

스마트폰 무선충전용 강압 컨버터 설계 및 제작

박종범* · 신지희* · 안성득* · 임학진* · 고윤석**

Design and Making of a Buck Converter For Smart Phone Wireless Charging

Jong-Beom Park* · Ji-Hee Shin* · Sung-Deuk Ahn* · Hak-Jin Lim* · Yun-Seok Ko**

요 약

본 연구에서는 마이크로 컨트롤러를 기반으로 한 PWM 제어 기술을 통해 스마트폰 무선충전을 위한 강압 컨버터를 설계 및 제작하였다. 전압센서를 이용해 출력전압이 기준전압을 따라가도록 피드백 제어 회로를 제작하였다. 강압 컨버터로 311V를 12V 로 출력하고 DC 전압 12V를 무선으로 연결하여 5V 충전 전압을 출력한다. 실험을 통해 스마트폰 무선 충전용 강압 컨버터의 유효성을 확인하였다.

ABSTRACT

In this research, buck converter was designed and manufactured to improve the wireless charging of smartphone through PWM control technology based on micro controller. A feedback control circuit was fabricated using a voltage sensor so that the output voltage follows the reference voltage. The buck converter, 311V is output as 12V, DC voltage 12V is connected wirelessly, and 5V charge voltage is output. We also confirmed the availability of the buck converter for wireless charging of smart phone through experiments.

키워드

Buck Converter, Micro-Processor Control, Pulse Width Modulation, LC Filter, Wireless Charging
강압 컨버터, 마이크로프로세서, PWM, LC 필터, 무선 충전

1. 서 론

최근 스마트폰, 태블릿 PC 등 휴대용 멀티미디어 기기들의 사용이 급격히 증가하고 있으며 시장 또한 계속 확대되어 가고 있다. 이러한 휴대용 기기들은 보다 소형·경량 및 고효율의 성능을 제공하기 위해 더욱 높은 사양이 요구되며 이에 따라 더 많은 소모 전력이 발생하게 된다. 이로 인해 높은 효율을 구현할

수 있고 출력 전압을 입력 전압보다 높이거나 낮춰 생성할 수 있는 장점이 있는 DC-DC 변환기가 최근 각광을 받고 있는 추세이다. DC-DC 강압 컨버터는 입력 직류 전압보다 낮은 직류 전압을 필요로 할 때 사용하는 전력 변환기이다. 이러한 DC-DC 컨버터는 모든 신호 체인 디바이스에 안정된 전원을 공급하기 위해 필요하며 안정된 동작과 높은 효율을 유지하기 위해서는 스위칭 컨트롤을 필요로 한다[1-6].

* 남서울대학교전자공학과 (whdja04020@naver.com, hakjori2801@naver.com, dksjdemr523@naver.com, sjh37046@naver.com)

** 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과

· 접수 일 : 2017. 06. 16
· 수정완료일 : 2017. 07. 13
· 게재확정일 : 2017. 08. 01

· Received : Jun 16, 2017, Revised : July 13, 2017, Accepted : Aug 01, 2017

· Corresponding Author : Yun-Seok Ko

Dept. of Electronic Engineering, Namseoul University,
Email : ysko@nsu.ac.kr

따라서 본 논문에서는 8 비트 마이크로프로세서 ATmega128을 이용하여, DC-DC 컨버터의 기본적인 형태인 강압 컨버터를 설계 및 제작하며, 이를 기반으로 회로설계를 통한 이론적 해석과 스마트폰 무선충전 실험을 통한 특성을 제시하고자 한다.

II. 시스템 설계 및 이론

설계된 컨버터는 311[V]의 DC전압을 입력받아 마이크로프로세서 타이머/카운터 기능을 이용하여 PWM(Pulse Width Modulation) 파형을 스위칭 소자인 MOS-FET에 인가시켜주며, A/D 변환기능을 이용하여 DC-DC 컨버터의 출력 전압의 변동을 피드백 회로를 통하여 값을 받아 시비율을 조절하여 일정한 12[V]의 출력전압을 유지하는 방식으로 구동된다.

2.1 DC-DC Buck Converter 동작 및 구성 이론

강압 컨버터는 입력전압보다 출력전압이 낮은 컨버터이다. 설계된 컨버터의 기본적인 구성은 스위칭을 위한 소자와 이를 평활하기 위한 LC필터부와 피드백 회로를 위한 다이오드로 구성된다. 그림 1은 PWM 신호에 의해 스위칭 소자가 On, Off된 상태의 등가 회로를 나타낸다.

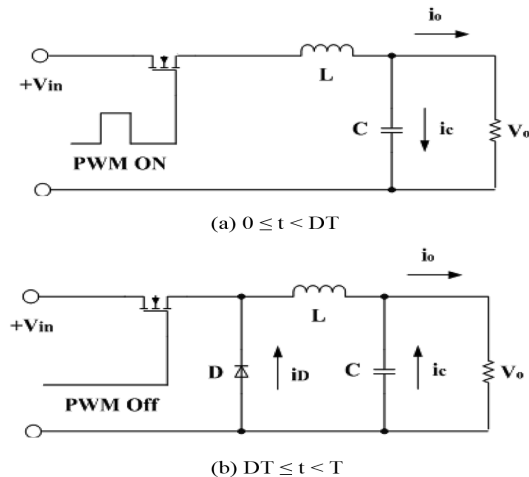


그림 1. 강압 컨버터 기본 등가회로
Fig. 1 Buck converter basic equivalent circuit

인덕터 L은 전류의 흐름을 제어하며, 인덕터의 전

류는 선형적으로 증가하게 된다. 이때에 커패시터의 전압도 증가하게 된다. 스위칭 주파수는 고주파수가 될수록 인덕터와 커패시터의 용량이 감소해 소형화시킬 수 있다. 하지만 그에 비례하여 스위치의 전력손실이 증가하기 때문에 변환 효율이 낮아져 스위칭주파수를 무조건 높일 수는 없다. 따라서 본 논문에서는 스위칭 주파수를 15kHz로 설정하였다[7].

2.2 PWM 제어 이론

본 연구에서는 ATMEL사의 Atmega128에서 제공하는 PWM의 4가지 모드 중 다른 모드에 비하여 약 2배의 주파수를 갖는 고속 PWM 모드를 사용한다. 그림 2는 고속 PWM 모드를 보인다. 먼저 ICR1을 이용하여 스위칭 주파수가 15kHz가 되도록 TOP 값을 설정한다. TCNT1은 0에서 미리 설정된 TOP까지 증가한 후 다시 0부터 카운트하는 동작을 반복함으로써 톱니파를 발생시킨다. 비반전 비교 출력모드에서 TCNT1은 계속, 증가하다가 OCR1B(시비율 설정치)와 일치하면 TCNT1이 TOP에 이를 때 까지, OCR1B 핀을 통해 0이 출력되고 TCNT1이 TOP에서 0x0000으로 되면서 1이 출력된다. 그림 2는 이를 보여주며, 반전 비교 출력모드에서는 반대의 값이 OCR1B 핀을 통해 출력된다[8].

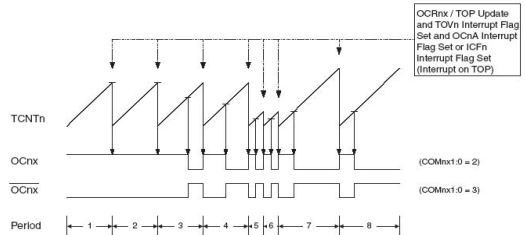


그림 2. 타이머 카운터1 고속 PWM 모드
Fig. 2 Timer counter 1 fast PWM mode

그림 3은 강압 컨버터의 PWM 제어 알고리즘 순서도를 보인다. 주 제어장치는 전압센서를 이용하여 주기적으로 출력전압을 읽어온 다음, 그 값이 12V 보다 클 때에는 시비율을 높이고, 12V 보다 낮을 때에는 시비율을 낮춰서 출력전압이 일정하게 12V가 되도록 제어한다. 특히 출력전압이 7V이하 일 때는

12V로의 빠른 수렴을 위해 시비율을 8%로 설정하고, 7V를 초과할 때는 출력전압으로의 정밀수렴을 위해 시비율을 0.1%씩 조정되도록 한다.

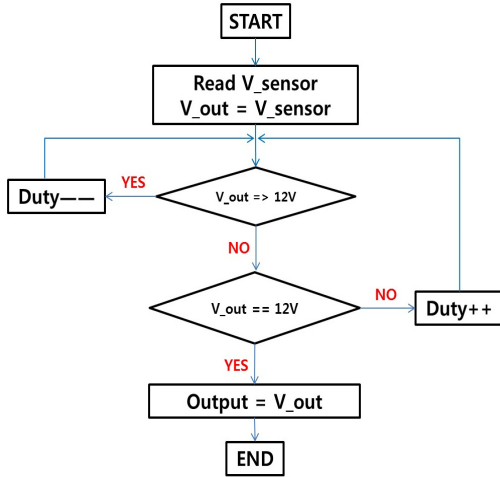


그림 3. PWM 제어 순서도
Fig. 3 PWM control algorithm

2.3 파라미터 설계 및 시뮬레이션

강압 컨버터 설계를 위한 L값과 C값, 그리고 시비율은 그림 1에 보인 DC-DC 강압 컨버터로부터 유도되는 식 (1), 식 (2) 그리고 식 (3)으로부터 얻을 수 있다[9]. 출력단의 인덕터 L 값은 식 (1)을 이용하여 얻는다. 식 (1)에서 V_o 는 출력전압, T는 스위칭 주기 그리고 $I_{max} - I_{min}$ 은 리플 전류를 표시한다.

$$L = \frac{V_o T}{I_{max} - I_{min}} \quad (1)$$

출력단의 전압제어를 위한 시비율, D 값은 식 (2)로부터 얻는다. 식 (2)에서 V_o 는 출력전압, V_i 는 입력 전압을 표시한다.

$$D = \frac{V_o}{V_i} \quad (2)$$

출력단의 커패시터 C값은 식 (3)을 이용하여 설계할 수 있다. 식 (3)에서 V_o 는 출력전압, D는 듀티비,

T는 주기, L은 인덕터 그리고 Δv_o 는 $V_{o(max)} - V_{o(min)}$ 은 입력전압을 표시한다.

$$C = \frac{V_o(1-D)T^2}{8L\Delta v_o} \quad (3)$$

표 1은 식 (1), 식 (2) 그리고 식 (3)을 이용하여 설계된 강압 컨버터의 설계파라미터를 보인다.

표 1. DC-DC 강압 컨버터 설계 파라미터
Table 1. DC-DC buck converter design parameter

Parameter	Symbol	Value
Input Voltage	V_S	311[V]
Output Voltage	V_O	12[V]
Switching Frequency	f_s	15[kHz]
Duty Ratio	D	0.038
Inductor	L	1.33[mH]
Capacitor	C	4.811[μ F]
load Resistance	R	200[Ω]

그림 4는 강압 컨버터 시뮬레이션을 위한 PSIM회로도도를 보인다. 파라미터는 설계된 값에 근사한 값을 입력해 시뮬레이션하였다.

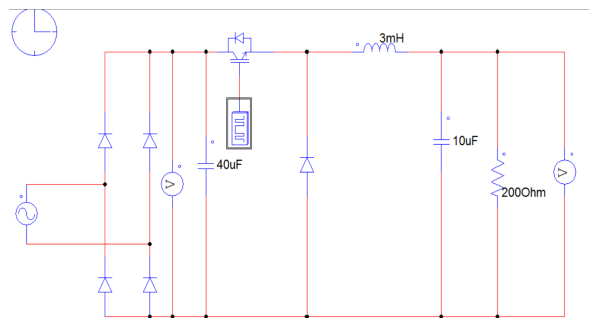
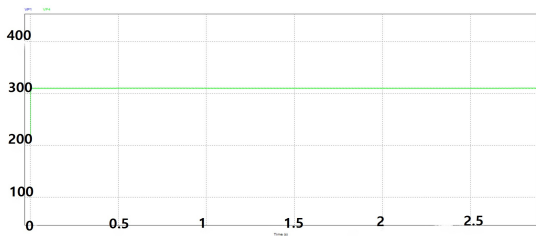


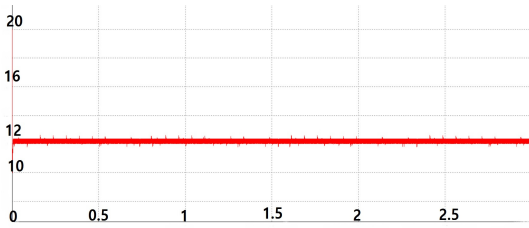
그림 4. DC-DC 강압 컨버터 PSIM 회로
Fig. 4 DC-DC buck converter PSIM circuit

그림 5는 PSIM을 통한 시뮬레이션을 이용하여 얻어진 결과이며 그림 5(a)은 입력전압을, 그림 5(b)은 출력전압을 나타낸 그래프이다. 그림 5는 강압 컨버터가 적절하게 설계되었음을 보인다.



(a) 입력전압

(b) Input voltage



(b) 출력전압

(b) Output voltage

그림 5. PSIM 시뮬레이션 결과
Fig. 5 PSIM simulation result

표 2는 PSIM을 이용하여 얻어진 정상 상태 값이며, 입력DC전압이 311[V]일 때 출력전압은 12[V]로 약 96% 강압함을 알 수 있다.

표 2. PSIM 시뮬레이션 값
Table 2. PSIM Simulation Value

Switching Frequency [kHz]	Input Voltage [V]	Output Voltage [V]
15	311	12

2.4 전압센서 이론 및 피드백회로 구성

그림 6은 전압 피드백 제어 회로의 구성을 보인다. 그림 6에서 +HT와 -HT는 1차 측이며, 각각 +극성과 -극성에 연결된다. 1차 측에서는 강압 컨버터의 출력전압이 입력되는데, 12[V] 제어가 목표이지만 8[V] 마진을 고려하여 최대 입력전압을 20[V]로 한다. 전압센서의 최대입력전압은 식 (4)을 통해 결정된다. 센서 입력전류는 R1에 관계 없이 일정하게 10mA가 흐르기 때문에 최대 출력전압을 20[V]로 하기 위한 R1은 $20/0.01 = 2k\Omega$ 으로 설계된다.

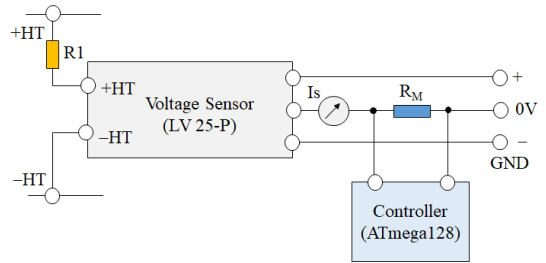


그림 6. 전압센서 외부 결선도
Fig. 6 Voltage sensor external wiring diagram

그리고 이 입력전류 10mA는 1:2.5의 턴수비로 25[mA]를 출력하여 저항 200Ω 의 양단에는 인해 최대 +5[V]의 전압이 걸리고 ATmega128의 A/D컨버터 포트에 입력되어 시비율 조정을 위한 출력전압으로 환산된다.

$$R = \frac{V}{I} \quad (4)$$

그림 7은 전압센서를 이용한 피드백 제어 회로 블록선도이다. 강압 컨버터 출력 전압을 전압센서를 이용하여 측정하고, 그 값을 피드백 회로를 통해서 기준 전압과 비교한 후, PWM 시비율을 제어한다.

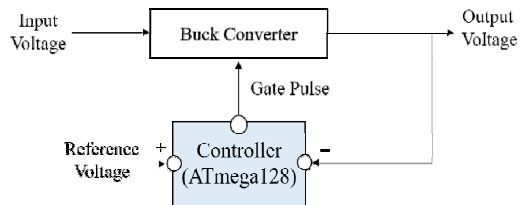


그림 7. 전압센서 기반 피드백 제어 회로
Fig. 7 Feedback control block diagram

2.5 무선 충전 이론 및 설계

그림 8은 무선 충전모듈 블록도이다. 그림 8과 같이 DC 12V가 입력된 송신 코일부분과 수신 코일부분이 무선으로 연결되어 수신 코일부의 출력부분에 5V가 나오도록 설계 하였다. 송신 코일부와 수신 코일부의 거리는 5mm로 설정하였고 송신 코일부와 수신코일부의 전류는 300mA로 설정하였다. 또한 무선충전 모듈의 충전 전력은 1.5w로 설정하였다[10-11].

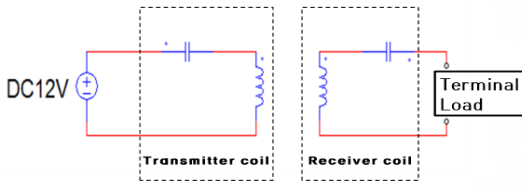


그림 8. 무선충전모듈 블록도
Fig. 8 Wireless charging module block diagram

III.시작품 제작 및 실험결과

본 장에서는 설계결과에 유효성을 확인하기 위해서 강압 컨버터 시작품을 시험 제작하였다. 또한 무선충전기를 제작하여 강압 컨버터에 연동시킴으로써 충전 효과를 확인하였다.

3.1 강압 컨버터 시작품 성능 실험

그림 9는 시험 제작된 강압 컨버터를 기반으로 PWM 시비율을 조정하여 출력전압을 측정, 성능을 검증하는 실험 장면을 보인다.

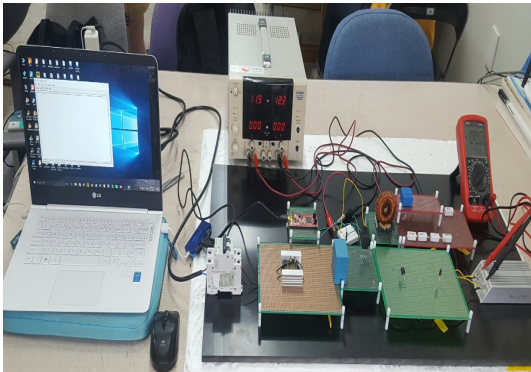


그림 9. 강압 컨버터 회로실험 사진
Fig. 9 Buck converter experiment picture

3.2 무선 충전 모듈 실험

그림 10은 이론상으로 설계한 무선충전 모듈을 실제로 구성한 것이다. 이론상으로 설정한 것과 같이 송신부 코일과 수신부 코일의 거리를 5mm로 설정하였고 그 전류를 300mA 로 설정하였다.

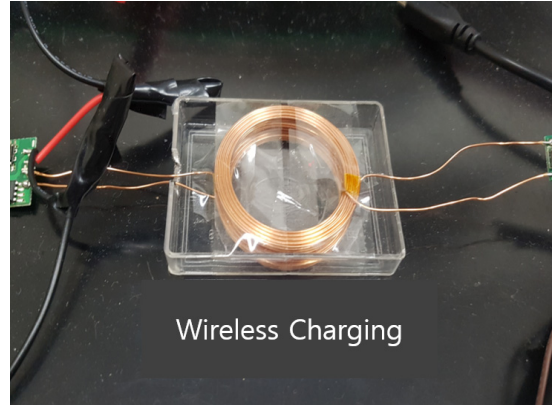


그림 10. 무선 충전모듈 사진
Fig. 10 Wireless charging module picture

3.3 시비율에 따른 실험 결과

표 3은 PWM 시비율을 조정하여 강압 컨버터의 출력전압을 측정한 표이다.

표 3. 시비율에 따른 실험결과
Table 3. Experimental results over time

Duty Ratio [%]	Output Voltage [V]		Output Current [mA]
	Designed Value	Measured Voltage	
1	3.11	3.82	20.1
2	6.22	6.90	35.0
3	9.33	9.90	52.2
4	12.44	13.02	67.2
5	15.55	16.22	80.2
6	18.66	19.45	97.0

표 3은 그림 9에 보인 실험과정을 통해 얻은 시비율에 따른 출력전압, 전류를 비교한 표이다. 그 결과 시비율 4%에서 원하는 전압을 측정할 수 있었다. 표 4는 최종적으로 얻은 출력전압을 이용해 무선충전을 한 뒤 측정된 전압, 전류, 전력 값 이다. 최종실험을 통해 강압 컨버터의 정상적인 동작과 무선충전의 유효성을 확인하였다.

표 4. 시간대비 충전효율 결과
Table 4. Time-to-charge efficiency results

Voltage (V)	Current(mA)	Power (W)
5.06	300	1.518

V. 결 론

본 논문에서는 스마트 폰 무선충전을 위한 강압 컨버터를 설계, 제작하였다. 주 제어장치로는 8 비트 ATmega128을 이용하였으며, 내장된 A/D변환기와 타이머/카운터 기능을 이용하여 강압제어가 이루어지도록 하였다. 또한 무선충전모듈을 이용해 스마트폰 무선충전이 가능하도록 하였다. 강압 컨버터는 DC-DC 컨버터의 출력 전압을 전압센서를 이용하여 측정, 궤환하고 기준전압과의 차를 검출하여 시비율을 조정, 기준전압을 추종하도록 하였다. 또한 하이퍼터미널 통신으로 출력전압을 표시하여 동작 상태를 확인하였다.

실험결과 311[V] 전압을 전압센서를 통해 시비율을 제어하여 12[V]의 안정된 출력전압을 얻을 수 있었으며, 동일한 파라미터 값으로 설계된 강압 컨버터와 비교했을 때 유사한 것을 확인할 수 있었다. 또한 무선연결을 통한 스마트폰 무선충전이 정상적으로 이루어지는 것을 확인 할 수 있었다. 설계된 스마트폰 무선충전용 강압형 컨버터는 강압형 컨버터로서 전기, 전자 및 정보통신 기기의 전원공급 뿐만 아니라 현재 사용하고 있는 많은 무선충전용 기기들의 배터리 충전, 방전 제어 등에 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 강압형 컨버터는 입력전압이 가변되는 소형 독립형 태양광 발전 배터리 충전·방전 제어에도 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Y. Lho, "A Study on the Design of the Voltage Mode PWM DC/DC Power Converter," *Journal of the Korean Society for Railway*, vol. 14, no. 5, Oct. 2011, pp. 411-415.
- [2] J. Park, Y. Shin, S. Jo, D. Seo, and S. Jo "DC-DC Converter Design for Battery Charger," *Proc. of the 2015 Spring Korean Society of Automotive Engineering Conf.*, Sejong, Korea, May, 2015, pp. 1012.
- [3] I. Choi, J. Choi, and S. Jung, "Modeling and Analysis of buck Converter in Photovoltaic System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 7, 2013, pp. 1039-1048.
- [4] W. Do and Y. Chae, "Design of DC - DC Converter Controller using Analog Memory," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 3, 2015, pp. 357-364.
- [5] C. Yoon, "A Study on the Design of High Efficiency Class E Power Amplifier and resonance Coil for High Efficient Wireless Power Transmission," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 10, 2016, pp. 935-940.
- [6] Y. Chai and W. Do, "Development of 2KW Power Bidirectional LDC for Electrical Vehicle", *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 1, Jan. 2016, pp. 65-72.
- [7] S. Shin, I. Jang, B. Kim, J. Park, Y. Choi, B. Jung, K. Jo, and H. Beak, "Design of DC-DC Buck Converter using AVR," *Proc. of the Spring Korean Institute of Electrical Engineers on Electrical Machine and Energy Conversion Systems Conf.*, Jecheon, Korea, Apr. 2010, pp. 194-196.
- [8] D. Shin and C. Oh, *AVR ATmega128 Learning Easy to Understand*. Seoul: Ohm, 2016.
- [9] Y. No, K. Jung, and N. Choi, *Power Electronics Third Edition*. Seoul: Munundang, 2011.
- [10] J. Lim, G. Han, and D. Park, "Battery Charging System using Magnetic Induction," *J. of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 17, no. 10, 2013, pp. 2239-2244.
- [11] M. Han and S. Jung, "RF-based Wireless Power Transfer System for Smartphone Wireless Charging Applications," *Proc. of the Summer Korean Institute of Communications and Information Sciences Conf.*, Jeju, Korea, June 2014, pp. 303-304.

저자 소개



박종범(Jong-Bum Park)

2012년 3월~ 남서울대학교 전자공학과 4학년 재학 중



신지희(Hee-Ji Shin)

2014년 3월~ 남서울대학교 전자공학과 4학년 재학 중



안성득(Deuk-Sung Ahn)

2012년 3월~ 남서울대학교 전자공학과 4학년 재학 중



임학진(Hak-Jin Lim)

2012년 3월~ 남서울대학교 전자공학과 4학년 재학 중



고윤석(Yun-Seok Ko)

1984년 2월 광운대 공대 전기공학과 졸업(공학사).

1986년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(석사).

1996년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사).

1986년~1996년 한국전기연구소 선임연구원.

1996년~1997년 포스코 경영연구소 연구위원.

1997년~현재 남서울대학교 전자공학과 교수.

2012년~2013년 University of Utah 방문교수

※ 주 관심분야 : 전력시스템 자동화, 배전자동화, 스마트그리드, 주택자동화, 인공지능, 로봇제어

