

흡차음 셔터 및 공명기를 이용한

옥내변전소 소음저감연구

°이준신*, 손석만*, 김태룡*, 김기홍**, 안경덕***

A Study on the Acoustic Resonator and Shutter for the In-door Substation

°Jun-Shin Lee*, Seok-Man Sohn*, Tae-Ryong Kim*, Ki-Hong Kim**, Kyeong-duk An***

ABSTRACT

옥내용 변전소의 셔터 및 공기풍도에 대한 흡차음 기술은 변전소의 민원소음 방지 측면에서 매우 중요한 기술이다. 변압기는 전원 주파수 60Hz의 2배 성분을 기저주파수로 하는 하모닉 성분의 소음을 발생시킨다. 본 연구에서는 실내 변압기에서 셔터를 통과하거나 공기풍도를 통해 실외로 방사되는 소음을 효과적으로 차단하는 방법론을 개발하는데 있다. 기존의 셔터의 흡/차음 성능을 개선하기 위하여 기존 셔터 앞에 흡/차음 셔터를 추가하는 장치를, 공기 풍도에는 변압기 소음주파수와 맞는 공명기를 적용하는 방법을 검토하였다. 또한, 이 장치들을 실제 현장에 적용하여 그 효과를 확인하였으며 실내변전소 변압기 소음제어용으로 유용하게 쓰일 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

변전소의 변압기는 전기를 공급하는 핵심 기
기입에도 불구하고 고소음 유발 특성 때문에 변
전소 주변 거주자들에 의한 민원제기 대상이 되고
있어 효과적인 전력공급 차질은 물론 변전소 종사
자의 업무 손실이 발생되고 있는 상황이다. 또한,
도심이 점점 확장되면서 거주지가 변전소 인근까

지 접근하는 경우가 생기며, 또한 도심에 새로운
변전소들이 신설되면서 변전소 변압기에 대한 민
원이 점점 많아지고 있는 실정이다. 따라서 변전소
운영측면에서 변압기 방음은 매우 중요한 기술이
되고 있다.

변압기에서 발생하는 소음은 전원 주파수
(60Hz)의 2배 성분을 기저주파수로 하는 하모닉
성분(120Hz의 배수)을 가진다. 기존의 변전소 흡/
차음 설비는 이러한 변압기의 소음특성을 고려하
지 않은 채 유리섬유와 같은 재료를 사용한 일반
적인 흡/차음 처리만이 되어있어 소음 대처 효과가
미미한 실정이다. 특히 변압기에서 발생한 소음이

* 전력연구원

** 한전 대전전력관리처

*** 마이크로 S&V(주)

기저주파수인 120Hz에서 가장 클 때에는 이 주파수 대역에서 일반 흡음재의 두께 대비 흡/차음 성능이 상당히 떨어져 이에 대한 대처가 시급한 실정이다.

실내의 기기에 의한 외부로의 소음전달 저감 방안은 일단 실내의 벽면을 흡음처리 하여 실내의 소음레벨을 낮추고, 실 내/외부를 연결하는 소음전달 취약부위에 흡/차음 성능을 높이는 것이 일반적이다. 대체로 소음 취약부는 기기실 개폐문과 기기실 내부의 환기 및 온도상승 방지용 공기풍도이다. 기기실 개폐문은 개폐특성 때문에 건물벽면에 비해 두께가 얇고, 흡음재를 부착할 수 없어 이곳에서 음이 증폭 되는 특성 때문에 소음에 취약할 수 밖에 없다. 또한, 공기 풍도는 실 내/외부가 직접 접한 부위이기 때문에 소음전달에 대한 조치가 이루어지지 않은 상태라면 기기실 내부 소음이 이 부위를 통해 외부로 그대로 전달되게 된다.

본 연구의 목적은 실내 변압기에서 개폐문인 셔터를 투과하거나 공기풍도를 통해 실외로 방사되는 소음을 효과적으로 차단하는 방법을 개발하는데 있다. 즉, 변압기 소음주파수인 120Hz 하모닉 성분에 대해 흡/차음 효과가 큰 장치를 고안하여 설치하는 데 있다. 본 연구에서는, 기존의 셔터의 흡/차음 성능을 개선하기 위하여 기존 셔터 앞에 흡/차음 셔터를 추가하는 방법을 고찰하였으며, 공기 풍도에는 변압기 소음주파수와 맞는 공명기를 적용하는 방법을 검토하였다. 또한, 이 장치들을 실제 현장에 적용하여 그 효과를 확인하였다.

2. 표준 실내변전소 소음저감 방안

표준 실내변전소 변압기실은 그림 1과 같이 변압기가 지지구조물 위에 놓이는 구조를 가지며, 변압기의 정비를 위해 변압기실 외부와 연결되는 방풍 셔터가 구비된다. 변압기는 그 특성상 상당한 열이 발생하기 때문에 그림 1과 같이 변압기 실내의 상/하부에 공기풍도가 설치되어 변압기로부터 발생된 열을 외부로 전달하는 역할을 하게 된다. 변압기로부터 발생된 소음은 차음성능이 상대적으로 취약한 부위인 변압기실 셔터 및 공기풍

도를 통해 실외로 전달되게 되며, 이 소음이 주거지로 그대로 전달되면서 환경소음을 유발시킨다. 따라서, 환경소음에 의한 민원을 방지하는 차원에서 변압기실 셔터와 공기풍도의 차음은 매우 중요한 매우 중요한 사항이다. 본 연구에서는 변압기실 셔터의 차음성능 개선책 및 공기풍도의 차음을 위한 공명기 설치에 대하여 고찰하기로 한다.

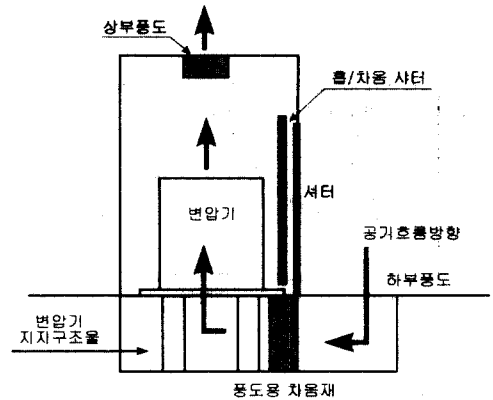


그림 1. 표준 실내변전소 변압기실의 개략도

셔터 안쪽에 설치되는 흡/차음 셔터는 흡/차음 기능을 하면서도 기기의 반출입이 가능하도록 하기 위해 전체 구조를 4개의 미닫이문 형태로 분리하여 설계하였다. 하나의 셔터는 7개의 모듈로 그림 2와 같이 설계하였으며 한 모듈에는 6개의 공명기가 설치되어진다. 공명기 부분에서는 120Hz 성분을 흡수하며 소실형 흡음재 (fiber glass)는 240Hz 이상의 소음을 흡음하도록 하였다. 흡음재 뒤에는 그림 2와 같이 공기층을 두어 소음저감 성능을 극대화시킨다. 다만 이 장치가 설치될 경우 변압기실 한쪽면 만의 흡음성능이 향상되기 때문에 변압기실 전반적인 소음저감은 기대할 수 없다.

그림 3은 앞에서 설명된 흡/차음 셔터 모듈에 의한 소음저감 효과를 간략하게 그린 것이다. 변압기실 안쪽에 설치될 흡/차음 셔터는 셔터쪽에 생기는 음의 증폭현상을 방지하기 때문에 이 부분에서 5dB 정도 소음레벨이 감소하게 된다. 또한 흡/차음용 셔터는 차음효과도 발생되기 때문에 셔터를 투과하여 외부로 전달되는 소음레벨을 10dB 이상 저감할 수 있게 된다.

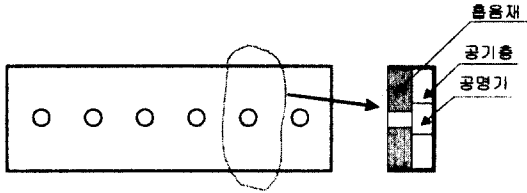


그림 2. 흡차음 서터 모듈 개략도

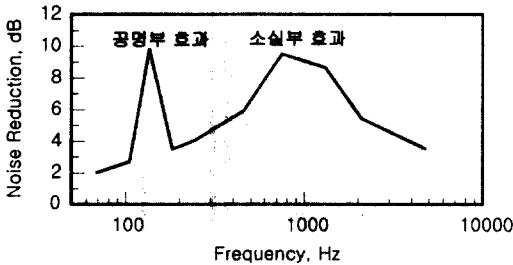


그림 3. 흡/차음 서터의 소음저감 효과

그림 4는 풍도를 통해 외부로 전달되는 소음을 제어하기 위한 장치 모듈의 개략도로써 공기유입구 (굵은 실선) 주위에 120Hz 하모닉 성분(120, 240, 360, 480Hz)을 흡수하기 위한 공명기가 위치하도록 설계하였다. 변압기에서 발생된 소음은 공기유입방향과 반대로 진행하는데 이 구조를 통과하면서 많은 소음 성분들이 제거되게 된다. 변압기 1대당 4개의 지하풍도가 있어 차음장치 모듈이 총 4(풍도갯수)× [4(가로)× 6(세로)]개 설치되었다.

그림 4의 각 공명기는 사각 덕트 형태를 가지며, 그 공명주파수는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f_n = \frac{(2n-1)c}{4l} \quad (5)$$

여기서 c 는 음의 전달속도이며, l 은 덕트의 길이이고 n 은 양의 정수를 의미한다. 공명기의 성능은 n 이 1인 첫번째 공명주파수를 사용하는 것이 효율적이다. 따라서 120Hz용 공명기는 약 70 cm의 길이를 가지게 되어 길이에 제약이 없는 공기 풍도에서는 문제가 없지만 길이 제약이 있는 곳에서는 그림 5와 같은 공명기 구조를 도입하게 된다.

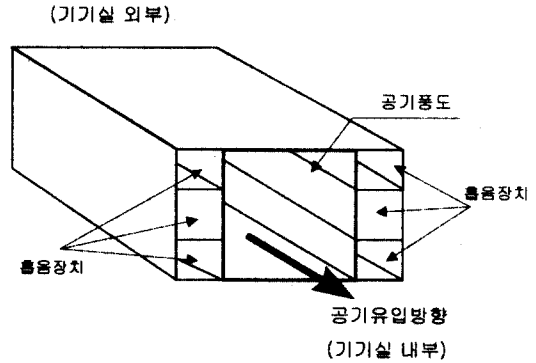
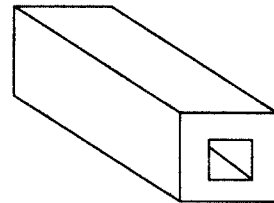
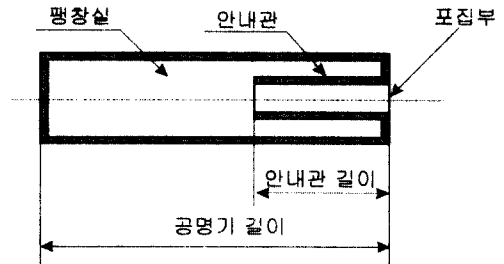


그림 4. 풍도용 공명장치 모듈 모식도



(a) 입체도



(b) 단면도

그림 5. 공명기 개략도

공명기의 단면도를 보여주는 그림 5를 보면, 공명기는 내부공간을 갖는 팽창실을 있으며, 팽창실은 일정한 크기의 공간을 형성하도록 박스형으로 형성되어 있다. 팽창실의 내측에는 소음을 흡입하기 위한 안내관이 설치되며, 안내관은 소음이 발생되는 외부로 노출되는 포집부와 연결되어 있다. 여기서, 안내관의 길이, 팽창실의 길이, 안내관의 면적 및 팽창실의 면적은 소음저감을 원하는

주파수에 따라 선택적으로 변화시킬 수 있다.

따라서, 공명기의 포집부에 의해 포집되는 소음은 안내관을 거쳐 팽창실에서 팽창되어 저감되는 구조를 지님으로써, 설치공간이 정해지면 각 형상변수를 매개로 공명형 흡음관의 포집성능과 공명주파수를 설정하여 최적의 흡음장치를 설계할 수 있게 된다. 이 장치는 제한적이진 않지만, 변압기 또는 펌프와 같이 소음에너지가 특정 주파수에 집중되어 있는 기기들의 공기풍도에 설치하여 소음을 흡음하는 경우, 각 주파수들에 맞는 흡음장치를 유체흐름방향과 평행 또는 직교되게 배열함으로써 유동에는 방해가 되지 않으면서 소음만을 차단하는 역할을 하게 된다. 즉, 이 장치는 소실형 흡음재의 모든 주파수에 걸친 소음성능을 공명주파수에만 집중시켰기 때문에 특정주파수에서의 소음저감에 매우 효율적이다.

이 장치는 종래의 공명형 흡음재의 다공판 역할을 하는 흡음관의 전체 두께가 확장관으로 이어지는 길이 만큼 길어졌기 때문에 동일한 개구율에서는 종래의 공명형 흡음재 보다 공명주파수가 훨씬 낮은 저주파수에 형성됨으로써, 저주파수 소음을 저감하기 위해 흡음관의 두께 또는 길이를 증가시키지 않고도 저주파수의 소음을 효과적으로 저감시킬 수 있다.

그림 6은 설계한 풍도용 차음장치의 차음성능을 구하기 위한 시험장치로서 스피커로부터 발생된 소음이 공명기에 의해 얼마만큼 저감이 되는지 판단할 수 있게 하는 장치이다. 그림 7은 그림 6의 시험장치에서 얻은 시험결과로서 공명기가 존재할 때의 소음저감 효과를 보여주고 있으며, 해당주파수에서 10dB 이상의 소음저감효과가 있음을 알 수 있다. 공명주파수가 다른 공명기가 동시에 존재하는 경우, 각각의 공명주파수에서의 소음저감 성능이 더해지는 것을 그림 7의 결과를 통해 알 수 있다. 따라서 공명기를 풍도에 적절하게 시공하게 되면 10dB 이상의 소음저감 효과를 거둘 수 있음을 알 수 있다.

이상을 종합해보면 흡/차음 셔터 및 공기풍도용 공명기는 변압기 소음저감에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다..

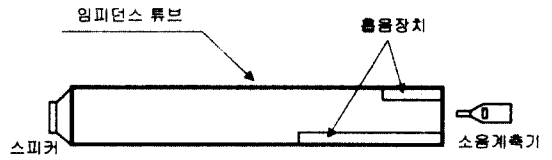
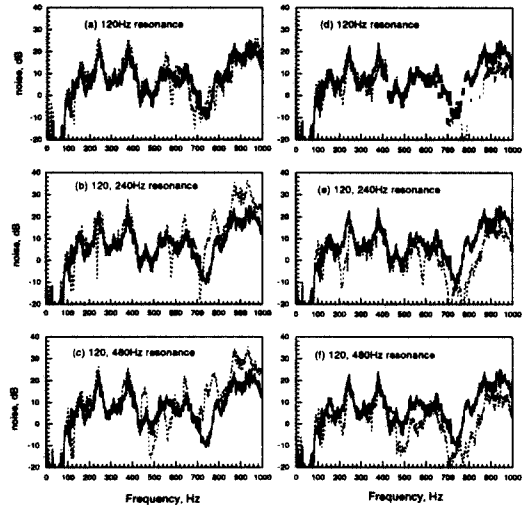


그림 6. 공명기 소음저감 효과 측정장치



1 차 실험결과

2 차 실험결과

그림 7. 공명기에 의한 소음저감 효과

(실선 : 공명기가 없는 경우;

점선 : 공명기가 있는 경우)

3. 현장 적용

S 변전소는 그림 8 과 같이 총 4 대의 변압기가 운전될 수 있도록 준비되어 있으나, 4 번 변압기가 미설치 되어 3 대의 변압기만이 가동중에 있다. 변전소 옆쪽(북쪽)으로는 1 지역인 상가가 위치하고 뒤쪽(동쪽)으로는 2 지역인 인가가 인접하고 있으며, 변전소 앞쪽(서쪽)으로는 4 차선 도로 건너 3 지역인 상가 및 주택가가 위치하고 있다. 각 변압기실은 약 7m 높이의 셔터가 설치되어 있으며, 변압기를 냉각하기 위한 공기는 그림 8 에 표시된 지하풍도를 통하거나 변압기 상부에 설치된 상부풍도를 통해 유입된다. 셔터와 풍도는 변압기실 중에서 차음성능이 취약한 부분이기 때문에 공기를 통한 변압기의 소음전달은 거의 대부분 이 곳을 통해 이루어진다. 따라서 변전소 앞쪽의 3 지역은 지하풍도 및 셔터를 투과한 변압기 소음에 직접 노

출되며 변전소 뒤편 2 지역은 상부 풍도를 통한 소음에 바로 노출되게 되어 있어 민원소음을 유발할 수 있는 취약한 배치를 가지고 있는 셈이다.

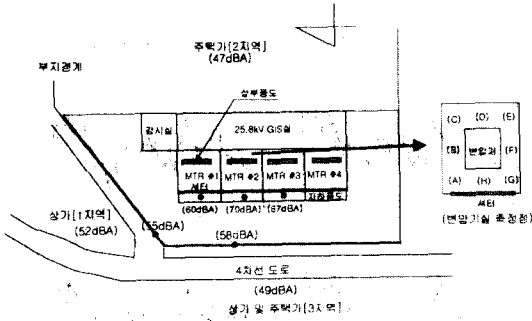


그림 8. S 변전소 배치도

그림 8에 표시된 변전소 주변의 소음레벨은 변전소가 거의 full-load 상태인 오후 8시 근방에 계측한 소음레벨 값으로 변전소 정면 부지경계지역에서 소음레벨이 55dB(A)를 상회하고 있으며 2 지역에서 47dB(A)와 3 지역에서 49dB(A)를 나타내었다. 따라서 2 지역의 경우 주거지역 소음규제치 45dB(A)를 만족하기 위해서 2~3dB 정도의 소음저감이 필요하며 3 지역의 경우 4~5dB 정도 소음저감이 필요하다.

변압기실 외부 서터 바로 앞에서의 소음레벨은 1번, 2번, 3번 변압기실 순서별로 60, 70, 67dB(A) 소음레벨을 보이는 데 이는 2번 변압기의 소음기여도가 다른 변압기에 비해 매우 높은 것을 의미한다. 3번 변압기의 경우 지중선 배설관계로 칸막이로 변압기실 앞에 가로막혀 있어 실제 소음레벨은 65dB(A) 정도일 것으로 생각된다. 변압기실 앞의 소음레벨을 합산하면 72dB(A) 정도의 소음레벨을 가지는 데 2번 변압기실 앞의 레벨이 60dB(A) 정도로 저감된다면 소음레벨 합산치가 67dB(A)가 되기 때문에 3대의 변압기에서 발생하는 소음에너지가 5dB 저감되는 효과를 가지게 된다. 이 상태가 되면 변전소 정면 3 지역에서 소음레벨이 45dB(A) 정도가 되어 소음규제치를 만족하게 될 것으로 예측된다. 따라서 2번 변압기 앞에서 10dB 소음저감이 본 연구의 목표가 된다.

서대전 변전소의 소음저감 대책으로 2번 변압

기실 지하풍도에 공명기를 설계/설치하고 동시에 서터안쪽에 흡/차음 서터를 설계/설치한 후 소음저감 효과를 측정하였다. 측정 조건은 표 1과 같으며 측정점은 그림 8과 같다. 측정된 소음레벨은 표 2과 같으며 측정결과를 정리하면 다음과 같다.

- 소음저감 대책 적용 후 변압기 내부(서터안쪽)에서 5dB 정도 외부에서 10dB 정도 소음이 저감되었다. 그림 10의 주파수 분석 결과를 보면 모든 주파수에서 전반적으로 소음저감이 이루어졌음을 알 수 있다. 지하풍도의 차음장치 및 서터 안쪽의 흡/차음 서터는 각각 10dB 이상의 소음저감 성능을 가지고 있으나 서터 앞에서 10dB 정도 밖에 소음저감 효과가 나타나지 않은 것은 변압기 진동에 의한 고체 전달소음 때문으로 판단되며 이를 줄일 수 있는 방진장치가 설치되지 않는 한 10dB 정도가 최대로 저감할 수 있는 값이 아닐까 사료된다. 하지만 원래 목표한 소음저감 정도는 달성할 수 있었다.

- 2번 변압기 소음저감 효과로 인해 1번 변압기 외부에서의 소음레벨이 부가적으로 3-4 dB 정도 저감되었다. 2번 변압기로부터 외부로 방사되는 에너지가 줄어 1번 변압기실 앞으로 전파되는 에너지가 동시에 줄어드는 효과가 발생되었다.

- 2번 변압기 외부에서 #6-8 번의 소음은 3번 변압기 소음의 전달로 인해 실제보다 2dB 정도 높게 측정되는 것으로 판단된다. 소음저감조치 전에 소음에너지 흐름의 방향이 2번에서 1,3번이었던 것이 소음저감조치 후 그 방향이 3번에서 2,1번으로 바뀌게 됨에 따른 것이다.

표 1. 측정 출력조건(MW)

조건 1	13.1	23.7	23.7
조건 2	19.1	33.1	32.1
조건 3	17.3	30.7	29.9

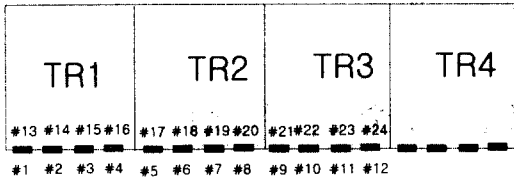


그림 9. 측정점 표시

표 2. 소음저감 조치 전/후의 소음레벨(dBA)

점	1	2	3	4	5	6	7	8
#1	58.0	63.0	58.0		67.5	69.0	66.5	
#2	59.0	64.0	59.0		69.0	70.0	67.5	
#3	61.0	64.0	59.0		67.0	70.0	70.0	
#4	64.0	64.0	60.5		67.0	70.5	69.0	
#5	66.0	68.0	58.5		82.0	79.0	77.0	
#6	68.0	70.0	61.0		75.5	80.5	75.5	
#7	70.0	70.0	60.5		80.5	80.0	75.0	
#8	68.0	69.0	61.5		79.5	81.0	80.0	
#9	64.5	67.0	62.5		78.0	74.5	77.0	
#10	64.0	67.0	65.0		74.5	75.3	77.0	
#11	63.0	65.0	65.0		73.5	76.0	78.0	
#12	66.0	66.5	66.0		76.0	75.0	78.0	

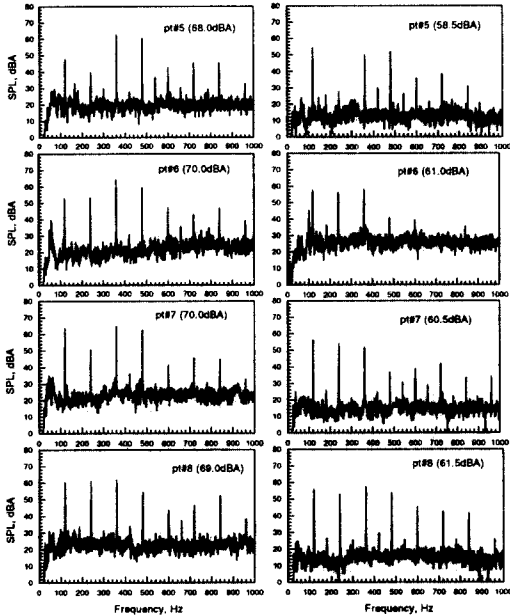


그림 10. 2 번 소음저감 조치전/후의 주파수 결과

4. 결론

본 연구에서는 실내 변압기에서 서티를 투과하거나 공기풍도를 통해 실외로 방사되는 소음을 효과적으로 차단하는 방법론을 고찰하였다. 기존의 서티의 흡/차음 성능을 개선하기 위하여 기존 서티 앞에 흡/차음 서티를 추가하는 장치를, 공기 풍도에는 변압기 소음주파수와 맞는 공명기를 적용하는 방법을 개발하였다. 그 결과 흡차음 서티는 음의 증폭방지 기능에 차음효과가 부과되어 서티부를 투과하는 소음을 효율적으로 차단함을 알 수 있었다. 공기풍도용 공명기는 저주파수 및 순음에서 효과적이기 때문에 소실형 흡음재를 사용한 일반 흡음덕트와 비교해서 매우 효과적인 소음저감 장치로 판단되었다. 이 장치들은 실제 현장에 적용하여 그 효과를 확인하였으며 실내변전소 변압기 소음제어용으로 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. P. M. Morse and K. U. Ingard, *Theoretical Acoustics*, McGraw-Hill, New York, 1968, Chapter 7.
2. L. H. Bell, *Industrial Noise Control*, Marcel Dekker, Inc, New York, 1982, Chapter 4.
3. L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, and J. V. Sanders, *Fundamentals of Acoustics*, John Wiley, New York, 1982, 3rd ed., Chapter 8.
4. A. D. Pierce, *Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications*, McGraw-Hill, New York, 1981, Chapter 5.
5. M. Abramowitz and I.A. Stegun, *Handbook of Mathematical Functions*, Dover, New York, 1970, Chapters 9 and 11.