

일반용전기설비의 원격점검 경보기준 개발

정인철¹, 어익수^{2*}

¹한국전기안전공사, ²호남대학교 전기공학과

Development of the Alarm Standards for Remote Inspection on Normal Electric Facilities

In-Chul Jung¹, Ik-Soo Eo^{2*}

¹Korea Electrical Safety Corporation

²Dept. of Electrical Engineering, Honam University

요약 현재 일반용전기설비에 대하여 방문점검 방식에서 원격점검 방식으로 전환하고자 많은 노력을 기울이고 있다. 일반용전기설비에 원격점검이 적용될 경우 전기설비 기술기준과 한국전기설비규정(KEC)에서 규정된 적합 기준과는 별도로 경제적이면서 실효적인 경보기준을 개발할 필요가 있다. 본 논문에서는 과전류와 누설전류(Io) 또는 저항성분의 누설전류(Igr)의 발생크기, 지속시간 및 발생빈도까지 3가지 조건을 복합적으로 적용한 경보기준을 개발하였다. 다양한 조건을 고려하여 과전류는 과전류차단기의 정격전류 125% 이상이며 30분 이상 지속되어 최근 5일 이내 10회 이상 발생 시로 선정하였고, Io는 단상 2선식 전기설비의 경우 20 mA 또는 Igr 10 mA를 초과하면서 15분 이상 지속되어 24시간 이내 5회 이상 발생 시로 선정하였으며 3상 4선식 전기설비의 경우 Io 50 mA를 초과하면서 15분 이상 지속되어 24시간 이내 5회 이상 발생 시로 선정하였다. 본 논문에서 개발한 경보기준은 현실적인 요소들을 고려하여 개발되었으며, 향후 원격점검을 위한 초석이 될 것으로 판단된다.

Abstract Currently, many efforts are being made to switch from a door-to-door inspection method to a remote inspection method for general electrical facilities. When remote inspection is applied to general electrical facilities, it is necessary to develop economical and effective alarm standards separately from technical standards for electrical facilities and the conformity standards stipulated in the Korea Electrical Equipment Regulations (KEC). In this study, we developed an alarm standard that combines three conditions: the size, duration, and frequency of occurrence of overcurrent and leakage current (Io) or leakage current of resistance components (Igr). Considering various conditions, overcurrent continued to occur more than 10 times within 5 days with a rated current of 125% for more than 30 minutes. In the case of single-phase two-wire electric facilities, it lasted more than Io 20 mA or Igr 10 mA for more than 15 minutes. In the case of a three-phase four-wire electrical facility, it lasted more than 15 minutes exceeding Io 50 mA, and it was selected as a case of occurrence more than five times within 24 hours. The alarm standards developed in this study are realistic standards and are expected to be a cornerstone for future remote inspections.

Keywords : General Electric Facilities, Remote Inspection, Remote Inspection System, Insulation Resistance, Leakage Current, Leakage Current of Resistance Component, Overcurrent

*Corresponding Author : Ik-Soo Eo(Honam Univ.)

email: iseo@honam.ac.kr

Received September 06, 2023

Accepted October 6, 2023

Revised October 5, 2023

Published October 31, 2023

1. 서론

우리나라는 매년 8,000여건의 전기화재(누전이나 과부하 등)로 막대한 인명·재산 피해가 발생하고 있다. 전체 화재 원인 중 약 21%가 전기화재로 선진국보다 그 비중이 높은 편이다. 전기화재는 전기설비의 노후화와 과다 사용이 그 원인이 될 수 있다.

현재 일반용전기설비의 안전점검을 위해 주기적인 방문점검을 실시하고 있으나, 전기화재를 해결하기 위해서는 주기적·일회성 방문점검 방식의 안전관리 체계로는 한계가 있다. 더욱이 1인 가구 증가와 비대면 문화의 확산 등의 생활환경 변화로 인해 부재로 인한 미점검 비율이 75% 이상 되어, 현재의 안전점검 방식을 개선하지 않고서는 더 이상 일반용전기설비에 대한 안전을 확보할 수 없게 되었다.

이를 해결하기 위하여 「전기안전관리법」이 개정되어 일반용전기설비의 상시적·비대면 원격점검이 가능하게 되었다. 공공설비인 가로등과 신호등을 시작으로 점차 원격점검장치가 확대 설치될 계획이다.

이렇듯 원격으로 전기설비를 점검할 수 있는 법적 기반은 마련되었지만, 실제로 장치의 설치부터 원격관제 및 현장 출동점검 등의 본격적인 원격 안전관리 체계 구현을 위해서는 과부하, 누전 등 안전요소를 정확하게 감지하여 경보하는 기술적 기준이 필요하다.

본 논문에서는 원격점검 시스템의 개요와 현재의 기술 기준에 대해 알아보고 현재 기준을 원격점검에 적용하였을 때의 불확실성은 없는지 사례 연구를 통해 살펴보고 그에 따른 해결방안이 될 경보기준을 개발하여 실제 현장에서 안전을 담보할 수 있는 최소한의 원격점검 경보기준을 개발하였다.

2. 원격점검 개요 및 현재의 경보기준

2.1 원격점검 시스템 개요

Fig. 1의 구성처럼 일반용전기설비의 원격점검 시스템은 전국의 일반용전기설비에 원격점검장치를 설치하여 IoT 네트워크를 활용하여 Fig. 2의 구성도와 같이 전기 안전 관제센터로 점검자료가 전송되면 전기안전 적합 여부를 판정하여 관제시스템에서 모니터링된다.

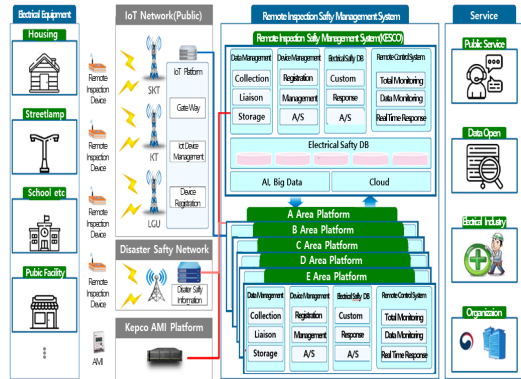


Fig. 1. Remote Inspection System Configuration



Fig. 2. Electrical Safety Control Center

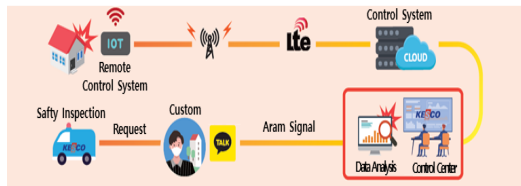


Fig. 3. Remote Inspection Process

Fig. 3은 원격점검 결과 부적합으로 판정되는 점검결과가 발생하게 되면 이를 소유자 또는 점유자에게 경보해주고 안전점검을 받는 절차도를 나타낸 것이다.

2.2 경보기준

원격점검장치는 전압, 전류, 온도를 측정하여 관제센터로 전송하면, 전기설비의 이상 유무를 판정하는 점검 항목은 과전류, 누설전류이다.

전기설비 기술기준에 따른 과전류 트립 동작시간 및 특성은 산업용 배선차단기의 경우 Table 1과 같이 정격

전류의 1.05배에서는 동작하지 않아야 하고 1.3배에서는 동작하여야 하며, 63 A 이하의 차단기는 60분, 63 A를 초과하는 차단기는 120분 이내에 차단되어야 한다. 주택용 배선차단기의 경우 Table 2와 같이 정격전류의 1.13배에서는 동작하지 않아야 하고 1.45배에서는 동작하여야 하며, 63 A 이하의 차단기는 60분, 63 A를 초과하는 차단기는 120분 이내에 차단되어야 한다[1].

Table 1. Operating Time and Characteristics of Overcurrent Trip (Industrial Wiring Breakers)

Classification of rated current	Time	Multiple of Rated Current (Energized to all Poles)	
		An Inoperative Current	Operating Current
63 A or less	60 minutes	1.05X	1.3X
Over 63 A	120 minutes	1.05X	1.3X

Table 2. Operation Time and Characteristics of Overcurrent Trip (Household Wiring Breaker)

Classification of rated current	Time	Multiple of Rated Current (Energized to all Poles)	
		An Inoperative Current	Operating Current
63 A or less	60 minutes	1.13X	1.45X
Over 63 A	120 minutes	1.13X	1.45X

또한, 전기설비 기술기준에 따른 누설전류는 저항성분의 누설전류가 1.0 mA 이하이면 그 전로의 절연성능은 적합한 것으로 규정하고 있다[2].

3. 사례 연구

첫 번째로, 과전류는 전기기계기구의 과부하에 의한 열 발생 등으로 인하여 전기화재로 이어진다.

과전류가 발생하게 되면 과전류차단기가 이를 보호하게 되는데, 과전류차단기는 정격전류의 100%에서 동작하지 않아야 하며, 정격전류의 동작전류에서 60분 또는 120분 이내에 유효 동작해야 하는 동작 특성을 가진다.

또한, 과전류차단기는 보호장치 특성에 따른 동작시간 및 전류 이상에서 동작하여야 하나, 과전류로 인한 전기설비 보호를 위해 정격전류의 1.25배 이상 선정하고, 과부하전류에 의하여 도체가 장시간에 걸쳐 열적 손상에 의한 피해를 방지하기 위하여 가능한 도체의 허용전류 선정은 과부하차단기 정격전류의 1.25배 이상 되도록 선

정하는 것이 바람직하다[3].

두 번째로, 저항 성분의 누설전류는 인체 감전과 전기화재로 이어지는 전기화해를 발생시킨다.

한국전기안전공사 신청점검 56,697건(19개월간)을 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 저항 성분의 누설전류 1.0 mA를 초과한 부적합 사례 1,828건의 절연저항 값을 측정한 결과 0.2 MΩ 이상의 기술기준 적합 사례는 Fig. 4(a)에서 보는 것과 같이 1,759건(96.2%)로 조사되었다. 반대로 저항 성분의 누설전류 1.0 mA 이하 적합 사례 54,869건의 절연저항 값을 측정한 결과 0.2 MΩ 이상의 기술기준 부적합 사례는 Fig. 4(b)에서 보는 것과 같이 1,448(2.6%)로 조사되었다.

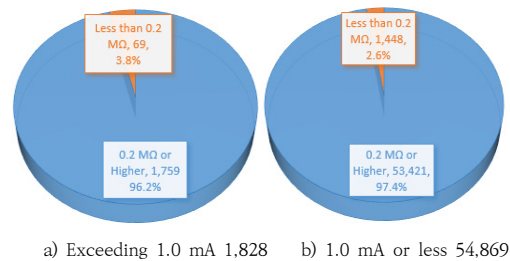


Fig. 4. Korea Electrical Safety Corporation Application Inspection Results

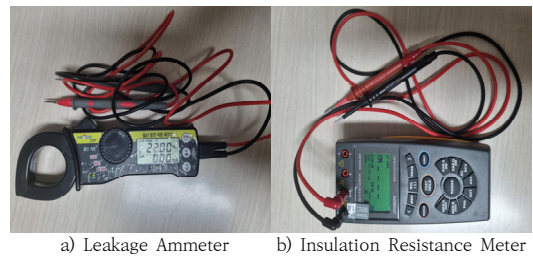


Fig. 5. Measurement Equipment Photo

Fig. 5는 한국전기안전공사에서 사용하는 저항성분의 누설전류 측정장비(좌)와 절연저항 측정장비(우)이다.

절연저항은 정전상태에서 사용 중인 전기기계기구는 측정이 되지 않을 수 있으며, 누설전류는 활성상태에서 사용 중인 전기기계기구까지 측정되어 절연저항과 누설전류는 큰 차이점이 가지고 있어, 전기설비 기술기준의 저항 성분 누설전류 값 부적합 사례가 저압 전로의 절연저항 값 적합 사례로 대부분 측정되었으며, 이는 저항성분의 누설전류 1.0 mA 초과 대상을 부적합으로 판정하기에는 다소 비경제적일 수 있다는 사실을 보여준다. 전기설비 안전관리 체계 전반에 경제적이면서 실효성 있는

기준을 적용하기 위해서는 부적합 기준이 아닌 경보기준이 필요하다.

이를 위하여 한국전기안전공사에서는 문화재, 민속마을, 전통시장 등에 실제 5천여 개의 원격점검장치를 설치하여 실증하였으며, 본 논문에서는 그 결과를 분석하여 현실적인 경보기준을 제시하였다.

4. 분석 및 개선

4.1 경보항목

일반용전기설비 원격점검에 의한 경보기준의 점검항목은 과전류와 저항성분의 누설전류 두 가지 항목으로 정해지고, 각각에 대하여 발생크기 뿐만 아니라 지속된 시간과 발생빈도까지 고려하여 경보기준을 선정하여야 한다.

4.2 경보기준

첫 번째 경보항목인 과전류의 발생크기는 Table 1과 Table 2의 산업용 과전류차단기, 주택용 과전류차단기의 과전류 트립 동작특성(1.05배, 1.3배, 1.13배, 1.45배)과 한국전기설비규정(KEC) 핸드북에서 여유율로 제시하는 값을 고려하여 1.25배 이상으로 선정한다.

발생된 과전류의 지속시간은 과전류차단기 동작시간 중 63 A 이하의 유효동작 최소시간(60분)을 고려하여 절반인 30분 이상으로 선정한다.

또한, 과전류가 발생하는 빈도는 전기설비 증설 또는 전기기계기구 노후화로 과전류 발생이 최근 5일 이내 10회 이상 발생할 경우 경보기준으로 선정한다.

두 번째 경보항목인 저항성분의 누설전류의 발생크기는 Fig. 6. KS C IEC TS 60479-1의 전류밀도와 통전시간에 따른 피부상태 변화관계 그래프에 따르면 10 mA/mm² 이하의 구역에서는 피부상태에 영향이 없고, 20 mA/mm² 이하의 구역에서는 가장자리를 따라 하얀색으로 부풀어 오르는 파도 형태와 함께 붉어지며, 50 mA/mm² 이하의 구역에서는 피부속으로 갈색 확장 수포가 발생하고, 50 mA/mm² 초과 구역에서는 피부가 탄화하는 것으로 나타난 것을 고려하여 누설전류(I_o) 20 mA 이상 또는 저항성분의 누설전류(I_{gr}) 10 mA 이상으로 선정한다.

또한, 일반용전기설비는 대부분 누전차단기(ELB)로 감전보호를 하며, 감도전류 30 mA의 누전차단기는 15 mA의 부동작 전류 특성을 가진다. 20 mA는 이를 고려한 기준값이다.

참고로 누설전류(I_o)는 저항성분의 누설전류(I_{gr})과 정전용량의 누설전류(I_{gc})의 벡터 합으로 구성된다.

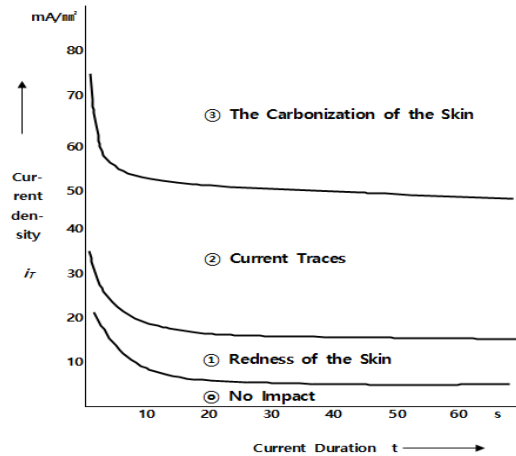


Fig. 6. The Relationship between Current Density and Current Time in Skin Condition[4]

Table 3. Effect of current on skin

Range	Current Density	Skin Condition
Zone 0	Less than 10 mA/mm ²	No Impact
Zone 1	Less than 20 mA/mm ²	Red with White Swelling along the Edge
Zone 2	Less than 50 mA/mm ²	Extending Brown into the Skin, Blisters Development
Zone 3	Exceeding 50 mA/mm ²	Skin Carbonization

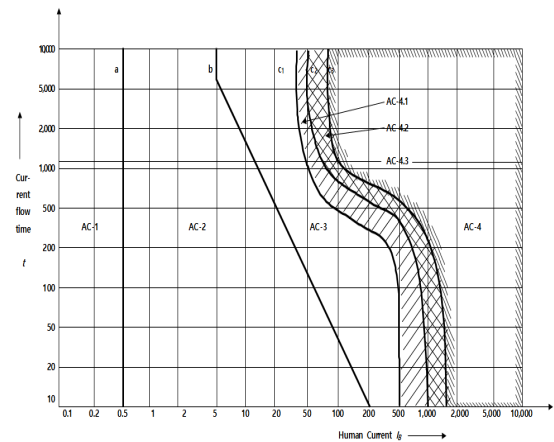


Fig. 7. Effect of Current on Typical Time on the Left-to-Right Current Path[5]

누설전류의 지속시간은 Fig. 7. KS C IEC TS 60479-1 의 시간에 대한 전류의 영향관계 그래프에 따르면 0.5 mA 곡선 a까지의 영역은 인체감지는 가능하나 놀라는 반응은 아니고, 0.5 mA 곡선에서 곡선 b까지의 영역에서는 인체감지 및 비자의적 근육수축이 일어날 수 있으나 일반적으로 유해한 전기 생리학적 영향은 없었으며, 그 이상의 영역에서는 강한 비자의적인 근육의 수축, 호흡곤란 및 심장 기능의 장애 등이 발생할 수 있는 것으로 나타났다.

Table 4. Time/Current Area for 15 to 100 Hz on Hand to Foot Path

Area	Range	Physiological Effects
AC-1	Up to 0.5 mA curve a	Detectable, but not surprised
AC-2	0.5 mA curve to curve b	Sensing and involuntary muscle contraction may occur, but there are generally no harmful electrophysiological effects
AC-3	Between curves b and c1	Strong spleen muscle contraction, shortness of breath, recoverable heart failure, paralysis, etc. may occur. The effect of increasing the magnitude of the current increases. Damage to the trachea is generally not predicted.
AC-4	Curve c1 exceeded	Heart attack, respiratory arrest, and damage to burns or other cells may have the same pathophysiological effects. Increased current size and time increases the likelihood of ventricular fibrillation
	c1~ c2	AC-4.1 The possibility of ventricular fibrillation increases to about 5%
	c2~ c3	AC-4.2 Possibility of ventricular fibrillation up to about 50%
	c3 Exceeded	AC-4.3 Possibility of ventricular fibrillation in excess of 50%

Note) During an energization period of less than 200 ms, ventricular fibrillation begins only in the vulnerable period when the current exceeds the limit. This figure for ventricular fibrillation relates to the current flowing from the left hand to the path of both feet. Cardiac current coefficients should be considered for other current paths.

또한, 한국전기안전공사에서 민속마을, 전통시장 등에 약 5천여 개의 원격점검을 실증한 Table 5의 결과 누설전류 발생 총 80,643건 중에서 20 mA 이상의 누설전류가 발생한 13,311건(16.5%)에서 15분 이상 지속된 사례는 10,544건(79.2%), 15분 미만은 2,767건(20.8%)이었으며, 15분 미만의 사례는 누전이 시간이 지남에 따라 자연 해소된 것으로 보인다[6].

이 같은 결과로 누설전류가 발생하여 15분 이상 지속된 경우를 경보기준으로 선정한다.

Table 5. Leakage Current Duration

Division	Sum		Less than 15 minutes		more than 15 minutes	
	Case	Ratio	Case	Ratio	Case	Ratio
Sum	80,643	100.0	18,101	22.4	62,542	77.6
Less than 20 mA	67,332	83.5	15,334	22.8	51,998	77.2
20 mA or more	13,311	16.5	2,767	20.8	10,544	79.2

누설전류의 발생빈도는 Table 6의 결과 누설전류 20 mA 이상 발생 후 지속시간 15분 이상은 10,544건이며, 이 중 5회 이상은 9,057건으로 85.9%를 점유한다. 반대로 지속시간 15분 미만은 2,767건이며, 이 중 5회 이상 87건(3.1%)으로 4회 이전 통상 24시간 이내 자연 해소되었다.

이 같은 결과로 24시간 이내에 5회 이상 발생하는 경우를 경보기준으로 선정하였다.

Table 6. Current Status of Duration by Frequency of Leakage Current

Division	Sum		Less than 5 times		more than 5 times	
	Case	Ratio	Case	Ratio	Case	Ratio
Sum	13,311	16.5	4,167	31.3	9,144	68.7
Less than 15 minutes	2,767	20.8	2,680	96.9	87	3.1
more than 15 minutes	10,544	79.2	1,487	14.1	9,057	85.9

4.3 경보기준 개발

현실적 요건들을 고려하고 분석하여 과전류와 누설전류의 경보기준을 Table 7과 같이 개발하였다.

과전류는 차단기 정격전류 125% 이상, 지속시간 30분 이상으로 최근 5일 이내 10회 이상 발생 시 경보하고, 누설전류는 단상의 경우 누설전류(Io) 20 mA(저항성분 누설전류(Igr) 10 mA) 초과, 3상의 경우 누설전류(Io) 50 mA 초과, 지속시간 15분 이상으로 24시간 이내 5회 이상 발생 시 경보한다.

또한, 누설전류 데이터가 12개월 이상 누적된 경우 기준치를 표준분산방식으로 산출하여 적용할 수 있고 발생 크기는 5 mA 내외로 조정이 가능하다.

다만, 3상 저항성분의 누설전류(Igr)의 경우 현재의 연구 수준과 기술 수준을 감안하여 제외하였다.

Table 7. Remote Inspection Alarm Standard

Division		Alert Criteria
Overcurrent		Breaker rated current of 125% or higher and duration of 30 minutes or more, if it occurs more than 10 times within the last 5 days
Leak-age Curr-ent	1-phase	Total Leakage Current Exceeds 20 mA (Resistance Component 10 mA) and the Duration is more than 15 Minutes, more than 5 Times within 24 Hours
	3-phase	Total Leakage Current Exceeds 50 mA and the Duration is more than 15 Minutes, more than 5 Times within 24 Hours

Note) If the leakage current data is accumulated for more than 12 months, the reference value may be calculated and applied in a standard dispersion method, but the size may not exceed 25 mA (resistance 15 mA)

Fig. 8은 누설전류 경보기준에 대한 예시를 그래프로 표현하였다.

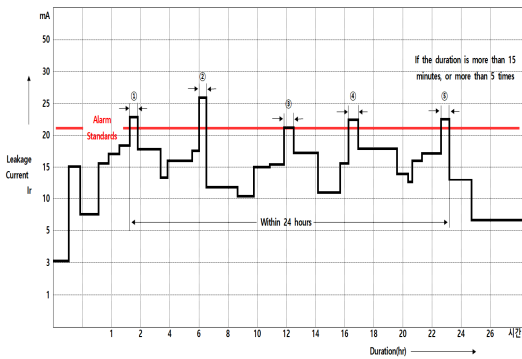


Fig. 8. Leakage Current Alarm Reference Example

5. 결론

본 논문에서는 원격점검 모니터링 결과에 대하여 현장 출동점검을 수행하기 위한 경보기준을 개발하였다.

현재의 경보기준을 현실적으로 개선하기 위한 연구 결과 과전류, 누설전류 또는 저항성분의 누설전류 각각의 발생크기와 지속시간 및 발생빈도의 3가지 조건을 모두 만족하는 경우 경보를 발생시키고 안전점검을 통하여 부적합 요인을 해소한다면 전기화재, 감전사고와 같은 전기재해 예방에 획기적인 기여를 할 것으로 기대된다. 또한, 본 논문에서 개발된 현실적인 경보기준은 향후 원격 점검 제도 시행을 위한 초석이 될 것으로 판단된다.

향후, 본 논문에서 제시한 경보항목(과전류, 단상 누설 전류 및 저항성분의 누설전류)에 더하여 3상 저항성분의

누설전류와 아크(Arc) 등 검출기술의 연구개발을 통하여 추가한다면 위험성 진단은 더 확실해질 것이다.

References

- [1] Korea Electric Association, Korea Electro-technical Code [KEC], p169-170, 2023. 07. https://kec.kea.kr/ebook/2021/book1_1/index.html
- [2] Korea Electric Association, Korea Electro-technical Code [KEC], p16-17, 2023. 07. https://kec.kea.kr/ebook/2021/book1_1/index.html
- [3] Korea Electric Association, Handbook of Korea Electro-technical Code [KEC], p176, 2021. 02. https://kec.kea.kr/ebook/2022/book_3/index.html
- [4] KS C IEC TS 60479-1(Effects of Electric Current on the Human Body and Livestock - Part 1: General Aspects), p29, Fig. 14, 2020. 10. <https://ks.or.kr/library/search/tosearch.do?kwd=ks+c+iec+ts+60479-1>
- [5] KS C IEC TS 60479-1(Effects of Electric Current on the Human Body and Livestock - Part 1: General Aspects), p33, Fig. 20, 2020. 10. <https://ks.or.kr/library/search/tosearch.do?kwd=ks+c+iec+ts+60479-1>
- [6] Tae-Won Kim, Joon-Young Lee, "Establishment of Event judgment Criteria through Empirical Data Analysis of Remote Electrical Safety Inspection Device", A collection of papers for the 2022 Korean Electrical Society Summer Conference, p2102-2104, 2022. 7. 13~16. https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE11146107&nodeId=NODE11146107&medaTypeCode=185005&language=ko_KR&hasTopBanner=true

정 인 철(In-Chul Jung)

[정회원]



- 1998년 2월 : 조선대학교 전기공학과 졸업
- 2021년 2월 : 수원대학교 전기공학과 졸업 (공학석사)
- 2022년 3월 ~ 현재 : 호남대학교 대학원 재학 중

• 2020년 7월 ~ 현재 : 한국전기안전공사 사업운영처 디지털점검부 차장

<관심분야>
전기설비 및 안전점검

어 익 수(Ik-Soo Eo)

[종신회원]



- 1996년 2월 : 한양대학교 대학원
전기공학과 (석사)
- 2008년 2월 : 서울벤처대학원
컴퓨터응용학과 (박사)
- 1998년 2월 ~ 현재 : 호남대학교
전기공학과 교수

〈관심분야〉

전기설비 및 조명분야