

## 다품종 종이용기의 고속 생산을 위한 고장 진단 시스템 개발

김설하\*, 장재호\*\*, 주백석\*.#

\*금오공과대학교 기계시스템공학과, \*\*현진제업 기술연구소

### The Development of a Failure Diagnosis System for High-Speed Manufacturing of a Paper Cup-Forming Machine

Seolha Kim\*, Jaeho Jang\*\*, Baeksuk Chu\*.#

\*Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology.,

\*\*Technical Research Center, HYUNJIN Co., Ltd.

(Received 8 March 2019; received in revised form 5 March 2019; accepted 10 March 2019)

#### ABSTRACT

Recently, as demand for various paper containers has rapidly grown, it is inevitable that paper cup-forming machines have increased their manufacturing speed. However, the faster manufacturing speed naturally brings more frequent manufacturing failures, which decreases manufacturing efficiency. As such, it is necessary to develop a system that monitors the failures in real time and diagnoses the failure progress in advance. In this research, a paper cup-forming machine diagnosis system was developed. Three major failure targets, paper deviation, temperature failure, and abnormal vibration, which dominantly affect the manufacturing process when they occur, were monitored and diagnosed. To evaluate the developed diagnosis system, extensive experiments were performed with the actual data gathered from the paper cup-forming machine. Furthermore, the desired system validation was obtained. The proposed system is expected to anticipate and prevent serious promising failures in advance and lower the final defect rate considerably.

**Key Words** : Paper Cup Forming Machine(종이용기 성형기), Real Time Failure Diagnosis(실시간 고장진단), Paper Deviation(원지 이탈), Temperature Failure(온도 고장), Abnormal Vibration(진동 이상)

#### 1. 서 론

최근 다양한 형태의 종이용기가 다방면에서 사용되면서 Fig. 1과 같은 일회용 종이용기의 수요가 증가하고 있다. 이러한 수요에 따라 Fig. 2와 같은 종이용기 성형기의 생산 속도를 증가시키려는 노력이 진행 중이다. 그러나 성형기 생산 속도

의 증가는 성형기의 고장 빈도 수 또한 증가시키며 이는 최종적으로 생산되는 종이용기의 불량률 야기한다. 성형기에 고장이 발생하면 고장을 수리하기 위한 정비가 필수적이고, 고장 빈도가 늘어날수록 정비 빈도 또한 증가하여 이에 따른 정비 비용이 발생한다. 따라서 필요 이상으로 소모되는 정비 및 재생산 비용과 종이용기 불량률을 낮추기 위해서는 성형기의 고속 작동 시 고장 발생률이 큰 주요 고장 원인을 파악하고 사전에 방지하는 것이 중요하다<sup>[1],[2]</sup>. 본 연구에서는 다양한 고장 원

# Corresponding Author : bschu@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7398, Fax: +82-54-478-7319

인들 중 고장 발생 시 전체 시스템에 큰 영향을 끼치거나 고장 빈도가 높은 부품을 위주로 고장진단 대상을 선별하였다. 선정된 고장 진단 대상들의 과거 고장 이력에 대해 분석하고 진단 부위에 따른 원인을 조사하였다. 그리고 이러한 고장의 발생과 진행 방향을 미리 검출하여 예상치 못한 고장으로 인한 기계 가동의 중단을 예방하기 위해 고장을 진단 및 예지하는 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램을 통해 기계의 상태를 모니터링하여 성형기의 효율적인 유지 및 보수가 가능하다.

## 2. 고장 진단 시스템 구성

### 2.1 종이용기 성형기의 고장 진단 대상 선정

종이용기 성형기의 고장 진단은 기계의 정비를 위하여 필요하지만, 고장 발생 빈도가 적은 부품이나 고장이 발생하였을 때 기계의 정지와 같은 큰 고장을 야기하지 않는 부품들을 모두 모니터링하는 것은 비효율적이다. 따라서 고장 발생 시 전체 시스템에 큰 영향을 끼치거나 고장 발생 빈도가 높은 부품을 선별하여 고장을 진단하는 것이 필요하다. Table 1에서 성형기 파트별 불량 발생 건수를 확인할 수 있는데, 총 불량 발생 횟수 중 각 파트별 주요 불량 발생 원인과 발생 횟수를 조사함으로써 지속적으로 모니터링해야 할 고장을 파악하였다. 파악된 주요 고장 이력 및 문제점을 분석하여 고장 진단이 필요한 주요 고장 진단 대상을 선정하였다. Table 2에는 선정된 고장 진단 대상과 각 고장이 발생하는 위치, 해당 고장 내용이 표기되어 있다. 고장 진단 대상으로는 종이용기의 재료인 원지(paper), 종이용기 성형기 히터의 온도(temperature), 성형기 가공부 동력을 전달하는 캠의 진동(vibration)이 있다. 원지의 경우 두 종류의 고장 상황이 있으며, 각각 다른 위치에서 고장이 검출된다<sup>[3]</sup>. 첫 번째 고장은 원지가 흡착패드에서 이송될 때 패드가 마모되거나 원지의 상태가 좋지 않은 경우 원지가 흡착패드에서 이탈하는 경우를 의미한다<sup>[4]</sup>. 두 번째 고장은 원지가 접착을 위해 잠시 정지하는 가열 구간에서 비틀리는 경우



Fig. 1 Various types of paper cup



Fig. 2 Paper cup forming machine(Hi-master 1000R)

Table 1 Major failure statistics

Part	Total number of failure	Main cause of failure	
		Failure	Number
Sidewall feeder	90	Paper deviation	43
Transfer Turret	56	Paper deviation	21
Heater Station	49	Blockage	14
		Temperature reduction	4
Bottom Incurl Station	31	Wear	10
		Breakage	3

Table 2 Major failure diagnosis targets

Failure diagnosis targets	Location for detection	Failure details
Paper	Sidewall Feeder	Suction pad deviation
	Transfer Turret	Paper position deviation
Temperature	Heater Station	Heater temperature or thermocouple failure
Vibration	Bottom Incurl Station	Abnormal vibration from cam failure

를 의미한다. 온도의 경우 히터의 온도를 측정하는 써모커플이 고장 나거나 히터 자체의 고장으로 원지를 가열하는 온도가 상승 또는 하강하는 고장을 의미한다. 진동의 경우 캠에서 마모나 크랙 등이 발생하여 이상 진동 신호가 발생하는 것을 의미한다.

## 2.2 고장 진단 대상 별 감지 시스템

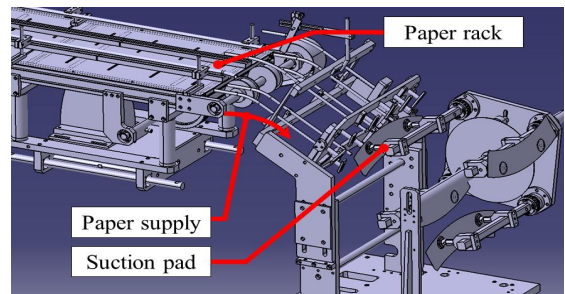
고장 진단 대상으로 선정된 네 가지 고장을 감지하기 위하여 사용한 센서를 Table 3에 나타내었다. 원지가 흡착패드에서 이탈하는 고장을 감지하기 위하여 A-10 압력센서를 이용하여 패드의 압력 변화를 측정하고자 하였고, 원지의 비틀림을 감지하기 위해 BJN50-NDT 포토센서를 이용하여 원지의 비틀림 여부와 비틀림 방향을 진단하고자 하였다. 온도이상을 진단하기 위해서는 K 타입 써모커플과 GNS10LT-SF-K 적외선 온도센서를 이용하여 히터의 온도를 측정하고 센서 고장을 방지한다. 진동의 경우 8702B50 가속도계를 이용하여 진동 신호를 측정하고 정상신호와 이상신호를 비교한다. 위 센서들을 활용한 구체적인 고장 감지 메커니즘이 이후에 설명된다.

Table 3 Sensors for failure detection

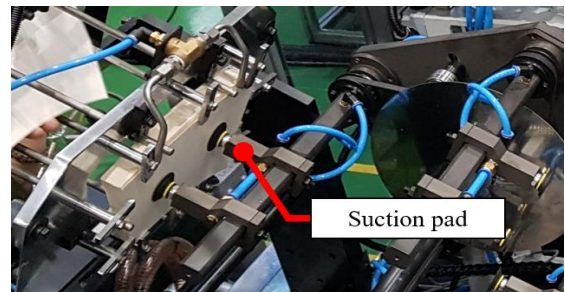
Targets	Sensor	Specification
Paper	Pressure sensor (A-10, WIKA)	Measuring range : -1~2 bar Output range : 4~20 mA
	Photo sensor (BJN50-NDT, Autonics)	Detection range : 30~70 mm Limit detection : Ø 0.2 mm
Temperature	IR Sensor (GNS10LT-SF-K, GILWOO)	Temperature range : 0~500°C Workable range : 0~70°C
	Thermocouple (K type)	Temperature range : -270~1260°C Accuracy : +/-1.1°C
Vibration	Accelerometer (8702B50, KISTLER)	Sensitivity : 9.8 mV/g Frequency range : 1~5000 Hz

### 2.2.1 원지 이탈 감지 시스템

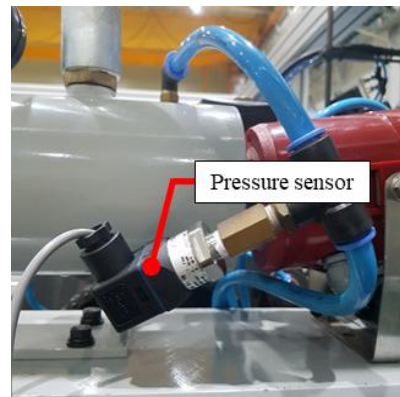
원지가 정상 위치에서 이탈하는 상황은 두 종류가 있으며 원지가 공급될 때와 이송될 때 원지 이탈이 독립적으로 감지된다. Fig. 3 (a)는 원지 공급부의 형상을 CATIA 프로그램을 이용하여 3D 모델링 한 것이다. 종이용기로 성형되기 전 원지는 원지선반(paper rack)에 위치한 Fig. 3 (a)의 좌측 상단의 공급부(paper supply)에 정렬되어 놓여있다.



(a) 3D model of sidewall feeder



(b) Actual view of sidewall feeder



(c) Pressure sensor for paper deviation

Fig. 3 Sidewall feeder for paper supply

이 원지들은 Fig. 3 (b)의 흡착패드(suction pad)를 이용하여 이송부로 공급되며, 공급 시 흡착패드의 압력이 모니터링된다. 흡착패드와 연결된 압력 튜브에 Fig. 3 (c)처럼 압력센서를 연결하여 해당 압력을 측정한다. 원지가 정상적으로 공급되는 경우 흡착패드가 종이와 밀착되어 음압을 생성하며, 패드가 마모되거나 원지의 상태가 좋지 않아 공급되는 도중 원지가 흡착패드에서 이탈할 경우 흡착패드의 압력은 음압에서 대기압까지 상승하게 된다. 정상 상태의 압력 수치보다 높은 대기압 수준의 압력이 감지되면 원지가 이탈한 것으로 판단하여 모니터링 화면에 실시간으로 표시되며, 원지의 이탈 발생 시간과 횟수가 감지 시스템 메모리에 저장된다.

### 2.2.2 원지 비틀림 감지 시스템

Fig. 4는 원지 이송부의 형상을 CATIA 프로그램을 이용하여 3D 모델링 한 것이다. 공급부에서 흡착패드에 의해 공급된 원지는 Fig 4의 좌측에서 공급되며 반시계 방향으로 이송된다. 원지 이송 시에는 다양한 이유로 원지가 비틀어질 수 있는데, 이는 최종 제작되는 종이용기의 불량률을 증가시키는 원인이 될 수 있다. 따라서 원지가 종이용기 형상을 갖추기 전인 이송단계에서 비틀림을 진단하여 제작 불량을 방지해야 한다. 이송 중인 원지가 접착을 위해 잠시 정지하는 가열 구간의 원지 위치가 Fig. 4의 하단부에 표시되어있다.

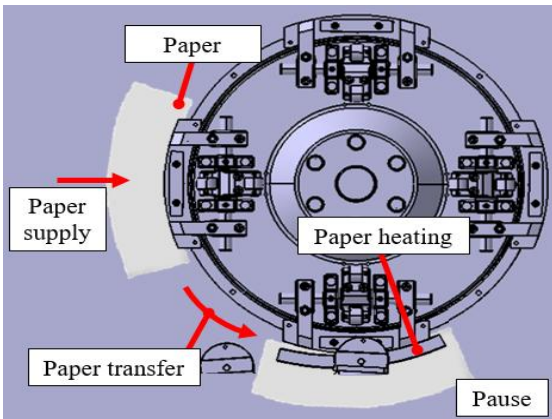
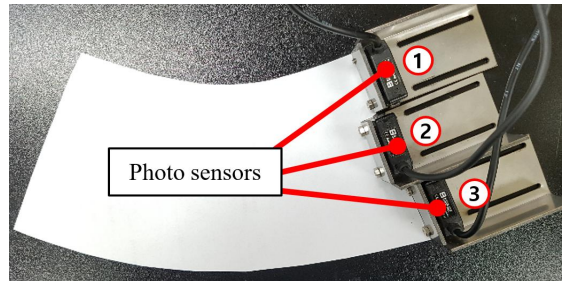
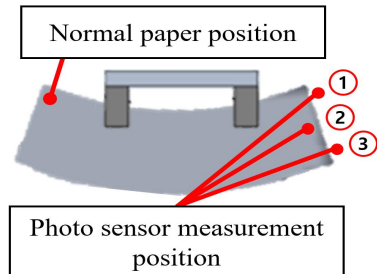


Fig. 4 Transfer turret for paper transfer

원지는 그림의 지정된 위치에 정확하게 위치하여야 하지만, 원지가 정상 이송 위치를 이탈하였을 때에는 Fig. 5 (a)의 포토센서를 이용하여 원지의 정상 위치 여부와 비틀림 여부, 그리고 비틀림 방향을 감지하며 이를 운영자에게 전달한다. Fig. 5 (b)에서 보는 바와 같이 엇갈리게 배치된 세 개의 포토센서가 원지의 우측에서 비틀림 상황을 감지한다. 원지가 정상 이송 위치에 있을 때 첫 번째와 세 번째 포토센서는 원지의 바깥쪽에 위치하며, 두 번째 포토센서는 원지의 안쪽에 위치하여 원지가 정상 이송 위치를 벗어날 때 비틀림 감지가 가능하다. Fig. 6이 비틀림 양상을 그림으로 나타낸 것이다. 원지가 반시계 방향으로 비틀어지면 Fig. 6 (a)와 같이 세 번째 포토센서가 원지를 인식하여 반시계 방향 비틀림으로 감지하며, 시계방향으로 비틀어질 경우 Fig. 6 (b)와 같이 첫 번째 포토센서가 원지를 인식하여 시계방향 비틀림으로 감지한다. 원지가 정상 이송 위치보다 우측으로 밀리게 될 경우 Fig. 6 (c)와 같이 첫 번째와 세 번째



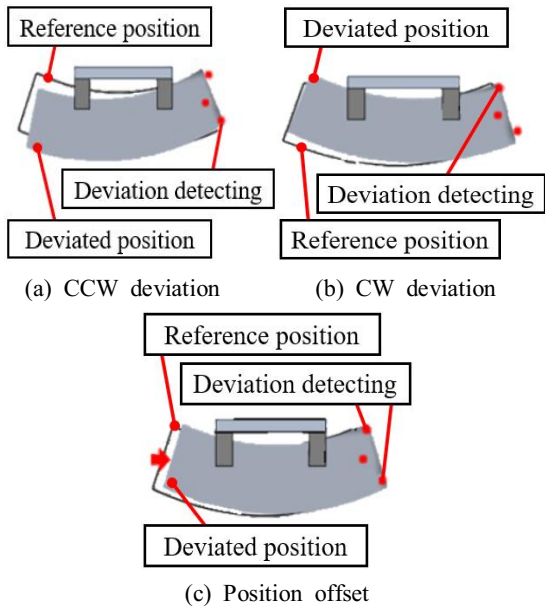
(a) Photo sensors for paper position deviation measurement



(b) Paper position deviation measurement location

Fig. 5 Photo sensors and paper position deviation measurement location



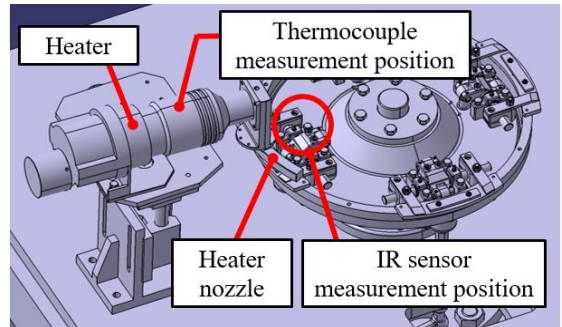


**Fig. 6 Paper position deviation measurement mechanism**

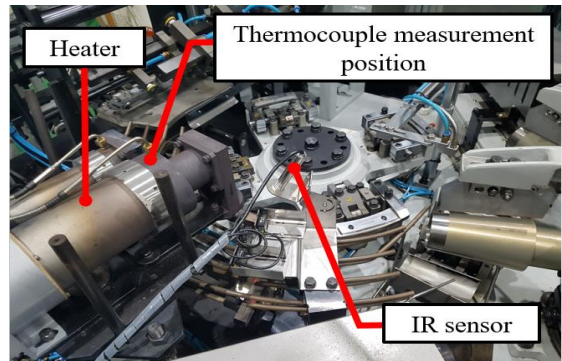
째 포토센서 모두 원지를 인식하여 밀림을 감지한다. 감지된 원지의 위치 이탈 여부 및 이탈 양상은 실시간으로 모니터링되며 감지 시스템 메모리에 저장된다. 이 결과를 분석하여 지속적으로 반복되는 이탈 양상이 관측될 경우 운영자는 시스템의 구조 개선에 그 결과를 활용할 수 있게 된다.

### 2.2.3 온도 고장 감지 시스템

종이용기 제작을 위해 이송부로 공급된 원지의 접합부분에 히터로부터 배출되는 고온의 공기를 이용하여 열을 가하는데, 히터 자체의 고장이 발생하거나 히터의 온도를 감지하는 써모커플이 고장 나는 상황이 발생할 수 있다. 고장으로 인해 온도가 잘 못 측정이 되면, 원지를 가열할 때 문제가 생겨 최종적으로 불량 종이용기가 생산된다. 이러한 문제를 방지하기 위해 기존에 설치된 써모커플을 보완할 적외선 온도센서를 추가로 설치하여 히터의 온도를 측정한다. 두 가지 온도 센서를 이용하면 하나의 센서가 고장 나더라도 다른 하나의 센서로 온도를 측정할 수 있으며, 두 센서가 측정하는 온도의 양상이 서로 다른 경우 센서의



(a) Heater and temperature measurement position



(b) Actual heater temperature measurement from thermocouple and IR sensor

**Fig. 7 Temperature measurement system for temperature failure detection**

고장 여부를 바로 판단할 수 있다. Fig. 7 (a)는 원지 이송부와 히터를 CATIA 프로그램을 이용하여 3D 모델링 한 모습을 나타낸 것이고, Fig. 7 (b)는 실제 성형기 이송부와 히터를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 써모커플은 히터 내부의 공기 온도를 측정하며 적외선 온도센서는 이송부에 놓인 원지를 가열하는 히터 노즐의 온도를 측정한다. 기존 사례를 통해 정상 종이용기가 생산될 수 있는 원지 가열 온도의 허용범위를 설정한 후, 범위 내로 온도가 유지되는지를 모니터링한다. 측정 온도가 최대 허용 온도를 초과하거나 최소 허용 온도 미만일 경우 온도이상으로 판단하여 모니터링 화면에 표시가 되어, 온도이상 상황을 실시간으로 감지할 수 있다. 그리고 특정 주기 별 측정 온도와 온도 이상 상황이 고장 진단 시스템 메모리에 저장된다.

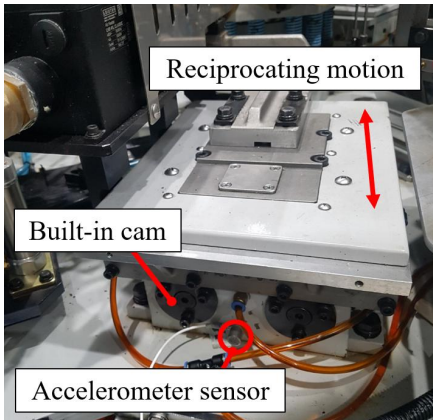


Fig. 8 actual system for abnormal vibration measurement

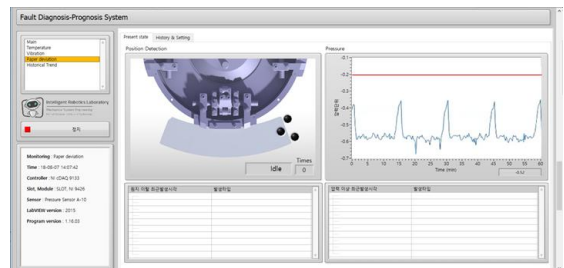
### 2.2.4 진동 이상 감지 시스템

종이용기 성형을 위한 가공부의 왕복 운동을 발생시키기 위해 다양한 크기와 종류의 캠이 사용된다. 종이용기 성형기가 노후화되거나 생산 속도를 높이려고 하는 과정에서 가공부에 동력을 전달하는 캠(cam)에 기존 부하보다 큰 힘이 가해질 수 있다. 이 때 캠에 크랙(crack) 또는 마모가 발생하여 캠 형상을 변형시킬 수 있으며 이것은 성형기의 수명을 단축시키고 가공 정밀도를 떨어뜨려 불량 종이용기 발생의 원인이 된다. 캠 형상변화에 따른 진동의 진폭 변화를 관찰하여 고장 여부를 진단하고 그 추이를 분석하여 향후 고장 발생 가능성을 예측할 수 있는 시스템을 구현하고자 하였다. Fig. 8과 같이 종이용기의 바닥을 성형하는 공정을 위한 왕복운동이 이루어지는 부품 측면에 진동을 측정하는 가속도계를 부착하여 기계의 진동 신호를 확인할 수 있다. 부품 하부의 회전운동은 캠으로 작동되며 이러한 회전운동은 성형기 상부의 공정을 수행하기 위한 왕복운동을 만들어낸다. 왕복운동 시 문제가 발생하면 진동 신호를 관찰하여 정상 상태에서의 진동 신호와 문제 발생 시의 진동 신호를 분석한다<sup>[5],[6]</sup>. 캠이 변형된 경우의 진동 신호는 정상 상태의 진동 신호보다 크기가 증가하며, 해당 기준치를 초과하였을 때 모니터링 화면에 표시가 되고 진동 이상을 실시간으로 감지할 수 있다.

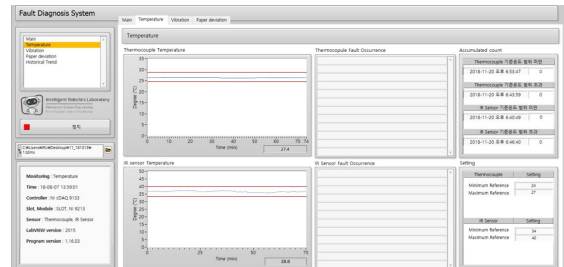
## 3. 고장 진단 및 예지 알고리즘

### 3.1 실시간 고장 진단 프로그램

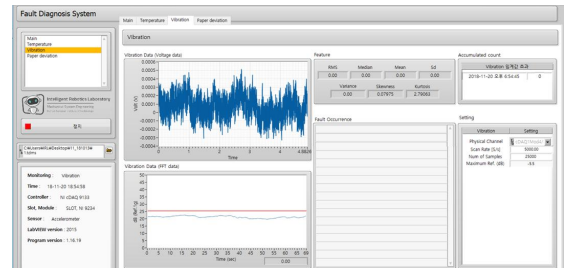
Fig. 9는 실시간으로 이 연구에서 선정된 네 가지 고장을 모니터링하며 측정되는 센서 값을 수집하는 실시간 고장 진단 프로그램을 보여준다. 프로그램은 원지 이탈, 원지 비틀림, 온도 이상, 진동 이상 네 가지의 고장을 동시에 모니터링하며 실시간으로 진단할 수 있는 기능이 포함되어 있다. Fig. 9 (a)는 원지 이탈을 진단하는 화면으로 이 연구에서 개발한 두 가지 원지 이탈 감지 시스템을 한 화면에 구현하였다. 좌측은 이송부의 원



(a) Paper deviation failure detection



(b) Temperature failure detection



(c) Vibration failure detection

Fig. 9 Real-time failure diagnosis program

지 비틀림을 진단하는 화면으로, 비틀림이 감지될 경우 화면에 표시된 세 곳의 센서 측정 위치 중 비틀어진 위치가 붉은 색으로 변하게 된다. 원지의 비틀림이 감지되면 화면 하단에 비틀림 방향과 시간이 표시된다. 우측 화면에서는 공급부의 흡착패드 압력을 그래프에서 확인할 수 있다. 이송부로 공급되는 원지가 패드 또는 원지의 불량으로 패드에서 이탈하게 되면 패드가 대기 중에 노출되어 음압으로 측정되던 패드의 압력은 대기압까지 올라가게 된다. 이 때 측정 압력이 정해진 기준 압력을 초과하게 되면 화면 하단에서 기준값 초과 여부 및 시간 확인이 가능하다. 고장이 발생할 때마다 프로그램 상에 고장의 종류와 시간이 누적되어 표기되는데, 이는 고장의 종류와 고장여부를 즉각적으로 파악하여 빠른 초기 대응을 가능하게 하는 장점이 있다.

Fig. 9 (b)는 온도 고장을 진단하는 화면이며 써모커플과 적외선 온도 센서가 측정하는 각각의 온도 데이터를 그래프와 실제 수치를 통해 실시간으로 확인할 수 있다. 화면상에는 허용되는 범위를 나타내는 기준 온도가 함께 표시되고 종이용기 성형 장비에서 검출되는 센서 값이 허용범위를 벗어났을 경우 고장으로 판단한다. 기준 온도에는 상한과 하한이 있으며, 측정되는 실시간 데이터가 상한을 초과하거나 하한보다 작아질 경우 Fig. 9 (b) 그래프의 우측 화면에 온도 범위 이탈 여부와 이탈 시간이 표시된다. 또한 프로그램의 우측 항목에서 고장 종류 별 이탈 개수를 확인할 수 있다.

진동 이상을 진단하는 화면의 경우 Fig. 9 (c)와 같이 첫 번째 그래프는 측정되는 진동의 크기를 전압 단위로, 두 번째 그래프는 진동의 크기를 데시벨 단위로 보여준다.<sup>[7][8]</sup> 전압 그래프의 우측에서는 실시간 전압 값의 여러 가지 특성 값을 추출하여 보여주는데, 추출한 특성 값 종류에는 RMS(root mean square)값, 중간값, 평균, 표준편차, 분산, 비대칭도, 첨도가 있다. 특성 값 항목 하단에서는 진동의 데시벨 값의 기준값 초과 여부와 초과 시간을 확인할 수 있으며, 프로그램의 우측 화면에서 초과 개수를 파악할 수 있다.

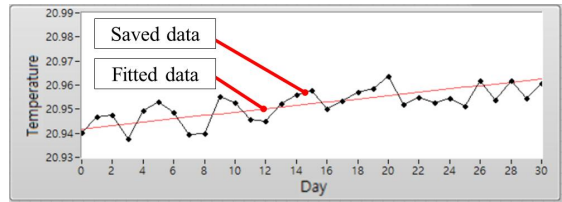


Fig. 10 Historic tendency observation from data

### 3.2 경향성 파악을 통한 고장 예지 프로그램

각 고장 진단 대상의 데이터는 저장되어, 원하는 기간 동안의 데이터 경향성을 파악할 수 있다.<sup>[9],[10]</sup> 측정된 데이터를 불러와 그래프로 확인할 수 있는데, 그래프 상의 데이터 변화 추이를 파악하기 위해 데이터를 선형 보간(linear interpolation)한다. 선형 보간 후 생성되는 1차 함수의 기울기를 구하면 데이터의 변화 경향성을 확인할 수 있다. 앞서 측정된 고장 진단 데이터의 경향성 파악을 위해 저장된 데이터 중 임의로 온도 데이터를 선정하여 경향성을 확인하고자 하였다. 선정된 온도 데이터는 1개월간의 평균온도 추이로 Fig. 10의 'Saved data'로 표현되며 데이터의 변화 경향성은 'Fitted data'로 나타내었다. 이 직선으로 근사된 값의 기울기를 통해 데이터의 변화율을 알 수 있으며, 직선 그래프가 선형 외삽(linear extrapolation)된 예상값이 각 고장 진단 대상의 허용임계값과 같아질 시기를 예측하여 예상 고장 발생 시기를 예지할 수 있다.

## 4. 고장 진단 프로그램의 성능 실험

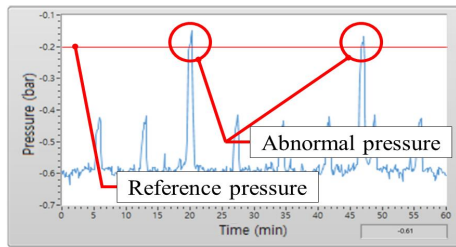
개발된 고장 진단 프로그램의 성능 파악을 위해 선정된 네 가지 고장 대상에 대한 고장 상황을 구성하고, 고장이 발생하여 측정되는 데이터와 정상적인 상태의 데이터를 비교하여 네 가지 고장 상황 진단에 관한 검증 실험을 진행하였다.

### 4.1 원지 이탈 감지 실험

원지 이탈 진단 프로그램의 성능 검증을 위해



(a) Intentional paper failure for abnormal pressure situation



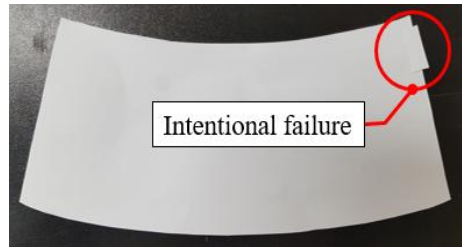
(b) Pressure monitoring

**Fig. 11 Failure diagnosis by pressure monitoring**

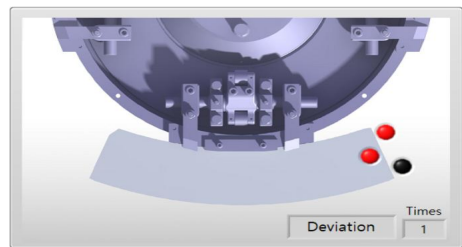
원지 공급 시 발생하는 고장 상황을 의도적으로 구성하였다. 원지 공급 시 발생하는 고장의 경우 흡착패드가 마모되거나 원지의 상태가 불량하여 패드가 원지를 흡착하지 못하는 고장이 발생하는 데, 본 연구에서는 패드를 직접적으로 손상시키는 대신 Fig. 11 (a)와 같은 불량 원지를 제작하였다. 불량원지는 패드와 닿는 부분에 의도적인 홈집을 내어 원지가 공급될 때 패드와의 흡착 불량이 발생하도록 하였다. 흡착 불량으로 인해 패드가 원지를 흡착하지 못하는 경우 패드의 압력을 측정하는 압력센서가 대기에 노출되어 프로그램 상의 그래프에 나타난 압력이 Fig. 11 (b)와 같이 기준 압력 이상으로 상승하였다. 압력 이상 발생 시 기준 값 초과 여부와 발생 시각이 프로그램 상에 표기 및 저장되고 작업자는 공급되고 있던 원지가 이탈하였음을 확인할 수 있다.

## 4.2 원지 비틀림 감지 실험

이송 시 발생하는 비틀림 상황을 의도적으로 구성하기 위하여 Fig. 12 (a)와 같이 원지 우측 상단에 고의적인 불량이 포함된 불량 원지를 제작하였다. 제작한 불량 원지는 정상원지가 시계방향으로



(a) Intentional paper failure for paper deviation situation



(b) Paper deviation monitoring

**Fig. 12 Failure diagnosis by detecting paper deviation**

비틀렸을 경우의 고장 상황을 나타낸다. 불량원지는 정상원지와 함께 이송되며, 불량원지가 이송부를 지날 때 비틀림을 진단하는 세 개의 포토센서 중 첫 번째 포토센서가 원지를 감지하여 Fig. 12 (b)와 같이 프로그램 상에 그 상황이 표시 및 저장되고 작업자는 이 상황을 파악할 수 있게 된다. 이송부로 전달되는 다수의 정상원지에 불량원지를 몇 개 포함하여 원지의 비틀림 여부를 더 측정하였는데, 사용한 불량원지의 개수만큼 시계방향의 비틀림이 검출되었고 비틀림으로 인한 원지 이탈의 진단 성능을 확인하였다.

## 4.3 온도고장 감지 실험

히터 온도 측정 시 발생하는 고장 상황을 구성하기 위하여 센서 측정 온도가 기준온도 범위를 벗어나도록 온도를 설정하였다. Fig. 13의 상단 그래프는 써모커플의 온도 측정 그래프이며 최소 허용 온도보다 낮은 온도가 측정되도록 하였다. 하단 그래프는 적외선 온도센서 측정 그래프이며 최대 허용 온도를 초과하고 있다. 허용 온도 범위를 벗어나게 되면 두 온도 센서에 의해 나타나는 각



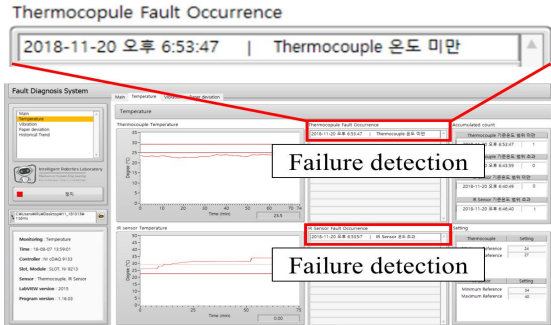
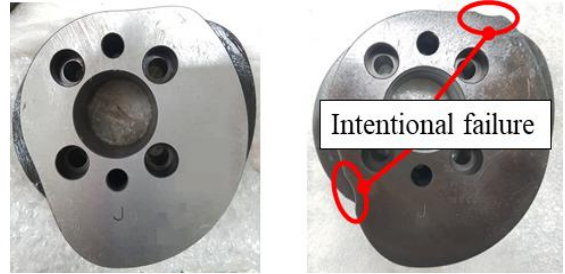


Fig. 13 Temperature failure experiment

그래프에서 온도를 나타내는 선의 색이 변하며, 프로그램 상에 허용 온도 범위를 벗어났다는 의미의 고장상태 문구와 고장 발생 시각, 그리고 고장 횟수가 함께 Fig. 13 우측 화면과 같이 표시된다. 두 개의 서로 다른 종류의 센서를 이용하여 온도를 모니터링할 경우 이를 서로 비교하여 히터 자체의 고장과 온도 센서의 고장을 즉각 알아낼 수 있고, 고장 상황의 실험을 통해 프로그램의 성능을 확인하였다.

#### 4.4 진동이상 감지 실험

캠 구동부에 발생할 수 있는 고장을 감지하기 위해 왕복운동 시 생성되는 진동 신호를 측정한다. 이 진동 신호는 캠이 마모되어 형상이 변할수록 크기가 증가한다. 진동 신호가 증가하는 것은 캠의 고장을 의미하므로 진동 이상을 측정하기 위해서 본 실험에서는 캠의 형상을 고의적으로 변형시켰다. Fig. 14 (a)가 정상상태의 캠 형상이고, (b)가 고의적으로 제작한 캠 형상이다. 변형시킨 캠은 구동 시 하중이 많이 가해지는 부분에 마모가 발생한 것처럼 제작하였다. 정상상태의 진동 신호를 측정하기 위해 정상 캠을 구동부에 설치하고 가속도계 센서를 이용하여 신호를 측정하였고 정상 진동 신호(V)는 Fig. 15의 그래프 하단에서 확인할 수 있다. 고장상태의 캠 또한 구동부에 설치하여 진동 신호를 확인하였으며 Fig. 15의 그래프 위쪽의 선과 같이 측정되었다. 고장 진동 신호는 설정된 허용 기준치를 초과하였으며, 이때 구동부의 캠 고장이 발생하였음을 확인하였다.



(a) Normal cam (b) Abnormal cam

Fig. 14 Intentional cam failure for abnormal vibration detection experiment

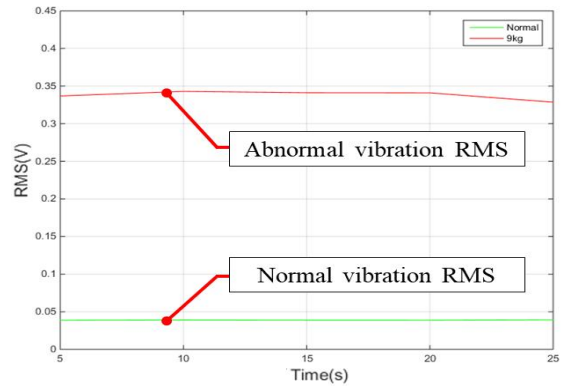


Fig. 15 RMS value of vibration(V)

#### 4.5 통합 고장 진단 시스템 실험

각각의 고장 상황에 대한 실험을 진행한 후, 네 가지 상황에 대한 실험을 동시에 수행하는 통합 고장 진단 시스템 실험을 진행하였다. Fig. 16과 같이 실제 종이용기 성형기에 고장 진단 시스템을 적용하여 각 실험별 고장을 발생시킨 뒤 검출 개수를 파악하였고, 이를 5회 반복 시행하여 최종 검출률을 산출하였다.

불량 원지로 인한 압력 이상이 발생하여 원지 이탈이 발생한 경우를 가정하여 Fig. 11 (a)의 불량시편을 5회 투입하는 실험을 총 5회 진행하였다. 이 실험의 결과는 Table 4에서 확인할 수 있으며, 투입된 불량시편의 개수만큼을 모두 검출하여 100%의 검출률을 보여주었다. 비틀림으로 인한 원지 이탈의 경우 이를 가정하여 Fig. 12 (a)의 불량시편을 10회 투입하는 실험을 총 5회 진행하

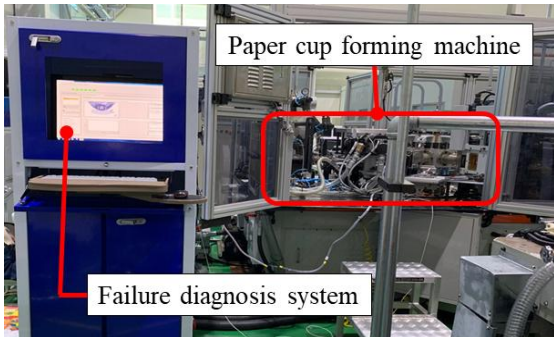


Fig. 16 Combined failure diagnosis experiment

Table 4 The result of paper deviation experiment from pressure failure

Number of repetitions	Number of failure	Detection count	Detection rate
1	5	5	100%
2	5	5	100%
3	5	5	100%
4	5	5	100%
5	5	5	100%
Sum	25	25	100%

Table 5 The result of experiment about the paper deviation by tilting to one side

Number of repetitions	Number of failure	Detection count	Detection rate
1	10	8	80%
2	10	9	90%
3	10	9	90%
4	10	9	90%
5	10	10	100%
Sum	50	45	90%

Table 6 The result of temperature failure experiment

Number of repetitions	Number of failure	Detection count	Detection rate
1	10	10	100%
2	10	10	100%
3	10	10	100%
4	10	10	100%
5	10	10	100%
Sum	50	50	100%

Table 7 The result of vibration failure experiment

Number of repetitions	Normal vibration RMS	Abnormal vibration RMS	Rate of rise (times)	Detection rate
1	0.03878	0.34298	11.30	100%
2	0.03907	0.33687	11.59	100%
3	0.03886	0.34293	11.33	100%
4	0.03881	0.34117	11.37	100%
5	0.03928	0.34101	11.52	100%
Average	0.0390	0.3410	11.42	100%

었다. 이 실험의 결과는 Table 5에서 확인할 수 있으며, 투입된 불량시편 중 몇 개를 검출하지 못하여 총 90%의 검출률을 보여주었다. 온도고장 검출하는 실험의 경우 온도고장은 히터의 온도를 감지하는 써모커플이 고장나거나 히터 자체의 고장으로 인하여 온도가 상승 또는 하강하는 고장을 의미한다. 써모커플의 보안을 위해 설치된 적외선 온도 센서에 히터 노즐이 아닌 다른 금속의 온도를 검출하게 하여 설정한 허용범위를 벗어나면 온도 이상을 검출하는지를 확인하였다. 실제 종이용기 성형기의 온도를 검출하고 있는 부분에 히터 노즐과 온도가 다른 금속 시편을 10회 투입하는 실험을 총 5회 진행하였다. 허용범위는 150도에서 250도로 설정하였으며, 100도보다 낮은 온도의 금속 시편을 사용하였다. 이 실험의 결과는 Table 6에서 확인할 수 있으며, 투입된 금속 시편의 개수를 모두 파악하여 총 100%의 검출률을 보여주었다. 진동이상 검출 실험의 경우 Fig. 14 (b)를 사용하여 진동이상을 가정하였고 이때 측정되는 RMS값과 Fig. 14 (a)의 정상시편 사용 시 측정되는 RMS값을 비교하여 진동 이상을 검출하였다. 정상과 고장 상황별로 RMS값을 총 5회 측정하였으며, 두 RMS값을 비교하여 검출률을 파악한 결과를 Table 7에 나타내었다. 정상캠을 이용하여 실험한 결과 평균 RMS값은 0.0390, 고장캠 실험 시 평균 RMS값은 0.3410으로, 평균 11.42배 차이가 발생한다는 것을 보여주었다. 여기서 설정된 허용 기준치는 0.1로, 5회 모두 허용 기준치를 훨씬 초과하였으므로 총 100%의 검출률을 보여주었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 종이용기 성형기의 주요 고장 진단 대상을 선정하고 선정된 대상의 상태를 파악하여 고장을 실시간으로 진단하는 시스템이 개발되었다. 사용한 소프트웨어는 그래픽 기반의 코딩 프로그램인 LabVIEW이며, National Instrument 사의 CompactDAQ 모듈을 이용하여 각 센서로부터 데이터를 수집하였다. 주요 고장 진단 대상에는 온도, 진동, 원지 이탈이 있으며 각 고장 요소들의 상태를 측정하는 센서를 통해 고장을 진단한다. 개발된 고장진단 시스템의 성능 검증을 위하여 고의적인 고장 상황을 구성하였으며, 고장 상황 발생 시 시스템에서 고장여부를 실시간으로 확인하였다. 각 고장 진단 대상의 고장 상황이 주어지면 시스템상에서 고장 내역을 파악할 수 있었으며 누적 기간 동안의 고장 데이터 경향성을 통해 추후 예상되는 장비 정지 시점을 예상할 수 있다.

## 후 기

이 연구는 2015년도 산업통상자원부(산업기술혁신사업)에서 지원한 “다품종 포장 종이용기 생산을 위한 스마트 자동화 시스템 개발(No. 10060265)” 사업을 통해 수행되었습니다.

## REFERENCES

1. Shin, J., Lee, T. Y., “A Study on the Diagnosis of the Centrifugal Pump by the Intelligent Diagnostic Method”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 12, No. 4, pp. 29-35, 2003.
2. Kim, H. G., Jang, J. S., “A Study On The Embedded Fault Diagnosis System Implementation”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 22, No. 2, pp. 287-291, 2013.
3. Jang, J., Kim, S., Chu, B., “Development of Detecting System for Position Deviation of Raw Paper Used in Paper Cup Forming Machine”, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 34, No. 7, pp. 455-459, 2017.
4. Lee, C. K., Back, W. G., Kim, S. D., “Diagnosis and Evaluation of the Real Time Transformer by the Infrared Thermal Image Equipment”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 21, No. 4, pp. 666-671, 2012.
5. Jang, J., Ha, C., Chu, B., Park, J., “Development of Fault Diagnosis Technology Based on Spectrum Analysis of Acceleration Signal for Paper Cup Forming Machine”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 6, pp. 1-8, 2016.
6. Kim, T., Jeon, Y., Lee, M. G., “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, Vol. 221, No. 3, pp. 343-348, 2013.
7. Kim, Y. W., Bae, Y. C., Lee, H., “Current and Vibration Characteristics Analysis of Induction Motors for Vertical Pumps in Power Plant”, Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 16, No. 4, pp. 404-413, 2006.
8. Moon, D., Kim, S., "Development of intelligent fault diagnostic system for mechanical element of wind power generator", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 24, No. 1, pp. 78~83, 2014.
9. Song, G. W., Koo, J. R., and Choi, W. S., "Determination of Maintenance Period and Failure Probability for Turbine Using Maintenance Record", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A, Vol. 34, No. 9, pp. 1325~1330, 2010.
10. Jung, H., Park, M., “A Study of Big data-based Machine Learning Techniques for Wheel and Bearing Fault Diagnosis”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 19, No. 1 pp. 75-84, 2018.