

## 드론을 활용하고 음성 FFT분석에 기반을 둔 컨베이어 시스템의 원격 고장 검출

염동주<sup>1</sup>, 이보희<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>세명대학교 전기전자공학과 학생, <sup>2</sup>세명대학교 전기공학과 교수

### Remote Fault Detection in Conveyor System Using Drone Based on Audio FFT Analysis

Dong-Joo Yeom<sup>1</sup>, Bo-Hee Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Student, Department of Electrical and Electronic Engineering, Semyung University

<sup>2</sup>Professor, Department of Electrical Engineering, Semyung University

**요약** 본 논문은 화력 발전소 및 시멘트 산업에서 필요한 원자재의 운송 수단에 사용되는 컨베이어 시스템에서의 고장을 검출하는 방법을 제안하였다. 산업현장에서 사람이 접근하기가 힘들고 넓은 공간에 시스템이 동작 하는 점을 고려하여 소형 드론을 설계하였고 컨베이어의 이상을 감지하기 위하여 컨베이어에 내장된 모터의 이상 소음을 감지하는 방법을 임베디드 환경으로 설계하여 드론에 장착하는 구조로 제안하였다. 시스템을 임베디드 마이크로프로세서에 적용하기 위하여 제한된 메모리와 수행 시간을 고려한 하드웨어 및 알고리즘을 제안하였으며 주파수 분석을 통해 고장의 경향을 파악하여 알고리즘화 하였다. 이때 고장 판별 방식은 측정을 통하여 피크주파수를 측정하고 고주파수의 연속성을 감지하는 방식으로 고장에 의한 소음의 높은 주파수를 분석하여 고장진단을 시행할 수 있었다. 제안된 시스템은 실제 화력 발전소에서 취득한 데이터를 바탕으로 실험 환경을 구성하였으며 드론에 설계된 시스템을 탑재하여 가상 환경 실험을 하여 제안된 시스템의 유용성을 확인하였다. 향후에는 드론의 비행 안정성 향상과 고장 주파수에 대한 좀 더 정밀한 방법을 사용하여 판별성능을 향상 시키는 연구가 요구된다.

**주제어** : 드론, 컨베이어 고장 진단, 주파수 분석, 피크주파수, 소음 진단

**Abstract** This paper proposes a method for detecting faults in conveyor systems used for transportation of raw materials needed in the thermal power plant and cement industries. A small drone was designed in consideration of the difficulty in accessing the industrial site and the need to use it in wide industrial site. In order to apply the system to the embedded microprocessor, hardware and algorithms considering limited memory and execution time have been proposed. At this time, the failure determination method measures the peak frequency through the measurement, detects the continuity of the high frequency, and performs the failure diagnosis with the high frequency components of noise. The proposed system consists of experimental environment based on the data obtained from the actual thermal power plant, and it is confirmed that the proposed system is useful by conducting virtual environment experiments with the drone designed system. In the future, further research is needed to improve the drone's flight stability and to improve discrimination performance by using more intelligent methods of fault frequency.

**Key Words** : Drone, Conveyor failure diagnosis, Frequency analysis, Peak frequency, Noise sound classification

\*This paper was supported by the support of research projects in the Semyung University in 2017

\*Corresponding Author : Bo-Hee Lee(bhlee420@nate.com)

Received September 10, 2019

Revised October 1, 2019

Accepted October 20, 2019

Published October 28, 2019

## 1. 서론

오늘날 하늘을 비행하는 이동체로서의 드론에 대한 연구와 이를 적용하여 다양한 환경 및 영역에서 활용되고 있다. 현장에서 드론에 탑재된 카메라를 이용하여 작업 공간을 촬영을 하거나 데이터를 취득하여 원격에 송부하여 현장 상황을 감시하는 용도의 측정용 드론으로 사용하기도 하며, 레저 활동으로 드론을 이용하여 게임을 하기도 하고 전쟁에서 군사용으로 사용되기도 한다. 드론이 가지고 있는 하늘에서 이동할 수 있는 장점을 이용하여 주로 접근이 불가능한 장소에 이동하여 측정하는 측량 시스템에 사용함으로써 광대한 영역에서의 측정을 가능하게 함은 물론이거니와 사람이 접근하지 않고서도 원격에서 카메라로 현장을 촬영[1-3] 하기도 하고 지형구조 탐사[4]나 수질 체크[5], 센서를 이용한 가스 측정[6] 등에도 사용되고 있다. 이러한 현장 상황을 계측 및 분석을 하여야 하는 작업은 여러 산업 분야에서 요구되고 있는데 그 중에서도 대용량의 원자재의 공급이 필요로 하는 화력발전소나 시멘트 공장과 특수한 분야에서의 현장 상황 파악을 위한 작업이 필요하다. 이런 분야에서는 원료인 석탄을 운반하는 작업에 많은 수의 컨베이어벨트가 필요한데 이러한 컨베이어벨트를 운용하기 위해서는 많은 수의 모터가 필요하다. 넓은 지역에 많은 모터가 운용됨에 따라서 주기적으로 모터를 검사할 필요가 있다. 이러한 모터 고장 검사방법에는 전류 노이즈 측정, 진동 측정, 소음 주파수 측정 등이 있다. [7-9] 전류 노이즈 측정과 같은 경우에는 모터마다 전류를 체크하여야 하므로 광범위한 지역에서 알맞지 않다. 진동 측정은 컨베이어벨트 구동 모터의 진동을 측정하여 고장진단을 하는 방법으로써 컨베이어벨트 부근에 각각 시스템을 부착해 주어야 하는 단점이 있다. 소음 주파수 측정은 모터의 소리로부터 고주파를 감지하는 방법으로써 다소 원거리로부터 측정할 수 있는 장점이 있어 본 논문은 이를 방식으로 고장진단 시스템을 설계하였다. 원거리 측정 방법에는 발전소 내부의 컨베이어 시스템에 접근하기 어려우므로 비행체인 드론에 장착하는 방식을 제안하였다. 드론에 장착되는 측정 시스템은 임베디드 환경에 적합한 고기능이며 효율성이 좋은 프로세서를 내장한 형태의 회로 및 알고리즘을 사용하였다. 전체적 구성은 2장에서는 제안하는 시스템의 구조 및 고장 판별에 대한 알고리즘을 다루며, 3장에서는 제안한 시스템을 이용하여 실제 현장 데이터를 이용하여 판별 시스템의 유용성을 검증한다. 그리고 제안한 시스템을 이용한 가상 환경 하에서 실험을 진행하고 고장 진단 결과를 분석한다.

## 2. 시스템구조

제안하는 전체 시스템은 드론에 고장 진단을 할 수 있는 진단 시스템을 탑재한 복합 구조로서, 전체 시스템 구성은 소리데이터 계측 판별을 위한 알고리즘을 수행하는 부분과 계측 하드웨어를 운반하는데 필요한 드론 시스템으로 구성된다. 전체 시스템은 Arduino를 기반으로 한 드론 제어 시스템 및 EPS32를 사용한 측정 시스템으로 구성되며 Fig. 1 과 같은 구조로 설계 되었다.

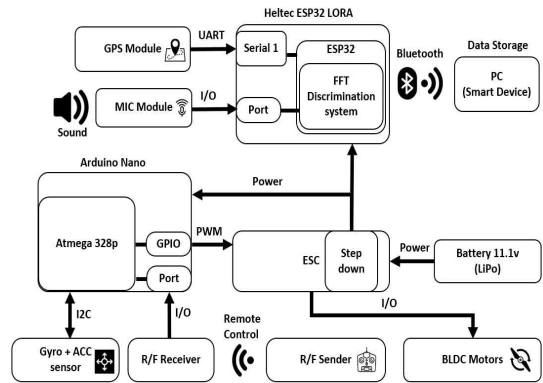


Fig. 1. Overall system block diagram

### 2.1 드론 설계

넓은 지역의 많은 모터를 진단하기 위해서는 측정 장치가 원거리로 조작되어야 하며 먼 거리를 오갈 수 있도록 설계 되어야 한다. 그리고 측정시스템 주변엔 공간상의 제약 때문에 자유로운 지상 활동이 힘들기 때문에 비행체를 이용하여 계측 공간을 신속하게 움직일 수 있는 시스템 형태로 설계 하였다. 또한 지상국과의 통신을 통하여 데이터를 전송하여야 하므로 이에 맞는 통신 체계를 가져야 하며 관련 무선 하드웨어 및 지상국의 사용자 인터페이스를 설계 하여야 한다. 그런데 측정 장치 운반용 드론을 설계하기 위해서 비행을 위한 프로펠러 구동 및 드론의 움직임을 제어하는데 필요한 센서 시스템을 구성해야 하고 센서 정보를 지상국에 전송하여 저장하는 도구도 설계 되어야 한다. 설계된 전체 드론의 구성은 Fig. 2와 같다.

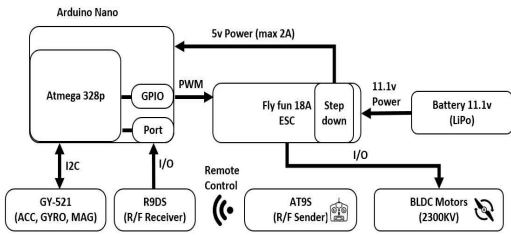
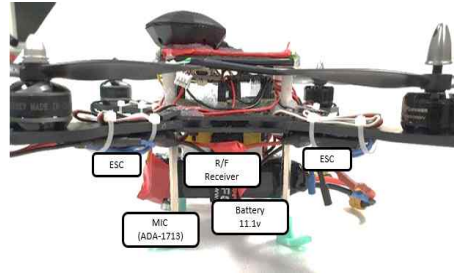


Fig. 2. Block diagram of Drone system

드론 설계는 기본적으로 소형 드론 제어에 많이 사용되고 있는 MULTIWI 2.4를 기본으로 제어기를 사용 하였으며 드론의 구조는 제어가 간단하고 안정적인 구조로 구동할 수 있는 프로펠러가 4개인 쿼드콥터로 설계하였다. 그리고 측정 장치의 페리어드를 견딜 수 있도록 최대 출력전류 18A ESC 드라이버 및 1V 당 2300RPM을 갖는 2300KV의 BLDC 모터로 구성 하였다. 또한 자세를 유지하고 방향 값을 읽기 위해 자이로 및 가속도계, 지자계가 통합된 GY-521 모듈을 사용하였으며, 현재 위치 데이터를 얻기 위하여 GPS는 NMEA 프로토콜의 GP-808G 모듈을 사용하였다.

고장 진단을 위한 FFT 분석 시 대량의 데이터를 저장하여 판별하기 위한 큰 메모리 사이즈를 가지면서 블루투스 기능이 내장되고 메모리 사이즈가 512Kb인 Heltec ESP32 LORA 모듈을 측정용 주 제어기로 구성 하였다. 주 제어기에는 FFT 분석을 통한 피크주파수 검출과 연속성 고장감지 데이터 및 GPS데이터를 송신하는 기능을 설계 구현하였다. 분석된 데이터는 지상국에 있는 시스템 PC에 송신한 후 엑셀파일로 저장되며 이를 확인하여 고장위치를 파악할 수 있으며 전반적인 고장진단을 할 수 있는 시스템을 Fig. 3과 같이 구현 하였다.



(b) Side view

Fig. 3. Drone system

### 2.2 고장 진단 시스템

고장 진단을 위해서는 컨베이어 벨트에 장착된 모터의 동작 이상 소리를 취득하여 분석해야 하며 이를 위한 처리 시스템을 설계 하였다. 아울러 취득된 데이터의 경향을 파악하기 위한 주파수 분석을 동시에 수행하였다. 이때 주파수 데이터를 얻기 위해서는 많은 양의 마이크 데이터를 처리해야 하며 FFT를 적용하여 분석하였다 [10-11]. 제어기로 채택한 ESP32 모듈은 통신을 위한 블루투스가 내장되어 있으며 이를 처리하기 위한 공간이 필요하기 때문에 메모리 확보 후 잔여 메모리의 양이 112K바이트를 사용할 수 있으며 메모리가 80K바이트 미만일 때 CPU의 동작을 수행하기가 어려우므로 소리 데이터의 저장은 33K바이트 범위내로 저장하게 설계 하였다. 기본적으로 소리데이터가 저장되는 변수는 소수점을 처리하기 위해 float로 처리하여야 하며 기본적으로 메모리를 4바이트 소모한다. 두 개의 변수를 사용하므로 소리데이터 1개당 차지하는 공간은 8바이트가 된다. 소리 측정시의 관심 주파수 범위가 0 ~ 10KHz를 감안하고 0.2초 동안 4천 개의 데이터를 저장하면 약 32K 바이트의 메모리를 사용하게 된다. 따라서 소리데이터는 마이크에서 50us마다 ESP32모듈의 ADC로 측정하며 총 4천 개의 데이터를 측정하며 총 샘플링 타임은 0.2 초로 소리데이터를 메모리에 저장하는 구조를 가지고 있다. 그리고 측정할 때의 측정 장소의 기록을 가지기 위해 Fig. 4와 같이 측정 시스템을 구성하였다.



(a) Top view

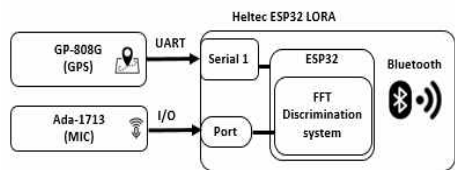


Fig. 4. Instrumentation System with GPS

고장 진단을 위한 소리 데이터를 분석하기 위하여 사용한 FFT는 Cooley-Tukey 알고리즘을 채택하였다.[12-14]. 여기서 주기가 N인 소리 데이터는 재배열되어서 계산시간을  $N \log(N)$ 으로 단축하고, Fig. 5와 같이 나비 연산을 시행하여 기본 이산 푸리에 함수인 DFT 수식을 변형하여 실수 파트와 허수 파트로 나눈 값을 계산하여 해당 주파수 성분의 값과 위상을 구하는 방법을 사용하였다.

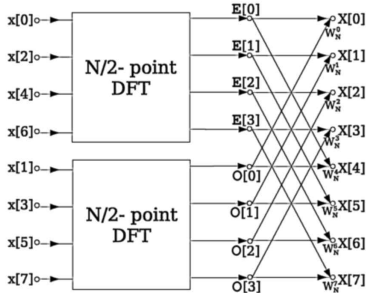


Fig. 5. Butterfly FFT operation algorithm

### 2.3 판별시스템

FFT 측정 시스템을 통하여 측정 소리 데이터의 주파수 성분을 얻을 수 있었다. 이러한 수집된 데이터를 기반으로 판별 시스템은 Fig. 6과 같은 단계로 고장 진단을 수행이 되게 설계되었다.

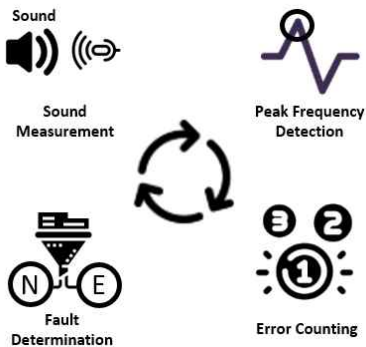


Fig. 6. Conceptual diagram of discrimination system

현장에서 경험할 수 있는 상황을 미루어 볼 때 고장 난 컨베이어에는 고주파 영역의 주파수 성분이 크게 나타나는 경향을 보이고 있다. 이때 주파수 성분의 피크치를 판단하여 고주파 영역에서 발생하는 주파수성분이 일정 시간에 자주 나타난다면 고장으로 볼 수 있다고 추정할 수 있다. 따라

서 소리 데이터의 주파수 성분 중 일정 판별 주파수 대역 보다 높은 고주파 성분의 주파수가 발생하는 횟수를 계수하여 판정 횟수 보다 많다면 고장으로 판별하는 시스템을 구성하였다.

Fig. 7은 고장 판별 알고리즘을 나타내었다. 우선 마이크에서 측정된 소리 데이터를 FFT 분석하고 분석된 주파수의 고주파 측정횟수를 체크하며 고장을 감지하거나 측정횟수가 일정량을 넘어서면 초기화 하도록 되어있다. 고장횟수도 측정하는 데 일정량 이상의 고장횟수를 감지하였을 때 고장이라고 판별하여 순간적인 이음이 들리더라도 연속성을 판단하여 고장을 진단하도록 설계하였다.

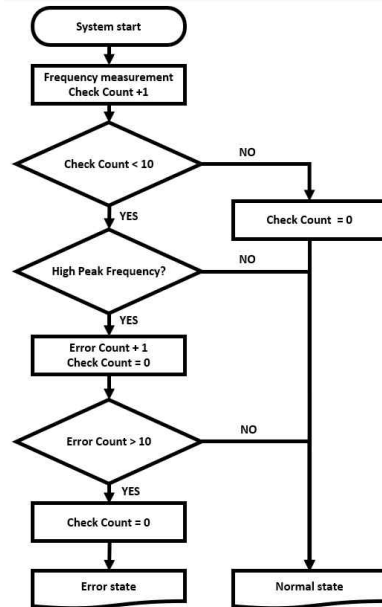


Fig. 7. Fault decision algorithm

설계된 알고리즘의 유용성을 알아보기 위해 현장에서 채취한 소리 데이터를 기반으로 분석 하였다. Fig. 8과 같이 기계적인 고장일 경우에 1200Hz 부근에서 특정주파수 성분이 극대화되는 것을 볼 수 있으며 자동 조심 장치의 경우 주기적으로 3000Hz 부근에서 성분이 극대화 된다. 반면 정상모터의 경우에는 340Hz 부근의 주파수 성분이 많은 것을 확인 할 수 있으며 정상 유압펌프와 같은 경우에도 저주파 소리가 섞인 것을 살펴볼 수 있다. 따라서 고장소리에 고주파수 성분이 많음을 확인할 수 있었다.

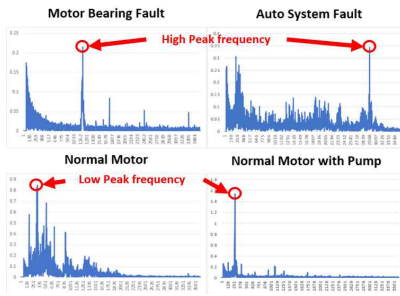


Fig. 8. Acquisition data comparison

Fig. 9와 같은 현장 데이터는 특정 시간 때에만 고주파수가 발생하는 특이한 경우이다. 이런 경우도 적절하게 인식하여야 한다.

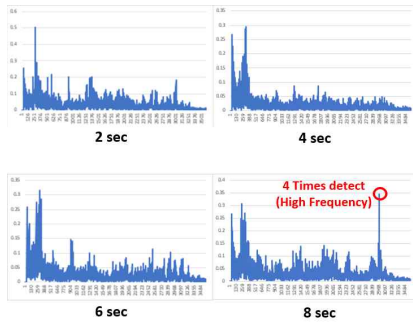


Fig. 9. Frequency spectrum in random error case

취득된 데이터는 2초마다 측정하였고 4 회 측정 시에 고주파수가 한번 체크됨을 알 수 있다. 이는 베어링 고장에도 마찬가지로 경향을 가지고 있으며 약 2회 측정 시에 고주파수가 한번 측정되고 있다. 이에 따라 비록 간헐적으로 발생하는 고주파수 성분을 측정할 수 있으며 현장에서 발생하는 비주기적인 신호를 측정할 수도 있다. 또한 FFT 분석에 있어 드론의 프로펠러 소리가 많은 성분을 차지하기 때문에 이를 제거해야할 필요가 있다. 드론 프로펠러 소리는 300~400 Hz 정도의 저주파수로 행하기 때문에 고주파수를 감지하는 데에 있어서 불필요한 성분이므로 이 400Hz의 성분을 제거하고 피크주파수를 측정하도록 하였다. 또한 고장진단 결과 데이터는 지상국에 전송하여 저장할 수 있어야 한다. ESP32 CPU 모듈에는 블루투스를 내장하고 있기 때문에 PC에서 전송된 데이터를 저장할 수 있도록 설계하였다. Fig. 10은 저장된 데이터를 나타낸 파일로써 피크 주파수, 에러 횟수, 양볼 판별, GPS 데이터, 측정 시간 총 5가지 데이터를 저장함을 알 수 있으며 양볼 판별 값이 'N'일 경우 정상 상태이며 'E'일 경우에 고장 상태를 확인 할 수

있다. python을 기반으로 설계 하여 임베디드 시스템에 적용할 수 있게 구성 하였다.

| Peak frequency | Error Count | Fault Decision | Latitude, Longitude  | Time               |
|----------------|-------------|----------------|----------------------|--------------------|
| 520            | 0           | N              | 37.180312,128.196183 | 8/31/2019 16:01:34 |
| 405            | 0           | N              | 37.180311,128.196184 | 8/31/2019 16:01:35 |
| 405            | 0           | N              | 37.180311,128.196184 | 8/31/2019 16:01:35 |
| 515            | 0           | N              | 37.180311,128.196184 | 8/31/2019 16:01:35 |
| 415            | 0           | N              | 37.180310,128.196188 | 8/31/2019 16:01:39 |

Fig. 10. Measurement log data

데이터의 저장은 엑셀 호환 형태로 만들어 후후에 제작되는 사용자 환경 GUI에서 적절하게 표시하여 시각적인 표시가 가능하게 하였다.

### 3. 실험 및 고찰

제안된 방법을 이용하여 드론에 시스템을 장착하여 측정 실험을 진행하였다. 실측 실험은 컨베이어가 장착된 화력발전소 혹은 시멘트 가공 장소에서 수행하여야 하지만 보안 및 안전상문제로 실제 실험이 어렵기 때문에 간이 측정 시스템을 구성하여 모의실험을 진행하였다. 모의실험을 진행한 환경은 Fig. 11과 같으며 현장에서 취득한 고장 및 정상 컨베이어 소리 데이터를 임의의 장소에 스피커를 이용해 배치하여 현장과 같은 소리를 내는 형태로 진행하였다. 현장에 설치된 스피커를 통하여 음원을 재생한 후 드론을 비행시켜 현장 상황을 측정하고 판별하는 형태로 실험을 진행하였다.

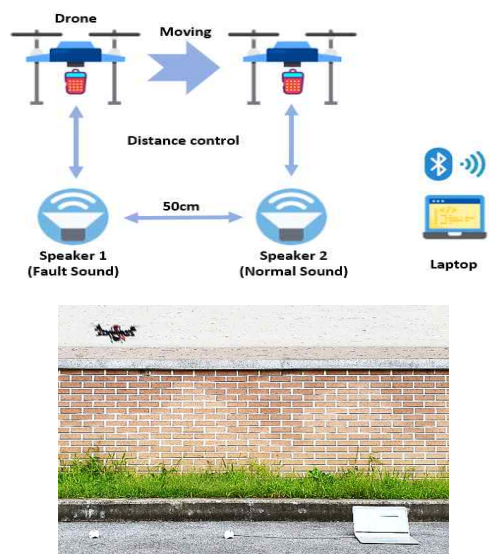


Fig. 11. Simulation of real field environment



드론과 음원과의 거리 조절을 통하여 소리데이터 판별은 컨베이어에서 약 20~30cm 상공에서 정상적으로 동작되는 것을 확인할 수 있었다. 실험 진행시 정상적인 컨베이어 소리는 Fig. 12와 같이 감지되었다. 실험 횟수에 따라 문제가 되는 고장 피크주파수의 변화를 조사하였으며 판정 결과가 양호함을 알 수 있다.

|     |     |                      |                    |
|-----|-----|----------------------|--------------------|
| 445 | 0 N | 37.180326,128.196208 | 8/31/2019 16:04:34 |
| 425 | 0 N | 37.180325,128.196208 | 8/31/2019 16:04:35 |
| 405 | 0 N | 37.180325,128.196208 | 8/31/2019 16:04:35 |
| 400 | 0 N | 37.180325,128.196208 | 8/31/2019 16:04:35 |
| 540 | 0 N | 37.180326,128.196211 | 8/31/2019 16:04:39 |
| 540 | 0 N | 37.180326,128.196213 | 8/31/2019 16:04:40 |
| 410 | 0 N | 37.180326,128.196213 | 8/31/2019 16:04:40 |
| 540 | 0 N | 37.180326,128.196214 | 8/31/2019 16:04:44 |
| 540 | 0 N | 37.180326,128.196213 | 8/31/2019 16:04:45 |
| 540 | 0 N | 37.180326,128.196213 | 8/31/2019 16:04:46 |
| 540 | 0 N | 37.180326,128.196213 | 8/31/2019 16:04:46 |
| 540 | 0 N | 37.180326,128.196213 | 8/31/2019 16:04:46 |
| 540 | 0 N | 37.180326,128.196213 | 8/31/2019 16:04:46 |
| 540 | 0 N | 37.180326,128.196213 | 8/31/2019 16:04:50 |

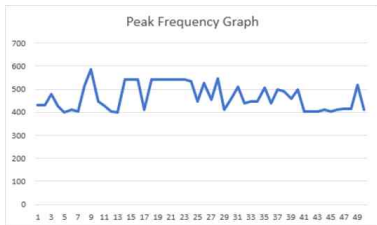


Fig. 12. Measurement log in normal conveyor system

그리고 측정된 데이터에서 400까지의 프로펠러 성분을 제거한 결과 통상적으로 1000Hz 미만인 약 500Hz의 저주파수 소리가 감지됨을 확인할 수 있었다. 이는 정상적인 현장 데이터로 고장이 아님을 확인할 수 있었다. 컨베이어에 고장이 있는 데이터는 Fig. 13과 같이 감지되었으며 1000Hz 이상의 주파수인 약 2000Hz 및 4000Hz를 감지하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 현장에서의 고장을 의미하며 적절히 잘 판별함을 알 수 있었다. 이때 측정 데이터를 기반으로 그래프를 그려 확인할 수 있게 하여 측정 데이터 분포를 제시 하였고 체크 결과도 중간에 4KHz 주파수가 나타남을 알 수 있으며 그때의 GPS의 좌표계를 나타내어 고장이 나타난 컨베이어 장소를 인지할 수 있게 하였다.

|      |      |                      |                    |
|------|------|----------------------|--------------------|
| 440  | 0 N  | 37.180325,128.196216 | 8/31/2019 16:03:24 |
| 405  | 0 N  | 37.180325,128.196216 | 8/31/2019 16:03:24 |
| 2065 | 1 N  | 37.180325,128.196214 | 8/31/2019 16:03:28 |
| 2455 | 2 N  | 37.180324,128.196215 | 8/31/2019 16:03:29 |
| 2160 | 3 N  | 37.180324,128.196215 | 8/31/2019 16:03:29 |
| 4540 | 4 N  | 37.180324,128.196215 | 8/31/2019 16:03:29 |
| 4025 | 5 N  | 37.180323,128.196216 | 8/31/2019 16:03:33 |
| 2125 | 6 N  | 37.180324,128.196215 | 8/31/2019 16:03:34 |
| 560  | 6 N  | 37.180323,128.196215 | 8/31/2019 16:03:35 |
| 445  | 6 N  | 37.180323,128.196215 | 8/31/2019 16:03:35 |
| 2115 | 7 N  | 37.180323,128.196215 | 8/31/2019 16:03:35 |
| 470  | 7 N  | 37.180324,128.196214 | 8/31/2019 16:03:39 |
| 2120 | 8 N  | 37.180323,128.196213 | 8/31/2019 16:03:40 |
| 4025 | 9 N  | 37.180323,128.196213 | 8/31/2019 16:03:40 |
| 1655 | 10 E | 37.180323,128.196213 | 8/31/2019 16:03:40 |
| 400  | 10 E | 37.180323,128.196213 | 8/31/2019 16:03:44 |
| 465  | 10 E | 37.180324,128.196214 | 8/31/2019 16:03:45 |

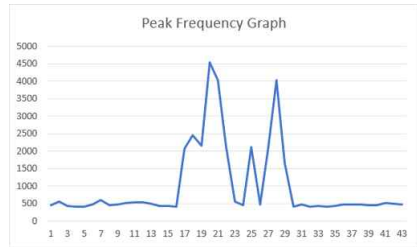


Fig. 13. Measurement log with fault conveyor

기존에 컨베이어의 고장을 진단하기 위해서는 작업자가 수시로 현장 방문하여 직접 컨베이어를 체크하여 조사하므로 접근이 어렵기도하며 작업자의 고장소리에 대한 개인 의존도가 커서 고장 경향에 대한 일반성을 도출하기가 어려운 문제가 있었다. 제안된 방식을 이용하여 드론을 통해 현장에 직접 접근하지 않고 원격에서 고장을 손쉽게 판별할 수 있는 자동화 시스템을 구축함으로써 고장 패턴에 대한 분석 및 고장 유무를 원격에서 체크할 수 있게 하여 컨베이어 시스템의 고장 진단을 효율적으로 할 수 있다.

#### 4. 결론

산업용 컨베이어벨트와 같은 현장에 사람이 접근하기 쉽지 않은 곳의 고장 진단을 위해서 드론 시스템을 이용한 고장 진단 시스템을 설계하였다. 이를 위해 컨베이어 시스템에서 발생하는 소리데이터를 취득하여 FFT변환을 통하여 주파수성분으로 분해하여 고주파수 성분의 연속성을 판별하여 고장진단을 하도록 알고리즘을 설계하였다. 원격에서 드론을 조작하여 블루투스를 통하여 PC에 소리데이터 및 GPS 데이터를 취득하여 위치데이터에 근간하여 컨베이어 시스템의 고장위치를 파악할 수 있었다. 또한 제안된 알고리즘을 실제 드론 측정 시스템에 이식시켜 실제 환경을 모의 실험하여 고안한 방식의 유효성을 보였다. 향후에는 드론 비행의 안정성과 함께 열 감지 카메라 등을 장착한 광범위한 고장 진단 시스템에 대한 연구와 인공지능을 이용한 정밀한 FFT 분석 기법에 기반을 둔 고장 판별 시스템에 대한 연구가 필요하다.

REFERENCES

[1] S. Paramanik, P. S. Sarkar, K. K. Mondol, A. Chakraborty, S. Chakraborty & K. Sarker. (2019). Survey of Smart Grid Network Using Drone & PTZ Camera. *Devices for Integrated Circuit (DevIC)*. DOI : 10.1109/DEVIC.2019.8783610

[2] Y. S. Cho, H. M. Lim, S. G. Choi & S. H. Jung. (2014). High Resolution Spatial Information Acquisition using UAV Photogrammetry. *Korean Review of Crisis & Emergency Management*, 10(2), 273-287.

[3] H. G. Park. (2014). Reservoir Disaster Monitoring using Unmanned Aerial Photogrammetry. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*. 22(4), 143-149.

[4] G. D. Hong. (2017). Topographic Survey at Small-scale Open-pit Mines using a Popular Rotary-wing Unmanned Aerial Vehicle (Drone). *Tunnel & Underground Space*. 25(5), 462-469.

[5] H. G. Kim & Y. H. KIM. (2019). Design of Water Surface Hovering Drone for Underwater Stereo Photography. *Journal of Convergence for Information Technology*, 9(6), 7-12.

[6] M. Degner & H. Ewald. (2018). Mobile gas sensing system for detection of combustion pollutants - suitable for drone based measurements. *Twelfth International Conference on Sensing Technology (ICST)*, 9(6), 7-12.

[7] M. Lorgulescu, M. Alexandru & R. Beloui. (2012). Noise and vibration monitoring for diagnosis of DC motor's faults. *2012 13th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*.

[8] H. G. Kim & Y. H. KIM. (2013). Fault Diagnosis of the Surface Mounted Permanent Magnet Motor using Sound and Vibration. *Korean Society for Noise and Vibration Engineering(KSNVE)*. 559-563.

[9] Y. C. Na, B. N. Hee, J. S. Lee & S. K. Hong. (2014). A study of motor fault diagnostics using measured vibration and noise data *Korean Institute of Electrical Engineers Summer Conference(KIEE)*, 1394-1395.

[10] S. K. Kang, Y. J. Park & K. Y. Chung (2012). Real-Time Landmark Detection using Fast Fourier Transform in Surveillance. *The Journal of digital policy & management*. DOI : 10.1109/ICSensT.2018.8603635

[11] Y. J. Kim, H. H. Kim & H. S. Lee. (2019). Design of a Radix-8/4/2 variable FFT processor for OFDM systems. *Journal of digital policy & management*,

11(2), 287-297.

[12] L. Wenqiu & C. Peng. (2013). GHz wideband real-time FFT algorithm based on FPGA. *International Conference on Information and Network Security (ICINS)*. DOI : 10.1049/cp.2013.2475

[13] D. V. Ratnam, A. Pasha, P. Swathi & M. V. G. Rao (2013). Acquisition of GPS L1 signals using Cooley-tukey FFT algorithm. *IEEE International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPC)*. DOI : 10.1109/ISPC.2013.6663397

[14] R. Shirbhate, T. Panse & C. Ralekar (2015). Design of parallel FFT architecture using Cooley Tukey algorithm. *International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP)*. DOI : 10.1109/ICCSP.2015.7322551

염 동 주(Dong-Joo Yeom)

[학생회원]



- 2011년 2월 : 세명대학교 전기공학과 학사
- 2018년 2월 ~ 현재 : 세명대학교 전기 전자공학과 석사
- 관심분야 : 임베디드시스템, 드론
- E-mail : ydj1023@nate.com

이 보 희(Bo-Hee Lee)

[정회원]



- 1985년 2월 : 인하대학교 전자공학과 공학사
- 1996년 8월 : 인하대학교 자동화 공학과(제어 및 로봇) 공학박사
- 1997년 ~ 현재 : 세명대학교 전기 공학과 교수
- 관심분야 : 로봇, 임베디드시스템, 인공지능, 드론
- E-mail : bhlee@semyung.ac.kr