

Check Valve 상태감시를 위한 통신 및 센서신호처리 기능 구현

Realization of Communication and Sensor Signal Processing Technique for Condition Monitoring of Check Valve

전정섭*, 조재근*, 김정수**, 유준*

* 충남대학교 전자공학과(전화:(042)823-3533, 팩스:(042)821-2045, E-mail : mukkeby@cnu.ac.kr)

** 한국원자력연구소 (전화:(042)868-2924, E-mail : jskim@hotmail.com)

Abstract : This paper presents a realization of sensor signal processing(noise filtering) and Fieldbus based communication for condition monitoring of check valve. we first acquired the AE(Acoustic Emission) sensor data at the KAERI check valve test loop, and their frequencies were analyzed to find the infirmative band. To reject background noises, bandpass filters have been designed. Also, to send the processed data to a remote site, wired communication facility has been realized via DeviceNet.

Keywords : Check Valve, Smart Sensor, Noise Filtering, DeviceNet

1. 서론

원자력발전소와 같은 대형구조물은 여러 기기 및 시스템들로 구성되어 있다. 특히 대형 구조물 또는 이와 관련된 기기를 On-line으로 진단하기 위해서 원자력 발전소에는 여러 감시시스템 등이 설치되어 있다. 이러한 원전 기기 상태 감시 시스템에서 고장유형과 직접적인 관계가 없는 현장의 여러 가지 잡음을 제거 하는 것은 대단히 중요하다.

그러나 기존의 감시시스템에서 채택중인 신호처리 필터를 살펴보면, 대부분이 발전소의 특성 등을 고려하지 않고 일률적으로 동일한 필터 등을 이용하고 있기 때문에 각 발전소의 센서별 설치 위치 및 배경잡음의 특성이 상이하여 배경잡음을 효과적으로 제거하지 못하고 있는 실정이다.[1]

본 논문에서는 이를 위하여 원전의 구조물중에서 Check Valve의 상태감시를 위한 신호처리 및 유선통신 시스템을 구현하였다. 먼저 실제 원자력 발전소와 비슷한 실험환경에서 A.E.(Acoustic Emission)센서를 이용하여 Check Valve의 고장 유형별로 신호를 취득하고 취득 데이터를 이용하여 발전소의 배경잡음 특성을 분석하였다. 이를 바탕으로 필터를 설계하고 측정 데이터에 적용하여 결과를 비교 분석하였다. 또한 데이터를 원거리에서 모니터링 하기 위하여 필드버스의 하나인 DeviceNet과 신호처리 기법을 이용하여 Check Valve 상태감시 시스템을 구현하였다.

II. Check Valve 상태감시 시스템 개요

Check Valve 상태감시 시스템은 정상운전 중에 원전

중요기기 중 하나인 Check Valve의 상태를 온라인 모니터링 하는 시스템이다. 즉, Check Valve에 부착되어 있는 센서로부터 Check Valve의 상태정보를 가지고 있는 데이터를 취득하여 신호를 A/D 변환하여 고장진단에 필요하지 않은 잡음성분을 제거하고, 이 데이터를 센서와 멀리 떨어져 있는 분석컴퓨터로 데이터를 전송하는 것이다.

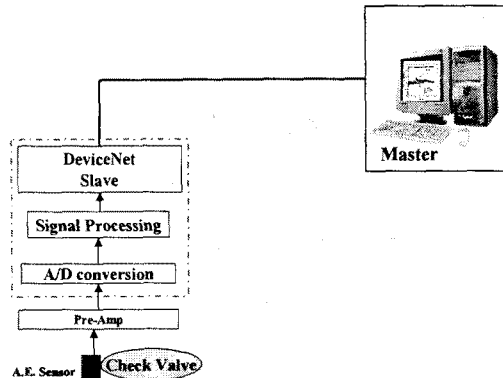


그림 1. Check Valve 상태감시 시스템
Fig. 1. Check Valve condition monitoring System

1. 데이터 전송방법

Check Valve 상태감시 시스템에 사용하는 AE센서는 주파수 대역이 50KHz - 300KHz이므로, 기본적인 신호 분석을 위해서는 Sampling rate가 1Msample/sec이상 되어야 한다. 그런데 1Msample/sec로 측정된 데이터를 전부 전송하려면 전송데이터가 네트워크의 전송한계를 초과하

기 때문에 데이터의 손실이 불가피하다. 그래서 데이터를 전부 전송하지 않고 분석을 위해 필수적인 최소한의 데이터만을 주기적으로 전송하는 방법을 사용하였다.

기존 시스템(MISTRAS 2001)의 경우 고장 분석을 위해 1msec의 데이터만 사용하고 있다. 이를 참고로 하고 고장 해석을 위해 되도록 충분한 양의 데이터가 필요하다는 요청을 받아 10msec의 데이터를 전송하도록 하였다.

◎ Minimum data size :

$$1\text{Msample/s} \times 12\text{bit/sample} \times 10\text{msec} = 120\text{kbit}$$

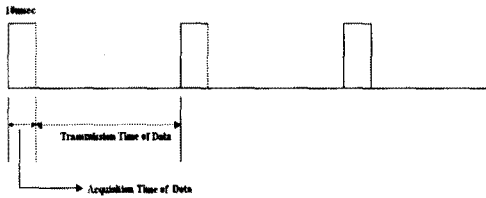


그림 2. 데이터 전송방법
Fig. 2. Transmission Method of Data

2. Check Valve

원자력 발전소의 발전설비의 경우, 안전시스템의 적절한 제어를 위하여 다양한 형태의 밸브가 도입되어 사용되고 있다. 그 중에서 Check Valve는 원자력 안전 시스템에서 가장 광범위하게 사용되고 있다.[2] 일반적인 Check Valve의 구조가 그림 3에 나타나 있다. 실험에 사용된 Check Valve는 Swing type이다.

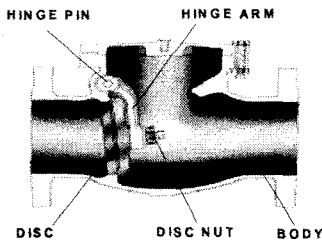


그림 3. 체크밸브 구조
Fig. 3. Structure of check valve

III. 신호측정 및 필터링 적용결과

1. 데이터 측정

배경잡음 유형분석과 고장 유형분석을 위하여 원자력 발전소에서의 배관의 균열 탐지나 밸브 손상유무, 누설검사 등에서 널리 이용되고 있는 AE센서를 사용하였다.

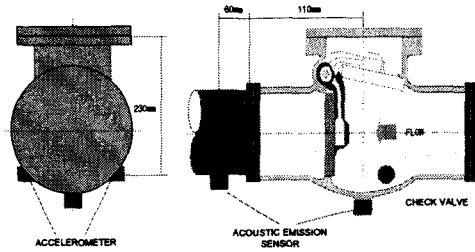


그림 4. 센서 부착위치
Fig. 4. Sensor position

원전 가동 시와 유사한 테스트 루프에서 인위적인 고장을 발생시켜 고장유형에 따라 신호를 측정하였다. 고장유형은 Check Valve 고장유형 중 가장 빈번한 고장률을 갖는 Disk Wear와 Foreign object에 의한 누수의 2가지 유형에 대하여 실험하였다.[3] 여러 번의 실험을 통해 고장유형 분석을 위해서 가장 적절하다고 결정된 측정 센서 위치는 그림 4과 같다. 공진형 AE센서의 주파수대역이 50KHz - 300KHz이고 중심주파수가 150KHz이므로 측정 시 sampling rate를 1Msample/sec로 하였다.

2. 측정신호 분석

측정된 신호의 분석을 통해 제거되어야 할 배경잡음의 특성을 찾아내었다. 그림 5,6,7에서 알 수 있듯이 고장이 없는 상태의 신호와 고장 상태의 신호로부터 25KHz이하의 저주파영역에서 공통적인 바이어스 성분이 존재함을 알 수 있다.

3. 배경잡음 제거 필터 설계 및 적용결과

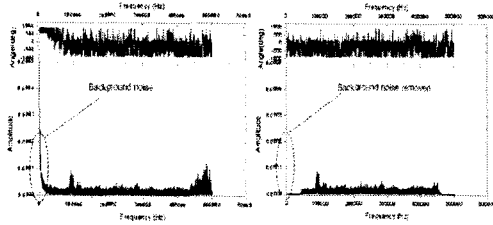
노이즈 대역이 0-25KHz이므로 고장신호의 주파수대역을 고려하여 필터의 통과 대역은 50KHz ~ 450KHz로 설계하였다. 그리고 저지대역의 경우 필터의 차수를 고려하여 25KHz이하 및 460KHz이상으로 설계하였으며, 통과대역 변수는 0.5dB, 저지대역 변수는 20dB로 설계하였다. 이러한 조건으로 버티워스, 체비셰프, 역체비셰프, 타원 필터 각각에 대하여 설계하였다. 설계결과가 표 1에 나타나 있다.

표 1. 주파수 영역에서의 필터 설계
Table 1. Filters in the Frequency domain

필터종류	차수
Butterworth Filter	15
Chebyshev Filter	6
Inverse Chebyshev Filter	6
Elliptic Filter	4

설계된 필터들을 측정데이터에 적용하였다. 그 중에서 버티워스 필터를 통과한 신호의 FFT결과가 그림

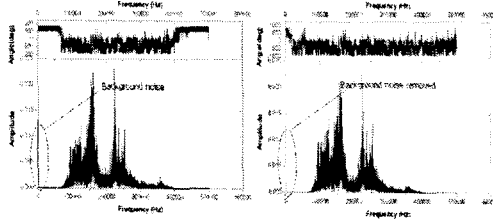
5,6,7에 나타나 있다. 통과대역 밖의 신호가 제거된 것을 알 수 있다. 다른 필터들의 경우도 배경잡음 성분이 제거되었다.



(a)필터링 전 (b)필터링 후

그림 5. 필터 전, 후 신호의 FFT(normal)

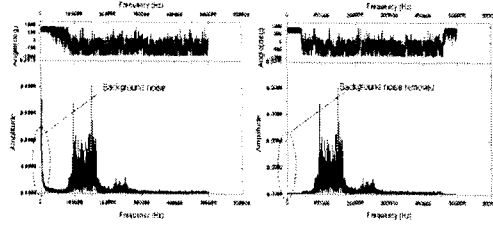
Fig. 5. FFT of Raw and Filtered Data(Normal)



(a)필터링 전 (b)필터링 후

그림 6. 필터링 전, 후 신호의 FFT(Disk wear)

Fig. 6. FFT of Raw and Filtered Data(Disk wear)



(a)필터링 전 (b)필터링 후

그림 7. 필터링 전, 후 신호의 FFT(Foreign object)

Fig. 7. FFT of Raw and Filtered Data(Foreign object)

4. 필터 성능 비교/분석

정상상태의 신호에 대한 고장상태신호의 SNR을 (1)의 식으로 구하여 필터의 성능을 비교하였다. 각 필터에 측정신호를 적용한 결과로 계산한 SNR이 표 2,3에 나타나 있다. 그 결과 신호 대 잡음비가 가장 좋은 필터는 버터워스 필터였다.

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{P}{\sigma^2} [dB] \quad (1)$$

표 2. 신호 대 잡음비(Foreign object의 경우)

Table 2. SNR in case of Foreign object

Butterworth Filter			Chebyshev Filter		
SNR[dB]	P	σ^2	SNR[dB]	P	σ^2
12.5656	4.71^{-5}	2.61^{-6}	12.7683	4.54^{-5}	2.40^{-6}
Inverse Chebyshev Filter			Elliptic Filter		
SNR[dB]	P	σ^2	SNR[dB]	P	σ^2
7.4201	5.37^{-5}	9.72^{-6}	6.8033	4.32^{-5}	9.01^{-6}

표 3. 신호 대 잡음비(Disk Wear의 경우)

Table 3. SNR in case of Disk Wear

Butterworth Filter			Chebyshev Filter		
SNR[dB]	P	σ^2	SNR[dB]	P	σ^2
46.1882	0.1086	2.61^{-6}	25.6142	0.1038	2.40^{-6}
Inverse Chebyshev Filter			Elliptic Filter		
SNR[dB]	P	σ^2	SNR[dB]	P	σ^2
40.4677	0.1082	9.72^{-6}	39.2531	0.0759	9.01^{-6}

IV. 필드버스 통신 구현

1. 시스템 구성

상태감시 시스템의 구성은 다음과 같다. AE센서를 루프에 장착하고 프리앰프를 거쳐 DAQ에서 A/D 변환후 배경잡음을 제거하여 DeviceNet을 통해 원격시스템으로 필터링 된 센서 신호를 전송한다.

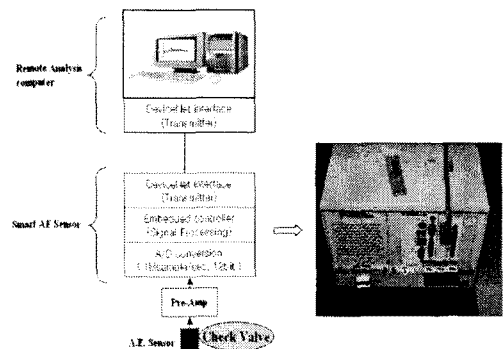


그림 8. 하드웨어 구성

Fig. 8. Structure of H/W

하드웨어구성은 그림 8과 같다. DeviceNet interface Card를 이용한 PC를 Master로 사용하였고, Slave는 PXI 모듈로 구성하였다.

2. 소프트웨어 구현

장치 프로그램은 NI사의 Labview를 사용하였고 Master 노드에서는 필드버스상의 한 노드와 데이터를 주고 받을 수 있도록 하였다. 그림 9는 마스터 프로그램의 흐름도이다.

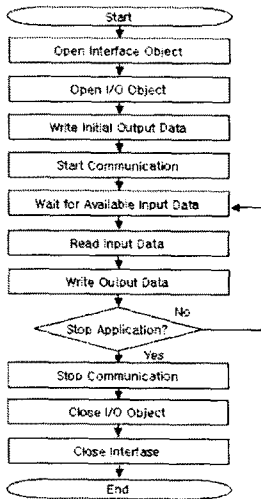


그림 9. 마스터 노드 프로그램 흐름도
Fig. 9. Flow Chart of Master node program

Slave 노드에서는 1msec의 센서신호를 1Msample/s로 A/D 변환하여 신호처리 필터를 거쳐 DeviceNet을 통해 Master 노드로 전송한다. DeviceNet의 최대 전송량이 255byte이므로 한번 받은 데이터를 여러 번에 나누어 전송하도록 하였다.

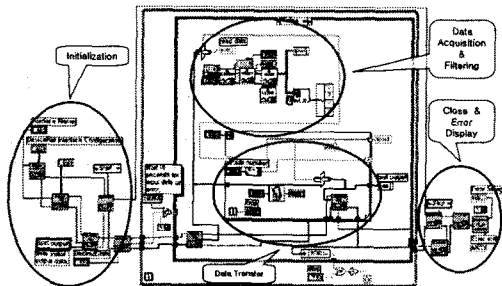


그림 10. Slave 프로그램의 블록도
Fig. 10. Block Diagram of Slave Program

3. 실험결과

A.E.센서의 신호 대신 측정된 데이터들 DeviceNet을 통하여 전송시켜 보았다. Master 노드는 MacID를 0으로 하였고 Slave 노드는 6으로 하였다. MacID는 DeviceNet

에서 노드들을 구분하기 위한 ID이다. 그 결과 데이터 손실 없이 데이터가 전송되는 것을 확인 하였다.

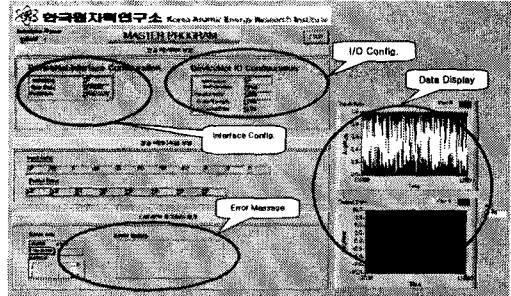


그림 11. 실행 결과
Fig. 11. Execution result

V. 결 론

본 논문은 원자력 발전소에서 이용되고 있는 배경잡음 제거 기법, 신호처리 기법의 특성을 조사 분석하고, 실 데이터에 적용하여 성능을 비교하여 적절한 신호처리 기법의 선정 및 구현을 통해 디지털 신호처리 및 필드버스의 원전 상태감시시스템에의 적용 가능성을 보였다. 추후 과제로는 고장진단 알고리즘을 결합하여 고장 유무를 판단할 수 있는 상태감시 시스템을 구현하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 김정수와 2명, "고속파편 충격시험신호와 정상상태의 배경잡음신호분석", 제어자동화시스템공학회 춘청지회 학술발표회, pp.32-135, 1999.
- [2] 염만오, "원자력 발전소용 Tilting Check Valve의 특성실험", 대한기계학회 B권, 제22권, 제6호, pp. 803-812, 1998.
- [3] 이준현의 7명, "Fusion 센서 개발을 위한 초음파 및 AE 센서의 특성평가 기술개발에 관한 연구", KAERI/TR-2335/2002