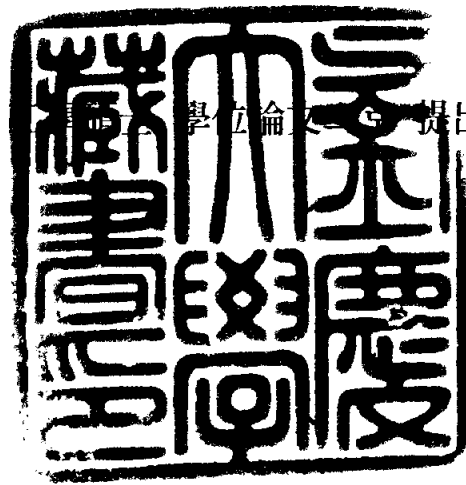


공학석사 학위논문

ISM대역 주파수를 공유하는 무선시스템간의 간섭해석 및 간섭방지 대책방안 연구

지도교수 하 덕 호

이 論文을



學位論文提出함

2002년 8월

부경대학교 산업대학원

정보통신공학과

이 상 천

이 논문을 이상천의 공학석사 학위논문으로 인준함

2002년 6월 22일

주 심 공 학 박 사 윤 종 락 (인)

위 원 공 학 박 사 김 석 태 (인)

위 원 공 학 박 사 하 덕 호 (인)

목 차

그림목차	i
표목차	ii
Abstract	iii
1. 서 론	1
2. ISM 대역 주파수현황	3
2.1 ISM 대역 주파수 분류	3
2.2 ISM 대역 주파수 기술 표준	5
3. ISM 대역 응용시스템간의 간섭고찰	10
3.1 무선 시스템에서 FWA로의 간섭	10
3.2 무선 시스템에서 무선LAN으로의 간섭	16
3.3 무선 시스템에서 Bluetooth로의 간섭	19
4. 무선 시스템간 간섭해석 및 간섭방지 대책 방안	21
4.1 간섭 최소화를 위한 서비스 영역의 결정	21
4.2 지구 탐사 위성서비스(EESS)	22
4.3 레이더(Radars)	24
4.4 고정 위성서비스(FSS)	29
4.5 이동 위성서비스(MSS)	31
4.6 간섭방지 대책 방안	36
5. 결 론	38

참고문헌	39
------------	----

감사의 글	
-------	--

그림목차

그림 2.1	확산 대역 방식의 기본 구조	6
그림 2.2	FHSS 방식의 주파수 호핑 패턴.....	6
그림 2.3	DSSS 방식의 비트 패턴(chip)	7
그림 3.1	이격 거리에 따른 RLAN 송신기에서 FWA 수신 기로의 간섭전력	11
그림 3.2	이격 거리에 따른 1mW Bluetooth 송신기로부터 FWA 수신기로의 간섭전력	13
그림 3.3	간섭 레벨에 기초한 다중 HomeRF 간섭원의 누 적 효과	13
그림 3.4	이격 거리에 따른 OBTX 송신기에서 FWA 수신 기로의 간섭	15
그림 3.5	마이크로웨이브 오븐에 근거한 ISM시스템에서 FWA 수신기로의 간섭	15
그림 3.6	이격 거리에 따른 FWA 시스템에서 무선LAN 으로의 간섭	17
그림 4.1	무선 수평선 거리	27
그림 4.2	높이에 의한 굴전율의 변화	27

표목차

[표 2.1] 각국의 ISM주파수 분배표와 주석	3
[표 2.2] ISM 주파수대역의 타통신서비스와 공유관계 분석	4
[표 2.3] DSSS 와 FHSS 방식의 비교	8
[표 3.1] 무선 LAN 송신기 특성(간섭원)	10
[표 3.2] FWA 수신기 특성(희생원)	11
[표 4.1] HIPERLAN/2에 대한 시스템 파라미터	22
[표 4.2] 그 외 파라미터	34
[표 4.3] 여러 파라미터를 이용한 계산 결과 예	35

A Study on Analysis and Preventing Method for The Interference Between Radio Systems Using ISM Frequency Band

Sang-Chun Lee

Department of Telematics Engineering
Graduate School of Industry
Pukyong National University

Abstract

According to rapid development of the information industry and development of radio wave communication technology in the area of economic activity, the demand for frequency gets is getting increased day by day not only in various communication area such as digital, data and visual communication but also in unlicensed communication area such as industry, science and medical field. Hence, the equipment with unlicensed frequency band, ISM (Industrial, Science, and Medical) band is getting demanded more and more because of free of license fee but the interference in related frequency is expected.

In this thesis, the status of using the ISM frequency band is investigated in order to use steadily the industrial, scientific and medical equipment with frequency of 2.4 GHz band and 5 GHz band which are expected to use increasingly more and more. And also, the interference in the applications of ISM band is firstly examined, and then theoretic analysis is conducted to minimize the interference. Based on the result, the analysis of interference in radio systems using the frequency of ISM band commonly and the measures of preventing the interference are suggested.

The measures of preventing the interference in this thesis will give the solution of the interference expected to occur when the ISM equipments and radio communication services are operated with together and supply better services to you.

1. 서 론

산업정보화의 급속한 발전과 경제적 활동영역에서의 전파통신 기술의 발달에 따라 디지털, 데이터, 화상 통신과 같은 다양한 통신 분야뿐만 아니라 산업, 과학, 의료분야와 같은 비허가 통신 분야의 주파수 수요가 날로 증가하고 있다. 특히 디지털 셀룰러 및 PCS 등 허가 주파수대와 다르게 전파 사용료가 없다는 장점을 가지고 있는 비허가 주파수대인 ISM (Industrial, Science, and Medical)대역이 유선망의 접속점(access point) 역할을 수행한다는 관점에서 새롭게 부각되고 있다.

이런 ISM대역은 주파수의 이용영역을 한정된 구역내의 음성, 데이터 전송 및 산업장비나 자동차, 레저용품의 원격제어 등으로 응용범위가 급속히 확대되고 있다. ISM 설비 및 무선 설비들의 안정적 운용을 위하여 ISM 대역내 무선 데이터 통신을 위한 많은 표준화 작업들이 이루어지고 있는데 그 중 대표적인 것이 IEEE 802.11 Task Group a와 유럽의 ETSI (European Telecommunications Standarrss Institute)에 의한 BRAN (Broadband Radio Access Network)이다[1].

ISM대역내에서는 타 무선장비와의 간섭을 줄이기 위하여 대역확산(SS, Spreas Spectrum)기술을 사용하고 있다. ISM 대역내에서 이용중인 통신 설비로는 FWA(Fixed Wireless Access: 고정무선 액세스), RFID (radio frequency identification device: 무선 식별 장치), 비디오 장비, OBTV(Outside-broadcast TV: 외부방송), 무선 LAN, Bluetooth, HomeRF, 초고속 무선 접속망인 HIPERLAN 등이 있다.

본 논문에서는 향후 이용이 증가할 것으로 예상되는 2.4GHz 대역 및 5.8GHz대역 내 ISM 설비의 안정적 이용을 위해 무선설비간의 전파간섭의 분석과 그 대책에 대하여 연구하였다. 2장에서는 ISM 대역의 주파수 이용 현황과 현재까지 제시되어 있는 주파수 기술 표준에 대하여 기술하였다. 3장에서는 ISM대역 응용시스템간의 여러 가지 시나리오를 통해 간섭을 분류하였고, 4장에서는 무선 시스템간 간섭 최소화를 위한 서비스 영역을 결정하고, ISM 대역중 사용이 급격히 증가할 것으로 예상되는 5GHz대역의 초고속 무선 접속망(HIPERLAN)과 같은 대역을 사

용하는 지구탐사 위성, 레이다, 고정 위성, 이동 위성서비스간의 간섭을 이론적으로 해석하였다. 또한 간섭분류 및 이론적 해석을 토대로 하여 ISM 대역의 주파수를 공유하고 있는 무선 시스템간의 간섭 방지 대책 방안을 제시하였다. 마지막으로 5장에서는 결론을 기술하였다.

2. ISM 대역 주파수 이용현황

2.1 ISM 대역 주파수 분류

국제 전기통신연합 무선통신부문(International Telecommunication Union - Radiocommunication sector : ITU-R)에서는 ISM 주파수 대역을 분배하였는데, 이 대역은 산업, 과학 및 의료용으로 할당된 개방형주파수대역으로써 주요 사용 주파수대는 902~928MHz, 2400~2500MHz, 5725~5875MHz 등이 해당된다. 최근 무선통신기기의 급증으로 사용 가능 주파수대역이 점점 감소하는 상황에서 ISM대역을 이용한 무선통신의 활용이 적극적으로 검토되고 있다

[표 2.1] 각국의 ISM주파수 분배표와 주석

항목	ITU-R	미국 (2지역)	유럽 (1지역)	일본	한국
1GHz 이하 (MHz)	6.765-6.795 13.553-13.567 26.957-27.283 40.66-40.70 433.05-434.79 (1지역) 902-928 (2지역)	6.765-6.795 13.553-13.567 26.957-27.283 40.66-40.70 902-928	6.765-6.795 13.553-13.567 26.957-27.283 40.66-40.7 433.05 434.79(1)	6.765-6.795 13.553-13.567 26.957-27.283 40.66-40.70	6.765-6.795 13.553-13.567 26.957-27.283 40.66-40.70
1GHz 초과 (GHz)	2.4-2.5 5.725-5.875 24-24.25 61-61.5 122-123 244-246	2.4-2.5 5.725-5.875 24-24.25 61-61.5 122-123 244-245	2.4-2.5 5.725-5.875 24-24.25 61-61.5 122-123 244-246	2.4-2.5 5.725-5.875 24-24.25 61-61.5 122-123 244-246	2.4-2.5 5.725-5.875 24-24.25 61-61.5 122-123 244-246
관련 분배표 주석	S5.138 S5.150 S5.280	524,534,546 548,661,707, 752,806,881 911,916,922	S5.138 S5.150 S5.280	J43 J48	(K40,S5.150) (S5.138)

미국, 유럽등의 제외국에서 운영되고 있는 개방용 주파수대는 크게

ISM대역과 비ISM대역으로 구분할 수 있는데, ITU-R과 미국, 유럽, 일본, 그리고 국내의 ISM대역 현황은 [표 2.1]과 같다 [1].

한편, 국내에서 사용중인 ISM 주파수대역의 타 통신서비스간의 공유 관계를 분석해 보면 [표 2.2]와 같다[2].

[표 2.2] ISM 주파수대역의 타통신서비스와 공유관계 분석

주파수 대역	국내 공유 서비스	비 고
6.765-6.795(MHz)	-고정 -육상이동	대부분의 나라에서 국내보다 더 다양한 용도의 소출력장치와 공유하고 있음.
13.553-13.567(MHz)	-무선도난경보기 -완구용조정기 -원격조정장치	
26.957-27283(MHz)	-모형기기 -생활무선국	
40.66-40.70(MHz)	-국내전용무선호출	
902-928(MHz) (국내에서는 ISM으로 분배가 안되어 있음)	-CT-1,CT-2 -무선데이터 -특정소출력 -방송중계	-미국에서는 ISM대역으로 많은 장비를 사용중임. -일본에서는 지역방재 무선전화 MCA, CDMA, PDC 등 이동전화로 사용하므로 의료용에 간섭발생 가능성 발생.
2.4-2.5(GHz)	-아마츄어 -특정소출력(LAN,이동체 식별장치,영상전송용) -방송중계	각국에서 다양한 소출력시스템과 공유함.
5.725-5.825(GHz)	-특정소출력무선LAN -아마츄어 -방송중계	소출력 장치로 유럽은 automatic vehicle identification장비가 사용되며 일본은 도로요금징수장치가 사용됨.
24-24.25(GHz)	-무선표정 -지구탐사위성	대부분의 나라에서 이용율이 저조함.
61-61.5(GHz)	-고정,이동 -위성상호간,무선표정	
122-123(GHz)	-고정,이동 -지구탐사위성,위성상호간 우주연구	

(1) 2.4GHz대역

2.4GHz대역은 미국, 유럽에서는 모두 용도지정 주파수대역과 용도 미지정의 개방용 주파수대역으로 동시에 사용하고 있으며, 일본의 경우는 1999년까지 2.471GHz를 소출력 무선데이터시스템으로 사용하였으나, 1999년 9월 주파수대역을 확대하여 2.000GHz부터 2.4835GHz를 소출력 무선 DATA시스템으로 재정비하여 사용하고 있으며, 현재 관심이 집중되고 있는 근거리 무선통신인 Bluetooth에서도 사용하고 있는 주파수 대역이므로 국제 표준화의 흐름에 따라 Bluetooth의 기술적 사양을 만족시킬 수 있도록 기술기준을 개정하여야 할 것이다. 이와 같이 2.0~2.4835GHz대역은 기존의 무선통신과 미래의 무선통신 등 다양한 용도의 무선통신이 서로 공존하여 사용하게 되는 경향이 나타나고 있다[3].

(2) 5GHz대역

5GHz대역 중 5.725~5.875GHz대역은 국제전기통신연합 무선통신부문 (ITU-R)에 의해 ISM대역으로 분배하여 사용중이다. 그러나, 미국과 유럽에서는 이 주파수 대역을 용도 미지정주파수대역(개방용 주파수대역)으로 설정하여 정해진 기술기준을 만족한다면 자유롭게 사용할 수 있도록 개방하고 있다.

2.2 ISM 대역 주파수 기술 표준

(1) IEEE 802.11

IEEE 802.11은 두 개의 RF 물리층, 즉 확산 대역 방식을 사용한 FHSS(주파수 호핑 확산 스펙트럼)와 DSSS(직접 시퀀스 확산 스펙트럼)으로 정의하였다.

확산 대역은 광대역이며 잡음과 유사한 신호를 사용하기 때문에 이러

한 신호를 다른 사람이 감지하기가 상당히 어렵다. 또한 확산 대역 신호는 가로채거나 복조하기도 비교적 어렵다. 나아가서 협대역 신호에 비해 좀처럼 방해받지 않는다. 이러한 낮은 차단 가능성(LPI: Low Probability of Intercept)과 잼(Jam) 방지 특성은 과거 오랫동안 군사용 목적으로 사용된 확산 대역 방식의 유용성을 말해주는 것이다.

확산대역의 기본 구조는 그림 2.1와 같다[4].

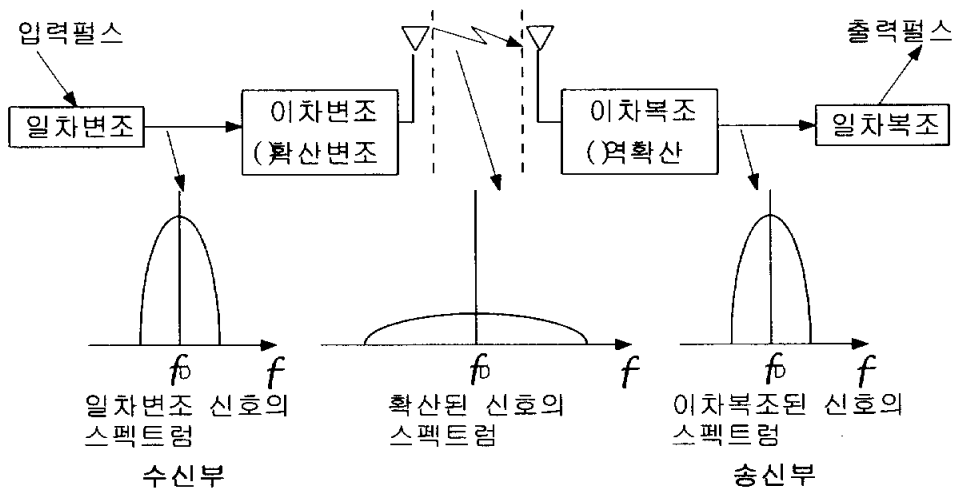


그림 2.1 확산 대역 방식의 기본 구조

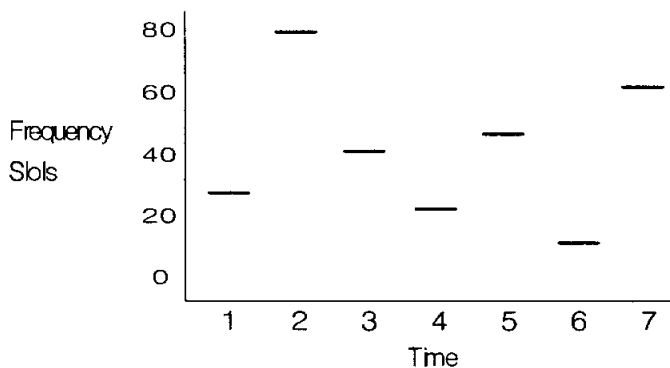


그림 2.2 FHSS 방식의 주파수 호핑 패턴

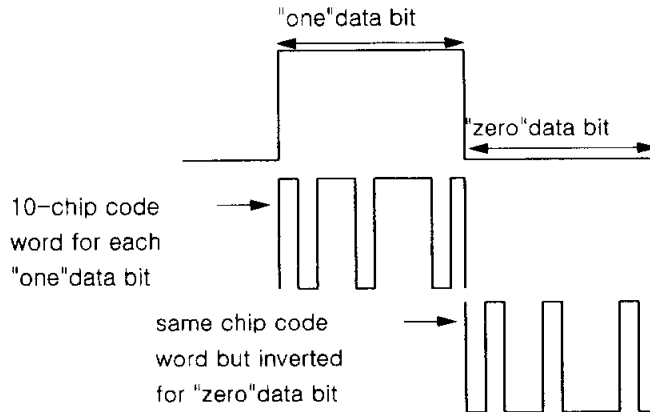


그림 2.3 DSSS 방식의 비트 패턴(chip)

FHSS 방식은 그림2-2와 같이 스펙트럼을 확산시켜야 할 신호의 반송파 주파수를 어떤 특정한 패턴에 따라 시간적으로 전환해 감으로서 시간평균으로 협대역 신호를 광대역 신호로 변환하는 방식이다[5].

DSSS 방식은 그림 2.3에 나타낸 바와 같이 스펙트럼을 확산시켜야 할 신호에 이 신호가 갖는 대역폭에 비해 충분히 넓은 스펙트럼을 가진 확산 부호를 이용하여 협대역 신호에서 광대역 신호로 변환하는 방식이다. DSSS 방식은 신호를 확산함으로서 그 에너지를 분산시킨다.

이상과 같이 확산 대역 방식에는 DSSS 방식과 FHSS 방식 두 가지로 분류되는데, 일반적으로 FHSS는 작은 영역에 밀집되어 있는 인구를 지원하는데 유리한 것으로 알려져있다. 그리고 FHSS는 독립된 RF채널이 더 많은 반면, DSSS는 운용범위와 서비스 범위가 더 크며 보다 큰 데이터 처리율을 가능케 한다. 이러한 DSSS와 FHSS 방식은 기술적으로 상호 보완적인 특징을 가지고 있다. 표 2-3에서 두 방식의 장단점을 열거하였다.

표 2.3 DSSS 와 FHSS 방식의 비교

방식	장점	단점
DSSS	◦ 우수한 잡음과 잼 방지 성능을 가지고 있다. ◦ 가로채기가 어렵다. ◦ 다중경로(Multipath:신호가 여러 경로로 분산되어 도달하는 효과)효과에 강력하다.	◦ 상대적으로 작은 위상 왜곡과 함께 큰 대역폭 채널을 필요로 한다. ◦ 긴 PN(Pseudo Noise)코드 때문에 오랜포착 시간(Acquisition Time)을 필요로 한다. ◦ Near-to-far problem이 상존한다.Near-to-far problem이란 여러 송신기중에서 수신기에 보다 가까운 송신기의 과도한 전력이 신호를 파괴하는 효과를 일컫는다.
FHSS	◦ 방대한 양의 확산을 제공한다. ◦ 스펙트럼의 분할을 피하기 위한 조정이 가능하다. ◦ Chip rate가 현저하게 적기 때문에 상대적으로 짧은 포착 시간을 요구한다. ◦ DSSS가 가지고 있는 Near-to-far problem에 영향을 받지 않는다.	◦ Hop을 생성하기 위한 복잡한 주파수 합성기가 필요하다. ◦ 에러 보정이 필요하다.

(2) IEEE 802.11b2

IEEE 802.11b의 물리층은 3종류의 전송방식(FHSS ,DSSS, IR(적외선))으로 분류되며, 기존 IEEE 802.11 규격의 무선 LAN 변복조 기술을 일부 변경하여 전송속도를 고속화한 것이다. 이 기술기준에서의 FHSS 시스템은 최고 3Mbps, DSSS 시스템은 최고 11Mbps (실제 정보 전송속도(Trueput)는 최대 5~6Mbps정도)이다.[6]

(3) ETS 300 328

ETSI(에서 제정한 ETS300 328은 FHSS 시스템이 2.4GHz 대역 내에서 적어도 20개의 비 중복 무선 채널들 사이에서 호핑하고 각 채널에서 400msec 미만의 시간 동안 상주할 것을 요구한다. 단일 대역폭 채널의 최대 대역폭은 1MHz이다. ETS 300 328에 적용되는 FHSS 시스템의 EIRP(Effective Isotropically Radiated Power: 유효 등방 복사 전력)한도는 다음과 같다.

- 총 EIRP: -10 dBW
- 최고 EIRP: -10 dBW/100kHz

ETS 300 328은 FHSS의 요구사항에 일치하지 않는 모든 확산 스펙트럼 변조 기법을 DSSS로 정의한다. 최고 EIRP 스펙트럼 밀도 한도는 -20dBW/MHz이다.

(4) EN 300 440 초안

EN 300 440은 이용 가능한 주파수를 가장 잘 사용하기 위하여 SRD(Short Range Devices: 단거리 장치)에 필요하다고 간주되는 최소한의 특성을 다루었다. 2.4 GHz 대역에서는 이 표준은 2400~2483.5MHz 사이를 운용하는 SRD를 커버한다[7]. 이 주파수 대역에서 표준으로 지정하는 최대 EIRP는 -3dBW이다. 이 표준은 사용될 어떤 특정한 RF 물리층을 지정하고 있지 않다.

(5) FCC Part 15

FCC Part15는 2400.0~2483.5 MHz에서 운용하는 무선 주파수 장치를 위한 최소한의 운용 표준을 다루고 있다. FHSS와 DSSS 시스템의 RF 물리 층 모두를 이 표준이 정의하였다. FHSS 시스템은 적어도 75개의 호핑 채널을 이용하며 그 호핑 채널의 최대 20dB 대역폭은 1MHz가 된다. DSSS의 경우, 6dB 대역폭은 최소한 500KHz이어야 한다. 최대 피크 출력은 FHSS와 DSSS 시스템 모두 0dBW를 초과하지 않을 것을 권고하고 있다.

3. ISM대역 응용시스템간의 간섭고찰

본 장에서는 여러가지 시나리오에 대해 예상되는 최소 결합 손실을 근거로 시스템간섭에 대한 세기를 고찰하며, 각 경우에 있어서 간섭원과 희생 시스템과의 관련 파라미터를 분류 정리하며 단일 간섭원으로부터 최악의 간섭 레벨을 해석한다.

3.1 무선 시스템에서 FWA로의 간섭

(1) 무선LAN에서 FWA로의 간섭

일반적으로 기존의 무선시스템기기의 사양으로부터 간섭원과 희생 시스템은 FHSS와 DSSS 기술을 사용함을 알 수 있다. 간섭원의 특성은 [표 3.1]과 같으며, 희생원 시스템의 특성은 [표 3.2]와 같다[8].

따라서 [표 3.1]과 [표 3.2]를 고찰해보면, 최악의 경우는 옥외 무선 LAN 또는 FWA 기지국의 가시거리내에 있는 무선 브릿지가 됨을 알 수 있다. 기지국내로의 간섭은 링크 마진이 작고 기지국상에서의 모든 트래픽이 단일 가입자보다 더 영향을 받음으로서 가입자 국내로의 간섭보다 더욱 심각하게 된다는 것이다.

[표 3.1] 무선 LAN 송신기 특성(간섭원)

파라미터	FHSS	DSSS
전체 EIRP	-10dBW	-10dBW
EIRP/MHz	-10dBW	-20dBW
듀티 사이클	1.27%	100%
안테나 형태	무지향성	무지향성

[표 3.2] FWA 수신기 특성(희생원)

파라미터	FHSS FWA	DSSS FWA
간섭 한계	-120dBW	-108dBW
수신기 대역폭	1MHz	22MHz
안테나(옥내)	무지향성, 8dB 이득	무지향성, 8dB 이득
안테나(옥외)	지향성, 18dBi	지향성, 18dBi

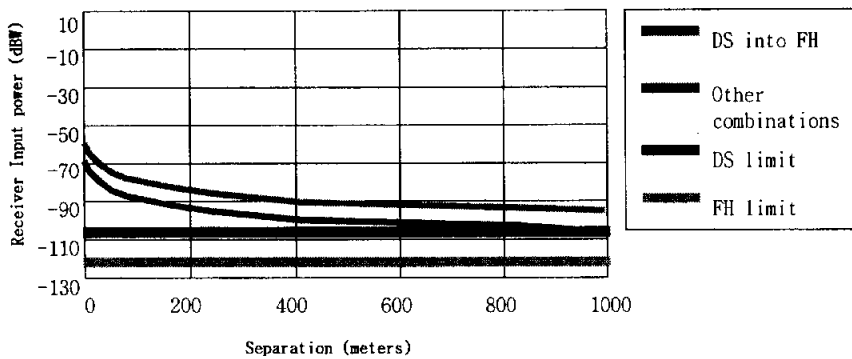


그림 3.1 이격 거리에 따른 RLAN 송신기에서 FWA 수신기로의 간섭 전력

그림 3.1은 간섭원과 희생 시스템사이의 이격 거리에 따른 간섭 전력 레벨을 [표 3.1]과 [표 3.2]를 근거로 하여 나타낸 그림이다. 그림 3.1에서 간섭원과 희생 시스템사이에 가시거리 경로가 존재하는지 여부에 따라 간섭 한계가 초과되는 것을 볼 수 있다. 주파수 호핑 간섭원의 경우, 간섭원의 주파수와 희생원의 주파수가 일치할 때 간헐적인 간섭이 일어나며, 많은 간섭원이 존재하지 않는 한 FWA 시스템은 상대적으로 영향을 받지 않는다. DS 간섭원은 간섭이 22MHz 광대역 RF 채널내에서 연속적으로 있다면, 낮은 전력 스펙트럼 밀도에 대해 허용할지라도 더욱 문제가 된다. 2.4GHz대역에서 유용한 호핑 주파수의 30%까지 영향을 받는다. 그것은 원천적으로 FWA 시스템의 영향을 받는 주파수를 피하도록 설정할 수 있다는 것이다.

실제적으로 대부분의 옥내용 무선 LAN 시스템은 FWA 안테나로부터 충분히 차폐되며 각각은 간섭에 대한 위험이 거의 없다. 하지만 옥외 시스템은 간섭원과 희생원사이의 결합 손실이 충분히 적으므로 더욱 문제가 되는 것이다.

(2) FWA에서 FWA로의 간섭

본 시나리오에는 옥외 무선 LAN을 FWA 시스템 내에 포함하는 것과 유사하다. 각 시스템은 모든 유용한 호핑 채널을 사용할 필요가 없기 때문에 운용자들 사이에 다른 채널을 할당함으로써 조정할 기회가 있다. 그러나, 무선 LAN과 OBTV와 같은 다른 간섭원을 막아내기 위해 각 사용자의 능력을 줄여야 한다. FWA운용자는 사용자가 수용할 만한 서비스 품질을 유지해야하기 때문에, FWA망으로 간섭이 포함되는 것은 개인 시스템용보다 더욱 심각하게 된다[8].

(3) Bluetooth에서 FWA로의 간섭

대부분의 Bluetooth소자는 두 가지 근본적인 방법에 있어서 무선 LAN과는 서로 다르며 다음과 같은 특성이 있다[9].

- 낮은 EIRP(-1dBW보다는 30dBW)
- 좁은 동작 영역(1km이상의 옥외 무선 LAN용보다 10m이내)

즉, Bluetooth 규격은 -10dBW로 출력을 증가하는 옵션에도 불구하고, 크기와 배터리 수명에 대한 고려는 Bluetooth가 전력을 적게 소모한다는 면을 강조하는 것을 뜻한다. 높은 전력을 요구하는 Bluetooth는 개인영역 망개념보다는 오히려 종래 RLAN 시스템과 더욱 유사하다고 논의되어 왔다. 초기 간섭 해석을 위해 모든 Bluetooth소자들이 30dB EIRP에서 동작하고 옥내 또는 외부에 모두 사용할 것으로 예상된다.

이러한 요소들은 문제를 야기하는 가시거리 간섭 경로를 만들며 그에 따른 간섭이 발생한다. 그림3.2에서 보는 바와 같이 1mW EIRP 레벨이 주어질 때조차도 가시거리 경로에 따른 Bluetooth 송신기로부터의 간섭 전력은 수 백미터에서도 임계치를 초과하는 것을 알 수 있다.

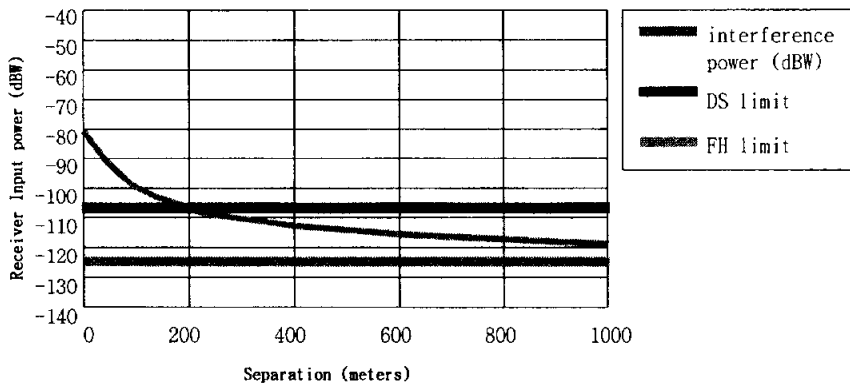


그림 3.2 이격 거리에 따른 1mW Bluetooth 송신기로부터 FWA 수신 기로의 간섭전력

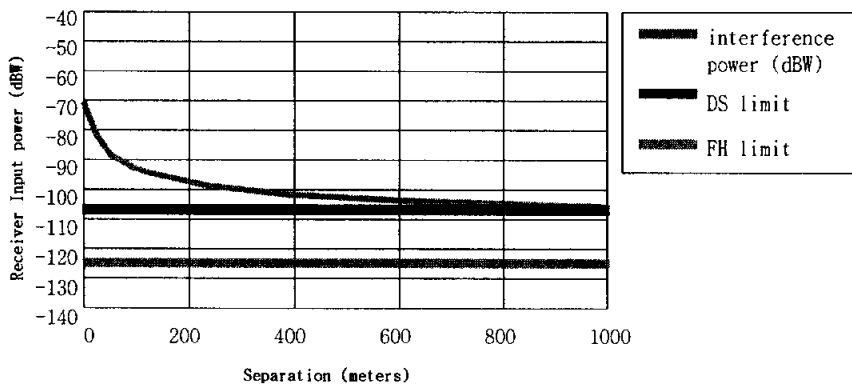


그림 3.3 간섭 레벨에 기초한 다중 HomeRF 간섭원의 누적 효과

(4) HomeRF에서 FWA로의 간섭

HomeRF는 PC, 프린터, 모뎀, 그리고 디지털 무선 전화 등과 같은 전자 장치를 네트워킹하기 위한 집적화된 플랫폼을 제공하는 기기를 말한다[10].

이와 같은 기기에서, 단일 간섭원과 희생원 시스템에 대한 최악의 간섭 시나리오는 지향성 옥외 안테나가 포함된 것을 제외하면 무선 LAN

와 유사하다. 옥내와 옥외 빌딩사이의 RF 경로가 완전히 가시거리라 해도, 무선 터미널이 무선 전화와 유사하게 옥내에서 동작하고 상대적으로 낮은 이득을 갖는 무지향성의 안테나에 의한 영향으로 가정한다.

빌딩 침투 손실을 10dB로 가정하면, FWA 수신기로의 최악의 간섭 레벨은 그림 3.3에서 나타낸 바와 같다.

(5) 그 외 간섭원에서 FWA로의 간섭

① OBTV

OBTV 시스템은 고 전력 때문에 매우 심각한 간섭 위험을 주는 시스템 중의 하나이다. 그러나 대부분 지역에서 그 적용이 극히 드물고, 둘 이상의 시스템이 동일한 지역에서 동작하지 않는 한, 영향받는 대역폭은 대부분의 FHSS 채널이 영향받지 않을 만큼 충분히 좁은 대역폭을 갖는다. 간섭은 OBTV 전송 기간동안 연속적으로 존재하기 때문에 OBTV 시스템이 RF 대역폭내에서 전송된다면 DSSS 시스템은 더 많이 차단될 것이다.

협대역 채널 공간과 더욱 일정한 스펙트럼 밀도를 가진 디지털 링크의 도입은 FHSS 시스템이 영향받는 주파수를 피하기 어렵게 한다. 그러나 FHSS 시스템이 대역내 간섭을 겪고 있는 반면에, 낮은 전체 전송 전력은 DSSS 시스템에서의 영향을 감소시킨다.

최악의 시나리오는 고출력(40dBW) 임시 점 대 점 링크가 FWA 안테나 가시거리내에 배치되는 경우이다. 그림 3.4는 그와 같은 시나리오하에서 FWA기지국내에 있는 간섭 레벨을 보여준다. 그림에서 매우 근거리에서 차단이 발생하며 전체 대역이 OBTV 전송 기간동안 사용할 수 없게 되는 것을 볼 수 있다. DSSS 시스템은 원하는 신호 채널 내에 간섭이 존재한다면 OBTV 전송 기간동안 연속적으로 존재하기 때문에 간섭가능성이 많다. 반대로 FHSS 시스템은 OBTV 캐리어에 근접한 주파수에 있는 채널만 간섭을 받게 된다.

간섭 레벨은 휴대용 카메라에 비해 충분히 작으며 간섭이 포함된 협대역은 매우 근접한 거리에서 동작하지 않는 한 FHSS 시스템에 영향을 주지 않는 것을 볼 수 있다. 하지만 고정 반송 주파수에서 동작하는 DSSS 시스템은 간섭이 원하는 신호 대역 내에 있고, 회생원과 가시거리

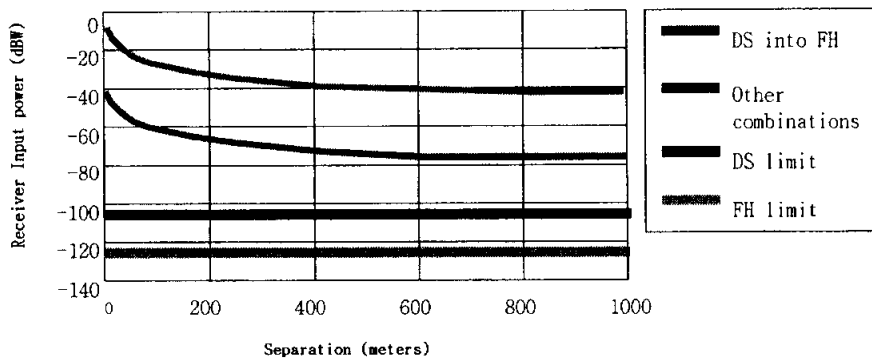


그림 3.4 이격 거리에 따른 OBTV 송신기에서 FWA 수신기로의 간섭

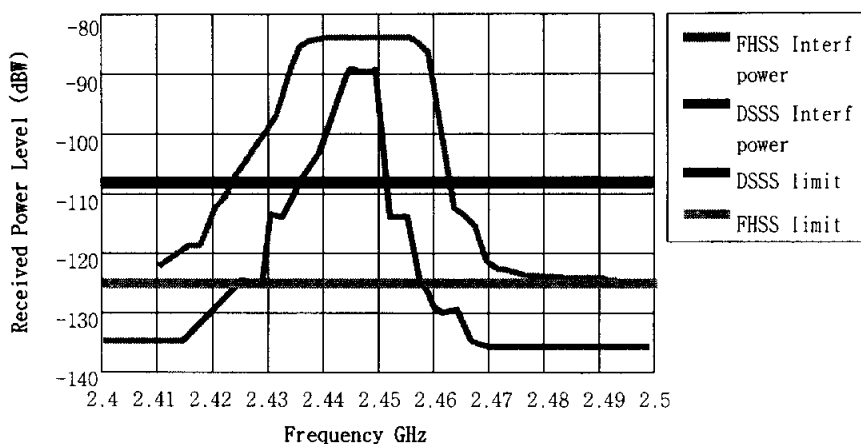


그림 3.5 마이크로웨이브 오븐에 근거한 ISM 시스템에서 FWA 수신기로의 간섭그림

경로가 있을 경우는 조금 떨어진 거리에 있을지라도 동작을 하지 못할 수 있다.

② ISM 장비

대역내 ISM 간섭의 가장 큰 발생원은 마이크로웨이브 오븐에 의한 간섭이다. 외국의 RA 보고[11]에 의하면 통상, FWA 기지국 섹터 커버리지 영역과 유사한 크기의 도심지 영역 내에서의 전형적인 누적 방사 레

벨은 90dBW/Hz까지 될 수 있다. 무선 LAN과 관련된 전송 스펙트럼 마스크를 가정하면 다음 그림 3.5와 같은 간섭 전력 레벨이 FWA 기지국 수신기에 존재하게 된다[12].

그림 3.5에서 FWA 간섭 제한이 FHSS시스템의 경우 26MHz 대역을 초과하며 DSSS시스템에 대해서는 38MHz를 초과하는 것을 알 수 있다. 그러므로 FHSS 시스템은 이 채널을 피함으로서 ISM 간섭의 효과를 최소화할 수 있다.

3.2 무선 시스템에서 무선 LAN으로의 간섭

(1) 무선 LAN에서 무선 LAN으로의 간섭

IEEE 802.11은 직교 FHSS code set을 정의하고 2.4GHz대역내의 세 개의 서로 겹치지 않는 DSSS 채널을 제공함으로써 동일한 위치에 있는 다중 무선 LAN을 제공한다. 장비 공급자에 따르면, 15개의 FHSS 무선 LAN이 최소 충돌 위험을 가지면서 동일한 위치에 있을 수 있으며, 22개 까지 데이터 처리에 있어서 심각한 감쇠없이 동일한 위치에 둘 수 있다고 한다. 많은 옥내 무선 LAN의 누적 효과는 잡음층을 조금씩 높여갈 것이며, 최소 RSSI(Received Signal Strength Indecation)레벨이 증가하도록 할 것이[13].

DSSS 무선LAN은 그것들이 서로 다른 캐리어 주파수에서 동작한다면 일반적으로 동일한 위치에 있을 수 있다. 이것은 두 개의 동일한 전력을 가진 BPSK(Binary Phase Shift Keying)시스템이 동일한 채널에서 동일한 위치에 있는 것을 배제하는 0dB(BPSK) 또는 3dB(QPSK)확산 대역폭내에 있는 최소 S/N에 대한 요구치이기 때문이다.

동일한 위치에 있는 DSSS 시스템에 대한 캐리어 주파수 이격은 그 시스템들 사이의 차폐 정도에 의존한다. 충분한 차폐가 없는 최악의 경우 2.4GHz대역에서는 단 3개의 DSSS 시스템만이 동일한 위치에 수용할 수 있다.

모든 전송 출력이 100m/W EIRP 레벨이기 때문에, 무선 LAN 시스템에 대한 링크 마진은 기지국에서의 수신 전력이 수 dB 이내로 동등하게

하는 FWA 시스템에 대한 것보다 더 높다는 것을 주목해야 한다. 따라서, 무선 LAN 셀내 가장멀리 떨어진 기지국으로부터의 간섭에 의해 영향받는 심각한 감쇠 또는 다중 경로에 의한 간섭을 받게 된다. 간섭을 겪는 대부분의 경우에 있어서, 영향받는 터미널을 재배치함으로써 간섭을 줄일 수 있다.

(2) FWA에서 무선 LAN으로의 간섭

간섭 시스템과 희생 시스템 모두 FHSS 또는 DSSS 방법을 사용한다. 간섭 시스템과 바로 정렬된 안테나를 가지고 있는 외부 희생 시스템은 상대적으로 높은 안테나 이득과 빌딩 침투 손실이 적기 때문에 충분한 마진이 필요한 경우라 할 수 있다. 두 시스템 사이에 가시거리 경로가 있다고 가정하면, 거리에 따른 희생 수신기에서의 간섭 레벨은 그림 5.6과 같다.

DSSS 시스템은 높은 간섭 레벨에 잘 견딜 수 있지만, 이 이득은 넓은 대역폭에 의해 보완되며, 인접한 FHSS 시스템으로부터의 간섭 확률에 기인한다. 그러나 많은 경우에 있어서 간섭 제한이 초과할 때에도 동작이 가능하다는 것을 주목해야 한다. FHSS 시스템 사이의 간섭은 연속적이지 않을 뿐아니라 시스템이 완전히 차단되기보다는 오히려 데이터 처리율이 점차적으로 줄어들게 된다. 옥외 시스템에서의 간섭은 간섭원이 원하는 신호와 서로 다른 방향이라면 지향성 안테나의 사용으로 설명할 수 있다.

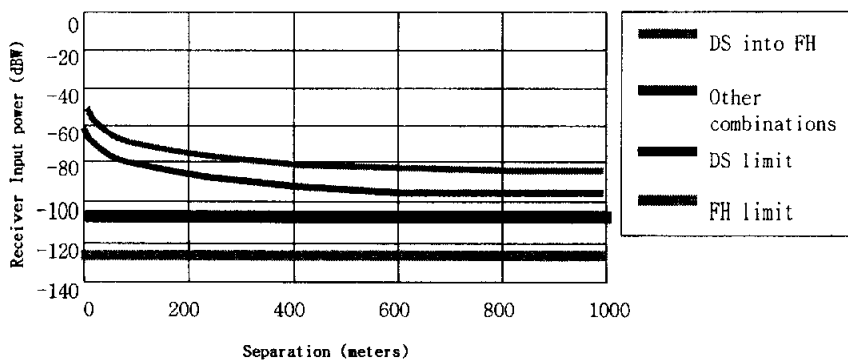


그림 3.6 이격 거리에 따른 FWA 시스템에서 무선 LAN으로의 간섭

두 DSSS 시스템간에 간섭이 발생한다면, 가장 효율적인 해법은 두 시스템이 서로 떨어져 겹치지 않는 무선 채널에서 동작하도록 하는 것이다. 이러한 옵션은 모든 가용 채널이 영향을 받을 수 있는 위치에서 사용중에 있다면 유용하지 않다. 그와 같은 경우, 유일한 옵션은 희생 시스템의 영향받는 부분의 링크 마진을 증가하는 것이다.

(3) Bluetooth에서 무선 LAN으로의 간섭

많은 소자들이 옥내 환경에서 무선 LAN과 나란히 사용되며 이것은 간헐적인 주파수 충돌을 초래할 것이다. 그러나 상대적으로 낮은 대부분의 소자들의 방사 전력은 무선 LAN 수신기로부터 수 십미터 이상의 거리에서는 거의 영향을 주지 않는다는 것을 의미한다. 예를 들면, 무선 LAN 수신기로부터 100m떨어진 지점에서의 Bluetooth 송신기는 무선 LAN 수신기에 다음과 같은 전력을 발생시킬 것이다. 두 시스템간에 가시거리 경로가 존재한다고 가정하면 다음식 (3.1)으로 표현이 가능하다.

$$\begin{aligned} P_{rx} &= P_{tx} - FSPL + G_{rxant} \\ &= -30 - 100.6 + 2 = -128.6dBW \end{aligned} \quad (3.1)$$

이는 무선 LAN 수신기에 대한 간섭 한계치보다 8.6dB작게 된다. 물론, 간섭원과 희생원사이의 이격 거리가 짧거나 무선 LAN에 지향성 수신 안테나를 사용하면 수신전력 레벨이 더 높게 나올 수 있으나, 지향성 안테나를 사용할 경우 주파수 충돌 확률이 낮아지게 된다[9].

(4) 다른 간섭원에서 무선 LAN으로의 간섭

무선 LAN으로의 가장 큰 간섭원은 무선 LAN 터미널 또는 접속점 근처에 위치한 마이크로웨이브 오븐 또는 ISM 장비이다. 무선 LAN 공급자들은 그와 같은 장비로부터 2~3m 이내에 터미널을 설치하는 것을 피하라고 권고한다. 무선 LAN은 OBTV 시스템으로부터 간섭을 받을 수 있다. 특히, DSSS 무선 LAN은 매우 높은 레벨을 가진 협대역 간섭이 희생 시스템의 RF 대역폭 내에 마주칠 경우 동작을 멈출 수 있다. 이것은 희생원과 간섭원이 서로 마주볼 경우 매우 높은 레벨의 간섭을 겪는 FWA 시스템처럼 옥외 시스템에 대한 특별한 위험이라고 할 수 있다.

한편, HomeRF와 무선 LAN과의 간섭에서 HomeRF는 가정용으로 무선 LAN은 사무실이나 상가 환경에 적용할 목적이기 때문에 두 시스템 사이에 심각한 간섭은 발생하지 않을 것이다. 아마 가장 크게 고려해야 할 것은 HomeRF에서 옥외 무선 LAN 수신기로의 간섭일 것이다. 그 효과는 옥외 무선 LAN이 더 높은 링크 마진을 가지기 때문에 간섭에 더 강하다는 것을 제외하면 HomeRF에서 FWA 시스템으로의 간섭과 유사하다.

3.3 무선 시스템에서 Bluetooth로의 간섭

(1) 무선 LAN에서 Bluetooth로의 간섭

옥내 무선 LAN에서 Bluetooth시스템으로의 간섭은 그 발생 가능성이 매우 크다. 그러나 매우 짧은 영역에서 요구되는 Bluetooth 링크의 성능에 심각한 영향을 준다고 보긴 어렵다. 그것은 Bluetooth 장비가 무선 LAN 송신기에 매우 가까이 위치해 있다면 발생할 수 있으나, 이것은 터미널을 재배치함으로써 조정할 수 있다. 최악의 시나리오는 많은 DSSS 무선 LAN이 2.4GHz 대역 전체에 간섭을 일으키면서 동일한 위치에 있을 경우의 간섭이라고 할 수 있다. 그와 같은 간섭원이 Bluetooth 희생 시스템으로부터 10m 지점에 위치해 있을 경우, 간섭은 일반적으로 $-80dBW/Hz$ 가 된다고 알려져 있다. 이 상황에서 16dB C/I를 유지하기 위해 Bluetooth 수신기는 최대 2m 영역에 있어야 한다. 이러한 근거로부터 Bluetooth는 고 밀도의 DSSS무선 LAN 시스템 주위에서는 동작하기 어렵다는 것을 알 수 있다.

(2) Bluetooth에서 Bluetooth로의 간섭

Bluetooth는 저 전력뿐만 아니라 주파수 호핑 기술 때문에 고 밀도의 동작에 적합하다고 할 수 있다. 22개의 주파수 호핑 시스템이 유사한 수신 전력 레벨을 가지고 동일 지역에서 동작할 수 있으며 전형적으로 10m 동작 영역 내에 위치한 Bluetooth 소자의 수가 22개 이상이 되기는

쉽지 않다. 많은 Bluetooth 응용은 무선 LAN과 같이 복잡한 점대 다중 점 배치보다는 소자들 사이의 점 대 점 링크를 구성할 뿐만 아니라 시스템 내부 간섭을 줄이기 위해 상대적으로 낮은 듀티 사이클을 갖는다.

더 넓은 전파 커버리지를 제공하기 위한 100mW 출력을 갖는 Bluetooth도 Bluetooth 시스템의 간섭에 많은 영향을 미치지 않을 것이다. 그것은 높게 설치된 옥외 FWA 또는 무선 LAN 안테나와는 달리 낮은 곳에 설치되어 있으므로 한 두개의 송신기가 Bluetooth 수신기와 가시 거리 경로를 가지기가 쉽지 않기 때문이다[14].

(3) HomeRF에서 Bluetooth로의 간섭

이 시나리오에는 모든 간섭 시스템이 FHSS 방법을 이용하며 여러 개의 간섭 시스템이 동일 위치에 있기 어렵다는 것을 제외하면, 무선 LAN에서 Bluetooth로의 간섭 시나리오와 유사하다. 그러므로 이들 두 시스템 사이에 중대한 간섭에 대한 확률은 무시한다[9][10][14].

(4) ISM대역 기기에서 Bluetooth로의 간섭

Bluetooth가 2.4GHz 대역에 있는 다른 간섭원으로부터의 간섭을 겪을 유일한 상황은 터미널이 마이크로웨이브 오븐과 매우 인접한 곳에 있을 경우이다. 그러나 이러한 상황은 적용에 있어서 주요한 제한이 있을 것 같지 않다. 또한 OBTV는 협대역 시스템이기 때문에 큰 영향을 미치지 못할 것이다[12][14].

4. 무선 시스템간 간섭해석 및 간섭방지 대책 방안

이 장에서는 3장에서 기술한 무선 시스템간 간섭에 대한 해석을 바탕으로 간섭 최소화를 위한 서비스 영역을 결정하고, ISM대역중 5GHz대역에서의 사용이 급격히 증가할 것으로 예상되는 초고속 무선 접속망(HIPERLAN)과 지구 탐사 위성서비스, 레이더, 고정 위성서비스, 이동 위성서비스간 간섭을 이론적으로 해석하였다

4.1 간섭 최소화를 위한 서비스 영역의 결정

서비스 영역의 결정은 시스템 운용에 가장 큰 영향을 미치는 요소이다. 서비스 영역을 결정하기 위해서는 송신 출력의 세기, 안테나 이득 외에 시스템의 전송률, 통신 품질 등이 중요한 요소가 된다.

옥외 환경에서의 서비스 영역을 계산하기 위해서는 먼저 변곡점 거리(break distance)를 구해야 한다. 송신기에 의해 송신된 전파 신호 세기는 일정 거리에 도달하기 전에는 거리의 제곱에 반비례하다가 일정 거리를 넘어서면서 거리의 네 제곱에 반비례하게 되는데 이 지점까지의 거리를 변곡점거리라 하며 주파수에 비례한다. 변곡점 거리를 산출하는 식 (4.1)과 같다.

$$D_b = \frac{4h_b h_m}{\lambda} \quad (4.1)$$

여기서, h_b 는 송신 안테나 높이, h_m 는 수신안테나 높이, λ 는 파장을 나타낸다. 초고속 무선 접속망의 송신 안테나 높이가 20m, 수신안테나 높이가 1.5m이면 변곡점 거리는 약 2,068m가 된다. 따라서 송신 안테나로부터의 R만큼 신호 세기는 2,068m이전까지는 거리의 제곱에 반비례, 즉 자유공간에서의 수신 전력을 구하는 식과 동일한 식을 사용할 수 있음을 의미한다. 자유공간에서의 수신 전력을 구하는 식은 (4.2),(4.3)과 같다.

[표 4.1] HIPERLAN/2에 대한 시스템 파라미터

전송 전력	30 dBm EIRP
안테나 지향성	무지향성
최소 수신기 감도	-70dBm
수신기 잡음 전력(23.5MHz)	-90dBm
BER 10 ⁻³ 에서의 C/I	20dBm
실효 영역(class C)	50m
무선 접속	TDD/TDMA

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} \quad (4.2)$$

$$P_r[dB] = P_t[dB] + G_t[dB] + G_r[dB] + 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi}\right) - 20 \log R \quad (4.3)$$

일반적 작업환경이 실내의 경우, 랩톱 컴퓨터와 광대역 ATM/IP망간의 고속 멀티미디어 통신을 제공하는 [표 4.1]의 HIPERLAN/2의 시스템 파라미터를 이용하여 계산하면, 옥외용 송신 안테나의 이득이 약 6dB인 경우는 서비스 영역은 약 920m가 된다. 또한, 동일한 시스템을 옥내용으로 사용하는 경우 송신 안테나의 이득은 0dB가 되어야 한다. 이 경우 건물 침투 손실을 13.4dB라고 가정하면 서비스 반경은 약 90m가 되나 건물내에서는 신호의 전달을 차단하는 요소를 고려하면 약 50m로 줄어들게 된다.

4.2 지구 탐사 위성서비스(EESS)

WRC-97에서 5.250~5.460GHz대에 할당된 지구탐사 위성 서비스는 범 세계적으로 중요한 서비스이다. 1991년이래 여러 가지 형태의 EESS(Earth Exploration Satellite Service)가 운용되고 있으며, 그 중에서 고도 탐사 레이더(SRA: Spaceborne Radar Altimeters)가 주로 이용되고 있다.

고도 탐사 레이더는 정확한 해수표면의 지형 및 해수 레벨의 변화 또는 해수 순환 상태, 날씨 등을 파악하기 위한 시스템이다. 두 시스템간

의 간섭은 HIPERLAN에서 Altimeter로의 간섭, Altimeter에서 HIPERLAN으로의 간섭으로 구분하여 설명한다[15].

(1) HIPERLAN에서 Altimeter로의 간섭

최악의 조건에서 HIPERLAN이 Altimeter에 미치는 간섭을 분석하기 위하여 HIPERLAN이 Altimeter 주 로브의 투영 범위내에 있다고 가정한다. Altimeter는 확장 대역폭이 320MHz를 가지며 HIPERLAN의 대역폭은 23.5MHz이다. 또한 HIPERLAN의 최대 방사 출력은 30dBm이며, Altimeter의 안테나 이득(G_a)은 32.5dB, 입력 손실은 1dB이며, Altimeter의 간섭 임계치는 88dBm이다. 안테나 사이즈는 1.2m, HIPERLAN과 Altimeter와의 거리를 R 이라고 할 때 SRA의 중심(boresight)내에 있는 하나의 HIPERLAN에서 송신된 신호가 Altimeter에 수신될 경우 수신 전력은 다음 식 (4.4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r = \frac{P_h G_h G_a \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} L \quad (4.4)$$

R 이 1344km인 경우 위에서 정의된 각 파라미터 값들을 식(4.4)에 대입하면 P_r 은 108dBm이 된다. Altimeter의 간섭 임계치는 88dBm이므로 두 시스템간에는 20dB의 차이가 발생한다. 따라서 많은 HIPERLAN이 동시에 운용되더라도 Altimeter에는 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다. 더욱이 Altimeter는 주로 대양에서 측정이 이루어지므로 HIPERLAN의 동작에 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

(2) Altimeter에서 HIPERLAN으로의 간섭

Altimeter 대역폭 축소 요소(Bandwidth reduction factor : B_h/B_a)가 HIPERLAN 대역폭(B_h)보다 매우 크기 때문에 대역폭 축소 요소를 고려해야 한다. 앞에서 B_a 와 B_h 는 각각 320MHz, 23.5MHz로 주어졌으므로 대역폭 축소 요소는 11.34dB가 된다. Altimeter에 적용된 각 파라미터의 사양은 다음과 같다.

- . 전력 증폭기 출력단에서의 송신 출력 : 40W
- . 안테나 이득은 32.5dB이며 1dB 출력 손실
- . HIPERLAN의 수직 방향으로의 안테나 이득 : 0dB
- . 간섭 임계치는 최악의 경우 94dBm

이상의 조건에서 Altimeter에서 하나의 HIPERLAN에 의해 수신된 전력은

$$P_r = \frac{P_t G_t G_a \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2 B_a} B_h L \quad (4.5)$$

로 얻을 수 있으며, 식(4.5)으로부터 HIPERLAN에서의 수신 전력은 최악의 조건(거리 : 1344km, 옥외 HIPERLAN)에서 103.4dBm이 된다. Altimeter의 로브는 중심 각에 따라 급격하게 줄어 든다(편저 방향에서 4만큼 벗어나면 20dB, 15만큼 벗어나면 40dB 감소). 따라서 Altimeter 주 빔에 수직 방향에 있는 부 로브의 영향속에 있을 경우 간섭 전력이 최대가 되므로, 간섭 계산시 최악의 경우로 생각할 수 있다.

지금까지의 계산 결과에 따르면 HIPERLAN의 간섭 임계치가 90dBm 이므로 수신 신호 세기에 비해 약 13dB의 여유가 생긴다. 따라서 Altimeter는 HIPERLAN에 간섭을 주지 않는다는 것을 알 수 있다. 더욱이 Altimeter는 듀티 사이클이 낮을 뿐 아니라, 편파와 부가적인 전파 손실을 갖는 펄스 방식의 레이다이므로 계산에 고려된 것보다 더 많은 여유가 생기는 것으로 추측할 수 있다. 이상으로부터 5.3GHz대에서 3209MHz대역폭을 가지는 레이더 Altimeter는 HIPERLAN과 동시에 사용 가능하다.

4.3 Radars

본 절에서는 5GHz대에 동작하는 HIPERLAN과 지상, 항공, 항해 및 기상 레이더 뿐만 아니라 군사용 레이더도 포함한 레이더 시스템 사이에 동일 채널 공유 가능성에 대하여 이론적인 고찰을 한다. HIPERLAN으로의 간섭은 레이더와 HIPERLAN사이에 요구된 최소 결합 손실 계산 방법에 근거한 방식을 이용하며, 자유 공간 전파 모델을 이용하여 송수

신기간 이격 거리를 계산한다. 또한, 레이더 수신기에 대한 정보가 충분하지 못하기 때문에 레이더에서 HIPERLAN으로의 간섭만을 분석하였다 [16][17].

(1) Radar에서 HIPERLAN으로의 간섭

Radar에서 HIPERLAN으로의 간섭은 다음 식 (4.6)과 같이 나타낸다.

$$MCL = P_{tr} + 10 \log(BW_{hip}/BW_{radar}) - I_{rec} \quad (4.6)$$

여기서, P_{tr} : 전력 증폭기 출력단에서의 송신 출력

BW_{hip} : 수신기 잡음 대역폭

BW_{radar} : 송신기 대역폭

I_{rec} : 저잡음 증폭기 입력단에서의 최대 허용 간섭치

를 나타낸다.

MCL은 아래와 같이 전파 손실(L) 요구치를 얻기 위한 식 (4.7)로 변환할 수 있다.

$$L = MCL + G_{tr} - L_{tr} + G_{rec} - L_{rec} \quad (4.7)$$

여기서 G_{tr} : radar 안테나 이득

L_{tr} : radar 급전 손실

G_{rec} : 초고속 무선 접속망 안테나 이득

L_{rec} : 초고속 무선 접속망 급전 손실

을 뜻한다. 따라서, 자유공간 전파로 가정하면, 요구되는 송수신기간 이격 거리는 다음 식 (4.8)과 같이 된다.

$$d = \frac{\lambda}{(4\pi)} \times 10^{\frac{L}{20}} \quad (4.8)$$

여기서, λ 는 파장을 나타낸다. 식 (4.8)은 자유 공간에서의 전파 손

실에 의한 송수신기간 이격 거리를 계산한 것이다. 실제로는 송수신 안테나간 이격 거리가 매우 먼 경우 지구 곡률 때문에 직선 전파가 지면에 부딪칠 때 심한 감쇠 현상이 발생하여 그 지점 이상에서는 통신이 불가능해진다. 이 지점까지의 거리를 무선 수평선(radio horizon) 거리라고 하며 고주파 통신에서 최대 이격 거리가 된다.

① 무선 수평선거리

무선 수평선은 지표면보다 높게 위치한 기지국 안테나에서 수평으로 복사된 전파가 지표면에 부딪치는 지점까지의 거리를 말하는데, 가시적인 수평선이 지표면에 부딪치는 지점까지의 거리는 다음과 같은 방법으로 계산한다.

그림 3.2에서 지구의 실제반지름을 $r(\approx 6,370)$, 송·수신공중선의 높이를 각각 h_1, h_2 , 수평선(또는 지평선)으로부터 송신 및 수신공중선까지의 직선거리를 d_1, d_2 라고 하면 기하학적 가시거리 $d = \overline{TR}$ 은 $d = d_1 + d_2$ 이며, 실제에 있어서 $\overline{TC} \approx \overline{AC} \approx d_1$, $\overline{RC} \approx \overline{BC} \approx d_2$ 의 관계가 만족되므로 다음 관계를 얻는다.

$$d_1 = \sqrt{(h_1 + r)^2 - r^2}, \quad d_2 = \sqrt{(h_2 + r)^2 - r^2} \quad (4.9)$$

$2h_1r \gg h_1^2, 2h_2r \gg h_2^2$ 이용

$$d_1 \approx \sqrt{2h_1r}, \quad d_2 \approx \sqrt{2h_2r} \quad (4.10)$$

식 (4.10)을 기하학적 가시거리 d 로 정리하면 식 (4.11)과 같다.

$$d \approx \sqrt{2r}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \approx 3.57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \text{ [km]} \quad (4.11)$$

단, h_1 ; 송신공중선의 높이 [m],

h_2 ; 수신공중선의 높이 [m]

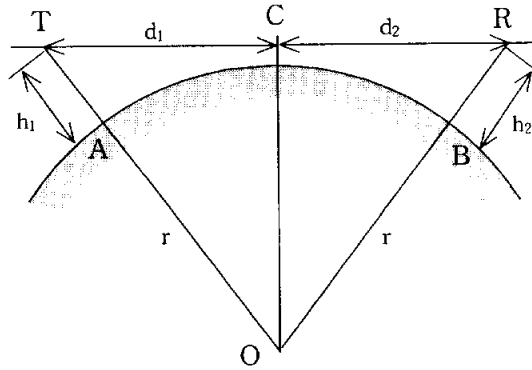


그림 4.1 무선 수평선 거리

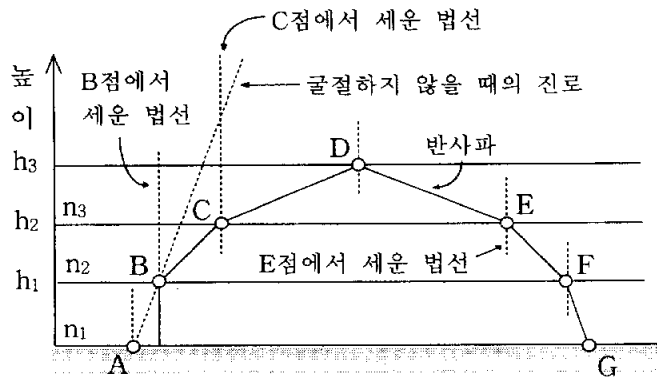


그림 4.2 높이에 의한 굴절율의 변화

식 (4.11)에서 만약, 송·수신공중선의 높이가 다 같이 1m일 때 가시거리는 7.14km가 된다. 그러나, 실제에는 이보다 더 멀리 전파하여 간다.

그 이유는 대기의 밀도가 지표 근처에서 가장 크고, 위로 올라감에 따라 기온, 기압, 온도 등의 저하로 점차적으로 감소하기 때문이다. 이것은 그림 4.2에 보인 바와 같이 대기가 굴절률 ($n \approx \sqrt{\epsilon_r}$)이 점차로 감소하는 얇은 공기층이 무수히 쌓여 있는 것으로 생각할 수 있고, 이러한 대기층 속에 전파가 입사하면 그림에 보인바와 같이 굴절을 거듭하므로 전(全)통로로 보면 전파는 직진하지 않고, 곡선을 따라 진행한 것처럼 된다.

전파는 직진한다고 생각하는 것이 profile을 그릴 때 편리하므로 지구의 반지름이 등가적으로 약 4/3배로 커졌다고 가정하면 전파통로를 직선적으로 취급할 수 있게 된다. 실제보다 약 4/3배로 개념상 확대시킨 새로

은 지구반지름을 등가지구 반지름 (equivalent earth radius)이다. 지금 이를 R 이라고 하면

$$R \doteq \frac{4}{3} r \quad (4.12)$$

의 관계가 있으므로 전파의 가시거리 d' 는 다음과 같다.

$$d' \doteq \sqrt{2R}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \doteq 4.11(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})[\text{km}] \quad (4.13)$$

식 (4.13)으로부터 $h_1 = h_2 = 1[\text{m}]$ 일 때 직접파는 실제로 약 $8.22[\text{km}]$ 까지 도달함을 알 수 있다.

수신 신호가 임계치에 도달하는 이격 거리를 결정하는 가장 중요한 요소는 레이더의 무선 수평선 거리이다. 레이더 시스템에 의해 방출된 높은 RF 출력 레벨은 상당히 큰 영역을 배타적 영역으로 만들어 그 영역 내에 있는 HIPERLAN이 동일 채널하에서 만족스럽게 동작하지 못하게 한다. 기상 레이더는 일반적으로 높은 빌딩에 설치되어 하늘을 3차원으로 정밀 조사하므로 HIPERLAN으로의 주 로브 간섭은 줄어들기 때문에 비교적 근 거리에서도 사용 가능하다.

(2) HIPERLAN에서 레이더로의 간섭

무선 수평선은 동일 채널에서 동작하는 HIPERLAN과의 이격 거리를 결정하므로 HIPERLAN망의 위치와 밀접한 관련이 있다. 실제로 HIPERLAN은 능동적 주파수 선택(Dynamic Frequency Selection) 방법을 이용하기 때문에 해당 셀 내에서는 레이더에서 사용하는 채널을 피할 수 있어 두 시스템간의 간섭은 충분히 줄어들게 된다. 또한 HIPERLAN에 적절한 DFS((Dynamic Frequency Selection) 방법을 적용하면 이동 레이더의 간섭도 피할 수 있다. 즉 HIPERLAN이 간섭을 일으키는 장치를 검출하여 피할 능력이 있기 때문에 레이더에 할당된 대역을 HIPERLAN이 공유할 수 있다.

4.4 고정 위성 서비스(FSS: Fixed Satellite Service:)

사용 주파수가 5.725~5.850GHz로 분배되어 있는 FSS와 HIPERLAN 사이의 분배 가능성을 파악하기 위하여 HIPERLAN으로부터 위성 수신기로의 간섭에 대해 분석한다.

(1) HIPERLAN으로부터 위성 수신기로의 최대 허용 간섭

ITU위 RR 부록 S8[17]에서는 동일한 주파수 대역을 분배하는 두 개의 FSS망 사이에 조정을 결정하기 위한 계산 방법을 제시하고 있다. 부록 S8에서 간섭 전력은 회생원의 등가 잡음 온도의 증가에 따라 수신기에 나타난다는 개념에 근거한다. 동일한 전송 방향의 경우, 재생 위성망의 경우는 식 (4.14)와 같다.

$$\Delta T_{sat}/T_{sat} < 6\% \quad (4.14)$$

또한, 전송 위성망의 경우에는 식 (4.15)와 같으며,

$$\Delta T_{link}/T_{link} < 6\% \quad (4.15)$$

식 (4.15)를 만족하면 조정을 요구하지 않는다.

여기서,

ΔT_{sat} : 간섭 방사에 기인한 위성의 수신 시스템 잡음 온도의 증가

T_{sat} : 우주 정거자의 수신 시스템 잡음 온도

ΔT_{link} : 간섭 방사에 의한 위성 수신 시스템 잡음 온도의 증가

T_{link} : 등가 위성 링크 잡음 온도

를 나타낸다. 프랑스 텔레콤 3을 예로 들면, 텔레콤 3은 전송 위성망이기 때문에 식 (4.15)을 적용한다. 식(4.15)으로부터, 조정 없이 간섭을 피하기 위한 전체 링크 잡음 온도에서의 최대 허용 증가는 다음 식 (4.16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta T_{link} = T_{link} \times 0.06 \quad (4.16)$$

투명 위성에 대해서는 다음 식 (4.17)이 적용된다.

$$\Delta T_{link} = T_{link} \times \gamma + \Delta T_{earth} \quad (4.17)$$

여기서, γ : 링크 전송 이득

ΔT_{earth} : 지구국 안테나의 잡음 온도의 증가

그리고, ΔT_{sat} 를 위해 다음 식 (4.18)을 제시한다.

$$\Delta T_{sat} = p \times \frac{G}{(k \times l)} \quad (4.18)$$

여기서, p : 전력 스펙트럼 밀도(W/Hz)

G : 위성 안테나 이득

k : Boltzman 상수

l : 자유 공간 경로 손실

위 방정식을 이용하면 모든 HIPERLAN에 의해 유도되는 최대 허용 간섭 전력 스펙트럼 밀도에 대한 다음 식 (4.19)와 같은 방정식을 얻을 수 있다.

$$p = 0.06 \times (G/T)^{-1} \times k \times l / \gamma \quad [\text{W/Hz}] \quad (4.19)$$

또는, dB 단위로는 식 (4.20)와 같다.

$$\begin{aligned} P &= -12.2 - (G/T) - 228.6 + 20(\log f_{5750\text{MHz}} + \log d_{3600\text{km}}) + 32.45 - \gamma \\ &= -42 - (G/T) - \gamma \quad [\text{dBW/Hz}] \end{aligned} \quad (4.20)$$

대역내 모든 위성은 정지 위성이므로 자유공간 경로 손실 계산을 위해 이용된 거리는 3600km이며, 사용된 주파수는 5750MHz이다.

HIPERLAN의 대역폭은 23.5MHz이므로 하나의 HIPERLAN채널내 모든 HIPERLAN에 의해 유도된 전체 최대 허용 간섭 전력은 다음 식

(4.21)과 같다.

$$P = 32 - (G/T) - \gamma \quad [\text{dBW}] \quad (4.21)$$

위성 수신기내에 HIPERLAN 설비로부터의 최대 간섭 전력을 계산하고자 할 때, 단일 소스로부터 위성 영향 범위하의 모든 HIPERLAN설비를 고려해야 한다. 이것은 소스가 특별하게 위치하지는 않고 HIPERLAN 안테나의 평균 위치 방향에서의 고찰이 필요하다는 것은 의미한다.

4.5 이동 위성 서비스(Mobil Satellite Service :MSS)

전 대륙에 걸쳐 오랜 기간동안에 적용 가능한 HIPERLAN의 수를 추정하기 어렵기 때문에, 위성의 투영 범위내에 있는 모든 HIPERLAN으로부터 최대 허용 간섭을 추정하는 방법으로 HIPERLAN과 5.150~5.250MHz 대역내에 있는 두 종류의 MSS피더 링크인 Globalster와 ICO 사이의 공유 가능성을 분석한다[18].

(1) HIPERLAN으로부터의 MSS로의 최대 허용 간섭

HIPERLAN으로부터의 MSS로의 최대 허용 간섭을 계산하기 위해 위성 수신기에서의 잡음 온도 증가, 전체 MSS 피더 링크에서의 잡음 온도가 증가하는 것에 기초한 두 가지 방법으로 산출하고자 한다.

① 위성 수신기에서의 잡음 온도 상승

위성 수신기에서의 시스템 잡음 온도 증가 ΔT_{sat} 는 다음 식 (4.22)와 같다.

$$\Delta T_{sat} = C_r \times T_{sat} \quad (4.22)$$

여기서, T_{sat} 는 위성 수신기의 입력에 근거한 우주국의 수신기 시스템 잡음 온도이며, C_r 은 허용 잡음 증가에 대한 임계치이다.

하나의 MSS 채널내의 허용할만한 전체 HIPERLAN 간섭을 I 라하면 식 (4.23)과 같이 쓸 수 있다.

$$I = C_r \times k \times T_{sat} \times B_s \times L_f \times L_{fl} / G_s \quad (4.23)$$

여기서 k : 볼츠만 상수

B_s : MSS 채널 대역폭

L_s : 업 링크의 자유공간 손실

G_s : 위성 수신 안테나 이득

L_{fl} : 위성 수신기의 급전 손실

을 나타내며, 단위 HIPERLAN 채널당 허용할 수 있는 전체 HIPERLAN 간섭 I_h 은 다음 식 (4.24)와 같다.

$$I_h = I \times B_h / B_s = C_r \times k \times B_h \times T_{sat} \times L_f \times L_{fl} / G_s \quad (4.24)$$

여기서 B_h 는 HIPERLAN 채널 대역폭이다.

② 전체 MSS 링크상에서의 잡음 온도 상승

전체 링크 시스템 잡음 온도 T_{link} 는 식 (4.25)와 같다.

$$T_{link} = \gamma \times T_{link} + T_{earth} \quad (4.25)$$

여기서 T_{earth} 는 단말기 수신기에서의 시스템 잡음 온도, γ 는 위성 시스템 이득으로서 다음 식 (4.26)과 같이 구하며, P_a 는 위성 수신 입력단에서의 상향 링크의 전력, P_b 는 이동체 수신 입력단에서의 하향 링크 전력을 나타낸다.

$$\gamma = P_b / P_a \quad (4.26)$$

LNA(Low Noise Amplifier) 입력단에서의 시스템 잡음 온도 ΔT_{sat} 의

증가는 다음 식 (4.27)과 같이 표현한다.

$$\Delta T_{sat} = C_r \times (\gamma \times T_{sat} + T_{earth}) / \gamma \quad (4.27)$$

위성 바로 밑 지구 표면에서의 허용할 수 있는 전체 HIPERLAN 간섭, I 는 식 (4.28)과 같이 나타낸다.

$$I = C_r \times B_s \times L_f \times L_{fl} \times (\gamma \times T_{sat} + T_{earth}) / (\gamma \times G_s) \quad (4.28)$$

따라서 HIPERLAN 채널당 허용할만한 전체 HIPERLAN 간섭, I_h 는 식 (4.29)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_h &= I \times B_h / B_s \\ &= C_r \times k \times B_h \times L_f \times L_{fl} \times (\gamma \times T_{sat} + T_{earth}) / (\gamma \times G_s) \end{aligned} \quad (4.29)$$

(2) 간섭에 대한 HIPERLAN의 최대 허용수

비례 계수 R_o 가 HIPERLAN의 옥외 용도에 할당될 경우, HIPERLAN에 대한 자유공간 손실의 초과 가중된 손실은 식 (4.30)과 같다.

$$1/L_s = R_o + R_i/L_{si} \quad (4.30)$$

여기서 R_i 는 옥내용 HIPERLAN에 할당된 비, L_{si} 는 HIPERLAN의 옥내 용도를 위한 자유공간 손실의 초과치에 대한 평균 손실을 나타낸다. HIPERLAN 전파 상태와 MSS 수신기의 특성을 고려하면, HIPERLAN 채널당 지구상에서의 최대 허용 간섭(I_t)은 다음 식 (4.31)과 같이 표현할 수 있다.

$$I_t = I_h \times L_s \times F_d \quad (4.31)$$

여기서, F_d 는 MSS와 HIPERLAN사이의 편파 판별 요소를 말한다. 그러므로 채널당 순시적인 송신 HIPERLAN의 최대 허용 수, N_{act} 는

$$N_{act} = I_t / P_h \quad (4.32)$$

로서, P_h 는 평균 HIPERLAN EIRP를 말한다. 장치당 활동비 R_a 를 고려하면 위성의 영향 범위내에 있는 채널당 옥내 및 옥외 HIPERLAN의 최대 허용 수는 다음 식 (4.33)과 같이 쓸 수 있다.

$$N_t = N_{act} / R_a \quad (4.33)$$

(3) 결과 및 고찰

① 허용 잡음 증가에 대한 임계치 C_r 및 기술적 파라미터

잡음 계산을 위해 1%와 6%의 허용 임계치를 고려한다. 잡음의 6% 증가는 두 개의 인공 위상망사이의 조정 임계치로 사용된다. 그러므로 이 레벨을 초과하지 않는다면 위험한 간섭이 발생하지는 않을 것이다. 잡음의 1% 증가는 MSS와 HIPERLAN의 동등하지 않은 ITU-R 상태를 반영하기 위해 제시되었다. 그리고, [표 4.2]는 결과 고찰을 위한 기술적 파라미터를 정리한 것이다.

[표 4.2] 그 외 파라미터

파라미터	설정치
위성 수신기에서의 등가잡음 온도 T_{sat}	400 K, ICO 549.5 K, Globalstar
이동 수신기에서의 등가잡음 온도 T_{earth}	288 K, ICO 293.7 K, Globalstar
위성 수신기입력에서의 업 링크 전력 P_a	-140 dBW, ICO -141.2 dBW, Globalstar
이동 수신기입력에서의 다운 링크 전력 P_b	-148 dBW, ICO -164 dBW, Globalstar
위성 수신 안테나 이득 G_s	10 dB, ICO 6 dB, Globalstar
HIPERLAN 채널 대역폭 B_h	24 MHz

② 결과

위의 방법 및 여러 파라미터를 이용하여 계산한 결과는 [표 4.3]이며, 이런 정보로부터 6%의 잡음 증가를 수용한다면, HIPERLAN 평균 EIRP를 200mW로 제한하고, HIPERLAN 운용을 옥내용으로 제한하는 상황에서, MSS 급전 링크와 HIPERLAN사이의 분배는 실현 가능하다.

[표 4.3] 여러 파라미터를 이용한 계산 결과 예

$\Delta T_{link}/T_{link}$ Criterion 6%	1W, 1% out		0.1W, 1% out	
	ICO	Global star	ICO	Global star
Pb(dBW)(Pw/user for GLB, pw/channel for ICO)	-156.0	-164.0	-156.0	-164.0
Pa(dBW)(Pw/user for GLB, pw/channel for ICO)	-140.0	-141.2	-140.0	-141.2
gamma(dB)	-8.0	-22.8	-8.0	-22.8
Tsat(K)	400.0	549.5	400.0	549.5
Tearth(K)	288.0	293.7	288.0	293.7
Criteria	6.0	6.0	6.0	6.0
Delta Tsat(K)	133.0	3390.8	133.0	3390.8
Afs(dB)	-188.0	-170.0	-188.0	-170.0
Pol_discr(dB)	2.0	2.0	2.0	2.0
Afl(dB)	0.0	2.9	0.0	2.9
Satellite antenna gain(dB)	10.0	6.0	10.0	6.0
Tolerable Hiperlan power per MSS ch(dBW)	16.6	36.5	16.6	36.5
BWfl(MHz)	0.025	1.230	0.025	1.23
BWhip(MHz)	24.0	24.0	24.0	24.0
Bandwidth factor(BWhip/BWfl)	29.8	12.9	29.8	12.9
Percentage of outdoor usage	1	1	1	1
Loss in excess to free space for indoor(dB)	11	10.5	11	10.5
Av. effect due to loss in excess mof f.s(dB)	10.52	10.08	10.52	10.08
Maximum tolerable interference per H.ch(dBW)	56.9	59.5	56.9	59.5
Av. Hiperlan EIRP for HBR(mW)	1000	100	100	443100
Contention factor(linear, H/I only)	4	4	4	4
Av. EIRP with contention period(dBW)	4000	4000	400	400
Number of active users	123653	221916	1236532	221916
Silent to transmit ratio	0.05	0.05	0.05	0.05
Max tolerable number of Hiperlans(per ch)	2473064	4438322	24730641	44383221

4.6 간섭 방지 대책 방안

이상 기술한 내용의 분석결과를 토대로 하여 ISM대역의 간섭을 방지하기 위한 대책방안을 아래와 같이 제시한다.

첫째, 지향성 안테나를 사용함으로써 간섭의 영향을 줄일 수 있다.

대역 내의 주요 간섭원들 중의 하나는 전방향 안테나를 이용한 실외 RLAN이 될 것이다. 이 문제는 현재 EIRP 한도를 유지하는 동시에 지향성 안테나의 사용을 요구함으로써 완화될 수 있다.

둘째, 최대 전력한도를 제한함으로써 간섭을 억제할 수 있다.

특정 무선 환경에서 시스템들간의 상호 간섭을 일정하게 하기 위해서는 일반적으로 전력 수준이 같아야 한다. 그 수준은 기본 링크 요구사항을 충족시키면서도 가능한 낮게 정해져야 하며, 시스템의 밀도도 고려해야 한다. 시스템들이 간섭 회피 대책을 취하는 경우에는 이러한 전력 동질성 요구사항은 감소되고 공유 시스템의 밀도는 증가될 수 있다. 그리고, 보다 높은 전력과 지향성 안테나를 결합하면 다른 간섭원으로부터의 간섭충격을 줄여 줌으로써 보다 나은 QoS를 달성하는데 도움이 된다.

셋째, 방송계에 디지털 기술을 도입한다.

방송계는 현재 아날로그 기술을 사용하고 있다. 따라서 방송계는 간섭의 허용 오차가 더욱 더 클 뿐만 아니라 보다 좁은 채널 대역폭을 통해 스펙트럼을 더 잘 이용하는 디지털 기술을 사용해야 한다고 권고하고 있다. ISM 대역에서의 주요 어려움은 외부 시스템으로부터 발생한다. OBTV와 같이 이동성이 중요한 일부 시스템의 경우, 2.4 GHz 등 비교적 낮은 주파수에서의 실외 사용은 기본 요구 사항이다. 이러한 시스템들이 제공하는 기능은 흔히, 대안적 고주파를 이용하여 또는 케이블 등 대안적 전달 플랫폼을 이용하여 달성될 수 있다. ISM 대역에서의 면허 부여에 관한 어떤 권고를 할 때 시장에 충분한 잠재력을 발휘하려면 면허 부여와 규정적 요구사항은 최소한으로 유지되어야 한다. 전반적 규정과 스펙트럼의 면허 부여의 무결성을 유지하여, 면허가 주어지는 대역과 부분적으로 면허 면제되는 대역 간에 정책을 일관되게 유지하는 것이 중요하다.

대다수 사용자들의 이익은 하나 이상의 기존 유저 그룹들이 보다 높

은 주파수로 이행할 것을 요구함으로써 가장 잘 지켜줄 수 있다.

넷째, 대역분할을 통해 간섭을 어느 정도 억제할 수 있다.

간섭에 덜 취약한 몇몇 서비스를 대역의 중심 부분 즉, ISM 방출로 인해 가장 많은 영향을 받는 부분으로 제한하기 위한 논거가 있을 수 있다. OBTV 시스템을 위한 디지털 기술의 채택과 그로 인해 줄어드는 대역폭 요구사항은 그러한 기회를 제공할 수 있다. OBTV 시스템은 그 대역의 다른 기기보다 상당히 더 높은 전력 마진을 가지고 있기 때문에, 이 시스템들은 그러한 이동이 강력한 후보로 보일 것이다. 이 옵션은 OBTV 시스템으로부터 FWA에 미치는 간섭의 개연성을 줄이는 추가 혜택을 제공할 것이다. FWA 운용 사업자들은 이 대역 부분을 피하는 경향이 있기 때문이다.

다섯째, ISM 기기의 채널을 능동 전환하는 DFS방법을 채택한다.

DFS(Dynamic Frequency Selection:동적 주파수 할당)방법을 사용하여 동작 주파수를 적절하게 배치함으로써 위치와 시간, 환경에 따라 변동하는 간섭의 영향을 감소시킬 수 있다.

마지막으로, 기존 FWA에 보다 높은 EIRP를 허용함으로써 지향성 안테나와 결합하여 간섭을 감소시킬 수 있으며, QoS를 향상시킬 수 있을 것이다

5. 결론

본 논문에서는 향후 이용이 증가할 것으로 예상되는 2.4GHz대역 및 5GHz대역 내에서 전파를 이용한 산업, 과학 및 의료용 설비의 안정적인 이용을 위해 무선설비간의 전파간섭을 분석하고 대책을 연구하였다.

이를 위하여 본 연구에서는 먼저 ISM 설비에 대한 이용 현황을 조사하였으며 ISM 대역 응용시스템간의 간섭을 해석하고, 이론적 고찰을 수행하였다. 그 결과를 토대로 ISM 대역의 주파수를 공유하고 있는 무선 시스템간의 전파간섭 분석 및 간섭방지 대책 방안을 제시하였다.

분석 결과, 2.4~2.4835GHz, 5.725~5.85GHz의 주파수 밴드중에서, 2.4GHz대역 내에는 무선 LAN, OBTV, FWA 뿐만 아니라 Bluetooth, HomeRF 등 무선 통신 설비들이 활발하게 이용되고 있을 뿐 아니라 미래에도 점차 증가할 것이다. 또한 2.4GHz에서 무선 통신 설비가 포화되고, 보다 많은 정보를 위치에 관계없이 자유롭게 주고 받을 수 있는 통신에 대한 요구가 더욱 증가하면서 새로운 대역인 5.8GHz대역을 이용하는 장비의 수가 급격하게 증가함에 따라 관련 주파수에서의 간섭이 문제가 될 수 있다는 것을 알 수 있었다.

분석 결과에 의한 다음과 같은 간섭대책방안을 제시하였다.

- 1) 지향성 안테나의 사용
- 2) 최대 전력한도의 제한
- 3) 방송계에 디지털 기술도입
- 4) 대역분할
- 5) ISM기기의 DFS 방법채택

본 논문에서 제시한 간섭대책방안으로 향후 증가되는 ISM기기 및 ISM 대역 이용 서비스의 확대시 나타날 간섭문제를 효과적으로 대처하여 보다 나은 서비스가 되길 기대한다.

감사의 글

엣그제 시작한 대학원 과정인 것 같은데 어느덧 정규과정을 끝내고
도 반년이란 시간이 더 흘렀습니다. 시작보단 끝맺음의 의미가 더 크게
다가오는 이즈음에 부족하나마 결실을 맺게 되어 기쁨만으로 감사의 글
을 올립니다.

하나의 작은 결실을 맺게 되기 까지 짧지 않은 시간동안 도움을 주
신 많은 분들에게 지면으로나마 감사의 말씀을 대신하게 되어 송구스
럽습니다. 특히 논문이 완성되기까지 많은 가르침과 지도로 돌보아 주신
하덕호 지도교수님께 감사 드리며, 심사위원으로 지도편달을 해주신 윤
종락 교수님, 김석태 교수님께도 감사의 말씀을 드립니다. 또한 학기 중
새로운 지식의 세계로 안내해 주셨던 정신일 교수님, 장주석 교수님께도
감사를 드립니다. 그 외 논문 자료 정리에 많은 도움을 주었던 박정훈
선생을 비롯한 이동통신연구실 가족들께 감사 드리며, 졸업하시고도 남
아있는 저에게 아낌없는 격려와 관심을 주셨던 이봉춘, 김기식, 송종찬,
김정건, 김종효 선생님께도 감사 드리며, 학교문제로 회사생활에 충실하
지 못했던 부분들을 말없이 도와주신 부산망건설국의 이 혁 부장님, 조
용웅 과장님이하 동료 직원들과 처음부터 끝까지 함께 고민해준 조대규,
박성태, 신상민 선생님께도 감사의 말씀을 드립니다.

마지막으로 항상 마음으로 응원해 주신 부모님과 따뜻한 충고와 격
려의 말로 힘들 때 힘을 주었던 이승엽, 박진영, 강동수에게 고마움의
마음을 전합니다.

2002년 7월
이상천 드림.