

# STFT 를 이용한 로터리 압축기 크랭크 1 회전 동안의 실시간 진동소음의 가시화

## The Visualization of Vibration and Noise of The Rotary Compressor during One Cycle of Crank Shaft by use of Short Time Fourier Transform

안세진\* · 정의봉\*\* · 박진형\* · 황선웅\*\*\*

Se Jin Ahn, Weui Bong Jeong, Jean-Hyung Park and Seon-Woong Hwang

Key Words : Short Time Fourier Transform(단시간 푸리에 변환), Visualization(가시화), Rotary Compressor(로터리 압축기), Vibration and Noise(진동, 소음)

### ABSTRACT

There have been many studies to visualize the vibration and noise of rotary compressor. Most of these studies assumed that the signal is stationary and the time-averaged signal is used for visualization. However, the noise and vibration signals generated during one cycle of crank shaft vary continuously. In this paper, the noise and vibration of rotary compressor which vary continuously are visualized by short time fourier transform method. The location of source and the transfer path of vibration and noise at arbitrary frequencies, which can not be visualized by averaged signal, can be visualized clearly.

### 1. 서론

에어컨에서 냉매를 압축하기 위해 주로 사용되는 롤링 피스톤 형 로터리 압축기의 소음과 진동을 저감하기 위한 노력은 오랫동안 계속되어 왔다. 압축기 운동 기구부들의 질량 불균형 등에 의해 모터의 회전 속도와 동일한 주파수의 진동이 발생한다. 이러한 진동은 압축기의 운동부들을 수학적 모델링하여 시뮬레이션 함으로써 비교적 정확한 원인과 저감 방법을 찾을 수 있다.<sup>(1,2)</sup> 하지만 비교적 높은 주파수를 가지는 소음의 경우는 시뮬레이션에 의한 방법은 해석 결과의 정확도에서 한계를 가지기 때문에 시험에 의한 방법에 의존하여 분석해 왔다. 본 연구에서는 운전 중인 압축기에서 발생하는 소음진동 신호를 동시에 측정하고, Short Time Fourier Transform(STFT)의 방법을 이용하여 Time-Frequency 해석하고, 고주파 소음 신호가 발생하는 순간과 크랭크 샤프트 회전각의 관계를 도출하였다. 그리고 크랭크 샤프트 1 회전동안 특정한 주파수의 소음진동 신호가 발생하는 순간부터 압축기 표면으로 방사되는 과정을 가시화하는 방법을 개발하였다. 즉 운전 주파수가 60Hz 인 압축기의 경우 1/60sec 동안에 고주파 소음진동 신호가 발생하는 위치와 전파되

는 경로 등을 가시화 함으로써 압축기에서 발생하는 고주파 소음의 원인을 분석하기 위한 중요한 자료로 활용할 수 있게 한다.

### 2. 신호 분석

#### 2.1 신호의 특성 및 STFT

Fig. 1 에서 점선은 로터리 압축기의 vane 위치에서 측정한 반경 방향 가속도 신호이다. 그리고 굵은 실선은 점선의 가속도 신호를 Discrete Fourier Transform (DFT)한 후에 운전 주파수 이상의 고주파 부분을 제거하고, 다시 Inverse Discrete Fourier Transform (IDFT)한 필터링된 시간 신호를 나타낸 것이다. 높은 크기를 가지는 고주파 진동이 운전 주파수(60Hz)의 주기와 함께 같은 위상에서 반복적으로 발생함을 알 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 1 과 같은 진동 신호로부터 고주파 신호가 발생하는 순간과 정확한 주파수를 분석하기 위해 STFT 방법을 이용한다.

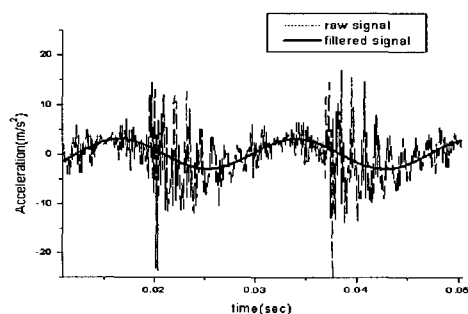


Fig. 1. A raw signal and its filtered signal

\* 부산대학교 대학원 기계설계공학과  
\*\* 정희원, 부산대학교 기계공학부  
\*\*\* LG 전자 에어컨 컴퍼러서 Div.

STFT 하기 위해 사용된 식은 다음과 같다.

$$STFT(\tau, f) = \int_{t_1}^{t_2} [x(t) \cdot w(t-\tau) \cdot \exp(-j2\pi ft)] dt \quad (1)$$

여기서,  $x(t)$  : time signal

$w(t)$  : window function

고주파 소음이 발생하는 순간과 압축기의 크랭크 샤프트 회전각의 관계는 압축기 내부의 기구부들을 수학적으로 모델링하여 구한 진동신호와 실제 시험으로 측정하여 필터링한 신호의 위상을 비교하여 결정한다. 여기서 크랭크 샤프트의 회전각이 0° 라는 것은 Fig. 2 에서 피스톤이 vane 과 접하는 순간에 위치 한 각도를 의미한다. Fig. 3 은 vane 위치에서 측정 한 가속도 신호인 Fig. 1 의 점선을 STFT 하여 크랭크 샤프트 회전각도 변화에 따라 나타낸 것이고, Fig. 4 는 같은 위치에서 반경 방향으로 5cm 떨어진 위치에서 측정 한 음압 신호를 STFT 하여 나타낸 것이다. Fig. 3 과 Fig. 4 로부터 압축기 셸 표면에서 발생하는 반경 방향의 고주파 진동 신호의 패턴과 음압 신호의 패턴이 유사함을 알 수 있다. Fig. 5 는 크랭크샤프트 회전 각도에 따른 실린더 내부의 압축실 압력 변화를 나타낸 것이다. Fig. 5 로부터 크랭크샤프트의 회전 각도가 약 215° 일 때 토출 밸브가 열리고 냉매가 토출되기 시작하는 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 3 과 Fig. 4 그리고 Fig. 5 를 비교하여 관찰하면 800Hz 와 4kHz 의 비교적 큰 진동과 소음 신호는 냉매가 토출되는 시점에서부터 토출 밸브가 닫히기 직전까지 발생하고, 운전 주파수와 일치하는 주기를 가지고 반복적으로 발생하는 것을 알 수 있다.

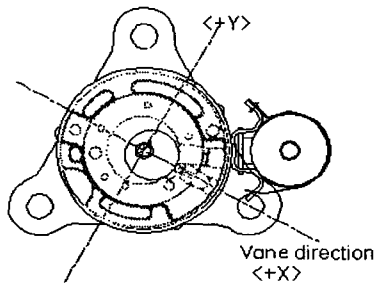


Fig. 2. Position of piston and reference angle

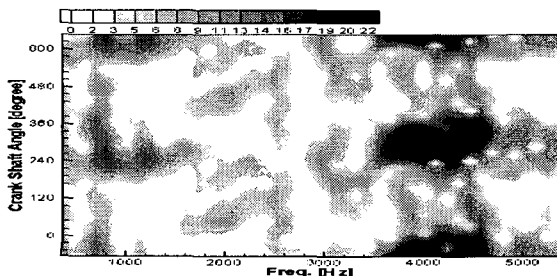


Fig. 3. Map of STFT for signal given in Fig. 1

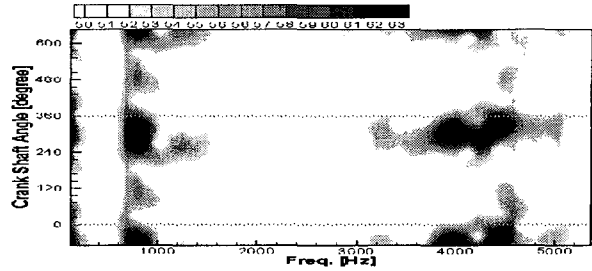


Fig. 4. Map of STFT for signal given in Fig. 1

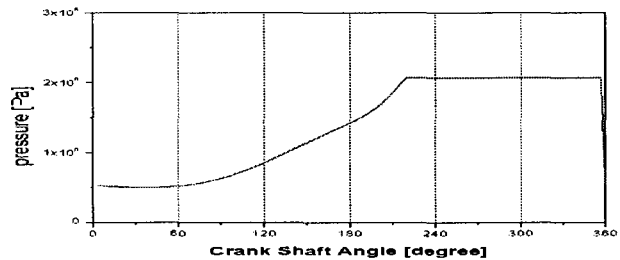


Fig. 5. Relation between crank shaft angle and pressure in compression part

## 2.2 크랭크 샤프트의 각도에 따른 진동 소음 신호의 가시화

로타리 압축기에서 고주파 소음이 크게 발생하는 위치를 기준으로 압축기 셸 표면의 가속도 신호와 반경 방향으로 5cm 떨어진 위치에서 음압 신호를 여러 점에서 측정한다. 측정된 신호들을 STFT한 후 크랭크 샤프트 회전 각도 별로 관심 주파수에서의 크기 값을 추출하고, 측정점들 상에 그 값을 나타내면 그 주파수에 해당하는 소음진동신호의 발생과 전파되는 과정을 가시화 할 수 있다.

## 3. 시험 및 분석

### 3.1 시험대상 및 시험 장치 구성

본 연구의 시험대상은 지름 118mm, 높이 279mm의 크기의 롤링 피스톤 형 압축기 QK 모델이다. 머플러 유무에 따른 진동소음 신호의 특성 변화를 비교하기 위해 머플러가 장착된 압축기(P1모델)와 머플러가 장착되지 않은 압축기(P2모델)로 구분하여 시험을 실시 한다.

Fig. 6은 본 시험을 하기 위한 장비의 구성도를 나타낸다. 4점의 가속도와 4점의 소음 신호를 동시에 측정 한 후 위치를 이동하여 같은 방법으로 측정을 실시한다. 단 크랭크 샤프트의 회전 각도의 기준을 위해 고정된 1점의 가속도 신호를 추가로 측정한다. Fig. 7은 측정 점을 원주 방향으로 17점을 등간격으로 나눈 것을 나타내고, Fig. 8은 측정점 높이에 따라 2cm 간격으로 6층으로 나눈 것을 나타낸다. 따라서 가속도와 음압의 측정점 수는 각각 102점이 된다.

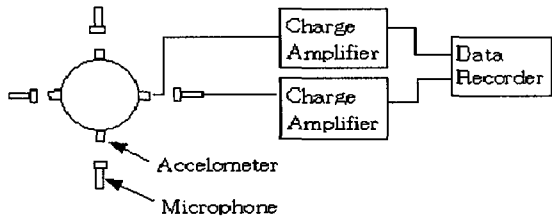


Fig. 6. The experimental set up

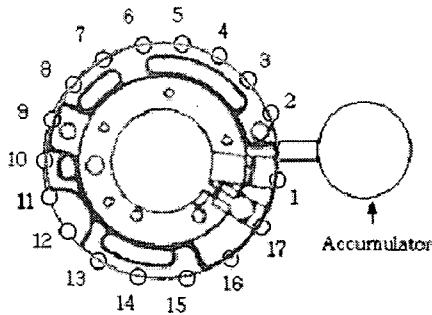


Fig. 7. The positions of measurement point

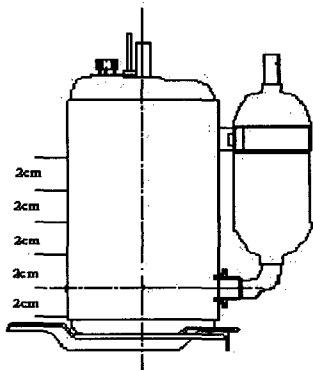


Fig. 8. The height of measurement point

### 3.2 실험 결과 및 분석

#### 3.2.1 진동과 소음 신호의 STFT

Fig. 9 는 머플러가 없는 압축기 P1 모델에서 밸브 위치의 높이 즉 Fig. 8의 3층 높이에서 측정된 17점의 가속도 신호를 STFT 하고 Velocity로 변환한 것을 원주 방향으로 약 90도 간격으로 있는 4점(1, 5, 10, 14번)에 대하여 나타낸 것이다. 같은 위치에서 반경 방향으로 5cm 떨어진 위치에서의 음압 신호를 STFT 한 것은 Fig. 11에 나타낸다.

Fig. 9, Fig. 11로부터 압축기에서 발생하는 소음 신호는 압축기 쉘의 반경 방향 진동 신호와 유사한 주파수 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 800Hz 진동 신호의 경우는 1번(vane 근처)과 5번, 그리고 10번 점에서 크랭크 샤프트의 각이 240°

근처일 때 크게 발생함을 알 수 있다.

Fig. 11에서 800Hz 음압 신호의 경우에도 진동 신호와 유사한 특성을 가짐을 알 수 있다.

Fig. 9에서 4kHz 진동 신호의 경우는 크랭크 샤프트의 각이 240° 근처일 때 10번 점 근처에서만 크게 나타나고 나머지 점들에 대해서는 상대적으로 작은 것을 알 수 있고, Fig. 11에서 같은 주파수의 음압 신호도 이와 유사한 특성을 가짐을 알 수 있다.

Fig. 10과 Fig. 12는 머플러가 장착된 압축기 P2 모델에 대한 10번 점에서의 진동신호와 음압 신호를 STFT 한 것이다. Fig. 10과 Fig. 9(c) 그리고 Fig. 12와 Fig. 11(c)를 비교하여 보면 800Hz 소음이 머플러에 의해 효과적으로 제거되었음을 확인할 수 있다. 하지만 머플러의 유무에 상관없이 4kHz 소음은 여전히 크게 나타나는 것도 관찰할 수 있다. 10번점 외의 대부분의 측정점에서도 비슷한 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있으나 지면 관계상 생략한다.

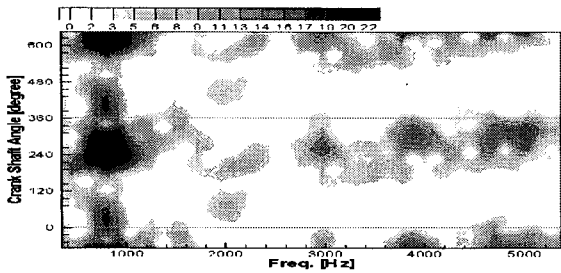
#### 3.2.2 진동 소음의 가시화

Fig. 7과 Fig. 8에서 소개한 바와 같이 격자모양의 모든 점들에서 측정된 신호에 대하여 STFT 하고, 관심 주파수에 해당하는 크기 값들을 추출하여 도시화하고, 크랭크 샤프트 회전각도에 따라 5단계로 나누어 나타낸 것이 Fig. 13과 Fig. 14이다.

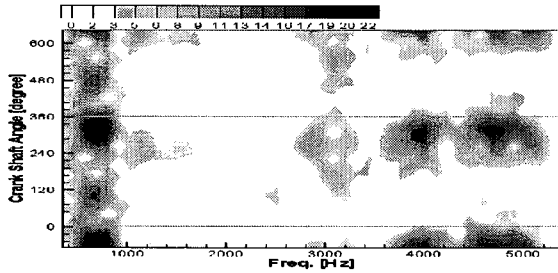
800Hz에 대하여 나타낸 Fig. 13을 보면 밸브가 열리기 시작하는 때(크랭크 샤프트가 약 215°)에 실린더 아래 부분에서 발생하여 실린더 위쪽으로 전파되고 밸브가 닫히는 시점에서 진동이 소멸하는 것을 확인할 수 있다. 또 800Hz의 진동이 발생하는 위치는 Fig. 7에서 보듯이 베인 근처인 17번 점과 그 반대쪽인 9번 점 근처가 되고, 실린더 아래 부분의 공간에서 발생하여 윗 부분으로 확산되는 것을 알 수 있다. 그리고 4kHz 신호에 대한 Fig. 14를 보면 밸브가 열리는 시점에서 밸브가 닫히는 시점까지 진동이 발생하는 것은 800Hz의 경우와 유사하지만 vane의 반대쪽 위치인 9번 점 근처에서만 진동이 크게 발생한다는 점과 실린더 윗부분에서만 진동이 발생한다는 점이 800Hz의 경우와 다르다는 것을 알 수 있다.

소음 신호의 경우도 진동 신호의 경우와 유사함을 확인할 수 있으나 지면 관계상 생략한다.

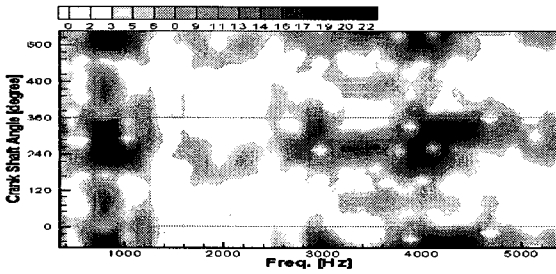
앞에서 소개한 도시화된 진동과 소음신호를 크랭크샤프트의 회전각도를 좀 더 작게 증가하면서 애니메이션하면 더 자세하게 소음진동 신호의 발생과 전파과정을 가시화하여 관찰할 수 있다.



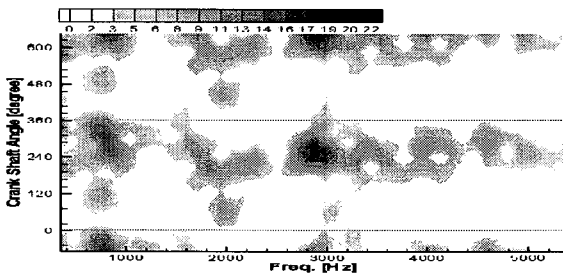
(a) point 1



(b) point 5



(c) point 10



(d) point 14

Fig. 9. The velocity of compressor model P1

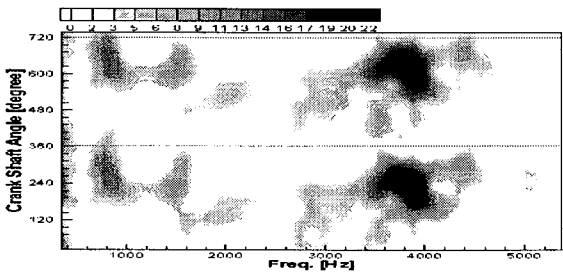
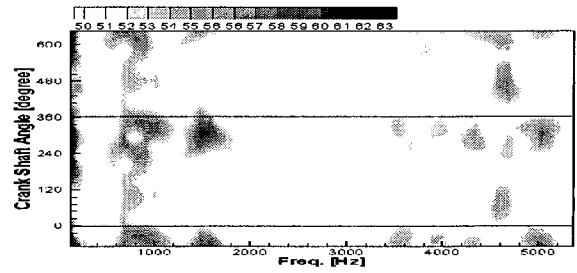
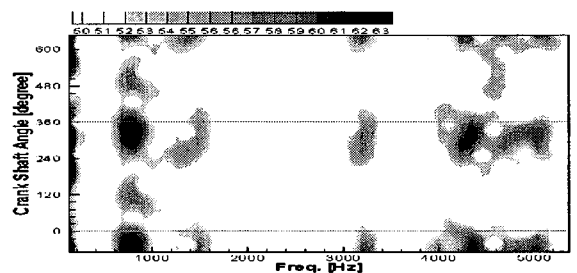


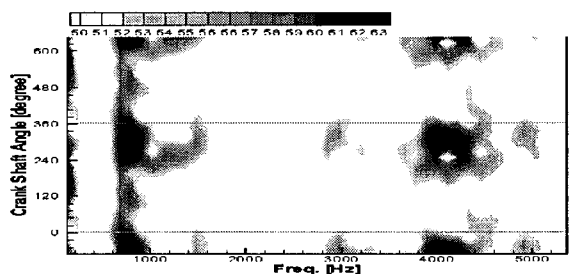
Fig. 10. The velocity of point10 in compressor model P2



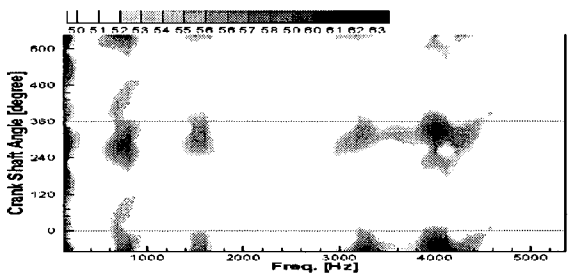
(a) point 1



(b) point 5



(c) point 10



(d) point 14

Fig. 11. The sound pressure of compressor model P1

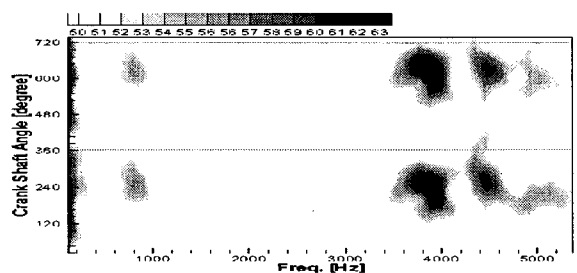


Fig. 12. The sound pressure of point10 in compressor model P2

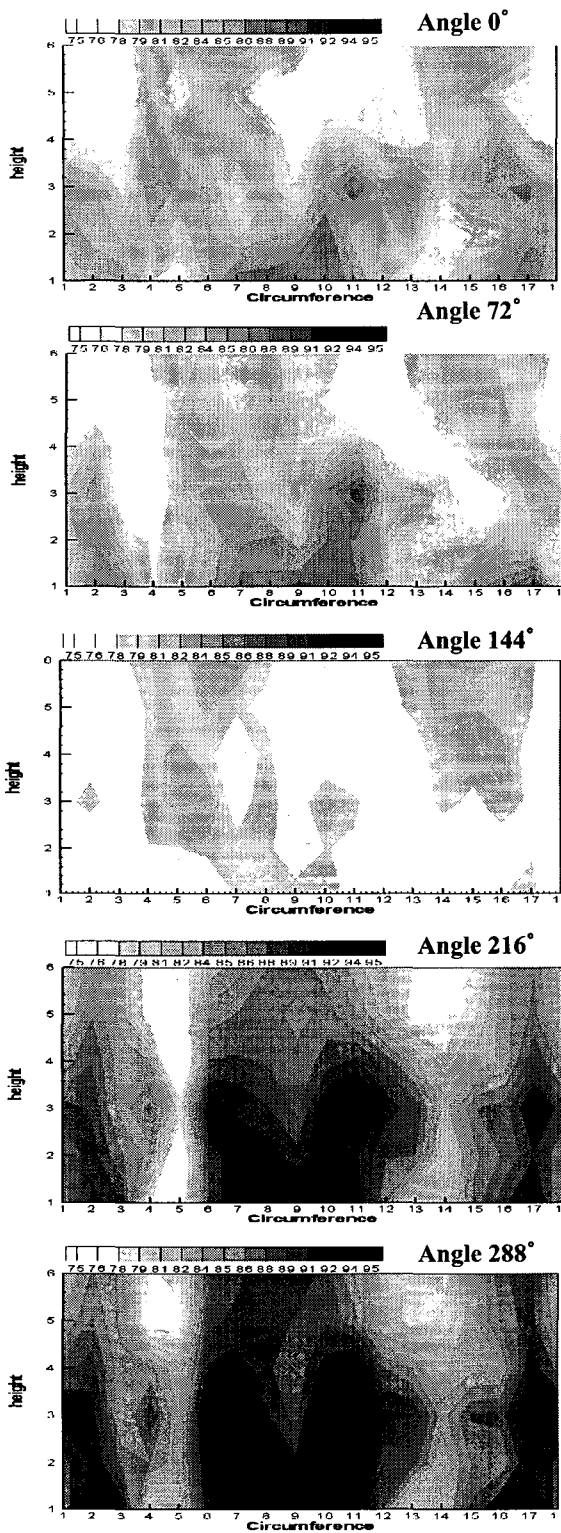


Fig. 13. The variation of vibration in case of model P1 at 800Hz

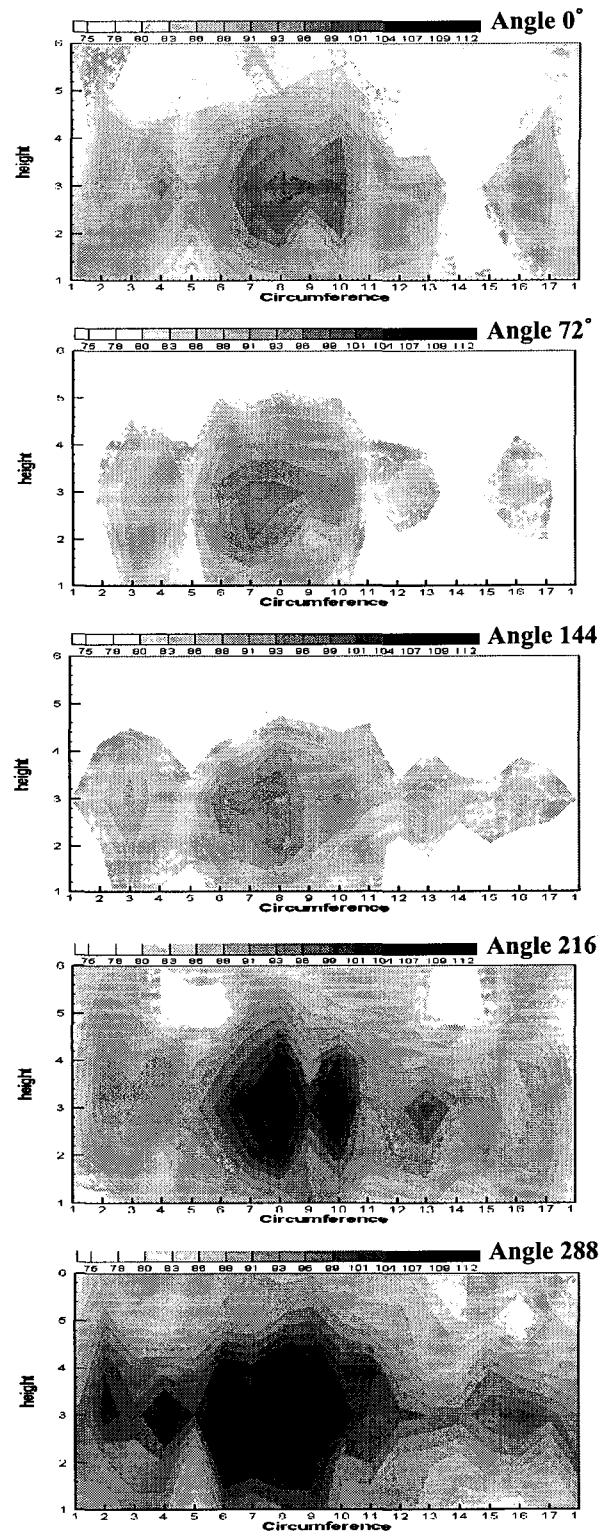


Fig. 14. The variation of vibration in case of model P1 at 4kHz

#### 4. 결 론

롤링 피스톤형 압축기 주위의 진동과 소음 신호를 측정하여 STFT 하고 특정주파수의 신호가 크랭크 샤프트의 회전각도에 따른 거동하는 모습을 가시화함으로써 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 로타리 압축기 QK 모델에서 발생하는 고주파(800Hz, 4kHz) 소음 신호는 압축기 셸 표면의 진동신호와 유사한 주파수 특성을 가짐을 확인하였다.
- (2) 압축기에서 발생하는 고주파 소음은 토출밸브가 열리는 시점에서부터 밸브가 닫히기 직전까지 크게 발생하는 것을 확인하였다.
- (3) 압축기의 토출부에 장착한 머플러는 800Hz의 진동과 소음을 저감하는 효과가 있음을 확인하였다.
- (4) 800Hz 진동과 소음은 vane 의 위치와 그 반대쪽에서 크게 발생하고, 밸브가 열리는 시점에서 실린더 아래 부분의 공간에서 발생하여 윗부분으로 전파되는 것을 확인할 수 있었다.
- (5) 4kHz 의 진동과 소음은 vane 의 반대 위치에 서만 크게 발생하고 실린더 위쪽 부분의 공간에서만 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

- (1) K.Imaichi , M. Fukashima, s.Muramatsu, and N.Ishii 1983, Vibration and Analysis of Rotary Compressors, JSME International Series C, Vol 49, No 447, pp1959~1970
- (2) 정의봉, 황선웅, 안세진, 김정훈, “전동기 연성을 고려한 로타리 압축기의 진동해석”, 소음 진동학회 2002 춘계학술대회 발표논문집, pp1055~1060