

## Identification of Power System Oscillation Using DFT Algorithm

金東俊\* · 文英煥\*\* · 金容鶴\*\*\* · 尹用範§

(Dong-Joon Kim · Young-Hwan Moon · Yong-Hak Kim · Yong-Beum Yoon)

**Abstract** - This paper describes the identification of torsional modes and power oscillation modes including the inter-area modes and local modes of *KEPCO* using the proposed DFT analysis algorithm which is applied to the digitally recorded *RMS* values of power system variables such as steady-state measured active power, load angle and so on. As a result, the inter-area mode of 0.65Hz and the local modes of the three different generators were identified. In addition, the torsional modes of two steam-turbo generators were analyzed by applying the DFT algorithm. Thus, this paper clearly shows the availability of the proposed DFT algorithm that can analyze the digitally recorded effective values measured from the equipment such as *PMU* or *DSM*.

**Key Words** : Torsional mode, power oscillation, inter-area mode, local mode, DFT analysis algorithm, *PMU*, *DSM*

### 1. 서론

전력 수요자에 지속적이고 안정적으로 전력을 공급해야 하는 대형 전력계통에서는 항상 다중의 동요 모드가 존재하며 어떤 특수한 운전조건에서는 댐핑 정도가 매우 작은 광역 모드(inter-area mode)나 지역모드(local mode), 혹은 축진동 모드(torsional mode)가 다른 모드에 비해 크게 활성화되어 안정도를 해치며 계통운영에 제한을 줄 수 있다. 이러한 동요 모드의 해석은 비실시간 안정도 프로그램을 사용해서 해석할 수 있으나 모델링의 모델 정도, 계통크기, 데이터의 제한 등에 따라 동요모드 해석범위는 매우 좁고 제한적이다. 그러나 최근의 디지털 측정장비 기술 발달에 의해서 페이저 측정장치(Phasor Measurement Unit, 이하 *PMU*)나 전력동요 측정장치(Dynamic System Monitor, 이하 *DSM*) 등과 같은 계통 동요 측정장치에 의해서 측정된 실효값 시간영역 데이터는 쉽게 디지털로 측정이 가능하고, DFT나 FFT 기법을 적용하면 비실시간 프로그램에서 해석할 수 없는 다중의 전력동요 모드와 높은 주파수대의 축진동 모드까지 정확하고 간단하게 동요모드를 확인할 수 있다. 현재 축진동 동요모드 분석은 저주파 공진(subsynchronous resonance, *SSR*) 문제나, 전력계통의 안정도 향상과 전력설비의 효율을 향상하기 위해서 설치되는 *FACTS*와 같은 고속전력전자 설비와 인근 발전기 사이의 축진동 상호작용(torsional interaction)에 의한

축진동 모드의 불안정성 문제 때문에 중요한 연구대상이 되고 있다.<sup>[1]</sup>

앞으로 국내 전력동요를 감시하기 위해 *GPS*(Global Positioning System)를 이용한 시각 동기화가 가능한 *PMU* 장치가 설치될 전망이다 현재 연구가 진행 중에 있다. 이 측정장비에 의해서 측정되는 데이터는 실효값(*RMS* 값) 시간영역 계통 변수값으로써 동 시각에 중요모드의 위상과 크기를 정확히 측정할 수 있는 장점이 있다. 또한 동요가 발생할 때 각 모드의 위상과 크기뿐만 아니라 유효전력, 무효전력, 그리고 주파수 등등의 실효값 시간영역 데이터를 측정하여 저장할 수 있어 사고 후의 동요를 분석할 때 중요하게 사용된다. *DSM* 측정장비는 *PMU*와 같은 실효값 시간영역 측정장치로써 국내에서는 1995년부터 발전플랜트 모델정수 결정을 위해 발전기 특성시험에 주로 사용되어 오고 있고, 최근에는 제주 계통의 동요를 측정하기 위해서 1년 간 4대의 이 장비가 설치되어 전력계통 사고 후 전력동요를 측정하였다. *PMU*나 *DSM* 장치에 의해 정상상태에서 측정된 실효치 시간영역 데이터는 다수의 동요모드를 포함하기 때문에 시간영역에서 측정된 데이터만 가지고 전력동요모드를 확인하는 것이 어렵다. 따라서, 주파수 영역에서 동요모드를 정확히 확인할 수 있는 효과적인 DFT/FFT 분석 알고리즘을 적용하는 것이 매우 필요하다.

본 논문은 3 종류의 한전 대형 화력발전소에 대해 발전기단에서 *DSM* 장비로 측정된 실효치 시간영역 데이터를 채안된 DFT 분석 알고리즘을 적용해서 실효값 데이터에 포함되어 있는 30Hz 이하의 모드를 주파수 영역에서 분석하였다. 분석 결과 비실시간 대형 고유치 프로그램에서만 계산된 한전계통의 광역모드(inter-area mode), 분석된 화력 발전기의 지배적인 지역모드(local mode), 그리고 축진동 모드를 확인할 수 있었다. 축진동 모드의 분석은 발전기 회전자 각과 발

\* 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 院 先 任 研 究 員

\*\* 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 院 責 任 研 究 員 · 工 博

\*\*\* 正 會 員 : 韓 國 電 力 研 究 院 研 究 員

§ 正 會 員 : 韓 國 電 力 研 究 院 責 任 研 究 員 · 工 博

接受日字 : 2001年 1月 30日

最終完了 : 2001年 4月 9日

전기 단자전압 위상차이로 측정되는 부하각을 이용하였으며, 전력동요의 분석은 발전단에서 정상상태 때 측정된 발전기 유효출력을 이용하였다. 그리고 부하차단 후에 측정된 부하각 데이터는 오직 지배적인 축진동 동요모드만 포함하고 있었으나, 정상 운전상태에서 측정된 발전기 유효출력은 높은 주파수의 축진동 뿐만 아니라 낮은 주파수대(0.1~2.0Hz)의 여러 지역모드와 광역모드의 전력동요 모드가 포함되어 있어 유효출력이 동요모드해석에 중요하게 사용될 수 있음을 분석하였다.

2. DFT 주파수 분석

DFT(Discrete Fourier Transform)<sup>[2]</sup>는 시간영역에서 측정된 디지털 데이터를 주파수 영역으로 변환하는 알고리즘이다. 현장에서 디지털 계측기에서 측정되는 시간영역 디지털 데이터는 대부분 여러 가지 주파수를 함유하고 있으므로 DFT 알고리즘을 통하면, 측정된 데이터가 가지고 있는 모드 정보를 쉽게 분석가능 하다. 대개 샘플링된 디지털 데이터 개수가 많을 경우 계산시간의 효율을 위해서 다소 정확도가 상쇄되는 FFT(Fast Fourier Transformation) 알고리즘을 사용하기도 한다. 그러나 발전기 특성시험에서 DSM 장비에 의해 측정되는 동적 디지털 데이터는 약 1800개로 샘플링 개수가 그리 크지 않으므로 높은 해상도를 제공하는 DFT를 사용하여 해석할 수 있다.

2.1 푸리에 변환

시간영역 데이터를 주파수영역으로 변환하고, 또 반대로 역변환하는 것은 푸리에 변환과 그 역변환에 수학적인 기본을 두고 있다. 푸리에 변환에 대한 정의를 살펴보면 아래와 같다.

$$S_X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \text{ (Forward Transform) (1)}$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_X(f)e^{j2\pi ft} dt \text{ (Inverse Transform) (2)}$$

여기서,

$x(t)$  = 신호  $x$ 의 시간영역 표현

$S_X(f)$  = 신호  $x$ 의 주파수 영역 표현

$$j = \sqrt{-1}$$

푸리에 변환은 주기적 혹은 비주기적 시간영역 신호에 상관없이 다 적용가능 하며, 이 신호는 어떠한 최소 조건을 만족해야 한다. 그러나 일반적인 현실세계에서는 모든 신호가 최소의 조건을 만족한다.

2.2 DFT 변환 알고리즘

푸리에 변환을 디지털로 계산하기 위해서는 수치적인 적분을 해야 하고 이러한 방법을 DFT라고 불리며 이상적인 푸리에 변환에 근사적으로 가깝게 할 수 있다. 푸리에 변환을 계산할 때 직면하는 세 가지 어려운 점이 있다. 첫째로, 요구되는 결과는 연속함수이어야 한다. 이러한 계산은 이산데이터로 이 값을 계산할 수 있다. 이와 같은 제한 때문에 실제 변

환은 아래와 같이 된다.

$$S_X(m\Delta f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi m\Delta ft} dt \text{ (3)}$$

여기서,

$$m=0, \pm 1, \pm 2 \dots$$

$\Delta f$  = frequency spacing

두 번째 문제는 적분을 계산해야 한다는 것이다. 이것은 그림 2.1과 같이 곡선상의 면적을 구하여 더해 가는 것과 같다. 따라서 앞의 변환은 다음과 같이 된다.

$$S_X(m\Delta f) \approx \Delta t \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n\Delta t)e^{-j2\pi m\Delta fn\Delta t} \text{ (4)}$$

여기서,

$\Delta t$  = time interval between samples

마지막 문제는 대략적으로 더해서 적분을 하더라도, 모든 무한시간에 대해서 샘플링을 더해야 한다는 것이다. 따라서 우리는 유한의 시간에 대해서만 하는 변환법으로 제약을 두어야 한다.

$$S_X(m\Delta f) \approx \Delta t \sum_{n=0}^{N-1} x(n\Delta t)e^{-j2\pi m\Delta fn\Delta t} \text{ (5)}$$

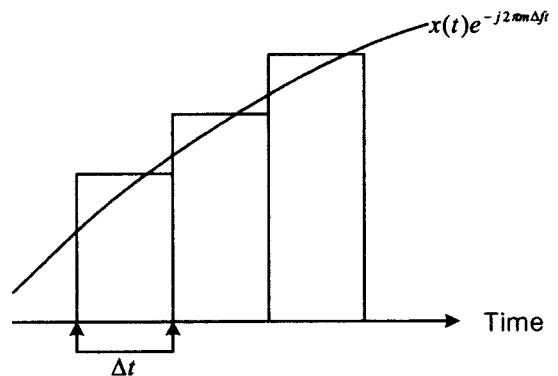


그림 1 푸리에 변환에 사용되는 수치적분법

Fig. 1 Numerical integration used in the Fourier Transform

DFT 계산식은 위의 변환식에 샘플링된 시간간격을 아래와 같이 쓴 식이다.

$$S'_X(m\Delta f) = \frac{T}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n\Delta t)e^{-j2\pi m\Delta fn\Delta t} \text{ (6)}$$

2.3 Aliasing 문제

DFT 알고리즘에서 많은 샘플링 데이터를 요구하는 것은 Aliasing이라는 문제를 회피하기 위해서다. 최소 샘플링 속도를 만족해야 하는 Nyquist Criterion에 의하면, A/D 샘플링 주파수는 입력되는 주파수에 비해 최소한 2배 이상 높게 하지 않으면 안 된다. 예로 본 논문에서 언급하고 있는, 전력계통 동요를 시간영역에서 실시간으로 측정할 수 있는 DSM 디지털 측정장비는 과도 다이내믹 용동을 측정할 시 계산 주파수가 60Hz로 1초에 정확하게 60개의 데이터를 계

산해서 디지털로 저장한다. 따라서 Nyquist Criterion에 따라, 이 측정된 데이터를 DFT로 분석해서 나오는 30Hz이상의 주파수 모드에 대해서는 그 결과의 신뢰성을 확인할 수 없다.

### 2.4 Windowing 기법

DFT로 주기적인 파형을 주파수 영역으로 변환 시 나타날 수 있는 문제는 주기적인 파형을 비주기적인 파형으로 DFT알고리즘이 잘못 변환할 수 있다는 것이다. 이것은 DFT 알고리즘이 제한된 데이터 집합을 사용하는데 그 이유가 있다. 연속적인 푸리에 변환에서는 무한의 데이터를 요구하나, DFT에서는 제한된 집합을 이용하고 제한된 집합이 계속적으로 무한히 있다고 가정하고 해석한다. 주기적인 파형에서 제한된 데이터를 샘플링 했을 때 어느 시점에서 어느 시점까지 샘플링해서 해석하느냐에 따라 주파수 해석이 달라질 수 있다. 만약, 주기적인 제한된 데이터를 DFT에서 비주기적인 데이터로 해석할 경우, 주파수 스펙트럼은 에너지가 분산되는 현상을 보여준다. 이러한 현상을 방지하기 위해서 windowing이라는 기법을 사용한다. 여기서 사용되는 함수는 여러 가지가 있으나 가장 일반적으로 사용되는 방법은 hanning window법이다.

### 3 제안된 DFT 알고리즘

PMU나 DSM같은 디지털 측정장비에서 측정된 데이터는 아래 그림 2의 DFT 분석 알고리즘으로부터 전력계통의 동요를 확인할 수 있다. 먼저, 전력계통의 동요를 분석하기 위해서는 단계 1처럼 디지털 계측기로부터 전력계통의 변수들을 측정하여 계산하여야 한다. 측정된 전압, 유효전력, 무효전력 그리고 부하각 등은 순시값이 아닌 측정장치의 내부 알고리즘에서 계산된 실효값이 된다. 다음으로, 분석하고자 하는 실효값 데이터에서 저주파수대의 동요만을 분석하기 위해서 dc 성분의 값을 제거해야 한다. 만약, 유효전력을 실효값으로 측정했고 이때의 전력이 400MW이며 여기에 10MW 정도의 동요가 측정되었다면, 400MW를 제거하면 된다. 그렇지 않은 경우, DFT 분석 결과는 동요 모드를 쉽게 확인할 수 없다.

단계 3에서는 측정된 디지털 계측기의 샘플링 속도와 계산속도를 고려하여 해석이 가능한 주파수 영역을 결정한다. 측정해서 계산하여 저장되는 속도가 60Hz라면 분석 가능한 주파수는 30Hz이내의 주파수가 된다. 이것은 Nyquist Criterion에 의해 결정할 수 있다. 그런 다음, hanning window를 적용하고, 단계 5에서는 주파수 영역이 결정되면 DFT를 적용하여 허수부와 실수부 계산값을 계산한다. 마지막 단계에서는, 계산된 허수부 결과와 실수부 계산 결과의 절댓치를 계산한다. DFT 계산결과를 절댓값으로 계산하여 분석하는 것이 동요모드를 분석하기에 용이하다. DFT 계산결과에서 실수부와 허수부로 절댓값 계산뿐만 아니라 페이서 계산도 가능하다. 이때의 페이서 정보는 PMU와 같은 측정장치가 다수로 시각동기화 되어 여러 전력설비에서 측정된다면 또한 유용하게 스윙하는 전력동요 모드를 분석하는데 매우 도움이 된다.

제안된 전력계통 동요모드 확인 위한 DFT 분석 알고리즘은 본 논문에서는 오프 라인만 고려하고 있으나, 실시간

로도 제안된 방법은 전력계통 동요를 감시할 수 있다. 실시간으로 동요를 분석하기 위해서는 계산시간이 긴 DFT방법보다는 계산시간이 빠른 FFT방법이 더 유용하다.

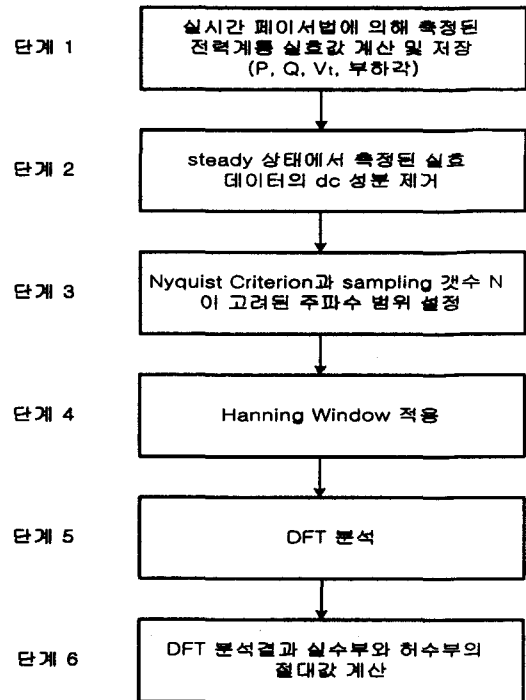


그림 2 계통동요를 확인하기 위한 DFT 알고리즘  
Fig. 2 DFT Algorithm for Identification of Power System Oscillation

### 4. DFT 분석 알고리즘을 적용한 전력계통 동요 분석

전력동요 분석에 사용된 측정된 실효값 데이터는 디지털 측정장치 DSM 장비에 의해서 저장된 데이터를 사용하였다. PMU와 사용 용도가 비슷한 이 디지털 측정장비는 전력계통 동요를 측정할 수 있으며, 내부적으로 페이서 계산법을 적용하여 유효전력, 무효전력, 전압, 주파수 등을 1초에 60개의 데이터를 계산하여 저장한다. 그리고, DFT로 분석 가능한 주파수대는 30Hz까지 가능하다. 한번 DSM 장비가 트리거가 되면 30초 동안의 과도상태 데이터를 측정장비 내부에서 여러 개의 전력계통 변수들을 동시에 계산해서 저장한다. 본 논문에서는 이 측정장비를 사용하여 한전 대형 발전기의 앞단에서 측정된 변수 값들을 DFT 알고리즘에 적용하여 동요모드를 확인한다. 아래에서는, 동요모드 중 중요한 모드는 축진동 모드와 전력동요 모드이므로, 측정된 발전기 부하각과 발전기 유효출력에 대해서만 DFT 분석하여 동요모드를 확인한다.

#### 4.1 DFT 분석에 의한 축진동 모드 확인

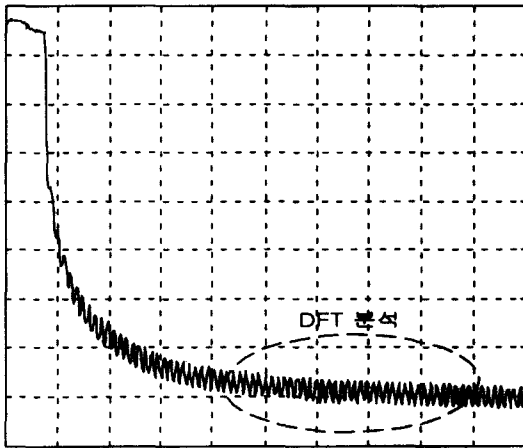
그림 3은 DSM 디지털 측정장비에 의해서 발전기 특성 시험 시 측정된 영광 N/P 3호기 부하각 데이터를 보여주고 있다. 측정된 시간영역 부하각 데이터 파형은, 부하차단 시 측정된 발전기 축신호와 발전기 단자 전압사이의 부하각(load angle)이다. 그림 3은 2.8초에 발전기 주차단기가 개방되어

계통과 병해할 때의 부하각 변화를 보여주고 있다.

부하각 크기가 제로인 영역에서는 높은 주파수 동요가 그림 3에 점선부분과 같이 나타나 있다. 그림 3의 점선 부분을 DFT 분석하면 그림 4와 같은 8.0Hz대의 축진동 동요모드를 확인할 수 있다. 그림 5는 한국형 표준 500MW급 화력발전소인 태안 T/P 1호기의 부하차단 후의 부하각을 DFT 분석한 결과를 보여준다. 분석된 결과는 16.0Hz대의 축진동 동요모드를 보여준다.

영광 N/P 3호기의 지배적인 축진동 모드가 8.0Hz대에서 나타났고, 태안 T/P 1호기의 지배적인 축진동 모드가 16.0Hz에서 발생한 원인은 회전자의 속도와 관련이 있다. 즉, 영광 N/P의 발전기들은 4극기로써 rpm이 1800이나 태안 T/P 발전기들은 2극기로 rpm이 3600으로 원자력기보다 회전자의 회전 속도가 더 빠르다.

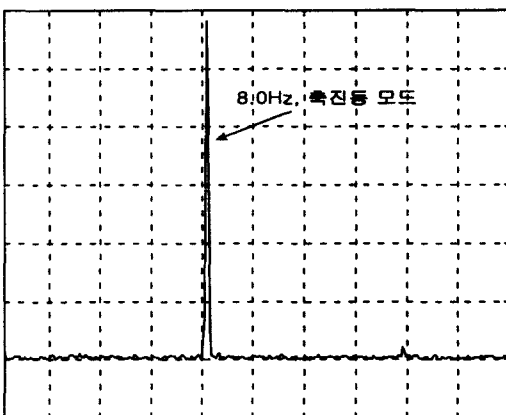
Angle(rad)



Time(sec)

그림 3 영광 N/P 3호기 부하차단시 측정된 부하각  
Fig. 3 Load Angle of Yunggang N/P #3 at the Load Rejection

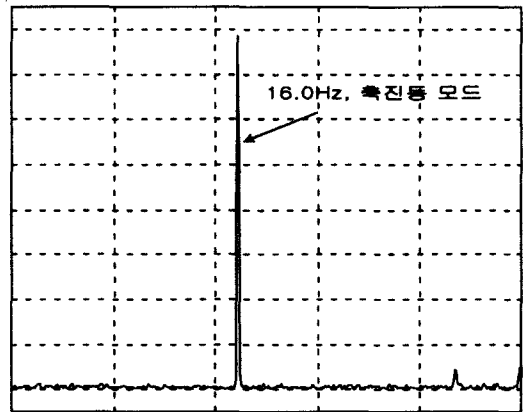
Mag.



Frequency(Hz)

그림 4 영광 N/P 3호기 측정된 부하각 DFT 분석 결과  
Fig. 4 Result of DFT Analysis of Yunggang N/P #3

Mag.



Frequency(Hz)

그림 5 태안 T/P 1호기 측정된 부하각 DFT 분석  
Fig. 5 Result of DFT Analysis of Yunggang N/P #3

#### 4.2 DFT 분석에 의한 전력동요 모드 확인

제안된 DFT 분석 알고리즘을 적용하여 발전기 스텝업 변압기의 저압측에서 측정된 발전기 유효출력( $P_e$ ) 실효값 데이터를 주파수 분석하였다. 분석된 실효치 발전기 유효출력( $P_e$ ) 측정 결과는 무효전력( $Q$ ), 주파수( $f$ ), 그리고 단자전압( $V_t$ ) 같은 다른 변수에 비해 많은 동요 모드가 포함되어 있어 유용한 정보를 제공한다.

표 1 측정된 출력 데이터 DFT 주파수 분석결과

Table 1 Result of DFT analysis of Measured MW Data

대상 발전기	분석된 측정파형	동요 모드	비고
보령 T/P 1호기 612MVA	정상상태시의 발전출력(493MW) 1999년 12월 측정	0.64 Hz	광역모드 : 0.64 Hz
		0.73 Hz	
		0.94 Hz	
		1.12 Hz	
		1.61 Hz	
		4.80 Hz	
8.54 Hz			
17.24 Hz			
삼천포 T/P 6호기 612MVA	정상상태시의 발전출력(380MW) 1999년 4월 측정	0.72 Hz	
		1.27 Hz	
		1.52 Hz	
		1.82 Hz	
		2.00 Hz	
		16.3 Hz	
울진 N/P 1호기 1100MVA	정상상태시의 발전출력(450MW) Without PSS 2000년 7월 측정	0.65 Hz	광역모드 : 0.65Hz
		0.75 Hz	
		1.00 Hz	
		1.20 Hz	
		1.34 Hz	

분석에 사용된 3개의 측정된 발전기 실효값 출력 데이터는 한전 대형 발전소 500MW급인 보령 T/P 1호기, 삼천포

T/P 6호기, 그리고 1000MW급인 울진 N/P 1호기에서 측정된 값들이다. 이들 발전소는 각기 서해안, 남해안, 그리고 동해안에 위치한 발전소로 지역간의 실제 동요모드인 광역동요를 간접적이거나 분석할 수 있다.

여기서 데이터의 측정은 한전계통의 동요모드를 분석하기 위해 각 측정장비를 시각 동기화 시켜 측정된 것이 아니다. 보령과 삼천포 T/P 측정 데이터는 발전기/여자시스템 모델 정수를 결정하기 위한 각기 다른 날짜에 발전기 특성시험 시 임의로 정상상태에서 발전기 출력을 측정된 것이다. 울진 N/P 1호기의 측정데이터는 여자시스템의 PSS 기능동작 여부를 확인하기 위한 시험 시 측정된 데이터이다. 측정된 실효치 발전기 유효출력의 분석결과는 표 1과 같다.

4.2.1 보령 T/P 1호기 발전출력 DFT 분석

그림 6은 실효치로 측정된 보령 T/P 1호기의 정상출력 490MW를 보여주고 있다. 490MW를 중심으로 peak-to-peak까지의 동요는 약 1~2MW 정도로 진동하고 있다. 측정 당시의 발전소 운전조건은 1999년 겨울철 저녁시간대의 부하로써 발전소의 500MW급 6기 모두 정상 운전되고 있는 상황이었다. 그림 6을 DFT 분석 알고리즘에 의해서 493.5MW의 DC 성분 주파수를 제거하고, *hanning windowing*를 거친 다음 DFT 분석을 하면 그림 7과 같은 결과를 얻을 수 있다.

그림 7의 동요 모드는 앞의 표 1과 같다. 주파수가 낮은 영역에서는 전력동요 모드인 광역모드, 지역모드가 분포되어 있고 높은 주파수대에서는 축진동 모드가 나타나고 있다. 그림 7의 전력동요 모드를 더 확대시키면 그림 8과 같다. 그림 8에는 1개의 광역 모드라고 판단되는 0.65Hz대와 여러 개의 지역모드가 있다. 정확한 광역모드의 결정은 다수의 PMU같은 측정장치가 시각 동기화 되어 측정되어야 분석이 가능하다. 그러나, 여기서 광역모드라고 판단되는 이유 중 하나는 비실시간 실효값 프로그램인 대형 고유치 해석 결과나 과도안정도 프로그램 상에서 나타나는 동요모드와 거의 일치하기 때문이다.

표 2 2000년도 한전 피크부하 고유치 해석 결과<sup>[5]</sup>  
(SSSP/V3 결과, 댐핑률이 가장 작은 순서)

No.	고 유 값		주파수 (Hz)	댐핑율	비 고
1	-0.0539	4.3082	0.6657	0.0125	광역모드
2	-0.0974	5.4426	0.8862	0.0179	지역모드
3	-0.4373	6.2371	0.9927	0.0699	지역모드
4	-0.4390	6.8031	1.0828	0.0644	지역모드

또한 이 광역모드는 서해안 발전기 군과 동해안 발전기 군이 서로 전력 동요하는 경로 해석되는데, 울진 N/P에서도 이와 같은 광역모드가 아래 울진 N/P 1호기의 DFT 분석 결과에서 확인되었다. 표 2는 2000년도 한전 피크부하를 상정하여 대형 고유치 해석 프로그램<sup>[3]</sup>에 의해서 계산되어 나온 댐핑이 가장 안 되는 0.66Hz대의 광역모드와 그 밖의 지역모드들을 보여준다.

Active Power(MW)

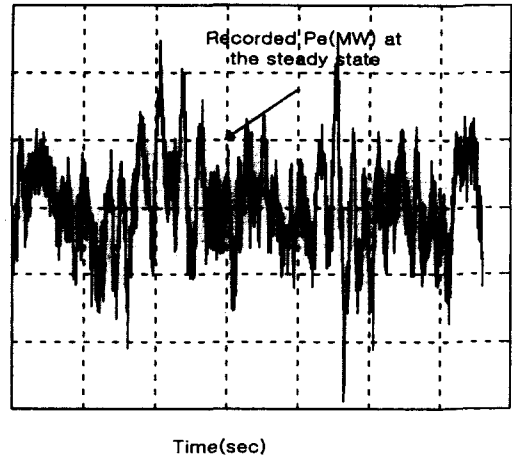


그림 6 보령 T/P 1호기 정상상태에서 측정된 발전기출력 (493MW)

Fig. 6 Measured Steady-State MW Data of Boryung T/P #1  
Mag.

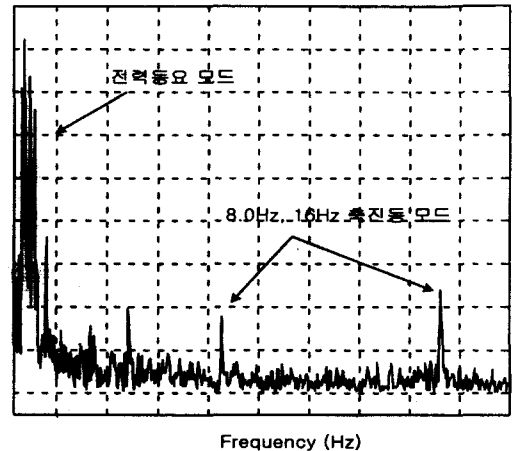


그림 7 보령 T/P 1호기 출력(493MW) DFT 분석

Fig. 7 Result of DFT Analysis of Boryung T/P #1's MW

Mag.

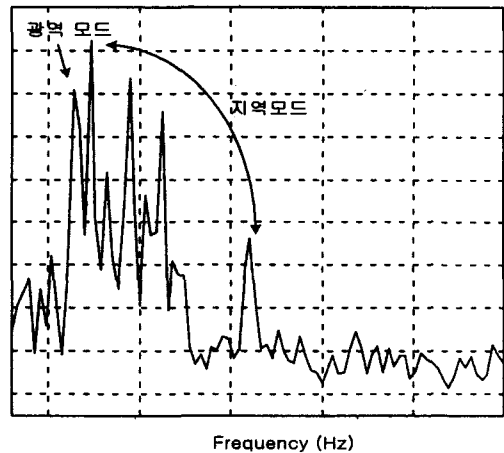


그림 8 그림 7의 전력동요 모드를 확대

Fig. 8 Magnifying the Power Oscillation Modes of Fig. 7

### 4.2.2 삼천포 T/P 6호기와 울진 N/P 1호기 발전출력 DFT 분석

그림 9는 남해안에 위치하는 삼천포 T/P 6호기의 발전기 출력 380MW에서 측정된 실효치 출력을 DFT 분석한 것이다. 마찬가지로, 저주파수대의 전력동요 모드가, 고주파수대는 축진동 모드가 관찰된다. 전력동요 모드는 표 1과 같이 여러 모드가 있다. 0.72Hz의 동요 모드는 광역모드인지 지역모드인지 구별하기 어려우나 가장 땀땀이 안되는 모드이다. 그리고 지역 모드로 1.27Hz, 1.52Hz, 1.82Hz 그리고 여자기 모드로도 볼 수 있는 2.0Hz가 있다. 축진동 모드는 16.3Hz가 관찰된다.

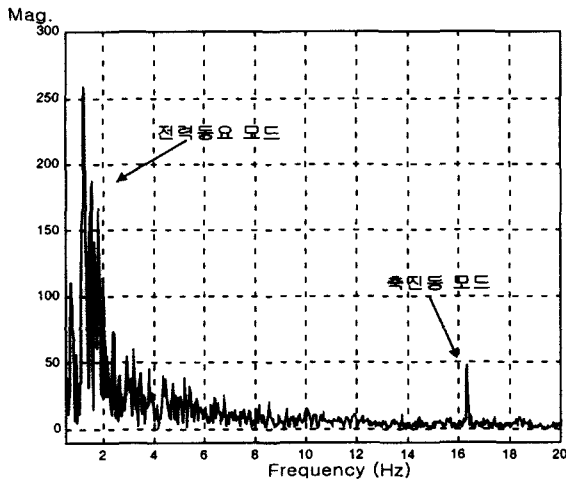


그림 9 삼천포 T/P 6호기 유효전력(380MW) DFT분석  
Fig. 9 Result of DFT Analysis of Samchunpo T/P #6' MW

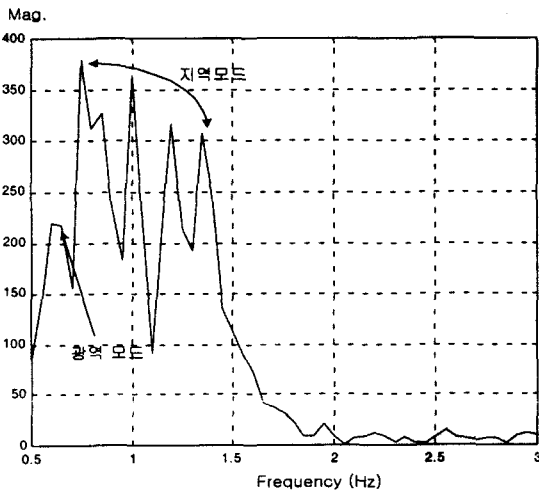


그림 10 울진 N/P 1호기 유효전력(450MW) DFT분석 (Without PSS)  
Fig. 10 Result of DFT Analysis of Ulchin N/P #1's MW (Without PSS)

그림 10은 울진 N/P 1호기 출력 450MW에서 측정된 실효치 출력을 DFT 분석한 것으로, 0.65Hz의 광역모드와 0.75Hz, 1.00Hz, 1.20Hz, 그리고 1.34Hz의 지역모드를 보인다.

4개의 지역모드는 측정 당시 울진 N/P의 4기 발전기가 모두가동중인 상황의 결과이다. 사용된 시간영역 측정 데이터는 울진 N/P 1호기의 PSS 기능동작 여부를 확인하기 위하여 시험할 때 측정된 값이며, 분석에 사용된 발전기 유효출력은 PSS가 동작되지 않는 상황에서 측정된 값이다. PSS가 동작할 때 지역모드의 땀땀은 매우 우수하나, 광역모드인 경우는 그 땀땀 정도가 PSS가 없는 경우와 비교해서 매우 작아 광역모드임을 쉽게 판별할 수 있다. [8][9]

## 5. 결 론

본 논문은 한전 대형 화력 발전기에서 디지털 측정장치인 DSM 장비에 의해 측정된 실시간 RMS 시간영역 데이터를 제안된 DFT 분석 알고리즘을 적용하여 데이터에 포함되어 있는 주파수 성분을 분석하였다. 본 논문에서 기술한 내용을 정리하면 다음과 같다:

- 전력계통에서 실효치로 측정된 시간영역 데이터를 주파수 영역에서 분석할 수 있는 DFT 분석 알고리즘을 제안하였다. 일반적으로 알려져 있는 DFT 기법은 순시치 측정파형에 직접 적용할 수 있으나, 전력계통에서 측정된 실효치 데이터에 대해서는 직접 적용하는 것이 용이하지 않다. 따라서, 전력계통에서 측정된 실효치 데이터를 효과적으로 분석하기 위해서는 적절한 DFT 분석 알고리즘이 필요하다.
- DSM 장비에서 측정된 실효치 측정 데이터를 제안된 DFT 분석 알고리즘에 적용하여 알고리즘의 실효성을 확인하였다. 제안된 분석 알고리즘을 3종류의 한전 대형발전소에서 측정된 실효치 데이터에 적용하여 대상 발전기의 1.0~2.0Hz대의 지역모드, 광역모드, 그리고 발전기의 지배적인 축진동 모드를 분석하여 확인하였다.
- 국내에서는 비실시간 대형 프로그램에서만 확인되어 온 약 0.65Hz대의 광역모드를 실제계통에서 측정된 실효치 데이터와 제안된 DFT 분석 알고리즘을 이용하여 국내에서 최초로 확인하였다. 분석된 3개의 실효치 데이터는 500MW급 이상의 한전 대형 발전소 발전기에서 측정된 값들이며, 이들 발전소는 각기 서해안, 남해안, 그리고 동해안에 위치한 발전소로, 지역간 실계통 동요모드인 광역동요를 간접적으로나마 분석할 수 있다.

향후, 계통의 대규모화, 복잡화로 인하여 국내 전력계통이 아주 취약한 중부하 운전조건에서 운전될 경우 지속적으로 나타날 개연성이 매우 큰 전력동요 모드가 광역모드이다. 이 광역모드에 대해서 본 논문이 기술한 DFT 분석 알고리즘을 PMU나 DSM 등과 같은 장비에 적용하면, 온 라인으로 전력동요를 감시하는 것이 가능하여 전력계통의 안정도 향상에 크게 기여할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

[1] J.Urbanek, R.J. Piwko, E.V. Larsen, B.L.damsky, B.C.furumas, W.Mittlestadt, "Thyristor Controlled Series Compensation Prototype Installation at the Slatt 500KV Substation", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.8, No.3,

July 1993

[2] "The Fundamentals of Signal Analysis", Application Note 243, Hewlett Packard, 1985

[3] SSSP V3.0 PACKAGE, EPRI, 1993

[4] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, 1994

[5] "발전기 제어계통 안정화 장치 개발", 중간보고서, 한국전력공사, 1999.2

[6] 남해근, 송성근, 심관식, 문채주, 김동준, 문영환, "대규모 전력계통의 미소신호 안정도 해석을 위한 Hessenberg법", 제49권, 제 4호, 2000년, 4월.

[7] L.Wang, A.Semlyen, "Application of Sparse Eigenvalue Techniques to the Small Signal Stability Analysis of Large Power Systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. PWRS-5, No. 2, pp.635-642, May 1990.

[8] 김동준, 문영환, 전동훈, 김태균, "측정에 의한 울진원자력 1호기 PSS 모델링 연구", 2000년도 대한전기학회 추계학술대회 논문집, 2000. 11. 25

[9] 김동준, 문영환, 전동훈, 김태균, "AVR 스텝시험에 의한 울진원자력 1호기 PSS 모델링 연구", 2001년 대한전기학회 논문지 논문 투고 중.

[10] Operation Manual for Dynamic System Monitor, Hathaway Co., 1994

[11] D.N.Kosterev, Carson W.Taylor, William A. Mittelstadt, "Model Validation for the August 10, 1996 WSCC System Outage", Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 3, August 1999

## 저 자 소 개

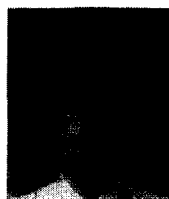


**김 동 준 (金東俊)**

1971년 1월 7일 생. 1992년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 졸업(석사). 현재 한국전기연구소 전력연구단 시스템제어 연구그룹 연구원. 관심분야 : 전압 붕괴점 프로그램 개발(CPF법, PoC법), 발전기/제어계 모델링. 디지털 제어, AVR/PSS 정수 튜닝. 디지털 PSS 개발

Tel : 055-280-1318, Fax : 055-280-1390

E-mail : djkim@keri.re.kr



**김 용 학 (金容鶴)**

1969년 8월 13일 생. 1994년 전남대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 졸업(석사). 현재, 한전전력공사 전력연구원 근무

Tel : 042-865-5846

Fax : 042-865-584

E-mail : kimyh@kepri.re.kr



**문 영 환 (文英煥)**

1956년 5월 13일 생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 Univ. of Texas (Arlington) 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 한국전기연구소 전력연구단 시스템제어 연구그룹장, 책임연구원. 관심분야 : 발전기/제어계 모델링, HVDC 제어, EMS 프로그램 개발, 전력구조개편, 실계통 AVR/PSS 정수 튜닝, 디지털 PSS 개발

Tel : 0551-280-1311, Fax : 055-280-1390

E-mail : yhmoon@keri.re.kr



**윤 용 범 (尹用範)**

1958년 9월 28일 생. 1984년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년~1997년 미국 MIT Visiting Scientist. 현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 차세대 전력전송그룹 책임연구원. 대한전기학회 회원. IEEE 회원. 주요연구분야 : 전력계통 안정화, FACTS 운용 및 제어

Tel : 042-865-5831, Fax : 042-865-5844

E-mail : ybyoon@kepri.re.kr