

# Sub 1GHz Wireless LAN

석용호

LG전자 차세대통신연구소

## 요약

본고에서는 1GHz 이하 주파수에서 동작하는 Wireless LAN (WLAN) 표준으로, IEEE 802.11ah PHY/MAC 표준 규격에 대해서 알아 본다. IEEE 802.11ah 표준은, Smart Grid, M2M, IoT 와 같이 실내, 실외에서 많은 수의 단말들을 최소한의 전력 소모로 데이터 통신을 하기 위한 목적으로 개발되었다. WLAN 의 서비스 범위가 1Km 이상으로 늘어나게 되면, 그 동안 WLAN 에서 심각하게 다루지 않았던 Hidden Node 문제가 단말의 전력 소모, throughput performance 을 결정하는 중요한 요소로 등장하게 된다. 특별히 IEEE 802.11ah 에서는, 많은 수의 단말들간에 Hidden Node 을 고려한 Restricted Access Window 라는 새로운 channel access 기법이 제안되었고, 이에 본 고에서는 IEEE 802.11ah 에 새롭게 지원되는 MAC 기능들에 대해 중점적으로 살펴 보도록 한다.

## I. 서론

Smart Grid, M2M, IoT 와 같은 새로운 응용 서비스들을 지원하기 위한 Wireless LAN (WLAN) 기술로 IEEE 802.11ah 표준화가 진행 중에 있다. IEEE 802.11ah 는 1GHz 이하의 비면허 주파수에서 동작하는 WLAN 기술로, 868 - 868.6 MHz (Europe), 950 - 958 MHz (Japan), 314 - 316 MHz, 430 - 434 MHz, 470 - 510 MHz, 779 - 787 MHz (China), 917 - 923.5 MHz (Korea), 902 - 928 MHz (USA) 에서 동작하는 기술이다.

1 GHz 이하에서 비 면허 방식으로 사용 할 수 있는 채널은 2.4 GHz, 5 GHz 에 비해 매우 협소하다. 따라서, IEEE 802.11ah 는 1/2/4/8/16 MHz 의 채널 대역폭을 가지는 OFDM 기술을 PHY 프로토콜로 사용하고 있다. 1 Km 이상의 서비스 범위를 지원하기 위해서는, IEEE 802.11g/n/ac 의 0.8 us Cyclic Prefix 길이로 충분하지 않다. 따라서, IEEE 802.11ah

는 IEEE 802.11ac OFDM PHY 을 1/10 down-clocking 한 형태로 8 us Cyclic Prefix 와 40 us OFDM symbol duration 을 가진다. 이와 같이 채널 대역폭이 줄어든 환경에서 throughput 을 높이기 위해서는, MAC 계층에서 protocol overhead 을 줄이는 노력이 요구된다. 이를 위해, IEEE 802.11ah 에서는 short MAC header 와 NDP MAC frame 과 같이 MAC protocol overhead 을 줄이는 방법들을 지원한다.

IEEE 802.11ah 는 1 Km 이상의 서비스 범위를 지원하며, 2,000 - 8,000 개의 단말들을 지원한다. 하지만, 현재의 IEEE 802.11 MAC/PHY 기술로 1 Km 이상의 서비스 범위에서, 8,000 개의 단말들을 동시에 지원하는 것은 여러 가지 문제점을 가진다. IEEE 802.11 MAC 기술로 CSMA/CA 에 기반한 DCF, EDCA protocol 을 사용하고 있지만, DCF, EDCA 는 경쟁 단말의 수가 많을 때 효율성이 떨어지는 문제점을 가진다. 한편으로, 실내 환경과 달리 실외 환경에서는 hidden node 에 해당하는 단말의 수가 많아져 collision 에 의한 MAC throughput 감소가 발생한다. 이를 위해, IEEE 802.11ah 에서는 Restricted Access Window (RAW) 라는 새로운 개념의 channel access protocol 을 제안하고 있다.

본 고에서는 IEEE 802.11ah 에서 새롭게 다루고 있는 핵심적인 MAC protocol 내용에 대해 간략히 살펴 보도록 한다.

## II. 본론

### 1. S1G MAC frame format

IEEE 802.11 MAC frame format 을 살펴 보면, Infrastructure BSS 에서 QoS DATA frame 의 MAC header 는 26 octet 을 차지한다. HT DATA frame 의 MAC header 는 30 octet, Mesh DATA frame 의 MAC header 는 32 octet 이상을 차지한다.

1/2/4/8/16 MHz 채널 대역폭을 사용하는 S1G BSS 에서 MAC protocol overhead 을 줄이기 위한 방법으로, short

	Frame Control	A1	A2	Sequence Control	A3 (optional)	A4 (optional)	Frame Body	FCS
Octets:	2	2 or 6	2 or 6	2	0 or 6	0 or 6	variable	4

그림 1. Short MAC frame format

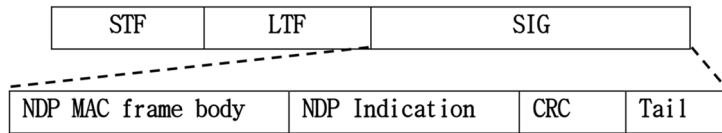


그림 2. NDP MAC frame format

MAC frame format 이 제안되었다.

〈그림 1〉은 IEEE 802.11ah 에서 제안된 short MAC frame format 을 보여 주고 있다.

기존의 IEEE 802.11 MAC frame format 과 short MAC frame 간에 구분은, Frame Control field 에 Protocol Version sub-field 에 의해서 이루어 진다. Protocol Version sub-field 가 0 인 경우, 기존의 IEEE 802.11 MAC frame format 을 의미한다. Protocol Version sub-field 가 1 인 경우, IEEE 802.11ah 에서 새롭게 정의한 short MAC frame 을 의미한다.

A1, A2 fields 는 각각 Receiver Address (RA), Transmitter Address (TA) 을 의미한다. 해당 frame 이 uplink frame 일 경우, A1 field 는 6 octet 의 AP MAC Address 값을 가지며, A2 field 는 단말에 할당된 13 bit 의 Association ID 값을 포함하는 2 octet 정보를 가진다. 반대로 해당 frame 이 downlink frame 일 경우, A1 field 는 단말에 할당된 13 bit 의 Association ID 값을 포함하는 2 octet 정보를 가지며, A2 field 는 6 octet 의 AP MAC Address 값을 가진다. 해당 frame 에 대한 uplink/downlink 유형은, Frame Control field 에 의해서 지시 된다.

A3, A4 fields 는 Destination MAC Address, Source MAC Address 을 나타내며, 필요에 따라 선택적으로 short MAC frame 에 포함된다. 예를 들어, Transmitter Address 와 Source MAC Address 가 같은 경우, Source MAC Address 는 생략된다. Receiver Address 와 Destination MAC Address 가 같은 경우, Destination MAC Address 는 생략된다.

Short MAC frame 을 IEEE 802.11 MAC frame format 과 비교해 보면, 두 가지 큰 특징이다. 첫 번째는 중복된 MAC Address 을 줄였다는 것이고, 두 번째는 2 octet 의 Duration/ID field 가 short MAC frame 에는 포함되지 않는다는 것이다.

RA or TA field 을 Association ID로 대체 했다는 것은,

short MAC frame 은 association 이후에 사용할 수 있다는 것을 의미한다. 또한, Duration/ID field 가 없다는 것은, short MAC frame 을 Transmission Opportunity (TXOP) 안에서 연속적으로 전송하려는 경우, NAV 설정을 통한 protection 이 되지 않는다는 것을 의미한다.

Short MAC frame 을 사용하게 되면, Data frame 에서 MAC header 가 차지하는 overhead 을 26 octet 에서 12 octet으로 줄일 수 있다.

Multicast/Broadcast frame 을 전송할 경우, AP 는 short MAC frame 사용해 전송할 수 있다. 단말이 특정 multicast group address 에 대해 Multicast ID (MID) 을 요청하고, AP 는 해당 multicast group address 와 mapping 되는 MID 을 Association ID 의 범위 안에서 선택하게 된다. 예를 들어, 어떤 AP 가 8,000 - 8,192 범위의 AID 을 MID 용도로 지정해 사용한다고 할 때, AP 가 단말 별로 할당하는 AID 는 8,000 미만의 값이어야 한다.

이와 같이 특정 multicast group address 에 대해 13 bit 의 MID 값이 할당 되면, short MAC frame 의 A1 field 는 MID 값을 포함하는 2 octet 정보를 가지며, A2 field 는 6 octet 의 AP MAC Address 값을 가진다.

단말간 직접 통신에서도, short MAC frame 이 사용될 수 있다. 단말간 직접 통신을 위해서는 Direct Link Setup (DLS), Tunneled Direct Link Setup (TDLS) protocol 을 통해 capability negotiation 이 필요하다. Capability negotiation 과정 중에, 각 단말들은 자신의 AID 값을 상대 단말에게 전달 하게 된다. 상대 단말로 short MAC frame 을 사용해서 DATA frame 을 전송하는 경우, A1 field 는 6 octet 의 상대 단말의 MAC Address 값을 가지며, A2 field 는 자신에게 할당된 13 bit 의 Association ID 값을 포함하는 2 octet 정보를 가진다.

Short MAC frame 과 별도로, IEEE 802.11ah 에서는 RTS, CTS, ACK, Block ACK 과 같은 control frame 들에 대해

NDP MAC frame 이라는 더욱 최적화된 control format 을 지원한다.

〈그림 2〉는 IEEE 802.11ah 에서 제안된 NDP MAC frame format 을 보여 주고 있다.

NDP frame 은 IEEE 802.11n 에서부터 도입된 Null Data Packet 을 의미하는 것으로, NDP MAC frame 은 MAC frame 이 NDP frame 형태로 전송된다는 것을 의미한다.

NDP frame 을 살펴보면, STF, LTF, SIG 로 구성되며 PSDU 가 없는 PPDU 에 해당된다. PSDU 가 없다는 것은, MAC 계층으로부터 전달된 frame 정보가 없다는 것을 의미한다.

RTS, CTS, ACK, Block ACK 과 같은 control frame 들은, 사용 빈도는 매우 높지만 frame 크기가 매우 작은 frame 들이다. 예를 들어, ACK control frame 의 경우, FCS field 을 제외하고 10 octet 밖에 되지 않는다. 따라서, control specific information 을 PLCP header 의 SIG field 에 encoding 할 수 있다면 해당 control frame 들을 NDP frame 형태로 전송할 수 있게 되어 MAC protocol overhead 을 크게 줄일 수 있게 된다.

NDP MAC frame body field 는, control specific information field 에 해당된다. 예를 들어, NDP MAC frame 이 ACK control frame 을 의미한다면, NDP MAC Frame Type, ACK ID, Duration, More Data field 등이 NDP MAC frame body 에 포함된다.

NDP MAC Frame Type sub-field 는, 해당 NDP MAC frame 이 ACK control frame 이라는 것을 나타낸다. ACK ID sub-field 는, 해당 ACK frame 이 어떤 frame 에 대해서 acknowledgement 을 해주는지를 식별해주는 역할을 한다. Duration sub-field 는, ACK frame 이후에 얼마만큼의 시간 동안 NAV 값을 설정해야 하는지를 나타낸다. More Data sub-field 는, AP 에 ACK frame 을 수신하는 단말을 향해 buffered frame 이 있는지 여부를 나타낸다.

ACK frame 을 NDP MAC frame 으로 전송하게 되면, NDP MAC frame body 크기 제약으로 인해 ACK ID 가 상대적으로 줄어드는 문제점을 가진다. IEEE 802.11 MAC control frame 에 정의된 ACK frame 은 6 octet 의 Receiver Address 을 ACK ID로 사용해, 해당 ACK frame 의 수신자가 특정 단말 하나로 정해 질 수 있다. 하지만, STA MAC Address 대신 local ID 을 사용하게 되면, false positive alarm 을 유발할 수 있다. 즉, A가 B로 DATA frame 을 전송함과 동시에 C 가 D로 DATA frame 을 전송하였다. B 는 A가 전송한 DATA frame 을 성공적으로 수신하였지만, D는 C가 전송한 DATA frame 을 성공적으로 수신하지 못하였다. 만약, 두 개의 DATA frame

전송이 동일한 시점에 끝난다고 할 때, B 가 전송하는 ACK frame 을 A 와 C 모두 들을 가능성이 있다. 여기서, ACK ID 가 local ID 을 의미하게 된다면, C 가 수신한 ACK frame 이 D로 부터 온 것이 아니라는 것을 구별해 내지 못할 수 있다. 그로 인해, C가 D로 전송한 DATA frame 이 실제 D가 수신 받지 못하였음에도 불구하고, C에 의해서 재전송 없이 버려지는 문제가 발생할 수 있는 것이다.

NDP Indication field 는, PLCP header 의 SIG field 을 해석할 때, 이것이 PSDU 에 대한 encoding 정보를 나타내는 normal SIG 인지, NDP MAC frame 의 control specific information 에 해당하는지를 나타낸다.

## 2. SIG Channel Access Protocol

현재의 IEEE 802.11 MAC/PHY 기술로 8,000 개의 단말들을 동시에 지원하는 것은 여러 가지 문제점을 가진다. 예를 들어, 8,000 개의 단말 중 1% 에 해당하는 80개의 단말들에 대해, AP 가 buffered frame 을 보관하고 있다고 가정한다. AP 는 80개의 단말들에 대한 paging signal 로써 Traffic Indication Map (TIM) information element (IE) 을 Beacon frame 에 포함시켜 단말들에게 전송한다. TIM IE 을 통해 수신해야 할 buffered frame 이 AP 에 있다는 것을 확인한 단말들은 PS-Poll frame 을 AP 에 전송한다. PS-Poll frame 을 수신한 AP 는, PS-Poll frame 에 대한 응답으로 buffered frame 을 해당 단말에게 전송한다. 80개의 단말들이 모두 TIM IE 을 확인하였다면, 해당 단말들은 PS-Poll frame 을 전송하기 위해 contention process 을 수행하게 된다. DCF, EDCA protocol 을 통해 하나의 단말이 PS-Poll frame 을 전송하게 되었을지라도, hidden node 관계를 가지는 다른 단말이 back-off 을 계속하여 PS-Poll frame 을 전송해 collision 을 발생 시킬 수 있다.

IEEE 802.11ah channel access protocol 에서는, EDCA protocol 성능 개선을 위해 Restricted Access Window (RAW) 라는 새로운 개념의 channel access protocol 을 제안하고 있다.

〈그림 3〉은 IEEE 802.11ah 에서 제안된 RAW 의 structure 을 보여 주고 있다.

AP 는 Beacon frame 에 RAW Parameter Set (RPS) IE 을 포함하여, Restricted Access Window 을 Beacon Interval 안에 설정한다. RAW 가 설정되면, RAW 안에서 channel access 는 해당 RAW 에서 channel access 가 허용되는 단말들로 한정 된다. 예를 들어, RPS IE 을 통해 paged STA 만이 channel access 가 허용되는 RAW 을 설정한 경우, paged STA 외에 단

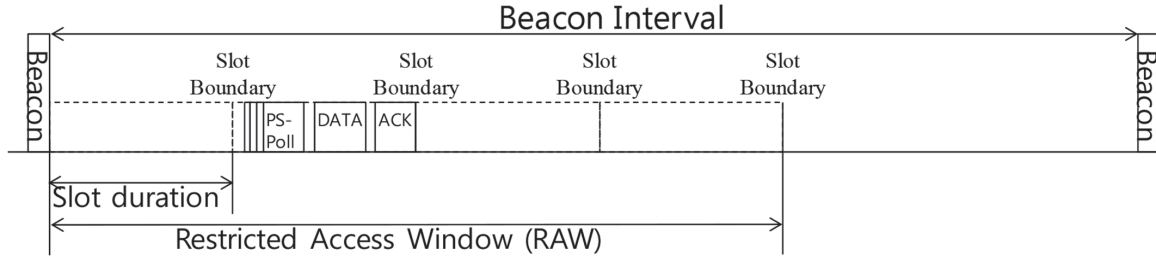


그림 3. Restricted Access Window (RAW) Structure

말들은 해당 RAW 에서 channel access 가 허용되지 않는다.

RAW 는 복수의 Slot 들로 나누어 지며, 각각의 Slot 은 동일한 Slot Duration 을 가진다. RAW 안에서 channel access 가 허용되는 단말들은, AP로부터 channel access 을 시작할 수 있는 Slot 을 할당 받는다. <그림 3>의 예제에서는 RAW 가 4 개의 Slot 들로 구성되어 있고, RAW 안에서 channel access 가 허용되는 단말이 두 번째 Slot 을 할당 받았다. 해당 단말은 두 번째 Slot 의 Slot Boundary 에서부터 EDCA protocol 을 통한 contention process 을 수행하게 된다.

RAW 안에서 channel access 가 허용되는 단말들 중에, 복수의 단말들이 하나의 Slot 에 할당될 수 있다. 이 경우, 각각의 단말들이 EDCA protocol 을 통한 contention process 을 수행하기 때문에, 자신에 할당된 Slot 의 Slot Duration 이후에 전송 기회를 잡을 수 있다. RPS IE 에는 Cross Slot Boundary bit filed 가 포함된다. 만약, Cross Slot Boundary bit 이 true 인 경우, 단말은 자신에 할당된 Slot 의 Slot Duration 이후에 전송 기회를 잡는 것이 허용된다. 그렇지 않고, Cross Slot Boundary bit 이 false 인 경우, 단말은 자신에 할당된 Slot 의 Slot Duration 이후에 전송 기회를 잡는 것이 허용되지 않는다. Cross Slot Boundary bit 옵션을 통해, 앞쪽 Slot 을 할당 받은 단말과 뒤쪽 Slot 을 할당 받은 단말들 간에 불균등한 channel access 문제를 해결할 수 있다.

RAW 의 운영과 관련해서, AP 는 Beacon Interval 안에서

여러 개의 RAW 을 설정할 수 있으며, 이를 위해 RPS IE 는 RAW Start Time, RAW Duration field 들을 포함한다. 예를 들어, AP 가 Beacon Interval 안에서 2개의 RAW 을 설정하고, 첫 번째 RAW 는 paged STA 들의 PS-Poll frame 전송으로만 사용하고, 두 번째 RAW 는 PS-Poll frame 을 전송한 paged STA 들로 downlink DATA frame delivery 용도로 사용 할 수 있다.

RAW 안에서 각각의 Slot 마다 contention process 을 수행하는 단말의 수는, AP 에 의해서 조절 될 수 있다. 또한, 각각의 Slot 에서 channel access priority 값이 변경 될 수 있다.

<그림 4>은 RAW 내부 구간과 RAW 외부 구간에서의 EDCA back-off procedure 을 보여 주고 있다.

단말들은 RAW 내부 구간과 RAW 외부 구간에서 contention process 수행할 때, 각각 서로 다른 Back-off function state 을 관리 한다. Back-off function state 는, Back-off Counter, Contention Window 값들을 의미한다.

<그림 4>에서 STA1 이 전송할 frame 이 생겨, back-off procedure 을 수행하는 것을 볼 수 있다. 이어서, Beacon frame 을 수신하였고, Beacon frame 의 RPS IE 을 통해 RAW 설정과 자신이 첫 번째 Slot 에서 channel access 을 할 수 있다는 것을 확인하였다. STA1 은 첫 번째 Slot 에서 contention process 을 수행하게 되는데, 이때 back-off function state 는 기존에 진행 중인 back-off function state 와 무관한 별도의

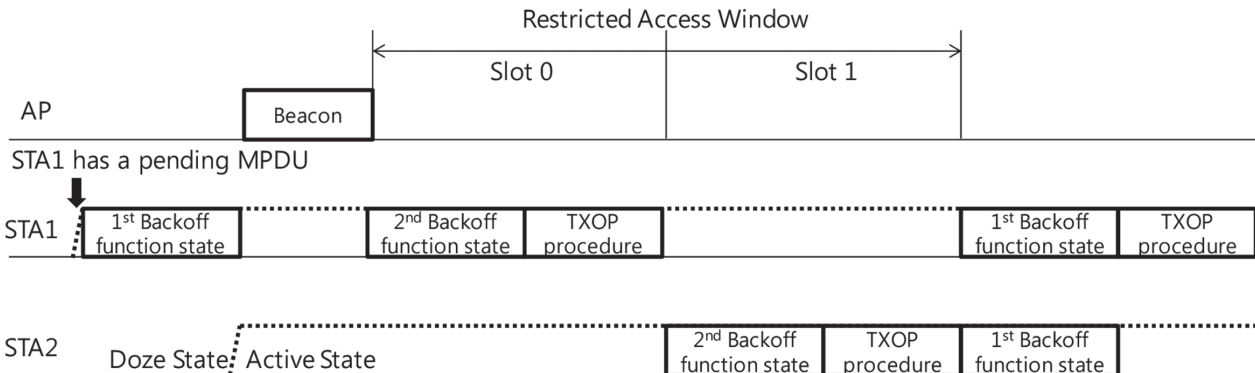


그림 4. Back-off Procedure in Restricted Access Window (RAW)

것이다. 즉, 단말이 RAW 외부 구간에서 contention process 을 수행하면서 가지고 있던 back-off parameter 을 1st Back-off function state 라고 부르고, RAW 안에서 contention process 을 수행하게 되면 1st Back-off function state 는 별도 저장 관리된다. RAW 안에서 contention process 수행하는 동안 가지게 되는 back-off parameter 는 2nd Back-off function state 라고 부르며, 이 값 역시 RAW 외부 구간에서는 별도 저장 관리된다. 도4에서 볼 수 있듯이, 1st Back-off function state 가 RAW 구간에서는 사용되지 않고 저장 관리되었다가, RAW 외부 구간에서 다시 복구 되어 사용됨을 알 수 있다. STA2 도 RAW 내부 구간과 RAW 외부 구간에서, 각각 서로 다른 Back-off function state 가 사용되어 contention process 을 수행함을 알 수 있다.

단말들이 uplink frame 을 전송하기 위해 Doze state에서 Awake state로 이동하는 경우, 정상적인 PLCP header 을 detection 하거나 그렇지 않다면 ProbeDelay 만큼의 시간 동안 channel sensing 을 수행해야 한다. 그리고, hidden node 와 같은 문제를 해결하기 위해서는, ProbeDelay 값을 Max PPDU 전송 시간으로 설정 할 필요가 있다. 하지만, Max PPDU 전송 시간은 상대적으로 매우 큰 값으로 단말의 전력 소모 입장에서는 바람직한 절차는 아니다. IEEE 802.11a/b/g/n/ac 에서는 구현에 따라 다른 값이 설정되며 일반적으로 ProbeDelay 는 0 을 가진다.

이러한 문제를 해결하기 위해서, AP 는 synch control frame 을 RAW 안에서 각각의 Slot Boundary 마다 전송할 수 있다. 도4에서 STA2는 두 번째 Slot 에서 uplink frame 을 전송하기 위해 contention process 을 수행하고 있다. STA2 는 전력 소모를 줄이기 위해 Beacon frame 을 수신하고 두 번째 Slot 이 시작할 때까지 Doze state에 있었고, Awake state로 이동하게 된다. STA2 는 정상적인 PLCP header 을 detection 하거나 그렇지 않다면 ProbeDelay 만큼의 시간 동안 channel sensing 을 수행해야 한다. 만약 AP 가 synch control frame 을 두 번째 Slot Boundary 에서 전송하게 되면, 정상적인 PLCP header 을 detection 하여 즉시 contention process 을 시작할 수 있게 된다.

Synch control frame 은 hidden node 가 많은 환경에서, Doze state에서 Awake state 로 이동하는 저전력 단말의 전력 소모를 줄이는데 효과적인 방법이다. 하지만, 너무 많은 Synch control frame 이 사용되면 network performance 을 떨어뜨리는 요인이 된다. 때문에, Synch control frame 은 NDP MAC frame으로 사용된다.

### III. 결론

IEEE 802.11ah 표준은, Smart Grid, M2M, IoT 와 같이 실내, 실외에서 많은 수의 단말들을 최소한의 전력 소모로 지원하기 위해 개발되었다. 서비스 범위를 늘리기 위한 목적으로 PHY 계층에서는 1MHz 채널 대역폭을 가지는 32FFT OFDM 과 OFDM symbol 단위의 2x repetition mode 을 지원한다. 또한, 실외 환경의 mobility 을 고려해, 기존의 fixed pilot 에서 전체 OFDM tone 을 커버하는 traveling pilot 을 지원한다.

1GHz 이하에서 비 면허로 사용할 수 있는 채널은 매우 적으며, 채널 대역폭 역시 1/2/4/8/16 MHz 밖에 되지 않는다. 따라서, IEEE 802.11ah 의 낮은 PHY rate 을 보완하기 위해 MAC 에서 protocol overhead 을 줄이는 노력이 매우 중요하다. 이를 위해 short MAC frame, NDP MAC frame, short Beacon frame 등이 IEEE 802.11ah 에 새로 개발 되었다.

실내와 다르게 실외에서는 hidden node 에 해당되는 단말 수가 상대적으로 많이 존재한다. 기존의 IEEE 802.11a/b/g/n/ac 표준 기술들은 주로 실내 환경을 다루기 때문에, hidden node 문제에 대해 많은 관심을 기울이지 않았다. 하지만, IEEE 802.11ah처럼 실외에서 많은 수의 단말들을 지원하는데 있어 hidden node 문제는 network throughput 과 단말 전력 소모를 향상시키는데 있어 중요한 이슈이다. 이를 위해 Restricted Access Window 라는 새로운 channel access protocol 이 IEEE 802.11ah 에 개발 되었다.

그 밖에 IEEE 802.11ah 는 2-hop 안에서 Relay functionality 을 지원하며, Sector BSS 의 구성을 지원한다. 또한, Sub-channel Selective Transmission (SST) 라는 frequency hopping 방식의 channel access protocol 을 지원한다. 이러한 모든 기능들은, WLAN 의 서비스 범위를 늘리고 IoT 와 같이 미래의 새로운 단말들의 출현을 지원하기 위해 필요한 것들로 개발된 것이다.

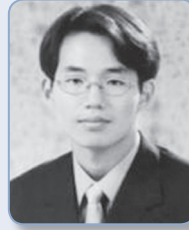
### 참고 문헌

- [1] <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/13/11-13-0500-01-00ah-proposed-tgah-draft-amendment.docx>
- [2] <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/11/11-11-1137-15-00ah-specification-framework-for-tgah.docx>
- [3] <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/12/11-12-0831-00-00ah-uplink-channel-access-general->

procedure.ppt

- [4] <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/13/11-13-0080-00-00ah-backoff-procedure-in-raw.ppt>

## 약 력



석 용 호

2000년 한동대학교 공학사  
 2002년 서울대학교 공학석사  
 2005년 서울대학교 공학박사  
 2005년~2006년 INRIA Post-doctoral 연구원  
 2006년~현재 LG전자 차세대통신연구소  
 책임연구원  
 2011년~현재 IEEE 802.11 Task Group ah  
 부의장  
 2011년~2012년 Wi-Fi Alliance Power  
 Conservation MTG 부의장  
 관심분야: IEEE 802.11, Wi-Fi, WLAN,  
 Internet of Things, M2M