

마이크로그리드 전력 거래를 위한 기준부하 추정 방법에 대한 연구

A study on the baseline load estimation method for microgrid energy trading

위 영 민*★

Young-Min Wi*★

Abstract

As the environment of power systems changes, the demand and necessity for new electrical energy market are increasing. Especially, efforts to increase the efficiency of electric energy use by using demand response programs are being studied constantly in advanced countries and it is operated as a real market. This paper presents a study on the baseline load estimation required in the new power market, such as demand response, P2P electricity trading etc. The proposed method estimates the baeline load through analysis of the load pattern and verifies the effectiveness of the proposed method using actual data.

요 약

전력 시스템의 환경이 변화함에 따라 새로운 전기 에너지 시장에 대한 수요와 필요성이 증대되고 있다. 특히 수요 반응 프로그램을 활용하여 전력 사용 효율을 높이기 위한 노력은 선진국에서 지속적으로 연구되고 있으며 실제 시장으로 운영되고 있다. 본 논문은 수요반응, 마이크로그리드 간 거래, P2P 전력 거래 등 새로운 전력 시장에서 요구되는 기준부하 추정 방법에 대한 연구를 담고 있다. 본 논문에서 제안하는 기준부하추정 방법은 마이크로그리드 수요자원에 대한 분석을 바탕으로 기준부하추정 알고리즘을 선택하게 하였으며, 실제 데이터를 활용하여 제안된 방법의 실효성을 입증하였다.

Key words : Demand response, Baseline load, Microgrid, Estimation, Energy trading

* School of Electrical and Electronic Engineering,
Gwangju University

★ Corresponding author

E-mail : ymwi@gwangju.ac.kr, Tel:+82-62-670-2035

※ Acknowledgment

This Study was conducted by research funds from Gwangju University in 2018

Manuscript received Jun. 11, 2018; revised Jun. 16, 2018;

Accepted Jun. 20, 2018

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.

1. 서론

전 세계적으로 기후변화대응, 에너지 안보와 같은 이슈로 인해 많은 선진국에서는 신에너지 개발과 보급, 전기에너지 사용 효율화에 대한 필요성을 인지하고 관련 분야 연구개발 및 신규 에너지 시장 창설을 위해 노력 중이다. 국외에서는 기존의 수요관리 프로그램뿐만 아니라 개인과 개인 간의 전력을 공유하는 시스템인 P2P(peer to peer)가 시범적으로 사업화가 되고 있다. 전력회사를 통하지 않고 개인 간의 전력 거래는 아직 초기 단계이나 공유경제의 활성화로 인해 관련 기술이

발달함에 따라 그 영역이 전기에너지분야로 확대 되는 모습이다[1]. 영국의 피클로(Piclo), 미국의 옐로하(Yeloha), 마이크로그리드 샌드박스 등에서 새로운 전력거래 플랫폼 및 실증 사례를 확인할 수 있다[2][3].

국내 전력산업은 그동안 수요관리프로그램 내에서 전기기기의 효율화 및 수요반응을 통해 전기에너지 사용의 효율성을 높이는데 주력해왔다. 최근 정부에서는 전기에너지 사용 효율화 및 에너지신산업 활성화의 일환으로 소규모 분산자원 중개 시장 제도화를 추진 중에 있으면 ‘프로슈머 이웃 간 전력거래’ 실증사업을 진행하고 있다.

신 에너지 산업의 성공적인 안착을 위해서는 신규 사업 혹은 프로그램에 대한 경제성 평가와 에너지 사용 효율화 정도를 판단할 수 있는 기준이 필요하다. 특히 에너지 거래에 있어 절감량 산정을 위한 기준부하 추정 은 새로운 시장이 정착 되기 위해 필요한 가장 중요한 요소 기술이라 할 수 있다. 본 연구에서는 기존 수요자원시장에서 사용 중인 기준부하 추정 방법과 시계열 방법을 조합하여 마이크로그리드 간 전력 거래에 필요한 기준부하 추정 방법을 제안하였으며 대학의 전력 수요 데이터를 이용하여 제안된 방법의 유효성을 검증하였다.

II. 본론

1. 기준부하

소규모 마이크로그리드(microgrid) 단위에서 전력거래를 위해서는 중개사업자(agggregator)가 필요하게 되며, 중개사업자는 전력거래의 투명하고 공정한 정산을 위해 고객의 전력수요 특성에 따른 기준부하추정 기술이 반드시 필요하다.

수요자원의 경우 전력수요 감축량을 계량하는 것이 불가능하기 때문에 전력수요 감축량을 평가하는 절차의 정확성과 신뢰성이 매우 중요하다. 전력시장에서 수요자원의 전력 감축량은 전력수요 감축을 수행하지 않았다면 소비했을 평상시의 전력사용량을 예측한 값에서 전력수요 감축 후 측정된 전력사용량을 차감하여 계산된다. 여기서 전력수요 감축을 하지 않았다면 소비했을 평상시 전력사용량을 추정한 값을 기준부하(BL, Baseline Load)라 정의하며, 수식은 다음과 같다.

$$\text{전력수요 절감량} = \text{기준부하추정량} - \text{실제전력사용량(계측값)} \quad (1)$$

일반적인 기준부하 추정 방법은 과거데이터 선택, 기준부하 추정, 추정된 기준부하 보정 등의 조합으로 이뤄진다.

기준부하 추정은 일종의 전력수요예측이라 할 수 있다. 다만 추정 방법 개발에 있어 예측 정확성을 높이기 위해 복잡한 예측 모형을 쓸 수 없다는 것에 차이점이 있다. 기준부하 추정의 첫 번째 단계는 과거 데이터 선택이며 이것은 기준부하를 추정하려는 날과 유사한 특징을 가지는 과거 데이터를 선택하는 것이다. 예를 들어 평일의 기준부하 추정일 경우, 과거 데이터에서 공휴일 및 주말 데이터를 제외하며, 과거 평일 데이터 중에서 이벤트가 있었던 날의 데이터는 제외시킨다. 두 번째 단계는 기준부하 추정이다. 앞선 단계에서 선택되고 정제된 데이터를 이용하여 기준부하를 추정한다. 추정 방법으로 평균법과 단순회귀분석법이 주로 사용된다. 마지막 단계는 추정된 기준부하를 보정하는 것이다. 기준부하를 추정하는 일의 일기현상 및 기타 요소에 의한 전력수요의 변동성이 발생했을 경우, 이를 추정된 기준부하에 반영해 주기 위함이다.

기준부하 추정을 보정하는 방법은 보정되는 방향에 따라 대칭적(symmetric) 보정과 비대칭적(asymmetric) 방법으로 구분할 수 있다. 대칭적 보정 방법은 기본으로 추정된 기준부하를 상하로 보정하는 것을 의미하며, 비대칭적 보정 방법은 상 방향으로만 보정을 한다. 거래 참여자 입장에서는 대칭적일 경우 아래 방향으로 보정이 될 경우 감축량이 감소할 수 있다.

보정방법은 또한 수학적으로 배수법로 보정하는 방법과 가법으로 보정하는 방법으로 구분될 수 있다. 배수법과 가법은 전력 거래가 일어나는 시간의 앞 시간대를 이용하여 추정된 기준부하와 실제 전력수요와의 비(ratio) 혹은 차(difference)를 이용한 보정 방법들이다.

2. 제안된 방법

본 절에서는 마이크로그리드(microgrid) 간의 전력거래를 위해 필요한 기준부하추정 알고리즘에 대한 내용을 기술한다. 국내·외 다수의 전력 기관에서 운영하는 수요반응 프로그램의 기준부하

추정 방법의 공통점은 참여 고객들에게 다양한 기준부하 추정 알고리즘을 제공한다는 것이다. 또한 북미 전력계통 운영자 중에 하나인 PJM의 경우 기존의 기준부하 추정 알고리즘만으로 고객의 기준부하 추정이 어려울 경우, 해당 고객을 위한 기준부하 추정 알고리즘을 개발하기도 한다. 따라서 본 연구에서도 다양한 마이크로그리드의 전력부하 특성을 반영할 수 있는 다수의 기준부하 추정 알고리즘을 제안된 방법에 포함시켰다.

Table 1. The proposed method for weekdays
표 1. 평일을 위해 제안된 기준부하추정 방법

No.	Calculation	Historical Data Selection	Adjustment	Remarks	
1	Average model	4 similar day Elimination outlier	-	KPX Demand Response Market Rules	
2		4 similar day Elimination outlier	SAA		
3		6 similar day Elimination outlier	-		
4		6 similar day Elimination outlier	SAA		
5		4 similar day	-		
6		4 similar day	SAA		
7		6 similar day	-		
8		6 similar day	SAA		
9		-	1 similar day		-
10		-	1 similar day		SAA

SAA (Symmetric Additive Adjustment) : Difference between average energy use over three-hour period ending one hour prior to event start and average energy use over same three-hour period of CBL[4]

Table 2. The proposed method for weekend
표 2. 주말을 위해 제안된 기준부하추정 방법

No.	Calculation	Historical Data Selection	Adjustment	Remarks
1	Average model	2 similar day Elimination outlier	-	Separation of Saturday and Sunday
2		2 similar day Elimination outlier	SAA	
3		2 similar day Elimination outlier	-	Integration of Saturday and Sunday
4		2 similar day Elimination outlier	SAA	
5	-	1 similar day	-	-
6	-	1 similar day	SAA	-

본 논문에서 제안하는 기준부하 추정 알고리즘은 추정 기본모형, 과거데이터 선택, 일기보정 등의 3가지 요소로 이뤄지면 조합에 따라 표1과 표2와 같이 평일 10가지와 주말 6가지로 구분되어 진다.

평일 기준부하 추정 알고리즘은 기본적으로 현재 국내 전력거래소에서 운영하는 수요자원 시장에서 사용하는 알고리즘을 채용하였으며 절차는 표3에서 확인할 수 있다[5][6]. 수요자원 시장에서 사용하는 알고리즘은 북미에서 운영되는 수요반응 프로그램에서 가장 많이 사용되는 알고리즘이다. 추가적으로 평일 모형9와 모형10의 경우, 마이크로그리드가 대학교일 경우 요일별 전력부하 패턴이 같은 평일(월요일~금요일)에서도 다르게 나타나는 현상을 반영한 알고리즘이며 알고리즘 절차는 표3에서 확인할 수 있다.

국내의 수요자원시장에서는 주말의 수요반응 이벤트가 발생하지 않기 때문에 주말의 기준부하를 추정하는 알고리즘이 지정되어 있지 않다. 본 연구에서 제안하는 마이크로그리드 간의 거래에서는 수요반응 이벤트가 주말에도 발생할 수 있기 때문에 본 연구에서는 주말의 전력수요 특성을 반영한 기준부하 추정 알고리즘을 개발하였다. 주말을 위한 기준부하 추정 알고리즘은 토요일과 일요일을 동일 Day-type 혹은 별도로 보는 것에 따라 구분되어지며 알고리즘 절차는 표4와 같다.

Table 3. Baseline load estimation algorithm procedure for weekdays

표 3. 평일 기준부하 추정 알고리즘 절차

No.	Estimation Procedure
1	Step1] After averaging the last 5 days, remove the day that is less than 75% of the average Step2] If there is a day removed from Step1, add the previous day and repeat Step1. (Up to 10 days can be added) Step3] Select the 4 days in high order among the chosen 5 days from Step2 Step4] Estimate the baseline load by averaging the selected days from Step3
2	After the procedure of Model 1, the following procedure is added. Step5] Calculate difference between average energy use over three-hour period ending one hour prior to event start and average energy use over same three-hour period of CBL Step6] Add the difference value to the baseline load before SAA

3	<p>Step1] After averaging the last 10 days, remove the day that is less than 75% of the average</p> <p>Step2] If there is a day removed from Step1, add the previous day and repeat Step1. (Up to 20 days can be added)</p> <p>Step3] Select 6 intermediate values among the power usage on the chosen 10 days from Step2</p> <p>Step4] Estimate the baseline load by averaging the selected days from Step3</p>
4	<p>After the procedure of Model 3, the following procedure is added.</p> <p>Step5] Calculate difference between average energy use over three-hour period ending one hour prior to event start and average energy use over same three-hour period of CBL</p> <p>Step6] Add the difference value to the baseline load before SAA</p>
5	<p>Step1] Select the days of the last 5 days from the same day-type historical data</p> <p>Step2] Select 4 days in high order</p> <p>Step3] Estimate the baseline load by averaging the selected days from Step2</p>
6	<p>After the procedure of Model 5, the following procedure is added.</p> <p>Step5] Calculate difference between average energy use over three-hour period ending one hour prior to event start and average energy use over same three-hour period of CBL</p> <p>Step6] Add the difference value to the baseline load before SAA</p>
7	<p>Step1] Select the days of the last 10 days from the same day-type historical data</p> <p>Step2] Select 6 intermediate values among the power usage on the chosen 10 days from Step1</p> <p>Step3] Estimate the baseline load by averaging the selected days from Step2</p>
8	<p>After the procedure of Model 7, the following procedure is added.</p> <p>Step5] Calculate difference between average energy use over three-hour period ending one hour prior to event start and average energy use over same three-hour period of CBL</p> <p>Step6] Add the difference value to the baseline load before SAA</p>
9	<p>Step1] Select the last day from the past data in the same day-type</p> <p>Step2] Estimate the selected day as a baseline load</p>
10	<p>After the procedure of Model 9, the following procedure is added.</p> <p>Step5] Calculate difference between average energy use over three-hour period ending one hour prior to event start and average energy use over same three-hour period of CBL</p> <p>Step6] Add the difference value to the baseline load before SAA</p>

Table 4. Baseline load estimation algorithm procedure for weekend

표 4. 주말 기준부하 추정 알고리즘 절차

No.	Estimation Procedure
1	<p>Step1] Select the days with the same day-type for the past 3 weeks, calculate the average, and remove the day that is less than 75% of the average.(Saturdays and Sundays are different day-types)</p> <p>Step2] Select 2 days in high order</p> <p>Step3] Estimate the baseline load by averaging the selected days from Step2</p>
2	<p>After the procedure of Model 1, the following procedure is added.</p> <p>Step5] Calculate difference between average energy use over three-hour period ending one hour prior to event start and average energy use over same three-hour period of CBL</p> <p>Step6] Add the difference value to the baseline load before SAA</p>
3	<p>Step1] Select the days with the same day-type for the past 3 weeks, calculate the average, and remove the day that is less than 75% of the average.(Saturdays and Sundays are the same day-type)</p> <p>Step2] Select 2 days in high order</p> <p>Step3] Estimate the baseline load by averaging the selected days from Step2</p>
4	<p>After the procedure of Model 3, the following procedure is added.</p> <p>Step5] Calculate difference between average energy use over three-hour period ending one hour prior to event start and average energy use over same three-hour period of CBL</p> <p>Step6] Add the difference value to the baseline load before SAA</p>
5	<p>Step1] Select the last day from the past data in the same day-type</p> <p>Step2] Estimate the selected day as a baseline load</p>
6	<p>After the procedure of Model 5, the following procedure is added.</p> <p>Step5] Calculate difference between average energy use over three-hour period ending one hour prior to event start and average energy use over same three-hour period of CBL</p> <p>Step6] Add the difference value to the baseline load before SAA</p>

3. 사례연구

본 절에서는 개발된 기준부하 추정 방법을 광주 대학교 실제 전력수요 데이터에 적용해 보았다. 사례연구를 위해 사용된 데이터는 2017년 광주대학교 교육일반용 시간별 부하 데이터이며 기준부하 추정 시간은 일반적으로 수요반응 프로그램의

이벤트가 낮에 발생할 확률이 높기 때문에 오후 2시간 (14시 ~ 15시)로 정했다. 특수일(평상일 제외), 특수일±1은 과거데이터에서 제외하였다.

사례연구된 기준부하 추정 방법들의 정확성을 평가하기 위해 본 연구에서는 절대평균오차율을 적용하였으며 수식은 아래와 같다.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\left| \frac{P_i^{CBL} - P_i^{Actual}}{P_i^{Actual}} \right| \times 100 \right) \quad (2)$$

여기서 n 은 추정된 기준부하 시간의 총 개수이며, P_i^{CBL} 과 P_i^{Actual} 은 i 번째 추정된 기준부하량과 실제 전력수요 사용량이다.

대학교 전력사용량이기 때문에 학기기간 (2017.04.24. ~ 2017.04.30.)과 방학기간 (2017.07.24. ~ 2017.07.30.)으로 구분하여 개발된 기준부하 추정 알고리즘 사례연구를 일주일씩 진행하였다.

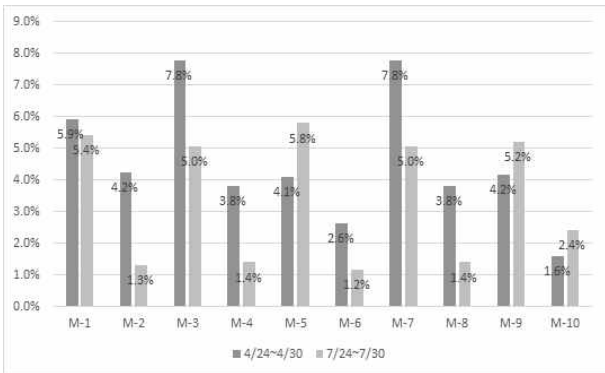


Fig. 1. MAPE of Weekday case studies
그림 1. 평일 사례연구 오차율

평일에 대한 제안된 기준부하 추정 사례연구 결과는 그림1과 같다. 학기 기간의 경우 모형10(1개의 유사일과 일기보상 조합)이 가장 좋으나 방학 기간에서는 모형6(4개의 유사일과 일기보상 조합)가 가장 낮은 오차율을 보였다. 공통적으로 일기보상이 들어가는 조합이 포함되지 않은 조합에 비해 정확도가 개선됨을 확인할 수 있었다. 모델10의 경우 알고리즘이 단순한 모형인데 두 개의 기간 모두에서 낮은 오차율을 보인다. 이러한 결과는 학교의 전력사용량이 가까운 유사일에 매우 유사한 전력사용량 패턴을 보임을 알 수 있는 결과이다.

주말 중 하나인 토요일(4월 29일, 7월 29일)의 경우 학기 기간에서는 주말 모형6(1개의 유사일과 일기보정 조합)이 가장 좋은 정확성을 보이며, 방학 기간의 경우에는 모형4(2개의 유사일, 일기보정,

토·일 통합 과거데이터 조합)이 가장 낮은 오차율을 보임을 그림2에서 확인할 수 있다. 일요일(4월 30일, 7월 30일)의 경우 학기 기간에서는 주말 모형 4(2개의 유사일, 일기보정, 토·일 통합 과거데이터 조합)가 가장 좋은 정확성을 보이며, 방학기간의 경우에는 모형6(1개의 유사일과 일기보정 조합)이 가장 낮은 오차율을 보임을 그림3에서 확인할 수 있다.

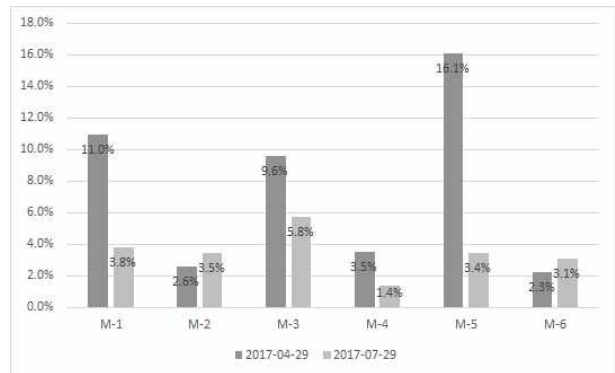


Fig. 2. MAPE of Weekend(Saturday) case studies
그림 2. 토요일 사례연구 오차율

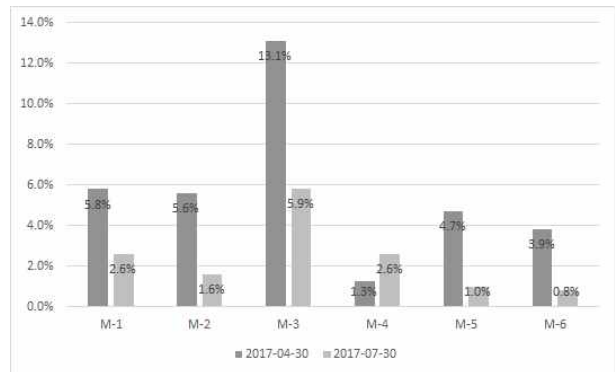


Fig. 3. MAPE of Weekend(Sunday) case studies
그림 3. 일요일 사례연구 오차율

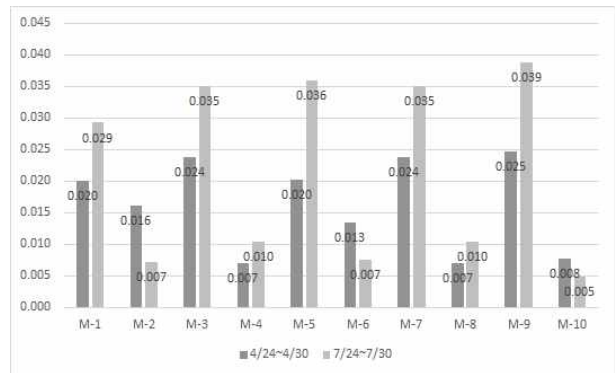


Fig. 4. Standard deviation of weekday MAPE
그림 4. 평일 오차율의 표준편차

주말 사례연구 결과에서는 학기 중일 때 모형별로 오차율 편차가 크나 방학기간에서는 편차가 줄어든다. 또한 평일과 마찬가지로 일기보상이 들어가는 조합이 포함되지 않은 조합에 비해 정확도가 개선됨을 확인할 수 있었다.

추가적으로 같은 평일에서 기준부하 추정 모형별로 그림4와 같이 오차율의 표준편차를 보인다. 이를 해석하면 평일 모형10은 다른 모형보다 평일의 요일별(월요일~금요일) 오차율의 차이가 작다는 것을 의미한다. 해당 실증 장소에 가장 적합한 평일 기준부하 추정 모형은 다른 모형에 비해 오차율도 낮고 요일별로 편차가 작은 모형10이 적합하다고 할 수 있다.

위와 같은 사례연구 결과를 확인했을 때 동일 마이크로그리드라도 기준부하 추정 방법은 요일이나 기간에 따라 적합한 모형이 달라짐을 확인할 수 있었다. 따라서 마이크로그리드 간의 전력 거래를 위한 중개사업자는 다양한 기준부하 추정 모형을 통해 마이크로그리드별로 적합한 기준부하 추정 모형을 선택할 수 있는 기능이 있어야 한다는 것을 보여준다.

III 결론

본 논문에서는 에너지 신사업 관련 마이크로그리드 간 전력 거래에 필요한 기준부하 추정 방법에 대한 연구 내용을 담고 있다. 본 논문에서 제안된 방법은 마이크로그리드의 전력부하 특성을 고려한 다양한 방법의 기준부하추정 방법을 제안하였으며 기존 수요자원 시장에서 고려하지 못한 주말 기준부하추정 방법 또한 포함하였다. 제안된 방법들의 비교검증을 위해 광주대학교 전력사용량 데이터 활용하였으며 사례연구를 통해 제안된 방법의 유효성을 검증하였다.

References

[1] C. Park and T. Yong, "Comparative review and discussion on P2P electricity trading," *Energy Procedia*, vol. 128, pp. 3-9, 2016.DOI:10.1016/j.egypro.2017.09.003
[2] C. Chang, J. Wu, M. Cheng, Y. Zhou, C.

Long, "A Bidding System for Peer-to-Peer Energy Trading in a Gridconnected Microgrid," *Energy Procedia*, vol. 103, pp. 147-152, 2016.DOI:10.1016/j.egypro.2016.11.264

[3] M. Gregori, J. Matamoros, D. Gregoratti, "Demand response aggregators in microgrid energy trading," *2016 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing*, 2016.DOI:10.1109/GlobalSIP.2016.7905977

[4] NYISO, "Performance Evaluation Methods for Capacity Demand Response Programs," 2009.

[5] Y. Wi, "A Study on the Baseline Load Estimation Method using Heating Degree Days and Cooling Degree Days Adjustment," *Journal of the KIIEE*, Vol. 66, No. 5, pp. 745-749, 2017.DOI:10.5370/KIIEE.2017.66.5.745

[6] KEPRI, "Development of Integrated Demand Management Portal based on demand forecasting," 2015.

BIOGRAPHY

Young-Min Wi (Member)

2005 : BS degree in Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University.

2009 : MS degree in Electrical Engineering, Korea University.

2013 : PhD degree in Electrical Engineering, Korea.

2013~2014 : Engineer, Korea

Electrotechnology Research Institute (KERI)

2014~Present : Assistant Professor, Gwangju University

