

# 디지털 도어락 시스템을 위한 파일럿 기반

## 신호검출 성능

### Performance of pilot-based signal detection for digital IoT doorlock system

이 선 의\*, 황 유 민\*, 선 영 규\*, 윤 성 훈\*\*, 김 진 영\*★

Sun Yui Lee\*, Yu Min Hwang\*, Young Ghyu Sun\*, Sung Hoon Yoon\*\*, Jin Young Kim\*★

#### Abstract

This paper proposes a signal detection method for IoT door lock system which is a new application field of VLC (Visible Light Communication). This paper describes the signal detection technique for user recognition that needs to be overcome in order to apply VLC to door lock system which has a demand for new technology due to security issue. This system has security and high signal detection characteristics because it uses existing infrastructure to communicate with visible light. In order to detect the signal using FFT, the signal of the user who accesses the authentication channel based on the pilot signal is detected, and the performance of the false alarm probability and detection probability is shown in the channel model.

#### 요 약

본 논문은 VLC (Visible Light Communication)의 새로운 응용 분야인 IoT 도어락 시스템을 위한 신호검출 방법을 제안한다. 보안성에 대한 이슈로 새로운 기술에 대한 수요가 있는 도어락 시스템에 VLC를 적용하기 위해서 극복해야 되는 사용자 인식을 위한 신호 검출 기법에 대해 설명한다. 이 시스템은 기존 인프라를 사용하여 가시광으로 통신을 수행하기 때문에 보안 및 높은 신호 검출 특성을 가진 것을 보인다. FFT를 사용한 신호 검출을 위하여 파일럿 신호를 기반으로 인증 채널에 접근한 사용자의 신호를 검출하고 이에 따른 채널 모델에서 오경보 확률과 검출 확률의 성능을 보인다.

*Key words : Visible Light Communication(VLC), Quadrature Amplitude Modulation(QAM), Pulse Position Modulation(PPM), Frequency Shift Keying(FSK), Signal detection*

---

\* Dept. of Wireless Communications Engineering, KwangWoon University

\*\* Korea Global Engineering co., ltd.

★ Corresponding author

E-mail : jinyoung@kw.ac.kr, Tel : +82-02-940-5567

※ Acknowledgment

This work was, in part, supported by the development of IoT doorlock monitoring system for smart building using colorgrid and camera of Local Promising Small and Medium Business Support Project funded by Small and Medium Business Administration(S2613746), Republic of Korea.

Manuscript received Sept. 06, 2018; revised Sept. 14, 2018; Accepted Sept. 14, 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.

## I. 서론

현재 사용되는 빌딩, 아파트, 상가 등 내의 도어락은 각각 개별로 운영되어 간단한 조회만으로 입출입이 가능하도록 되어 있다. 비밀번호와 ID가 등록된 RFID 카드 등으로 사용자가 출입할 수 있을 경우 해킹을 당할 수 있는 주요 경로가 되어 미식별자가 쉽게 도어락의 보안을 통과할 수 있게된다[1]. 따라서 스마트 빌딩용 IoT 도어락은 해킹을 당하여 미식별자가 출입하는 것을 방지하고 사용자를 더욱 쉽게 인지하는 기술의 요구에 맞추어 발전하고 있다. 이는 인증된 단말기와 해당 단말기에 등록된 사용자가 아니면 IoT 도어락을 지나갈 수 없도록 영상 인식 및 스마트폰과 연동된 가시광 통신 기술이 적용되어 관리되는 시스템이 제안되었다 [2]. IoT가 적용되어 가시광 통신으로 운영되는 관제 시스템은 실시간으로 사용자를 추적하고 돌발 상황 시 관제실 내부에서 각 IoT 도어락을 수동제어 할 수 있어 보안성을 강화할 수 있는 기술이다. 기존 인프라 LED 조명과 CCTV등을 활용하여 가시광 통신으로 인증을 하는 시스템은 보안성 향상, 시설물 보안 감시, 스마트폰 앱 기반의 시설물 모니터링 및 통제 등 다양한 활용으로 확장 할 수 있다. 이는 최근 수요가 증가하는 IoT 도어락 시장을 공략하는 중요한 기술적 요소로 기존 RF를 사용하는 시스템과 차별성을 가져가서 보안성, 호환성, 신뢰성, 사용자 편의성을 개선하는 시너지 효과를 창출할 수 있다.

가시광 통신을 이용한 보안 시스템 개발에는 실내외 환경에서 기술적인 필요사항이 존재한다 [3]. 가시광 통신 기반의 사용자 인증 시스템의 경우 사용 환경이 실내/실외 복합적인 요소가 있기 때문에 인증에 사용하는 가시광 신호를 검출하는 성능이 중요하다. 따라서 가시광 통신의 채널 환경에 따라 파일럿 신호의 검출 성능을 높일 수 있는 방식을 제안한다. 2장에서 가시광 통신이 도어락 시스템에 적용하기 위해 실내/실외 혼합 환경에 특화된 신호 검출 기법에 대해서 설명하고 3장에서 시스템의 성능을 보인다. 마지막으로 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 채널 모델

### 1. 가시광 신호 특성

여기에 가시광 통신은 사용자가 이용하기 충분한

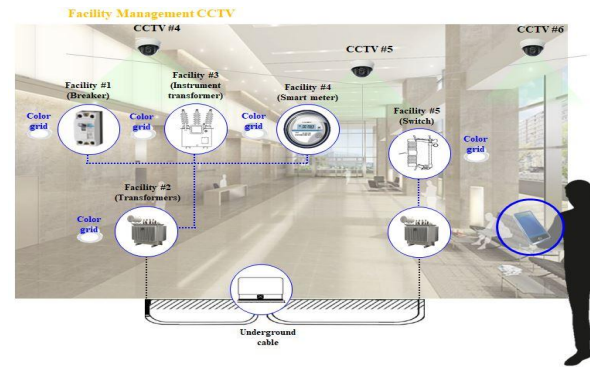


Fig. 1. Visible light communication IoT doorlock system for smart building.

그림 1. 스마트 빌딩용 가시광 통신 IoT 도어락 시스템 구성

주파수 자원을 가지고 있다. 때문에 이 특성은 저 전력 보안성 서비스 시스템에 적합하다. 빛의 직진성은 수신기 외에 신호가 물리적으로 유출되지 않고 도청자의 신호 인터셉트를 차단할 수 있는 가시광 통신의 중요 요소이다. 그림 1은 제안된 시스템을 구성한 시스템 관제 서비스를 나타낸다. 기존 협력 통신 시스템에서 신호를 검출하기 위한 신호로 기존 사용자와 시스템간의 동기 신호로 사용하는 Pilot 신호를 사용하는 것이 소개되었다 [4]. Pilot 신호를 이용하여 협력 통신을 수행하는 방식이 가시광 통신의 신호 특성을 이용하여 스펙트럼 센싱을 수행하는 데 적합하다. 그 이유는 일반적으로 파일럿 신호의 파워 경향이 전체 전송 파워의 1-10%를 차지 하기 때문이다. 우리는 AWGN에서 약한 결정론적 가시광 신호의 검출을 고려한다. 신호 전력은 중심 주파수 50MHz를 중심으로 실험적으로 선정된 대역폭  $B=10\text{MHz}$  내에 한정된다. 또한 우리는 주어진 대역폭 외에는 사용자가 활동하지 않는다고 가정하여 최초 사용자 인식과 인증을 동시에 수행하여 도청자가 물리적으로 접속할 수 있는 경로를 차단할 수 있다. 도어락에 접근한 사용자는 송신기에서 Pilot 신호를 보내고 가시광 기지국의 응답에 포함된 사용 허가 주파수 대역을 사용하게 된다고 가정한다.

가시광 인증 시스템의 감지 수신기는 CCTV, LED 조명 등은 Pilot 신호에 대한 완전한 정보를 가지며 coherent 과정을 수행할 수 있다. 특정 주파수에 Poilt 신호를 포함하고 있는 가시광 통신 신호는 짧은 순간에만 주어진 주파수 대역에 대해서 스펙트럼 센싱을 실행해도 아주 미약한 출입자의 LOS 신호를 검출해 낼 수 있다. 따라서 일정 공간

에 출입자 인식/인증 구역을 설정하고 이에 대한 신호 검출 채널을 모델링 할 수 있다. FFT 기반의 Pilot 스펙트럼 센싱 기법은 신호의 위치, 에너지 분포로 주파수 센싱을 하는 방법으로써, 이중 Pilot 의 에너지 분포 값을 이용하여 주파수를 센싱하는 방법은 크게 2가지로 나타낼 수 있다. 그 방법은 Single Dwell과 Multiple Dwell 기술로 설명한다 [5].

## 2. 도어락 시스템의 전송 가시광 채널

기존 QAM 변조 신호의 파일럿 주파수를 베이스 밴드로 복조하여, 40kHz의 낮은 스펙트럼을 통과시키는 필터링을 거친다. 필터링 된 신호는 다운 샘플링 되는데 이때 비율은 약 1/400이다. 이후에는 FFT를 거치게 되는데 FFT 길이는 반복되는 센싱 주기에 따라 변동적이게 된다. 앞서 언급한 Single Dwell은 FFT 결과의 제곱 값의 최대값을 Threshold 값과 비교하는 방식이며, Multiple Dwell 기술의 경우는 각각의 FFT 결과 제곱 값의 최대값을 Threshold 값과 비교하여 신호 검출을 판단하고, 검출된 비교값 들을 모두 더해 Threshold 값보다 크면 신호가 있다고 판단하는 방식과 모든 dwell의 FFT 결과의 제곱 값들을 주파수에 따라 평균을 구하고 평균값들의 최대값과 Threshold 값과 비교하여 검출하는 방식으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 가시광 통신의 특성에 맞게 모든 dwell의 FFT 결과의 제곱값들을 주파수별 평균을 구하고 평균값들의 최대값과 Threshold 값과 비교하여 검출하는 방식을 사용하였다. 가시광 통신의 주파수 대역이 넓고 멀티패스를 제외한 LOS 신호가 가지는 평균의 최대값은 신호를 검출하는 데 적합하다. Threshold 값을 결정하기 위해 CFAR(Constant False Alarm Rate) 알고리즘을 적용하였다. 수신기로부터 수신한 신호를 이라 할 수 있다. 적용한 가시광 통신 실험 파라미터를 적용한 모델을 적용하여 확률 밀도 함수(PDF : Probability Density Function)를 구하면에 대한 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f_{Y_n}(y|H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2_N}} \exp\left(-\frac{(y-\mu_s)^2}{2\sigma^2_N}\right), \quad (1)$$

$$f_{Y_n}(y|H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2_U}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2_U}\right), \quad (2)$$

여기서  $\mu_s$ 는 PU 사용자 신호의 평균값을 나타낸

다. 가시광기지역 내의 LOS와 NLOS 결정하여 LOS만 선택하는 Local Decision이 실행된 후, 이 결과들은 PU 사용자의 존재 유·무를 판별하는 데 사용된다. Local Decision에 사용되는 신호의 식은 다음과 같이 전개할 수 있다.

$$y_U = \sum_{n=1}^N \hat{y}_n, \quad (3)$$

여기서  $\hat{y}_n$ 은 Local Decision을 수행한 수신 신호의 n번째 결과이다.  $H_0, H_1$ 에서  $y_U$ 의 PDF는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{Y_U}(y|H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2_U}} \exp\left(-\frac{(y-\mu_U)^2}{2\sigma^2_U}\right), \quad (4)$$

$$f_{Y_U}(y|H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2_U}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2_U}\right), \quad (5)$$

위 식에서  $\mu_U$ 과  $\sigma_U^2$ 은 각각  $\hat{y}_n$ 의 평균과 분산을 나타낸다. PU의 주파수가 주요 대역에서 사용 중인 경우, PU를 검출하는 확률은 DF(Detection Probability)이고 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{FA} = \int_T^\infty f_X(x|H_0) dx, \quad (6)$$

위 식에서,  $P_{FA}$ 는 False Alarm Rate,  $f_X(x|H_0)$ 는  $H_0$ 에서 PU가 존재 하지 않을 시의 확률 밀도 함수, 이를 만족하는 값에 대한 Threshold 값을 설정한다.

## III. 가시광 인증 채널 전송 및 수신

주파수 대역할당을 위하여 비콘 신호를 전송하고 응답 신호를 단말기가 수신하게 되면 채널 상태와 거리, 송수신 각도를 알 수 있다 [6]. 이것을 이용하여 Mary FM, Mary QAM, Mary PPM 방식을 정하게 된다. 비콘 신호를 수신한 PD의 신호 특성을 살펴보면 LOS 경로에서 수신한 파워가 큰 신호와 NLOS 경로에서 수신한 상대적으로 매우 낮은 파워 신호로 구분된다.

비콘 신호는 FM, QAM 방식으로 전송하여 거리와, 수신각도를 알 수 있게 한다. 가시광 통신은 사용자가 비콘 신호를 기지역으로 전송하여 기지역이 채널 상태를 판단하여 사용 가능한 스펙트럼 대

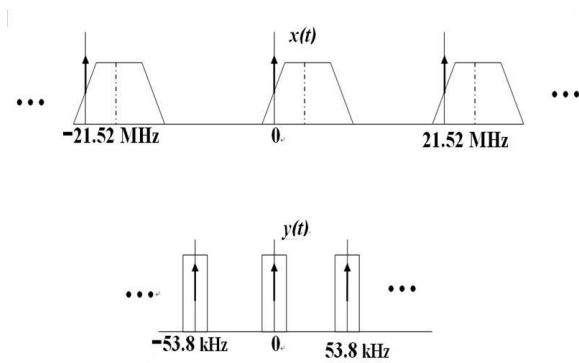


Fig. 2. Performance of pilot based signal detection for FFT.  
그림 2. FFT 기반 파일럿 기반 신호검출 성능

역을 할당하여 주고 이 때 LOS가 아닌 신호는 일정 파워를 충족시키지 못하는 부분을 차단하게 된다.

제안된 가시광 통신에 사용되는 융합된 변조 신호는 Mary QAM과 서로 직교하는 주파수 심벌, 신호 위치 심벌을 이용하여 전송한다. 이때 채널의 유저 수와 도달거리 상태에 따라서 보내는 심벌의 개수를 변화시켜 이에 따른 SNR 변화가 생기고 SNR 변화를 식으로 나타낼 수 있다. 스펙트럼 센싱을 가시광 통신에서 사용하기 위하여 가시광 신호의 사용자 존재 유무를 파악하는 방법을 설명한다 [7]. 제안한 가시광 통신 모델에서 다중 경로를 제외하고 LOS 신호만으로 선택적 사용을 하는 모델에서 다중 사용자의 LOS만을 선택하여 사용하게 된다. 이 때 스펙트럼 센싱을 적용하는 가시광 수신 신호를 이라 할 때 가설 검증 문제로 수식화할 수 있다.

$$R(k) = \begin{cases} AWGN(k) & H_0 \\ D(k) & H_1 \end{cases} \quad (7)$$

$$D(k) = S(k) \otimes H(t) + AWGN(k) + \sum_{n=1}^n NLOS(n)$$

위 식에서  $H_0, H_1$ , 은 각각 사용자가 존재 하지 않는 신호와 존재하는 신호의 가설을 나타낸다.  $AWGN(k)$  는 k번째의 잡음 샘플을 나타내고는 LOS수신 가시광 신호와 노이즈, 다중 경로를 통해 수신된 NLOS 신호의 합을 나타낸다. 여기서는 다중 경로를 통하지 않은 수신부로 직접 수신한 가시광 통신의 LOS 신호를 나타낸 것으로 다중 경로를 제외한 것이다. 는 가시광 통신 채널의 임펄스 응답을 나타낸다. 실험은 장비를 사용하여 실제 가시광 통신 인증 채널을 테스트한다. 장비는 실제 QAM, FM, CSK을 변조하고 VLC 모듈을 전송한다. 다음으로, 장비는

실제 채널을 통과하는 가시광 신호 심벌을 수신한다.

VLC 송신기와 수신기 모듈은 50MHz의 중심 주파수에서 10MHz의 대역폭을 갖는다. 실험 절차는 변조 심벌을 증가시키면서 첫 번째 오류가 발생하는 Mary QAM을 찾는 것이다. 실험 조건을 표 1에 나타낸다. 50MHz 최적화 된 VLC 모듈의 중심 주파수를 설정하고 통신 파라미터를 변경하여 최적의 전송 조건을 찾는다. 실제 사용자의 유무를 검출하기 위해 신호를 확인하고 이를 만족한 신호의 일정 세기의 Threshold 값을 설정한다.

실내 광 무선 채널을 통과하는 가시광 심벌은 수신기 모듈에 의해 3m 거리에서 인식되는 것을 가정하였다. 수신된 신호는 Rx 모듈에서 16QAM RF 심볼 신호로 변환된다.

Table 1. Simulation parameters.

표 1. 실험 변수값

parameter	value
sampling rate	1M [S/sec]
carrier frequency	50 [MHZ]
transmission gain	18-21[dB]
receiver gain	3 [dB]
Root Raised Cos Filter	Alpha 1.0
symbol rate	250-1.25M [symbol/sec]
QAM M-ary	16-256
distance	3 [m]
channel	Visible light authentication channel Rayleigh Rician

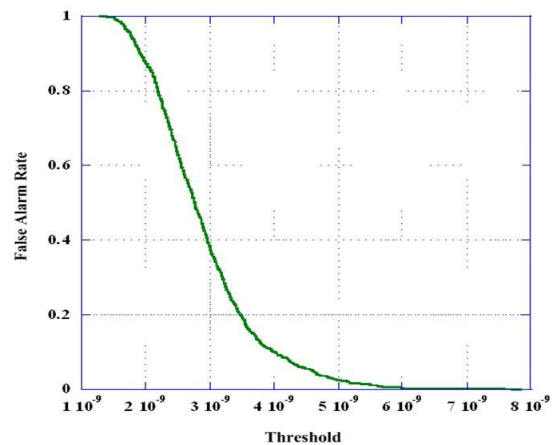


Fig. 3. Error alarm rate depending on threshold.

그림 3. 임계값에 따른 오류 경보율

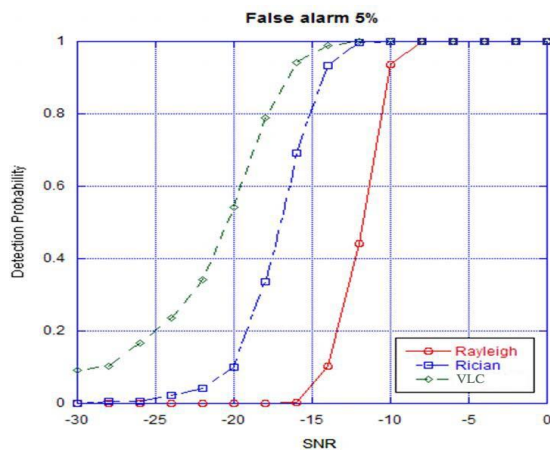


Fig. 4. Detection probability depending on SNR.  
그림 4. SNR에 따른 검출 확률

그림 3은 임계값에 따른 오경보 확률의 변화를 나타낸다. 사용자의 신호를 검출하기 위해 파일럿 신호를 비트 스트림으로 표현되고 비트 스트림은 송신기로부터 전송된 비트와 비교된다. 그림 4는 FFT 방식을 이용하여 가시광 인증 시스템을 적용한 채널에서 신호를 검출하는 검출 확률을 나타낸 그래프이다. 기존 무선 채널 Rayleigh, Rician에서 검출 확률의 성능을 보이고 적용하는 가시광 도어락일 경우 인증 채널은 LOS 환경이되어 더 낮은 SNR 값에도 높은 성능을 보인 것을 볼 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 기존 인프라를 사용하여 가시광으로 IoT 도어락 시스템을 위한 신호 검출 기법을 제안하였다. FFT를 사용한 신호 검출을 위하여 파일럿 신호를 기반으로 인증 채널에 접근한 사용자의 신호를 검출하고 이에 따른 채널 모델에서 오경보 확률과 검출 확률의 성능을 보였다. 기존 RF를 이용한 도어락 시스템의 경우 성능을 비교하기 위하여 RF 채널 모델 2가지를 비교하여 제안된 가시광 통신 기반의 사용자 인증 시스템 채널에서 파일럿 신호 기반 검출 성능을 비교하여 우월함을 보였다. 실제 시스템 구현을 위해서는 실내/실외의 한정된 공간에서 일정 범위에 사용자가 접근하면 인증하는 것이기 때문에 가시광 채널을 사용하는 인증은 LOS가 될 확률이 높고 이는 파일럿 신호를 이용하면 검출 성능을 기존보다 약 10dB 이상 낮은 SNR에서 검출할 수 있는 것을 보였다. 따라서 새로운

IoT 도어락 관제 시스템을 가시광 통신으로 구현할 경우 보안/차폐성 및 높은 신호검출 성능으로 유리한 것을 알 수 있다.

#### References

- [1] SH. Elgala, R. Mesleh, and H. Haas, "Indoor optical wireless communication: Potential and state-of-the-art," *IEEE Commun. Mag.*, vol.49, no.9, pp.56 - 62, 2011.  
DOI:10.1109/MCOM.2011.6011734
- [2] T. Mukai and S. Nakamura, "White and UV LEDs," *OYO BUTURI*, vol.68, no.2, pp. 152-155, Feb. 1999.
- [3] T. Tamura, T. Setomoto and T. Taguchi, "Fundamental characteristics of the illuminating light source using white LED based on InGaNse semiconductors," *IEEJ Trans. Fundamentals and Materials*, vol.120, no.2, pp.244-249, 2000.  
DOI:10.1541/ieejfms1990.120.2\_244
- [4] T. Taguchi, "Technological innovation of high-brightness light emitting diodes (LEDs) and a view of white LED lighting system," *OPTRONICS*, vol.19, no.228, pp.113-119, 2000.
- [5] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity-Part I: System description," *IEEE Trans. Communication*, vol.51, no.11, pp.1927-1938, 2003.  
DOI:10.1109/TCOMM.2003.818096
- [6] J. M. Kahn and J. R. Barry, "Wireless infrared communications," in *Proc. of the IEEE*, vol.85, no.2, pp.265-298, 1997.
- [7] S. D. Personick, "Receiver design for digital fiber optic communications systems, I and II," *The Bell System Technical Journal*, pp.843-886, 1973.
- [8] R. G. Smith and S. D. Personick, *Semiconductor Devices for Optical Communication*, Springer-Verlag, 1980.
- [9] J. R. Barry, *Wireless Infrared Communications*, Kluwer Academic Publishers Norwell, 1994.
- [10] R. M. Gagliardi and S. Karp, *Optical Communications*, Wiley-Interscience, 1976.

---

**BIOGRAPHY**


---

**Sun-Yui Lee** (Member)

2013 : BS degree in Wireless Communications Engineering, KwangWoon University.  
2013~present : PhD Course in Wireless Communications Engineering, KwangWoon University.

**Jin-Young Kim** (Member)

1998 : PhD degree, Dept. of Electronics Engineering, Seoul National University.  
2001 : Senior Research Engineer, SK Telecom Networks Research center.  
2001~ present: Professor in Dept of Wireless Communications Engineering, KwangWoon University.

**Yu-Min Hwang** (Member)

2012 : BS degree in Wireless Communications Engineering, KwangWoon University.  
2012~present : PhD Course in Wireless Communications Engineering, KwangWoon University.

**Young-Ghyu Sun** (student Member)

2018 : BS degree in Wireless communications Engineering, KwangWoon University.  
2018~present : MS Course in Wireless Communications Engineering, KwangWoon University.

**Sung-Hoon Yoon** (Member)

2000 : BS degree in Materials Engineering, Seoul national University of Science and Technology.  
2003 : MS degree in Materials Engineering, HanYang University.

2006~2010 : Taeyoung Construction Co. ltd.  
2010~2017 : Daewoo Engineering & Construction Co. ltd.  
2018~present : Korea Global Engineering co. ltd.  
2018~present : PhD course in Dept of Energy Grid, SangMyung University