

VT 중성점접지 분리에 따른 보호계전기 부동작 사례연구

김국¹, 어익수^{2*}

¹한국전기안전공사, ²호남대학교 전기공학과

Case Study of Non-Operation of Protective Relay due to VT Neutral Grounding Separation

Kuk Kim¹, Ik-soo Eo^{2*}

¹Korea Electrical Safety Corporation

²Dept. of Electrical Engineering, Honam University

요약 계기용 변압기(VT: Voltage Transformer, 이하 VT)는 계통 전압을 정확히 변성하여 계통의 상태를 확인하고, 사고가 발생하였을 때 보호계전기가 동작하도록 하는 중요한 역할을 수행한다. 본 연구에서는 VT 1차측 중성점접지를 분리하거나 연결하였을 때 측정된 전압 및 지락과전압보호계전기(OVGR: Over Voltage Grounded Relay, 계전기 번호 64, 이하 OVGR)의 동작에 대해 특성시험장치와 실제 현장에서 시험을 진행하였다. 시험 결과는 첫 번째, VT 1차측 중성점접지를 하였을 때는 정상·지락 상태 모두 예상 메커니즘에 따라 그 측정값이 측정되고, 보호계전기는 동작하였다. 두 번째, 중성점접지를 분리하였을 때는 지락 상태에서 지락 상의 전압은 0 V가 되지 않고 정상상태에서와 거의 같은 전압이 측정되었고, 영상 전압은 상전압의 3배의 크기가 검출되어야 하나 영상 전압은 거의 검출되지 않았다. 결론적으로 VT 1차측 중성점접지를 분리하였을 때에는 지락 시 계통에 대한 계측이 부정확하여 계통의 상태를 정확하게 인지할 수 없고, 영상 전압의 검출이 어려워 보호계전기가 부동작됨을 알 수 있었다.

Abstract The instrument transformer (VT: Voltage Transformer, less than VT) precisely transforms the system voltage to check the state of a system and plays an essential role in enabling the protective relay to operate when an accident occurs. In this study, the measured voltage and the operation of the overvoltage grounded relay(OVGR, relay number 64, less than OVGR) when the VT primary side neutral point was disconnected or connected were tested with the characteristic test equipment and in the actual field. As for the test result, when the VT primary side neutral point was grounded, the value was measured according to the expected mechanism for both normal and ground fault conditions, and the protective relay operated. Second, when the neutral ground was disconnected, the voltage of the ground fault phase did not become 0 V under the ground fault condition, and a similar voltage as in the normal condition was measured. A zero voltage was hardly detected. In conclusion, when the VT primary side neutral point is disconnected, the system measurement is inaccurate in the event of a ground fault, making it impossible to recognize the system state accurately, and it was found that the protective relay malfunctioned due to the difficulty in detecting the zero voltage.

Keywords : VT, Protective Relay, OVGR, Primary Neutral Point, Ground Fault, Zero Voltage, Electrical Safety

*Corresponding Author : Ik-soo Eo(Honam University)

email: iseo@honam.ac.kr

Received September 26, 2022

Accepted November 4, 2022

Revised November 2, 2022

Published November 30, 2022

1. 서론

전력설비의 보호는 검출하는 변성기, 검출된 정보를 통해 차단장치에 신호를 보내는 보호계전기, 전력을 차단하는 차단기가 기본구성이다. 이 중 변성기는 전력설비 구성에서 그 차지하는 비중이 미약하여 그 중요성을 놓치는 경우가 있는데 만약 변성기의 선정, 설치오류 등으로 인해 고장보호를 못 하게 되면 설비의 고장, 정전, 화재 등 그 피해가 막대해질 수 있다[1]. 본 논문에서는 비접지 계통의 VT 1차측 중성점의 미 접지로 인해 발생한 계통보호의 문제를 실험실에서 현장 조건을 모의한 특성시험장치를 제작하여 시험하고, 실제 현장에서도 사고를 모의한 시험을 통해 검토하여, 그 대책을 수립하고자 하였다.

2. 비접지 계통 VT 메커니즘

2.1 현장 단선결선도

Fig. 1은 변압기 2차 380 V 비접지 계통에서 VT ($380/\sqrt{3} : 190/\sqrt{3}$)를 이용하여 OVGR 계전기를 통한 지락보호 하는 실제 현장의 단선결선도이다.

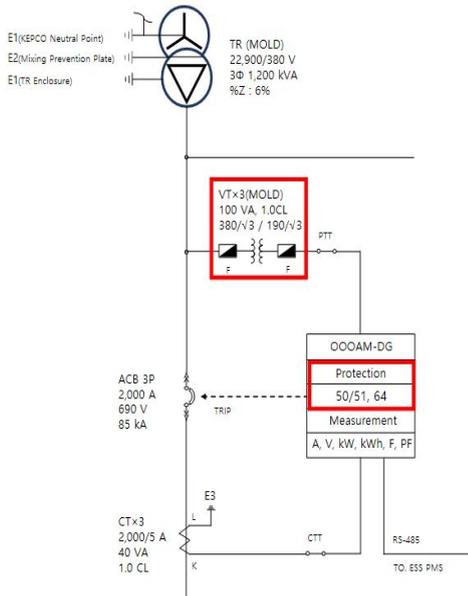


Fig. 1. OVGR Protection using Ungrounded System VT

2.2 정상상태 메커니즘

Fig. 2와 Fig. 3은 변압기 2차 380 V 비접지 계통의 정상상태에서 VT($380/\sqrt{3} : 190/\sqrt{3}$) 1차측 중성점을 접지하였을 때와 비접지 하였을 때의 VT 1차 권선간, 2차 권선간의 전압을 나타내었다.

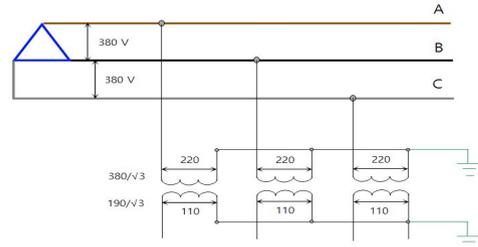


Fig. 2. Grounding of VT Neutral Point in Normal Condition

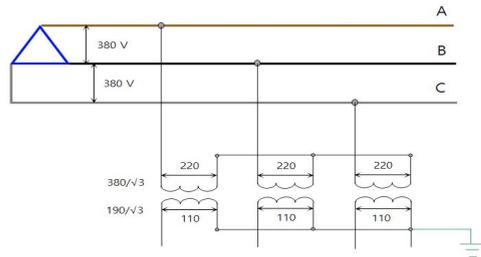


Fig. 3. Non-grounding of VT Neutral Point in Normal Condition

2.3 지락상태 메커니즘

Fig. 4와 Fig. 5는 변압기 2차 380 V 비접지 계통의 A상 완전지락상태에서 VT($380/\sqrt{3} : 190/\sqrt{3}$) 1차측 중성점을 접지하였을 때와 비접지 하였을 때의 VT 1차 권선 간, 2차 권선간의 전압을 나타내었다.

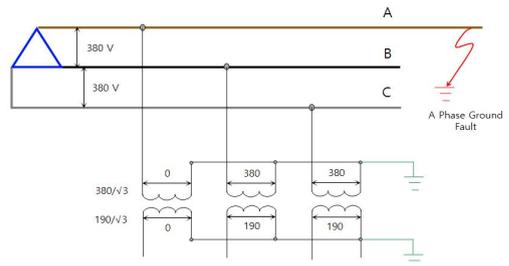


Fig. 4. Grounding of VT Neutral Point in Ground Fault Condition

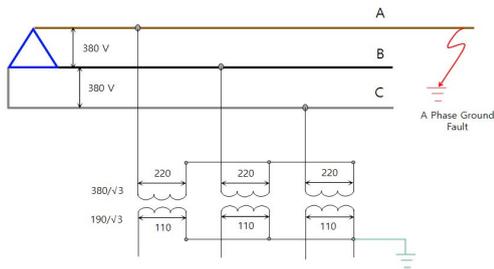


Fig. 5. Non-grounding of VT Neutral Point in Ground Fault Condition

2.4 벡터도

Fig. 6 벡터도에 대해 설명하면 정상상태에서는 VT 1차측 중성점의 접지 여부는 계측에 문제를 일으키지 않는다. Fig. 4와 같이 지락상태에서 VT 1차측 중성점이 접지되어 있으면 영상 전압은 상전압의 3배의 전압이 나타나고, 지락 상의 전압은 0 V가 된다. Fig. 5와 같이 VT 1차측 중성점 접지가 분리되어 있으면 영상 전압 검출이 되지 않고, 지락 상의 전압은 상전압이 나타난다[2].

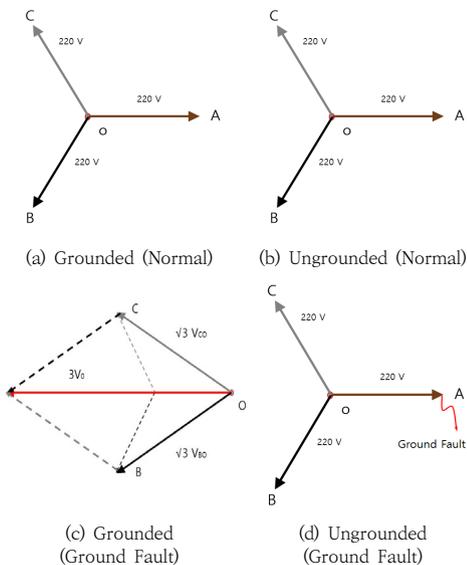


Fig. 6. Ungrounded System VT Primary Vector Diagram

3. 특성시험장치 구현에 의한 시험

3.1 전체시험장치 구성

Fig. 7은 현장을 모의한 특성시험장치(CTE:

Characteristics Testing Equipment, 이하 CTE)의 구성이고, Table 1은 CTE의 구성설비 제원이다.

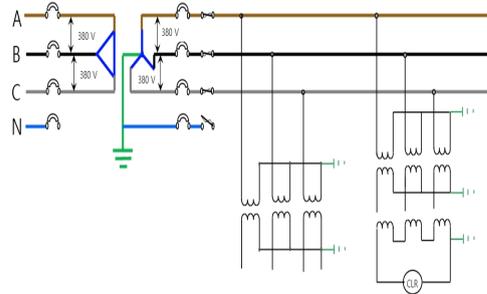


Fig. 7. VT Characteristics Testing Equipment(VT CTE)

Table 1. VT CTE Specifications

NO	Subject	Specification or Use
①	MAIN Circuit Breaker	4P ELB 50 A
②	3 Phase Transformer	3 Phase D-Yn 10 kVA, 380 / 380~220 V
③	Instrument Transformer(VT)	$380/\sqrt{3} : 190/\sqrt{3}$
④	Grounding Voltage Transformer(GVT)	$380/\sqrt{3} : 190/\sqrt{3} : 190/3$
⑤	Current Limit Resistor(CLR)	25 Ω / 400 W, 50 Ω / 400 W, 437 Ω / 400 W
⑥	Ground Fault Test Circuit Breaker	2P ELB 32 A
⑦	Power Quality Analysis Equipment	For Voltage and Phase measurement
⑧	Clamp	For Detecting Zero Voltage, Measuring Ground Fault Current



① Circuit Breaker

② Transformer



Fig. 8. VT CTE Photo

다음은 구성된 특성시험장치에 대한 설명이다.

- 1) 시험용 메인 차단기는 누전차단기(ELB: Earthed Leakage Breaker, 이하 ELB)를 사용하였고, 분전함은 대지로 접지하여 실험에 사용하도록 하였다.
- 2) 시험 시 이상 상황이 1차로 파급하는 것을 최소화 하기 위하여 시험용 변압기는 복권 변압기를 사용하고, 시험의 편리성을 위해 2차측에는 분전함을 함께 부착하였다.
- 3) VT 특성시험장치 전원측에 배선용차단기 4P 30A 와 각 상에 퓨즈를 설치하여 퓨즈 절체를 통한 단상시험 등도 함께 할 수 있도록 구성하였다.
- 4) VT와 GVT는 단상을 3대씩 설치하고, 단상 VT 들을 사용하여 현장 계통을 충분히 구성할 수 있도록 하였다.
- 5) CLR은 저항을 437, 50, 25 Ω을 각각 설치하여 CLR의 저항값에 따른 시험을 다양화할 수 있도록 하였다.
- 6) 분석 장비는 3상 Vector를 검토할 수 있도록 전원 품질분석 장비를 사용하였고, 간단한 전압 및 전류 측정은 클램프를 사용하였다.
- 7) 또한, 실제 보호계전기의 동작을 확인하기 위하여 보호계전기도 연결하여 시험하였다.

3.2 비접지 계통 지락 모의시험

Fig. 9와 같이 현장 조건들을 모의하여 VT를 계통용

변압기로 이용하여 비접지 계통을 구성하고 GVT를 이용하여 VT 1차측 중성점 접지 분리 시험을 하였다.

전원 변압기를 통하여 3상 380~220 V를 VT(③, $(380/\sqrt{3} : 190/\sqrt{3})$)에 공급하고, VT 결선은 1차를 Y로 2차를 델타로 결선하여 2차측 계통은 비접지로 하였다. 그리고, VT 1차측 중성점 접지 연결·분리 시험용으로 GVT(④, $(380/\sqrt{3} : 190/\sqrt{3})$)를 VT 2차 계통에 연결하였다. 위와 같이 연결하면 특성시험장치의 계통별 선간 전압은 Table 2와 같다.

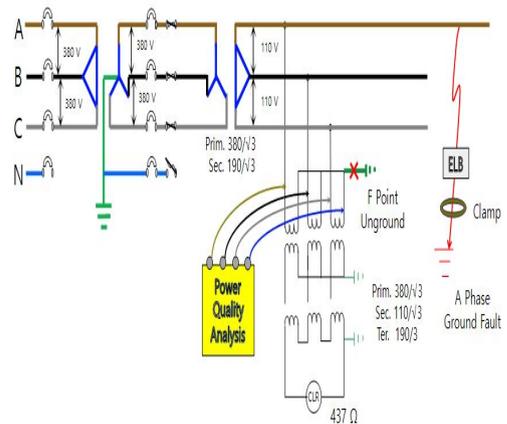
Table 2. VT CTE Line-to-Line Voltage by System

TR		VT		GVT	
Prim.	Sec.	Prim.	Sec.	Prim.	Sec.
380 V	380 V	380 V	110 V	110 V	31.8 V

시험은 GVT 1차 측의 중성점 접지를 연결·분리하고, 비접지 계통의 A상을 시험용 차단기(⑥, ELB)를 통하여 대지로 강제 지락하여 진행하였다.



(a) Configuration Photo of Ungrounded System VT CTE



(b) Wiring Diagram of Ungrounded System VT CTE

Fig. 9. Configuration of Ungrounded System VT CTE

3.3 특성시험장치 측정결과 Data

Table 3의 측정 결과를 보면 비접지 계통의 정상상태에서는 VT 1차측 중성점 접지와 관계없이 계통의 전압을 계측할 수 있었으나 1선 지락 상태에서는 영상 전압이 VT 1차 측 중성점 접지가 연결되어 있을 때는 3차 측에서 측정할 결과는 54.0 V로 1차측으로 환산하면 $54.0 \times 3.455 = 186.57$ V로 예상되는 영상 전압 190 V에 거의 비슷하게 측정되었다. 그렇지만, 중성점이 분리된 경우는 각 상의 전압도 변화가 없었으며 영상 전압도 변화가 없어 실제로 영상 전압 검출이 어려움을 알 수 있었다. 측정된 전압의 오차는 전원 측에서 공급되는 전압의 불평형과 전압의 크기가 정격전압 380 V보다 적게 공급되어 발생된 것으로 보인다.

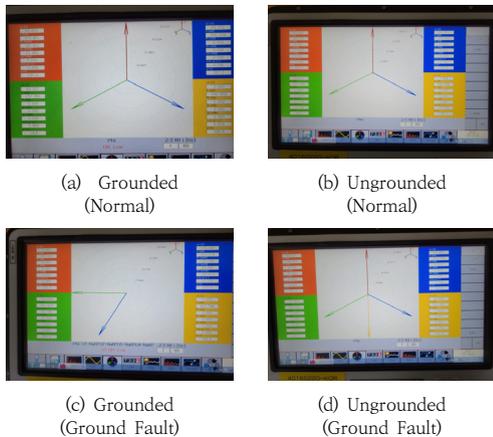


Fig. 10. Ungrounded System VT CTE Power Quality Analysis

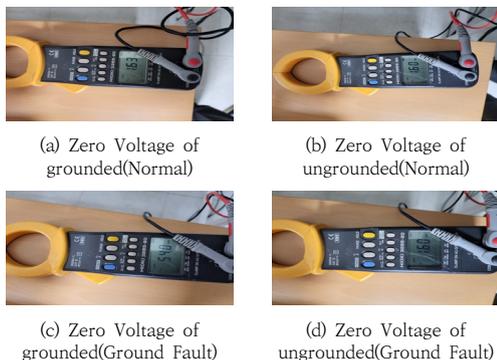


Fig. 11. Ungrounded System VT CTE Zero Voltage

Table 3. Ungrounded System VT CTE Result Data

Division		VT Pri. Voltage	Analysis
Grounded	Normal	A Phase	62.800 V
		B Phase	63.372 V
		C Phase	63.337 V
		Vo	1.63 V
	Ground Fault	A Phase	0.000 V
		Vo	54.0 V
Ungrounded	Normal	A Phase	62.837 V
		B Phase	63.356 V
		C Phase	63.304 V
		Vo	1.60 V
	Ground Fault	A Phase	62.860 V
		Vo	1.60 V

4. VT 특성 현장시험

4.1 현장 강제지락 시험 구성

Fig. 12은 현장에서 실시한 강제 지락의 결선도 이고, Table 4는 정상상태 계통 및 VT의 선간전압이다.

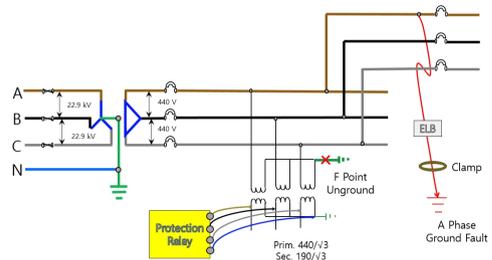


Fig. 12. Ungrounded System Field Test Configuration Wiring Diagram

Table 4. Actual Field Line-to-Line Voltage by System

TR		VT	
primary	secondary	primary	secondary
22.9kV	440 V	440 V	190 V



Fig. 13. Photo of Forced Earth Fault Field Test

4.2 현장시험 측정결과 Data

현장에서 A상을 대지로 강제지락하고 VT 1차측 중성점 접지가 연결되어 있을 때와 분리되었을 때의 현장보호계전기에 측정된 값이다.

비접지 계통의 1선 지락 시 영상전압은 VT 1차측 중성점 접지가 연결되어 있을 때는 보호계전기에서 검출한 결과 337.9 V로 2차 상전압의 3배의 값이 측정되었고, OVGR 계전기는 동작하였다. 그렇지만, 중성점이 분리된 경우는 각 상의 전압은 A상 250.4 V, B상 268.0 V, C상 271.7 V로 지락 시 A상의 전압변화가 작으며, 영상전압도 15.7 V로 거의 변화가 없어 OVGR 계전기는 동작하지 않았다.



(a) Field VT Primary Neutral Grounded



Div.	Magnitude
Va	0.0 V
Vb	451.9 V
Vc	453.5 V
Vab	452.0 V
Vbc	455.3 V
Vca	453.5 V
Vo	337.9 V

(b) Field Protective Relay Measurements

Fig. 14. VT Neutral Grounded Field Test Results



(a) Field VT Primary Neutral Ungrounded



Div.	Magnitude
Va	250.4 V
Vb	268.0 V
Vc	271.7 V
Vab	454.4 V
Vbc	457.4 V
Vca	456.0 V
Vo	15.7 V

(b) Field Protective Relay Measurements

Fig. 15. VT Neutral Ungrounded Field Test Results

5. 결과분석

5.1 특성시험장치와 현장시험 Data

Table 5는 비접지 계통의 1선 완전지락 시 VT 1차측 중성점의 접지여부에 따른 특성시험장치와 현장시험의 측정된 결과 값이다.

Table 5. Ungrounded System 1-Line Ground Fault VT CTE Test Result & Field Test Result Data

Division		VT CTE ($380/\sqrt{3}$: $190/\sqrt{3}$)	Field ($440/\sqrt{3}$: $190/\sqrt{3}$)
Grounded	A Phase	0.000 V	0.0 V
	B Phase	109.440 V	451.9 V
	C Phase	109.006 V	453.5 V
	Vo	54.0 V	337.9 V
Un grounded	A Phase	62.860 V	250.4 V
	B Phase	63.353 V	268.0 V
	C Phase	63.412 V	271.7 V
	Vo	1.60 V	15.7 V

5.2 시험 결과분석

비접지 계통의 VT 1차측 중성점을 접지하고 시험하였을 때 특성시험장치와 현장시험 모두에서 지락 상의 전압은 0 V로 측정되었고, 영상 전압은 54.0 V, 337.9 V로 상전압(18.36 V, 110 V)의 3배가 검출되었으며 OVGR 계전기가 동작하였다.

VT 1차측 중성점을 접지하지 않고 시험하였을 때는 이 계통이 지락 상의 전압은 62.860 V, 250.4 V로 정상상태의 상전압(62.8 V, 260.0 V)에서 거의 변화가 없었다. 영상 전압은 특성시험장치에서 1.60 V 현장시험에서는 영상 전압은 15.7 V로 측정되었고 OVGR 계전기는 동작하지 않았다.

비접지 계통에서 완전지락 시에는 영상 전압은 상전압의 3배로 측정되어야 하는데 VT 1차측 중성점을 분리한 시험결과는 특성시험장치에서는 예상 값의 약 3%, 현장 시험에서는 약 5%가 측정되어 영상 전압 검출이 어렵고 계통이 지락이 되어도 OVGR 계전기가 동작하지 않음을 알 수 있었다. 또한, 지락 상의 전압은 0 V가 되어야 하는데 특성시험장치와 현장시험 모두 정상전압과 비슷하게 측정되어 실제 계통의 지락 상태를 확인하기 어려움을 알 수 있었다.

5.3 결과 분석을 통한 대책

5.2 결과를 토대로 영상 전압에 의한 지락보호 방식의 보호계전기를 사용하고자 한다면 반드시 VT 1차측의 중성점을 접지하여야 한다. 덧붙여서 현장에서 VT 설치 시 권장하고자 하는 내용은 다음과 같다.

- 1) 비접지 계통에서 VT 사용 시에는 선로의 정전용량 불평형에 의한 전압 불평형이 발생하므로 오픈 델타 권선을 갖는 GVT를 사용하여 영상 전압을 검출한다.
- 2) Fig. 16과 같은 저압 3상 VT는 1차 권선의 중성점에 대한 외부 단자가 없다. 이는 VT 1차측 중성점을 접지할 수 없으므로 중성점 단자가 있는 제품을 사용한다.
- 3) 3상 VT보다는 되도록 철심이 분리된 단상 VT 3대를 사용하여 Y 결선하여 사용하는 것을 권장한다.

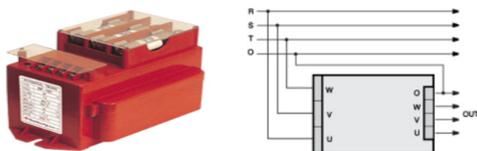


Fig. 16. Primary Neutral Ungrounded VT

6. 결론

본 논문은 비접지 계통에서 VT의 1차측 중성점 접지를 실시하지 않았을 때 발생할 수 있는 전압을 파악하기 위하여 현장을 모의한 특성시험장치를 제작하여 시험하고, 또한 현장검증을 통하여 결과 값을 비교 분석하였다.

분석 결과 비접지 계통에서 VT의 1차측 중성점을 접지하고 시험하였을 때는 지락 상의 전압은 0 V, 영상 전압은 상전압의 3배가 검출되었으며, OVGR 계전기는 동작하였다. 그러나 VT 1차측 중성점을 접지하지 않고 시험하였을 때는 지락 상의 전압은 정상상태의 상전압에서 거의 변화가 없었다. 또한 영상 전압은 특성시험장치에서 1.60 V 현장시험에서는 영상 전압은 15.7 V로 측정되었고 OVGR 계전기는 동작하지 않았다.

그러므로 사고 시 계통의 정확한 전압값을 계측하지 못하고, 영상 전압 또한 검출이 어려워 영상 전압을 사용하는 OVGR 계전기가 부동작하여 보호를 못하는 것을 알 수 있었다. 따라서 VT의 1차측 중성점은 반드시 접지하여 사용하여야 한다.

References

- [1] "Inspection Guidelines for Voltage Transformer(VT)", Korea Electrical Safety Corporation KESG, 2017. https://www.kesco.or.kr/info/bbs/selectPageListBbsOpenInfo.do?bbs_cd=0009&bbs_num=3&isContainsBBS=Y&isAll=N
- [2] "Inspection Guidelines for Grounding Voltage Transformer(GVT)", Korea Electrical Safety Corporation KESG, 2015. https://www.kesco.or.kr/info/bbs/selectPageListBbsOpenInfo.do?bbs_cd=0009&bbs_num=3&isContainsBBS=Y&isAll=N

김 국(Kuk Kim)

[정회원]



- 1999년 2월 : 전남대학교 전기공학과 졸업
- 2021년 3월 ~ 현재 : 호남대학교 대학원 재학 중
- 2018년 3월 ~ 2020년 6월 : 한국전기안전공사 전기안전교육원 교수
- 2020년 7월 ~ 현재 : 한국전기안전공사 광주전남지역본부 검사부장

〈관심분야〉

전기설비, 신재생에너지, 전기설계 및 진단

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