

## 원자로구조물진동측정장치의 특성개선

리금산, 로광철

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《대학들에서는 자력갱생의 혁명정신을 발휘하여 자체로 지금 있는 교육설비들과 과학연구설비들을 현대화하고 새로운 실험실습설비와 기재들을 개발하며 교과서와 참고서 적도 많이 만들어내야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제18권 461페이지)

원자로구조물진동측정장치 《진동 1.0》은  $1\text{m/s}^2$ 이하의 진동에 대한 감도가 낮고 USB-RS232변환기를 리용한 통신방식을 리용하며 저주파차단주파수가 23Hz로서 측정감도가  $100\text{mV/g}$ 이하인 일반압전진동가속도계로써는 원자로동체진동과 같은 10Hz이하의 구조물진동에 대한 실시간감시측정을 실현할수 없다.[1] 또한 전용USB조종기나 USB-RS232변환기에 의한 컴퓨터결합방식은 자료수집속도가 제한되고 LabVIEW의 NI-VISA기능을 리용할수 없으며 측정 및 분석용 상위프로그램의 표준화를 실현하기 힘든 부족점을 가지고있다.[3, 4] 이로부터 논문에서는 측정감도, 저주파특성, 분석기능이 개선된 《진동 2.0》의 연구결과에 대하여 서술하였다.

### 1. 측정장치성능개선

로심지지구구조물, 연료요소집합체와 같은 원자로구조물들의 력학적진동주파수가 2~25Hz이므로 원자로구조물진동측정장치의 가장 기본적인 성능지표는 저주파차단주파수이다.[2] 이로부터 먼저 가속도-전압변환회로의 증폭기에서 전자회로설계지원프로그램 Altium의 교류신호해석모의를 진행하여  $R_1, R_2, R_3, C_3$ 의 요소값들을 합리적으로 선택하고 증폭리득을 60dB로 보장하면서 저주파차단한계를 종전의 23Hz로부터 3Hz로 낮추었다.

다음으로 증폭결수를 10:100:1 000으로 절환하도록 하여 가속도가 1~50g, 진동주파수가 3~200Hz인 진동신호들에 대하여 충분한 선형성과 감도를 보장하면서 10~1 000mV/g의 감도를 가진 여러가지 제품화된 수감요소를 리용할수 있게 하였다.(그림 1)

진동기로  $1\text{m/s}^2$ 의 가속도를 가진 10Hz의 진동신호를 주고 동일한 측정조건에서 오실로그래프를 리용하여 얻은 표준화된 압전가속도수감요소 Kistler 8687A5, 증폭기 5118B와 개선된 《진동 2.0》의 실시간파형을 비교할수 있다.(그림 2)

그림 2에서 알수 있는바와 같이 두 측정장치는 일정한 위상차는 있지만 진폭-주파수특성은 잘 일치한다.

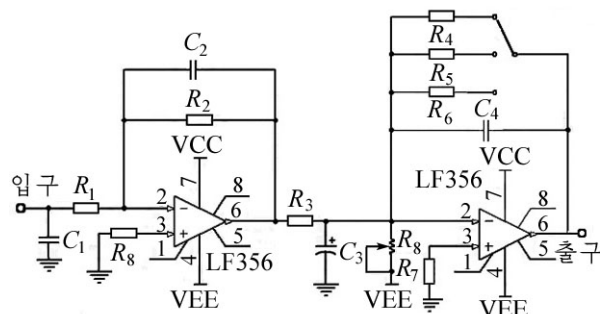


그림 1. 진동신호변환체계구성

다음으로 개선하여야 할 중요한 성능지표는 실시간측정과 분석을 실현할수 있도록 자료수집속도와 질을 높이는것이다. 이로부터 한소편컴퓨터의 USART기능과 USB—SERIAL 2303, Cypress계렬의 EZ—USB FX2와 같은 전용USB조종기를 리용하던 종전의 조종 및 통신방식을 PIC18F4550의 직결USB통신방식으로 바꾸어 LabVIEW의 전용NI—VISA장치로 리용하도록 하여 개발비용과 장치규모를 줄이면서도 통신속도를 12Mbps까지 높일수 있게 하였다. 또한 RS232비동기통신방식을 리용하던 종전방식에서 벗어나 USB새치기사건응답방식을 도입하여 직결자료해석과 자료수집체계의 성능을 개선하고 분산형측정체계를 구성할수 있는 토대를 마련하였다.(그림 3)

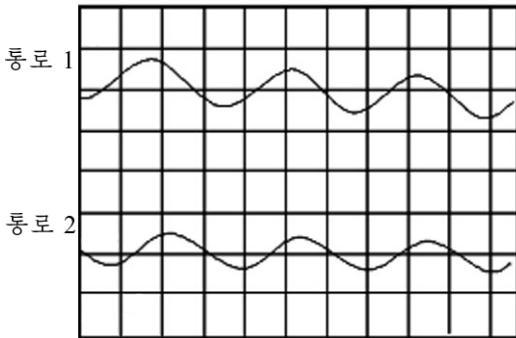


그림 2. 《진동 2.0》과 표준수감요소의 파형비교

통로 1—《진동 2.0》, 전압척도 0.2V,

통로 2—Kistler 8786A5, 전압척도 2V

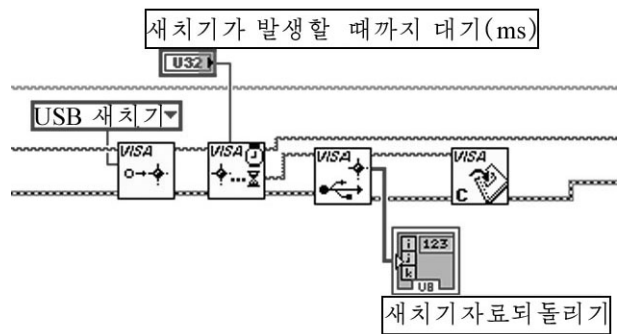


그림 3. USB새치기를 리용한 자료수집

## 2. 해석기능개선

원시자료의 연시 및 보관, 수자료파기를 리용한 평활과 려파, FFT와 출력스펙트르밀도(PSD)해석에 의한 실시간주파수—진폭해석, 봉우리검출과 현시, 해석결과보관 등 다양한 기능을 가진 원자로구조물진동해석지원프로그램을 LabVIEW환경에서 개발하였다. 새롭게 해결한 내용은 다음과 같다.

첫째로, 이동평균려파기를 리용하여 표본화주파수를 프로그램적으로 낮추는 방법으로 주파수분해능을 유지하면서 신호의 자료량을 감소시켜 자료의 해석시간을 단축하면서도 출력스펙트르밀도와 간섭성함수해석에서 서로 다른 표본화주파수로 표본화된 두 신호의 시간분해능을 일치시킬수 있게 하였다.

표본화주파수를 낮추기 위하여 다음식으로 표시되는 이동평균려파기를 리용하였다.

$$Y_i = \frac{1}{S} \sum_{k=Is+1}^{(i+1)s} X_k$$

여기서  $X_k$ 는 표본화주파수  $F_s$ 로 표본화된 신호,  $Y_i$ 는 표본화주파수  $f_s$ 로 표본화된 신호,  $S = F_s / f_s$ 는 평균점의 개수( $F_s > f_s$ )이다.

둘째로, 유한임펄스응답려파기를 리용하여 등맥동협대역려파기를 설계하여 3kHz이상의 고주파잡음을 제거하였다.

셋째로, 보간려파기와 영상제거려파기를 결합한 협대역려파기를 설계하여 계산시간을 1/10로 줄이고 65dB의 신호대잡음비를 보장하면서도 저주파대역에서 주파수분해능의 상대오차를 0.1%까지 낮추었다.

### 3. 결 과 분 석

조화파발진기에 의하여 구동하는 진동기를 리용하여 2~200Hz범위에서 진동가속도를 변화시키면서 진동스펙트르분석을 진행하였다.(그림 4) 그림 4에서 보는바와 같이 10~130Hz범위에서 좋은 주파수분해능을 가지며 증폭리득은 60dB이상이다.

그러나 10Hz이하에서는 증폭리득이 3dB로 감소하며 3Hz이하에서는 봉우리가 갈라지지 않았다. 원인은 진동모의장치의 고유주파수가 3Hz로 제한되고 러파기의 고역차단주파수를 130Hz로 설정한데 있다.

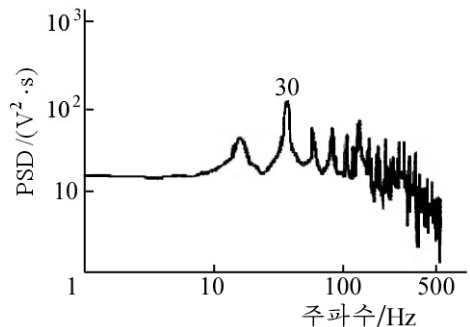


그림 4. 출력스펙트르밀도(PSD)해석결과

### 맺 는 말

1) 전하증폭기의 특성을 개선하여 저역차단한계를 3Hz로 낮추고 1~50g 가속도범위에서 10~1 000mV/g의 감도를 가진 여러가지 가속도수감요소를 리용하는 경우 해석결과의 규격화를 실현할수 있도록 증폭범위를 60dB로 확장하고 그 특성을 실험적으로 확증하였다.

2) PIC18F4550의 직결USB통신방식을 적용하여 측정장치를 LabVIEW의 NI-VISA장치로 전환하여 장치규모를 줄이면서도 통신속도를 12Mbps까지 높이고 원자로진동측정의 표준화를 실현할수 있게 하였다.

3) LabVIEW의 다양한 수자신호처리기능모듈들을 리용하여 진동측정과 해석의 믿음성을 높이고 다기능화와 실시간화를 실현하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] 김일성 종합대학학보(자연과학) 63, 4, 81, 주체106(2017).
- [2] K. Joakim; Development and Application of Reactor Noise Diagnostics, Chalmers University of Technology, 5~22, 43~52, 1999.
- [3] C. L. Clark; LabVIEW Digital Signal Processing and Digital Communications, McGraw-Hill, 1~30, 2005.
- [4] D. Ibrahim; Advanced PIC Microcontroller Projects in C, From USB to RTOS with the PIC18F Series, Elsevier, 409, 2008.

주체108(2019)년 12월 5일 원고접수

## **Improvement of Some Characteristics in Nuclear Reactor Internal Vibration Measuring Instrument**

*Ri Kum San, Ro Kwang Chol*

In order to realize normalization of analysis results for various type of accelerators sensors with sensitivity  $10\sim 1000\text{mV}$  within acceleration range of  $1\sim 50\text{g}$ , we have enabled gain of the charge amplifier to be regulated  $0\sim 60\text{dB}$ .

Applying on-line USB communication and microprocessor PIC18F4550 and converting measuring device into NI-VISA device, we have increased communication rate up to 12Mbps and normalized nuclear reactor internal vibration measuring.

In addition, by using powerful digital signal processing function of LabVIEW, we have improved reliability and realized multifunction and on-line in measuring and analyzing of nuclear reactor internal vibration.

Keywords: vibration measuring, nuclear reactor internal vibration