

순시 인텐시티 측정 기법의 개발 및 응용

이장우*(LG 전자), 김영종(LG 전자), 안병하(LG 전자), 이운섭(LG 전자)

Development and Application of Measuring Method for Instantaneous Intensity

J.W. Lee*(LG Electronics), Y.J. Kim(LG Electronics), B.H.Ahn(LG Electronics), Y.S.Lee(LG Electronics)

ABSTRACT

Sound intensity method is well known as a visualization technique of sound field and sound propagation in noise control. Sound intensity is a vector quantity that describes the magnitude and the direction of net flow of acoustic energy at a given position. The current measuring method is expensive and difficult to identify the noise source exactly. In this paper, we have studied the noise source identification and the characteristics of noise source of rotary compressor for air conditioner using complex sound intensity method. The new method for instantaneous sound intensity is also proposed and it is useful for transient state and steady state. The criteria of these states select auto correlation coefficient. The advantage, simplicity and economic attribution of this method are verified by analyzing the characteristics of noise source with instantaneous sound intensity compared to mean sound intensity.

Key Words : Instantaneous intensity(순시인텐시티), Auto correlation(자기상관계수), Mean intensity(평균인텐시티), Noise identification (소음원 규명), Rotary Compressor(로타리식 압축기)

1. 서론

일반적으로 음장의 가시화를 위한 방법으로는 실험적인 방법과 수치 해석적인 방법으로 나눌 수 있다. 먼저 실험적으로 음장을 가시화 하는 방법에는 laser 를 이용한 가시화 기법이 있고, 음의 지향성을 고려한 음장 특성 해석이 있을 수 있고, 다수개의 쌍으로 된 마이크로폰을 이용한 다차원 Sound intensity 기법이 있다. Laser 를 이용하는 경우에는 Laser 발생 장치와 현재까지 개발되어 있는 가시화 기법상 CCD 카메라의 능력에 제약을 받는 점이 있고, 비교적 작은 면적의 경우에는 좋은 결과를 얻을 수 있지만, 대상물이 둥글고 비교적 큰 표면적을 가지는 경우에는 적합하지 않다. 또 음의 지향성을 고려한 음장 특성 해석의 경우에는 간단한 실험 장치로서 분석이 가능하지만, 음원이 점음원(Point source)인 경우에는 좋은 해석 수단이 되지만 3 차원적으로 입체적인 물체에는 적합하지 않다. 그러나 Sound intensity 의 경우에는 측정하고자 하는 면의 크기나 공간에 관계없이 측정이 가능하지만, 반대로 음원이 안정적(stationary)인 경우에는 손쉽게

좋은 결과를 얻지만, 과도적(transient)인 경우에는 측정하기가 어렵고, 측정 장치가 복잡하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해, 본 논문에서는 로타리 압축기를 대상으로 평균 인텐시티와 순시 인텐시티를 각각 측정하여 비교하고, 음원이 안정적인 상태와 과도적인 상태를 시간에 따른 자기 상관 계수를 도입하여 분류하고, 로타리 압축기와 같은 음원이 과도 상태에서는 평균 인텐시티보다 순시 인텐시티를 이용하는 것이 정도 높게 소음원을 규명하는데 유리하다는 것과 그때의 순시 인텐시티의 측정 기법에 대해서 논하고자 한다.

2. 본론

2.1 순시 측정의 필요성

음원이 어느 부분에서 발생하여 어떠한 경로를 통하여 전달되는가 등을 그 음장 특성과 관련하여 분석을 해야 원인에 대한 적절한 대책을 세울 수 있다. 따라서 로타리 압축기에서 가장 필요한 소음원 해석 기술은 셸(shell)에서 발생하여 나오는 소음을 어떻게 분석하고, 또한 그 특성을 파악하기 위

한 데이터의 취득 방법과 압축기에서 발생하는 음장을 어떠한 방법으로 분석하는가가 문제로 된다.

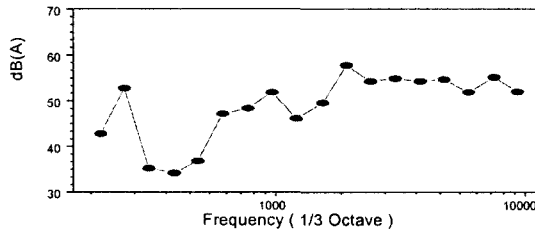


Fig. 1 Result of mean noise spectrum (time-averaging)

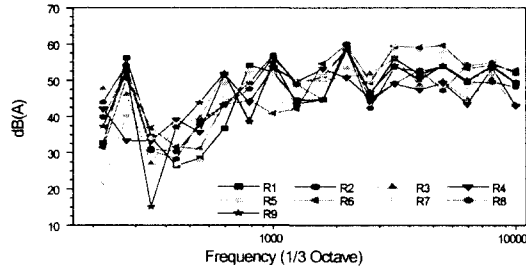


Fig. 2 Result of instantaneous noise spectrum (1 cycle)

Fig. 1 은 로타리 압축기의 전형적인 소음스펙트럼을 나타내고 있고, 4 초 동안의 시간 평균된 값이다. Fig. 2 는 동일한 로타리 압축기가 1 회전했을 때(1.66msec), 0.18msec 간격으로 측정된 소음 스펙트럼을 나타낸다. 압축기가 1 회전했을 때, 어떤 주파수에서는 소음 레벨이 약 20 dB 정도 변동하는 것을 알 수 있다. 이러한 사실로부터 시간 평균한 결과를 이용하여 압축기의 소음원을 추정하는데 이용한다면 실제 정확한 소음원을 추정할 수 없다는 것을 알 수 있다. 왜냐하면 시간평균을 하게 되면 시간의 변동과 함께 나타나는 많은 정보들을 놓칠 수 있기 때문이다. 압축기와 같이 회전하는 대상물의 소음원을 정도 높게 규명하기 위해서는 시간 평균에 의한 측정 결과보다는 시간 변화에 따른 측정 결과를 이용하여야 한다는 사실을 알 수 있다.

2.2 순시 Sound intensity 의 원리

음파의 에너지적인 의미에서 나타내는 음의 강도를 Sound Intensity 라고 하며, 이 Sound intensity 는 어느 한 점에서 그때의 단위 면적을 통과하는 에너지를 나타내고, 크기와 방향을 모두 가지는 벡터량이다. 이렇게 음향 계측법으로 Sound intensity 를 측정한다는 것은 음의 단위 면적당 강도를 알 수 있을 뿐만 아니라, 그 방향까지 분석할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 소음원의 위치를 찾아내는 데에

도 매우 유용하다.

평면 음장에서의 지배방정식인 파동 방정식으로 부터 평면 공간상의 어떤 한점에 있어서 음압과 음속의 해는 식(1)과 식(2)와 같다. 여기서 f 와 g 는 어떤 경계 조건에 따라서 공간적인 혹은 순시적인 조건에 따라서 좌우되는 함수이며, 어떤 점에서의 음은 방향성을 경계 조건에 따라서 달라진다. 즉 f 는 진행파를 g 는 후퇴파를 나타내게 된다.

$$P(x, t) = f(ct - x) + g(ct + x) \quad (1)$$

$$u(x, t) = \frac{1}{\rho_0 \cdot c} \{f(ct - x) - g(ct + x)\} \quad (2)$$

$$\vec{I}(t) = p(t) \cdot \vec{u}(t) \quad (3)$$

여기서 ρ_0 매질의 밀도이고, c 는 매질에서의 속도이다. 식(1)과 식(2)를 만족하는 음장에 있어서, 순시 sound intensity 의 정의는 식(3)과 같이 음장 내에 존재하는 어떤 점에서의 순시 입자 속도와 순시 음압의 곱으로 정의되어지는 벡터량이다.

식(3)에서 공기의 고유 음향 저항치를 이용하여 음압과 입자 속도의 관계를 유도할 수 있고, 어떤 주어진 점에서 $I(t)$ 의 크기와 방향은 시간에 따라 변화한다는 사실이다. Sound intensity 를 측정하는 방법에는 직접법과 간접법이 있는데, 여기에서는 cross spectrum 법을 이용한 간접법으로 측정하였다.

2.3 Auto Correlation 의 측정

지금까지 어떤 음원을 측정하여 안정적인 상태와 과도적인 상태의 신호라고 나눌 수 있는 판단 기준이 없었지만, 본 논문에서는 Fahy 가 제안한 Auto correlation (자기상관) 계수를 이용하여 나누었다. 시간에 따른 자기 상관 계수가 0.8 이상일 때는 그 신호는 안정적이라고 판단하고, 그 이하일 때는 과도적인 상태의 신호라고 판단하는 것으로 하였다.

대상으로 하는 로타리 압축기의 자기 상관 계수를 측정하기 위해서 Fig. 3 과 같은 실험 장치를 구성하여 자기 상관 함수를 측정하였다. 압축기에서 발생하는 소음을 마이크로폰을 이용하여 센싱한 후 증폭기를 통과한 신호를 1/3 Octave band pass filter 로 입력시킨 다음 신호 분석기(FFT)로 보내어 각각의 주파수 대역별로 그때의 자기 상관 계수를 측정하였다. 이렇게 측정된 값들을 Fig. 4 에 정리하여 나타냈다. 가로축은 1/3 Octave band 주파수이고, 세로축은 시간을 나타내고 있고, 플로트된 점들은 각 주파수 대역에 따른 자기 상관 계수가 0.8 이상일 때의 시간을 나타내고 있다.

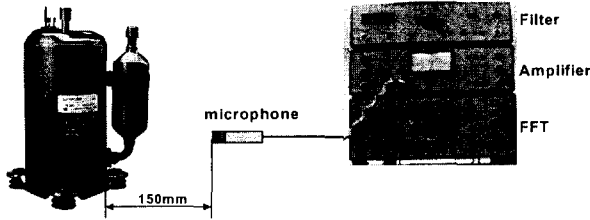


Fig. 3 Schematic of Auto correlation measurement

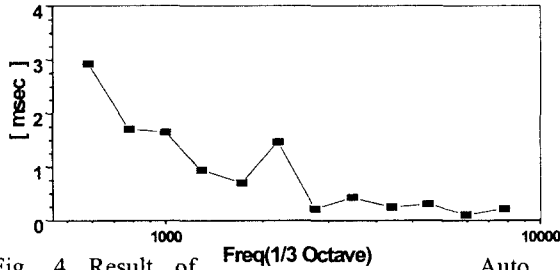


Fig. 4 Result of Auto correlation according to 1/3 Octave band frequency

그림에서도 알 수 있듯이 로타리 압축기의 1 회전 하는데 걸리는 시간은 약 1.67 msec 정도로서 이 값 보다 작은 고주파 대역에서는 저주파 대역의 주파수보다 신호가 안정적이지 못하고 과도적이라는 사실을 알 수 있다. 로타리 압축기와 같은 대상에서는 고주파 대역의 소음이 지배적이기 때문에 시간 평균한 소음값보다는 순시적인 소음값을 이용해야만 소음원의 정확한 규명이 가능하다는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 로타리 압축기와 같은 과도한 상태에 있는 대상물에서는 시간 평균한 값을 이용하게 된다면 시간 변화에 따른 유용한 정보가 유실 될 수 있으므로, 순시적인 소음값이 필요하게 됨을 알 수 있다.

2.4 순시 인텐시티의 측정

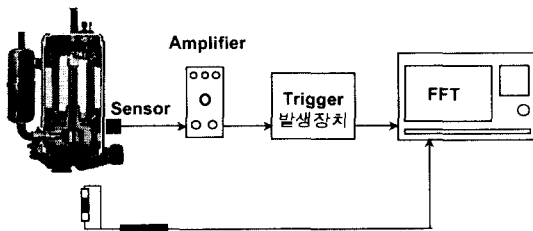


Fig. 5 Schematic of trigger generator and Experimental equipment

순시 인텐시티를 측정하기 위한 장치를 Fig. 5 에 나타냈다. 로타리 압축기의 1 회전 신호를 취득하기 위해서 로타리 압축기의 토출 포트 근처에 진동 센서를 부착하고, 이 신호를 이용하여 자체 제작한 트리거 장치의 입력단에 접속시킨 다음, 트리거 장치의 입력값이 어느 레벨 이상일 때 트리거 신호를 출력시키도록 하였다. 출력된 트리거는 인텐시티 측정 장치가 내장되어 있는 계측기의 트리거 입력단에 접속되어 정해진 시간 간격을 기준으로 인텐시티값을 나타내 준다.

3. 실험 결과

Fig. 6 은 800 Hz 대역의 시간 평균된 인텐시티 결과를 나타내고 있고, 소음원이 로타리 압축기의 아래쪽 내부 공간이 가진원임을 알 수 있다. 그렇지만, Fig.7 에서 알 수 있듯이 순시 인텐시티를 측정해 보았을 때는 그 가진원이 어디인지를 알 수 없을 정도로 방사 형태가 다양하다는 것을 알 수 있다. 이는 이 대역의 주파수는 근접장의 영향으로 변동 심하게 나타나는 것이라고 생각할 수 있다.

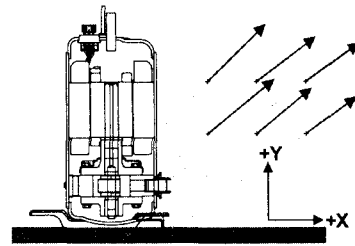


Fig. 6 Result of mean SI (800 Hz)

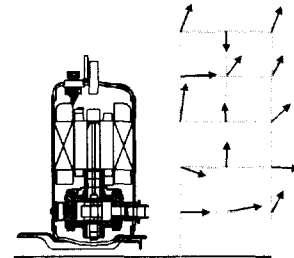


Fig. 7 Result of instantaneous SI (800 Hz)

Fig.8 은 4000 Hz 대역의 시간 평균된 인텐시티를 나타내고 있고, 소음원은 압축기 하부의 저면이 그 가진원이고, 내부에 장착되어 있는 압축부로부터 전달되어 온 고체음이라고 생각할 수 있다. 이렇듯 로타리 압축기에서는 주된 소음원은 고주파 대역의 고체음임을 알 수 있었다. 그렇지만, Fig.9 에서 알 수 있듯이 순시 인텐시티로 측정한 결과, 압축기

상부에서 방사형태는 일치하지 않지만, 하부에서 방사 형태는 평균 인텐시티와 같은 방향을 나타내고 있고, 그 크기도 상부보다는 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 다른 방향에서는 압축기의 상부와 내부에 장착된 모터의 모서리 부분에서 기인함을 알 수 있다.

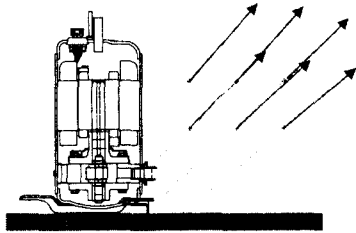


Fig. 8 Result of mean SI (4000 Hz)

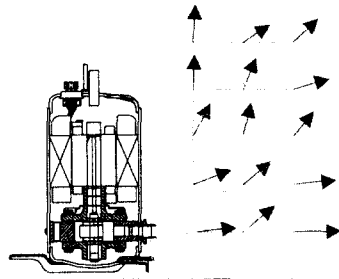


Fig. 9 Result of instantaneous SI (4000 Hz)

이상과 같은 결과로부터, 로타리 압축기의 주요 소음원은 시간 평균 인텐시티를 측정했을 때와 순시 인텐시티를 측정했을 때의 결과는 유사하게 나타남을 알 수 있었다.

4. 결론

순시 인텐시티를 이용함으로써 좀 더 정도 있는 로타리 압축기의 소음원 규명이 가능하였고, 그 소음원들은 대부분 고주파 대역의 고체음에 기인한다는 것을 알 수 있었다.

로타리 압축기처럼 주기적인 신호를 발생하는 경우는 토출 시점에서 탁월하고, 또한 시간 평균된 소음도 약 4000Hz 의 탁월 주파수에 의존하므로, 평균 인텐시티와 순시 인텐시티의 결과는 잘 일치함을 알 수 있었다. 그렇지만 순시 인텐시티를 사용하면 좀 더 정확한 소음원 해결 대책을 수립할 수 있다. 기본적으로 시간에 따라 변하는 소음원에 대해서는 순시 인텐시티를 이용하여야 하지만 주기적으로 짧은 시간에 변화하는 경우는 음장의 Auto Correlation 의 값이 0.8 보다 큰지 작은지 판단하여

순시 인텐시티를 사용할지를 결정하여야 한다.

참고문헌

1. K.Sano,K.Mitsui, "Analysis of Hermetic Rolling Piston type Compressor Noise and Counter Measurement", Int..Conf. at Purdue, pp.242~250, 1986
2. K.Sato,H.Iwata, " Prediction of Noise from a Scroll Compressor", Int. Conf. At Purdue, pp. 977~986, 1988
3. Kiyoshi Sano,Kawahara,Ishii, " Experimental Study for Noise and Vibration in Hermetic type Compressor" Trans. Of the JSRAE, Vol. 14, No. 3, pp. 233~243, 1997.
4. J.Tichy, "Use of Complex Intensity for Sound Radiation and Sound Field Studies", JASA, Vol. 82, No.1, pp. 994~1001, 1997.
5. Hidaka, Tachibana,Yano, "복소음향 인텐시티에 따른 음장해석", JASA, Vol. 42, No. 12,1988
6. K.Sato,H.Iwata, "Prediction of Noise from a Scroll Compressor", Int. Conf. At Purdue, pp. 977~986, 1988
7. F.J.Fahy, " Sound Intensity", E&FN SPON
8. 안병하, "2Dimensional Complex Sound Intensity 를 이용한 소음원 규명에 관한 연구", 한국 동력 기계공학회지.