

# 모바일 데이터 수용을 위한 LTE-Advanced에서의 네트워크 용량 증대 기술개발 동향

Trends on Development of Network Capacity in LTE-Advanced to  
Support Increasing Mobile Data Traffic

박영준 (Y.J. Park)	경제분석연구팀 책임연구원
박애순 (A.S. Park)	이동단말기술연구팀 팀장
강속양 (S.Y. Kang)	이동단말기술연구팀 책임연구원
김이강 (Y.K. Kim)	고려대학교 컴퓨터정보학과
류승완 (S. Ryu)	중앙대학교 정보시스템학과 교수

## 목 차

- .....
- I . 서론
  - II . 모바일 트래픽 증가 및 용량 증대 기술
  - III . 저전력 소형셀 기반 용량 증대 기술
  - IV . 단말 간 직접 통신 기술
  - V . 결론

\* 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음[10038765, 스마트 모바일 서비스를 위한 B4G 이동통신 기술 개발].

최근 스마트폰의 급격한 보급과 음성 위주의 이동통신 서비스가 무선 멀티미디어 콘텐츠를 중심으로 하는 데이터 위주의 서비스로 전환됨에 따라 모바일 데이터가 급증하고 있다. 그러나, LTE에서의 Macro-BS(eNB) 기반의 point-to-point 링크의 스펙트럼 효율은 이미 이론적 한계치에 근접하여 저전력의 소규모 기지국 노드를 채용하는 이중망 환경을 도입하는 노력이 3GPP를 중심으로 전개되고 있다. 본고에서는 급증하는 모바일 트래픽 수요를 수용하기 위해 개발되고 있는 소규모 저전력 셀 기반의 HetNet 기술개발 동향과 대용량의 모바일 콘텐츠를 이동통신 단말기의 근접성을 기반으로 기지국 트래픽 부하 없이 제공하기 위해 개발되고 있는 단말기 간 직접 통신 기술 개발현황을 소개한다.

## I. 서론

최근 스마트폰의 급격한 보급과 음성 위주의 이동통신 서비스가 무선 멀티미디어 콘텐츠를 중심으로 하는 데이터 위주의 서비스로 전환됨에 따라 모바일 데이터가 급증하는 추세를 나타내고 있다[1]-[3]. 특히, 우리나라의 스마트폰 보급 대수는 2011년 10월 현재 2천만 대에 이르면서 웹 콘텐츠를 모바일 환경에서 자유롭게 이용하는 환경을 제공하고 있다. 또한, 최근에는 iPad, 갤럭시탭 등 태블릿 PC 보급이 급격히 증가하면서 무선 트래픽의 증가 추세는 더욱 가파르게 상승할 것으로 예측되고 있다. 그러나, 이러한 스마트 기기를 중심으로 한 모바일 데이터 트래픽이 급격히 증가하면서 무선 인터넷의 속도가 급격히 저하하고 있으며 심지어는 접속 자체가 어려워지는 환경이 나타나고 있다.

이러한 무선 트래픽의 폭발적 증가는 우리나라만의 현상은 아니며 주요 선진국들의 무선 트래픽 사용량은 이미 포화상태에 이르렀다. 특히, 인구가 밀집한 도심 지역에서는 급증하는 트래픽 수요를 수용하기 위해서 보다 많은 수의 기지국이 필요하게 되었고, 이에 의해 주파수 자원이 절대적으로 부족하게 되었다. 통신사업자들은 급증하는 트래픽 수요를 수용하기 위해서 기존 3G WCDMA 기반 HSPA가 제공하는 최대 14Mbps 보다 5배 이상 높은 100Mbps 정도의 통신용량을 제공하는 OFDMA 기반의 4G LTE 망의 구축을 시작하고 있다[3].

그러나 Cisco 등의 전망에 의하면 북미에서의 모바일 데이터 트래픽은 2014년에 2009년 대비 약 50배 이상의 증가를 보일 것으로 예측하고 있다[1]-[3]. 또한, 미국 FCC의 예측에 의하면 북미에서는 2014년에 2009년 대비 무선 트래픽이 약 35배 정도 증가하여 2015년까지 약 300MHz, 2020년까지는

약 500MHz의 주파수가 추가로 필요한 것으로 예측되고 있다[3]. 일본 총무성의 예측에 의하면 무선 트래픽은 2017년에 2007년 대비 약 200배가 성장하며 2020년까지는 약 1,400MHz의 주파수가 추가적으로 필요한 것으로 나타나고 있다. 우리나라의 경우도 2009년 하반기 iPhone의 도입과 더불어 스마트폰 보급이 급격히 증가하여 음성위주의 시장에서 무선데이터 중심으로 시장이 급격히 전환되고 있다. 또한 무선 트래픽양도 국내 이동통신 3사의 2010년 9월 한 달간의 트래픽이 1PB(peta byte)를 넘어서고 있고 가입자당 트래픽 이용량은 월 271MB로서 세계 평균인 85MB의 3배 이상으로 나타나고 있다 [1],[2].

따라서, 급증하는 모바일 트래픽을 수용하기 위해서는 3G WCDMA에서 4G LTE로의 진화만으로는 수용할 수 없으므로 이의 수용을 위한 다양한 기술이 개발되고 있는 실정이다. 이러한 노력으로서 3GPP LTE-Advanced에서는 기지국의 전송 용량을 증대하기 위한 다중안테나 기반의 MIMO 기술, 셀 가장자리에서의 용량 증대를 위한 효율적 간섭제어기술(ICIC), 협력송수신(CoMP) 기술, 기지국 트래픽 부하 분산을 위한 단말 간 직접 통신(device-to-device communication) 기술, 유희 TV 대역(UHF 대역)을 사용하기 위한 인지무선(cognitive radio) 기술 등이 개발되고 있다.

그러나, LTE에서의 Macro-BS(eNB) 기반의 point-to-point 링크의 스펙트럼 효율은 이미 이론적 한계에 다다른 실정이고 셀 분할(cell-splitting) 기반의 마이크로셀 적용은 셀 간 간섭제어의 어려움으로 인해 그 이득이 제한적으로 얻어지는 실정이다[4],[5]. 따라서, 인구가 밀집한 도심 지역을 중심으로 저전력의 소규모 기지국 노드를 채용하는 이중망 환경(Het-Net)을 도입하는 노력이 3GPP를 중심으로 전개되고

있다[4],[5]. 저전력 소규모 기지국이란 2W 이하의 저전력으로 인구가 밀집된 실내 또는 실외 환경의 작은 지역을 커버하는 기술을 의미하며 피코셀, 중계노드(relay) 및 펌토셀(HeNB)을 의미한다. Het-Net의 도입으로 인해 이미 한계치에 근접한 이동통신 시스템의 스펙트럼 효율에 부가하여 커버리지 홀이나 대규모 트래픽 수요가 존재하는 hot-spot들의 용량을 증대하여 네트워크 스펙트럼 효율의 증대를 기대할 수 있다[6],[7]. (그림 1)은 펌토셀, 피코셀, 중계기와 umbrellar cell로서의 Macro-BS가 존재하는 단일 무선접근망(single RAT) 기반의 이종망 환경(HetNet)의 예를 보여준다[5].

본고에서는 급증하는 모바일 트래픽 수요를 수용하기 위해 개발되고 있는 소규모 저전력 셀 기반의 HetNet 기술개발 동향과 대용량의 모바일 콘텐츠를 이동통신 단말기의 근접성(proximity)을 기반으로 기지국 트래픽 부하 없이 제공하기 위해 개발되고 있는 단말기 간 직접 통신 기술 개발현황 및 주요 연구 이슈를 소개한다.

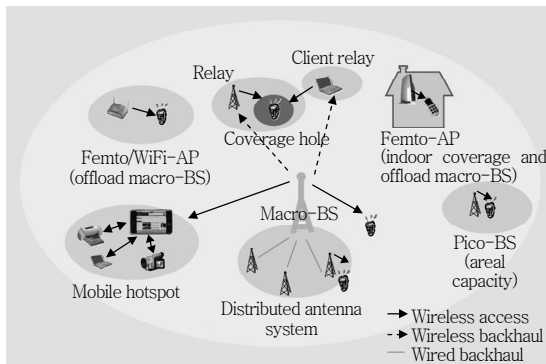
본고는 다음과 같이 구성된다. 우선 II장에서는 스마트폰과 태블릿 PC 등 스마트 기기의 등장에 따른 모바일 트래픽의 증가 현상과 이를 수용하기 위해 3GPP LTE에서 스펙트럼 효율을 향상시키기 위해 개발되고 있는 다중안테나기술(MIMO), 협력송수신

(CoMP) 기술, 그리고 셀 간 간섭제어기술 등을 살펴본다. III장에서는 저전력 초소형 기지국 노드 기반의 HetNet 기술개발 동향을 간략히 살펴본 후 현재 이동통신 트래픽의 70% 정도를 차지하는 실내(indoor) 사용 환경의 트래픽을 수용하고 상대적으로 큰 용량을 제공하는 유선망으로 트래픽을 우회시키는 기술인 펌토셀 기술개발 동향을 살펴본다. IV장에서는 기지국에 집중되는 모바일 트래픽을 분산시키고 인접 거리에 있는 단말기 간의 직접 통신을 통해 트래픽 부하를 분산시키기 위해 제안되고 있는 단말 간 직접 통신 기술개발 현황을 살펴본다. V장에서는 본고의 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

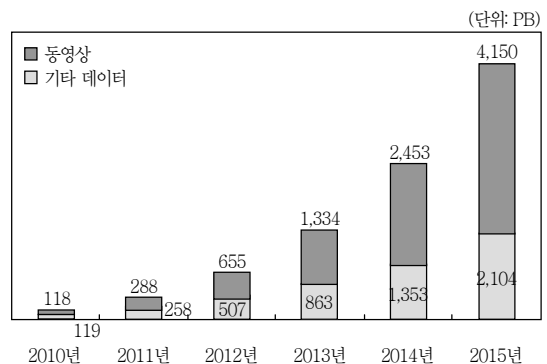
## II. 모바일 트래픽 증가 및 용량 증대 기술

### 1. 모바일 트래픽 증가 현상

스마트폰, 태블릿 PC는 2015년까지 수량 기준으로 각각 연평균 23.3%, 62.3%씩 초고속 성장이 이루어질 것으로 예상되고 있다. 이러한 이동통신기기의 사용량의 증대와 일반 휴대 전화(2G)의 24배에 해당하는 스마트폰 송수신 데이터의 용량이 증가는 모바일 데이터 트래픽의 폭증 현상을 유발 시킬 것으로 예상된다[1]. (그림 2)에서 제시하는 바와 같이 Cisco의



(그림 1) 단일 RAT 기반 이종망 환경



(그림 2) 모바일 데이터 트래픽 증가 전망

	Feature Phones	Smartphones	Super phones	Tablet Computers
One megabyte= one digital book, 45 second of music, 20 seconds of medium quality video	Voice Calls: 4-11MB/Hr Web Browsing: 20MB Email: 20MB	Voice Calls: 4-11MB/Hr Web Browsing: 30MB Email: 50MB	Voice Calls: 4-11MB/Hr Web Browsing: 100MB Net Radio: 70MB YouTube Videos: 50MB Email: 50MB	Web Browsing: 350MB Net Radio: 140MB YouTube Videos: 150MB Email: 100MB
Monthly Total*	80MB	185MB	800MB	1,900MB(1.9GB)
				* High-end netbooks or laptops model about 30% higher

<자료>: BusinessWeek, Data, Internal Alcatel-Lucent Research, Feb. 2010.

(그림 3) 모바일 단말기의 진화와 모바일 트래픽의 증가

2011년 보고서에 의하면 2015년 글로벌 모바일 데이터 트래픽은 2010년 대비 26배 증가한 6,254PB에 이를 것으로 전망된다[2].

모바일 트래픽의 증가는 스마트폰, 태블릿 PC 등 이동통신기능을 가진 스마트 단말기의 등장과 더불어 이를 지원하는 다양한 앱 및 멀티미디어 콘텐츠의 개발 및 보급에 따른 결과이다. (그림 3)에서 제시된 예와 같이 보다 다양하고 풍부한 멀티미디어 콘텐츠 사용을 위한 수퍼폰 등의 등장으로 모바일 트래픽에 대한 수요는 더욱 폭증할 것으로 전망되고 있다 [8],[9]. 또한 단말기 형태가 아닌 USB dongle, laptop card 등을 기반으로 하는 LTE 모뎀이 등장하여 디지털카메라 등 다양한 디지털 기기에 이동통신기능을 제공함에 따라 모바일 데이터 트래픽의 증가는 더욱 더 가속화될 것으로 전망된다[9].

폭발적으로 증가하는 모바일 데이터 트래픽의 증가 추세로 인해 현재의 3G WCDMA 시스템은 보다 큰 용량을 제공하는 LTE 시스템으로 교체되고 있다. 또한, 통신사업자의 입장에서는 수용해야하는 모바일 데이터는 폭발적으로 증가하는데 비해서 통신서비스의 수익은 선형적으로 느리게 증가하여 수익구조의 악화를 경험하고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 3GPP에서는 Release 8 LTE 이후 발전된

형태인 LTE-Advanced 시스템을 개발함으로써 LTE 시스템의 용량을 증대하고 ITU의 국제표준인 IMT-Advanced 무선통신 표준 요건에 부응하는 이동통신 시스템 표준을 개발하고 있다. 본고에서는 3GPP LTE-Advanced의 Release 10, 11에서 진행되는 표준화 기술개발 동향을 시스템 용량 증대의 측면에서 살펴본다.

## 2. 3GPP LTE-Advanced

### 가. LTE-Advanced 기술적 특징

3GPP LTE 스펙은 2009년 3월에 LTE Rel-8으로 처음 발간된 이래 4G로의 진화를 위해 지속적인 표준화 작업이 진행되어 왔다[8]. 특히, LTE-Advanced인 Rel-10에서는 스펙트럼 효율을 개선하기 위해 하향링크에서는 8Tx×8Rx, 상향링크에서는 4Tx×4Rx를 지원하는 MIMO를 지원하면서 최대 5개의 20MHz component carrier를 통합하여 1Gbps 정도의 속도를 제공하도록 하였다[8]. 따라서 LTE-Advanced 기술은 저속에서는 최대 1Gbps의 데이터 전송 속도를 지원하고 고속에서는 100Mbps의 최대 데이터 전송 속도를 지원하도록 개발되고 있다. 최대 스펙트럼 효율은 하향 링크에서는 8×8

MIMO를 사용하여 Release 8의 15bps/Hz에 비해 약 2배인 30bps/Hz를 나타내며, 상향링크의 경우에는 4×4 MIMO를 사용하여 15bps/Hz를 나타낸다. 사용 대역폭의 경우 LTE-Advanced는 최대 100MHz의 대역폭을 지원하도록 하며 이것은 보다 높은 성능과 목표 데이터 전송 속도를 달성하기 위해 Release 8의 20MHz보다 넓은 할당들을 비롯한 상이한 크기의 스펙트럼 할당에서 동작하도록 설계되었다. LTE-Advanced의 주요 기술적 특징을 정리하면 <표 1>과 같다.

<표 1> LTE-Advanced 시스템의 주요 성능

항목	성능 요건	
최대 데이터 전송 속도	하향링크	1Gbps
	상향링크	500Mbps
최대 전송 효율	하향링크(8×8)	30bps/Hz
	상향링크(4×4)	15bps/Hz
채널 대역폭	최대 100MHz	
이동성	- up to 350km/h	
	- At least equal mobility support as LTE	
전송지연	제어 영역	50ms
	데이터 영역	4.9ns

## 나. LTE-Advanced의 시스템 용량 증대 기술

LTE-Advanced는 LTE에 비해 보다 넓은 주파수 대역을 효율적으로 사용하여 보다 우수한 시스템 용량을 제공하는 것을 목표로 하고 있다. 이러한 목적 달성과자 최근 Release 10, 11에서는 OFDM 전송 기술 및 다중 안테나 전송 기술(MIMO)에 대한 최적화와 더불어, 반송파 집적(carrier aggregation) 기술, 셀 간 협력전송(CoMP) 기술 및 relaying 기술에 대한 논의가 활발히 이루어지고 있다[8].

### 1) 반송파 집적(Carrier Aggregation) 기술

Release 8 LTE에서는 하나의 단말이 가질 수 있는 단위 반송파는 요소 반송파(component carrier)

라 정의하였는데 LTE-Advanced에서는 최대 대역폭인 100MHz의 광대역을 지원하기 위해 다수의 요소반송 하나로 묶어서 동시에 사용할 수 있도록 하는 반송파 집적 기술을 개발하고 있다. 따라서 Release 8 LTE에서 최대 20MHz로 정의되는 반송파 단위를 요소 반송파라 재정의 하고 반송파 집적 기술을 통해 최대 5개까지의 요소 반송파를 하나의 단말이 사용할 수 있도록 하여 시스템의 최대 전송 속도를 1Gbps(저속)까지 증대할 수 있도록 하였다.

또한 LTE-Advanced에서 사용 가능한 대부분의 스펙트럼이 이미 사용되고 있으며 대부분의 통신사업자들이 연속적인 100MHz의 주파수 대역을 사용할 수 없기 때문에 연속 및 비연속적인 요소 반송파들의 통합을 통해 보다 넓은 대역폭을 생성할 수 있도록 했다. 이러한 반송파 집적을 위한 시그널링 지원을 위해 LTE-Advanced의 물리계층은 상당부분 변경되어야 하며, 특히 PCFICH, PHICH, PDCCH, PUCCH 등 다수의 물리계층 채널이 변경되어야 하고, UL 전력제어, PUSCH 자원할당 그리고 PUSCH 상의 UCI에 대한 변경 등이 수반되어야 한다. 또한 여러 가지 반송파 집적 시나리오들에 대한 RF 요구 사항들에 대한 표준 작업이 필요하며, 추가적으로는 확장 반송파(extension carrier) 사용, TDD의 경우 각 셀별로 서로 다른 UL/DL 서브프레임 설정을 사용하는 방법 등에 대한 연구가 필요하다.

### 2) 셀 간 협력전송(CoMP) 기술

LTE-Advanced에서는 셀 간 간섭을 최소화하면서 전송 용량을 증대시키는 주요 요소기술의 하나로 셀 간 협력전송(CoMP) 기술 기술을 개발하고 있다 [10]. LTE-Advanced에서 링크 성능을 개선시키기 위해서는 전송단과 수신단 사이의 단일 링크뿐만 아니라 타 링크로부터 들어오는 간섭 신호에 대한 대



치가 요구되며, 이를 위해 CoMP에서는 여러 셀들이 서로 협력하여 간섭을 최소화하면서 주변 셀들을 스케줄링을 하거나 빔 형성을 통해 단말이 경험하는 간섭을 줄여 성능을 향상시킨다.

CoMP를 통해 셀 중심뿐만 아니라 셀 가장자리(cell-edge)에 있는 단말들에게도 높은 데이터 속도를 지원할 수 있게 된다. 셀 중심 환경에서는 셀을 섹터로 나누고 섹터화된 지향성 안테나 등을 설치하거나 추가 안테나 설치를 통해 데이터 전송 속도를 증가시키는 것이 가능하지만, 셀 가장자리는 주변 셀로부터의 간섭에 큰 영향을 받기 때문에 셀 간 협력이 없는 일정 한계 이상의 성능을 보장하기 어렵기 때문에 주변 셀과의 협력을 통해 셀 간 간섭을 줄이고 전송효율을 높이는 셀 간 협력전송 기술이 필요하다.

셀 간 협력전송 기술은 LTE-Advanced Release 11의 study item으로 채택되었고 표준기술로의 타당성이 검토되고 있다. 현재 다양한 협력 통신 시나리오에 근거해 CoMP 기술의 성능을 분석 중이며, 동일 시스템뿐만 아니라 이중 네트워크(피코셀, 펌토셀, relay 셀 등)를 위한 협력전송 기술도 대한 연구도 진행 중이다. 향후에는 현재 진행 중인 다양한 CoMP 기술의 성능 평가 결과를 바탕으로 Release 11에서 실제적인 표준화 작업을 진행할 CoMP 후보기술 방식을 결정할 예정이다. 특히, 선정된 셀 간 협력전송 기술을 효율적으로 지원하기 위한 채널정보 귀환방식, 코드북 설계 방법, 코드북 선택 방법 등에 대한 논의가 추가적으로 진행될 것이다.

### 3) 릴레이(Relay) 기술

릴레이 기술은 릴레이 노드(relay node)의 이동성(mobility) 확보 및 기지국과 단말 사이의 음영 지역으로 인한 열악한 무선 채널 환경을 개선하고, 적은 비용으로 셀 영역(cell coverage)을 확장과 전송률

향상을 목적으로 도입되었다. LTE-Advanced에서는 셀 영역의 확장 및 셀 경계 지역에서의 throughput 향상을 위한 고정형 중계기 도입 및 이에 대한 성능 최적화에 초점을 맞추어 논의가 진행되었다. 이와 관련하여 RAN1 작업 그룹에서는 LTE-Advanced 시스템에서 중계기 type에 대한 정의가 이루어졌으며, 리피터의 기능을 지니는 L1 relay나 중계기에 MAC 기능과 RRC의 일부 기능을 추가한 L2 relay보다는 기지국의 거의 모든 기능을 지원하는 type-1 중계기(L3 relay)가 채택되었다.

type-1 중계기는 고유의 physical cell ID를 가지고, PDSCH뿐만 아니라 PSSCH, PDCCH, PBCH 등의 UE의 동작에 필요한 모든 공통 제어 신호를 전송한다. 한편 L2 중계기 형태를 고려한 type-2 중계기는 PDSCH는 전송하지만 적어도 CRS와 PDCCH를 전송하지 않으며, 고유의 physical cell ID를 가지고 있지 않는 특징을 가진다. 3GPP Release 11에서 아직 최종 합의가 이루어지지 않았으나, 추후 논의 결과에 따라 relay의 성능 향상을 위한 독립된 work item이나 study item들이 생성되어 논의가 진행될 것이다. 또한 relay의 backhaul 링크의 성능향상 기법에 대한 내용도 추가되어 논의가 진행될 것으로 보인다. 마지막으로 그룹 이동성을 지원하기 위한 이동 중계기(mobile relay)에 대한 연구 또한 추가적으로 진행될 것으로 예상된다.

### 4) 향상된 다중 안테나(MIMO) 기술

Release 8 LTE의 하향링크는 최대 4×4 MIMO를 지원하며, 상향링크는 UE당 최대 한 개(eNodeB 다이버시티 수신기 하나를 사용한다고 가정하면, 1×2)를 지원한다. Release 8 LTE에서는 베이스라인 UE를 단순화하기 위해 다중 안테나 송신이 지원되지 않지만, 다중 사용자 공간 다중화(MU-MIMO)

는 지원한다. 다중 사용자 공간 다중화 기법을 통해 상향링크 능력의 이득을 볼 수 있지만, 단일 사용자의 최고 데이터 전송 속도는 개선되지 않는다.

LTE-Advanced에서는 단일 사용자 최대 데이터 전송 속도를 개선하고 스펙트럼 효율성(하향링크에서 30bps/Hz) 확보를 위해 하향링크에 최대 8×8 MIMO를 지원하고, 상향링크에서는 최대 4개의 송신기와 4개의 eNodeB 수신기를 조합하여 4×4의 MIMO를 지원한다.

Release 11 study item에서 다루게 될 하향링크 MIMO의 주요 기술적 개발 내용은 저전력 통신 노드들이 비균일하게 배치된 상황에서 적용 가능한 채널 피드백 방식, 제어 채널 설계 기법 등에 대한 연구가 진행될 예정이다. 상향링크 MIMO의 경우, RS와 관련된 성능향상 기법에 대한 연구, 고속 이동 상황이나 저전력 통신 노드들이 존재하는 비균일 네트워크 시나리오 상에서 효율적으로 적용 가능한 MIMO 기법들에 대한 연구 등이 study item으로 채택되어 진행 중이다.

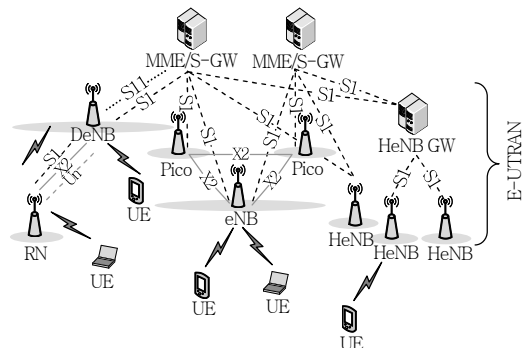
### III. 저전력 소형셀 기반 용량 증대 기술

폭발적으로 증가하는 모바일 데이터 트래픽의 증가 추세에 비해 Macro-BS 기반의 point-to-point 링크의 용량 증대만으로는 트래픽 수요를 수용할 수 없는 한계점에 다르고 있다. 또한, 통신사업자의 입장에서 수용해야 하는 모바일 데이터는 폭발적으로 증가하는데 비해서 통신서비스의 수익은 선형적으로 느리게 증가하여 수익구조의 악화를 경험하고 있다. 이러한 문제의 해결을 위해서는 저비용으로 이동통신망의 용량을 증대하는 기술이 필수적으로 요구되고 있다[5],[6].

전통적인 이동통신 시스템의 용량 증대 방식은 셀

분할 기법 등을 통해 단위 면적에서의 기지국 노드 밀집도를 높여 스펙트럼 효율을 높일 수 있으나 밀집된 기지국 노드 간의 셀 간 간섭(inter-cell interference)으로 인해 한계에 다다르고 있다. 따라서 II장에서 소개한 바와 같이 3GPP LTE-Advanced에서는 MIMO, CA, CoMP, ICIC 등의 기술 적용을 통해 전송 용량을 개선하는 노력을 지속하고 있다. 그러나 이러한 노력에 의해 최대 전송 속도 관점의 스펙트럼 효율 개선을 통한 링크용량 증대는 가능하였으나 이는 낮은 부하(light load) 상태에서의 최대 전송 용량 증대를 의미하며, 트래픽 수요가 밀집되고 다수의 사용자가 존재하는 경우의 시스템 전체 용량 증대를 의미하지는 않는다. 따라서 다수의 사용자가 존재하고 밀집된 트래픽 수요가 존재하는 중부하(heavy load) 상태에서의 네트워크 용량 증대를 위해서 소규모 저전력 노드가 eNB 커버리지 내에 존재하는 HetNet 기술개발이 진행되고 있다.

따라서 3GPP LTE-Advanced에서는 트래픽 수요가 밀집된 지역을 커버하기 위해 실외(outdoor) 환경에서는 전송전력이 250mW~2W의 저전력으로 피코셀 및 relay 노드를 사용하고, 사무실 등 실내(indoor) 환경에서는 100mW 이하의 전송전력을 사용하는 펩토셀(HeNB)를 사용하는 heterogeneous network가 연구되고 있다[4]-[7]. (그림 4)는 LTE에



(그림 4) LTE HetNet의 구성과 인터페이스

서 제안된 HetNet 환경과 각 노드들 간의 인터페이스를 보여준다.

(그림 4)에서 제시된 바와 같이 LTE HetNet에서는 umbrella cell로서의 eNB, 그리고 저전력 노드로서 HeNB, 피코셀 및 relay nodes(RNs)가 존재한다. 여기서 DeNB(Donor eNB)는 RN들을 수용하는 eNB 기능을 담당하는 노드이다. 이러한 LTE HetNet에서는 eNB들은 서비스 전 지역에 대한 coverage 제공 및 끊김 없는 이동성 제공을 주목적으로 하는 반면 저전력 소형셀들은 지역적 용량 증대를 통한 네트워크 용량 확대를 목적으로 한다. 이러한 소형셀들은 또한 이동통신망의 부하경감(off-loading)을 위한 트래픽 우회망으로 DSL line 등의 유선 backhaul을 사용하게 되며 각 노드들이 사전 계획이 없는 상태에서 자율적으로 설치되거나 제거된다. 따라서 서로 다른 초소형 셀 간의 간섭을 줄이고 최적의 운용환경을 구성을 통한 커버리지 확대 및 용량 증대를 위해서는 자가망 구성(self-organizing network) 기술이 필수적으로 요구된다.

본 절에서는 펠토셀(HeNB)을 중심으로 한 LTE-Advanced 시스템의 HetNet 기반의 네트워크 용량 증대 기술과 이의 최적 운용을 위해 개발되고 있는 자가망 최적화(SON) 기술개발 동향을 소개한다.

### 1. 펠토셀 개발 동향

최근의 이동통신 서비스의 사용 경향을 살펴보면 사무실 등 실내 환경에서의 사용 비율이 점점 증가하고 있으며, 특히 무선통화의 50% 이상 그리고 무선 데이터 통신의 70% 이상이 실내에서 이루어진다고 조사되었다[1],[9]. 따라서, 다수의 실내환경 사용자들을 수용하면서 실내환경의 음영 지역을 해소하여 이동통신 서비스의 커버리지를 확장하고 이동통신

시스템의 용량을 증대시키는 주요 기술적 솔루션으로서 펠토셀 기술이 개발되고 있다.

펠토셀 환경은 가정이나 기업 사무실 환경에서 xDSL, HTTP 등 유선 backhaul에 초소형 저전력 무선접속기(FAP 또는 HeNB)를 연결하여 옥외 매크로 기지국(eNB)를 거치지 않고 데이터를 전송하는 것을 의미한다. 따라서, 통신사업자는 네트워크 구축 비용을 절감하면서 주파수 부하를 줄이고 통화품질을 향상시킬 수 있게 된다. 이와 같은 특징으로 인해 통신사업자는 펠토셀 설치를 통해 이동통신 네트워크 구축비용(CAPEX)과 망운용에 따른 비용(OPEX)을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 서비스 음영 지역을 효과적으로 해소할 수 있고 매크로 기지국 및 이동통신 무선접근망(RAN)의 트래픽 부하를 경감시킬 수 있다. 또한 사용자는 펠토셀을 통해 기존 핸드폰에 별도의 추가 모듈 없이 고속 데이터를 즐길 수 있는 장점을 지닌다. 이러한 간편성과 설치 용이성으로 인해 펠토셀 구축이 보편화되고 증가되면 스펙트럼의 공간적 재사용으로 인해 단위 면적당 전송 용량이 증가될 것으로 기대된다. 펠토셀은 매크로셀과 다른 스펙트럼을 사용할 수도 있고, 주파수 재사용 기법을 통해 매크로셀과 동일한 스펙트럼을 사용할 수도 있다.

펠토셀은 일반 기지국과 달리 사용자 주도의 자가적 설치를 목적으로 하기 때문에 on-site surveillance나 on-site frequency planning을 적용하게 된다. 사용자 주도로 펠토셀이 구축될 경우, 사용자와 통신사업자에게 다양한 이점이 제공되지만 펠토셀의 도입을 위해서는 매크로-펠토셀, 펠토-펠토셀 간 간섭 제어 및 핸드오버, 셀 간 채널 선택에 따른 간섭 제어, 펠토셀에의 단말기 접속방식 선택 문제(개방적(OSG), 폐쇄적(CSG) 혹은 hybrid 방식 등), 네트워크 동기화, 자기 최적화 등과 같은 기술적인 문제점이 해결되어야 한다.



〈표 2〉 LTE HeNB 모델의 주요 기술 규격

구분	값
최대 단말 속도	20km/h
대역폭	1.4, 3, 5, 10, 20MHz
Mode	FDD
하향/상향 링크 최대용량	300/75Mbps
Tx/Rx 안테나	최대 4개
Access	OFDMA
Active Users	4
Tx Power	< 100mW

LTE-Advanced에서 제시한 펌토셀 모델의 기술 규격은 <표 2>과 같다.

이러한 기술적인 문제 해결을 위해 Femto Forum을 중심으로 다각적인 연구가 진행되고 있으며, IEEE 802.16m, 3GPP LTE-Advanced 등 차세대 이동통신 표준에서도 펌토셀에 대한 규격화를 진행하고 있다.

3GPP의 경우 Macro 기지국인 eNB는 X2 인터페이스를 통하여 상호 연결되며 S1 인터페이스를 통하여 핵심망으로 연결된다. 반면에 펌토셀인 HeNB는 HeNB GW를 통하여 핵심망에 접속하거나 HeNB가 직접 핵심망에 접속할 수 있다. HeNB 간 X2 연결은 현재 표준에서는 지원하지 않지만, 기업형 모델을 기반으로 검토되고 있으며, 향후 표준화 진행 상황에 따라 지원할 수도 있을 것이다.

## 2. SON 기술

또한 펌토셀과 피코셀과 같은 소형 기지국과 기존의 네트워크(2G/3G/LTE/WLAN) 기술의 동일 공간 내에 중첩되는 현상이 심화되고 있다. 이러한 경향은 매크로-펌토셀 간 혹은 매크로-피코셀 간의 간섭관리뿐만 아니라 핸드오버 및 이중 무선 접속 기술 간의 수직적 핸드오버(vertical handover)를 고려해 볼 때, 잠재적으로 네트워크 관리 및 운용의 복잡도가 증

가됨을 의미한다. 대용량 데이터 트래픽의 증가와 이를 수용하기 위한 네트워크 구성이 복잡화됨에 따라 네트워크 운용을 효율적으로 관리하기 위한 기술이 요구되고 있으며, 이를 위해 기지국의 자동화 기능을 포함하는 SON 기술의 관심이 높아지고 있다[11].

기존 2G/3G 무선 네트워크에서 많은 네트워크 요소들과 관련된 파라미터들이 수동으로 설정되었다. 네트워크 구성 요소들과 이와 관련된 파라미터들의 설계, 설정, 통합 및 관리 기능은 효율적이고 신뢰성 있는 네트워크 운용을 위하여 매우 중요하다. 그러나 이들 네트워크 파라미터 조정에는 전문적인 엔지니어의 수작업이 필요하고, 이는 수작업 과정에 시간이 많이 걸리고 잠재적으로 수작업에 따른 오류 발생 가능성이 있다. 이러한 문제를 해결코자 자동화 기능을 포함하는 SON 기술이 등장하였다.

LTE에서 SON 기술은 크게 self-configuration, self-optimization 및 self-healing 기능으로 나누어진다. self-configuration 기능은 기지국 신규 또는 추가 설치 시, 기지국 초기 동작에 필요한 파라미터를 자체적으로 수집 분석하여 기지국 초기 부트 업 과정 및 운용 전 단계에서 인접 기지국 식별, 관계 설정/등록 및 코어 망(core network)과의 연결 설정 등의 절차를 자동화하는 기능이다.

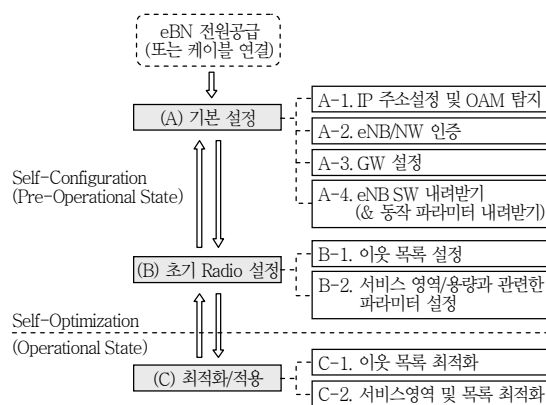
Self-optimization 기능은 기지국 운용 및 유지 보수 단계 중, 인접 기지국 간 신호 및 트래픽 유형정보를 활용하여 기지국 간 간섭을 최소화하기 위한 기지국 신호 세기 제어, RACH 최적화, 핸드오버 시 무선 망절체(RLF)를 최소화하기 위한 핸드오버 파라미터 최적화, 인접 기지국 간 부하의 균등 조절, 불필요한 기지국 운용 시간을 최소화하기 위한 전원 절감 등의 기술을 포함한다.

Self-healing 기능은 네트워크 운용 중 발생하는 구성 요소의 장애를 파악하여, 자동 복구가 가능한 요

소들을 복구함으로써 오류를 해결하거나 오류에 따른 시스템 영향을 최소화하는 기능이다. self-healing 기능은 장비의 장애 시 발생하는 경고(alarms)들을 모니터링 하면서, 경보가 발생하는 경우 추가적인 관련 정보를 측정 또는 검사를 통하여 수집한 후, 자동적인 복구 가능한 경우에는 해당 복구 동작을 수행한다.

(그림 5)는 SON의 요소기술인 구성정보와 운영정보 자동설정 기능을 보여주고 있다. 구성정보 자동설정은 기지국에 전원을 넣고 RF 송신 준비 상태까지 완성하기 위한 기지국 초기화 과정 및 자동 설치 프로그램에 의해 시스템 동작에 필요한 기본 정보를 설정하는 과정 등을 수행한다. 운용정보 자동설정 기능은 내부적으로 기본적인 자동설정 기능과 radio 자동설정 기능으로 구성되며, 기지국과 단말기의 성능 측정 기능을 이용하여 네트워크를 자동적으로 최적화함으로써 환경에 적응하는 과정을 수행한다. 기본적인 자동설정 기능은 커버리지 확대 및 용량 최적화 기술인 CCO 기능과 RO 기능으로 구성된다. radio 자동설정 기능은 핸드오버 파라미터 자동 조정 기술인 MRO 기능과 에너지를 효율적으로 관리하는 기술인 ES 기능으로 구성된다.

3GPP에서 SON 개념은 Release 8 LTE 표준부터 포함되었으며, 이후 Release 10 및 11에서 점차



(그림 5) 구성정보 자동설정과 운용정보 자동설정 기능

영역이 확대되고 있다. 초기에는 네트워크 구성요소의 초기 설치 및 통합과 관련된 기능들이 주요 관심사였다. Release 10에서는 SON의 기능을 HeNB로 확대하기 위한 고려와 ES에 대한 관심의 증대가 두드러졌다. 전체적으로 SON 관련 기술의 관심은 높지만, 표준화 측면에서 많은 부분 규격화되지 않은 채 남아 있고, 기술 성숙도 측면에서도 self-configuration 기술의 초기 구현 정도에 그치고 있다. 진행 중인 Release 11 LTE-Advanced에서 추가적으로 SON 관련 성능 향상 기법에 대한 연구가 진행되고 있다.

#### IV. 단말 간 직접 통신 기술

최근 급격한 스마트폰 보급으로 인한 모바일 데이터 트래픽의 증가뿐만 아니라 새로운 모바일 시장인 사람과 사물 간의 통신이나 사물들 간의 통신이 활성화될 경우, 기지국으로 전송되는 트래픽은 감당하기 어려울 정도로 증가할 것으로 예상된다. 따라서 이러한 문제들을 해결하기 위한 기술로서, 본 절에서는 기지국으로 전송되는 트래픽을 분산시키고 인접 단말 간 직접 통신을 가능하게 하는 단말 간 직접 통신 기술을 소개하고자 한다.

LTE-Advanced에서의 단말 간 직접 통신(D2D)이란 동일 eNB의 커버리지에서 인접한 두 단말 간 직접적인 링크 연결을 통해 기지국의 중계 없이 데이터를 주고받는 것을 의미한다[12],[13]. 이러한 단말 간 직접 통신은 하나의 eNB 커버리지 내에 존재하는 underlay 형태의 통신 링크로서 eNB와 동일한 주파수 자원을 이용하므로 eNB 또는 다른 단말기에 미치는 간섭을 최소화하면서 단말기 간 통신용량을 증대시키는 것이 중요하다.

본 절에서는 LTE-Advanced에서 논의를 시작하고 있는 LTE D2D 기술개발 동향을 소개한다. 또한

LTE D2D 통신의 경쟁 대상 기술인 비인가 대역 (ISM band)에서 제공되는 근거리 무선통신 기술인 Wi-Fi P2P와 Bluetooth 기술을 먼저 살펴본 후 LTE-Advanced의 D2D 기술을 소개한다.

## 1. 근거리 무선 통신 기술

### 가. Wi-Fi P2P

최근 Wi-Fi Alliance(WFA)는 Wi-Fi Direct라는 모바일 기기 간 직접 연결을 통하여 데이터를 전달하기 위한 새로운 규격을 발표하였고 이에 따라 관련 업계에서는 Wi-Fi Direct 규격을 만족시키기 위한 활발한 기술개발 활동이 진행 중이다[14]. 여기서 “Wi-Fi Direct”는 마케팅 용어로서 상표명에 해당하고 이에 대한 기술 규격은 Wi-Fi P2P이다.

기존의 Wi-Fi 망에서는 AP를 통하여 접속한 후 인터넷 망에 접속하는 방법으로 Wi-Fi 탑재 기기를 사용하는 것이 일반적인 방법이었다. Wi-Fi P2P에서는 기존의 Wi-Fi 표준 규격의 대부분의 기능을 유지하면서 디바이스 간 직접 통신을 지원하기 위한 부분이 추가되었다. 따라서 Wi-Fi chip이 탑재된 기기에 하드웨어 및 물리적 특성을 충분히 활용하고, 주로 소프트웨어 기능 업그레이드만으로 디바이스 간 P2P 통신을 제공할 수 있는 장점이 있다. 또한 다른 근거리 통신 기술에 비해 넓은 서비스 영역을 제공하며, 300Mbps의 빠른 전송 속도를 보장한다. 동작 무선 환경은 2.4GHz 혹은 5.8GHz 대역의 비인가 ISM band를 사용한다.

Wi-Fi P2P에서는 P2P 그룹 내부에서 기존의 인프라스트럭처 망에서 AP의 역할을 담당하는 장치인 P2P group owner(이하 GO)가 존재한다. P2P GO를 중심으로 다양한 P2P 클라이언트가 존재할 수 있으나 1개의 P2P 그룹 내에서는 오직 하나의 GO가

존재하고 나머지 장치들은 모두 클라이언트 장치가 된다. P2P GO와 P2P 클라이언트의 연결이 이루어지는 동작 수행을 위해 P2P 규격에서는 아래 4개의 기능을 정의하고 있다. P2P discovery는 디바이스 발견, 서비스 발견, 그룹 형성, P2P 초대와 같은 기능을 다루고 있고, P2P group operation은 P2P 그룹의 형성과 종료, P2P 그룹으로의 연결, P2P 그룹 내의 통신, 지속적 P2P 그룹의 동작 등에 대한 내용을 다루고 있다. 또한 P2P power management는 P2P 디바이스 전력 관리 방법과 절전 모드 시점에 신호 처리 방법을 다루고 있으며, 마지막으로 managed P2P device에서는 한 개의 P2P 디바이스에서 P2P 그룹을 형성하고 동시에 WLAN AP를 통해 인프라스트럭처 망에 접속하는 방법을 다루고 있다. 향후 기술개발 활동을 통해 P2P 네트워킹이라는 새로운 기술을 운용하기 위한 beacon, probe request/response, associate request/response와 같은 프레임들에 대한 수정 논의가 진행될 예정이다.

### 나. Bluetooth

Bluetooth는 작고, 저렴한 가격(5달러), 적은 전력 소모(100mW)로 휴대폰, 노트북, PDA 등과 같은 휴대용 장치, 가정용 전자제품, PC 주변 장치들을 근거리(10~100m)에서 무선으로 연결하기 위한 하나의 무선 인터페이스 규격 사양이다. 무선 환경으로는 비인가 주파수 대역인 ISM band의 2.45GHz band를 이용하고 최대 721kbps 데이터 전송 속도와 3개의 음성 채널을 지원한다. 또한 블루투스는 전력 소모량이 30 micro Amps인 ‘대기모드’에서부터 3~30mAmps 범위의 전송량이 많은 장치에 이르기까지 다양한 제품을 대상으로 하고 있다. 도달 거리 측면에서는 in room(사무실/회의실/가정)과 personal(사용자의 주변) 공간 내에서 지원하도록 개발 되었다. Bluetooth

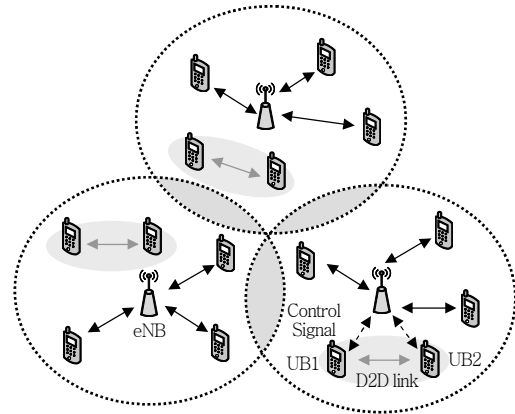
는 소모 전력이 작고 주파수 대역을 나누어 사용하기 때문에 전송할 데이터를 여러 주파수에 걸쳐 분할해 전송할 수 있다. 그러나, Wi-Fi P2P의 300Mbps에 비해 상대적 느린 전송 속도(최대 24Mbps)를 제공하며, 음성의 실효속도는 64kbps이고 데이터 전송 시 최고 723kbps의 느린 전송 속도를 지원하므로 고화질의 멀티미디어 콘텐츠 전송에는 부적절하다. 또한 최대 전송범위는 100m 정도이지만 일반적으로 10m 정도의 제한된 유효 전송 범위를 가진다.

최근 스마트폰 및 태블릿 PC, 노트북 그리고 핸드프리 디바이스, 네트워크 액세스 포인트 등과 같이 bluetooth 모듈이 기본적으로 탑재된 디바이스들이 급속히 보급되는 추세로서 파일전송이나 데이터 동기화 등의 용도로 사용되고 있으나 제한된 전송 속도와 비인가 대역 사용으로 인해 근접거리에서 대용량의 멀티미디어 콘텐츠를 안전하게 송수신하는 서비스에는 적절하지 못하다.

## 2. 단말 간 직접 통신 기술(D2D)

D2D는 별도의 네트워크 장비를 이용하지 않고 일정한 반경 내에 있는 단말 간 직접 통신이 가능한 근거리 통신 기술로서, LTE-Advanced의 경우 LTE 전용 주파수 대역(licensed band)을 사용하지만, 단말 간 직접 통신이므로 e-NB와의 통신 혹은 피코셀/펌토셀 등의 초소형 기지국의 중계가 없이 단말 간 상호 접속을 지원한다[12],[13]. 서로 인접한 단말 간의 직접 통신을 위한 D2D 링크가 설정된 후에는 송수신 데이터를 기지국을 거치지 않고 D2D 링크를 통해 주고 받게 된다. (그림 6)은 D2D 통신의 예를 나타낸다.

D2D 통신에서 Macro 기지국(eNB)은 기지국과 단말기 간의 통신서비스 제공의 주역할 외에 D2D 링



(그림 6) D2D 통신의 예

크의 자원, 단말기의 상태 및 전송 상태 등을 관리한다. 기지국은 단말과 제어 신호를 지속적으로 주고받음으로써 D2D 통신에 대한 상태를 분석할 수 있고, 분석한 상태 정보를 바탕으로 D2D 통신 상태를 제어한다.

D2D의 장점으로서는 LTE 전용 주파수 사용으로 인한 사용자의 인증 및 보안성 제공, 단말기 인접성(proximity) 기반의 공간적 주파수 자원의 재사용(opportunistic spatial frequency reuse), 기지국과의 송수신 대신 단말 간 직접 통신을 통한 단말기의 사용전력 감소, 기지국 부하의 분산을 통한 망의 수용 능력 증대, 데이터 전송 속도 증가, 셀 영역의 증대 등이 있다.

단말 간 직접 통신의 주요 연구 이슈는 크게 단말기 측면의 연구 이슈, 기지국 측면의 연구 이슈 그리고 서비스 측면의 연구 이슈로 나눌 수 있다. 단말기 측면의 연구 이슈로는 단말기 간 통신을 위한 타 단말기의 인접성 판단을 위한 스펙트럼 센싱 기법, 기지국의 상하향 자원할당 정보 활용을 통한 기지국이 사용하지 않는 유휴자원 판단 및 이용 기법, 단말 간 직접 통신을 위해 단말기가 갖추어야 하는 최소한의 기지국 기능(스케줄링, 임의접근, 자원할당, 단말기와의 링크연결 방법 등)과 이에 대한 MAC protocol의 연

구, 기존의 eNB와의 링크 연결 이외의 타 단말과의 추가적인 링크 연결에 따른 단말기의 배터리 소모 최소화를 위한 저전력 통신 기술, eNB가 사용하지 않는 무선자원 혹은 TV 대역(white band)을 사용하기 위한 인지무선 기반의 자원 이용 기법, 주파수 재사용이나 간섭들로 인해 예상되는 BLER 증가에 따른 hybrid ARQ 적용 방안 등이 있다.

기지국 측면의 주요 연구 이슈로는 기지국 중심의 이동통신 서비스와 D2D 링크 사이의 사용 주파수 선택에 따른 간섭 완화 방안, 단말기 간 인접성 기반 단말기 pairing 및 grouping 방법, 보안성이 있는 단말기 간 통신을 위한 보안 및 인증 제공 기법 등이 있다. 서비스 측면에서는 단말기 간 직접 통신이 제공되는 서비스 시나리오의 발굴 및 이를 수용하기 위한 사용자의 서비스 필요성(needs) 분석이 선행되어야 한다. 이를 바탕으로 단말기 간 직접 통신에 대한 서비스, 시스템 및 기술적 요구사항을 도출한 후 이를 적용할 대상 시스템의 기술적·시스템적 특징의 정립과 서비스 제공 방안을 마련해야 한다. 이후 이동통신 서비스에의 적용을 위해 Wi-Fi P2P, bluetooth 등의 유사 기술은 물론 mobile-P2P, mobile-SNS, N-screen, mobile-cloud 등 대규모 데이터 통신 수요를 유발하는 서비스들에 적용 가능한 비즈니스 모델을 발굴하게 된다.

현재 Release 11 LTE-Advanced에서의 단말기 간 직접 통신은 필요성 및 가능성만 제기된 상태로써 활발한 연구는 이루어지지 않고 있다. Release 11에서는 현재 이와 유사한 형태의 기술인 MTC 기술에 대한 연구가 선행적으로 활발히 진행되고 있으므로 D2D에 대한 연구는 MTC 연구가 어느 정도 진행된 후에 본격적으로 논의될 것으로 전망된다. 그러나, 이동통신 시스템의 링크 용량이 이론적 한계치에 근접하고 있지만 스마트폰, 태블릿 PC 등에 의한 신규 모

바일 데이터 수요가 폭증하여 LTE-Advanced의 시스템 용량 증대만으로는 급증하는 트래픽 수요를 수용할 수 없을 것으로 예상되므로 단말기 간 직접 통신 기술의 개발 및 표준화 시기는 앞당겨질 것으로 전망된다.

## V. 결론

본고에서는 급증하는 모바일 트래픽 수요를 수용하기 위해 3GPP LTE/LTE-Advanced에서 개발되고 있는 CoMP, MIMO, CA 등 이동통신 시스템 용량 증대 기술을 간략히 소개하였다. 또한 이동통신 네트워크 용량 증대를 위한 소규모 저전력 셀 기반의 HetNet 기술개발 동향을 소개하였다. 이와 더불어 대용량의 모바일 콘텐츠를 이동통신 단말기의 근접성(proximity)을 기반으로 기지국 트래픽 부하 없이 제공하기 위해 개발되고 있는 단말기 간 직접 통신 기술 개발현황 및 주요 연구 이슈를 소개하였다. 단말기 간 직접 통신 기술은 단말기 측면, 기지국 측면 그리고 서비스 개발의 측면에서 다루어야 할 주요 연구 이슈도 소개하였다.

### ● 용 어 해 설 ●

**LTE**: 3GPP에서 3세대 이동통신인 WCDMA 이후의 OFDMA 기반의 진화된 무선접속 기술을 바탕으로 하는 이동통신시스템으로서 3GPP Rel-8 스펙 이후의 이동통신 표준을 의미함.

**Femtocell**: 옥내에 설치하여 반경 10m 정도를 커버하는 소형 이동통신기지국으로서, backhaul을 xDSL을 사용함.

**WiFi-P2P**: WiFi Alliance(WFA)에서 정의한 WiFi 기술을 이용한 단말기 간 직접통신기술로써 'WiFi-Direct'라는 명칭으로 서비스를 시작함.

**D2D**: 단말기 간 직접통신(device-to-device communication)으로써 3GPP LTE/LTE-A에서 이동통신용 인가 대역(licensed band)을 사용하여 단말기 간 직접통신을 통한 데이터 교환 기술



## 약어 정리

3GPP	Third Generation Partnership Project
AP	Access point
BLER	Block Error Rate
CAPEX	CAPital EXpenditures
CCO	Coverage & Capacity Optimization
CoMP	Coordinated Multipoint Transmission and Reception
CSG	Closed SG
D2D	Device-to-Device Communication
DeNB	Donor eNB
eNB	Enhanced None B
ES	Energy Saving
FAP	Femto Access Point
GO	Group Owner
GW	Gateway
HeNB	Home eNB
HetNet	Heterogeneous Networks
HSPA	High Speed Packet Access
ICIC	Inter-Cell Interference Control
LTE	Long-Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MRO	Mobility Robustness Optimization
MTC	Machine Type Communication
OPEX	OPERation EXpense
OSG	Open Subscription Group
P2P	Peer to Peer
RAT	Radio Access Technology
RLF	Radio Link Failure
RNs	Relay nodes
RO	RACH Optimization
RS	Reference Signal
SON	Self-Organizing Network
WFA	Wi-Fi Alliance

## 참고 문헌

[1] 허정욱, “모바일데이터 폭발의 시대, 어떻게 대응할

것인가?,” KT 경영경제연구소, Digieco Focus, 7월호, 2011, pp. 1-18.

- [2] Cisco, “Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2009-2014,” Feb. 2010.
- [3] 여재현, 박동욱, “이동통신 네트워크 고도화 전망 및 정책방향-LTE 진화를 중심으로,” KISDI Premium Report, Oct. 2010.
- [4] A. Damnjanovic et al., “A Survey on 3GPP Heterogeneous Networks,” *IEEE Wireless Commun.*, vol. 18, no. 3, June 2011, pp. 10-21.
- [5] S. Yeh et al., “Capacity and Coverage Enhancement in Heterogeneous Networks,” *IEEE Wireless Commun.*, vol. 18, no. 3, June 2011, pp. 32-28.
- [6] 3GPP Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall Description; Stage 2(Release 10).
- [7] 3GPP TR36.814, E-UTRA; Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspect.
- [8] 4G Americas, 4G Mobile Broadband Evolution: 3GPP Release 10 and Beyond, Feb. 2011.
- [9] 4G Americas, Mobile Broadband Explosion: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced, Sept. 2011.
- [10] M. Sawahashi et al., “Coordinated Multipoint Transmission/ Reception Techniques for LTE-Advanced,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 6, June 2010, pp. 26-34.
- [11] 4G Americas, MSelf-Optimizing Networks: The Benefit of SON in LTE, July 2011.
- [12] K. Doppler and M. Xiao, “Innovative Concepts in Peer-to-Peer and Network Coding,” Celtic WINNER+, Deliverable 1.3, Jan. 2009.
- [13] K. Doppler et al., “Device-to-Device Communication as an Underlay to LTE-Advanced Networks,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 12, Dec. 2009, pp. 42-49.
- [14] Wi-Fi Alliance. <http://www.wi-fi.org>