



인하공업전문대학  
INHA TECHNICAL COLLEGE

# 사물인터넷 8주차

인하공업전문대학 컴퓨터 정보과  
김한결

- **WSN**

- WSN 특징
- 6LoWPAN

- **Wi-Fi**

- MAC service set, MAC data frame
- CSMA/CA 동작 방식

- **ZigBee**

- ZigBee 물리 계층
- MAC 계층 슈퍼프레임
- 분산 주소 할당 기법의 이해 및 응용 연습
  - $C_{\text{skip}}(d)$
- 지그비 라우팅 기법 (트리, 메쉬)

## WSN (Wireless Sensor Network) 개념도

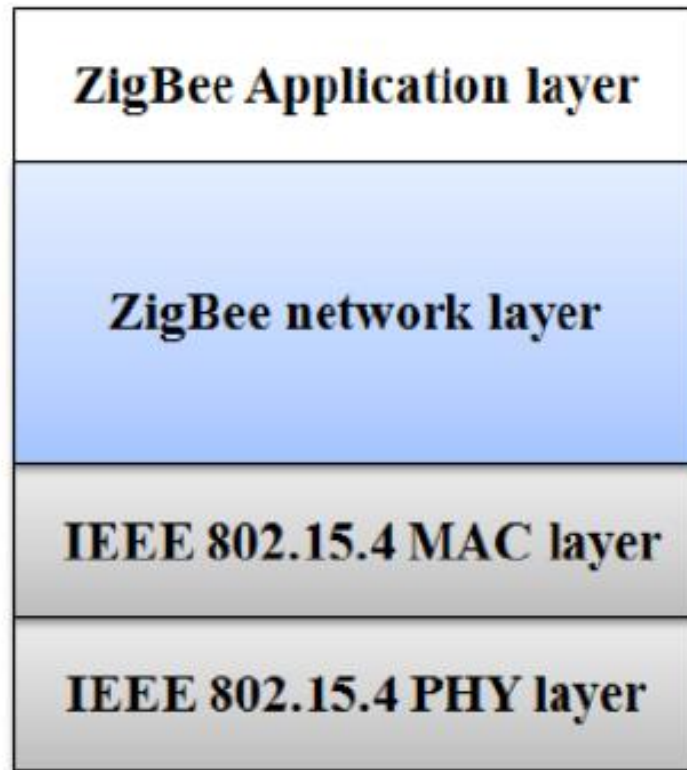


### ◆ 주요 특징

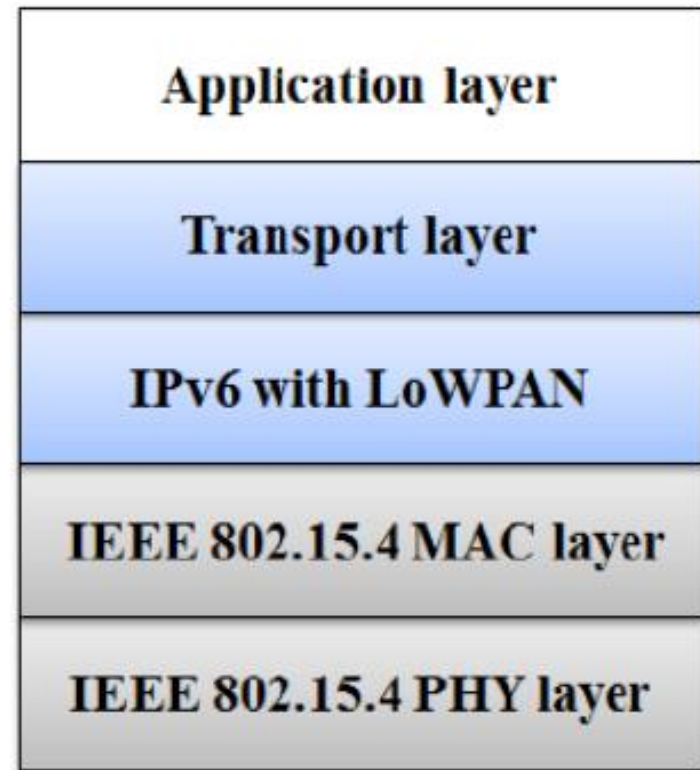
- **Ad-hoc 네트워크**: 중앙 통제 없이 노드 간 자율적 연결
- **멀티홉 통신**: 직접 연결되지 않아도 중간 노드들이 중계
- **에너지 효율성**: 배터리 수명이 중요 → 저전력 설계 필요
- **자체 구성(Self-organizing)**: 노드 추가/고장 시 자동으로 경로 재구성

## WSN 구성

구분	싱크 노드 (Sink Node)	게이트웨이 (Gateway)
위치	WSN 내부 끝단	WSN 외부와 인터넷 사이
역할	센서 데이터 수집	네트워크 간 데이터 변환·전송
프로토콜	Zigbee, 6LoWPAN 등	Wi-Fi, Ethernet, MQTT, HTTP 등
예시	Zigbee Coordinator	Raspberry Pi, IoT Hub
연결 대상	센서 노드들	싱크 노드 ↔ 서버/클라우드



**ZigBee**



**6LoWPAN**

출처 - [https://www.researchgate.net/figure/ZigBee-6LoWPAN-protocol-stacks-6\\_fig1\\_268202840](https://www.researchgate.net/figure/ZigBee-6LoWPAN-protocol-stacks-6_fig1_268202840)

## • Wi-Fi IEEE 표준에 따른 비교

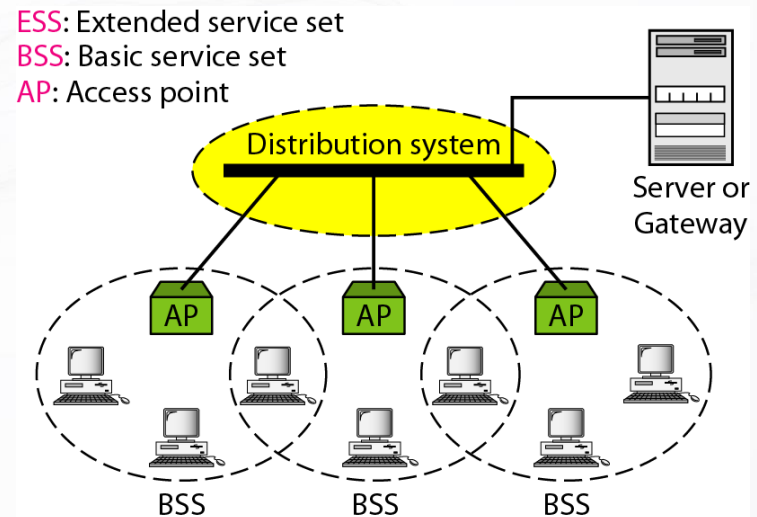
IEEE 표준	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n
주파수 대역 (Frequency)	2400-2483.5Hz	5150-5250 MHz 5250-5350 MHz 5725-5825 MHz	2400-2483.5 MHz	2.4GHz & 5 GHz
MAC	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA
전송 방식	DSSS	OFDM	OFDM	OFDM/OFDMA With MIMO
변조 방식 (Modulation)	BPSK, QPSK, CCK	BPSK, QPSK, 16 - 64 QAM	CCK, QAM	Same
도달거리	~100m	~50m	~100m	~100m (g) ~50m (a)

IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)는 전기, 전자공학, 컴퓨터 공학, 정보 기술 등 다양한 공학 분야에서 세계 최대의 전문가 단체입니다. IEEE는 기술 혁신을 촉진하고, 표준을 개발하며, 회원들에게 전문 교육, 네트워킹, 연구 발표 기회를 제공합니다.

- Wi-Fi 구성
  - IEEE 802.11 Working Group에서 표준화 작업
  - AP (Access Point)와 station (STA)으로 구성
    - AP: 유무선 공유기
    - STA: 노트북, 스마트폰 등

- **Wi-Fi Service Set**

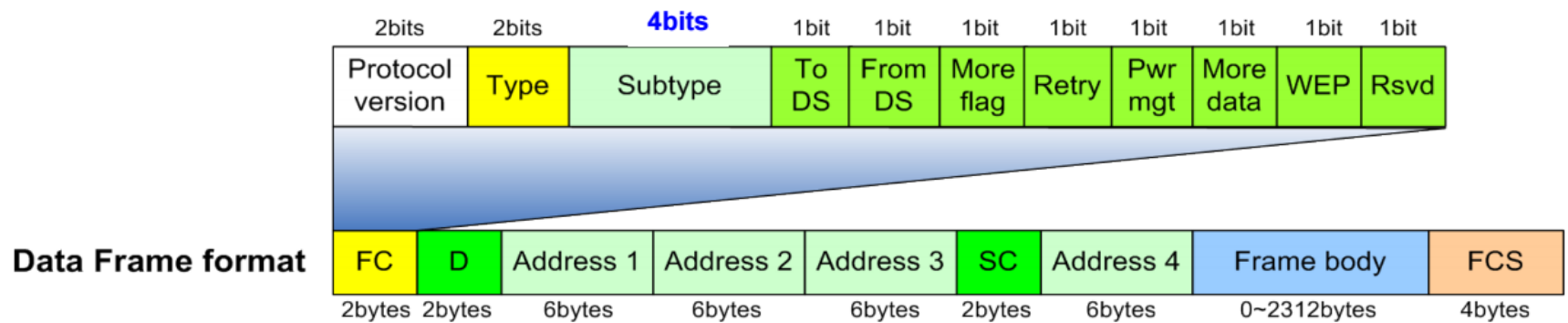
- BSS(Basic Service Set)
  - AP가 없으면 ad hoc 모드
  - AP가 있으면 infrastructure 모드
- ESS(Extended Service Set)
  - 두 개 이상의 BSS들이 모여서 구성



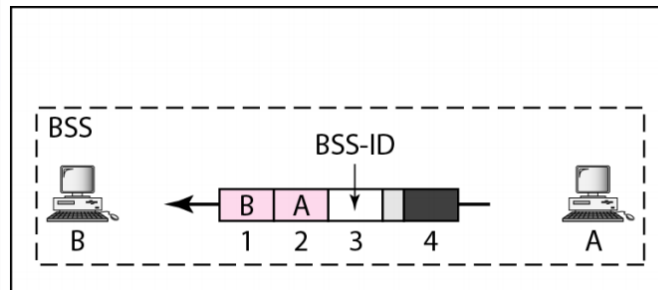


- MAC 방식
  - PCF(Point coordination function)
    - Option
    - 중앙집중식 Polling 방식 사용
  - DCF(Distributed coordination function)
    - CSMA/CA 사용. Station에서 사용

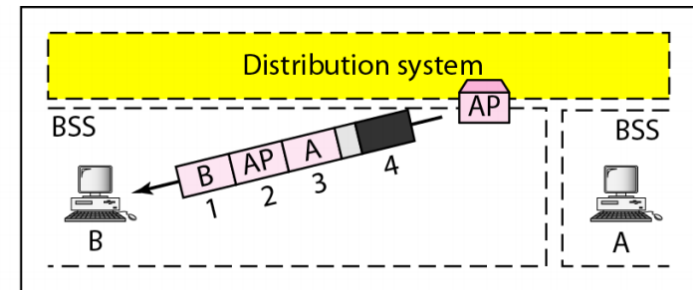
- MAC Data Frame



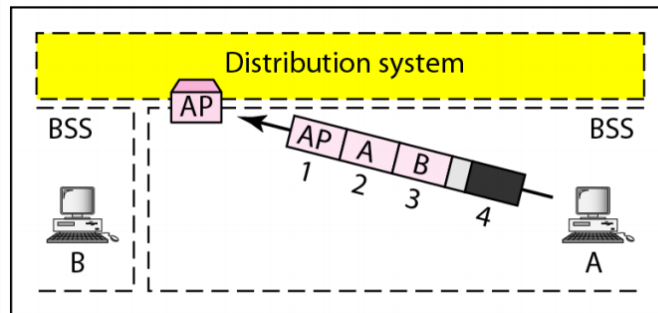
## 주소 체계



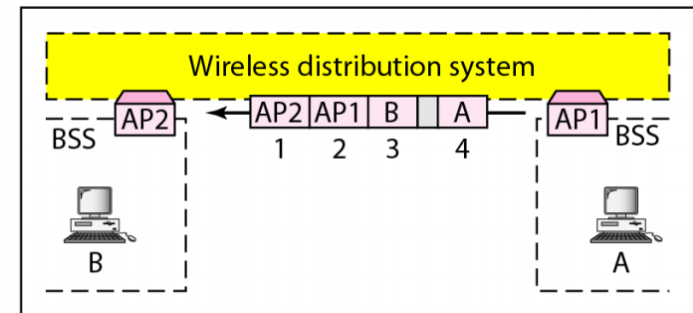
a. Case 1 BSS 내 통신 : ToDS=0, FromDS=0



b. Case 2 유선에서 무선 BSS : ToDS=0, FromDS=1



c. Case 3 무선 BSS에서 유선 LAN : ToDS=1, FromDS=0

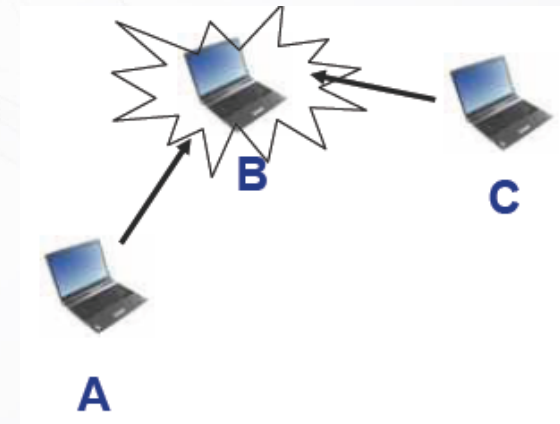


d. Case 4 무선 BSS에서 무선 BSS : ToDS=1, FromDS=1

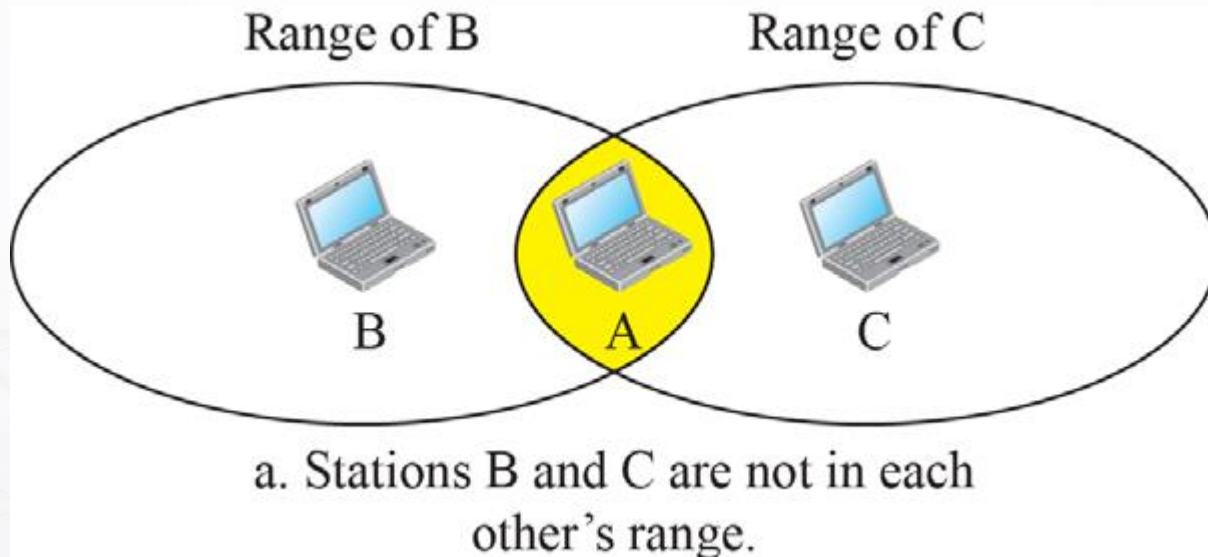
To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	Destination	Source	BSS ID	N/A
0	1	Destination	Sending AP	Source	N/A
1	0	Receiving AP	Source	Destination	N/A
1	1	Receiving AP	Sending AP	Destination	Source

- CSMA-CA (Wireless) , IEEE 802.11
  - Carrier sense Multiple Access with Collision Avoidance
  - CS (Carrier Sense) : 네트워크가 현재 사용 중인지 알아냄
  - MA (Multiple Access) : 네트워크가 비어있으면 누구든 사용 가능
  - CA (Collision Avoidance) : 충돌 회피 (RTS/CTS)
- 참고 : CSMA-CD (Ethernet) , IEEE 802.3
  - Carrier sense Multiple Access with Collision Avoidance
  - CS (Carrier Sense) : 네트워크가 현재 사용 중인지 알아냄
  - MA (Multiple Access) : 네트워크가 비어있으면 누구든 사용 가능
  - CD (Collision Detection) : 충돌 감지

- 충돌 (컬리전, Collision)
  - 두 개 이상의 노드가 같은 시간대에 같은 노드에게 패킷을 전송
  - 수신 측은 데이터를 제대로 읽을 수 없게 됨
  - 충돌을 방지하고자, 채널이 사용되지 않는 것 같아도 랜덤한 시간 동안 백오프함 (기다림)
  - RTS, CTS 를 사용하면, 충돌이 발생할 확률이 줄어듦

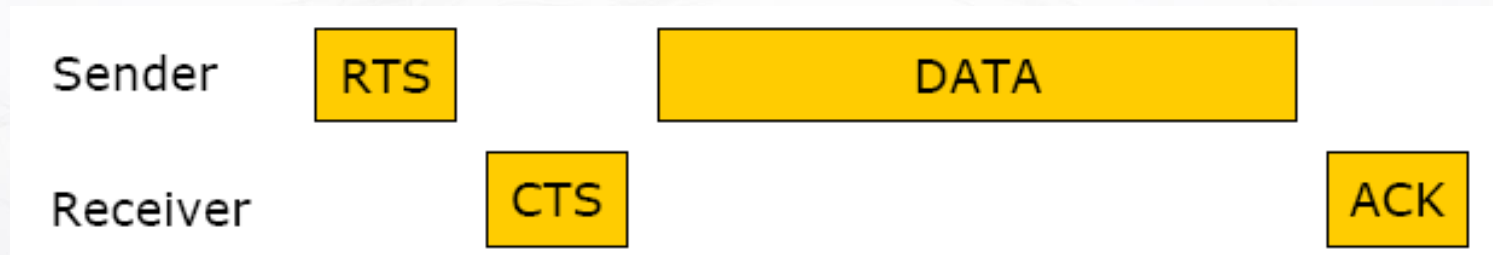
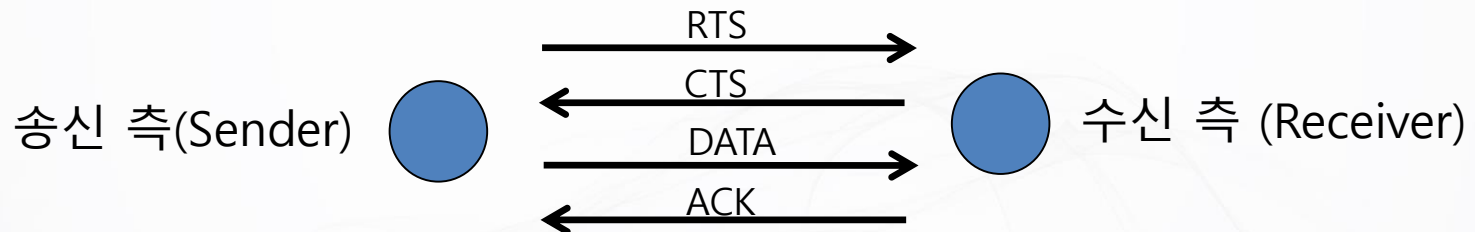


- Hidden Terminal Problem (숨겨진 노드 문제)
  - 중간 터미널(A)는 양쪽 터미널(B,C)와 통신이 가능
  - 양쪽 터미널(B,C)는 서로의 통신을 감지하지 못함
    - 신호 전송 범위가 달라서 서로의 존재를 알 수가 없음
    - 즉, Carrier Sensing이 힘들 ← RTS, CTS 를 사용하는 이유



- 일반적인 CSMA-CA 동작 방식 (무선 랜 등에서 사용)  
**경합 방식**: 채널을 사용하고자 하는 기기들끼리 경쟁
  1. 기기 A는 다른 기기가 데이터를 송신중인지 감지
  2. 만약 송신 중이면 채널이 비워질 때까지 대기한다.
  3. 채널이 비워지면, DIFS시간만큼 기다린 후 랜덤 한 백오프 시간을 설정
  4. 백오프 타이머를 감소시키며 채널을 계속 감시  
(다른기기가 송신을 시작, 백오프타이머 일시정지, 채널이 다시 비워질 때까지 기다림.)
  5. 데이터 전송을 시작한다.
    - 단계 1: 송신 단->수신 단: RTS(Request To Send)
    - 단계 2: 수신 단->송신 단: CTS(Clear To Send)
    - 단계 3: 송신 단->수신 단: Data 전송
    - 단계 4: 수신 단->송신 단: ACK(ACKnowledgement)

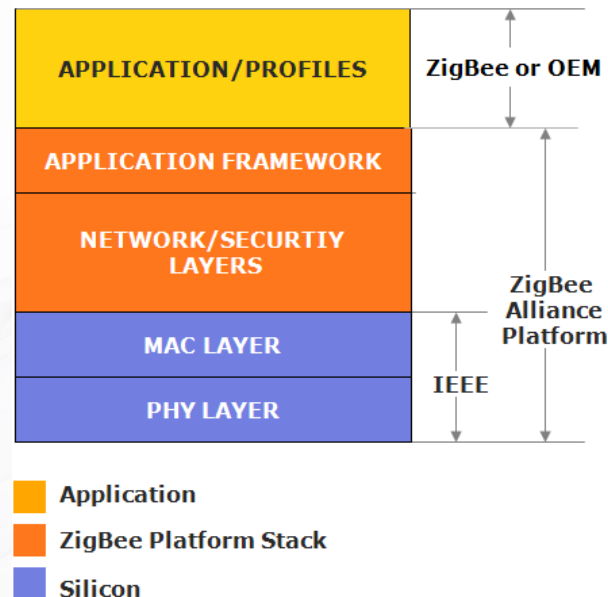
- RTS-CTS-DATA-ACK 방식 (일반적 CSMA-CA)
  - 송신 측에서 RTS 전송 후, 수신 측에서 CTS 전송
  - 송신 측에서 CTS를 전송 받지 못하면, 일정 시간 대기 후, RTS를 다시 전송





- CSMA-CD (Collision Detection)
  - 이더넷 (Ethernet)에 쓰이는 채널 접근 방식
  - 송신 중 충돌이 감지(detection)되면, 전송을 중지하고 랜덤한 시간 동안 기다리고 (백오프), 다시 전송 시도
  - 유선에서는 구현이 쉬우나, 무선에서는 어려움
    - Why? : 유선에서는 송신 중에, 수신기를 켜 둘 수 있으나, 무선에서는 송신 중, 수신기를 켜두기 어렵다.
- CSMA-CA의 CSMA-CD와 비교한 장단점
  - 장점: 저 가격으로 구현
  - 단점: 데이터 전송이 많이 지연될 수 있음
    - (전송 빈도가 높아지면, 충돌 방지 신호의 전송 속도가 느려짐)

- 스택
  - 프로토콜, 소프트웨어 관한 집합체라 볼 수 있음
- 지그비 스택
  - 지그비에서 정의한 프로토콜 들의 구현



- 물리 (PHY) 계층
  - DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
- 매체 접근제어 (MAC) 계층
  - 다수의 기기들이 전송할 때 서로 충돌을 회피
- 네트워크 (NWK) 계층
  - 다수의 노드들이 네트워크를 형성
- 응용지원 (APS, Application Support Sub-Layer) 계층
  - 응용 (Application)이 네트워크를 사용할 수 있도록 지원
- 응용 (APL, APpLication)
  - 응용 프로그램 동작

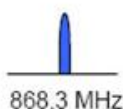
- IEEE 802.15.4 PHY 계층 특징
  - 무선으로 직접 데이터를 주고 받는 계층
  - 3개의 밴드에 27개의 채널 사용
  - DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 사용
  - 빠른 응답지원
    - 조이스틱과 같은 빠른 응답이 필요한 기기도 지원함
  - 전력소모를 최소화하는 전력 관리
    - 잠복기 (수면기)에서도 잘 동작

- 3개 밴드에 27개의 채널 사용

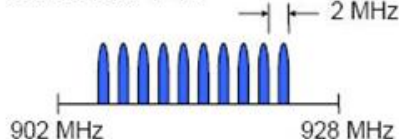
PHY	Frequency Band	Channel Numbering
868/915 MHz	868–870 MHz	0
	902–928 MHz	1 to 10
2.4 GHz	2.4–2.4835 GHz	11 to 26

**868MHz/  
915MHz  
PHY**

Channel 0

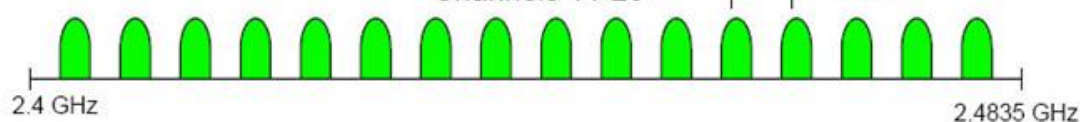


Channels 1-10



**2.4 GHz  
PHY**

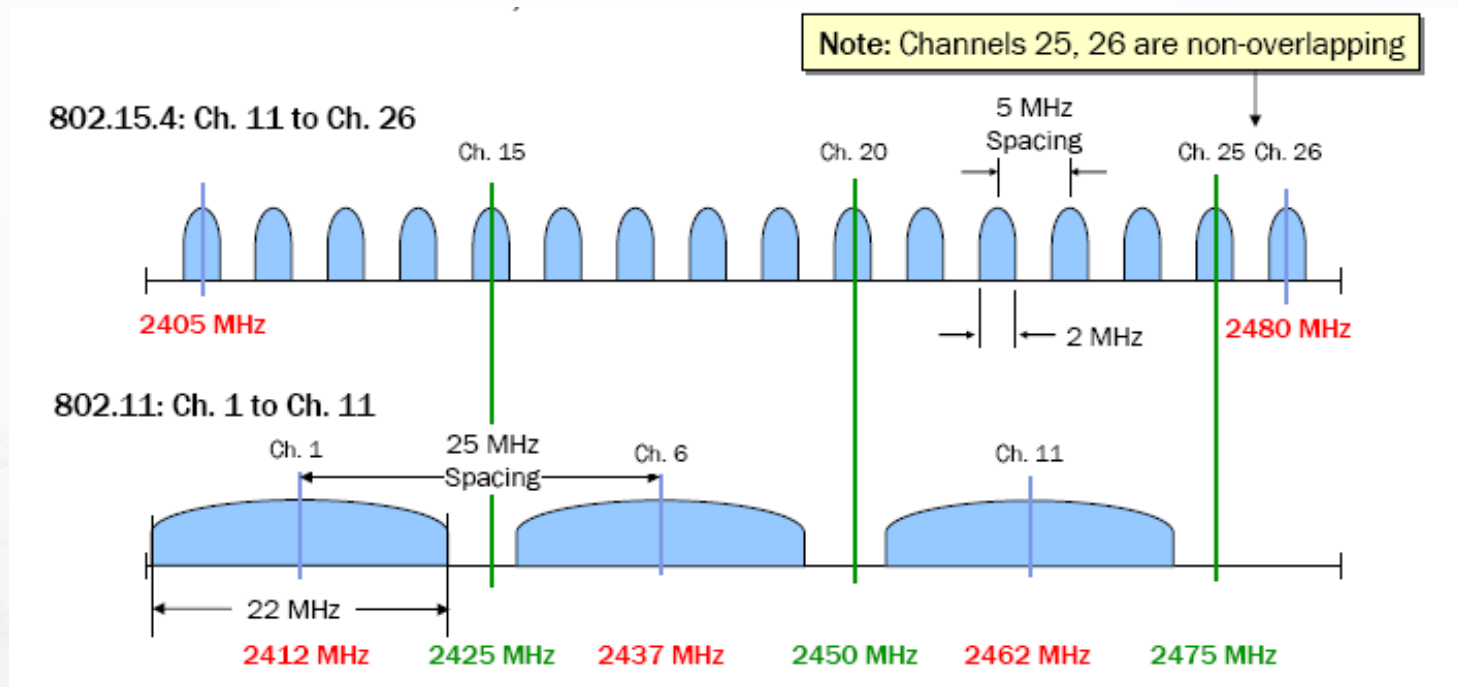
Channels 11-26



	<u>BAND</u>	<u>COVERAGE</u>	<u>DATA RATE</u>	<u>CHANNELS</u>
2.4 GHz	ISM	Worldwide	250 kbps	16
915 MHz	ISM	Americas	40 kbps	10
868 MHz		Europe	20 kbps	1

## 참고 : 무선 랜과의 충돌

- 2.4GHz 대역에서 무선 랜과 겹치는 채널있음
  - Channel 25, 26번은 독자적으로 겹치지 않음
  - Channel 15, 20번도 무선 랜의 채널 선택이 권고안대로 되어 있다면 겹치지 않음
  - 무선 랜이 사용하지 않는 채널 구간은 사용 가능



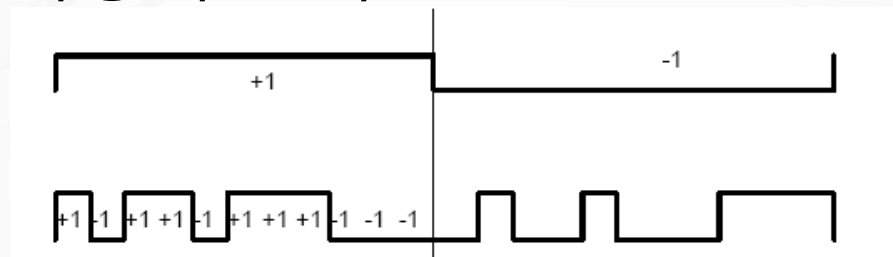
- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

- 직접 시퀀스 확산 스펙트럼 변조 방식

- 변조 : 아날로그 (반송파)에 정보를 실는 과정

- : 정보를 담기 위해 파형의 크기, 주파수, 위상 등을 변형

- 양쪽 모두가 알고 있는 슈도 랜덤(pseudo random) 값인 +1 이나 -1을 데이터에 곱해서 보낸다.
  - → 이 시퀀스는 실제 반복되는 비트보다 훨씬 길이가 길어져서 높은 주파수가 된다. → 수신 측에서는 신호를 얻기 위해서 슈도 랜덤을 다시 곱하면 된다. ( $1 \times 1 = 1$ ,  $-1 \times -1 = 1$ )
  - CDMA에서 사용되는 기술



- MAC 계층 특징

- 세 종류의 기기가 정의됨

- Network Coordinator (NC) : 네트워크 코디네이터
      - 네트워크를 관리함
    - Full Function Device(FFD) : 전기능기기
    - Reduced Function Device(RFD) : 축소기능기기

- MAC의 선택 사양

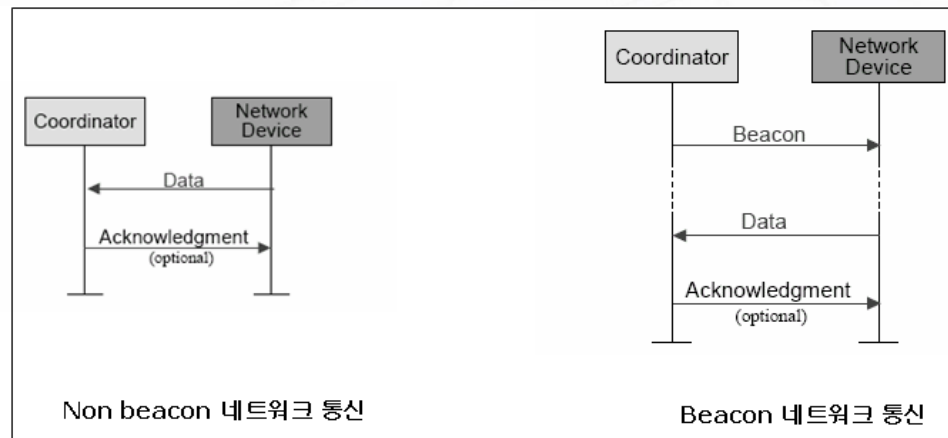
- 비콘 없는 (Non-Beacon) 통신
      - Non-slotted CSMA-CA 통신, 수신 패킷 성공을 위해 확인 응답
    - 비콘 (Beacon) 사용 통신
      - Slotted CSMA-CA 통신, 슈퍼 프레임 사용



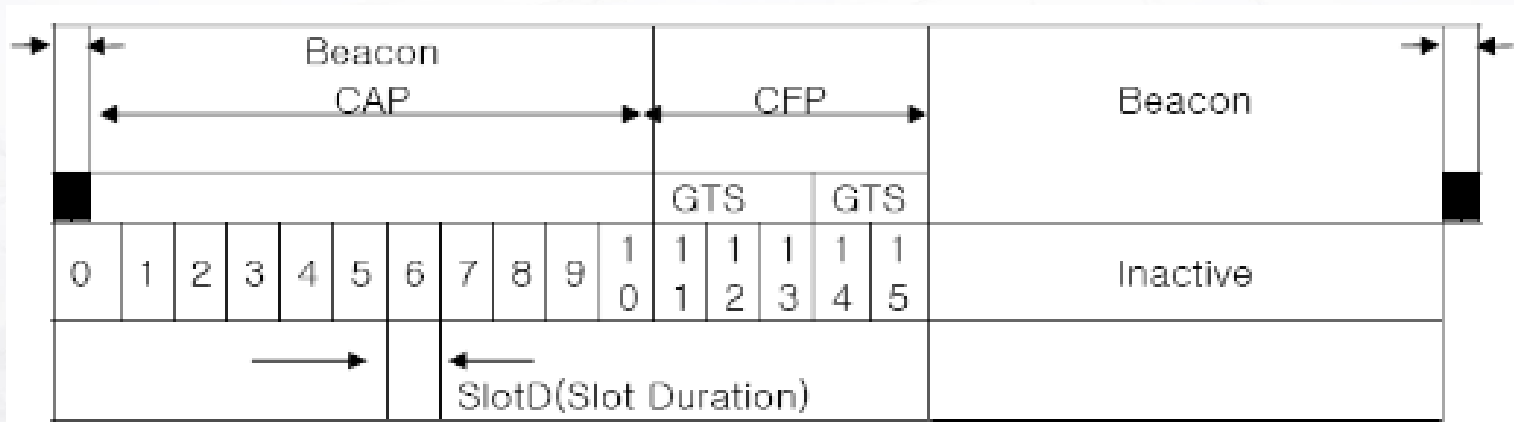
- 지그비의 CSMA-CA
  - **RTS, CTS** 를 사용하지 않음
  - 비콘 없는 (Non-Beacon) 통신
    - Non-slotted CSMA-CA 통신, 수신 패킷 성공을 위해 확인 응답
  - 비콘 (Beacon) 사용 통신
    - Slotted CSMA-CA 통신, 슈퍼 프레임 사용
    - 백오프 하는 시간을 슬롯 단위로 한다.

## MAC 계층 – 지그비 기기

- 비콘 없는 (Non-Beacon) 통신
  - Non-slotted CSMA-CA 통신, 수신 패킷 성공을 위해 확인 응답
  - 장점: 간단함,
  - 단점: sleep 기능 제공이 쉽지 않음
- 비콘 (Beacon) 사용 통신
  - Slotted CSMA-CA 통신, 슈퍼 프레임 사용
    - Slot (슬롯) : 작은 시간 단위, 이 단위 동안만 송수신을 함
  - 장점: 에너지를 절약할 수 있는 sleep 기능 제공이 쉬움
  - 단점: 복잡함



- 슈퍼 프레임 (Super Frame) 구조
  - 최대 16개의 슬롯(Slot)으로 구성
  - 슈퍼프레임은 비콘 (Beacon), CAP(Contention Access Period), CFP(Contention Free Period)으로 구성
    - 비활성화 구간이 있을 수 있음
  - 슈퍼프레임은 최소 15ms에서 최소 245초 가능
  - 항상 비콘으로 시작
    - 비콘은 PAN 코디네이터 (네트워크 코디네이터)가 송신



- CAP, 경쟁 구간
  - 슬롯 단위의 시간에 맞추어 송수신
- CFP, 경쟁 없이 송수신하는 구간
  - 코디네이터가 슬롯을 예약하여 지그비 기기들이 그 슬롯 시간에 송수신
    - GTS : 예약된 슬롯을 GTS (Guaranteed Time Slot)이라 함
  - CFP는 0~7개의 슬롯까지 할당 가능
- Beacon (비콘)
  - 비콘에 따라 시간 동기화를 하여 슬롯 단위 송수신 가능
  - GTS가 어느 기기에 할당되었는지 알려줌

- 비활성화 구간
  - 지그비 기기의 전력 사용을 적게 하여 기기 수명을 늘리기 위해 비활성화 구간 사용
  - 비활성화 구간에서 송수신기를 꺼둔다.
    - 경우에 따라, Processor의 대부분의 기능을 꺼두는 경우도 있음

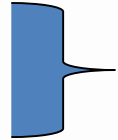
- MAC 프레임의 종류 (Type) : 4가지

- 비콘 프레임

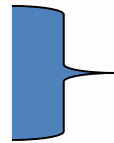
- 데이터 프레임

- 확인 프레임

- MAC 명령 프레임



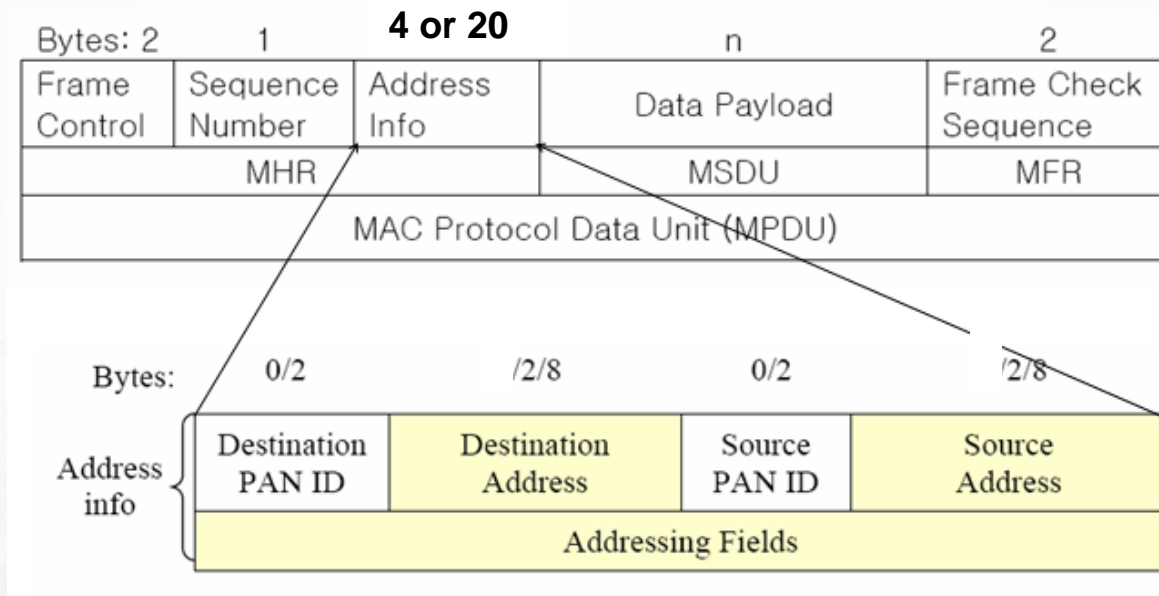
상위 계층에 전달



MAC 계층 간에 전달을 위해 사용  
상위 계층에 전달 안됨

### • 데이터 프레임 (Data Frame)

- 데이터의 송수신에 사용
- Frame control 필드: Frame type, 주소 형식 등 Frame에 관한 정보
- Sequence Number 필드 : Frame의 일련 번호 → 전송 확인하기 위해 사용
- Payload 필드: 실제 Data가 실리는 곳
- Frame check Sequence 필드: Frame의 error를 check



- MAC 주소
  - PAN (Personal Area Network) ID + 주소
  - PAN ID : 네트워크 주소, 코디네이터가 할당한 ID
  - **Address : 2 Byte 또는 8 Byte**
    - 2 Byte : 코디네이터가 할당해준 주소
    - 8 Byte : 처음 제작될 때 제작사가 할당해준 주소
    - \*\*참고: Byte를 Octet이라고 함.
- MAC 주소 필드
  - 주소 또는 PAN ID + 주소로 목적지(Destination)과 근원지(Source)를 표현



- MAC 주소 표시 방법
  - 0/2는 없을 수도 있고, 2 Byte를 쓸 수도 있다는 의미
  - 대표적인 쓰임
    - 같은 네트워크 내: 목적지 주소(2) + 근원지 주소(2) → 4byte
    - 다른 네트워크 간 : 목적지 PAN ID(2) + 목적지 주소(2)  
근원지 PAN ID(2) + 근원지 주소(2) → 8 byte
    - 다른 네트워크 간에서 코디네이터가 부여한 주소를 사용하지 않을 때:  
: 목적지 PAN ID(2) + 목적지 주소(8)  
근원지 PAN ID(2) + 근원지 주소(8) → 20 byte

목적지 PAN ID 0/2	목적지 주소 2/8	근원지 PAN ID 0/2	근원지 주소 2/8
-------------------	---------------	-------------------	---------------

- 어떤 주소 형식인지, 어떤 것을 (0)으로 하여 사용하지 않는지는, Frame control 필드에 표시된다.

- 분산 주소 할당 기법 (Distributed Address Assignment Mechanism)
  - 16 비트 어드레스 할당 방법
  - ZigBee 장치를 가진 노드가 ZigBee 네트워크에 참여할 때 이 노드의 부모 노드가 정해진 식에 따라 부여
  - ZigBee 라우터는 모두 자신의 자식 노드에게 주소 할당을 할 수 있음  
→ **분산 방식**

### 참고 : 중앙 집중 할당 기법과의 비교

- 중앙 집중 할당 기법: 하나의 노드가 모든 네트워크의 기기의 주소를 할당 → 제어 메시지 (제어 트래픽)이 많이 필요
- 분산 주소 할당 기법의 장점: **네트워크 상의 트래픽을 줄일 수 있음**

- 분산 할당 식 - 깊이에 따른 주소 할당 크기

$$C_{\text{skip}}(d) = (1 + C_m - R_m - C_m * R_m^{(L_m - d - 1)}) / (1 - R_m)$$

- $C_m$ : 최대자식의 개수
- $L_m$ : 네트워크 Tree 의 최대 깊이
- $R_m$ : 자식으로 가질 수 있는 최대 ZigBee 라우터 개수
- $d$ : 현재 노드의 깊이
- $C_{\text{skip}}(d)$ : 깊이  $d$  노드가 가질 수 있는 주소의 부분블록크기
- $n$ : 어떤 부모노드를 통해 네트워크에 참여한 노드의 순서
- $A_{\text{parent}}$ : 부모노드의 주소
- $A_n$ :  $n$ -번째 엔드 디바이스의 주소

- 분산 할당의 예

- $C_m = 3, R_m = 3, L_m = 3$

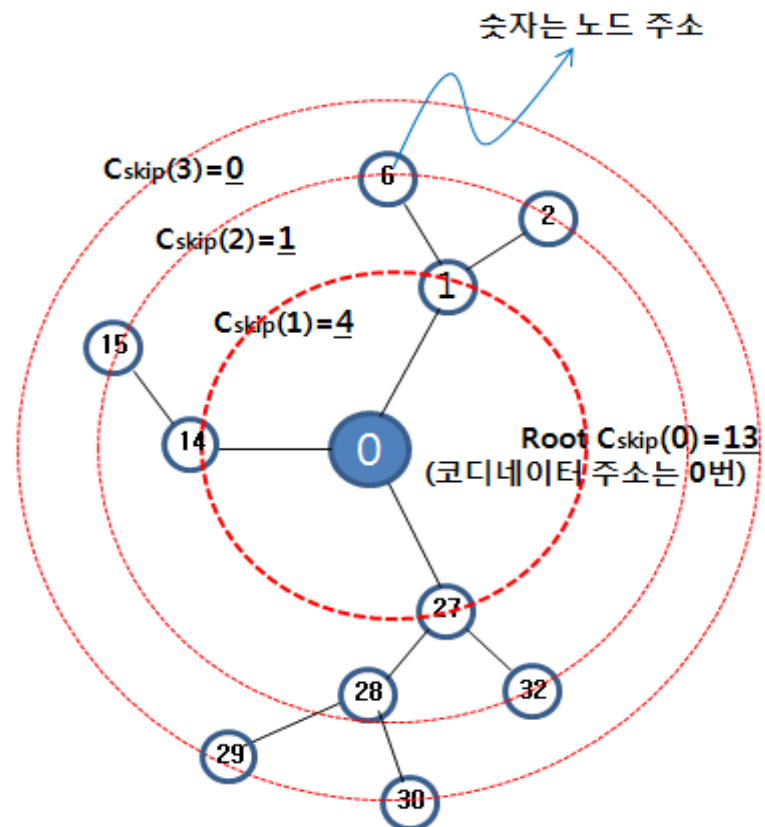
Network depth (d)	Offset value, Cskip(d)
<b>0</b>	<b>13</b>
<b>1</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>0</b>

$$C_{\text{skip}}(0) = (1 + 3 - 3 - 3 * 3^{**}(3 - \underline{0} - 1)) / (1 - 3) \\ = -26 / -2 = 13$$

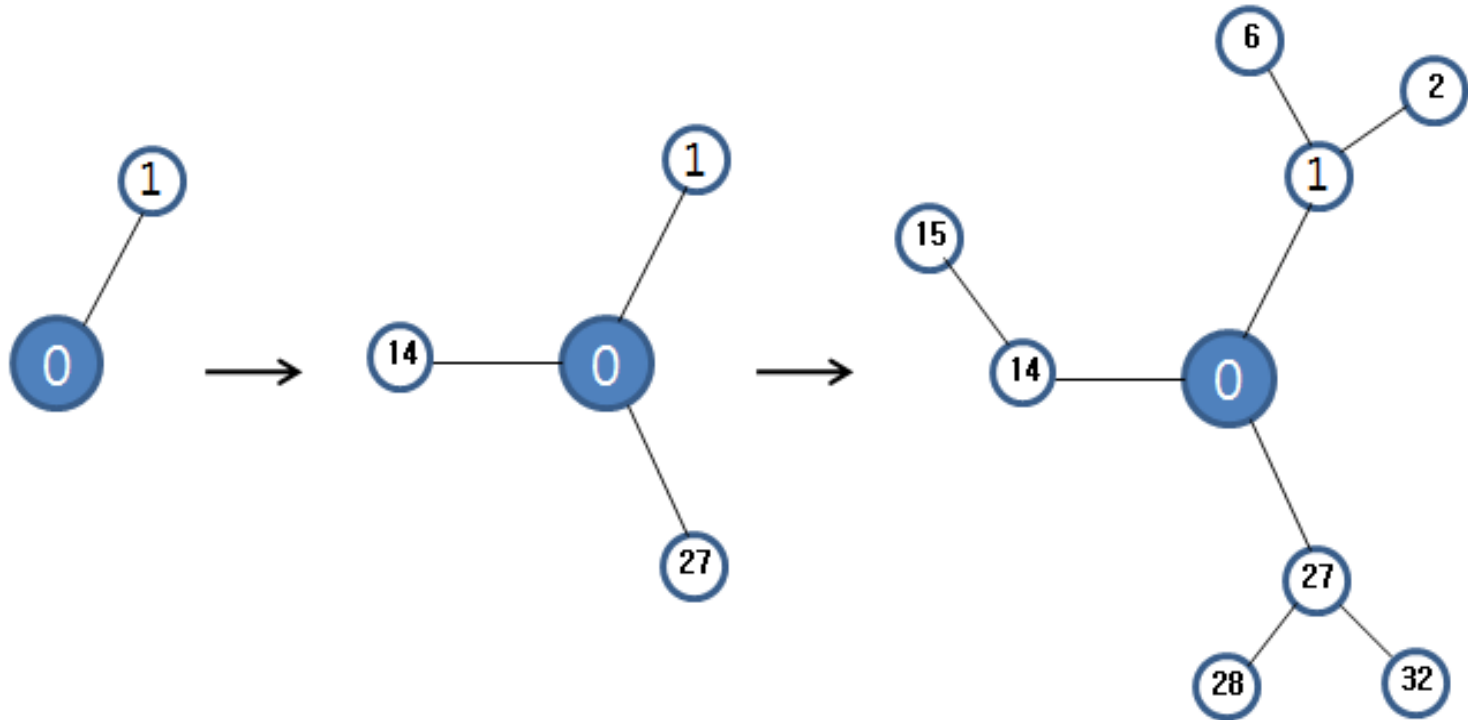
$$C_{\text{skip}}(1) = (1 + 3 - 3 - 3^{**}(3 - \underline{1} - 1)) / (1 - 3) \\ = -8 / -2 = 4$$

$$C_{\text{skip}}(2) = (1 + 3 - 3 - 3^{**}(3 - \underline{2} - 1)) / (1 - 3) \\ = -2 / -2 = 1$$

$(C_m=3, R_m=3, L_m=3)$



- 주소 할당 단계



(a) 처음 생성시 주소는 0

(b) (a)에서 13 만큼 주소공간을  
띄어서 할당

(c) (b)에서 4 만큼 주소공간을  
띄어서 할당

**8주차 수업이 끝났습니다**

**고생하셨습니다.**

