한국소음진동공학회 2003년도 춘계학술대회논문집, pp. 379~382.

유동 및 음압의 변화가 천공의 임피던스에 미치는 영향

Effects of Flow Field and Sound Pressure on the Acoustic Impedance of Perforates

이 성 현* · 이 정 권**

Seong-Hyun Lee and Jeong-Guon Ih

Key Words: impedance (임피던스), perforates (천공요소), grazing flow (스치는 유동), cross flow (통과하는 유동), sound pressure level (음압 레벨)

ABSTRACT

천공요소는 자동차의 배기 소음기, 공조기의 소음기 등을 포함하는 다양한 소음계에 널리 사용된다. 일반적으로 천공요소 들은 평균 유동과 소음원이 동시에 존재하는 환경에서 사용되며, 평균 유동 및 관 내부의 음압 레벨의 변화가 천공 부근에서의 임피던스에 큰 영향을 미치게 된다. 천공요소의 임피던스의 변화는 소음기의 음향학적 특성에 영향을 미치게 되므로, 유동이나 음압 조건이 임피던스에 미치는 영향에 대한 연구가 중요하다. 본 연구에서는 정밀 계측 및 전산유체역학적 모형을 이용해 천공요소의 임피던스에 영향을 미치는 주요 세가지 인자 - 스치는 유동, 통과하는 유동, 음압 레벨 - 들을 고려하여 임피던스를 분석하고, 그 상관관계를 밝였다.

1. 서 론

천공요소는 자동차의 배기 소음기, 공조기의 소음기, 그리고 제트 엔진의 관 내부의 안감 (lining) 등으로 널리 사용된다. 이러한 천공요소들은 평균 유동과 소음원이 동시에 존재하는 환경에서 사용되며, 평균 유동 및 관 내부의 음압의 크기의 변화가 천공 부근에서의 임피던스에 영향을 미치게 된다. 평균 유동은 스치는 유동과 통과하는 유동의 두 가지 형태로 영향을 미치게 된다. 천공요소의 임피던스의 변화는 소음기의 음향학적 특성에 영향을 미치게 되므로, 유동이나 음압 조건이 임피던스에 미치는 영향에 대한 연구가 필요하다.

이성현 등 [1]은 스치는 유동이 존재하는 경우의 천공의 음향 임피던스를 영향을 미치는 모든 인자들을 고려하여 측정하고, 실험 모델을 제시하였다. 관 내부의 음압 레벨을 고정시키고 스치는 유동을 변화시키며 측정한 임피던스 데이터는 유동이 증가함에 따라 레지스턴스는 일정하게 증가하고, 리액턴스는 일정하게 감소하는 경향을 보였다.

Salikuddin 등 [2]은 통과하는 유동 및 관 내부의 음압 레벨의 변화가 임피던스에 미치는 영향을 실험을 통하여 측정하였다. 유동이 없는 경우에 음압 레벨을 변화시키며 측정한 임피던스 데이터에서 음압이 증가 함에 따라 레지스턴스가 증가하고, 리액턴스는 감소하는 경향을 보였으며, 음압 값을 고정시키고, 통과하는 유동을 변화시키며 측정한 결과에서도, 유속이 증가하면 레지스턴스가 증가하고, 리액턴스가 감소하는 경향을 보인바 있다.

천공요소가 소음기 등의 벽면에 안감으로 사용되는 경우에는 스치는 유동의 크기와 통과하는 유동의 크기 사이에 상관 관계가 존재할 것이다. 음압 레벨이 변화하는 경우, 관 내부의 음압 레벨이 130 dB 이상인 경우에는 천공 부근의 임피던스에 비 선형성이 증가한다고 알려져 있다. [3] 본 연구에서는 천공 요소의 임피던스에 유사한 영향을 미치는 세가지 인자들에 대하여 실험을 수행하고 각각의 상관관계를 밝히고자 한다.

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

** 한국과학기술원 기계공학과 교수

2. 음압에 의한 영향

그림 1 은 천공요소의 임피던스를 측정하기 위

한 실험장치를 보이고 있다. 유동은 압축기를 상용하여 공급하였으며, 유속은 피토 관과 미소 압력계로 측정 하였다. 시편의 탈착이 용이하도록 사각관을 사용하였고, 라우드 스피커를 사용하여 광대역 가진을 하였다. 천공요소는 관의 벽면에 수평으로 위치시키고 공동으로 덮어씌웠다. 1/4" 마이크로폰을 공동의 바닥면과, 천공요소가 위치한 주관에 설치하고 주파수 응답함수를 측정함으로써 임피던스를 얻었다. 그림 2 는 천공의 지름이 4 mm, 두께가 1 mm 이고 천공율은 5.59%, 유속이 마하 0.1 인 경우에 관 내부의 음압을 130-145 dB 의 범위 내에서 변경시키면서 측정한 임피던스를 나타내고 있다. 레지스턴스의 경우에는 유속이 증가함에 따라 증가하고, 특히 140 dB 이상에서는 증가되는 양이 커지고 있음을 볼 수 있다. 리액턴스의 경우에는 음압의 증가에 따라 고주파 대역에서 조금 감소하며, 140 dB 이상에서는 감소량이 좀 더 커지는 것을 볼 수 있다. Ingard 등 [3]은 음압이 130 dB 보다 커지게 되면 천공 부근에서 비 선형성이 증가 한다고 발표한 바 있지만, 실험 결과에서는 140 dB 이상에서 본격적인 비선형성의 증가가 나타나는 것으로 분석할 수 있다. 좀 더 높은 주파수 대역에서의 실험이 추후에 수행되어야 한다.

3. 유동에 의한 영향

3.1 스치는 유동

유동에 의한 임피던스 변화를 살펴보기 위하여, 스치는 유동의 속도를 변화시키며 실험을 수행하였다. 그림 3 은 음압 레벨이 130 dB, 천공의 지름이 4 mm, 두께가 1 mm 이고, 천공율이 5.59%인 천공요소에 대하여 스치는 유속을 마하 0.025 에서 0.2 까지 변화시키면서 측정한 임피던스를 보이고 있다. 유속이 증가함에 따라 레지스턴스가 일정하게 증가하고, 리액턴스는 일정하게 감소하는 경향을 보이고 있다. 음압 레벨의 변화가 임피던스에 미치는 영향과는 특성이 다르게 나타나고 있다.

3.2 통과하는 유동

일반적으로 천공요소가 소음기 등에 사용되는 경우 유동의 방향과 평행하게 벽면 부근에 설치되어 있다. 그러한 상황 하에서는 스치는 유동에 의하여 통과하는 유동이 생기게 될 것이고, 통과하는 유동도 임피던스에 영향을 미치게 될 것이다. 본 연구에서 사용된 실험장치와 일반적인 동심관형 공명기의 경우에 스치는 유동의 속도에 비하여 통과하는 유동의 속도를 CFD 를 이용하여 모사하였다.

CFD 를 이용하여 통과하는 유동의 속도를 계산함에 있어서, 점성 (난류) 모델은 k-ε 모델을 사용하였고, 관의 입구 조건은 전 면적에서 동일한 속도를 갖는 조건으로 설정하였다. 관의 출구 조건은 일정한 압력 조건으로 설정 하였다. 그림 4 는 천공의 지름이 4 mm, 두께가 1 mm, 천공율은 5.59%인 천공요소가 임피던스 측정을 위한 실험장치를 보이고 있다. 이것을 스치는 유동의 마하수 0.1 인 경우에 대하여 CFD 모의실험을 통하여 천공 부근에서의 속도 분포를 얻었다 이는 그림 5 에 나타나 있다. 스치는 유동의 속도가 34 m/s 인 상황인데, 통과하는 유동의 속도가 -2 에서 7 m/s 의 범위에서 분포하고 있음을 알 수 있다. 여기서 '-'부호는 공동에서 주관으로 들어오는 유동을 의미하는데, 스치는 유동에 비하여 약 10% 내의 값을 갖고 있다. 실험장치에 사용된 천공요소를 유동에 수직으로 위치시키고, 계산된 스치는 유동의 범위 내에서 임피던스를 측정하여 비교하면, 스치는 유동 및 통과하는 유동이 천공요소의 임피던스에 미치는 영향을 살펴볼 수 있다고 생각되는데, 이에 대한 실험은 추후에 보완될 것이다.

실험장치의 모의실험의 경우에는 천공의 수가 많지 않고, 공동의 크기도 작기 때문에 실제 소음기에 사용되는 천공요소의 경우와는 차이가 있다. 실제 소음기와 유사한 형태의 모의실험을 수행하기 위하여 동심관형 공명기를 모델링 하였다. 소음기의 길이 대 지름 (l/d) 비가 1.8 로서 이는 음향학적으로 긴 관이라 할 수 있다. 천공은 입구에서 출구까지 일정하게 분포되어있고, 천공율은 10%이다. 천공의 지름은 4 mm, 두께는 1 mm 인

경우이다. 그림 5 는 스치는 유동이 마하수 0.05 에서 0.2 까지 변경되는 경우, 통과하는 유동의 분포를 축 방향에 대하여 나타내고 있다. 스치는 유동이 17 에서 68 m/s 까지 변하는 경우에, 통과하는 유동은 -5 에서 1 m/s 까지 분포하고 있음을 볼 수 있다. 소음기에 사용되는 천공요소의 경우도 스치는 유동의 약 10% 내의 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 앞에서 언급한대로 스치는 유동에 비하여 작은 값을 가지는 통과하는 유동에 대한 분석은 추후에 보완되어야 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 천공요소의 임피던스에 유사한 영향을 미치는 인자들인 스치는 유동, 통과하는 유동, 관 내부에서의 음압 레벨에 대한 실험 및 모의 실험을 수행하여 그 영향을 살펴보았다. 관 내부의 음압 레벨이 증가하는 경우, 레지스턴스는 일정하게 증가 하는 양상을 보였고, 약 140 dB 이상에서는 증가량이 더 커지는 것을 알 수 있었다. 리액턴스의 경우는 조금 감소하며, 140 dB 이상에서는 고주파수에서 감소량이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 스치는 유동을 변화시키면서 측정한 임피던스에서는 유동의 증가에 따라 레지스턴스는 일정하게 증가하고 리액턴스는 일정하게 감소하는 양상을 보였다. 그 상황에서의 통과하는 유동의 속도를 CFD 를 이용한 모의실험으로 구해보았다. 관 내부에 유동방향에 수직으로 동일한 천공요소를 위치시키고 모의실험으로 얻은 통과하는 유동의 속도 조건에서 천공의 임피던스를 측정하여 비교한다면, 스치는 유동과 통과하는 유동간의 관계를 고찰할 수 있을 것이다. 실제 소음기와 유사한 형태를 가지는 동심관형 공명기에 대하여도 CFD 를 이용하여 스치는 유동과 통과하는 유동간의 관계를 얻었다. 실험장치에 대한 모의 실험에서나 동심관형 공명기에 대한 모의실험에서나 스치는 유동에 대하여 약 10%내의 크기를 통과하는 유동이 갖는 것을 볼 수 있었다.

관 내부의 음압 레벨의 증가에 의한 임피던스의 변화와 스치는 유동의 증가에 따른 임피던스의 변화가 다른 양상으로 나타내는 것을 볼 수 있었는데, 천공 부근의 비 선형성의 변화가 유동이나 음압에 의하여 받는 영향에 대한 고찰은 추후에 이루어져야 할 것이다.

후 기

본 연구는 BK21 Project 및 NRL 의 일부 지원을 받았습니다.

참고문헌

(1) 이성현, 이정권, "스치는 유동이 존재하는 원형 천공 요소의 음향 임피던스의 실험적 모델," 한국음향학회 하계학술발표대회 논문집, 489-492 (2001).

(2) M. Salijuddin, A. A. Syed and P. Mungur, "Acoustic characteristics of perforated sheets with throughflow in a high intensity noise environment," J. Sound. Vib. **169**, 145-177 (1994).

(3) U. Ingard and H. Ising, "Acoustic nonlinearity of an orifice," J. Acoust. Soc. Am. **42**, 6-17 (1967).

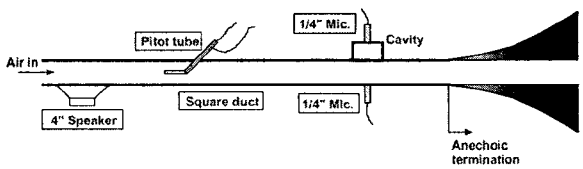
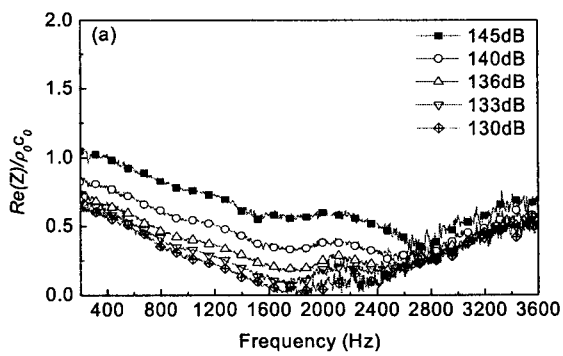


그림 1. 스치는 유동이 존재하는 경우의 천공요소의 임피던스를 측정하기 위한 실험 장치



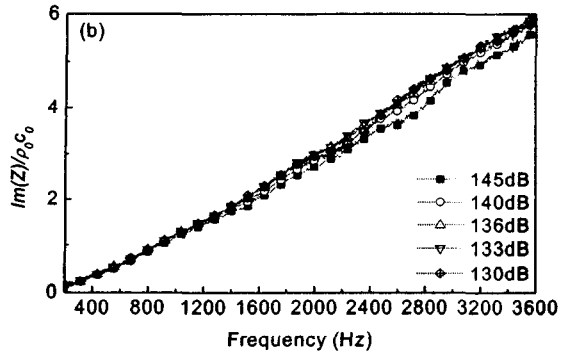
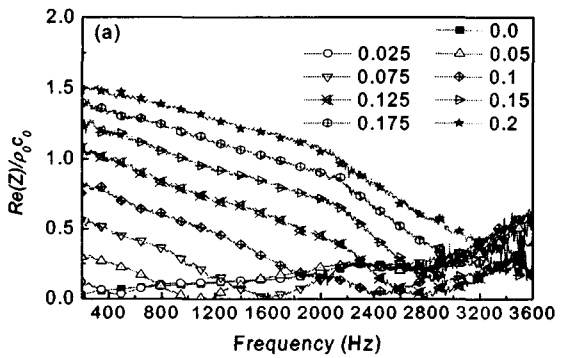


그림 2. 관 내부의 음압 레벨의 변화에 따른 임피던스 측정결과. (a) 레지스턴스 (b)리액턴스.



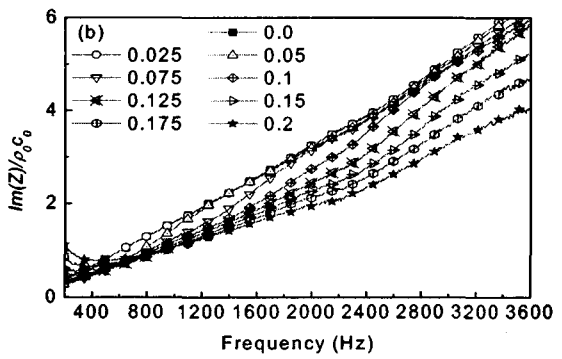


그림 3. 스치는 유동의 마하수의 변화에 따른 임피던스의 변화. (a) 레지스턴스 (b)리액턴스.

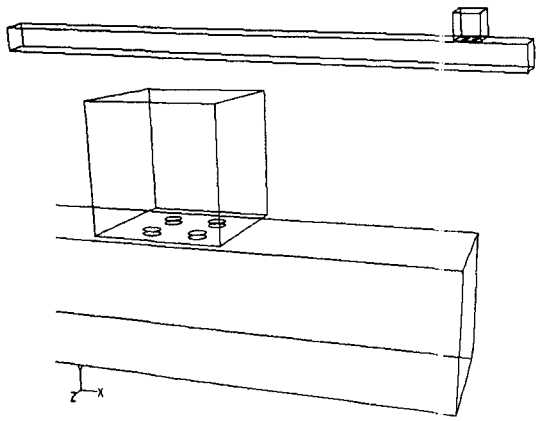


그림 4. CFD 모델링에 사용된 실험장치에 대한 모델. (위) 전체 모델 (아래) 천공과 공동 부근 확대.

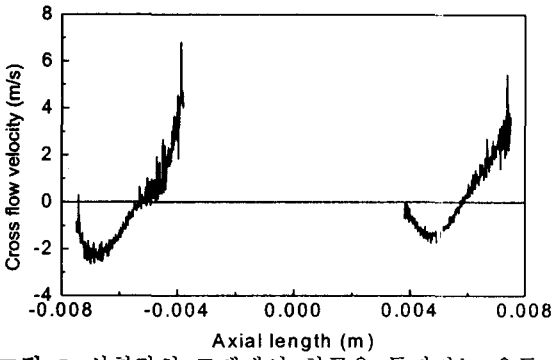


그림 5. 실험장치 모델에서 천공을 통과하는 유동의 분포

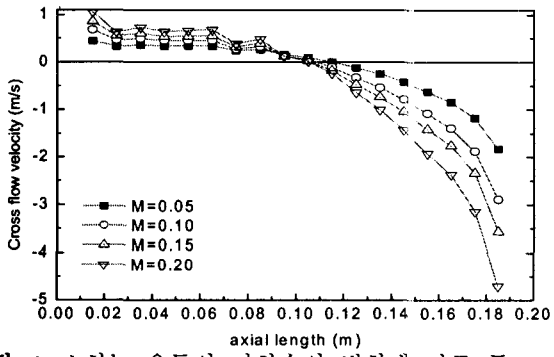


그림 6. 스치는 유동의 마하수의 변화에 따른 동심관형 공명기의 천공요소를 통과하는 유동의 속도 분포