 관한 연구", KSAE 춘계학술대회논문집, pp. 2089-2095, 2006.
- 7) NIKA GmbH, "COSMOS-FloWorks User's Manual", 2007.