
가스터빈 연소진동 데이터 처리를 위한 FFT 기반의 모니터링 시스템

이상혁* · 강필순*

FFT based Monitoring System for Combustion Vibration Data Processing of Gas Turbine

Sang-Hyeok Lee* · Feel-soon Kang*

본 연구는 전력산업연구개발사업에 의해 수행되었음

요 약

본 논문에서는 가스터빈의 연소진동 데이터의 취득, 저장, 표시를 위한 모니터링 시스템의 구현에 있어 통신 속도의 향상 및 데이터 저장 공간을 축소시킬 수 있는 방안을 제시한다. 제안된 방법은 샘플 원시 데이터(Raw Data)로부터 FFT를 수행하고 결과 데이터를 코드화 하여 모니터링 PC로 전송하여 저장함으로써 데이터 저장 공간을 줄일 수 있다. 수신된 데이터를 화면에 표시하기 위한 원신호로의 복원은 역 FFT에 의해 이루어진다. 제안된 방식의 타당성과 효율성 검증을 위해 시뮬레이션을 수행하였으며, FFT 차수와 Gibbs's 효과간의 상관관계를 분석하였다. 모의 가스터빈의 연소실험을 통해 제안된 데이터 처리 및 저장 방법의 우수성을 검증하였다.

ABSTRACT

This paper presents a method for improvement of communication speed and reduction of data storage space in gas turbine monitoring system to acquire, save, and display combustion vibration data. The proposed method implements FFT from sampled raw data. The FFT result data are encoded to be transferred to monitoring PC for storage. By this way, it can reduce data storage space. To display the received data, it needs inverse FFT to reconstruct original signal. To verify the validity and efficiency of the proposed scheme, computer-aided simulation are carried out. It includes the analyzed results the relationship between FFT's order and Gibb's Phenomenon. Finally, high-performance of the proposed method is proved by combustion experiment results using a prototype gas turbine.

키워드

가스터빈, 연소진동 모니터링, Gibb's 효과, Fast Fourier Transform(FFT)

I. 서 론

복합화력발전이 이용되는 가스터빈은 구조가 복잡하고 연료, 공기량 등에 따라 동작 특성 및 NOx 등의 오

염 물질의 배출 정도가 유동적이다. 따라서 가스터빈의 동작을 실시간으로 감시, 진단하기 위하여 가스터빈의 주요 부위에는 온도, 압력, 유량, RPM 등의 센서들이 취부 되어 있으며, 이들 센서로부터 취득된 모든 데이터들

은 PMS (Plant Management System)와 같은 운전 서버에 취합되어 관리된다.

가스터빈의 안정된 운전을 위해 중요하게 관리되어야 하는 데이터들은 변화의 정도에 따라 온도, 유량, 압력과 같은 저주파 대역을 가지는 데이터와 베어링 진동과 같은 기계진동, 연소 상태에 따라 발생하는 연소진동과 같은 고주파 대역의 데이터로 구분된다. 특히 연소진동의 경우 이상 진동을 미리 감지하지 못해 사전 대처를 하지 못하게 되면 연료노즐과 라이너의 손상이 발생하며 큰 진동에 의한 배기덕트를 손상시킬 수 있다. 최악의 경우 연소기의 부품 탈락으로 인해 터빈 블레이드를 손상시켜 엄청난 경제적 손실을 발생시킬 수 있으므로 각별한 관리가 필요하다[1]-[3].

현재 상용 가스터빈의 경우 연소진동에 대한 이상 징후 등의 사전 발견을 위해 가스터빈의 연소기에 설치된 동압센서로부터 데이터를 수집하여 클라이언트(Client) 개념의 독립적인 계측 시스템에 의해 데이터를 표시, 저장, 분석하며 필요시 운전 서버로 데이터를 전송한다. 그러나 동압신호를 이용하여 연소진동의 이상 징후를 정확히 예측하기 위해서는 초당 수만 개 이상의 데이터 수집이 요구되며 이들 데이터를 저장시킬 수 있는 대용량의 저장 공간이 요구된다. 소형 가스터빈의 경우에도 연소진동을 감시하기 위해 설치되는 계측포인트가 16 채널 정도임을 가만하면 초당 수집/처리/저장되어야 하는 엄청난 데이터 양으로 인해 통신 속도의 저하 및 대용량의 저장 공간 확보는 모니터링 시스템의 구현에 큰 문제를 발생시키게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 일반적으로 취득되는 데이터의 대표값인 최대값만을 저장하고 나머지 값은 버리게 된다. 그러나 연소진동의 경우 가스터빈의 종류에 따라 다른 특성을 가지며 이상 징후가 포착된 기존 데이터를 이용하여 연료/공기량/발전량 조건에 따른 운전 특성을 파악하는데 중요한 단서를 제공하게 되므로 가능한 많은 데이터베이스(DB) 확보가 중요하다.

본 논문에서는 상기에 언급된 문제점을 해결하기 위해서 FFT 기반의 데이터 처리/전송/저장/복원 방법을 적용하여 보다 효율적이고 향상된 연소진동 모니터링 시스템을 제안한다.

신호를 복원시키기 위한 방법으로 일반적으로 푸리에 변환을 사용한다. 이는 어떤 신호를 푸리에 변환하면 복소수 함수 형태로 변하고 이 함수를 극좌표 형태로 나

타내면 간단히 크기와 위상으로 구분할 수 있기 때문이다. 일반적으로 신호 복원에 있어 크기나 위상 정보 하나만으로 원 신호로 복원하는 과정은 매우 어렵다. 만약 푸리에 변환의 크기 정보만으로 신호를 복원했다면 그 복원된 신호는 원 신호의 아무런 성질도 가지고 있지 않다. 실제로 푸리에 변환의 크기가 주어졌을 때 여기에 서로 다른 위상을 결합하면 같은 푸리에 변환의 크기를 갖는 수많은 신호를 구할 수 있다. 즉 다른 부가적인 정보가 없이는 위상정보를 구하는 것은 매우 어려운 일이다. 이와 같이 푸리에 변환의 위상 정보는 크기 정보보다 복원할 신호의 중요한 정보를 더 많이 가지고 있기 때문에 위상 정보에서 크기 정보를 추출하는 MRP (Magnitude Retrieval Problem) 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. MRP 방법과 더불어 신호 복원에 많이 사용되는 반복법은 시간 영역과 주파수 영역 사이를 반복하면서 이미 알고 있는 제약점을 각 영역에 부과하는 방법이다. 이 반복법은 선형방정식을 풀 필요가 없으나 바람직한 결과를 얻기 위해서는 많은 반복 횟수가 요구되어 CPU 처리속도와 저장능력 면에서 상당한 취약점을 가지고 있다[4],[5].

본 논문에서는 가스터빈의 연소진동 데이터 취득 장치와 클라이언트 모니터링 PC 간의 데이터 통신, 저장, 복원에 있어 푸리에 대칭성을 이용하는 방법을 제안한다. 계측된 연소진동 데이터의 최소량을 이용하여 원 신호를 완벽히 복원함으로써 효율적인 데이터 관리 및 저장이 가능하다. 제안된 데이터 전송 및 복원 방법을 모의 가스터빈의 연소진동 실험에 적용하여 우수성을 검증한다.

II. 제안하는 연소진동 모니터링 시스템

기존의 연소진동 모니터링 시스템은 원 신호로부터 샘플링 된 모든 데이터를 전송, 저장하거나 저장 공간을 확보할 수 없는 경우에는 대표값만을 저장하였다. 샘플링 된 모든 데이터를 저장할 경우 모니터링 PC의 하드용량에 적합한 한정된 양의 Raw Data을 사용할 수 있지만 데이터의 개수에 비례하여 원 신호의 복원율이 결정되기 때문에 가능한 많은 양의 데이터가 수집되어야 한다.

본 논문에서 제안하는 모니터링 시스템은 샘플 된 모든 데이터를 FFT 처리 후 복원에 필요한 데이터만을 전

송하여 모니터링 PC에 저장하고, 역 FFT를 수행하여 원신호로 변환시킴으로서 최소의 데이터를 이용하여 연소진동을 감지할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

연소진동 데이터는 가스터빈의 연소상태에 따라 폭넓은 주파수 대역의 고조파 성분이 포함된 파형으로 시간영역에서 해석이 다소 어렵기 때문에 주파수 영역으로 변환시켜 신호를 분석할 필요가 있다. 시간에 따라 일정하지 않은 파형을 복원하기 위해서는 주기파는 물론 비주기파도 복원율이 좋아야 하며 비정현파는 동일한 주기를 갖는 기본파와 정수배의 주파수를 갖는 고조파들로 이루어져 있다. 이를 분석하기 위해 푸리에 급수 공식을 이용하면 고조파를 함유하는 정현파는 푸리에 급수에 의해 완벽하게 표현될 수 있다. 그러나 이는 아날로그 시스템에 해당되며, 실제 모니터링 PC로 수집되는 연소진동 데이터는 이산 신호로써 수식으로 표현하면 수열 형태가 된다. 극좌표 형식의 표현을 통해 푸리에 변환의 크기와 위상을 구분할 수 있다. 또한 푸리에 변환의 대칭성에 의해 $X(e^{j\omega})$ 는 켈레 대칭 함수와 켈레 반대칭 함수의 합으로 분해할 수 있다.

$$X(e^{j\omega}) = X_R(e^{j\omega}) + jX_I(e^{j\omega}) \quad (1)$$

식(1)과 같이 직각좌표 형태로 표현된 푸리에 변환의 실수부는 우함수, 허수부는 기함수로 대칭성을 갖는 $X_R(e^{j\omega})$ 의 값을 계산하기 위해서는 절반의 값이면 충분하고 다른 절반의 값도 구할 수 있다. 대칭성을 갖는 푸리에 변환은 신호의 종류에 따라 처리 방식이 다르며 본 모니터링 시스템에서는 디지털 신호인 이산 신호를 처리한다. 이산 신호를 주파수 영역에서 분석을 하기 위해서는 이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform)이 사용되지만 DFT는 샘플 수에 따라 추가적인 버퍼가 요구되어 계산 속도가 떨어진다. 이를 개선하여 만들어진 FFT(Fast Fourier Transform)는 신호의 주기성과 대칭성을 이용하여 최소의 데이터를 푸리에 변환함으로써 DFT보다 데이터 계산 속도와 메모리 효율이 높다. 본 논문에서 사용하는 고속 푸리에 변환(FFT)과 역변환(IFFT)은 다음과 같다[7].

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt = \mathcal{L} [f(t)] \quad (2)$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t} d\omega = \mathcal{L}^{-1} [F(\omega)] \quad (3)$$

푸리에 급수에 의해 얻어진 기본파와 고조파들을 이용하여 다시 원신호로 복원시키기 위해서는 기본파의 크기와 동일한 고조파와 기본파 정수배의 위상각을 갖는 고조파가 필요하다. 만약 크기 또는 위상이 다른 고조파가 존재한다면 원신호로 복원이 불가능하다.

그림 1은 제안하는 연소진동 모니터링 시스템의 개념도를 보여준다. 가스터빈에 설치된 동압센서로부터 데이터 수집/처리 장비인 PXI를 이용하여 정해진 샘플율에 따라 데이터를 취득한다. 샘플 된 데이터를 FFT 수행한 후 코드화한 데이터를 TCP/IP 통신을 이용하여 모니터링 PC로 전송한다. 그림 2와 같이 FFT를 수행한 결과 데이터는 복소수 형태이므로 상위 8비트를 실수부(Real), 하위 8비트를 허수부(Imaginary)로 하여 전체 16비트로 변환하여 전송한다. 모니터링 PC는 수신된 데이터를 저장하고 표시하며 필요에 따라 역 FFT를 수행하여 원신호로 복원한 결과를 디스플레이하게 된다.

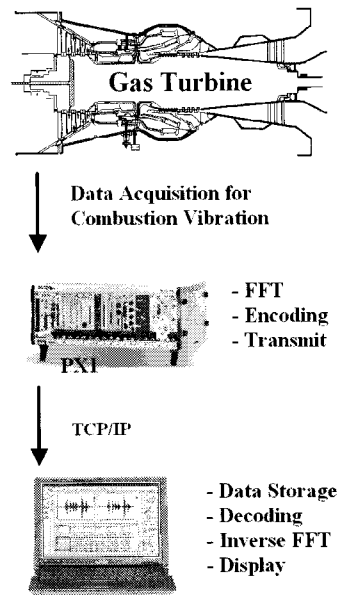


그림 1. 제안된 모니터링 시스템 구성도
Fig. 1 Concept of proposed monitoring system

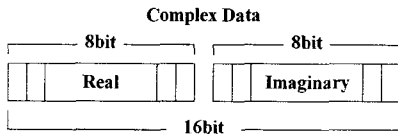


그림 2. FFT 데이터 전송을 위한 코드화
Fig. 2 Encoder for transmission of FFT data

III. 시뮬레이션 및 실험결과

본 논문에서 제안된 FFT 기반의 데이터 처리/전송/저장/복원 기법의 타당성과 효율성 검증을 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 최대값 1V를 가지는 Random 값의 비정현파를 이용하여 FFT 차수에 따른 복원 정도를 분석하였고, 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

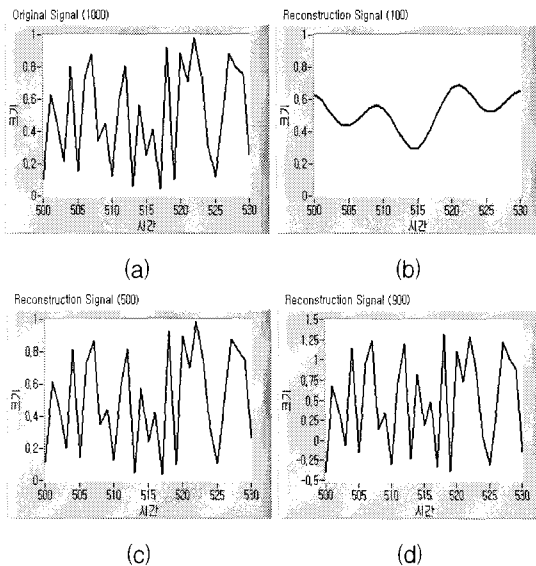


그림 3. 비정현파 복원에 대한 시뮬레이션 결과,
(a)원신호(데이터수, N=1000), (b)N=100,
(c)N=500, (d)N=900

Fig. 3 Simulation result for reconstruction of non-sinusoidal waveform, (a)original signal, (b)N= 100, (c)N=500, (d)N=900

시뮬레이션에 사용되는 임의의 데이터 개수 N= 1000 은 100/500/900개 데이터의 복원율을 확인하기 위한 것으로 그림 3(c) 같이 원 데이터의 절반에 해당하는 500인 경우에 복원율이 가장 우수함을 확인할 수 있다. 이는 푸리에 변환의 대칭성에 의한 당연한 결과라 할 수 있다.

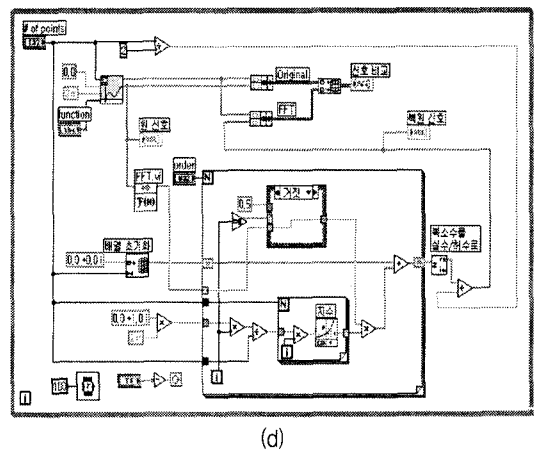
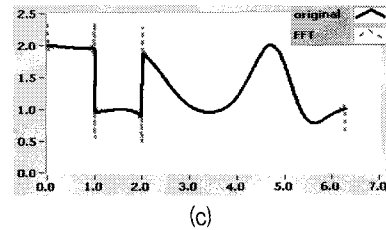
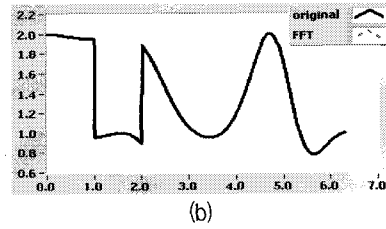
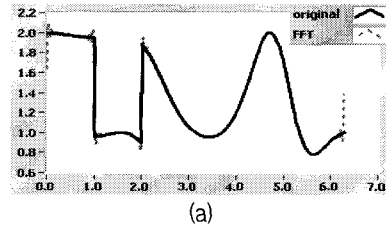


그림 4. 깁스현상에 대한 시뮬레이션 결과, (a)N=100,
(b)N=500, (c)N=900, (d)블록다이아그램
Fig. 4 Simulation Results for Gibb's Phenomenon,
(a)N=100, (b)N=500, (c)N=900 (d)Block Diagram

만약 연소진동 데이터에 불연속 구간이 존재하면 FFT를 수행할 경우 불연속 부근에서 불일치 현상이 발생하는 깁스 현상(Gibb's Phenomenon)이 나타나게 된다. 그림 4는 임의의 파형에 대한 깁스현상을 분석한 시뮬레

이전 결과로 원 데이터(N=1000)에서 절반에 해당하는 N=500에서 그림 4(b)와 같이 깃스현상이 최소화됨을 알 수 있다. 그림 4(d)는 시뮬레이션에 이용된 소스코드로 원신호가 FFT 함수를 거쳐 For 루프에서 역변환(IFFT)되어 다시 원신호로 복원되는 과정을 보여준다. 깃스현상은 고주파수 성분이 많을수록 오차가 줄어들기 때문에 연소진동과 같은 고주파 데이터를 복원하는 데 있어서는 크게 문제되지 않음을 확인할 수 있다.

표 1. 정현파 복원 오차율과 데이터 크기
Table. 1 Error rate for sinusoidal wave reconstruction and data size

주파수 \ 데이터수	100	500	900
100Hz 오차율[%]	0.085	0.003	0.086
500Hz 오차율[%]	0.843	0.303	0.8
2000Hz 오차율[%]	1.615	0.174	2.411
오차율 평균 [%]	0.847	0.16	1.099
저장데이터 크기 [Byte] (원 데이터 크기 = 6,506)	652	3,254	5,856
저장 감소 효율 [%]	89.97	49.98	9.99

표 1은 가스터빈 연소진동의 중요한 주파수 대역인 100, 500, 2000Hz 대역의 정현파(N=1000)를 이용하여 FFT 차수에 따른 복원 정도를 확인할 수 있는 오차율과 데이터 크기에 대하여 분석한 결과를 나타낸다. 여기서 비정현파인 경우 다양한 조건에 의해 일반화 시킨 결과를 제시하기 곤란하므로 정현파를 대상으로 4k Sampling Rate와 Samples per Read는 1k로 설정하여 오차율과 저장 데이터 크기를 비교하였다. 주파수가 증가할수록 오차율이 증가하는 경향성을 갖고 있고 평균 오차율은 원 데이터의 절반의 데이터를 이용하여 복원할 경우에 가장 감소하며, 이 경우 약 절반에 해당하는 저장 공간을 절약할 수 있다.

그림 5는 모의 가스터빈을 이용하여 연소진동 모니터링 시스템을 구현하는데 있어 제안된 방식의 데이터 취득/전송/저장/표시 과정의 순차적인 흐름을 나타낸다. 가스터빈에 설치된 동압센서로부터 PXI로 취득되는 데이터는 4kS/s(Sample/second)의 샘플율과 1kS의 Sample per Read의 비율로 Sample & Hold를 거쳐 디지털 신호로 변환되며 설정된 제한값을 벗어나는지에 대한 데이터

비교를 수행한다. 취득된 데이터가 설정치내에 존재한다면 FFT 결과 데이터의 12.5%만을 16bit로 코드화하여 TCP/IP 통신을 통해 모니터링 PC로 전송/저장시키며, 화면에 표시한다. 시간에 따른 누적 변화분을 표시하기 위해 필요시 역 FFT를 수행한다. 만약 경계치를 벗어나는 데이터가 감지되면 FFT 결과 데이터의 50%만을 16bit로 변환하여 모니터링 PC로 전송/저장하고 화면표시 및 추가적인 분석에 활용한다.

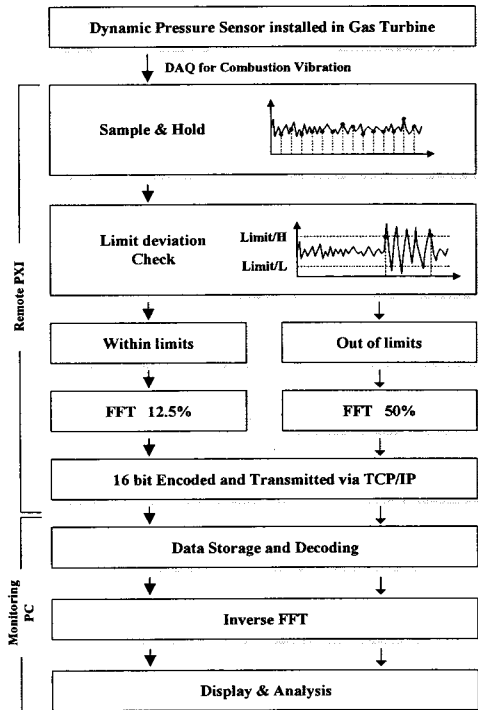


그림 5. 제안된 모니터링 시스템의 구현
Fig. 5 Embodiment of proposed system

표 1의 시뮬레이션 결과를 통해 확인한 바와 같이 FFT 결과 데이터 절반을 사용하여 거의 완벽한 복원이 가능하며, 이 경우 약 50%에 해당하는 저장 공간을 절약할 수 있다. 연소진동의 급격한 변화시 수집되는 데이터는 가스터빈으로 투입되는 연료량, 공기량, 연소실 내의 압력 변화, 연소진동으로 인해 발생될 수 있는 기계진동 등의 상호 상관관계를 파악하기 위한 중요한 단서를 제공하므로 정확한 복원이 필요하지만 일반적인 연소상태에서의 데이터 수집은 크게 중요시되지 않는다. 따라서 모니터링 시스템의 실제 구현시 경계치를 설정하여

정상상태라 판단되면 FFT 결과 데이터 12.5%만을 사용하여 복원하고, 경계치를 벗어나 과도상태라 판단되면 50%의 데이터를 이용하여 복원시킴으로써 저장 공간을 보다 저감할 수 있도록 구성하였다.

그림 6(a)는 연소진동 실험에 이용된 모의 가스터빈의 형상과 동압센서가 설치된 모습을 나타낸다. 그림 6(b)는 동압센서와 연결된 감쇠기(attenuator)를 보여주며, 그림 6(c)는 데이터 수집에 이용된 NI사의 NI-4472가 장착된 PXI를 나타낸다. 그림 6(d)는 가스터빈의 연소상태를 CCTV로 모니터링하고 있는 화면이다.

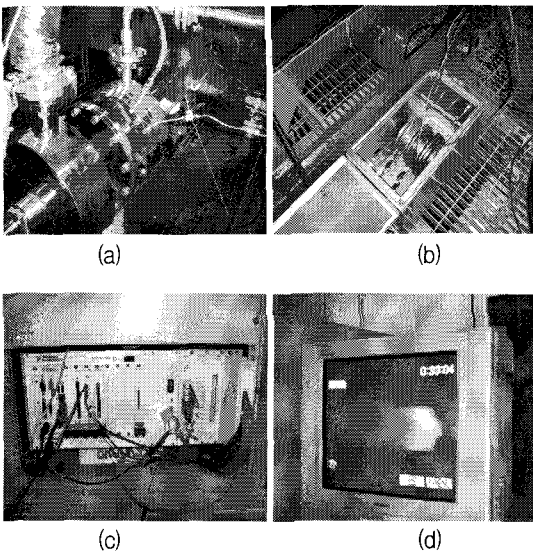


그림 6. 실험세팅, (a)모의 가스터빈, (b)감쇠기, (c)데이터 수집 장치, (d)연소 화면
Fig. 6 Experiment setting, (a)prototype gas turbine, (b)attenuator, (c)PXI, (d)Combustion display monitor

그림 7은 연소진동 데이터를 취득하여 제안된 방법에 따라 전송/저장/표시된 파형을 보여준다. 원 신호에 대한 신호의 복원율은 복원에 사용되는 데이터 개수에 비례적으로 증가하지만 푸리에 대칭성에 의해 절반을 넘으면 비례적으로 감소하는 특징을 가진다.

그림 7(c)에서 확인할 수 있듯이 FFT 결과 데이터의 개수가 그림 7(a)에 사용된 원 데이터(Raw Data)의 50%인 2000개인 경우에 원 신호와 동일한 파형으로 복원을 확인할 수 있다. 또한 그림 7(b) 같이 실제 정상적인 연소진동에서는 원 데이터의 약 12.5%에 해당하는 500개의 데이터만을 이용하여 복원하더라도 연소진동의 경향성

을 파악하는데 문제가 없음을 확인할 수 있다. 그러나 그림 7(d)는 많은 수의 데이터를 활용하더라도 FFT의 특성상 우수한 특성을 보이지는 못한다. 그림 8은 그림 7의 연소진동 파형을 제안된 방식에 의해 처리하여 복원하고 다시 FFT하여 고주파 성분에 대한 복원정도를 분석한 결과이다. 그림 8(a) 같이 복원된 신호가 원 신호와 거의 동일한 주파수 성분으로 구성됨을 확인할 수 있다. 그림 8(c)의 부분 확대를 통해서도 원 데이터의 50%를 이용할 경우 고주파 성분도 복원 효율이 가장 우수함을 확인할 수 있다.

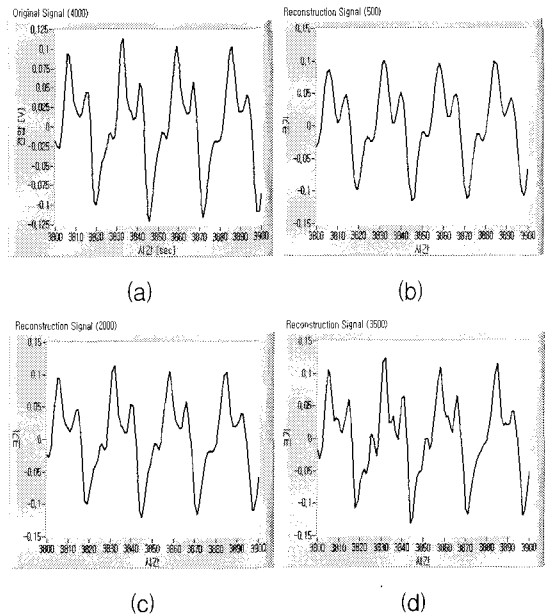
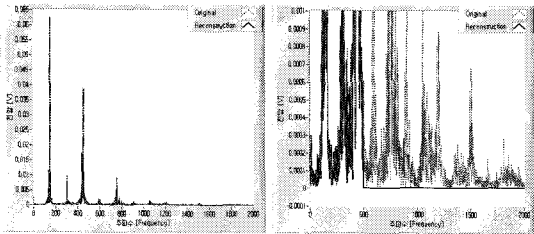


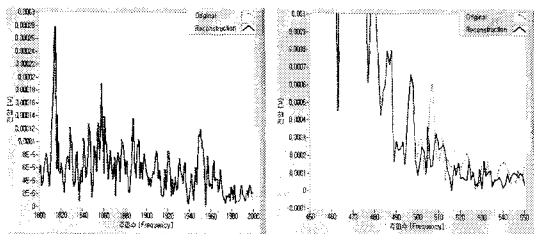
그림 7. 연소진동 데이터 복원에 대한 실험결과, (a)원신호(N=4000), (b)N=500, (c)N=2000, (d)N=3500
Fig. 7 Experimental results for reconstruction of combustion vibration data, (a)original signal, (b)N=500, (c)N=2000, (d)N=3500

그림 8(b)와 같이 원 데이터의 12.5%에 해당하는 데이터를 이용하여 복원을 할 경우에는 저차 성분에 대한 복원은 우수하지만 500Hz를 초과하는 주파수에 대한 결과는 FFT 결과 데이터 수가 작기 때문에 나타나지 않는다. 시정수가 다소 큰 가스터빈의 특성상 연소진동의 제한 범위를 벗어나지 않는 정상상태의 연소진동에서 500Hz를 초과하는 성분은 무시할 수 있다. 따라서 일반적인 가스터빈의 연소시 최소 12.5%에 해당하는 데이터만을 이

용하여 전송속도 및 저장에 요구되는 공간을 충분히 절약할 수 있다.



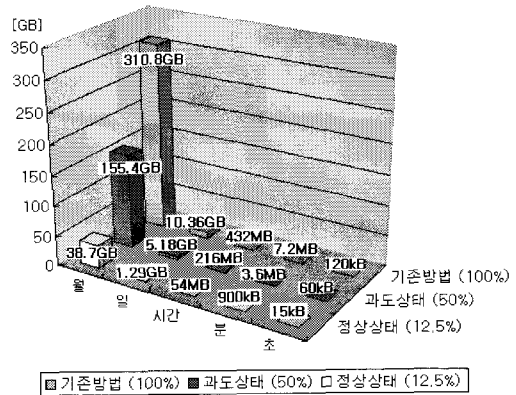
(a) (b)



(c) (d)

그림 8. 연소진동 파형의 FFT 분석 결과, (a)FFT 결과, (b)부분 확대 데이터 개수, N=500, (c)부분 확대, N=2000, (d)부분 확대, N=3500
Fig. 8 FFT analysis result for reconstruction of output voltage waveform at shut-down, (a)FFT result, (b)N=500, (c)N=2000, (d)N=3500

그림 9는 기존의 원 데이터를 모두 저장하는 방법과 본 논문에서 제안하는 방법을 적용한 경우에 요구되는 저장 공간을 비교하였다. FFT 결과 데이터의 사용 양에 따라 구분하였으며 정상상태일 경우 파형의 경향성을 파악하는데 필요한 12.5%, 과도상태일 경우 정확한 원신호로 복원이 필요할 때는 50%, 기존 방법 100%로 저장하는 경우의 파일 크기를 비교하였다. 연소진동 범위를 벗어나지 않는 정상상태 조건에서는 기존의 방식과 비교하여 8배 정도의 저장 공간을 저감할 수 있음을 확인할 수 있다. 연소진동 제한범위를 벗어나는 경우에도 전체 데이터를 모두 받는 기존의 경우와 비교하여 50%의 저장 공간을 절약할 수 있는데, 일반적으로 가스터빈이 제한치를 벗어나는 이상 연소진동 구간이 매우 짧음을 고려하면 우수한 수준임을 알 수 있다.



■ 기준방법 (100%) ■ 과도상태 (50%) □ 정상상태 (12.5%)

그림 9. 데이터 저장 공간 비교
Fig. 9 Comparison of data storage space

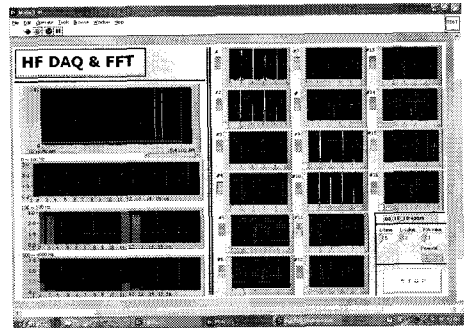


그림 10. 연소진동 모니터링 화면
Fig. 10 Combustion vibration display

그림 10은 제안된 FFT 기반의 데이터 처리 방법이 적용된 연소진동 모니터링 시스템의 화면 구성을 보여준다. 왼쪽 상단 그래프는 연소진동의 시간적 변화를 확인할 수 있는 누적 그래프가 위치하며, 하단은 0-100Hz, 100-500Hz, 500-2000Hz 대역으로 고조파별로 발생되는 크기를 막대그래프로 표시하도록 구성하였다. 오른쪽 16개의 그래프는 최대 16채널의 동압센서로부터 수집되는 데이터의 FFT 결과와 가장 큰 값을 가지는 주파수 값을 수치적으로 제공하도록 구성하였으며, 데이터의 상/하한 값을 설정할 수 있도록 구성하였고, 경계치를 벗어나는 경우에 알람을 발생시킬 수 있도록 구성하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 가스터빈의 연소진동 데이터의 취득/전송/저장/표시를 위한 모니터링 시스템 구현에 있어 적은 양의 데이터 이용으로 통신 속도의 향상 및 데이터 저장 공간을 축소시킬 수 있는 방법을 제시하고 시뮬레이션 및 모의 가스터빈 실험을 통해 검증하였다.

결론적으로 정상상태 운전에서는 FFT 결과의 12.5%, 이상 진동이 발생한 경우에는 FFT 결과의 50% 데이터를 이용하여 모니터링 함으로써 각각 10배, 2배에 해당하는 데이터 저장 공간을 절약할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 전력산업연구개발사업에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] 강필순, 차동진, 정재화, 서석빈, 안달홍, "LabVIEW 기반의 가스터빈 데이터 취득 시스템", 한국해양정보통신학회논문지, 제10권, 제6호, pp. 1083-1097, 2006년 6월.
- [2] 차영범, 구본민, 송도호, 최중경, "가스터빈엔진 최적 제어시스템 구현을 위한 엔진 시뮬레이터 개발", 한국해양정보통신학회논문지, 제11권, 제1호, pp. 75-82, 2007년 1월.
- [3] 강필순, "가스터빈의 데이터 취득 및 모니터링 기술", 전력전자학회지, 제12권 제4호, pp. 67-72, 2007년 8월.
- [4] 심관식, 남해곤, "이산푸리에 변환과 시계열 데이터의 고속 파라미터 추정", 대한전기학회지, 제55A권, 제7호, pp. 265-272, 2006년.
- [5] 김종수, 정원용, 배진호, "지수함수를 이용한 푸리에 위상정보로부터 고속 신호 복원", 신호처리합동학술대회 논문지, 제3권, 제1호, pp. 423-426, 1990년
- [6] 박송배, "회로이론", 문운당, 1996년.
- [7] 임제탁, 이두수, "이산신호처리", 대영사, 1998년.

저자소개



이 상 혁(Sang-Hyeok Lee)

2007년 한밭대학교 제어계측공학 (공학사)

2007년~현재 동대학 석사과정

※관심분야: 전력전자, 전력 IT, 대체에너지 시스템



강 필 순(Feel-soon Kang)

2000년 부산대학교 전기공학 (공학석사)

2003년 부산대학교 전기공학 (공학박사)

2004년 오사카대학 전기공학 Post-Doc.

2004년~현재 한밭대학교 제어계측공학과 조교수

2004년~현재 IEEE Trans. Industrial Electronics Associate

Editor

※관심분야: 전력전자, 전력 IT, 대체에너지