

https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.1.203

IIBC 2019-1-27

ICT 융합 환경에서의 안전 특성화 접지 설계를 위한 스마트 대지 저항 측정 기술에 관한 연구

A Study on Smart Soil Resistance Measuring Device for Safety Characterized Ground Design in Converged Information Technology

김홍용*, 신승중**

Hong-Yong Kim*, Seung-Jung Shin**

요약 본 연구에서는 WENNER 4전극법 기반에 GMD(신규 대지 고유 저항 측정 장치)와 측정용 Probe(접지동봉)가 PLC(전력선 통신)로 연결된다. 측정용 Probe는 2개(P1,P2)가 1조로 모두 5조 10개의 Probe가 직렬로 각각 1m, 2m, 4m, 8m, 16m 간격으로 대지(토양)에 설치되어 있다. GMD에서 보낸 PLC 신호를 측정용 Probe 1조(P1)의 수신기가 감지하면 Probe에 부착된 PSD(전력 공급 장치)에서 측정용 미세 전압과 전류가 대지로 흐르게 되고 P1과 P2 사이의 토양을 거쳐 Probe 1조(P2)에 유입 된다. 이때 대지 저항으로 인해 전압 강하가 발생하는 원리로 저항값을 측정하게 된다. 이렇게 1~5조까지 T초 간격으로 대지 저항을 측정하고 측정된 데이터는 메인 장비에 탑재된 Arduino Server에 저장 한다. 저장된 측정 데이터는 옴의 법칙(Ohm's Law)에 의한 수식 $R = E/I$ 와 고유저항 $\rho = 6.28aR$ (여기서, R : 측정 저항, E : 측정 전압, I : 측정 전류, a : Probe 간격, ρ : 고유저항)를 통해 고유저항을 얻을 수 있다. 실시간으로 얻어진 데이터를 Main PC에 설치된 CDGES 프로그램과 연동되어 데이터 분석이 가능하게 되고 대지(토양)의 접지 환경을 실시간 모니터링 할 수 있게 된다. 또한, 대지(토양)의 온도, 습도 등 계절의 특성을 파악하여 3D 그래프 지원으로 입체적인 Display가 가능하다. 연구의 한계점은 실험적으로 개발 운용한 모델로 상업적인 접근을 위해 Test Bed의 구체적인 적용 방안이 필요할 것이다.

Abstract In this work, a new land-specific resistance measuring device (GM) and a measuring probe (Grounding Rod) are connected to the WENNER quadrant as power-line communication (PLC). In groups of two (P1,P2) probes, five to ten probes are installed in series on the ground at intervals of 1m, 2m, 4m, 8m, and 16m, respectively. If the PLC signal from the GMD is detected by the receiver of the Probe 1 (P1) for measurement, the minute voltage and current for measurement flow from the PSD (power supply) attached to the probe to the ground, and then, through the soil between P1 and P2, enters the Probe 1 (P2). The resistance value is then measured by the principle of voltage drop due to ground resistance. Measure the earth resistance every T seconds up to 1 trillion and store the measured data on the Arduino Server mounted on the main equipment. Stored measurement data can be derived from formulas by Ohm's Law and from inherent resistance (here,). Data obtained in real time will be linked to CDGES programs installed on Main PC, enabling data analysis and real-time monitoring of the ground environment on land. In addition, a three-dimensional display is possible with 3D graph support by identifying seasonal characteristics such as temperature and humidity of land (soils). The limitations of the study will require specific application measures of Test Bed for commercial access to a model that has been developed and operated experimentally.

Key Words : PLC communication-based wireless ground, wireless grounding device, smart grounding rod

*정회원, 한세대학교 IT융합학과

**정회원, 한세대학교 ICT다바이스학과

접수일자 2018년 10월 10일, 수정완료 2019년 1월 13일

게재확정일자 2019년 2월 8일

Received: 10 October, 2018 / Revised: 13 January, 2019 /

Accepted: 8 February, 2019

**Corresponding Author: expersin@hansei.ac.kr

Dept. of IT, Hansei University, Korea

I. 서 론

일반적으로 플랜트 시설의 전력 계통 설비는 지능화된 고가의 스마트 그리드 설비이다. 이러한 고가의 장비를 낙뢰 등으로 발생하는 이상 전압과 서지로 부터 안전하게 보호하기 위해 설비 부하에 최적화된 접지 시스템이 요구되고 있다. 플랜트 전기 시설물의 신규 건설 시 접지 시스템의 기초 데이터 정보를 얻기 위해 건설 부지 반경 200m 범위 내에서 대지의 고유 저항을 방사형으로 5개소 이상 측정하게 된다. 대지 고유 저항의 측정 방법은 일반적으로 WENNER 4전극법을 활용한다. 이러한 측정 방법을 기반으로 제작된 측정 장치는 휴대가 편리한 반면에 측정용 Probe(4개)와 HIV전선(4가닥)을 측정시 마다 설치와 철거를 반복해야 한다. 만약 측정이 잘못될 경우(Fail&fault) 기 설치했던 순서대로 재 측정을 해야 하는 어려움이 있다. 현행은 이런 과정으로 측정된 일회성의 데이터를 분석하여 접지설계의 기초 자료로 활용되고 있다. 하지만 일시적으로 측정된 자료로 중요한 부하 설비의 접지 최적화를 논하기는 무리가 있다. 토양 속 접지 환경은 계절에 따라 온도, 습도가 변화하기 때문이다. 지속적으로 변화하는 환경을 실시간으로 분석하여 최적화된 접지시스템을 구성 방안을 제안하고자 한다.

II. 대지 저항 측정 및 분석 필요성

1. 대지 고유 저항의 정의

대지가 가지고 있는 고유한 전기적인 저항 성분 즉, 대지 고유 저항(Soil Resistivity) 이라고 한다. 전기적인 용어로는 $1m^3$ 의 3차원 입방체가 가지고 있는 저항값을 저항율로 표기한다. 표시 단위는 $[\Omega \cdot m]$ 이다.

2. 대지 고유 저항의 측정 원리

- 1) 신규 건설되는 전력설비 대지면에 측정용 Probe(접지동봉)를 Table 1.과 같이 대지에 박는다.
- 2) 측정 장치의 회로 구성은 Fig 1.과 같이 외부측 Probe(C_1, C_2)는 전류회로, 내부측 Probe(P_1, P_2)는 전압회로가 된다.
- 3) 대지 고유 저항 측정 장치에서 전류 측정용 C_1 Probe와 전압 측정용 P_1 Probe를 통해 Table 1.의 간격의 대지를 거쳐 C_2 Probe와 P_2 Probe로 유입되어 얻어지는 전류와 전압의 측정값을

표 1. 측정 실험 간격

Table 1. Test Measurement interval

NO	Probe Spacing(m)	Measured Soil Depth(m)
1	1	1
2	2	2
3	4	4
4	8	8
5	16	16

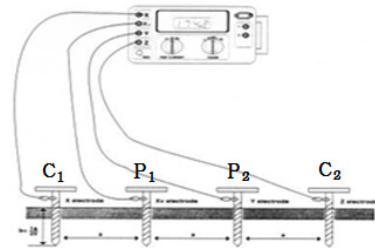


그림 1. 대지 고유 저항 측정 회로 구성도

Fig. 1. Ground Resistance connection diagram

음의 법칙(Ohm's Law)에 의한 수식

$$R = E/I \quad (1)$$

로 계산하며 여기서 대지저항 R 를 구할 수 있다.

대지저항 R 로 대지 고유 저항 ρ 를 구하는 수식을

$$\rho = \frac{2\pi a^2 R}{l} \quad (2)$$

로 나타낼 수 있으며 (식2)를 정리하면,

$$\rho = 2\pi a R = 6.28 a R \quad (3)$$

(단, a : probe 간격, R : 대지저항)

으로도 정리하여 나타낼 수 있다.

3. 대지 저항 측정 및 분석 필요성

대지(토양)의 층과 매질의 종류, 특성 등을 파악하기 위해서는 접지 지점을 대지 고유 저항 측정기로 측정 후 대지 고유 저항 특성 분석을 통한 토양의 층 수, 각 토양층의 두께와 고유의 저항 성분을 구한 후 접지 전극의 시공 깊이까지 등가 대지 고유 저항을 결정해야 한다. 일반

적으로 전기, 통신 분야에서 가장 많이 사용하고 있는 1차원 대지 저항 측정 방법으로 WENNER 4전극법을 사용한다. 전극 간격을 조정하면서 측정 시 측정자의 실수로 전극위치 오차와 측정에 충분한 전극의 접지값을 내지 못하여 오류가 발생한다.

III. ICT 기술 연구 배경

1. Arduino

Arduino는 오픈 소스로 마이크로 컨트롤러를 내장한 기기 제어용 만능기판이다. 일반적인 메인 보드의 단순한 버전으로 이 기판에 센서나 부품 등의 다양한 장치를 연결할 수 있다. 컴퓨터와 연결하여 소프트웨어를 로드시키면 동작하는 단순한 제어용 전자 장치에서 로봇과 같은 복잡한 것을 만들 수 있는 '오픈 소스의 하드웨어'이다. 자율 소프트웨어적인 운동에서 출발해 오픈 소스라는 개념을 하드웨어적인 부문까지 확장시킨 것이다.

2. Power line communication

전기 콘센트 즉, 전력선만으로 초고속 인터넷과 전화 접속이 가능해 음성·문자데이터·영상 등을 전송할 수 있는 기술을 말한다. PLC라고도 한다. 초고속 인터넷 통신, 인터넷 전화, 홈네트워킹·홈뱅킹 등 다양한 분야에까지 활용할 수 있는 기술로, 기존 광통신케이블을 이용할 수 있어 설치비용이 저렴할 뿐 아니라, 통신 요금도 거의 들지 않는다는 장점을 가지고 있다.

또한, 이 기술이 상용화되면, 인터넷을 이용해 집안의 전깃불을 켜고 끌 수 있으며, 냉난방도 원격 조정할 수 있다. 더욱이 비용부담이 큰 근거리 통신망(LAN)을 따로 설치할 필요가 없고, 농어촌이나 도서 벽지의 정보 격차 해소에도 많은 도움이 될 수 있는 등 이용 범위가 넓기 때문에 세계적으로 개발 경쟁이 치열하다.

IV. 연구 모델

1. 측정 전극 이동 없이 실시간 연속 자동 측정

1) WENNER 4전극법 기반에 대지 고유 저항 측정 장비와 테스트용 Probe(접지동봉)가 10 가닥의 전선(HIV)으로 유선 연결된 방식을 전력선 통신(PLC)을 이용하여 무선 통신 한다. Probe는 한번 설치하

여 이동 없이 지속적으로 사용한다.

2) 장비 구성은 GMD(Ground main device, 대지 저항 측정 장치 메인 장비, Arduino Server, PLC 송신기 탑재), Smart Probe(전력 공급 장치, PLC 수신기 탑재 접지동봉) 10개, GMD용 PC(대지 저항 분석 프로그램 CDEGS 설치, 메인 서버)로 되어 있다. GMD System 전체 구성도는 Fig 2.와 같다. 현행 대지 저항 측정 장치와 GMD의 사양을 비교하면 Table 2와 같다.

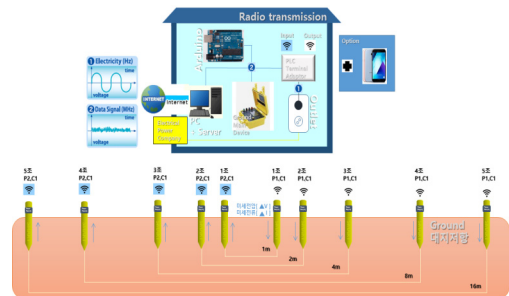


그림 2. GMS System 전체 구성도
 Fig. 2. The overall system configuration

2. 설계 진행 절차

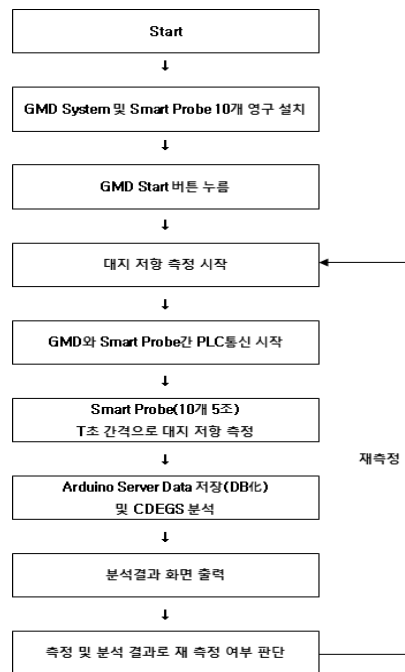


그림 3. GMS System 측정 절차
 Fig. 3. GMS System Flow chart

표 2. 기존 CDEGS 접지 설계 규격

Table 2, Basics CDES Ground Design Specification

DATE OF RUN (Start)	= DAY 18 / Month 7 / Year 2018	☞ 설계 일 월 년		
STARTING TIME	= 17:15:25:43	☞ 설계 시간		
===== < G R O U N D I N G (SYSTEM INFORMATION SUMMARY) > =====				
Run ID	: 당진수상(접지)	☞ 설계 1.0		
System of Units: Metric	: Metric	☞ 시스템의 단위		
Earth Potential Calculations	: Single Electrode Case	☞ 전체접지시스템의 대지전위 계산		
Type of Electrodes Considered	: Main Electrode ONLY	☞ 주 접지전극(하나의 접지 시스템)		
Soil Type Selected: Multi-Layer Horizontal	: Multi-Layer Horizontal	☞ 지질구조는 수평2지층으로 설계반영		
SPLITS/FCDIST Scaling Factor	: 1.0000	☞ 시스템의 기준 계수		
INSTRUMENT SPECIFICATION				
INSTRUMENT ID	GMD	☞ 대지 저항측정기 사양		
INPUT VOLTAGE	: 22 voltage	☞ 대지 저항측정기 명칭		
INPUT CURRENT	: 0.1 amperes	☞ 입력평균전압		
MAX VOLTAGE	: 30 voltage	☞ 입력평균전류		
MAX CURRENT	: 0.19 amperes	☞ 입력최대전압		
MAX OUTPUT	: 4 watt	☞ 입력최대전류		
		☞ 출력최대용량		
MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM				
		☞ 대지 저항률의 다 지층분석		
LAYER No.	TYPE REFLECTION COEFFICIENT	RESISTIVITY (ohm-meter)	THICKNESS (METERS)	
-----	-----	-----	-----	
1	Air 0.00000	0.100000E+11	Infinite	☞ 대기층 저항률
2	Soil -1.00000	31.7699	7.06142	☞ 상지층 저항률 및 두께
3	Soil -0.247412	19.1674	Infinite	☞ 하지층 저항률
CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE				
=====				
Original Electrical Current Flowing In Electrode	: 1000.0 amperes	☞ 1선 지락고장전류		
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)	: 1.0000	☞ 전류의 기준 계수(분류율)		
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode	: 1000.0 amperes	☞ 전극에 유입되는 전류		
Number of Conductors in Electrode	: 6	☞ 전극 도체의 수		
Resistance of Electrode System	3.8403 ohms	☞ 계산된 접지저항		
SUBDIVISION				
=====				
Grand Total of Conductors After Subdivision	: 9	☞ 총 도체를 세분화해서 각각의 값(저항)들을 계산해서 합한 값		
Total Current Flowing In Main Electrode	: 1000.0 amperes	☞ 주 접지전극에 유입된 전류의 총량		
Total Buried Length of Main Electrode	: 15.792 meters	☞ 주 접지전극의 총 길이		
EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS				
=====				
Main Electrode Potential Rise (GPR).....:	3840.3 volts	☞ 고장전류 유입 시 대지 전위인 "0" 전위 에서보다 증가되는 volts를 말함		

표 3. 개발제품(GMD) CDEGS 접지 설계 규격
 Table 3.GMD CDES Ground Design Specification

DATE OF RUN (Start)	=	DAY 18 / Month 7 / Year 2018	☞ 설계 일 월 년		
STARTING TIME	=	17:15:25:43	☞ 설계 시간		
===== < G R O U N D I N G (SYSTEM INFORMATION SUMMARY) > =====					
Run ID	:	당진수상(접지)	☞ 설계 1.0		
System of Units: Metric	:	Metric	☞ 시스템의 단위		
Earth Potential Calculations	:	Single Electrode Case	☞ 전체접지시스템의 대지전위 계산		
Type of Electrodes Considered	:	Main Electrode ONLY	☞ 주 접지전극(하나의 접지 시스템)		
Soil Type Selected: Multi-Layer Horizontal	:	Multi-Layer Horizontal	☞ 지질구조는 수평2지층으로 설계반영		
SPLITS/FCDIST Scaling Factor	:	1.0000	☞ 시스템의 기준 계수		
INSTRUMENT SPECIFICATION			☞ 대지 저항측정기 사양		
INSTRUMENT ID		GMD	☞ 대지 저항측정기 명칭		
INPUT VOLTAGE	:	79 voltage	☞ 입력평균전압		
INPUT CURRENT	:	0.3 amperes	☞ 입력평균전류		
MAX VOLTAGE	:	100 voltage	☞ 입력최대전압		
MAX CURRENT	:	0.5 amperes	☞ 입력최대전류		
MAX OUTPUT	:	50 watt	☞ 출력최대용량		
MULTI-LAYER EARTH CHARACTERISTICS USED BY PROGRAM			☞ 대지 저항률의 다 지층분석		
LAYER No.	TYPE	REFLECTION COEFFICIENT	RESISTIVITY (ohm-meter)	THICKNESS (METERS)	
1	Air	0.00000	0.100000E+11	Infinite	☞ 대기층 저항률
2	Soil	-1.00000	31.7699	7.06142	☞ 상지층 저항률 및 두께
3	Soil	-0.247412	19.1674	Infinite	☞ 하지층 저항률
CONFIGURATION OF MAIN ELECTRODE					
=====					
Original Electrical Current Flowing In Electrode	:	1000.0 amperes	☞ 1선 지락고장전류		
Current Scaling Factor (SPLITS/FCDIST/specified)	:	1.0000	☞ 전류의 기준 계수(분류율)		
Adjusted Electrical Current Flowing In Electrode	:	1000.0 amperes	☞ 전극에 유입되는 전류		
Number of Conductors in Electrode	:	6	☞ 전극 도체의 수		
Resistance of Electrode System		1.50000 ohms	☞ 계산된 접지저항		
SUBDIVISION					
=====					
Grand Total of Conductors After Subdivision	:	9	☞ 총 도체를 세분화해서 각각의 값(저항)들을 계산해서 합한 값		
Total Current Flowing In Main Electrode	:	1000.0 amperes	☞ 주 접지전극에 유입된 전류의 총량		
Total Buried Length of Main Electrode	:	12.1 meters	☞ 주 접지전극의 총 길이		
EARTH POTENTIAL COMPUTATIONS					
=====					
Main Electrode Potential Rise (GPR).....:	2441.0 volts		☞ 고장전류 유입 시 대지 전위인 "0" 전위 에서보다 증가되는 volts를 말함		

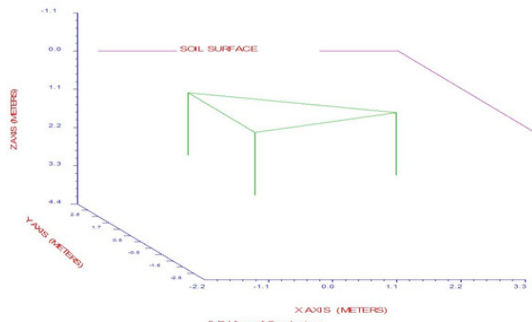
3. 송신 출력 증대로 계측 신뢰도 향상

신규 개발한 장치(GMD)의 실증시험을 위해 당진항 주변 지역의 태양광 발전 단지 구축 공사장 소내 대지의 저항을 측정하였다. 동일한 장소에서 두 종류의 장비를 활용하여 측정한 결과는 Table2,3와 같이 나타났으며, 이 두 장치의 사양을 Table4에 비교하였다.

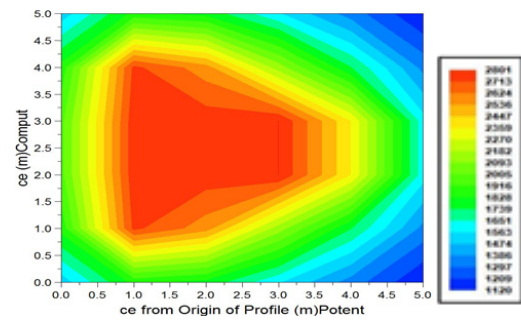
표 4. 대지 고유 저항 사양 비교
Table 4. Specific Resistance spec. Comparison

Source	Basic	GMD
Max.Voltage	20~30[V]	80~100[V]
Max.Current	0.12[A]	0.5[A]
Max.Output	4[W]	50[W]

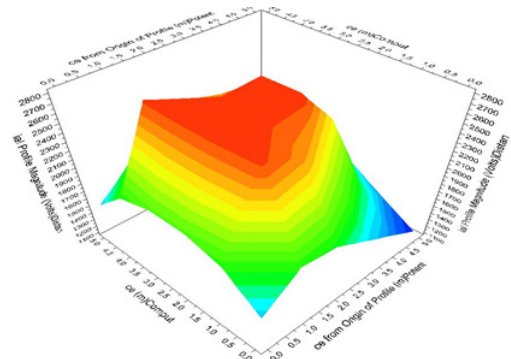
GMD 장치가 Basic 장치보다 입 · 출력값이 향상된 것을 확인할 수 있다. 또한, 접지 설계 물량과 접지저항 값이 낮아진 것을 Table3,4의 결과를 통해 확인할 수 있다.



(a) 설계구조(3D)



(b) 전위경도(SPOT)



(C) 전위분포(3D)

그림 4. GMS System 3D 설계 구조
Fig. 4. Feature Graphs for the GMS System

GMS(Table3)장치의 데이터를 Table5의 규격을 기준으로 설계를 진행 하였다. Fig4 (a)는 설계구조에 대한 3차원 설계 도면을 나타내었고, (b)전위경도, (C)전위분포를 각각 나타내었다. 가상의 이상전류 1,000[A]를 설계된 접지계통에 흘리면 지표면상에 Basic 장치의 경우 3840.3[V], GMS장치는 2441.0[V]를 나타내어 GMS의 설계가 낮은 값이 나타났고, Ground Rod의 길이도 Basic 장치는 약 15.8, GMS장치는 12로 설계되어 Basic 장치 이상의 안정적이고 경제적인 설계가 가능 했다.

표 5. 접지저항 설계 시뮬레이션
Table 5. Specific Resistance spec. Comparison

Division	Basic	GMD
Standard Code	IEEE Std. 80-2000 / KS C IEC 62305	
Surface	Yard	
Ground TYPE	Radial electrolyte Ground Rod Ø 16 × 1800 × 3set	
Ground Drawing	Ground Rod + Bear coper(70sq) + Bonding 15.792 × 3set	Ground Rod + Bear coper(70sq) + Bonding 12.1 × 3set
Position	Under Building	
Input current	1,000[A]	
Rn	10[Ω]	
Rc	3.8303[Ω]	1.5[Ω]
Potential rise	3840.3[V]	2441.0[V]

4. 측정 사용자 편의성 증대

embedded arduino controller를 이용한 GMD 시스템
1) LCD 판넬 터치방식 조작

- 2) 측정 Data 및 분석 결과 그래프 화면 Display
- 3) 측정 및 분석 Data File(spreadsheet type) 출력용 단자(USB port) 탑재.
- 4) GMD와 전용 PC에 Dual Server 장착

V. 결론

본 연구는 ICT 융합의 환경에서 현행의 대지 저항 측정 방식을 개선하고, 고도화 되는 스마트 그리드 시스템과 호환하며 측정값의 정확성과 신뢰성을 확보하기 위한 기술을 제안하였다.

GMD(Ground main device, 대지 저항 측정 장치 메인 장비)와 Smart Probe 사이를 PLC(전력선 통신)를 접목하여 현행의 유선 연결 방식을 개선하였다. 유선연결 방식으로 대지 저항을 실시간 측정할 수 있게 되었고 데이터를 축적하면 계절적인 요인과 온도, 습도, 시간에 따른 접지 환경의 변화추이를 확인할 수 있을 것이다. 현행의 1차원적인 결과에 비해 다각적이고 다양한 결과들을 얻을 수 있어 업무 효율을 증대시킬 수 있을거라 기대된다. 본 장치의 개발로 ICT 환경에서의 대지 고유 저항 측정 기술 국산화에 따른 지적 재산권 확보 및 기술 경쟁력 강화에도 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] Jung-Ihl Kim, Mee-Rhan Kwon, Seung-Jung Shin, The Wheelchair Communication System was Developed in The Convergence of Broadcasting and Communication Environments for People with Disabilities, Vol. 12, No 6, pp. 273-278, Dec 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIWT.2012.12.26.273>
- [2] Dong-Hwan Gong, Seung-Jung Shin, Comparative Analysis between Super Loop and FreeRTOS Methods for Arduino Multitasking, Vol. 18, No. 6, pp.133-137 Dec 2018. DOI: <http://doi.org/10.7236/JIIBC..2017.17.1.253>
- [3] Chang-Yong Lim, Seung-Jung Shin, Demand survey of spectrum information and a study on plan for disclosing spectrum information to the public, Vol. 17, No. 1, pp.253-259 Feb 2017

DOI: <http://doi.org/10.7236/JIIBC..2018.18.6.133>

- [4] Jin-mo Im, Weol-young Kim, Woo-jin Byoun, Seung-jung Shin "Fruit price prediction study using artificial intelligence, May 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.17703/JCCT..2018.4.2>
- [5] Myung-rae Lee, "Development of earth resistivity measurement by depth and autoanalysis device, Vol. 15, No. 7, pp. 412-413, July 2015.
- [6] Hong-Yong Kim, "A Study on the Safety Grounding for Prevention of Electric Shock Hazard in Construction of Industrial Plant in Maritime Landfill Area, Vol. 13, No. 3, pp. 305-312, Sep 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15683/kosdi..2017.09.30.305>
- [7] Hong-Yong Kim, Suk-Ho Yoon, "A Study on the Safety Characterization Grounding Design of the Inner Photovoltaic System, Vol. 14, No. 2, pp. 130-140, Jun 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.15683/kosdi..2018.06.30.130>

저자 소개

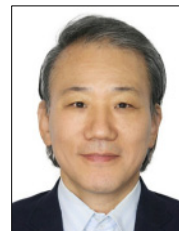
김 홍 용(정회원)



- 2004 홍익대 전자전기공학 학사
- 2016 국립 강원대 공학 석사
- 2018 한세대 IT융합학과 박사과정 재학 중
- 2004-2013 한화건설 플랜트 전기시공
- 2013-2017 SK건설 플랜트 전기시공
- 2015 전기안전기술사 취득

• 주관심 분야 : IT convergence, Ground System, electrical safety engineering

신 승 중(정회원)



- 1988 세종대 경영학 석사
- 1994 건국대 공학 석사
- 2000 국민대 정보 관리학 박사
- 1995-2003 중부대 정보보호관리학과 교수
- 2003-현재 한세대 ICT디바이스학과 교수

• 주관심 분야 : IT convergence, information, security information warfare