

# ESD 접지선 단선 모니터링 시스템 설계 및 구현

성정모<sup>1</sup>, 정영석<sup>1</sup>, 박구락<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>공주대학교 컴퓨터공학과

## Design and implementation of ESD cable Disconnection Monitoring System

Jung-Mo Seong<sup>1</sup>, Young-Suk Chung<sup>1</sup>, Koo-Rack Park<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept of Computer Science, Kongju National University

**요약** 디스플레이 제조 공정에서는 패널의 이송 목적으로 컨베이어 시스템이 널리 사용된다. 이 컨베이어에는 정전기로 인한 제품 불량을 예방하기 위해 접지선이 다수 사용되는데, 이송 롤러의 회전 운동이나 말림 등의 원인으로 접지선이 단선되어 제품 불량으로 이어지는 경우가 빈번히 발생된다. 이런 문제 해결을 위해 접지선의 단선을 실시간으로 검출 가능한 시스템의 필요성이 커지고 있다. 따라서 본 논문에서는 컨베이어 구동부와 패널의 마찰로 발생하는 ESD(Electro-Static Discharge) 접지선의 단선 모니터링 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 ATmega 2560 및 휘트스톤 브릿지(Wheatstone Bridge) 회로를 이용해 접지선의 단선 및 탈조 검출이 가능한 모니터링 시스템으로써, 접지선의 단선을 즉시 검출해 조치할 수 있으므로, 정전기로 인한 제품의 불량률을 줄일 수 있다. 본 논문에서 제안한 시스템은 접지선이 사용되는 산업의 생산 및 시험 장비에 적용 가능할 것으로 기대된다.

• 주제어 : 정전기, 접지케이블, 단선검출, ATmega2560, 머레이루프법

**Abstract** In the splay manufacturing process, conveyor systems are widely used for conveying panels. In this conveyor, a large number of grounding lines are used in order to prevent a product failure due to static electricity. In many cases, the grounding line is disconnected due to the rotation of the transporting roller or curling, leading to product failure. In order to solve such a problem, there is a growing need for a system capable of detecting disconnection of a ground wire in real time. Therefore, in this paper, we propose a disconnection monitoring system of ESD (Electro-Static Discharge) ground wire caused by friction between the conveyor drive part and the panel. The proposed system is a monitoring system that can detect disconnection and disconnection of ground wire using ATmega 2560 and Wheatstone Bridge circuit. It can detect disconnection of ground wire immediately and can take measures to reduce the defect rate due to static electricity. The system proposed in this paper is expected to be applicable to the production and test equipments of all industries where the ground wire is used.

• Key Words : ESD, Grounding cable, Disconnection detection, ATmega2560, Murray's loop

### 1. 서론

IT 기술의 급속한 발전으로 스마트폰의 교체주기가

점차 빨라지며, 그로 인해 디스플레이 패널 수요가 폭발적으로 증가하고 있다[1]. 이러한 시장 상황에서 디스플레이 패널을 생산하는 기업들은 수익성과 직결되는 패널

\*Corresponding Author : 박구락(ecgrpark@kongju.ac.kr)

Received June 12, 2017

Accepted August 20, 2017

Revised August 7, 2017

Published August 28, 2017

의 불량률 감소와 생산성 향상을 위한 연구 개발 활동을 전개하고 있다. 그런데 불량률의 원인을 통계 수치로 분석한 결과 정전기로 인한 불량 발생의 원인이 전체 불량률에 약 33%를 차지하고, 연간 수 백억 원 규모의 손실 비용이 발생된다고 보고되었다[2]. 그중 평판 디스플레이 생산 공정에서 패널 이송 목적으로 사용되는 컨베이어 시스템은 패널과 구동 롤러가 맞닿는 접촉식 구조를 가지고 있다[3]. 접촉 방식 장치의 경우 회전롤과 기관의 마찰로 인해 정전기가 발생된다. 정전기의 발생은 패널의 불량 및 생산성 저하로 이어지는데 이 같은 문제 해결을 위해 이송용 회전 롤러 샤프트 자유단 측에 접지선을 연결해 마찰로 발생하는 정전기를 신속히 설비의 메인 접지(Earth)로 방출시킨다. 이는 정전기로 인한 불량 방지 목적으로 사용된다. 그러나 샤프트의 회전운동으로 접지선의 단선 및 탈조 현상이 빈번히 발생되어 고장 검출이 가능한 시스템의 필요성이 커지고 있다.

따라서 본 논문에서는 MCU 와 불평형 브릿지(Unbalanced Bridge) 회로를 이용해 정전기 방출 접지선의 단선 및 탈조 검출이 가능한 ESD 방지용 접지 단선 모니터링 시스템의 구성 및 알고리즘을 기술하고 성능을 평가하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련 연구에 대해 알아보고, 3장에서는 정전기 방출 접지선의 단선 및 탈조 검출 알고리즘을 제시해 ESD 방지용 접지 단선 모니터링 시스템에 대해 논의한다. 4장에서는 ESD 방지용 접지 단선 모니터링 시스템을 검증하고 평가한다. 5장에서는 결론 및 향후 연구과제에 대해 논의한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 정전기 원인 및 접지의 필요성

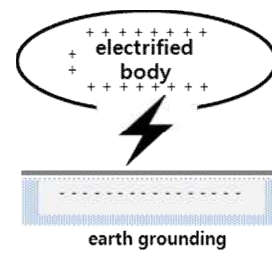
일반 전기와 다르게 전하의 분포가 시간적으로 변화하지 않는 전기현상을 정전기라 한다[4]. 이러한 정전기는 유도 전하와 마찰이라는 두 메커니즘의 결과로 나타난다[5]. 정전기는 유도, 분극, 마찰 및 코로나 방전의 현상에서 발생되는데 대전된 대전물이나 인체, 피조물, 전자부품의 저항이 낮은 곳으로 전하의 급격한 이동을 말하고 그 크기는 식(1)로 나타내면 다음과 같다[6,7].

$$I = \Delta q / \Delta t \tag{1}$$

(I : 방전전류 q: 방전량 t: 방전시간)

정전기는 순간 전압이 수 mV에서 수 KV 로 초고밀도 직접회로, 연 산화 막 (Si O2)이나 고절연체가 사용되는

반도체(ULSI), 평판 디스플레이인 TFT-LCD (Thin film Transistor Liquid Crystal Display) OLED(Organic Light Emitting Diodes) 의 소자 및 마이크로 칩에 열파손(Thermal Breakdown), 기화(Vaporization of Metal) 등의 문제를 발생시켜 생산성을 저하시키는데[8], 컨베이어 시스템의 패널 이송 과정에서 발생하는 정전기의 고장 및 장애의 대부분은 도체가 대전된 결과로 다음의 그림[Fig. 1]과 같이 불꽃방전에 의해 발생된다[9]. 이런 문제 해결 및 대전방지의 방법으로 대전체와의 사이를 전기적으로 접속해 대지를 이용해 등전위화 함으로서, 정전기의 축적을 방지하는 접지를 사용하게 된다.

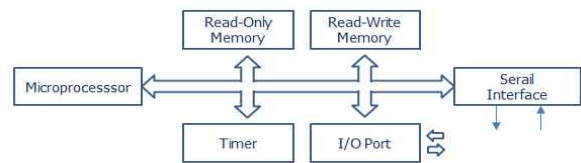


[Fig. 1] Spark discharge[1]

일반적으로 접지는 정전기로부터 접지 전위와 접촉해 보폭 전압의 허용치 내로 억제해 사고 전류에 대한 낮은 저항의 경로를 제공해 기기를 보호한다[10].

### 2.2 ATmega 2560

MCU 는 사람의 두뇌가 인체를 조정하듯 전자 회로 및 전자 기기의 조작이나 특정 시스템을 제어하는 역할을 수행한다. 본 논문에서 제안된 시스템은 Atmel 사에서 개발한 ATmega 2560을 사용했고, 다음 그림과 같은 하드웨어 구조를 가진다.



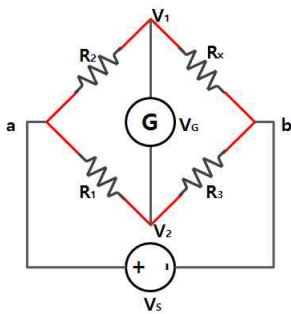
[Fig. 2] Microprocessor Structure

Atmega 2560 은 10핀 TQFP(Thin Quad Flat Pack) 형의 저전력 8bit RISC 기반의 마이크로컨트롤러로 256Kbyte 의 ISP 플래시 메모리를 내장하고, 8KByte 의 SRAM, 4Kbyte 의 EEPROM, 86개의 IO 입출력, PWM(Pulse Width Modulation), ADC를 하나의 칩에 내

장하고 있어 사물인터넷(IoT), 3D 프린터와 소형 측정기 등 정밀 산업 현장에서 많이 사용되고 있다[11].

### 2.3 머레이(Murray) 루프법

케이블의 단선 검출 방법 중 고장점 추정에는 머레이 루프법(Murray Loop) 적용된다[12]. 머레이 루프법은 [Fig. 3] 와 같이 브릿지 회로의 원리를 응용한 것으로 평형 원리에 의해  $R2/R1=R3/R4$  관계가 성립되고[13], 측정기의 눈금을  $R2/(R1+R2)$  수식에 백분율로 환산해 케이블 고정점을 대략 직독할 수 있는 고장 검출 방법이다.



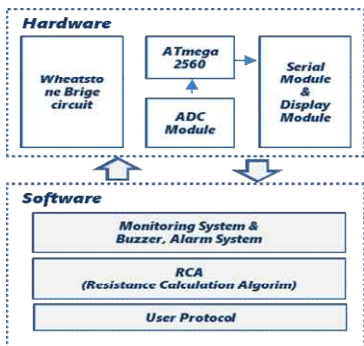
[Fig. 3] Wheatstone Bridge Circuit

[Fig. 3] 에서 보듯 검류계 G 와 4개 저항의 평형 조건으로 케이블의 연결 상태를 확인한다.

## 3. ESD 접지 단선 모니터링 시스템 구현

### 3.1 ESD 접지 단선 모니터링 시스템 구성

제안한 ESD 방지용 접지 단선 모니터링 시스템의 구성은 다음의 [Fig.4]와 같이 하드웨어 부분과 소프트웨어 부분으로 나눌 수 있다.



[Fig. 4] ESD 접지 단선 모니터링 시스템 구성도

### 3.1.1 하드웨어

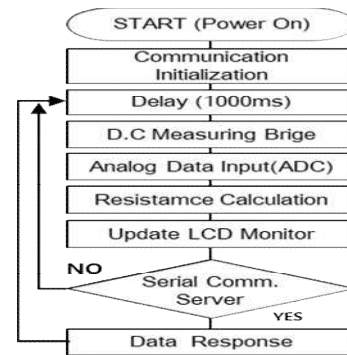
본 논문에서 제안하는 시스템은 측정부와 제어부 및 통신부, 출력부로 구성하였다. ATmega 2560, 휘트스톤 브릿지 기반으로 정전기 접지선의 전기 저항 산출이 가능하게 구현했다. 측정부는 휘트스톤 브릿지를 이용해 접지선 양단에 걸리는 전압을 ADC (Analog-to-Digital Converters)를 통해 전달하고, 제어부는 측정부의 결과와 표준 저항을 이용해 미지 저항체의 전기 저항을 연산한다. 펌웨어는 C 언어 기반으로 구현했다. 출력부는 2.4" TFT LCD를 통해 측정값과 상태를 실시간 모니터링 가능하게 시스템을 구성하였다.

### 3.1.2 소프트웨어

측정 데이터의 모니터링 및 문제 발생에 따른 경고 알림과 데이터 측정을 위한 알고리즘이 사용되었다.

### 3.2 ESD 접지 단선 모니터링 시스템 알고리즘

ESD 접지 단선 모니터링 시스템은 전원이 인가되면 머레이 루프법을 응용한 휘트스톤 브릿지 회로를 이용해 1000ms 의 주기로 단선 및 탈조를 검출하는데, 다음 [Fig. 5]는 시스템 의 동작 알고리즘이다.



[Fig. 5] System Operator Flow

### 3.2.1 통신 초기화

통신 모듈을 초기화하는 과정으로 ADC는 I2C 프로토콜이 사용되고, 출력장치인 TFT-LCD 는 SPI 프로토콜이 사용되는데 통신 설정을 입력한 뒤 초기화하는 과정으로 전원인가 후에 한번만 실행된다[14].

### 3.2.2 단선 측정 알고리즘

ESD 접지 단선 모니터링 시스템은 다음 식(2) 에 의거해 브릿지 회로 A,B 두 지점의 전압을 측정한다[15].

측정된 전압으로 산출된 저항이 무한대( $\infty$ )에 가까우면 접지선의 단선, 0에 가깝다면 정상으로 판단하게 알고리즘을 구현하였다. 다음의 식(2)는 머레이 루프법과 불평형 브릿지 회로를 응용해 만들어진 미지 저항 산출 계산식이다.

$$R_x = R_{ref} \frac{V_1 \frac{V_{mx}}{S}}{(2V_1 \frac{V_{mx}}{S}) - (V_2 \frac{V_{mx}}{S})} \quad (2)$$

수식에서 ( $R_{ref}$ ) 미지 저항 산출에 필요한 표준 저항을 의미하고, ( $V_1$ )과 ( $V_2$ )는 브릿지 회로의 A,B 단에 걸리는 전압이며, ( $V_{mx}$ )는 회로에 입력되는 최대 전압을, ( $S$ )는 ADC의 최대 분해능을 의미한다. 이때 ADC의 최대 해상도가 높을수록 입력 신호의 분해능이 정밀해지는데, 제안 시스템에서는  $10^{12}$ 으로  $5V/(10^{12}) = 0.00122V$ 의 1LSB를 가진다.

다음의 [Fig. 6]은 시스템의 측정 데이터 연산을 위한 소스 코드로 식(2)를 기초해 C언어로 구현되었고, ATmega 2560에서 실행된다.

브릿지 회로의 A,B 양단 입력 전압이 같은 경우 측정 전기 저항은 식(2)의  $R_{ref}$ 와 같고, A,B 양단의 입력 전압이 다른 경우 식(2)에 의거해 측정 데이터를 산출한다.

```
int analog1=adc.readADC(pin_adc_analog0);
int analog2=adc.readADC(pin_adc_analog1());
voltage1 = analog1 * (max_volt / max_resol);
voltage2 = analog2 * (max_volt / max_resol);
double ohm = 0.0;
if(voltage1 == voltage2){
    ohm = max_reference_ohm;
}
else{
    voltage2 = voltage * 2;
    ohm= max_ref_ohm * voltage1 /
        (voltage2- voltage1);
}
return ohm;
```

[Fig. 6] Resistance measurement code

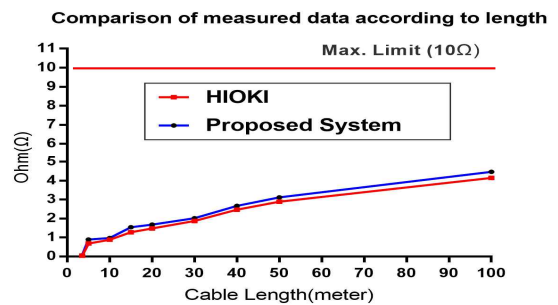
### 3.2.3 측정 데이터 출력 및 모니터링

측정된 데이터는 내부 메모리에 저장되었다가, 데이터 요청이 있는 경우 RS232 통신으로 데이터를 전송하고, TFT-LCD 모듈을 통해 현재 상태를 출력한다. LCD 모듈은 접지선의 연결이 양호한 경우 녹색 배경색으로 출력하고, 단선으로 판단된 경우 LCD 모듈의 배경색을 적색으로 표현한 후 부저를 통해 현장 작업자가 인지하도록 해 후속의 조치를 취할 수 있도록 한다.

## 4. ESD 접지 단선 모니터링 시스템 검증 및 평가

### 4.1 ESD 접지 단선 모니터링 시스템 검증

ESD 접지 단선 모니터링 시스템을 검증하기 위해 다음의 조건으로 실험을 하였다. 10Meter의 컨베이어 시스템에 50Cm 간격으로 샤프트 배치하여, 끝단에는 접지용으로 많이 사용되는 구리 재질의 케이블을 연결하였다. 측정 비교에 HIOKI사의 산업용 측정 장비를 적용했다. 아래 [Fig. 7]는 접지선의 길이를 11 구간으로 설정한 뒤 HIOKI사의 측정기와 구현 시스템을 통해 얻은 값을 비교 분석한 데이터와 그래프로 단선의 기준인  $100\Omega$ 보다 낮은 값이 측정되면 정상, 높은 값이 측정되면 단선 및 장애로 판단하였다.



	1m	2m	3.5m	5m	10m	15m	20m	30m	40m	50m	100m	mean Distance
HIOKI	0.01	0.01	0.04	0.68	0.88	1.28	1.48	1.87	2.47	2.89	4.15	Ω
Proposed System	0.01	0.02	0.06	0.89	0.98	1.54	1.68	2.02	2.67	3.12	4.47	

[Fig. 7] Comparison of measured data

본 논문에서 제안한 시스템의 결과는 1초 간격으로 60초간 측정된 데이터의 평균을 이용했다. 그 결과 1~5Meter 이내에서는 두 측정기의 오차율은 0.2% 이내로 검증되었고, 가장 긴 100Meter의 오차율은 1.2%로 측정되었다. 일반적인 산업용 계측기의 측정 오차율인 5%보다 신뢰할 수 있는 결과로 본 논문에서 제안하는 ESD 접지 단선 모니터링 시스템을 산업용 정밀 측정용으로 문제가 없음을 확인했다[15].

### 4.2 정상 접지선 측정 신뢰성 검증

다음의 그림 [Fig. 8]은 신뢰성 검증 단계로 약 20M 길이의 구리 재질 정전기 접지선을 컨베이어 샤프트 끝단에 연결하여 측정기의 동작 상태를 검증한다.



[Fig. 8] Module output in Normal state

샤프트와 접지선의 연결 상태가 정상일 때 측정 데이터로 [Fig. 8]를 통해 검증된 데이터와 근접한  $1.8\Omega$ 으로 측정 되었다. LCD의 배경은 하늘색, 전체 상태는 PASS로 정상 운용 중임을 실시간으로 확인할 수 있다.

#### 4.3 단선 접지선 측정 신뢰성 검증

다음의 그림 [Fig. 9]은 컨베이어 샤프트 끝단에 설치된 접지선의 일부를 단락시켜 동작 상태를 검증하였다.



[Fig. 9] Module output in Disconnect state

측정값이 단선 기준 값인  $100\Omega$ 을 벗어난 경우 접지선의 단선을 의미하는 “discon”로 출력 값을 변경하고 경고음을 발생시킨다. LCD 배경은 적색, 전체 상태는 ‘ERROR’로 문제가 발생한 상태임을 확인할 수 있다.

## 5. 결론 및 향후 연구방향

디스플레이와 같은 초고밀도직접회로 제조 공정에서는 정전기로 인해 많은 피해 사례가 보고되고 있다. 이런 피해를 줄이기 위해서는 정전기 및 예방 장치에 대한 모니터링이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 ESD 접지선의 단선 측정이 가능한 시스템을 구현해 실제 운용 중인 컨베이어 시스템에 적용했다. 시스템의 신뢰성을 검증해 본 결과 접지선이 정상일 때  $5\Omega$  이하의 데이터가 측정되었고, 단선일 때는 기준 저항인  $100\Omega$  보다 큰 값이 측정되어 접지선이

끊어졌음을 확인했다. 본 논문에서 제안한 시스템을 컨베이어 시스템에 적용한다면, 정전기로 발생하는 피해를 방지할 수 있다.

향후 컨베이어 제어기와 연동해 이상이 발생된 경우 컨베이어 구동을 정지해 사람의 개입 없이 Fault Detect 이 가능한 시스템으로 구현할 예정이다.

## REFERENCES

- [1] C. H. Lee, H. K. Jung, “A study on the Next Generation User Attitude of Plexible Display Device Market”, Research Bulletin of Package Culture Design, No. 46, pp. 139-146, 2016.
- [2] S. H. Song, “The Standard Execution & Economic Evolution for Electrostatic Discharge and the States of the Industry” Journal of Standards and Standardization , pp.20-32, 2011.
- [3] H. J. Jeon, C. W. PARK, I. T. LIM, “Flow Analysis around the Roller Conveyor in a Clean Room”, Proceedings of the Society of Air-conditioning and refrigerating engineers of Korea, pp. 1507-1512, 2009.
- [4] K. S. Choi, S. W. Choi, “Fire and explosion prevention by electrostatic discharge”, The Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 29, No. 2, pp. 3-5, 2015.
- [5] S. M. Hwang, Y. B. Jung, C. H. Kim, K. H. Lee, “Failure Analysis and Solution of ESD for Amplifier Used in Telecommunication”, Journal of Applied Reliability, Vol. 11, No. 3, pp. 251-265, 2011.
- [6] D. H. Lee, “Flow Analysis around the Roller Conveyor in a Clean Room”, Proceedings of the KACA Conference , Vol. 24, No. 4, pp. 11-23, 2011.
- [7] K. S. Park, D. W. Choi, H. Y. Kang, J. H. Lee, J. I. Park, “Development of a High Energy Ignition System Using Corona Discharge”, Transactions of KSAE, Vol. 23, No. 6, pp.650-655, 2015.
- [8] C. H. Yi, S. H. Jun, “Development of The System of Clearing Static Electricity with A Fan in the

VLSI Device”, The Institute of Electronics Engineers of Korea - IE , Vol. 46, No. 3, pp. 26-32, 2009.

[9] [http://kepco.pe.kr/technote/read.cgi?board=an03&y\\_number=49&nnew=1](http://kepco.pe.kr/technote/read.cgi?board=an03&y_number=49&nnew=1)

[10] S. M. Lee, P. D. Cho, “Study on the Utilization of Common Grounding for Communications Facilities”, Electronics and telecommunications trends, Vol. 19, No. 4, pp. 119-126, 2004.

[11] K. W. Lee, “An electric fan with voice recognition using ATmega2560”, journal of the institute of industrial technology and development Kwangdong university, Vol., No. 29, pp. 120-125, 2012.

[12] J. W. Park, B. M. YANG, K. H. MOON, “Analysis of Accuracy of Fault Location using Murray Loop”, Proceedings of the KIEE Conference, pp. 533-534, 2011.

[13] Y. J. Kim, C. J. Yang, H. S. Kim, “Floating Memristor Emulator Circuit”, Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers , Vol.52, No. 8, pp. 49-58, 2015.

[14] Y. S. Song, S. M. Park, Y. M. Kim, “A new firmware protocol for SPI targeted to low cost embedded applications”, Journal of Korea Multimedia society, pp.260-262, 2009

[15] E. S. Song, Y. H. Kim, J. K. Jung, “Evaluation for Standard Current Transformers and Current Transformers under Test Using Precise Standard Resistors”, Proceedings of the KIEE Conference, pp. 2083-2084, 2009.

저자소개

정 정 모(Jung-Mo Seong)

[정회원]



- 2016년 2월 : 공주대학교 소프트웨어응용공학과(공학사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 컴퓨터공학과 (석사과정)

<관심분야> : 사물인터넷, 영상처리, 분산처리, 소프트웨어엔지니어링

정 영 석(Young suk Chung)

[정회원]



- 2013년 2월 : 공주대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 시간강사

<관심분야> : 사물인터넷, 영상처리, 분산처리, 클라우드 컴퓨팅, 시뮬레이션

박 구 락(Koo Rack Park)

[정회원]



- 1986년 : 중앙대학교 전기공학과(공학사)
- 2002년 : 숭실대학교 전자계산학과 공학석사(공학석사)
- 2000년 : 경기대학교 전자계산학과(이학박사)

• 1992 ~ 현재 : 공주대학교 컴퓨터공학부 교수

<관심분야> : 사물인터넷, 분산처리, 소프트웨어엔지니어링, 정보경영, 정보통신, 전자상거래