

AE 센서를 이용한 Check Valve 상태감시 시스템 구현

Realization of Check Valve Condition Monitoring system using AE sensor

진정섭*, 이승연**, 백승문**, 유 준***, 김정수****

(Jeong-seob Jeon, Seung-Youn Lee, Seoung Mun Beak, Joon Lyou, Jeong-Su Kim)

Abstract - This paper presents a realization of fault detection algorithm 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, extract fault features through the learned Neural network, and send the processed data to a remote site. The overall system has been implemented and experimental results are given to show its effectiveness.

Key Words : Acoustic Emission Sensor, DeviceNet, Check Valve, Smart Sensor,

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. 하지만 체크밸브의 경우는 수동검사에 의존하고 있어 검사를 위해 막대한 비용이 소요되고 있는 실정이다.

본 논문에서는 이러한 체크밸브의 온라인 상태감시를 위하여 신경망을 이용한 고장 진단 알고리즘과 이를 이용한 상태감시 시스템을 제안하고 실험 결과를 통해 성능을 검증한다. 또한 원거리의 운전원이 다수의 체크밸브를 감시할 수 있도록 필드버스를 이용하여 센서로부터 측정된 데이터를 원격 감시 시스템으로 전송할 수 있도록 하였다.

2. 체크밸브 상태감시 시스템 개요

본 체크밸브 상태감시 시스템은 정상운전 중에 원전 중요 기기 중 하나인 체크밸브의 고장유무를 온라인 모니터링 하는 시스템이다. 체크밸브에 부착되어 있는 AE(Acoustic Emission) 센서로부터 체크밸브의 상태정보를 가지고 있는 데이터를 취득하고 취득한 데이터를 이용하여 고장 진단에 필요한 신경망 입력 파라미터를 추출한다. 추출된 파라미터는 필드버스를 이용하여 원격 감시 컴퓨터로 전송되고 신경망을 이용하여 고장 유무를 판단하여 알려주는 시스템이다.

2.1 체크밸브

원자력 발전소의 발전설비의 경우, 안전시스템의 적절한 제어를 위하여 다양한 형태의 밸브가 도입되어 사용되고 있

다. 그 중에서 체크밸브는 원자력 안전 시스템에서 가장 광범위하게 사용되고 있다.[2] 일반적인 체크밸브의 구조가 그림 1에 나타나 있다. 시스템에 사용된 체크밸브는 swing type이다.

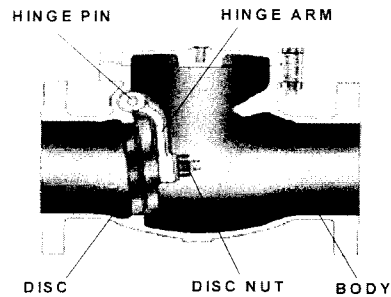


그림 1. 체크밸브 구조
Fig. 1. Structure of check valve

2.2 데이터 측정

배경잡음 유형분석과 고장 유형분석을 위하여 원자력 발전소에서의 배관의 균열 탐지나 밸브 손상유무, 누설검사 등에서 널리 이용되고 있는 AE센서를 사용하였다. 원전 가동 시와 유사한 테스트 루프에서 인위적인 고장을 발생시켜 고장 유형에 따라 신호를 측정하였다.

고장유형은 체크밸브 고장유형 중 가장 빈번한 고장유형을 갖는 disk wear와 foreign object에 의한 누수의 2가지 유형에 대하여 실험하였다.[3] AE 센서의 주파수 범위가 200kHz 근처 이므로 측정 시 sampling rate를 1Msample/sec로 하였다.

그림 2는 인위적 고장 유형이다. 그림에서 보이는 바와 같이 disk wear는 3가지, foreign object는 6가지에 대하여 실험을 하였다.

저자 소개

- * 正 會 員 : 忠南大學 電子工學科 博士課程
- ** 準 會 員 : 忠南大學 電子工學科 碩士課程
- *** 正 會 員 : 忠南大學 電子工學科 教授 · 工博
- ****準 會 員 : 韓國原子力研究所 研究員 · 工博

본 연구는 2004년 원자력 연구기반 확충사업 (I-NERI)지원으로 수행되었습니다.

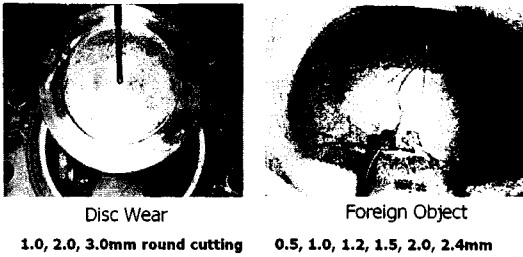


그림2 인위적 고장
Fig2. artificial fault

3. 신경망을 이용한 고장진단 알고리즘 구현

고장 진단을 위하여 신경망을 이용하였다. 고장진단 알고리즘은 크게 2단계로 나누어진다. 첫 단계에서는 정상인지 고장인지 구분하고 고장일 경우 두 번째 단계로 넘어간다. 두 번째 단계에서는 고장의 원인이 disc wear 인지 foreign object 인지 구분한다. 고장 유형을 알아내면 disc wear 인 경우 1mm, 2mm, 3mm인지 구분하고, foreign object 인 경우 0.5mm, 1.0mm, 1.2mm, 1.5mm, 2.0mm, 2.4mm 인지 구분하도록 하였다. 그림 3은 고장 진단 알고리즘의 구조이다.

- ▶ Step1 : Normal or Abnormal?
- ▶ Step2 : Disc wear or Foreign object?
 - Step2-1 : Disc wear classification.
 - Step2-2 : Foreign object classification.

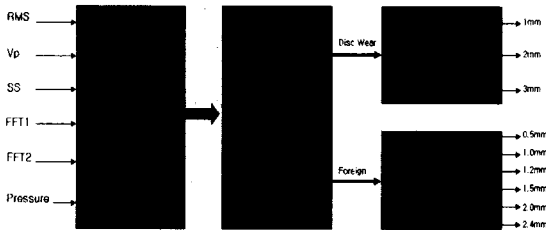


그림3. 고장진단 알고리즘
Fig3. Fault detection algorithm

3.1. 입력 파라미터 추출

신경망은의 입력 파라미터는 RMS, amplitude, signal strength, FFT1, FFT2, 압력을 사용하였으며 각 파라미터 추출 방법은 아래와 같다

3.1.1 RMS

RMS 는Root mean square를 의미하며 일반적인 신호의 파워를 측정하는데 사용한다.

$$RMS = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N V_i^2\right)} \quad (1)$$

3.1.2 Amplitude(Vp)

신호의 크기로서 m 개의 샘플 구간에서 최대값을 찾는 과정을 N 번 반복하여 평균을 취한 값이다. 입력 파라미터 가운데 가장 신뢰성이 낮은 파라미터이다.

$$V_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{Max}(V_i \sim V_{i+m}) \quad (2)$$

3.1.3 Signal Strength

$$E_{AE} = \frac{1}{R} \sum_{i=0}^N V_i^2 \quad (3)$$

3.1.4 FFT1, FFT2

신호의 주파수 특징을 반영하기 위하여 first peak frequency와 second peak frequency를 입력 파라미터로 하였는데 peak frequency를 찾기 위하여 Matlab의 MUSIC 알고리즘을 이용하였다. 2개의 peak frequency가 필요하므로 MUSIC은 4차로 하여 구현 하였다. First peak frequency가 FFT1이고 second peak frequency가 FFT2이다.

3.1.5 압력

압력은 체크밸브에 가해지고 있는 유체의 압력이다. 이것은 별도의 압력계로 측정을 하므로 3bar, 6bar, 9bar의 3가지 경우로 고정하고 실험 하였다.

3.2 학습방법 및 결과

그림 4는 각각의 신경망의 구조이다. 그림에서와 같이 센서신호로부터 추출한 5가지의 파라미터와 압력을 입력으로 한다. Hidden layer의 수는 모든 단계에서 12개로 하였다.

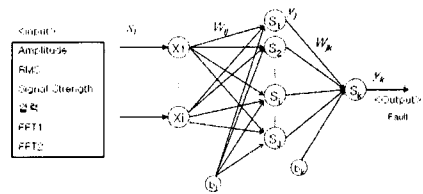


그림4. 신경망 구조

Fig4. Structure of Neural Net

고장 유형별로 100개의 데이터 중에서 2개씩을 추출하여 총 30개의 데이터를 가지고 학습을 시켰다.

그림 5, 6, 7은 학습된 신경망에 학습되지 않은 모든 데이터를 입력한 결과이다. 실선으로 표시된 것이 원하는 출력이고 점으로 표시된 것이 신경망의 출력이다. 1단계와 2단계에서는 대부분의 데이터에 대하여 정확한 진단을 하였다. 1단계와 2단계의 경우 0.5를 기준으로 결과를 출력하도록 하였으므로 오차가 있는 값들도 고장유무 및 고장유형 판단에서는 정확한 값을 나타낸다. 고장의 크기를 판별하는 2-1단계와 2-2단계에서는 원으로 표시된 부분에서 잘못된 판단을 하였다. 하지만 이상유무의 판단이 아니므로 크게 문제되지 않는다.

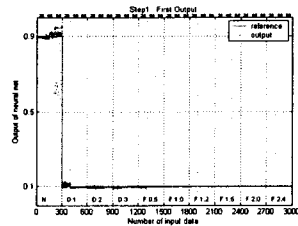


그림5 학습결과(1단계)

Fig5. Result(step1)

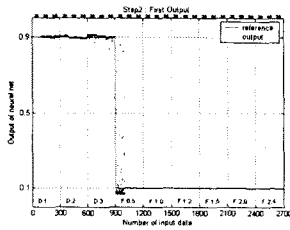


그림6 학습결과(2단계)
Fig6. Result(step2)

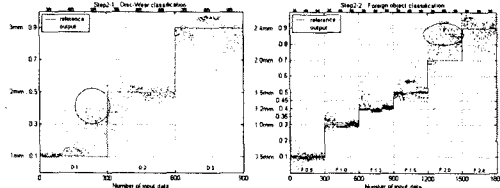


그림7 학습결과(2-1단계, 2-2단계)
Fig7. Result(step2-1, step2-2)

4. 상태감시 시스템 구현

4.1 시스템 구성

상태감시 시스템의 구성은 다음과 같다. AE센서를 루프에 장착하고 프리앰플을 거쳐 DAQ에서 A/D 변환 후 신경망 입력 파라미터를 추출하여 DeviceNet을 통해 원격시스템으로 전송한다.

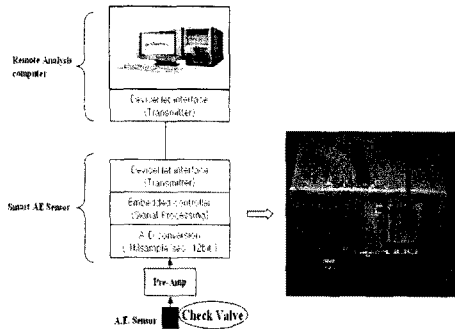


그림8 하드웨어 구성도
Fig8. Structure of H/W

하드웨어 구성은 그림 8과 같다. DeviceNet interface Card를 이용한 PC를 Master로 사용하였고, Slave는 PXI모듈로 구성하였다.

4.2 소프트웨어 구현

Master는 Slave로부터 주기적으로 신경망 입력 파라미터를 전송 받도록 하였다. Slave에서는 1msec의 센서신호를 1Msample/s로 A/D 변환하여 신호처리 필터를 거쳐 신경망 입력 파라미터를 추출하고 DeviceNet을 통해 Master로 전송한다. 전송된 파라미터를 학습된 신경망에 입력으로 넣고 고

장 유무를 판별하고 화면에 표시하도록 하였다.

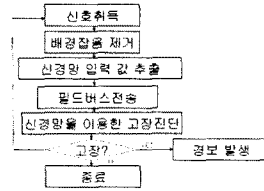


그림9 상태감시 시스템 흐름도
Fig9. Flow chart of condition monitoring system

4.3 실험결과

측정한 데이터를 이용하여 신경망 입력 파라미터를 추출하고 DeviceNet을 통하여 전송시켜 보았다. Master는 MacID를 0으로 하였고 Slave는 MacID를 6으로 하였다. MacID는 DeviceNet에서 노드들을 구분하기 위한 ID이다. 그 결과 데이터 손실 없이 데이터가 전송되는 것을 확인 하였다. 전송된 데이터를 이용하여 고장 유무를 판별하고 화면에 표시하도록 하였다. 그림 10은 Master 프로그램 실행화면이다. 전송된 파라미터가 신경망을 통해 고장 유무를 판단하여 화면에 표시하는 것을 확인하였다.



그림10. Master 프로그램 실행화면
Fig10. Master program user interface

5. 결론

본 논문은 원자력 발전소에서 많이 이용되고 있는 체크밸브의 상태감시를 위한 고장진단 시스템을 구현하였다. 신호의 분석을 통하여 고장 유형별로 추출한 특징 파라미터와 신경망을 이용하여 고장진단 알고리즘을 구현하고 실험을 통하여 고장진단 알고리즘 및 필드버스의 원격 상태감시시스템에의 적용 가능성을 보였다. 추후 과제로는 추가실험을 통해 신뢰성 있는 데이터를 이용한 보완이 필요하다.

참고 문헌

- [1] 김정수 외 2명, "금속파편 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] 이준현 외 7명, "Fusion 센서 개발을 위한 초음파 및 AE 센서의 특성평가 기술개발에 관한 연구", KAERI/TR-2335/2002