

IoT 기반 에스컬레이터 고장 예지 시스템

이창호[○], 이창훈*, 박상현*, 이유진*, 김풍일*, 최상방**

한국콘베어공업(주)[○]

한국콘베어공업(주)*

인하대학교 전자공학과**

e-mail: changholee@conveyor.co.kr[○], chlee@conveyor.co.kr*, shpark@conveyor.co.kr*,
ejlee@conveyor.co.kr*, pikim@conveyor.co.kr*, sangbang@inha.ac.kr**

IoT-based escalator failure prediction system

Chang-Ho Lee[○], Chang-Hoon Lee*, Sang-Hyun Park*, Yu-Jin Lee*, Pung-Il Kim*, Sang-Bang Choi**

R&D Center, Korea Conveyor Ind. Co., LTD.[○]

R&D Center, Korea Conveyor Ind. Co., LTD.*

Dep. of Electronics Engineering, Inha University**

● 요약 ●

본 논문에서 에스컬레이터 기계실 내부 전동기, 감속기, 구동 체인의 IoT 소음 및 진동 센서를 부착하여 에스컬레이터 운영중 실시간 상태 감시가 가능한 IoT 기반 에스컬레이터 고장 예지 시스템을 제안한다. IoT 소음 및 진동 센서는 에스컬레이터 운영 중 발생하는 소음 및 진동 데이터를 수집하여 PHM(Prognostics and Health Management) 서버로 전송하며, 서버에서는 진단 알고리즘을 통해 고장 유·무를 판단한다. 소음 데이터를 이용한 체인 피치 길이 알고리즘을 검증하기 위하여 실제 체인의 길이를 측정된 결과 값과 비교한 결과 99.8% 정확도를 가지며, 진동 데이터를 이용하여 전동기, 감속기의 상태 판단을 위한 알고리즘 검증을 위해 AST 사의 진동 센서와 비교한 결과 약간의 오차는 발생하지만 ISO 10816-3을 기준으로 한 판단 결과 값은 동일한 결과 값을 가지는 것을 확인하였다.

키워드: 사물인터넷(Internet of Things), 에스컬레이터(Escalator), 고장예지(Failure Prediction)

I. Introduction

4차 산업 혁명 및 IoT 통신 기술이 발달함에 따라 IoT 기술을 통해 기계 설비의 고장 유·무를 진단하기 위한 기술이 발전하고 있다. 에스컬레이터와 같이 대중적으로 많이 이용되고 있는 기계 설비의 경우 단순한 고장으로 인해 가동 중단뿐만 아니라 사망 사고와 같은 큰 사고를 유발한다[1]. 이러한 사고를 예방을 위해 주기적으로 자체점검을 실시하고 있지만, 점검기준서 없이 점검자의 주관적 판단 하에 점검하므로 점검 효율이 다르고, 성능 중심보다는 사실상 형식적인 점검이 되고 있다. 또한 육안에 의한 외형점검으로 인한 고장 및 사고 예방을 위한 점검은 대부분 불가능하다. 이에 본 논문에서는 에스컬레이터 감속기, 전동기, 구동체인에 IoT 소음과 진동 센서를 부착하여 소음과 진동 데이터를 분석하여 에스컬레이터의 고장 상태를 예측할 수 있는 IoT 기반 에스컬레이터 고장 예지 시스템을 제안한다.

II. Design The System

1. System Configuration

1.1 Fault Prediction System

그림 1은 에스컬레이터의 전동기, 감속기, 구동체인의 고장 상태를 측정하기 위한 고장 예지 시스템 구성도이다. 고장 예지 시스템은 현장 설비 상태를 측정하기 위한

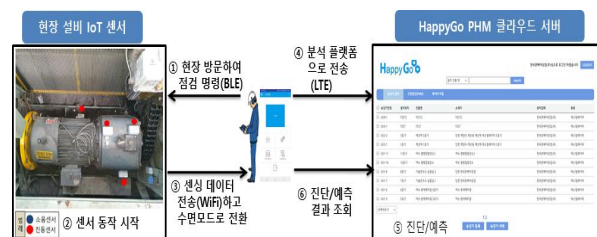


Fig. 1. System Configuration

IoT 센서, IoT 센서의 측정 값 수집 및 상태 확인을 위한 사용자 앱, 소음과 진동 데이터 저장 및 분석을 위한 PHM(Prognostics and Health Management) 클라우드 서버로 구성된다.

IoT 소음 및 진동 센서 MCU는 ARM Cortex-M0, 진동 데이터 측정을 위해 3축 가속도 센서, 소음 데이터 측정을 위해 CMA-4544PF-W 센서를 사용하였다. IoT 소음 및 진동 센서의 무선 모듈은 사용자 앱과 측정 주기 설정을 위한 BLE, 측정된 데이터 전송을 위한 WiFi 모듈을 사용하며, 무선 동작을 위한 배터리로 구성된다. 사용자 앱은 BLE 통신을 통해 IoT 측정 시간을 설정하며, IoT 센서의 측정된 데이터는 WiFi 통신을 통해 수집한다. 데이터 수집 후 데이터 분석을 통해 PHM 클라우드 서버로 데이터를 전송한다. PHM 클라우드 서버는 사용자 앱으로부터 소음 및 진동 데이터를 전송받아 분석한다.

1.2 Diagnostic Algorithm

IoT 진동 센서로부터 측정된 진동 데이터를 X, Y, Z축으로 구분하여 가속도 값을 적분하여 속도값으로 변환한 후 FFT 스펙트럼 분석을 통하여 Overall 값을 구하여 ISO 10816-3을 기준으로 분석한 결과 값이다[2]. Overall 진동은 주파수 범위 내에서 측정된 전체 진동 에너지를 나타내며 구하는 식은 아래 식 (1)과 같다[3].

$$OA_{RSS} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2}}{\sqrt{N_{BF}}} \quad (1)$$

OA_{RSS} 는 진동 데이터의 FFT 스펙트럼의 전체 진동 값의 합을 나타내며, RSS는 최소 주파수에서 최대 주파수 값까지 스펙트럼의 루트 합계의 제곱, n은 FFT 스펙트럼의 분해능 수, A_i 는 FFT 스펙트럼의 각각의 진폭 값, N_{BF} 는 해밍 윈도우 필터 적용을 위한 노이즈 대역폭을 의미한다. 진동 데이터 분석 결과 값은 Overall 값이 1.4미만은 A등급, 1.4부터 2.8미만은 B등급, 2.8부터 4.5미만은 C등급, 4.5이상 값은 등급으로 표현된다.

체인의 길이는 체인과 스프라켓의 마찰음을 이용하여 밴드 패스 필터를 사용하여 마찰음의 피크점을 검출한 후 피크점을 이용하여 체인의 링크별 길이를 측정한다. 후 각 링크별 길이의 합으로 전체 체인의 길이를 계산한다.

2. Experiments

본 논문에서 제안한 체인 피치 길이 알고리즘을 검증하기 위하여 97개의 링크를 가지는 체인의 링크별 길이를 레이저트랙카를 이용하여 체인 링크별 길이를 측정한다. 결과 값과 IoT 소음 센서를 이용하여 측정 한 결과 값을 비교 검증하였다. 표 1은 실제 측정된 결과 값과 IoT 소음 센서를 통해 측정된 결과 값을 나타낸다. 실제 체인 길이와 IoT 소음 센서를 통해 비교한 결과 4.7mm의 오차를 가지며 99.8%의 정확도를 가진다. 진동 데이터 Overall값의 검증은 표2에서와 같이 기어이 피속은 3축 가속도 센서로 측정 시 Y축을 통해 측정이 되며, 동일한 C등급이 나오는 것을 검증하였다.

Table. 1. Length Measurement By Chain Link

성능지표	단위	측정 결과	비고
레이저트랙카	mm	3,112	97개링크
IoT 소음 센서	mm	3,116.7	97개링크

Table. 2 Overall Comparison

성능지표	단위	측정 결과	비고
AST 진동 센서	RMS	3.718	Y축
IoT 진동 센서	RMS	3.69	Y축

III. Conclusions

본 논문에서는 에스컬레이터의 전동기, 감속기, 구동 체인의 고장 유·무 상태를 점검하기 위해 IoT 기반 에스컬레이터 고장 예지 시스템을 개발하였다. IoT 소음 및 진동 알고리즘을 검증하기 위하여 실제 체인의 측정 값과 비교한 결과 99.8%의 정확성을 가지며, IoT 진동 센서는 상용 진동 센서와 비교한 결과 약간의 오차율은 있지만 동일한 등급을 진단하는 것을 검증하였다. 본 논문에서 제안한 IoT 기반 에스컬레이터 고장 예지 시스템은 현재 인천교통공사와 시범 운용을 진행하고 있으며, 향후 이를 바탕으로 실제 에스컬레이터 전동기, 감속기, 구동 체인의 적용하여 실증 및 신뢰도를 향상할 계획이다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 논문은 「과학기술정보통신부 방송통신발전기금」을 지원받아 수행하였습니다.

REFERENCES

- [1] Sun-Geol Kwon, Jin-Soo Kim and Chang-Eun Kim, "A study on A Plan to Analyze Risk Factors and Secure Safety through Analysis of Escalator Safety Accidents", Journal of Korea Safety Management & Science, vol. 14, no. 2, pp. 55-63, 2012.
- [2] <https://www.evcs.com/products/iso-10816-3-2009>
- [3] <http://www.incosys.co.kr/>