

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.1.53>

JIIBC 2017-1-7

UFMC 시스템에서 모바일 장치의 이동속도에 대한 성능평가

Performance Evaluation for Speed of Mobile Devices in UFMC Systems

이규섭*, 최진규**

Kyuseop Lee*, Ginkyu Choi**

요약 UFMC(Universal Filtered Multi Carrier)는 새로운 종류의 다중 반송파 전송 기술로 OFDM을 대체하는 것을 목표로 하고 있는 5세대 무선 통신 시스템의 하나이다. 이것은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Modulation)과 FBMC(Filter Bank Multi Carrier)의 장점을 결합하고 주요한 단점은 피한 두 시스템의 일반화된 모델이라 할 수 있다. UFMC는 기존의 CP-OFDM(Cyclic Prefix-OFDM)에 비해 시간-주파수 불일치와 같은 동기화 조건에 대하여 비교적 강인한 특징을 갖는다. 또한 5G 시스템 M2M(Machine to Machine) 전송과 같이 burst uplink 전송에 적합하다. 이 논문에서 우리는 다양한 채널 상황과 이동속도의 변화에 따른 UFMC의 BER(Bit Error Rate)성능 변화에 대하여 분석 하였다. 시뮬레이션 결과 모바일 장치의 이동 속도가 높을수록 낮은 BER성능을 확인할 수 있었고 채널 상황이 좋을수록 속도에 대하여 민감하였다.

Abstract UFMC is known as the one among novel multi-carrier modulation techniques which are designed for replacing OFDM for 5G wireless communication systems. It is the generalized model of OFDM and FBMC, which combines the advantages of OFDM and FBMC and avoids their weak points. UFMC is more robust in synchronization condition like Time-frequency misalignment compared to CP-OFDM. Moreover UFMC is more proper to burst uplink transmission like M2M 5G Communications. In this paper we analyze the BER performance in various channels and speeds. The simulation result shows that the BER performance is lowered when mobile devices are moving fast and the BER performance is so sensitive for the good channel environment.

Key Words : UFMC, CFO, OFDM, BER, Doppler Shift

1. 서론

OFDM은 다중경로 페이딩에 대해 단일 탭 등화가 가능하다는 점과 FFT(Fast Fourier Transform), IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 이용하여 송

수신기를 비교적 간단히 구현 할 수 있다는 등의 장점으로 LTE(Long Term Evolution), WiFi 등 여러 시스템에 널리 사용되어 왔다. 하지만 OFDM은 5G 무선 통신 시스템에서 요구되는 여러 조건들을 만족시키기에는 분명 한 한계점이 존재한다. 우선 OFDM은 사각의 심볼 모양

*정회원, 홍익대학교 전자전산공학과

**중신회원, 홍익대학교 전자전기공학과

접수일자 2016년 11월 8일, 수정완료 2016년 12월 8일

게재확정일자 2017년 2월 3일

Received: 8 November, 2016 / Revised: 8 December, 2016 /

Accepted: 3 February, 2017

**Corresponding Author: gkchoi@hongik.ac.kr

Dept. of Electronic & Electrical Engineering, Hongik University, Korea

을 갖고 있다. 이것은 시간영역에서는 제한된 심볼 길이로 전송할 수 있지만 주파수 영역에서는 큰 크기의 사이드 로브를 갖고 있어 5G에서 요구되는 분산 스펙트럼 환경에 부적합하다 [1]. 또한 주파수 옵셋에 의한 ICI(Inter Carrier Interference)에 취약하다는 단점이 있는데 이것은 기존의 4G LTE와 같은 엄격하게 동기를 맞추어 지는 시스템에는 적합하나 5G에서 요구되는 비동기적인 통신 방식에는 맞지 않는다 [2]. 그리고 5G의 IoT(Internet of Things)나 M2M 통신에는 다수의 저전력 장치들이 산발적이고 비동기적인 데이터를 전송하는데 OFDM의 높은 PAPR(Peak to Average Power Ratio)과 동기화에 사용되는 높은 전력은 이러한 장치의 사용을 어렵게 한다. 또한 OFDM의 CP의 사용은 주파수 대역의 비효율뿐만 아니라 지연시간을 높여 Tactile Internet에서 요구되는 낮은 전송 지연시간을 만족하기 어렵게 한다 [3]. 이러한 여러 단점들로 인해 5G에는 OFDM이 아닌 다른 형태의 전송 방식이 요구 된다.

FBMC는 OFDM을 대신해 5G 무선 통신 시스템의 전송 방식 후보 중 하나로 대두되고 있다 [4]. FBMC의 심볼은 각각의 부반송파가 독립적인 필터를 통과하여 전송하므로 대역 외 Side-lobe 레벨이 작아 ICI에 강한 장점과 CP를 사용하지 않아 OFDM에 비해 높은 스펙트럼 효율을 갖는다. 하지만 FBMC에 적용되는 필터는 각각의 부반송파에 적용되기 위해 협대역을 이루고 있다. 때문에 필터의 임펄스 응답이 긴 특징을 갖는다. 이것은 FBMC 심볼의 길이를 길게 하여 5G 시스템에서 요구되는 낮은 지연시간과 짧은 상향 버스트 전송을 어렵게 한다. 또한 FBMC는 OQAM(Offset QAM)을 사용하기 때문에 모든 타입의 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 적용이 어렵다는 단점 또한 갖고 있다.

UFMC는 위에서 언급한 OFDM과 FBMC의 특징을 합쳐 단점을 보완한 다중 반송파 전송 방식이다 [5]. UFMC는 OFDM과 같이 심볼 전체에 필터링을 하거나 FBMC처럼 각각의 부반송파에 필터링을 하는 것과는 다르게 부반송파를 묶은 부 밴드 단위로 필터링을 한다. 이러한 방식을 통해 UFMC는 FBMC보다는 필터 임펄스 응답 크기를 줄일 수 있고 OFDM보다는 비동기적 상황에서의 성능을 향상 시켰다. 그리고 FBMC와는 다르게 QAM(Qaudrature Amplitue Modulation)을 사용하기 때문에 모든 방식의 MIMO를 사용할 수 있는 장점이 있다. 또한 FFT와 IFFT를 이용한 빠르고 효율적인 송수신기

설계가 가능하다 [6].

이동하는 모바일 장치는 도플러 효과에 의해 주파수 옵셋이 발생한다 [7]. 이 주파수 옵셋은 다중 반송파 시스템에서 ICI를 일으키고 성능 저하를 발생 시킨다. UFMC는 필터에 의해 side-lobe의 크기를 줄일 수 있기 때문에 OFDM에 비해 주파수 옵셋에 대한 영향을 적게 받는다. 하지만 이동하는 모바일 장치는 도플러 쉬프트에 의해 부반송파 및 부밴드 간에 간섭으로 BER성능이 낮아진다. 또한 이 도플러 쉬프트의 영향이 다양한 채널에서 어느 정도의 영향을 미칠지 알 수 없다. 이 논문에서는 여러 가지 다양한 이동 속도에서 모바일 장치의 CFO 변화와 다양한 채널 환경에서의 UFMC 시스템의 성능 평가를 실시하였다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 UFMC 시스템 모델에 대해 기술하였고 3장에는 도플러 효과와 ICI의 관계에 대하여 기술 하였다. 그리고 4장에서는 CFO에 의한 수신 신호를 나타내고 5장에서는 각각의 채널과 이동속도의 변화에 따른 BER그래프를 통해 이동속도의 영향에 대하여 분석하였고 6장에서 결론을 서술하였다.

II. UFMC 시스템 모델

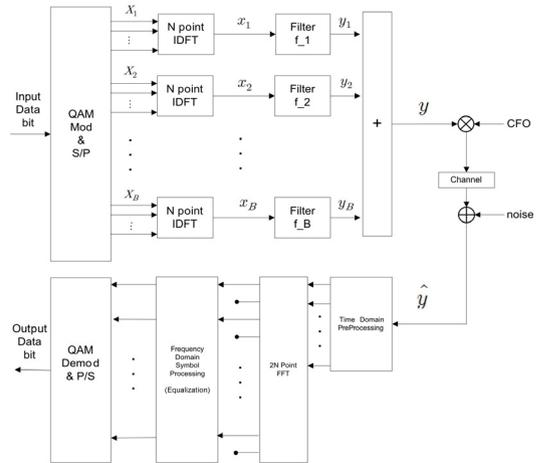


그림 1. UFMC의 시스템 모델.
Fig. 1. System model of UFMC.

이 논문에서 사용된 UFMC의 시스템 모델은 위의 그림 1과 같다. 그림 1에서와 같이 UFMC 시스템은 최초 입력되는 데이터 비트를 QAM 심볼로 변환하고 그것을

N개의 심볼로 병렬화 한다. 그 후 N개의 QAM 심볼은 B개의 부밴드 $X_i(k)$ 로 나누어진 후 N-Point IDFT를 수행하여 시간영역 신호 $x_i(n)$ 으로 변환된다. 이때 각각의 부밴드 신호는 N_B 개의 연속적인 부반송파를 갖고 다음과 같이 나타내어 진다 [8].

$$x_i(n) = \frac{1}{N} \sum_{k \in S_i} X_i(k) e^{\frac{j2\pi kn}{N}} \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

N-point IDFT 연산된 각각의 부밴드 신호 $x_i(n)$ 은 L의 길이를 갖는 FIR 필터 $f_i(l)$ 을 통과 하여 신호 $y_i(n)$ 로 변환된 후 합쳐져 UFMC 심볼 $y(n)$ 이 송신된다. 이때 필터의 길이는 L이므로 전체 신호의 길이는 N+L-1의 길이를 갖게 된다. 그리고 각각의 필터를 통과한 UFMC 심볼의 부밴드는 LTE의 PLB(Physical Layer Block)에 대응 될 수 있으며 필터의 길이가 L이므로 전체 UFMC 심볼의 길이는 N+L-1이 된다. 이때 송신 신호 $y(n)$ 은 아래 와 같이 표현된다.

$$y(n) = \sum_{i=1}^B (x_i(n) * f_i(n)) \quad (2)$$

수신된 UFMC 심볼은 CFO에 의해 캐리어 주파수가 이동되고 채널과 가우시안 노이즈의 영향으로 왜곡된 신호가 수신되어 시간 영역에서 필터링과 같은 전처리를 하고 2-N point FFT를 하여 주파수 도메인의 심볼로 변환된다. CFO와 채널 그리고 가우시안 노이즈의 영향을 모두 고려한 수신 신호는 다음과 같이 표현 된다.

$$\hat{y}(n) = \sum_{i=1}^B (x_i(n) * f_i(n) * h_i(n)) e^{\frac{j2\pi \epsilon n}{2N}} + z(n) \quad (3)$$

UFMC는 CP가 없으므로 N-point FFT를 사용할 때 ICI가 발생 한다. ICI를 제거 하기 위해서 2N Point FFT를 한 후 홀수 부분의 신호만 모아 사용한다. 그 후 채널의 왜곡을 보상하기 위해 등화를 통과한 후 QAM 복조를 통하여 데이터 비트를 복원한다.

III. 도플러 시프트와 CFO

도플러 시프트 f_D 는 전송되는 전파의 주파수 f에 비례하여 다음과 같이 나타내어진다 [9][10].

$$f_D = \frac{V_r f}{c} \cos \alpha \quad (4)$$

여기서 V_r 은 수신기와 송신기 사이의 상대속도 이고 f 는 캐리어 주파수, c 는 빛의 속도($3 \times 10^8 m/s$) 그리고 $\alpha \in [0, \pi]$ 는 수신기 속도 벡터의 각이다. 최대 도플러 쉬프트 f_D 는 $\alpha = 0$ 일 때 발생하며 다음과 같다

$$\max(f_D) = \frac{V_r f}{c} \quad (5)$$

아래의 표 1은 캐리어 주파수가 2.5GHz일 때 다양한 속도에서의 도플러 시프트 값 f_D 와 식 (3)의 상대 주파수 오프셋(relative CFO) ϵ 을 나타냈다. 이때 부반송파의 밴드 폭은 $15 \times 10^3 Hz$ 로 하였다.

표 1. 다양한 속도에서의 도플러 시프트
 Table 1. Doppler shifts for various speeds

V_r (km/h)	f_D (Hz) ($f = 2.5 GHz$)	ϵ
10	0.0231×10^3	0.0015
50	0.115×10^3	0.0077
120	227×10^3	0.0152
250	578×10^3	0.0386

CFO는 수신기와 송신기 오실레이터 주파수의 불일치 또는 빠르게 이동하는 송수신기에 의한 도플러 쉬프트에 의해 발생한다. CFO는 송신기 주파수 f_t 와 수신기 주파수 f_r 의 차이인 $\Delta f = f_t - f_r$ 로 나타낼 수 있다. 또한 UFMC에 대한 상대 주파수 오프셋 ϵ 의 값이 Δf , 주파수 오프셋 T_s 는 샘플링 시간, 그리고 $1/NT_s$ 는 부반송파의 밴드 폭일 때 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\epsilon = \frac{\Delta f}{1/NT_s} = \Delta f NT_s \quad (6)$$

IV. CFO의 영향

UFMC 수신기에서 CFO의 영향은 다음과 같다. 수신된 UFMC 심볼의 길이는 송신기의 부반송파 데이터 심볼을 N-Point DFT를 하고 길이가 L인 필터를 거치기 때문에 N+L-1의 길이가 된다. 때문에 송신된 데이터를

복구 하기위해 FFT를 이용할 때는 $2N$ -Point FFT를 수행한다. 따라서 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다 [11].

$$\begin{aligned}
 Y(m) &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^B \sum_{k=0}^{2N-1} X_i(k) F_i(k) C_i(2k-m) + Z(k) \\
 &= \frac{1}{N} \left(\begin{aligned} &\sum_{k=0}^{2N-1} X_{i,S_m}(k) F_i(k) C(2k-m) \\ &+ \sum_{k=0}^{2N-1} X_{i,ICl_m}(k) F_i(k) C(2k-m) \\ &+ \sum_{l=1, l \neq i}^B \sum_{k=0}^{2N-1} X_l(k) F_l(k) C(2k-m) \end{aligned} \right) + Z(k)
 \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $X_i(k)$ 는 부반송파 데이터 심볼이고 $X_{i,S_e}(j)$ 는 심볼의 신호 성분 그리고 $X_{i,ICl}(j)$ 는 심볼의 ICI 성분이다 [7]. 또한 $F_i(k)$ 는 $f_i(n)$ 의 DFT이고 $C(2k-m)$ 는 다음과 같이 표현 된다.

$$\begin{aligned}
 C(2k-m) &= \frac{\sin\left(\frac{(2k-2\epsilon_i-m)(N+L-1)}{2N}\right)}{2N \sin\left(\frac{\pi(2k-2\epsilon_i-m)}{2N}\right)} \\
 &\times e^{-\frac{j\pi(2(k-\epsilon_i)-m)}{2N}} e^{\frac{j\pi(2(k-\epsilon_i)-m)(N+L-1)}{2N}}
 \end{aligned} \quad (8)$$

$2N$ -Point FFT를 수행한 UFMC의 수신 신호 $Y(m)$ 은 m 이 홀수인 경우 같은 부밴드의 부반송파 사이에서 ICI가 생기므로 부밴드 내의 ICI를 제거 하기 위해 m 이 짝수 인 경우 (즉 $m = 0, 2, \dots, 2N-2$ 인 데이터)만 사용하고 m 이 홀수인 경우는 버리게 된다. 위의 수식 (7)은 수신된 UFMC 심볼은 CFO에 의해 부 반송파와 부 밴드 신호 모두 왜곡 된다는 것을 보여준다. 때문에 빠른 이동 속도에 의한 CFO값의 증가는 수신신호를 더 크게 왜곡하여 원본 데이터의 복조를 어렵게 할 것이다.

V. 결과 및 분석

이번 장에서는 BER 성능 그래프를 통해 다양한 채널 환경에서 속도 변화에 따른 영향을 분석 하였다. 시뮬레이션 파라미터로 FFT 사이즈는 1024, 부밴드의 길이는

96, 부밴드 수는 6, 그리고 사용된 필터는 Chebyshev window를 사용 하였고 길이는 16 그리고 main lobe와 side lobe의 차이는 120dB 인 필터를 사용 하였다. 시뮬레이션에서 사용된 채널은 3GPP [12] 에서 제안된 채널 모델을 사용하였다. 채널은 각각 도시환경(Hux), 시골환경(Rax), 나무가 많은 험란한 지형(Htx) 이렇게 3개의 채널 환경을 사용하였고 이동속도는 Table 1. 에서 기술한 10km, 50km, 120km, 250km의 속도에서 시뮬레이션을 실행하였다.

그림 2는 도시환경 채널에서의 BER 성능을 나타내었다. 아래의 그래프를 보면 10km와 50km의 성능의 차이는 미미하고 50km와 120km는 0.1dB, 120km와 250km의 속도에서 BER 값이 1×10^{-3} 정도 일 때 대략 0.7dB의 성능 차이가 나는 것을 볼 수 있다.

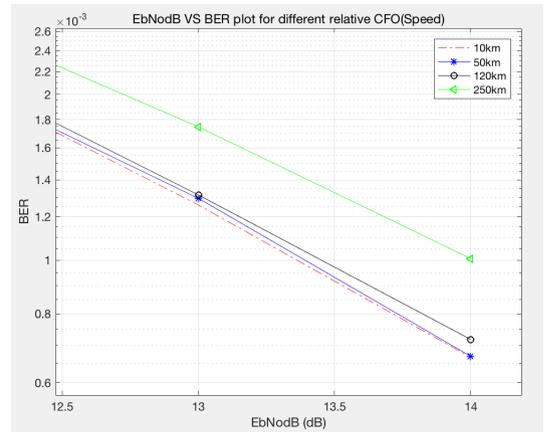


그림 2. 도시환경의 채널(Typical Urban)에서 BER 성능
Fig. 2. The BER performance on Typical Urban Channel

그림 3은 시골환경 채널에서의 BER 성능을 나타내었다. 아래의 그래프를 보면 10km와 50km의 성능의 차이는 미미하고 50km와 120km는 0.1dB 그리고 120km와 250km의 속도에서 BER 값이 8.7×10^{-3} 정도 일 때 대략 0.8dB의 성능 차이가 나는 것을 볼 수 있다.

또한 그림 4에서는 험란한 지형 채널에서의 BER 성능을 나타내었다. 아래의 그래프를 보면 10km에서 120km의 성능의 차이는 미미하고 120km와 250km의 속도에서 BER 값이 2×10^{-3} 정도 일 때 대략 0.4dB의 성능 차이가 나는 것을 볼 수 있다.

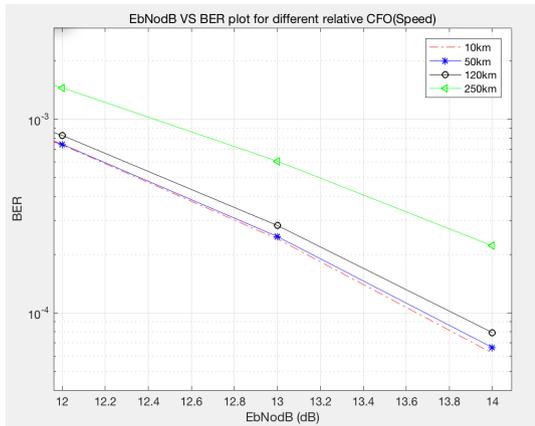


그림 3. 시골환경의 채널(Rural Area)에서 BER 성능
 Fig. 3. The BER performance on Rural Area Channel

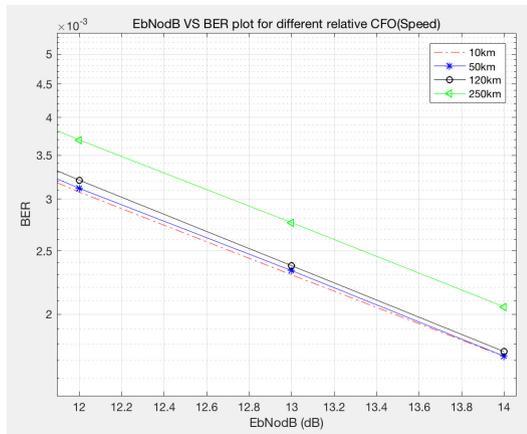


그림 4. 험란한 지형의 채널(Hilly Terrain)에서 BER 성능
 Fig. 4. The BER performance on Hilly Terrain Channel

위의 결과를 보면 이동 속도가 빠르면 빠를수록 CFO의 값이 커지므로 BER 성능이 낮게 나오는 것을 볼 수 있다. 또한 채널 상황이 좋을수록 이동속도(CFO)에 더 크게 영향을 받는 것을 볼 수 있다. 이는 위에서 보는 바와 같이 시골 환경(Rax)과 같이 채널 상황이 좋은 채널이 주파수 선택적인 도시환경(Tux)이나 험란한 지형(Htx)과 같은 상황보다 상대적으로 모바일의 이동속도(CFO)에 영향을 많이 받는 것으로 판명되어 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 UFMC시스템의 다양한 채널환경과 이

동속도의 변화가 성능에 미치는 영향에 대하여 조사 하였다. 이동속도가 빠를수록 CFO의 영향이 커져 BER 성능이 낮아지는 것을 확인 하였고 flat fading 단순한 채널 환경은 selective fading 복잡한 채널 환경에 비하여 상대적으로 모바일 이동속도에 따른 CFO의 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있었다.

References

- [1] A. Loulou and M. Renfors, "Enhanced OFDM for fragmented spectrum use in 5G systems," Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, vol. 26, no.1, pp. 31-45, 2014.
- [2] Gerhard Wunder, Peter Jung, Martin Kasparick, Thorsten Wild, and more authors, "GNOW: non-orthogonal, asynchronous waveforms for future mobile applications", IEEE Communications Magazine, Vol. 52, no.2, pp. 97-105, Feb. 2014.
- [3] K. S. Yeo, M. C. Chian, and T. Ng, "Internet of Things: Trends, challenges and applications," 2014 International Symposium on Integrated Circuits (ISIC), pp. 568-571, 2014.
- [4] B. Farhang-Boroujeny, "OFDM versus filter bank multicarrier", IEEE Signal Process. Mag., Vol. 28, pp. 92-112, May 2011.
- [5] Thorsten Wild, Frank Schaich, Stephan ten Brink, and Jean-François Frigon, "Universal Filtered Multi-Carrier Technique for Wireless Systems Beyond LTE", Proc. IEEE GLOBECOM Broadband Wireless Access Workshop, pp. 223-228, Dec. 2013.
- [6] Thorsten Wild, Frank Schaich, and Yejian Chen, "5G Air Interference Design based on Universal Filtered (UF-) OFDM", Digital Signal Processing (DSP) 2014 19th International Conference on, pp. 699-704, Aug 2014.
- [7] Q. Han, X. Li, M. Temple, and Z. Wu, "Intercarrier interference cancellation for wideband OFDM in high speed aerial vehicle communication," Computing, Networking and Communications (ICNC), 2013 International Conference on, pp. 23-27, 2013.
- [8] F. Schaich and T. Wild, "Waveform contenders for

- 5G OFDM vs. FBMC vs. UFMC,” 2014 6th International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP), pp. 457-460, 2014.
- [9] F. Xiong and M. Andro, “The Effect of Doppler Frequency Shift, Frequency Offset of the Local Oscillators, and Phase Noise on the Performance of Coherent OFDM Receivers”, prepared by NASA Glenn Research Center, Cleveland, OH United States, NASA/TM-2001-210595, 2001.
- [10] Sung-Jae Kwon, “Enhancement of SNR Characteristics in Ultrasound Doppler Color Flow Mapping”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society(JKAIS), Vol. 12, No. 5, pp. 2261-2266, 2011.
- [11] Kyuseop Lee, Ginkyu Choi, “Effect of CFO on UFMC System,” The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC), Vol. 16, No. 3, pp. 97-102, Jun. 30, 2016.
- [12] 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network, Deployment aspects (Release 10), April 2001.

저자 소개

이 규 섭(정회원)



- 2009년 : 홍익대학교 전자전기공학과 (BS)
- 2011년 : 홍익대학교 전자전산공학과 (MS)
- 2011년 ~ 현재 : 홍익대학교 전자전산공학과 박사과정

<주관심분야 : 차세대이동통신, wavelet, uwb, 통신신호처리>

최 진 규(중신회원)



- 1983년 : 성균관대학교 전자공학과 (BS)
- 1990년 : (미)Polytechnic Univ. 전자전기공학과 (MS)
- 1994년 : (미)Polytechnic Univ. 전산과학과 (MS)
- 1996년 : (미)Polytechnic Univ. 전자전기공학과 (Ph.D)

- 1983년 ~ 1986년 : LG 전자, Motorola Korea 연구원
 - 1996년 ~ 2004년 : 삼성전자 통신연구소 수석연구원
 - 2004년 ~ 현재 : 홍익대학교 과학기술대 전자전기공학과 교수
- <주관심분야 : 차세대이동통신, 초광대역 통신, 통신신호처리>

※ 이 논문은 2014학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음. 교신저자 : 최진규