

## 2.3GHz대역 주파수 활용을 위한 표준 기술소개

### • OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

권명규 · 하나로통신 무선개발팀 팀장

박평수 · 하나로통신 무선개발팀 과장

#### 1. 서론

1999년 하나로통신이 세계최초로 ADSL 상용서비스를 시작해 본격적인 초고속인터넷 서비스 경쟁이 시작된지 3년여 만에 1000만 가입자를 돌파하였을 뿐만 아니라 이동전화 가입자는 3200만을 확보해 명실상부한 IT 강국으로써의 기반을 갖추고 있다. 이미 세계 최고의 인터넷 보급률, 세계 6위의 인터넷 이용자들이 이 사실을 뒷받침해 준다. 또한 Cyber-Community, Cyber-Society, 전자투표 등의 사이버 생활문화가 창조되고 있으며, ADSL 관련수출이 비약적으로 증대되어 관련 산업의 성장을 유인하고 초고속인터넷 신규수요와 업종이 창출되는 등 초고속인터넷의 보급에 기반하여 각종 사회적, 경제적 파급효과를 누리고 있는 실정이다.

그러나 조금 더 시장상황을 면밀히 살펴보면 지금까지의 실적에 만족하고 안위할 때만은 아닌 것 같다. 우리의 초고속인터넷과 이동전화 시장은 절정기를 지나 포화기에 접어들고 있다. 80%이상의 PC 보유가정이 초고속인터넷을 사용하고 있으며 2001년 1월 이후로 가입자 증가율이 5%이하로 낮아지고 있다. 또한 15세 이상인구의 90%이상이 이동전화

를 사용하고 있으며 가입자 증가율 또한 0% 대로 수렴하고 있는 추세이다. 또한 세계적으로 많은 이동통신 사업자들이 3G 서비스에 대한 투자와 상용화를 연기하는 상황으로 정보통신 시장의 미래에 불확실성이 가중되고 있다.

특히 이동전화 기반의 현재 무선인터넷 서비스 활용현황을 보면 전체 인구 중에서 16.4%만 무선인터넷을 이용하고 있으며 벨소리 · 캐릭터 다운로드 등 단순한 서비스 위주로 이용하고 있는 실정이다. [2] 무선인터넷이 가능한 기기 보유자가 80%인데도 무선인터넷 이용률은 25%로 저조한 것은 현재의 무선인터넷 서비스가 고객들의 욕구에는 불충분하다는 사실을 반영한다. 저렴한 요금과 초고속 서비스에 대한 고객의 Needs는 증대되고 있으나 기존의 CDMA 기술로는 고객의 욕구충족에 한계를 드러내고 있어 새로운 휴대인터넷 서비스를 위한 기술개발이 시급한 실정이다.

2.3GHz 주파수대를 이용한 휴대인터넷 서비스가 시장에서 성공하기 위해서는 저렴한 요금구조, 고속의 전송속도 그리고 이동성 등이 제공되어야 한다. 하나로통신은 이러한 시장으로부터의 요구사항을 만족시키는 많은 기술중에서 가장 적합하고 Post

CDMA를 대비할 수 있는 기술로 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 2.3GHz 표준화 방식으로 제안하며 이 기술의 장단점과 장비 개발동향에 대해 간략하게 알아보고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 OFDM 기술방식의 역사

OFDM 방식은 다수의 직교하는 반송파 신호를 다중화하는 디지털 변조방식으로 1950년대에 제안된 역사가 오래된 기술방식이다. 1960년대 중반에 고전적인 parallel data transmission 시스템의 비효율성을 극복하기 위한 방안으로 parallel data transmission and frequency division multiplexing의 개념이 정립되었다. 이 방식은 고속의 이퀄라이저의 사용을 피하고 멀티패스 페이딩과 펄스형 노이즈를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 가용대역을 충분히 사용할 수 있도록 고안되었다. 이것은 그림1에서 보는 바와 같이 서브채널간에 오버래핑 됨으로써 50%의 대역폭을 절약할 수 있는 획기적인 방법이다. (“그림 1. 각 부반송파의 스펙트럼” 참조) 그러나 이후에도 서브캐리어간 크로스토크를 줄이기 위한 방법 및 서브캐리어간 직교성을 확보하기 위한 수단들을 고민하게 되어 이에 대한 해결방안으로 모든

서브캐리어는 심볼주기 T의 정수배 만큼의 차이를 가지게 함으로써 각 서브캐리어간 직교성을 확보할 수 있는 방안을 개발하였다. 1971년에는 병렬데이터 전송 시스템의 변복조 부분을 DFT를 이용하여 처리한 방안이 고안되었으며 1990년대에 ADSL HDSL 등에 적용됨으로써 광대역화 및 이동성 등이 부가되는 기술로 개발 진행되어갔다. 최근 발전된 VLSI(Very Large Scale Integration) 기술이 고속 및 대용량의 FFT chips 을 만듦에 따라 상용화 가능성이 확보되고 이후로 DAB, HDTV, Wireless LAN (IEEE 802.11a), Wireless MAN(IEEE 802.16) 등에 표준으로 채택되어 오늘에 이르고 있다.[1]

### 2.2 OFDM 기술방식의 장단점

OFDM 기술은 서브 캐리어간 직교성을 갖는다는 것이 가장 큰 특징이며 이 특징으로부터 OFDM 기술방식의 장단점을 쉽게 유추할 수 있다. OFDM 기술방식은 직교성으로 인해 멀티패스 페이딩에 우수한 특성을 가질 수 있으며 특정 부반송파에서의 신호대 잡음비에 따라 각 부반송파에 대한 데이터 전송률을 적응적으로 조절하여 전송용량을 크게 향상시킬 수 있다. 또한 협대역 간섭이 일부 부반송파에만 영향을 주기 때문에 협대역 간섭에 강한 특성을 보인다. 특히 단일주파수 망(SFN : Single Frequency Network)이 가능하다는 점에서 방송용으로는 최적이라고 할 수 있겠다. 그러나 이 기술방

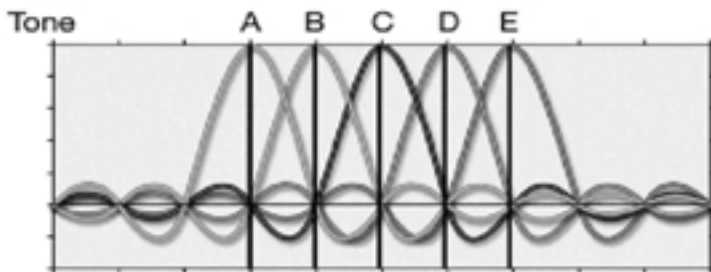


그림 1. 각 부반송파의 스펙트럼

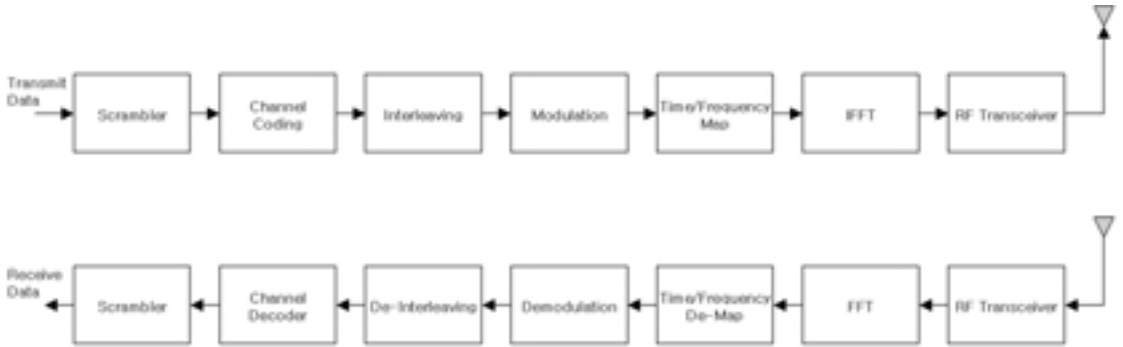


그림 2. 일반적인 OFDM 송수신 블록도

식은 반송파의 주파수 오프셋(Frequency Offset)과 위상잡음(Phase Noise)에 민감한 특성을 보인다. 이러한 특성은 직교성 확보에 영향이 미치고 곧 시스템 성능을 열화시키므로 매우 중요한 요소이다. 뿐만 아니라 OFDM 방식은 단일반송파 변조에 비해 상대적으로 큰 최대 전력대 평균전력비(PAPR : Peak to Average Power Ratio)를 가지며 이는 RF 전력증폭기의 전력효율을 감소시키는 요인이다. [1] [7]

OFDM은 여러개의 반송파를 사용하는 다수 반송파 전송기법으로서 반송파의 수에 비례해 신호의 전송주기가 증가하게 된다. 이 경우 고속 데이터 전송시 발생하는 주파수 선택적 채널에 의한 심볼간 간섭을 없앨 수 있으며 결과적으로 주파수 비선택적 채널로 근사화해 처리할 수 있게 된다. 이러한 다수 채널에 의한 신호처리는 송신단에서 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform), 수신단에서는 FFT를 이용해 고속으로 구현할 수 있다.

OFDM의 신호전송은 심볼 단위로 이루어지는데 다중경로 무선채널을 통하는 동안 심볼간 간섭이 발생하게 된다. 이러한 심볼간 간섭을 방지하기 위해 심볼과 심볼 사이에 보호구간(Guard interval)을 삽입하게 된다. 즉 채널의 최대 지연시간보다 긴 보호구간을 덧붙여 신호간 간섭을 방지하게 되는 것이다. 보호구간에 심볼의 마지막 부분을 복사해 삽입

하는 경우 이를 Cyclic Prefix라 하는데 이렇게 함으로써 신호지연에 의한 직교성의 파괴를 방지할 수 있다.

OFDM 방식의 주파수 스펙트럼은 각각의 반송파들의 합으로 나타나게 된다. 이 경우 반송파들 사이의 간격이 심볼 주기 역수값에 대한 정수배가 되도록 하면 반송파 간의 직교성이 유지되므로 반송파간 간섭을 발생시키지 않는다. 그러나 송수신기와 주변 환경의 움직임에 의해 도플러 효과가 발생하거나 송수신기 간의 회로적 차이에 의해 위상 및 주파수 변이가 발생한다면 이는 각 반송파들을 원래의 값 주변에 확산시키게 된다. 반송파의 천이는 직교성을 파괴하여 채널간 간섭을 발생시키게 된다. 이를 방지하기 위해 수신기는 주파수 변화를 보상할 수 있어야 하며 더불어 채널 왜곡을 보상하기 위한 등화를 수행해야 한다. OFDM 방식은 각 부채널이 주파수 비선택적 페이딩 채널로 근사화 되므로 각 부채널은 단일탭 형태의 간단한 채널등화기로 구현가능하다.

OFDM은 다중경로 채널에 의한 심볼간 간섭을 극복할 수 있는 반면 특정한 부채널의 감쇠가 심할 경우 그 부채널로 전송된 신호는 복원할 수 없게 된다. 이를 방지하기 위해서는 오류정정 부호를 사용하여 문제를 해결할 수 있다. 이를 COFDM(Coded OFDM) 방식이라 하며 이때 사용되는 오류정정 부

호로는 Reed-Solomon 부호와 같은 블록부호와 Convolution 부호가 모두 사용가능하며 둘을 결합한 concatenated 부호, 터보코드 등도 이용할 수 있다.

통신 시스템에서 고려해야 할 중요한 기술방식 중의 하나는 많은 사용자를 수용하기 위한 다중접속 방식이다. OFDM 방식을 이용하는 시스템의 경우 OFDM-TDMA, OFDM-FDMA, OFDM-CDMA 등 다양한 다중접속 방식이 수용가능하다. OFDM-TDMA란 전체 대역폭에 퍼져있는 모든 부반송파를 일정 시간동안 한 사용자에게 할당하고 다음 일정 시간동안 또 다른 사용자에게 할당하는 TDMA와 유사한 다중접속 방식이다. OFDM-FDMA는 FDMA와 유사하게 각각의 부채널을 다른 사용자에게 할당하여 해당 사용자의 데이터를 전송하게 하는 방식이다. 마지막으로 OFDM-CDMA는 각각의 사용자를 서로 다른 부채널에 할당한 후 각 부채널에서 코드확산 방식을 적용한다.

상기에서 언급했듯이 OFDM 방식은 직교 반송파를 사용하므로 부반송파 사이의 직교성이 파괴되는 경우 간섭에 의한 성능저하가 큰 문제가 된다. 직교성을 파괴하는 요인으로는 송수신기간의 주파수 동기 불일치를 들 수 있다. 주파수간에 오프셋이 존재하면 직교성이 파괴되어 부채널간 영향을 주게되므로 오히려 단일 반송파 방식에 비해 심각한 열화를 초래하게 된다. 이를 보상하기위해 OFDM에서는 파일럿 채널을 두어 반복적으로 주파수 오프셋을 보정해 나가도록 하고 있다. 또 다른 원인은 OFDM의 PAPR(Peak to Average Power Ratio)가 단일파 전송방식에 비해 크게 나타나는 문제이다. 이는 증폭기에 의한 비선형 왜곡을 발생시키게 되며 결과적으로 직교성을 파괴하게 된다. 그 외에 앞에서 언급한 도플러 효과에 의한 문제가 있을 수 있으며 이는 이동성에 의한 간섭 추정을 통해 보정하게 된다.

## 2.3 OFDM 기술을 이용한 표준화 사례

OFDM 전송방식은 현재 많은 통신시스템의 표준 기술로 채택되었고 상용장비로 활용되고 있으며 차세대 통신을 위한 전송방식의 핵심기술로 자리잡아가고 있다. 여기서는 OFDM 기술을 이용하는 여러 가지 표준 시스템들과 핵심사안에 대해 간단히 알아본다.

### 2.3.1 무선랜

IEEE 802.11로 대변되는 무선랜은 2.4GHz 대역을 이용해 초기 2Mbps의 전송률을 지원하였으나 1999년 IEEE 802.11b와 IEEE 802.11a에 대한 물리계층 규격을 확정함으로써 각각 2.4GHz 대역에서 11Mbps의 전송속도와 5GHz 대역에서 54Mbps의 전송속도를 지원하게 되었다. 특히 IEEE 802.11a의 경우 높은 전송속도를 얻기 위해 52개의 부반송파를 갖는 OFDM 변조방식을 채택함으로써 혼련시간이 짧고 등화가 간단하며 다중경로 간섭에 대해 강건한 장점을 갖도록 하였다. 그 후 2.4GHz 대역에 대한 고속전송 규격으로서 IEEE 802.11g가 완료되었는데 IEEE 802.11b와의 연동을 위해 CCK-OFDM을 의무 전송방식으로 채택하고 있다. 유럽의 무선랜 규격인 HIPERLAN/2는 OFDM을 물리계층으로 갖는다는 점이 IEEE 802.11a와 유사하나 MAC 계층에서 CSMA/CA가 아닌 TDMA 방식을 이용하고 이더넷, IP, UMTS, ATM, IEEE 1394 등의 코어망과 연결할 수 있다는 특징이 있으나 셀 환경이 극도로 제한적이라 활성화에는 의문이다.

### 2.3.2 Wireless MAN(IEEE 802.16)

멀티미디어 서비스에 대한 요구의 증가는 수Km 이내의 옥내나 중소 사업장에 대한 광대역 액세스

수요를 증가시켰으며 유선에 비해 저렴하게 유지될 수 있는 광대역 무선 액세스 기술인 BWA가 주목을 받게 되었다. BWA는 IEEE 802.16 분과에 의해 표준화가 추진되고 있으며 10~66GHz 대역에 대한 규격인 IEEE 802.16과 2~11GHz 대역에 대한 IEEE 802.16a로 크게 구분되고 있다. 두 가지 모두 OFDM 전송기술을 채택하고 있다. 유럽의 경우 HIPERACCESS 와 HIPERMAN 등의 유사한 프로젝트를 추진하며 역시 OFDM이 핵심기술로 자리 잡은 상황이다. [6]

### 2.3.3 디지털 방송(DVB, DAB)

현재 지상파 디지털 라디오 방송시스템은 유럽식, 미국식, 일본식이 있으며 모두 OFDM을 채용하고 있다. OFDM은 서로 다른 송신기에서 보내진 동일한 신호가 시간간격을 두고 수신되더라도 간섭을 주지 않으므로 여러개의 방송국이 같은 주파수 망을 이용해 방송하는 SFN(Single Frequency Network)의 구현이 가능하다. 유럽의 디지털 TV 방송을 위한 DVB(Digital Video Broadcasting)의 지상파 방송용 변조방식도 역시 COFDM이다. 지상파 비디오 전송의 경우 앞에서 언급한 다중경로 뿐 아니라 비교적 큰 인위잡음, 아날로그와 디지털간의 잡음 등이 존재하는데 이러한 문제들은 데이터의 전송속도가 높아질수록 더욱 심해진다. OFDM은 고속의 데이터를 여러개의 부채널에 병렬화하여 할당함으로써 심볼의 길이를 늘려주는 효과를 내므로 이러한 문제를 해결할 수 있다.

### 2.3.4 ADSL/VDSL

전화선을 이용하는 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)은 DMT(Discrete Multi-Tone) 방식을 사용하여 데이터를 전송한다. DMT는

OFDM과 동일하며 유선채널에 필요한 추가적인 기능을 포함하고 있다. DMT 방식은 채널의 전송용량을 최대화하기 위해 각 부채널의 특성에 따라 신호 constellation을 최적화하는 bit loading 알고리즘을 사용한다. VDSL(Very high rate DSL)은 ADSL 보다 고속의 데이터 전송을 위한 방식으로 부반송과 간 직교성 유지를 위한 Cyclic Prefix 외에 상향과 하향 스트림간의 직교성을 유지하기 위한 Cyclic Suffix를 첨가하여 선로간 혼신을 방지하게 한다.

## 2.4 휴대인터넷 장비개발 동향

### 2.4.1 Flarion

flash-OFDM™은 Flarion사가 독자적으로 개발한 OFDM을 이용한 초고속 무선통신 시스템이다. 아직까지 표준화 되지는 않았으나 현재 IEEE 802.20 분과를 통해 표준화 노력을 진행중에 있다. flash-OFDM™은 IP 기반의 셀룰러 네트워크를 지향하는 기술로 빠른 주파수 호핑에 의한 OFDM 기술을 이용하여 CDMA와 TDMA의 장점을 살려 송신용량을 극대화 하였으며 기지국 장비에 FA (Foreign Agent) 기능을 내장하여 Mobile IP 기술의 완성도를 높임으로써 기지국간 핸드오버 기능을 최적화 하였다. [3]

### 2.4.2 Broadstorm

Broadstorm사의 Broadair™ 장비는 IEEE 802.16 규격을 만족하는 장비로 QPSK부터 64QAM 까지의 적응 변조방식을 사용하여 고용량/고효율 전송이 가능하다. 또한 상하향 Time Slot 크기를 비대칭적으로 할당하여 인터넷 서비스에 적합하며, OFDMA 방식의 구현으로 경제적인 셀구성 가능하다. Mobile 기능 관련 부분에서는 아직까지

도 완성도는 낮지만 지속적인 연구개발을 추진 중이다. [4]

### 2.4.3 IOSpan

IOSpan 사의 AirBurst™ 장비 역시 IEEE 802.16 규격을 만족하는 장비로 고용량/고효율 전송이 가능한 장비이며 특히 MIMO (Multiple Input-Multiple Output) 기술을 적용하여 셀반경을 확대하고 음영지역을 최소화 하였다. 아직까지 이동성은 지원되지 않으나 관련 연구를 추진할 계획이다. [5]

기술로 국제적인 표준화를 완성하였을 뿐만 아니라 다양한 사업자의 요구를 수용할 수 있는 장비도 충분하여 국내표준으로 삼기에는 가장 적합하다고 사료된다.

특히 OFDM 기술은 그 기술방식에 있어서 많은 장점을 가지고 있지만 무엇보다도 시장의 요구를 충족시켜줄 가능성이 가장 높은 기술로 판단된다. 따라서 하나로통신은 2.3GHz 휴대인터넷 사업의 사업성을 확보할 수 있는 최적의 기술로써 Mobile IP (IETF rfc 2002) 기능이 부가된 OFDM 기술(특히 IEEE 802.16 기술)을 제안한다.

표. 주요 기술사별 규격비교

항목	Flarion	Broadstorm	IOSpan
송수신 듀플렉스	FDD	TDD, FDD	FDD
무선접속 방식	FH-OFDM	OFDMA	OFDMA
채널대역폭	1.25MHz	5MHz	2MHz
가입자 하향속도	3.2Mbps	12Mbps	14Mbps
가입자 상향속도	950kbps	2Mbps	7Mbps
QoS	보장(Gold, Silver, Bronze)		
셀반경	5.73km	10Km	5~10Km
이동성	120km/h	Mobile	Fixed
표준화	IEEE 802.20 추진	IEEE 802.16	IEEE 802.16
기타	Mobile IP 적용	Mobile IP 적용	MIMO 기술적용
섹터 구성	3 섹터	3~6 섹터	3섹터

## 3. 결론

지금까지 OFDM 방식에 대한 기술과 이를 채택한 시스템들에 대해 간략히 알아보았다. 상기에서 언급한 바와 같이 OFDM은 차세대 고속 멀티미디어 통신시스템의 핵심기술로 광범한 영역에 적용되고 있고 다양한 형태로 표준화가 완성되어 있거나 추진 중이다.

국내의 2.3GHz 표준화는 해당 사업자간의 복잡한 이해관계가 얽혀 있을 경우 추진여부가 불투명한 것이 사실이다. 그나마 OFDM 방식이 IEEE802.16

## 참고자료

- [1] Richard van Nee and Ramjee Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communications", Artech House, 1999
- [2] <http://www.bestcite.co.kr>
- [3] <http://www.flarion.com>
- [4] <http://www.broadstorm.com>
- [5] <http://www.iospanwireless.com>
- [6] IEEE 802.16 Wireless MAN™ 무선접속 표준화동향, <http://www.all4chip.com/upfiles/>

docs/279\_HotMarket4.htm

[7] 강희조, “무선정보통신 기초“, 대영사, 2001



### 모바일기기 충전 패드 개발

노트북PC를 외부에서 두어시간 사용하다보면 충전에 대한 걱정이 앞서지 않을 수 없다. 최근들어 이같은 모바일 기기 사용자들의 충전문제를 해결해줄 기술이 잇따라 개발되고 있다. 뉴스팩터에 따르면 미국의 모바일와이이스와 영국의 스플래시파워가 휴대폰, 노트북PC, PDA 등 각종 모바일기기를 올려놓고 충전시킬 수 있는 패드를 개발했다. 양사의 충전패드가 주목받는 것은 이를 가정과 사무실을 비롯해 인터넷 카페, 커피숍 등의 공공장소나 비행기의 테이블 등에 설치할 경우 이를 지원하는 모바일기기라면 충전기 없이 손쉽게 충전할 수 있기 때문이다. 또 집 안의 책상이나 주방에 설치하면 PC는 물론 선풍기 등의 각종 소형가전에 전원을 공급할 수 있게 돼 수많은 어댑터와 선이 서로 복잡하게 뒤얽히는 일도 없어질 것으로 기대된다. 이와 관련, 모바일와이이스의 창업자 겸 CEO인 앤디 고렌은 “이미 장난감 회사와 응용방안을 공동으로 연구하고 있다”고 말했다. 모바일와이이스가 개발한 무선 전기베이스는 얇은 금속접점 격자를 갖춘 마우스패드 모양으로 생겼으며 표준 전원코드에 접속시켜 놓고 PDA, 휴대폰, 노트북PC 등 각종 호환 모바일기기를 올려놓으면 패드의 접점을 통해 충전이 이뤄진다. 금속접점은 외부에 드러나 있지만 감전을 걱정할 일은 없다. 고렌에 따르면 모바일기기에 탑재한 특수 반도체와 베이스에 내장된 특수 반도체가 서로 교신해 기기와 접점이 맞닿은 곳으로만 전기가 흐르게 된다. 이 반도체 때문에 여러 대의 모바일기기를 동시에 충전시킬 수도 있다. 스플래시파워의 제품은 스플래시패드와 모바일기기에 탑재되는 스플래시 모듈로 이뤄지는데 모바일와이이스의 제품과 달리 금속접점이 없는 것이 특징이다. 이 회사의 CEO인 존 하프페니는 정확한 작동원리는 밝히지 않았지만 기본적으로 전동칫솔의 충전원리와 같다고 설명했다. 즉 패드가 전기를 전자기파로 바꾸면 모듈의 코일이 전자기파를 받아 이를 전기로 변환해 충전한다는 것이다. 이에 따라 원천적으로 감전을 막을 수 있고 패드와 모바일기기가 정확히 붙어 있지 않아도 충전이 된다. 하프페니는 “베이스에서 1cm 떨어진 곳에서도 모바일기기를 충전시킬 수 있다”고 말했다. 업계 일각에서는 아직까지 무선 충전기술에 대한 우려도 제기하고 있다. 이와 관련, 기기인포메이션그룹의 연구책임인 로브 엔델은 “닭과 달걀의 문제”라며 “모바일기기 제조업체들이 패드가 설치되지 않으면 무선 충전기술을 채용하지 않을 것이고 많은 디바이스에 이 기술이 채용되지 않으면 패드가 많은 책상에 설치되는 일은 없을 것”이라고 말했다. 또 그는 “모바일기기를 장기간 사용할 수 있도록 해주는 연료전지도 무선 충전기술의 장점을 무색하게 만들 수도 있다”고 지적했다. 한편 고렌은 톱10 컴퓨터업체인 에이서, 국동의 다른 한 업체 등과 내년 초까지 무선 전기베이스를 지원하는 모바일기기 생산계약을 체결했다고 밝혔다. 또 하프페니도 OEM 업체들과 협상을 시작했으며 라이선싱 계약도 추진할 것이라고 밝혔다.