

자이로 센서를 활용한 선형회귀 기반 건물 기울기 위험도 산출 시스템

김다현[○], 황도경*, 김동주*

[○]포항공과대학교 인공지능연구원,

*포항공과대학교 인공지능연구원

e-mail: kdhun8011@postech.ac.kr[○], {dokyung, kkb0320}@postech.ac.kr*

System for Computation of Inclination Risk of Building Based on Linear Regression Using Gyro Sensor

Da-Hyun Kim[○], Do-Kyung Hwang*, Dong-Ju Kim*

[○]Postech Institute of Artificial Intelligence, Pohang University of Science and Technology,

*Postech Institute of Artificial Intelligence, Pohang University of Science and Technology

● 요약 ●

2016, 2017년 경주와 포항에서 발생한 규모 5.4 이상의 지진 당시 건물에 많은 피해가 속출함에 따라 지진 발생 시 건물 안전에 관한 관심이 증가하고 있다. 이러한 이유로 지진 등의 재난 상황 시 건물의 위험도를 신속하게 판단할 수 있는 방법론이 필요한 실정이다. 본 논문에서는 지진 등의 재난 상황 시 건물 안전에 위협이 될 수 있는 건물 기울기에 대한 위험도를 자이로 센서 데이터에 기반해 산출하는 시스템을 제안한다. 본 논문에서는 건물 기울어짐 데이터를 확보함에 어려움이 있어 모의 거동 환경을 구축하여 데이터를 수집 및 분석하였다. 제안된 시스템은 자이로 센서로부터 수집된 실시간 기울기 데이터를 Mean Filter를 통해 데이터 평탄화 및 선형화를 수행 후 머신러닝 기법중 하나인 선형 회귀 알고리즘을 적용해 건물 기울기를 추정한다. 이후 국토교통부에서 고시한 건물 기울기 위험도 산출표를 바탕으로 측정된 기울기의 위험도를 산출한다. 해당 시스템은 실제 지진 등의 재난 발생 시 실시간 건물 기울기 위험 판단을 통해 신속한 재난 의사 결정에 도움이 될 것으로 기대된다.

키워드: 자이로 센서(gyro sensor), 건물 기울기 위험도(building inclination risk), 머신 러닝(Machine Learning), 선형 회귀(Linear Regression)

I. Introduction

2016, 2017년 경주와 포항에서 발생한 규모 5.4 이상의 지진으로 인해 많은 건물에 피해가 발생함에 따라 인원이 밀집되어 큰 인명 피해를 낼 수 있는 건물 붕괴에 대한 경각심이 증가하고 있다. 특히 지진 발생으로 인한 지반 침하 및 액상화 현상으로 인해 건물이 기울어지는 사례가 빈번히 발생하였으며 이러한 이유로 지진 등의 재난 상황 시 건물 기울어짐을 신속하게 판단할 방법이 필요한 실정이다. 실제로 경주 지진 당시 4,996건의 사유 시설과 182건의 공공시설물이 손상되었으며 포항 지진 당시 56,622건의 사유 시설과 417건의 공공시설물이 손상된 것으로 조사되었다[1,2]. 그에 따라 건물 파손, 침하 및 기울어짐 등 건물 안전에 관한 연구가 활발히 진행되는 중이다.

건물 손상과 관련된 연구로는 관측 장비를 통해 실측하는 방식[3], 이미지를 찍어 기울기를 실측하는 방식과[4] 건물에 설치하는 센서를 통한 기울기를 예측하는 방식이 있다[5,6]. 전자의 경우 실제 이미지를

통해 기울기를 측정한다는 점에서 직관적이고 실제적인 기울기의 위험도를 알 수 있으나, 전반적인 건물을 찍어야 하고, 영상을 장시간동안 촬영을 하도록 설정해야 한다는 점을 고려할 때 실효성이 떨어진다. 반면 센서의 경우 건물 내에 작은 공간을 차지하고 관리가 비교적 용이하다는 점에서 적용 가능성이 크다고 할 수 있다. 하지만 지진이 발생하거나 실제 기울어지는 건물에 따른 센서의 값에 대한 선행 자료가 없어 해석하기 난해하다는 한계를 지니고 있다.

본 논문에서는 모의 거동 환경을 통해 얻을 수 있는 기울기 센서를 활용하여 기울어지는 건물에 대한 위험도를 정의하고, 효과적으로 센서를 통해 기울기를 측정할 수 있도록 하는 머신 러닝 방식의 선형회귀로 기울기 위험을 판단하고자 한다. 이를 통해 모의거동에서 적용하고자 한 기울기 값과 실제 RMS를 통해 나오는 기울기 값의 오차가 0.001로써 해당 기술을 통한 기울기 값 검출의 성능을 검증하였다. 건물의 기울기 변화값에 따른 실제적인 위험도는 국토교통부에서

고시한 기준에 따라 적용하였고, 이를 적용하여 등급 C이상의 위험한 건물에 대해서는 알릴 수 있는 플랫폼 또한 제안한다. 본 연구를 통해 재난 발생 시 실시간 건물 기울기 위험도를 파악하여 신속한 재난 의사 결정에 도움이 되길 기대한다.

II. Preliminaries

1. Related works

건물 기울기 측정은 크게 관측 장비를 사용하는 방식과 센서를 사용하는 방식으로 나뉜다. 전자의 경우 관측 장비를 사용해 건물의 기울기를 실측하는 방식과 카메라 이미지를 분석하는 방식이 있으며 [3,4]. 관측 장비를 통한 기울기 측정 방식은 재난 상황 발생 시 실시간으로 발생하는 건물 파손 및 변형에 대한 빠른 대응이 어렵다. 카메라 이미지를 분석하는 경우 실시간으로 해당 건물 기울기 측정이 가능한 이점이 있으나 건물 전체를 이미지에 담기 위한 거리가 필요하고 장시간 촬영해야 하는 한계가 존재해 도심 공간 적용이 어렵다. 센서 기반 관련 연구는 센서의 데이터를 Low-Pass RC 필터링 후 기울기를 측정하는 방법이 제안되었으며[5,6], 이는 실시간 건물 기울기 측정이 가능한 이점이 있다. 하지만 진행성으로 건물이 기울어지는 상황에서 기울기 경향성 파악이 어렵고 건물 기울기 정도에 따른 위험 수준 판단이 어려운 관계로 신속한 재난 의사 결정 도움에는 취약할 것으로 보인다.

본 논문에서는 기존 연구 대비 센서를 활용해 실시간 기울기 측정 및 도심 공간 적용이 가능하고 진행성 건물 기울짐에 대한 경향성 파악이 가능한 머신 러닝 기반 기울기 회귀분석 시스템을 제안한다. 또한 기울기 정도에 따른 위험도 수치를 가시적으로 산출함으로써 시스템 사용자에게 신속한 재난 의사 결정에 도움이 될 것으로 보인다. 본 연구를 수행하기에 앞서 실제 건물 기울어짐 현상에 대한 데이터를 수집하기에 어려움이 있어 모의 거동 환경을 구축하여 데이터를 확보하였다.

III. The Proposed Scheme

3.1 모의 거동 환경

본 논문에서는 실제 건물 기울기 데이터를 수집하기 위해 모의 거동 환경을 [Fig. 1.]과 같이 구축하였다.



Fig. 1. 기울기 데이터 수집을 위한 모의 거동 환경
(a) 자이로 센서 모듈, (b) 모의 거동 장치,
(c) 기울기 데이터 생성환경

모의 건물 기울기 측정을 위해 [Fig. 1-(a)]의 자이로 센서가 내장된 MPU-6050 센서를 사용했으며, 해당 센서는 x, y 축 방향에 대한 기울기 값을 동시에 측정할 수 있다. 또한 [Fig. 2-(b)]와 같이 실제 건물의 기울어짐 현상을 비슷하게 재현할 수 있는 모의 거동 장치를 사용하였다. [Fig. 1-(c)]는 기울기 데이터 수집을 위해 최종적으로 구축된 모의 거동 환경이다. 모의 거동 환경으로부터 건물의 기울어짐이 발생하지 않은 정상 데이터와 건물 기울어짐이 발생한 이상 데이터를 수집하였다. 이상 데이터의 경우 건물 기울어짐이 급격히 발생한 순간 변동 데이터와 건물 기울어짐이 서서히 나타난 진행성 변동 데이터로 구분하여 수집하였다. 정상 데이터의 경우 20시간 동안 수집한 연속 데이터를 구축하였으며 이상 데이터의 경우 순간 변동 데이터와 진행성 변동 데이터 모두 1시간 단위로 10건을 수집하였다.

[Fig. 2.]는 실제 모의 거동 환경으로부터 확보한 데이터이며 정상, 진행성 기울어짐, 급격 기울어짐 데이터로 이루어져있다. 해당 데이터는 모두 기울기의 경향성을 파악하기 위해 1시간 주기로 구성되었으며 정상 데이터의 경우 20시간 연속 데이터를 1시간 단위로 리샘플링하였다. 진행성 기울어짐 데이터의 경우 모의 거동 장치가 1시간 동안 0.072도가 기울어지도록 설정하였으며 급격 기울어짐 데이터의 경우 급격히 0.1도가 기울도록 환경을 구성하였다. 모든 데이터는 5초 주기로 생성되었으며 그에 따라 1시간에 720 샘플로 구성되었다. 기울기 센서에서 계측되는 데이터는 x, y 축으로 구성이 되나 각 축을 분석하여 산출하는 방식이 동일하므로 이후의 본 논문에서는 x축에 한정하여 분석 및 산출하는 방법에 대해 기술하고자 한다.

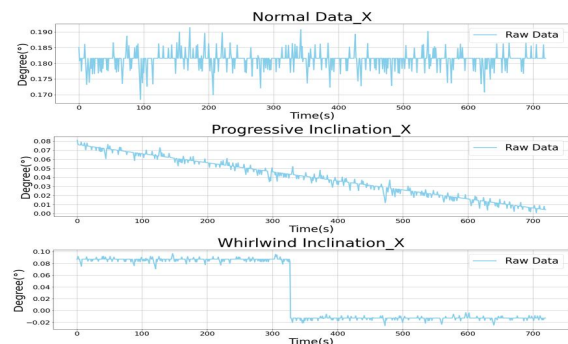


Fig. 2. 모의 거동 환경으로부터 수집한 센서 데이터

3.2 데이터 전처리

본 논문에서는 더 정확한 기울기 산출을 위해 모의 거동 환경으로부터 얻어진 센서 데이터에 대해 전처리를 수행하였다. 우선 모든 건물은 고유 기울기 값이 존재한다는 점에서 건물별로 영점 조정을 할 필요성이 있다. 또한 센서로부터 수신한 데이터는 센서 오차에 의해 측정값에 오차가 발생해 이상치 데이터에 해당하는 고주파 영역을 제거할 필요가 있다. 이를 위해 센서 데이터의 RMS(Root Mean Square) 값을 기반으로 건물별 기울기 영점 조정을 수행하고 Mean Filter를 이용해 이상치 데이터를 제거하였다. [Fig. 3.]은 센서 데이터 기반 전처리 수행 및 기울기 산출 알고리즘을 도식화 한 것이다.

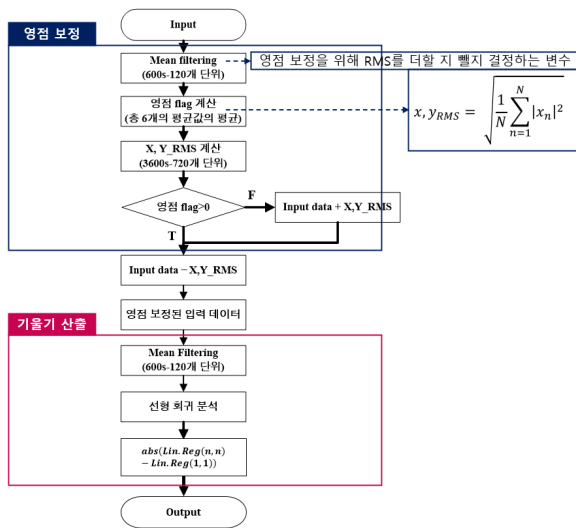


Fig. 3. 데이터 전처리 및 기울기 산출 알고리즘

3.2.1 RMS값을 통한 기울기 영점 조정

본 논문에서는 각 건물의 영점 조정을 위해 센서 데이터의 RMS값을 활용하였다. 현재 건물의 고유 기울기가 양수 또는 음수 중 어떠한 값인지 추정하기 위해 센싱 데이터에 10분 단위로 Mean Filter를 적용한다. 이후 1시간 동안의 데이터에서 도출된 6개의 평균값의 평균을 계산하여 건물 고유 기울기의 부호를 추정한다. 만약 해당 값이 양수라면 현재 건물의 기울기를 양의 부호로 판단해 센싱 데이터에 RMS 값을 빼고, 해당 값이 음수라면 현재 건물의 기울기를 음의 부호로 판단해 RMS 값을 더해줌으로써 기울기의 영점을 조정한다.

3.2.2 Mean Filter

영점 조정 이후 자이로 센서의 오차에 의한 outlier에 강인한 모델을 구축하고자 Mean Filter를 적용하였다. Mean Filter를 통해 오차에 해당하는 고주파 영역을 제거하고 비선형 데이터를 선형화함으로써 선형 회귀(Linear Regression)에 더 적합한 데이터로 정제하였다. Mean Filter는 10분 단위로 수행되며 [Fig. 4.]는 센서로부터 수신받은 데이터를 RMS값에 기반해 영점 조정 후 필터링을 수행한 결과이다.

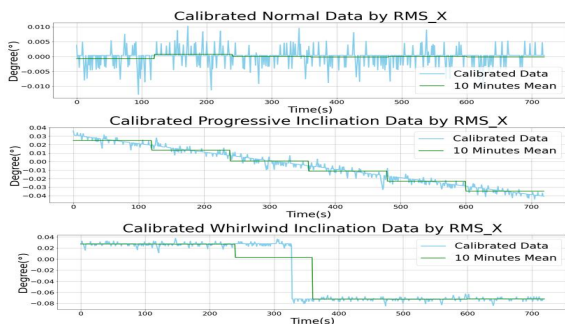


Fig. 4. RMS 기반 영점 조정 및 Mean Filtering 결과

3.3 선형회귀를 통한 기울기 측정/위험도 산출

3.3.1 기울기 측정

데이터 전처리 수행 후 Mean Filter를 통해 선형화된 데이터를 바탕으로 선형회귀를 진행한다. 건물의 기울기는 회귀 분석 된 데이터의 시작점과 끝점 기울기 값의 차를 통해 구한다.

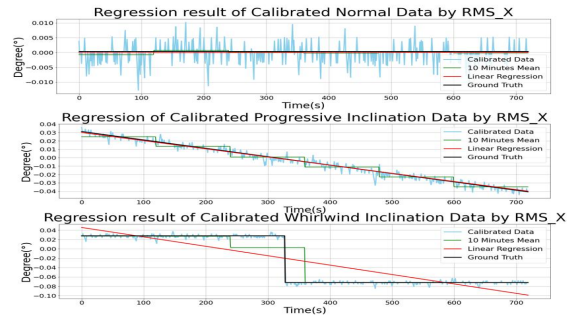


Fig. 5. 10분 평균 데이터에 대한 선형회귀 결과

[Fig. 5]는 선형화된 데이터를 바탕으로 정상, 진행성 기울어짐, 급격 기울어짐 데이터에 대해 선형회귀를 진행한 결과이며, 회귀 결과로부터 현재 건물의 기울기 경향을 파악할 수 있는 것을 확인하였다. 특히 진행성 기울어짐일 경우 주로 건물 기울어짐 현상이 선형적으로 진행되는 경향이 있는 관계로 실제 모의 거동 환경에서 설정한 기준군(Ground Truth)과 거의 일치하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 각각의 상황별 기준군과 회귀 분석을 통한 기울기 측정값은 [Table 1.]과 같으며 측정값의 평균적인 오차는 [Table 2.]와 같다.

Table 1. 선형회귀 기반 기울기 측정 결과

상태	측정 기울기	기준군
정상	0.0001	0
진행성	0.0701	0.071
급격	0.1449	0.1

Table 2. 선형회귀 기반 기울기 산출 오차

상태	정상	진행성	급격
오차 범위	0.0001°	0.0009°	0.0449°

기울기 측정에 대한 오차를 확인한 결과 급격 기울어짐을 제외한 두 상황에서는 0.001° 이내의 오차를 보였다. 아래의 국토 교통부 고시 기준에 따르면 위험 등급 기준 기울기 단위가 0.1° 내외로, 해당 오차는 1% 미만의 오차로서 기울기 등급산정 및 점수 산정에 영향을 주지 않는 것으로 볼 수 있다.

3.3.2 기울기 값에 따른 건물 위험도 산출

앞서 수행한 기울기 측정값을 통해 국토교통부에서 고시한 기준을 바탕으로 건물의 위험도를 산출한다[7]. 해당 기준에 따라 아래의 [Table 3.]와 같이 5단계로 위험등급을 나누었다.

Table 3. 국토교통부 기준에 의거한 위험도 등급 기준

등급	허용 범위	기울기	안전조치
A	1/750 이내	0.07639° 이내	정상 유지 관리
B	1/500 이내	0.11459° 이내	주의 관찰, 원인 제거
C	1/250 이내	0.22918° 이내	정기적 계측 필요, 원인 제거
D	1/150 이내	0.38196° 이내	보수 보강, 사용제한 필요
E	1/150 초과	0.38196° 이내	긴급 보강 및 사용 금지

또한 등급 기준에 따라 기울기 0°를 0점, 0.38196°를 100점으로 기준을 두고 기울기 각도에 따른 점수를 정의하였다. [Table 4.]은 [Fig. 5.]에 해당하는 기울기 측정 결과를 바탕으로 위험도 등급 및 점수를 산출한 결과이다.

Table 4. 모의 거동 데이터 건물 위험도 산출 결과표

상태	기울기	등급	위험도
정상	0.0001	A	0%
진행성	0.0701	A	21.51%
급격	0.1449	C	56.96%

IV. Conclusions

본 논문에서 제안한 자이로 센서를 활용해 선형회귀를 적용한 기울기 측정 모델의 경우 실제 기울기 정도와 대비해 정상 및 진행성일 경우 0.001° 이내의 오차를 보이며 신뢰성을 입증하였다. 또한 해당 결과를 바탕으로 국토교통부 고시 기준에 따른 위험도를 가시성이 뛰어난 점수 형태로 산출하였다. 향후 재난 상황 시 건물 안전에 위험이 되는 침하, 가속도 및 가스 센서에 대한 분석 및 예측 모듈을 추가하여 관리할 수 있는 통합 플랫폼을 구축할 예정이며 제안한 연구 및 시스템이 신속한 재난 의사 결정에 도움이 되길 기대한다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 과제는 행정안전부 지역맞춤형 재난안전 연구개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구이며(20015427), 과학기술정보통신부 과학기술기반 지역수요맞춤형 R&D지원 사업으로부터 지원받아 수행되었습니다.(CN20120GB001)

REFERENCES

- [1] Ministry of Public Safety and Security. "White paper of 9.12 Earthquake", (2017): 31-34.
- [2] Ministry of the Interior and Safety. "White paper of Pohang Earthquake", (2018): 145-163.

- [3] Wang, Youliang. "Comparative Analysis of Total Station Measuring Inclination and Settlement." American Journal of Civil Engineering 7.2 (2019): 47.
- [4] Yang, Gang, et al. "Real-time monitoring of changes in building tilt angle using double square artificial marks." Indoor and Built Environment (2020): 1420326X20909163.
- [5] Lim, Jaedon, et al. "Safety Monitoring System of Structures Using MEMS Sensor." Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering 22.10 (2018): 1307-1313.
- [6] Lim, Jaedon, Jungjip Kim, and Hoekyung Jung. "Multi-advanced Sensor-based Building Disaster Prevention Detection System." Proceedings of the Korean Institute of Information and Communication Sciences Conference. The Korea Institute of Information and Communication Engineering, 2018.
- [7] Ministry of Land, Infrastructure and Transport. "Safety Inspection and Precise Safety Diagnosis Detailed Instructions", (2017): 4-46