

# 사물인터넷 (Internet of Things)

김태운

# 목차

- IP 기반의 WPAN, WLAN 기술
  - Wi-Fi

# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술

# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## ■ IEEE 802.11

- 무선랜, 와이파이(Wi-Fi)라고 불리는 무선 근거리 통신망(Wireless Local Area Network, WLAN)을 위한 기술로, IEEE의 LAN/MAN 표준 위원회 (IEEE 802)의 11번째 워킹 그룹에서 개발된 표준 기술을 의미
- 802.11 vs Wi-Fi
  - IEEE 802.11 : WLAN 을 위한 무선 기술 표준
  - Wi-Fi : Wi-Fi Alliance 라는 단체가 소유한 상표이며, Wi-Fi 제품이 IEEE 802.11 무선 표준을 충족한다는 것을 인증한다는 것을 의미(즉, Wi-Fi 상표가 부착된 단말은 IEEE 802.11 표준을 충족하고, 상호 호환된다는 것을 보장)
  - 따라서, IEEE 802.11 과 Wi-Fi 는 서로 다른 의미를 가지는 용어이지만 대부분의 경우 혼용해서 사용하고 있음
- 802.11 기술은 비 면허 ISM 대역을 사용하고 있으며, 비 면허 대역을 최초로 사용한 무선 통신 기술 중 하나

From	To	Bandwidth	Availability
6.765 MHz	6.795 MHz	30 kHz	
13.553 MHz	13.567 MHz	14 kHz	Worldwide
26.957 MHz	27.283 MHz	326 kHz	Worldwide
40.660 MHz	40.700 MHz	40 kHz	Worldwide
433.050 MHz	434.790 MHz	1.74 MHz	Europe, Africa, Middle east, Former Soviet Union
902.000 MHz	928.000 MHz	26 MHz	America, Greenland
2.400 GHz	2.500 GHz	100 MHz	Worldwide
5.725 GHz	5.875 GHz	150 MHz	Worldwide
24.000 GHz	24.250 GHz	250 MHz	Worldwide
61.000 GHz	61.500 GHz	500 MHz	
122.000 GHz	123.000 GHz	1 GHz	
244 GHz	246 GHz	2 GHz	

비 면허 대역 중,  
802.11에서 사용하는  
두 대역

# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## ■ IEEE 802.11 표준

- MAC/PHY 계층을 정의하고 있으며, 1997년 최초의 표준이 정의된 이래 다양한 버전이 개발됨
- 현재는 n/ac 버전이 가장 활발히 사용됨

Wi-Fi Generations				
Generation	IEEE Standard	Maximum Linkrate (Mbit/s)	Adopted	Radio Frequency (GHz) <sup>[3]</sup>
Wi-Fi 7	802.11be	40000	TBA	2.4/5/6
Wi-Fi 6E	802.11ax	600 to 9608	2020	2.4/5/6
Wi-Fi 6			2019	2.4/5
Wi-Fi 5	802.11ac	433 to 6933	2014	5
Wi-Fi 4	802.11n	72 to 600	2008	2.4/5
(Wi-Fi 3*)	802.11g	6 to 54	2003	2.4
(Wi-Fi 2*)	802.11a	6 to 54	1999	5
(Wi-Fi 1*)	802.11b	1 to 11	1999	2.4
(Wi-Fi 0*)	802.11	1 to 2	1997	2.4

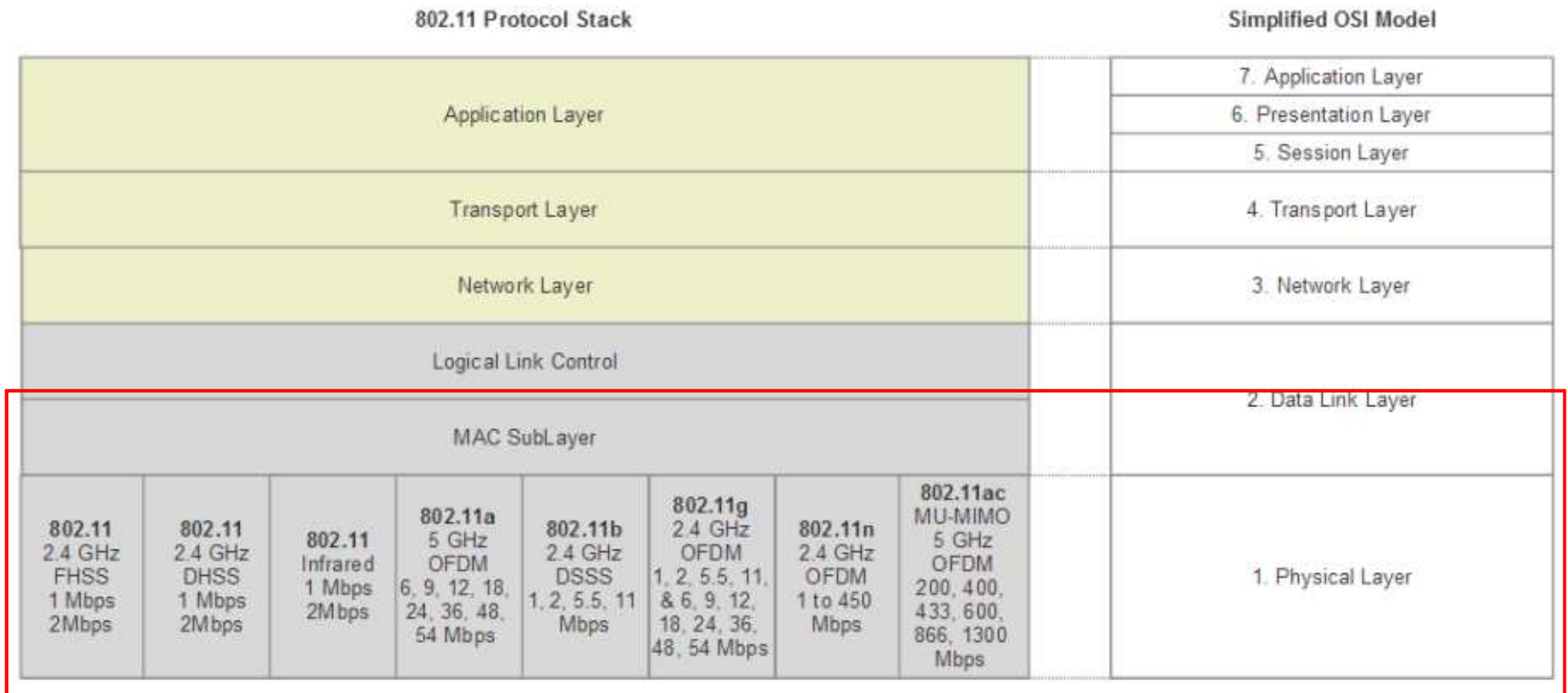
\*: (Wi-Fi 0, 1, 2, 3, are unbranded common usage.<sup>[4][5]</sup>)

- Home, office 규모의 무선 지역 네트워크(WLAN)를 구성하기 위한 목적으로 개발되었으나, 다양한 use case 를 지원하기 위해 확장 개발 됨
  - 802.11ah : 저전력, 저 대역폭을 사용하는 사물인터넷
  - 802.11p : 차량 네트워크
  - 802.11af : 텔레비전 주파수 재사용
  - 등

# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## 802.11 Protocol Stack

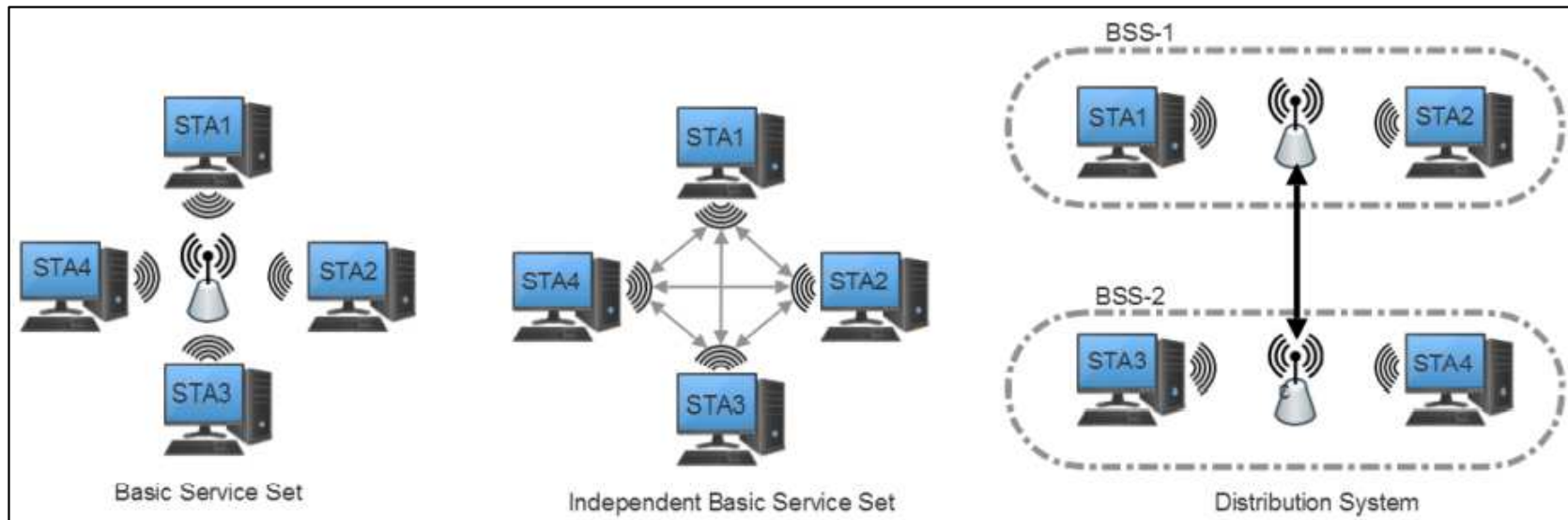
- 802.11 표준은 MAC/PHY 계층을 정의함(LLC 모듈은 802.2 LLC와 동일한 모듈을 사용)



# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## ■ 기본 토폴로지

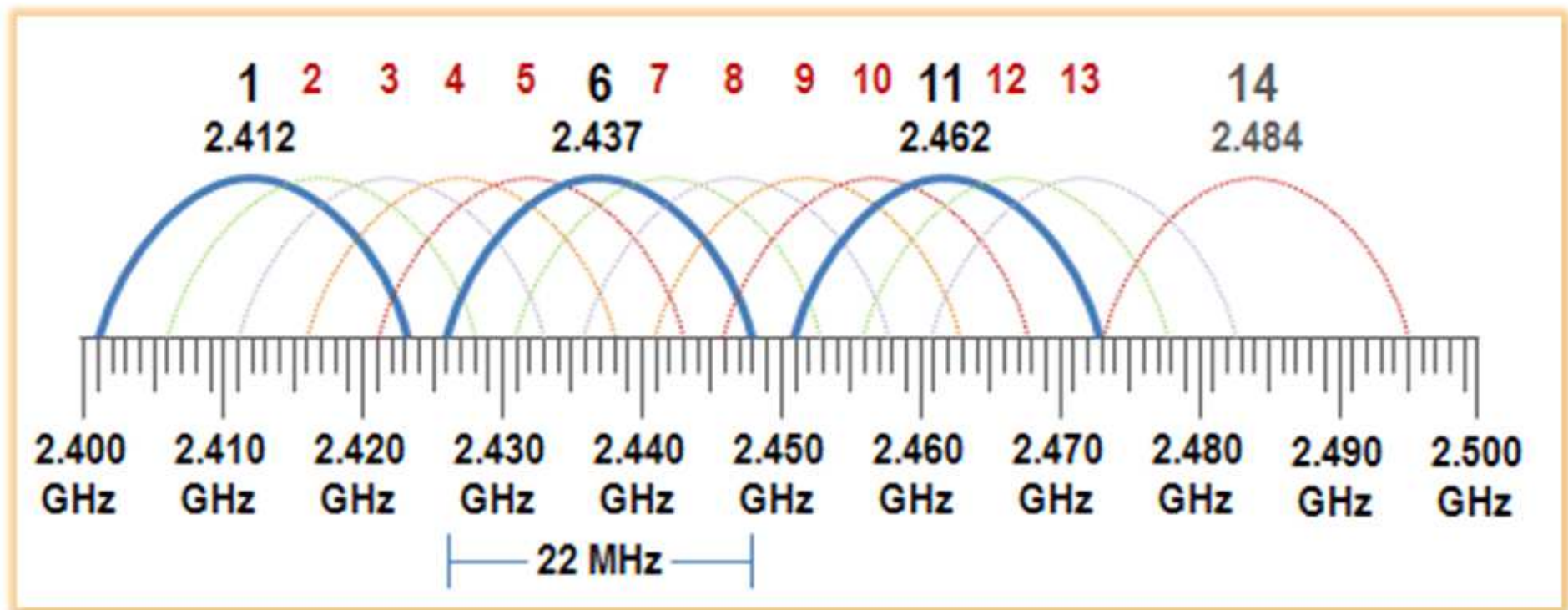
- 802.11 시스템은 3개의 기본 토폴로지를 지원함
- Infrastructure
  - STA(station) 과 AP(Access Point)로 구성
  - STA는 일반 사용자 단말에 해당하며, AP 와만 통신함
  - AP 는 게이트웨이, 라우터 기능을 수행하고, STA을 외부 네트워크와 연결
  - Star 토폴로지를 구성하며, 하나의 AP 가 구성하는 네트워크를 BSS(Basic Service Set)이라 함
- Ad Hoc
  - AP 가 존재하지 않고, 각 단말은 서로 직접 통신함
  - Mesh 토폴로지를 구성하며, Independent BSS(IBSS)로 불리는 네트워크를 구성함
- Distribution System (DS) :
  - AP 상호간 연결을 통해 두 개 이상의 BSS가 결합한, 확장된 네트워크



## IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

### ■ 스펙트럼 할당 (spectrum allocation)

- 802.11 표준은 2.4GHz 대역과 5GHz 대역을 사용
- 2.4GHz 대역의 경우, 가용 대역폭이 20MHz 대역의 12개(또는 14개, 국가별 상이) 채널로 나뉘어 지고, 이 중 서로 간섭이 없는 3개 채널을 데이터 송수신에 사용(1, 6, 11)





# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## ■ 3 종류의 메시지 프레임을 정의함

- Management frame:
  - AP와의 association(연결)/disassociation(연결해지), 타이밍 및 동기화 관리, STA 인증/인증 해제 등을 위해 사용
- Control frame:
  - 경쟁 기간(contention period) 동안의 handshake(RTS/CTS/~~Data~~/Ack), ACK 메시지 등을 위해 사용
- Data frame:
  - 데이터 전송을 위해 사용

## ■ PCF, DCF

- 802.11 MAC은 두 개의 채널 접근 기법을 제공함
- DCF (Distributed Coordination Function)
  - 비동기 데이터 전송(asynchronous service)을 위한 기법으로, 모든 단말은 공평하게 경쟁을 통해 채널을 접근하고 사용할 수 있음. 단, 단말의 수가 많은 경우 채널 경쟁으로 인해 충돌확률 상승, 기아현상 등을 경험할 수 있음
- PCF (Point Coordination Function)
  - AP가 각 단말의 데이터 전송을 직접 제어하며, 제한된 지연시간을 보장해야 하는 서비스(time critical service)를 위해 개발됨
- Ad Hoc 네트워크는 CSMA/CA 기반의 DCF 기법만 사용하며, Infrastructure 네트워크는 비콘 메시지를 통한 Superframe을 기반으로 PCF 와 DCF 기법을 모두 사용함

# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## ▪ Priority Access : 채널 접근 우선순위 제어

- 802.11은 frame 전송 간에 서로 다른 길이의 IFS(InterFrame Space) time interval 을 사용하여 채널 접근 우선순위를 제어함

- Highest priority frame 의 경우 SIFS 를 사용(예: ACK)

- SIFS = Short IFS

- Time-critical 서비스를 위한 Medium priority frame 의 경우 PIFS 를 사용(PCF 모드에서 사용)

- PIFS = Point coordination function IFS

- 비동기 데이터 전송을 위한 DCF 모드에서는 DIFS 를 사용

- DIFS = Distributed coordination function IFS

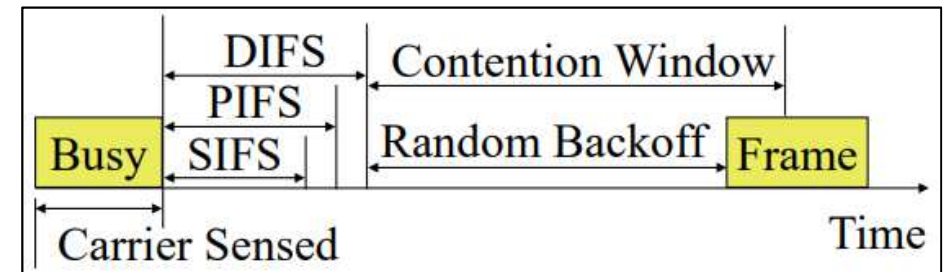
- 서로 다른 길이의 IFS 가 어떻게 우선순위를 제어할 수 있는지?

- 모든 단말은 일정시간 동안 채널을 센싱하고, 센싱하는 동안 아무런 활동이 감지되지 않으면 데이터를 전송함

- 예)

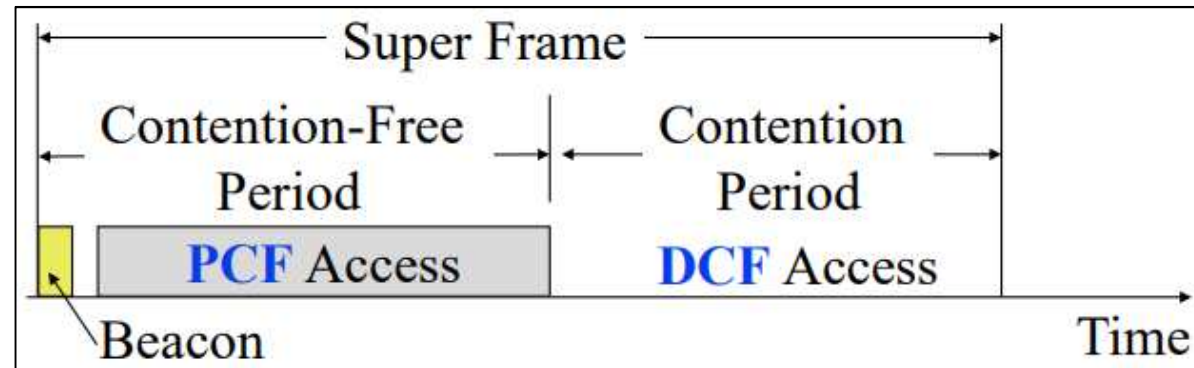
- A 단말은 5초 동안 채널을 센싱해야 하고, B 단말은 3초 동안 채널을 센싱해야 하는 상황.

- 만약 A, B 단말이 동시에 채널 센싱을 시작했다면, 필수 센싱 기간이 짧은 B 단말이 먼저 데이터를 전송하게 되고(= 높은 우선순위), 이로 인해 A 단말은 B 단말의 전송이 끝나기를 기다려야 함



# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

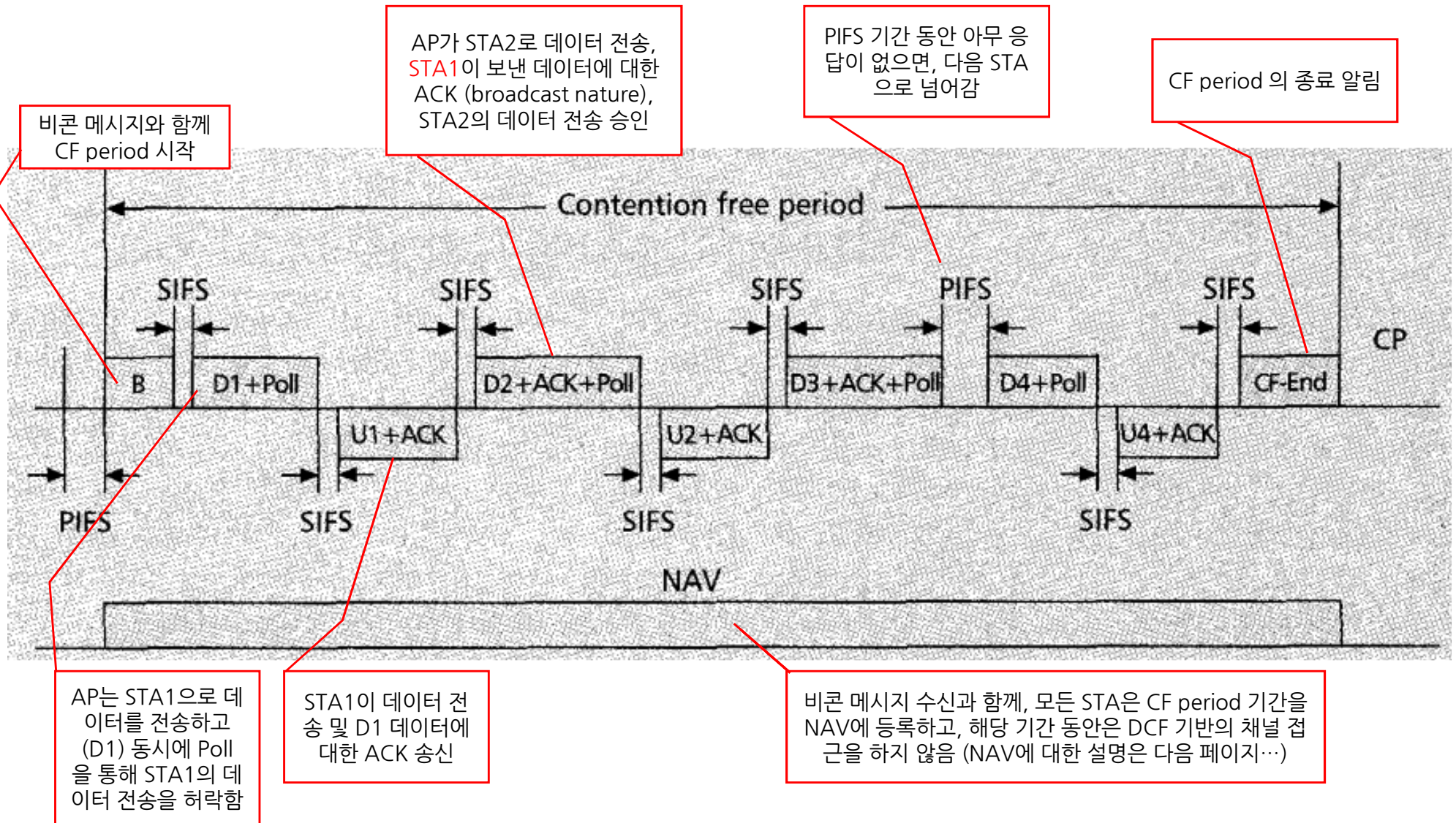
## ▪ PCF 기반의 채널 접근



- Infrastructure 모드의 경우, AP 가 전송하는 비콘 메시지를 기반으로 Superframe 을 형성
  - 비콘 메시지를 통해 동기화 및 타이밍 정보를 STA에게 전달함
  - Superframe 이란, 일정 길이의 time interval 을 말함
- Superframe은 경쟁이 필요 없는 CF period 와 경쟁을 통해 채널을 접근하는 ~~CF~~ <sup>Contention</sup> period 로 구성
- CF period 에는 PCF 기반의 채널 접근(= 데이터 송수신)이 수행됨
  - AP는 각 단말에게 순차적으로 CF-Poll 메시지를 보내고(전송할 데이터가 있는지를 물어보는 메시지), 해당 메시지를 받은 STA은 독립적으로 데이터 전송이 가능
  - 전송할 데이터가 없는 STA는 Null 프레임을 송신하여 전송할 데이터가 없음을 알림

# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## ▪ PCF 기반의 채널 접근 예시

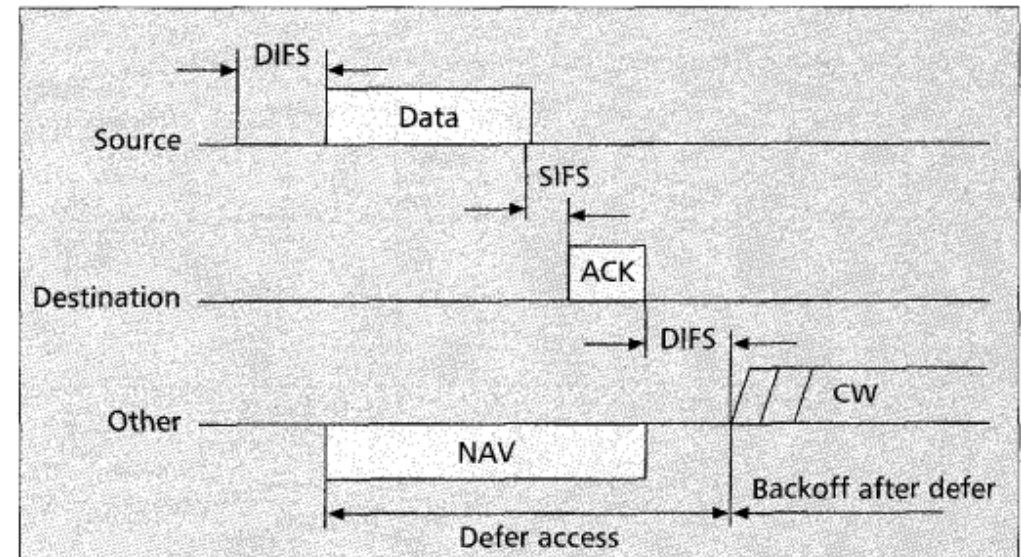




# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## ▪ DCF 기반의 채널 접근 (CSMA/CA)

- 비동기, 경쟁기반의 데이터 전송을 위한 기법으로 Infrastructure 네트워크의 CF period 및 Ad Hoc 네트워크에서 사용됨
- CSMA 기법을 기반으로 하며 송수신을 동시에 할 수 없으므로(즉, 송신 중에 collision 탐지가 불가능) CSMA/CD가 아닌 CSMA/CA 기법을 사용
- 802.11에서의 Carrier Sensing 은 두 가지 방법으로 수행
  - Physical Carrier Sensing : 무선 인터페이스를 통해 채널을 센싱하고, 수신되는 신호의 세기를 측정하여 다른 단말이 송신 중인지를 감지함
  - Virtual Carrier Sensing : 다른 STA 이 송신한 메시지를 엿듣고(broadcasting nature), 채널 사용 기간(즉, 다른 STA이 데이터 전송을 언제 끝마칠지에 대한 시간 정보)을 NAV (network allocation vector)에 기록함
    - data frame 및 management frame 에 포함된 duration 필드 정보를 활용
    - NAV에 지정된 기간(milli-second)동안 STA은 채널 센싱 및 접근을 하지 않으며, 해당 기간이 지나면 채널을 센싱하여 가용 여부를 판단함

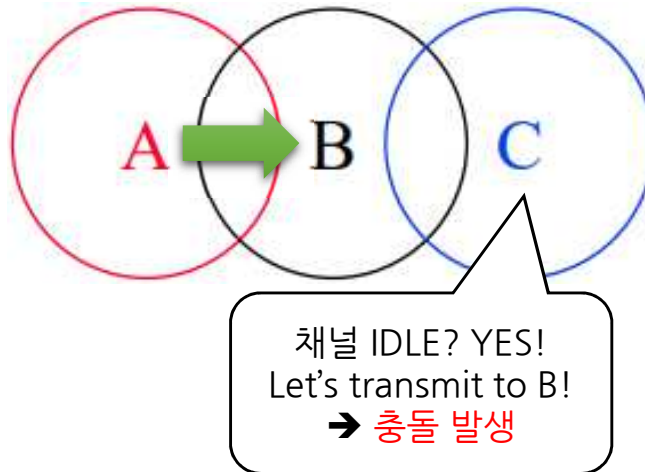


# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## ▪ DCF 기반의 채널 접근 (CSMA/CA)

### • Hidden Node Problem

- STA A, B, C의 전송범위가 아래와 같다고 가정
- STA A가 B에게 송신 중일 때, STA C는 이를 수신할 수 없음
- 따라서, STA C는 채널이 IDLE하다고 판단, 데이터를 송신할 수 있고 충돌(Collision)이 발생함



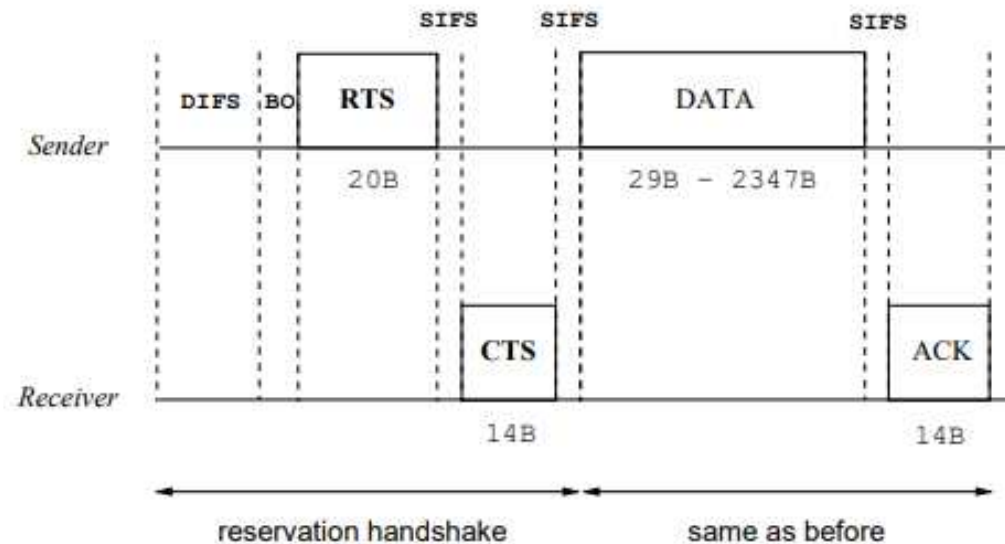
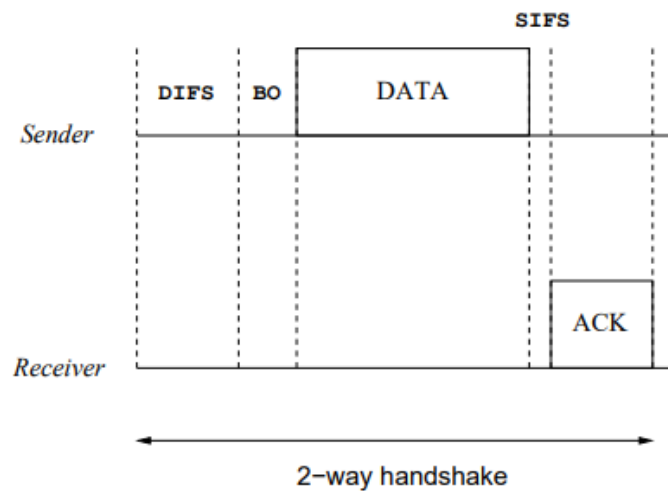
- 해결 방법은?

# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## DCF 기반의 채널 접근 (CSMA/CA)

### Solution to Hidden Node Problem : 4-Way handshake + NAV

- RTS(Ready To Send), CTS(Clear To Send)라는 작은 크기의 제어 패킷(control packet)을 Data 송신 전에 먼저 교환하여 채널을 예약하는 방법
- 데이터를 송신할 STA은 RTS 메시지를 방송 => RTS 메시지를 수신한 목적지 STA은 CTS 로 응답: 이를 통해, RTS 또는 CTS 를 수신한 단말은 앞으로 얼마동안 채널이 사용 될 것인지를 알 수 있음
- RTS-CTS 메시지 교환이 이루어진 후에 DATA-ACK 송수신이 시작됨
- RTS/CTS/Data Frame에는 Duration 필드가 있고, 데이터 송수신이 완료 되기까지 얼마의 시간이 필요한지에 대한 정보가 기록됨(milli-second)
  - ➔ 해당 정보를 수신한 다른 STA은 NAV를 설정하고, 해당 시간 동안은 데이터 <sup>동수신</sup>수신을 하지 않음



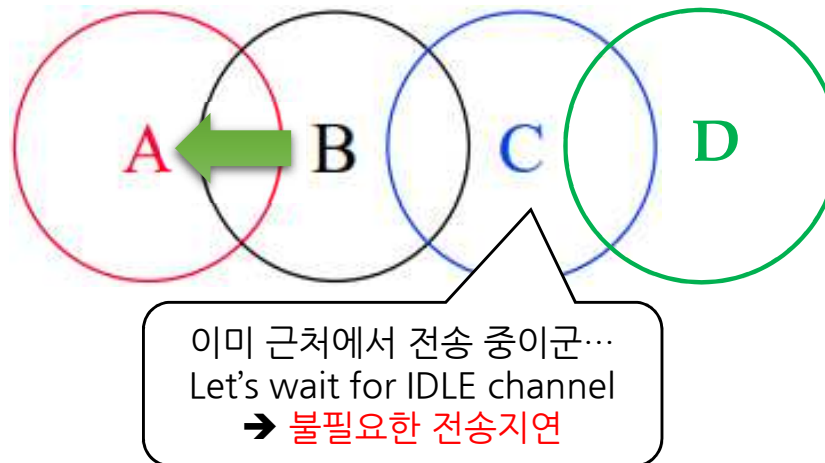
### 4-Way Handshake

# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## ▪ DCF 기반의 채널 접근 (CSMA/CA)

### • Exposed Node Problem

- STA A, B, C, D의 전송범위가 아래와 같다고 가정
- STA B가 A에게 송신 중일 때, STA C는 이를 RTS 메시지 수신을 통해서 미리 알고, D로의 전송을 지연시킴
- 하지만, B에서 A로의 전송은 C에서 D로의 전송에 간섭이 되지 않으므로, C는 D로 전송해도 됨



- 해결 방법은?

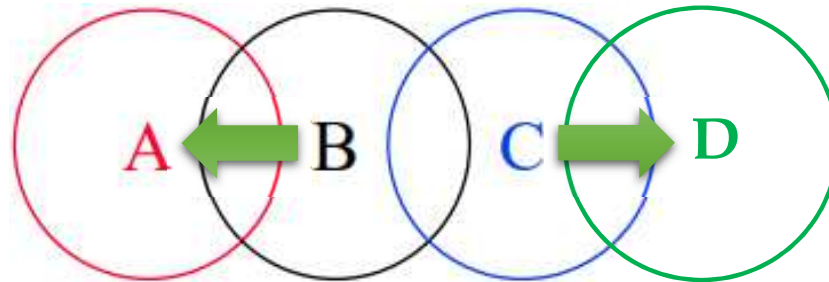


## ▪ DCF 기반의 채널 접근 (CSMA/CA)

- Solution to Hidden Node Problem : 4-Way handshake

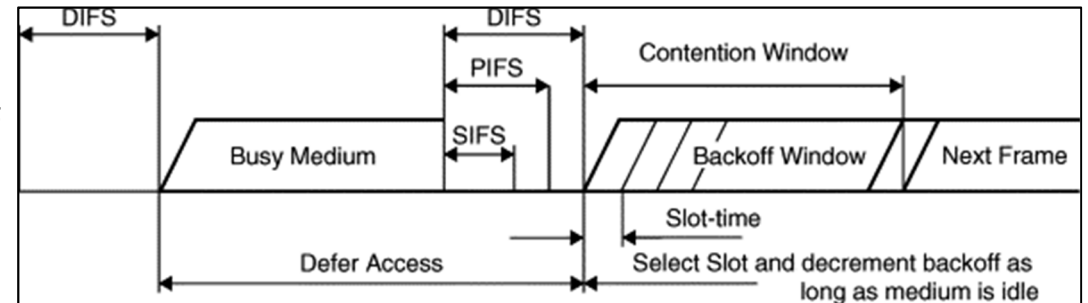
- C는 B가 송신한 RTS를 수신할 수 있음
- 하지만, A와는 거리가 멀어서 A가 송신한 CTS를 수신할 수 없음

- RTS 를 수신한 후 CTS 를 수신하지 못한 경우, C는 통신 간섭이 없을 것으로 간주하고 D로의 전송을 수행함



# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

- DCF 기반의 채널 접근 (CSMA/CA)
  - Collision Avoidance 기법: Random Backoff



- RTS/CTS/Data 를 수신한 단말은 Duration 필드에 명시된 기간 동안 NAV를 설정하고 데이터 송신을 시도하지 않음. NAV 값이 현재 0이고(즉, 전송중인 단말 없음), 전송할 데이터가 있는 STA은 아래의 절차를 통해 데이터를 전송함:
- **[Initial]** 데이터 송신 전에, DIFS 기간 동안 채널을 센싱하고, Contention Window (CW) 값을 사용하여 Backoff (BO) Counter 를 설정:  $BO = \text{Uniform}[1, CW_{\min} * (2^r)]$ 
  - 각 데이터 프레임 별로 초기 값  $r=0$ (retransmission counter, 재전송 횟수) 을 사용함
  - 재전송 발생 시  $r$  값이 1씩 증가하고 BO를 다시 설정. 단,  $CW_{\min} * (2^r)$  값은  $CW_{\max}$  를 초과할 수 없음
- **[BO Countdown]** DIFS 기간 동안 채널이 IDLE 한 경우, 다음으로 slot\_time 동안 채널을 센싱하고 이 동안 채널이 IDLE 하다면 BO 를 1 씩 감소하는 과정을 반복 → BO 가 0이 되면 데이터 전송
- **[Defer Access]** 데이터를 전송하기 전에, 다른 STA이 RTS/CTS/Data/Ack 를 전송하면 BO 카운터 감소를 중단하고, 다른 STA의 전송이 완료될 때 까지 대기 → 다른 STA의 전송이 완료되면 [BO Countdown] 단계로 이동
- **[Collision]** 데이터 전송이 실패하면(= ACK 미 수신),  $r$  값을 1 증가 시킨 후 [Initial] 단계로 이동
- **[Success Transmission]** 데이터 전송이 성공하면, 다음 프레임 전송 시  $r$ 을 0으로 초기화하고 [Initial] 단계로 이동

# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## ■ 참고

- 802.11b의 경우, 아래의 설정 값을 사용함
  - $\text{slot\_time} = 20 \text{ us}$
  - $\text{SIFS} = 10 \text{ us}$
  - $\text{PIFS} = \text{SIFS} + 1 * \text{slot\_time}$
  - $\text{DIFS} = \text{SIFS} + 2 * \text{slot\_time}$
  - $\text{CW\_min} = 31$
  - $\text{CW\_max} = 2013$

## IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

- DCF 기반의 채널 접근 (CSMA/CA)
  - Random Backoff 를 수행하는 이유는? Collision Avoidance 즉, 충돌을 최소화 하기 위해서...
  - Random Backoff 를 하는 것과 그렇지 않은 버전 비교:
    - Random Backoff 없는 버전 : 채널이 DIFS 시간 동안 IDLE 하면 즉시 데이터 전송
    - Random Backoff 버전 : 채널이 DISF 시간 동안 IDLE 하고, 추가로 랜덤 한 시간 동안 IDLE 하면 데이터 전송
  - Random Backoff 가 어째서 충돌 확률을 감소시키는지? (다음 페이지...)

# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## ▪ DCF 기반의 채널 접근 (CSMA/CA)

Random Backoff 를 하지 않는 것에 비해, 어째서 충돌이 최소화 되는지?

- Random Backoff 없는 버전 : 채널이 DIFS 시간 동안 IDLE 하면 즉시 데이터 전송

시나리오 예시:

- STA 1, 2, 3, ... 으로 구성된 네트워크에서 STA 1이 먼저 데이터 전송을 시작함
- STA 1의 전송 메시지를 수신한 STA 2, 3은 해당 전송이 끝나는 시간을 NAV에 기록함
- STA 1의 전송이 끝나는 시점에 STA 2, 3은 동시에 채널 센싱을 시작함
- STA 2, 3 모두 DIFS 시간 동안 채널이 IDLE 한 것을 감지하고, DIFS 직후에 모두 데이터를 송신함 ➔ 충돌(Collision)!

- Random Backoff 버전 : 채널이 DISF 시간 동안 IDLE 하고, 추가로 랜덤 한 시간 동안 IDLE 하면 데이터 전송

시나리오 예시:

- STA 1, 2, 3, ... 으로 구성된 네트워크에서 STA 1이 먼저 데이터 전송을 시작함
- STA 1의 전송 메시지를 수신한 STA 2, 3은 해당 전송이 끝나는 시간을 NAV에 기록함
- STA 1의 전송이 끝나는 시점에 STA 2, 3은 동시에 채널 센싱을 시작함
- STA 2, 3 모두 DIFS 시간 동안 채널이 IDLE 한 것을 감지하고, 추가로 랜덤 한 시간동안 센싱을 이어감
- STA 2, 3 이 동일한 BO 값을 선택할 확률이 낮기 때문에, 충돌 확률이 감소함

# IP 기반의 WPAN, WLAN 기술: IEEE 802.11 / Wi-Fi

## ■ 802.11 Power Management

- STA은 저전력 Power Save (PS) 모드로 전환하여 소모 전력을 최소화 할 수 있음.
  - 단, PS 모드인 동안에는 데이터 송수신이 불가능
  - AP는 STA 이 PS 모드인 동안에 해당 STA으로 전달 될 데이터를 버퍼링(보관)하고, STA이 Active 모드로 전환하면 버퍼링 한 데이터를 해당 STA으로 전달함
- Power Saving Mode (PSM) 동작 방식
  - AP는 TBTT(Target Beacon Transmission Time) 주기로 비콘 메시지를 전송함 (약 100 ms 주기)
  - PS 모드로 전환한 STA은 항상 TBTT 주기에 맞추어 깨어나고 비콘 메시지를 수신함
  - 비콘 메시지에는 TIM(Traffic Indicator Message) 메시지가 포함되어 있는데, TIM에는 AP가 버퍼링 하고 있는 메시지 정보가 담겨 있음
  - TIM을 통해서 버퍼링 된 메시지가 있는 것을 확인한 STA은 채널 경쟁을 통해 PS-Poll(Power Save Poll) 메시지를 AP로 전송하여 버퍼링 된 패킷을 수신함
    - STA에 대해 버퍼링 중인 패킷이 여러 개인 경우, 패킷의 More data bit 를 1로 설정하여 해당 사실을 알림
    - STA은 경쟁을 통해 버퍼링 된 패킷을 수신하는 과정을 반복함

감사합니다.

