

# 비면허대역(licensed-free band)을 활용한 LTE 시스템의 표준화 및 상용화 동향

손일수, 이종호  
가천대학교

## 요약

본고에서는 최근 이동통신분야에서 많은 주목을 받고 있는 비면허대역(licensed-free band)을 활용한 3GPP Long Term Evolution (3GPP-LTE) 시스템의 표준화 및 상용화 동향을 알아본다. 먼저 비면허대역과 관련 전파규정을 알아보고, LTE 시스템이 비면허대역을 활용할 수 있는 3가지 방법인 LTE-U, LTE-LAA, LTE-M를 각각 알아본다. 각각의 방식의 장단점과 표준화 방향 및 향후 LTE 발전 방향에 미치는 영향을 논의한다.

## I. 서론

본고에서는 최근 이동통신분야에서 많은 주목을 받고 있는 비면허대역(licensed-free band)을 활용한 3GPP Long Term Evolution (3GPP-LTE) 시스템의 표준화 및 연구동향을 알아본다.

4세대 이동통신 표준인 3GPP-LTE 시스템은 현재 전세계적으로 가장 많이 쓰이는 통신표준이다. LTE라는 명칭은 표준단체에서 초기에 회의시 사용되는 줄임말이었으나 오늘날에는 대중적으로 사용되며 4세대 이동통신을 대표하는 브랜드명으로 친숙하게 자리잡게 되었다. 기존 3세대 시스템과 비교하여 LTE 시스템의 가장 큰 특징은 정지 상태에서 1Gbps, 이동 상태에서 100Mbps를 제공하는 빠른 통신속도이다. LTE 시스템은 전세계적으로 2009년 12월에 최초로 상용화되었으며, 우리나라는 조금 늦게 2011년도 중반에 상용화 되었으나 축적된 기술력으로 최단시간에 전국망을 구축하였다.

LTE 시장을 빠르게 견인하였던 가장 큰 원동력은 폭증하는 무선데이터 트래픽이라고 할 수 있다. LTE 망구축 초창기인 2012년 1월의 무선데이터 트래픽은 29,748TB였으나 2015년 5월 기준으로는 152,318TB로 무려 5배 이상 증가한 수치이다 [1]. 이동통신 기술의 발전으로 주파수당 전송률(bps/Hz)은 꾸준히 향상되어 왔으나, 폭증하는 무선데이터 트래픽을 감당하기에는 역부족이다. 따라서, 무선전송용량을 늘리기 위해서 한

정된 무선자원인 주파수를 더 많이 확보하는 것이 매우 중요한 과제이다.

각국은 무선통신 서비스를 위해 활용 가능한 주파수를 확보하고 개발하는 노력을 전개하고 있다. 일례로, 우리나라에서는 2011년 방송통신위원회 주도하에 '모바일 광개토 플랜'을 계획하였다. 모바일 광개토 플랜에 따라 2020년까지 이동통신용으로 600MHz 대역폭을 추가로 확보하는 것을 목표로 하였다. 이후 당초 예상보다 무선데이터 트래픽 증가율이 더 높아짐에 따라 2012년에 '모바일 광개토 플랜 2.0'으로 확대하여 2023년까지 총 1,190MHz 대역폭을 추가로 확보하는 것을 목표로 하였다. 그러나 주파수의 회수 및 재배치는 기존 점유 기기들의 통제가 용이하지 않기 때문에 단기간에 해결할 수 없는 문제이다. 또, 최근 700MHz 대역의 재난망, 방송, 통신망의 공존 방안에서 경험한 것처럼 주파수의 배분은 경제성뿐만이 아닌 공공성 등이 종합적으로 고려되기 때문에 무선통신 서비스를 위한 추가 주파수 확보가 쉽지 않을 전망이다.

표준화 단체인 3GPP는 추가 주파수 확보를 위한 새로운 대안으로 비면허대역(licensed-free)의 활용에 관심을 두기 시작하였다. 비면허대역은 industrial scientific and medical equipment (ISM) 밴드라고도 불리며, 공업용, 과학용, 의료용 목적으로 주파수 면허 취득 없이 사용할 수 있는 공용 주파수 대역이다. 사용 가능한 비면허대역과 주파수를 사용하는 상세규정은 국가마다 다르게 정의되어 있지만, 대부분의 국가에서 2.4GHz 대역과 5GHz 대역을 사용할 수 있으며 주파수를 공유하는 최소의 기준을 만족하면 특별한 제약 없이 주파수를 사용하는 것이 가능하다. 현재 이 주파수 대역을 이용하는 대표적인 무선표준들은 WiFi와 Bluetooth, ZigBee 등이 있다. 통신사업자 입장에서는 주파수 면허 없이도 수십MHz 대역폭에 이르는 비면허대역을 무료로 쓸 수 있기 때문에 비면허대역을 활용하여 LTE 서비스를 제공하는 것이 매우 매력적인 방법이 될 수 있다. 따라서, 3GPP를 중심으로 비면허대역을 활용하여 LTE 서비스를 할 수 있는 다양한 방법에 대해서 연구가 진행되어 왔다. 본문에서는 연구되고 있는 다양한 비면허대역 활용 방법을 소개하고 각각의 기술적 이슈를 논의하도록 한다.

## II. 본론

비면허대역을 활용하여 LTE 서비스를 제공하고자 하는 노력은 다양하게 전개되어 왔다. 여기서는 대표적으로 세가지 방법인 'LTE in Unlicensed band (LTE-U)', 'LTE Licensed-As-sisted Access to unlicensed spectrum (LTE-LAA)', 'LTE HetNet (LTE-H)'을 각각 소개한다.

### 1. 비면허대역과 전파규정

비면허대역을 활용하기 위해서는 우선 비면허대역의 정확한 정의와 관련 전파규정을 파악하는 것이 중요하다. 앞서 언급한 바와 같이 전세계적으로 가장 많이 사용되는 비면허대역은 2.4GHz와 5GHz 대역이다. 2.4GHz 대역은 WiFi와 Bluetooth 기기들을 중심으로 이미 수많은 개체수의 무선기기들이 보급되어 있고, 그 영향으로 주파수 혼신이 매우 심각하다. 반면, 5GHz 대역은 사용 가능한 채널 수가 많고, 상대적으로 사용하는 기기들의 수가 적기 때문에 매력적인 주파수 대역이다. 따라서, LTE 서비스를 위해 활용하려는 대역은 5GHz 대역(5150MHz ~ 5925MHz)의 비면허대역이다.

〈그림 1〉은 5GHz 대역의 비면허대역을 보여준다. 5GHz 대역에는 다수개의 20MHz 대역폭의 채널이 존재하며 대역의 특성에 따라 몇 개의 세부대역으로 나누어진다. 이 세부대역은 Unlicensed National Information Infrastructure (UNII) band 1, 2, 3으로 명명되었다. 5GHz 대역의 특징으로, 5GHz 대역을 사용하려는 무선기기들은 radar 및 특수목적으로 사용되고 있는 장비들을 보호해야 하는 의무가 있다. 따라서, 무선기기들이 해당 세부대역은 UNII-2를 사용할 경우에는 dynamic frequency selection (DFS)라는 동작을 필수적으로 수행하여 radar 및 특수목적의 장비들의 사용이 발견되면 강제적으로 사용하는 무선채널을 변경해야 한다. 각 국가마다 허용이 허가된 채널들은 다르며, 미국과 유럽국가들은 상대적으로 많은 채널의 사용이 허가되어 있다. 최근 그 외의 국가들도 5GHz 대역의 활용도를 높이기 위해 더 많은 채널에 대한 사용을 허가하는 추세이다.

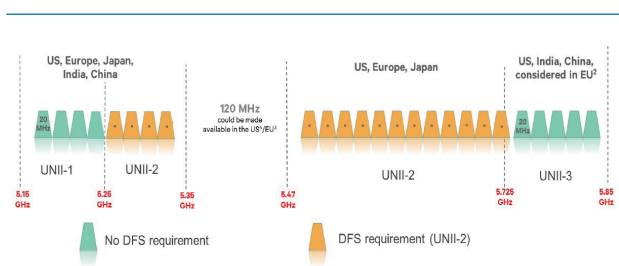


그림 1. 5GHz 대역의 비면허대역[2]

5GHz 대역에서 동작하는 radar 및 특수장비들을 보호하고 사용하는 무선기기들 간의 공존을 위해서 국가별로 다음과 같이 몇 가지 규정을 도입하고 있다.

- Dynamic frequency selection 필수
- Maximum transmit power, EIRP 제한
- Transmit power control 필수
- Listen-before-talk (LBT) 필수
- Maximum burst length 제한

앞서 설명한 DFS 기능과 같이 무선기기의 최대출력치 제한은 당연하다. 그 외에 연속적으로 채널을 점유할 수 있는 시간의 최대치가 제한되기도 한다. 그 중에서 LBT 기능은 WiFi가 비면허대역에서의 공존을 위해 사용하는 필수 기능이다. 그 내용은 무선기기가 채널을 사용하기 전에 항상 다른 기기가 무선전송을 하고 있는지 체크하고 채널이 비어 있을 때에만 전송을 하는 것을 의미한다. 대표적으로 유럽과 일본에서는 비면허대역을 사용하기 위해서 LBT 기능이 의무화 되어 있고, 미국, 우리나라, 중국은 해당기능이 필수가 아니다. LTE 시스템이 비면허대역을 사용하기 위해서 LBT 기능의 필수 여부는 매우 중요한 의미를 가진다. 현재 완료되어 있는 LTE 표준(Rel-12)에 구현된 기능만으로는 LBT 기능을 구현할 수 없기 때문에 Rel-13에서 추가 기능을 구현할 수 있도록 표준화가 선행되어야 한다. 반면, 미국, 우리나라, 중국 같은 국가에서는 LBT 기능이 필수가 아니기 때문에 이론적으로는 현재의 LTE 표준에 정의된 기능만으로도 5GHz 대역의 비면허대역을 사용하도록 구현이 가능하다. 한편, 비면허대역은 다른 기기들과의 공존 문제로 기본적으로 원하는 시점에 전송하는 것이 보장되지 않는 특징이 있다. 따라서 LTE 시스템이 비면허대역을 이용할 때는 carrier aggregation (CA)의 secondary carrier로 활용하는 것이 바람직하다. 아래에서 설명하는 LTE-U와 LTE-LAA는 모두 이러한 방식에 기반한다.

### 2. LTE-U

기존 무선기기들과의 조화로운 공존 (coexistence) 관점에서 LBT 기능은 매우 중요한 역할을 한다. 그러나 미국, 한국, 중국과 같은 나라에서는 비면허대역에 LBT 기능을 구현하는 것이 전파규정에 명시되어 있지 않다. 따라서, 현재의 LTE 표준에 구현된 기능으로도 비면허대역을 사용하는 것이 금지되어 있지는 않다. 하지만 전파규정을 어긴 것이 아니라 하더라도 비면허대역에 대한 공정사용에 대한 의무에서 면제 받는 것을 의미하지는 않는다. 자칫 무선통신기기의 생태계에 심각한 문제가 됨은 물론 기존의 서비스를 이용하는 다수의 사용자들이 불편을 겪을 수 있기 때문이다. LTE 단말 무선칩셋의 대표적인 제

조업체인 켈컴은 이러한 논의를 고려하여 최소한의 공존 규칙에 부합하도록 비면허대역에서 LTE 서비스를 제공하는 방식을 제안하였다[2]. 이 방식을 뒤에서 설명할 LTE Rel-13 표준 기반의 LTE License-Assisted Access (LTE-LAA) 방식과 구분하여 편의상 LTE-U라고 지칭한다.

LTE-U는 LBT 기능을 구현할 수 있는 LTE-LAA가 정식으로 상용화되기 전까지 LBT 기능 필수 사용에 대한 규제가 없는 국가에서 선택할 수 있는 과도기적 기술로 볼 수 있다. LTE-U의 주된 목표는 어떻게 하면 LBT 기능이 없어도 비면허대역에 대한 공정사용을 준수할 수 있게 만드느냐는 것이다. 즉, 기존에 5GHz 대역에서 동작하고 있는 WiFi와 조화롭게 공존할 수 있는 방식을 제시하고 있다. LBT 기능이 없다면 LTE-U와 WiFi 신호들의 충돌이 일어나는 경우를 방지할 수 없으며 시스템의 특성상 간섭신호에 강인한 LTE 시스템에 비하여 WiFi 시스템은 극심한 성능 열화를 피할 수 없다. 따라서, 켈컴에서는 <그림 2>와 같은 공존 알고리즘을 제안하여 문제를 해결하고자 하였다. 먼저 LTE-U 시스템은 먼저 비면허대역의 다수의 채널에 대해 신호세기를 모니터링한다. 만약, 아무런 수신신호가 잡히지 않는 채널이 있다면, 해당 비어있는 채널을 사용하여 LTE-U 시스템용 second carrier로 활용한다. 이때, 기타 기기들과의 공존문제를 고려할 필요가 없으므로 이 채널을 100% 점유하여 사용한다. 반대로, 만약 비어있는 채널이 없다면 채널을 점유하여 LTE-U 시스템용 밴드로 사용할 때 다른 기기들과 공정한(fair) 공존을 해야 한다. 이를 위해 carrier-sensing adaptive transmission (CSAT)라는 알고리즘을 사용하는데, LBT 기능이 없기 때문에 채널을 충분히 오랜 시간 관찰하여 다른 기기들의 duty cycle을 측정할 후 자신의 activity 비율을 비

슷하게 설정한다. 즉, 전체 시간 관점에서 다른 기기들과 채널을 점유하는 시간을 평균적으로 비슷하게 함으로써 공정한 사용을 보장하려고 노력한다. 또, LTE 서비스가 몰리지 않는 경우에는 비면허대역을 점유하는 second carrier 사용을 중지하여 비면허대역에 주는 영향을 최소화 한다.

LTE-U와 같은 방식은 LBT 기능 없이 효과적으로 비면허대역을 사용하는 방식이 맞지만, 공정사용 관점에서 충분하다고 할 수는 없다. 수시로 변하는 WiFi 등의 환경에 빠르게 대응할 수 없어 WiFi 시스템의 성능을 열화 시킬 수 있다. 또, CSAT가 평균적인 채널 점유율 관점에서 WiFi 시스템과의 형평성을 맞추기는 하지만, LTE-U가 activated 되는 순간 진행되고 있는 WiFi 전송들은 실패할 가능성이 매우 높으며, LTE-U가 deactivated 되는 구간까지 기다려야 하는 등 여러 가지 지연(latency)에 의한 WiFi 무선품질 저하를 감수해야 한다. WiFi를 이용한 streaming이나 VoIP등 실시간 서비스는 매우 큰 품질 저하를 겪을 가능성이 높다. LTE-U는 현재시점에서 LTE 시스템이 비면허대역을 사용하는 과도기적 방법이기 때문에 상기와 같이 WiFi와의 불완전한 공존성의 한계를 주지하여 제한적인 장소나 조건 하에서 사용할 필요가 있다.

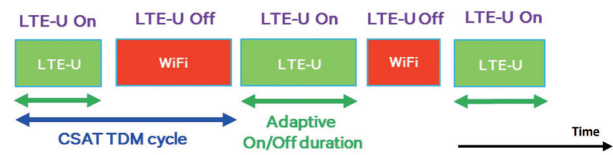


그림 3. LTE-U와 WiFi의 공존 방식[2]

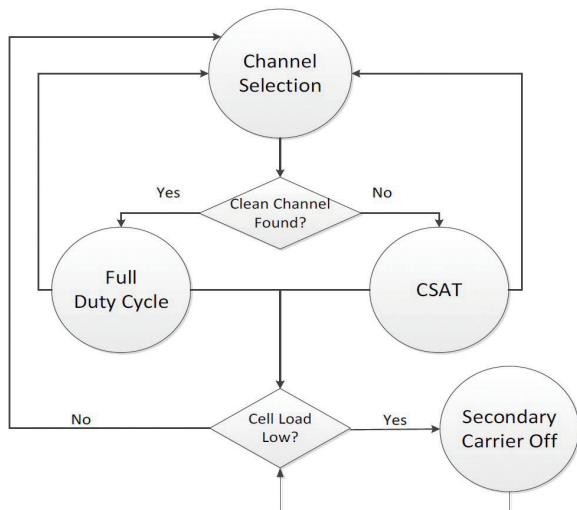


그림 2. LTE-U의 공존 알고리즘[2]

### 3. LTE-LAA

LTE시스템이 WiFi 같은 기존의 비면허대역에서 동작하는 무선기기들과 보다 수준 높은 공존성을 보장하기 위해서는 LBT 기능의 구현이 필수적이다. 이러한 노력으로 3GPP에서는 Rel-13의 study item으로 2015년 6월까지 LTE License-Assisted Access to Unlicensed Spectrum (LTE-LAA)의 논의를 진행하였고, 향후 work item을 거쳐 표준을 완성할 예정이다[3]. LTE-LAA는 5GHz 비면허대역을 사용하기 위해 필요한 하는 전파규정을 준수하고, 기존의 WiFi 무선기기들과 조화로운 공존을 도모하는 것을 목적으로 한다. 일부의 전파규정은 LTE 표준의 추가 변경 없이 만족할 수 있지만, LBT 기능을 비롯한 대부분의 전파규정은 LTE 표준의 변경을 요한다. LTE-LAA는 이러한 모든 규정을 준수할 수 있도록 고려하고 있다. LTE-LAA에서도 LTE-U와 마찬가지로 비면허대역은 CA를

통해 second carrier로 활용하는 것을 전제로 한다. 즉, 비면허대역에서 LTE 시스템이 stand-alone 모드로 동작하는 시나리오는 배제하고 있으며, 그 점을 분명히 하기 위해서 'license-assisted access'라는 명명을 하게 되었다.

〈그림 4〉는 3GPP에서 고려하고 있는 LTE-LAA의 4가지 구축 시나리오이다. 시나리오1에서는 macro cell이 면허대역인 주파수 대역 F1을 사용하고 있고, small cell에서는 비면허대역인 주파수 대역 F3을 이용하고 있다. Macro cell과 small cell 사이는 대역폭 제한과 지연이 없는 이상적인(ideal) 유선망으로 연결되어 있어서 두 셀간 CA를 사용하는 것을 고려하고 있다. 시나리오2에서는 macro cell 없이 small cell만으로 이루어져 있다. Small cell에서 면허대역인 주파수 대역 F2를 이용하고 비면허대역인 주파수 대역 F3를 사용하는 경우이다. 마찬가지로 두 셀간에는 이상적인 유선망으로 연결되어 있어서 CA를 사용할 수 있다. 시나리오3는 macro cell이 면허대역인 주파수 대역 F1을 사용하고 small cell이 역시 F1을 사용하는 HetNet 상황이다. 이때 비면허대역인 주파수 대역 F3를 사용하는 small cell까지 총 3계층이 존재한다. 이때 small cell간에는 이상적인 유선망을 가정하고 CA 전송을 사용할 수 있다. 마지막으로 시나리오4는 앞의 시나리오3과 같은 3계층 구조를 가정하고 있지만 대신 모든 계층이 다른 주파수 대역을 쓰고 있는 상황이다. Small cell간에는 이상적인 유선망을 가정할 수 있으므로 CA가 가능하고 만약, macro cell과 small cell간에도 이상적인 유선망이 있다면 총 3개의 주파수 대역을 묶어서 사용하는 CA도 가능하다.

LTE-LAA에서 첫 번째로 고려해야 하는 것은 DFS 기능이다. 5GHz 대역의 UNII-2 밴드는 기존 radar 및 특수장비들을 보호해야 하기 때문에 해당 채널들을 사용하기 위해서는 DFS 기능을 필수로 요구한다. LTE-LAA에서는 eNB가 상기 대역에 전파를 송출하므로 eNB에 해당 기능을 구현하도록 되어 있다.

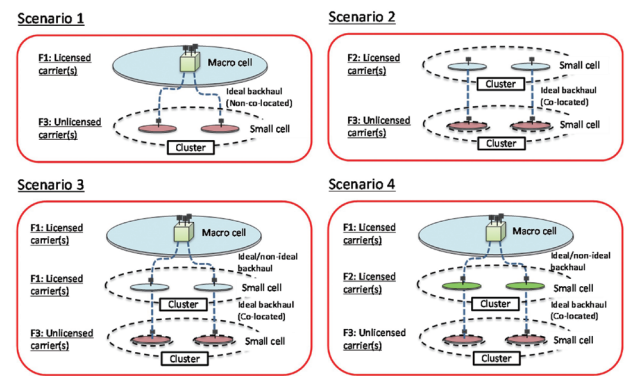


그림 4. LAA 구축 시나리오[3]

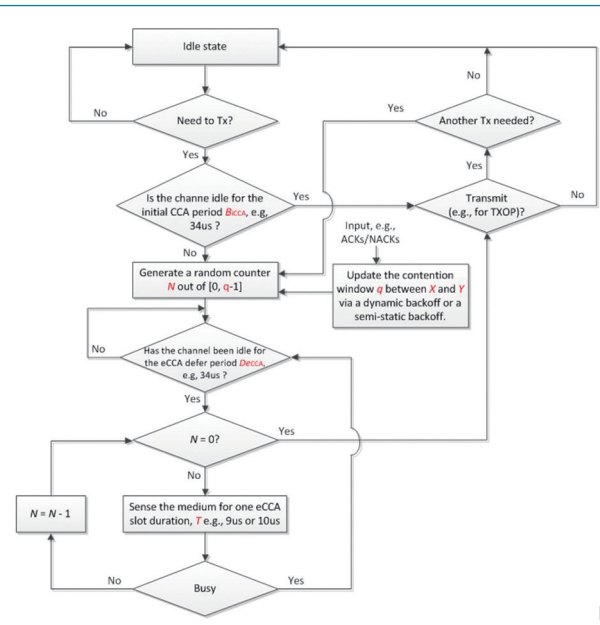


그림 5. LTE-LAA의 LBT 과정[3]

DFS 기능을 구현할 때 고려되어야 하는 것들은 다음과 같다.

- DFS 밴드에서 -62dBm 이상의 radar 신호를 감지할 수 있어야 함. (고출력 기기의 경우는 -64dBm 이상)
- 무선송출을 하기 전 최소 60초이상 radar 신호가 감지되지 않아야 함.
- Radar 신호가 감지될 경우 최대 10초 이내에 해당 채널에서의 무선송출을 중단하여야 함.
- 무선송출을 하려는 채널의 전체 주파수 대역에서 radar 감지를 수행해야 함.

WiFi와의 공존을 위해서 LTE-LAA가 추구하는 목표는 LTE-LAA를 추가함으로써 기존 WiFi에 주는 영향이 적어도 하나의 새로운WiFi가 추가되는 것만큼은 넘지 않아야 한다는 것이다. 그러기 위해서는 기존 WiFi 기기들과 동일한 기준으로 주파수 사용 기회를 획득하는 것이 필요하다. LTE-LAA에서의 LBT는 WiFi에서와 같은 철학으로 설계하며[4], 공정한 공존을 보장하기 위해 다음과 같은 조건을 추가로 고려한다.

- LTE-LAA의 contention window는 가변할 수 있도록 한다. (WiFi와 같이 exponential backoff 적용 가능함)
- 채널이 idle로 바뀔 때 전송하기 전에 defer period를 적용한다. (WiFi의 parameter들과 맞추는 것을 권고함)

상기 논의를 바탕으로 LTE-LAA의 LBT는 〈그림 5〉와 같이 설계할 수 있다.

한편, LTE-LAA에서는 비면허대역에서 동작하는 carrier 상에서 원하는 시점에 전송을 보장할 수 없다. 따라서, 데이터의 재전송을 담당하는 중요한 Hybrid Automatic Retransmis-

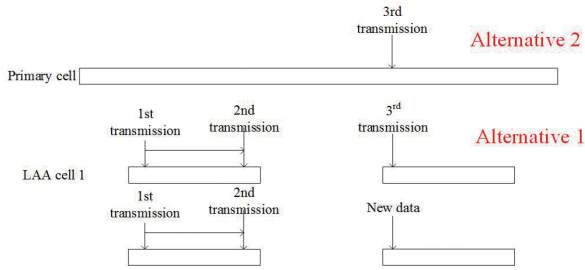


그림 6. LTE-LAA에서의 HARQ 문제[3]

sion request (HARQ) 기능에 대해 변경이 필요하다. HARQ는 데이터의 수신실패 시 재전송 데이터를 보낸다. 이때, 비면허대역의 carrier는 LBT를 통해 항상 사용할 수 있다는 보장이 없기 때문에 기존과는 다른 방법을 사용해야 한다. <그림 6>은 LTE-LAA에서 HARQ를 구현하는 방법을 보여준다. 첫 번째 방법은 second carrier에서 계속 재전송을 하는 방법이다. 이때, 두 번째 전송만에 재전송을 완료하거나 아니면 재전송 과정을 멈추고 다음 번 LBT를 통해 채널을 점유하였을 때 재전송을 재개할 수 있다. 두 번째 방법은 비면허대역의 채널 점유가 끝났을 때, 기다리지 않고 면허대역인 first carrier를 통해 나머지 재전송을 완료하는 방법이다. 두 가지 방법을 비교해 보면 두 번째 방법이 더 효율적으로 보인다. 하지만, 첫 번째 방법은 기존의 LTE Rel-11 표준에서 변경 없이 적용 가능하다는 측면에서 장점을 가지고 있다.

마지막으로 다수의 통신사업자들이 구축한 LTE-LAA 셀이 인접해 있는 경우의 physical cell ID (PCI) 혼동 문제도 고려할 필요가 있다. <그림 7>은 두 개의 사업자가 구축한 LTE-LAA 셀을 나타낸다. 파란색으로 표시된 사업자는 macro cell과 비면허대역을 사용하는 small cell (PCI=17)을 운영하고 있다. 한편, 녹색으로 표시된 사업자는 비면허대역을 사용하는 small cell (PCI=17)을 운영하고 있다. 서로 다른 사업자 간에 네트워크 운용 정보를 공유하는 것은 현실적으로 매우 어렵기 때문에, 이와 같이 504개의 PCI 중 겹치는 것을 사용하는 일이 발생하는 것이 가능하다. 이 경우 사용자는 PCI=17인 small cell에 가까이 있다고 보고하게 되는데, 파란색으로 표시된 사업자는 사용자가 자신의 small cell에 가깝게 있다고 착각하게 된다. 이때, CA를 통해 비면허대역을 사용하면 실제로는 사용자가 멀리 있기 때문에 전송품질이 매우 나쁘게 된다. 이 문제는 근본적으로 제한된 PCI의 개수를 늘려서 셀을 더 상세히 구분할 수 있어야 해결되는 문제이지만, 표준에 너무 많은 변경을 야기시키게 된다. 대안으로 eNB에서 PCI 혼란 문제가 발생하는 상황을 검출하도록 구현하는 방법이 있다. 예를 들면, 위의 상황과

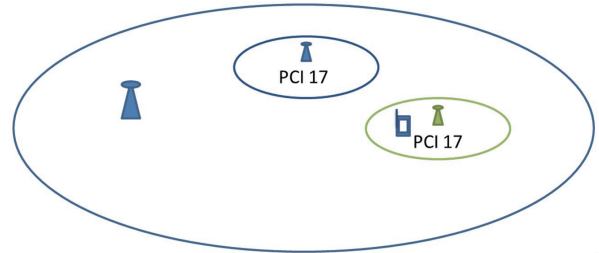


그림 7. LTE-LAA에서의 PCI 혼동 문제[3]

같이 사용자는 small cell이 가깝게 있다고 신호의 세기를 크게 보고하지만 실제로 데이터 전송이 제대로 이루어지지 않는 경우는 PCI 혼란이 발생하는 상황이라고 판단할 수 있다. 이 경우 small cell이 사용하는 PCI를 변경하여 문제를 해결하도록 할 수 있다.

이 외에도 LTE-LAA가 비면허대역을 사용하기 위해서 해결해야 할 크고 작은 과제가 많이 남아 있다. 이 논의들은 Rel-13 표준화의 work item으로 구체적으로 논의되고 결정될 예정이다.

#### 4. LTE-H

지금까지 설명한 LTE-U와 LTE-LAA는 공통적으로 비면허대역에서 LTE 방식의 신호를 전송하고자 하였고, 그 때문에 WiFi 기기들과의 공평한 공존성 관점에서 기술적인 문제들을 해결해야 했다. 또한, 3GPP 중심의 비면허대역 점유 시도는 WiFi 관련 산업계의 강한 반발을 유발하는 등 무선통신 기기의 생태계 관점에서도 우려되는 부분이 많다. 이런 관점에서, 비면허대역을 적극적으로 활용하면서도 기존 WiFi 기기들과의 공정한 공존 문제를 해결하는 해결책으로 제시된 것이 LTE-Het-Net(LTE-H)이다. LTE-H는 dual connectivity 또는 LTE WiFi Aggregation (LWA)로도 불린다. MWC'2015에서 kt가 삼성의 네트워크 장비와 퀄컴의 단말칩을 장착한 단말을 이용하여 최초로 시연하였으며, 여기서는 편의상 LTE-H라고 지칭하겠다[5].

LTE-H가 LTE-U와 LTE-LAA와 구분되는 가장 큰 차이점은 비면허대역에서 LTE 신호가 아닌 WiFi 신호를 전송한다는 것이다. <그림 8>을 이러한 LTE-H의 개념을 나타낸다. 상위 네트워크에서 내려온 무선데이터는 base band unit (BBU)에서 두 개의 데이터 스트림으로 분리된다. 하나의 데이터 스트림은 LTE망을 통해 LTE remote unit (RU)에서 면허대역의 LTE 신호로 전송이 되고, 다른 하나의 데이터 스트림은 WiFi AP를 통해 비면허대역의 WiFi 신호로 전송이 된다. 즉, 비면허대역에서 전송되는 신호는 WiFi 표준에 근거한 완전한 WiFi 패킷이다. 따라서, 5GHz 대역에서 준수해야 하는 전파규정을 모

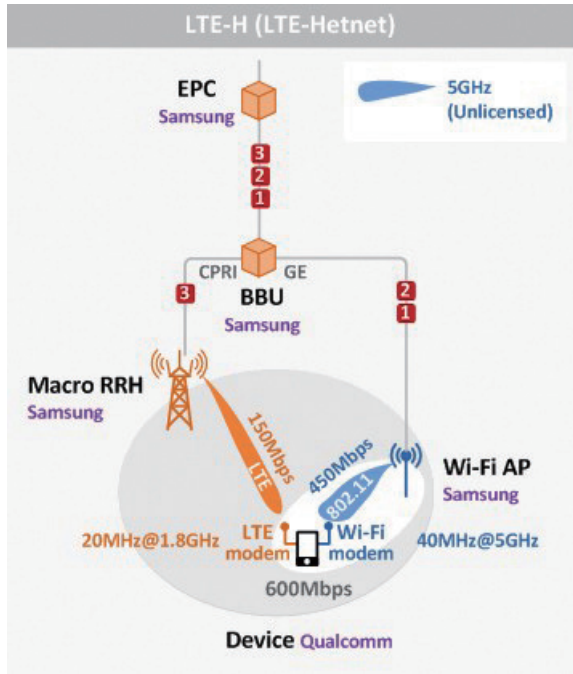


그림 8. LTE-H의 개념[5]

두 만족하고, 다른 WiFi 기기들과의 공존성에도 아무런 문제가 없게 된다. 사용자 단말은 LTE와 WiFi 두 개의 연결을 동시에 유지하게 된다(dual connectivity).

〈그림 9〉는 데이터 스트림의 분리와 병합의 과정을 나타낸다. 두 개의 데이터 스트림으로 나누어진 데이터는 사용자 단말에서 다시 하나로 병합되는데 Packet Data Convergence Protocol (PDCP) 계층에서 병합이 이루어진다. LTE-H를 활용한 고속전송의 예로, LTE에서 3 CA로 300Mbps 전송 속도를 담당하고, WiFi에서 IEEE802.11ac를 이용하여 867Mbps 전송 속도를 담당하면, 이론적으로 달성할 수 있는 최대 전송 속도는 무려 1.17Gbps에 이른다[6].

LTE-H를 구현하기 위해서는 LTE나 WiFi 표준에 특별한 변경이 필요하지 않다. BBU에서 효율적으로 데이터 스트림의 배분을 결정하는 알고리즘이 필요하고, 사용자 단말에서 PDCP

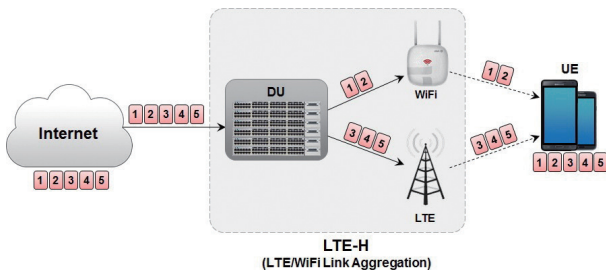


그림 9. LTE-H의 원리[5]

계층에서 데이터 스트림 병합을 위한 stack의 수정이 필요한데, 이것은 소프트웨어적인 업그레이드로 비교적 쉽게 구현이 가능한 부분이다.

### III. 결론

본고에서는 비면허대역을 활용한 LTE 시스템의 다양한 방법에 대해서 알아보았다. 요약하면, LTE-U는 전파규정상 LBT가 필수가 아닌 국가에서 표준에 대한 변경 없이 사용할 수 있는 과도기적 성격의 방법이다. 하지만, 완벽하지 않은 공존성 문제로 실제로 구현 시 필드에서 많은 문제점을 야기할 수 있을 것으로 보인다. LTE Rel-13에서 논의 중인 LTE-LAA는 비면허대역에서 만족할 만한 공존성을 보장하기 위해 체계적으로 기술개발 및 표준화 노력을 하고 있다. 다만, 표준화 일정상 실제 상용화를 위해서는 상당한 시간이 소요될 것으로 예상된다. 그러한 측면에서, LTE-H는 현재 시점에서 가장 안전한 상용적 대안으로 보인다. LTE 서비스를 위한 비면허대역에 대한 접근 및 활용법은 국가마다 또 통신사업자마다 다른 전략이 유리할 수 있으므로 상황에 맞는 전략의 선정이 중요하다.

### 참고 문헌

- [1] 미래창조과학부, “무선데이터 트래픽 통계,” 2015년 7월.
- [2] Qualcomm Inc., “LTE in Unlicensed Spectrum: Harmonious Coexistence with WiFi,” June 2014.
- [3] 3GPP TR36,889: “Study on License-Assisted Access to Unlicensed Spectrum” June 2015.
- [4] ETSI EN 301 893, Harmonized European Standard, “Broadband Radio Access Networks (BRAN); 5 GHz high performance RLAN”.
- [5] Netmanias, “KTs’ Demonstrations on Pre-5G/5G Technologies presented at MWC 2015,” Mar, 2015.
- [6] KT Giga LTE, <http://gigalte.olleh.com/giga/service/gigalte.asp>.

## 약 력



손 일 수

2003년 서울대학교 공학사  
2005년 서울대학교 공학석사  
2009년 서울대학교 공학박사  
2009년~2010년 The University of Texas at Austin 박사후연구원  
2010년~2012년 LG전자 차세대통신연구소 선임연구원  
2012년~2013년 KT 네트워크전략본부 매니저  
2013년~현재 가천대학교 전자공학과 조교수  
관심분야: 협력통신, 단말직접통신, 차세대WiFi, 메세지패싱알고리즘



이 종 호

1999년 서울대학교 공학사  
2001년 서울대학교 공학석사  
2006년 서울대학교 공학박사  
2006년~2008년 삼성전자 통신연구소 책임연구원  
2008년~2009년 Georgia Institute of Technology 박사후연구원  
2009년~2012년 공주대학교 전기전자제어공학부 조교수  
2013년~현재 가천대학교 전자공학과 조교수  
관심분야: Full-duplex wireless, physical layer security