

# 3GPP 기반 5G 이동통신 기술 발전 전망

안재영, 송평중  
한국전자통신연구원

## I. 요약

아이폰을 비롯한 새로운 스마트 기기의 도입으로 촉발된 폭발적인 데이터 트래픽의 증가는 사회, 경제적으로 큰 변화를 가져 왔으며, 앞으로도 그 추세가 계속될 것으로 예측되고 있다. 국내의 경우 증가하는 데이터 트래픽을 수용하기 위해 10MHz의 LTE 시스템을 도입하여 상용 서비스를 시작한 바 있으며, 올해 하반기부터는 20MHz의 광대역 LTE 서비스와 함께 2개의 반송파를 집성하는 CA(Carrier Aggregation) 기술이 적용된 LTE-Advanced, 즉 4G 상용 서비스를 이미 개시하였다.

LTE 상용 서비스가 본격화 되기 시작하면서 제조업체와 대학, 연구소 등을 중심으로 다음 세대 이동통신 기술에 대한 관심이 보다 높아졌으며, 최근 LTE-Advanced 상용 서비스 개시를 계기로 5G 이동통신에 대한 논의가 본격적으로 시작되고 있다.

ITU-R WP(Working Party) 5D는 2012년 7월에 개최된 제 13차 회의에서 2020년 및 그 이후의 미래 IMT 시스템을 위한 비전(Vision) 및 기술동향 연구를 수행하기로 결정하였으며, 2013년부터 본격적인 연구에 착수하여 미래 IMT 기술동향 보고서와 미래 IMT 비전 권고를 각각 2014년과 2015년까지 개발할 계획이다. 이와 관련하여 3GPP와 IEEE 802도 현재 표준화가 진행되거나 진행 예정인 최신 기술들을 중심으로 미래 IMT 기술동향 보고서에 대한 기고를 제출하였다.

향후 ITU-R WP 5D는 전례로 볼 때 현재 진행 중인 2020년 및 그 이후의 미래 IMT 시스템을 위한 비전 및 기술동향 연구 작업이 마무리하면, 4G인 IMT-Advanced의 경우와 마찬가지로 5G의 기술적 요구사항을 정의하고, 5G 후보 기술규격을 외부 표준화 기구들로부터 제안 받아 5G 기술로 승인하는 과정을 밟게 될 것이며, 이후 이 요구사항을 만족하는 시스템을 5G 이동통신 시스템이라고 명명하게 될 것이다..

5G 이동통신 시스템에 대한 요구사항은 다양한 의견 교류를 통해 큰 틀에서 컨센서스를 이루어가는 중이며, 이러한 내용이 ITU-R WP 5D의 기술적 요구사항에 반영되어 보다 구체화 될 것이다. 반면 5G에 대한 기술적 접근방법에 대해서는 여러 시

각들이 존재하는 것이 사실이나, 현재 이에 대한 논의가 활발히 진행되고 있으며, 결국은 관련 표준화 기구들에서의 논의를 통해 그 접근방법이 최종적으로 결정될 것으로 보인다.

본 고에서는 먼저 5G 이동통신 요구사항과 4G 이후의 표준화 기술에 대해 살펴 본 후, 향후 이동통신 기술이 어떤 시나리오에 따라 발전할 것인지, 5G 네트워크는 어떤 구조를 갖게 될지, 그리고 어떤 기술이 적용될 지 등에 대해 개인적인 시각에서 전망해보고자 한다.

## II. 5G 이동통신 요구사항

유럽의 FP7 프로젝트 중 하나인 METIS(Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society)가 제시하는 5G의 기술적 목표는 다음과 같다[1].

현재 대비,

- 단위면적 당 모바일 데이터 양 1,000배 증가 (즉 단위면적 당 무선망 전송용량 1,000배 증대)
- 연결 디바이스 수 10~100배 증가
- 보통의(typical) 사용자 데이터 전송률 10~100배 증가
- 저전력 대규모 M2M 통신 디바이스 배터리 수명 10배 증가
- 단대 단(end-to-end) latency 1/5배로 감소

상기의 목표는 현재 네트워크와 유사한 cost와 에너지 소모로 달성하는 것을 전제로 하고 있다. 따라서 단위 비트 당 비용과 소모 에너지를 나타내는 네트워크 비용 효율과 에너지 효율이 현재 대비 각각 1,000배가 되어야 함을 의미한다.

국내에서도 5G 포럼 등에서 5G 요구사항에 대한 논의가 진행되고 있으며, 일부 항목에 대해서는 다음과 같이 상기의 METIS 요구사항보다 더 도전적인 목표가 제시될 것으로 예상된다.

- 사용자 데이터 전송률 1,000배 증가

- 연결 디바이스 수 1,000배 증가
- Latency 1/10 또는 그 이하로 감소

이러한 5G 요구사항을 달성하기 위해서는 특정 기술의 개선·개발뿐만 아니라 일부 변혁적 기술의 도입도 필요할 것이다.

### Ⅲ. 4G 이후의 표준화 기술

본 장에서는 4G 이후의 표준화 기술에 대해 살펴보고자 한다. 현재 논의되고 있는 많은 4G 이후 기술들은 향후에도 발전을 거듭하여 5G에서도 중요한 위치를 차지할 것으로 예상되므로, 5G 이동통신 기술을 전망하기에 앞서 이러한 기술들을 먼저 살펴보는 것이 의미가 있을 것이다.

ITU-R이 승인한 IMT-Advanced, 즉 4G 이동통신 표준규격은 3GPP LTE-Advanced와 IEEE 802.16m이 있다. 그러나 최근 mobile WiMAX (WiBro) 시장이 점차 축소되면서 IEEE 802.16의 표준화 활동도 크게 활기를 잃어감에 따라, 점차 LTE-Advanced만이 의미 있는 4G 기술로 남게 되는 상황으로 가고 있다. 이러한 점을 반영하여 본 고에서는 3GPP의 LTE-Advanced Release-10 이후의 표준화 기술로 논의를 한정하고자 한다.

3GPP는 LTE-Advanced Release-10 규격을 완성한 이후 Release-11 표준화를 진행하여 2012년 완료한 바 있다. Release-11 표준화 아이템 중 가장 대표적인 것은 CoMP(Coordinated Multi-Point) 송수신 기술이다. 3GPP는 현재 Release-12 표준화를 진행 중이며, LTE-Advanced와 관련한 주요 표준화 아이템은 다음과 같다.

- WI (Work Item) 단계의 주요 표준화 아이템
  - LTE TDD - FDD Joint Operation
  - Low Cost & Enhanced Coverage MTC UE for LTE
- SI (Study Item) 단계의 주요 표준화 아이템
  - 3D-channel model for Elevation Beamforming and FD-MIMO studies (i.e., massive MIMO)
  - Network Assisted Interference Cancellation and Suppression (NAICS)
  - CoMP for LTE with Non-ideal Backhaul (CoMP NIB)
  - LTE Device to Device Proximity Services (D2D)
  - Group Communication for LTE
  - Small Cell Enhancements - Physical Layer Aspects (SCE - PHY)
  - Small Cell Enhancements - Higher Layer Aspects

(SCE - HL)

- WLAN/3GPP Radio Interworking
- Next-generation SON
- RAN aspects of Machine Type and other mobile data applications Communications enhancements

본 고에서는 이들 중에서 5G로의 진화 관점에서 보다 의미가 있을 것으로 예상되는 CoMP와 CoMP NIB, massive MIMO, NAICS, D2D (Device to Device), 소형셀 향상(Small Cell Enhancements), TDD-FDD 통합 운용, 그리고 WLAN/3GPP 무선 연동에 대해 검토해 보고자 한다.

#### 1. CoMP 및 CoMP NIB

CoMP (Coordinated Multi-Point) 송수신 기술은 고전송률 영역의 확대, 셀 경계 및 셀 평균 용량 향상을 목적으로, 지리적으로 떨어진 복수의 송수신 점들 간의 협력 송수신 기술을 의미한다.

##### 1.1 CoMP (Release-11)

3GPP Release-11에서 고려한 CoMP 시나리오는 다음 4가지이다.

- CoMP 시나리오 1: 고전력 RRH (Remote Radio Head)들이 하나의 site에 위치
- CoMP 시나리오 2: 고전력 RRH 들이 각기 다른 site에 위치
- CoMP 시나리오 3: 매크로셀(고전력 RRH) 커버리지 내의 저전력 RRH들로 구성된 이종 네트워크(Heterogeneous Network : HetNet)로 저전력 RRH는 매크로셀과 서로 다른 셀 아이디를 가짐
- CoMP 시나리오 4: CoMP 시나리오 3와 동일하며, 단지 저전력 RRH가 매크로셀과 동일한 셀 아이디를 가짐

상기의 시나리오는 모두 전송점들 간의 이상적 백홀(ideal backhaul)을 전제로 하고 있다. CoMP 시나리오 1에서의 CoMP 협력 지역은 동일 site에 있는 복수 개의 매크로셀로만 한정된다. CoMP 시나리오 2에서는 eNB에 연결된 고전력 RRH가 형성하는 모든 셀이 CoMP 협력 지역을 구성한다. CoMP 시나리오 3/4는 그림 1과 같이 매크로셀 커버리지 내에 저전력 RRH가 위치한 이종 네트워크로, eNB와 저전력 RRH가 형성하는 모든 셀이 CoMP 협력 지역을 구성한다.

하향링크 CoMP 송신 방식은 크게 JP (Joint Processing)와 CS/CB (Coordinated Scheduling/Beamforming)로 나눌

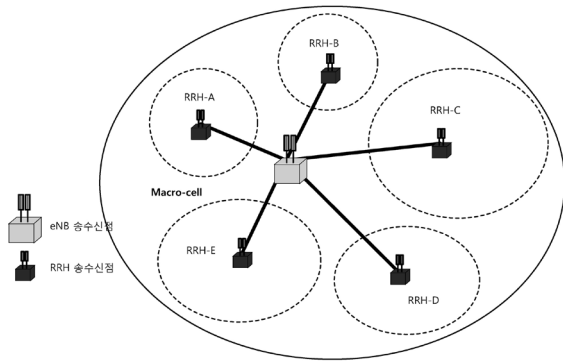


그림 1. CoMP 시나리오 3/4

수 있다. JP에서는 지리적으로 떨어져 있는 복수의 전송점들이 단말에게 전송할 데이터를 공유한다. JP 기술은 조인트 전송 (Joint Transmission)과 동적 전송점 선택 (Dynamic Point Selection)으로 나누어진다. 조인트 전송에서는 다수 전송점들이 동시에 같은 자원을 사용하여 같은 데이터를 단말에 송신한다. 동적 전송점 선택은 어느 순간에 한 개 전송점이 데이터를 전송하지만 전송점은 동적으로 바뀔 수 있다. CS/CB에서는 데이터를 전송하는 전송점은 하나이지만 이 전송점은 주변 전송점들과 스케줄링 및 빔 형성에 대한 협력을 통해 전송점들의 커버리지 경계에 위치한 단말이 경험하는 간섭을 줄인다.

상향링크 CoMP는 JR (Joint Reception)과 CS/CB로 나눌 수 있다. JR은 복수의 수신점들을 통해 수신한 상향링크 신호를 조인트 처리하는 방식을 의미하고, CS/CB는 복수의 수신점들이 서로 협력하여 스케줄링과 프리코딩을 수행하는 방식을 의미한다. 이때 단말은 한 개의 수신점을 가정하고 데이터를 송신한다.

## 1.2 CoMP NIB (Release-12)

모든 사업자들이 항상 이상적 백홀을 이용할 수 있는 것은 아니기 때문에 3GPP는 Release-11에서 비이상적 백홀(non-ideal backhaul)로 연결된 기지국 사이의 송수신 협력에 대한 표준화를 진행하고 있다. 백홀 성능의 제한 때문에 Release-11 CoMP의 JP 기술을 적용할 수 없으므로 준고정 전송점 선택/침묵((Semi-static Point Selection/Muting) 기술을 포함한 CS/CB 기술에 대해 표준화를 진행하고 있다.

## 2. massive MIMO

massive MIMO는 기지국에 현재보다 매우 많은, 수십 개 이상의 안테나를 장착하여 높은 전송 속도와 더불어 높은 에너지 효율을 얻고자 하는 다중안테나 기술이다. TDD 시스템에서의 massive MIMO에 대한 최초의 연구 결과, 즉 상향/하향링크의

채널 상관 관계를 이용하여 완벽한 채널벡터를 얻을 수 있다면 안테나 수가 많아질수록 서로 다른 사용자의 채널간 간섭이 상쇄되어 단순한 송수신 필터의 사용으로 여러 사용자를 동시에 서비스할 수 있다[2]는 결과 발표 이후 massive MIMO에 대한 연구가 활발히 진행되어 현재는 가장 뜨거운 관심 분야 중 하나가 되었다.

3GPP는 올해 초 기지국 안테나 수를 현재보다 더 늘리고, 기존의 수평 방향 2D MIMO/빔포밍을 수직 방향 빔포밍 및 FD-MIMO (Full Dimensional MIMO)(또는 3D MIMO/빔포밍)으로 확장하여 LTE-Advanced 시스템의 성능을 개선하자는 제안을 승인하였다. 이에 따라 수직 빔포밍과 FD-MIMO 기술을 평가하기 위한 3D 채널 모델과 평가 방법을 정의하는 SI를 먼저 진행하고 있으며, 이 작업이 완료된 후 수직 빔포밍과 FD-MIMO 기술에 대한 표준화가 진행될 예정이다. <그림 2>은 3D 빔포밍 또는 FD-MIMO의 개념도이다.

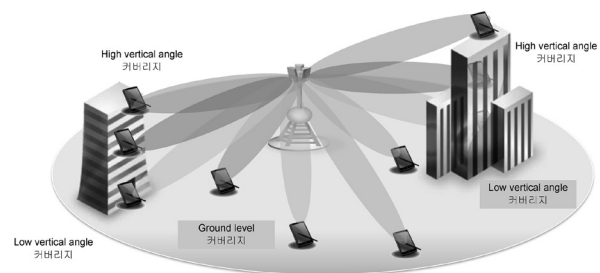


그림 2. 3D 빔포밍 또는 FD-MIMO 개념도

massive MIMO 기술 연구는 주로 TDD 시스템에 집중되었으나, 중국을 제외한 대다수의 이동통신 사업자가 FDD 시스템을 이용하고 있으므로 FDD 시스템을 위한 massive MIMO 기술 개발이 반드시 필요한 상태이다. 그러나 FDD 시스템의 경우 상향/하향링크의 채널 상관 관계를 이용할 수 없으므로 단말은 자신의 채널 상태 정보를 측정해 기지국에 피드백 해야 한다. 이 경우 기존의 MIMO 기술을 그대로 적용하는 경우 안테나 수에 따라 하향링크 채널상태 측정용 기준신호 오버헤드와 하향링크 채널 상태 정보 피드백 오버헤드가 비례하여 증가하며, 또한 매우 많은 수의 단말을 수용하는 MU-MIMO를 위한 복조 기준신호 오버헤드 역시 크게 증가한다. 복조 기준신호 오버헤드 증가는 TDD 시스템의 경우에도 마찬가지로 해결되어야 하는 문제이다.

최근, FDD 시스템에서 발생하는 이러한 문제들을 해결할 수 있는 기술로 JSMD (Joint Spatial Division and Multiplexing) 방식이 제안되었다[3]. 이 기술은 단말의 송신상관행렬 (transmit correlation matrix) 간에 존재하는 유용한 구조를 이용하여 비슷한 송신상관행렬을 갖는 단말들을 그룹으

로 묶고, 이러한 그룹들 중에 서로 유사 직교하는 그룹들을 공간 분리하여 동시에 서비스하는 것이다. 또한 그룹 내의 단말들은 공간 다중화를 통해 동시 전송이 가능하다. <그림 3>은 이러한 JSDM 방식의 개념도이다.

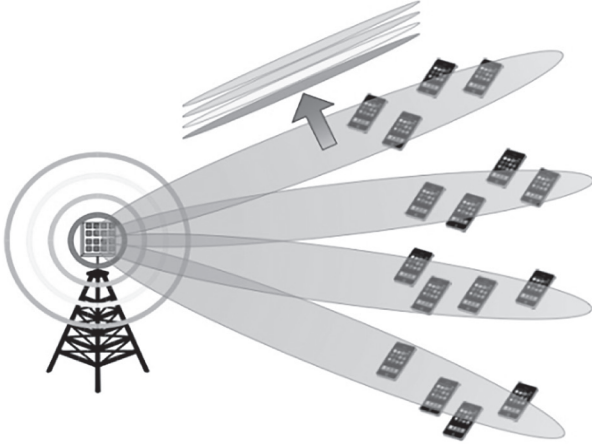


그림 3. JSDM 개념도

### 3. NAICS

NAICS는 네트워크의 지원 하에 셀 간 및 단말 간 간섭을 수신단에서 억압하거나 제거하는 기술이다. 현재까지 셀 간 및 단말 간 간섭을 완화하고자 하는 노력은 주로 제한된 채널 상태 피드백 정보를 기반으로 한 송신단에서의 협력 전송에 집중되었다. 그러나 이와 달리 간섭에 대한 정보를 수신기가 알고 있다면 수신기는 이 정보를 이용해 간섭을 억압하거나 제거할 수 있다. 이 경우 간섭 정보를 수신기에 전달하기 위한 시그널링 오버헤드는 증가하지만 채널 상태 피드백의 부담이 줄어들고, 제한된 피드백 정보에 따른 성능 저하도 막을 수 있다.

간섭의 영향을 완화할 수 있는 고성능 수신기는 크게 간섭 억제 수신기와 간섭 제거 수신기로 분류할 수 있다. 전자의 경우 간섭 신호가 고려된 아래 수식으로 표현되는 MMSE (Minimum Mean Square Error) 기법이 사용된다.

$$\mathbf{H}_D \left( \mathbf{H}_D \mathbf{H}_D^H + \sum_{i \neq D} \mathbf{H}_i \mathbf{H}_i^H + \sigma_n^2 \mathbf{I} \right)^{-1}$$

여기서  $\mathbf{H}_D$ 는 실제 채널 행렬과 송신기의 전처리 행렬이 결합된 유효 채널,  $\mathbf{H}_i$ 는 다른 사용자, 즉 간섭 신호에 대한 유효 채널, 그리고  $\sigma_n^2$ 은 수신기 잡음 분산 값이다. 위와 같은 간섭 억제 수신기를 IRC (Interference Rejection Combining) 수신기라 부른다. 간섭 제거 수신기는 <그림 4>와 같이 간섭 신호를 재생해 이를 수신 신호에서 빼는 형태로 간섭을 제거한다.

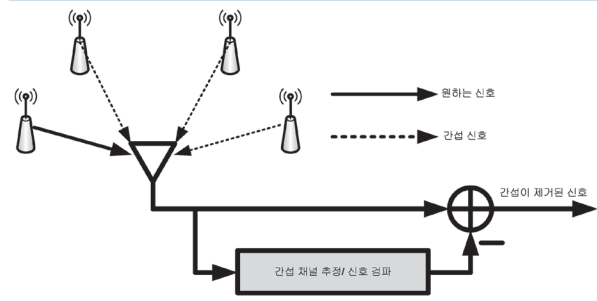


그림 4. 간섭 제거 수신기 개념도

이러한 고성능 수신기의 동작을 위해 네트워크는 수신기에 해당 신호에 대한 정보뿐만 아니라 간섭 신호에 대한 채널 정보, 자원 할당 정보, MCS (Modulation and Coding Scheme) 등을 제공해야 한다.

다중 셀 환경에서 간섭제거 및 용량 개선 관점에서 다양한 수신 알고리즘들이 제시되어 있으며, 3GPP에서는 NAICS를 위한 네트워크 지원과 관련하여 성능 개선 정도, 제공 정보 종류, 오버헤드 등이 논의되고 있다.

### 4. D2D

D2D 기술은 D2D 디스커버리 및 통신으로 구분할 수 있다. D2D 디스커버리는 단말들이 디스커버리 신호를 주고 받아 근접한 상대 단말을 발견하는 기술이고, D2D 통신은 네트워크를 통하지 않고 단말 간 직접링크를 형성해 정보를 주고받는 기술이다. <그림 5>는 단말 간 직접링크를 이용한 다양한 D2D 디스커버리 및 통신의 형태를 보여주고 있다.

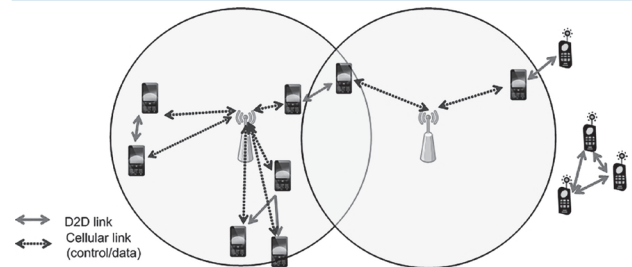


그림 5. 단말 간 직접링크를 이용한 다양한 D2D 디스커버리 및 통신

애초에 D2D는 네트워크 off-loading, 근접 디바이스 발견을 통한 갖가지 응용 서비스 제공 등의 상업적 목적에 초점이 맞추어졌으나 미국 상무성 등의 적극적 요구에 의해 Release-12에서는 일단 (특히 D2D 통신의 경우) public safety 중심으로 표준화가 진행되고 있다. 그러나 Release-13 이후부터는 보다 다양한 D2D 기술이 표준화 될 것으로 전망된다.

#### 4.1 D2D 디스커버리

D2D 디스커버리는 크게 개방형(open) 디스커버리와 제한형(restricted) 디스커버리로 분류된다. 개방형 디스커버리는 상대의 명시적 허락 없이 상대를 발견할 수 있는 디스커버리 방식이다. 개방형 디스커버리의 한 예로, 상점에서 디스커버리 신호를 전송하여 지나가는 사람들에게 마감세일 등의 정보를 전달하는 근접 광고가 있다. 반면, 제한형 디스커버리는 상대의 명시적 허락이 있을 경우에만 상대를 발견할 수 있는 디스커버리 방식이다. 제한형 디스커버리의 한 예로 친구 찾기가 있는데, 이는 카카오톡과 같은 SNS에 등록된 친구끼리 서로 디스커버리 신호를 주고 받으며, 내 주변에 있는 친구들을 찾아주는 것이다.

단말 간 직접 신호를 주고 받으며 상대를 발견할 수 있는 기술로 WiFi P2P를 고려할 수 있다. 하지만 D2D 디스커버리는 WiFi P2P에 비해 몇 가지 장점을 가지고 있다. 먼저 D2D 디스커버리는 WiFi P2P보다 단말의 전력 소모가 적고, WiFi P2P는 전달 거리가 수 백 m에 불과한데 비해 D2D 디스커버리는 수 km의 전달 거리를 제공할 수 있다. 마지막으로 WiFi P2P는 서로 다른 제조사 간 호환성에 제약이 있는 반면 D2D 디스커버리는 서로 다른 제조사 간 높은 호환성을 제공한다.

D2D 디스커버리는 D2D 통신과 함께 2012년 12월에 3GPP에서 SI로 승인되었으며, 현재까지 성능 평가 방법 및 성능 평가 지표, 사용 무선자원, 다중접속 방식, 전송 타이밍, 물리채널 구조, 자원할당 방식 등이 정의되었다.

D2D 디스커버리는 D2D 통신과 마찬가지로 상향링크 자원을 사용하는데, 여기에서 상향링크 자원이란 FDD의 경우 상향링크 스펙트럼이고, TDD의 경우에는 상향링크 서브프레임이다. 또 D2D 디스커버리는 D2D 통신과 마찬가지로 다중접속 방식으로 SC-FDMA를 가정한다. D2D 디스커버리의 전송 타이밍은 하향링크 수신 타이밍을 가정하는데, 이는 RRC\_IDLE 상태의 단말이 D2D 디스커버리 신호를 송수신 할 수 있도록 하기 위함이다. D2D 디스커버리의 물리채널 구조는 LTE 상향 데이터 채널인 PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)를 재사용하지만 채널 코딩, 스크램블링 등에서 차이가 있을 수 있다.

D2D 디스커버리 자원할당 방식으로 Type 1 디스커버리와 Type 2 디스커버리가 있다. Type 1 디스커버리는 디스커버리 신호를 전송하는 자원이 단말 별로 할당되지 않고 모든 단말 또는 특정 단말 그룹별로 할당된다. Type 1 디스커버리에서 디스커버리 신호를 전송하는 단말은 할당된 디스커버리 자원 중 하나를 선택해서 그 자원에 디스커버리 신호를 전송한다. 반면 Type 2 디스커버리는 디스커버리 신호를 전송하는 자원이 단말 별로 할당되는 것으로, 디스커버리 신호를 전송하는 단말은 할당된 디스커버리 자원에 디스커버리 신호를 전송한다.

#### 4.2 D2D 통신

미국 상무성 등으로부터 재난통신의 긴급성에 대한 적극적 요구가 제기되기 전, D2D는 주로 in-coverage에서의 상용 서비스 관점에서 논의되고 있었다. 즉, “어떤 방식으로 네트워크가 자원할당 및 제어를 수행하여 D2D 통신을 제공하는가?”에 초점이 맞추어져 있었고 사업자의 과금 문제도 하나의 중요한 이슈로 등장하고 있었다.

그러나 Release-12에서 다루기로 한 Public Safety 상황에서는 단말이 네트워크에 연결될 수 없는 out-of-coverage 상황을 가정하여야 하고 이때 가장 효과적으로 사용되는 통신 형태가 broadcast이므로 3GPP Release-12에서는 물리계층의 경우 broadcast만 논의하는 것으로 결정되었다. 또 RAN Plenary #61에서는 out-of-coverage, in-coverage, partial-coverage의 작업 우선순위를 순서대로 1, 2, 3으로 결정하였다.

모든 UE들이 공통된 시간 기준을 공유할 경우 용량, 커버리지, 전력절감 측면에서 큰 장점이 있으므로, out-of-coverage에서 공통 시간 기준을 확립하는 기술에 대한 논의도 진행 중이다.

Out-of-coverage D2D 통신은 중앙집중 또는 분산제어 방식으로 제공될 수 있다. 중앙집중 방식에서는 cluster head (CH)로 불리는 UE를 두고 이것이 D2D 통신에 필요한 동기, 자원할당 및 제어를 제공한다. 중앙집중 방식을 사용할 경우 모든 단말이 CH가 될 수 있어야 하는데, 이는 CH가 될 수 있는 단말을 한정할 경우 실제 재난 상황에서 이런 단말들이 존재하지 않을 수 있기 때문이다. 따라서 CH 선출의 어려움, 모든 단말이 CH 기능을 지녀야 하는 복잡도 등이 중앙집중 방식의 단점으로 지적되고 있다.

반면 분산제어 방식에서는 모든 단말들이 동등하며, 전송할 정보를 가진 단말은 사용하지 않는 채널을 정해진 알고리즘에 따라 스스로 점유하고 사용하므로 이 방식을 분산 또는 자동 스케줄링 방식으로 부른다. CH가 없는 평등 구조이므로 CH 간 간섭 등을 고려할 필요가 없고 ad-hoc 망의 크기가 단말 수와 지리적 크기에 상관없이 유연하게 변할 수 있다.

Unicast에서는 HARQ (Hybrid ARQ), CQI (Channel Quality Indicator) 등과 관련된 제어 정보 전송을 위해 피드백 채널이 정의되어야 하나 broadcast만 취급하는 Release-12 D2D에서는 피드백 채널에 대한 논의를 배제하고 있다. 또한 재난 상황에 경관, 소방관 등이 in-coverage 환경에서도 off-network 모드로 통신하는 경우가 허다하므로 out-of-coverage D2D 통신을 in-coverage에서도 운용하도록 강제하고 있다.

우선순위가 3으로 결정되었으나 partial-coverage 또한 중요한 이슈 중의 하나이다. Partial-coverage란 LTE 네트워크와 out-of-coverage에 있는 단말을 연결하는 NW-to-UE 릴레이를 의미한다.

## 5. 소형셀 향상 (Small Cell Enhancements : SCE)

소형셀 향상은 매크로셀 커버리지 내에 (또는 건물 내부 등 의 경우에는 매크로 셀 커버리지 없이) 소형셀을 밀집 배치하고 매크로셀 기지국 및 소형셀 기지국 간, 소형셀 기지국 상호 간의 밀접한 협력을 통해 단위 면적당 스펙트럼 효율(Spectrum Efficiency)를 극적으로 증대시켜 폭증하는 트래픽을 수용하면서 효율적인 이동성 관리를 가능하게 하기 위한 기술이다.

3GPP에서는 현재 고밀도 소형셀 배치에 초점을 두고 효율적 에너지 사용, 효율적 이동성 관리, 주파수 이용효율 증대 등을 위해 소형셀 ON/OFF 및 소형셀 디스커버리, 매크로셀과 소형셀에 대한 단말의 이중연결성, 셀간 간섭제어, 셀간 동기화, 소형셀 채널환경을 고려한 오버헤드 감소 및 고차 변조 사용 등에 대한 논의를 진행하고 있다. 2013년 12월까지 소형셀 향상을 위한 후보기술 확인과 평가 등을 마감하고, 이후 본격적인 규격 작업을 시작하여 2014년 9월경에 Release-12 소형셀 향상 기술에 대한 규격화 작업을 마무리 할 것으로 예상된다.

### 5.1 SCE – PHY

SCE – PHY(Small Cell Enhancements – Physical Layer Aspects)는 현재 RAN1 WI/SI 중에서 사업자들의 관심이 큰 아 이템 중의 하나이다. SCE – PHY SI에서는 2012년 12월에 승인 된 TR(Technical Report) 36.932에 기술되어 있는 소형셀 시나 리오와 요구사항을 만족하기 위해 물리계층에서 필요한 후보 기 술들을 확인하고 후보 기술들이 제공하는 이득을 평가한다.

아래는 Study Item SCE – PHY에서 평가를 목적으로 만든 소형셀 배치 시나리오이다.

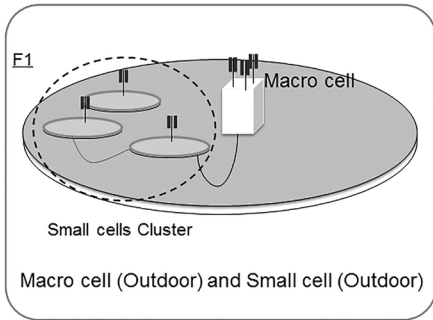
– 소형셀 시나리오 1 (그림 6 (a) 참조)

- 매크로셀이 overlaid 된 구조, 매크로셀과 소형셀들이 동 일한 주파수를 사용, 소형셀들이 실외에 위치

– 소형셀 시나리오 2a/2b (그림 6(b)와 그림 6(c) 참조)

- 매크로셀이 overlaid 된 구조, 매크로셀과 소형셀들이 다 른 주파수를 사용, 시나리오 2a는 소형셀들이 실외에 위

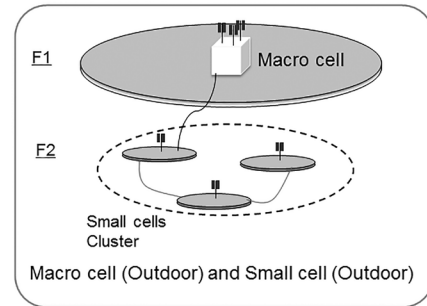
Scenario 1



— Backhaul link within cluster  
 — Backhaul link between small cells and macro cell  
 Note: Users are distributed both for outdoor and indoor.

(a) 시나리오 1

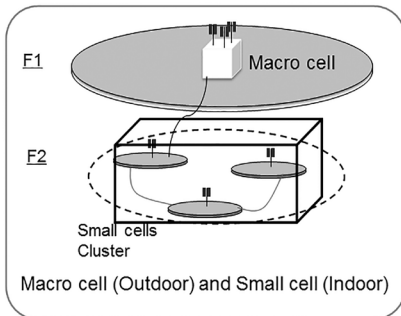
Scenario 2a



— Backhaul link within cluster  
 — Backhaul link between small cells and macro cell  
 Note: Users are distributed both for outdoor and indoor.

(b) 시나리오 2a

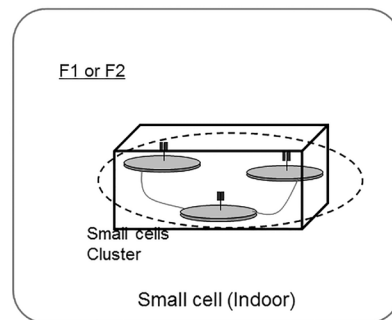
Scenario 2b



— Backhaul link within cluster  
 — Backhaul link between small cells and macro cell  
 Note: Users are distributed both for outdoor and indoor.

(c) 시나리오 2b

Scenario 3



— Backhaul link within cluster  
 Note: Users are distributed both for outdoor and indoor.

(d) 시나리오 3

그림 6. 소형셀 시나리오들[4]

- 치, 시나리오 2b는 소형셀들이 실내에 위치
- 소형셀 시나리오 3 (그림 6 (d) 참조)
  - 매크로셀 커버리지가 없음, 소형셀들이 실내에 위치

위의 모든 시나리오에서 소형셀들은 클러스터를 이루고 클러스터에 들어 있는 소형셀의 밀도가 Rel-10/Rel-11 eICIC/CoMP의 경우에 비해 매우 높다. 그리고 동일 클러스터 내의 소형셀들 간, 클러스터와 매크로 eNB간의 인터페이스는 이상적/비이상적 백홀을 가정하고 이외 다른 인터페이스는 모두 비이상적 백홀을 가정한다.

주로 논의되고 있는 기술 분야는 다음과 같다.

- 스펙트럼 효율 증대
  - 하향링크를 위한 고차 변조 (256 QAM)
  - 단말 고유 레퍼런스 신호의 오버헤드 감소
  - 제어 시그널링의 오버헤드 감소
- 소형셀의 효율적 운영
  - 간섭 회피/조정 등 셀간 간섭문제 해결
  - 에너지 절약과 불필요한 간섭을 없애기 위한 소형셀 ON/OFF와 소형셀 디스커버리
- 무선 인터페이스 기반 동기화
  - 다른 셀의 기준신호 수신을 통한 동기화
  - 단말 지원 기반의 동기화
- 상위 계층 소형셀 향상 기술 지원을 위한 물리계층 기술
  - 새로이 도입되는 단말의 매크로 셀과 소형셀 레이어로의 이중연결성(dual connectivity)을 비롯한 상위계층 요소들을 효율적으로 지원하기 위한 물리계층 기술. 이중연결성은 비이상적인 백홀로 연결된 마스터 eNB (MeNB: Master eNB)와 보조 eNB (SeNB: Secondary eNB)에 단말이 모두 무선 연결을 갖는 상태를 의미하며, 이중연결성을 효율적으로 지원하기 위해서는 물리계층의 변경이 불가피함

현재 3GPP에서는 소형셀 향상 시나리오, 시뮬레이션 등의 평가를 위한 채널, 가정, 조건 등에 대해 대부분 합의가 이루어진 상태이고 일부 주제들에 대해서는 시뮬레이션 결과가 제시되고 있다.

## 5.2 SCE - HL

SCE - HL SI에서는 TR 36.932에 정의된 소형셀 시나리오와 요구사항을 만족하기 위한 시스템 구조 및 상위계층 프로토콜에 대한 논의를 진행 중이며, 그 주요 내용은 다음과 같다.

- 동일 주파수 혹은 서로 다른 주파수를 이용한 매크로 셀 및 소형셀 환경에서 이중연결성 지원에 따른 이득 평가

- TR 36.932에서 제시한 시나리오들을 지원하고 이중연결성 시나리오를 위한 구조 및 제어평면/사용자평면 프로토콜 관련 개선

소형셀 향상을 위한 솔루션으로 이중연결성과 RRC 다이버시티가 제안되었다. 이중연결성은 하나의 이동단말이 비이상적인 백홀로 연결된 2개 이상의 서로 다른 네트워크 접속점에서 제공하는 무선자원을 이용하여 서비스를 제공받는 동작을 의미한다. 이중연결성을 지원하는 시나리오 2에서 사용자의 전송용량 향상을 위한 기술로 노드 간 무선자원 집성 (Inter-node radio resource aggregation) 기술이 제안되었다. 이는 그림 7과 같이 사용자 데이터 전송을 위해 하나 이상의 eNB에서 제공하는 무선자원을 집성하는 것으로, 이때 코어망(Core Network)에 대한 시그널링 오버헤드를 줄이기 위해 매크로 셀을 Mobility anchor로 설정하는 것이 하나의 실현방안이 될 수 있다.

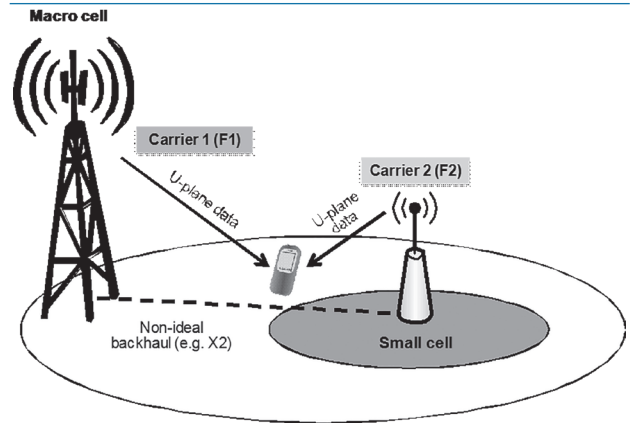


그림 7. 노드 간 무선자원 집성 [SCE-HL]

RRC 다이버시티는 소형셀 시나리오 1에 적용되는 기술로, 핸드오버와 관련된 RRC 시그널링을 Source와 Target cell에서 송/수신하여 이동성의 성능(mobility robustness)을 향상시키고자 하는 기술이며, 이를 통해 이동단말은 적어도 하나의 셀에 대한 연결을 유지할 수 있으므로 RLF(Radio Link Failure)를 최소화하고 핸드오버 성능을 높일 수 있다.

## 이중연결성 지원을 위한 사용자평면 프로토콜 구조

이동단말에게 이중연결성을 제공하기 위해서는 하나의 MeNB와 하나 이상의 SeNB가 필요하며, 이들을 이용하여 사용자평면 데이터를 분할하기 위한 방법으로 <그림 8>과 같은 3가지 구조를 고려해 볼 수 있다.

- Option 1: S1-U가 SeNB에서 중단하는 형태
- Option 2: S1-U가 MeNB에서 중단하고 RAN에서 bearer

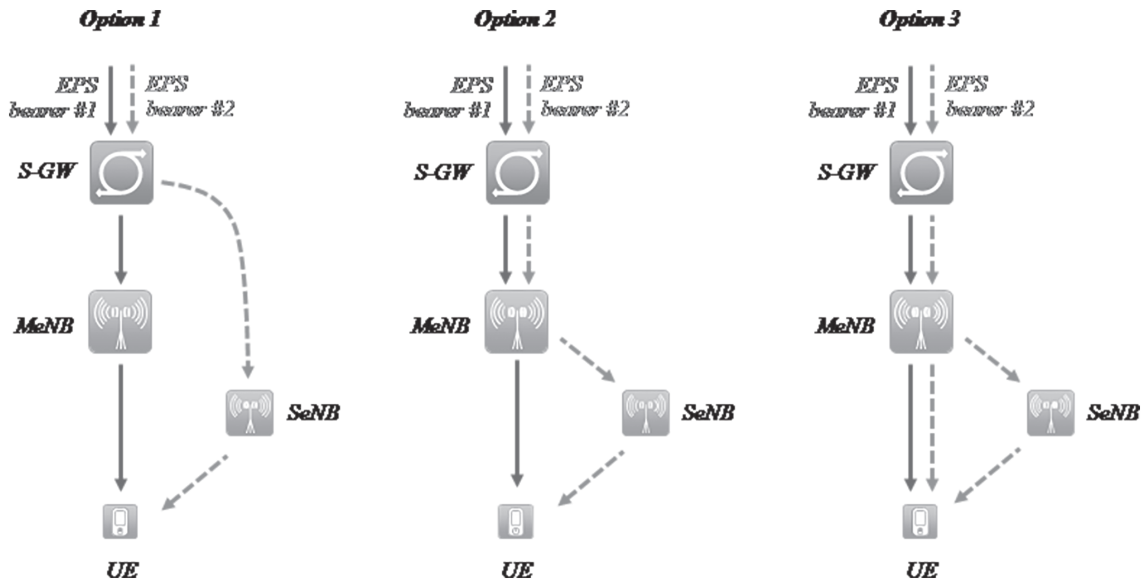


그림 8. 이중연결성을 위한 bearer split 구조 옵션[5]

split을 지원하지 않는 형태

- Option 3: S1-U가 MeNB에서 중단하고 RAN에서 bearer split을 지원하는 형태

3GPP에서는 논의를 통해 이 중 Option 1과 Option 3를 down-selection 하였고, 또한 제한된 9개의 사용자평면 프로토콜 구조 중 <그림 9>와 같이 bearer split을 지원하지 않는 구조(1A)와 bearer split을 지원하는 구조(3C)에서 각 하나씩의 구조를 down-selection 하였다.

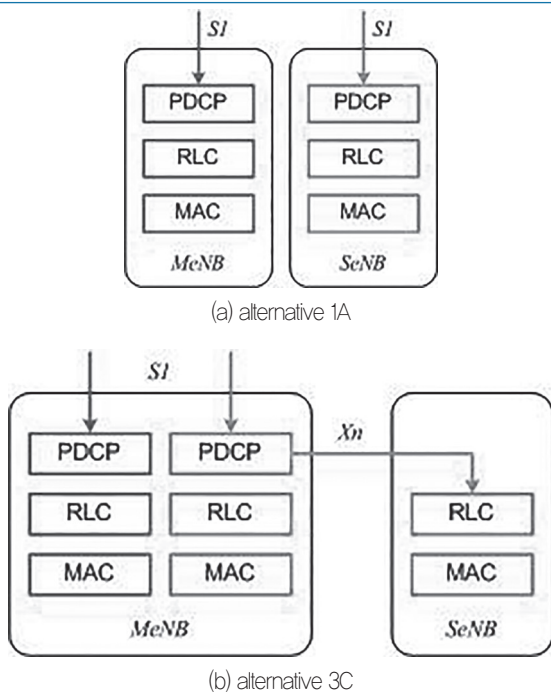


그림 9. 사용자평면 프로토콜 구조 옵션[5]

### 이중연결성 지원을 위한 제어평면 프로토콜 구조

이중연결성을 위한 제어평면 프로토콜 구조는 <그림 10>과 같은 2가지 형태로 나누어 볼 수 있다.

- C1 : MeNB가 SeNB의 RRC 기능을 대행하는 형태이며, RRC 절차를 위해서 MeNB와 SeNB 간 정보교환이 필요하다.
- C2 : MeNB 및 SeNB에서 모두 RRC 메시지를 생성하여 이동단말과 송/수신하는 형태이며, 이 경우에도 MeNB의 RRM 및 SeNB의 RRM 간 협력이 필요하다.

3GPP에서는 앞서 기술한 제어평면 구조에 대해 여러 성능 지표를 고려해 장/단점을 논의하였으며, 최종적으로 C1의 제어평면 프로토콜 구조를 down-selection 하였다.

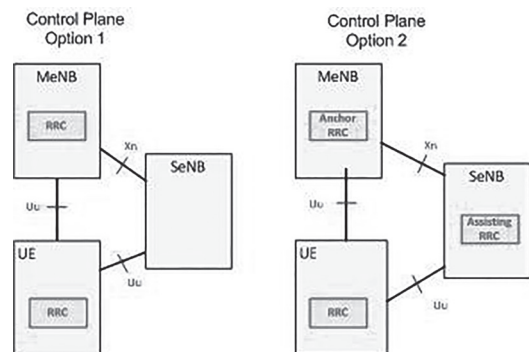


그림 10. 이중연결성을 위한 제어평면 프로토콜 구조 옵션[SCE-HL]

## 6. TDD-FDD 통합 운용 (TDD-FDD joint operation)

TDD 반송파와 FDD 반송파 통합 운용을 위해 검토되고 있는



기술은 반송파 집성(Carrier Aggregation; CA)과 이중연결성 등이다. 즉 TDD와 FDD 셀이 동일 site에 있거나 이상적 백홀을 이용한 경우에는 TDD와 FDD 반송파에 CA를 적용하고, 비이상적 백홀의 경우에는 TDD-FDD 반송파 간 이중연결성을 적용한다. 소형셀 향상 기술 관점에서는 매크로셀에 FDD 반송파, 소형셀에 TDD 반송파를 사용하는 시나리오에 관심이 많다.

### 7. WLAN/3GPP 무선 연동

현재의 WLAN과의 연동은 코어망 수준으로 이루어지고 있으며(예, ANDSF(Access Network Discovery and Selection Function) 이용), 이에 따라 셀룰러와 WLAN에 대한 단말별 링크 품질, 백홀의 품질, 로드 상태와 같은 정보를 이용할 수 없다. 또한 무선자원관리도 셀룰러와 WLAN에 대해 개별적으로 이루어졌다.

WLAN/3GPP 무선 연동은 무선접속망 수준에서 WLAN과 3GPP 망을 연동/통합하는 기술로, 셀룰러와 WLAN에 대한 단말별 링크 품질, 백홀의 품질, 로드 상태와 같은 정보를 이용하여 사용자 경험을 향상시키고, 사업자의 접속망 활용도를 개선하며, OPEX를 감소시키고자 하는 것이 목적이다. 이를 위한 3개의 솔루션이 제안되었으며, 현재 이들에 대한 기술적 구체화 작업을 진행 중이다.

## IV. 5G 이동통신 발전 시나리오

5G에 대한 기술적 발전 시나리오는 크게 다음과 같은 2가지로 분류할 수 있다.

- 변혁적 시나리오 : 새로운 RAT(Radio Access Technology)의 전면적 도입
- 진화적 시나리오 : 4G 기술의 개선 및 4G 시스템에서 새로운 기술/RAT의 수용

### 1. 변혁적 시나리오

이 시나리오는 이제까지 우리가 경험해 온 것으로, 이전 세대인 4G와 완전히 다른 새로운 무선 인터페이스를 개발하는 시나리오이다. <그림 11>은 5G로의 변혁적 발전 시나리오를 보여주고 있다.

이 시나리오는 4G 진화 기술과 별도의 6GHz 이하의 셀룰러 대역을 이용하는 새로운 무선 인터페이스가 정의되고, 이 기술이 적용된 별도의 네트워크 구축이 필요함을 의미한다. 또한 6GHz 이하 대역의 새로운 무선 인터페이스 개발과 해당 대역의 주파수 추가 확보 등을 통해서도 1,000배 무선전송 용량증대와 같은 5G 요구사항을 만족할 수 없다면 불가피하게 6GHz 이상의 새로운 주파수 자원을 추가로 이용해야 한다. 6GHz 이상과 6GHz 이하 대역에서의 전파 특성이 상당히 다르고, 또 6GHz 이상 대역의 경우 연속적으로 확보할 수 있는 대역폭

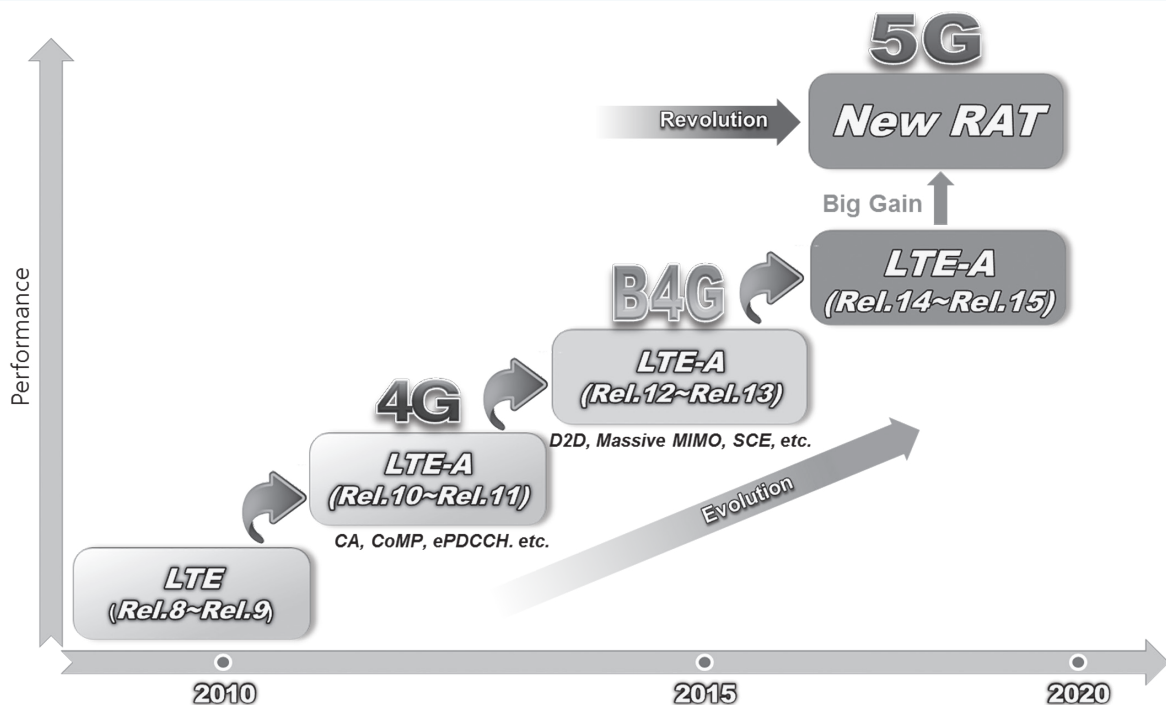


그림 11. 5G로의 변혁적 발전 시나리오

도 매우 크므로 6GHz 이하 대역에 적용할 목적으로 개발된 무선 인터페이스를 이 대역에 그대로 적용하기 어려울 수 있으며, 따라서 이 대역을 위한 별도의 무선 인터페이스를 개발하여 6GHz 이하 대역의 새로운 시스템과 연동하도록 할 수 있다. 물론 6GHz 이하와 이상 대역을 모두 고려한 하나의 5G 통합 무선 인터페이스가 정의될 수도 있을 것이다.

그러나 이 시나리오가 적용되기 위해서는 새로운 RAT(들)을 기반으로 한 5G 시스템이 4G 진화 시스템보다 매우 높은 이득을 제공해야 할 것이다. 그리고 이 시나리오가 현실화되는 경우 5G 시스템은 장기적으로 적절한 시점(예를 들어, 장비의 교체 시기 등이며, 국가마다 상황이 다를 수 있다)에 4G 시스템을 대체하게 될 것이다.

만약 3GPP가 아닌 다른 국제표준화 기구가 만들어 지고 여기서 5G를 위한 별도의 규격을 개발하는 경우에도, 4G 진화 기술 대비 성능 우위 여부와 관계없이 이 시나리오가 현실화 될 수 있다. 또한 만약 6GHz 이상 대역을 이용하는 새로운 RAT만 개발된다면, 다음 시나리오에서 언급할 NCT1을 수용하는 4G 진화 기술과 이 새로운 RAT이 함께 묶여 5G 기술이 되는 시나리오도 가능할 것이다.

## 2. 진화적 시나리오

LTE-Advanced 기술은 향후에도 기존 기술의 개선 또는 새로운 기술을 기존 틀 안에서 수용하는 형태로 진화를 계속할 것

이며, 이와 같은 4G 진화 기술이 5G 요구사항을 만족한다면 이것이 5G 기술이 되고, 이를 LTE-5G라고 부를 수도 있을 것이다. <그림 12>는 5G(LTE-5G)로의 진화적 발전 시나리오를 보여주고 있다.

이 시나리오의 가장 큰 특징은 기존 단말에 대해서는 시스템 차원의 후방향 호환성 (backward compatibility)를 제공하고, 새로운 단말에 대해서는 후방향 호환성을 제공하지 않는 새로운 타입의 반송파(New Carrier Type : NCT)를 이용하여 향상된 성능과 새로운 기능을 제공할 수 있다는 것이다. 즉 기존 단말은 기존 반송파 셀에 접속할 수 있고(시스템 차원의 후방향 호환성 제공), 새로운 단말은 기존 반송파 및 NCT 셀을 모두 이용할 수 있게 될 것이다.

NCT는 후방향 호환성에 대한 제약 없이 고성능의 신기술들을 효과적으로 수용할 수 있는 방법으로, 사용 주파수 대역에 따라 6GHz 이하 대역을 이용하는 NCT1과 6GHz 이상 대역을 이용하는 NCT2로 구분할 수 있다. 6GHz 이하 대역 주파수 자원의 고갈로 6GHz 이상의 주파수 대역이 추가로 필요한 경우 NCT2의 도입을 통해 5G 시스템에서 자연스럽게 6GHz 이상 대역을 이용할 수 있게 될 것이다.

3GPP에서는 2013년 9월까지 NCT에 대한 표준화를 진행하여 왔으나 후방향 호환성을 포기하면서 얻을 수 있는 이득에 대한 컨센서스가 없어 일단 Release-12에서는 표준화를 중단하기로 결정한 바 있다. 그러나 이에 대한 논의는 RAN Plenary

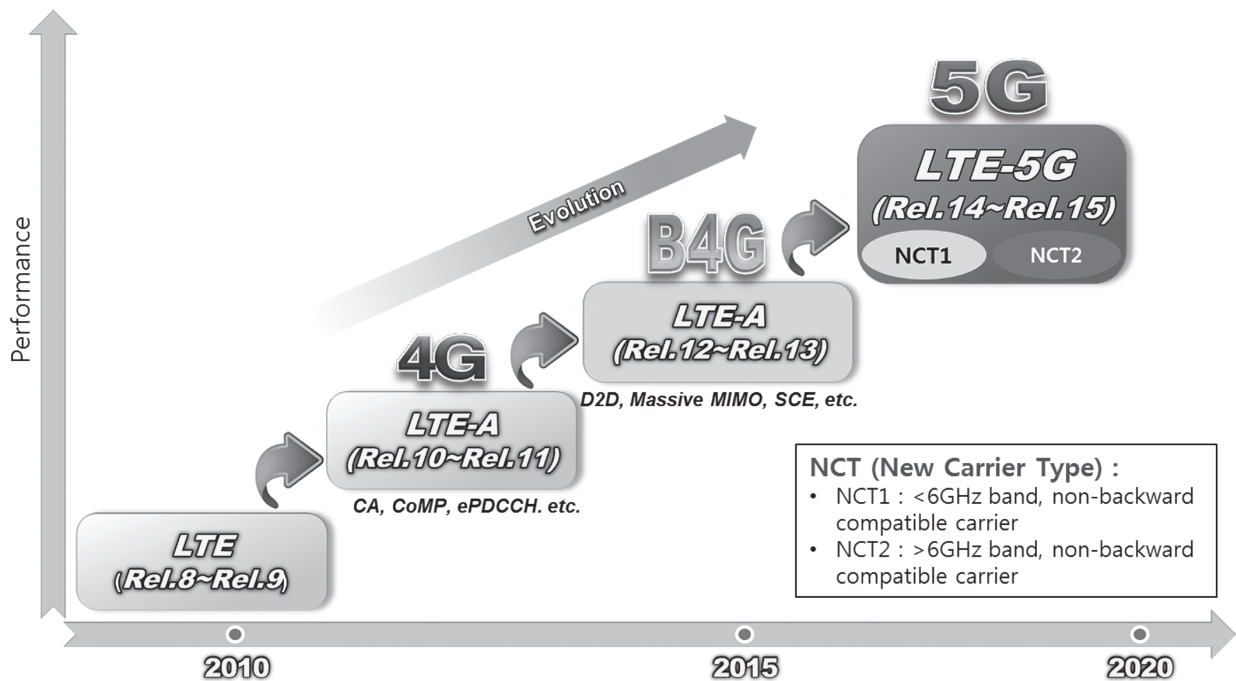


그림 12. 5G로의 진화적 발전 시나리오

차원에서 계속해 나가기로 했기 때문에 이후의 Release에서 이에 대한 표준화가 재개될 것으로 생각된다.

3GPP에서 논의되었던 NCT(NCT1에 해당)는 기존 반송파(primary 셀)의 지원을 받아 secondary 셀로 동작하는 non-standalone NCT와 primary 셀로도 동작할 수 있는 standalone NCT로 구분된다. Standalone NCT 기술은 초기에는 일부 셀에만 적용될 것이나, 필요성에 의해 어떤 시점에서 만약 모든 primary 셀에 이 NCT 기술이 적용된다면 이는 시스템 차원에서도 기존 단말에 대한 후방향 호환성을 지원하지 않게 됨을 의미한다.

6GHz 이상의 주파수 대역을 이용하는 NCT2는 주로 소형 셀에서 이용될 것으로 예상되며, 매크로셀에 이용되는 경우에도 6GHz 이하 대역의 반송파(primary 셀)의 지원 하에 secondary 셀로 동작할 것으로 전망된다.

이 진화적 시나리오는 후방향 호환성을 고려하지 않아도 되는 NCT를 도입하여 반송파 수준에서는 어떠한 변형적 기술도 수용이 가능함에 따라, 미래의 기술 발전을 충분히 수용할 수 있으면서도 네트워크의 자연스러운 진화가 가능한 매력적인 시나리오라고 할 수 있다.

## V. 5G 네트워크 구조 및 주요기술 전망

본 장에서는 5G 시스템이 이용하게 될 스펙트럼 및 이용 효율 개선 방법과 5G 네트워크의 구조를 예상해 보고, 또한 5G 네트워크에 적용될 주요한 기술에 대해 검토해 보고자 한다.

### 1. 이용 스펙트럼 확대 및 효율 개선

트래픽 폭증에 대처하기 위해 향후 다양한 기술이 개발될 것이나 이러한 기술 개선만으로는 지속적으로 증가하는 트래픽을 수용하기 어렵게 될 것이며, 따라서 그 이전까지 이동통신을 위해 이용되지 않았던 주파수 대역을 추가로 확보하기 위한 노력이 지속될 것이다. 또한 보다 효율적인 스펙트럼 공유 방식이 적용되고, 비면허 대역을 보다 효율적으로 이용하기 위한 노력도 이어질 것으로 예상된다.

먼저 이동통신용 주파수로 현재까지 주로 3GHz 이하 대역만을 이용하고 있으나 3GHz~6GHz 에서 이용 가능한 주파수 대역을 계속 추가 확보해갈 것이며, 또한 지금까지는 이동통신용으로 전혀 고려되지 않았던 6GHz 이상의 주파수 대역도 필요시 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 6GHz 이상 대역의 주파수는 기지국 간 (매크로셀과 소형셀간, 소형셀 상호간 등) 무선 백

홀 링크용으로 먼저 이용될 것이며, 이후 6GHz 이하 대역의 주파수 자원 고갈이 가장 먼저 나타날 도심 등의 hotspot에서부터 단말 서비스용으로 이용되기 시작할 것이다.

스펙트럼 이용과 관련하여 향후 변화가 예상되는 것은 주파수 자원에 대한 면허권 허용 방식이다. 현재까지는 주로 하나의 사업자에게 특정 주파수 자원에 대한 배타적 이용권을 주는 방식이 적용되어 왔다. 그러나 주파수 자원을 보다 효율적으로 이용하기 위해 지금까지와는 다른 주파수 공유 방식들이 논의되고 일부는 이미 도입되어 적용되고 있다[6]. 새로운 주파수 공유 방식으로는, 제한된 수의 면허권자들이 주파수 자원 pool을 이용해, 상호 합의한 규칙에 따라 시간, 장소, 공간에 따라 서로 필요한 만큼의 자원을 이용하는 Co-primary Shared Access, Light-licensing 방식, 제 1 면허권자가 특정한 서비스 환경 하에서 하나 이상의 다른 사용자에게 자신이 소유한 주파수 자원을 이용할 수 있는 권리를 허용하는 LSA(Licensed Shared Access) (ASA(Authorized Shared Access)와 동일 의미) 방식 등이 있다. 이러한 주파수 공유 방식은 주파수 자원이 부족하게 되어 감에 따라 그 필요성이 점차 증대될 것이다.

비면허 주파수 대역(unlicensed shared access, secondary horizontal shared access 등의 방식 적용)은 요구 기준을 만족하면 누구나 해당 주파수 자원을 이용할 수 있는 대역이다. 이러한 대역은 주로 WiFi와 Bluetooth 등이 이용하고 있으며, 그 중에서도 WiFi의 이용률이 가장 높다. 그러나 현재의 WiFi 기술은 기본적으로 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)를 기반으로 하고 있기 때문에 하나의 AP에 접속된 사용자 수가 증가할수록 전체 시스템 용량이 감소하게 된다. 이는 사용자 수가 늘어남에 따라 시스템 용량이 증가하는 셀룰러 시스템과 대조적이다. WiFi는 이러한 문제를 해결하기 위한 표준화 노력을 시작하였으며[7], 또 다른 측에서는 LTE 등의 셀룰러 기술을 비면허 대역에 적용하는 것을 고려하고 있다[8]. 향후 이 두 기술은 동일한 비면허 주파수 대역을 두고 상호 경쟁하거나 협력하게 될 것이다.

### 2. 5G 네트워크 구조

넓은 커버리지를 제공하면서 무선전송 용량을 큰 폭으로 증가시킬 수 있는 가장 효과적인 방법은 매크로셀 커버리지 내에 소형셀을 고밀도로 배치하는 것이다. 5G 네트워크는 이러한 HetNet 배치와 함께 제어평면과 사용자평면을 분리하고, 제어평면은 매크로셀이 담당하고, 사용자평면은 소형셀이 주로 담당하는 이중연결 구조를 가지게 될 것으로 전망된다. 여기에서 각 단말은 매크로셀에는 계속 연결되어 있는 반면, 연결되는 소형셀(들)은 단말의 이동에 따라 계속 변경될 수 있다. 이러한 환

경에서 높은 QoS를 요구하는 저속 데이터 트래픽은 매크로셀이, 대용량 트래픽은 소형셀이 담당할 수 있으며, 또한 사용자 전송률을 높이기 위해 이상적인 백홀의 경우에는 매크로셀과 소형셀 노드 간 CA를, 비이상적인 백홀의 경우에는 노드 간 무선자원 집성을 이용할 수 있다.

이용 스펙트럼의 확대에 따라 FDD용 외에 TDD용 스펙트럼도 추가로 확보될 것이며, TDD와 FDD 시스템을 현재처럼 독립적으로 운용하는 대신 무선자원을 보다 효율적으로 이용하기 위해 TDD와 FDD 반송파를 통합 운용하는 것이 합리적이다. 5G 네트워크에서는 이상적인 백홀의 경우에는 FDD와 TDD 반송파 간 CA 기술이, 비이상적인 백홀의 경우에는 FDD-TDD 셀 간 이중연결성의 적용이 일반화 될 것이다.

5G 네트워크에서는 매크로셀 커버리지 내에 매우 많은 수의 소형셀이 배치 될 것이므로 이중연결성 지원 등을 위해 매크로셀과 소형셀 사이의 백홀망이 필요하고, 특히 보다 효과적인 간섭 관리와 정보 교환 등을 위해 소형셀 상호 간의 직접 연결이 필요할 수 있다. 이와 같이 5G 네트워크에서는 보다 많은 백홀 링크를 구축해야 하며, 설치의 용이성 및 유연성, 유선 링크 임대 비용 절감 등의 이유 때문에 무선 백홀망이 적극적으로 이용될 것이다. 무선 백홀망을 위한 가장 효과적이고 유력한 기술은 massive MIMO 기술이 될 것이며, NLOS(Non Line-Of-Sight) 백홀망의 경우에는 6GHz 이하 대역을 위한 기술이, LOS 백홀망의 경우에는 6GHz 이상의 massive MIMO 기술이 이용될 수 있을 것이다. 고정 소형셀 외에도 자동차 등에 소형셀을 탑재한 무빙셀(moving cell)이 5G 네트워크에 도입될 것으로 예상되며, 이의 도입을 위해 이동체를 위한 효과적인 무선 백홀 기술과 무빙셀 간 간섭 문제 해결 기술 등이 필요하게 될 것이다.

5G 네트워크는 단말 간 직접 통신 및 디스커버리를 지원하는 D2D 기술을 전면적으로 도입하여 기지국과 단말 간 링크를 위한 star 토폴로지와 단말 간 직접 연결 링크를 위한 mesh 토폴로지가 동시에 존재하는 구조를 갖게 될 것이다. D2D 기술은 4G 진화 기술 중의 하나로서 표준화가 막 시작된 단계이며, 향후 다양한 use case를 지원할 수 있는 풍부한 기능(features)의 추가와 성능 개선이 지속적으로 이루어지고, V2V(Vehicular to Vehicular) 통신용 등 다양한 용도로 이용 범위를 확장하게 될 것으로 전망된다. 또한 셀룰러 네트워크 커버리지 밖(또는 커버리지 홀)에 있는 단말에 대해서도 단말 릴레이 기능의 제공을 통해 서비스 availability를 크게 향상시킬 수 있을 것이다.

LTE/LTE-Advanced 시스템은 멀티캐스트와 브로드캐스트 서비스를 위한 eMBMS(enhanced Multimedia Broadcast Multicast Service) 기술을 지원하며, 미국의 Verizon은 2014년부터 LTE망에서 eMBMS 기반의 방송 서비스를 제공할 계획

이다. eMBMS는 영상, 음성, 데이터 방송 등 다양한 형태의 방송 서비스 제공이 가능하며, 셀룰러망의 통신 기능과 결합하여 대화형 방송 서비스도 쉽게 제공할 수 있게 될 것이다. eMBMS 기술 역시 새로운 요구사항을 반영하여 지속적으로 진화할 것이며, 이에 따라 5G 네트워크는 모바일 단말과 고정 단말을 위한 대화형 TV 방송 서비스 제공이 가능한, 진정한 의미의 무선 통방 융합 네트워크가 될 것이다.

데이터 트래픽의 증가에 따라 별다른 고려가 없는 경우 5G 코어망의 부하도 1,000배로 증가할 것이므로 이의 경감 방안이 강구되어야 한다. 코어망의 트래픽 부하를 경감하기 위한 가장 효과적인 방법 중 하나는 CDN(Contents Delivery Network)을 도입하는 것으로, 이는 네트워크 인프라의 종단인 기지국, 또는 기지국들 근처에 Local Contents 서버를 두고 단말의 contents 요청 시 해당 서버에 그 contents가 이미 있다면 코어망을 통해 서버로 접속하지 않고 서버에 저장되어 있는 contents를 제공하는 것이다. 5G 네트워크에서는 이러한 CDN 개념을 네트워크뿐만 아니라 단말에 까지 확장해 적용할 수 있을 것이다.

연결 디바이스의 1,000배 증가는 매우 많은 기계, 또는 사물이 네트워크에 연결될 것이라는 것을 전제로 한 것이다. 이와 같이 엄청난 수의 기계/사물의 연결을 5G 네트워크가 수용하기 위해서는 코어망 과부하 문제와 함께 디바이스와 네트워크 간의 지나친 시그널링 오버헤드 문제 등을 해결해야 할 것이다. 3GPP에서는 현재 이의 해결 또는 완화를 위한 표준화를 계속 진행 중이며, 지속적인 노력을 통해 5G 네트워크를 위한 적절한 해결책이 마련될 수 있을 것이다. 또한 1,000배로 증가하는 디바이스의 상당 부분은 센서, 액추에이터 등 저가의 디바이스일 것이며, 따라서 이들을 네트워크에 연결시키기 위한 통신 모듈 역시 저가여야 하며, 배터리 교체가 거의 필요 없을 정도로 전력 소모가 매우 낮아야 할 것이다. 역으로 이러한 저가, 저전력의 연결 기술이 개발되어야 1,000배의 디바이스가 5G 네트워크에 연결될 수 있을 것이다.

5G 네트워크는 상기와 같이 4G보다 복잡한 구조를 갖게 될 것이므로 이 네트워크를 효율적으로 운영하고 최적화 하기 위해서는 SON(Self Organizing Network) 기술 역시 더 스마트하게 진화할 것이며, 이를 지원하기 위한 측정 및 보고와 관련하여 단말의 역할이 더 커질 것으로 전망된다.

### 3. 무선전송 및 접속 기술

주지하다시피 지금까지의 이동통신 세대 발전에서 변조 및 다중접속 방식이 변경된 데는 나름의 이유가 있었다. 예를 들어, 3G의 DS/CDMA 방식이 OFDM/FDMA, 즉 OFDMA 방식으로 변경된 이유는, 4G 시스템에서 높은 전송률을 제공하기 위해 신

호의 광대역화가 필요하였으나, CDMA의 경우에는 주파수 선택적 페이딩 채널에서 대역폭 증가에 따라 수신기 복잡도가 지나치게 높아져 광대역화가 용이하지 않은 반면, OFDMA는 동일 채널에서 반송파 대역폭에 관계없이 부반송파별로 1 tap 등화기를 이용해 복원이 가능하다는 장점이 있었기 때문이다. 이에 따라 OFDMA와 그 변형이라고 할 수 있는 SC-FDMA가 새로운 변조/다중접속방식으로 채용되었고, 4G는 기존과 마찬가지로 이들을 기반으로 한 새로운 무선 인터페이스가 개발되었다. 5G의 경우에도 변조 및 다중접속 방식이 변경되어야 할 요구나 이유가 있는가, 그러한 요구를 만족하는 기술 후보가 있는가, 그리고 그 기술 후보들이 기존 방식에 비해 충분한 이득을 제공할 수 있는가에 따라 이들의 변경 여부가 결정될 것이다.

OFDM의 단점으로 지적되는 CP(Cyclic Prefix) 오버헤드, Out-of-band emission, 주파수 offset에 따른 성능저하 등을 완화/해결하기 위해 FBMC(Filter Bank based Multi-Carrier)[9], GFDM(Generalized Frequency Division Multiplexing)[10]와 같은 기술들이 제안되었으며, 이들 중 일부는 4G 기술 설계 단계에서도 검토된 바가 있다. 또한 최근에는 OFDMA와 같은 직교 다중접속 기술에서 동일 자원을 하나 이상의 단말에게 할당하여 전송용량을 개선할 수 있는 비직교 다중접속 기술이 제안되었다[11]. 이들을 포함한 새로운 변조 방식과 다중접속 방식이 각각 OFDM과 OFDMA/SC-FDMA에 비해 충분한 이득을 제공한다면 5G에 적용될 수 있을 것이다.

Duplexing 방식은 전통적으로 FDD와 TDD가 이용되어 왔으며, 이들은 양방향 링크를 위해 각각 다른 주파수와 다른 시간 자원을 이용하였다. 이와 달리 하나의 주파수 자원을 이용하여 양방향 링크를 제공함으로써 주파수 효율을 최대 2배까지 증대시킬 수 있는 in-band full duplexing에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있으며[11][12], 기술의 성숙 시기에 따라 5G, 또는 그 이후에 적용 가능할 수 있을 것이다.

OFDM과 더불어 4G를 특징짓는 또 하나의 기술적 키워드는 MIMO이다. MIMO 기술은 지금까지 시간과 주파수라는 무선 자원에 공간이라는 새로운 자원을 추가한 것으로, 4G의 시스템 용량을 증대시키는데 크게 기여하였다. SU-MIMO(Single User-MIMO)는 송신 및 수신 안테나 개수 외에 채널의 rank에 따라 용량이 결정되며, LTE-Advanced 규격에는 8개까지의 layer 전송이 가능한 MIMO 기술이 반영되어 있다. 그러나 단말에 설치할 수 있는 안테나의 수와 보통의 무선 채널에서 얻을 수 있는 rank가 그리 크지 않음을 고려할 때 SU-MIMO에 의한 성능 개선은 이제 그 한계에 이르렀다고 할 수 있다. 반면 수십, 수백 개의 기지국 안테나를 이용한 MU-MIMO 기반의 massive MIMO는 용량 증대에 대한 상당한 잠재력 때문에 최

근 크게 각광 받고 있다. 5G에서는 이러한 massive MIMO 기술이 본격적으로 도입될 것으로 전망된다. 이와 같은 massive MIMO 기술은 매크로셀뿐만 아니라, 사용자 밀도가 매우 높은 장소의 소형셀에도 적용할 수 있을 것이다. 또한 6GHz 이상 대역을 이용하는 경우 안테나의 크기를 크게 줄일 수 있어 소형 셀로의 적용이 보다 용이할 것이다.

간섭 문제의 해결을 위해 기존의 CoMP, (e)ICIC와 같이 기지국/전송점 간의 협력에 기반한 방법 외에 NAICS와 같이 기지국과 단말 간 협력을 통한 방법이 도입되고 있다. 5G 네트워크의 복잡한 구조 때문에 기존에 없었던 새로운 유형의 간섭이 나타날 것으로 예상되며, 향후 고성능 수신기의 적극적인 도입과 함께 간섭 관리를 위한 협력 범위를 확대한, 보다 스마트한 간섭 해결 방법이 개발되고 적용될 것이다.

5G 요구사항 중 하나인 단대 단 latency의 감소를 위한 가장 효과적인 방법은 TTI(Transmission Time Interval)를 줄이고 프레임 구조를 변경하는 것이다. 예를 들어, LTE에서 1ms인 TTI를 1/10로 줄인다면 사용자평면의 단대 단 latency도 그에 비례하여 감소할 것이며, 감소된 TTI는 제어평면의 latency 감소에도 기여할 수 있을 것이다. 그러나 이와 같이 TTI를 10배 감소시키면 수신을 위한 단위 시간당 처리용량도 비례하여 증가해야 하며, 처리 대역폭이 증가하는 경우에는 다시 그 배수만큼 처리용량이 증가해야 한다. 즉 TTI이 10배 감소, 대역폭이 10배 증가(6GHz 이상 대역, 특히 mm파 대역의 경우에는 가능한 시나리오이다)하면 수신기의 복잡도는 100배 증가하여야 한다. 따라서 단대 단 latency를 감소하기 위해서는 프레임 구조의 적절한 설계와 함께 구현의 복잡도 문제도 반드시 해결되어야 할 것이다.

상기의 모든 무선전송 및 접속 기술은 5G로의 변혁적 시나리오에는 물론이고, 진화적 시나리오에도 적용이 가능하다. 이는 진화적 시나리오에서 언급한 NCT는 후방향 호환성을 고려하지 않기 때문에 어떤 새로운 무선전송 및 접속 기술이라도 적용이 가능하기 때문이며, 이를 다른 말로 하면 진화적 시나리오에서도 반송파 수준에서의 변혁적 접근방식이 허용되기 때문이다.

## VI. 결론

본 고에서는 현재 논의되고 있는 5G 요구사항과 4G 진화와 관련한 표준화 기술 동향, 그리고 5G로의 발전 시나리오들을 살펴보았으며, 마지막으로 이용 스펙트럼의 확장과 효율 개선, 5G 네트워크의 구조와 주요 기술에 대해 전망해 보았다.

향후 실제적으로 어떤 시나리오를 거쳐 5G로 발전하게 될 지

에 대한 예측은 현재 시점에서 쉽지 않다. 이는 기술적인 이유 뿐만 아니라 기술 외적인 이유들이 여기에 영향을 줄 수 있기 때문이다. 그러나 기술적인 측면과 사업자 관점에서만 본다면 진화적 발전 시나리오가 보다 합리적인 선택이 될 것으로 판단된다.

이 시점에서 가장 중요한 것은 5G와 관련된 선제적 기술 개발을 통해 5G의 국제 표준화를 주도할 수 있는 기반을 마련하는 것이다. 이를 위해 5G 시스템에 적용될 것으로 예상되는 4G 진화 기술, 또는 B4G 기술에 대한 연구개발 노력을 지속·강화시켜야 할 것이며, 또한 4G 진화 과정에서 아직 고려하고 있지 않은 기술 아이템들을 조기에 발굴하고 이에 대한 연구를 선도적으로 진행하여 향후의 국제표준화에 철저히 대비하여야 할 것이다.

## 참고 문헌

[1] METIS Deliverable D1.1, "Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system," METIS, April 2013.

[2] T. L. Marzetta, "Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas," IEEE Trans. on Wireless Comm., Vol. 9, No. 11, pp. 3590-3600, Nov. 2010.

[3] J. Nam, J.-Y. Ahn, A. Adhikary, and G. Caire, "Joint spatial division and multiplexing: Realizing massive MIMO gains with limited channel state information," in Proc. 46th Annu. Conf. Inf. Sci. Syst. (CISS), Mar. 2012,.

[4] 3GPP TSG RAN TR 36.872 v1.0.1, "Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN - Physical Layer Aspects", Aug. 2013.

[5] 3GPP TSG RAN TR 36.842 v0.2.0, "Study on Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN - Higher-layer Aspects", May 2013.

[6] METIS Deliverable D.5.1, "Intermediate description of the spectrum needs and usage principles," METIS, Aug. 2013.

[7] 조한규, "무선랜 표준화 동향 및 전망," TTA Journal, vol. 147, May/June 2013.

[8] Huawei, "The Unlicensed Spectrum Usage for Future IMT Technologies," The 6th International Workshop

- Vision and Technology Trends for 5G, TTA, Sept. 2013.

[9] Tero Ihalainen, Ari Viholainen, Tobias Hidalgo Stitz, Markku Renfors, and Maurice Bellanger, "Filter Bank Based Multi-Mode Multiple Access Scheme for Wireless Uplink," EUSIPCO 2009, Aug. 2009.

[10] Gerhard P. Fettweis, "The Limits of 4G and How to Design a New 5G PHY," CTW 2013, June 3013.

[11] Duarte, M., "Full-duplex wireless communications using off-the-shelf radios: Feasibility and first results," ASILOMAR 2010, Nov. 2010.

[12] Ehsan Aryafar, Mohammad Amir Khojastepour, Karthikeyan Sundaresan, Sampath Rangarajan, Mung Chiang, "MIDU: enabling MIMO full duplex," Mobicom 2012, Aug. 2012.

### 약 력



안재영

1983년 연세대학교 공학사  
 1985년 연세대학교 공학석사  
 1989년 연세대학교 공학박사  
 1989년~현재 한국전자통신연구원 통신인터넷연구  
 부문 B4G이동통신방식연구실 실장  
 관심분야: 이동통신 시스템, 무선전송 및 접속 기술



송평중

1976년~1980년 한양대학교 통신공학 학사  
 1986년~1988년 벨지움 ALCATEL 파견연구원  
 1980년~1982년 한양대학교 통신공학 석사  
 1997년~1998년 ITU-T SGXII/WP3 editor  
 1992년~1995년 한양대학교 통신공학 박사  
 1997년~2000년 TTA PG01(IMT-2000) 의장  
 1982년~현재 한국전자통신연구원  
 B4G이동통신연구부 책임연구원/부장  
 관심분야: B4G/5G 무선엑세스 네트워크 기술