

부하종류에 따른 회로의 누설전류 및 절연저항 특성 연구

Study on Characteristics of Leakage Current and Insulation Resistance for a Circuit According to Load Types

한 경 철*, 최 용 성*

Kyung-Chul Han*, Yong-Sung Choi*

Abstract

The ratios of compliant branch circuit of leakage current and insulation resistance were 68.4% and 90.8%, respectively at the lamp load, 64.6% and 96.5% at the heat load, 86.7% and 88.9% at the power load. Limit of residual current of the zero phase secondary current value at the zero phase primary current was 100 A when rated primary current 400 A more than. The reason why the ratio of branch circuit of the leakage current was less than the ratio of compliant branch circuit of the insulation resistance might be that the leakage current includes the capacitive leakage current and the zero phase current.

요 약

본 논문에서는 전기재해를 일으킬 수 있는 요소를 미리 제거하기 위해 전등부하, 전열부하, 동력부하를 대상으로 누설전류와 절연저항을 측정하여 분포비율과 누적비율을 비교하고 분석하여 보다 효과적이고 신뢰성 있는 누설전류 검출방법을 찾았다. 누설전류와 절연저항의 적합 비율 차이는 전열부하 32.5%, 전등부하 22.8%, 동력부하 2.2%의 순으로 나타났으며, 누설전류계가 낮은 적합 비율을 나타내었으며, 누설전류계는 측정방법에 따른 오차와 용량성 누설전류 및 영상전류가 포함되어 있기 때문으로 생각되었다.

Key words : Leakage current, Insulation resistance, Lamp load, Heat load, Power load

1. 서론

전기에너지는 깨끗하고 사용하기 편리한 청정에너지로 현대인의 생활에 있어 한순간도 없어서는 안 될 중요한 생활필수품으로 자리 잡고 있으며 전기에너지의 편리함 이면에는 부주의 사용 또는 사고 시 인명피해 및 큰 재산 피해를 발생시킬 수 있다. 2016년에 발생한 총 화재는 43,413건이었으며,

이중 전기화재는 7,563건으로 전체화재의 17.4%를 점유하였으며 전기화재의 발화형태별 화재분석을 보면 절연열화에 의한 단락 1,934건(25.6%), 트래킹에 의한 단락 882건(11.7%), 압착 손상에 의한 단락 478건(6.3%), 층간단락 92건(1.2%), 미확인 단락 1738건(23.0%), 과부하 787건(10.4%), 누전 지락 282건(3.7%), 접촉 불량 747건(9.9%), 반단선 162건(2.1%), 기타 461건(6.1%)로 나타났다. 절연열화,

* Dept. of Electrical Engineering, DongShin University

★ Corresponding author

E-mail : yschoi67@dsu.ac.kr, Tel : +82-61-330-3204

※ Acknowledgment

Manuscript received April. 1, 2019; revised June. 12, 2019; accepted June 13, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

트래킹, 압착 손상, 미확인 단락 등에 의한 화재는 방치한 누설전류가 확대되어 결국 단락으로 진행되어 발생한 화재라 볼 수 있다. 따라서 누설전류를 조기에 찾아내어 적절한 예방조치를 함으로서 전기화재를 미연에 방지할 수 있을 것으로 본다.[1-4]

누설전류계는 통전상태에서 누설전류를 측정할 수 있는 장점이 있지만 저항성 누설전류와 용량성 누설전류가 합쳐진 합성 누설전류를 검출하므로 저항성 누설전류만을 검출하지 못하는 단점이 있다. 절연저항계를 이용한 절연저항 측정은 저압의 배선 전기사용 기계기구의 전로나 전선로에 대해서는 측정방법이 간단하며 누설전류에 의한 화재사고의 방지 및 인체감전사고 방지에 충분한 기준이 되기 때문에 일반적으로 절연저항계에 의한 측정방법이 이용되지만 절연저항 측정은 반드시 전원을 차단하고 측정해야 하는 단점이 있다.[2], [5-7]

본 논문에서는 전기화재를 일으킬 수 있는 요소를 미리 제거하기 위해 전등부하, 전열부하, 동력부하를 대상으로 누설전류와 절연저항을 측정하여 분포비율과 누적비율을 비교하고 분석하여 보다 효과적이고 신뢰성 있는 누설전류 검출방법을 찾고자 하였다.[8]

II. 실험 방법

2.1 실험기자재

2.1.1 영상변류기

(ZCT : Zero phase current transformer)

ZCT 1차 정격전류는 200 mA, 2차 정격전류는 1.5 mA이다. 영상 2차 전류의 허용오차 ZCT의 영상2차 전류의 허용오차는 표 1과 같다.

정격 과전류 배수는 ZCT가 포화되지 않는 영상 1차 전류의 범위를 나타낸다. 지락전류가 정격 영상 1차 전류를 크게 상회하거나 영상과전류가 흘러 과전류 보호를 고려할 때 이 값이 문제가 된다.

Table 1. Tolerance of zero phase current transformer.

표 1. 영상 변류기의 허용오차

Class	Rated excitation impedance Z_0 [Ω]		zero phase secondary current [mA]
	$Z_0 > 40$	$Z_0 > 20$	
H	$Z_0 > 40$	$Z_0 > 20$	1.2 ~ 1.8
L	$Z_0 > 10$	$Z_0 > 5$	1.0 ~ 2.0

정격 과전류 배수의 표준 값으로, -no는 계전기가 정격영상전류 이하에서 동작할 때, $no > 100$ 은 영상 1차 전류가 20 A 정도일 때, $no > 200$ 은 이상 지락 시에 과전류 보호를 할 때 채용한다.

잔류전류는 철심을 개재시킨 1차 도체와 2차권선 사이의 전자적 결합의 불 균일로 말미암아 생긴다. 잔류전류가 생기면 계전기의 오동작 원인이 되므로 1차 도체, 철심 및 2차권선 간의 상호 관계를 기하학적으로 대칭이 되도록 배치한다. 정격부담(10 Ω , 역률 0.5인 지상전류)에서 2차측에 흐르는 잔류전류의 최대치는 표 2와 같다.

Table 2. Residual current limit of zero phase current transformer.

표 2. 영상 변류기의 전류 한계

Rated primary current	Limit of residual current
400 A more than	The zero phase secondary current value at the zero phase primary current 100 A
400 A under	80% of the zero phase secondary current value at the zero phase primary current 100 A

2.1.2 절연저항계

절연저항계는 sanwa사의 MG1000, 측정전압 500 V를 사용하였으며 그 규격은 표 3과 같다.

2.2 실험방법

2.2.1 누설전류 측정

누설전류계를 이용한 누설전류 측정방법은 단상 2선식에서는 전원선 2가닥을 ZCT에 통과시켜 측정하였고 3상3선식에서는 전원선 3선을 ZCT에 통과시켜 측정하였으며 3상4선식에서는 전원선 3가닥과 중성선 1가닥을 ZCT에 관통하여 측정하였다.

Table 3. Standard and error range of insulation meter.

표 3. 절연저항계의 표준과 허용오차

MG1000	Measuring range	Error range	Minimum scale
Insulation Resistance	4/40/400/4000 Ω	$\pm(3\%+4)$	0.001 M Ω
Measured voltage	250/500/1000 V		
AC/DC	600 V (AC/DC Automatic)	$\pm(3\%+2)$	1 V
Resistance	4000 Ω	$\pm(3\%+3)$	1 Ω
Resistance	40 Ω	$\pm(3\%+10)$	0.01 Ω

정상상태(누설전류가 없는 상태)에서는 $I_1 = I_2$, $\Phi_1 = \Phi_2$ 가 되므로 자속이 서로 상쇄되어 ZCT 2차에서 전압이 유기되지 않고, 그림 1에서 영상전류 I_0 는 흐르지 않는다.

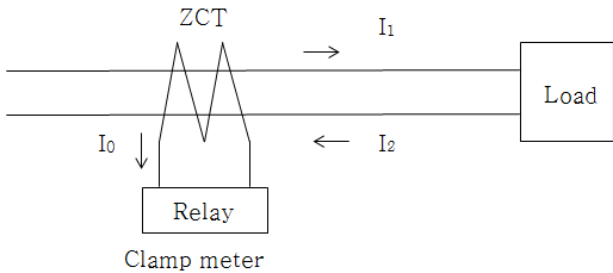


Fig. 1. ZCT in steady-state.
그림 1. 정상 상태의 ZCT

여기서, I_1 은 전원 측에서 ZCT를 통해 부하로 흐르는 전류, I_2 는 부하 측에서 ZCT를 통해 전원 측으로 흐르는 전류, Φ_1 는 I_1 에 의해 만들어지는 자속, Φ_2 는 I_2 에 의해 만들어지는 자속이다.

누설전류가 흐르면, 누설전류 I_g 에 의해 ZCT를 통과하는 전류의 대수합은 $I_1 \neq I_2$ 가 되고, $\Phi_1 \neq \Phi_2$ 가 되며, $I_1 = I_2 + I_g$ 가 되고 $\Phi_1 > \Phi_2$ 가 된다. 따라서 I_g 에 의해 ZCT에 자속이 발생하고 자속에 의해 기전력이 유기된다. 이 전압에 의해 ZCT 2차측에 출력이 발생하여 누설전류계에 누설전류가 나타나고 Relay에 흐르는 전류 I_0 는 영상전류로서 누설전류계, 보호계전기, 누전검보기, 누전차단기 등을 동작시키며 그림 2와 같다. 여기서, I_g 는 누설전류(지락전류), I_1 는 전원 측에서 ZCT를 통해 부하로 흐르는 전류, I_2 는 부하 측에서 ZCT를 통해 전원 측으로 흐르는 전류, Φ_1 는 I_1 에 의해 만들어지는 자속, Φ_2 는 I_2 에 의해 만들어지는 자속, I_0 는 ZCT 2차 전류이다.

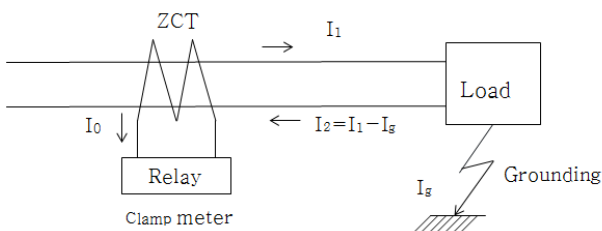


Fig. 2. ZCT in leakage state.
그림 2. 누설 상태의 ZCT

2.2.2 절연저항 측정

전등부하, 전열부하, 전동부하에 대하여 절연저항계를 이용하여 절연저항을 측정할 때에는 전원 전압을 차단한 상태(정전)에서 절연저항계 검정색 리드선은 대지(접지단자)에 접속하고 빨간색 리드선은 피시험기 전원선에 접속하여 DC 500 V를 인가하여 대지로 흐르는 누설전류를 측정한다. 이때, 인가전압을 대지로 흐르는 전류로 나누어서 저항 값을 산출하고 식 (1)과 같이 $M\Omega$ 단위로 환산하여 나타내었다.

$$R = \frac{E}{I} [M\Omega] \quad (1)$$

여기서, R 은 절연저항 $[M\Omega]$ 이고 E 는 절연물에 인가한 전압 $[V]$ 이며 I 는 절연물에 흐르는 전류 $[A]$ 이다.

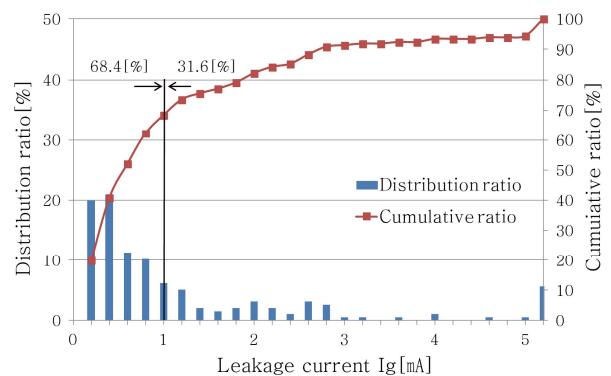
III. 결과 및 고찰

3.1 부하종류별 누설전류 및 절연저항

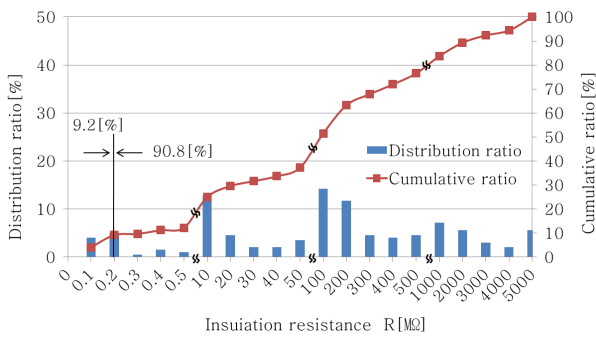
3.1.1 전등부하

전등부하 196개 분기회로에서 누설전류 및 절연저항의 분포비율과 누적비율은 그림 3과 같다. 그림 3 (a)에서 누설전류의 허용값인 1 mA 이하의 비율은 134개 회로 68.4%이었고, 1 mA 이상의 비율은 62개 회로 31.6%로 나타났다.

그림 3 (b)에서 가로축은 절연저항을 나타내고, 세로축은 절연저항에 대한 분포비율과 누적비율을 나타낸다. 절연저항 허용값인 0.2 $M\Omega$ 이상은 178개 회로 90.8%가 적합하였고, 18개 회로 9.2%는 부적합으로 나타났다. 전등부하에서 누설전류와 절연저항의 적합 비율은 22.4%의 차이를 나타냈으며 누설전류의 적합 비율이 낮게 나타났다.



(a) Lamp load leakage current distribution



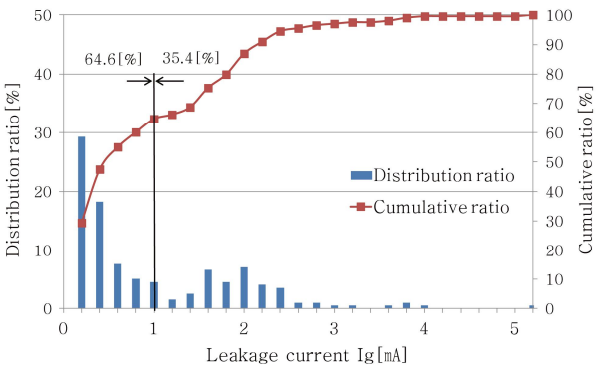
(b) Lamp load insulation resistance distribution

Fig. 3. Distribution of leakage current and insulation resistance at lamp load.

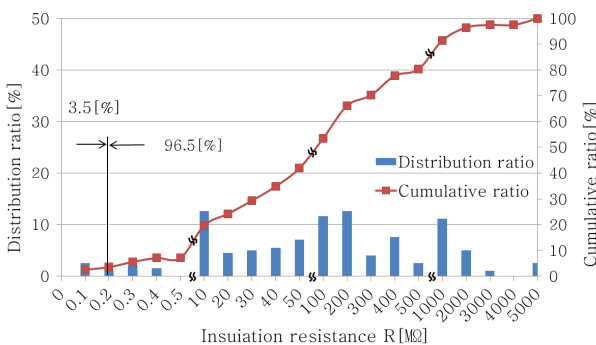
그림 3. 전등부하의 누설전류와 절연저항의 분포

3.1.2 전열부하

전열부하 198개 분기회로에서 누설전류 및 절연저항을 측정하였으며 분포비율과 누적비율은 그림 4와 같다. 그림 4 (a)에서 누설전류의 허용값인 1 mA 이하의 비율은 128개 회로 64.6%이었고, 1mA 이상의 비율은 70개 회로 35.4%로 부적합으로 나타났다.



(a) Heat load leakage current distribution



(b) Heat Load Insulation Resistance Distribution

Fig. 4. Distribution of leakage current and insulation resistance at heat load.

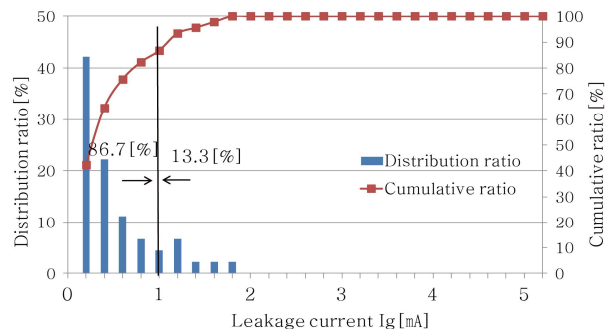
그림 4. 열부하의 누설전류와 절연저항의 분포

그림 4 (b)에서 가로축은 절연저항을 나타내고, 세로축은 절연저항에 대한 분포비율과 누적비율을 나타낸다. 절연저항 허용값인 0.2 MΩ 이상은 191개 회로 96.5%가 적합하였고, 7개 회로 3.5%는 부적합으로 나타났다. 전열부하에서 누설전류계와 절연저항계에 의한 적합 비율은 31.9%의 차이를 나타냈으며 누설전류계를 사용한 누설전류가 낮은 적합 비율을 나타냈다.

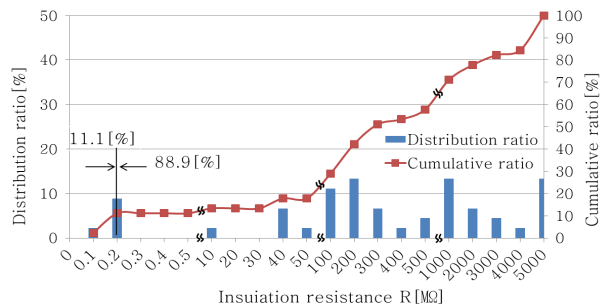
3.1.3 동력부하

동력부하 45개 분기회로에서 누설전류 및 절연저항의 분포비율과 누적비율은 그림 5와 같다. 그림 5 (a)에서 누설전류의 허용값인 1 mA 이하의 비율은 39개 회로 86.7%이었고, 1 mA 이상의 비율은 6개 회로 13.3%로 부적합으로 나타났다.

그림 5 (b)에서 가로축은 절연저항을 나타내고, 세로축은 절연저항에 대한 분포비율과 누적비율을 나타낸다. 절연저항 허용값인 0.2 MΩ 이상은 40개 회로 88.9%가 적합하였고, 5개 회로 11.1%는 부적합으로 나타났다. 동력부하에서 누설전류계와 절연저항계에 의한 적합 비율은 2.2%의 차이를 나타냈으며 누설전류가 낮은 적합 비율을 나타냈다.



(a) Power Load Leakage Current Distribution



(b) Power load insulation resistance distribution

Fig. 5. Distribution of leakage current and insulation resistance at power load.

그림 5. 동력부하의 누설전류와 절연저항의 분포

3.2 전등, 전열, 동력부하의 누설전류와 절연저항 비교

전등, 전열, 동력부하별 누설전류와 절연저항을 표 4와 그림 6으로 나타냈다. 표 4에서 누설전류계와 절연저항계를 사용한 누설전류 및 절연저항의 비율을 비교하면 전열부하 31.9%, 전등부하 22.4%, 동력부하 2.2%의 차이를 나타냈으며, 절연저항계를 사용한 측정값이 높은 적합 비율을 나타냈다.

Table 4. Leakage current and insulation resistance by load type.

표 4. 부하별 누설전류와 절연저항

How to measure Load	Leakage current		Insulation resistance		Difference
	1 mA below	1 mA excess	0.2 MΩ More than	0.2 MΩ under	
Heat	68.4%	31.6%	90.8%	9.2%	22.4%
Lamp	64.6%	35.4%	96.5%	3.5%	31.9%
Power	86.7%	13.3%	88.9%	11.1%	2.2%
Ratio	22.1%		7.6%		s

IV. 결론

그림 6 (a)의 전기설비 기술기준의 판단기준에 의한 누설전류 허용값 1 mA 이하는 전열부하 64.6 %, 전등부하 68.4 %, 동력부하 86.7% 순으로 적합 비율을 나타냈으며, 전열부하와 동력부하는 22.1%의 차이를 나타냈다.

그림 6 (b)의 전기설비 기술기준에 의한 허용값 0.2 MΩ 이상인 경우는 동력부하 88.9%, 전등부하 90.8%, 전열부하 96.5% 순으로 적합하게 나타났으며, 동력부하와 전열부하는 7.6%의 차이를 나타냈다.

전기에너지는 전등, 전열, 동력에너지로 변환하여 일상생활 및 산업현장에서 편리하고 유용하게 사용하지만 부주의 사용 시 전기적, 기계적 손상에 의해 절연이 손상되고 노후설비는 자연열화에 의해 절연이 손상되면 누설전류가 흐르고 각종 전기 재해의 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 전기 재해를 일으킬 수 있는 요소를 미리 제거하기 위해 보다 더 효율적이고 신뢰성이 있는 누설전류 검출 방법을 찾고자 누설전류계와 절연저항계를 이용하여 전등부하 전열부하 동력부하로 구분하여 누설전류와 절연저항을 측정하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전등, 전열, 동력의 부하종류별로 누설전류와 절연저항을 비교한 결과, 전등부하 193개 회로 중에서 62개 회로 32.1[%]가 누설전류 허용값인 1 mA를 초과하였고, 18개 회로 9.3%가 절연저항 허용값인 0.2 MΩ 미만으로 나타났다.
- 2) 전열부하 182개 회로에서 66개 회로 36.3%가 누설전류 허용값인 1 mA를 초과하였고, 7개 회로 3.8%가 절연 저항 허용값인 0.2 MΩ 미만으로 나타났다.
- 3) 동력부하 45개 회로에서 6개 회로 13.3%가 누설전류 허용값인 1 mA를 초과하였고, 5개 회로 11.1%가 절연저항 허용값인 0.2 MΩ 미만으로 나타났다.
- 4) 누설전류와 절연저항의 적합 비율 차이는 전열부하 32.5%, 전등부하 22.8%, 동력부하 2.2%의 순으로 나타났으며, 누설전류계가 낮은 적합 비율을 나타내었으며, 누설전류계는 측정 방법에 따른 오차와 용량성 누설전류 및 영상 전류가 포함되어 있기 때문으로 생각되었다.

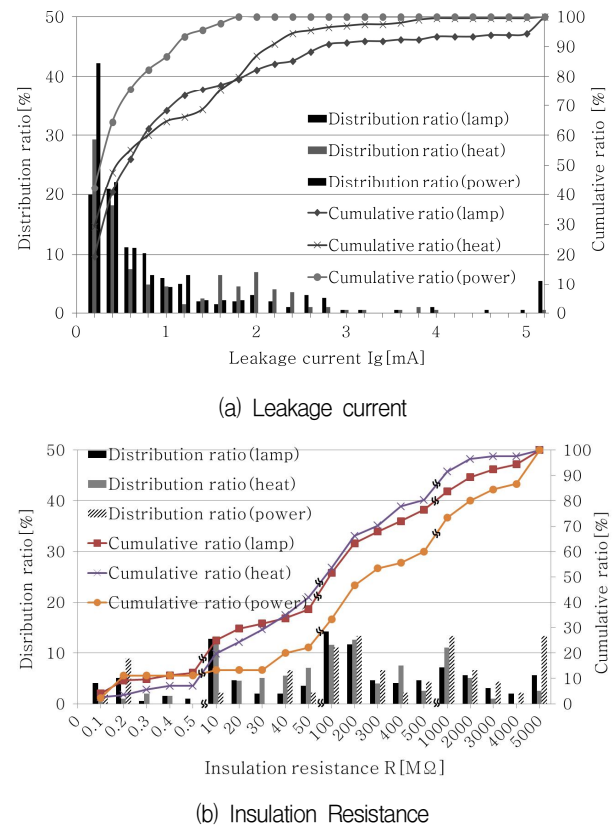


Fig. 6. leakage current and insulation resistance by load type. 그림 6. 부하별 누설전류와 절연저항

References

- [1] Y. H. Kim, "Consideration of Electrical Fire Prevention Measures Combing Electrical Fire Statistics and Cases," *Hanyang University Graduate School*, p.10, 2017.
- [2] D. W. Joo, "A Study on Prevention and Improved Statistical Classification of Electrical Fire Based on Statistics and Case Analysis," *Seoul City University Graduate School*, p.1, 2017.
- [3] H. M. Park, "Improvement of Electric Safety Management through Analysis for Check List of Electric Safety Management Agency," *Seoul National University of Science & Technology Graduate School*, p.9, 2017.
- [4] Korea Electrical Safety, Corporation Statistical analysis of electricity disaster in 2016, No.26, 2016.
- [5] M. I. Choi and others, J. *KIIEIE*, No.23, p.83, 2009.
- [6] N. K. Joo and others, *KIEE symposium*, p.172, 2009.
- [7] C. S. Choi, S. Y. Han, *KIEE symposium*, p.301, 2008.
- [8] K. C. Han, Master Thesis, Dongshin Univ. 2018.

Yong-Sung Choi (Member)



1991 : BS degree in Electrical Engineering, Donga University.
 1993 : MS degree in Electrical Engineering, Donga University.
 1998 : PhD degree in Electrical Engineering, Donga University.

2006~2019 : Professor, Dongshin University.

BIOGRAPHY

Kyung-Chul Han (Member)



2016 : BS degree in Electrical Engineering, Dongshin University.
 2018 : MS degree in Electrical Engineering, Dongshin University.
 2018~2019 : Representative, Alpha Engineering