

모터펌프의 지능형 진단시스템 구현에 관한 연구

안재현*·양 오*†

*† 청주대학교 반도체공학과

A Study on the Implementation of Intelligent Diagnosis System for Motor Pump

Jae Hyun Ahn* and Oh Yang*†

*† Semiconductor Engineering of Cheongju University

ABSTRACT

The diagnosis of the failure for the existing electrical facilities was based on regular preventive maintenance, but this preventive maintenance was limited in preventing a lot of cost loss and sudden system failure. To overcome these shortcomings, fault prediction and diagnostic techniques are critical to increasing system reliability by monitoring electrical installations in real time and detecting abnormal conditions in the facility early. As the performance and quality deterioration problem occurs frequently due to the increase in the number of users of the motor pump, the purpose is to build an intelligent control system that can control the motor pump to maximize the performance and to improve the quality and reliability. To this end, a vibration sensor, temperature sensor, pressure sensor, and low water level sensor are used to detect vibrations, temperatures, pressures, and low water levels that can occur in the motor pump, and to build a system that can identify and diagnose information to users in real time.

Key Words : Motor pump, Fault prediction, Diagnosis technology, Diagnostic system, Vibration sensor, Temperature sensor, Pressure sensor, Low water level sensor

1. 서 론

펌프는 오래된 기계류 중 하나이며, 모터펌프의 용도는 건물용, 배수용, 농업 관개용, 공업용수용, 발전소용, 각종 플랜트용으로 유체가 이동되는 곳에서는 거의 모든 분야에서 광범위하게 사용되고 있다[1]. 펌프의 종류, 용도에 따라 현장에 설치되며 이러한 모터펌프는 여러 가지 고장이 발생하기도 한다. 기존의 전기설비의 고장진단은 정기적인 예방정비에 의존하였고 이처럼 예방정비는 많은 비용손실과 갑작스러운 시스템의 고장에 대한 예방에 한계가 있다. 위와 같은 내용으로 인해 단점을 해결하기 위해 전기설비를 실시간으로 감시하여 설비의 상태 이상을

조기에 감지함으로써 인해 고장 예측 및 진단 기술은 보급뿐만 아니라 시스템의 신뢰성을 높이는 데에도 중요하다 [2][3]. 모터펌프설비의 최적인전효율관리 기술의 핵심은 펌프시스템의 운전상태를 실시간으로 모니터링하고 운전 효율을 분석하여 펌프가 최적의 상태로 운전되고 있는지 진단하는 것이다[4].

본 논문에서는 모터펌프의 사용자 증가에 따른 성능 및 품질 저하 문제가 빈번하게 발생함으로써 모터펌프를 컨트롤 할 수 있는 지능형 컨트롤 시스템을 구축하여 성능을 최대화하면서 품질향상 및 신뢰성향상을 기대할 수 있도록 구축하는 것이 목적이다. 이를 위해 진동센서, 온도센서, 압력센서, 저수위센서를 이용하여 이상을 감지한 뒤, 사용자에게 실시간으로 정보를 파악할 수 있도록 진단 시스템을 구축한다.

†E-mail: ohyang@cju.ac.kr

2. 모터펌프의 진단 시스템

2.1 모터펌프 컨트롤러

기존 모터펌프의 경우 커플링(베어링 마모)진동 감지 기능과 고장 예측 시스템이 없으며, 모터 온도 상태와 압력, 저 수위 상태를 감지하는 기능은 있지만, 실시간으로 상태를 감지할 수 있는 시스템이 구축되어 있지 않은 상태이다[5]. 모터펌프의 보호, 고장예측, 모니터링 등 IT융합 신기술은 제품개발, 표준화, 해외시장 진출 및 사용분야의 사업에 확장할 수 있다[6][7]. 실시간 모니터링을 통한 센서는 펌프의 압력 상태, 모터펌프의 베어링 마모 상태, 모터 온도 상태, 물탱크의 저 수위 상태를 확인한다. 모터펌프의 컨트롤러에 사용할 MCU는 가격과 성능 및 기능 구현들을 고려하여 ST사의 STM32H743ZIT6을 사용하였다. 먼저 진동센서는 0~10mA로 출력 받게 되고 비교기와 증폭회로를 통해 0~3.3V의 신호를 Port로 받게 된다. 온도센서는 RID(PT1000)를 사용하였고 모터펌프의 온도를 -40 ~ 200도까지 측정하여 저항 값으로 출력한다. 출력된 저항 값은 AD변환회로를 거쳐 MCU의 SPI통신을 통해 데이터를 입력 받는다. 압력센서는 0 ~ 16bar의 압력을 측정한 뒤 4 ~ 20mA의 전류로 출력된다. 출력된 전류는 필터와 AD변환회로로 데이터 값을 SPI통신으로 MCU에 입력된다. 저 수위센서는 물탱크의 수위가 낮아졌을 때 High/Low로 신호를 받는다. MCU로 받은 데이터는 7-inch 컬러 Touch TFT-LCD를 이용한 MMI System을 구성하여 사용자 및 관리자가 보다 더 시각적으로 모터 펌프의 상태를 모니터링 및 제어가 가능하다.

2.2 모터펌프의 진동 계측 시스템

베어링 고장은 모터펌프에서 가장 자주 발생하는 고장이며, 베어링에 이상이 발생할 경우 예상치 못한 과도한 진동, 소음이 발생되며 이러한 진동은 진동센서를 통해 실시간으로 사용자에게 경보를 준다[8]. 진동센서는 IFM사의 VSA101가속도계를 사용하였으며, 진동 영역은 -3~3g의 진동이 발생하게 되면 0~10mA로 출력되는 센서를 사용하였다. 2개의 비교기(LM311)로 구성된 윈도우 비교기를 사용하여 진동센서에서 받은 0~10mA 중 5mA이상의 입력이 들어왔을 때만 출력이 검출되도록 윈도우 비교기의 offset전압을 +4.4V로 설정되어 있다. 출력된 전류 값은 증폭기를 통해 0~10V전압으로 증폭되며 offset전압보다 적은 전압 값은 무시해버리고 높은 전압 값은 MCU로 데이터를 입력 받게 된다. 이에 대한 구성은 Fig 1과 같다.

진동이 발생하게 되면 5mA이상인 진동만 감지하고, 진동 발생 간격이 ΔT (진동이 발생했을 때 최소 시간) 보다 작으면 무시된다. 클 경우 베어링 마모 경고가 발생하게

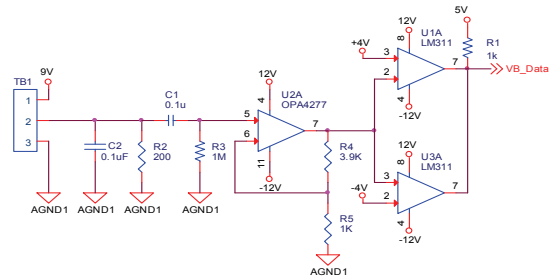


Fig. 1. Vibration detection interface.

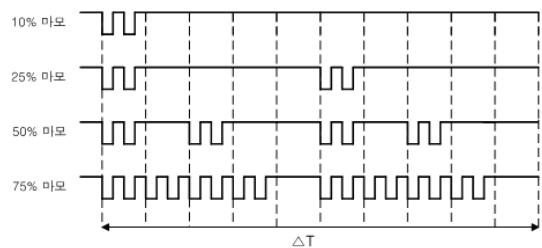


Fig. 2. Timing diagram showing bearing wear rate by vibration frequency.

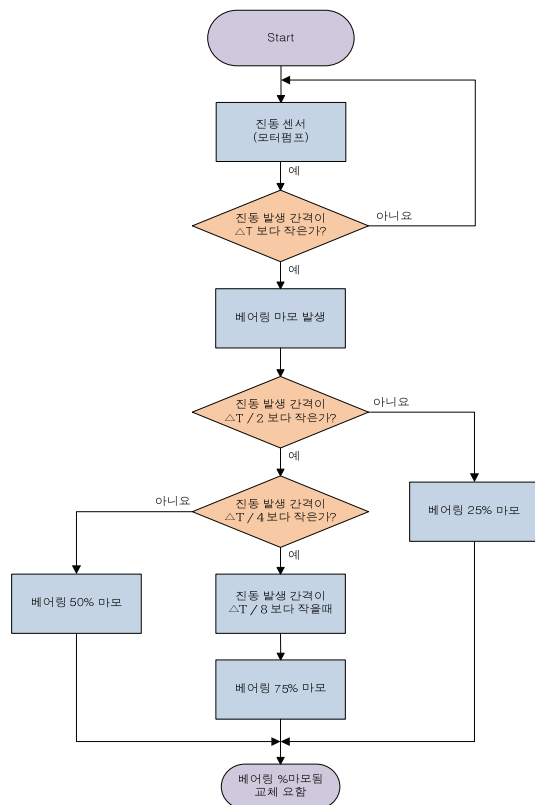


Fig. 3. Flowchart of Vibration Diagnostic Algorithm.

되며, Fig 2와 같이 $\Delta T/2$ 는 25% 마모, $\Delta T/4$ 는 50% 마모, $\Delta T/8$ 은 75%의 마모율을 나타냄으로써 진동 발생을 감지하여 베어링이 얼마만큼 마모되었는지 확인이 가능하다.

2.3 온도 측정 시스템

모터펌프 사용 중 흔히 발생하는 고장으로는 빈번한 기동으로 인한 자동시스템 고장, 과도한 수동제어, 전압 변동으로 과부하가 걸리게 되어 토크감소, 손실증가로 저항성 토크증가, 전압강하, 역률 감소 등 전류소비가 증가하게 된다[9]. 이처럼 과열로 인해 발생하는 모터의 고장이 발생하게 된다. 이를 온도센서를 이용하여 실시간으로 사용자에게 전달하여 모터의 고장에 대한 신속한 대응과 손실을 최소화할 수 있다. 온도 계측(RTD)을 위해 사용된 PT1000인 Heraeus사의 W-GYK 온도 센서는 $-40 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 를 측정하여 저항 값(842.7~1758.5 Ω)으로 출력되며, 온도센서로 받은 저항 값은 ADS1220IPWR 소자를 사용해 24-Bit data값을 SPI통신을 통해 MCU로 입력 받는다.

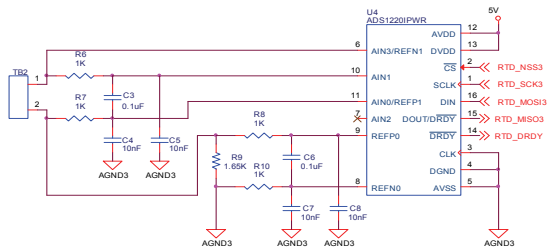


Fig. 4. Temperature measurement interface.

2.4 압력 계측시스템

모터펌프의 압력탱크는 아래부분으로 물을 채워 넣으면 윗부분의 공기가 압축되어 압력스위치가 작동하게 되는 원리이다. 그런데 오래 사용하다 보면 공기가 있어야 할 공간에 물이 채워져 공기로 압축력을 저장하는 공간이 줄어들어 그만큼 자동 스위치가 감지하는 압력의 범위가 좁아져 물을 사용하지 않아도 주기적으로 스위치가 작동되어 돌아가게 된다. 배관 내 압력이 조금만 빠져도 바로 펌프가 기동하기 때문에 전력 소모가 늘어나고 장비의 수명을 단축시킨다[10]. 압력을 측정하기 위한 센

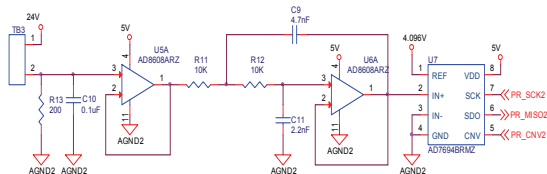


Fig. 5. Pressure measurement interface.

서는 Huba Control사의 501.99092제품을 사용하였으며, 계측 압력은 0~16bar의 압력을 4~20mA의 출력전류로 나타낸다. 4~20mA의 전류를 입력 받게 되면 AD7694BRMZ를 사용해 Fig. 5와 같이 회로를 설계하였고, 16-Bit AD변환회로를 거쳐 SPI통신으로 Data를 입력 받는다.

2.5 저 수위 계측시스템

펌프에 물이 부족할 경우 펌프는 공회전을 하고 그 결과 모터 과부하가 일어나게 된다. 그렇기 때문에 물탱크에 저 수위 센서를 이용하여 수위가 낮아졌을 경우 실시간으로 사용자에게 저 수위 경고를 알려주게 된다. PLC GmbH사의 저 수위 센서인 PLS-041A-6PPI를 사용하였으며, Output data에 Pull-up resistor를 연결함으로써 정상 상태는 High (5V), 저 수위 상태일 때 Low(0V)를 MCU의 Port로 입력 받는다.

Table 1. Electrical Characteristics of Low Water Level Sensor

Parameter	Type	Unit
Contact form	A	ON/OFF
Contact rating max	50	W/VA
Switching voltage max	200	VDC
	250	VAC
Switching current max	1.5	A
	2	A
Breakdown voltage min	400	VDC
Total resistance max	150	m Ω

3. 실험 구성

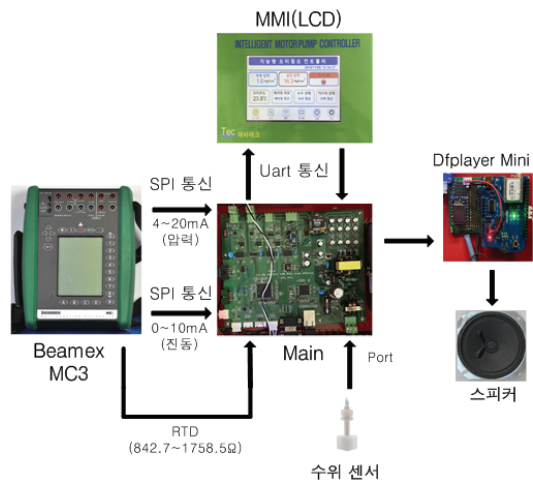


Fig. 6. Overall Diagram of Diagnosis System.

Fig 6은 수위 센서와 Beamex MC3를 이용해 각각의 센서 회로에 전류와 전압을 입력으로 사용하여 SPI통신을 통해 실시간으로 Main board에 데이터 값을 받고, MMI와 스피커를 통해 시각적, 청각적으로 측정된 값과 경고를 사용자에게 제공한다.

4. 실험 결과

실험에 사용된 장비로는 교정이 완료된 Beamex사의 MC3제품을 사용하여 전압, 전류, RTD(PT1000)를 입력 및 측정에 사용되었으며 LeCroy사의 104Xi Oscilloscope를 사용하여 출력된 파형을 측정한다. 또한 진동 발생을 가정하기 위해 Arbitrary Waveform Generator를 사용하여 0-1V (500mVPP, offset: 250mVD)인 구형파를 1Hz(1s)를 Fig. 8의 회로를 통해 진동의 발생 주기를 주었으며, Beamex사의 MC3를 이용하여 0-10mA의 전류를 인가한다. 5mA이상의 전류를 인가했을 때 진동으로 감지하며 5초이상 지속되었을 때 베어링 마모 경고가 발생한다.

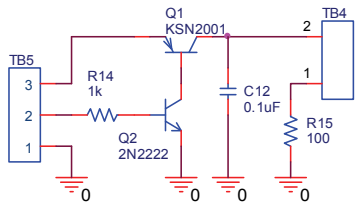


Fig. 7. Vibration cycle circuit diagram.

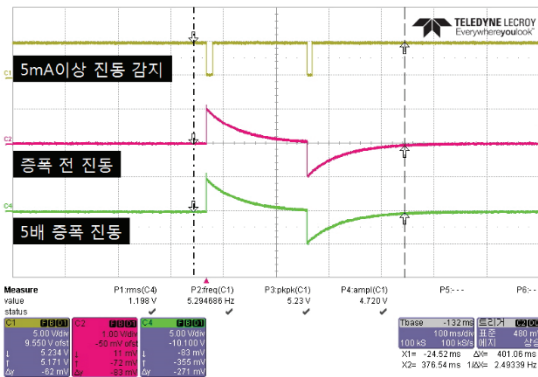


Fig. 8. Experimental result of Vibration.

온도 계측(RTD)을 위해 Beamex MC3를 사용하여 -40 ~ 200°C 범위의 저항 값을 10도씩 증가시켜 실험하였으며, 입력저항은 소수점 첫번째 자리까지 반올림하여 실험한 결과 평균 ±0.27%의 오차이므로 정밀한 온도 값을 얻었다.

Table 2. Temperature experimental results

저항 값 (Ω)	표준 온도 (°C)	측정 온도 (°C)	오차 값 (%)
842.7	-40	-39.9	0.25
882.2	-30	-29.9	0.33
921.6	-20	-19.9	0.5
960.8	-10	-10	0
1000	0	0	0
1038.8	10	10	0
1077.8	20	20.1	0.5
1117	30	30.2	0.66
1155.4	40	40.1	0.25
1194	50	50.1	0.2
1232.4	60	60.1	0.16
1270.7	70	70.1	0.14
1309	80	80.1	0.25
1347	90	90.1	0.11
1385	100	100.2	0.2
1423	110	110.3	0.27
1460.6	120	120.3	0.25
1498.3	130	130.4	0.3
1535.8	140	140.6	0.43
1573	150	150.6	0.4
1610.5	160	160.7	0.43
1647.7	170	170.7	0.41
1684.8	180	180.7	0.44
1721.7	190	190.5	0.26
1758.5	200	200.4	0.2

Table 3. Pressure experimental results

표준압력 (bar)	입력전류 (mA)	표준 값 (kgf/cm ²)	시험 값 (kgf/cm ²)
0	4	0	0
1	5	1.0197	1.0397
2	6	2.0394	2.0754
3	7	3.0591	3.1091
4	8	4.0789	4.1289
5	9	5.0986	5.1486
6	10	6.1183	6.1683
7	11	7.138	7.188
8	12	8.1577	8.2077
9	13	9.1774	9.2274
10	14	10.1972	10.2472
11	15	11.2169	11.2669
12	16	12.2366	12.2866
13	17	13.2563	13.3063
14	18	14.276	14.326
15	19	15.2957	15.3457
16	20	16.3155	16.3655

압력 계측도 Beamex MC3를 사용하여 4-20mA의 전류를 인가시키게 되면 0-16bar를 1bar당 1.019716kgf/cm²로 변환한 압력이 LCD에 실시간으로 표기된다. 사용자는 TFT Touch LCD를 이용해 설정 압력을 변경할 수 있으며 설정 압력보다 높은 압력을 감지하게 되면 고압경고를 LCD를 통해 확인할 수 있다. 실험 결과 평균오차는 ±0.7%의 오차 값을 보여줌으로써 정밀한 압력 계측 값을 얻었다. 수위 감지에 사용될 센서는 PLS-041A-6PPI를 사용하고 실험에 사용할 물탱크의 물 빠짐 구멍을 막고 물을 채웠을 때와 물을 뺐을 때 상태를 Oscilloscope를 사용하여 확인한다.

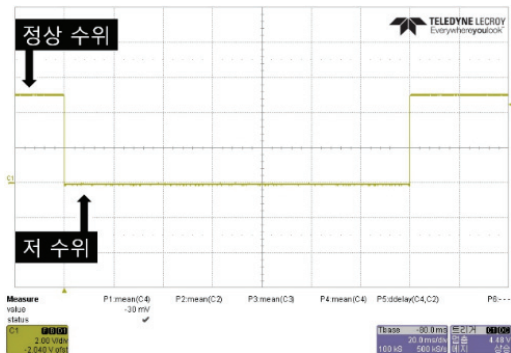


Fig. 9. Experimental result for Low Water Level.

5. 결 론

모터펌프의 고장 예측 시스템에 필요한 모터의 진동과 온도 상태, 압력, 저 수위가 발생했을 때 각각의 센서를 통해 실시간으로 확인이 가능하다. 온도와 압력과 같은 아날로그 물리 량을 측정하여 실시간 제어 또는 분석하기 위해 디지털 값으로 변환하여 읽어 들어야 하기 때문에 AD변환 회로를 설계했다. 또한 진동의 물리 량을 감지 및 분석하기 위해 비교기를 통한 회로 구성을 하였으며, 센서는 각종 아날로그 물리 량을 전압, 전류, 주파수와 같은 전기량으로 변환하는 소자이므로 Calibration을 통한 센서의 출력 값은 환경변화에도 영향을 적게 받는다. 본 논문에서는 베어링의 진동을 증폭하여 좀더 정밀한 진동 감지와 마모율을 알 수 있으며, ±0.27%의 오차를 갖는 모터의 온도계측이 가능하고 펌프의 압력계측은 ±0.7%의 오차를 갖는다. 또한 물탱크의 수위를 저 수위센서를 통해 상태를 감지하며 센서에서 수집된 데이터는 SPI통신을 통해 MCU에서 수집한 뒤 MMI System을 이용하여 실시간으로 사용자에게 전달된다. 이를 이용해 모터펌프의 보호, 고장예측과 모니터링 등 IT융합 신기술을 접목하여 다양한 진단 시스템에 적용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. M. J. Moon, S. M. Yang. "A study on the performance analysis of high efficiency water motor pump with gapless wearing", Proceedings of the KSMT Autumn conference 2018, pp. 43-43, 2018.
2. Yeon-Ok Jung. "A study on fault diagnosis of motor and pump", A master's thesis, Chonnam National University, 2016.
3. In-Ki Jun, Jeong-Kuk Oh, Dong-Ho Kim, Byonghu Sohn. "Smart PHM Technology for Geothermal Heat Pump System", The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea conference proceedings, pp. 413-416, 2014.
4. Tai-Gil Kwon, Jin-Woong. "Implementation of Wireless Communication Technology for Managing Running Efficiency on Motor Pump Facilities", Journal of the Korea Academic-Industrial cooperation Society Proceedings of the KSME 2015 Spring Annual Meeting, pp. 183-184, 2015.
5. Junyeong Jung, Yonghyun Park, Sang Bin Lee. "Monitoring of Journal Bearing Faults based on Motor Current Signature Analysis for Induction Motors", 2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2015.
6. Dong-xing Wang, Zi Li, You-jun Xu, Yu-pu Zhu. "Design of the Oil Pump Temperature Monitoring System Based on Internet of Things", 2014 IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA), 2014.
7. Yeon Ho Chu, Young Kyu Choi. "A Deep Learning based IOT Device Recognition System", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 18, No. 2. June 2019, 2019.
8. Tae-hyun Kim, Yong-ho Jeon, Moon Gu Lee. "A Study on Failure Diagnosis System for a Hydraulic Pump in Injection Molding Machinery Using Vibration Analysis", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers 22(3), pp. 343-348, 2013.
9. Sunjin Kim, Gwitaek Kim, Yoong Chung, Min Soo Kim. "A Numerical Analysis on the Temperature Change of Permanent Magnet Synchronous Motor according to Driving Load", KSAE 2018 ANNUAL SPRING CONFERENCE, 1343-1343, 2018.
10. Namyong Kim, Taesoo Chi, Juntak Shin, Woojin Cha, Jonggil Park. "A Study on the Characteristics of Internal Pressure in a Vane Pump". KSAE 2010 ANNUAL SPRING CONFERENCE, 794-799, 2010.

접수일: 2019년 12월 5일, 심사일: 2019년 12월 11일, 게재확정일: 2019년 12월 12일