

미세 다공판의 음향 임피던스 모델에 대한 고찰

The Investigation on the Acoustic Impedance Model of a Micro-Perforated Panel

송화영†·서은성*·이동훈**

Hwa-Young Song, Eun-Sung Seo and Dong-Hoon Lee

1. 서 론

최근 기존 흡음재의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 얇은 판에 다수의 작은 구멍을 뚫어 만든 다공판과 공동(cavity)을 조합한 다공판 흡음 시스템에 대한 많은 연구가 선행되어 왔다.

다공판 흡음 시스템에서 흡음성능에 가장 큰 영향을 미치는 핵심 설계요소는 구멍 지름, 공극율, 판의 두께이다.

선행 연구를 살펴보면, Rao & Munjal, Sullivan, Jung, Ingard, Beranek 등에 의해 주로 구멍지름이 1mm 이상인 다공판을 대상으로 한 음향임피던스 모델이 제안되었다. 반면 Maa, Stinson은 구멍지름이 1mm이하인 조건에 적용 가능한 경험식을 도출한 바 있으나 실제 실험결과와는 큰 차이를 보인다.

특히, Maa는 이론적 연구결과에서 구멍지름이 1mm보다 작으면 작을수록 그리고 판의 두께가 1mm보다 얇을수록 다공판의 음향임피던스가 최적 흡음성능을 갖는 조건을 충족하게 된다고 제시하였다.

다공판의 특성 음향임피던스 모델에 대한 국내외 연구문헌을 종합해 보면, 구멍지름 1mm이하보다 훨씬 작은 조건에서의 미세 다공판 흡음시스템의 흡음성능을 정확히 평가할 수 있는 특성 음향임피던스 모델은 제시된 바 없다.

본 연구에서는 구멍지름 1mm 이하의 미세 다공판 흡음 시스템에 대한 음향임피던스 모델을 개발하기 위한 선행 연구로서 기존 선행 연구자들이 제안한 음향임피던스 모델을 활용하여 계산한 결과와 실제 실험결과와의 비교 고찰을 통해 기존 음향 임피던스모델에 대한 문제점을 제시하고 미세 다공판 흡음시스템의 흡음특성을 실험적으로 측정 한 실험결과를 미세 다공판 흡음 시스템의 음향임피던스 모델을 개발하는데 활용하고자 한다.

2. 본 론

2.1 기존 음향임피던스 모델 이론

Maa의 단일 오리피스에서 적용 가능한 음향임피던스 모델을 구멍이 여러개인 다공판에 적용하기 위해 판 전체 면적에 대한 다공 구멍의 면적 비인 공극율을 고려하면 식(1)과 같다.

$$R = (0.147t/d^2p)(\sqrt{1 + 100d^2ff32 + 1.768\sqrt{fd^2/t}})$$

$$X = (1.847ft/p)(1 + 1/\sqrt{9 + 50d^2ft + 0.85dt}) \quad (1)$$

여기서, p 는 공극율(%), t 는 판의 두께(m) 그리고 d 는 구멍지름(m)이다.

한편, Rao & Munjal은 구멍의 접선 방향으로 음의 매질이 입사되는 경우에 대하여 식(2)과 같은 음향임피던스 모델을 제시하였다.

$$R = 7.337 \times 10^{-3} / \sigma$$

$$X = 2.22 \times 10^{-5} \frac{f}{\sigma} (1 + 51t)(1 + 204d) \quad (2)$$

Sullivan은 다공판을 이용한 소음기 연구에서 음의 매질의 유동이 없는 경우에 대해서 식(3)과 같은 음향임피던스 모델을 실험적으로 도출하였다.

$$R = (6 \times 10^{-3}) / \sigma$$

$$X = [k_0(t + 0.75d)] / \sigma \quad (3)$$

그리고 Jung은 기존 음향임피던스 모델에 대한 계산 오차를 줄이기 위해서 Sullivan, Maa, Ingard, Melling, Rao & Munjal의 모델을 모두 고려한 절충형 음향임피던스 모델을 식(4)과 같이 도출하였다.

$$R = 0.0065(1 + 0.2t/d) / \sigma$$

$$X = 0.0185 \frac{f}{\sigma} (t + 0.5d) \quad (4)$$

† 송화영; 서울산업대학교 에너지환경대학원
E-mail : hysong@snut.ac.kr
Tel : (02) 979-7331, Fax : (02) 979-7331

* 서울산업대학교 에너지환경대학원

** 서울산업대학교 기계공학과

2.2 실험

실험에 사용된 미세 다공판의 제원은 표 1과 같다.

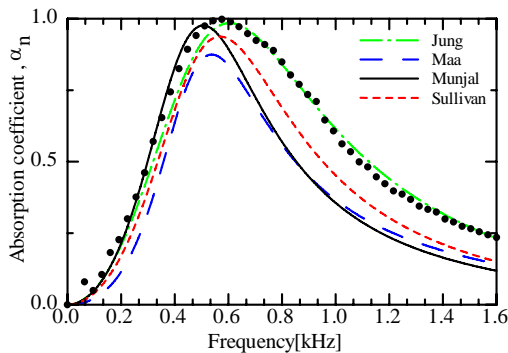
[표 1] 미세 다공판의 제원

	d(mm)	p(%)	t(mm)
구멍지름 (d) 변화	0.3	1	0.6
	0.6	1	0.6
공극율(p) 변화	0.6	0.5	0.6
판 두께(t) 변화	0.6	1	0.2

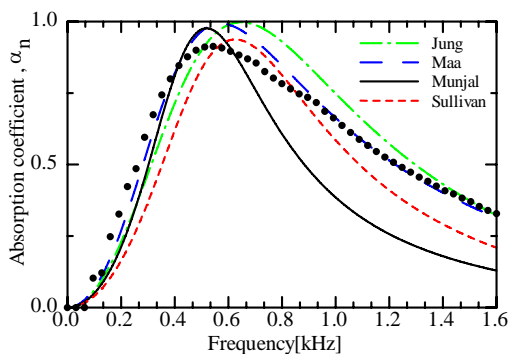
3. 결과 및 고찰

그림 1과 그림 2는 구멍지름 변화에 따른 흡음계수의 변화를 알아보기 위해 $p=1\%$, $t=0.6\text{mm}$ 로 고정하고 $d=0.6, 0.3\text{mm}$ 로 변화시켜 흡음계수를 각각 계산하고 측정된 결과이다. 그림 1의 결과에서 Jung의 모델이 측정값과 일치하였다. 그러나 각 모델의 계산결과는 서로 상이한 결과를 보였다.

그림 2의 결과에서는 측정결과 값과 일치하는 계산모델이 없음을 알 수 있다.



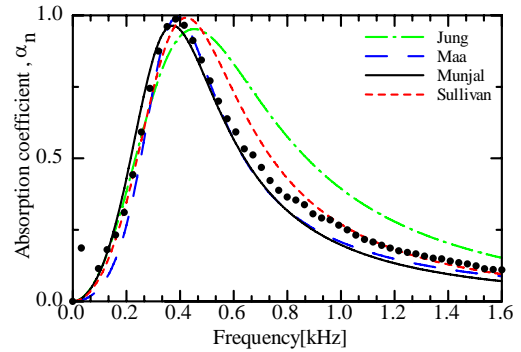
[그림 1] 흡음계수 측정결과(●)과 Jung, Maa, Munjal, Sullivan의 계산결과의 비교($d=0.6\text{mm}$, $p=1\%$, $t=0.6\text{mm}$)



[그림 2] 흡음계수 측정결과(●)과 Jung, Maa, Munjal, Sullivan의 계산결과의 비교($d=0.3\text{mm}$, $p=1\%$, $t=0.6\text{mm}$)

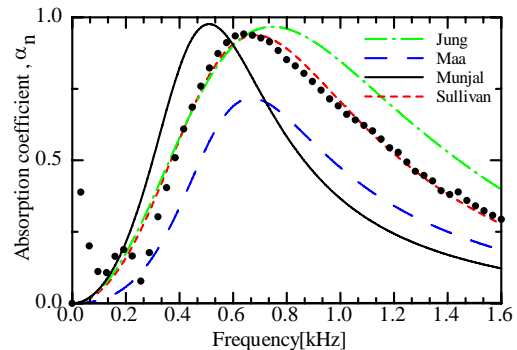
그림 3은 공극율 변화에 따른 흡음계수의 변화를 알아보

기 위해 $d=0.6\text{mm}$, $t=0.6\text{mm}$, $p=0.5\%$ 일 때 흡음계수를 계산하고 측정된 결과이다. 결과에서 각 모델간의 계산결과는 일치하지 않았지만, Munjal의 모델이 측정결과와 일치함을 알 수 있다.



[그림 3] 흡음계수 측정결과(●)과 Jung, Maa, Munjal, Sullivan의 계산결과의 비교($d=0.6\text{mm}$, $p=0.5\%$, $t=0.6\text{mm}$)

그림 4는 판 두께 변화에 따른 흡음계수의 변화를 알아보기 위해 $d=0.6\text{mm}$, $p=1\%$, $t=0.2\text{mm}$ 일 때 흡음계수를 계산하고 측정된 결과이다. 결과에서 각 모델간의 계산결과는 일치하지 않았지만, Sullivan의 모델이 측정결과와 일치함을 알 수 있다.



[그림 4] 흡음계수 측정결과(●)과 Jung, Maa, Munjal, Sullivan의 계산결과의 비교($d=0.6\text{mm}$, $p=1\%$, $t=0.2\text{mm}$)

4. 결론

미세 다공판의 조건에 대하여 선행 연구자들의 음향임피던스모델을 적용하여 계산한 결과 모델들 간에 흡음계수의 계산값이 서로 상이하였으며, 각 모델들의 적용 가능한 범위가 존재함을 알 수 있었다. 그리고 이러한 결과를 바탕으로 미세 다공판의 조건에 적합한 음향임피던스 모델을 개발하기 위한 필요성이 제기된다.