

바이스펙트럼 해석의 설비진단을 위한
컴퓨터 시뮬레이션

오재응, 정준희, 염성하
한양대학교 공과대학 정밀기계공학과

Computer Simulation for the Machinery Diagnosis by Using the Bispectrum

Jae-Eung Oh, Jun-Hoi Jung and Sung-Ha Yum

Department of Precision Mechanical Eng., Hanyang University

1. 서론

설비진단에 응용되는 신호처리 기법으로서 파워스펙트럼, 바이스펙트럼, 캡스펙트럼 등이 사용되었다. 파워스펙트럼은 이론적인 면과 계산과정 그리고 신호처리에서의 적용방법등이 잘 알려져서 성공적으로 사용되어져 왔다. 특히 음향분야에서는 여력가지 응용기술이 개발되어 실제계에 적용되고 있으며 계속장비도 파워스펙트럼해석법에 알맞게 개발되어져 왔다.

파워스펙트럼해석법을 사용하여 진동계를 구성하는 각 요소들의 고유진동수와 진동계 전체를 나타내는 진동파들의 주파수성분 간의 관계에 의하여 진동의 원인 및 소음원 등을 추정하는 것이 가능하다. 그러나 파워스펙트럼은 일반적으로 정상적인 신호를 갖는 진동계에 대한 해석일 때는 그 이론과 실제가 잘 일치하지만, 진동계 자체가 항시 임의의 주파수를 갖고서 움직일 때 그 해석에는 다음과 같은 문제점이 생긴다. 첫째, 불규칙한 진동계에서는 규칙적인 진동계 보다 잡음의 영향을 많이 받기 때문에 실제로 잡음이 진동계의 고유주파수 부근에 있을 경우에는 파워스펙트럼해석으로는 불가능한 경우가 있다. 둘째, 진동파 중에 포함되어 있는 위상이라는 중요한 정보가 없다. 셋째, 시간지연에 따른 진동계의 정확한 정보를 얻을 수 없다. 이상에서 볼 때 파워스펙트럼해석법은 한계가 있음을 알 수 있다. 따라서 본 논문은 바이스펙트럼이라는 해석법을 사용하여 정상과정에서 비정상적으로 시간지연에 따라 변하는 진동계 또는 정상적인 진동계의 서주파에서의 상호간섭 정도 및 위상관계를 관찰함으로써 파워스펙트럼과 비교하여 바이스펙트럼해석법의 타당성을 검토한다.

바이스펙트럼의 실제적인 계산방법은 P.J. Huber가 세가지 접근 방법을 제안했는데 시간영역에서의 평균화를 행하여 계산하는 법, 연속된 기록들을 평균화하는 것, 주파수 영역에서의 평균화를 행하는 것 등이 있다. 본 논문에서는 FFT를 먼저 행하고 파워스펙트럼과 바이스펙트럼 및 바이코히어런스를 구하였다. 그러나 바이스펙트럼해석법은 수치해석적인 면에서 볼 때 파워스펙

트럼해석법에 비하여 미약한 점이 많고 통계학적인 그 의미가 확실하게 알려져 있지 않기 때문에 본 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 그 물리적 의미를 규명하고자 한다.

2. 이론 해석

2.1 파워스펙트럼과 고차스펙트럼

평균치를 0으로 하는 정상확률과정 (stationary stochastic process)인 $x(t)$ 의 파워스펙트럼은 2차의 자기상관함수의 푸리에변환으로서

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \cdot \exp(-j\omega\tau) d\tau \quad (1)$$

으로 표시된다. 여기서 자기상관함수 $R(\tau)$ 는 확률과정 $x(t)$ 의 이차 모멘트의 평균치로서

$$R(\tau) = E\{x(t)x(t+\tau)\} \quad (2)$$

으로 표시되고 $E[\]$ 는 기대치 값을 나타낸다. 또한 상관함수 $R(\tau)$ 는 파워스펙트럼 $S(\omega)$ 의 푸리에 역변환을 취하면 쉬게 구해진다.

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \cdot \exp(j\omega\tau) d\omega \quad (3)$$

실제에 있어서의 파워스펙트럼의 값은 절대치를 제공한 값을 사용한다. 한편 정상과정일 때의 $x(t)$ 를 Fourier-Stieltje 적분의 형태로써 표시할 수 있다.

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(j\omega t) dZ(\omega) \quad (4)$$

식(4)를 식(2)에 대입하면 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$E\{dZ(\omega_1)dZ(\omega_2)\} = \delta(\omega_1+\omega_2)S(\omega)d\omega \quad (5)$$

여기서 δ 는 델타함수이다. 이 델타함수는 두개의 주파수 성분 ω_1, ω_2 에 대하여

$$\begin{aligned} \omega_1 + \omega_2 = 0, \quad (\omega_1 + \omega_2) = 1, \quad E[dZ(\omega_1)dZ(\omega_2)] = S(\omega)d\omega \\ \omega_1 + \omega_2 = 0, \quad (\omega_1 + \omega_2) = 0, \quad E[dZ(\omega_1)dZ(\omega_2)] = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

으로 된다. 시간영역에서의 이 과정은 분산 $E[x^2(t)]$ 에 해당되며 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$E[x^2(t)] = R(0) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega)d\omega \quad (7)$$

따라서 파워스펙트럼은 시간영역에서의 시계열 적분에 대한 각 주파수 성분으로 부터의 기여 정도를 표시하고 있는 것이다.

같은 방법으로 $(n-1)$ 차원의 n 차 모멘트 스펙트럼은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} S_n(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n) \\ = (2\pi)^{-(n-1)} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{n-1}) \\ \exp -j(\omega_1\tau_1 + \omega_2\tau_2 + \dots + \omega_{n-1}\tau_{n-1}) d\tau_1 d\tau_2 \dots d\tau_{n-1} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $R_n(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{n-1})$ 은 확률과정 n 차 모멘트의 평균치로서

$$\begin{aligned} R_n(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{n-1}) \\ = E|x(t)x(t+\tau_1)\dots x(t+\tau_{n-1})| \\ = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)x(t+\tau_1)\dots x(t+\tau_{n-1}) dt \end{aligned} \quad (9)$$

로 표현된다. 또한 R_n 은 S_n 의 푸리에 역변환에 의해서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R_n(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{n-1}) \\ = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} S_n(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n-1}) \cdot \\ \exp j(\omega_1\tau_1 + \omega_2\tau_2 + \dots + \omega_{n-1}\tau_{n-1}) d\omega_1 d\omega_2 \dots d\omega_{n-1} \end{aligned} \quad (10)$$

스펙트럼 해석과 마찬가지로 식 (4)를 식 (10)에 대입하면

$$\begin{aligned} E|dZ(\omega_1)dZ(\omega_2)\dots dZ(\omega_n)| \\ = \delta(\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n) \cdot \\ S_n(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n-1}) d\omega_1 d\omega_2 \dots d\omega_{n-1} \end{aligned} \quad (11)$$

으로 된다. 이 식은 주파수에서의 n 개의 푸리에 계수값으로 $dZ(\omega_1)dZ(\omega_2)\dots dZ(\omega_n)$ 의 평균을 표시하고 $\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n$ 의 전체합에 대하여 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n = 0, \\ E|dZ(\omega_1)dZ(\omega_2)\dots dZ(\omega_n)| \\ = S_n(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n-1}) d\omega_1 d\omega_2 \dots d\omega_{n-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_n = 0, \\ E|dZ(\omega_1)dZ(\omega_2)\dots dZ(\omega_n)| = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

또 식 (10)로부터

$$\begin{aligned} R_n(0, 0, \dots, 0) \\ = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} S_n(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n-1}) d\omega_1 d\omega_2 \dots d\omega_{n-1} \end{aligned} \quad (13)$$

으로 되고 식 (13)은 $(n-1)$ 차원 스펙트럼은 $(n-1)$ 개의 주파수 전역에 대하여 적분한 과정 $x(t)$ 의 n 차 모멘트의 평균치를 표시하고 있다.

2.2 바이스펙트럼 해석

지금까지 설명한 식 (13)으로부터 시계열 데이터의 3차 모멘트에 대한 스펙트럼을 바이스펙트럼이라 부른다. 여기서는 파워스펙트럼과 바이스펙트럼을 비교 설명한다. $x(t)$ 를 스펙트럼 $S(\omega)$ 와 바이스펙트럼 $B(\omega_1, \omega_2)$ 를 갖는 정상 랜덤과정이라고 가정하면 $S(\omega)$ 와 $B(\omega_1, \omega_2)$ 는 평균 제곱 $R(\tau)$ 와 평균 세제곱 $C(\tau_1, \tau_2)$ 의 항으로 각각 정의된다.

$$\begin{aligned} S(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau \\ B(\omega_1, \omega_2) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} C(\tau_1, \tau_2) \exp -j(\omega_1\tau_1 + \omega_2\tau_2) d\tau_1 d\tau_2 \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} R(\tau) &= E|x(t)x(t+\tau)| \\ C(\tau_1, \tau_2) &= E|x(t)x(t+\tau_1)x(t+\tau_2)| \end{aligned}$$

식 (4)를 식 (14)에 대입하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \omega_1 + \omega_2 = 0 \\ E|dZ(\omega_1)dZ(\omega_2)| = S(\omega_1)d\omega_1 \\ \omega_1 + \omega_2 = 0 \\ E|dZ(\omega_1)dZ(\omega_2)| = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

마찬가지로

$$\begin{aligned} \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 0 \\ E|dZ(\omega_1)dZ(\omega_2)dZ(\omega_3)| = B(\omega_1, \omega_2)d\omega_1 d\omega_2 \\ \omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 0 \\ E|dZ(\omega_1)dZ(\omega_2)dZ(\omega_3)| = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

다시 말해서 스펙트럼은 주파수의 합이 0인 두개의 푸리에

에 성분으로 부터 나온 평균 자승치 δ^2 의 기여도를 나타내고 바이스펙트럼은 주파수의 합이 0이 되는 세개의 푸리에 성분의 곱에서 나온 평균 세제곱 γ^3 의 기여도를 나타낸다.

정상과정 $x(t)$ 에 대한 위의 정의로부터 다음의 중요한 관계가 성립된다.

$$R(\tau) = R(-\tau) \quad S(\omega) = S(-\omega) \quad (17)$$

바이스펙트럼에 대해서는 3차의 곱으로서 다음과 같은 관계가 생긴다.

$$\begin{aligned} c(\tau_1, \tau_2) &= c(\tau_2, \tau_1) \\ &= c(-\tau_2, \tau_1 - \tau_2) = c(\tau_1 - \tau_2, -\tau_2) \\ &= c(-\tau_1, \tau_2 - \tau_1) = c(\tau_2 - \tau_1, -\tau_1). \end{aligned} \quad (18)$$

윗식을 $B(\omega_1, \omega_2)$ 의 형태로 고쳐쓰면

$$\begin{aligned} B(\omega_1, \omega_2) &= B(\omega_2, \omega_1) \\ &= B(\omega_1, -\omega_1 - \omega_2) = B(-\omega_1 - \omega_2, \omega_1) \\ &= B(\omega_2, -\omega_1 - \omega_2) = B(-\omega_1 - \omega_2, \omega_2). \end{aligned} \quad (19)$$

로 된다.

또 $dz(\omega) = dz^*(-\omega)$, $B(\omega_1, \omega_2) = B^*(-\omega_1, -\omega_2)$ 가 성립한다.

지금까지의 이론식을 선형과정 $x_t = \sum_{s=0}^{\infty} w_s q_{t-s}$ 에 대하여 적용해 보면 바이스펙트럼은 매우 간단한 형태를 갖게 된다. 여기서 $\{q_t\}$ 는 w_s 에 대하여 서로 독립적이라고 가정한다.

$$c(\tau_1, \tau_2) = \gamma_q^3 \sum_{s=-\infty}^{\infty} w_s w_{s+\tau_1} w_{s+\tau_2}$$

여기서 $\gamma_q^2 = E\{q_t^2\}$ 이고 $s < 0$ 에 대하여 $w_s = 0$ 이다.

따라서

$$\begin{aligned} B(\omega_1, \omega_2) &= \gamma_q^3 \sum_{\tau_1=-\infty}^{\infty} \sum_{\tau_2=-\infty}^{\infty} \sum_{s=-\infty}^{\infty} w_s w_{s+\tau_1} w_{s+\tau_2} \\ &\quad \cdot \exp(-i(\omega_1 \tau_1 + \omega_2 \tau_2)) \\ &= \gamma_q^3 W(\omega_1) W(\omega_2) W(-(\omega_1 + \omega_2)) \\ &= \gamma_q^3 W(\omega_1) W(\omega_2) W^*(\omega_1 + \omega_2) \end{aligned} \quad (20)$$

여기서 $W(\omega) = \sum_{s=0}^{\infty} w_s \exp(-i\omega s)$. 이고 그 경계는

$$-\pi \leq \omega_1 \leq \pi, \quad -\pi \leq \omega_2 \leq \pi, \quad -\pi \leq \omega_1 + \omega_2 \leq \pi \quad (21)$$

식(20), (21)과 함께 식(19)에서 주어진 기본적인 기하학적 특성을 그림1에 표시하였다. 이 그림은 이상화한 데이터에 대한 바이스펙트럼을 나타낸다.

특히 실시간 계열(real-time series)적인 $\{x_t\}$ 에 대해서는 단지 그림에서 보이는 점채된 부분만 계산하면 된다. 그림1의 다른 부분들은 점채된 부분으로부터 계산되어질 수 있다. 이상의 식으로부터 무차원수인 바이코히어런스를 다음과 같이 정의 한다.

$$Bic(\omega_1, \omega_2) = \frac{B(\omega_1, \omega_2)}{\sqrt{W(\omega_1)W(\omega_2)W(\omega_1 + \omega_2)}} \quad (22)$$

바이스펙트럼의 계산은 주파수 영역에 있어서의 세개의 푸리에 성분 중에 한개를 공액으로 하여 계산하며, 신뢰성을 기하기 위하여 여러개의 바이스펙트럼을 구하여 평균을 취했다.

본 논문에서는 식(14)부터 식(22)까지의 계산과정을 통하여 각 주파수 성분간의 위상관계, 진폭관계, 상호간섭정도 등을 나타내는 바이스펙트럼해석법의 물리적 의미를 고찰하였다.

3. 바이스펙트럼해석의 컴퓨터 시뮬레이션의 결과 및 고찰

바이스펙트럼의 물리적 의미를 알아 보기 위하여 시간영역의 임의의 파형을 만들어 그 결과를 고찰한다. 각 데이터는 세개의 주파수 성분 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 를 가지며 샘플링 타임은 0.004초, 15개의 레코드를 가지고 각각의 레코드는 512개의 시계열 데이터를 갖는다. 바이스펙트럼해석법을 계산하는 전체과정에 대한 흐름도를 그림2에 표시 하였다.

경우1 각 주파수 성분에 대한 진폭의 변화가 바이스펙트럼해석에 미치는 영향.

진폭의 변화를 갖는 시뮬레이션 파형은 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$x(t) = A_1 \sin(2\pi f_1 t) + A_2 \sin(2\pi f_2 t) + A_3 \sin(2\pi f_3 t)$$

첫번째 레코드에서의 A_1, A_2, A_3 는 모두 1이고 f_1, f_2, f_3 는 각각 30, 60, 90Hz이다. 이 때의 샘플링 타임은 0.004초로서 최대 주파수 범위는 125Hz이다. 각 레코드에 포함된 데이터는 512개이고 전체 레코드 수는 15개이다. 레코드가 증가함에 따라 A_1, A_2, A_3 값을 변화시켰는데 A_2, A_3 를 고정하고 A_1 값을 레코드 당 0.04씩 감소시킨 경우, A_1, A_3 를 고정하고 A_2 를 레코드마다 0.04씩 감소시킨 경우, A_1, A_2 를 고정시키고 A_3 를 감소시킨 경우 등 모두 3가지를 시뮬레이션하였다.

각 경우에 대한 파워스펙트럼의 3차원 그래픽을 그림3의 (a), (b), (c)에 표시하였다. A_1, A_2, A_3 중 어느 것이든지 셋중에 한가지가 작아지면 바이스펙트럼의 값은 감소한다. 그러나 바이코히어런스의 값은 A_3 가 작아질 때 오히려 커지는 경향을 보인다. 이 때 바이스펙트럼의 위상은 바이코히어런스와 같은 경향을 가진다. 즉,

A_1, A_2 를 감소시켰을 때의 바이스펙트럼의 위상은 작아지며 A_3 를 감소시켰을 때의 바이스펙트럼의 위상은 커진다. 이 시뮬레이션 결과는 흥미로운 것으로서 주시하는 세개의 주파수 중 어떤 주파수든지 그 진폭이 감소하면 바이스펙트럼값은 감소하지만 바이코히어런스는 세번째 A_3 값이 감소할 때 오히려 증가하는 경향을 알 수 있었다. 역으로 A_1, A_2, A_3 중 어떤 것이라도 증가하면 바이스펙트럼값은 증가하며 A_3 값이 증가할 때의 바이코히어런스는 작아진다. 여기에서도 바이스펙트럼의 위상은 바이코히어런스의 경향과 같은 추세로 증가 또는 감소하게 된다. 이상에서 볼 때 주파수 성분의 진

폭 변화에 따른 바이스펙트럼과 바이코히어런스의 변화로서 임의의 주파수에 변동이 있었음을 알 수 있다. 각 주파수 성분의 진폭의 변화에 따른 바이코히어런스의 변화를 그림5에 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 주파수 성분의 진폭의 변화에 따른 바이코히어런스값의 변동은 미소하게 나타난다. 따라서 이와 같은 현상이 실제 기계구조물에서 발생할 때는 설비진단 정보로서 이용하기에는 상당히 어려움이 있다고 생각된다.

경우2 감쇠비 변화에 따른 바이스펙트럼해석에의 영향

감쇠비 변화를 갖는 시뮬레이션 파형은 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$x(t) = A_1 \exp(-\zeta \omega_1 t) \sin(2\pi f_1 t + \phi_1) + A_2 \exp(-\zeta \omega_2 t) \sin(2\pi f_2 t + \phi_2) + A_3 \exp(-\zeta \omega_3 t) \sin(2\pi f_3 t + \phi_3)$$

데이터 갯수와 레코더 수, 주파수는 **경우1**과 동일하며 A_1, A_2, A_3 는 모든 레코드에서 1로 고정시켰다. 다만 레코드 변화에 따라 감쇠비만을 0에서 0.001씩 증가시킨 경우, 0에서 0.005씩 증가시킨 경우, 0에서 0.01씩 증가시킨 경우 등 모두 3가지를 시뮬레이션하였다. 이 때 각도 ϕ 는 $\tan^{-1}(\sqrt{1-\zeta^2}/\zeta)$ 이다.

감쇠비 변화에 따른 3차원 스펙트럼을 그림4에 나타내었고 바이코히어런스의 변화를 그림6에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 감쇠비가 증가함에 따라 바이스펙트럼값은 감소하며 바이코히어런스는 증가한다. 바이스펙트럼과 바이코히어런스가 반비례 관계를 가지면서 변화하므로 **경우1**과는 구별되며 파형에 감쇠비의 변화가 있는지를 추정하는 것이 가능하다. 감쇠비의 증가에 따라 바이코히어런스가 무한정 커지는 것은 아니며 시스템의 감쇠비가 0.08일 때 최대값을 가지게 된다. 따라서 시스템의 감쇠비가 0.08이하일 때 감쇠비가 감소할 때에는 바이스펙트럼은 증가하고 바이코히어런스는 감소한다. 바이코히어런스는 무차원수로 정의된 식에 의하여 계산되므로 1보다 큰 수를 가질 수도 있다. 그러나 일반적인 계에서 볼 때 감쇠비가 0.007이하에서는 1보다 작은 값을 갖게 된다. 시뮬레이션결과 바이스펙트럼값과 바이코히어런스값은 시스템의 감쇠비와 밀접한 관계가 있으며, 이 관계로써 시스템의 감쇠비를 어느 정도 알 수 있으리라 생각된다.

경우3 사이드 밴드 주파수가 바이스펙트럼에 미치는 영향

시뮬레이션 파형은 **경우1**과 같은 식을 이용하였다.

데이터 갯수와 레코드수는 앞의 경우와 동일하며 f_1, f_2, f_3 는 각각 30, 60, 90 Hz이고 A_1, A_2, A_3 는 1로서 고정시켜놓았다. 다만 레코드 4, 5에만 기본 주파수 30, 60, 90과 함께 두번째 주파수에 인접한 사이드 밴드 주파수 62Hz를 첨가시켰다. 레코드에 따른 3차원 스펙트럼의 결과를 그림7에 표시하였고 그 때의 바이코히어런스를 그림8에 표시 하였다. 그림에서 나타나듯이 사이드 밴드 62Hz가 발생한 레코드에는 바이코히어런

스값이 미미하게 증가함을 볼수있다. 이 결과는 바이코런스가 사이드 밴드의 영향을 받는다는 것을 시사하며 바이코히어런스를 설비진단에 이용할수 있음을 나타낸다.

경우4 잡음이 바이스펙트럼에 미치는 영향

시뮬레이션 파형은 **경우1**과 동일하고 잡음만을 난수발생함수를 이용해서 **경우1**의 시뮬레이션파형에 첨가시켰다. 그림9는 **경우1**의 (b)에 잡음이 섞여 있는 경우의 파워스펙트럼을 3차원으로 나타 낸 것이고 그림10는 그 때의 바이코히어런스이다. 잡음이 있는 경우의 바이스펙트럼과 바이코히어런스는 매우 랜덤한 형태를 가지며 여기서 얻어진 데이터로 시스템을 해석하기는 어렵다. 따라서 바이스펙트럼 해석을 할 때는 잡음을 제거할 필요가 있다. 앞으로 ARMA와 같은 신호처리기법을 사용해서 문제점을 해결해야 된다고 생각된다.

4. 결과 및 고찰

설비진단에 바이스펙트럼법을 적용하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 진동파의 진폭의 변화에 따른 바이코히어런스의 변화는 매우 미약해서 진폭에 따른 변화를 로써 시스템을 해석하기에는 어려운 점이 있음을 알 수 있었다.
- 2) 감쇠비에 따른 바이스펙트럼과 바이코히어런스의 추세는 상호 밀접한 관계를 갖고서 변화함으로 바이코히어런스로써 시스템의 감쇠비를 추정하는데 사용할 수 있으리라 생각되며, 감쇠비의 영향을 많이 받는 시스템의 감쇠비 변화에 따른 이상을 감지해 낼 수 있으리라 생각된다.
- 3) 임의의 주파수 근처에서 사이드 밴드(side band)가 생기면 미약하지만 바이코히어런스에 영향을 준다. 즉, 바이코히어런스를 이용함으로써 시스템에 이상이 발생했을 때 반사파 등의 기본 주파수 근처에 생긴 사이드 밴드를 조기에 발견할 수 있을 것이다.
- 4) 잡음의 영향을 받는 신호에 대하여 바이스펙트럼해석법은 신뢰성이 없으므로 ARMA와 같은 방법을 적용하여 S/N비를 향상시키는 연구가 필요하다.

5. 결 론

이상의결과로서 파워스펙트럼에서는 알 수 없는 인접해 있는 저주파 성분의 진폭과 위상의 상호관계를 바이스펙트럼에서는 정성적으로나마 그 관계를 알 수 있었다. 따라서 가동중인 기계구조물에서 계속적으로 데이터를 취함으로써 구조물의 이상을 조기에 진단할 수 있을 것이다. 또한 기존의 계속장비들이 고속 무리에 변환을 수행할 수 있는 것이라면 기존의 장비를 이용하여 설비진단용으로써 쉽게 시스템을 구성할 수 있을 것이다.

본 논문은 컴퓨터 상에서만 임의의 파형을 해석하였기 때문에 실제 구조물에 대한 적용이 필요하고 잡음의 영향에 대한 문제점을 개선하는 것이 시급하다고 사료된다.

참고 문헌

- (1) 오재응, "Bispectrum 해석에 의한 기기이상 진단의 응용에 관한 연구", 한양대학교 산업과학연구소 논문집, 제18집, pp.117-123, 1984
- (2) P.J. Huber, B.Kleiner, T.Casser, and G. Dumermuth, "Statistical method for investigating phase relation in stationary stochastic process", IEEE Trans. Audio Electroacoust., pp. 78-86, Mar. 1981

- (3) Takuso Sato, "Bispectral holography", J. Acoust. Soc. Am, Vol.62, No.2, August 1977
- Mysore R. Raghuvver and Chrysostomos L. Nikias, "Bispectrum Estimation : A Parametric Approach", IEEE Trans. Acoust. SPEECH, and SIGNAL PROCESSING, Vol. ASSP-33, No.4, Oct. 1985
- (4) Mysore R. Raghuvver and Chrysostomos L. Nikias, "Biaspectrum Estimation: A Parametric Approach", IEEE Trans. Acoust. SPEECH, and SIGNAL PROCESSING, Vol. ASSP-33, No.4, Oct. 1985
- (5) 오재응, 차주현, 염성하, "마이크로 컴퓨터를 이용한 ARMA 모델의 동특성 규명에 관한 연구", 대한기계학회 춘계학술대회 초록집, 598-601, 1986

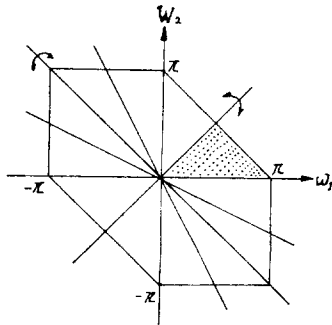


Fig.1 Symmetry relationship of the bispectrum

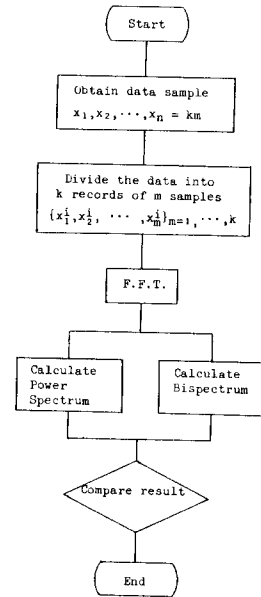


Fig.2 Flowchart of the bispectrum estimation

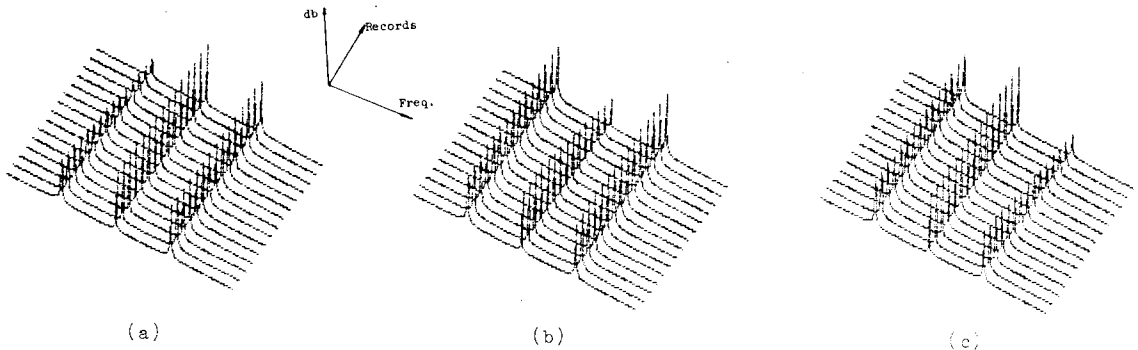


Fig.3 3-D Spectrum graphic

- (a) change the magnitude of the first frequency.
- (b) change the magnitude of the second frequency.
- (c) change the magnitude of the third frequency.

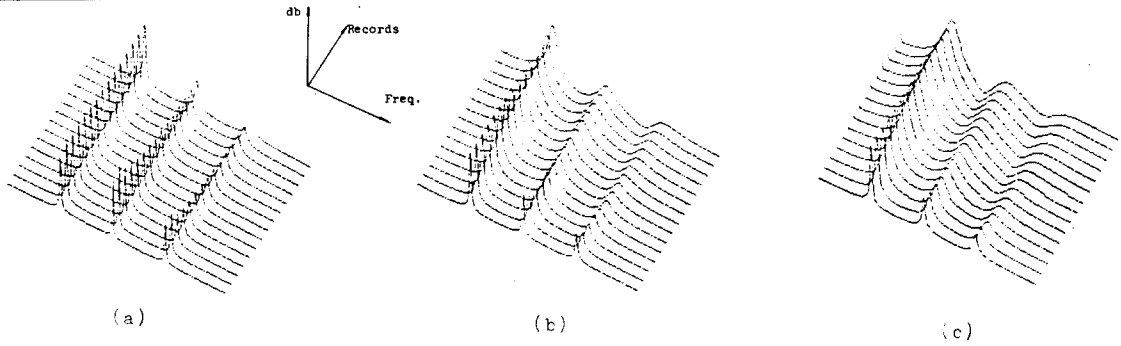


Fig.4 3-D Spectrum graphic due to changing the damping Ratio.

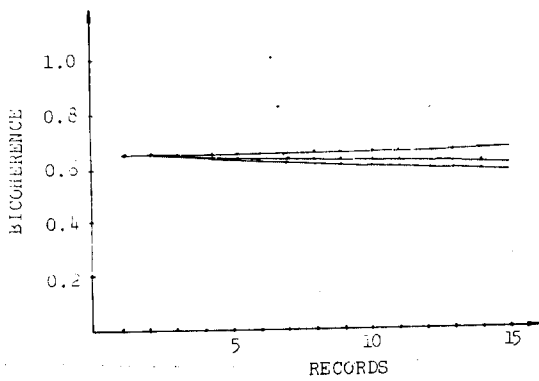


Fig.5 Bicoherence due to changing the frequency..

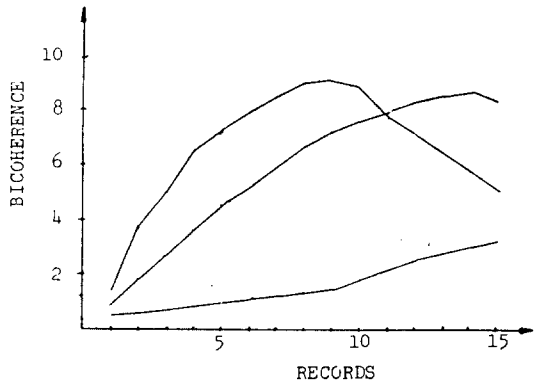


Fig.6 Bicoherence due to changing the damping Ratio.

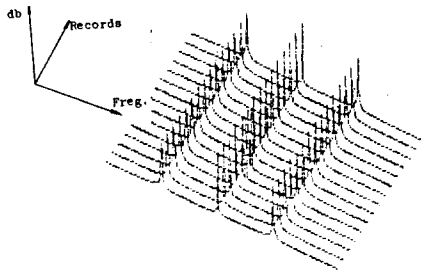


Fig.7 3-D Spectrum graphic with the side band.

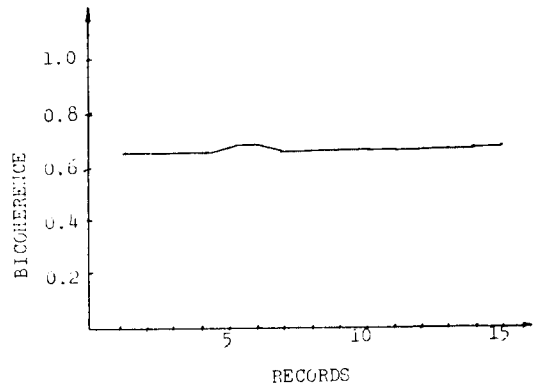


Fig.8 Bicoherence with the side band.

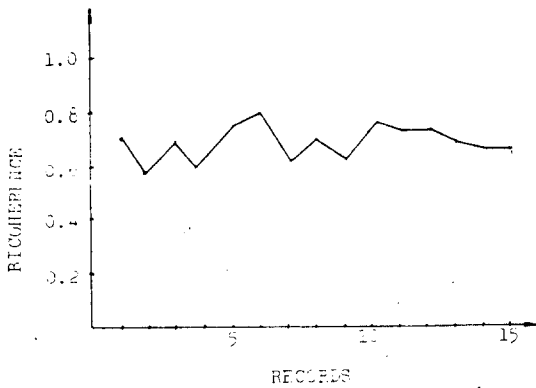


Fig.10 Bicoherence due to the noise.

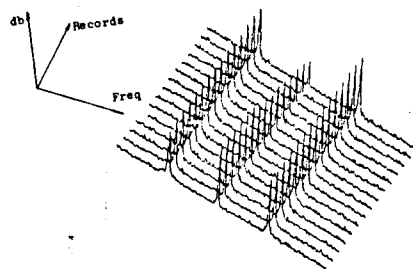


Fig.9 3-D Spectrum graphic due to the noise.