



Journal of Knowledge Information Technology and Systems

ISSN 1975-7700 (Print), ISSN 2734-0570 (Online)

<http://www.kkits.or.kr>

Effective Crack Detection System for Inner Walls of a Facility Using Embedded Board

Yoon-Ho Cha, In-Sik Hong*

Department of Computer Science & Engineering, Soonchunhyang University

ABSTRACT

Damage of the inner walls of a facility due to external factors such as earthquakes is not only difficult to diagnose but also includes visible crack. In the case of a crack detection system using a camera, blind spots were impossible to detect. Crack detection system which uses impedance characteristics and TDR which uses smart sheets didn't have blind spots, but had difficulties finding small cracks. Smart sheets were originally developed to detect damage of underground facilities, but it is possible to modify their form to attach them to the inside of the facility. The damage detection algorithm using impedance characteristics specified the damage location by filling the smart sheet with pulses of a certain length then measuring the time using the impedance discharge factor. However, this system's structure have to create approximation error between discharge start time and the measurement start time, which depends on warm-up situation and changes in the surrounding environment. In this paper, crack detection tape made with copper thin film is applied to the inner wall of the facility. The embedded system used one channel of ADS1015 to dataize detection pulses and reflected waves. Experiments and verification were conducted through simulated break testing after installing crack detection tape adapted for buildings using thin copper film tape on the walls of buildings. Collected the measured data to validate the enhanced crack detection system.

© 2020 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Embedded board, Crack detection, Copper tape, Crack position, Inner-wall

ARTICLE INFO: Received 8 September 2020, Revised 8 October 2020, Accepted 13 October 2020.

*Corresponding author is with the Department of Computer Science & Engineering, SoonChunHyang University, 31538, 22 Soonchunhyang-ro, Sinchang-myeon,

Asan-si, Chungcheongnam-do, KOREA.
E-mail address: ishong@sch.ac.kr

1. 서론

최근 우리나라의 지진 발생 빈도수가 증가하는 추세이며, 2017년 11월에는 진도 5.4의 강진이 포항에서 발생했다[1]. 이처럼 우리나라는 지진 안전 국가가 아니며, 시간이 지남에 따라 내진 설계와 건물의 파손, 내부 크랙 등을 감지하는 시스템의 중요성이 증가하고 있다. 지진 등 외부적인 요인에 의한 시설물 내벽의 파손은 그 진단이 까다로울 뿐만 아니라 눈에 보이지 않는 미세한 크랙 등을 포함하고 있다.

파손을 감지하는 시스템 중 스마트 슈트를 활용한 시스템으로는 TDR(Time Domain Reflectometer) 기술을 이용한 파손감지 시스템과 임피던스 특성 활용한 파손감지 시스템 등이 있다[2-4]. 스마트 슈트는 지하에 설치되는 상수도, 하수도, 가스관 등 중요 인프라의 파손을 감지하기 위해서 사용되며, 건물, 문화재, 플랜트 등 사람이 상시 감시할 수 없는 대상에 광범위하게 적용할 수 있다. 스마트 슈트와 TDR을 이용한 파손감지 시스템의 경우에는 고가의 장비로 인하여 비용상의 문제가 있고, 300m 이내의 거리는 블라인드 스팟의 발생으로 측정이 어렵다는 단점이 있다.

임피던스를 활용한 파손감지 시스템은 슈트의 양단에 임베디드 보드를 설치하여 특정한 통신 알고리즘을 통해 파손 유무를 지속적으로 감지한다[5]. 그러나 측정 거리가 통상 1km 이내의 파손감지 영역에서 파손 위치를 찾아내는 것은 어려운 작업이다. 측정 방식은 스마트 슈트에 특정 전하량을 충전한 후 방전 속도를 측정하는 방식으로 파손 위치를 계산한다. 그러나 싱글 코어 프로세서를 사용하는 시스템의 특성상 레지스터 단계에서의 지연시간이 존재하며 이를 극복하기 위해 사용한 기계식 릴레이는 물리적 딜레이가 발생하여 환경 변화에 따른 오차가 존재한다. 또한, 저가형 임베

디드 보드에 내장되는 10Bit ADC(Analog to Digital Converter)는 데이터의 정밀도뿐만 아니라 레지스터 단계에서의 샘플링 간격의 불균등으로 인하여 파손감지 시스템의 정확도를 저하시키는 문제가 발생한다. 그러므로 본 논문에서는 방전 시작 시점을 계산하도록 알고리즘을 개선하고, 외부 ADC를 활용하여 데이터 폭을 확대함으로써 정밀한 데이터로 보다 정확한 크랙 발생 위치를 검출할 수 있는 시스템을 제안한다.

본 논문의 입증을 위해 2장에서는 기존의 파손감지 시스템에 대한 내용을 다루고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 효율적인 시설물 내부 크랙 감지 시스템에 대한 설계를 다룬다. 4장에서는 3장에서 제안한 시스템에 대한 테스트 결과에 대하여 다루고, 마지막으로 5장에서는 테스트 결과에 따른 향후 발전 방향을 다룬다.

2. 관련 기술 및 동향

2.1 스마트 슈트 측정 시스템

스마트 슈트를 측정하는 시스템은 크게 스마트 슈트와 ADC(Analog to Digital Converter), 그리고 임베디드 보드로 구성된다.

스마트 슈트는 일정 두께의 강력한 접착력을 갖는 슈트 사이에 물결 모양으로 두 가닥의 도선을 삽입하여 통신선과 감지 테이프가 결합된 형태로 제작한다. 스마트 슈트는 시설물의 파손과 동시에 감지 도선이 파손되도록 하여 파손감지, 누수 감지 등의 목적으로 사용된다[6-8]. 스마트 슈트는 측정 범위가 광범위 적이며 빠르게 탐지할 수 있다는 장점이 있다.

임베디드 보드는 특정 기능만 수행하도록 제작된 보드이다. 필요한 기능만을 제공하여 비교적 적은 비용으로 운용이 가능하다. 본 논문에서는 저가

형 임베디드 보드를 활용한 시스템 개발을 주안점으로 두어 범용 임베디드 보드 중 아두이노 계열 보드[9,10]를 이용하였다. 해당 임베디드 보드들을 이용하여 레지스터 단계에서 시스템을 개발하여 데이터 처리의 최소화와 시스템의 실행 속도를 μs 단위에서 조절이 가능하였다[11].

ADC는 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 변환한다. 아두이노 우노의 내부 ADC의 경우 10Bit의 분해능을 지녔으나 외장형 ADC인 LTC2400은 24Bit의 분해능을 지녔다. 또한, 외부 ADC를 사용함으로써 일정 수치의 전압이 일정하게 공급되어 더 안정적인 전압 데이터를 얻을 수 있다[12]. 이처럼 외장형 ADC를 추가적으로 결합하여 사용 시 약간의 비용은 상승하나 효율성과 정확도 측면에서 신뢰할만한 모니터링이 가능하다는 장점이 있다.

2.2 크랙 감지 시스템

시간이 지날수록 건물 내벽의 크랙은 지속적인 외부 힘에 의하여 발생한다. 특히 건물을 지탱하는 부위의 크랙은 치명적이나 육안으로 발견할 수 없는 위치에 발생하는 경우가 빈번하다.

크랙 감지를 통한 건물의 파손 수리 기법은 건축구조물 외벽체의 크랙 감지 시스템 [특허 10-1680615]을 통해 확인할 수 있다. 기존의 건물 크랙 감지 시스템의 경우, 크랙 감지를 위해 적외선 카메라, 레이저 카메라 등 특정 장비들을 사용하며 내외부의 크랙을 감지하기 위해 필요한 각 장소마다 설치가 강제된다. 하지만 해당 장비들의 설치 비용이 많이 들고, 사각지대와 벽 내부에 대한 크랙의 감지는 불가능할 수도 있다는 문제가 있다.

3. 시설물 내부 크랙 감지 시스템의 개발

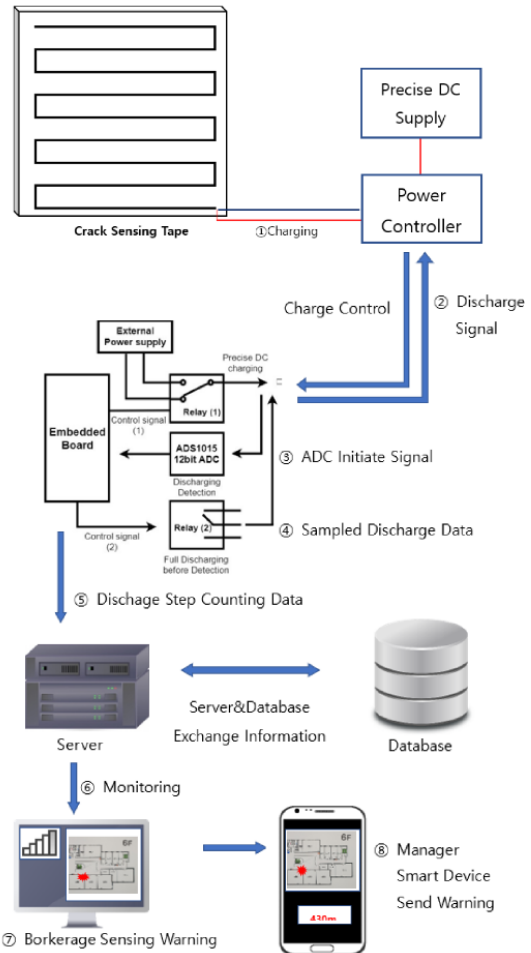


그림 1. 내벽 크랙 감지 시스템 블록도

Figure 1. Inner-Wall Crack Detection System Block Diagram

시설물 내부에서 발생하는 크랙을 감지할 수 있도록 본 논문에서 제안할 시스템은 <그림 1>과 같이 크랙 감지 테이프와 임베디드 보드를 이용해 시설물 내부의 크랙에 대한 관측이 가능하도록 구축하였다. 관측된 데이터는 서버를 통해 관리되며, 서버와 연결된 다양한 디바이스들을 통해 시설물 외부, 내부에 크랙 발생 시 조희가 가능하다[13].

3.1 크랙 감지 테이프의 구조

건물 벽면에서 발생하는 크랙을 감지하기 위해서는 건물 내부에 구리 박막 필름으로 제작된 크랙 감지 테이프를 부착하여 크랙과 동시에 구리 박막이 파손되도록 설계하여야 한다. 그리고 테이퍼의 장거리 통신을 위해서 순도가 높은 구리 박막을 활용하였다.

크랙 감지 테이프 제작 시 구리 박막을 1cm 간격으로 제작하여 길이에 따른 충전 특성을 갖게 하고 충전된 전압값을 이용하여 방전 속도에 대한 데이터를 수집한다. 건물 내부에 크랙이 발생하였을 경우에는 크랙과 함께 구리 박막이 같이 파손되며, 동시에 충전 용량이 감소하게 되므로 크랙이 발생한 지점을 발견 할 수 있다. <그림 2>는 실험에 사용된 크랙 감지 테이프의 구조를 보여주고 있다. 크랙 감지 테이프는 <그림 2>와 같은 단면도로 두께 0.1mm, 너비 10mm의 구리 박막 두 라인을 10mm 간격을 두어 충전 특성이 나타나도록 설계하여 실제 벽면에 부착 후 테스트를 4장에서 진행한다.

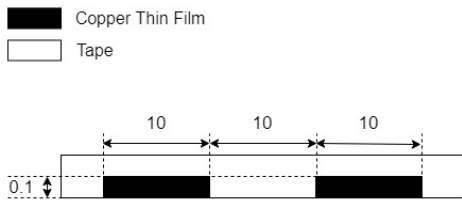
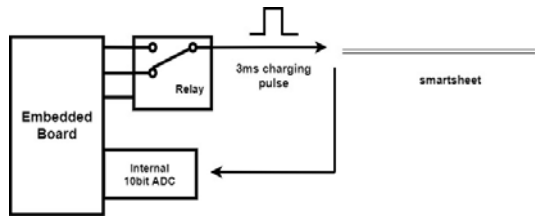


그림 2. 크랙 감지 테이프의 단면도
Figure 2. Structural Diagram of Crack Detection Tape

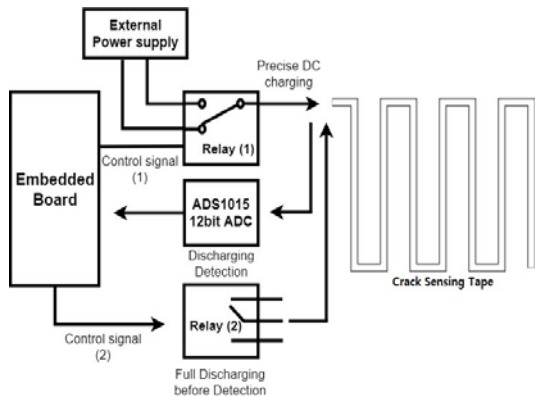
3.2 크랙 감지 시스템의 설계

크랙 감지 시스템은 임베디드 보드와 새로 설계한 크랙 감지 테이프로 구성된다. 임피던스 특성을 활용한 기존의 파손감지 시스템은 아두이노 우노

내부의 ADC를 이용하여 피복이 있는 구리 전선이 내장된 스마트 슈트를 제작하여 측정하였다. 그러나 아두이노 우노는 싱글 코어 프로세서를 사용하기 때문에 임베디드 보드의 일반 프로세서와 ADC 모드 전환 시 지연시간이 존재하게 되는데 싱글 코어 프로세스에서는 피할 수 없이 발생하는 문제이다. 해당 문제는 저가형 임베디드 보드의 한계로 충전 후 지연시간 없이 방전 상태를 모니터링 하는 것은 불가능하다. 또한, 피복이 있는 두꺼운 구리 전선을 사용하다 보니 건물 내벽에 넣어서 사용 시 건물의 크랙과 함께 전선이 파손되지 않아 내부 크랙을 감지하지 못하는 단점이 있다.



(a) 기존 파손감지 시스템
(a) Conventional Breakage Detection System



(b) 제안한 크랙 감지 시스템
(b) Proposed Crack Detection System

그림 3. 기존 시스템과 제안한 크랙 감지 시스템
Figure 3. Conventional System and Proposed Crack Detection System

아두이노 내부 전압을 사용한 펄스로 스마트 슈트를 충전하기 때문에 측정된 전압값은 아두이노의 전원 전압값에 따른 충전량의 변화가 존재할 수 있다. 아두이노 자체에 내장된 ADC의 레퍼런스 전압이 아두이노의 전원 전압값에 따라 오차가 발생하기 때문에 주변 환경에 따라 오차 범위가 증가하는 경우가 발생하기도 한다. <그림 3>의 (a)는 기존의 파손감지 시스템을 보여준다.

<그림 3>의 (b)는 기존 시스템의 이러한 단점들을 해결하기 위해 외부 정밀 전압을 사용하여 크랙 감지 테이프를 충전하고 외부 ADC를 사용한 시스템을 보여주고 있다. 외부 ADC로는 ADS1015를 사용하기로 했다[14,15]. ADS1015의 스펙은 <표 1>과 같다.

표 1. ADS1015 스펙시트
Table 1. ADS1015 Spec Sheet

Resolution	12 Bits
Programmable Sample Rate	128 to 3300 Samples/Second
Power Supply/Logic Levels	2.0V to 5.5V
Internal Low-Drift Voltage Reference	
Internal Oscillator	
Internal PGA	up to x16
I2C Interface	4-Pin-Selectable Addresses
Four Single-Ended or 2 Differential Inputs	

3.3 측정 알고리즘

기존의 임피던스 특성을 이용한 파손감지 시스템의 알고리즘은 아두이노 내부 ADC를 이용하여 전압을 측정한다. <그림 4>의 (a)는 기존의 측정 방식 플로우를 보여준다. 내부 ADC 사용 시 첫 동작까지의 특정 딜레이가 존재하기 때문에 기계식 릴레이를 통해 임베디드 보드가 발생하는 충방전 시그널과 실제 충방전 시간과의 차이를 유도하였다. 그러나 기계식 릴레이는 환경 변화에 따라 변화하는 물리적 딜레이를 지닌다. 따라서 측정마다 블라인드 스팩트의 위치가 변화하여 오차가 발생하게 된다. 게다가 아두이노로 측정된 특정 시간 데이터가 언제나 일정하다는 보장이 없으므로 블라인드 스팩트가 측정값에 끼치는 영향을 줄이기 위해 방전 속도를 느리게 조정하였기 때문에 결과값의 산출까지 걸리는 시간도 오래 걸리게 된다.

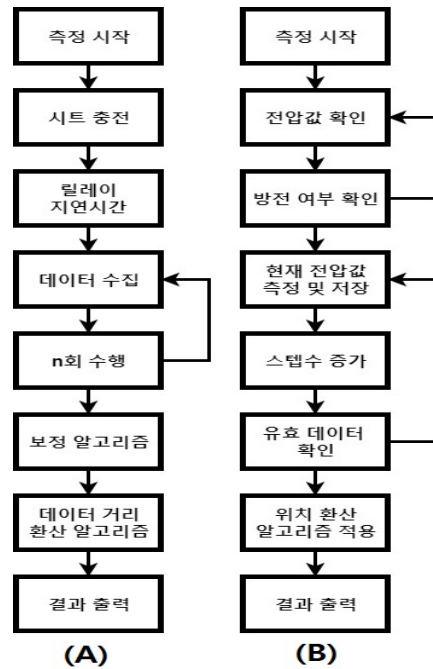


그림 4. (A)기존 측정 방식 플로우와 (B)제안한 측정 방식 플로우
Figure 4. (A)Existing Detection Method Flow and (B)Proposed Detection Method Flow

<그림 4>의 (b)는 기존 측정 방식에서 개선하여 새로 제안한 측정 방식 플로우를 보여준다. 외부 ADC 사용을 통해 릴레이의 물리적 딜레이 사이에 측정을 시작하여 방전 시작 시점을 특정하는 것이

가능하다. 이를 통해 특정한 방전 시작 시점부터 일정한 시점마다 방전 전압량을 측정한다.

3.4 제안한 시스템의 설계

제안한 크랙 감지 시스템과 측정 알고리즘을 적용하기 위해서는 전용 임베디드 보드의 설계가 필요하다. 그러나 설계 비용과 시간이 많이 필요한 단점이 있으므로 범용 임베디드 보드인 아두이노 우노 보드를 사용하였다.

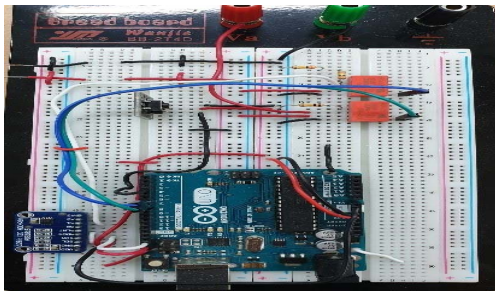


그림 5. 크랙 감지 시스템 실험용 보드와 회로도
Figure 5. Crack Detection Embedded Board and Circuit

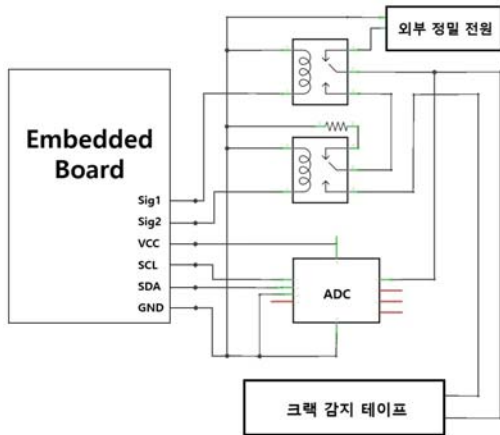


그림 5. 크랙 감지 시스템 실험용 보드와 회로도
Figure 5. Crack Detection Emulating Board and Circuit Diagram

〈그림 5〉는 본 논문에서 제안한 시스템에 사용된 외부 ADC 모듈인 ADS1015와 아두이노 우노 보드가 결합된 임베디드 보드의 사진과 회로도를 보여준다.

제안하는 시설물 내부 크랙 감지 시스템의 측정 순서는 다음과 같다.

- ① 측정 전 크랙 감지 테이프를 강제방전시킨다.
- ② 임베디드 보드를 통해 시그널을 발생시킨다.
- ③ 시그널을 통해 릴레이가 동작한다.
- ④ 릴레이 동작 직후 ADS1015로 측정한다.
- ⑤ 방전 시점을 특정한다.
- ⑥ 방전 특성을 확인한다.
- ⑦ 정해진 시간마다 ① ~ ⑥을 반복 수행한다.

3.5 측정된 방전 그래프

크랙 감지 시스템은 건물의 시공 시 함께 설치함으로써 카메라를 사용한 시스템의 단점인 사각 지대에 대한 모니터링도 가능하게 한다. 또한, 적은 비용으로 건물의 외벽뿐만 아니라 내벽까지 크랙의 감지가 가능하다.

기존 측정 방법에서 발생하였던 오차범위 문제를 해결하기 위하여 크랙 감지 테이프의 충전시 외부 정밀 전원을 사용하였다. 외부 전원을 사용하지 않고 아두이노의 전압만을 사용하였을 경우에는 환경 변화에 따라 아두이노의 포트에서 출력되는 전압이 일정하지 않아 오차율이 증가할 수 있는 문제가 발생하기 때문이다. 그래서 크랙 감지 테이프를 외부 정밀 전원으로 충전함으로써 환경 변화에 따른 오차율을 줄일 수 있다.

측정은 기계식 릴레이의 딜레이로 인한 오차를 줄이기 위해 특정 방전 전압까지 도달하는데 걸리는 측정횟수를 이용한 위치 환산 알고리즘을 적용하였다. 또한, 충전은 외부 전원을 이용하고, 방전

의 측정은 독립적인 ADS1015로 수행하여 전원 중속적인 오차율을 제거하였다.

<그림 6>은 위와 같은 측정 방식을 토대로 크랙 감지 테이프를 측정한 데이터를 보여준다. 측정된 데이터를 ‘Processing’ 이라는 프로그램을 이용하여 시각화한 방전 특성 그래프를 보여준다[16].

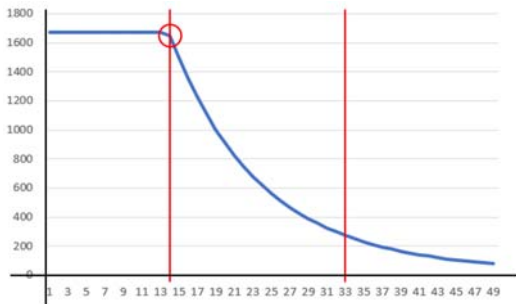


그림 6. 크랙 감지 테이프의 방전 특성 그래프
Figure 6. Graph of Crack Detection Tape Discharge Characteristic

크랙 감지 테이프의 길이 측정에는 크랙 감지 테이프의 충전 특성이 갖는 시상수를 이용한다. 시상수는 크랙 감지 테이프의 충전 특성에 의해 길이마다 다른 값을 갖기 때문에 시상수를 이용하여 크랙 감지 테이프의 길이를 측정할 수 있다[17,18].

ADS1015를 통해 본 논문에서 제안한 형태와 구조를 지닌 크랙 감지 테이프의 방전 특성을 측정하여 측정 스텝 수에 대한 샘플 데이터를 추출하였다. 샘플데이터를 이용하여 크랙 감지 테이프의 파손 위치를 특정하는 데 사용한다.

4. 현장적용 및 시스템 테스트

시스템의 테스트를 위한 크랙 감지 테이프를 시설물 내부에 설치할 수 없으므로 테스트의 용이성을 위하여 <그림 2>와 같이 개량된 시설물 내부 크랙 감지 테이프를 약 100m 제작하여 건물 벽면에

부착 후 시스템을 테스트하였다.

기존의 시스템에서는 기계식 릴레이의 물리적 딜레이로 인해 발생하는 방전 트리거 시점으로부터 감지 시점까지 매번 약간의 물리적인 오차를 포함하게 된다. 그러므로 물리적인 딜레이를 배제할 수 없었으나 본 논문에서는 펄스 발생과 측정 시점을 일치하기 위한 하드웨어를 추가하여 문제점을 해결하였다.

문제점 해결을 위해서 외부 ADC 및 프로그램상에서 측정 싱크를 일치시키는 노력을 하였다. 외부 ADC인 ADS1015를 활용하여 프로그램과 측정 싱크를 맞춘 측정 방식은 내부 ADC를 사용하였을 때보다 일정한 간격으로 측정할 수 있었다.

일정한 간격으로 측정이 되는 것을 활용하여 거리 측정에 방전 시간을 특정 전압값까지의 측정횟수, 스텝 수로 측정함으로 알고리즘상에서의 연산을 간략화시켰다. 또한, 길이 연산에 대한 알고리즘에 스텝 수와 측정된 방전량에 대한 값을 연관시킴으로써 길이 측정에 대한 정확성을 높였다.

측정에 사용한 ADS1015는 12bit의 분해능을 지니 아두이노 내부 ADC의 분해능인 10bit 데이터 대비 정밀한 결과를 얻을 수 있었으며, 측정에 대한 처리를 외부 ADC로 넘김으로 싱글 코어가 처리해야 하는 부담을 줄였다. 이를 통해 충전 후 방전이 시작되는 전압 강하 시점을 특정하는 것이 가능해졌다. 전압 측정 시작 시점을 해당 전압 강하 시점을 특정하여 물리적 지연시간으로 발생하는 오차를 보정하였다. 전압 강하 시점은 <그림 6>의 그래프의 표시된 부분에서 확인할 수 있다.

실제 크랙 감지 테이프를 벽면에 부착하여 테스트한 모습은 <그림 7>에서 볼 수 있으며, 결과는 <표 2>와 같다. 길이 측정 시 알고리즘에 방전량에 대한 처리가 추가되어 있기 때문에 같은 스텝 수에서 같은 값이 측정되었다더라도 측정 길이가 다른 결과를 확인할 수 있었다.

구리 박막을 이용한 크랙 감지 테이프는 기존 파손감지 시스템에서 사용된 구리 전선으로 제작한 스마트 슈트 대비 높은 충전 특성을 지녀 1m 단위의 길이까지 정확하게 측정할 수 있었다. 또한, 주변의 크랙과 함께 구리 박막에도 크랙이 발생함으로써 미세한 크랙도 측정이 가능했다.

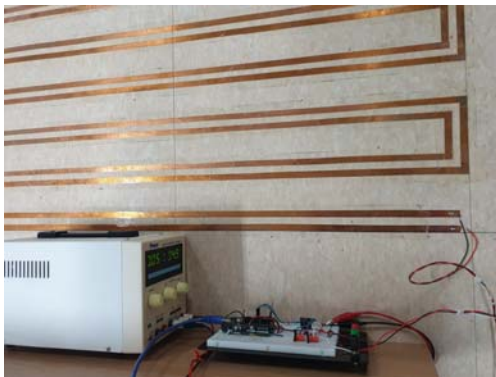


그림 7. 실제 벽면에 감지 테이프 적용 예
Figure 7. Actual of Sensing Tape Test

표 2. 테스트 결과
Table 2. Test Result

30m		50m		70m	
스텝 수	14	스텝 수	16	스텝 수	19
측정 값	측정 길이	측정 값	측정 길이	측정 값	측정 길이
343	30m	337	51m	337	71m
338	29m	332	49m	336	70m
340	29m	335	49m	334	71m
337	31m	332	51m	328	70m
338	30m	335	50m	333	71m
340	30m	330	50m	334	69m
344	30m	336	49m	327	70m
341	29m	330	51m	334	71m
344	32m	337	50m	332	69m
342	31m	337	49m	337	70m

현재의 측정 방법에서는 오차율은 100번 측정 시 5번 미만으로 1m 이상의 오차가 발생하였다. 방진량의 변화량에 대한 알고리즘을 더 추가하여 오차에 대한 보정이 가능할 것으로 보인다.

5. 결론

본 논문에서는 임베디드 보드를 이용한 효율적인 시설물 내벽 파손감지 시스템 설계를 통해 다음과 같은 결과를 도출하였다. 기존 파손감지 시스템에 비해서 외부 파워 서플라이를 통한 안정적인 일정한 전압 공급으로 더 안정적인 결과값을 수집할 수 있었다. 또한, 외부 ADC를 사용함으로써 아두이노 우노 보드의 내부 ADC보다 더 정확한 결과를 얻을 수 있었으며, 외부 ADC의 더 높은 분해능 데이터를 통해 보다 정밀한 결과도 얻을 수 있었다.

크랙 감지 시스템은 지진 발생 시, 외부에서 파악할 수 없는 미세한 크랙 또한 감지할 수 있기 때문에 건물의 내벽뿐만 아니라 건물이 아닌 일반적인 시설물, 파손 및 크랙 감지가 필요한 문화재 등에서도 유용하게 이용이 가능하다.

본 논문에서는 ADS1015의 한 개의 채널만 사용하여 파손감지 시스템을 구축하고 테스트하였다. 그러나 ADS1015는 본래 4개의 채널을 가진 ADC이므로 최대 4개의 채널까지 구성이 가능하다. 그러므로 하나의 임베디드 보드를 이용하여 4곳의 건물의 내벽 또는 시설물에 대한 파손감지가 가능하다. 추후 4개의 채널을 모두 사용하도록 시스템을 개선한다면 공간 활용성 극대화와 비용 절감이 가능할 것으로 보인다.

현재 시스템은 서버와의 연동만 가능한 상태지만, 추후 어플리케이션을 개발하여 모니터링 시스템의 서버를 스마트폰 등의 디바이스와 연동시키면 어디서나 쉽게 시설물 크랙 발생 시 즉각적인 조치가 가능할 것으로 판단된다.

References

- [1] https://www.weather.go.kr/weather/earthquake_volcano/domestictrend.jsp, Jul. 2019
- [2] C. Andrea, D.B. Egidio, C. Giuseppe, M. Antonio, G. Nicola, D. A. Giuseppe Maria, C. Nicola, D. L. Antonio, and M. Marcello, *advances in the TDR-based leak detection system for pipeline inspection, Measurement*. Vol. 98, No. 3. pp. 347-354 2017.
- [3] T. J. Kim, B. D. Yoon, and S.H. Woo, *Model-based detection of pipe leakage at joints*, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 39, No. 3, pp. 347-352, 2004
- [4] S. M. Kim, J. H. Sung, W. Park, J. H. Ha, Y. J. Lee, and H. B. Kim, *Development of a monitoring system for multichannel cables using TDR*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 68, No. 8, pp. 19-28, 2016.
- [5] M-G Nam, and I-S Hong, *The Design of embedded system for locationing damage point of smart sheet*, Journal of Knowledge Information Technology and System, Vol. 12, No. 5, pp. 683-691, 2017.
- [6] www.wacon.co.kr, Dec. 2019.
- [7] <https://itblog.imarketkorea.com/33>, Aug. 2014.
- [8] www.cowithone.com, Dec. 2019.
- [9] www.arduino.cc/usa/mega-2560-r3, Jul. 2019.
- [10] www.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3, Jul. 2019.
- [10] <https://datasheet.octopart.com/ATMEGA328P-MU-Microchip-datasheet-65729177.pdf>, Jun. 2016.
- [12] K-Y. Kim, and I-S. Hong, *Study on ADC stabilization of small embedded board using LTC2400 module*, Journal of Knowledge Information Technology and System, Vol. 10, No. 3, pp. 329-336, Jun. 2015.
- [13] I. S. Hong, and B. M. Kang, *A study on a leakage sensing pipe and monitoring system using TDR in GIS*, Journal of the Multimedia Society, Vol. 7, No. 4, pp. 567-578, 2004.
- [14] <https://www.adafruit.com/product/1083>, Jul. 2019.
- [15] <https://datasheet.octopart.com/ATMEGA328P-MU-Microchip-datasheet-65729177.pdf>, Oct. 2009.
- [16] <https://processing.org>, Jul. 2019
- [17] H. S. No, C. Cui, Y. S. Kim, J. B. Choi, and B. S. Kim, *Accuracy improvement of time domain impedance measurement using error calibration method*, Journal of the Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol. 23, No. 11, pp. 1315-1322, 2016.
- [18] S. J. Ahn, and Y. S. Choi, *A jitter characteristic improved PLL with RC time constant circuit*, Journal of the Institute of Electronics Engineer of Korea, Vol. 54, No. 2, pp. 133-138, 2016.

임베디드 보드를 이용한 효율적인 시설물 내벽 크랙 감지 시스템의 설계

차윤호¹, 홍인식²

¹순천향대학교 컴퓨터공학과 학부생

²순천향대학교 컴퓨터공학과 교수

요 약

지진 등 외부적인 요인에 의한 시설물 내벽의 파손은 그 진단이 까다로울 뿐만 아니라 눈에 안보이는 크랙 등을 포함하고 있다. 카메라를 활용한 크랙 감지 시스템의 경우 사각지대는 감지가 불가능했다. 스마트

슈트를 활용한 TDR, 임피던스 특성을 이용한 파손감지 시스템 등은 스마트 슈트를 이용하여 사각지대는 없었으나, 미세한 크랙을 감지하는데 어려움이 있었다. 스마트 슈트는 지하시설물 파손을 감지하기 위해 개발되었으나, 그 형태를 수정하여 시설물 내부에 부착할 수 있도록 개조하는 것이 가능하다. 임피던스 특성을 이용한 파손 감지 알고리즘은 스마트 슈트를 일정 길이의 펄스로 충전한 후 임피던스 방전계수를 활용한 시간 측정으로 파손위치를 특정하였다. 그러나 이 경우 시스템의 워밍업 상황 및 주변 환경 변화에 따라 방전 개시 시간과 측정 개시 시간 사이에 오차가 발생할 수밖에 없는 구조로 설계되었다. 본 논문에서는 구리 박막으로 제작된 크랙 감지 테이프를 시설물 내벽에 적용하였고, 임베디드 시스템은 ADS1015의 1채널을 이용하여 감지용 펄스와 반사파를 데이터화하였다. 실험 및 검증은 구리 박막을 이용하여 건물용으로 개조한 크랙 감지 테이프를 건물 벽면에 설치한 후 모의 파손 실험을 통해 진행하였다. 측정된 데이터를 수집하여 향상된 크랙 감지 시스템의 유효성을 입증한다.



Yoon-Ho Cha is a undergraduate in university at Soonchunhyang University. He has been working in computer engineering and embedded labs since 2018.

His current research interests include Mobile System/Communication, IoT networking, GIS, and Embedded System.

E-mail address: dbsgh6520@gmail.com

감사의 글

본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.



In Sik Hong received an M.S. and Ph.D. in the Department of Electronic Engineering from HanYang University in South Korea, in 1981 and 1988, respectively. He was senior researcher at Frontier Research Program for Water Resources from 2002 to 2011. He has been a professor at SoonChunHyang University in South Korea since 1991. His research interests include AR Technology, GIS, Embedded System and IT Convergence Technology.

E-mail address: ishong@sch.ac.kr