

회전기기 진단을 위한 첩지 오더분석 방법의 윈도우 크기 결정 Determination of Window Block Size of Order Tracking Analysis for Rotor Diagnosis

손석만† · 김연환* · 김동환**

Sohn, Seokman • Kim, DongWhan • Kim, YeonWhan

1. 서 론

펌프, 터빈과 같은 회전기기의 고장 분석에 회전 주파수 배수의 함수로 나타나는 오더분석(Order Tracking Analysis)을 활용하면 대부분의 가진력이 회전 속도와 관계되기 때문에 회전 기기의 고장 분석은 더욱 쉬워진다. 특히, 기동이나 정지시와 같이 회전 속도가 변하는 과도상태의 회전기기 진동신호는 매우 많은 정보를 포함하고 있어서 더욱더 정확히 손상원인을 찾아낼 수 있다. 플랜트에 있는 수많은 펌프의 경우 기존의 고유진동수 시험을 할 때 해머의 가진력이 너무 작아서 제대로 고유진동수를 측정할 수 없는 경우가 많고 기동 정지시에 수초이내에 기동되고 정지되기 때문에 기존 주파수응답 함수법으로는 한계가 있다.

구조적 공진여부를 알기 위해서는 기동 정지시의 진동신호를 기존의 주파수분석대신에 적절한 신호처리방법을 적용해야 한다. 이 경우에 있어서 오더분석을 이용한 보데선도나 polar 선도는 구조적 공진점을 찾아내는 데 매우 중요한 결과를 주게 된다.[1] 하지만 펌프와 같이 수초이내에 기동과 정지할 경우는 상용 프로그램은 오더 분석 자체가 불가능한 경우가 많다. 이를 극복하고 회전각에 따른 샘플링과 내삽을 필요로 하면서도 Fast Fourier 변환(FFT)을 사용할 수 없는 이산 오더분석법 (Digital Order Tracking)대신에 빠르고 정확한 첩지변환(Chirp Z transform : CZT)을 사용한 새로운 오더분석법을 제안하였다.[1]

Laurence Rabiner[2]가 1969에 제안한 CZT는 주파수 해상도를 임의로 조정하여 주파수 분석을

할 수 있으며 특히 FFT 알고리즘을 사용할 수 있어 매우 빠르다. CZT의 주파수 해상도를 회전속도의 정수분에 맞추므로써 간단하고 빠른 오더분석법을 구현할 수 있었다.

하지만, 높은 오더성분에 대해 크기를 낮게 추정하는 스메어링(smearing) 효과가 나타나게 된다. 본 논문에서는 이를 보정하기 위해 두가지 방법론을 제시하였다. 하나는 스메어링 효과를 가장 낮추면서 오더 해상도를 높이는 최적의 퓨리에 변환 개수를 정하는 방법이다. 다른 하나는 낮은 크기만큼 보정해 주는 루틴을 추가하는 방법이다.

여기에 내용을 입력하십시오. 여기에 내용을 입력하십시오. 여기에 내용을 입력하십시오.

2. Chirp Z 오더분석

본 CZT는 FFT의 알고리즘을 적용할 수 있어서 많은 적분과 데이터 내삽이 필요한 Re-sampling에 비해 많은 장점을 보인다. 그러므로, 데이터 개수가 2의 자승일 때 매우 빠른 계산을 보이게 된다.

본 CZT에서 기본적으로 쓰이는 본 변환식은 식(1)과 같다. 여기서, A와 W는 임의수 복소수로써 다음과 같이 정의된다.

$$X(O_k) = \sum_{n=0}^{N-1} w(n)x(n)e^{-ink \Delta\theta_0/N} \quad (1)$$

여기서, $\Delta\theta$ 는 오더 분해능, N은 윈도우의 블록크기, $w(n)$ 은 윈도우 함수이다. θ_0 는 회전각도로 $\theta_0 = \omega_0 T$ 로 결정되며 ω_0 는 회전속도, T는 시간 bandwidth이다. 오더성분 k는 방향성분석을 위해 -m과 m사이에서 결정되어 오더 O_k 는 $O_k = k\Delta\theta$ 로 계산된다. Chirp Z 오더분석은 오더분해능을 결정할 수 있으나, 실질적인 오더해상도는 FFT의 샘플링 이론에 따라 결정된다.

† 한국전력공사 전력연구원

E-mail : bborng@kepri.re.kr

Tel : 042-865-5667, Fax : 042-865-5627

*, ** 한국전력공사 전력연구원

2. Chirp Z 오더분석의 FFT Block Size 결정

Chirp Z 오더분석은 chirp 신호에 대해 smearing 효과가 있어서 나은 오더 분해능을 위해서는 적절한 시간 block 크기를 결정해야 한다. 최근에 chirp 신호의 STFT에 대한 Block크기 결정에 대한 방법이 제시되었다. 본 연구에서는 오더 분석에 맞는 Block 크기 결정을 수행하였다. 첩 신호 $x(t)$ 다음과 같은 기본식을 가지게 된다.

$$x(t) = Ae^{iO_m(\frac{1}{2}at^2 + \omega_0 t)} \quad (2)$$

A 는 신호의 크기, O_m 은 주오더성분, a 는 회전가속도, ω_0 는 초기 회전속도이다. 이 식을 첩지 오더분석변환을 수행하면 다음과 같이 정리된다.

$$F(O_m) = A \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} w(\tau) e^{iO_k \frac{1}{2} a T^2 \tau^2} d\tau \quad (3)$$

위 식의 해석적 해는 존재하지 않는다. 따라서, 변환시 사용되는 time size T 에 따라 해를 분리할 수 있다.

- 1) T 가 충분히 작다면, $e^{iO_k \frac{1}{2} a T^2 \tau^2}$ 는 1로 되므로 식은 다음과 같이 된다.

$$|F(O_m)| \approx A \left| \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} w(\tau) d\tau \right| = A\mu(w) \quad (4)$$

- 2) T 가 충분히 크다면 $F(O_m)$ 은 stationary phase 방법에 의해 다음과 같이 정리된다.

$$|F(O_m)| \approx A \sqrt{\frac{2\pi}{O_m a T^2}} w(0) \quad (5)$$

T 가 작을 때 크기는 일정하고 T 가 클 때 크기는 감소하므로, 최적해는 그림 1과 같이 T 가 작을 때와 클 때의 해가 서로 만나는 지점이 된다. 따라서, FFT block size는

$$N = \frac{w(0)f_s}{\mu(w)} \sqrt{\frac{2\pi}{O_m a}} \quad (6)$$

그림 2는 오더 해상도에 따른 block크기의 영향을 보여준다. $9\pi \text{ rad/s}^2$ 회전가속도이고 초기 속도가 $18\pi \text{ rad/s}$ 일때 1024Hz 샘플링 주파수일대 식에 의해 최적의 block 크기는 975가 된다.

그림 2에서 보이듯이 smearing 영향으로 오더 해상도는 최적 block size 이상에서는 감소하게 된다.

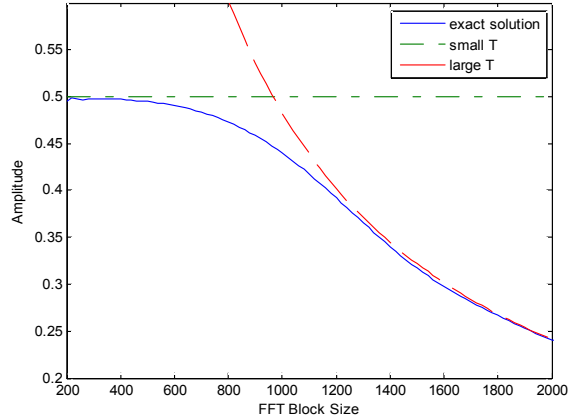


그림 1. 1X 오더 성분의 시간크기별 크기

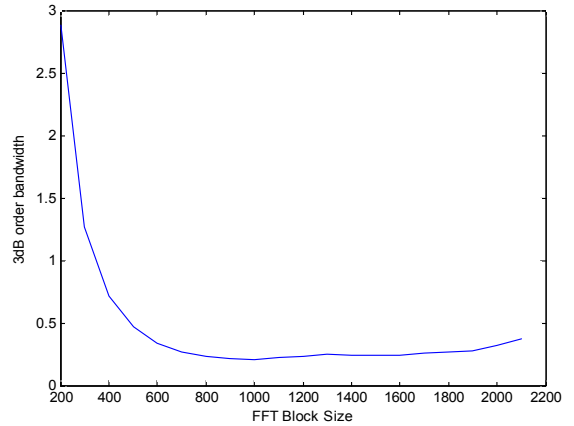


그림 2. 1X 오더성분의 3dB order bandwidth (작을수록 해상도가 좋음)

3. 결론

chirp Z 변환을 이용하여 FFT알고리즘을 사용할 수 있는 간단한 새로운 오더 분석 방법을 제시하였다. 하지만, smearing 문제로 일정 FFT block size 이상에서는 해상도가 오히려 저하되는 단점이 발생하였다. 이런 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 최적의 FFT block size 결정하는 식을 제시하였다.

참고문헌

- (1) 손석만, 이옥륜, 이준신, 2006, 오더분석을 이용한 대형 수직 펌프의 진동 진단, 춘계학술대회논문집, pp. 231.
- (2) L. Rabiner and B. Gold, 1975, Theory and Application of Digital Signal Processing, Prentice-Hall International