

# 지역특성을 고려한 배전설비 고장률 산출에 관한 연구

## A Study on Failure Rate Extraction of Distribution System Equipment considering Regional Characteristics

최 규 완\* · 채 희 석\*\* · 문 중 필†  
(Kyu-Wan Choi · hui-Seok Chai · Jong-Fil Moon)

**Abstract** - The cost needed to managing equipment is constantly increasing because of increase of power equipment. The regulations such as PAS 55 and ISO 55000 were enacted to manage equipment assets. The advanced management methods such as real-time monitoring, condition evaluation, and health indices are available in generation system, transmission system, and substation transformers. However, These methods can not be applied to distribution equipment because of a lot of equipment. Therefore reliability assessment is very important in case of distribution equipment. In this paper, failure rates are extracted considering characteristics of regions, and which are the essential factors to reliability evaluation

**Key Words** : Distribution system asset management, Failure rate, Distribution equipment

### 1. 서 론

산업의 발달로 인해 사회가 고도화되고 신도시 건설, 신재생 에너지 연계 및 산업설비의 증가로 인해 전력수요가 급격히 증가하고 있으며, 전력을 소비하는 수용가에서도 무정전, 고신뢰도, 고품질의 전력을 요구하게 되었다. 그에 따라 정전으로 인한 피해와 사회적 손실비용은 지속적으로 증가하고 있으며, 한국전력공사에서는 전력공급 중단으로 인한 피해를 최소화 하고 수용가에서 원하는 전력을 공급하기 위해 추가적인 전력설비 구축과 전력설비 관리를 위해 매년 막대한 예산을 투자하고 있다. 또한 전력설비의 지속적인 증가로 인해 전력사의 설비자산은 증가하고 설비 관리에 필요한 비용이 지속적으로 증가하고 있다. 따라서 전력사에서는 설비자산관리에 필요한 비용을 최소화하고 과학적인 투자를 진행하기 위한 설비 관리정책이 필요한 실정이다.

유럽에서는 설비의 효율적인 관리를 위해 전력설비를 포함한 전체 산업설비를 관리하기 위해 2008년 PAS55(Publicly Available Standard 55)를 제정하였으며, 2014년에는 산업설비 자산관리 표준인 ISO55000s 가 제정되었다. 전력산업에서는 공급신뢰도와 투자효율성을 높이기 위하여 설비의 실시간 상태평가 및 건전도(HI : Health Index)평가를 적용하여 과학적인 설비 보수 및 투자를 진행하고 있다[1].

국내에서는 TBM(Time Based Management) 방식을 이용하여 전력설비를 관리하였으며, 2000년대에 들어오면서 CBM(Condition Based Management) 방식을 TBM과 함께 운영하였다. 최근에는 전력설비를 관리하기 위해 HI 와 RCM(Reliability Centered Management)를 적용하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다[2].

송전설비와 변전소 설비의 경우 설비의 가격이 매우 고가이며 배전설비에 비해 그 수가 많지 않기 때문에 개별적으로 설비 관리 진행이 용이하며, 설비 고장 시 계통 전체에 미치는 영향이 매우 크다. 때문에 해외 전력사에서는 설비 고장 시 계통에 미치는 과급력이 큰 송전설비와 변전소 설비에 센서 등을 통해 실시간 건전도를 평가하거나 상태진단을 통해 관리를 진행하고 있다[1, 2]. 그러나 배전계통의 경우 설비의 가격이 비교적 저가이며 그 수가 매우 많다. 배전설비의 경우 모든 설비에 센서 설치를 통하여 건전도 평가나 상태진단을 진행하기에는 설비의 수가 매우 많고 다양하기 때문에 합리적이기 못한 투자가 될 수 있다. 따라서 배전설비관리를 진행하기 위해서는 과거 고장 이력분석을 통하여 설비수명 및 고장률을 산출하고 신뢰도 지수와 같은 신뢰성 기반의 유지보수 정책을 통해 합리적인 투자를 진행할 수 있다.

신뢰도 지수를 이용하여 배전설비의 유지 및 관리를 진행하기 위해서는 고장률 산출이 선행되어야 한다. 기존의 고장률은 전체 설비와 고장이 발생한 설비의 비를 이용하여 계산하였다. 최근에는 과거 고장 이력 데이터를 이용하여 임의고장과 열화고장으로 분류하여 설비 사용기간에 따른 고장률 산출에 대해 연구가 진행되고 있다[3, 4]. 또한 열화고장률을 이용하여 설비의 기대수명을 예측하고 이를 이용하여 설비 유지보수 및 설비투자 우선순위를 결정할 수 있다[5, 6].

설비 고장률의 경우 여러 인자들의 영향을 많이 받으며, 기존의 고장률을 개선하기 위해 날씨와 같은 인자들을 고려

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering,  
Korea National University of Transportation, Korea  
E-mail : moon@ut.ac.kr

\* Dept. of Electrical Engineering, Korea National University  
of Transportation, Korea

\*\* Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University, Korea  
접수일자 : 2016년 8월 5일  
수정일자 : 2016년 8월 27일  
최종완료 : 2016년 8월 29일

한 연구가 진행되고 있다[7, 8]. 본 논문에서는 고장률에 영향을 미치는 여러 인자 중 지역특성을 이용하여 설비 고장률을 산출하고 지역특성을 고려하지 않은 설비 고장률과 함께 비교 및 분석하였다.

## 2. 배전설비 고장률 산출

### 2.1 배전설비 고장원인별 분류

배전설비 고장원인은 한국전력공사의 정전관리 통합시스템 사용자 안내서에 나타나 있으며, 배전설비 고장원인 코드는 다음 표 1과 같다[9].

표 1 배전설비 고장원인 코드

Table 1 Fault causes code of distribution equipment

원인별		코드
대분류	소분류	
설비불량	제작불량	01
	시공불량	02
보수불량	보수불량	11
	자연열화	12
	과부하	13
	부식	14
	자연현상	
자연현상	풍우해	21
	뇌해	22
	빙설해	23
	염진해	24
고의 및 과실	작업자과실	31
	일반인과실	32
	화재	33
외물접촉	수목	41
	조류	42
	기타	43
진동 오동작	진동	51
	오동작	52

위의 고장원인 코드에서 제작불량과 시공불량은 초기고장으로 분류할 수 있으며, 자연열화와 부식은 설비의 열화에 의해 발생한 고장으로 볼 수 있다. 나머지 자연현상, 고의 및 과실 및 외물접촉 등은 임의고장으로 분류할 수 있다.

본 논문에서는 임의고장과 열화고장으로 분류하여 각각의 고장률을 산출하였으며, 설비의 고장률은 임의 고장률과 열화 고장률의 합으로 추정할 수 있다. 또한 본 논문에서는 배전설비 중 주상변압기를 대상으로 하였으며, 2009년부터 2015년까지 취득한 고장데이터를 기반으로 진행하였다. 주상변압기의 경우 자연열화와 부식이 고장원인 중 가장 많은 부분을 차지하였다. 즉, 주상변압기의 경우 열화고장이 임의 고장보다 많다는 것을 의미한다. 주상변압기의 고장원인별 비율은 그림 1과 같다.

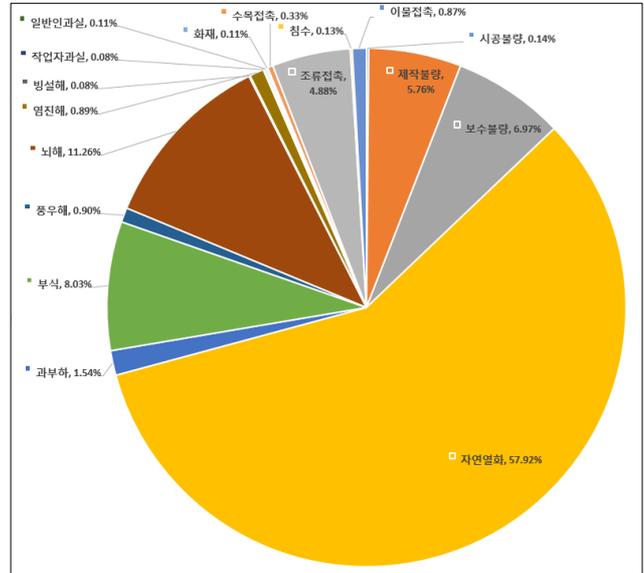


그림 1 주상변압기 고장 데이터의 고장원인별 분류

Fig. 1 Failure causes classification of pole transformer failure data

### 2.2 설비 임의 고장률 산출

임의 고장률은 지수분포를 사용하여 산출하였으며, 지수 분포의 특징은 시간과 관계없이 일정한 값을 가진다는 것이다. 즉 임의고장은 설비의 사용기간과 관계없이 일정한 확률로 발생하는 고장을 의미한다. 지수분포의 확률밀도함수 및 관련 파라미터의 값은 다음 식과 같다[9, 10].

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

$$E(T) = MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (4)$$

여기서  $\lambda$ 는 평균 고장률을 나타내고,  $f(t)$ 는 확률밀도함수,  $F(t)$ 는 확률분포함수,  $R(t)$ 는 신뢰성함수,  $E(t)$ 는 기대수명을 나타낸다.

지수분포의 고장률 산출식은 다음과 같다.

$$\lambda_{rand} = \frac{N_{fail}}{\sum_{i=1}^{N_{fail}} t_{fail,i} + \sum_{j=1}^{N_{normal}} t_{normal,j}} \quad (5)$$

여기서  $\lambda_{rand}$ 은 임의 고장률,  $N_{fail}$ 은 고장설비 수,  $N_{normal}$ 은 정상설비 수,  $t_{fail}$ 은 고장설비 사용기간,  $t_{normal}$ 은 정상설비 사용기간을 나타낸다.

### 2.3 설비 열화 고장률 산출

열화 고장률은 가동기간에 상관없이 일정한 값을 가지는 임의 고장률과는 다르게 가동기간에 비례하여 증가하는 형

태를 나타낸다. 열화 고장률 산출에는 와이블분포를 사용하였으며, 와이블분포의 확률밀도함수 및 관련 파라미터의 값은 다음 식과 같다[9, 10].

$$f(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] \quad (6)$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] \quad (7)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^m\right] \quad (8)$$

$$\lambda_{aging}(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m-1} \quad (9)$$

$$E(T) = MTTF = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (10)$$

여기서  $\lambda_{aging}(t)$ 는 고장률함수,  $\eta$ 는 척도모수(Scale Parameter),  $m$ 은 형상모수(Shape Parameter)를 나타낸다. 와이블분포의 특징은  $m$ 의 값에 따라 고장률함수의 변화형태가 달라지게 된다.  $m$  값이 0인 경우 고장률은 임의 고장률과 동일하게 일정한 값을 가지며,  $m$  값이 1보다 작은 경우 사용기간이 증가함에 따라 고장률 점차 감소하여 0에 접근하게 된다.  $m$  값이 1인 경우 고장률함수는 1차 방정식 형태를 보이며,  $m$  값이 1과 2사이인 경우 고장률은 증가하나 일정한 값으로 점차 수렴해 간다.  $m$  값이 2 이상인 경우 고장률은 1과 2사이의 경우와 동일하게 증가하지만 수렴이 아닌 발산형태로 증가하게 된다.

### 2.4 설비 고장률 산출

설비의 고장률은 사용기간과 관계없이 일정한 값을 가지는 임의 고장률과 사용기간에 비례하여 증가하는 열화고장률의 합으로 나타낼 수 있으며, 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\lambda(t) = \lambda_{rand} + \lambda_{aging}(t) \quad (11)$$

여기서  $\lambda(t)$ 는 설비 고장률,  $\lambda_{aging}(t)$ 은 열화 고장률을 나타낸다.

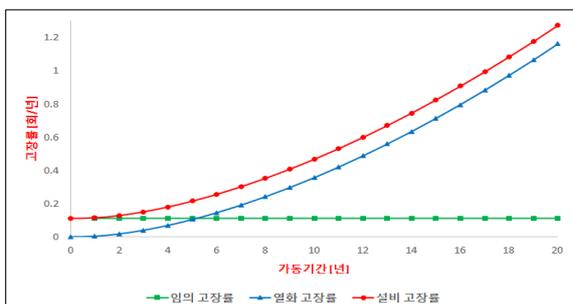


그림 2 주상변압기 고장률 분석  
Fig. 2 Failure rate analysis of pole transformer

그림 2는 전체 주상변압기의 고장 이력 데이터를 임의고장과 열화고장 분석을 통해 산출한 주상변압기의 고장률을

나타낸다. 주상변압기의 열화 고장률은 사용기간이 증가함에 따라 고장률이 상승하는 것으로 확인되었으며, 임의 고장률은 사용기간과 관계없이 일정한 값을 나타낸다. 따라서 설비의 고장률은 열화 고장률의 상승에 따라 증가하는 값을 나타낸다. 설비 고장률이 높은 값을 나타내는 것은 정상 설비를 적용하지 않았기 때문이며 정상 설비 데이터를 적용할 경우 임의 고장률과 열화 고장률은 감소할 것으로 사료된다.

### 3. 지역특성을 고려한 설비 고장률 분석

지역특성은 설비 고장 이력 데이터에서 본부, 사업소, 변전소 등을 이용하여 고장 데이터를 분류하여 사용할 수 있다.

지역특성을 고려한 고장률을 산출하기 위해서는 배전설비의 이력데이터가 필요하며, 가장 먼저 이력데이터의 지역에 따른 분류가 필요하다. 다음으로는 설비에 따른 분류, 고장 원인에 따른 분류를 진행하고 설비별 임의 고장률과 열화 고장률을 산출하여 설비 고장률을 계산한다. 지역특성을 고려한 고장률 산출에 대한 순서도는 그림 3과 같다.

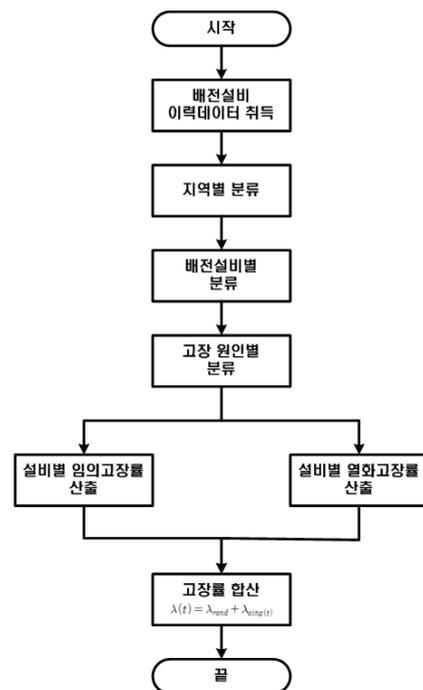


그림 3 지역특성을 고려한 고장률 산출 순서도  
Fig. 3 Flowchart of failure rate extraction considering characteristics of regions

본 논문에서는 사업본부 데이터를 이용하여 총 10개의 지역으로 고장 데이터를 분류하였다. 2009년부터 2015년까지 주상변압기의 고장횟수는 총 6,314회 발생하였으며 고장이 발생한 주상변압기 자료를 지역별로 분류할 경우 내륙지방에서는 B지역이 고장이 가장 많았고 A지역이 가장 적었다. 주상변압기의 지역별 고장발생 횟수는 표 2에 나타내었다.

지역별 고장 데이터를 이용해 산출된 주상변압기의 임의 고장률과 열화 고장률 산출에 필요한 모수의 값은 표 3에 나타내었다.

표 2 주상변압기 지역별 고장횟수

Table 2 Regional failure number of pole transformers

지역구분	전체고장 횟수	임의고장 횟수	열화고장 횟수
A	265	88	177
B	1393	434	959
C	681	170	511
D	825	282	543
E	387	108	279
F	705	263	442
G	980	349	631
H	277	102	175
I	685	288	397
J	116	66	50
전체	6314	2150	4164

표 3 지역별 주상변압기 임의 고장률 및 열화고장 모수

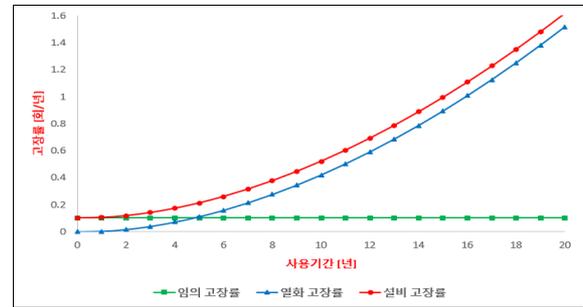
Table 3 Random failure rate and aging failure parameter of regional pole transformer

지역	임의 고장률 [회/년]	열화고장 모수(Parameter)	
		형상모수( $m$ )	척도모수( $\eta$ )
전체	0.11075	2.6458	3162.721
A	0.10337	2.5990	3041.201
B	0.11786	2.6072	3329.631
C	0.10033	2.7876	3051.502
D	0.10634	2.8063	3116.295
E	0.14429	2.3955	2801.191
F	0.09609	2.7133	3068.575
G	0.11685	2.5136	3107.129
H	0.10955	2.9542	2065.275
I	0.11101	2.5700	3135.625
J	0.12310	2.2949	3292.043

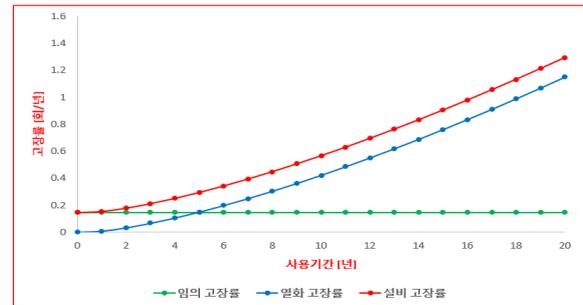
지역별 분류를 통해 산출된 임의 고장률과 열화고장 파라미터는 서로 상이하게 나타난다. 이것은 지역마다 염해도, 날씨, 지형, 최대전력, 부하율 등의 차이로 인해 발생하며 이로 인해 같은 설비라도 기대수명 및 설비의 고장률이 서로 다르게 산출된다. 그림 4는 산출된 지역별 고장률 중 고장률이 가장 높은 C지역과 중간값을 가지는 E지역, 가장 낮은 B지역을 나타낸다.

주상변압기를 20년 사용하였을 때 고장률은 0.127[회/년]으로 산출된다. 고장률이 가장 높은 C지역의 경우 0.619[회/년]으로 전체 고장률에 비해 약 27% 높았고 중간값을 가지는 E지역은 약 2%가 높았으며 가장 낮은 지역인 B지역은 1.088[회/년]으로 15%가 낮았다. 대부분의 지역별 고장률은 전체 고장률 보다 높게 나왔으며, 이는 기준보다 오래 사용된 설비가 특정지역에 집중되어 있어 발생된다.

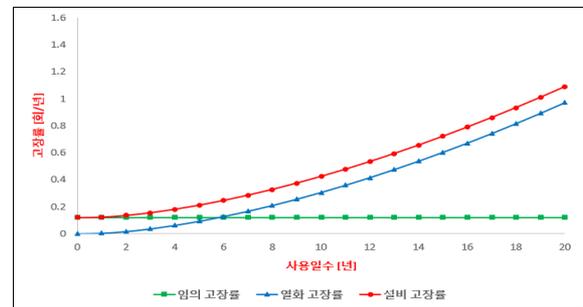
본 논문에서는 지역분류 데이터를 이용하여 지역별 분류를 진행하였다. 추후 고장 이력 데이터가 충분하고 설비 위치에 대한 정확한 기록을 통해 지역별 분류를 세분화할 경우 현재의 고장률보다 정확한 고장률이 산출될 것이다.



(a) C지역 주상변압기 고장률



(b) E지역 주상변압기 고장률



(c) B지역 주상변압기 고장률

그림 4 지역특성을 고려한 주상변압기 고장률

Fig. 4 Failure rate of pole transformer considering characteristics of regions

#### 4. 결 론

본 논문에서는 기존의 고장률 산출 방식에서 고장 데이터를 지역별 특성에 맞게 분류하여 주상변압기의 고장률을 산출하였다. 동일 설비라도 부하율, 날씨, 지형 등에 따라 서로 다른 고장률 및 기대수명이 추정될 수 있다. 전체 지역 중 C지역의 고장률이 가장 높았으며, B지역의 고장률이 가장 낮았다. C지역의 경우 산간지역 및 독립적인 수용가가 많으므로 설비의 중요도가 떨어지며, 설비 관리에 대한 투자가 느려 B지역에 비해 높은 고장률을 보인다. B지역의 경우 대도시, 산업 및 상업 시설이 집중되어 있으며, 많은 수용가가 집중되어 있다. 때문에 수용가에서 원하는 고신뢰도의 전력을 공급하기 위해 설비 관리에 많은 투자가 진행되고 있어 낮은 고장률을 보이게 된다.

배전설비의 자산관리를 진행하기 위해서는 고장률 산출은 중요한 부분을 차지할 것이다. 때문에 정확한 고장률 산출을 위해 많은 연구가 진행되었으며, 날씨, 지역적 특성 외에

다양한 인자들을 이용한 고장률 산출 연구가 필요하다. 본 논문에서는 지역분부를 기준으로 데이터를 분류하고 고장률을 산출하였다. 그러나 같은 지역이라도 농촌지역과 도시의 설비 고장률은 차이가 날 것이며, 그에 따라 서로 다른 설비 관리를 진행해야 한다. 지역특성, 날씨 등과 같은 인자를 사용하여 고장률을 산출할 경우 기존 방식보다 정확한 고장률이 산출되며, 설비 관리 및 효율적인 투자에 도움이 될 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KEREP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다 (No. 20164030201100).

2015년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.

### References

- [1] J. H. Sun, "Technical Trend in Asset Management of Power Equipment", Journal of the Electric World, Special Issues, 2015.
- [2] J. S. Lim, "Power Asset & Risk Management", KIEE Worrrld of Electric, 2015.
- [3] H. S. Chai, H. S. Lee, B. W. Kang, K. H. Ryu, J. C. Kim, D. W. Choo, "A Study of Failure Rate Calculation Methods in Distribution System Reliability", KIEE Summer Conference, 2011
- [4] J. F. Moon, H. T. Lee, J. C. Kim, C. H. Park, "Extraction of Time-varying Failure Rate for Power Distribution System Equipment", Trans KIEE, Vol 54A, No. 11, 2005.
- [5] H. T. Lee, J. F. Moon, J. C. Kim, "Deciding the Maintenance Priority of Power Distribution System using Time-varying Failure Rate", Trans KIEE, Vol. 55A, No. 11, 2006.
- [6] J. H. Choi, "A Novel Investment Priority Dcision Method for Facilities of Distribution Systems Considering Reliability of Distribution System", Ph. D. Dissertation, Kangwon National University, 2004
- [7] J. C. Kim, "Measurement of Time-Varying Failure Rate for Power Distribution System Equipment Considering Weather Factor", Journal of the KIEE, Vol 23, No. 8, 2009.
- [8] K. W. Choi, H. S. Chai, I. S. Hwang, J. F. Moon, "A Study on Failure Rate Extraction of Electric Power Distribution System Equipment Considering Various Factor", Proceedings of KIEE Annual Conference, 2016.
- [9] H. T. Lee, J. C. Kim, J. F. Moon, C. H. Park, "Power Distribution System Equipment Failure Rate Analysis for Reliability Estimation" Proceedings of KIEE Annual Conference, 2014.
- [10] R. Billinton, R. N. Allan, "Reliability Evaluation of Engineering system : Concepts and Techniques. New York", Plenum, 1992

## 저 자 소 개

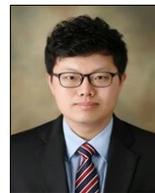


### 최 규 완 (崔圭完)

2015년 한국교통대 전기공학과 졸업.  
2015년~현재 동 대학원 전기공학과 석사 과정.

Tel : 043-841-5151

E-mail : ut-kyuwan@ut.ac.kr



### 채 희 석 (蔡熙石)

2011년 숭실대 전기공학과 졸업. 2011년~현재 동 대학원 전기공학과 석박 통합과정.

Tel : 02-817-7966

E-mail : selaff@ssu.ac.kr



### 문 종 필 (文鍾必)

2000년 숭실대 전기공학과 졸업. 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2009년~현재 한국교통대학교 전기공학과 부교수

Tel : 043-841-5146

Fax : 043-841-5140

E-mail : moon@ut.ac.kr