

동심관형 공명기 내부의 유동장의 변화가 성능에 미치는 영향

Effects of flow field on the performance of the concentric resonator

이 성 현*·이 정 권**

Seong-Hyun Lee and Jeong-Guon Ih

Key Words: muffler (소음기), perforates (천공요소), mean flow (평균 유동), transmission loss (전달손실), back pressure (배압)

ABSTRACT

자동차 및 유체기계의 흡기계나 배기계에 사용되는 소음기의 음향성능은 전달손실로 기계성능은 배압으로 표현된다. 유체가 흐르는 관 사이의 임피던스 부정합을 이용하는 반사형 소음기의 경우, 내부 유로에 천공을 주어 음향 감쇠를 시키거나 유동을 안정시키는 경우가 많다. 본 연구에서는 동심관형 공명기의 내부 관에 존재하는 천공의 분포 양상의 변화가 공명기 내부의 유동장에 미치는 영향을 살펴보고, 그 유동장의 변화에 따라서 소음기의 성능이 어떠한 영향을 받게 되는지를 고찰하였다. 또한 유동장에 영향을 미치며, 소음기의 설계 인자 중 하나인 면적 확장비의 변화가 유동장 및 배압에 미치는 영향을 예측하였다. 이로부터 유동의 흐름을 제어하여 소음기의 성능을 향상시키는 방법을 찾고자 한다.

1. 서론

소음기는 내연기관, 압축기 등과 같은 음원에 의하여 발생하는 소음을 줄이기 위하여 사용된다. 이러한 소음기의 내부에는 일반적으로 천공관이 사용된다. 대부분 유동을 접하게 되고, 천공요소에 의하여 연결된 바깥쪽의 공동과의 음향학적인 연결 (coupling)을 통하여, 배압과 소음기 내부에서 유체에 의하여 발생하는 소음을 감소시키게 된다. 소음기의 내부에는 유동에 대한 저항 특성이 상대적으로 작은 음향학적 공명기가 널리 사용되고 있으며, 고전적인 헬름홀츠 (Helmholtz) 공명기 이론이 발표된 이후로 많은 공명기들에 대한 연구가 이루어져 왔다.

A. Delaigue 등 [1]은 동심관형 공명기 (concentric tube resonator)의 내부 관의 천공요소의 분포 양상에 따라서 공명기의 음향학적인 특성인 전달손실 (transmission loss)이 어떠한 영향을 받는지를 보인바 있고, 이성현 등 [2]은 동심관형 공명기의 천공요소의 분포 양상이 공명기의 전달손실과 기계적인 특성인 배압 (back pressure)이 어떠한 영향을 받는지에 대한 연구를 수행한 바 있다. 전체 평균 천공율이 일정한 다섯 가지의 분포양상에 대하여 실험과 상용 해석 프로그램을 통한 해석을 수행하여, 각각의 분포양상에 따른 성능변화를 제시하였다. 전달손실의 측면에서 볼 때, 천공율이

일정하게 증가한 후에 감소하는 (6% → 15% → 6%) 분포양상이 가장 높은 전달손실 값으로 나타내고, 일정하게 감소한 후에 증가하는 (15% → 6% → 15%) 분포양상이 가장 낮은 값을 갖으며, 일정한 (10%) 천공율을 가지는 관과 일정하게 증가하는 관 (6% → 15%), 일정하게 감소하는 관 (15% → 6%)은 거의 유사한 결과를 보이고 있다. 배압 측면에서는 전달손실에서 나타나는 양상과 반대로 결과들이 나타났다. 15% → 6% → 15% 관, 10% 관, 6% → 15% 관, 15% → 6% 관, 6% → 15% → 6% 관의 순서로 배압의 크기가 작아지는 것으로 분석되었다. 일반적으로 소음기의 성능을 높이기 위해서는 배압을 줄이고 전달손실 값을 늘여야 하므로 일정하게 증가한 후에 감소하는 (6% → 15% → 6%), 즉 임피던스가 가장 원활 (smooth)하게 변화하는 관을 사용하는 것이 가장 좋은 성능을 갖게 됨을 보였다.

본 연구에서는 선행연구에서 실험과 상용 해석 프로그램을 통하여 제시하였던 결과들의 물리적인 근거들을 살펴보고자 한다. 이를 위하여 천공 요소의 분포양상이 공명기 내부의 유동장에 미치는 영향에 대하여 분석하고, 그로부터 유동장의 변화가 소음기의 성능에 미치는 영향에 대하여 밝혀보도록 하겠다. 또한, 동심관형 공명기의 성능에 미치는 인자를 고찰하기 위하여 내부 관과 외부 공동간의 확장비 (expansion ratio)의 변화가 유동장 및 소음기의 특성에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

* 한국과학기술원 기계공학과 박사과정
E-mail : irony@kaist.ac.kr
Tel : (042) 869-3075, Fax : (042) 869-8220

** 한국과학기술원 기계공학과 교수

2. 공명기 내부의 유동장

2.1 공명기의 기하학적인 형태

공명기는 그림 1에서 보인 바와 같이 내부관과 외부관의 지름이 32, 110 mm 이고, 내부관의 천공 요소는 끝단에서 15mm 떨어진 지점에서 10mm 간격으로 18 개의 열 (column)을 따라 배치하였다. 분포양상의 변화는 이 각각의 열에 배치되는 천공의 개수에 따라서 결정되게 되며, 천공요소의 지름과 두께는 각각 4mm, 2mm 이다. 표 1에서 보인 바와 같은 천공 요소의 변화양상이 본 연구에 사용되었다.

2.2 공명기 내부의 유동장 예측

동심관형 공명기 내부 관의 천공요소의 분포양상이 미치는 영향을 고려하고자 다섯 가지의 형태에 대하여 상용 유동해석 프로그램 (FLUENT)을 이용하여 내부 유동장을 예측하였다. 해석을 수행함에 있어서 각 수식들이 연관이 없다 (decoupled)고 가정하였고, implicit 수식을 사용하였으며, 시간에 대하여 정상 상태로 가정하였고, 절대 속도 표현을 이용하였다. 난류의 효과는 $k-\epsilon$ 모델을 이용하여 모델링 하였다. 입구 조건은 전 면적에서 일정한 속도로 유동이 가해지는 조건이고, 출구 조건은 압력이 일정하게 주어지는 조건으로 모의실험을 수행하였다.

소음기의 성능인 전달손실 및 배압에 유동장이 미치는 영향을 고찰하기 위하여 공명기 내부의 유동장에 대한 분석을 수행하였고, 천공 요소를 관통하는 유동의 평균 속도에 대한 값들을 얻었다. 그림 2는 공명기 내부의 천공 부근에서의 유동장의 분포를 나타낸 것이다. 그림 3은 각각의 분포양상에 대하여 천공을 관통하는 유동의 속도를 길이방향으로의 평균값으로 나타내고 있다. 공동 내부에서의 평균 속도는 앞 절에서 설명한 내부 관의 각각의 열에 존재하는 천공 요소들의 내부의 속도에 대한 평균값으로 취하였다.

2.3 공명기의 확장비 (expansion ratio)의 영향

앞 절에서 살펴본 천공요소의 분포양상 뿐만 아니라 공명기의 내부 관과 외부 공동의 면적의 확장비 또한 공명기 내부의 유동장의 변화에 영향을 미치게 되며, 소음기의 성능에도 기여하게 된다. 확장비를 고려하기 위하여 실제 소음기 설계

에 널리 사용되는 범위 내에서 다섯 가지를 선정하여 각각의 확장비에 대하여 유동장을 예측하고 배압을 얻도록 하였다. 천공 요소들은 변화 없이 일정한 천공율을 갖는 조건으로 모의 실험을 수행하였다. 표 2은 각각의 확장 비에 대하여 얻은 배압 값이고, 그림 4는 그 경우의 천공을 관통하는 유동의 속도의 평균값을 나타내고 있다.

3. 예측 결과 및 분석

3.1 유동장이 성능에 미치는 영향

그림 2는 각각의 분포 양상에 따라 공명기 내부의 천공 부근에서의 유동장의 분포를 나타내고 있다. 천공율이 일정한 관을 기준으로 유동장의 분포를 살펴보면, 6% → 15% → 6% 관과 15% → 6% 관의 경우에는 외부 공동에서 내부 관으로 들어오는 유동의 영역이 상대적으로 넓게 분포하게 된다. 이에 비하여 15% → 6% → 15 관과 6% → 15% 관의 경우에는 그와 반대로 외부에서 내부로 들어오는 영역이 좁게 나타나고 있다. 천공율이 일정하게 유지되는 관 (10%)은 각각의 두 경우의 평균 정도의 영역에서 분포하고 있다. 이를 선행 연구에서 발표되었던 결과와 비교하여 보면, 전달손실 및 배압에서 우수한 특성을 나타내었던 6% → 15% → 6% 관이나 15% → 6% 관이 보다 넓은 영역에서 내부 관으로 들어오는 것을 볼 수 있다. 반대로, 성능에서 나쁜 특성을 나타내었던 15% → 6% → 15 관과 6% → 15% 관이 외부 공동에서 내부로 들어오는 영역이 좁게 형성 되는 것을 알 수 있다. 이로부터 동심관형 공명기를 설계하는데 있어서 내부의 유동이 원활히 빠져나가게 할 수 있는 기하학적인 설계가 필요하다는 것을 알 수 있다.

그림 3은 모든 천공을 통과하는 유동의 속도를 평균하여 각 열 (column)에 대하여 나타낸 것이다. 천공율이 10%로 일정한 관을 중심으로, 6% → 15% → 6% 관과 15% → 6% 관의 경우는 내부 관에서 외부 공동으로 빠져나가는 유동의 속도가 작고 내부 관으로 들어오는 유동의 속도는 크게 나타나고 있다. 15% → 6% → 15 관과 6% → 15% 관은 내부에서 외부로 나가는 유동의 속도가 크고 들어오는 유동의 속도가 작게 나타나고 있다. 내부관과 외부관을 오가는 유동의 양이 적은 것이 보다 좋은 결과를 보이고 있다.

3.2 공명기의 확장비가 성능에 미치는 영향

표 2는 면적 확장비가 일반적인 소음기에서 많이 사용되는 3에서 25까지 범위 내에서 변화할 때의 배압의 예측 결과를 보이고 있다. 확장비가 3인 경우에 가장 큰 배압이 걸리고 확장비가 증가 하게 되면 배압이 일정한 값을 갖지만, 확장비가 20인 경우에는 상대적으로 높은 배압이 걸리는 것을 볼 수 있다. 이는 확장비가 20인 경우에 공명기 내부의 유동이 원활하게 흐르지 못하게 되는 것으로 유추해 볼 수 있다. 그림 4는 확장비의 변화가 천공을 관통하는 유동의 평균속도에 미치는 영향을 보이고 있다. 배압이 크게 걸리는 확장비가 3인 경우와 20의 경우에 외부 공동에서 내부 관으로 들어오는 부분이 다른 경우에 비해서 좁은 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 동심관형 공명기의 내부 관에 존재하는 천공 요소의 분포 양상이 성능에 영향을 미치게 되는 물리적인 근거를 찾아보고자 모의 실험을 수행하였고, 소음기의 설계 인자가 되는 면적 확장비가 소음기 내부의 유동장에 미치는 영향을 살펴 보고, 배압을 예측하여 보았다. 소음기의 성능이라 할 수 있는 전달손실과 배압이 보다 좋게 나타나는 분포 양상인, 6% → 15% → 6% 관과 15% → 6% 관의 경우에는 내부 관에서 외부 공동으로 나갔다 들어오는 유동의 양이 상대적으로 적은 것을 볼 수 있었으며, 외부에서 내부로 들어오는 유동이 형성되는 영역이 상대적으로 크게 나타나게 된다. 반대로 성능이 좋지않게 나타나는 15% → 6% → 15 관과 6% → 15% 관의 경우에는 외부로 나갔다 들어오는 유동의 양이 상대적으로 많고, 외부에서 내부로 들어오는 유동의 영역도 좁게 형성되게 된다. 이로부터 소음기 내부에서의 유동이 원활하게 흐르도록 설계하는 것이 중요함을 알 수 있다.

소음기의 설계 인자인 면적 확장비를 변화시켜 가며 배압의 예측결과 및 유동장의 분포를 예측하였다. 확장비가 3인 경우에 배압이 가장 높게 예측이 되었고, 나머지 경우에는 큰 차이를 나타내지 않고 일정한 값을 갖게 된다. 단 확장비가 20인 경우에는 다른 값들에 비해서 상대적으로 크게 예측 되었다. 이는 특정 확장비에 의해서 유동의 흐름이 원활치 못하게 되는 것으로 추정할 수 있다. 배압을 실험을 통하여 얻고, 각각의 경우의 전

달손실을 측정하여 예측된 결과와 비교하면, 보다 명확한 결론을 내릴 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 BK21 Project 및 NRL의 일부 지원을 받았습니 다.

참고문헌

- (1) A. Delaigue, J.-G. Ih and J. L. Guyader, "Analysis of non-uniformly perforated muffler in concentric resonator type," 한국음향학회 추계학술대회지 (2001).
- (2) 이성현, A. Delaigue and 이정권, "동심관형 공명기 내부의 천공 요소의 불규칙한 배열이 전달손실 및 배압에 미치는 특성 연구," 한국 소음진동공학회 춘계학술대회지 (2002).

Type	Porosity (%)
①	10.3 (uniform)
②	5.7 - 14.9 (increase)
③	14.9 - 5.7 (decrease)
④	5.7 - 14.9 - 5.7
⑤	14.9 - 5.7 - 14.9

표 1. 동심관형 공명기 내부 관의 천공요소 분포 양상

확장 비	3	11.8	16	20	25
배압	829.4	580.3	579.1	667.0	543.7

표 2. 각각의 확장비에 대하여 예측한 배압 (단위: Pa).

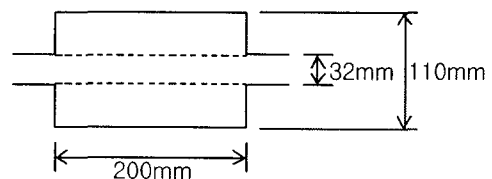


그림 1. 실험에 사용된 동심관형 공명기

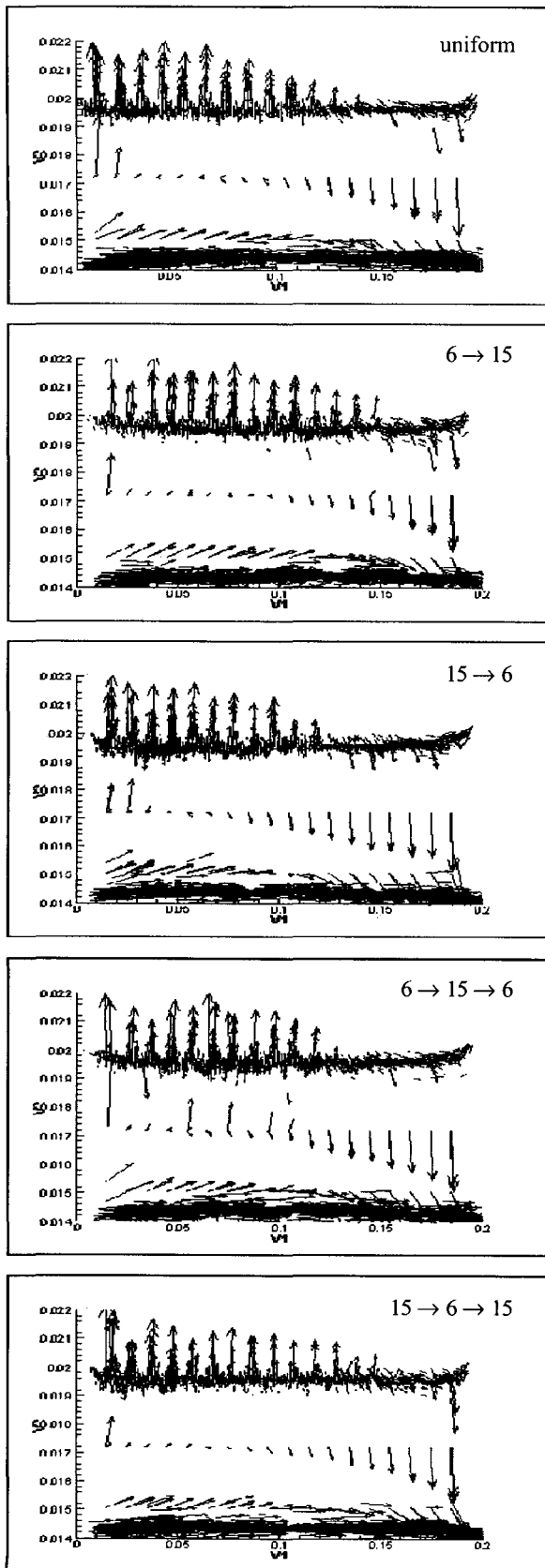


그림 2. 천공 부근에서의 유동장 분포.

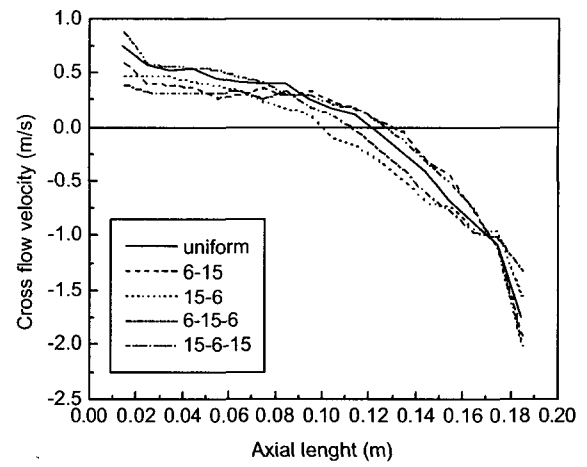


그림 3. 천공의 분포 양상에 따른 천공을 관통하는 평균 유속의 분포.

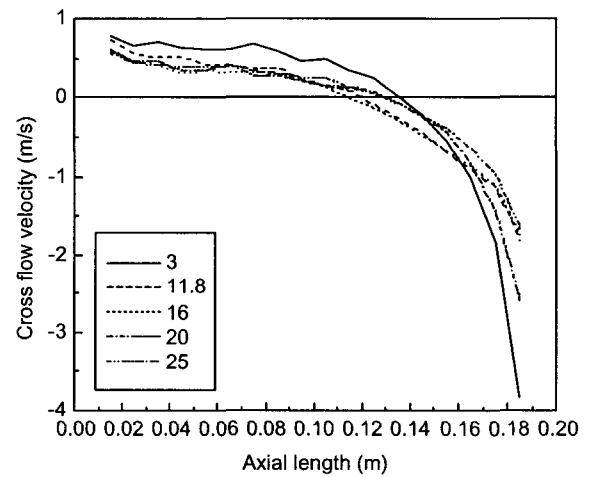


그림 4. 공명기의 면적 확장비에 따른 천공을 관통하는 평균 유속의 분포.