

# 사물인터넷 (Internet of Things)

김태운

## 목차

- Non-IP 기반의 WPAN 기술
  - 802.15.4

# Network Layer: Non-IP 기반의 WPAN 기술

## IEEE 802.15.4

## ■ IEEE 802.15.4?

### • IEEE

- Institute of Electrical and Electronics Engineers의 약자로, 전기전자공학자협회를 의미
- 전기전자공학 전문가들로 구성된 국제 조직으로, 전기전자 분야 기술 공유 및 산업 표준을 제정하는 역할을 주로 수행함
- 회원 수는 약 38.5만명(150여개 국가)이며, 전기전자 분야 뿐 아니라, 컴퓨터 및 자연과학계열 분야로 확대됨

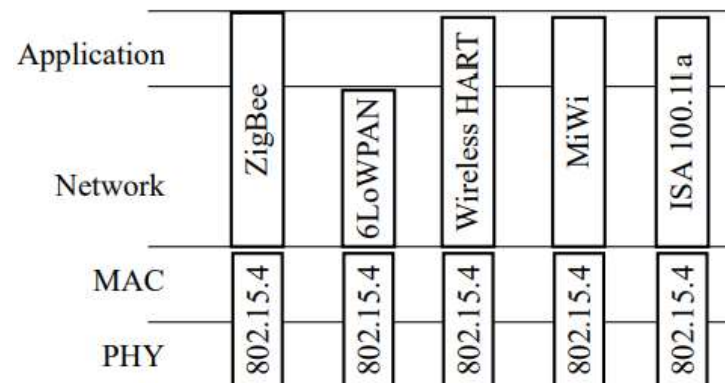
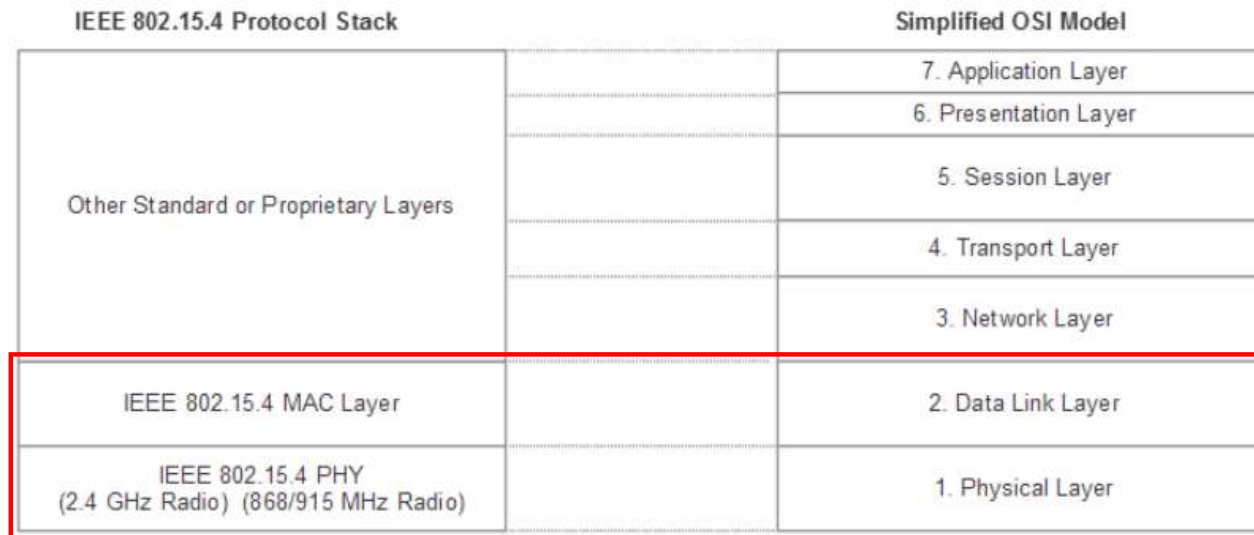
### • IEEE 802.15.4?

- IEEE에서 제정한 표준은 자체 번호 체계에 따라 번호를 할당 받으며, IEEE 802.15.4는 IEEE 802 표준 위원회의 802.15 Working Group (WG) 에서 개발한 기술 표준 중 하나에 해당함
- IEEE 802 표준 위원회
  - LAN/MAN(Local and Metropolitan Area Networks)를 위한 표준 및 권고안을 개발/유지하며, 특히 OSI 참조 모델의 하위 두 계층(PHY/MAC)에 대한 표준 및 권고안(Recommended Practice)를 개발하기 위해 1980년 2월에 설립된 비영리 표준 위원회
  - IEEE 802 에서 다루고 있는 대표적인 표준은 Ethernet, Wireless LAN, **Wireless PAN (WPAN)**, Wireless MAN 등이 있음
  - IEEE 802 조직은 표준 개발 그룹(Standard Development Working Group) 및 스폰서 투표 그룹으로 구성되며, 표준 개발 그룹은 표준 초안을 개발하는 역할을 수행하기 위해 그 아래에 Working Group (WG), Technical Advisory Group(기술 자문 그룹), Study Group(스터디 그룹) 등을 두고 있음
- IEEE 802.15 WPAN Working Group은 Personal Area Network 또는 근거리 무선 네트워크에 대한 PHY/MAC 기술 표준화를 추진 중이며, 10m 이내 기기를 연결하는 PAN, 개인 신체에 부착되거나 수 미터 이내의 기기를 연결하는 Body Area Network, 수 km 이내 기기를 저전력으로 연결하는 Utility Network 등으로 대상을 확장하여 표준 개발을 지속하고 있음

# IEEE 802.15.4

## ■ IEEE 802.15.4

- IEEE 802.15 WPAN Working Group은 Personal Area Network 또는 근거리 무선 네트워크에 대한 PHY/MAC 기술 표준화를 정의하며, 상위 계층은 통신/네트워크 기술별로 특화된 기능을 사용함



# IEEE 802.15.4

## ■ IEEE 802.15.4

- 저속 무선 개인용 네트워크를 의미하는 Low Rate - WPAN (LR-WPAN)으로도 불리우며, 낮은 전송속도, 낮은 가격, 저전력 응용 분야에서 무선으로 연결되는 간단한 구조의 통신 네트워크 기술 개발을 목표로 함
- ZigBee, 6LoWPAN, Wireless HART, MiWi 등 사물인터넷을 위한 다수의 통신/네트워크 프로토콜의 기반이 됨. 응용 분야는 홈 네트워크, 원격 제어(산업용 원격 제어), 자동 센서, 가전기기 제어, 빌딩 제어 등
- 기술적 특징
  - 다중 접속: CSMA/CA
  - 기기 연결: 최대 255개
  - 전송 거리: ~10미터
  - 통신 속도: 20~250 kbps
  - 전력 소모: 초 저 전력형
  - 네트워크 구조: Star, mesh, cluster, peer-to-peer 토폴로지 등
  - 동작 주파수 대역: 저 주파수 대역(868MHz, 915MHz) 및 고 주파수 대역(2.4GHz 비 면허 ISM 대역)

Channel number(s)	채널 설명 (802.15.4-2003 기준)
0	Channel 0 is in 868 MHz band using BPSK
1 - 10	Channels 1 to 10 are in 915 MHz band using BPSK
11 - 26	Channels 11 to 26 are in 2.4 GHz band using O-QPSK
27 - 31	Reserved

## ▪ Multiple Access 및 Collision

- 통신 주파수 대역은 제한적이며 다수의 단말이 동일한 주파수 대역을 공유해서 사용함(Multiple Access)
- 다수의 인접한 단말이 동시에 데이터 전송을 시도하면 충돌(Collision) 문제가 발생하며 충돌된 데이터는 전송 실패로 간주함
- MAC 계층은 충돌을 최소화 하기 위해 전송 매체(= 주파수)를 사용하는 방법을 정의하고 있으며, 802.15.4에서는 CSMA/CA 기반의 매체 접근 기법을 사용함

## ▪ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)

- 전송 신호(반송파)를 감지하는 방식으로 동작하는 다중 접속 기법으로, 충돌 회피 기법을 사용함

Carrier Sense

Multiple Access

Collision Avoidance

- CS : 공유 전송 매체에 전송중인 데이터가 있는지 여부를 탐지함
- MA : 다수의 단말이 동일한 전송 매체(주파수 대역)을 공유해서 사용함
- CA : 무선 통신 인터페이스는 송수신을 동시에 수행 할 수 없고, 따라서 데이터를 전송하는 중에는 충돌이 발생했는지 여부를 확인할 수 없음. 따라서, 최대한 충돌을 회피할 수 있는 방식을 동작함(즉, 충돌이 발생 할 수 있음)
- **동작 방식**
  - 통신 채널이 IDLE 한 상태가 될 때까지(즉, 아무런 통신 신호가 감지 되지 않을 때 까지) 채널을 sensing (= listen)
  - (채널이 IDLE 한 것을 감지한 후) 추가로 임의의 시간 동안 대기(back-off)함. 그리고 나서도 여전히 채널이 IDLE 한 것으로 센싱 되었다면 데이터 전송을 시작. 만약 채널 상태가 BUSY 하다면 (즉, 다른 통신 단말이 데이터를 송신 중인 것을 감지함) 랜덤 한 시간 동안 기다린 후 다시 통신 채널을 센싱하여 IDLE 여부를 확인

## ■ 통신 단말의 종류에 따른 구분

- FFD(Full function device)
  - 모든 토폴로지에서 사용할 수 있고, 일반 통신 단말 및 Network Coordinator 역할을 수행할 수 있음
  - 연결된 모든 단말과 통신 할 수 있음
- RFD(Reduced function device)
  - Star topology에만 연결될 수 있고, Network Coordinator 역할을 수행할 수 없음
  - Network Coordinator와 통신할 수 있고, 그 외의 단말과는 통신 불가
  - 매우 단순하게 구현되고 기능이 제한적인 단말에 해당함(예: light switch, passive infrared sensor 등 간헐적으로 소량의 데이터를 전송할 목적으로 개발된 저 성능 단말)

## ■ 통신 단말의 역할에 따른 구분

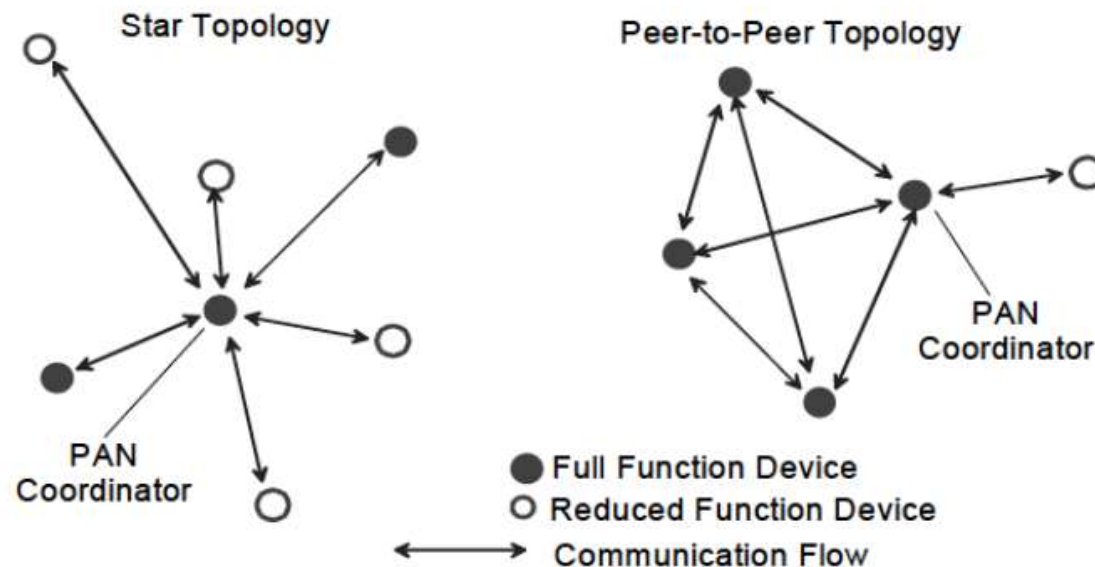
- Device: 일반 단말(RFD 및 FFD)
- Coordinator
  - 일반적으로, 하나의 PAN을 최초로 개시/형성한 FFD가 coordinator 역할을 수행 함
  - FFD 단말은 coordinator가 될 수 있고, coordinator는 PAN 네트워크를 형성하고 관리할 수 있음 (RFD 단말은 coordinator가 될 수 없고, terminal/leaf node 역할만 수행 할 수 있음)
  - Coordinator는 데이터 릴레이 또는 라우팅 기능을 수행할 수 있음
  - Star 토폴로지에서 모든 단말은 coordinator와 통신하며, Peer-to-peer 토폴로지에서는 FFD 단말간 직접 통신이 가능



# IEEE 802.15.4

## Wireless PAN 네트워크 토폴로지

- 하나의 PAN은 반드시 1개 이상의 FFD 및 1개의 Coordinator로 구성되어야 함
- 네트워크에 참여하는 모든 단말은 고유한 64-bit 주소를 가짐
  - 단, 데이터 전송량 감소를 위해 Coordinator에 의해 short address가 할당될 수 있음
- 각 PAN은 고유한 ID 값을 가짐(이를 통해 서로 다른 PAN간 addressing 이 가능)
- 토폴로지는 크게, star 토폴로지 및 P2P 토폴로지로 구분할 수 있음



### <Star Topology>

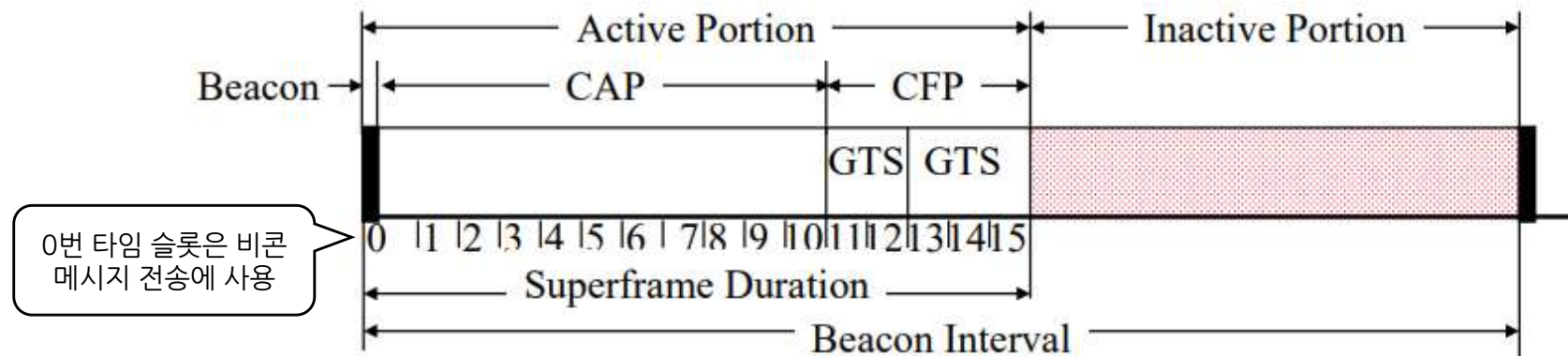
- FFD만이 coordinator 역할을 담당할 수 있음
- 모든 Device는 coordinator 과 통신함 (직접 통신 불가)
- Coordinator 단말은 지속적으로 데이터를 송수신 하므로, 안정적인 전원이 공급되는 FFD 단말을 coordinator로 지정하는 것이 일반적임

### <P2P Topology>

- FFD만이 peer-to-peer 네트워크를 구성할 수 있음
- P2P 네트워크에서는 FFD 단말간 직접 통신이 가능함

## ■ 통신 방식

- IEEE 802.15.4는 비콘 메시지 유무에 따라 두 종류의 통신 방식을 정의함: beacon-based 및 beacon-less
- Beacon-based Operation
  - Coordinator 는 일정 시간 간격으로 비콘 메시지를 방송함
    - 비콘 메시지가 발생하면 Superframe Duration이 시작된다는 이벤트를 모든 소속 단말이 인지할 수 있음(시간 동기화)
    - 단말은 비콘 메시지를 기반으로 데이터 송수신, PAN 네트워크 합류 등을 수행할 수 있음
    - 추가적으로, 비콘 메시지는 저전력 모드로 전환하기 위한 타이밍 정보를 제공함 (inactive portion 동안...)
  - Beacon interval 중 일부는 inactive portion으로 할당되고, 이 때는 모든 단말이 sleep 모드로 전환하여 전력 소모를 최소화 함(저전력 모드)
  - Superframe Duration 중 active portion 은 16개의 동등한 길이의 타임 슬롯으로 구성됨
  - CFP(Contention Free Period) 내의 GTS(Guaranteed timed slots): coordinator는 소속 단말에게 전용 타임슬롯을 할당해 줄 수 있고, GTS 기간에는 다른 단말과 경쟁하지 않고 채널을 단독으로 사용. 실시간성을 확보해야 하는 서비스 등에서 주로 사용(주기적으로 타임슬롯을 할당하는 방식으로 운영). 모든 GTS 의 총합으로 CFP 길이가 정해짐
  - CAP(Contention Access Period): Slotted CSMA/CA channel access 기법을 사용하여, 경쟁 기반의 채널 획득 및 데이터 전송을 수행



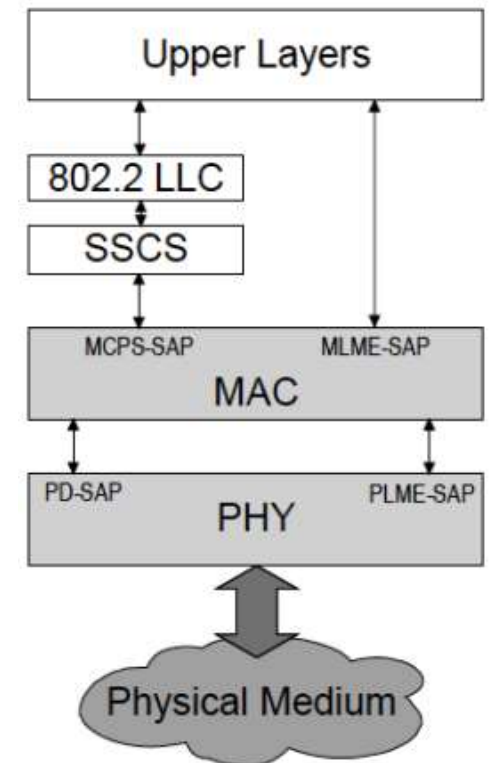
## ■ 통신 방식

- IEEE 802.15.4에는 두 종류의 통신 방식이 정의되어 있음: beacon-based 및 beacon-less
- Beacon-less Operation: Unslotted CSMA/CA
  - 통신 단말은 CSMA/CA 기법에 따라(즉, Coordinator의 스케줄링 없이) 독립적으로 채널에 접근하고 데이터를 전송함
  - 참고: Slotted vs unslotted

Slotted	<ul style="list-style-type: none"><li>• Coordinator 가 Beacon 메시지를 방송하면, PAN에 소속된 단말은 이를 기반으로 시간을 동기화 할 수 있음.</li><li>• 시간은 고정 길이를 가지는 time slot의 연속으로 구성되어 있다고 간주함</li><li>• CFP 기간: 슬롯을 배정받은 단말은 슬롯의 시간 동안 단독으로, 경쟁 없이 데이터를 송수신 함</li><li>• CAP 기간: 단말은 슬롯의 시작 시점에 채널 접근을 시도하며 경쟁적으로 채널을 획득함</li></ul>
Unslotted	<ul style="list-style-type: none"><li>• Coordinator 가 전송하는 Beacon 메시지가 없으므로 (모든 단말이 공통으로 인지하고 있는) 슬롯이 존재하지 않음</li><li>• 각 단말은 슬롯을 고려하지 않고, 언제든지 채널 접근을 경쟁적으로 시도함</li></ul>

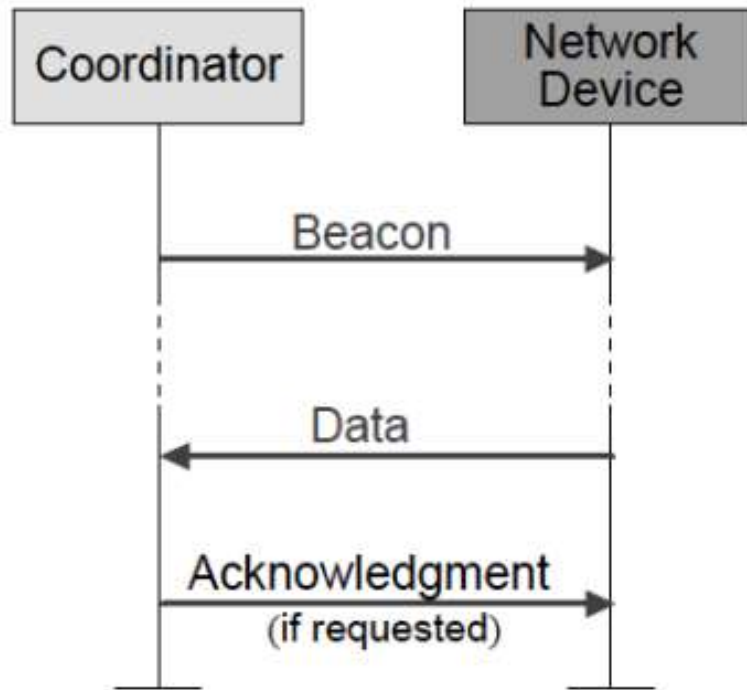
## ■ MAC(매체 접근 제어) 구조 설계

- MAC 계층은 두 개의 서비스(MAC data service 및 MAC management service)를 제공하며, 주요 역할은
  - 비콘 메시지 관리
  - 채널 접근 제어
  - GTS 관리
  - 데이터 및 ACK 송수신
  - 단말이 PAN 에 합류(association) 하거나 탈퇴(disassociation) 하는 과정 관리 등
- MAC data service 는 데이터 송수신을 제어하기 위해 MCPS-SAP 와의 상호작용을 수행
  - MCPS-SAP: MAC Common layer Sublayer data - Service Access Point
- MAC management service 는 관리 기능 실행을 위해 MLME-SAP 와의 상호작용을 수행
  - MLME-SAP: MAC sub-Layer Management Entity - Service Access Point)



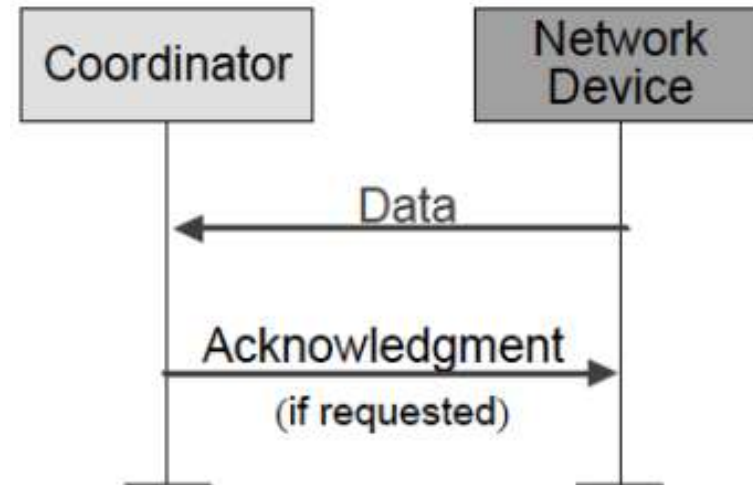
- 데이터 전송 절차: 단말 → Coordinator

〈비콘 기반의 PAN〉



데이터 전송을 희망하는 단말은 Coordinator로 부터의 비콘 메시지를 기다림. 비콘 메시지를 수신 후, CFP 또는 CAP 동안 데이터 전송을 수행함

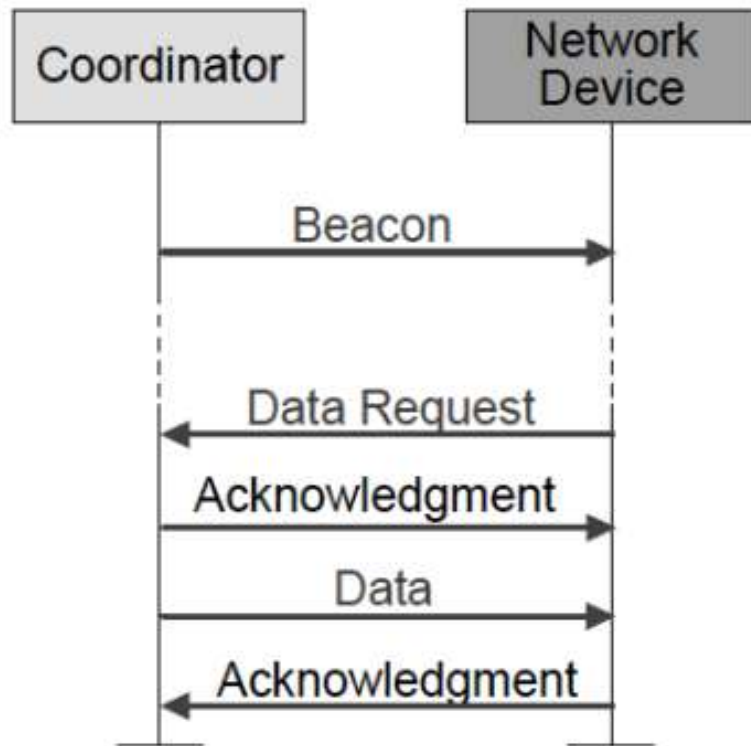
〈비콘 없는 PAN〉



데이터 전송을 희망하는 단말은 언제든지 CSMA/CA 기법으로 채널을 접근하고 데이터를 전송함

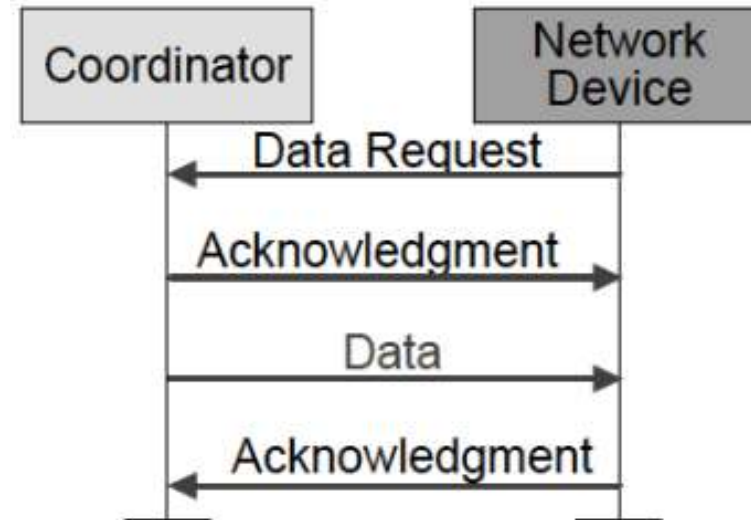
- 데이터 전송 절차: 단말 ← Coordinator

〈비콘 기반의 PAN〉



Coordinator 가 단말로 데이터 전송을 희망하는 경우, 이를 비콘 메시지에 기록하여 비콘을 방송함. 해당 메시지를 수신한 단말은 채널 접근 권한을 얻은 후, Coordinator 에게 데이터 송신을 요청함

〈비콘 없는 PAN〉



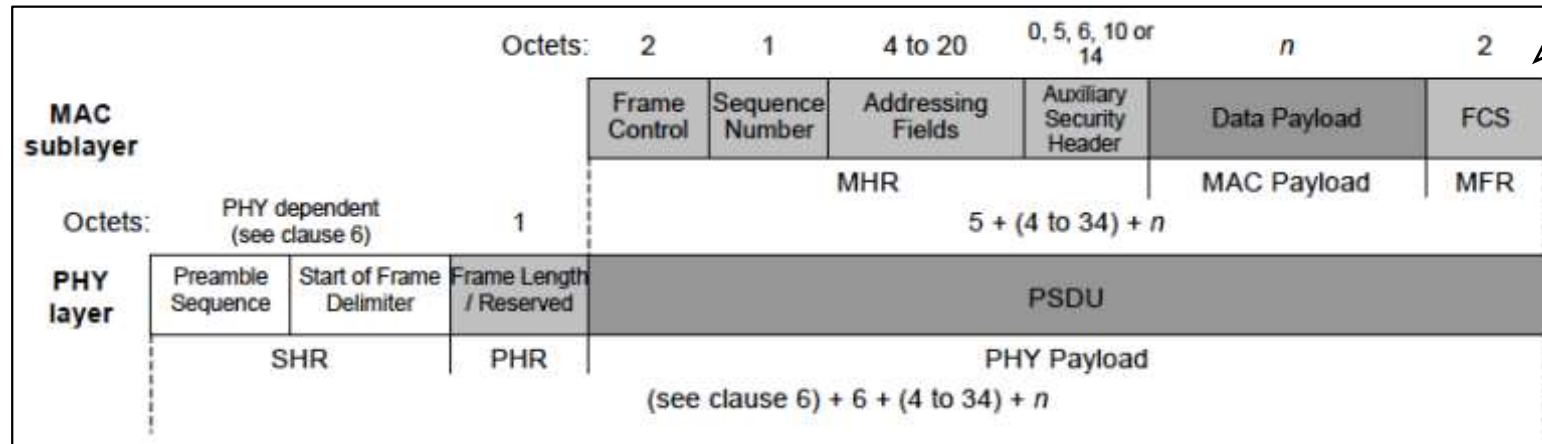
단말은 주기적으로 Coordinator 에게 데이터 송신을 요청하고, 단말에게 전송할 데이터가 있는 경우, Coordinator는 단말에게 데이터를 전송함

# IEEE 802.15.4

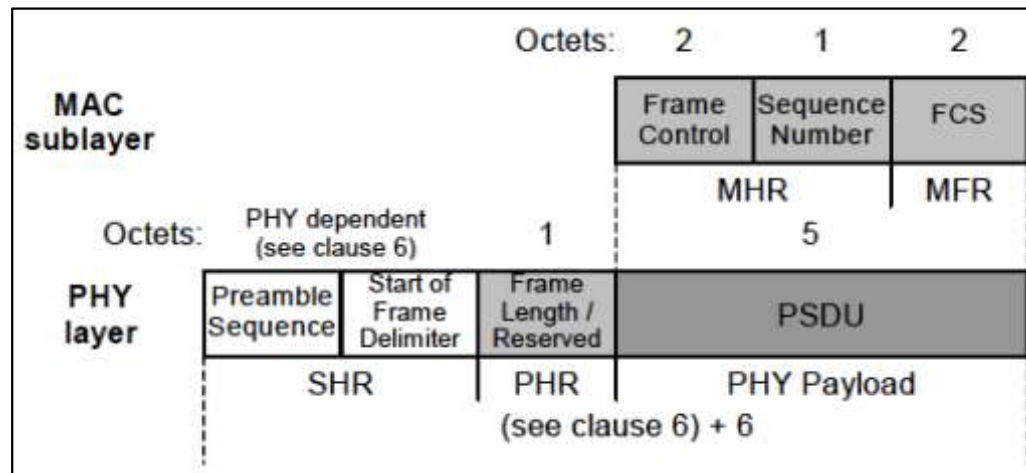
## Frame 구조

- Frame은 데이터 전송의 기본 단위임 (즉, Frame 단위로 데이터 송신함)
- Data frame (데이터 전송에 사용)

FCS (Frame Check Sequence) : 프레임 오류를 검출하기 위한 코드



- Ack frame (수신 데이터에 대한 긍정 응답으로 사용)



그 외 데이터 프레임

- Beacon frame : Superframe 의 시작 및 PAN 내부 단말간 시간 동기화에 사용하며, PAN Coordinator 가 방송함
- MAC command frame : MAC 계층 관리용 (associate, dis-associate, beacon request, GTS request 등)

### ▪ 데이터 전송 성공률 개선을 위한 기능

- CSMA/CA : 비콘이 없는 동작 모드에서는 unslotted CSMA/CA를, 비콘이 있는 동작 모드의 CAP 기간에는 slotted CSMA/CA 기법을 사용하여 채널에 접근하며, 이를 통해 충돌 현상을 최소화함
- Frame ACK : Positive ACK 또는 timer 기반으로 동작하여 전송 실패에 대응함
- Data verification : 수신 데이터에 오류가 없다는 것을 검증하기 위해 CRC 기반의 오류 검출 기법을 사용함 (오류 발생 시, 재전송을 요청함)



### ■ PAN 네트워크 시작 순서

1. FFD 단말이 구동됨 (MAC/PHY 계층의 기능 동작이 시작됨)
2. FFD 단말이 PAN 네트워크를 생성하고 Coordinator 가 됨
3. Coordinator 는 고유한 PAN ID 를 생성
  - 주변 네트워크의 메시지를 모니터링 하여, 중첩되지 않는 ID 값을 선택)
4. PAN 네트워크에서 사용할 주파수를 선택
  - 센싱 가능한 모든 채널을 대상으로 energy detection scan을 수행하고, 센싱되는 에너지/신호세기가 최소인 채널 선택
5. PAN 네트워크를 시작하고, FFD 단말은 coordinator mode 로 전환함
  - 이 시점부터 다른 단말의 association request 를 수신하고 처리할 수 있음
6. FFD/RFD 단말은 active 또는 passive channel scan 을 통해 PAN 네트워크를 감지하고, 네트워크 합류를 위해 Coordinator 에게 association request 를 전송함
  - Active channel scan : beacon request 메시지를 발송하여 coordinator 로 부터 beacon 메시지 전송을 요청함
  - Passive channel scan : coordinator 가 전송하는 beacon 메시지를 기다림
7. Coordinator 는 자체 접속 제어 규칙, 가용 자원 량 등을 고려하여 association 을 허용할지를 결정
  - 해당 단말에게 16-bit short address 를 부여할 수 있음

감사합니다.

