

소방펌프의 운전상태에 따른 유도전동기의 이상 신호 분석

구본휴* · 김두현**† · 김성철***

Analysis of Abnormal Signals for Induction Motor according to Operating Status of Fire Pumps

Bonhyu Ku* · Doo-Hyun Kim**† · Sung-Chul Kim***

†Corresponding Author

Doohyun Kim

Tel : +82-43-261-2461

E-mail : dhk@chungbuk.ac.kr

Received : May 25, 2022

Revised : July 11, 2022

Accepted : July 17, 2022

Abstract : This article aims to develop an algorithm that detects fire pump defects by analyzing the current signals of an induction motor, which are triggered by changes in the flow rate and pressure of multistage volute pumps that are used for fire services. The operational status of the pumps was categorized into three: first, normal operation; second, a defect that is caused by a change in the current value; and third, a defect occasioned by a change in current, pressure, and flow rate. When a fire pump was in normal operation, the motor's operating current was measured between 5.06 A and 6.9 A, the flow rate was estimated at 0-0.27 m³/min, and the pressure ranged from 0 to 0.47 MPa. In the event that a defect was caused by an abnormal current value in the motor, it was attributed to the pump's adherence. Furthermore, if there was no source of water, the defect was considered to have been induced by phase-loss operation, no-load operation, or run-stop operation, with the current value of each scenario being measured at > 52.8 A, < 4.13 A, > 45.15 A, and < 3.8 A, respectively, placing its overall range between 0 and 50 A. The sources of defects were detected based on an analysis of the flow rate, pressure, and current, which represent the following causes: air inflow into the casing, inadequate suction of water, and reverse-phase operation, respectively. Each cause entailed the following values: when air seeped into the casing, the pressure was measured at 0.24 MPa irrespective of changes in the flow rate; when there was inadequate suction of water, the pressure was recorded between 0 and 0.05 MPa despite changes in the flow rate; and when the power line's reverse-phase loss was the cause of the defect, the pressure was measured at 0.33 MPa for a flow rate of 0 L/min, and a higher flow rate decreased the pressure to nearly 0 MPa. The results of this study will enable engineers to develop a pump defect detection algorithm that is based on an analysis of current, and this algorithm will facilitate the execution of a program that will control a fire pump defect detection system.

Copyright©2022 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Key Words : motor of fire pump, current analysis of fire pump motor, fire pump detect detection, supervisory control of fire pump

1. 서론

소방 펌프는 소화수를 화재가 발생한 구역에 전달하는 장치로써, 소화 약제를 물로 사용하는 수계소화 설비에서 가장 핵심이 되는 구성요소이다. 소방 펌프 시

스템은 전기 제어장치, 전동기, 펌프로 구성되어 있다. 전기제어 장치는 전동기에 전기에너지를 공급하여 전동기와 펌프를 회전시켜 최종 방수 지역까지 소화수를 이송하는 기능을 한다. 전동기 기동은 소방 배관의 압력 강하를 감지하는 기동용 압력스위치의 신호에 따라

* (주)충북소방 대표 (Chungbuk Fire Protection Professional Engineer's Office)

** 충북대학교 안전공학과 교수 (Department of Safety Engineering, Chungbuk National University)

*** 충북대학교 안전공학과 초빙교수 (Department of Safety Engineering, Chungbuk National University)

기동하는데, 평상시(비 화재 시)에는 정상 압력에 정지 상태로 유지되고, 화재 시 소화수 방출에 따른 소방 배관의 압력 강하를 감지하여 전동기가 기동한다. 화재는 예상하지 못하는 상태에서 발생하므로 소방 펌프는 항상 정상 기능을 유지하여야 한다¹⁾. 그러나, 건축물 생애주기 기간에 화재가 발생하지 않는 이상 소방 펌프는 동작하지 않으므로 관리에 소홀하게 되는 경향이 크다. 실제로 특정 소방대상물의 소방시설 종합정밀점검²⁾이나 작동기능점검에서 소방 펌프 부작동 사례는 자주 발견되는데, 이는 화재진압 실패의 원인이 된다. NFPA 25에 따르면 6402건 시험 중에서 고장 사례는 117건으로 고장률 1.83%로 보고 되었다(표준편차 0.17%, 고장률 1.49%~2.16%, 신뢰도 95%)³⁾. 소방 펌프는 시험방법이 어렵고, 펌프 가동 시험에 따른 여러 위험으로 인하여 소방 기술자가 성능시험을 실시한다. 소방 펌프 성능시험⁴⁾은 법정 점검인 소방시설 자체점검에서 실시하며 점검 주기는 건축물의 층수 및 연면적에 따라 6개월 또는 1년 간격으로 시행한다. 자체점검 당시 펌프가 정상이라도 법정 점검 주기인 6개월에서 1년 사이의 기간에 다양한 형태의 고장이 발생할 수 있으므로 평상시에 소방 펌프를 최적의 상태로 유지, 관리하는 방안이 필요하다.

이런 유지관리를 위해서는 2가지의 기술이 필요하다. 첫 번째는 전동기의 비정상 상태를 진단하는 기술⁵⁾로 전동기의 진동, 토크, 온도, 전류, 전력을 분석하는 것으로 전동기의 모니터링으로 주로 사용하고 있다⁶⁾. 두 번째는 기계적으로 문제가 발생한 상태이며 이러한 불량상태는 전기적 이상 신호와 전기, 유량 및 압력 등의 전체적인 이상 신호로 판단할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 소방 펌프의 전동기에 대하여 전류값의 변화(고착, 수원이 없는 경우, 결상 운전, 무부하 운전, 단속 운전)와 전기, 유량 및 압력의 변화(펌프 케이싱 내에 공기가 유입된 상태, 펌프 흡입 측 폐쇄 및 전원선 역상) 등의 2가지 주요 특성을 구분하여 정상 신호 및 이상 신호를 도출하였다. 도출된 신호는 소방 펌프의 최적 상태 유지를 위한 고장진단 시스템의 기준값으로 활용할 수 있다.

2. 소화설비 작동 여부별 화재 현황

Table 1의 2020년도 화재통계연감의 소화설비에 대한 작동 여부별 화재 현황에 따르면 2020년도 발생한 화재에서 효과적으로 소화설비가 작동한 경우는 711건이었으며, 미작동 또는 효과가 없는 경우는 609건으로

Table 1. Number of the death and property damage by operation of fire extinguishing equipment⁷⁾

(Unit : 1,000 won)			
	Number of fires	Number of the death	Property damage
Sum	38,695	365	600,475,432
Working	711	6	18,890,521
Not working	609	19	92,134,754
Not effective	36,653	340	478,647,625
etc	686	0	10,802,532

46%의 소방대상물은 소화설비 유지관리가 정상적이지 않은 것으로 확인되었다. 또한, 화재 시 소화설비가 정상적으로 작동된 경우는 미작동된 경우보다 7% 높았으나 사망자는 미작동된 경우가 316% 더 많았으며, 물적 피해액 또한 미작동된 경우가 488% 더 많았다.

3. 이론적 배경 및 실험 장치

3.1. 이론적 배경

펌프의 양정(H), 유량(Q), 소요 동력(P), 효율(η)의 관계를 펌프 특성이라고 한다. 이러한 관계는 펌프 특성곡선의 형태로 표현할 수 있다. Fig. 1은 NFPA사의 SFPE 방화공학 핸드북에 수록된 펌프 특성곡선을 나타낸 것으로 회전 속도가 일정할 때 양정(H)-유량(Q) 곡선상 작동효율이 가장 높은 지점은 양정(H)-효율(η) 곡선의 최댓값에 해당하는 곳과 일치한다. H-Q 곡선상 양정은 초기 유량 증가 지점에서 평탄 특성이 있으며 중기 이후 서서히 감소하다가 효율 최대지점에서 급격히 감소하는 특성이 있다. P-Q 곡선상 동력은 유량 증가에 따라 계속 증가하다가 양정이 급격히 감소하는 지점에서 감소하는 특성을 보였다⁸⁾.

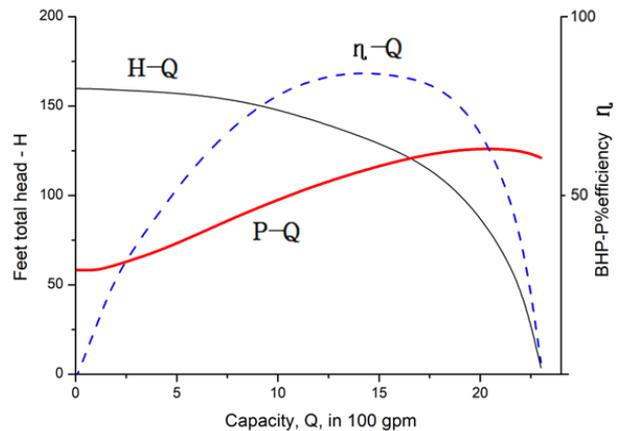


Fig. 1. Pump characteristic curve.

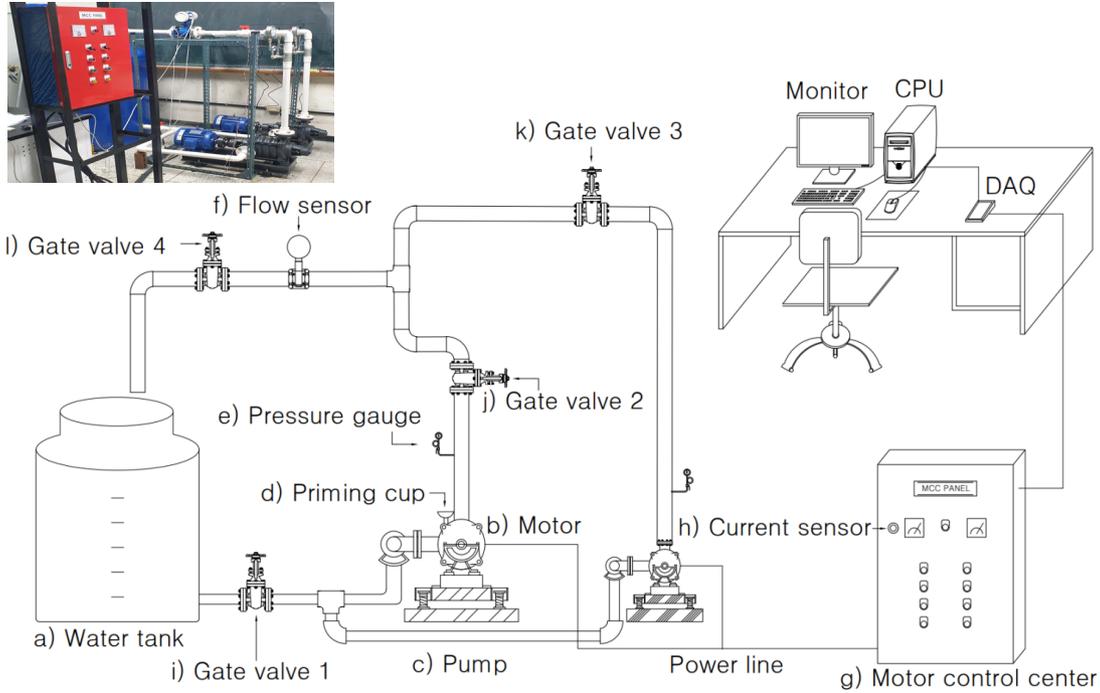


Fig. 2. Electrical and mechanical circuit diagram of experimental equipment.

3.2. 실험 장치

소방 펌프 유량 변동에 따른 전류분석 장치는 실제 현장에 설치되는 소방 펌프 시스템과 유사하게 밸브와 주변 설비를 단순화하여 총 7개의 주요 부품으로 구성하였다.

Fig. 2의 실험 장치는 a) 소화수조(Water tank), b) 3상 유도전동기(Motor), c) 다단 볼류트펌프(Pump), d) 물 올림 컵(Priming cup), e) 전자식 압력 센서(Pressure sensor), f) 전자식 유량 센서(flow sensor), g) MCC (Motor control center), h) 전류 센서(Current sensor), i) ~ l) 개폐밸브(Gate valve)를 사용하였으며, 신호 분석을 위한 소프트웨어로는 LabVIEW와 하드웨어는 NI-DAQ를 선택하였다.

3.2.1. 소화수조(Water tank)

Fig. 2의 a) 소화수조는 원활한 양수 및 흡입 측 와류 방지를 고려하여, 소방 펌프의 정격유량 $0.13 \text{ m}^3/\text{min}$ 을 7분간 토출할 수 있는 용적 1 m^3 크기로 하였으며 내부 식성에 강한 FRP 재질의 원형 수조를 선정하였다.

3.2.2. 3상 유도전동기(Motor)

Fig. 2의 b) 전동기는 제조사 HIGEN Motor에서 생산한 3상 유도전동기로 정격은 AC 전압 380 V, 출력 3.7 kW, 주파수 60 Hz, 회전수 1750 rpm, 효율 89.5% IE3 프리미엄 효율 성능의 전동기를 사용하였다.

3.2.3. 다단 볼류트펌프(Pump)

Fig. 2의 c) 펌프는 (주)대아펌프 제품으로 단흡입 원심식 다단 볼류트 펌프이며, 정격유량 $0.13 \text{ m}^3/\text{min}$, 전양정 34 m, 단수 4단, 회전수 1750 rpm로 주철 재질이며, 흡입구, 토출구, 케이싱, 임펠러, 회전축 등으로 구성되어 있으며, 프라이밍 작업을 위하여 d) 물 올림 컵(Priming cup)이 펌프 상부에 설치되어 있다.

3.2.4. 전자식 압력 센서(Pressure sensor)

Fig. 2의 e) 전자식 압력 센서는 NI-DAQ의 호환성을 고려하여 Wasinex사의 PT-506으로 선정하였다. PT-506은 입력 DC 24 V, 출력전류 4~20 mA, 측정범위 0~16 bar, Accuracy 0.5%, 허용 작동 온도는 $-20 \sim 120^\circ\text{C}$ 이다.

3.2.5. 전자식 유량 센서(flow sensor)

Fig. 2의 f) 전자식 유량 센서는 (주)한국이앤아이에서 생산한 KEI-1000 모델로 측정범위 0.1 ~ 15 %, 정확도



Fig. 3. Flow meter of KEI-1000.

0.5%, 출력 4~20 mA, 전극 재질 Standard 316L이며 자동 영점조정 기능이 있다. Fig. 3은 전자식 유량 센서를 나타내었다.

3.2.6. MCC (Motor control center)

Fig. 2의 g) MCC는 전동기를 제어하기 위한 전력 제어장치로 전자 접촉기, 과전류계전기, 릴레이, 전동기 보호 퓨즈 등으로 구성되어 있다⁹⁾. 설치한 MCC는 주 펌프와 예비펌프 2대의 제어가 가능하며 수동/자동 셀렉타 스위치 위치 확인을 위한 접점으로 구성하였고 압력스위치 동작에 따른 자동기동 및 감시 제어반에서의 수동기동, 모니터 프로그램에서 자동기동이 가능한 접점을 설치하였다. 전동기 기동 방식은 전동기 정격 출력이 3.7 kW로 소용량에 해당하여 직입기동 방식을 채택하였다. Fig. 4는 MCC의 회로도이다.

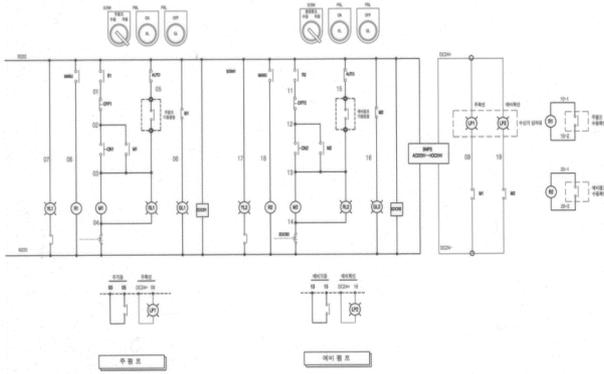


Fig. 4. Circuit diagram of MCC.

3.2.7. 전류 센서(Current sensor)

Fig. 2의 h) 전류 센서는 전동기의 운전전류를 측정¹⁰⁻¹¹⁾하기 위하여 분해능 10 μ A, 측정범위 10 mA~200 A, 정확도 0.1%성능을 가진 HIOKI사의 Clamp on leak hitester 9283 모델을 선정하였다. 소프트웨어는 LabVIEW의 시그널익스프레스¹²⁾를 이용하였다. NI-DAQ(DAQ-9171)는 16비트 해상도, 채널당 1 MS(Mega Samples)/s/ch이 가능하며 4채널을 동시 입력이 가능하여 다양한 분석이 가능하다.

3.3. 실험방법

NFPA 25 수계 소화설비 점검, 시험 및 유지관리 핸드북은 소화 펌프 체질상태 시험과 유량 시험을 제시하고 있다³⁾. 본 실험은 NFPA 25 소방 펌프 시험 절차에 따라 소화 펌프가 허용 불가한 운전상태인지 판단하기 위한 조건을 설정하여 실험하였다. 첫 번째 실험은 소방 펌프의 정상상태에서 전류값, 유량, 압력을 측

정하여 펌프 특성곡선과의 관계를 분석하였고, 두 번째는 소화 펌프 운전전류 시험을 통하여 고장을 판단할 수 있는 5가지 유형을 설정하고 실제와 동일하게 고장상태를 만들어 전류값을 측정하였다. 세 번째는 비가변 속도의 소화 펌프 유량 시험을 통하여 고장을 판단할 수 있는 3가지 유형으로 설정하고 실제와 유사한 조건을 만들어 전류값, 유량, 압력을 측정하였다.

3.3.1. 정상상태 측정

Fig. 2의 i) Gate valve 1과 d) Priming cup을 개방하여 펌프 내부의 공기를 제거하고 프라임 워터를 충수한 후 d) Priming cup을 폐쇄한다. i) j) Gate valve 1, 2 밸브가 개방된 상태 k) Gate valve 3 밸브가 폐쇄된 상태에서 전동기를 가동한다. l) Gate valve 4를 100% 폐쇄한 상태에서 측정을 시작하며 5분에 걸쳐 l) Gate valve 4 밸브를 100% 개방하며 전류값, 유량, 압력을 측정하였다.

3.3.2. 운전전류 시험

3상 유도전동기의 기동전류는 정격전류의 5~8배의 전류가 흐르게 되어 기동전류에 의한 오류 값이 발생하므로 기동전류가 안정되는 5초 후에 전류값을 측정하였다. 소화 펌프 운전전류 시험으로 유의미한 전류값을 분석할 수 있는 경우는 펌프 임펠러의 고착, 모터의 회전축 고착, 수원이 없는 상태, 결상 운전, 무부하 상태, 단속 운전 5가지 상태로 하였다.

1) 임펠러와 모터 축 고착 실험

Fig. 2의 i) j) l) Gate valve 1, 2, 4를 개방하고 k) Gate valve 3 밸브가 폐쇄된 상태에서 전동기를 가동하기 전에 펌프와 전동기의 연결축 부분에 바이스를 설치하여 임펠러가 회전하지 않도록 고정한 상태에서 전동기를 가동하여 전류값을 측정하였다.

2) 수원이 없는 상태의 실험

Fig. 2의 a) 소화수조의 수원을 모두 방류한 상태에서 소화 펌프를 가동하여 전류값을 측정하였다.

3) 결상 운전 실험

g) MCC 패널 내부의 전동기 전원선 R, S, T상 중 R상을 분리한 상태에서 펌프를 가동하여 전류값을 측정하였다.

4) 무부하 상태 실험

Fig. 2의 i) j) l) Gate valve 1, 2, 4를 개방하고 펌프와 전동기의 연결축을 분리한 상태에서 전동기를 가동하고 무부하 상태의 전류값을 측정하였다.

5) 펌프 단속 운전

단속 운전은 압력챔버 내의 공기가 모두 유출되고 유체만 가득차 있는 경우에 발생한다. 이는 펌프 기동에 따른 수격이 원인으로 기동용 수압 개폐 장치가 동작하여 펌프 기동 정지 반복 현상이 발생한다. 단속 운전을 실험하기 위하여 모든 게이트 밸브를 개방한 상태에서 전동기를 1초에 1회 운전과 정지를 반복하는 실험을 하고 5초간 전류값을 측정하였다.

3.3.3. 비가변 속도 유량 시험

소화 펌프의 유량 시험으로 펌프 고장을 판단할 수 있는 3가지 유형으로 펌프 케이싱 내에 공기가 유입된 상태, 펌프 흡입 측 폐쇄 상태, 전원선의 역상 결선 3가지 상태로 하였다.

1) 펌프 케이싱 내에 공기가 유입된 상태 실험

Fig. 2의 i) Gate valve 1을 폐쇄하여 소화수 공급을 차단하고 d) Priming cup을 개방한 상태에서 펌프를 10초간 가동하여 펌프의 프라임링 워터를 배출시키고 펌프 내에 공기를 유입시킨 후 d) Priming cup을 폐쇄한다. i) j) Gate valve 1, 2를 개방하고 k) l) Gate valve 3, 4 밸브가 폐쇄된 상태에서 전동기를 기동함과 동시에 전류값, 유량, 압력 측정을 시작하였다. 5분에 걸쳐 l) Gate valve 4를 개방하면서 전류값, 유량, 압력 변동을 측정하였다.

2) 펌프 흡입 측 폐쇄 실험

펌프 흡입 측 폐쇄는 흡입밸브 폐쇄, 스트레이너에 이물질 혼입, 배관의 스케일 등의 원인으로 발생하며 이를 가정하여 Fig. 2의 i) j) l) Gate valve 1, 2, 4를 개방한 상태에서 d) Priming cup을 개방하여 펌프 내부의 공기를 제거하고 프라임링 워터를 충수한 후 d) Priming cup을 폐쇄하고 전동기를 가동하고 측정을 시작하였으며 Fig. 2의 i) Gate valve 1을 5분에 걸쳐 폐쇄하면서 전류값, 유량, 압력 변동을 측정하였다.

3) 전동기 전원선 역상 결선 운전 실험

Fig. 2의 g) MCC 패널 내부의 전동기 전원선 R, S, T 상 중 R상과 S상의 결선을 상호 교체 결선하고 전동기를 가동한 상태에서 전동기를 가동하고 전류값, 유량, 압력 변동을 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 정상상태 분석

Fig. 5는 전동기와 펌프가 정상상태일 때 데이터를 측정하여 펌프의 이상 여부를 판단할 수 있는 기준

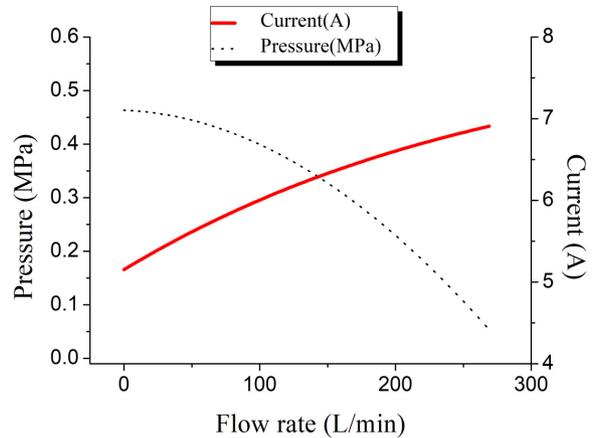


Fig. 5. Flow rate, pressure and current values measured at normal conditions.

값으로 사용하였다. 체질압력 0.47 MPa일 때 전류 5.06 A가 측정되었으며 유량 130 L/min일 때 압력 0.35 MPa, 전류 6.2 A로 측정되어 유량이 증가할수록 전류는 증가하며 압력은 감소하였다. SFPE hand book of fire protection engineering에서 제시한 Fig. 1의 펌프 특성곡선의 H-Q 곡선 및 P-H 곡선⁸⁾과 유사한 패턴임을 확인하였다.

4.2. 전류값 분석으로 고장을 진단할 수 있는 경우

Fig. 6은 펌프의 임펠러가 고착되어 전동기가 회전하지 않는 상황으로 전류값은 52.8 A 이상으로 정격전류의 651% 이상의 전류가 측정되었다. 펌프의 임펠러 고착과 같은 과도한 부하가 있거나, 전동기 회전자 결함으로 구속된 경우 권선 및 회전자 온도가 급상승하며 기동전류와 비슷한 규모의 대전류가 인가되어 권선의 절연 열화를 초래한다.

Fig. 7은 수원이 없는 상태에서 전동기 운전전류를 측정하여 기동 1초 후 4.13 A로 내려가고 이후 전류값은 변동이 없었다. 수원이 없는 상태의 전동기 운전전류는 무부하 운전 전류 수치와 패턴이 유사하였다. 수원이 없는 상태의 펌프 운전은 펌프 회전체의 마찰열 상승으로 인한 케이싱 및 임펠러 파손의 원인이 된다.

Fig. 8은 전원선 결상 상태에서 펌프를 가동하였을 경우 전류값을 측정하여 3상 전압 불균형에 따른 과도 전류가 인가되었으며 정격전류보다 557% 높은 45.15 A로 측정되었다.

Fig. 9는 무부하 상태에서 전동기를 가동하여 측정하여 전류값이다. 전동기와 펌프 사이의 회전축 고정 불량이나 커플링 고장으로 주로 나타난다. 무부하 상태 운전은 정격전류의 46.9%인 3.8 A로 측정되었다.

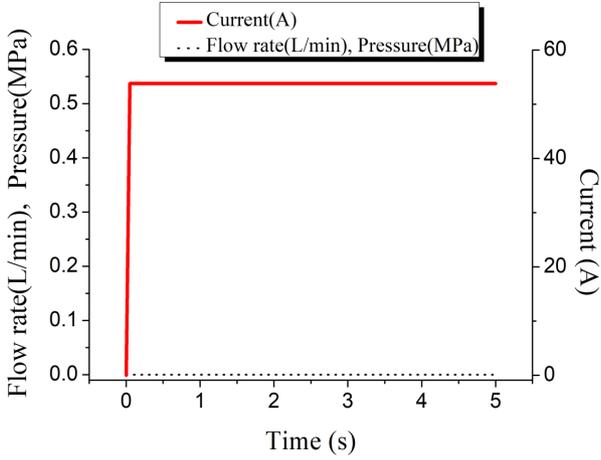


Fig. 6. Flow rate, pressure and current values measured with impeller fixed.

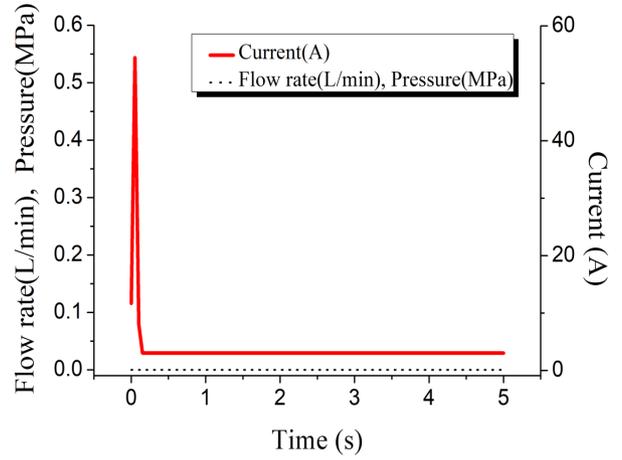


Fig. 9. Flow rate, pressure and current values measured with disconnection of pump and motor.

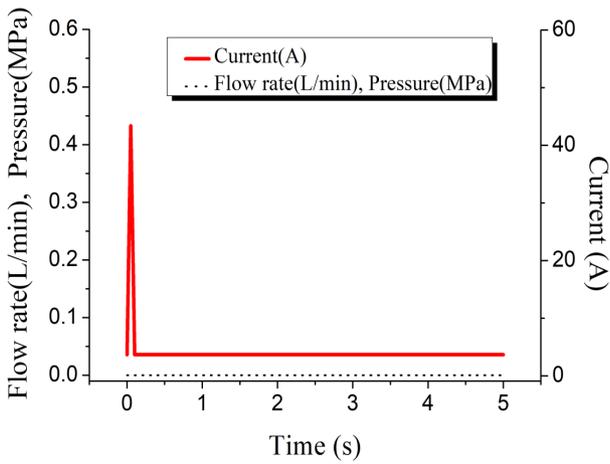


Fig. 7. Flow rate, pressure and current values measured without water in the water tank.

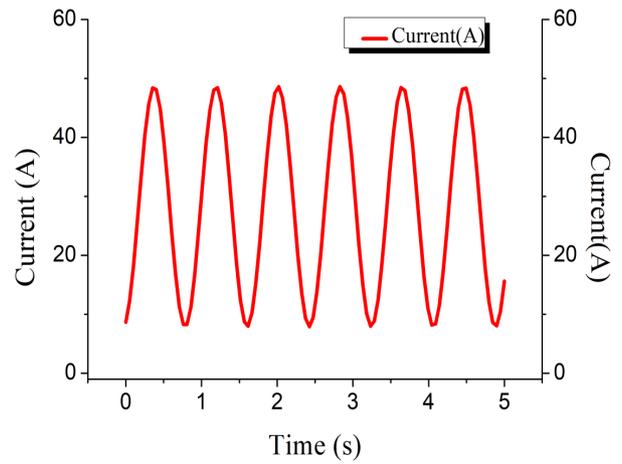


Fig. 10. Flow rate, pressure and current values measured during intermittent operation.

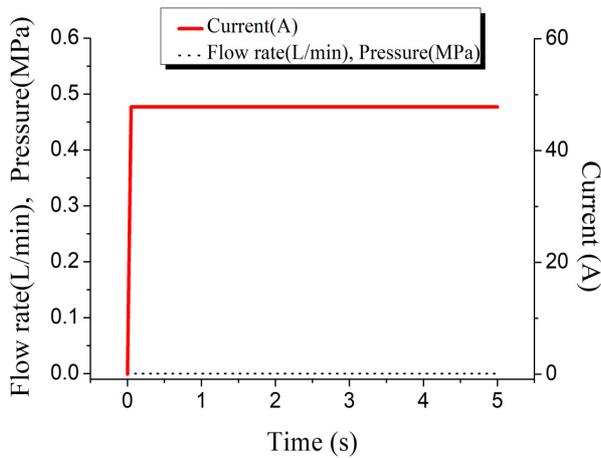


Fig. 8. Flow rate and pressure and current values measured with 1 phase power disconnection.

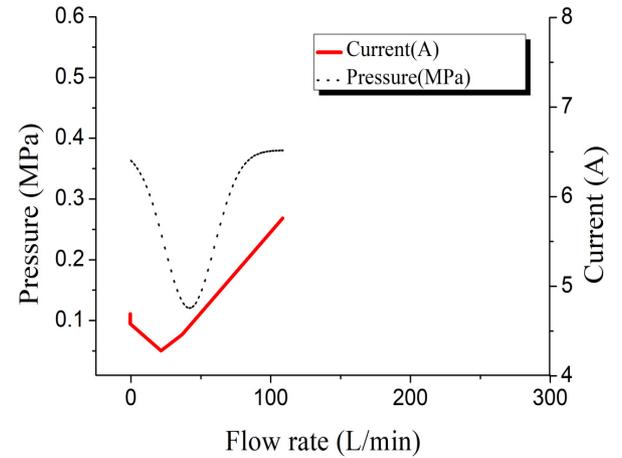


Fig. 11. Flow rate, pressure and current values measured with air flowing into the pump.

Fig. 10은 단속 운전에 의한 전동기의 인가전류를 측정 한 그래프로써 전류값이 0~50 A 범위에서 반복 측정 되었다. 단속 운전은 1초에 여러 차례 전동기가 기동과 정지를 반복하여 기동 전류값인 50 A와 전원 미인가 상태인 0 A 사이 값으로 반복 측정되었다.

4.3. 유량, 압력 및 전류값 분석으로 고장을 진단할 수 있는 경우

Fig. 11은 펌프 케이싱 내부에 공기가 유입된 상태에서 측정 한 값으로 전류값은 정상상태 범위로 측정되었으나, 유량 22 L/min일 때 압력 0.24 MPa, 유량 37 L/min일 때 압력 0.14 MPa로 측정되었다. 정상상태의 펌프 H-Q 특성곡선과 비교하면 정격 압력 0.13 MPa에서의 토출 유량은 28.4%로 펌프에 공기가 유입된 경우 케이싱 내부의 진공 상태가 파괴되어 임펠러의 회전에너지가 유체로 전달되지 않아 정상 유량보다 낮은 토출 유량이 나타났다.

Fig. 12는 펌프 흡입 측이 폐쇄된 상태에서 측정 한 값으로 전류값은 정상상태 범위였으나, 압력은 0~0.05 MPa, 유량은 흡입 배관의 40%가 폐쇄될 경우 273 L/min에서 120 L/min으로 56%로 측정되었다. 펌프 흡입 측 폐쇄는 유량이 증가함에도 흡입 수두 증가로 인한 토출 수두 감소로 현저히 낮은 압력이 측정되었다.

Fig. 13은 역상 운전으로 전원선의 역상 결선 시 임펠러는 반대 방향으로 회전하므로 정상적으로 유체를 압축하지 못하고 회전에너지를 운동에너지로 변환시키지 못하여 토출 유량과 토출 압력은 정격 대비 낮은 수치로 측정되었다. 역상 운전에서 측정된 전류값은 정상상태와 비교하여 11.4% 높은 전류값이 측정되었으며, 압력 0~0.35 MPa 구간은 정상상태의 H-Q 곡선과

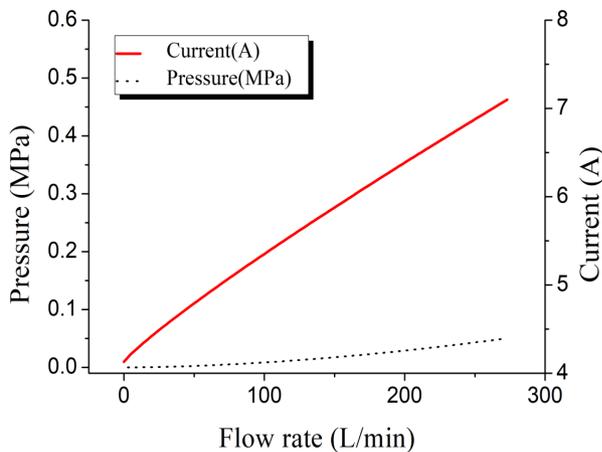


Fig. 12. Flow rate, pressure and current values measured with closed of pump suction side.

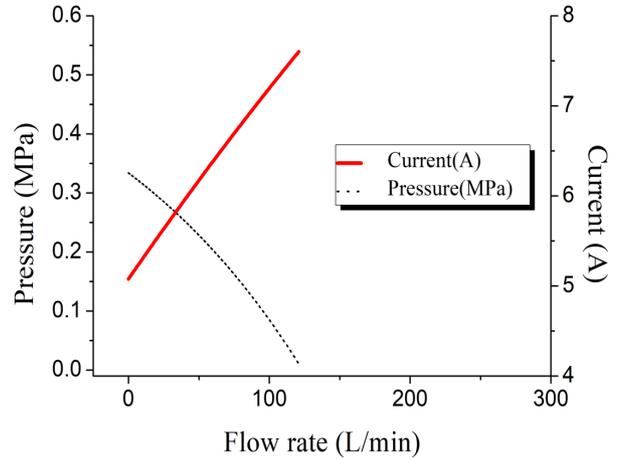


Fig. 13. Flow rate and pressure and current values measured in a power back-connected state.

유사한 패턴을 보이나 유량은 정격유량의 44.6%이하, 압력은 정격 압력의 70.2%이하로 측정되었다.

5. 결론

본 연구는 소방 펌프의 성능 실험을 통하여 전류값의 변화로 고장을 진단할 수 있는 유형 5가지와 전류, 유량 및 압력의 변화로 고장을 진단할 수 있는 3가지 유형으로 구분하였고 각각의 고장 유형에 특징적 신호를 도출하였다. 구체적인 결론은 다음과 같다.

1. 전류값의 변화로 고장을 진단할 수 있는 5가지 유형으로 고착 52.8 A, 수원이 없는 경우 4.1 A, 전원 결상 45.1 A, 연결축 분리 상태 3.8 A, 단속 운전 0~50 A로 나타났다.
2. 전류, 유량 및 압력의 변화로 고장을 진단할 수 있는 3가지 유형으로 케이싱 내부에 공기가 유입된 상태일 경우 측정 한 전류는 정상범위이고, 유량 0 L/min, 일 때 압력 0.38 MPa, 유량 22 L/min일 때 압력 0.24 MPa, 유량 37 L/min일 때 압력 0.14 MPa로 나타났다. 수원 흡입 불량상태에서 측정 한 전류는 정상범위이고, 유량이 변동함에도 불구하고 압력은 0~0.05 MPa로 나타났다. 전원선 결선이 역상인 상태에서 측정 한 전류는 정상범위이고 유량이 0 L/min일 때 압력이 0.33 MPa이고, 유량이 증가할수록 압력은 0 MPa로 수렴하였다.
3. 전동기의 비정상 상태와 기계적으로 문제가 발생한 상태를 구분하여 각각의 특성 신호를 도출하였고 본 특성 신호들은 소방 펌프의 진단 또는 진단시스템 개발의 기초자료로 활용 가능하다.

References

- 1) NFPA, “Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection”, NFPA 20, 2016.
- 2) National Fire Agency, “Act on Fire Prevention, Installation and Maintenance of Firefighting Facilities, and Safety Management”, Article 25, 2019.
- 3) NFPA, “Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems”, NFPA 25, 2017 edition.
- 4) NFSC103, National Fire Safety Code.
- 5) P. Zhang, Y. Du, T. G. Habetler and B. Lu, “A Survey of Condition Monitoring and Protection Methods for Medium-voltage Induction Motors”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 47, No. 1, pp. 34-46, 2010.
- 6) E. Elbouchikhi, V. Choqueuse, F. Auger and M. El. H. Benbouzid, “Motor Current Signal Analysis based on a Matched Subspace Detector”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 66, No. 12, pp. 3260-3270, 2017.
- 7) Fire Statistical Year book 2020 “<https://www.nfds.go.kr>”
- 8) NFPA, “The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, 2020 edition.
- 9) NFPA, “Standard for Electrical Safety in the Workplace®”, NFPA 70E®, 2015 edition.
- 10) D. H. Kim, E. J. Kim and S. C. Kim, “A Study on Intelligent Technique for Correlation Application of Overcurrent and Leakage Current Signals in the Indoor Wiring”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 30, No. 4, pp. 14-19, 2015.
- 11) E. J. Kim, D. H. Kim and S. C. Kim, “Analysis for Electrical Fire Possibility Using Fuzzy Logic with Input Variables of Overcurrent and Saturation Time in the Indoor Wiring”, J. Korean Soc. Saf., Vol. 30, No. 6, pp. 34-39, 2015.
- 12) D. H. Kim and H. S. Lee, “Detection of Current Signal and Thermal Characteristics of Electric Fan Operated in Various Situations” J. Korean Soc. Saf., Vol. 29, No. 3, pp. 20-27, 2014.