

## IEEE P802.11bp 앰비언트 IoT 기술 표준화 동향

김진경, 명정호, 고영조  
한국전자통신연구원

{jkkim, jhmyung, koyj}@etri.re.kr

## Standardization Trends of IEEE P802.11bp for Ambient IoT Technology

Kim, Jin Kyeong; Myung Jung Ho; Ko, Young Jo  
Electronics and Telecommunications Research Institute

## 요 약

6G 이동 통신의 지속 가능성을 추구하는 앰비언트 IoT 기술 개발의 방향성을 확인하는 차원에서 IEEE P802.11 TGbp에서 진행하고 있는 앰비언트 IoT 기술 표준화 동향을 IEEE P802.11 TGbp의 규격 프레임워크 문서를 중심으로 AMP 구조, 파형, 코딩/변조, PPDU 설계, 보안, 채널 접근, WPT 설계와 관련된 내용 중심으로 살펴본다.

## I. 서 론

요즘 ITU-R에서 6G 이동 통신 기술에 대해 논의하고 있는 주제 중 하나인 지속 가능한 성장 측면에서 사물인터넷(IoT)의 전력 효율성을 제공하는 저전력 IoT를 위한 앰비언트 IoT 기술은 시의적절하다고 할 수 있다. 앰비언트 IoT는 자체 전원(혹은 배터리) 없이 주변 환경에서 에너지를 수확하여 일련의 동작을 수행하는 초소형, 초저전력 장치로 유지 보수 비용을 획기적으로 절감함으로써 지속 가능성을 가능하게 한다.

본 논문은 6G 이동 통신 기술 관점에서 개발해야 할 앰비언트 IoT의 방향성을 확인하는 차원에서 이미 지난해 2024년 5월 무선랜 표준화 단체인 IEEE P802.11에서 정식 태스크 그룹으로 승격하여 기술 표준화를 한창 진행 중에 있는 TGbp의 규격 프레임워크 문서(IEEE 802.11-24/1613r4)를 중심으로 그 동안 정의한 주요 표준 규격 사양을 살펴보고자 한다[1].

## II. IEEE P802.11 TGbp 소개

IEEE P802.11 TGbp는 서브 1 GHz와 2.4 GHz 대역에서 에너지 수확을 통해 전원을 공급받아 AMP(Ambient Power Communication) 단말의 동작을 실현하는 PHY와 MAC 표준 규격 제정을 목표로 2024년 5월에 태스크 그룹으로 승격된 후, 지난 3월까지 총 8회의 회의를 개최하여 약 35개의 기술 기고 문서가 발표되고 논의되었으며, 현재는 표준 규격의 틀을 제시하고자 TGbp는 지난 1월에 승인된 모션들을 반영한 규격 프레임워크 문서를 승인하였다. 규격 프레임워크 문서에는 AMP 구조, 파형, 코딩/변조, PPDU 설계, 보안, 채널 접근, WPT 설계와 관련된 내용을 담고 있다.

## III. 주요 표준 규격 사양

## 가. AMP 구조

그림 1과 같이 AMP non-AP STA와 유선 네트워크 인프라에 대한 액세스를 제공하는 AMP AP STA를 정의하며, 통상적으로 무선랜에서 이루어지는 연결 절차의 에너지 소비 분석을 통해 이를 배제한 AMP non-AP STA와 AMP AP STA 간의 통신 방식을 새로이 도입하였다. 또한 AMP STA는 동작 방식에 따라 다음의 세 가지 유형으로 정의하였다.

후방 산란 non-AP AMP STA: AMP 다운링크 PPDU만

수신할 수 있고 업링크 후방 산란 전송을 지원 하는 non-AP AMP STA.

- Active Tx non-AP AMP STA: AMP 다운링크 PPDU만 수신할 수 있고 AMP 업링크 PPDU의 액티브 전송을 지원하는 비-AP AMP STA
- AMP 지원(enabled) non-AP STA: AMP 다운링크 PPDU도 수신할 수 있는 non-AP STA(예: non-HT, HT 또는 HE STA)

또한 좀 더 멀리 떨어져 있는 AMP STA이 에너지를 수확하여 통신할 수 있도록 에너지를 공급하는 AMP 에너지라이저를 정의하였다. 이 에너지라이저는 후방 산란 동작을 위해 WPT(Wireless Power Transfer) 파형 및/또는 여기 파형을 전송한다. 또한 AMP 에너지라이저는 IEEE 802.11 non-AMP non-AP STA를 포함하거나 함께 배치 가능하고(추후 결정), 특히 WPT 파형은 1GHz 이하로 전송하고, 후방 산란 동작이 발생하는 대역에 맞춰 여기 파형도 동일한 대역에서 전송하도록 하였다.

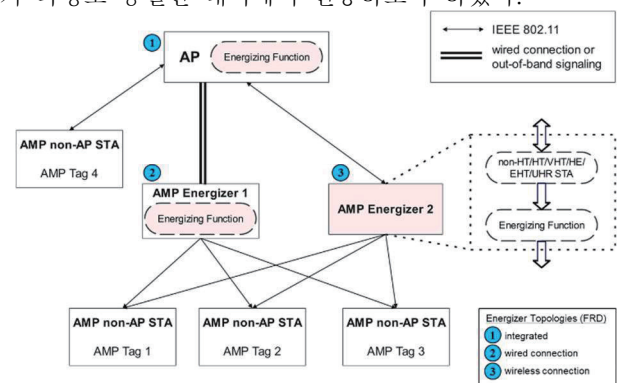


그림 1. AMP 구조

## 나. AMP MAC

초저전력으로 동작하기 위해 대부분의 시간을 슬립 상태에 있는 IoT 장치는 송수신 등의 동작을 수행할 때 슬립 상태에서 벗어나며 이 경우 정확한 클럭을 필요로 한다. 몇 나노와트 수준의 전력을 소모하여 초저전력 IoT 장치에 적합할 뿐 아니라 초저전력 클럭의 구현 가능성까지도 고려하여 AMP 장치의 TSF의 최대 타이밍 오프셋을  $\pm 10^4$  ppm으로 정의하였다.

제한된 에너지 가용성과 최소 또는 영구 메모리가 없고 클럭 드리프트도 존재하는 제약하에서도 앰비언트

IoT 가 동작할 수 있는 간단한 채널 액세스 체계를 도입하여 하나의 AP 가 다수의 802.11bp 클라이언트로부터 AMP 업링크 PPDU 를 전송할 수 있는 메커니즘을 정의하기로 하였으며, 또한 만약 AMP 장치가 TSF 를 지원하는 경우 최대 86%의 절전 이득을 확보하여 전력 소비를 줄일 수 있는 듀티 사이클 방식으로 AMP DL 프레임의 모니터링하도록 하였다. 802.11bp 클라이언트를 위한 보안 통신을 지원하는 메커니즘도 정의하였다.

#### 다. AMP PHY

AMP DL 및 필요한 제어/시그널링을 정의하여 AMP 디바이스가 레거시 무선랜 네트워크에서 작동할 수 있도록 하였다. 또한 11bp 는 2.4GHz 에서 능동 업 링크 통신이 가능한 AMP 전용 장치를 위한 하나 이상의 MAC/PHY 모드를 정의하기로 하였다.

또한 2.4GHz 에서 두 개 이상의 안테나가 있는 WiFi 트랜시버를 고려한 시뮬레이션을 통해 최대 26cm 이내의 태그를 판독 가능함을 확인하고 근거리 단일 정적 후방 산란 통신을 지원하는 하나 이상의 MAC/PHY 모드를 정의하기로 하였다. 높은 PPM(100, 000 ppm) 태그의 경우 6-15cm 범위의 패들티를 확인하고 이를 고려하여 규격을 정의하기로 하였다.

또한 그림 2 와 같이 별도의 에너지 공급 장치가 존재하는 2.4GHz 에서 이중 정적 후방 산란 통신 을 지원하는 하나 이상의 MAC/PHY 모드를 정의하였다. 이 경우 최대 10-15m 범위의 장거리 후방 산란 작업이 가능함을 확인하였다.

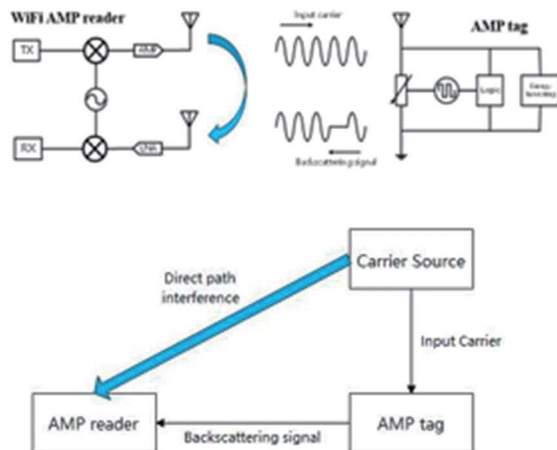


그림 2. 에너지하vester 기반 이중 정적 후방 산란 통신

2.4GHz 에서 최소 802.11 프리앰블 필드, AMP-Sync 필드 및 AMP-Data 필드를 포함하는 AMP 다운링크 PPDU 를 규정하였다. 802.11 프리앰블 필드의 세부 사항은 아직 미정이며, 특히 후방 산란 STA 로의 전송을 위해 하나 이상의 여기 필드를 포함하고 후방 산란 STA 로의 전송에는 하나 이상의 AMP-Data 필드가 존재 가능하도록 정의하였다. AMP-Sync 및 AMP-SIG 필드가 각 AMP-Data 필드 앞에 올 수도 있다.

AMP DL PPDU 의 프리앰블에는 2.4GHz 에서 AMP 지원 non-AP STA 및 액티브 TX non-AP AMP STA 를 위한 L-STF, L-LTF, L-SIG, RL-SIG 및 U-SIG 를 포함하며, 후방 산란 통신을 위해 2.4GHz 에서 AMP DL PPDU 의 (3dB) 대역폭은 최소 10MHz 로 정의하였다.

후방 산란 통신과 비후방 산란 통신을 위해 2.4GHz 의 AMP 다운링크 PPDU 에 적어도 하나의 AMP-Sync 를 두기로 정의하였다. AMP-Sync 는 단일 정적과 이중 정적과는 무관하다. AMP 다운링크 PPDU AMP-동기화 필드와 AMP-데이터 필드는 온-오프 키잉(OOK) 변조를 사용하고 AMP 다운링크 PPDU AMP-Data 필드는 비-

후방 산란 작동을 위해 맨체스터 인코딩을 사용하도록 하였으며 후방 산란의 경우, AMP-Data 필드 인코딩 체계는 아직 미정이다. 2.4GHz 의 AMP 다운링크 PPDU 는 다음의 데이터 전송 속도를 지원해야 하기로 정하였다.

- 1 Mb/s(비후방 산란 STA 에만 해당)
- 250kb/s.

전송을 수행할 때, 액티브 전송을 지원하는 AMP Non-AP STA 의 최대 클럭 오프셋은  $\pm 103$  ppm 이며, 더 많은 SNR 이득을 얻기 위해 높은 대역폭과 달리 낮은 대역폭에서 더 정밀한 주파수 동기화가 필요함을 확인하였다. 11bp 는 반송파 중심 주파수 이동 없는 후방 산란의 모드 하나만을 정의하기로 하였다.

2.4GHz 에서 AMP-Sync 필드와 AMP-Data 필드를 포함하는 능동 전송을 지원하는 AMP STA 용 AMP 업링크 PPDU 를 지정하기로 하였으며, AMP 업링크 PPDU 에 AMP-SIG 필드를 포함할지 여부는 미정이다. AMP 업링크 PPDU 의 대역폭은 20MHz 미만이다.

후방 산란과 능동 전송을 포함하여 2.4GHz 에서 UL 전송의 데이터 부분에 대해 최대 1Mbps 의 전송 속도를 지원할 수 있는 맨체스터 인코딩 사용하기로 결정하였다. 또한 11bp 는 능동 전송을 위한 AMP 업링크 PPDU 에서 AMP-싱크 필드와 AMP-데이터 필드에 대한 온-오프 키잉(OOK) 변조를 사용하기로 정의하였다. 11bp 는 2.4GHz 에서 AMP 업링크 전송에 대해 다음과 같은 데이터 속도를 정의하였다.

- 후방 산란 및 비후방 산란 업링크 전송 모두에 대해 250kbps 및 1Mbps;
- 비후방 산란 업링크 전송만 4Mbps. - 필수 또는 선택 사항 미정

#### 라. AMP WPT

AP 는 STA 의 보고된 에너지 상태를 기반으로 데이터 전송에 대한 정보에 입각한 의사 결정이 가능하여 낭비되는 자원이 감소되고 중요 데이터 스케줄링 최적화 효과를 얻을 수 있음을 확인하고, AMP AP STA 에서 AMP 에너지라이저로 제어 정보를 전송할 수 있는 메커니즘을 정의하기로 하였으나 제어 정보는 아직 미정이다. 또한 IEEE 802.11bp 는 AMP non-AP STA 가 에너지 수확 및 전력 관련 정보를 AMP AP STA 에 보고할 수 있는 메커니즘을 정의하기로 하였고, 보고에 포함되는 파라미터와 이러한 정보를 보고하는 방법은 추후 확정할 예정이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 엠베언트 IoT 표준화를 담당하는 IEEE P802.11 TGbp 에서 정리한 AMP 구조, 파형, 코딩/변조, PPDU 설계, 보안, 채널 접근, WPT 설계와 관련된 내용을 중심으로 살펴보았다. 향후 아직 확정되지 않은 사양에 대한 추가 논의가 계속 진행될 필요가 있으며, 규격의 틀이 완성되어 감에 따라 지속가능한 초저전력 엠베언트 IoT 의 실현이 가능해질 것으로 기대된다.

#### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (NO.RS-2024-00397216, Upper-mid Band Extreme massive MIMO(E-MIMO) 시스템 기술 개발)

#### 참 고 문 헌

- [1] IEEE P802.11 TGbp, Specification Framework for TGbp, IEEE 802.11-24/1613r4, 2025.