超音波를 利用한 振動의 檢出方法

A Method for Detection of Vibration by the Ultrasonic

*李 百 永 (Rhee Baeg Yeong)
**서 호 선 (Seo Ho Seon)
***차 일 환 (Cha IL Whan)

要 約

本 硏究는 超音波의 도플러效果를 利用하여 振動體의 振動 要因에 아무런 影響을 주지 않고, 振動의 波形과 振幅의 크기를 檢出해 내는 裝置에 대해 硏究하였다.

送·受信振動子와 振動體間의 入射角과 反射角을 같도록 하고, 距離變化에 따른 出力을 檢出했다.

振動의 檢出은 AM 復調方式을 使用하고, 出力誤差를 理論的으로 考察한 것이다.

正確한 振動의 檢出은 送·受信振動子와 振動體 사이의 距離가 5cm ~ 20cm 에서, 振幅의 크기는 1mm ~ 5mm 이고, 振動 周波數 範圍는 20 Hz ~ 1 KHz 이었다.

ABSTRACT

It is studied on the apparatus for detecting the amplitude and the frequency of the vibrating object by utilizing the Ultrasonic Doppler Effect, without having any effect on the vibrational cases.

The output is detected varing the distance between the ultrasonic transducers and the vibrating object, when the angles of the incidence and the reflection wave are equalized. AM demodulation is adapted for the detection of vibration, and the output errors are theoretically considered.

The accurate detection of vibration can be obtained, when the distance between them is 5cm to 20cm, the magnitude of amplitude is 1 mm to 5 mm, and the vibrational frequency range is 20Hz to 1KHz.

I. 序 論

物體의 振動을 測定하는 媒體로서, 現在 振動 픽업, 레이저光, 그리고 硏究段階로서 超音波 等이 있다. 最初의 超音波 傳達은 1917年 프랑스의 Paul Langevin [2]에 依해 硏究되었고, 戰後에 Von Hippel [3]에 依해 $BaTiO_3$ 가 開發되고, 1954年 Bernard Jaffe [4]에 依해 P. Z. T ($PbTiO_3$)가 開發되어 現在 超音波 變換器의 主宗을 이루고 있다. 理想的인 振動의 測定은 그 振動體의 振動要因에 아무런 影響을 미치지 않고 正確한 檢出을 하는 것이라 할 수 있다. 超音波를 利

*正會員 롯데파이오니어 개발과장
**正會員 延世大學校 工科大學 電子工學科
***正會員 延世大學校 工科大學 電子工學科 敎授

* 第143回 日本音響工學硏究會發表(1967年 7 月) "里村"氏.

用한 振動檢出은 小型·輕量化 될 수 있으며, 特히 被測定體의 振動要素에 影響을 주지 않고, 被測定體가 超音波를 反射하는 것이면 모두 可能하고, 被測定體와의 距離를 正確히 維持하지 않아도 測定이 可能한 長點이 있다. 從來의 電磁波나 超音波의 反射를 利用한 振動測定 方法中, 도플러 비트 周波數 $\triangle f$에 依한 絶對測定法은 振動速度의 순시치의 波形觀測이 어렵고, 超音波의 反射波를 FM檢波에 依한 測定法[9]은 檢出이 容易하나 周波數 3Hz ~ 200Hz, 振幅 2.5mm未滿을 測定할 수 있도록 되어 있고, 振動體와의 距離도 1.5cm로 制約을 받게 된다. 本 硏究에서는 超音波의 도플러 效果를 利用하여 振幅이 큰 振動體를 對象으로 超音波 反射波를 AM檢波 하는 것에 特徵이 있고, 振動의 波形을 直視할 수 있으며, 또한 振幅의 크기를 直讀할 수 있도록 한 것이다.

2. 理論的 背景

가. 基本原理

振動體와 送·受信用 超音波 振動子는 그림 1과 같은 位置關係가 있다. 그림 1에서 速度 U(t)로 振動하고 있는 振動體에 f의 周波數를 갖는 超音波가 θ의 角度로 入射될때, 도플러效果에 의해 反射波의 순시 周波數 f_0는

$$f_0 = f \cdot \frac{V - U(t)\cos\theta}{V + U(t)\cos\theta} \quad \cdots\cdots (1)$$

이 된다. 여기서 V는 媒質中(空氣)의 音波의 傳達速度이며 一般的으로 $V \gg U(t)$로 看做되어 近似的으로 다음과 같이 된다.

$$f_0 \fallingdotseq f \cdot (1 - \frac{2U(t)}{V} \cdot \cos\theta) \quad \cdots\cdots (2)$$

그림 1에서와 같이 送信振動子 T에서 振動體까지의 距離를 ℓ, 振動體로부터 反射波가 傳達되는 距離를 S라고 하면, 反射波 ϕ_r의 位相은 어떤 임의의 순간의 角周波數의 時間積分으로 表示할 수 있다. 送信振動子 T로부터

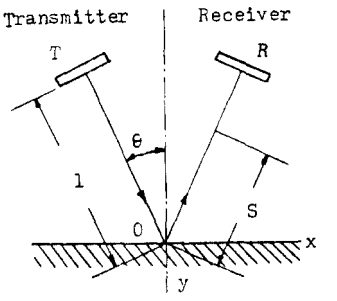


Fig. 1. Principle

發生되는 超音波를 $\exp(jw_0 t)$라 하면, 反射波 ϕ_r은,

$$\phi_r = \exp[jw_0\{(t - \frac{S}{V} - \frac{\ell}{V}) + \int^{t-\frac{\ell}{V}} \frac{2}{V} U(\lambda)\cdot\cos\theta\cdot d(\lambda)\}] \quad \cdots\cdots (3)$$

가 되며, 이것은 振動速度 U(t)에 依해 周波數 變調가 일어나는 形態가 된다.

나. FM 檢波 方式[9]

上記 式(3)의 反射波 ϕ_r을 FM 檢波하면, 다음式과 같이 振動速度 U(t)에 比例한 出力電壓 $e_0(t)$가 求해진다.

$$e_0(t) = K \cdot \frac{2w_0}{V} \cdot \cos\theta \cdot U(t - \frac{S}{V}) \quad \cdots\cdots (4)$$

여기서 K는 受信段의 리미터, 周波數辨別器, AF 增幅段 等에 依해 決定되는 常數이다. 振動體의 振動速度 U(t)가 $U(t) = U_0 \cos wit$의 正弦波라면 出力電壓 $e_o(t)$는 다음과 같이 表示된다.

$$e_0(t) = K \cdot \frac{2}{V} \cdot w_0 \cos\theta \cdot U_0 \cos w_1 (t - \frac{S}{V}) \quad \cdots\cdots (5)$$

但, 이 方法에서는 超音波가 다른 電氣的 및 音響經路를 通해 傳達(Carrier leak)되지 않는 條件이 必要하므로, 이에 따른 充分한 對策이 必要하다.

다. AM 檢波 方式

앞의 FM 方式은 FM 變調된 超音波가 受信用 振動子에 依해 Flat 하게 受信되는 것을 假定으로 한다. 이러한 條件은 周波數偏移가 작은 경우, 即 振動體의 振動진폭이 작은 경우에 滿足된다. 이로 因해 振動 檢出의 範圍가 制約이 되는 것이다.

그림 2의 A에서와 같이 U(t)가 작은경우에는 受信振動子의 最大共振點을 中心으로 한 周波數偏移가 작아 出力電壓의 利得(Gain)의 變化가 어느 程度 작다. 그러나 U(t)가 큰 경우 그림 2의 B와 같이 出力電壓의 利得이 U(t)에 依해 變化하게 된다. 即 式 (5)에서의 K값이 U(t)에 따라 變化하게 되는 것이다.

$$e_0(t) = \dot{K}\ \frac{2}{V}\ w_0 \cos\theta \cdot U_0 \cos w_1\left(t - \frac{S}{V}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (6)$$

$$(\dot{K} = f(\dot{w}))$$

本 研究는 이러한 경우의 出力 信號를 AM 檢波하여 比較하였다.

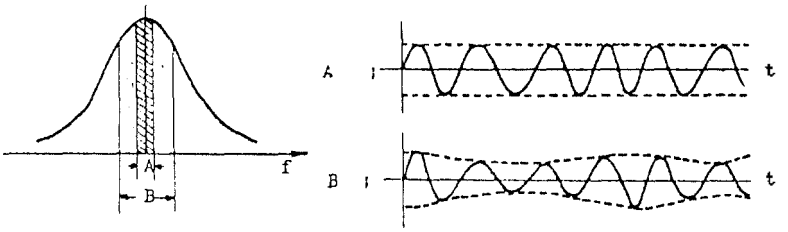


Fig. 2. Output waveform by△f

라. 컴퓨터 시뮬레이션

OSM미니 컴퓨터를 利用하여 주파수 편이를 理論的으로 檢討하였다. 直徑 8 mm, 周波數 40KHz 인 送·受信 振動子와 振動體間의 入·反射角이 0도 이고, 振動體의 振幅이 1mm~5mm 까지 1mm 간격의 變化에 따른 振動周波數를 30Hz~3.840KHz 까지 變化시킬 때 各各의 反射周波數 偏移를 求했다.

3. 實驗과 測定裝置

實驗에 使用한 送·受信振動子는 티탄산 세라믹을 使用한 것으로 f_0= 40KHz ± 1KHz, 感度 -65dB/μBar 以上, 帶域幅 -73 dB/v μBar (40±4KHz), 指向性 -7.5dB 以內(左右 30도의 方向에서의 感度 低下)이고, 電氣的, 音響的으로 充分히 차폐시켜 캐리어 리크의 影響을 排除시켰다. 또한 振動體는10 인치 스피커(woofer)의 Edge 內部를 0.3 mm 두께의 Al 板으로 막아 平面振動體로 看做하였다. 全體 實驗裝置의 블럭 다이아그램은 그림 3과 같다. 送信振動子 T에서 放射되어 振動體에서 도플러效果에 依해 周波數偏移된 反射波는 受信振動子 R에서 수신 한후 增幅되고, AM 變調시켜, 19KHz L.P.F를 通해 振動速度에 比例한 出力電壓을 얻을 수 있

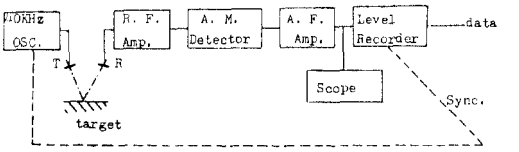


Fig. 3. Block diagram of the system

도록 하였다.

이때 振動體와 送·受信振動子 사이의 入射角과 反射角을 일정하게 유지하고(10cm 거리에서 15도), 距離變化(5cm~50cm)에 따라, 또한 振動體의 入力을 5V, 10V, 15V로

變化시켜 各各의 Data를 求했다. 實驗에 使用된 振動體의 周波數特性(무향실內)과 임의의 周波數에 대한 觀測波形과 出力의 周波數特性은 다음과 같다.

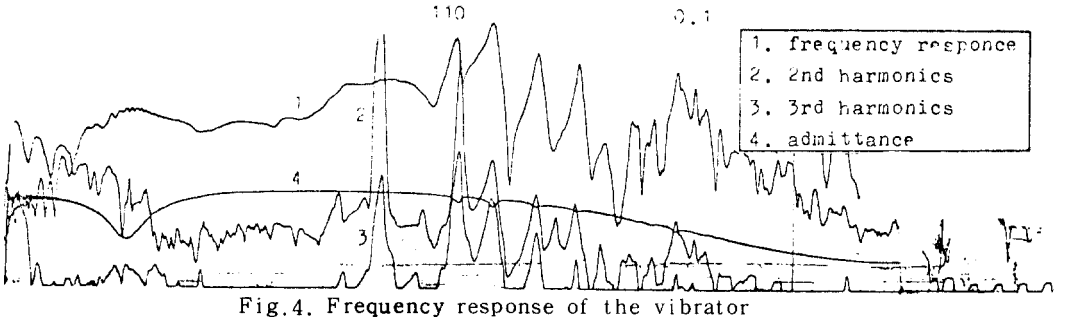
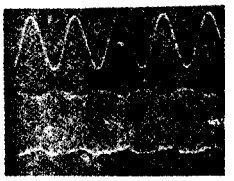
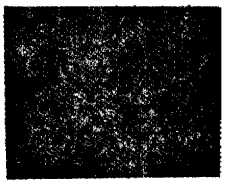


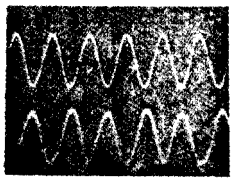
Fig.4. Frequency response of the vibrator



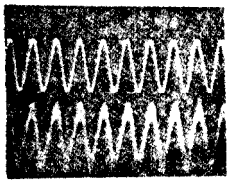
1. AM signal



2. 30 Hz



3. 500 Hz



4. 2 KHz

upper ; Vibrator input signal
lower ; Detected waveform

Fig. 6. Detected output waveform

4. 結果의 考察

앞의 데이타를 보면 振動源이 30Hz 및 2倍周波數에서 共振을 일으키는 것을 알 수 있고 實際의 振動에서 생기는 高調波와의 合으로서 檢出이 된 것을 알 수 있다. 또한 振動의 周波數는 같아도 振動面이 불균일 하기 때문에 역시 距離에 따라서 出力이 變하고 있다. 그 원인은 기하변화에 따른, 법도의 입사각과 반사각의 조절이 없는데 있는 것으로 본다.

實際로 低周波數에서의 振動體의 振幅은 1mm～5mm 에 達했으며, 約 20Hz～1000Hz 까지의 振動을 充分히 探知할 수 있고, 測定은 5cm～20cm 에서 가장 確實한 데이타

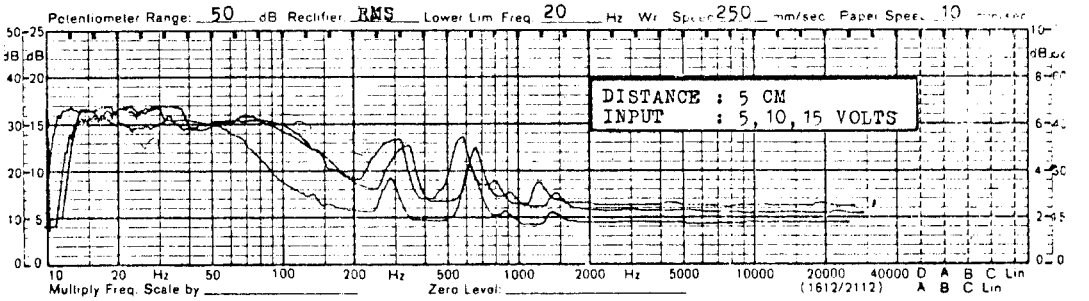


Fig. 7. The relation between varing distance and vibration of output voltage in case of 10 in. ϕ speaker.

를 求할 수 있었다. 컴퓨터 시뮬레이션의 結果도 振幅 5mm에서 振動周波數가 960Hz일때 反射周波數 偏移는 7112.8Hz로 나타났다.

또한 本 實驗에서 角度의 變化에 따른 實驗은 實驗裝置上의 問題로 困難했으나, Beam幅이 30도 이내에서는 測定에 別다른 問題가 없을 것으로 생각한다.

V. 結 論

超音波를 利用한 振動의 檢出은 小型·輕量化될 수 있으며, 特히 被測定體와의 振動要素에 影響을 주지 않고, 振動體와 送·受信振動子와의 距離를 正確히 맞추지 않아도 5cm ~ 20cm 範圍內에서 振動體의 振幅이 1mm ~ 5mm에서, 振動周波數가 20Hz ~ 1KHz까지 檢出이 可能한 것을 實驗에 依해 알 수 있었다. 또한 振動體와 放射音壓의 影響은 振動面이 작거나, 振動周波數가 높은 경우, 큰 오차를 주므로, 이를 줄이기 위해서는 超音波의 傳達距離를 짧게 할 必要가 있음을 알 수 있었다.

한편, FM 方式과 AM 方式의 혼용으로 더욱 正確한 檢出이 可能할 것으로 생각된다.

끝으로 보다 確實한 檢出을 위한 方法으로 超音波의 Beam 幅을 줄이기 위해 Focusing Lens를 使用하든가, C.W를 使用치 않고 Pulse 波에 依한 Duty 比의 分析에 따른 方法을 생각할 수 있으며, 또한 振動體가 傾斜等의 變位分布를 갖는 경우를 檢討·補完해야 할 것이다.

이와같은 問題點 및 補完點이 해결되면 超音波를 利用한 振動測定은 다른 어느 方法보다도 正確하고 經濟的인 方法이 될 것으로 展望된다.

참 고 문 헌

1. 車 日煥, "音響 工學 槪論" 韓信文化社, 1976, 서울, pp. 228-238.
2. Robert J. Urick, "Principle of Underwater Sound," Mc Graw Hill,
3. A. Von Hjppel, R.G. Breckenrige, F.G. Chesley and L.L. Tisza Ind Eng. Chem. 38, pp. 1097.
4. B. Jaffe, J. Appl, phys. 25, p. 809.
5. P.J. and Pierre Curie, "Comp tes Rendus Hebdomadaires Seance de I'Acadenie des Sciences", Pairs91. R. 294.
6. 日本 學術振興會, "超音波 探傷法", 日刊工業新聞社, 1978, Japan, pp. 20-21, 108.
7. 森崎和裕, "Ultrasonic Doppler-Type Vehicle Detector", National Tec nical Report, Vol. 26, No. 1, Fed. 1980, Japan.
8. Yasuki Nakayama 外, "Laser Doppler Velocimeter", LDV Research Group, Vol. 1, 1974, Japan.
9. 清水, 龍圖, 上杉, "超音波의 效果 用 振動測定法", 東化大學電通談話會記錄, 第37卷, 第4號, Feb. 1969, 第38卷, 第4號, Dec. 1969, Japan.
10. G.L. Gooberman, "ULTRASONICS", 1968, New York.
11. L.E. Kinsler & Austin R. Frey, "Fundamentals of Acoustics (Second Edition), 1962, Jahn Wiley & Sons.
12. Philip, M. Morse, "Theoretical Acoustics", Mc Graw Hill, 1968.
13. 實吉純一, "超音波 技術 便覽," 日刊工業, 1978, 東京.
14. 島川正憲, "超音波 工學" 工業調査會, 1975, 東京.
15. 藤森聡雄, " 超音波의 應用" 産業出版, 1980. 東京.
16. 川村雅恭, "電氣 音響 工學 槪論" 昭堂, 1973, Japan.
17. 菊池喜充, "Ultrasonic Transducers" Corona 社, 1969, Tokyo, Japan.