

# WLAN 기술의 발전 방향 및 IEEE 802.11ax 표준화 동향

정병훈, 장상현, 윤성록, 김대현  
삼성전자

## 요약

무선랜(Wireless LAN)으로도 불리는 Wi-Fi 기술은 1997년 IEEE 802.11 전송 규격(Legacy Standard)이 출간된 이후 지속적인 보완과 개정 작업을 통해 그 규격이 발전되어 가며 스마트폰, Tablet, Note-PC 등 개인 휴대 단말 기기를 위한 데이터 네트워크의 필수적인 구성 요소가 되었다. IEEE 표준과 별도로 표준 인증기관인 Wi-Fi Alliance를 통하여 제품 간 무선연결 호환성의 확보 뿐 아니라 Wi-Fi 기반 서비스 규격 제정에 이르기까지 Wi-Fi 표준 작업이 수행되고 있다. 본고에서는 나날이 발전해 온 Wi-Fi 기술 표준을 전송 속도 향상 측면과 주파수 대역 확장 측면에서 살펴보고, 차세대 Wi-Fi 기술인 IEEE 802.11ax, 즉 HEW(High Efficiency WLAN) 표준에 대하여 살펴보고자 한다.

## I. Wi-Fi 기술의 발전 방향

Wi-Fi는 초기 802.11의 2 Mbps 전송률로부터 진화를 거듭하여 현재는 최대 7 Gbps에 이르는(802.11ac, 802.11ad) 데이터 전송율을 지원하고 있다. 또한 IoT 및 다양한 서비스 지원을 위해 기존 2.4 GHz와 5 GHz 대역을 지원하는 규격뿐 아니라 900 MHz(802.11ah), TV White Space(802.11af)와 같은 추가적인 대역을 지원하는 규격도 제정되었다. 1997년 이후 Wi-Fi 표준의 발전은 몇 가지 관점에서 바라볼 수 있는데, 본 장에서는 전송 속도 향상 측면(그림 1)과 주파수 대역 확장 측면(그림 2)에서 소개하도록 하겠다.

### 1. 전송 속도 향상 측면에서의 발전

초기의 Wi-Fi 표준(802.11)은 최대 2 Mbps의 PHY Rate를 지원하였다. 802.11은 단순한 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 변조를 채택하였다. 그로부터 2년 뒤 11a와 11b 표준이 발표되었는데, 11a는 현재 Wi-Fi PHY 기술의 근간이 되

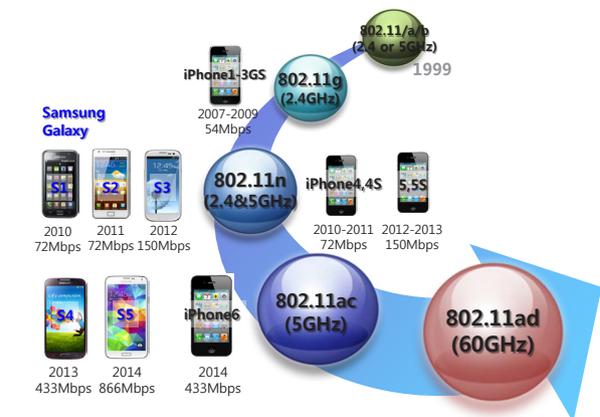


그림 1. 표준 별 PHY Rate 발전 추이

는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 채택하여 최대 54 Mbps를 지원하였으며, 11b는 기존 Legacy 방식과 호환되는 CCK(Complementary Code Keying) 방식을 이용하여 최대 11 Mbps까지 PHY Rate를 증가시켰다. 11b 기술은 기존 규격 호환성과 구현의 용이성으로 인해 시장을 선점하였고, 그로 인해 11a 기술은 훨씬 빠른 속도를 자랑함에도 불구하고 상용화까지 5년여의 시간이 걸렸다.

그러나 11a의 OFDM 기술은 이후 Wi-Fi의 핵심 기술로 자리하면서 기존 11b가 사용하던 2.4 GHz 대역에도 적용되어 11g 표준으로 출간되었고, 이어진 11n에서는 전송 대역폭을 확장시키는 Channel Bonding 기술과 다중 안테나에 다수 데이터를 동시에 전송하는 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 기술과 결합되어 최대 600 Mbps의 PHY Rate를 지원하게 되었다. 그러나 MIMO 기술은 다수 안테나를 실장 해야 하는 어려움으로 11n 부터는 Mobile 향과 Enterprise 향으로 구분되어 적용되기 시작했으며, Mobile 향의 11n은 최대 150 Mbps의 속도를 지원한다.

11n 이후 추가적인 대역폭 확보와 안테나 증가가 어려워져 기존 11n과의 호환성을 중시하면서 기존 대역을 그대로 사용하는 움직임과 새로운 60 GHz 대역에서 넓은 신규 대역폭을 확보하자는 움직임으로 의견이 엇갈렸고, 결국 하위 호환

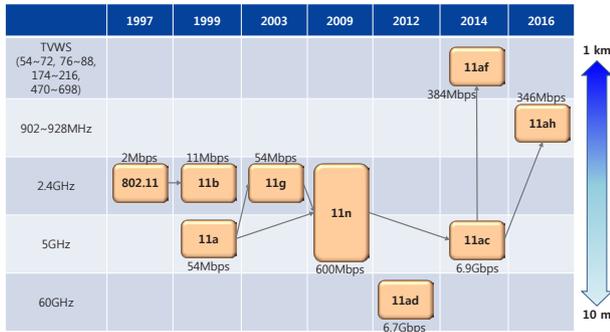


그림 2. 표준 별 주파수 점유 추이

이 가능한 11ac와 60GHz 대역을 사용하는 11ad의 두 가지 표준으로 분리되어 표준화 작업이 진행되었다. 이 중 11ac는 추가적인 Channel Bonding과 Multi-User MIMO 기술을 사용하여 Mobile 향에서 최대 866 Mbps, Enterprise 향에서 최대 6.9 Gbps를 지원하게 되었다. 한편 11ad는 새로운 60 GHz 주파수 대역의 넓은 대역폭을 활용하여 MIMO를 사용하지 않고도 최대 6.7 Gbps를 지원한다. 11ad가 Mobile에 적용된 제품은 아직 출시되지 않고 있으나, 일부 칩 제조업체에서 최대 전송 속도 4.6 Gbps 솔루션을 개발했다. 이와 같이 Wi-Fi의 PHY Rate는 지난 16년 간 3번의 개정을 통해 3000배 이상 빨라지는 방향으로 발전되어 왔다.

## 2. 주파수 확장 측면에서의 발전

초기의 Wi-Fi 표준은 2.4 GHz 채널을 사용하였다. 이는 옥외 기준으로 200~250 m의 데이터 통신 범위를 갖는다. 11b 표준은 이 채널을 계승하였으나, 11a 표준은 넓은 대역폭 확보가 상대적으로 유리한 5 GHz 채널을 채택하였고, 5 GHz 채널은 옥외 기준으로 약 100 m의 통신 거리를 갖는다. 11a 표준은 후에 상용화 되면서 2.4 GHz 대역으로 확장되어 11g 표준의 근간이 되었다. 이후 11n 표준은 11a/g로부터 OFDM 기술을 계승하면서 두 개 대역을 모두 사용하였다. 그러나 11ac 표준은 2.4 GHz 대역에서는 확보하기 어려운 최대 160 MHz까지의 대역폭을 사용하면서 5 GHz 대역만을 사용하고 있다. 앞 장에서 설명하였듯 11ad 표준은 60 GHz 대역을 사용하며, 이 대역은 통상적으로 옥외 기준 10~50 m의 통신 거리를 갖는다. 11ad 표준은 빔포밍 기술을 사용하기 때문에 빔의 날카로움에 따라 도달거리가 달라질 수 있다.

Wi-Fi 표준에서는 전송 범위를 증가시키려는 방향의 발전도 이루어지고 있는데, TVWS(TV White Space)를 활용하는 11af와 Sub-1 GHz 대역의 11ah 표준이 그것이다. 이 둘은 기본적으로 11ac가 정의하는 PHY 계층을 채택하면서, 샘플링 주파수를 낮춰 협대역의 저속 원거리 통신을 가능하게 한다. 이 기술

들의 신호 도달 거리는 약 1 km 수준으로 예상된다.

이와 같이 Wi-Fi 기술이 사용하는 주파수가 늘어나면서 다양한 도달 거리와 속도에 대한 선택의 폭이 생겼으며 PAN(Personal Area Network)과 WAN(Wide Area Network)을 아우르는 다양한 통신 영역으로의 확장이 가능해졌다.

## II. 차세대 2.4/5 GHz 대역 Wi-Fi 표준: IEEE 802.11ax

### 1. Post 802.11n/ac 표준의 구성: IEEE 802.11 HEW(High Efficiency WLAN) Study Group

앞 절에서 설명하였듯이, Wi-Fi 기술은 IEEE 802.11a/b/g/n/ac를 거치면서 넓은 대역폭의 빠른 전송속도를 제공하는 기술 발전의 형태로 진화해 왔다. 하지만, 표준 기술이 단일 AP(Access Point)와 그에 접속해 있는 STA들(Station, 단말) 간의 통신에만 집중된 나머지 많은 AP들이 밀집해 있는 실제 환경에서 사용자가 겪을 수 있는 여러 가지 불편에 대응이 안 되는 상황이다.

그에 대한 예로, <그림 3>은 COEX Mall과 서울역에서 측정된 Wi-Fi 성능을 보여주고 있다[7]. COEX Mall과 서울역에서의 측정 결과는 사용자가 밀집된 환경에서 사용자의 데이터 전송률인 Throughput이 각각 0.2 Mbps 수준과 1 Mbps 수준으로 저하된 것을 볼 수 있다. 또한, <그림 3>의 아래 부분은

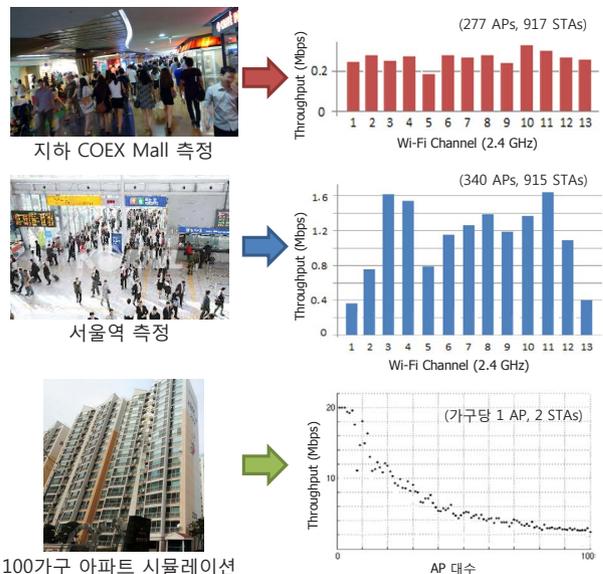


그림 3. 밀집된 사용자 수 증가에 따른 Wi-Fi 성능 측정 및 시뮬레이션

표 1. 기존 802.11 표준과 802.11ax 표준 비교

	기존 802.11 표준	802.11ax HEW
목적	링크당 전송률 증가	밀집지역에서 STA당 평균 전송률 증가
시나리오	실내 / 1 User / 1 Application	실내 · 실외 (밀집지역) / 다수 / 다양한 트래픽
성능지표	최대 전송률 - Link Throughput - Aggregate Throughput	실제 사용자 체감 전송률 - Average per Station Throughput - 5th Percentile per Station Throughput - Power Efficiency

30평형대 100가구 아파트 환경에서 가구 당 1대의 AP, 2대의 STA가 동작하는 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다[8].

AP가 10 대 이상 동작하는 경우에 STA 당 Throughput이 급격히 저하되는 것을 알 수 있고, AP가 100 대 모두 동작하는 경우 Throughput이 최대 85% 감소된다. <그림 3>에서 보여주는 예처럼 밀집된 환경에서 Wi-Fi 성능이 저하되는 등 실질적인 문제점들을 해결하기 위해 IEEE 802.11 HEW SG(High Efficiency WLAN Study Group)가 결성되었다.

IEEE 802.11 HEW SG는 2013년 5월에 결성되었으며, Broadcom, Qualcomm, Intel, Marvell 등 대표적인 Wi-Fi 칩셋 업체뿐 아니라, 삼성전자, Huawei, LG전자 등의 세트업체, 그리고 Wi-Fi 서비스 향상을 원하는 통신 사업자까지 많은 참여가 있었다[2][3]. HEW SG는 2014년 3월까지 200건 이상의 기고문이 발표되는 등 밀집 지역에서의 주파수 재사용율 개선과 인접 Basic Service Set(BSS) 간 간섭 제어에 대한 활발한 논의가 진행되었으며, 2014년 4월 IEEE 802.11ax Task Group(TGax)으로 승격되어 본격적인 기술 논의가 이어지고 있다.

TGax는 현재 IEEE 802.11 표준단체 내에서 가장 화두가 되고 있는 표준 그룹이며, IEEE 802.11ax 표준의 목표는 HEW SG에서 발간한 PAR(Project Authorization Request) 문서[1]에서 볼 수 있듯이 PHY-layer와 MAC-layer 대상 차세대 표

준 제정을 통한 밀집 지역에서의 STA당 평균 전송률을 4배 이상 개선하면서 (기존 802.11n/ac 기술 대비 기준), 기존 Legacy Wi-Fi 기기와의 Backward Compatibility 및 Coexistence 등을 유지하는 것을 고려 조건으로 두고 있다. 기존 802.11a/b/g/n/ac의 진화가 링크당 최대 전송률 증가를 목표로 진행되었던 데에 반하여, IEEE 802.11ax 표준은 다양한 밀집 환경을 고려한 Wi-Fi의 체감 성능 개선을 목표로 한다는 데에 큰 특징이 있다<표 1>참조[9].

## 2. IEEE 802.11ax Task Group(TGax) 구성

앞서 언급한 바와 같이, IEEE 802.11 TGax는 다양한 밀집 환경을 고려한 Wi-Fi의 체감 성능 개선을 목표로 한다는 데에 그 특징이 있다. 새로운 표준 제정을 목표로 현재까지 TGax에서 합의된 Specification Framework Document(SFD)에 포함된 항목은 다음과 같다[6].

- High Efficiency(HE) 向 PHY Frame Format 및 Parameter
- 다수 사용자 지원(Multi-user: MU)위한 MIMO 및 OFDMA 기술
- 밀집 지역 및 실외 向 동작 지원

TGax의 첫 Face-to-Face 회의였던 지난 2014년 5월 회의

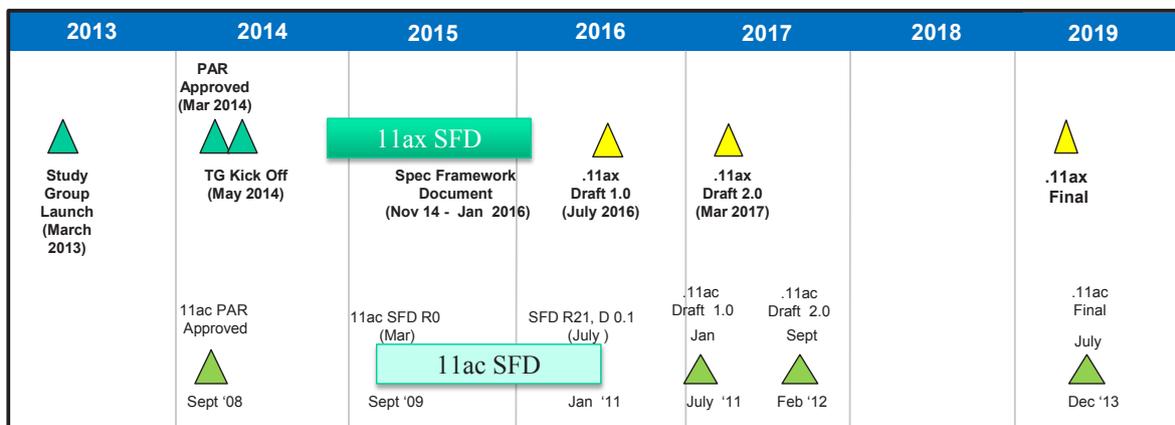


그림 4. TGax Timeline 및 802.11ac 표준 Timeline 비교

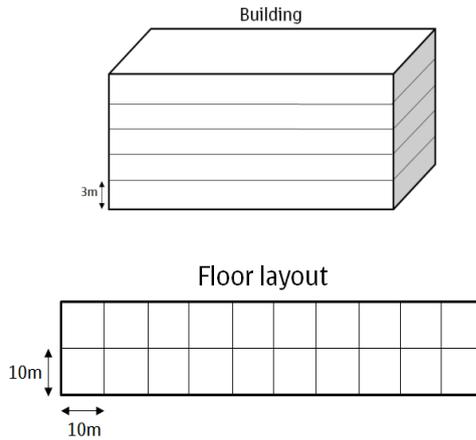


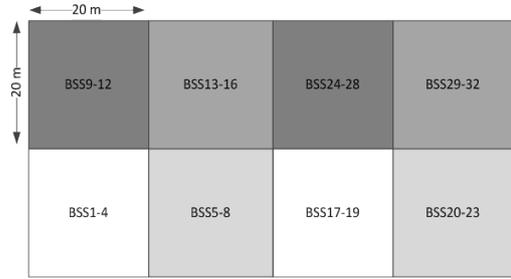
그림 5. Residential Scenario의 건물 설계도면

에서는 의장단 선출, Timeline 결정 및 TG 문서 발간 등의 논의가 있었다. 의장단은 현재 Chair와 Secretary 각 1명으로 선출되었으며, Chair에는 Huawei Technologies사의 Osama About-Magd가, Secretary에는 NTT사의 Yasuhiko Inoue가 선출되어 현재까지 HEW SG와 동일인, 동일 조직으로 구성되어 있다. 2014년 9월 회의에는 현재 의장단 구성에 추가로 Qualcomm사의 Simone Merlin과 Broadcom사의 Ron Porat 두 명이 Vice Chair로 선출되었다. 그리고 기술 아이템을 나누어 분과 별로 논의를 하고자 Ad-hoc Group 구성이 제안되어, 2015년 1월 회의에서 Ad-hoc Group별 의장단 선출이 있었다. Ad-hoc Group은 11ac 때와 유사한 형태로 4개의 Ad-hoc Group이 구성되었고(PHY, MAC, Multi-User 및 Spatial Reuse Ad-hoc Group), 각 Group당 3명씩 총 12명의 공동의장이 선출되었다.

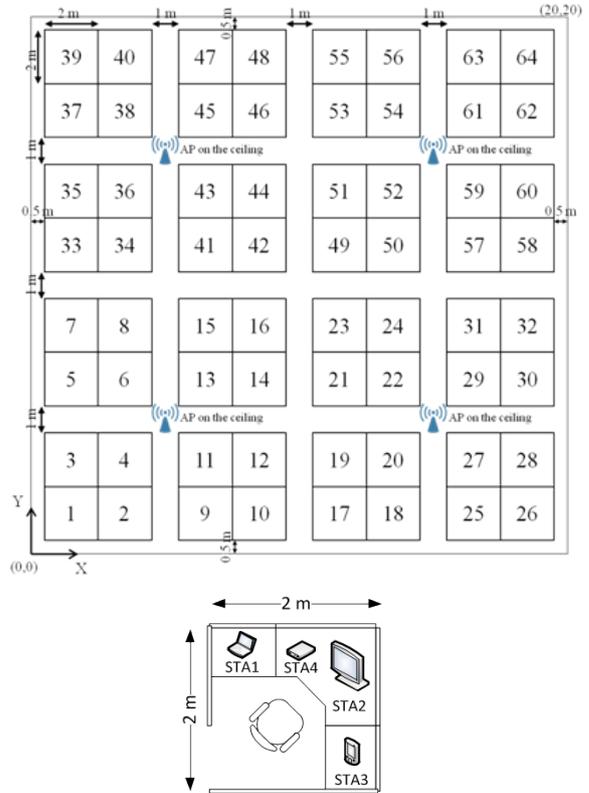
지난 2014년 5월 회의에서 합의된 TGax의 Timeline은 <그림 4>와 같다[10]. Specification Framework Document(SFD)에 대한 논의를 2014년 11월부터 2016년 1월까지 약 1년 2개월 간 진행할 계획이다. 그에 이어서 IEEE 802.11ax Draft 1.0 문서가 2016년 7월에, Draft 2.0 문서가 2017년 5월에 발간되어 최종 IEEE 802.11ax 표준 승인은 2019년 상반기에 진행될 예정이다. 참고로 <그림 4>하부에는 IEEE 802.11ac의 Timeline이 PAR 승인 시점 기준 동일 선상에 도시되어 있다. 802.11ac의 Timeline에 비교하여 TGax의 SFD 논의 시점이 앞당겨져서 Timeline이 TGax의 경우 수 개월 더 짧게 계획되어 있음을 알 수 있다.

### 3. IEEE 802.11ax TG 문서

TGax에서 발간하는 문서로는 Specification과 Specification Framework Document(SFD) 이외에 추가로 작성되는 여러 문서가 있다. 지난 2014년 5월 회의에는 Simulation Scenario 문



(a) Enterprise Scenario의 한 층에 설치된 BSS 위치 도면



(b) 한 BSS 내의 STA 클러스터와 AP 위치 (왼쪽), 클러스터 내의 STA 위치 (오른쪽)

그림 6. Enterprise Scenario 배치도

서와 Evaluation Methodology 문서가 발간되었으며, 2014년 7월 회의에서 Channel Model 문서가 발간되었고, 2014년 9월 회의에서 Functional Requirement 문서가 발간되었다. 각 문서는 현재 최종본이 아니며, 회의 때 마다 참여사의 의견이 반영되어 개정되고 있다. 본 장에서는 Simulation Scenario 문서 내용에 대해 간단히 다루도록 한다.

Simulation Scenario 문서[4]는 TGax 에서 소개되는 기술들의 성능 평가를 위한 시뮬레이션에 사용될 다양한 시나리오들을 소개하고 있다. 현재 이 문서에 소개된 시나리오들은 아래와 같다.

- (1) Residential
- (2) Enterprise

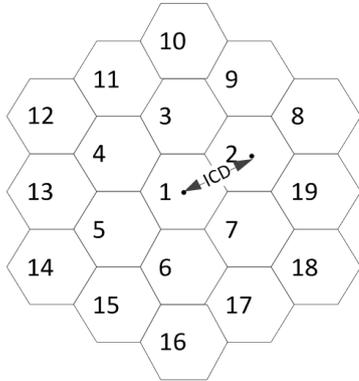


그림 7. Outdoor에 위치한 BSS 배치 개념도

- (3) Indoor Small BSS Hotspot
- (4) Outdoor Large BSS(Basic Service Set) Hotspot
  - (4a) Outdoor Large BSS Hotspot + Residential

본 절에서는 위의 시나리오 중 (1) Residential 시나리오 (2) Enterprise 시나리오 (4) Outdoor Large BSS Hotspot 시나리오를 소개한다[4].

Residential 시나리오는 밀집된 아파트 환경을 모델로 하고 있다. 구체적인 환경은 100가구가 모여 있는 5층 건물이다 <그림 5>. 각 층 당 20가구가 자리잡고 있으며 (각 가구는 가로 10 m, 세로 10 m, 높이 3 m), 한 가구 당 1대의 AP와 10대의 STA가 동작하는 환경이다. 각 가구의 AP들은 다양한 통신사를 사용하여 연결되어 있으며, 이러한 AP들이 통신사에 의하여 제어되지 않는 환경을 고려하고 있다. 채널 모델은 IEEE 802.11ac Channel Model D LOS를 이용한다.

Enterprise 시나리오는 단층에 8개의 사무실이 위치하는 환경을 모델로 하고 있다<그림 6(a)>. 각 사무실에는 4개의 AP가 천장의 정해진 위치에 설치되고, 사무실마다 64개의 개인 공간이 있다. 각각의 개인 공간에는 Laptop, 모니터, 태블릿 또는 스마트폰, 하드 디스크로 구성된 4개의 STA가 놓여 있다고 가정하였다<그림 6(b)>. IEEE 802.11ax를 지원하는 STA는 각 개인 공간당 최대 4대이며, 기존 Legacy 표준형 STA도 공존한다. 채널 모델은 IEEE 802.11ac Channel Model D NLOS를 이용한다.

Outdoor 시나리오는 19개의 육각형 영역으로 구성된 실외 환경을 모델로 하고 있다. 이 때 각 셀간 거리(ICD: Inter-Cell Distance)는 130 m로 정하였다<그림 7>. AP는 육각형 영역의 중심에 위치하며 안테나 높이가 10 m이고, STA는 19개의 셀에 균등하게 배치(Uniform Distribution) 시키며 각 AP로부터의 거리는 최소한 10 m 이상이 되도록 한다. 이 때 STA의 안테나 높이는 1.5 m이다. IEEE 802.11ax를 지원하는 STA는 50개이

며, 기존 Legacy 표준형 STA도 공존한다. 채널 모델은 ITU가 제안한 Urban Microcell(UMi) 모델[5]을 이용하고, 주파수 재사용률은 향후 정의될 예정이다.

### III. IEEE 802.11 TGax 밀집지역 동작 지원 기술

이 장에서는 차세대 Wi-Fi 기술 표준화 그룹인 IEEE 802.11 TGax에서 고려하고 있는 밀집 환경에서 발생할 수 있는 문제에 대해 논의해 보고, 그 문제를 극복하기 위하여 TGax에서 논의되고 있는 기술들에 대하여 간략히 살펴 보도록 한다.

#### 1. Overlapping-BSS (Basic Service Set) 내 충돌 문제

Single BSS(Basic Service Set)은 하나의 AP가 관장하는 STA들과 그 AP가 구성하는 네트워크 구조이다. 한편, OBSS(Overlapping-BSS)는 하나의 AP가 관장하는 하나의 기본 서비스 셀인 BSS가 동일한 대역을 사용하는 다수의 다른 AP가 관장하는 BSS들과 물리적 공간을 공유하는 환경을 지칭한다<그림 8>[12]. 이러한 OBSS 내에서 전송을 하고자 하는 AP 또는 단말은 인접한 다른 BSS에 속한 AP 및 단말들과 동시에 경쟁을 하여 채널을 점유하게 되고, 동시에 경쟁을 하는 단말이 많아질수록 채널 점유 성공률은 낮아지거나 전송 Packet들의 충돌로 인한 전송 실패 확률이 높아지는 등 다양한 문제들이 발생하게 된다.

TGax에서는 밀집 지역의 체감 성능 저하에 대해 OBSS 내 간섭 문제를 주요 요인으로 생각하고 있으며 이런 문제 해결을 위해 AP간 협력, 빔포밍을 통한 간섭 회피, 동적 민감도(Dynamic Sensitivity) 조절 등과 같은 기술들이 논의되고 있다. 본 장에서는 먼저 간단한 네트워크 구조에서 발생할 수 있는 문제들에 대해 살펴보고, 여기에서 확장하여 OBSS에서 발생할 수 있는 다양한 문제들과 이를 해결하기 위해 논의되고 있는 대표적인 방안들에 대해 구체적으로 살펴보도록 하겠다.

#### 2. 기존의 분산환경 다단말 동작 기법

기존 IEEE 802.11 표준을 따르는 Wi-Fi 단말들은 OBSS 환경에서 모든 단말이 공유하는 절대적인 시간에 의해 동작하지 않고 분산 환경에서 동작한다. 따라서, Wi-Fi 단말들은 다중 접속 시 성공적인 자원 공유를 위하여 기본적으로 충돌 회피 채널 센싱을 통한 다중 접속 기법(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance: CSMA/CA)을 사용한다. CSMA/CA의 기본 동작은 단말들이 전송을 시도하기 이전에 매체를 감지하여

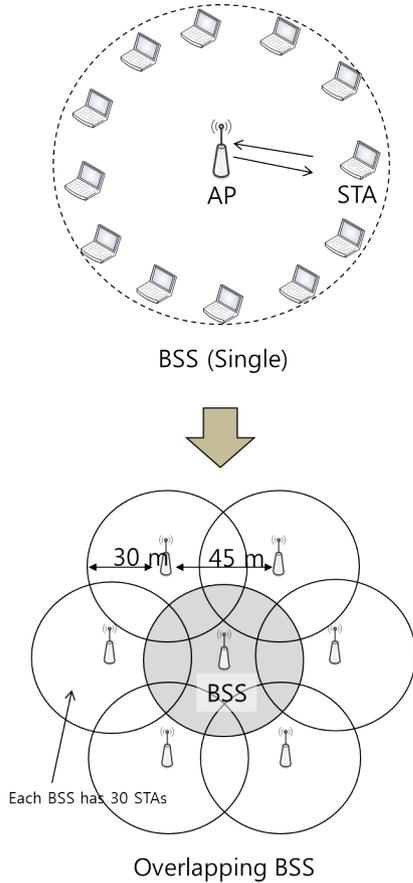


그림 8. Single BSS와 Overlapping BSS의 예

채널 휴지상태를 확인한 후 전송을 시도한다. 이와 같이 전송 이전 감지(Listen-Before-Talk: LBT) 원칙에 기반을 두고 있기 때문에 동시에 두 대 이상의 단말이 단일 채널 자원을 공유하여 주파수 재사용률을 높이는 것에 제약이 있다.

실제 단말 동작 시, 전송을 시도하려는 단말은 매 시간(Slot Time)마다 채널 상황을 살펴보고 채널이 사용 중인지(Busy) 휴지 중인지(Idle) 판단하는 CCA(Clear Channel Assessment)를 수행한다. CCA를 수행하기 위해서는 채널 상황에 대한 판단 방법 및 판단의 기준이 되는 값이 필요하다. IEEE 802.11 표준에서는 채널에 존재하는 에너지를 탐지하는 ED(Energy Detection) 방식 또는 Wi-Fi 신호를 감지하는 CS(Carrier Sense) 방식으로 CCA를 수행한다. Signal Detection 방식을 통해 감지된 채널의 신호 값이 특정 기준 값 CCA Threshold 이상이면 채널이 사용 중으로(Busy), 미만이면 채널이 휴지 중으로(Idle) 판단을 한다. 기존의 표준에서는 OFDM을 사용하는 경우 20 MHz 대역폭의 채널에 대해서는 -82 dBm, 40 MHz 대역폭의 채널에 대해서는 -79 dBm의 값을 기준 CCA Threshold로 삼고, 이를 넘으면 채널이 사용 중인 것으로 판단한다.

다음 절에서는 위와 같이 설정된 CCA Threshold에 의한 CCA 동작과 이에 따라 발생하는 문제들에 대하여 예시를 들어 좀 더 상세히 설명하도록 한다.

### 3. 밀집 환경에서의 기존 IEEE 802.11 표준의 성능 한계

앞에서 설명한 CCA 방식을 TGax에서 고려하는 밀집 환경에 적용할 경우, CCA 기준 값이 획일적으로 정해짐에 따라 은닉 노드 문제(Hidden Node Problem)와 노출 노드 문제(Exposed Node Problem)가 발생하게 되는 한계가 있다. 이 한계를 극복하기 위해 기존 IEEE 802.11 표준은 RTS(Request to Send) 및 CTS(Clear to Send) 프레임 전송을 통하여 은닉 노드를 없애 송신 신호간의 충돌을 줄이고 회피 가능한 전송 실패를 없애는 방법을 기본적인 방안으로 제시하고 있다. 실제 데이터 전송 수행 전에 RTS-CTS Handshake를 수행하면 전송을 원하는 송신단이 수신단에 RTS 프레임을 송신하고, 수신단이 RTS에 대한 응답으로 CTS 프레임을 전송하여 이를 수신한 잠재적 간섭원이 전송 시도를 중단함으로써 은닉 노드를 없앨 수 있다. 하지만, RTS-CTS 전송은 이를 위해 소모되는 채널 자원 낭비가 발생하기 때문에 폭넓게 구현 활용되고 있지 않다.

### 4. IEEE 802.11 TGax 内 기 논의 기술 소개: 동적 민감도 제어 기술(DSC)

전장에서 살펴보았듯이 은닉 노드 문제와 노출 노드 문제의 특성 때문에 단말의 CCA 기준 값을 획일적으로 정하는 방안은 근본적으로 밀집환경에서 발생하는 문제를 해결하기에 어려움이 있다. 이에 대한 대안으로, 현재 IEEE 802.11 TGax 내에서는 구현에 현실적이면서도 Wi-Fi 단말들의 공간 자원 재사용률 및 망 전체 성능을 향상시킬 수 있는 “동적인 민감도 제어(Dynamic Sensitivity Control: DSC)를 통해 효율적인 CCA 기준 값을 설정하는 기술”을 구현하고자 여러 방안들이 논의되고 있다.

TGax에서 다양한 기관들이 제안하고 있는 DSC 및 CCA 제어 기술은 채널의 상황을 판단하는 CCA 기준 값을 각 단말이 시시각각 변화하는 환경에 따라 서로 다르게 갖도록 한다. 단말들이 동시에 전송을 하는 경우에 대해서는 상호 간섭의 영향이 작은 단말들을 선정하고, 그 단말들의 동시 전송이 가능하도록 한다. 이를 통해, 망의 공간 재사용률(Spatial Reuse Ratio)을 향상시키고, 동시에 단말 전송 신호간 충돌 완화를 통하여 망 성능을 향상시켜주고자 하는 것이 DSC 및 CCA 제어 기술의 목표이다. 현재까지 TGax에서 논의된 적응적인 CCA 제어 기술을 분류하면 다음과 같다.

- 1) 단말 별로 고정된 다른 CCA 기준 값을 갖게 하는 방법[13]
- 2) 송신 단말이 속한 BSS에 따라 CCA 기준 값을 정하는 방법

- [14][15][16]
- 3) 단말의 전송 이력(History)에 따라 CCA 기준 값을 변경하는 방법[17]
  - 4) Beacon 수신 신호 세기에 따른 CCA 기준 값 조정 방법 [18][19]
  - 5) 전송 전력 제어와 CCA 제어를 융합한 방법[20]
  - 6) 각 단말이 수용 가능한 CCA 기준 값을 공지하는 방법[11]

## IV. 맺음말

본 고에서는 전송 속도 향상 측면과 주파수 대역 확장 측면에서의 Wi-Fi 표준화 동향을 살펴보았다. 또한, 최근 본격적으로 표준화가 진행되고 있는 차세대 Wi-Fi 표준화 단체인 HEW(High-Efficiency WLAN) Study Group의 활동사항과 IEEE 802.11 TGax 에서 논의되는 주요 기술들을 살펴보았다. IEEE 802.11ax향 Wi-Fi 기술은 STA 및 AP가 밀집된 환경에서의 성능 저하를 극복하고 통신 전송량 수율 향상을 높이는 방향으로 전개되고 있다. IEEE 802.11 TGax 표준은 현재 당사 포함 Wi-Fi 관련 주요사 들이 참가하여 활발히 논의되고 있으며, 앞 장에서 언급한 기술 이외에 Uplink 및 Downlink OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기술, Uplink MU-MIMO (Multi-user Multiple-Input-Multiple-Output) 기술, 실외 통신 성능 향상 기술들이 논의되고 있다. 앞으로 IEEE 802.11ax 신규 표준 제정으로 실질적인 환경에서의 사용자 체감 성능이 향상되어 Wi-Fi의 활용성이 더욱 더 증대될 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] O. Aboul-Magd, "802.11 HEW SG Proposed PAR," IEEE 802.11-14/165r1, Mar. 2014
- [2] O. Aboul-Magd, "IEEE 802.11 HEW SG Proposed CSD 802.11ax CSD," IEEE 802.11-14/169r1, Mar. 2014
- [3] M. Cheong, et al., "Usage models for IEEE 802.11 High Efficiency WLAN study group (HEW SG) - Liaison with WFA," IEEE 802.11-13/657r6, July 2013
- [4] S. Merlin, et al., "TGax Simulation Scenarios," IEEE 802.11-14/0980r6, July 2014
- [5] Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced, ITU-R Report

- M,2135, 2008
- [6] M. Cheong, "Proposed Specification Framework for TGax Spec Framework Document," IEEE 802.11-14/1429r0
- [7] M. Cheong, et al., "Wi-Fi Interference Measurement in Korea (Part I),"IEEE 802.11-13/0556r1 May 2013
- [8] M. Cheong, et al., "Wi-Fi interference measurements in Korea (Part II),"IEEE 802.11-13/0112r1 Mar. 2014
- [9] E. Perahia, et al., "High Efficiency WLAN Overview," IEEE 802.11-14/0214r2, Feb. 2014
- [10] O. Aboul-Magd, "TGax May 2014 Closing Report," IEEE 802.11-14/0702r1, May 2014
- [11] S. Coffey, et al., "A Protocol Framework for Dynamic CCA," IEEE 802.11-14/872r0, July 2014
- [12] M. Park, et al., "MAC Efficiency Analysis for HEW SG," IEEE 802.11-13/0505r0, May 2013
- [13] G. Smith, et al., "Dynamic Sensitivity Control Implementation," IEEE 802.11-14/0635r0, May 2014
- [14] S. Choudhury, et al., "Impact of CCA adaptation on spatial reuse in dense residential scenario," IEEE 802.11-14/861r0, July 2014
- [15] L. Chu, et al., "System level simulations on increased spatial reuse," IEEE 802.11-14/372r2, Mar. 2014
- [16] John Son, et al., "Further Considerations on Enhanced CCA for 11ax," IEEE 802.11-14/847r1, July 2014
- [17] L. Cariou, et al., "Clarifications on outdoor deployments", IEEE 802.11-14/872r0, July 2013
- [18] G. Smith, et al., "Dynamic Sensitivity Control for HEW SG," IEEE 802.11-13/1290r0, Nov. 2013
- [19] G. Smith, et al., "DSC Channel Selection and Legacy Sharing," IEEE 802.11-14/294r0, Mar. 2014
- [20] J. Wang, et al., "Spatial Reuse and Coexistence with Legacy Devices," IEEE 802.11-14/637r0, May 2014

## 약 력



정 병 훈

2005년 한국과학기술원 공학사  
2008년 한국과학기술원 공학석사  
2014년 한국과학기술원 공학박사  
2014년~현재 삼성전자 DMC 연구소 IoT 솔루션팀  
책임 연구원  
관심분야: Wi-Fi 표준화, 무선 통신 시스템 Medium  
Access Control



장 상 현

2000년 서울대학교 전자공학사  
2002년 University of Southern California  
전자공학석사  
2007년 University of Southern California  
전자공학박사  
2007년~2011년 California Institute of  
Technology, Postdoc  
2009년~2011년 University of Southern  
California, Research Associate  
2011년~현재 삼성전자 DMC연구소  
관심분야: mmWave 통신, Wi-Fi 표준화, Ranging



윤 성 록

2002년 KAIST 전자공학사  
2006년 KAIST 정보통신공학석사  
2011년 KAIST 정보통신공학박사  
2011년~현재 삼성전자 DMC연구소  
관심분야: mmWave 통신, 시스템 설계



김 대 현

2005년 아주대학교 전자공학부 학사  
2007년 KAIST 전기 및 전자공학과 석사  
2013년 KAIST 전기 및 전자공학과 박사  
2013년~현재 삼성전자 DMC연구소  
관심분야: IoT 향 신규통신, Wi-Fi 표준화