

# 차세대 이동통신 기술동향 및 전망

홍인기\*

\*경희대학교 전자전파공학과

## 목 차

- I. 서론
- II. 이동통신 기술 진화 배경
- III. LTE-Advanced 시스템 주요기술
- IV. Beyond 4G 시스템 주요 기술
- V. 결론

### I. 서론

음성서비스를 주요대상으로 하는 아날로그 시스템인 1세대, 음성과 단문서비스 위주의 디지털 시스템인 2세대, 전세계 로밍과 멀티미디어 서비스를 위한 3세대 이동통신을 거쳐 최근 4세대 이동통신이 서비스되기 시작하였다. Long Term Evolution (LTE) 시스템이라고 불리는 4세대 이동통신 시스템은 3GPP (3rd Generation Partnership Project) 표준으로는 release 8에 해당하는데, 일부에서는 release 8은 4세대 이동통신 기술에 미치지 못하여 3.9세대라고 하고 LTE-Advanced 규격인 release 10이 되어야만 진정한 4세대 이동통신이라고도 한다. 이와 같은 논란은 ITU (International Telecommunications Union)가 그림1에서 정의한 바와 같이 4세대 시스템은 정지 상태에서 최대 1Gbps까지를 전송할 수 있는 시스템으로 정의하고 있는 반면 LTE 시스템은 하향링크(Downlink)에서 두 개의 수신 안테나, 상향링크(Uplink)에서 하나의 송신 안테나를 기준으로 평가했을 때 하향링크 최대 100Mbps, 상향링크 최대 50Mbps의 전송 속도를 보이는 것으로 보고되었고, 4X4 안테나를 사용할 경우에는 하향 300Mbps, 상향 75Mbps를 지원하는 것으로 보고되어<sup>[1]</sup> ITU 4세대 (IMT-Advanced) 기준을 충족시키지 못하기 때문이다. 3GPP Release 10 시스템은 최대 1Gbps이상의 전송 속도를 보이는 것으로 평가되고 있고 따라서 release 10이 ITU의 IMT-Advanced 기준을

충족시킬 수 있어 진정한 4세대 이동통신이라고도 불리고 있다. LTE-Advanced라는 명칭도 IMT-Advanced라는 명칭에 맞추기 위해 붙여진 이름이다.

본고에서는 이동통신의 발전 배경 및 차세대 이동통신인 LTE-Advanced 시스템의 주요 기술 특징들을 살펴보고, LTE-Advanced 이후에 주요하게 다루어질 기술들에 대하여 살펴보고자 한다.

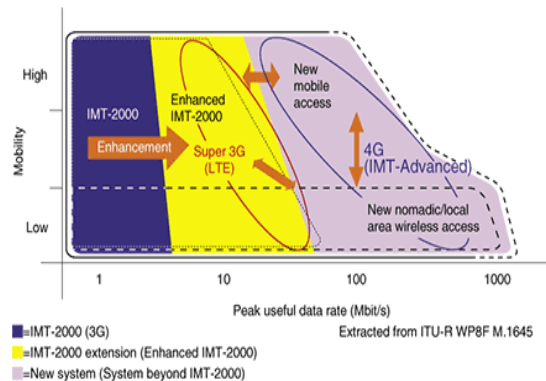


그림 1. IMT-2000 및 IMT-Advanced Capability

### II. 이동통신 기술 진화 배경

3세대 이동통신 기술을 도입한 지 10여년 만에 release 99, release 5(HSDPA), 6(HSUPA), 7(HSPA+)를 거쳐 release8(LTE), 10(LTE-Advanced)까지 표준

의 이름만도 기억하기 어려울 정도로 끊임없이 발전하고 있다. 이렇게 끊임없이 이동통신 기술이 진화하고 있는 바탕에는 이동통신이 기본적으로 유선 인터넷에서 경험했던 서비스들을 무선으로도 제공하면서 아울러 이동통신 고유의 기능들을 추가하기 위해서는 유선에 버금가는 전송 기술을 필요로 하기 때문이다. 그림 2에 유선통신과 이동통신 시스템의 기술 발전에 따른 서비스 제공 속도를 나타내었다. 현재 이동통신 시스템은 대략 유선의 ADSL2 정도의 서비스에 버금가는 정도로까지 발전하였다. 통신 사용자들은 유선통신환경이 발달함에 따라 발전한 여러 가지 응용 서비스나 혹은 사용자의 경험(User Experience)이 있기 때문에 이동통신환경에서도 동일한 혹은 적어도 그에 버금가는 서비스를 원하고 있어 이에 부응해 가면서 또한 기술적 진화의 속도를 고려하다 보니 여러 차례의 이동통신 표준을 제정하게 되었고 앞으로도 지속적으로 기술 개발이 필요할 것이다.

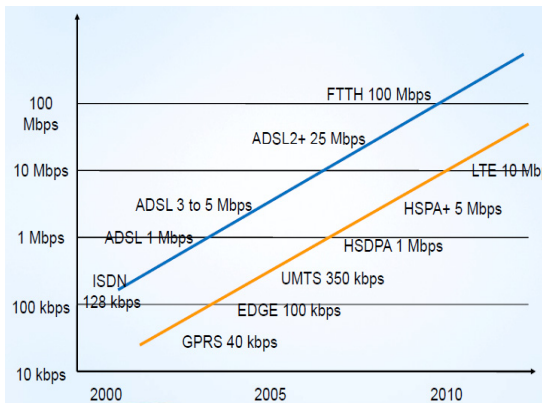


그림 2. 유선통신과 이동통신 기술 발전(출처: Rysavy Research, 'HSPA to LTE Advanced, Sept. 2009)

이와 같이 지속적인 전송 속도의 개선을 위해서 요구되는 것은 기본적으로 전송 대역폭의 확장과 신호대 잡음비의 개선으로 LTE-Advanced 시스템의 가장 핵심적인 기술들도 결국 이러한 효과를 얻기 위한 것으로 볼 수 있다.

Shannon의 채널 용량은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = BW \cdot \log_2(1 + S/N) \quad (1)$$

여기서 C는 주어진 채널 환경에서 최대 전송할 수 있는 정보량이고, BW는 주어진 대역폭, S와 N은 각각 신호와 잡음의 전력 값이다.

채널 용량은 대역폭에 비례하므로 전송속도를 높여 주기 위해서는 보다 넓은 대역폭을 활용하는 것을 우선적으로 고려할 수 있는데, LTE-Advanced에서는 최대 100MHz까지의 시스템 대역폭을 고려하고 있다. 하지만 연속적으로 100MHz의 대역을 할당할 수 있는 나라가 없기 때문에 LTE-Advanced 기술에서 우선 고려되고 있는 기술이 반송파 결합(Carrier Aggregation) 기술이다. 여러 대역으로 퍼져있는 반송파를 결합시키기 위한 기술로 다음 장에서 보다 상세히 설명하겠다. 두 번째 요소로는 신호대 잡음비의 개선인데 이를 위한 대표적인 기술이 다중안테나(Multiple Input Multiple Output: MIMO)기술이다. 윗 식에서  $\log_2(1+x)$ 는 x값의 범위에 따라 다르게 근사화할 수 있는데 x값이 작은 범위에서는  $\log_2(1+x)$ 는 x값에 비례하고, x의 값이 큰 범위에서는  $\log_2(1+x)$ 는  $\log_2(x)$ 로 근사화 할 수 있다. log함수 그래프를 고려하면 x값이 작을 때는 거의 선형적으로 변한다는 것을 생각하면 쉽게 이해할 수 있다. 즉, 신호대 잡음비의 개선은 그 값이 크면 클 수록 log 함수에 의해 줄어들기 때문에 신호대 잡음비를 적절히 유지할 필요가 있다.

송신안테나와 수신안테나의 개수가 각각  $N_T$ ,  $N_R$ 인 시스템을 고려하자. 안테나가 적절히 떨어져 배치되어 있어 동시에 전송할 수 있는 병렬 데이터 스트림의 개수를  $N_P$ 라고 하면  $N_P = \min(N_T, N_R)$ 로 나타낼 수 있다.  $N_P$ 개의 데이터 스트림을 동시에 전송할 때 채널 용량은 식(2)와 같이 쓸 수 있다.

$$C = BW \cdot N_P \cdot \log_2\left(1 + \frac{N_R}{N_P} \cdot \frac{S}{N}\right) \quad (2)$$

즉, 높은 SNR을  $N_P$ 개의 채널로 분산시켜 동시에 전송시키는 것이 전체 신호 전력을 한쪽으로 몰아주는 것보다 채널 용량 개선 효과가 크다고 할 수 있고 이를 구현한 기술이 공간 다중화(Spatial Multiplexing)기술이다. LTE-Advanced에서는 이러한 공간 다중화 기술을 보다 향상시키고 구현하기 위한 기법들이 도입되었고 이에 대하여 다음장에서 설명하겠다.

### III. LTE-Advanced 시스템 주요기술

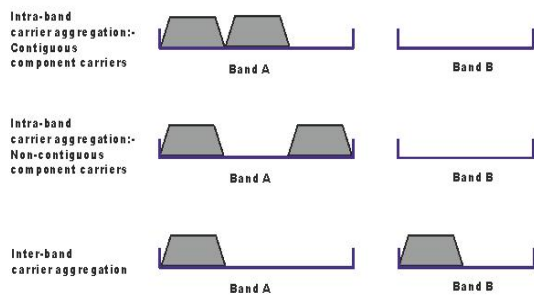
LTE-Advanced 시스템의 주요 기술로는 반송파 결합기술, 개선된 다중 안테나 기술, 무선 중계기 기술을 꼽을 수 있다[2],[3],[4].

#### 3.1. 반송파 결합 기술 (Carrier Aggregation)

LTE 시스템의 가장 큰 특징 중의 하나가 이전 기술들은 WCDMA를 근간으로 하고 있는데 비하여 OFDMA 방식을 근간으로 한다는 것이다. OFDMA 방식에서는 여러 반송파를 결합하는 것이 여타 방식보다 수월하다고 할 수 있다. 반송파 결합은 그림 3과 같이 동일 대역 내 결합과 서로 다른 대역의 결합이 있고, 동일 대역 내 결합도 연속적인 반송파 결합과 불연속적인 반송파 결합이 있을 수 있다.

최대 5개까지의 반송파 군(component carriers)들을 결합하여 최대 100MHz 대역까지를 지원할 수 있도록 하고 있으며 각각의 반송파 군은 반송파 결합을 사용하지 않는 release 8,9 단말에게는 각각의 반송파 군만으로도 동작할 수 있도록 하고 있다. 또한 하향링크와 상향링크는 동일한 개수의 반송파 군을 결합하는 대칭형 결합과 서로 다른 개수의 반송파 군을 결합하는 비대칭형 결합도 가능하다. 또한 각각의 반송파 군은 독립적으로 HARQ 과정을 수행하며 또한 독립적인 변조 방식과 채널 부호화 방식을 사용한다.

#### RF aspects of carrier aggregation



Types of LTE carrier aggregation

그림 3. 반송파 결합

#### 3.2. 개선된 하향링크 MIMO 기술

LTE Release 8에서는 최대 4개의 공간 계층 (spatial layer)를 지원할 수 있고, 2 계층(2-layer) 하향링크 MIMO 전송을 기본적인 LTE 구성방식으로 하고 있다. Release 8에서 4개 계층 모두를 사용했을 때 주파수 효율(spectral efficiency)은 16.3 bps/Hz를 제공할 수 있는 것으로 보고되고 있다[3]. LTE-Advanced 에서는 주파수 효율을 최대 30bps/Hz를 제공하는 것으로 하고 있고 이는 8개 계층의 MIMO로 구현가능하다. II장의 식(2)를 고려해보면 8개 계층을 사용하면 4개 계층을 사용했을 때에 비해서 약 두 배의 효율을 기대할 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 5개 반송파 군을 사용한 반송파 결합 방식에 8개 계층 하향링크 MIMO를 사용했을 때 최대 3.0Gbps의 전송속도를 얻을 수 있고, 30.6 bps/Hz의 주파수 효율을 보여주는 것으로 나타났다[3].

4개 안테나에서 8개 안테나를 지원하는 것은 단순히 전치부호 행렬(Precoding Matrix)의 크기와 안테나 수를 늘이는 것 이외에 이를 지원하기 위한 reference signal을 효율적으로 수용할 수 있는 방안이 필요하다. Release 8에서는 4개의 안테나 포트 각각에 cell specific Common Reference Signal (CRS)를 정의하고 있다. Cell specific이라는 뜻은 cell 내의 모든 UE들이 공통으로 사용하는 reference signal이라는 의미로 각각의 UE별로 별도의 reference signal을 사용하는 UE specific reference signal과 구분되는 용어이다. 통상적으로 CRS는 cell 내의 모든 UE가 어떠한 열악한 채널 환경에서도 채널 추정을 적절히 수행할 수 있도록 많은 수의 reference signal을 전송하도록 되어 있어 overhead가 상대적으로 매우 크다 (84개의 심볼로 구성되는 resource block 하나당 안테나 포트 0과 안테나 포트 1에서는 CRS 심볼을 4개 할당하고, 안테나 포트 2와 3은 2개씩 할당하여 overhead는 안테나 포트 0,1은 약 5%, 안테나 포트 2,3은 약2.5%에 해당). 8개 안테나 포트를 지원하기 위해서 8개의 CRS를 항상 전송하는 것은 효율적이지 못하다. 8개 계층을 모두 사용하는 UE는 채널 환경이 우수한 UE들로 한정적이기 때문에 모든 UE들을 대상으로 하는 CRS 보다는 UE specific reference signal이 LTE-Advanced에 도입되었다. UE specific 이기 때문에 해당 UE에게만 전달되는 패킷 데

이더 영역에 실어서 전송하도록 되어 있고, 이 신호는 수신 신호의 복조에 활용되기 때문에 Demodulation Reference Signal (DM-RS)라고 부른다. DM-RS는 precoding 이전에 걸어주기 때문에 데이터 신호와 동일하게 전치부호화 하여 전송되어 전치부호에 대한 별도의 정보 없이도 데이터를 복조할 수 있다. 따라서 DM-RS를 사용하는 MIMO에서는 non-codebook-based precoding방식을 바탕으로 하고 있다. Release 8에서는 CRS는 UE 공통이라 전치부호화기 이후에 추가되어 전송되어야 하고 전치부호화 된 데이터를 복조하기 위해서는 전치부호화에 대한 별도의 정보가 필요하여 PDCCH를 통하여 전달되도록 하고 있다. 따라서 CRS를 사용하는 MIMO는 codebook-based precoding을 사용한다. 그러나 여전히 각각의 안테나 포트에 대한 채널 추정은 필요한데 DM-RS는 특정 UE만을 대상으로 하기 때문에 셀 내의 모든 UE가 Channel Quality Indicator(CQI) 생성 등을 위해서는 셀 내 모든 UE 공통의 reference signal이 필요하게 된다. 이를 위해 정의된 신호가 Channel Status Information Reference Signal (CSI-RS) 이다. 셀 내의 UE들은 이 신호를 바탕으로 CQI, Precoding Matrix Index(PMI), Rank Indicator(RI) 값 등을 결정하게 하고 있고, overhead를 낮추기 위하여 전송 주기가 5ms에서 80ms까지로 CRS에 비하여 매우 낮게 설계되었다.

### 3.3. 개선된 상향링크 MIMO 기술

LTE Release 8 상향 링크에서는 단일 사용자 MIMO 모드가 정의되지 않았다. 단말기 당 두 개의 수신 안테나를 기본으로 했지만 송신 안테나는 안테나 별로 별도의 RF 회로들을 필요로 하기 때문에 복잡도의 문제로 하나만을 수용하는 것으로 하였다. 두 개의 송신 안테나를 실장하는 단말에서는 두 안테나 중 채널 상황이 좋은 안테나 하나를 선택하도록 하여 RF 회로를 공유하도록 하였다. Release 8 상향 링크의 주파수 효율은 4.3bps/Hz 정도로 ITU에서 요구하는 IMT-Advanced 상향링크 주파수 효율인 6.75bps/Hz를 만족시키지 못할 뿐 아니라 LTE-Advanced 상향링크 주파수 효율인 15bps/Hz에는 크게 못 미친다. 따라서 LTE-Advanced 시스템에서는 상향에서도 최대 4개의 송신 안테나를 지원하는 것으로 하였다. 하향링크와 마찬가지로 이를

지원하기 위한 reference signal의 정의가 필요한데, 상향링크는 기본적으로 UE specific reference signal을 전송하기 때문에 상향링크는 기본적으로 DM-RS가 정의되어 있었다. 따라서 상향 MIMO를 위해서는 안테나 각각에 별도의 reference signal인 Sounding Reference Signal (SRS)을 전송하도록 하였고 eNode B에서 이를 바탕으로 CSI를 결정하여 RI, PMI, CQI feedback 신호를 생성하도록 하였다.

### 3.4. 무선 중계기 (Relay)

무선 중계기는 셀의 커버리지를 확장하거나 혹은 전파 음영지역에 대한 커버리지 홀(coverage hole)을 메울 수 있다는 점에서 매우 효과적이다. 기존의 커버리지 홀을 메우는데 활용했던 중계기와 구분한다면 기존의 중계기들은 매크로 셀 환경을 기준으로 했다고 하면 무선 중계기는 작은 셀 환경을 기준으로 한다고 할 수 있다. 중계기가 별도의 물리적 셀 아이덴티티 (Physical Cell Identity: PCI)를 가지며 필요한 모든 물리 채널(physical channel)을 전송하고 eNode B와 동일한 무선 자원 관리(Radio Resource Management: RRM)등을 수행하여 UE들에게 일반적인 eNode B처럼 보이면 non-transparent relay라고 하고 이를 type 1 relay라 한다. 별도의 PCI를 가지지 않고 동작하는 relay를 transparent relay 혹은 type 2 relay라고 하고 backhaul 링크를 조기에 디코딩하고 신호를 증폭하여 재전송하는데 참여한다. 또한 non-transparent relay는 relay가 속한 eNode B (Doner eNode B:DeNB)와 UE로 동시에 신호를 전송할 수 없는 half duplex 방식으로 운영될 때 type 1, full duplex로 운영하는데 DeNB와 relay간 relay와 UE간의 신호를 서로 다른 주파수 대역으로 할당하는 out-band 인 경우를 Type 1a, in-band인 경우를 Type 1b로 구분하고 있다. 어떠한 type의 중계기이건 DeNB와 relay를 적절히 구분하고 자원을 효율적으로 활용하기 위한 방식들이 release 10에서 논의되었다.

## IV. Beyond 4G (B4G) 시스템 주요기술

이번 장에서는 LTE-Advanced 시스템 이후에 주요

하게 다루게 될 기술들에 대해서 살펴보고자 한다.

Release 10에서 주요하게 다루었던 기술들에 대해서 추가적인 성능 개선이 필요한 내용으로는 주파수 효율을 올리기 위한 MIMO 기술의 효율을 더욱 더 높여주기 위하여 link-level에서 주로 고려했던 MIMO를 system level에서 고려하여 성능을 더욱 올려 줄 수 있는 방식이 고려될 예정이다. 또한 MU-MIMO 기술을 통해서 얻을 수 있는 이득은 이론적으로 Dirty Paper Coding (DPC) 방식을 사용했을 때 최대인 것으로 알려져 있다. 그러나 DPC 방식은 채널 상태에 대한 매우 정확한 정보를 요구하고 또한 복잡도가 매우 높아 실제적인 시스템으로는 구현되지 못하고 있다. 결국 실제적인 시스템의 MIMO 이득을 더욱 높여주기 위해서는 채널 정보를 얼마나 더 정확히 feedback 할 수 있는지의 문제로 B4G 시스템에서 계속적으로 논의될 기술 중의 하나이다.

Release 10을 정의하면서 같이 논의했던 기술 중에서 시간 제약으로 인하여 반영되지 못하고 release 11에서 논의하기로 한 기술들로는 Coordinated Multipoint (CoMP) 전송 방식과 개선된 셀 간 간섭 조절 (enhanced Inter-cell Interference Coordination: eICIC) 방식이 있다. eICIC 기술은 release 10에도 일부 채택되어 있지만 본 고에서는 B4G 기술로 분류하였다. B4G 기술에서 크게 다루게 될 두 가지가 하나는 여러 가지 형태의 셀이 혼재하는 Heterogeneous Network(HetNet)이고 다른 하나는 기계와 기계간의 통신인 M2M (Machine to Machine 혹은 Device to Device:D2D) 기술이다. eICIC 기술이 HetNet 환경에서의 간섭 조절을 주요 목표로 하고 있어 본 고에서는 eICIC는 B4G 기술로 분류하였다.

#### 4.1. Cooperative Multipoint (CoMP) 전송

Network MIMO 혹은 distributed MIMO라고도 불리는 CoMP는 셀 경계 지역의 UE 등에게 인접한 셀들이 협력하여 신호를 전송하는 방식을 말한다. 이러한 CoMP 전송을 위해서는 인접 셀들이 전송할 데이터 및 채널 정보를 공유해야 하는데 결국 CoMP 기술은 이들 정보를 어떻게 공유할 것인가의 문제와 밀접하게 연관되어 있다. 채널 정보와 데이터 모두를 공유하는 기술로는 CoMP 전송에 협력하는 셀이 모두 데이터를 전송

하는 joint transmission 방식과 최적의 셀을 선택하는 dynamic switching 기술이 있다. 데이터와 채널 정보 모두를 공유하기에는 backhaul의 부담이 너무 크기 때문에 채널 정보만을 공유하고 그에 따라 협력적으로 스케줄링을 수행하거나 인접 셀들의 채널 상태를 고려하여 전송 빔을 형성하는 기법도 활발하게 고려될 것이다. 이와 더불어 CoMP 전송에 relay들이 참여했을 때의 기술도 활발히 논의 될 것으로 보인다.

#### 4.2. Heterogeneous Network(HetNet)과 enhanced Inter-Cell Interference Coordination (eICIC)

이동통신을 통한 어플리케이션이 다양해지고 또한 데이터 트래픽이 폭증함에 따라 이동통신 서비스 환경의 다양성과 높은 시스템 용량의 필요성이 점차로 증가하고 있다. 최근 들어 용량의 증가와 커버리지의 확충을 위한 Femto-cell이 도입되기 시작했고 결국 이동통신 망은 Macro-, Micro-, Pico-, Femto- 셀들이 서로 다른 전송 전력과 자원할당 메커니즘을 갖고 혼재하는 Heterogeneous Network(HetNet)으로 진행될 것은 명확해 보인다. 이러한 HetNet에서는 이종 망간의 간섭이 homogeneous network에 비하여 셀 간 간섭이 훨씬 더 심각할 수 있을 것으로 보이고 이를 적절히 제어하기 위한 기술이 필요하다. Homogeneous network에서의 ICIC 기술이 release 8,9에서 주로 논의 되었다면 eICIC 기술은 HetNet 환경에서 Macro-와 Pico-cell 간 혹은 Macro-와 Femto-cell 간의 간섭을 적절히 제어하기 위한 기술이다. 간섭 환경은 HetNet의 구성에 따라 크게 달라질 수 있다. 예를 들어 Femto-cell이 Closed Subscriber Group (CSG) 모드로 동작할 경우 Femto-cell 커버리지 내에 CSG에 속하지 않은 Macro-cell UE가 존재한다면 Femto-cell로부터 강한 간섭을 받게 될 수 있다. 이들 간섭을 조정하기 위하여 주파수 영역과 시간 영역에서 신호 전송을 적절히 조절되어야 하는데 현재는 시간 영역에서 조절 방식이 주로 논의 되었고 향후에는 주파수 영역에서의 조절 및 주파수/시간 영역을 동시에 고려하는 조절 방식 등이 논의될 것으로 보인다.

또한 HetNet 환경에서는 서로 다른 커버리지, 전송 전력들을 수용해야 하기 때문에 각각의 셀이 인접 셀 상태를 자동적으로 검출하여 스스로 최적화 하는 Self-

Optimizing Network(SON) 기술도 활발히 논의 될 것으로 보인다.

### 4.3. Machine to Machine 통신

기기 간 직접 통신 (M2M 혹은 D2D 통신)은 기지국을 통하지 않고 기기들이 직접 통신하는 분산형 통신 기술을 이야기 한다. 스마트 폰 등의 발전으로 인하여 다양한 어플리케이션이 개발되면서 기존의 기지국을 근간으로 하는 통신 환경에서 벗어나 기기간에 정보를 모으고 전달하는 어플리케이션이 점차로 늘어날 것으로 보인다. 이러한 새로운 어플리케이션을 기존의 기지국을 근간으로 하는 통신방식으로 처리하려면 심각한 망 부하가 발생할 것이다. M2M 통신 환경에서는 이동 단말 등의 각각의 노드들이 스스로 인접 단말을 찾아 통신을 수행하는 방식으로 기지국으로 집중되는 트래픽을 분산 시킬 수 있다. 따라서 M2M 통신은 cellular 형태의 통신 방식이라기 보다는 ad hoc 네트워크 형태의 통신 방식에 가깝다. 대표적인 기술 중의 하나로는 Qualcomm사에서는 M2M 통신을 위해서 FlashLinQ가 있다 [5].

M2M 통신은 ad hoc network 환경에 가깝기 때문에 통신에 참여할 기기 탐색 방식 (peer discovery), 페이징, 스케줄링, 신호 전송 등 거의 모든 과정이 새롭게 정의되어야 할 것으로 보인다.

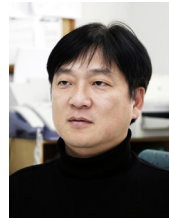
## V. 결 론

본 고에서는 3GPP release 8 규격인 LTE 시스템 이후의 차세대 이동통신 기술로 release 10 LTE-Advanced 시스템의 주요 기술과 그 다음 시스템으로 고려되는 Beyond 4G 시스템의 주요 기술에 대하여 살펴 보았다. LTE-Advanced 시스템의 주요기술로는 반송파 결합 기술, 개선된 상하향 MIMO 기술, 무선 relay 기술을, B4G 기술로는 CoMP, HetNet 및 eICIC 기술, M2M 통신에 대하여 소개 하였다.

## 참고문헌

- [1] 3GPP, 3rd Generation Partnership Project; Technical specification group radio access network: Requirements for Evolved UTRA and Evolve UTRAN 3GPP TR 25.913
- [2] 윤영우, "LTE-Advanced 표준기술," 한국통신학회지 Vol 28, No.6, pp.61-83, June 2011.
- [3] P. Bhat et al., "LTE-Advanced: An Operator Perspective," IEEE Communications Magazine, Vol. 50, No. 2, pp.104-114, Feb. 2012
- [4] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Skold, " LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband," Academic Press, 2011
- [5] X. Wu, "FlashLinQ: A clean slate design for ad hoc networks," Presentation slide by Qualcomm, May 2010

## 저자소개



홍인기(Ee-kee Hong)

경희대학교 전자전파공학과 교수  
SK Telecom 선임연구원  
NTT DoCoMo 교환연구원  
한국통신학회 상임이사

※관심분야 : 이동통신, Cross-Layer Optimization, 스펙트럼 엔지니어링