

비정방형실내에서의 직접음과 반사음 식별에 관한 연구

(Recognition of the Direct and Reflected Sounds in an Irregularly Formed Chamber)

* 車日煥 (Ilwhan Cha)

** 朴圭泰 (Kyutae Park)

*** 林光鎬 (Kwangho Yim)

ABSTRACT

An irregularly formed chamber was designed and constructed to recognize the direct sound radiated from the sound source and the reflected sound from the walls of the chamber.

The sound signal used was tone burst in the frequency range of 50Hz-8KHz. A microprocessor unit was also designed to detect a synchronous signal and to obtain the frequency response characteristics with the signal detection after transient effect.

The direct wave, transient phenomena and the primary reflected sound could be easily distinguished each other by measurements of the arrival time of the time difference.

And also noise could be easily distinguished by the same method.

The result obtained can be used in industries for automatic measurement of the sound pressure response characteristics with respect to frequencies.

요 약

본 연구는 비정방형실내에서 주파수영역 50Hz-8k 의 톤버스트를 사용하여 음원의 직접음과 반사음을 식별하므로써 음원의 주파수 특성을 구하는 새로운 방법을 연구한 것이다.

각 주파수별 신호의 출력은 과도현상을 제거한 정상음 신호에 대한 주파수 특성을 구하는데 마이크로 프로세서를 응용하였으며 실험결과는 무향실에서의 음원의 주파수 응답특성과 거의 일치하였다. 본연구 결과는 외부에서 임의의 소음이 있는 가능성을 제시함으로써 산업체에서 응용이 가능할 것이다.

I. 서 론

현재까지 음원 또는 스피커의 주파수응답특성을 구하는 방법은 무향실에서 구하는 것이 상식화 되어 있다. 그러나 음원에서의 직접음과 반사음 그리고 외부 잡음의 도달시간에 관한 상관관계가 규명되면 임의의 장소에서도 음원의 주파

수특성이 얻어질수 있을 것이다. 이와같은 직접음과 반사음에 대한 연구는 W. Eversman,⁽¹⁾ P. L. eehey, K. W. Kayser⁽²⁾ 등이 부분적으로 연구하였으며 Nobuharu Aoshima는 파워스펙트럼이 평탄한 펄스신호를 컴퓨터로서 푸리에 역변환시켜주파수 응답특성을 구하는데 사용하였다. 그러나

*** 延世大學校 工科學 電子工學科 教授

*** 海軍本部 通信監

이와같은 콤퓨터에서 만들어진 신호는 임펄스이므로 임의의 간향이 있는 곳에서 응답을 얻고서 할 때 그 음원에서 발생하는 신호가 과도 현상이 없는 상태에서는 정확한 결과를 얻을수 있으나 과도현상 시간이 임펄스보다 큰 경우 부정확한 응답이 얻어진다. 따라서 CRT를 보면서 조정하도록 하여야 한다.

본 연구에서는 상술한 문제점 해결을 위하여 첫째로 음원의 직접음과 반사음 식별을 위하여 음원의 지향성과 거리에 대한 음압의 상관관계를 고찰하고, 두번째로는 일정한 반사음을 명확히 추출하기 위하여 반사음 도달거리가 가장 짧은 것과 기타 반사음을 식별하기 용이하게 하도록 비정방형실을 설계 건조하고, 세번째로는 선정한 음원의 지향성을 무향실에서 측정함으로써 비정방형실에 음원을 설치할 때의 음향반사에 대한 기준을 알 수 있도록 하였고, 네번째로는 비정방형실에서의 음원에 의한 음향방사를 일반적인 방법에 의해 측정·검토함으로써 마이크로프로세서 설계 및 응용을 위한 데이터를 구하고, 다섯번째로는 이와 같이 얻은 측정데이터를 분석·검토하여 마이크로프로세서를 설계·제작하여 주파수별 음압응답특성을 측정한 후 일반적인 방법으로 측정한 직접음, 반사음, 과도현상 그리고 주파수별 음압응답특성과 비교·검토하여 새로 설계된 마이크로프로세서 응용 가능성을 보여 주도록 하였다.

2. 음향신호의 직접음과 반사음특성

점음원이 평면으로 된 경계면 근처에 존재할 때의 음장은 경상의 원리에 의해 구할수 있다. 음파가 정반사하는 평면상 경계면으로 부터 h(m) 떨어진 위치 A(o, h)에 소리의 세기가 I인 점음원이 존재한다면 A로부터 r₁(m) 떨어진 임의의 점 P(x, z)에 생기는 음장을 구할때 그림 1과 같이 경계면에 대하여 A와 대응되는 위치 A' (o, -

h)에 소리의 세기가 I인 점음원이 존재하고 A' P 사이에는 매질(1)이 충전되어 있다고 가정하면 A' P를 r₂라고 할 때 다음과 같은 관계식이 성립한다.⁽⁵⁾

$$\phi(p) = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{e^{ik_1 r_1}}{r_1} + R(12) \frac{e^{ik_1 r_2}}{r_2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

여기서 R(12)는 다음과 같다.

$$R(12) = \frac{\rho_{01} - k_2 \cos \theta_2}{\rho_{01} + k_1 \cos \theta_1} = |R_d(12)| e^{i\pi} \dots\dots (2)$$

여기서 ϕ(P)는 매질(1)에서 매질(2)로 향하는 속도포텐셜이며 R(12)는 이 속도포텐셜의 반사계수이고, π는 주파계수이다.

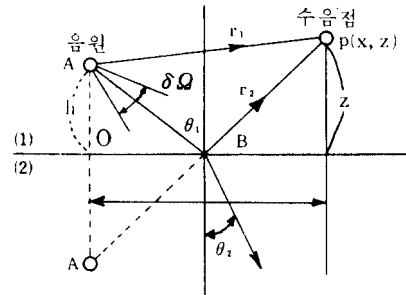


그림 1. 반사음의 경상 효과
Fig 1 mirror effects of the reflection sound wave

파장정수는 다음과 같은 식으로 표시 할수 있다.

$$k_i = \frac{\omega}{c_i} \sqrt{1 + i \frac{\sigma_i}{\omega}} = \alpha + i\beta_i, \quad (i=1, 2) \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{k_1}{k_2} \dots\dots\dots (4)$$

여기서 α는 매질(i)의 저항 계수이다. 따라서 ϕ(P)를 변경하면 다음과 같이 된다.

$$\phi = \frac{|I_0|}{4\pi} \frac{1}{x} \left(1 - \frac{z^2}{2x^2} \right) \cdot \sqrt{1 + |R_d(12)|^2 + 2|R_d(12)| \cos(2k_1 z + \gamma)}$$

$$e^{i(kr + \frac{\eta}{2} - u + \phi - \omega t)} \dots\dots\dots (5)$$

$$\tan u = \frac{r_2 - |R_o(12)|r_1}{r_2 + |R_o(12)|r_1} \cdot \tan(kx + \frac{\eta}{2})$$

$$2r = r_1 + r_2$$

$$2s = r_2 + r_1$$

$$A = A_0 e^{i(\phi - \omega t)}$$

진폭만 나타내면 다음과 같이 된다.

$$|\phi| = \frac{|I_0|}{4\pi} \frac{1}{x} (1 - \frac{z^2 + h^2}{2x^2}) \cdot \sqrt{1 + |R_o(12)|^2 + 2|R_o(12)| \cos(\frac{4\pi hz}{\lambda x} + \eta)} \cdot e^{-\beta_1 x (1 + \frac{z^2 + h^2}{2x^2})} \dots\dots\dots (6)$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{a_1} \text{ (m)}$$

|\phi|의 극대치는 다음과 같은 위치에서 발생한다.

$$\frac{z}{x} = \frac{\lambda}{2h} (n - \frac{\eta}{2\pi}), \quad n=0, 1, 2$$

극대치 값은 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$|\phi_{max}| = \frac{|I_0|}{4\pi} \frac{1}{x} (1 - \frac{z^2 + h^2}{2x^2}) (1 + |R_o^{(12)}|) e^{-\beta_1 x (1 + \frac{z^2 + h^2}{2x^2})} \dots\dots\dots (7)$$

|\phi|의 극소가 되는 위치와 극소치는 다음과 같다.

$$\frac{z}{x} = \frac{\lambda}{4\pi} (2m + 1 - \frac{\eta}{\pi}), \quad m=0, 1, 2 \dots\dots\dots (8)$$

$$|\phi_{min}| = \frac{|I_0|}{4\pi} \frac{1}{x} (1 - \frac{z^2 + h^2}{2x^2}) (1 - |R_o^{(12)}|) e^{-\beta_1 x (1 + \frac{z^2 + h^2}{2x^2})} \dots\dots\dots (9)$$

이와 같은 음장은 간섭음장으로서 |\phi|의 극치가 생기는 위치는 원점을 지나 경계면과 tan⁻¹(z/x) 되는 기울기를 갖는 원추면상이며 그 기울기는 λ/h가 작을수록 수평에 가까우며 극대와 극소수는 교차적으로 배열되어 있다. 또한 x가 크

고 z가 0이 되는 경우 간섭음장은 나타나지 않으며 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$|\phi| = \frac{|I_0|}{4\pi} \frac{1}{x} (1 - \frac{h^2}{2x^2}) \cdot \sqrt{1 + |R_o(12)|^2 + 2|R_o(12)| \cos \eta} e^{-\beta_1 x (1 + \frac{h^2}{2x^2})} \dots\dots\dots (10)$$

또한 과장이 짧은 경우 잔잔한 간섭이 나타나며 과장이 길어지면 간섭은 차츰 거칠어진다.

3. 실험

3-1 비정방형실 및 마이크로프로세서 설계

비정방형실은 어느 한면 즉 마루면에서의 반사음만 확실하게 알 수 있도록 즉 음파가 마루면에서 반사하여 수음점 (1미터 높이 및 음원과거리 1미터)에 도달하는 관계를 확실하게 식별할 수 있도록 하고 나머지면에서 반사하여 수음점에 도달하는 시간은 길게 설계하였다. 또한 반사음 관계는 음원위치에서 360도 방향으로 음선을 사용하여 수음점까지의 도달시간을 확인하고 실제로 시험한바 설계목적대로 사용할 수 있었다. 비정방형실 도면은 그림(2)와 같으며 재료는 두께 18mm의 합판을 사용하였다.

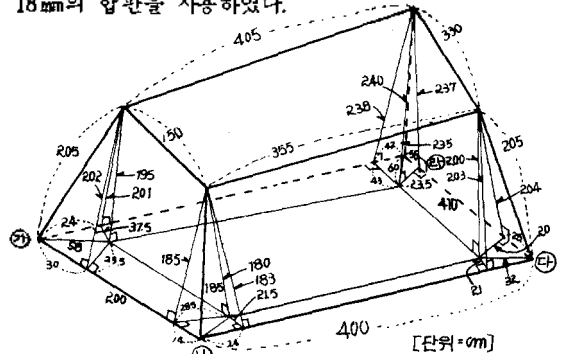


그림 2. 비정방형실 도면
Fig 2. Schematic diagram of the irregular formed chamber.

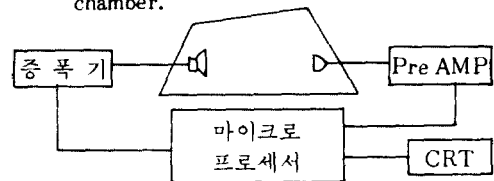


그림 3. 마이크로프로세서를 이용한 음향특성측정계통도
Fig 3. Measuring system for the acoustic characteristic by the microprocessor.

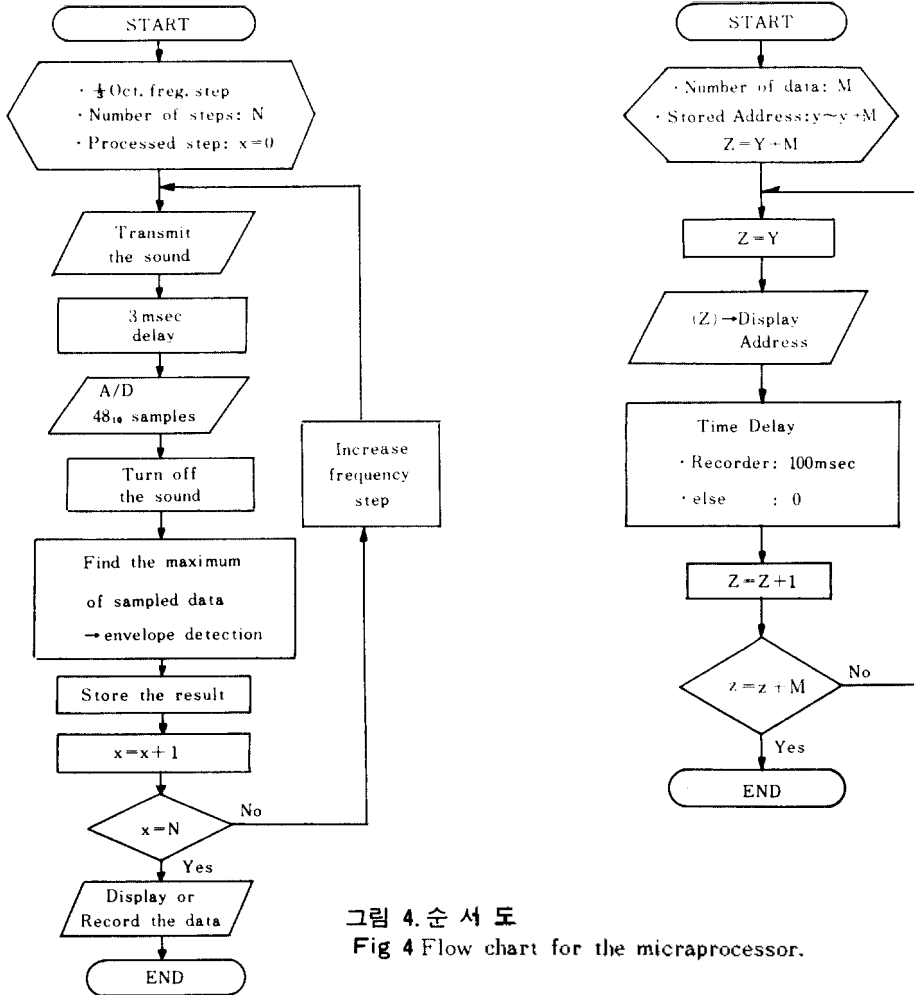


그림 4. 순서도
Fig 4 Flow chart for the microprocessor.

일반적인 측정방법을 요약하면 톤버스트변환회로에 원하는 주파수의 신호를 보내 톤버스트신호를 만들어 송신신호로서 방사한후 수신신호를 수신하여 메모리스크프로서 과도현상, 정상상태의 신호 그리고 반사음 등을 추출한다. 이것은 오직 한개의 주파수에 대한 것으로서 원하는 주파수대역별로 측정하려면 상당한 측정시간이 필요하게 된다. 그러나 이와 같이 복잡하게 반복되는 측정을 마이크로프로세서를 응용하여 자동화 측정시스템을 만들고자 한다.

본 연구를 위한 마이크로프로세서의 구성은 CPU, A/D, D/A 변환기, 톤버스트신호발생기, 비디오그래픽시스템, 기억장치, 인터페이스로 구성

한다.

CPU는 비교적 명령어가 풍부하고 인터페이스가 용이하며 처리속도가 빠른 Z-80A를 사용하였다. 처리속도를 좀더 빠르게 하기 위하여 클럭 주파수를 4MHz로 사용토록 하였다.

A/D, D/A변환기는 8 비트로서 변환시간이 30 μsec 가 되는것을 택하여 2KHz 정도까지는 해상도가 좋으나 그 이상은 좋지 않으므로 포락선추적시스템을 추가하도록 하여 해상도가 나쁜 고조파영역신호의 해석도 가능하도록 하였다.

톤버스트신호발생기는 반복주파수영역이 20Hz로부터 89Hz 까지 되도록 하였고 톤버스트신호길 이와 신호와 신호사이의 정지시간을 기계어에

의해 프로그램된것을 RAM 에 넣어 사용함으로써 신호를 조절할 수 있도록 하였다.

비디오그래픽의 화소(Picture cell)는 256×320 되도록 하였고 메모리 는 현재 32K 바이트이며 64K 바이트까지 확장할 수 있도록 하였다.

인터페이스는 가장 빠른 방식으로서 Memory Mapped I/O방식을 채용하였다. 이와 같은 구성에 의해 가동시키면 신호데이터 중 하나의 데이터가 임의의 메모리에 Load하기까지 약 60 μ sec 가 소요된다.

3-2음향신호의 과도특성, 직접음 그리고 반사음 측정

스피카의 과도특성측정법에는 입력신호로서 임펄스를 사용하는 임펄스법과 톤버스트법이 있다. 임펄스법은 잔향실에서 사용하는 방법으로서 아직까지 문제점이 있다고 할 수 있으므로 여기서는 톤버스트 법을 사용하고저 한다. 톤버스트법은 톤버스트파의 피수를 일정하게 하는 정파수법과 버스트시간을 일정하게 하는 정시간법으로 분류할 수 있다.

정파수법은 고음역에서 신호의 계속시간이 짧아지기 쉬우며 정시간법에서는 저음역에서 파수가 작아지는 결점이 있다. 또한 정시간법은 파형의 끝이 일정하지 않고 측정결과의 재현성에 문제가 있다. 이와 같은 이유로 스피카를 측정하는데는 정수법을 사용하는 경우가 많다. 일반적으로 8 파ON 8 파OFF의 톤버스트가 사용된다. 이와 같은 경우는 대단히 큰 잔향실이나 무향실에서는 가능하나 작은 잔향실에서는 정수법이나 정시간법을 적용할때 직접음과 반사음이 합쳐지는 시간적인 제한조건이 발생함으로 주파수에 따라 버스트시간을 변경하여야 한다. 그러나 최소한 저주파인 경우 두파장 이상은 방사하도록 하여야 한다.

2 채널메모리스크로프의 한쪽 채널에는 스피카에 보내지는 신호로서 진폭크기 및 신호발생시

간을 명확하게 확인할 수 있으며 마이크로폰출력은 증폭되어 다른쪽 채널메모리스크로프로 입력되어 기억시켜 재생함으로써 스피카음향의 마이크로폰까지의 도달시간, 과도현상, 직접음 그리고 반사음에 대한 영향등을 관찰할 수 있도록 하였다. 톤버스트변환기는 톤버스트의 시간을 조절할 수 있도록 설계하였다.

마이크로프로세서는 프로그램에 의해 버스트 시간, 신호방사정지시간 주파수변환, 파형재생을 조정하며 직접음도달시간, 과도현상발생시간 그리고 반사음도달시간을 필요에 따라 디스플레이 할 수 있도록 하며 측정시스템을 자동화시킴으로써 정밀도를 향상시키고 측정능률을 높여 준다.

4. 실험결과 및 고찰

무향실 및 비정방형실에서의 음파의 주파수별 과도현상, 직접음 그리고 반사음 측정결과

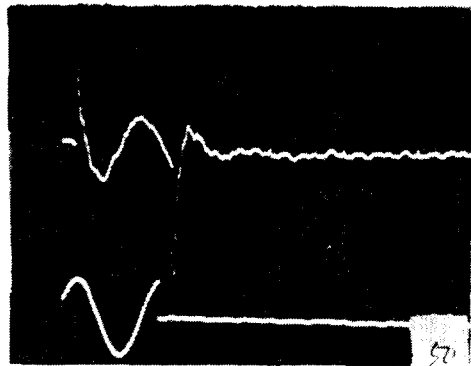
무향실에서 음원으로부터 톤버스트신호를 방사하여 음원으로부터 1미터 떨어진 위치에 표준마이크로폰을 설치하여 마이크로폰 출력을 증폭기를 통해 메모리오실로스코프에 신호를 보내 그 파형을 기억시켜 촬영한 사진의 예가 사진 1과 같다.

사진의 하단은 톤버스트 신호이고 상단은 마이크로폰출력이다.

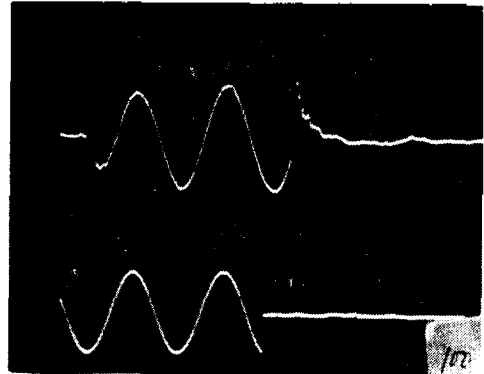
50Hz부터 80Hz까지는 화면의 한칸이 10msec, 100Hz부터 90Hz까지는 5 msec, 1 KHz부터 2 KHz까지는 2 msec, 3 KHz부터 4 KHz까지는 1 msec 그리고 5 KHz부터 8 KHz까지는 2 msec이다.

따라서 처음 직접음이 도달하는 시간과 과도현상의 모양 그리고 발생시간을 측정할 수 있다.

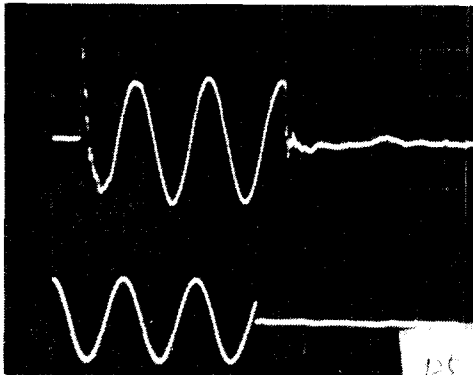
비정방형실에서 음원으로부터 톤버스트신호를 방사하여 음원으로부터 1미터 떨어진 위치에 표준마이크로폰을 설치하여 마이크로폰 출력을 증



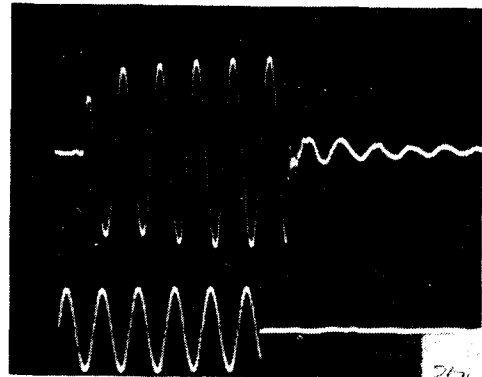
50 Hz 파형



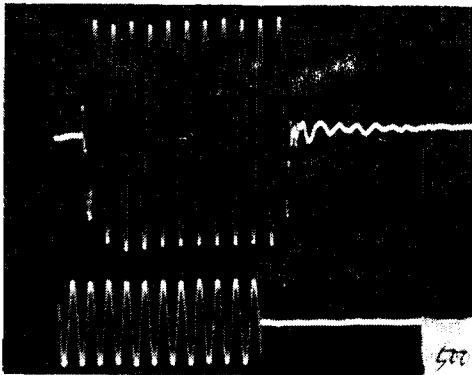
100 Hz 파형



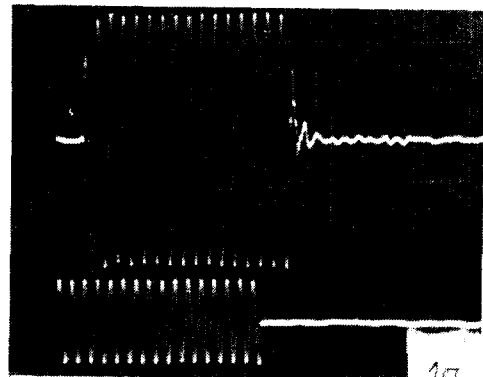
125 Hz 파형



250 Hz 파형



500 Hz 파형



700 Hz 파형

사진 1. 무향실에서 송신신호와 수신신호 파형
(50Hz, 100Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 700Hz)

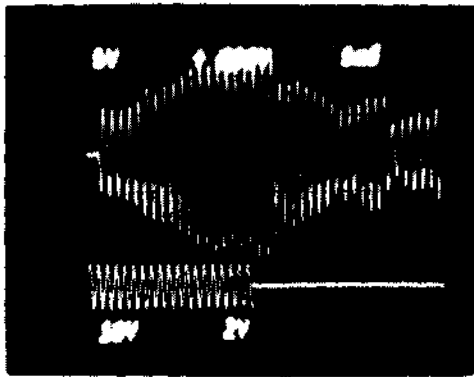
Photograph 1. Wave forms of the transmitted and received signals
in the anechoic chamber.

(50 Hz, 100 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 700 Hz)

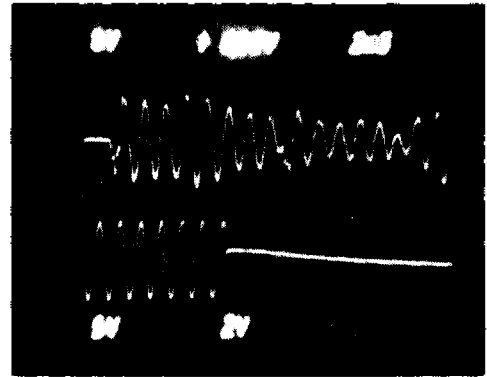
목기를 통해 메모리오실로스코프에 신호를 보내
그 파형을 기억시켜 촬영한 사진의 예는 사진
2와 같다. 사진의 하단은 튜너스트신호이고 상
단은 마이크로폰 출력이다. 음원과 마이크로폰의

위치는 마루면에서 1미터 높이의 위치이다.

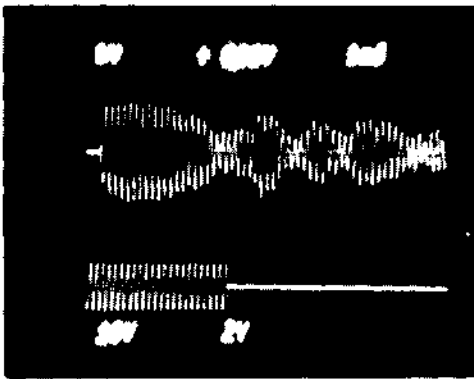
그림 5는 파형사진의 직접음 도달시간 과도현
상 파형 및 발생시간 그리고 1차반사음 시작시
간 또한 잔향에 대한 해석을 보여주는 예이다.



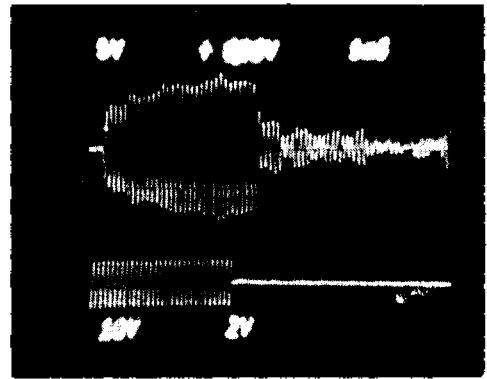
900Hz 파형



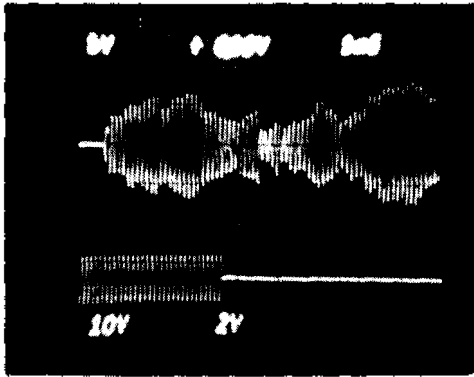
1 KHz 파형



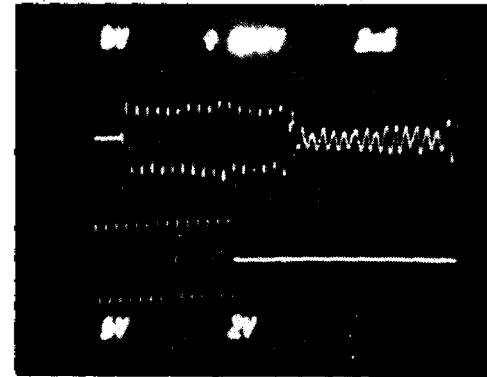
1.3 KHz 파형



1.7 KHz 파형



1.9 KHz 파형



2 KHz 파형

사진 2. 비정방형실에서의 송신신호와 수신신호
(900 Hz, 1 KHz, 1.3 KHz, 1.7 KHz, 1.9 KHz, 2 KHz)

Photograph 2. Wave forms of the transmitted and received
signals in the irregular formed chamber.
(900 Hz, 1 KHz, 1.3 KHz, 1.7 KHz, 1.9 KHz, 2 KHz)

마이크로폰까지 도달하는 시간 및 과도현상 시작 시간

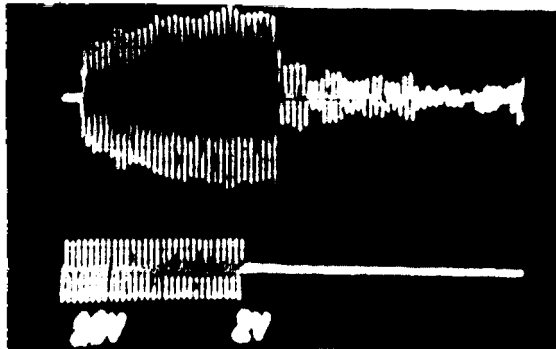
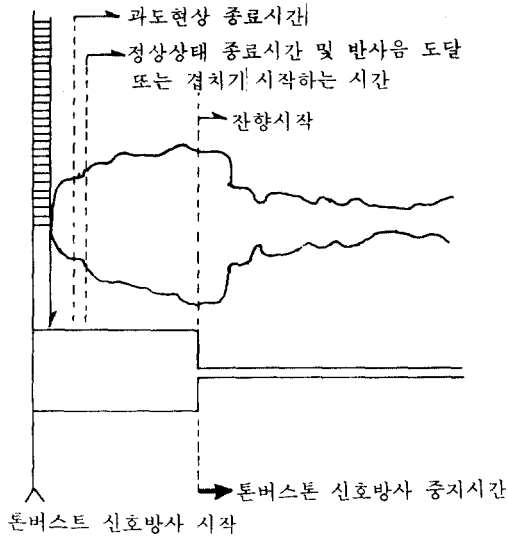


그림 5 파형해석예.
Fig 5 Example of the wave analysis

직접음이 음원으로부터 1미터 떨어진 위치에 있는 마이크로폰까지의 도달시간은 평균 3msec로서 20°C에서 계산한 값과 거의 일치한다. 또한 반사음이 최초로 영향을 주는데 필요한 시간은 평균 7msec로서 바닥면에서 반사되는 가장 짧은 거리를 통해 오는 시간과 거의 일치한다.

과도현상은 50Hz로부터 500Hz까지의 저음역과 중음역 일부에서 평균 2msec동안 일어나며 700Hz로부터 8KHz까지는 과도현상발생시간이 평균 1msec이다. 음원의 지향패턴을 살펴보면 뒷면, 즉 180도 방향으로 반사되는 음압은 250

Hz까지 정면 0도 방향과 거의 차이가 없는 것은 무향측정결과와 비정방형실내에서의 측정결과가 서로 일치하는 현상이 나타났다.

음원정면측상 1미터지점에서는 비정방형으로 인한 반사음이 마루에서 반사되는 것과 기타방향에서 반사되는 것이 시간차로서 뚜렷이 나타났으나 비정방형실 모서리 위치에서는 직접음과 반사음의 식별이 약간 어려워지는 현상이 나타났다. 그리고 음향출력을 중지시켰을때 잔향이 길어진다.

정면 1미터지점에서의 잔향현상을 살펴보면 음향방사를 중지했을때 부분적으로 더 음압이 커지는 현상이 나타났는데 이것은 직접음과 반사음이 서로 위상이 반대일때 생기는 현상으로서 직접음이 없어지면 위상반전에 의한 감소효과가 없어져 음압이 상승한 것으로 해석할 수 있다. 이와 같은 경우는 특히 3KHz의 주파수에서 나타났다.

5. 결 론

비정방형실에서의 직접음과 반사음관계는 일차적인 반사음 즉 음원과 수음점사이 일부에서 반사되는 최초의 반사음 식별이 가능하였으며 직접음은 정확히 3msec후에 1m떨어진 수음점에 도달함을 확인할 수 있었다.

일차반사음은 50Hz로부터 80KHz까지 평균적으로 7msec후에 나타났으며 직접음이 반사음에 의한 영향을 받지 않는 시간은 모든 주파수에 대한 평균치가 4msec였다.

과도현상은 처음 음파가 수음점에 도달한 후 일반적으로 고주파영역에서는 1msec동안 진폭이 점차 증가하는 상태로 나타났으며 저주파에서는 2msec정도의 과도현상이 나타났고 아주 낮은 주파수에서는 왜곡된 현상이 나타났다.

이 결과는 음원해 대한 주파수별음압응답특성을 임펄스를 사용하여 측정하고자 할 경우 임펄

스의 주기에 따라 정확성이 결여될 수 있음을 보여주고 있다.

본 연구를 위해 설계제작된 마이크로프로세서 는 상술한 과도현상에 대한 주파수별음압응답오차를 방지하고 직접 주파수응답을 구할수 있으므로 산업체에서 자동화추정기구로 활용할 수 있을 것이다. 또한 비정방형으로 인해 특정된 마루지점의 반사파가 정확하게 검출됨으로써 마루면에 흡음재를 놓고 흡음률을 측정하는데도 활용이 가능함을 보여주고 있다.

그리고 주파수를 변경할 경우 큰 수조에서의 초음파변환기에서 발생하는 초음파특성을 측정하는데도 응용할수 있을 것이다.

参 考 文 献

1. M. T. Murray, "High and Low Frequency Approaches to the acoustic Radiation Problem," JSV 1974, 34(3) pp. 327~356.
2. W. Eversman & E. L. Cook and R. J. Beek-
eemeyer, "A Method of Weighted Residuals
for the investigation of Sound Transmiss-
ion in Non-uniform Ducts without flow "J
SV, 1975. 38(1), pp. 105~123
3. K. W. Kayser and J. L. Bogdanoff, "A new
method for Predicting Response in Comp-
lex Linear System" JSV. 1975. 38(3) pp 373
-385
4. Nobaharu Aoshima "Computer-generated
pulse signal applied for sound measurement
"JASA. 1981. 69 (C) pp 1484~1488
5. Takeshi Ito, Acoustic Engineering (Tokyo;
Danki-Shoin. 1977) p 91

* 이 논문은 문교부 학술조성연구비에 의해 수행된 것임