

# 2.4GHz 대역에서의 고속 무선LAN 표준 IEEE 802.11g

김대근 | KT 서비스개발연구소 Nespot연구팀 휴대무선연구실 선임보안연구원

## 1. 서론

2002년부터 상용 서비스가 시작된 공중 무선LAN 서비스는 기존의 유선의 고속전송 지원과 무선의 편의성을 제공하는 특징을 가지고 있으므로 무선 초고속인터넷 서비스로 주목받고 있다. 현재 공중 무선LAN 서비스는 IEEE 802.11b 표준에 따르는 제품으로 이루어지고 있으나, 고속전송이 가능한 다양한 무선LAN 표준과 이에 따르는 제품이 출시되었거나 출시될 예정에 있으므로 향후 어떠한 표준으로 진화할 것인가가 큰 관심이 되고 있다. 본 고에서는 IEEE 802.11g 표준에 대한 개략적인 내용을 살펴보고, 기존의 표준들과 어떤 차이가 있는지 알아보려고 한다.

## 2. 역사적인 배경

무선LAN에 관한 IEEE 802.11 표준은 1997년 7월 2.4GHz ISM대역에서 최대 2Mbps를 지원하는 세 가지 물리계층과 MAC(media access control)계층에 대해 제정되었다. 세 가지 물리계층은 DSSS(direct sequence spread spectrum), FHSS(frequency hopping spread spectrum), Ir(infrared)이다. 802.11 표준은 모두 16개의 절(clause)과 부록으로 이

루어져 있다. 이어 5GHz U-NII(unlicensed national information infrastructure)대역에서 새로운 규격을 제정하기 위해 TGa(Task Group a)가, 기존 2.4GHz대역에서 고속전송을 위한 TGb(Task Group b)가 결성되어 활동하였으며, 1999년 9월 각각 IEEE 802.11a와 802.11b 표준으로 승인을 받았다. IEEE 802.11a 표준은 802.11 표준의 4절(Abbreviations and acronyms), 9.1절(Multirate support), 10.4절 (PLME(physical layer management entity) SAP(service access point interface)에 몇 가지 내용을 추가하였으며, OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 방식에 대한 새로운 내용을 17절로 추가하였다. IEEE 802.11b 표준은 802.11 표준의 3.8절(Basic service set(BSS) basic rate set), 4절(Abbreviations and acronyms), 7.2.3.1절(Beacon frame format), 7.2.3.9절(Probe Response Frame format), 7.3.1.4절(Capability Information field), 7.3.1.9절 (Status Code field), 7.3.2.2절(Supported Rates element), 9.2절(DCF), 9.6절(Multirate support), 10.3.2.2절(MLME\_scan.confirm, MLME(MAC sublayer management entity)), 10.3.2.2.2절 (Semantics of the service primitive)에 내용을 변경 혹은 추가하였으며, 새로운 내용을 18절로 추가하

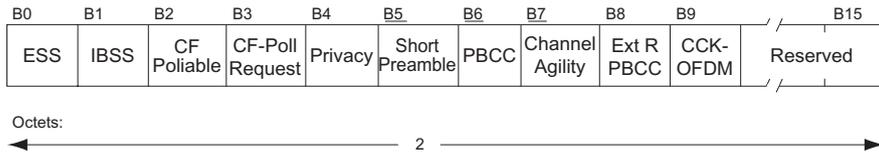
였다.

2000년 3월 고속전송을 위한 802.11b 스티디 그룹이 결성되었다. Higher Rate IEEE 802.11b 스티디 그룹의 목적은 기술적인 확장을 도모하고 IEEE 802.11b-1999 표준과의 상호운용을 보장하면서 20Mbps 이상의 고속으로 전송할 수 있게 하는 향상된 성능의 무선LAN 표준을 제정하는 것이다. 2000년 5월 회의는 2.4GHz 대역에서 20Mbps 이상의 전송 속도로 IEEE 802.11b 표준을 확장하는 것에 집중되었다. 이때 IEEE 802.11b 표준의 확장을 위해서 PAR(00/114, "Draft Project Authorization Request(PAR) Higher Rate IEEE 802.11b Study Group(HRbSG)")과 5 Criteria(00/115, "5 Criteria for Higher Rate IEEE 802.11b Study Group(HRbSG)") draft 문서가 발행되었고, 이 draft 문서들은 7월 회의에서 HRbSG에 의해 최종적으로 승인되었다. 2000년 12월 회의에서 HRbSG는 세션이 끝나기 전에 PAR의 공식승인을 얻어 TGg로 되었다. 관련 문서에 대한 개정을 거쳐서 PAR (doc.00/114r2)가 공식승인되었고, TGg로의 이름으로 첫 모임을 가졌다. 회의기간 동안에 문서 00/209r3가 TGg를 위한 Official Proposed Selection Procedure로써 채택되었고, 문서 00/210r4와 00/211r9가 Official Requirements와 Comparison Criteria로써 채택되었다. 2001년 1월 회의에서는 12월에 선택한 문서(00/209r3, "Official Proposed Selection Procedure")의 제안서 선택절차에 따라서 제안서들을 draft로 만들기 위한 선택작업을 하였다. 참고로, 00/209r3문서는 제안서 선택절차로 20단계로 나누어 놓았고, 이 회의에서 17단계까지의 선별작업을 통해서 3개의 문서가 이 단계까지 통과하였다. 이 문서들은 00/388-397(OFDM), 00/366r1(MBCK), 00/384-385(PBCC)이다. 2001년 3월 회의에서 19단계의 선별작

업을 통해 MBCK에 대한 제안서가 누락되었고, 현재 PBCC(00/384-385, 01/140-2)와 OFDM(00/388-397, 01/155)에 대해서 논의를 계속하여, 2001년 11월 회의에서 최종적으로 OFDM이 선정되었다. 2002년 8월 802.11g-D2.8 draft 표준문서로 나와 있으며, 계속적으로 letter ballot 및 comment와 그에 대한 해결방안을 모색하는 작업을 하고 있다. 2003년 1월 회의에서 802.11g에 대한 최종승인이 2003년 9월로 연기되었다. IEEE 802.11g/Draft2.5에 따르면, 기준은 802.11 표준의 4절(Abbreviation and acronyms), 7.2.3.1절(Beacon Frame Format), 7.2.3.9절(Probe Response Frame format), 7.3.1.4절(Capability Information field), 7.3.2.2절(Supported Rates element), 7.3.2.9절(NonERP Indication Element), 9.6절(Multirate support), 10.4.4절(PLME-DSSSTESTMODE.request)가 수정되거나 추가되었으며, 새로이 19절이 ERP(Extended Rate PHY)로 추가되었다.

### 3. 기존의 표준에서 추가 혹은 변경된 내용

본고에서 참조한 IEEE 802.11g/D2.5에서는 802.11g 표준에 따르는 PHY를 ERP(Extended Rate PHY)라고 하고, 기존의 802.11과 802.11b를 따르는 PHY를 NonERP라고 구분하였다. 또한 CCK-OFDM(Complementary Code Keying-Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 지원하기 위해 (그림 1)과 같이 Capability Information field를 다음과 같이 변경하였다.

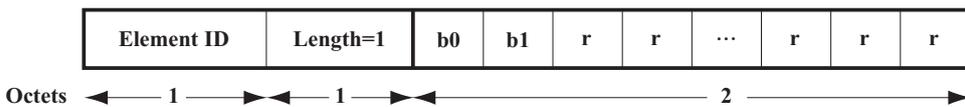


(그림 1) Capability Information fixed field

AP는 고속전송을 위해 11b와 마찬가지로 short preamble을 설정하도록 되어있으며, 그렇지 않을 경우는 Short Preamble subfield를 0으로 설정해야 한다. ERP STA(station)들은 dot11ShortPreamble OptionImplemented MIB 변수를 true로 설정하여 ERP 장치들이 long이나 short format preamble을 지원할 수 있도록 해야 한다. AP와 STA은 PBCC(Packet Binary Convolution Coding)를 지원하도록 PBCC subfield를 1로 설정하여야 하며, 지원하지 않을 경우는 0으로 설정한다. 22Mbps 혹은 33Mbps를 지원하는 ERP STA들은 ERP-PBCC를 지원한다. (그림 1)의 Capability Information field의 bit 7(B7)은 HR/DSSS혹은 ERP PHY에서 Channel Agility capability를 사용할 것인가를 나타내는데 사용되며,

사용될 경우 1로 설정되고 그렇지 않으면 0으로 설정된다. Extended Rate PBCC를 지원하기 위해서는 bit 8(B8)이 1로 설정되어야 한다. CCK-OFDM을 지원하기 위해서는 bit 9(B9)가 1로 설정되어야 한다.

NonERP Indication Element는 기존의 802.11 혹은 802.11b 장치가 802.11g 장치와 함께 동일한 BSS(Basic Service Set)에 접속되어 있을 때, 망의 효율을 높이기 위해 보호 메커니즘을 사용하도록 한다. 이러한 보호 메커니즘에는 RTS/CTS, CTS to self 등이 있으며, 이는 NonERP 장치가 활성중일 경우에는 OFDM 헤더가 있는 프레임 전송하지 않도록 하는 것이다. (그림 2)과 <표 1>과 같이 b0, b1 bit를 설정하여 NonERP 장치가 접속되었는지의 유무를 판단한다.



(그림 2) NonERP Indication Element

<표 1> NonERP Indication Element 사용

Bit b0	Bit b1	Meaning
0	0	No IEEE 802.11 clause 15 or clause 18(NonERP) stations are associated, and the SENDER requires that protection mechanisms not be used.
0	1	No IEEE 802.11 clause 15 or clause 18(NonERP) stations are associated, but the SENDER requires the use of protection mechanisms
1	0	There are clause 15 or 18(NonERP) stations associated, but the SENDER requires that protection mechanisms not be used.
1	1	There are clause 15 or 18(NonERP) stations associated, and the SENDER requires the use of protection mechanisms

기존의 장비와 호환성을 위해서 모든 control frame은 BSS 기본속도로 전송되어야 한다. ERP PHY에 대해서는 control frame이 OFDM 프레임에 대응하는 ERP mandatory 속도로 전송된다.

## 4. 새로 추가된 19절 Extended Rate PHY Specification의 내용

### (1) 동작 모드

802.11g 장치 즉 ERP 장치의 무선부분은 802.11a와 802.11b 무선규격의 필수항목은 모두 포함한다. 단지 채널에 관한 부분은 802.11b의 2.4GHz 대역의 채널을 사용한다. ERP 장치들은 802.11b의 short preamble을 송신하거나 수신할 수 있어야 한다. 즉, ERP 장치들은 802.11a의 OFDM 변조와 802.11b의 채널과 타이밍을 사용한다. ERP 장치들은 ERP와 802.11b preamble을 자동적으로 지원해야 하며, 이것은 ERP와 802.11b CCA(Clear Channel Assessment) detector가 동시에 활성상태에 있어야 함을 의미한다. ERP 네트워크는 다양한 PHY 즉 pure OFDM, mixed OFDM, Barker/CCK, pure Barker/CCK를 지원해야 한다. 이러한 필수항목 이외에도 선택적으로 PBCC-22와 PBCC-33 그리고 CCK-OFDM을 지원해야 한다.

### (2) ERP 개요

ERP는 다양한 payload data 속도를 지원한다. 802.11의 Barker 변조를 이용하여 1Mbps 혹은 2Mbps를 지원하며, 802.11b의 CCK 혹은 PBCC를 이용하여 5.5Mbps와 11Mbps를 지원한다. 또한,

802.11a의 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps를 short OFDM preamble과 함께 지원하며, 이중에서 6, 12, 24Mbps는 필수적인 항목이다. PBCC 선택을 지원하는 ERP는 5.5, 11, 22, 33Mbps를 지원한다. CCK-OFDM 선택에서는 6, 9, 12, 18, 24, 36, 54Mbps를 지원한다. 이를 정리하면 아래와 같다.

- ERP(필수)
  - 802.11b의 필수항목을 사용하며, 그 중 아래의 내용을 변경한다.
    - Short PLCP PPDU(PLCP Protocol Data Unit) 헤더 포맷은 필수이다.
    - Clear Channel Assessment(CCA)는 802.11g의 sync symbol을 감지한다.
    - 최대 입력신호 레벨은 -10dBm에서 -20dBm으로 한다.
    - Transmit center 주파수와 symbol lock 주파수를 같은 reference oscillator에 고정시키는 것을 필수로 한다.
  - 802.11a의 필수항목을 사용하며, 그 중 아래의 내용을 변경한다.
    - 주파수와 채널은 802.11b을 항목을 사용한다.
    - CCA는 802.11g의 sync symbol을 감지한다.
    - Frequency accuracy는  $\pm 20\text{PPM}$ (part per million)에서  $\pm 25\text{PPM}$ 으로 완화된다.
- Extended Rate PBCC(선택)
  - 이것은 payload를 256 상태의 binary convolutional code를 사용하여 코딩하는 single tone 변조기법으로 802.11b에서 정의된 PBCC의 확장이다. ERP PHY가 PBCC를 지원하는 경우는 모든 PBCC 속도 즉 5.5, 11, 22, 33Mbps를 지원한다.
- CCK-OFDM(선택)
  - 이것은 DSSS preamble과 헤더를 OFDM 전송

에 결합한 것으로 선택에서는 6, 9, 12, 18, 24, 36, 54Mbps를 지원한다.

ERP PHY는 다음의 두 개의 프로토콜 기능으로 구성되어 있다.

- a) 물리계층 통합기능(physical layer convergence function) : 이 기능은 PMD(physical medium dependent) 시스템을 적당한 PHY 서비스로 정합시키는 역할을 한다. 이 기능은 접속된 PMD(physical medium dependent) 시스템을 사용하는 두 개 혹은 그 이상의 STA들 사이에 사용자 데이터와 관리정보를 송수신하는데 필요한 MPDU(MAC sublayer protocol data unit)를 정의하는 PLCP가 지원한다. PHY는 PSDU(PLCP service data unit)를 포함하는 PPDU(PHY protocol data unit)를 서로 교환한다. MAC은 PHY 서비스를 이용하므로, MPDU는 PPDU에 의해 전송되는 PSDU에 상응되는 데이터 단위이다.
- b) PMD 시스템 : 이 기능은 ERP PHY를 사용하는 두 개 이상의 STA 사이에 무선으로 데이터가 송

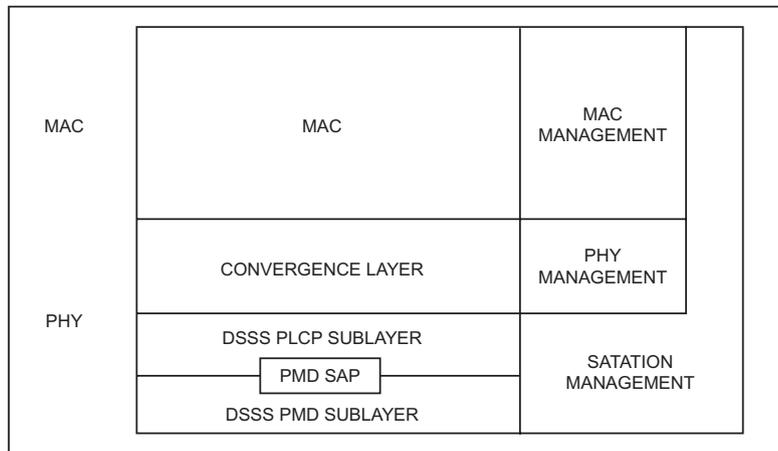
신되거나 수신되는 특성이나 방법을 정의하고 있다.

ERP PHY의 구조는 (그림 3)에 나타난 802.11b의 구조와 동일하다. ERP PHY는 세 가지 기능요소 즉 PMD 기능, PHY 통합기능, 계층관리 기능을 가지고 있다.

ERP PHY 서비스는 802.11에서 정의된 PHY 서비스 primitives를 통해 MAC에 전달된다. CSMA/CA 메커니즘을 사용해서 공평성과 상호호환성을 보장하도록 하고 있다. 이 경우 NonERP 장치들은 자신들이 처리하지 못하는 트래픽을 감지하여 전송을 지연할 수 있도록 되어 있다.

### (3) ERP PLCP sublayer

이 부계층은 PSDU가 어떻게 PPDU로 변환되는가 하는 것을 규정하고 있다. PSDU에 PLCP preamble과 헤더가 붙여짐으로써 PPDU가 이루어진다. Preamble과 헤더는 수신기에서 복조하고 PSDU를 전달하는데 사용된다. ERP는 세가지 preamble과 헤더 포맷을 지원한다. 첫째는 Long Preamble과 헤더



(그림 3) 계층 참조모델

로 이것은 802.11b 표준에 규정된 것과 같다. 둘째는 Short Preamble과 헤더로 이것도 802.11b에 선택으로 규정되어 있다. 셋째는 802.11a에서 규정된 OFDM preamble과 헤더이다.

(그림 4)는 802.11b에서 설명된 long preamble PPDU의 기본적인 포맷이다. 이 preamble은 1, 2, 5.5, 11Mbps까지 지원하고 있다. ERP에서 새로 규정된 선택 모드를 지원하기 위해서는 Long Preamble PPDU 포맷은 아래와 같이 변경되어야 한다.

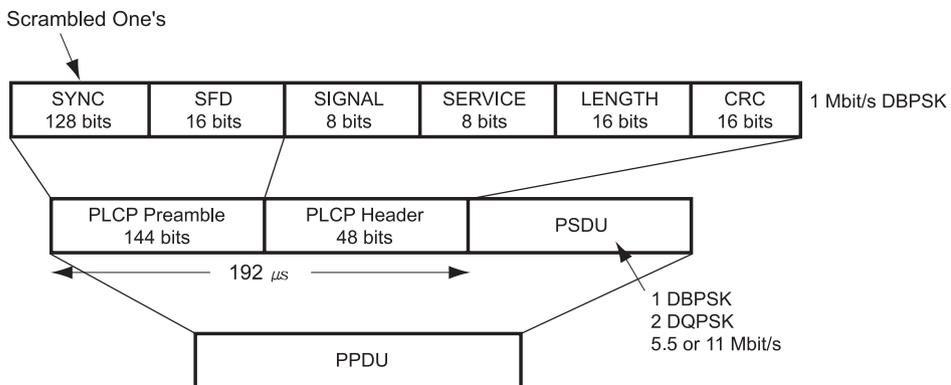
- SERVICE field에서 선택인 CCK-OFDM 모드를 나타내기 위해 한 bit가 사용됨
- 선택인 PBCC-22와 PBCC-33의 길이의 모호성을 해결하기 위해 두 bit가 사용됨

단일 캐리어로 전송되는 CCK와 다중 캐리어로 전송되는 OFDM을 동일 대역에서 혼재하여 사용하기 위해서는 동일 패킷에 단일 캐리어 신호부분과 OFDM 신호부분이 밀접하게 연계되어 설계되어야 한

다. 이를 위해 802.11g 규격에서는 CCK로 변조된 동일한 구조의 헤더를 사용하여 연속되어 전송될 변조방식을 구분하고 있다. 헤더 부분의 서비스 필드는 8비트로 구성되어 있으며 구체적인 내용은 <표 2>와 같다. b0 비트는 앞으로 전송될 데이터가 어떤 변조방식(CCK 또는 OFDM)을 사용할 것인지를 알려 줌으로써 전체 패킷에 대한 수신기에서 자동적인 동작을 가능하게 한다.

#### (4) ERP 모드

ERP는 Barker/CCK 변조를 사용하여 1, 2, 5.5, 11Mbps 전송을 지원하고, OFDM 변조를 사용하여 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps 전송을 지원한다. 이 중 1, 2, 5.5, 11, 6, 12, 24Mbps가 필수 속도이고 9, 18, 36, 48, 54Mbps가 선택이다.



(그림 4) Long PLCP PPDU 포맷

<표 2> SERVICE field 정의

b0	B1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
Modulation selection 0 = Not CCK-OFDM 1 = CCK-OFDM	Reserved	Locked Clock Bit 0 = not locked 1 = locked	Modulation Selection 0 = CCK 1 = PBCC	Reserved	Length Extension Bit(PBCC)	Length Extension Bit(PBCC)	Length Extension Bit

〈표 3〉 수신기 성능 요구조건

Data rate(Mbits/s)	Minimum sensitivity(dBm)	Adjacent channel rejection(dB)	Alternate adjacent channel rejection(dB)
6	-82	16	32
9	-81	15	31
12	-79	13	29
18	-77	11	27
24	-74	8	24
36	-70	4	20
48	-66	0	16
54	-65	-1	15

송신기에 관한 규정으로 중심 주파수 허용편차가  $\pm 25\text{PPM}$ 으로 완화되었으며, 대부분 802.11a에서 규정된 내용을 따르도록 되어있다. 수신기에 대한 규정으로는 minimum input level sensitivity, adjacent channel rejection, maximum input level이 있다. Minimum input level sensitivity는 소위 수신감도로서, 정해진 속도에서 minimum sensitivity가 1000byte 길이의 PSDU를 전송했을 때 OFDM의 PER(packet error rate)가 10% 이내이어야 한다. 〈표 3〉은 수신기 성능에 대한 요구조건을 나타내고 있다. Adjacent channel rejection은 〈표 3〉에서 규정된 sensitivity보다 3dB 높게 하여 신호를 송신하였을 때,  $\pm 25\text{MHz}$  떨어진 인접채널의 신호로 인한 간섭으로 PER이 10%가 되는 간섭신호의 크기와 송신신호의 크기의 차이로 나타난다. Maximum input level은  $-20\text{dBm}$ 으로 규정되었다.

ERP는 CCA(clear channel assessment)로써 다음의 세 가지 방법중 하나를 사용한다.

- a) CCA Mode 1 : 에너지 threshold로서 ED threshold 값보다 높은 에너지를 감지하면 채널이 busy하다고 판단한다.
- b) CCA Mode 4 : 시간으로 매체를 감지하는 것으로 OFDM과 Barker 코드의 sync symbol을 감지하여 1.3ms이내에 ERP 혹은 802.11b 신호가

감지되지 않으면 채널이 idle하다고 판단한다.

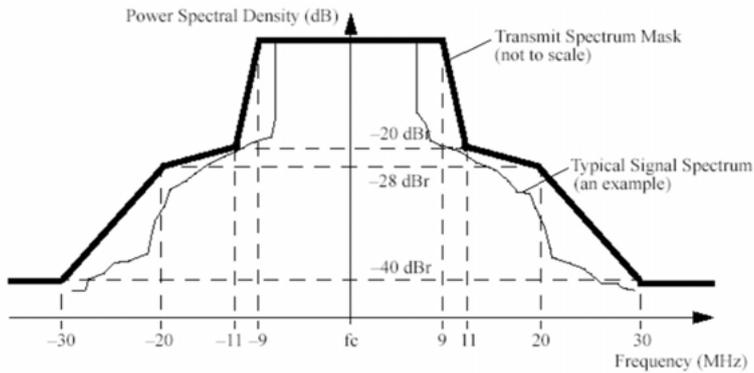
- c) CCA Mode 5 : 이것은 에너지 threshold와 매체 감지를 결합하여 사용한다. 에너지 감지는 PMD\_ED primitive에 매체 감지는 PMD\_CS primitive에 주어진다.

### (5) CCK-OFDM (선택)

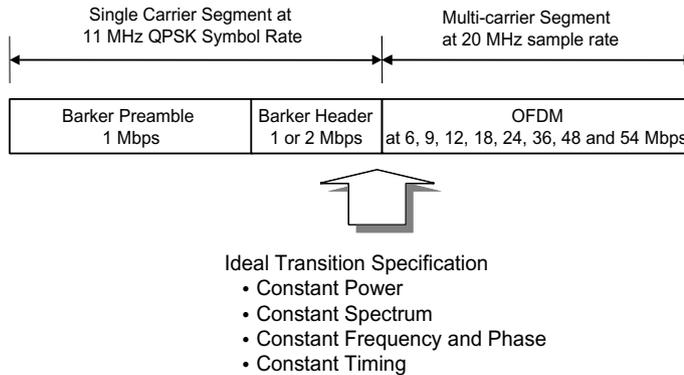
이 선택은 802.11g가 OFDM 방식을 사용하면서도 802.11b와 완벽하게 호환성을 보장하기 위한 것이다. 802.11b와의 호환성을 위해 802.11b에서 정의된 long preamble과 short preamble을 사용하며, CCA와 SIFS(short inter-frame spacing) 기능이 ERP와 NonERP 장치들이 상호운용되도록 동작해야 한다.

CCK-OFDM의 파형은 (그림 5)와 같이 802.11a의 spectrum mask에 적합해야 한다.

패킷의 Single-carrier부분은 multi-carrier (OFDM)부분과 동일한 관계를 가져야 한다. 신호상태 정보는 single-carrier부분이든 multi-carrier부분이든 전달되어야 전체적으로 성능향상을 가져올 수 있다. Single-carrier preamble과 헤더는 OFDM부분의 복조를 위한 parameter 정보를 제공한다. (그림 6)은 single-carrier와 multi-carrier의 이상적인 천이



(그림 5) Transmit spectrum mask



(그림 6) Single-carrier to multi-carrier transition 정의

를 나타내고 있다. 그림에서 constant는 주파수와 타이밍을 위해 같은 시계를 이용하고 있음을 의미한다.

이를 위해 스펙트럼 바인딩 요구사항(Spectral Binding Requirement) 등 상세한 기술적인 내용이 있으나 본 고에서는 생략하도록 한다.

## 5. 정리

지금까지 802.11g에 대한 내용을 살펴보았다. 참조한 자료는 IEEE 802.11g/D2.5 January 2002이다.

최근 회의에서 802.11g에 대한 최종표준 승인은 2003년 9월로 연기되었다고 한다. 그러나, 이미 몇몇 제조업체에서 802.11g chipset의 출시를 발표한 바 있으며, 관련 제품들도 시제품으로 나와있는 상태이다. 802.11b 제품이 Wi-Fi 상호호환성을 힘입어 많이 보급된 상황에서 802.11g가 같은 2.4GHz 대역을 사용하고 11b와 backward compatibility를 제공한다는 점에서 장점을 가지고 있다. 802.11g가 상용 제품으로 활발히 보급되기 위해서는 아직 표준의 승인과 함께 상호호환성 시험이라는 과제가 남아있어 다소 시간이 걸릴 것으로 예상된다. **TTA**