

무선통신기기들간의 주파수간섭 억제방안에 관한 연구

정회원 강정용*, 김환용*

A Study on Surppressed Method for the Frequency Interference within Wireless Communications Devices

kang jeong yong*, kim hwan yong* *Regular Members*

요 약

현재 상용화되고 있는 무선 LAN(IEEE802.11b)과 블루투스는 ISM 2.4GHz 대역을 동시에 사용하기 때문에 주파수 간섭이 불가피하고, 무선 LAN과 블루투스간 주파수 간섭 현상으로 인해 성능저하가 발생하고 있다

본 논문에서는 주파수 간섭 현상에 따른 통신기기들간의 오류발생을 최소화하기 위하여 블루투스와 무선 LAN 등 근거리 통신시스템들간의 상호간섭에 대한 영향 및 블루투스와 무선 LAN, 가정용 전자제품 등에 관한 주파수 간섭 문제에 대한 특징을 분석하여 억제방안을 제시하고자 한다

ABSTRACT

Because that the wireless LAN and the Bluetooth which are currently used are operating at the ISM 2.4GHz, we must meet the frequency interference So performance degradation is occurred by frequency interference between the wireless LAN and the Bluetooth

In this paper, for decreasing the errors between the communication systems because of the interferences, we analysis the influence of mutual interference between the local communication systems and the specification of frequency interference problem on the Bluetooth, the wireless LAN and home electronic products

I 서론

에릭슨 이동통신(Ericsson Mobile Communication)은 휴대폰과 주변기기들간에 사용가능한 소비전력이 적고 가격이 저렴한 Radio 인터페이스를 연구하기 시작하였다 즉, 휴대폰과 PC 카드, 헤드셋, 컴퓨터 주변기기에 있는 선을 없애는 것이 목적이었다 그 이후, 1998년 2월에 에릭슨, 노키아, IBM, 도시바, 인텔 등이 모여서 블루투스 SIG(Special Interest Group)를 결성하였다. 현재 상용화에 있는 무선 LAN (IEEE 802.11b)과 블루투스는 산업·과학·의료용으로 분배된 ISM 밴드인 2.4GHz 대역을 동시에 사용하기 때문에 주파수 간섭이 불가피하고, 무선 LAN과 블루투스간 주파수 간섭현상으로 인해 통신

속도 저하가 발생하고 있다.

따라서 본 논문에서는 블루투스와 무선 LAN 등 근거리 통신시스템들간의 상호간섭을 파악하고 분석하여, 현재 발생되고 있는 문제점들을 실험을 통해 확인 하여 억제 방안을 제시하고자 한다 특히 블루투스와 무선 LAN, 전자레인지등은 2.4GHz 대역의 주파수를 공용으로 사용하는 경우로, 서로 심각한 간섭이 발생되고 있는 것으로 확인됐다

그러므로 블루투스와 무선 LAN 그리고 전자레인지간의 거리를 최대로 이격하여 사용하는 것이 현재로는 바람직하고 제품생산 업체에서는 상호운용성 및 주파수 간섭에 대한 대책과 향후 생산되는 제품에는 엄격한 규격과 인증적용에 대한 필요성이 요구된다.

* 원광대학교 전자공학과 회로및시스템 연구실(hykim@wonkwang.ac.kr), (rkdwdydyd@yahoo.co.kr)
논문번호 020469-1028, 접수일자 2002년 10월 28일

II. 블루투스 및 무선LAN 기술

1 블루투스 표준안 및 기술 분석

블루투스는 휴대전화, PC와 그 주변기기, AV 기기 등을 무선으로 접속하기 위한 통신규격으로서 블루투스 관련 지적소유권은 무상제공을 전제로 하고 있는 개방적인 기술 사양이다.

2.4GHz 대역내에는 이미 매우 많은 주파수 간섭이 발생하고 있으며, 해당 대역에 적용되는 이용자의 수가 증가됨에 따라 간섭의 형태와 영향은 지리적, 시간적으로 많은 변화를 보이게 된다

간섭 영향은 외부 통신 시스템이 증가할수록, 가장 심각한 간섭 요소가 되며, 또한 외부 통신 시스템은 그들 자체 통신 성능과 영역이 높은 간섭의 영향을 받게 되고, 그리고 간섭의 효과는 특정한 성능 임계치에 맞도록 설계된 공중 또는 개인 망의 활동 영역을 감소시키게 되고, 도심지 내에서 고성능 통신 망은 통신성능을 유지하기가 어렵다

특히, 블루투스와 무선 LAN등, 타 통신 시스템과의 상호 간섭은 확실하게 나타나지만 동일한 시스템만을 사용할 경우에는 상호 간섭은 미세하다

따라서 2.4GHz에서 망을 설계하는 것은 시스템 수가 늘어남에 따라 주파수 간섭이 증가하며, 간섭 영향의 증가 양만큼 증가된 대역 마진을 해당 망에 제공할 수 있어야 한다

또한, 2.4GHz 무선기기는 제한된 장소에서 사용해야 하며, 주파수 효율성을 높이기 위해 가급적이면 타 통신 서비스와 무선 통신이 공용으로 주파수를 사용할 수 있도록 각국에서는 권고하고 있다

미국의 경우를 보면 2.4/5.8GHz 대역 FH와 902MHz 대역에서 50개 호핑 채널을 가지는 무선 LAN과 모든 DS 무선 LAN에 대한 공중선 전력은 4W이다.

일본과 국내의 경우는 공중선 이득에 대한 기준 값만 다르고 점유주파수 대역폭 및 전력밀도는 같다 현재 국내에서 정의한 공중선 이득은 특정 소출력 무선기기의 공중선 전력 10mW를 기준으로 산정하여 사용하고 있다

2 무선 LAN 표준안 및 기술 분석

무선 LAN(Wireless LAN)은 오피스, 상가, 가정 등과 같이 일정 공간 또는 건물로 한정된 장소에 배선이 필요 없고 단말기의 재배치가 용이하며 이동 중에도 통신이 가능하고 빠른 시간 안에 네트워크 구축이 가능하다는 장점이 있는 반면에, 유선

LAN에 비하여 상대적으로 낮은 전송 속도와 신호 간섭이 발생할 수 있다는 단점이 있다

이러한 단점을 극복하기 위하여 통신 및 비통신 분야에서는 증가하는 수요에 대해 이용 가능한 주파수 영역을 확대하기 위해 새로운 주파수에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다

ISM 기기 및 무선 기기들의 안정적 운용을 위하여 무선 데이터 통신을 위한 많은 표준화 작업들이 이루어지고 있지만, 그중 대표적인 것이 IEEE 802.11Tg와 유럽의 ETSI (European Telecommunications Standards Institute)에 의한 BRAN(Broadband Radio Access Network)이다

표 1은 국내 무선 LAN에서 사용되는 주파수 대역별 공중선 전력을 나타 내었다.

표 1 국내 무선 LAN 주파수 현황

주파수 (GHz)	점유 대역폭	전파 형식	공중선 전력	비고
2.400~2.485 5.725~5.850	26MHz 이하	F(G) 1D	10mW /MHz 이하	스펙트럼 확산방식 ISM대역
17.705, 17.715 17.725, 17.735 19.265, 19.275 19.285, 19.295	10MHz 이하	F(G) 2D	10mW	M/W 방식

802.11기반 제품들은 기업을 대상으로 하고 있어, 일반 가정용으로 적합하지 않아 기존 무선 LAN 사용자들과 PC 및 가전 제품 제조업체들이 창설 멤버로 HomeRF를 구성한 것이다.

이들 디바이스의 접속 규격인 SWAP(Shared Wireless Access Protocol)은 무선 음성과 데이터 네트워킹을 지원하는 공통 인터페이스를 제공하는 것을 겨냥하고 있다

또한, 1999년 9월 기존의 802.11 표준에 덧붙여 새로운 고속 물리계층으로 개발된 IEEE 802.11b는 CCK(Complementary Code Keying) 변조 방식을 사용해 2.4GHz ISM 대역에서 최대 11Mbps 까지 전송할 수 있도록 설계되었다

그 동안 유선 케이블을 설치할 수 없는 환경에서 제한적으로 활용되던 무선 LAN 기술이 급격하게 성장할 수 있었던 계기는 바로 IEEE 802.11b 표준에 근거한 제품이 시장에서 상용화 되고 제품의 가격이 유선 LAN에 근접할 정도로 경쟁력을 가지게 되면서부터 라고 할 수 있다 802.11b의 성공은 여러 가지 이유로 설명할 수 있다

표 2는 무선기기들간의 특성을 비교하여 설명한 내용으로 HomeRF는 1998년 3월 국내에서 PC와 가전 제품을 접속하고자 하는 요구에 부응하여 만들어졌다.

표 2. 2.4GHz 대역의 근거리 무선기기 비교

구분	블루투스	무선 LAN	Home RF
무선규격	2.4GHz FH	2.4GHz FH, DS	2.4GHz FH
최대출력 (dBm)	0, 20 (출력조정가능)	20	20
전송속도 (Mbps)	1	11 (802.11b)	1/2
전송거리	10, 100 (출력 20dBm)	100m (옥외안테나 이용시 1km가능)	50
프레임 크기	작음 (0.625ms)	큼 (~200ms)	중간 (~20ms)

첫째, 시대적으로 사용자들이 이동성과 원격성을 요구하고 있다. 둘째, 관련 업계 및 표준화 기구에서 신속한 표준화와 상용화, 저가격화를 유도 하였으며, 802.11b의 전세계적인 사용을 촉진하기 위해 설립된 WECA에서 각 업체 제품간의 호환성을 보장 하였다.

III. 무선통신기기들 간의 전파간섭 분석

무선통신 기기에 사용되는 2.4GHz 대역은 ISM 대역으로 대부분의 나라에서 전자레인지, 산업체의 플라즈마 전구 등으로 이용되고 있으며, 최근에는 근거리 무선통신으로 블루투스, 무선 LAN, Home RF 등의 서비스에 중복 사용하고 있다.

그리고 최근 부각되었던 블루투스도 동대역을 이용하고 있는데 핸드폰, PDA, 노트북과 같은 정보기기 들간의 양방향 근거리 통신을 복잡한 전선 없이 저가격으로 구현하고, 근거리 통신기술, 표준, 제품을 총칭하여 불린다.

그림 1은 무선 LAN과 블루투스, 무선 LAN과 무선 LAN이 직접 데이터를 교환 할때의 전송속도를 보여주고 있다.

무선 LAN은 1:1 통신을 했을 경우에는 전송속도나 접속 상태, 그리고 데이터 충돌은 없었으나, 1:N 즉, 액세스 포인트에 많은 통신기기들이 동시에 통신을 한다면 접속 상태나 전송속도가 떨어지는 것으로 확인됐다.

그리고 SNR과 Signal Level, Noise Level 등 다

양하게 보이고 전송속도 환경에 따라 자주 바뀌면서 수치로 정확하게 표현되는 화면을 볼 수 있다.

블루투스의 주된 용도로 휴대전화와 노트북 PC와의 접속을 꼽고 있다. 그런데 저 가격화와 고속화에 동반하여 보급이 진행된 무선 LAN도 주 목적은 노트북 PC이다. 그러므로 블루투스가 많은 주변기기에 탑재되기 시작하면 사무실에 사용되는 무선 LAN에 악영향을 미칠지도 모른다는 우려가 대두되었다.

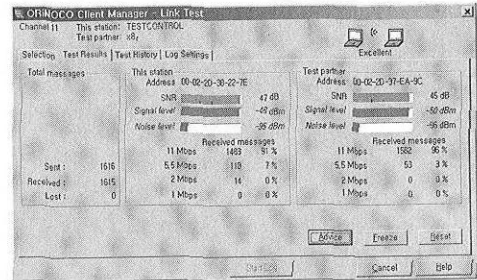


그림 1. 무선 LAN의 데이터 전송속도

위의 그림은 실험시 사용된 무선랜의 전송속도를 자체 프로그램에서 측정되는 상태이며, 본 데이터는 동일한 상태에서 up link와 down link를 동시에 1:1로 측정된 결과라 할 수 있다.

또한 데이터의 특성상 지극히 주관적인 결과이므로 참고자료로 활용해야 한다.

그림 2는 블루투스와 무선 LAN이 동시에 정상적으로 동작되면서 각각의 기기들이 서로 데이터를 교환 상태이고 넓은 대역폭을 형성하는 부분이 무선 LAN 동작 상태이다.

그리고 좁게 표현되는 부분이 블루투스의 동작 상태를 나타낸 스펙트럼으로 확인 할 수 있었다.

사무실에서의 블루투스 기기의 평균적인 이용형태를 고려해 보면 데이터를 송수신하지 않는 시간이 더 많기 때문에 시간을 평균하면 무선 LAN의 처리능력(Throughput) 저하는 최대 약 10% 정도로 예측 하고 있다.

본 실험을 위하여 각 장비와 기기들은 전파연구소와 민간 기업의 도움으로 이루어 졌으며, 여러 장소를 활용하여 측정 되었기 때문에 주관적인 내용이 될 수도 있으나, 향후 관련사항 연구시 참고 자료로 활용되기를 기대합니다.

또한 정확한 데이터의 확인이 불가능 하므로 측정 당시 여러 가지 환경요인들을 고려하지 않았음을 알려드립니다.

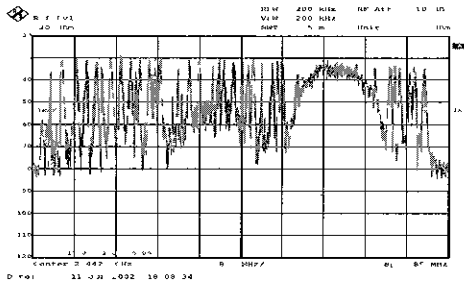


그림 2 블루투스 및 무선랜이 동작하는 스펙트럼

아래 식 (1)과 (2)는 LoS 상태와 NLo상태를 동시에 적용하여 상호간섭 측정을 Real Space 환경에 적용된 경우이고, 식 (3)은 Total path loss를 구하기 위하여 적용되는 경우이다

■ Real Space

Line-of Sight(LoS) and Non-LoS(NLoS)

$$P_r = G_t G_r L_{TOT} P_t \quad (1)$$

$$L_{TOT}(d) = \left[\frac{\lambda}{4\pi d_0} \right]^2 \left[\frac{d_0}{d} \right]^n \quad (2)$$

■ Total path loss

$$L_{TOT} \leq P_t - P_{rmin} + G_t + G_r - FM [dB] \quad (3)$$

표 3과 4는 본 실험 측정시 사용된 장비와 측정 대상 기기와의 관측시 장비들의 표준 값으로 삼았던 블루투스와 무선 LAN의 기준값과 측정기기들을 나열한 데이터이다

그림 3은 블루투스와 가정용 전자레인지와의 전력 스펙트럼 간섭을 측정하였고, 그림 4는 블루투스와 의료기기인 MRI가 동시에 동작될때의 상호간섭을 측정하여 나타낸 것이다

표 3 측정 장비

백터 신호 발생기	주파수 범위 300kHz~6.4GHz 출력범위 -144~+10dBm
백터 신호 분석기	주파수 범위 30Hz~26.5GHz 출력 표시범위 -120~+30dBm
전파통신 시험기	주파수 범위 100kHz~2.7GHz 출력범위 -130~+13dBm
I/Q 변조기	샘플링 동작주파수 10Hz~40MHz 발전주파수 10MHz
파워미터	주파수 범위 200MHz~4GHz 측정범위 0.03~120W

표 4 측정 대상 기기

구분	블루투스	무선 LAN
동작주파수	2.4400GHz	2.4425GHz
대역폭	200kHz	100kHz, 1MHz
데이터전송률	723kbps	1, 2, 5.5, 11Mbps
변조방식	FH/SS	DS/SS
접속제어	×	×
블루투스 & 무선랜 대	<ul style="list-style-type: none"> · 의료기구 (MRI) · 가정용 가전제품(전자레인지) · 휴대폰 (PCS) 	

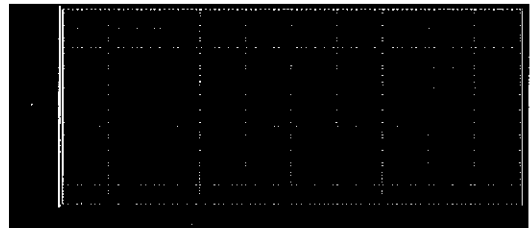


그림 3 블루투스와 전자레인지의 전력스펙트럼

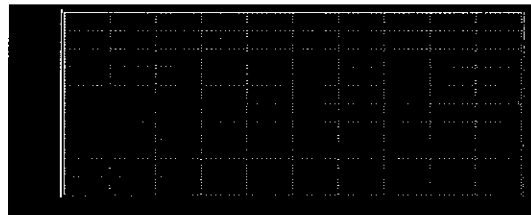


그림 4 블루투스와 MRI의 전력스펙트럼

그림 5는 블루투스와 셀룰라 전화와의 상호 간섭을 전력 스펙트럼 상에서 나타내었고 각각 기기들의 주파수 간섭은 미세하지만 전력상의 간섭 상태는 구별이 될 정도의 차이가 있었으며, 피크치에 해당하는 부분에서는 주파수 간섭을 일으킬수 있는 충분한 조건이 된다고 볼 수 있다

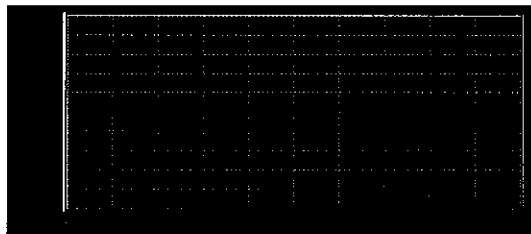


그림 5 블루투스와 셀룰러 폰의 전력스펙트럼

그림 6은 무선 LAN과 가정용 전자레인지 간의 전력 스펙트럼이고, 그림 7은 무선 LAN과 의료기기인 MRI의 전력 스펙트럼, 그리고 그림 8은 무선

LAN과 셀룰라 휴대폰의 전력스펙트럼을 나타내었다.

스펙트럼상에서 보였듯이 같이 각각 기기들의 상호 간섭은 주파수 성분과 전력레벨에서 무선 LAN과의 간섭을 확인 할수 있었고, 무선기기들간의 상호 간섭을 줄이기 위한 대책이 시급하다고 사료 있다

또한 각 기기들과 무선기기들간의 상호간섭이 거리와 장소에 따라 다소 차이는 있지만 일반 가정에서의 사용이 많을 것으로 사료됨으로 개인 사용자의 성능저하를 최소화 할수 있는 개선방안이 요구 된다

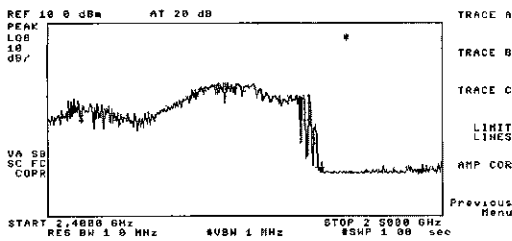


그림 6 무선랜과 전자레인지의 전력스펙트럼

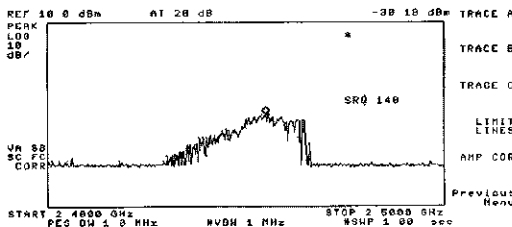


그림 7 무선랜과 MRI의 전력스펙트럼

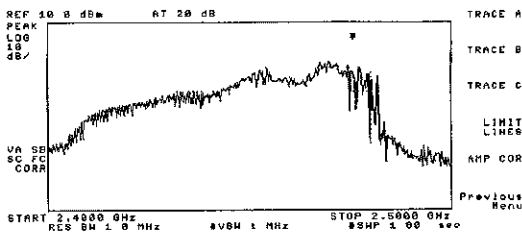


그림 8 무선랜과 셀룰라 폰의 전력스펙트럼

위와 같은 실험은 대부분 우리대학 내에서 측정 한 데이터로서 현재 서버 속도와 주위 환경 그리고 사용되는 경로 등은 확보된 상태이며, 일반 생활 환경과는 다소 다를수 있다는 점을 미리 알았으면 한

다.

또한, 사용자의 활동이 많은 지역에서 측정됐어야 정확한 데이터 추출에 현실적이고, 유동인구가 많고 생활 환경에 알맞은 실험 장소를 찾아 실험 되었어야 하지만 많은 어려움이 있었다

현재 우리 대학의 서버에서 유선 LAN(전송 LAN)을 연결하여 속도를 측정한 결과 데이터 처리 속도는 약700~800kbps로 일반 가정에서 사용되는 (전송) LAN의 속도와 비슷하게 나타났다.

그러나 실험을 실시해야 하는 환경은 무선 환경이므로 이보다 데이터의 처리속도는 상당한 차이를 나타냈고, 실제 측정된 결과는 블루투스의 경우 거리에 따라 많은 차이를 보였으나, 무선 LAN의 경우는 심하게 변하지 않았음을 확인하였다

또한 본 데이터는 일정한 크기의 파일만을 11로 전송하면서 상호간의 간섭의 영향을 확인한 결과에 불과하고, 전송속도 만으로 결론 내리기는 곤란하며, 그의 통신기기들간의 주파수 간섭을 전력스펙트럼을 통해 확인 하였다

또한 경로가 확보된 상태에서 넓은 공간을 활용 하여 측정되었기 때문에 경우에 따라서는 많은 차이가 있을 수도 있지만, 일반 사용자의 주위환경을 객관적으로 고려하여 측정하였다

그러므로 측정시에 적용된 환경을 주로 사용자가 이용하는 환경으로 봤고, 그 외의 특별한 환경은 배제된 상태이므로 데이터의 정확도는 비교적 신뢰 할 수 있을 것으로 사료된다

그림 9에서 잘 나타났듯이 블루투스와 무선 LAN 간의 간섭은 확실하게 구별할 수 있었지만 동종끼리 간섭은 구별하기 어려웠고, 특히 블루투스는 무선 LAN의 간섭을 심하게 받는 것으로 확인됐다

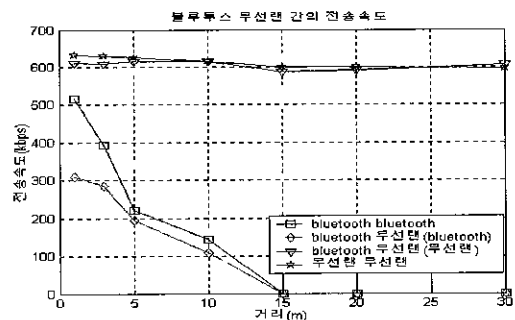


그림 9 블루투스와 무선 LAN간의 전송속도 측정

본 데이터의 측정 횟수는 총 45회로 하여 평균값을 표시한 것이며, 데이터를 측정할 시간은 오후 5

시에서 7시까지 인터넷 사용량이 대체로 안정적인 시간대로 하여 측정하였다.

특히 무선 환경을 고려하여 유동인구가 비교적 많은 학생회관과 공대 건물 사이로 실험 장소를 선택 하였다. 또한 날씨와 기상 변화도 고려되지 않았지만, 맑고 해가 질 무렵에 실험하였다.

그림 10은 블루투스과 무선 LAN 간의 상호 간섭을 그래프 나타내었고, 보는바와 같이 상호간섭이 발생하는 것으로 확인되었다.

이를 위하여 2.4GHz 대역내에 존재하는 ISM 및 무선기기를 파악하고 그에 대한 기술 기준을 조사 하였다. 이러한 조사 결과를 바탕으로 소출력 무선 통신 시스템들의 공중선 전력을 분석하고, ISM 기기와 무선통신 시스템들간의 간섭영향을 분석하였다.

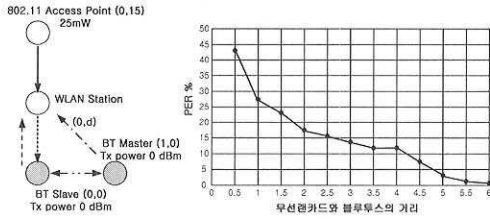


그림 10. 무선 LAN과 블루투스의 전파간섭

그리고 동중 및 이중 시스템간의 간섭분석과 인접 대역 간의 상호간섭 분석 및 통신 성능에 대한 이론적 분석 작업을 수행하여 개선 할 수 있는 방안을 찾을 수 있었다.

또한, 전송속도 11Mbps의 고속용에서 채용하고 있는 DS 방식은 수신기의 수신처리 과정에서 노이즈 성분만이 제거되므로 영향을 비교적 적게 받는다고 볼 수 있다.

그러나 대부분 업체에서 블루투스의 제품화를 계획하고 있지만 우려되는 부분이 있다. 실험에서 확인된 결과 블루투스 마스터는 무선 LAN과 공간적으로 5m이상 떨어져 있어야 동일 주파수를 공유할 수 있을 것으로 확인 되었다.

IV. 결론

블루투스과 IEEE 802.11b, HomeRF, 전자레인지 등은 2.4GHz대를 공용으로 사용하기 때문에 각각의 시스템들 간의 주파수 간섭과 상호운용성에 의한 성능 저하로 소비자의 피해가 우려된다.

현재 적용되는 공중선 전력은 업체들마다 다소 차이가 있으므로 상호간섭 발생의 확률이 높다고

볼 수 있다.

국내 무선 LAN의 공중선 전력의 관련규정을 보면, 1MHz당 10mW 이하로 규정되어 있고 점유주파수 대역폭은 26MHz로 설정되어 있으므로 스펙트럼 확산방식을 사용하는 무선 LAN의 공중선 전력은 26mW (24dBm)이하이다.

현행 공중선 이득 20dB를 고려하면 스펙트럼 확산방식의 무선 LAN에서 방사되는 EIRP는 25W (24dBm+20dBm=44dBm)가 되므로 허가나 신고없이 개설할 수 있는 무선국의 전력으로는 매우 크다.

그러므로 본 연구에서 적용한 공중선 전력은 18mW(12dBm), 공중선이득 20dB 고려하면 스펙트럼 확산방식의 무선 LAN에서 방사되는 EIRP는 25W(12dBm+20dBm =32dBm)가 되므로 허가나 신고없이 개설할 수 있는 무선국의 전력으로는 적합할 것으로 생각된다. 하지만 거리에 따라 다소 전력이 낮아 문제가 될 수 있지만 실험 결과는 아무런 영향을 받지 않은 것으로 측정되었다. 그러므로 상호간섭을 억제하기 위한 방안으로는 최대한 공중선 전력을 낮게 하고 공중선 이득은 상대적으로 높게 하여 성능저하 및 상호간섭을 억제하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

따라서 성능저하와 주파수 간섭을 억제하는 방안을 위해서는 공중선 전력의 범위를 줄이거나 엄격한 인증 방법으로 시험서를 보완하고, 업체들의 적극적인 참여가 이루어 질 수 있도록 대책이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

본 논문에서는 블루투스과 무선 LAN 간의 성능저하를 통해 무선기기들 간의 간섭이 발생됨을 확인 할 수 있었으며, 블루투스과 무선 LAN 간의 주파수 간섭을 측정된 결과 무선 LAN에서 블루투스로의 간섭은 평균 20~30%정도의 충돌이 발생하는 것으로 측정 데이터를 통해 분석하였다.

그리고 개선방안을 구체적으로 세울수는 없지만 쉬운 방법은 블루투스과 무선 LAN을 혼합사용 하지 않아야하며, 무선 LAN(AP)와 블루투스나 전자레인지 등의 동시 사용시에는 최소 5m이상의 거리를 두고 사용되어야 한다.

또한 의료기기(MRD)나 셀룰러 폰의 사용시에는 전파 간섭과 주파수 간섭은 전력스펙트럼 상에서 확인 됐듯이 미세하게 나타났지만, 동일한 장소에서나 가까운 거리에서 사용하는 것을 피하는 것이 바람직하다.

따라서 위와 같은 간섭들을 억제할 수 있는 많은 요소들을 미리 파악하고 분석하여, 정책적인 대책과

연구가 필요하고, 블루투스 와 무선 LAN의 장점을 최대한 활용한다면 주변의 무선 통신시스템에 많이 사용 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Bluetooth . Update on the Wireless Link for Mobile Computer, May 8,2000
- [2] Burgeoning Bluetooth, IDC, April 2000
- [3] <http://www.bluetooth.com>
- [4] Bluetooth Specification 1.0B,
- [5] 오승곤, 주파수 이용의 이슈와 정책과제, *Telecommunications, Review*, 제11권 제 4호, 2001 8
- [6] 무선방송기술중장기 개발계획, *ETRI*,2001.10
- [8] 2.4GHz대역 및 5 8GHz대역내 ISM설비와 무선 설비에 대한 전파간섭 분석 및 대책연구, *한국전파진흥협회* 2001 9
- [9] <http://bluetoothforum.or.kr>
- [10] Bluetooth 분석과 시스템 개발기술 및 응용, *과학기술정보연구소* 2001
- [11] Handbook National Spectrum Management, ITU, 1995
- [12] FCC, CFR47 Telecommunication part15.247, 1996
- [13] IEEE, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications, Draft Standard IEEE 802.11, July 1995
- [14] Proxim Web site, Selecting a Wireless LAN Technology, July 1996
- [15] Spread Spectrum Scene Magazine, Spread Spectrum Primer, February 1997

강 정 용(jeong-yong Kang) 정희원
 한국통신학회 논문지 제 27권 4호 참조

김 환 용(hyan-yong kim) 정희원
 한국통신학회 논문지 제 21권 11호 참조