

DPCM 기법을 이용한 CAN기반의 회전설비 고장진단 시스템

김승영*, 김수진**, 김성호***
 군산 대학교 전자정보

CAN-based fault diagnostic system for rotating machine using DPCM algorithm

Seung-Young Kim*, Su-Jin Kim**, Sung-Ho Kim***
 Kunsan University

Abstract - 회전기기는 산업설비에서 가장 큰 비중을 차지하는 장치로써 고장발생 시 전체 시스템의 shut-down에 의한 많은 경제적인 손실을 가져오게 된다. 회전기기의 고장은 노화에 의해서도 발생될 수 있지만 베어링 파손이나 축 불일치, 고정 불량등과 같이 다른 원인에 의해서도 발생될 수 있기 때문에 안정적인 설비의 운영을 위해서는 고장진단을 통한 지속적인 관리가 요구된다. 본 연구에서는 회전기기의 지속적인 모니터링 및 고장분석에 사용될 수 있는 DPCM 기법(압축전송기법)을 이용한 CAN 기반의 회전설비 고장진단 시스템을 제안하며 제안된 시스템의 성능검토를 위해 실제 제작된 test-bed 환경에서의 실험을 진행하였다.

1. 서 론

생산성 향상을 위해 생산 설비의 자동화, 대용량화, 다기능화가 이루어짐에 따라 생산설비의 신뢰성과 안전성이 더욱 중요하게 되었다. 그러나, 설비를 유지하고 관리하기 위한 숙련된 기술자는 고령화와 더불어 수적으로 감소하는 추세이다. 이러한 현실적인 문제를 해결하기 위한 방안으로 생산 설비유지 관리기술에 대한 필요성이 날로 증가하고 있는 추세이다. 기존의 설비유지 관리기술은 설비부품 또는 설비시스템이 고장, 파손되면 수리하거나 교환하는 등의 사후보수(Breakdown Maintenance) 개념이 일반적이었으나 설비의 규모가 대형화 및 고기능화 되면서 고장을 미리 예측하여 사전에 보수하는 예지보전(Productive Maintenance), 개량보수(Corrective Maintenance)등의 상황별 유지관리 기술을 거쳐 현재에 이르고 있다[1].

회전기기는 산업설비의 대부분을 차지하고 있는 장치로써 고장발생 시 막대한 경제적 손실을 유발하게 된다. 회전기기의 고장은 노화로 인해 발생될 수도 있으나, 베어링고장이나 축 불일치, 고정 불량등과 같은 다른 원인에 의해서도 발생될 수 있기 때문에 고장의 원인이 되는 이상 현상을 조기에 검출하는 것은 매우 중요하다. 그러나 현재까지 대부분의 설비 진단이 전문가의 청각 또는 시각에 의존하고 있는 실정이며, 이로 인해 정확한 고장의 원인을 분석하기 위해 많은 시행착오와 시간이 요구 될 뿐만아니라 소수의 전문가가 다수의 기기들을 관리하는 것은 쉬운 일이 아니다. 때문에 상기 문제들을 해결하기 위해서는 고장진단 및 원격 모니터링 기능을 갖는 전문가 시스템의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 최근 공장자동화 분야에 다양하게 적용되고 있으며 고속전송이 가능한 CAN (Controller Area Network) 통신 및 다량의 데이터를 효과적으로 전송할 수 있는 압축전송기법(DPCM)을 이용하여 회전기기의 지속적인 모니터링 및 고장분석이 가능한 DSP 기반의 회전설비 고장진단 시스템을 제안하고자 하며 제안된 시스템의 성능검토를 위해 실제 제작된 test-bed 환경에서의 실험을 진행하였다.

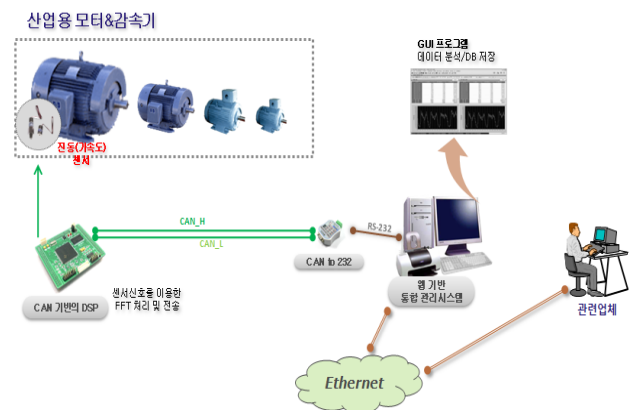
2. 제안된 시스템의 구성

2.1 시스템 구성요소 및 동작

그림 1은 제안된 시스템의 전체 구성을 나타낸 것이다. 제안된 시스템은 센서부, 데이터 계측부, 모니터링 서버부로 구성되며 각각의 기능은 다음과 같다. 센서부는 모터에서 발생하는 진동을 감지하기 위해 사용되며 축의 회전중심을 통과하는 3 방향, 즉 축방향, 수직방향, 수평방향에 설치운영 된다. 센서부에 사용될 수 있는 센서로는 가속도, 속도, 변위센서 및 진동센서가 있으며 이들 센서들은 진압신호 또는 전류신호를 출력으로 갖는다. 데이터 계측부는 센서부에서 출력되는 신호를 계측하고 계측된 시간영역 데이터를 주파수영역으로 변환하게 되며 변환된 주파수영역의 데이터를 CAN 통신을 이용하여 원격의 모니터링 서버부로 전송하게 된다. 원격의 모니터링 서버부는 데이터 계측부에서 전송되는 데이터를 수신하고 수신데이터와 기존에 학습된 뉴럴 네트워크 이용하여 고장을 진단하게 된다.

2.2 데이터 압축전송 기법

제안된 시스템에서는 다량의 데이터 전송시 발생되는 traffic 문제를 해결하기 위해 DPCM(Differential Pulse Code Modulation) 기법을 사용



< 그림 1 > 제안된 시스템의 전체 구조

하였다. DPCM 전송기법은 $t-1$ 시간에 전송된 FFT 결과 데이터와 t 시간에 계산된 FFT 결과 데이터의 차를 계산하여 전송하는 기법으로, 데이터의 압축 및 복원을 위해 송신버퍼와 수신버퍼 사용된다. DPCM 전송기법은 다음과 같은 단계로 이루어진다.

▶ STEP 1 : 최초 전원인가되는 m시간에 송신노드는 N개 진동데이터를 계측하고, 계측된 N개의 데이터를 이용하여 FFT 변환을 수행한다. 송신노드는 최초 전송 메시지가기 때문에 Normal 메시지 패킷을 이용하여 모든 데이터를 수신노드에 전송하게 되고 TX 버퍼에 전송데이터를 저장하게 된다. 또한 수신노드는 수신된 데이터를 RX 버퍼에 그대로 저장하게 된다.

▶ STEP 2 : m+1 시간에 송신노드는 N개의 진동데이터를 계측하고, 계측된 N개의 진동데이터를 이용하여 FFT 변환을 수행하게 된다. 이후 현재 계산된 결과값과 이전에 계산된 결과값이 저장되어 있는 TX 버퍼의 데이터의 차를 계산하여 데이터의 변화 유/무를 검출하게 되고, 변화된 주파수에 해당하는 크기값만 DPCM 메시지 패킷에 실어 전송하게 된다. DPCM 메시지 패킷은 DCC 코드와 데이터 영역으로 구성된다. DCC(Data Composition code) 코드는 데이터의 전송유/무와 주파수를 의미한다. 즉, DCC 코드의 해당 비트가 '0'인 경우에는 해당 주파수의 크기가 변화하지 않았음을 의미하고, '1'인 경우는 해당 주파수의 크기가 변화하였으며 데이터 영역에 변화된 주파수의 크기가 포함되어있음을 의미한다. 데이터 영역에는 DCC 코드가 '1'인 값을 갖는 주파수 성분에 대한 변화량 데이터가 적재된다. 송신노드는 데이터를 송신 후 TX 버퍼내용을 현재 계산된 값으로 수정하게 된다. 또한 수신노드는 DPCM 메시지 패킷의 DCC 코드를 분석하여 변화된 주파수영역을 검출하고, RX 버퍼의 내용 중 변화된 주파수에 해당하는 데이터만을 갱신하게 된다. 수신노드에서 RX 버퍼의 갱신은 수신 패킷의 데이터영역에 포함된 데이터와 기존의 RX 버퍼의 데이터를 더함으로써 이루어진다.

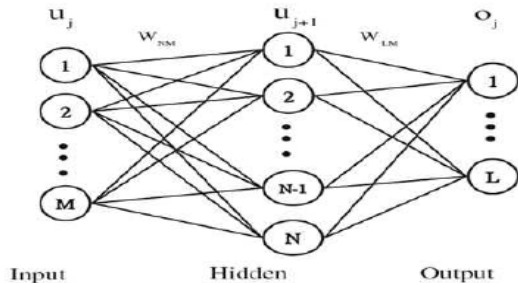
▶ STEP 3: STEP 2를 반복수행한다[2].

2.3 고장진단기법

모니터링 서버부에서는 수신된 FFT 결과데이터를 이용하여 고장을 진단하게 된다. 본 논문에서는 고장 진단을 위해 입력층, 은닉층 및 출

력층으로 구성된 back-propagation 뉴럴 네트워크를 사용하였으며, 전체 주파수 영역 중 관심주파수 영역을 입력으로 사용하여 고장진단을 수행하였다.

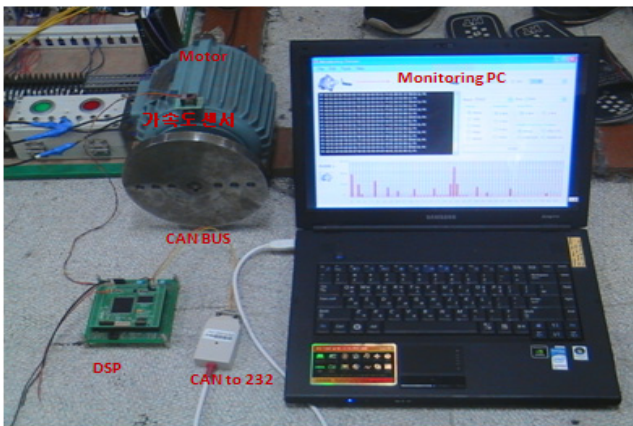
그림 2는 Back-propagation 뉴럴 네트워크의 구조를 나타낸 것이다. 그림에서 M은 입력층 뉴런의 수를 나타내고, N은 은닉층 뉴런의 수를 나타내며, L은 출력층 뉴런의 수를 나타낸다. 또한 W_{NM} 은 은닉층과 입력층 사이의 연결강도를 나타내고, W_{LN} 은 출력층과 은닉층 사이의 연결강도를 나타낸다.



< 그림 2 > Back-propagation 뉴러러 네트워크의 구조

3. 실험 및 결과 고찰

본 연구에서는 제안된 기법의 유용성 검증에 위해 그림 3과 같은 시스템을 만들어 실험을 진행하였다.

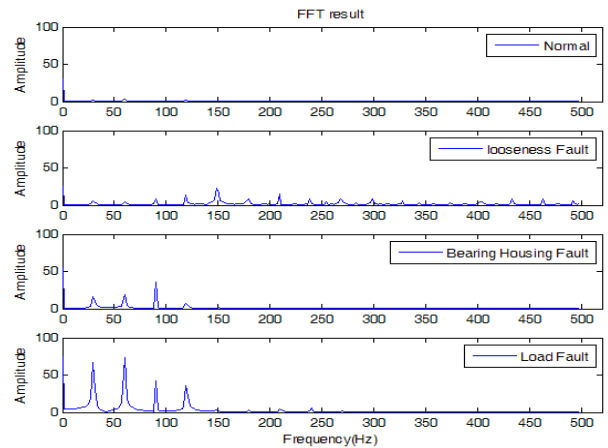


< 그림 3 > 실험 환경

그림 3의 시스템은 모터, 가속도 센서, DSP 보드, CAN to RS232 모듈 및 모니터링 서버로 구성된다. 모터는 0.75W 출력을 갖는 3상 유도 전동기를 사용하였으며 모터의 수직 방향에 3축 가속도 센서를 부착하여 모터에서 발생하는 진동을 측정하도록 하였다. 가속도 센서에서 출력되는 아날로그 신호는 DSP 칩의 A/D 컨버터에 의해 디지털 신호로 변환되며, DSP 칩은 변환된 디지털 신호를 이용하여 FFT 변환을 수행하게 된다. 본 연구에서는 TI사의 32 bit DSP 칩인 TMS320F2812가 사용되었으며 12 bit 해상도의 A/D 컨버터가 내장되어 있어 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하기 위해 사용될 수 있다. FFT 분석이 완료된 후 DSP 보드는 CAN 통신을 이용하여 Normal 패킷 또는 DPCM 패킷을 원격 서버로 전송하게 되고 전송 후 TX 버퍼의 내용을 갱신하게 된다. 원격서버는 CAN to RS232 모듈을 통해 전송패킷을 수신하며, 수신된 패킷이 Normal 패킷인지 아니면 DPCM 패킷인지를 확인하여 RX 버퍼의 내용을 갱신하게 된다. 이후 모니터링 서버는 기존에 학습된 Back-propagation 뉴럴 네트워크를 이용하여 고장을 진단하게 된다.

시스템의 성능을 검증하기 위해 유도전동기에 구조적 느슨함, 베어링 하우징 고장, 부하 불균형 등의 고장 상황들을 만들고 DSP 보드를 통해 진동신호를 측정하였으며 측정된 신호데이터를 이용하여 FFT 변환을 수행한 후 CAN 통신을 이용하여 원격서버로 전송하였다. 그림 4는 임의로 만든 3가지의 고장 상황 및 정상 상황에 대한 수신데이터를 나타낸 것이다. DSP에서는 FFT 변환을 위해 1024개의 샘플데이터를 사용하였고 샘플링주파수를 1KHz로 하였기 때문에 0 ~ 512Hz까지의 주파수 분석이 가능하다.

본 연구에서는 Back-propagation 뉴럴 네트워크의 학습을 위해 7개의 입력층 뉴런, 10개의 은닉층 뉴런, 2개의 출력층 뉴런을 사용하였다.



< 그림 4 > FFT 변환 결과

학습 입력은 FFT한 결과를 모두 사용하지 않고 표 1에 기술한 관심 주파수 영역의 데이터만을 사용하였으며, 각각의 상황에 대해 [0,0], [0,1], [1,0], [1,1] 이 출력되도록 하였다.

< 표 1 > 학습을 위해 사용된 관심 주파수

Feature vector	Frequency range (Hz)
1	25 ~ 38
2	54 ~ 67
3	85 ~ 94
4	113 ~ 125
5	144 ~ 155
6	175 ~ 181
7	207 ~ 210

표 2는 학습된 Back-propagation 네트워크를 통해 진단한 결과 데이터를 나타낸 것이다.

< 표 2 > Back-propagation 뉴럴 네트워크를 통한 진단 결과

Kind of Fault	rate(%)
normal	100
looseness fault	80
bearing housing fault	86
load fault	90

4. 결 론

본 연구에서는 최근 공장자동화 분야에 다양하게 활용되고 있는 CAN 네트워크와 다량의 데이터를 효과적으로 전송하기 위한 DPCM 압축 전송 기법을 이용한 CAN 기반의 회전설비 고장진단 시스템을 제안하였으며 실제 제작된 test-bed 환경에서의 실험을 진행하였다. 실험 결과 제안된 시스템을 통해 고장상황을 검출할 수 있음을 확인할 수 있었으며 향후 고장진단에 대한 성능향상을 위한 새로운 기법에 대한 연구를 진행할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 권정민, 이흥희, 이명재, 원덕두, "전류 및 진동 데이터를 이용한 유도전동기 고장진단 시스템 구현에 관한 연구", 전력전자학술대회 논문집, 2006, pp. 305- 307.
- [2] Praveen R. Ramteke and Syed Masud Mahmud, "An Adaptive Data-Reduction Protocol for the Future In-Vehicle Networks", SAE paper 2005-01-1540.

감사의 글 : 본 연구는 산학협력력 기업부설연구소 설치 지원사업의 연구결과로 수행되었음