

논문 2010-47TC-12-6

# LTE-Advanced 시스템에서 셀간 간섭 회피 및 전력 제어 결합 성능 분석

( Performance Analysis of a Combined scheme for Inter-cell  
Interference Avoidance and Power Control in LTE-Advanced Systems )

김 상 구\*, 임 성 호\*, 윤 동 원\*

( Sanggoo Kim, Sungho Lim, and Dongweon Yoon )

## 요 약

LTE-Advanced 시스템은 각 섹터에서 모든 주파수 자원을 사용하기 때문에 셀 경계부에 위치한 사용자들은 인접 셀의 주파수 간섭을 받게 되어 사용자 전송률이 크게 저하 된다. 본 논문은 셀 경계부에서 셀간 간섭 회피를 위한 주파수 할당 방법과 전력 제어를 결합하는 알고리즘을 제안하고 사용자 전송률을 분석한다. 제안하는 알고리즘은 간섭 신호의 영향을 회피하기 위해 섹터의 중심부와 섹터의 좌측 경계부, 우측 경계부 3개 부분으로 나누어 각각 다른 주파수를 할당하고, 원하지 않는 간섭 신호를 작게 하기 위해 송신 전력을 조절함으로써 셀 경계부의 사용자 전송률을 향상시킨다. 시스템 레벨 컴퓨터 모의실험을 통하여 셀간 간섭 회피 기법을 사용하지 않은 경우와 사용한 경우, 그리고 셀간 간섭 회피 기법과 전력 제어를 결합했을 경우 셀 전체, 셀 중심부, 셀 경계부에 위치한 사용자들의 평균 전송률 및 하위 5% 사용자의 평균 전송률을 비교 분석한다.

## Abstract

In LTE-Advanced systems, every sector uses the entire range of the frequency resource, and when the UEs are located at a cell edge, user throughputs degrade due to the interferences from the adjacent cells. In this paper, we propose a combined scheme for inter-cell interference avoidance and power control. In the proposed algorithm, the sectors consist of the right edge, the left edge and the center for resource allocation and we control the transmission power to improve the user throughputs at the edge of each cell. Using a system level simulation, we analyze low 5th percentile and average user throughputs of the UEs who are located the cell, center and edge when the inter-cell interference avoidance and the power control are combined.

**Keywords :** Inter-cell Interference avoidance, Power control

## I. 서 론

LTE-Advanced 시스템에서 하향 링크 전송방식으로  
채택한 OFDMA(Orthogonal Frequency Division

Multiple Access) 방식은 사용자들의 요구에 따라 하나 이상의 상호 직교하는 부반송파를 각 사용자들에게 독립적으로 할당하기 때문에 LTE-Advanced 시스템은 이상적인 환경에서 셀 내 주파수 간섭이 발생 하지 않는 장점이 있다<sup>[1~2]</sup>. 그러나 LTE-Advanced 시스템은 기본적으로 각 섹터에서 모든 주파수 자원을 사용하기 때문에 셀 경계부에 위치한 사용자들은 인접 셀의 주파수 간섭을 받게 되고 이로 인해 사용자들의 전송률이 크게 저하 된다. 일반적으로 셀룰러 시스템에서는 사용자들의 위치에 관계없이 일정 수준 이상의 서비스를 제공할 수 있어야 하므로 최근의 이동통신 시스템에서는

\* 정회원, 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부  
(Dept. of Electronics and Communications  
Engineering University)

※ 본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의  
우주기초원천기술개발 사업(NSL, National Space  
Lab) 으로부터 지원받아 수행되었습니다.  
(2010-0015083)

접수일자: 2010년8월3일, 수정완료일: 2010년12월10일

셀 전체의 성능뿐만 아니라 셀 경계부에서의 성능 역시 시스템 평가의 중요한 지표가 되고 있다. 셀 경계부에서의 성능을 향상시키기 위해 인접 셀의 간섭을 줄여야 하고 이를 위해 논리적인 주파수 할당 및 스케줄링 수준에서 셀간 간섭에 대처하는 간섭 회피 기법<sup>[3~4]</sup>, 신호 처리 수준에서 간섭 제거를 통해 셀간 간섭에 대처하는 간섭 제거 기법<sup>[5~6]</sup>, 사용자들의 통신 조건에 따라 선택적으로 셀간 간섭 관리 기법을 적용하는 기법<sup>[7]</sup> 등 다양한 연구가 진행되고 있다. [8]에서 제안하는 방법은 기존의 3섹터 시스템을 유지하면서 셀 경계부에 위치한 사용자들의 전송률을 향상시키기 때문에 기존에 연구되었던 셀간 간섭 회피 기법보다 상대적으로 낮은 복잡성이 요구되는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 [8]에서 제안하는 셀간 간섭 회피 기법을 적용하여 셀의 중심부와 하위 5% 사용자 전송률을 분석하고 셀간 간섭 회피 기법과 셀 중심부에서 전력 제어를 결합하였을 경우의 사용자 전송률에 대해서 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 셀간 간섭 회피 기법과 전력 제어를 결합하는 알고리즘에 대해서 설명하고, III장에서 시스템 레벨 컴퓨터 모의실험을 통하여 사용자 전송률을 비교 분석하며 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 셀간 간섭 회피 및 전력 제어 결합 알고리즘

본 장에서는 셀간 간섭 회피 기법과 전력 제어를 결합하는 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 사용하는 셀간 간섭 회피 기법은 전체 주파수를 A, B, C 세 개 부분으로 동일하게 나누고 한 개의 섹터를 중심부와 좌측 경계부, 우측 경계부의 세 부분으로 나눈다. 그림 1과 같이 섹터의 중심부 부분에 할당 되는 주파수를 셀 안에서 서로 겹치지 않도록 각 섹터에 반시계 방향으로 주파수를 할당한다.

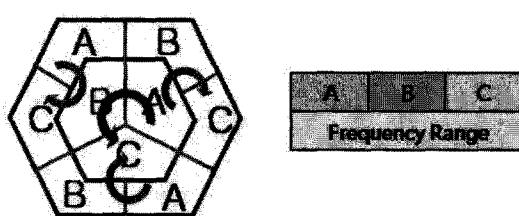


그림 1. 주파수 할당 방법

Fig. 1. Frequency allocation scheme.

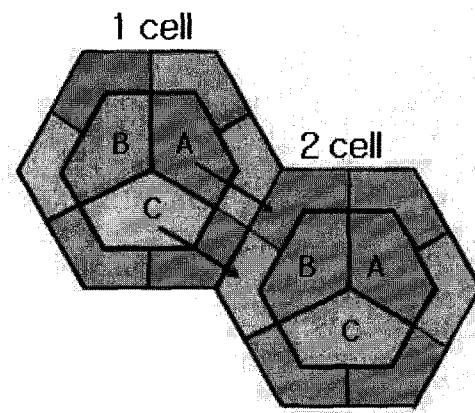


그림 2. 인접 셀간 간섭

Fig. 2. Inter-cell interference.

그리고 섹터 경계부는 시계 방향으로 주파수를 할당하여 서로 다른 주파수가 할당 될 수 있도록 한다. 셀 경계부에서 사용되는 주파수들이 인접 셀과 겹치지 않게 함으로써 셀 경계부에 위치한 사용자들의 전송률을 향상 시킬 수 있다.

하향링크에서 사용자들은 자신이 속한 셀의 기지국으로부터 원하는 신호를 받고, 인접 셀의 기지국들로부터 원하지 않는 신호를 받게 된다. 그럼 1에서와 같이 주파수를 할당 하더라도 셀 경계부에서 인접 셀의 중심부로부터 간섭을 받게 된다.

그림 2와 같이 1번 셀의 A섹터에서 전송한 신호는 2번 셀 B섹터의 우측 경계부에 간섭 신호가 되어 영향을 미치고 1번 셀의 C섹터에서 전송한 신호는 2번 셀 B섹터의 좌측 경계부에 간섭 신호가 되어 사용자 전송률을 저하 시킨다. 특히, 2번 셀의 경계부에서 환경이 열악하고 1번 셀의 환경이 좋은 경우 내 신호의 크기보다 인접 셀의 원하지 않는 신호 크기가 더 커지면서 간섭 현상으로 인한 사용자 전송률이 크게 저하된다. 따라서 셀 경계부에서의 사용자 전송률 향상을 위해서는 원하는 신호를 크게 받는 것도 중요하지만 원하지 않는 간섭 신호를 작게 받는 것 또한 중요하다. 이러한 인접 셀 중심부로 부터의 간섭을 최소화하기 위해서 각 섹터의 중심부와 경계부에 할당 되는 주파수에 대해서 송신 전력 조절함으로써 보다 나은 사용자 전송률의 향상을 기대할 수 있다.

앞에서 설명 했듯이 모든 셀의 1번 섹터의 중심부에는 A의 주파수가 할당되고 2번 섹터에는 B의 주파수, 3번 섹터에는 C의 주파수가 할당된다. 각 섹터의 중심부에

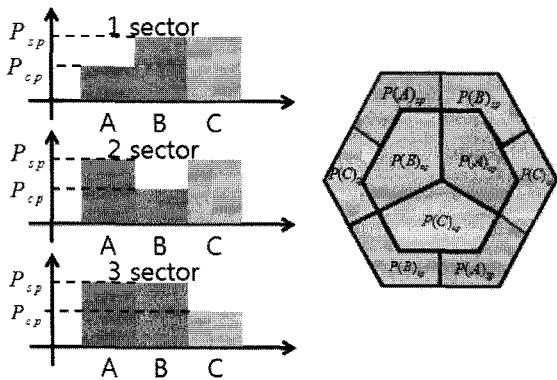


그림 3. 사용자들의 위치 및 주파수에 따른 전력 할당  
Fig. 3. Power allocation of frequency and position of UEs.

할당되는 주파수의 송신 전력을  $P_{cp}$  라 하고, 1-3번 섹터의 중심부에 할당되는 주파수의 송신 전력을  $P(A)_{cp}, P(B)_{cp}, P(C)_{cp}$  라고 각각 표기하자. 또한, 셀 경계부에 할당되는 주파수의 송신 전력을  $P_{ep}$  라 하고, 1-3번 섹터의 경계 부분에 할당되는 주파수의 송신 전력을  $P(A)_{ep}, P(B)_{ep}, P(C)_{ep}$  라고 각각 표기하자. 여기서 섹터의 중심부의 할당되는 주파수의 송신 전력은 경계부에 할당 되는 주파수보다 낮은 전력으로 신호를 전송하여 인접 셀의 경계부에 미치는 영향을 줄인다. 그림 3에는 셀에서 사용자들의 위치 및 주파수에 따른 전력 할당을 나타내었다.

### III. 모의실험 및 분석

본 장에서는 셀간 간섭 회피 기법<sup>[8]</sup>을 적용하고 전력 제어를 결합한 경우, 셀간 간섭 회피 기법만을 사용한 경우, 셀간 간섭 회피 기법을 사용하지 않은 경우에 대한 시스템 레벨 컴퓨터 모의실험을 실시한다. 모의실험을 통해 셀 전체, 셀 중심부, 셀 경계부에 위치한 사용자들의 평균 전송률 및 하위 5%의 평균 전송률을 분석하고 사용자 전송률 누적분포함수를 나타낸다. 모의실험은 그림 4와 같이 실제와 가까운 환경을 가정하기 위하여 19셀의 3섹터 환경을 구성하였고 각각의 섹터에는 12명의 사용자들을 랜덤하게 분포시킨 LTE-Advanced 시스템 레벨 시뮬레이터를 통하여 사용자 전송률을 분석한다.

첫 번째로 송신 전력이 모든 주파수에 대해서 동일

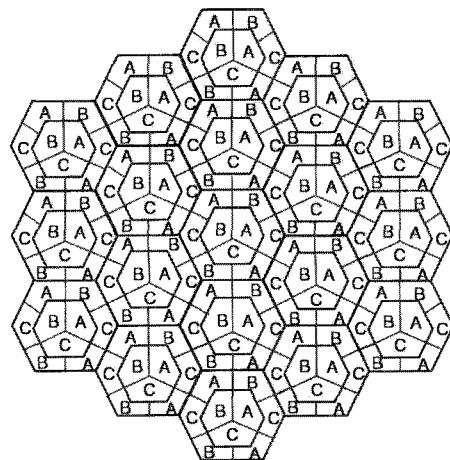


그림 4. 2-tier, 19-cell 구성도  
Fig. 4. Structure of 2-tier, 19-cell.

표 1. 사용자 평균 전송률  
Table 1. Average user throughputs.

	평균 전송률(kbps)	
	Cell	Center
Cell	1845	1861
Center	2833	2692
Edge	1352	1446
Low 5%	672	725

할 경우, 셀간 간섭 회피기법을 사용한 경우와 사용하지 않은 경우에 대해 셀 전체, 중심부, 경계부 및 하위 5% 사용자들의 평균 전송률을 비교한다. 표 1에는 셀 전체 사용자, 셀 중심부에 위치한 사용자, 셀 경계에 위치한 사용자의 평균 전송률과 하위 5% 사용자에 대한 평균 전송률을 나타내었고, 그림 5에는 셀간 간섭회피 기법의 사용 여부에 따라 셀 전체 사용자 및 셀 경계에 위치한 사용자와 하위 5% 사용자의 전송률에 대한 누적분포함수를 나타내었다. 셀의 경계부분에서는 인접 셀의 간섭 신호로 인해 사용자의 전송률이 저하되기 때문에 셀 경계부에 위치한 사용자들의 전송률은 셀 중심부에 위치한 사용자들에 비해 낮게 나타나게 된다.

표 1에서 볼 수 있듯이 셀간 간섭 회피 기법을 사용함으로써 셀 경계에 위치한 사용자들의 평균 전송률과 하위 5% 사용자의 평균 전송률이 향상됨을 볼 수 있다. 그러나 셀의 중심부에 할당 되는 주파수의 제한으로 중심부에 위치한 사용자들의 전송률은 저하 되었다.

두 번째로 셀의 중심부와 셀 경계부에 할당 되는 주파수에 대해서 송신 전력을 조절 하지 않았을 경우와

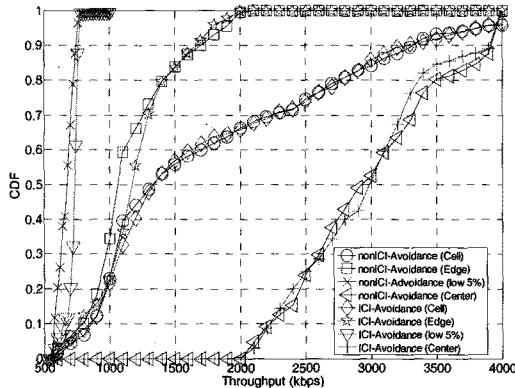


그림 5. 사용자 전송률 CDF

Fig. 5. CDF of user throughputs.

표 2. 송신 전력 조절에 따른 사용자 평균 전송률  
Table 2. Average user throughputs with power control.

	nonICI	ICI	ICI(-1)	ICI(-3)	ICI(-5)
nonICI	1845	2931	1302	672	
ICI	1861	2692	1446	725	
ICI(-1)	1827	2459	1511	744	
ICI(-3)	1747	2058	1592	752	
ICI(-5)	1681	1700	1671	753	

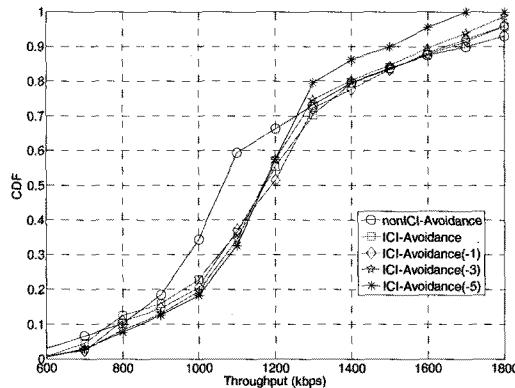


그림 6. 셀 경계부 사용자 전송률 CDF

Fig. 6. CDF of user throughputs in the edge of each cell.

-1dB, -3dB, -5dB 만큼 조절 했을 경우의 셀 전체, 중심부, 경계부 및 하위 5% 사용자의 평균 전송률을 비교 분석한다. 그림 7에는 셀의 경계, 그림 8에는 하위 5%, 그림 9에는 셀 전체, 그림 10에는 셀의 중심부의 사용자 전송률 누적분포함수의 그래프를 각각 나타내었고 표 2에는 각 경우에 대한 평균 전송률을 나타내었다.

표 2에서 볼 수 있듯이 셀 경계부에서의 사용자 평균

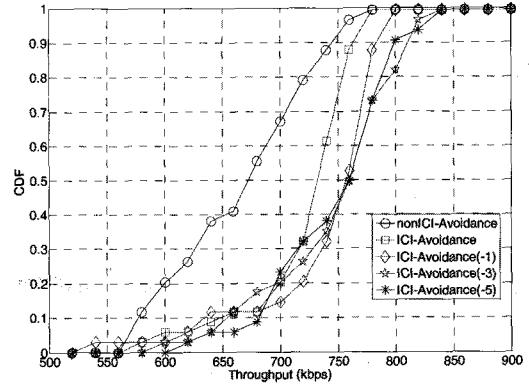


그림 7. 하위 5% 사용자 전송률 CDF

Fig. 7. CDF of the lowest 5 percent user throughputs.

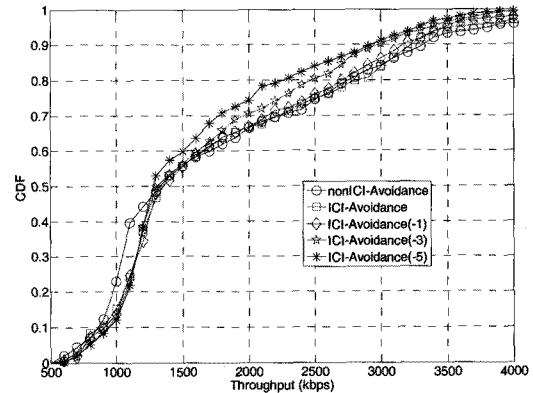


그림 8. 셀 전체 사용자 전송률 CDF

Fig. 8. CDF of user throughputs in cells.

전송률은 셀 중심부에서의 송신 전력을 조절함으로써 원하지 않는 신호를 적게 받게 되기 때문에 송신 전력이 작아질수록 향상 되었다. 또한, 셀 경계부에 위치한 사용자들이 대부분 하위 5% 사용자에 포함되어 있기 때문에 송신 전력을 조절하여 셀 경계부에서의 사용자 평균 전송률이 개선됨에 따라 하위 5% 사용자들의 평균 전송률 역시 향상되었다. 그러나 송신 전력을 -3 dB 와 -5 dB로 조절 하였을 경우의 평균 전송률차이가 크지 않기 때문에 -5 dB 이상의 송신 전력 조절은 하위 5% 사용자의 전송률 향상에 큰 영향을 끼치지 않을 수 있다.

셀 중심부 및 셀 경계부에서 전력 제어를 할수록 셀 경계부 및 하위 5% 사용자의 전송률은 향상되지만 셀 중심부의 사용자들은 중심부에 할당 되는 주파수의 송신 전력을 적게 하여 전송하기 때문에 송신 전력을 조절 할수록 전송률이 저하되었다. 그러나 셀 중심부에 위치한 사용자들은 기지국 근처에 위치하여 이미 높은

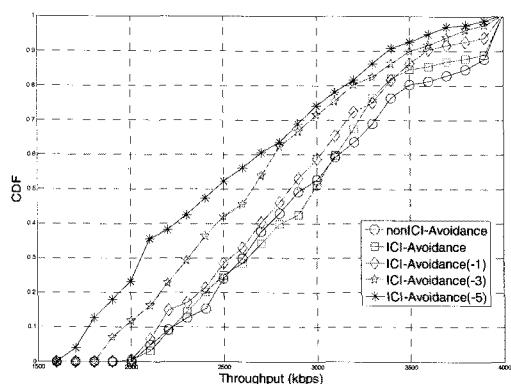


그림 9. 셀 중심부 사용자 전송률 CDF

Fig. 9. CDF of user throughputs in the center of each cell.

전송률을 가지므로 통신에 문제가 발생하지 않으며, 상대적으로 셀 경계부에서의 셀간 간섭을 감소시켜 셀 경계부 및 하위 5% 사용자들의 평균 전송률을 향상시킬 수 있었다.

시스템 레벨 컴퓨터 모의실험 결과로부터 송신 전력을  $-1\text{dB}$ ,  $-3\text{dB}$ ,  $-5\text{dB}$  만큼 전력 제어를 하였을 경우 셀 경계부에서의 사용자 평균 전송률은 셀간 간섭 회피 기법을 사용하지 않았을 경우보다 16%, 22.2%, 28.3% 만큼 향상되었고 하위 5% 사용자 평균 전송률은 10.7%, 11.9%, 12% 만큼 향상 되었다. 이 결과는 최근 이동통신 시스템 평가의 중요한 지표 중 하나인 셀 경계부에서의 사용자 전송률을 높여 공정성을 높일 수 있음을 보이고 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 LTE-Advanced 시스템에서 셀간 간섭 회피 기법과 전력 제어를 결합하는 알고리즘을 제안하고 사용자 전송률을 분석하였다. 모의실험을 통해 셀 중심부 및 경계부에 할당되는 주파수의 송신 전력을 조절함으로써 셀 경계부 및 하위 5% 사용자의 평균 전송률이 향상됨을 확인하였다. 최근 이동통신 시스템에서는 셀 전체의 전송률도 중요하지만 셀 경계부에 위치한 사용자들의 전송률 역시 시스템 평가의 중요한 지표가 되고 있다. 시스템 레벨 컴퓨터 모의실험 결과로부터 송신 전력을 조절함으로써 셀 경계부 및 하위 5% 사용자의 전송률이 개선됨을 알 수 있었다. 또한 모든 셀에 대해서 주파수 할당이 같은 방식으로 적용되기 때문에 기존의 셀간 간섭 회피기법에 비해 낮은 복잡성을 갖는

다. 이처럼 주파수 할당 기법의 복잡성과 사용자들에 대한 공정성 측면에서, 셀간 간섭 회피를 위한 주파수 할당 방법과 전력 제어의 결합은 셀 경계부 및 하위 5% 사용자의 전송률 향상을 위한 방법으로 향후 IMT-Advanced 시스템에서 활용 가능할 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J. Chung and N. Sollenberger, "Beyond 3G: Wideband wireless data access based on OFDM and dynamic packet assignment," *IEEE Commun. Mag.*, vol.38, pp.78-87, Jul, 2000.
- [2] C. Y. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letaief, and R. D. Murch, "Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 17, pp. 1747-1758, Oct. 1999.
- [3] R1-050476, Siemens, "Evolved UTRA uplink scheduling and frequency reuse," 3GPP RAN WG1 #41, Athens, Greece, May 2005.
- [4] R1-050896, Qualcomm Europe, "Description and simulations of interference management technique for OFDMA based E-UTRA downlink evaluation," 3GPP RAN WG1 #42, London, UK, Aug. 2005.
- [5] C802.20-05-72, ETRI, "Technology Overview," IEEE 802.20 MBWA #17, Vancouver, Canada, Nov. 2005.
- [6] R1-050829, Panasonic, "Coordinated symbol repetition to mitigate downlink inter cell interference," 3GPP RAN WG1 #42, London, UK, Aug. 2005.
- [7] 권재균, 이희수, 안재영, "OFDM 이동 셀룰러 시스템에서 셀간간섭 회피 및 제거의 결합 성능 분석," 한국통신학회논문지, vol.33, no.4, pp. 371-376, 2008년 4월.
- [8] 임성호, 윤동원, 김상구, "LTE-Advanced 시스템에서 셀간 간섭회피를 위한 주파수 할당 방법," 한국통신학회, 2010년도 동계종합학술발표회, p. 239, 용평, 한국, 2010년 2월

---

저자 소개

---



김 상 구(정회원)  
 2007년 한국외국어대학교  
 전자공학과 학사 졸업.  
 2009년 한양대학교 전자컴퓨터  
 통신공학과 석사 졸업.  
 2009년 ~ 현재 한양대학교 전자통  
 신컴퓨터공학부 박사과정.

<주관심분야 : Mobile and Wireless Communications,  
 Satellite and Space Communications>



임 성 호(정회원)  
 2008년 한성대학교 정보통신  
 공학과 학사 졸업.  
 2010년 한양대학교 전자컴퓨터  
 통신공학과 석사 졸업.  
 2010년 ~ 현재 한화S&C 컨버전스  
 사업부 PM

<주관심분야 : 통신, 컴퓨터, 신호처리>



윤 동 원(평생회원)-교신저자  
 1989년 한양대학교 전자통신  
 공학과 공학사  
 1992년 한양대학교 전자통신  
 공학과 공학석사  
 1995년 한양대학교 전자통신  
 공학과 공학박사  
 1995년 3월 ~ 1997년 8월 동서대학교 정보통신공  
 학과 전임강사  
 1997년 2월 ~ 1997년 12월 한국전자통신연구소  
 초빙연구원  
 1997년 9월 ~ 2004년 2월 대전대학교 정보통신공  
 학과 부교수  
 2002년 11월 ~ 2005년 12월 한국전자통신연구원  
 초빙연구원  
 2004년 3월 ~ 현재 한양대학교 융합전자공학부  
 교수

<주관심분야 : 통신이론, 무선 및 이동통신, 위성  
 및 우주통신>