

LabVIEW를 이용한 Exciter 가진시험 모듈 개발

Developing the Excitation Testing Module with LabVIEW

최기수† · 정의봉* · 원성규** · 안세진***

Ki-Soo Choi, Weibong Jung, Sung-gyu Won and Sejin Ahn

Key Words : FFT(고속 푸리에 변환), dynamic characteristics(동적특성), excitation(가진), modal behaviors(모달 거동), frequency analysis(주파수 분석), random excitation(랜덤가진), exciter(가진기), LabVIEW(랩뷰)

ABSTRACT

Fast Fourier Transformation(FFT) is one of the most useful way to analyze response signal for the purpose of grasping the dynamic characteristics of system. Excitation is a factor or process making noise or vibration. It's typical and simple experimental method widely used for catching hold of dynamic peculiar characters and modal behaviors of system by frequency analysis. There are harmonic excitation, impact excitation, random excitation, sweep excitation, chirp excitation and so on as the ideal method in an experiment using exciter. In this thesis, excitation testing module for NI-PXI equipment is developed. The analyzing module is developed with LabVIEW tool. A user can generate each waveform for shaking a structure and see quickly and easily modal shape of system with this module. This developed module will be expected to build up more convenient and serviceable measurement system.

1. 서 론

모든 물체는 각기 다른 고유한 성질들을 가지고 있다. 주파수 분석은 시간 신호에 대한 어떤 물체의 응답유무 및 변화양상을 주파수 대역으로 변환하여 그 물체가 가지는 고유 특성을 분석하고 해석하는 것을 의미한다. 이렇게 분석되어진 신호는 공진에 의해 특정 주파수에서 크게 반응하는 것을 볼 수 있는데, 이러한 지점을 고유진동수 또는 공진주파수라고 하며 이런 고유진동수들을 이용하여 모드해석을 하게 된다.⁽¹⁾ 실제로 대부분의 소음, 진동 문제들은 작동될 때의 힘들이 하나 또는 더 많은 진동 모드를 가진 시키는 공진 현상과 관련이 있다. 가동 상태 시 동적인 힘들의 주파수 범위 내에 있는 진동 모드들은 항상 잠재적인 문제성을

내포하고 있다. 모드 해석은 시험이나 해석적 기법을 통해서 이루어 질 수 있다.⁽²⁾ 본 논문에서는 모드 해석을 위한 기초적인 이론 및 시험방법을 소개하고 이를 토대로 LabVIEW를 이용하여 Exciter 가진시험 모듈을 개발하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 신호처리

주파수 분석에 가장 널리 사용되는 것으로 푸리에 변환이 대표적이다. 일반적으로 어떤 신호 $x(t)$ 가 주기 T 인 주기함수이면 식 (1), (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$x(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos n\omega_0 t + B_n \sin n\omega_0 t), \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$
$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{in\omega_0 t} \quad (1)$$

$$\text{단, } C_n = \frac{A_n - iB_n}{2} = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \left(\frac{\cos n\omega_0 t - i \sin n\omega_0 t}{2} \right) dt$$
$$= \frac{1}{T} \int_0^T x(t) e^{-in\omega_0 t} dt \quad (2)$$

† 부산대학교 대학원 기계공학부
E-mail : kisoojang@empal.com
Tel : (051) 510-3088, Fax : (051) 517-3805

* 정회원, 부산대학교 기계공학부

** 부산대학교 대학원 기계공학부

*** 르노삼성자동차

식 (1), (2)에서 삼각함수로 표현된 시간 신호는 기본적으로 진폭과 주파수, 위상 3가지의 정보를 포함하게 되는데, 이 정보들은 시간 축 그래프에서 그다지 효율적이지 못하다. 이를 보완하기 위해 입력된 시간신호의 주파수를 분석하여 신호에 포함되어 있는 여러 주파수 성분을 분리해낼 수 있다. 이렇게 변환된 값은 복소수 형태로 바꿔 측정된 변위나 속도, 가속도 등의 물리량을 주파수 대역에 대해서 식 (3)~(9)와 같은 스펙트럼 형태로 표현할 수 있다.

① Autospectrum

$$G_x(\omega) = E[S_x(\omega)] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^*(\omega) X_i(\omega) \quad (3)$$

② Cross spectrum

$$G_{xy}(\omega) = E[S_{xy}(\omega)] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^*(\omega) Y_i(\omega) \quad (4)$$

③ Coherence

$$\gamma^2 = \frac{|S_{xy}(\omega)|^2}{S_x(\omega) S_y(\omega)} = \frac{|G_{xy}(\omega)|^2}{G_x(\omega) G_y(\omega)} \quad (5)$$

④ FRF (Frequency Response Function)

$$H_1(\omega) = \frac{G_{xy}(\omega)}{G_x(\omega)} \quad (6)$$

$$H_2(\omega) = \frac{G_y(\omega)}{G_{yx}(\omega)} \quad (7)$$

$$H_3(\omega) = \frac{H_1(\omega) + H_2(\omega)}{2} \quad (8)$$

$$H_v(\omega) = \sqrt{H_1(\omega) H_2(\omega)} \quad (9)$$

이러한 스펙트럼은 시간 영역 신호에서는 명확하지 않던 중요한 정보를 주파수 영역에서 제공해주어 신호의 특성을 파악하고 결정할 수 있다. 또한 원하지 않는 간섭 요인이나 노이즈로부터 원하는 신호를 파악할 수 있고, 임펄스 또는 계단 함수 등의 입력에 의해 변화되는 시스템의 반응을 측정해 주파수에 대한 동적특성 파악이 가능하다.

2.2 가진(Excitation)

가진(Excitation)이란 소음/진동 현상을 발생시키는 원인이나 과정을 통칭한다. 이렇게 물체를 가진함으로써 구조물의 응답을 통해 해당 주파수에서의 반응여부를 파악할 수 있게 된다. 특정 주파수에서 구조물의 반응이 크게 나타난다면 공진현상으로 판단할 수 있다.

실험에서 쓰이는 이상적인 가진 방법으로는 조화가진(harmonic excitation), 충격가진(impact excitation), 랜덤가진(random excitation), 소인가진(sweep excitation), 주기함수가진(chirp excitation) 등이 있다. 정현파 시험이 상대적으로 값이 싸고, 기기 구성이 단순하기 때문에 단연 가장 널리 사용되는 진동 시험이기는 하나, 랜덤 가진법이 훨씬 더 실제 환경에 근사하다. 정현파 시험에 있어서는 한 번에 단지 한 주파수만이 가진되므로 공진들간의 상호영향은 감지되지 못한다. 랜덤 시험의 또 다른 이점은 동시에 모든 공진들에 대해 작용하므로 내구 시험 기간이 짧다는 점이다. 값이 비싸고 복잡한 점 때문에 랜덤 시험법이 널리 사용되지 못하고 있으나, 재현성에 대한 요구가 적을 때에는 미리 계산된 스펙트럼을 테이프에 녹음 사용함으로써 자동 균등화 없는 가진법을 사용하는 절충안도 있다. 단순한 피드백 제어와 랜덤 시험의 장점 중 많은 것을 결합시킨 방법의 하나가 협대역 소인(Swept Narrow Band) 기법이다. 표준적인 정현파 제어에서 단일 주파수 신호 대신 랜덤대역 신호로 하고, 전체 진동 레벨은 제어압기(Compressor)에 의해 제어한다. 상당히 좁은 대역폭으로 하면 낮은 감진 공진에 대해서는 만족스런 제어가 가능하다.⁽³⁾

가진시험을 위해 가진기를 사용하게 된다. 이는 인위적으로 진동을 발생시키기 위한 장치나 기계 구조를 의미하며 shaker 라고도 한다. 전기적인 신호를 입력으로 하여 이 파형을 기계적인 변위나 힘으로 변환시켜주는 구조로 되어 있다. 가진기에서 생기는 힘은 주로 전류(RMS값)의 가열효과에 의해 제한되는 반면에 파워 증폭기의 정격은 피크값의 영향을 받는다. 따라서 랜덤 신호를 사용할 때 정현파 가진에서와 같은 힘을 내려면 증폭기 용량이 더 커야 한다. 스펙트럼은 그 파워 스펙트럼 밀도나 가속도 스펙트럼 밀도(Acceleration Spectral Density ASD)에 의해 표시된다. 이것을 제어하여 형태를 구성하기 위해 진동은 협대역 분석기에 의해 분석하여 각 대역폭(Bandwidth)에 제어기 루프를 걸어야 한다. 보통 푸리에 변환에 근거한 디지털 기법이 쓰이며, 그 제어는 균등화(Equalization)라 불리는 과정을 컴퓨터에 의해 수행한다. 가진기의 랜덤 용량은 국제 표준 ISO 5344에 따라 모양이 정해진 스펙트럼의 여러가지 다른 하중에 대한 최대 가속도 스펙트럼 밀도에 의해 정의된다.⁽⁴⁾

3. 가진시험 모듈

가진시험 모듈은 크게 Fig. 1과 같이 지정된 함수파형을 출력단자를 통해 밖으로 내보내 시험하고자 하는 구조물과 접해있는 가진기를 작동시키는 Generator 부분과 Fig. 2와 같이 가진기에 의해 힘이 전달된 구조물의 응답여부를 측정하여 전달함수 등의 주파수 응답함수를 구하고 분석하는 FFT Analyzer로 구분할 수 있다. Generator는 설정된 함수파형을 발생하여 외부로 출력하는 역할을 한다. 여기에서는 가진시험에서 가장 많이 사용되는 가우스 분포를 이루는 랜덤(white noise) 함수를 비롯하여 기본적인 주기(sine) 함수, 소인(swept sine) 함수 등을 구현할 수 있다. 이렇게 Generator에서 생성된 함수는 D/A 변환을 거쳐 스피커나 가진기를 통해 해당하는 파형으로 출력된다. 구조물에 전달된 신호는 외력으로 작용하여 구조물을 가진하게 되고, 구조물에 부착된 센서에서 응답반응을 측정하면 계측기에서는 수집된 데이터를 분석하고 해석하게 된다. FFT Analyzer는 아날로그 신호를 A/D 변환하여 시간 영역의 신호를 주파수 영역에서 해석하여 분석하는 계측장비이다. 두 개의 채널을 가지는 계측기에 대한 전반적인 알고리즘은 Fig. 3과 같다.⁽⁶⁾ 계측기를 통해 수집된 데이터는 푸리에 변환되어 주파수 대역에 대한 값으로 표현된다. 일반적으로 가진 파형은 전기적으로 발생되거나 디지털 방식으로 합성되어 전자식 가진기를 구동시키는 전력 증폭기에 공급된다. 현대의 분석 장비는 파형 발생기가 내장되어 있고 분석과 함께 연동되어 작동된다. 사용자의 편의에 따라, 혹은 시험환경에 따라 선택된 가진 신호는 기본적으로 시간에 따라 연속적인 파형이나, 레코드 길이가 유한이어서 누설 오차가 발생할 수 있다. 이들 오차는 매 레코드에서 데이터의 부드러운 시작과 끝을 만드는 창함수 또는 가중 방법

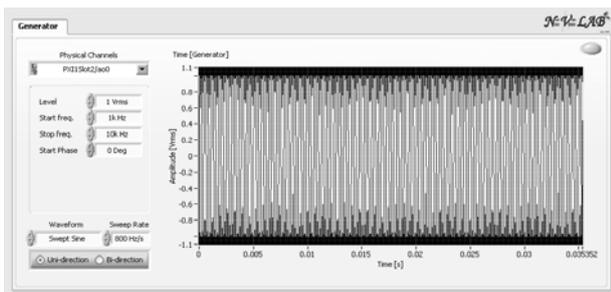


Fig. 1 Generator module

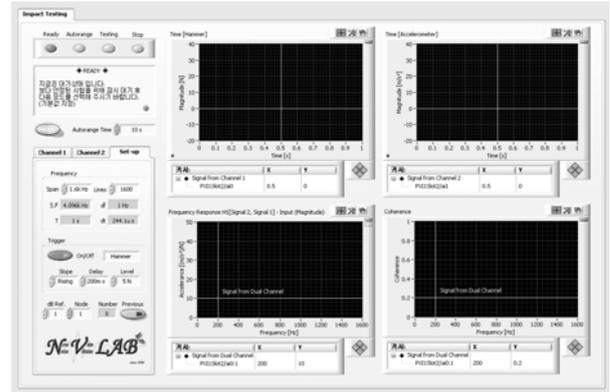


Fig. 2 FFT Analyzer module

(Weighting)을 써서 최소화할 수 있다. 일반적으로 랜덤 데이터를 사용하는 경우 가장 좋은 가중 함수(Weighting Function)은 Hanning Window이다.⁽⁶⁾ 분석된 스펙트럼에는 수집된 원래의 신호에 노이즈가 더해져 오차가 함께 포함되므로 여러 번 평균하면 오차를 줄여나갈 수 있다. 평균된 데이터로 전달함수를 구하면 시스템의 주파수 특성을 알 수 있어 가진에 의해 구조물이 응답하면서 발생하는 고유진동수를 파악하여 검증된 해석 모델을 얻을 수 있다. 이는 대상 시스템에 다른 임의의 입력이 주어졌을 때도 신뢰성 있는 출력을 구할 수 있고 그 결과를 설계에 이용할 수 있다. 가진시험의 방법은 출력함수를 달리하며 구조물의 응답을 분석한 스펙트럼을 서로 비교하였다. LabVIEW를 이용하여 개발한 모듈은 Fig. 4와 같다. 이는 기본적으로 Generator 함수 발생기능과 FFT Analyzer의 분석 기능을 합쳐 한 모듈 안에서 구현한 것과 같은 원리이다.

개발한 가진시험 모듈의 프론트패널은 Fig. 5와 같이 크게 두 부분으로 나뉜다. 먼저 위의 그림에서 왼쪽은 함수 파형을 출력하거나 응답 신호를 입력받는 채널 및 그래프 설정을 위한 창이다. 여기에서는 계측기에서의 물리적 채널과 신호 특성

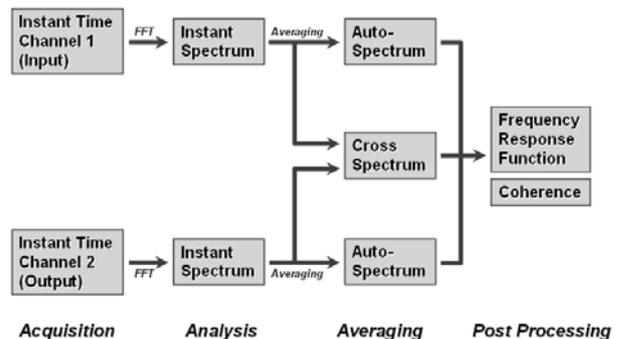


Fig. 3 Principle of signal processing

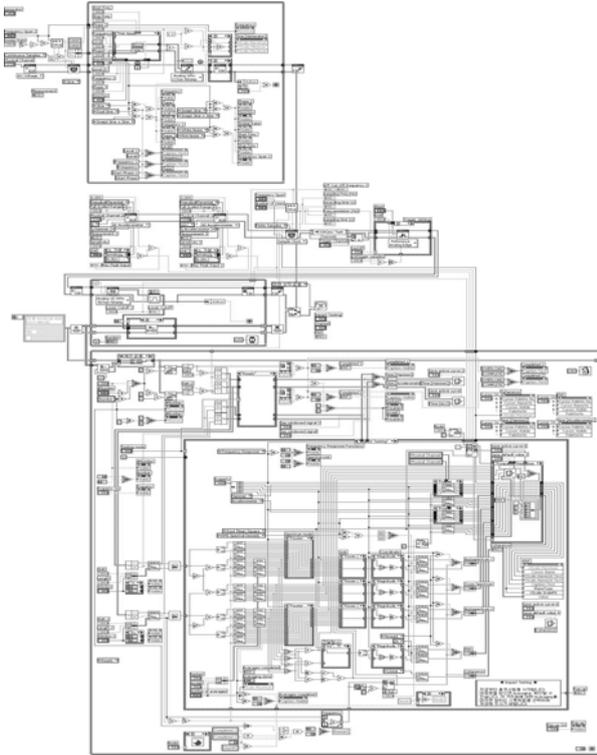


Fig. 4 The block diagram of developed module

등을 입력하고 조절할 수 있다. 뿐만 아니라 좌표 계나 분석된 데이터의 스케일, 스펙트럼의 단위 등의 변경이 가능하도록 제작하였다. 오른쪽은 분석된 결과를 화면에 출력해주는 부분으로 시간 영역의 신호와 수집된 데이터를 분석한 주파수 영역의 데이터를 실시간으로 보여주게 된다. 각 그래프 창 아래에는 데이터 저장을 위해 컨트롤 버튼을 두어 원하는 때에 원하는 결과를 텍스트 형식의 파일로 저장할 수 있다. 시간 신호에 별다른 문제가 없을 시에는 FFT된 데이터를 차레대로 누적한 후 다음 분석된 값과 평균하여 스펙트럼으로 표현하게 된

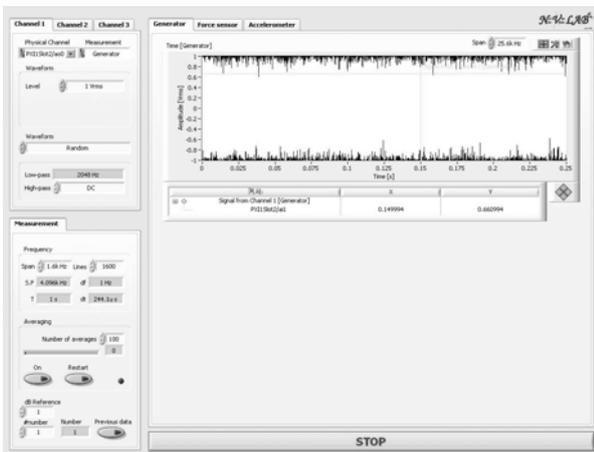


Fig. 5 The front panel of developed module

다. 만약 가진이 일정하지 않거나 예상치 못한 외력 또는 노이즈로 인해 시스템의 상태가 불안정한 경우, 혹은 Δf 에 의해 resolution bias error가 발생하면 coherence 값이 심하게 변동하게 되는데, 이때는 그때까지의 평균값을 초기화하여 다시 시작한다.

4. 결과 분석 및 비교

계측 후 일련의 변환과정을 거쳐 해석된 값의 신뢰성을 위해 같은 조건 하에서 기존에 사용하던 장비(PULSE)와 개발한 모듈이 탑재된 NI-PXI 446X series를 연결한 후 테스트를 하고, 계측된 값을 비교한 결과를 Fig. 6~9에 걸쳐 나타낸다. Fig. 6은 균일한 화이트 노이즈 함수를 발생시켜 구조물을 가진 후 힘 센서와 가속도 센서에서 그 응답을 측정하여 얻은 결과를 표현한 것이고, Fig. 7은 이 결과를 로그 스케일로 나타낸 것이다.

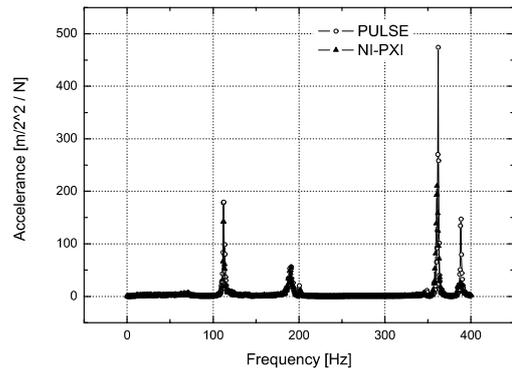


Fig. 6 Comparison of analyzed data at PULSE (Excitation: random, Scale: linear)

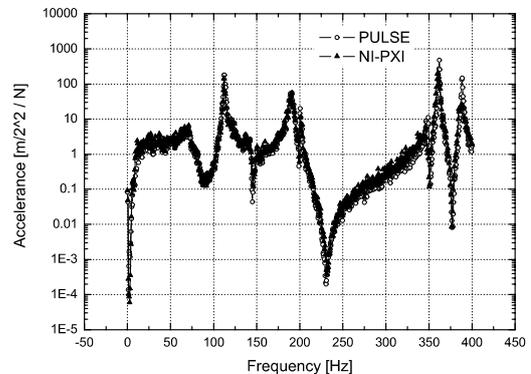


Fig. 7 Comparison of analyzed data at PULSE (Excitation: random, Scale: logarithm)

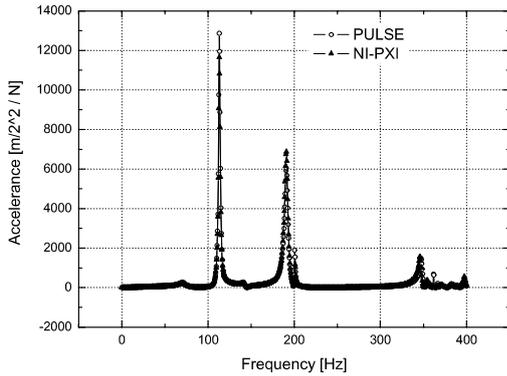


Fig. 8 Comparison of analyzed data at PULSE
(Excitation: swept sine, Scale: linear)

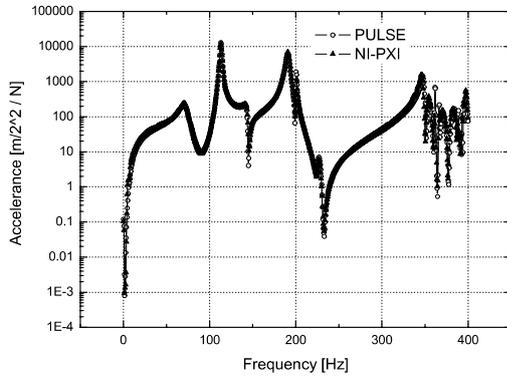


Fig. 9 Comparison of analyzed data at PULSE
(Excitation: swept sine, Scale: logarithm)

Fig. 8은 소인함수(Swept sine)를 이용하여 파형을 발생시킨 후 분석한 결과이며 마찬가지로 같은 결과를 로그 스케일로 표현하여 Fig. 9에 나타내었다. 각 스펙트럼을 통해 기존의 계측기에서 측정 한 값과 개발한 모듈로 측정하고 분석한 데이터가 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 두 계측기 모두 시험한 구조물의 고유진동수를 잘 표현해주고 있으며, 해당 주파수에서의 주파수응답함수 값 역시 잘 일치함을 볼 수 있다. 특히 각 실험에 대해 평균한 전달함수를 로그 스케일로 표현한 Fig. 7과 Fig. 9에서 오차가 거의 없을 정도로 동일한 성능을 보여주고 있음을 알 수 있다. 위의 결과들을 미루어 볼 때 가진시험에 대해 기존의 장비를 충분히 대체할 수 있을 것으로 보인다.

5. 결 론

본 논문에서는 LabVIEW를 이용하여 개발한 가진시험 모듈을 개발하고 기대효과 및 적용가능성 등을 살펴보았다. 기존의 장비와 비교했을 때 계측된 값의 차이가 거의 없었을 뿐만 아니라 상대적으로 비용이 저렴하고 부피가 작아 개선된 실험환경을 만들 수 있었다. 또한 실제로 실험을 하면서 전반적인 실험순서의 구성이나 실험 안내, 데이터 저장방식, 화면표시방법 등 기존 장비에서 부족하거나 불편한 부분들을 모듈에 반영하였기 때문에 사용자 인터페이스가 훨씬 쉽고 편리하게 구성할 수 있었다. 이 모듈을 개발하면서 신호처리 및 FFT 분석기의 기본적인 구동원리를 이해할 수 있었고, 앞으로 필요한 부분들을 더 추가하면 고가의 계측장비 못지않게 좋은 실험 모듈이 될 것으로 전망한다.

참 고 문 헌

- (1) S. S. Rao, 1995, "Mechanical Vibrations," third edition, Addison-Wesley.
- (2) R. B. Randall, B. Tech, 1987, "Frequency analysis," revision, Brüel&Kjær.
- (3) R. B. Randall, B. Tech, 1987, "Vibration & Noise: Principle and Practice," Brüel&Kjær.
- (4) N. M. M. Maia, 1998, "Theoretical & Experimental Modal Analysis, Research Studies Press LTD.
- (5) Kim. S. J., 1987, "Mechatronics series ⑧ Introduction of signal processing," Daelim.
- (6) Choi. H. J., 2006, "Fourier analysis for a beginner," Kyowoo.