

제 출 문

본 보고서를 「스펙트럼 관리 과학화를 위한 업무간 간섭분석에 관한 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005. 12. 15.

연구책임자 : 홍 익 표(공주대학교)



연구보조원 : 한 헌 환(공주대학교)

장 동 원(공주대학교)

장 기 현(공주대학교)

요 약 문

1. 과제명 : 스펙트럼 관리 과학화와 업무간 간섭분석
 방법에 관한 연구
2. 연구 기간 : 2005. 2. 28 - 2005. 12. 15
3. 연구책임자 : 홍 익 표
4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용( 계획  진도)

세부내용	연구자	월별 추진계획												비고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
스펙트럼 관리의 정책적 측면														
o 국내 스펙트럼 환경 현황 조사	홍익표 장기현													
o 국외 스펙트럼 관리 정책 동향조사 분석	홍익표 장동원													
o 스펙트럼 관리의 새로운 정책적 기법 연구	홍익표 한현환													
스펙트럼 관리의 기술적 측면														
o 신기술 발전에 따른 스펙트럼 관리 제도영향 및 발전방향 연구	홍익표 한현환													

ITU-R 을 비롯한 각국의 스펙트럼 관리 정책 문서와 국내 타 연구기관의 연구 자료를 참고하였으며, 특히 2005년 5월 미국 워싱턴에서 열린 국가 스펙트럼 관리자 협회 주최의 '2005 스펙트럼 관리 컨퍼런스'에 참여하여 스펙트럼 관리 정책동향을 파악함

- 스펙트럼 관리의 새로운 정책적 기법 연구
 - 스펙트럼 관리의 새로운 정책적 기법을 연구하기 위하여, 스펙트럼 관리 제도의 변천과정과 무선기술의 발전에 따른 스펙트럼 정책의 변화요구 등을 연구함

2) 스펙트럼 관리의 기술적 측면

- 신기술 발전에 따른 스펙트럼 관리 제도영향 및 발전방향 연구
 - 연구계획단계에서는 2분기에 집중적으로 연구가 될 예정이었으나 앞서 스펙트럼 관리의 새로운 정책적 기법과 상호보완적으로 연구가 진행됨에 따라 2분기와 3분기로 나누어 연구를 진행함
- 국내 전파환경에 적합한 스펙트럼 관리 기술 연구
 - 1분기와 4분기에 나누어 이루어진 국내 스펙트럼 환경현황 데이터를 근거로 국내 전파환경을 분석하고, 국외 스펙트럼 관리 기술 연구를 통해 3분기와 4분기에 국내 전파환경에 적합한 스펙트럼 관리 기술을 연구하여 계획대비 진도를 추진하였음

- o 스펙트럼 관리 과학화를 위한 업무간 간섭 분석
 - 스펙트럼 관리 과학화를 위한 업무간 간섭 분석 연구로 본 연구에서는 스펙트럼 관리 정책에 영향을 줄 수 있는 무선기술로 UWB 와 CR과 기존 업무간 공유 시나리오 및 간섭분석을 하였음

5. 연구 결과

- 1) 본 연구 제 2 장에서는 스펙트럼 관리에 영향을 줄 수 있는 새로운 무선기술로서 UWB 와 같은 대역확산 통신시스템 스마트안테나, 메쉬 네트워크 등 기술의 특징과 스펙트럼 관리 기술을 분석하였다

UWB 와 CR 은 사용되고 있는 기존 스펙트럼과 공유를 가능하게 하는 무선기술로 UWB 를 이용하게 되면 스펙트럼 Underlay 가 가능하며, CR 를 이용하면 스펙트럼 Overlay 가 가능하여 스펙트럼 효율성을 획기적으로 증가시킬 수 있는 방법이다. 본 연구에서는 UWB 와 기존 이동통신시스템간의 양립성 분석을 Link Budget 을 이용해 계산하고 실험을 통하여 간섭분석을 하였다. 또한 CR 과 기존 무선 시스템(1차 시스템)이 양립하는 경우 1차 시스템의 수신기 성능이 영향을 받지 않도록 허용 가능한 인지 라디오의 출력에 대하여 인지라디오의 수에 따른 경우 등 다양한 시나리오에 대하여 연구하였

다.

스펙트럼 공유기술과 더불어 스펙트럼 효율성을 향상시킬 수 있는 방법 중 하나는 비허가 기기들로 이루어진 메쉬 네트워크이다. 메쉬 네트워크는 기존의 PMP 네트워크와는 달리 각 기기들이 새로운 중계국의 형태로 네트워크를 구성하는 것으로 인지라디오 또는 UWB 기술을 가진 기기들로 구성될 수 있다.

2) 본 연구에서는 앞 장에서 스펙트럼 관리 기술 파라미터들과 스펙트럼 관리 정책에 영향을 주는 간섭온도 UWB, CR 또는 SDR, 메쉬 네트워크와 같은 새로운 무선기술들을 연구한 결과를 바탕으로, 기존의 스펙트럼 관리 정책의 문제점들을 살펴보고 향후 국내 스펙트럼 관리 정책을 뒷받침 할 수 있는 새로운 무선기술들을 적용하기 위해서 도입되어야 할 정책적 사안들을 제안하였다.

3) 본 연구에서 연구된 결과들을 위해 수행된 연구내용은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- o 국내 전파환경 자료 수집을 통한 분석 및 정리
- o ITU-R 권고에 나타난 스펙트럼 관리 정책 분석
- o 미국 FCC, 유럽 ETSI 등 국외의 스펙트럼 관리 정책 동향 분석, 스펙트럼 관리기법과 관련된 이론 및 방법에 대한 분석 연구
- o 스펙트럼 관리와 관련된 학회 참가하여 새로운 관리

기법 동향 분석 및 자료습득

- UWB, CR, 메쉬 네트워크 등 스펙트럼 공유기술에 대한 자료조사 및 분석, 기술의 발전동향 및 사례조사 및 분석
- ITU-R 권고자료 분석을 통한 새로운 스펙트럼 공유 기술에 대한 제안사항 및 업무간 간섭 분석

6. 기대효과

- 국내 스펙트럼 현황 분석 및 각국의 스펙트럼 관리기법 비교를 통한 새로운 스펙트럼 관리정책의 제안
- 간섭온도, UWB, 인지 라디오, 메쉬 네트워크 등 새로운 스펙트럼 공유기술 분석을 통한 스펙트럼 관리 과학화 기법 제안
- ITU-R 권고 자료 분석을 통한 차세대 스펙트럼 관리기법 분석연구 및 제안
- 스펙트럼 관리 과학화를 위한 기초 자료로 활용
- 주파수 분배 및 재배치를 위한 혼신 분석 방법 확보
- 스펙트럼의 재활용 방안 제시로 전파자원 효율 증대
- 스펙트럼 관리의 새로운 패러다임을 제시하고 국내 전파자원의 효율성 증대
- 시장을 선도할 수 있는 스펙트럼 관리 기법 제안

7. 기자재 사용 내역

시설장비명	규격	수량	용도	보유현황	확보방안	비고

8. 기타사항

해당사항없음

SUMMARY

In this study, we propose the scientific approach of spectrum management and analyze the technological interferences between new wireless technology and existing wireless radio systems. New wireless technologies such as UWB spread spectrum systems, smart antennas, cognitive radio and mesh network for effective use of spectrum are introduced and analyzed the interference criteria and effects on the existing systems for UWB and CR(cognitive radio). Policy change options are proposed based on the new technologies. With the results of this research, more effective spectrum policy leading the new technologies can be achieved. This research will examine technologies and policies that can help make better use of spectrum. Section two will introduce some of the most promising technologies that are offering to allow higher bandwidth with less interference.

In section three and four, the interference analysis between UWB and CR as new technologies and existing systems is experimented and analyzed. Section five will then look at the policy implications of these technologies, many of which may require significant deviation from current spectrum allocation policies.

목 차

표 목 차	12
그림목차.....	13
제 1 장 서 론	16
제 2 장 새로운 무선통신 기술[5]	19
제 1 절 대역확산 기술	21
제 2 절 스마트 안테나.....	28
제 3 절 메쉬 네트워크	33
제 4 절 Software-Defined Radio	36
제 3 장 UWB 와 통신시스템의 양립성분석.....	40
제 1 절 간섭측정	41
제 2 절 간섭측정결과(2차 측정)	53
제 4 장 CR의 양립성분석.....	62
제 5 장 스펙트럼 관리 정책 제안.....	79
제 1 절 현재 스펙트럼 할당 모델.....	80
제 2 절 새로운 기술의 정책적 결정들.....	83
제 3 절 스펙트럼을 이용한 실험.....	98
제 4 절 자유화된 스펙트럼 정책의 경험들.....	106
제 5 절 정책 제안사항.....	114

참 고 문 헌	118
A. 부록 : 국내외 전파환경 측정자료	120

표 목 차

표 3-1. 셀룰러 CDMA 와 WCDMA 에대한 Link Budget 분석	40
표 3-2. UWB 신호원 특성	42
표 3-3. 셀룰러 CDMA 기지국 설정 파라미터	45
표 3-4. 임펄스 UWB 신호원 ① 에 의한 간섭측정 결과	47
표 3-5. 임펄스 UWB 신호원 ② 에 의한 간섭측정 결과	47
표 3-6. Sector Power 의 변화에 따른 UWB 허용레벨	51
표 3-7. UWB 허용레벨에 따른 BER 의 변화	51
표 3-8. Sector Power 의 변화에 따른 UWB 허용레벨 ..	52
표 3-9. UWB 허용레벨에 따른 BER 의 변화	52
표 3-10. 측정된 주파수대역	54
표 3-11. 측정결과와 ITU 에 보고된 다른 계산결과와의 비 교	61
표 A-1. Virginia에서 측정된 점유대역폭	121
표 A-2. 뉴욕에서 측정된 점유대역폭	122
표 A-3. 광주지역 전체대역 이용률	123
표 A-4. 광양지역 전체대역 이용률	124
표 A-5. 대전지역 전체대역 이용률	125

그 립 목 차

그림 2-1. 신호를 구별 못하는 "Dumb" 무선통신기기.....	19
그림 2-2. 직접대역확산 방식과 주파수 호핑 대역확산방식 의 비교	21
그림 2-3. 협대역 전송과 광대역 전송	27
그림 2-4. 노이즈 플로어 보다 낮게 동작하는 UWB[7]	27
그림 2-5. 지능적인 안테나의 예	29
그림 2-6. Switched beam 안테나와 적응형 배열 안테나	32
그림 2-7. 메쉬 네트워크 구성	33
그림 2-8. 메쉬 네트워크의 복원	35
그림 2-9. Agile 무선통신 기기.....	38
그림 3-1. 측정에 사용된 UWB 신호의 스펙트럼.....	43
그림 3-2. UWB 간섭실험 전체 측정 구성도.....	44
그림 3-3. 임펄스 UWB 에 의한 셀룰러 CDMA 시스템의 간섭특성	48
그림 3-4. Impulse 방식 UWB 신호원($f_c=4.7\text{GHz}$) 에 따른 WCDMA 시스템의 간섭측정 결과.....	49
그림 3-5. DS-CDMA 방식 UWB 신호원에 따른 WCDMA 시스템의 간섭측정 결과.....	50
그림 3-6. 측정된 주파수대역	54

그림 3-7. UWB 간섭실험 전체 측정 구성도	55
그림 3-8. 셀룰러 Sector Power 에 따른 최대 허용가능한 UWB Power level@1m	55
그림 3-9. 최대 허용 가능한 UWB Power level@1m 에 따 른 FER 의 변화 (Solid Line : -104dBm, Dotted Line : -100dBm, Dashed Line : -95dBm)	56
그림 3-10. K-PCS Sector Power 에 따른 최대 허용가능한 UWB Power level@1m	57
그림 3-11. 최대 허용가능한 UWB Power level@1m 에 따 른 FER 의 변화(Solid Line : -104dBm, Dotted Line : -100dBm, Dashed Line : -95dBm)	57
그림 3-12. WCDMA Sector Power 에 따른 최대 허용가능 한 UWB Power level@1m	59
그림 3-13. 최대 허용가능한UWB Power level@1m 에 따른 BER 의 변화(Solid Line : -106.7dBm, Dotted Line : -100.7dBm, Dashed Line : -95.7dBm) ..	59
그림 3-14. 1차/2차 측정 결과	61
그림 4-1. 1차 시스템의 “보호반경”과 “no-talk반경”[14] ·	62
그림 4-2. 거리에 따라 표현된 SNR 값	63
그림 4-3. 2차 수신기로부터의 간섭	65
그림 4-4. 2차 송신기에 대한 최대 전력	69
그림 4-5. 10dB 그림자효과를 가진 경우 2 차 시스템의 최	

대전력	71
그림 4-6. 다중 2차 시스템이 있는 경우	73
그림 4-7. 식 (4-12) 와 식 (4-15)를 비교한 그래프	74
그림 4-8. 보호구역으로부터 2차 송신기사이의 SNR 마진	77
그림 4-9. 큰 Δ 값을 갖는 경우 2차 시스템의 최대허용 전 력	78
그림 5-1. 양립성 분석 방법으로 간섭온도 측정방법 제안	89
그림 5-2. 가드밴드	109
그림 A-1. 측정된 점유 스펙트럼(뉴욕)	126
그림 A-2. 측정된 점유 스펙트럼(버지니아)	126
그림 A-3. 측정된 점유 스펙트럼(광주)	127
그림 A-4. 측정된 점유 스펙트럼(광양)	127
그림 A-5. 측정된 점유 스펙트럼(대전)	128
그림 A-6. 광양지역의 대역점유율 그래프	129

제 1 장 서 론

최근 들어 국가 성장 동력으로서 주파수 자원의 중요성이 증대하고 있으며, 전파이용은 종래에는 통신, 방송 등의 고유한 업무영역에 한정되었지만 IT839 정보화 사회의 도래와 함께 국민생활의 모든 영역으로 확산되고 있다. 기술적으로는 코드분할 다중접속방식(CDMA), 초광대역 통신(Ultra wideband:UWB) 및 CR(Cognitive radio) 등 스펙트럼 공유기술의 발전과 새로운 광대역 무선통신기술의 출현으로 기존 서비스가 융합되고 있고, 통신과 방송 융합은 물론 다양한 신규 서비스 출현이 급증하고 있다. 또한 전파 통신 산업은 통신서비스의 Life Cycle 감소, 유사 서비스간 경쟁심화에 따른 전파자원의 수요와 공급의 불균형 현상이 발생하여 수요환경변화에 따른 전파자원의 수요와 공급 재조정 에 대한 요구가 증가하고 있다[1].

따라서, 한정된 전파자원의 효율적 활용과 합리적인 분배를 위한 스펙트럼 관리의 과학화 필요성이 제기되고 기술발전, 서비스의 융합화에 대비한 시장 지향적/이용자 중심의 스펙트럼 정책의 패러다임 변화가 요구되고 있는 실정이다. 한정된 주파수 자원의 효율적인 이용을 위해서는 스펙트럼의 공간적, 시간적 공유 사용이 불가피하며, 특히, 새로운 무선기술의 특성분석 및 기존 업무간 간섭분석을 통해 새로운 서비스의 도입에 대비한 절차와 기준에 대한 필요성이 요구되고 있다.

국내 스펙트럼 현황을 살펴보면 국내이동통신 분야 스펙트럼의 경우 사용대역 140MHz 에 대해 약 3,600만명이 주파수로부터 부가가치를 창출하고 있으며, 방송분야의 경우 기존 TV/FM 방송에 추가하여, 위성 DMB, 지상파 DMB 등 신규서비스 제공으로 스펙트럼 이용량이 증

가하고 있는 추세이다.

스펙트럼 이용기술은 정부의 주파수 분배기준에 따른 독점 이용기반의 전파기술로부터 1945년 Spread Spectrum 통신기술의 탄생으로 인한 군통신 분야를 중심으로 한 주파수 공유기술이 발전되고 1990년대에는 SDR 기술을 이용한 다중대역 전파이용기술, 1990년대 후반 UWB 기술을 이용한 Spectrum underlay, 1999년 CR 기술의 출현과 함께 Spectrum overlay 기술로 발전되고 있다. 동시에 주파수 자원에 대한 경제 개념과 Spectrum commons 개념이 확산되고 CR, UWB 등의 신기술 출현에 따른 개방형 스펙트럼 관리정책에 대한 요구가 사회 전반적으로 등장하고 있다.

미국의 경우 2004년 6월 “21세기를 위한 스펙트럼 정책(Spectrum Policy For the 21st Century - The President’s Spectrum Policy Initiative : Report)”[2] 에서 21세기 정보화 사회를 위한 미국의 스펙트럼 정책 방향을 제시하였는데 여기에는 스펙트럼 관리 과학화 새로운 기술 및 서비스 창출 촉진 안보/보안/공공안전/과학 탐구 스펙트럼 연구 강화를 제안하고 있다. 영국은 2004년 11월 비면허 주파수 분배의 확대와 시장중심의 스펙트럼 관리 확대를 내용으로 하는 “Spectrum Framework Review” [3] 를 발표하였으며, 일본은 Wireless IT 산업육성 및 주파수 재분배 및 할당제도 정비를 포함하는 “전파정책 비전”[4] 을 발표하는 등 선진국들은 자원으로써 스펙트럼의 이용에 대해 국가적으로 접근하고 있는 실정이다.

국외 연구동향의 공통점은 스펙트럼 관리제도의 과학화 및 체계화 주파수 이용 효율 극대화 기술개발 및 정책 도입 시장기반 중심의 스펙트럼 정책 도입 등을 볼 수 있으며 따라서 이에 대응하는 국내 스펙트럼 정책의 변화 필요성이 대두되고 있다 국내 주파수 이용은

Command & Control 방식이 대부분으로 전파관리의 유연성이 부족하고 공공용 주파수는 주요 대역에서 40%이상을 점유하고 있지만 이용현황이 세부적으로 파악되지 않아 재사용 등 효율적 주파수 관리가 곤란하여 주파수 혼신방지를 위한 용도지정과 출력규제가 엄격하여 신기술 이용에 부적합하기 때문에 시장기반 중심의 스펙트럼 정책 패러다임으로 변환하기 위한 연구 필요성과 분석이 요구되고 있다

본 연구에서는 스펙트럼 관리의 패러다임을 바꿀 수 있는 무선 기술의 발전전망, 특징 및 성능에 대한 분석을 통해 현재 상황에 맞는 스펙트럼의 정의를 분석 연구하고 국외의 스펙트럼 관리정책 변화상황을 분석하여, 신기술의 발전에 따른 스펙트럼 관리제도의 변화요구와 발전방향에 대한 분석 연구하고 국내의 스펙트럼 환경에 적용 시에 발생할 수 있는 문제점을 도출하고 국내의 전파상황에 맞는 스펙트럼 관리 정책을 제안 및 연구하고자 하였다.

본 연구에서는 제 2 장에서 스펙트럼 관리 정책을 변화시킬 수 있는 새로운 무선기술로 대역확산 통신방식으로 UWB, 메쉬 네트워크, CR (Agile radio) 등에 대해 소개를 하였으며, 제 3 장에서는 UWB 와 이동통신 업무간 간섭분석 제 4 장에서는 CR 과 기존 고정무선국과의 간섭분석을 하였으며, 제 5 장에서는 앞에서 논의된 무선기술들을 스펙트럼 정책에 반영하기 위해 본 연구에서 제안된 사항들을 결론으로 서술하였다. 부록에서는 국내외 전파환경측정 결과를 지역별로 비교하여 나타내고 설명하였다.

제 2 장 새로운 무선통신 기술[5]

전통적으로 무선통신에서 사용되는 라디오(Radio, 이하 무선통신기기)는 원래 신호와 백그라운드 잡음을 구분할 수 있는 능력이 제한적이기 때문에 "dumb"라고 가정되어 왔다. 이를 해결하기 위한 유일한 방법은 같은 주파수에 대해서 수신기가 백그라운드 잡음보다 더 강하게 수신할 수 있는 송신기로부터의 송신신호를 출력하는 것이다. 무선통신기기는 이러한 높은 신호 대 잡음비(Signal-to-noise Ratio)로부터 정보를 포함하는 신호가 있다고 판단하게 된다. 만약 송신기로부터 보내진 신호가 충분히 강하지 않다면, 단순한 무선통신기기는 원래 신호와 잡음을 구별할 수 없게 되고, 정보를 수신할 수 없게 된다. [그림 2-1] 에 신호구별 못하는 "Dumb" 무선통신기기를 나타내었다.

왼쪽 그림은 신호 대 잡음비 가 높기 때문에 단순한 수신기가 쉽게 신호를 수신하고 원래 전송신호를 복조할 수 있는 것을 보여주고 있지

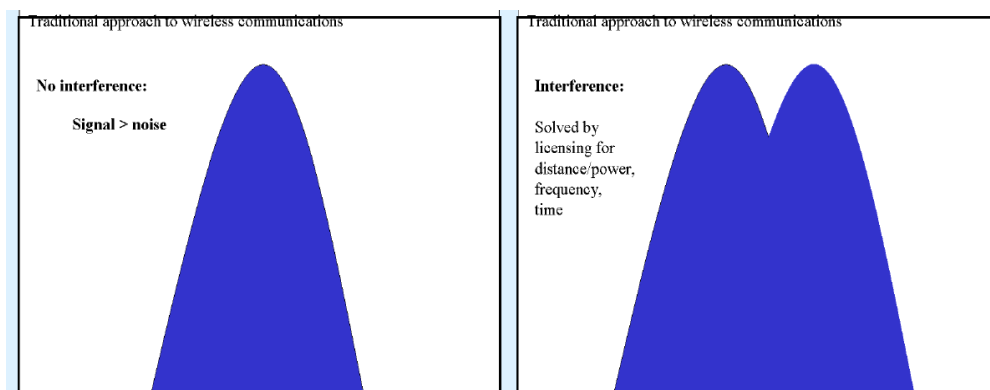


그림 2-1. 신호를 구별 못하는 "Dumb" 무선통신기기

만, 오른쪽 그림은 단순한 수신기가 두 개의 강한 비슷한 신호를 수신하였을 때, 두 신호를 구별해 낼 수가 없으며 전송내용을 알 수가 없게 되는 것을 나타내었다. 이러한 상황을 극복하기 위해 전통적으로 무선 통신기기에 거리/출력, 주파수, 시간과 관련한 독점 라이선스(Exclusive license)를 부여하게 된다.

많은 학자들은 현재 스펙트럼 시스템(주파수 관리 시스템)은 어떤 복잡한 신호처리도 할 수 없었던 정말 단순한 무선통신기기가 사용되던 1900년대 초기의 모델에 근거하고 있고 또한 시대에 뒤떨어져 있다는 사실을 지적해왔다. 단순한 무선통신기기를 이용하여 효과적으로 정보를 보내기 위한 유일한 방법은 정보를 보내는 사람이 공중을 통해 가장 강한 신호를 보내는 것이며, 이는 독점적인 라이선스를 통해 얻어질 수 있다. 그렇지만, 21세기에는 무선통신기기 장치 프로세서의 계산능력이 잡음으로부터 신호를 걸러내고, 특정한 수신기를 위해 의도된 정보를 얻어낼 수 있을 만큼 충분히 복잡한 구조를 가지고 있다. 이러한 수신과 송신을 향상시키기 위해 프로세싱 능력을 이용하는 과정을 “프로세서 이득(Processor gain)”이라고 한다.

프로세싱 이득은 오늘날 스펙트럼 관리(Spectrum management)에서 변화에 대한 필요를 강조하게 되는 많은 무선통신기기의 발전된 기술 중 단지 하나일 뿐이다. 이 절에서는 스펙트럼 규제기관(스펙트럼 규제기관)들이 스펙트럼 할당(Allocation) 방법을 변화시킬 수 있는 이러한 기술들 중 몇 가지를 살펴볼 것이다. 여기에는 UWB(Ultra-wide band), 스마트 안테나(Smart antennas), Mesh networks 그리고 SDR(Software defined radio) 등 과 같은 대역확산(Spread spectrum) 기술들을 포함하고 있다. 이러한 기술들은 전 세계적으로 경제적인 측면에서 먼저 나타나기 시작할 것이고, 스펙트럼 규제기관들은 어떤 기

술들을 받아들이고, 어떻게 받아들여야 할지를 결정하는 것이 매우 어려운 문제라는 사실에 직면하게 될 것이다. 그렇기 때문에, 이 절에서는 스펙트럼 관리측면에서 보면 가장 유망한 기술들 중 몇가지를 간단하게 소개함으로써, 스펙트럼 정책 입안자(Policy-makers)를 지원하고자 한다.

제 1 절 대역확산 기술

군사기술에서는 통신 링크를 설정하고, 통신 보안성을 확보하고 유지하는 기술을 확보하는 것이 매우 중요하며, 이를 가능하게 하는 기술로 대역확산 기술을 사용하고 있다. 지난 수십 년 동안 대역확산기술은 군사통신 분야에서 중요한 요소가 되어왔다. 최근에, 그 기술들은 군사기술에서 수년 동안 이용해왔던 여러 가지 장점들을 이용하여 상업적 사용기술로 이동하고 있다. 대역확산 기술은 어느 정도 수준 이상의 보안성을 가지며, 간섭에 강하고, 확실한 고속통신을 제공할 수

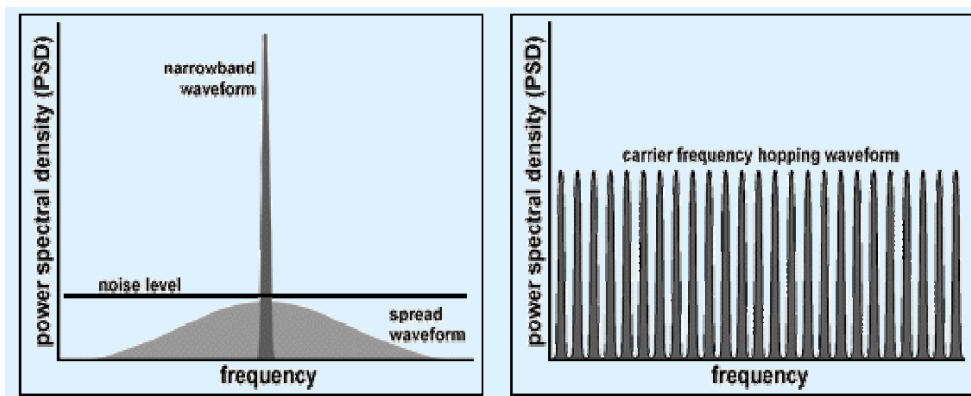


그림 2-2. 직접대역확산 방식과 주파수 호핑 대역확산방식의 비교

있다는 장점을 가지고 있다. 대역확산 기술은 반송파를 수정하거나, 주파수들에 대한 호핑(hopping)패턴을 정의하는 코드들을 사용하여 정보가 가진 실제 대역폭보다 더 넓은 대역을 이용하여 정보를 보낸다.

이러한 코드들은 "Pseudo-random" 으로 알려져 있으며 "Pseudo-noise"라고도 한다. 이 코드들은 숨어있는 코드지만, 비밀 패턴이기 때문에 "Pseudo"라고 한다. 송신과 수신하는 무선통신기기는 전송의 양 끝단에서 변조와 복조를 하기 위해 미리 정의된 코드 열 순서를 알고 있지만, 코드가 없는 다른 무선통신기기들에 대해서 신호들은 단지 주파수 잡음처럼 보이게 된다.

대역확산 무선통신기기는 주파수의 광대역에 대해 전력이 확산되기 때문에 각 부분 주파수는 비교적 낮은 전력을 갖게 되며, 동일한 협대역 무선통신기기와 같은 전체 전력레벨을 사용할 수 있다. 이런 낮은 전력 레벨은 대역확산 기술에서는 중요한 장점이 된다. 왜냐하면 협대역 무선통신기기와 대역확산 무선통신기기가 함께 존재하는 것이 가능하기 때문이다.

대역확산 무선통신기기는 임의의 주어진 주파수에 대해 전송전력이 매우 낮아서 협대역 무선통신기기가 "노이즈 플로어(Noise floor)"와 신호를 구분할 수 없기 때문에 공존하는 것에 대한 문제를 겪지 않는다. 대역확산 무선통신기기는 또한 신호의 대역폭이 충분히 넓어서 협대역의 스트림(Stream)에 대한 간섭은 무시할만한 영향을 갖기 때문에 협대역 전송시스템 존재 여부에 영향을 받지 않게 된다.

대역확산 코드는 시스템의 형태에 따라 여러 가지 방법으로 사용된다. 각 시스템은 광대역의 주파수에 대해 신호를 변환하고 보내는데 코드들을 사용하지만, 기본적으로 각 접근방법은 다르게 되며 그림

2-2 와 같이 직접확산(Direct sequence : DS) 방법과 주파수 호핑(Frequency hopping :FH) 방식으로 구분한다.

1. 직접대역확산 방식 : DSSS

DSSS(Direct Spread Spectrum System) 는 반송파 신호를 수정하기 위한 방법으로 고속 코드 시퀀스를 이용하여 보내는 정보들을 결합하는 것이다. 원래 데이터는 고속 칩핑(higher-rate chipping) 코드와 결합이 되어 나누어지고 분리되어 주파수 영역에 대한 반송파를 만드는데 사용된다. 칩핑코드는 각 전송 비트에 대해 잉여비트 패턴을 포함하기 때문에, 간섭에 대해 신호의 저항성이 증가하게 된다. 이것은 간섭으로 인해 전송 상에 일부분의 비트손실이 있더라도 원래 신호가 다른 잉여부분들로부터 원래 데이터 스트림이 만들어질 수 있다는 것을 의미한다. DSSS 가 가장 성공적으로 구현된 것 중 하나는 Wi-Fi 로 알려진 IEEE802.11b 이다.

2. 주파수 호핑 대역확산 방식 : FHSS

FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum) 는 예측 가능한 패턴에 정해진 주파수 영역사이에서 일정하게 호핑/전송(Broadcasting)/호핑을 하여 스펙트럼을 보다 효율적으로 사용하는 기술이다. 싱글호핑은 일반적으로 400ms 의 최대 휴지 시간을 가지며, 최소 75개의 다른 주파수들을 통해 반복 회전하게 된다. 송신기와 수신기는 전송정보를 복원하기 위해 완전하게 동기가 맞아야 한다.

FHSS 기술은 같은 영역에 있는 서로 다른 두 무선통신기기가 정확하게 같은 시간에 같은 주파수에서 전송되는 현상을 감소시켜 간섭을

줄이는 것을 도울 수 있다. 이것은 어떤 주파수에서 협대역 무선통신 기기 신호가 FHSS 신호가 존재할 때는 시간의 1/75 간섭으로 마주치게 된다. 다중의 FHSS 시스템은 시간만 적절하게 계획된다면 효율적으로 함께 공존할 수 있고, 서로 간섭하지 않으며, 방해받지 않는 단일 채널을 제공할 수 있다.

3. 직교주파수 분할방식 : OFDM

DSSS 와 FHSS 는 대역확산 기술의 두 주요한 부분이다. 그렇지만, 새로운 무선 LAN 기술은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex)으로 알려진 다른 변조기술로 보급되고 있다. OFDM 은 무선 시스템의 처리용량 또는 대역폭을 증가시키기 위한 방법으로 다중 주파수를 사용한다. 데이터를 전송하기 위해 단일 반송파 방식을 사용하는 대신에, OFDM 은 데이터 정보를 몇 개의 스트림으로 나누고 동시에 서로 다른 주파수로 전송하여, 수신기가 이 데이터들을 모으고 다시 신호를 복원하게 된다. 이러한 다중 채널 접근방식때문에 OFDM 은 다른 RF 간섭이나 다중경로 현상에 대해 영향을 적게 받게 된다. OFDM 은 802.11b(Wi-Fi)에서 가능한 속도보다 더 높은 전송속도를 갖기 위한 방법으로 IEEE 802.11a 와 IEEE 802.11g 네트워킹 프로토콜에 사용된다.

4. 초광대역 통신(UWB)[6]

DSSS, FHSS, OFDM 은 모두 무선 사용자들이 효율적으로 보낼 수 있는 증가된 데이터 양을 갖는 반면에 UWB 와 같은 새로운 기술은 심지어 낮은 전력레벨에서 사용하기 때문에 훨씬 더 효율적이다.

UWB 는 매우 낮은 전력 레벨로 광대역에 대해 고속으로 데이터를 전송할 수 있기 때문에 가장 기대가 되는 새로운 무선주파수 기술 중 하나이다. UWB 는 아직 널리 사용되고 있지 않지만, 전세계 많은 정부들이 그 사용을 고려하고 있는 현재 진행형 기술이다.

UWB 는 무선 스펙트럼의 사용을 매우 효율적이게 하고 수신측면에서 매우 큰 향상된 성능을 제공한다. 광대역의 주파수를 사용함으로써, UWB 는 벽과 지면을 포함하는 물체를 통과하는 효율적인 전송이 가능하다. 전통적으로 높은 전력을 가진 협대역 무선전파를 사용하는 통신을 심하게 방해했었던 장애물들을 UWB 는 통과할 수 있다. 이는 특별히 다중경로 문제 때문에 어려움을 가진 무선통신 응용에서 중요한 특징이다. 다중경로는 반사되는 신호가 서로 다르게 여러 개로 도착하기 때문에 원래 신호가 수신되는 무선통신기기가 혼신을 겪을 때 발생하는 신호 왜곡의 한 형태이다. 다중경로의 좋은 예는 자동차 라디오의 수신이 정지등에서 저하되지만, 자동차를 1m 이동시키면 신호가 향상되는 경우에서 볼 수 있다. 무선통신기기가 원래 신호뿐만 아니라 본질적으로 서로 상쇄되는 약간 늦은 에코(echo)신호를 수신하기 때문에 순간적으로 어떤 위치에서는 신호가 저하된다. 그러나, 무선통신기기를 약간 이동하여 에코를 제거할 수 있고, 무선통신기기는 정상적으로 다시 동작하게 된다. UWB 는 그 신호가 조밀한 물체들에서 반사되기 보다는 오히려 투과되는 특성을 갖기 때문에, 다른 협대역 무선통신기기보다는 다중경로에 대해 더 강하게 된다.

UWB 는 보통 무선통신기기와는 데이터를 전송하는데 다른 방법을 사용한다. 전통적인 무선통신 기술은 데이터 정보를 보내기 위해 다양한 반송파를 사용하고 반송파는 특정주파수에 맞춰지며, 데이터는 그 주파수 또는 크기에 따라서 파형에 실리게 된다. 이러한 전형적인 예

가 FM 또는 AM 라디오이다.

전통적인 무선통신 기술이 그 데이터들을 정현파 형태의 반송파에 포함시키는 반면 UWB 는 대신에 디지털 통신의 0 과 1로 표현되는 매우 빠른 펄스를 사용한다. 수신기와 송신기에서 효과적으로 통신하기 위해, 정확하게 100만 제곱분의 1초의 정확도를 가진 펄스를 수신하고 보내야 하는 시간이 일치해야 한다. 그림 2-3 에 협대역과 광대역 전송을 나타내었다. 협대역 전송에서는 파의 진폭, 주파수, 위상을 변화시키면서 반송파에 실어 보내는 것이며, 광대역 전송에서는 반송파를 사용하지 않고, 전력의 각 펄스들을 사용한다. 이 때 데이터는 오른쪽 그림에서처럼 극성, 진폭, 펄스 위치를 변화시켜 전달된다.

UWB 통신의 가장 주목할 만한 특징 중 하나는 "Underlay"라고 하는 것으로, 이는 노이즈 플로어 보다 낮은 레벨에서 통신이 가능하다는 것이다. 이론적으로 이것은 UWB 가 어떠한 해로운 간섭을 일으키지 않고 허가된 스펙트럼과 같은 대역에서 동작할 수 있다는 사실을 말한다. 놀라운 일은 아니지만, 많은 스펙트럼 소유주들은 “검증되지 않은 기술”이 그들이 비용을 지불한 대역에서 문제를 일으킬 것이라는 두려움에 대해 의심을 하고 있다. UWB 의 가장 각광받는 사용분야 중 하나는 홈 네트워킹과 다른 단거리, 높은 대역폭 응용이다. 펄스의 전력을 제한하기 때문에 가정에서 사용되지 않는 스펙트럼을 훨씬 더 효과적으로 사용할 수 있다. 휴대용 MP3 플레이어로부터 자동차 라디오까지 몇 피트 이내에서 전송되는 많은 작은 FM 라디오 송신기처럼, UWB 는 스펙트럼 소유주의 동작에 간섭을 주지 않고 연결성을 증가시키기 위해 작은 영역에서 스펙트럼을 사용할 수 있다 UWB 에 대한 또 다른 응용은 건물을 통과하는 데이터 전송, 전화, 케이블의 홈네트워킹 등을 포함할 수 있다.

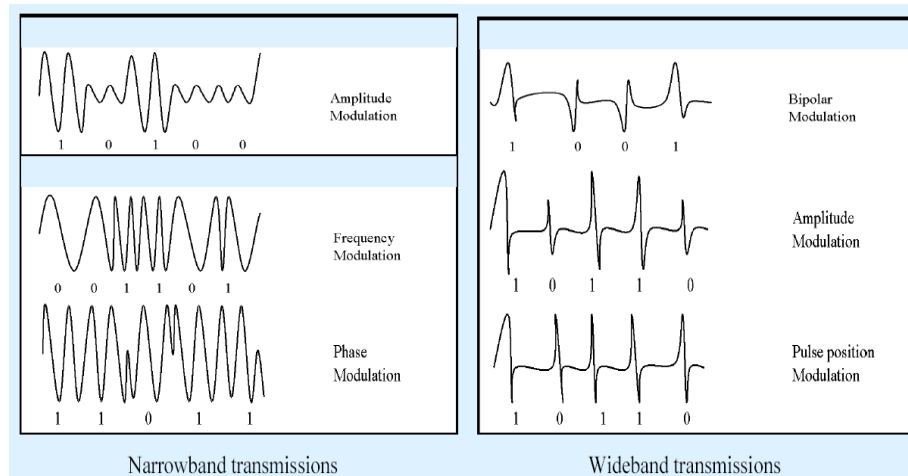


그림 2-3. 협대역 전송과 광대역 전송

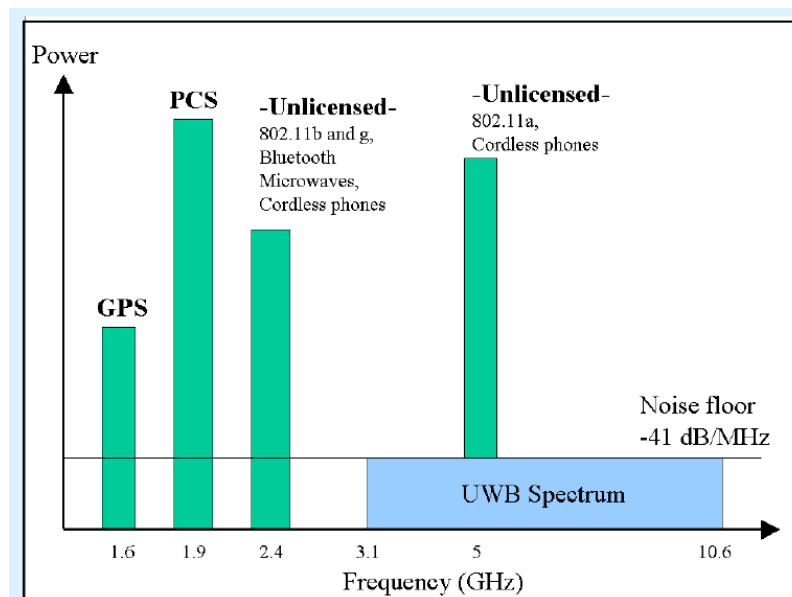


그림 2-4. 노이즈 플로어 보다 낮게 동작하는 UWB[7]

제 2 절 스마트 안테나

앞에서 언급한 UWB 와 주파수 호핑 또는 직접 대역확산 기술은 스펙트럼 효율성을 증가시키기 위해 데이터를 보내는 방법을 바꾸는 기술이다. 그렇지만, 무선통신 네트워크의 용량과 안정성을 증가시키기 위한 최적의 방법 중 하나는 안테나와 무선통신기기의 신호처리 성능 향상을 통하여, 수신하기 위한 무선통신기기의 성능을 향상시키는데 집중을 시키는 것이다. 안테나는 대부분의 무선통신에서 중요한 역할을 하는 반면, 무선통신 전자장치의 일부분으로 전체 동작의 작은 부분으로서 공학적 관심을 매우 적게 받아 왔지만, 성능이 더 좋은 안테나를 제작하는 것은 네트워크의 전체적인 효율성을 엄청나게 증가시키는 방법이다.

스마트 안테나는 세 가지 주목적 때문에 사용된다. 첫 번째는 간섭을 억제하는데 효과적이고, 두 번째는 효과적으로 다중경로, 신호 “에코”가 직접신호와 상쇄되고 전송이 방해되는 환경에 대해 대처가 가능하다. 마지막으로 스마트 안테나는 효과적으로 시스템에서 무선 용량을 증가시키는데 사용된다.

시장에는 많은 새로운 “스마트 안테나” 기술들이 있으며, 스마트 안테나라는 용어는 일반적으로 단지 한 가지 기술만을 의미하지는 않는다. 사실, 스마트 안테나는 다소 잘못된 용어라고 볼 수 있는데, 안테나는 단순히 RF 에너지를 다른 RF 기기들로부터 보내거나 통해 받는 포트에 불과하기 때문에 안테나 그자체로 스마트하지는 않다 오히려, 정보를 주고받는 RF 신호들의 처리과 판단을 하는 디지털 신호처리 부분이 스마트하다고 할 수 있다.

주어진 무선통신 송신기에 더 많은 사용자를 확보하고, 간섭을 줄일

수 있는 중요한 기술 중 하나가 송신기에 가까운 사용자에게는 신호를 집중하고, 신호가 증가하는 사용자들로부터는 신호를 줄이는 것을 도와주는 스마트 안테나를 사용하는 것이다. 그림 3-5 에 이러한 스마트 안테나를 나타내었다. 왼쪽의 그림은 같은 영역을 포괄하는 섹터를 가진 안테나(Sectorized-antenna)와 전방향(Omni-directional) 안테나를 비교하여 나타낸 것이다. 섹터를 가진 안테나가 더 성능이 우수한 수신특성을 가지며, 간섭을 줄일 수 있다는 사실을 알 수 있다. 오른쪽 그림은 셀(Cell) 내에서 안테나를 하나 더 첨가한 경우의 커버리지를 나타낸 것으로 “Combined diversity”라고 불리는 이 기술을 통하여, 두 안테나로부터 받는 정보들의 비교, 처리 등을 통하여 수신 성능과 커버리지 영역을 매우 향상시킬 수 있다.

대부분의 스마트 안테나는 우리의 두 귀가 잡음의 위치를 결정하기 위해 우리 뇌가 도달하는 음파를 해석하는 것과 같은 방법으로 동작한다. 만약 사람이 완전하게 암실에 있다면, 위치측정으로 알려진 과정을 통해 방에 위치한 라디오의 대략적인 위치를 결정할 수 있다.

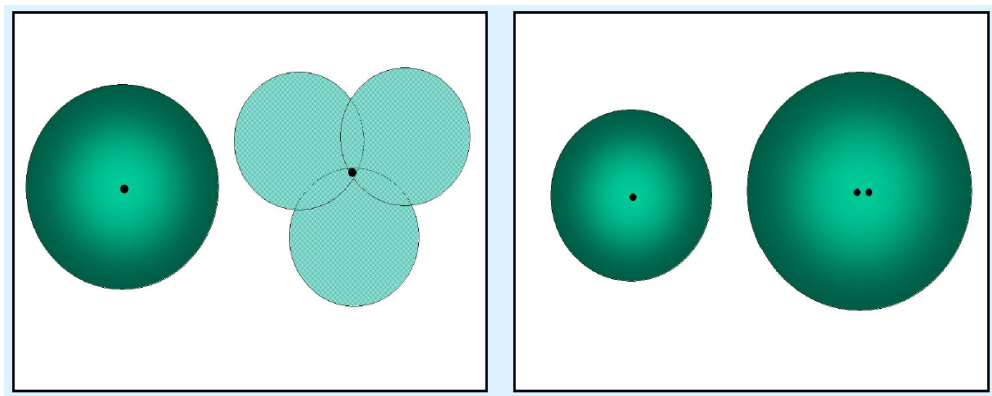


그림 2-5. 지능적인 안테나의 예

라디오로부터 전달되는 음파는 약간 다른 시간과 또한 약간 다른 공간에서 귀에 각각 들리게 된다. 그 사람의 뇌는 그때 음악이 어느 방향으로 오는지를 결정하기 위해 필요한 계산을 하게 된다. 스마트 안테나는 같은 원리를 사용한다.

디지털 신호 프로세서는 신호를 처리하고 두 안테나로부터 들리는 것에 의해 들어오는 전송의 신호원을 결정하기 위한 비슷한 계산을 하게 된다. 전송신호가 어느 곳으로부터 오는지 인지하는 것은 통신에서는 매우 중요한데, 전방향 안테나에서 이루어지는 것처럼 모든 방향에 대한 응답을 전송하는 것을 피하고, 더 잘 수신하기 위해 특정 위치에 대해 안테나가 신호를 집중하는 것이 가능하기 때문이다. 전방향 안테나가 모든 방향으로 RF 신호를 보낼 때는, 특별히 협대역에서 신호가 다른 RF 기기들과 간섭을 일으킬 가능성이 더 많게 된다. 더 많은 사용자가 주어진 송신탑에 부가되어 연결이 끊어지고 전송 품질이 떨어질 때 문제는 더 악화되게 된다.

어느 방향에서 소리가 오는지를 인지하는 것뿐만 아니라, 스마트 안테나는 심지어 높은 레벨의 간섭이 있다하더라도 무선통신 기기가 전송이 오는 것을 더욱 잘 수신할 수 있도록 도와준다. 이것은 일반적으로 “칵테일 파티효과(Cocktail party effect)” 로 알려져 있다. 칵테일 파티는 서로 다른 많은 대화를 갖는 많은 그룹의 사람들이 있는 커다란 방에서 열리게 된다. 방의 전체 잡음 레벨은 매우 높아질 수 있지만, 사람들은 서로 통신을 할 수 있는데 그것은 청각 스트림 분리(Auditory stream segregation)라고 불리는 과정을 통해서다. 이것은 칵테일 파티에 있는 청취자가 다른 잡음이 존재하더라도 음성을 처리할 수 있고 특정한 방향으로부터 오는 소리의 방향을 찾을 수 있는 것을 의미한다. 그렇지만 같은 대화를 기록하는 것은 모든 음성들이 합

쳐진 채로 남기 때문에, 청취자가 이 중요한 방향성 데이터를 놓칠 수 있기 때문에 지능적이지 않게 된다.

일단 스마트 안테나는 특정한 사용자의 대략적인 위치를 결정할 수 있으며, "Better-targeted" 전송을 보내고 받을 수 있는 몇 가지 다른 기술들이 있는데 이러한 기술들은 Switched beam 과 적응형 배열 안테나(Adaptive array antenna) 두 가지 주된 그룹으로 나눌 수 있다.

1. Switched beam 안테나

Switched beam 안테나는 고정된 몇 방향에 대한 감도를 조정할 수 있다. 안테나 주변의 360도 원은 고정된 섹터로 나누어지고 무선통신 기기는 그때 사용자가 위치한 섹터에 대한 감도를 증가시킬 수 있다. 심지어는 방향성 안테나로도 얻어지는 것보다 더 작은 영역에 집중할 다중 안테나의 출력을 결합함으로써 섹터들을 만들 수 있다. Switched beam 안테나의 장점은 비교적 간단하고 가격이 낮다는 것이다. 그렇지만 섹터들 사이의 "셀 간 핸드오프(inter-cell handoff)" 에 대한 필요와, 간섭이 원하는 신호와 가까이 존재할 때 다중경로 간섭을 처리할 수 없다는 것과 코히어런트(Coherent) 다중경로 이용의 부족 등 단점들이 있다.

2. 적응형 배열 안테나

적응형 배열 안테나(소프트웨어 안테나로 불리기도 한다)는 섹터가 아닌 사용자의 실제 위치에 근거하여 감도를 연속적으로 조절하고 사용자를 추적하기가 훨씬 더 유동적이기 때문에 Switched beam 안테나와는 다르게, 적응형 안테나 시스템은 신호, 사용자들의 위치를 처

리하고 감도를 변화시키기 위한 복잡한 알고리즘을 사용한다. 간섭의 방향으로부터 오는 신호들을 막을 수 있고, 코히어런트 다중경로 신호들을 결합할 수 있고, 사용자가 연속적으로 추적되기 때문에 셀간 핸드오프가 필요 없다는 장점들이 있다. 단점은 시스템이 훨씬 더 복잡하고, 그래서 Switched beam 안테나보다는 훨씬 더 비싸다는 것이다. 또한 적응형 안테나의 복잡성은 또한 기지국에서 신호 처리할 수 있는 용량의 확장을 필요로 한다.

Switched beam 안테나와 적응형 배열 안테나와 같은 스마트 안테나 기술은 주어진 영역에서 무선통신기기 주파수 간섭의 양을 상당히 줄일 수 있기 때문에 UWB 와 같은 대역확산 기술이 함께 사용된다면, 이 기술들은 간섭은 제한하는 반면 스펙트럼의 용량은 상당히 증가시킬 수 있게 된다.

특히, 새로운 종류의 네트워크인 메쉬 네트워크(Mesh Network)에서 나타나기 시작한 두 형태의 기술은 요구되는 스펙트럼량을 변화시킬 것이다.

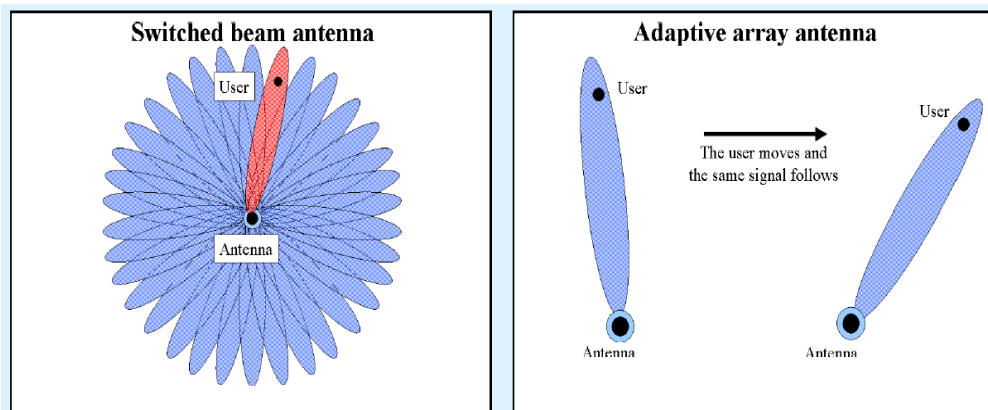


그림 2-6. Switched beam 안테나와 적응형 배열 안테나

제 3 절 메쉬 네트워크(Collaborative gain network)

소문은 산불처럼 퍼져 나가는 것처럼 만약 모인 세 사람을 통해 잡담이 통과하고 이런 방법으로 다섯 번만 반복된다면 약 250명에게 전파된다. 이러한 이론에 근거에서 단지 21번이 반복된다면, 전 세계가 알 수 있게 된다. 메쉬 네트워크는 이러한 원리에 근거한 네트워크의 형태이다. 정보를 받는 모든 사람들(무선통신기기 또는 노드:Node)은 또한 독자적으로 정보를 전달하는 중개자로 사용될 수 있다. 정의에 의해, 메쉬 네트워크는 네트워크의 각 기기들이 동시에 연결이 되고 영역내의 모든 기기들 사이에 통신이 되는 LAN의 형태이다.

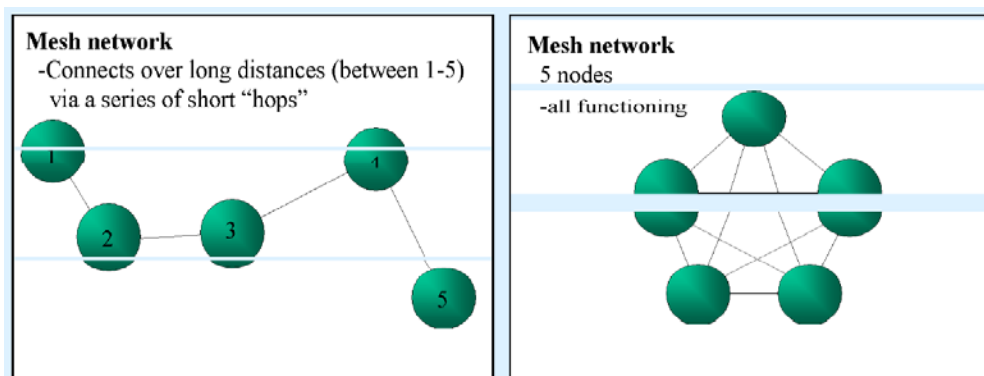


그림 2-7. 메쉬 네트워크 구성

기기들은 그때 중개자로서 다른 기기들을 사용하여 전송을 전달하고 통신할 수 있다. 그림 2-7 에 설명된 그림은 5개의 노드를 가진 메쉬 네트워크를 나타낸다. 각 노드는 보는 것과 같이 구형태이고, 연결은 보는 것과 같이 직선으로 되어 있다. 연결은 유선 또는 무선으로 될 수 있다. 이러한 메쉬 네트워킹에 대한 장점은 첫 번째로 메쉬 네트워크는 사용자수가 증가함에 따라, 그 본질적으로 그 도달점이 팽창하게

되는데 이것은 네트워크 액세스를 확장하는 가장 가격 효과적인 방법이다. 게다가, 실제로 영역에서 사용자수가 증가하는 것은 이동전화와 같은 전통적인 무선 통신 서비스에서는 대역폭이 줄어들지만 메쉬 네트워크에서는 오히려, 실제로 대역폭을 증가시킨다. 메쉬 네트워크는 또한 정보를 전달할 수 없는 노드에 대해서는 다시 원상태로 복귀하는 것이 가능하다. 메쉬 네트워크에 지능성이 결합되면 쉽게 무선통신기가 영역내에서 단순히 다른 사용자를 찾아 문제가 발생한 영역 주변의 전송을 재설정할 수 있다.

구조서비스의 재난영역에서 메쉬 네트워크는 매우 흥미로운 응용이 될 수 있다. 개인적인 무선통신 기기들은 홈 기지국의 도달거리에서 벗어날 수 있지만, 메쉬 네트워크는 사슬형태로 다른 무선통신 기기를 사용할 수 있어 긴 거리라 하더라도 기지국에 대해 정보를 반복할 수 있기 때문이다.

메쉬 네트워크는 스펙트럼 관리에 있어서도 몇 가지 중요한 제안을 하고 있다. 첫 번째는 메쉬 네트워크는 신호가 단지 다른 사용자에게 전달되기만 하며 충분하기 때문에 장거리의 무선통신 전송에 대한 필요성이 감소하게 된다. 이것은 메쉬 네트워크가 많은 무선 통신에서 현재 사용되는 것보다 더 단거리 영역 주파수, 고속을 사용할 수 있다는 것을 의미한다. 사용자들 사이에 데이터 전송을 위해 필요한 최소의 영역은 심지어 UWB 와 같은 기술에게도 개방되어 있고, 따라서 광대역이지만 매우 낮은 전력레벨 스펙트럼을 필요로 한다.

메쉬 네트워킹의 전망은 네트워크내의 무선통신 기기들이 바로바로 업그레이드가 가능하고 소프트웨어를 통해 재설정될 수 있을 때 더욱 현실성이 있게 될 것이다. 메쉬 네트워크는 개발 초기단계이지만, 많은 새로운 무선통신 기기들이 하드웨어 업그레이드 보다는 소프트웨

어를 통해 완전하게 업그레이드가 가능하다. 이러한 새로운 무선통신 기술을 SDR(Software Defined Radio)이라고 불린다.

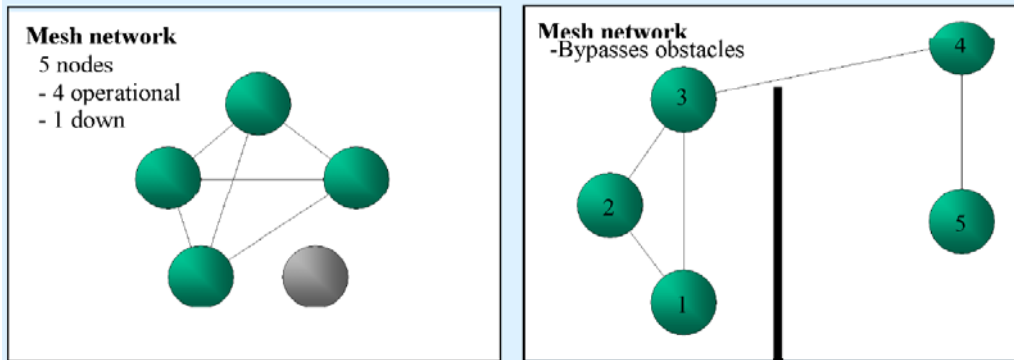


그림 2-8. 메쉬 네트워크의 복원

□ 이동 메쉬 네트워크가 이동통신 스펙트럼 라이선스의 필요성을 제거 할 것인가 ?

이동통신 사업자들은 최근에 3G 경매에서 라디오 스펙트럼에 대해 커다란 비용을 지불했다. 높은 입찰가격으로부터 스펙트럼의 파악된 가치와 그리고 어느 정도는 이동통신 기술과 시장 조건에 대한 낙관적인 의견을 반영했다는 것을 알 수 있다. 만약 메쉬 네트워킹이 실제로 현실화 된다면, 3G 경매는 필요 없는 일이 되어버릴 것이다. 사업자는 이동통신 사용자들을 위한 많은 블록의 스펙트럼을 구매할 필요가 더 이상 없게 된다

대신, 이동통신 메쉬 네트워크는 이동통신 트래픽을 전송하기 위해 다른 이동통신 사용자를 사용함으로써, 대부분의 셀 기지국을 없애야 할 것이다. 인구밀도가 높은 지역에서는, 이동통신 전화기들은 단지 다음 사용자에게만 신호가 도달하면 되기 때문에 신호를 전송하기 위해 셀 기지국보다 더 적은 양의 전력을 필요로 하게 된다. 이러한 낮은 전력의 전송은

비허가 스펙트럼 영역에서도 발생하게 된다. 선택적으로, 이동통신 전화 기들은 전송레벨이 노이즈 플로어 아래로 떨어지는 낮은 전력레벨의 UWB 기술을 사용할 것이다.

메쉬 네트워킹이 더 효과적인 이동통신 네트워크에 대한 중요성은 계속 주목되었지만, 아직까지 긴급한 문제는 아니기 때문에 그 개발이 잠시 중단될 수 있다. 휴대 전화기가 라우팅 장치로 동작을 하기 때문에 더욱 복잡해질 것이다. 게다가, 데이터 트래픽이 그 목적까지 많은 사용자들에 의해 전달이 되어야만 한다면, 궁극적으로 개인 사생활 침해에 대한 문제가 발생할 것이다. 마지막으로 단말기가 항상 전원을 유지해야 하고, 다른 트래픽을 전달해야 하기 때문에 배터리 기술의 진보가 중요하게 작용할 것이다. 이러한 기술적 제약에도 불구하고 비슷한 네트워크 모델인 인터넷의 성공은 이 기술의 전망을 보여준다.

제 4 절 Software-Defined Radio

SDR 은 송신기의 변조방식이 컴퓨터에 의해 정의되거나 생성되고 수신기는 신호 정보를 복원하기 위해 컴퓨터를 사용하는 무선통신 기기이다. SDR 기기에서는 송신기와 수신기를 제어하는 마이크로컴퓨터에 의해 원하는 변조 형태를 선택하기 위한 적절한 프로그램이 수행되어야 한다. SDR 은 서로 다른 나라에서의 주파수, 대역폭, 방향성 등의 서로 다른 규격 구조에 적응하기 위해 동작 중에 프로그램 재설정이 이루어질 수 있는 능력을 갖고 있기 때문에 전망이 매우 크다. 본질적으로 SDR 은 펌웨어 업그레이드와 유사하게 소프트웨어를 변화시

켜 업그레이드 할 수 있는 무선통신 기기들이다. 이는 고가의 하드웨어와 기반 통신시설의 보다 효율적인 사용을 가능하게 한다.

하나의 정보기기가 여러 개의 주파수 대역과 전송 프로토콜들을 다룰 수 있고, 새로운 소프트웨어를 통해 빠르게 업그레이드가 가능하기 때문에 통신 산업체는 SDR 기술로부터 큰 이익을 얻을 수 있다. 결국 이것은 사용자의 휴대 전화기, 무선 전화, 페이지, WLAN 연결이 복잡한 소프트웨어를 사용하여 간단하게 같은 무선통신 기기에 의해 제공될 수 있다는 것을 의미한다. 무선통신 기기는 그 기능을 소프트웨어로부터 받고 소프트웨어가 동작하는 단순한 일반적인 단말기가 된다. SDR 은 일반적인 용어인 반면 SDR 의 특정한 형태인 Agile 무선통신 기기를 사용하면 스펙트럼 할당을 더욱 효율적으로 할 수 있다

1. Agile 무선통신 기기(Cognitive Radio, CR)

Agile 무선통신 기기는 마치 주파수를 소비만 하는 것처럼 동작하는데, 광대역의 스펙트럼에 대해 비 활동성 주기를 사용하는 것을 목적으로 하는 혁신적인 기술이다.

Agile 무선통신 기기는 같은 주파수를 사용하는 다른 무선통신 기기를 감지할 때 까지 사용되지 않는 주파수에 대해 정보를 전송하고 그 순간, 무선통신 기기는 임시적으로 라디오 스펙트럼의 사용되지 않는 또 다른 부분으로 주파수 호핑을 하게 된다. Agile 라디오는 새로운 주파수 할당을 요구하지 않고 가능한 대역폭 양(현재에 비해 대략 10배 정도가 되는)을 증가시키기 때문에 매우 유망한 기술이 될 수 있다.

Agile 무선통신 기기는 라디오 전송의 고유한 성질인 : 시간, 위치, 그리고 주파수를 효율적으로 이용할 수 있다. 스펙트럼 라이선스는 전통적으로 주어진 시간 주기에서 특정한 주파수에 대해 주어진 위치에

서 스펙트럼 소유자에게 독점적인 권리를 부여하는 것이었다

그렇지만 최근 연구는 Agile 무선통신 기기가 많은 양의 스펙트럼을 사용하지 않아도 가능하다는 것을 보여주고 있다. 전송되는 무선통신 기기는 Agile 무선통신 기기가 동작하는 영역이 아닌 특정한 시간에서 주어진 주파수를 사용하는 것이다. 그 위치에서 타인에 의해 사용되는 작은 시간의 양에 대해 사용되지 않는 블록 스펙트럼을 창출할 수 있다. Agile 무선통신 기기는 아직까지 개발 중이며 제품이 구현이 되기 위해 몇 년의 시간이 필요할 것이지만, 그렇지만 기술이 도입되기 위해 중요한 정책적인 의문사항들을 해결해야 한다. 또한, Agile 무선통신 기기는 기술적인 문제들로 고생할 수 있으며, 그 부분에 대해 검토가 필요하다. 우선 Agile 무선통신 기기는 “숨겨진 단말기(Hidden terminal)” 문제로부터 어려움을 겪을 수 있다.

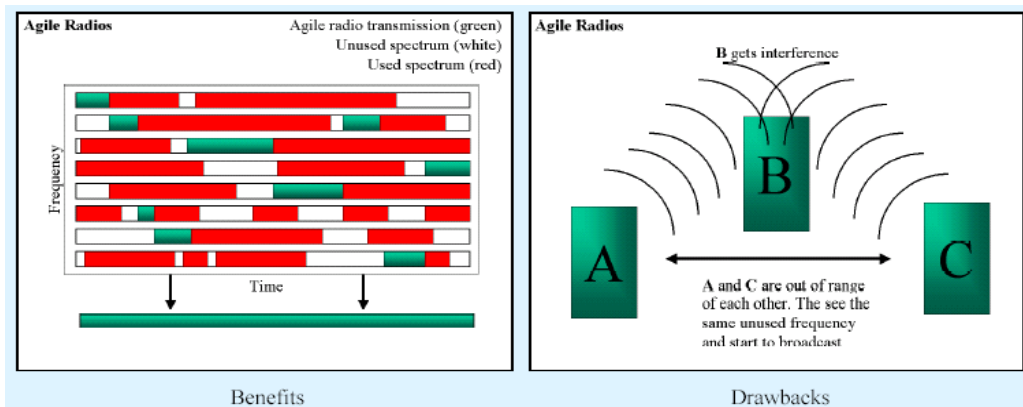


그림 2-9. Agile 무선통신 기기

이것은 같은 비사용 주파수를 찾은 서로 멀리 떨어진 두개의 무선통신 기기가 존재할 때 발생하는 상황이다. 두개의 무선통신 기기 사이에서 위치한 세 번째 무선통신 기기는 각각으로부터 같은 주파수에 같은 시간에 서로 다른 정보를 전송받게 된다. 이 결과로 두개의 전송되는 무선통신 기기에 의해서 발생되지 않는 간섭을 일으키게 된다.

제 3 장 UWB 와 통신시스템의 양립성분석

본 연구에서는 스펙트럼 효율성을 향상시키기 위한 새로운 무선기술 중 하나인 UWB 와 통신시스템인 셀룰러 CDMA 및 WCDMA 와 간섭을 실험을 통하여 분석하였다[8].

표 3-1. 셀룰러 CDMA 와 WCDMA 에대한 Link Budget 분석

항 목	값		단위
	셀룰러 CDMA	WCDMA	
주파수	850	2100	MHz
열잡음 밀도	-174	-174	dBm/Hz
기준 대역폭	1	1	MHz
간섭기기 대역폭	1.23	3.84	MHz
간섭기기 잡음지수	8	8	dB
잡음 기준	-105	-100	dBm
간섭기기 대역폭에서 최대 허용가능한 간섭레벨	-111	-106	dBm
기준대역폭에서 최대 허용가능한 간섭레벨	-111.9	-111.8	dBm/MHz
자유공간 경로손실@1m	31	39	dB
간섭수신기 안테나이득	0	0	dB
간섭수신기 경로손실	2	2	dB
UWB 전력@1m	-80.9	-72.8	dBm/MHz

UWB 와 셀룰러 CDMA 및 WCDMA 와 간섭실험을 하기 전에 각 시스템에 대한 간섭 Link Budget을 [표 3-1]과 같이 분석하였다. Link Budget 의 분석은 여러 가지의 변수를 이용할 수 있으며, 이러한 변수의 사용에 따라 결과 값의 차이가 나게 된다. 본 연구에서는 간섭 시스템의 잡음에 대한 UWB 잡음레벨(I_{uwb}/N_{rec}), 즉 간섭여유도 (Interference Margin)를 6dB 로 가정하였으며, 간섭기기의 잡음지수를 8dB, 수신기의 안테나 이득과 경로손실을 각각 0dBi 와 2dB 로 가정을 하고 Link Budget을 계산하였다.

[표 3-1] 로부터 자유공간 1m에서 셀룰러 CDMA 와 WCDMA 와 같은 간섭수신기의 성능에 UWB 신호가 영향을 주지 않기 위해서 UWB 의 전력레벨은 각각 -80.9dBm/MHz 와 -72.8dBm/MHz 로 주어진다 는 것을 확인 할 수 있다.

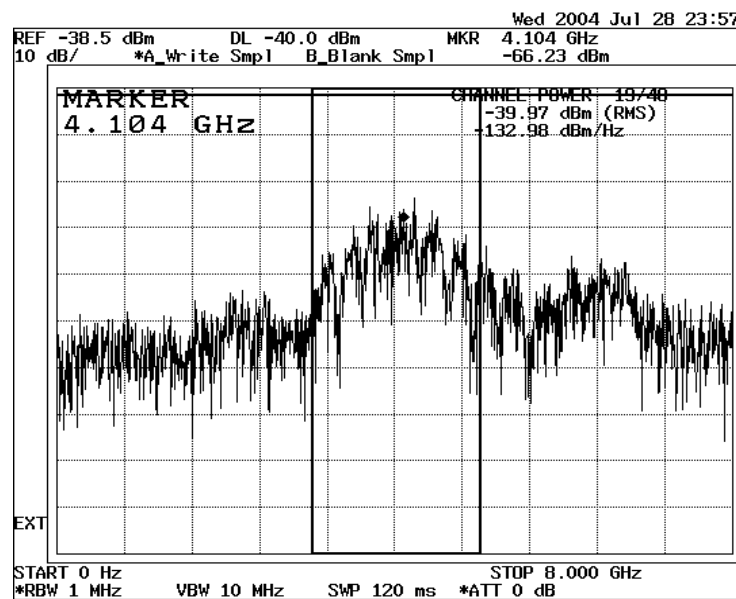
제 1 절 간섭측정

1. UWB 신호원 특성

본 연구에서 사용한 UWB 신호원은 중심주파수 4.7GHz 와 1GHz를 갖는 임펄스 형태의 UWB 신호와, 중심주파수 4GHz 인 DS-CDMA 방식의 UWB 신호를 사용하였다. 각 송신기의 특성을 [표 3-2]에 나타내었다. 측정에 사용된 임펄스 형태의 UWB 신호원 ① 은 중심주파수 4.7GHz 로 FCC 의 출력마스크를 만족하도록 설계된 일반적인 신호이며, UWB 신호원 ② 는 주로 지면 탐사용 또는 구급용 레이더로 사용될 주파수대역인 1GHz 이하로 설계된 UWB 신호로 본 실험에서 셀룰러 CDMA 에 직접적인 영향을 줄 수 있기 때문에 실험과정에

표 3-2. UWB 신호원 특성

UWB 신호원	Impulse UWB ① PulseOn200	Impulse UWB ② Model-1000D	DS-CDMA XSUWBWDK
규격	Pulse Repetition Frequency(PRF) : 9.6MHz Center Frequency(Radiated) 4.7GHz Bandwidth(10dB radiated) 3.2GHz EIRP -11.5dBm	Broadband: to Beyond 1 GHz Spectrum Amplitude 90 dBμ/MHz Repetition Rate 1 MHz to 10 Hz in 5 ranges with 0.1 to 1.0 vernier.	
제조사	Time Domain	Picosecond PulseLab	Freescle

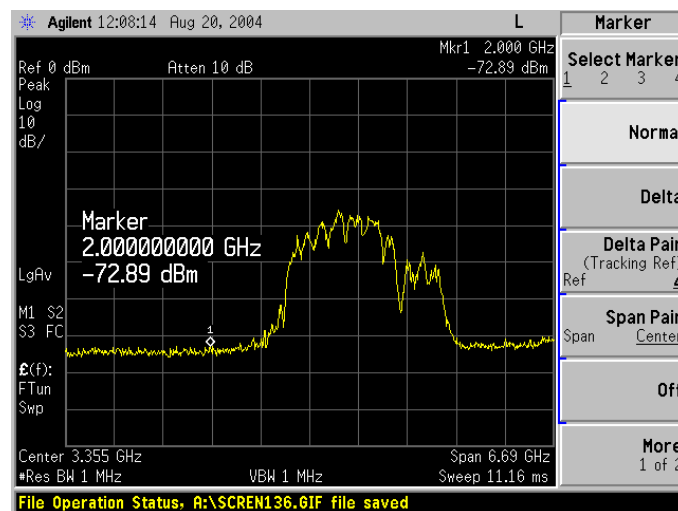


(a) Impulse 방식 UWB 신호 스펙트럼($f_c=4.7\text{GHz}$)

포함을 하였다. [그림 3-1] 에 본 연구에서 사용된 각 UWB 신호원의 스펙트럼을 측정하여 나타내었다.



(b) Impulse 방식 UWB 신호 스펙트럼($f_c=1\text{GHz}$)



(c) DS-CDMA 방식 UWB 신호 스펙트럼

그림 3-1. 측정에 사용된 UWB 신호의 스펙트럼

중심주파수 1GHz를 갖는 임펄스 UWB 신호원의 경우에는 펄스의 Repetition Rate 이 변화가 가능하여, 가장 높은 상태(1MHz)로 설정하여 측정을 하였으며, 다른 UWB 기기들에 비하여, 평균전력대비 첨두 전력의 비율이 상당한 것을 확인 하였다.

2. 간섭실험 전체측정 구성도

[그림 3-2]에 UWB 신호원과 셀룰러 CDMA 및 WCDMA 이동통신과의 간섭을 측정하기 위하여 구성된 구성도를 나타내었다. 간섭대상으로는 System 의 최저 감도규격(Sensitivity)을 만족하는 단말기를 사용하였으며, 기지국으로는 셀룰러 CDMA 의 경우에 Agilent 사의 8960 Mobile Communication Test Set을 사용하였으며, WCDMA 의 경우에는 Anritsu 사의 MT8820A Radio Communication Analyzer를 사용하였다. 셀룰러 CDMA 의 경우 기지국 파라미터로 설정된 8960의 값은 [표 3-3] 과 같이 설정하였다.

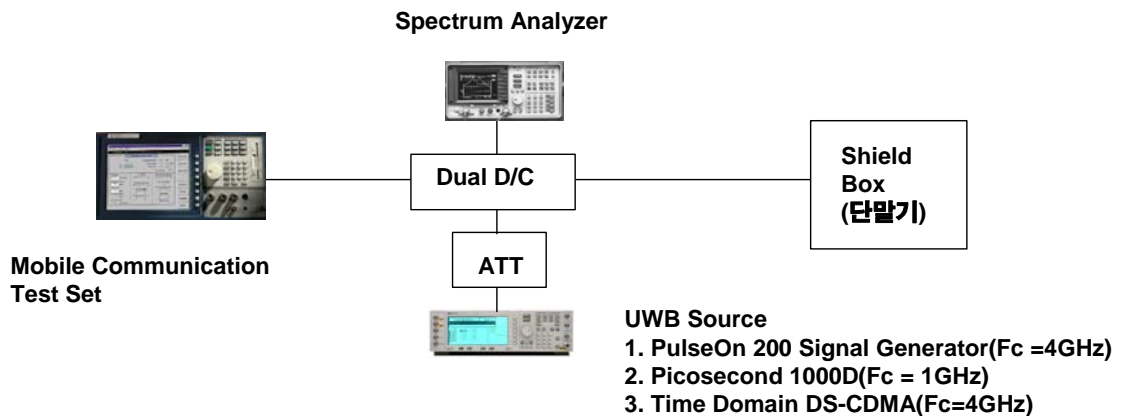


그림 3-2. UWB 간섭실험 전체 측정 구성도

표 3-3. 셀룰러 CDMA 기지국 설정 파라미터

Parameter	기지국
Sector Total Power(dBm)	-94 ~ -104
Pilot Channel(dB)	-7
Paging Channel(dB)	-16
Sync Channel(dB)	-12
Traffic(dB)	-15.6
OCNS(dB)	-1.7046
PN Offset	12
CDMA Channel	799

타 통신시스템으로부터의 간섭을 막기 위하여, Shield Box 또는 Shield Room을 사용하였다. 구성도에서는 생략되어 있지만 셀룰러 CDMA 와 WCDMA 수신기의 성능으로서 FER 과 E_c/I_o 측정을 위하여 DM 소프트웨어를 사용하였다.

3. UWB 간섭 실험결과 및 분석

UWB 시스템과 셀룰러 CDMA 및 WCDMA 수신기와의 간섭을 평가하기 위해서 사용한 파라미터는 모두 수신감도(Sensitivity)를 사용하였다. 셀룰러 CDMA 의 표준규격인 IS-98E[9] 에 의하면, 기지국의 전력레벨 -104dBm/1.23MHz 에 대하여 수신기의 FER(Frame Error Rate) 이 0.5% 이하를 요구하고 있다. 또한 WCDMA 의 경우 표준규격인 ETSI TS 134 121[10]에 의하면-106.7dBm/3.84MHz 에 대하여 수신기의 BER(Bit Error Rate) 이 0.001을 초과하지 않도록 규정하고 있

다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기준으로 각각의 수신기에 대한 간섭실험을 진행하였다. 실험결과와 신뢰도를 높이기 위하여 각 측정 결과는 동일한 환경에서 5번씩 수행되었다.

가. 셀룰러 CDMA 간섭실험 측정결과

실험에 사용된 임펄스 형태의 UWB 기기에 의한 셀룰러 CDMA 간섭실험에서 측정된 결과를 [표 3-4] 와 [표 3-5] 에 각각 나타내었다. 셀룰러 CDMA 의 경우에 수신전력 $-104\text{dBm}/1.23\text{MHz}$ 에서 FER 0.5%를 만족하기 위해서는 UWB 의 출력레벨이 $-111\text{dBm}/\text{MHz}$ 이하로 주어 져야 한다는 사실을 확인 할 수 있으며, 이 값을 1m 자유공간손실 31dB를 적용하면 1m에서 UWB 의 최대 허용 출력레벨을 $-80\text{dBm}/\text{MHz}$ 로 얻을 수 있고, 이 값을 앞서 계산한 Link Budget 의 결과 $-80.9\text{dBm}/\text{MHz}$ 와 대략적으로 일치하는 것을 확인할 수 있다. 반면 중심주파수 1GHz를 갖는 (임펄스 신호원 ②) UWB 신호의 경우 셀룰러 CDMA 단말기 대역내에 잡음이 존재하기 때문에 3.1-10.6GHz 에서 동작하는 임펄스 신호원① 에 비해 간섭정도가 $-95\text{dBm}/\text{MHz}$ 로 더 크게 나타나는 것을 알 수 있으며, 이는 자유공간 경로손실을 고려 할 때 셀룰러 CDMA 단말기로부터 약 5.6m 의 이격거리를 확보해야 한다는 것을 의미한다.

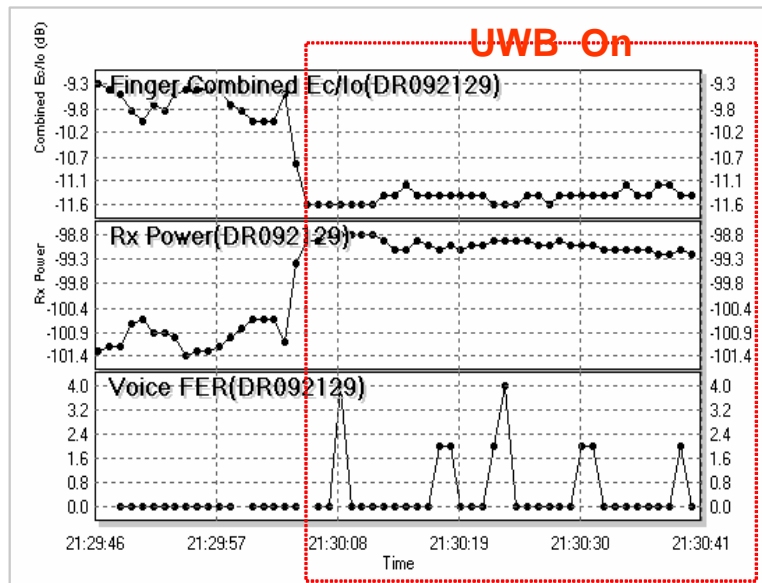
표 3-4. 임펄스 UWB 신호원 ① 에 의한 간섭측정 결과

UWB Jamming Level [dBm, Peak.]	셀룰러 수신전력Level [dBm]	셀룰러 단말기 FER[%]	셀룰러 단말기 Pilot Ec/Io	
			UWB off	UWB on
-96	-94	1	-	-
-106	-103	4	-9.8	-11.4
-108	-104	7	-10	-11.6
-111	-104	0.5	-9.7	-10.6

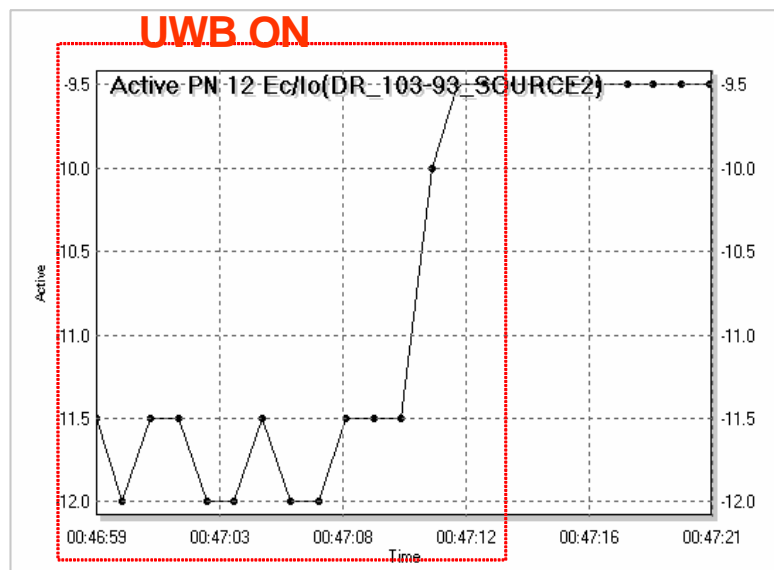
표 3-5. 임펄스 UWB 신호원 ② 에 의한 간섭측정 결과

UWB Jamming Level [dBm, Peak.]	셀룰러 수신전력Level [dBm]	셀룰러 단말기 FER[%]	셀룰러 단말기 Pilot Ec/Io	
			UWB off	UWB on
-93	-104	2	-9.5	-11.7
-95	-104	0.5	-9.8	-11.2

[그림 3-3] 에는 UWB 가 Off 상태에서 On 이 되었을 때 발생하는 Ec/Io 의 변화를 나타낸 것으로 임펄스 신호원 ① 의 경우 Ec/Io 는 0.9dB, 임펄스 신호원 ② 의 경우 Ec/Io 는 1.4dB 가 저하되는 것을 확인 할 수 있다.



(a) Impulse 방식 UWB 신호($f_c=4.7\text{GHz}$) 에 의한 간섭측정 결과



(b) Impulse 방식 UWB 신호($f_c=1\text{GHz}$) 에 의한 간섭측정 결과

그림 3-3. 임펄스 UWB 에 의한 셀룰러 CDMA 시스템의 간섭특성

나. WCDMA 간섭실험 측정결과

UWB 신호원과 WCDMA 단말기의 간섭 실험결과를 [그림 3-4] 와 [그림 3-5] 에 나타내었다. [그림 3-4] 는 앞서 셀룰러 CDMA에서 사용한 임펄스 UWB 신호원 ① 을 사용하였고, [그림 3-5] 는 DS-CDMA 방식을 가진 UWB 신호원을 사용한 경우 측정된 간섭측정 결과이다.

WCDMA 하향링크 주파수로는 2130MHz(10650CH)를 사용하였다. 임펄스 UWB 신호원의 경우 WCDMA 기지국 전력 -106.7dBm/3.84MHz에서 수신감도 BER 0.001을 만족하기 위한 최대 허용 가능한 UWB 전력레벨은 -101dBm/MHz 로 주어진다. 이 값은 1m에서 자유 공간손실 38dB를 고려하면 UWB 의 전력레벨이 -63dBm/MHz 로 주어지게 되어 앞서 Link Budget 으로 얻은 -72.8dBm/MHz 와 비교하면 약 10dB 정도의 여유를 가지고 있음을 확인할 수 있다.

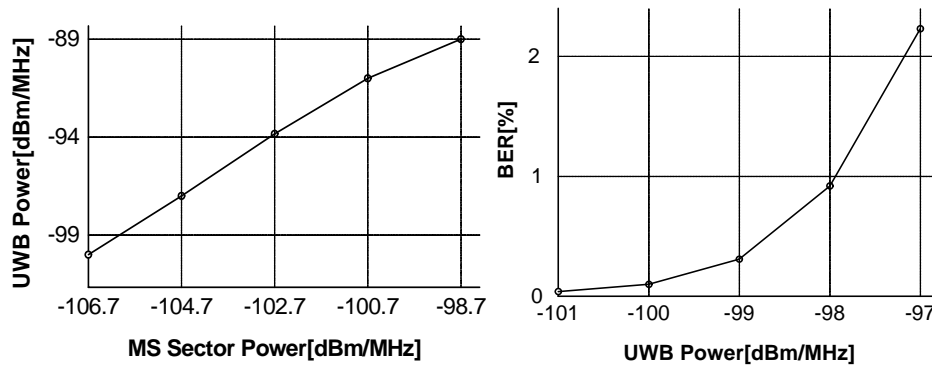


그림 3-4. Impulse 방식 UWB 신호원($f_c=4.7\text{GHz}$) 에 따른 WCDMA 시스템의 간섭측정 결과

각국에서 제안된 UWB 출력 마스크와 비교해보면 WCDMA 대역에서 FCC 의 경우(실외) -61.3dBm/MHz 이고 ETSI 의 경우 -65dBm/MHz 로 두 규격 모두 만족하고 있음을 확인 할 수 있다. 물론 여기에 UWB 의 개수 또는, 안테나의 지향성을 고려하게 되면 이 값에 대해서는 바뀔 가능성이 있다.

[그림 3-5] 에는 DS-CDMA 방식을 사용한 UWB 신호원에 따른 WCDMA 단말기의 간섭정도를 나타낸 것으로 오른쪽 그림의 경우에는 WCDMA 기지국의 전력이 변함에 따라 요구되는 BER을 만족하는 UWB 출력을 측정 한 것이며, 왼쪽 그림의 경우에는 UWB 출력을 변화시키면서 WCDMA 단말기 BER 의 변화를 측정 한 것이다. WCDMA 에서 요구하는 수신감도 규격을 만족하기 위해서는 UWB 의 출력이 -85dBm/MHz 이면 가능하고, 이를 1m 자유공간손실 38dB를 고려하게 되면 -47dBm/MHz 의 값을 가지게 되어 앞서 실험한 임펄스 방식의 UWB 신호원에 비하여 간섭효과가 16dB 정도 개선이 된 것을 확인할 수 있다.

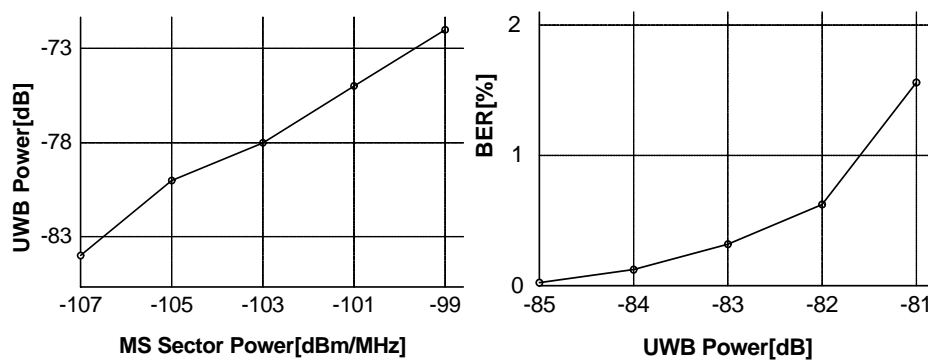


그림 3-5. DS-CDMA 방식 UWB 신호원에 따른 WCDMA 시스템의 간섭측정 결과

이는 DS-CDMA 방식의 UWB 신호원이 3.1GHz 이하에서 급격한 Cutoff 특성을 갖는 필터를 사용하여, WCDMA 주파수대역에서 발생하는 잡음을 상당부분 감쇄시켰기 때문이라고 볼 수 있다.

① Impulse UWB Source

표 3-6. Sector Power 의 변화에 따른 UWB 허용레벨

Impulse UWB Source	
Sector[dBm]	UWB[dBm/MHz]
-106.7	-100
-104.7	-97
-102.7	-94
-100.7	-91
-98.7	-89

표 3-7. UWB 허용레벨에 따른 BER 의 변화

UWB[dBm/MHz]	BER[%]					BER 평균
-101	0.08	0.07	0	0.03	0	0.036
-100	0.13	0.05	0	0.11	0.23	0.104
-99	0.14	0.64	0.23	0.19	0.37	0.314
-98	0.71	0.45	1.06	1.27	1.09	0.916
-97	2.07	3.06	1.59	2.06	2.72	2.3

② DS-CDMA UWB Source

표 3-8. Sector Power 의 변화에 따른 UWB 허용레벨

DS-CDMA UWB Source	
Sector[dBm]	UWB[dB]
-107	-84
-105	-80
-103	-78
-101	-75
-99	-72

표 3-9. UWB 허용레벨에 따른 BER 의 변화

UWB[dBm/MHz]	BER[%]					BER 평균
-85	0.04	0.02	0	0	0.05	0.02
-84	0.04	0	0.42	0	0.17	0.126
-83	0.08	0.23	0.03	0.42	0.80	0.312
-82	0.69	0.77	0.25	0.69	0.74	0.628
-81	1.11	2.02	1.90	1.26	1.52	1.562

제 2 절 간섭측정결과(2차 측정)

본 내용은 셀룰러(Downlink : 823-849MHz, Uplink : 869-894MHz) / K-PCS(Downlink : 1750-1810MHz, Uplink : 1830-1890MHz) / WCDMA (Downlink : 1920-1980MHz, Uplink : 2110-2170MHz) 와 간섭신호원으로 Impulse UWB 를 사용하여 2차 간섭측정을 한 결과이다. 실험에 사용한 Impulse UWB 는 현재 FCC 의 Emission 규격에 일치하는 Spectrum 특성을 가지고 있다. DS-CDMA 나 OFDM 을 이용한 UWB 송신기의 경우 현재 송신기의 Out of Band 특성이 워낙 낮기 때문에 통신서비스에 간섭영향이 거의 없다. DS-CDMA 방식이나 OFDM 방식의 UWB 간섭에 대한 영향을 알기 위해서는 Out of Band Emission Level 만을 변화시킬 수 있는 방법이 필요하며, 이에 대한 측정기술 및 연구가 필요하다.

1. 실험실 측정

실험에서 사용한 UWB 신호원은 Time Domain 에서 제작된 PulsOn 200TM Impulse UWB 신호원으로 4.7GHz 에서 중심주파수를 갖고 대역폭이 3.2GHz 이며, FCC 의 Spectrum 규격을 만족하고 있다. [그림 3-7]에 UWB 신호원과 셀룰러 CDMA/K-PCS/WCDMA 간섭을 측정하기 위하여 구성된 구성도를 나타내었다. 간섭대상으로는 System 의 최저 감도규격(Sensitivity)을 만족하는 상용화된 단말기를 사용하였으며(셀룰러 : Samsung SCH-E140, K-PCS : LG-LP3500, WCDMA : LG-KW2000), 기지국으로는 셀룰러 CDMA/K-PCS 의 경우에 Agilent 사의 8960 Mobile Communication Test Set을 사용하였

표 3-10. 측정된 주파수대역

	셀룰러	K-PCS	WCDMA
Downlink	823 - 849MHz	1 750 - 1 780MHz	1 920 - 1 980MHz
Uplink	869 - 894MHz	1 840 - 1 870MHz	2 110 - 2 170MHz

으며, WCDMA 의 경우에는 Anritsu 사의 MT8820A Radio Communication Analyzer를 사용하였다. 타 통신시스템으로부터의 간섭을 막기 위하여, Shield Box 를 사용하였다. 각 수신기의 성능으로서 FER 과 BER을 측정하였다.

셀룰러 CDMA/K-PCS 의 표준규격인 IS-98E[9]에 의하면, 기지국의 전력레벨 -104dBm/1.23MHz 에 대하여 수신기의 FER(Frame Error Rate) 이 0.5% 이하를 요구하고 있다. 또한 WCDMA 의 경우 표준규격인 ETSI TS 134 121[10]에 의하면-106.7dBm/3.84MHz 에 대하여 수신기의BER(Bit Error Rate) 이0.001을 초과하지 않도록 규정하고 있다. 따라서 이러한 기준으로 각각의 수신기에 대한 간섭실험을 진행하였다. 실험결과의 신뢰도를 높이기 위하여 각 측정결과는 동일한 환경에서 5번씩 수행되었다.

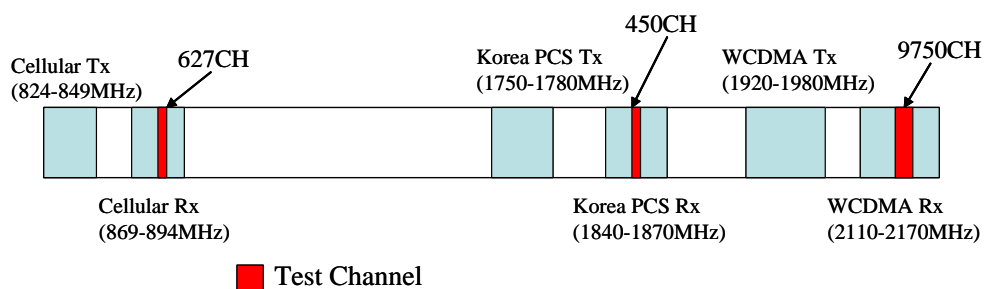


그림 3-6. 측정된 주파수대역

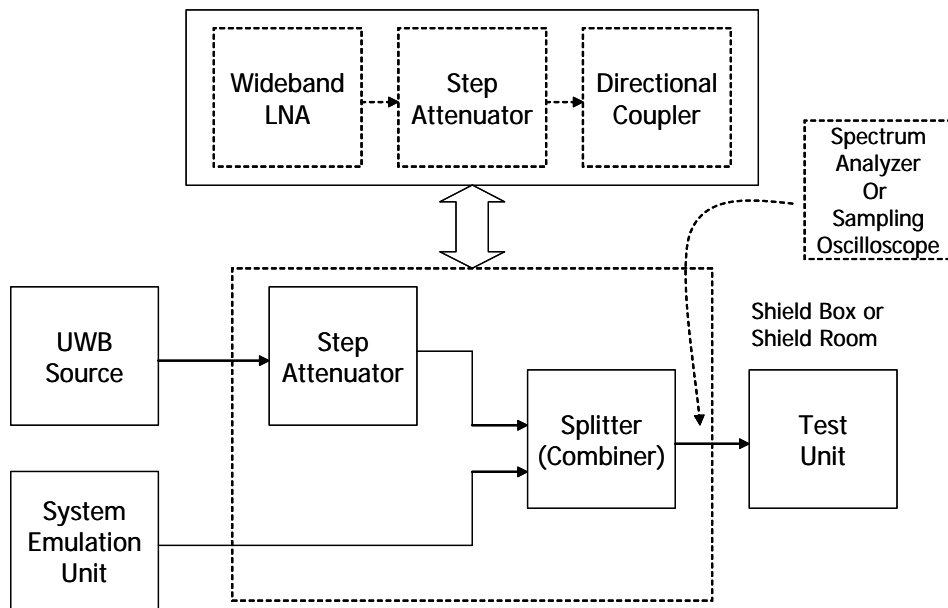


그림 3-7. UWB 간접실험 전체 측정 구성도

가. 셀룰러 대역

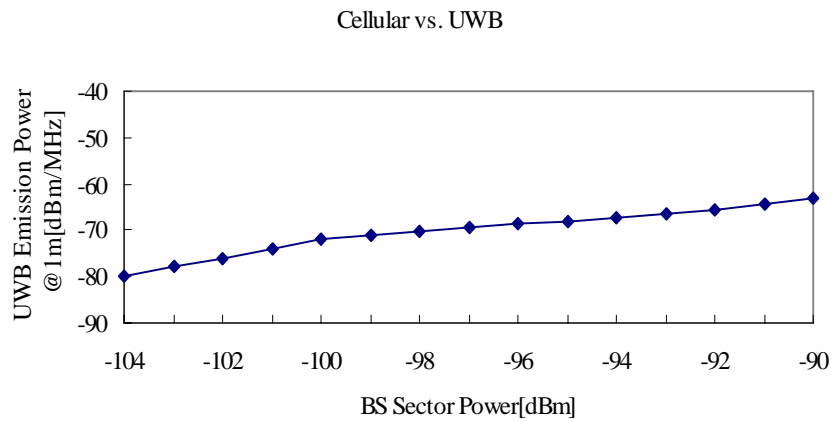


그림 3-8. 셀룰러 Sector Power 에 따른 최대허용가능한UWB Power level@1m

셀룰러 CDMA 의 경우에 수신전력-104dBm/1.23MHz에서 FER 0.5%를 만족하기 위해서는 UWB 의 출력레벨이 -111dBm/MHz 이하로 주어져야 한다. 1m 자유공간손실 31dB를 적용하면 1m에서 UWB 의 최대 허용 출력레벨을 -80dBm/MHz 로 얻을 수 있다.

그러나, [그림 3-9]에서 알 수 있듯이 -104dBm 이 아닌 일반적인 약전계라고 가정할 수 있는 Sector Power -95dBm 인 영역에서는(실제로 전계강도 -95dBm 이하인 지역은 1% 정도로 존재한다.) -68dBm/MHz 의 UWB Power Level 인 경우도 가능하다.

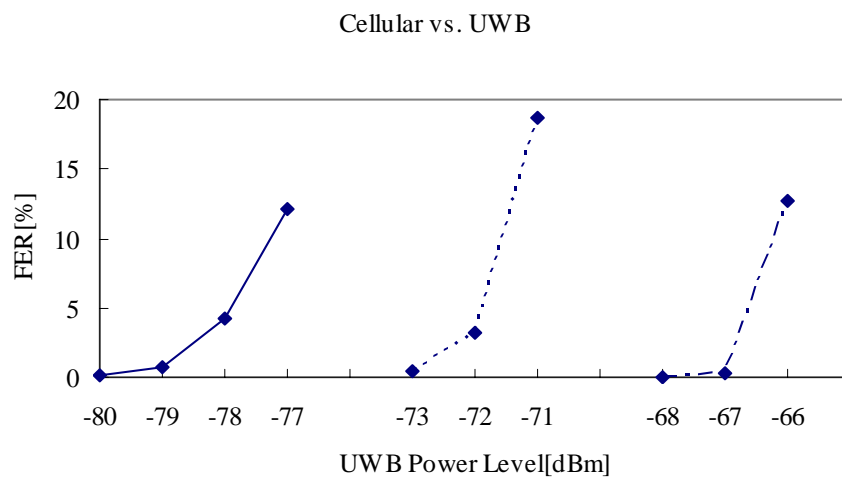


그림 3-9. 최대 허용 가능한 UWB Power level@1m 에 따른 FER 의 변화 (Solid Line : -104dBm, Dotted Line : -100dBm, Dashed Line : -95dBm)

나. PCS 대역

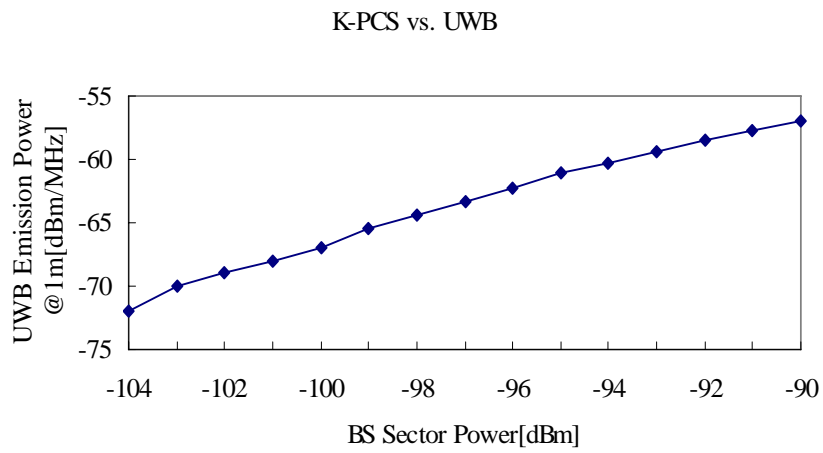


그림 3-10. K-PCS Sector Power 에 따른 최대허용가능한 UWB Power level@1m

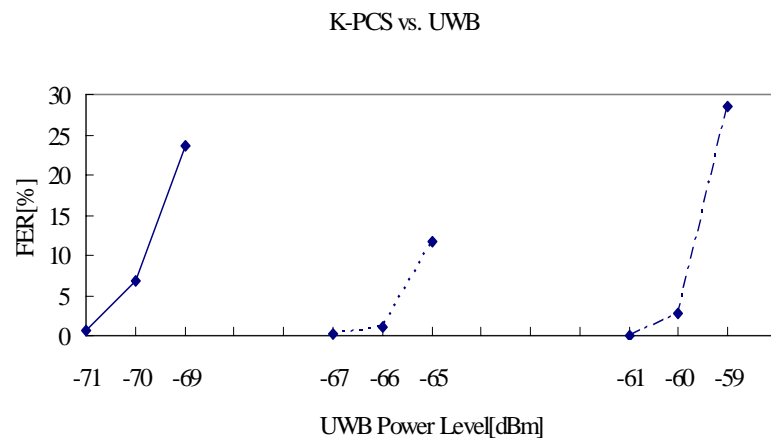


그림 3-11. 최대 허용가능한 UWB Power level@1m 에 따른 FER 의 변화(Solid Line : -104dBm, Dotted Line : -100dBm, Dashed Line : -95dBm)

[그림 3-10]과 [그림 3-11] 에 K-PCS 에서 Impulse UWB 에 따른 간섭특성을 나타내었다. K-PCS의 경우에 수신전력 $-104\text{dBm}/1.23\text{MHz}$ 에서 FER 0.5%를 만족하기 위해서는 UWB 의 출력레벨이 1m 에서 $-72\text{dBm}/\text{MHz}$ 이하로 주어져야 한다. 그러나, [그림 3-11]에서 알 수 있듯이 -104dBm 이 아닌 일반적인 약전계라고 가정할 수 있는 Sector Power -95dBm 인 영역에서는(실제로 전계강도 -95dBm 이하인 지역은 1% 정도로 존재한다.) $-61\text{dBm}/\text{MHz}$ 의 UWB Power Level 인 경우도 가능하다.

다. WCDMA 대역

UWB 신호원과 WCDMA 단말기의 간섭 실험결과를 [그림 3-12] 와 [그림 3-13] 에 나타내었다. 임펄스 UWB 신호원의 경우 WCDMA 기지국 전력 $-106.7\text{dBm}/3.84\text{MHz}$ 에서 수신감도 BER 0.001을 만족하기 위한 최대 허용가능한 UWB 전력레벨(@1m)은 $-73\text{dBm}/\text{MHz}$ 로 주어진다. [그림 3-13]에서 알 수 있듯이 -106.7dBm 이 아닌 일반적인 약전계라고 가정할 수 있는 Sector Power -95.7dBm 인 영역에서는 $-55\text{dBm}/\text{MHz}$ 의 UWB Power Level 인 경우도 가능하다.

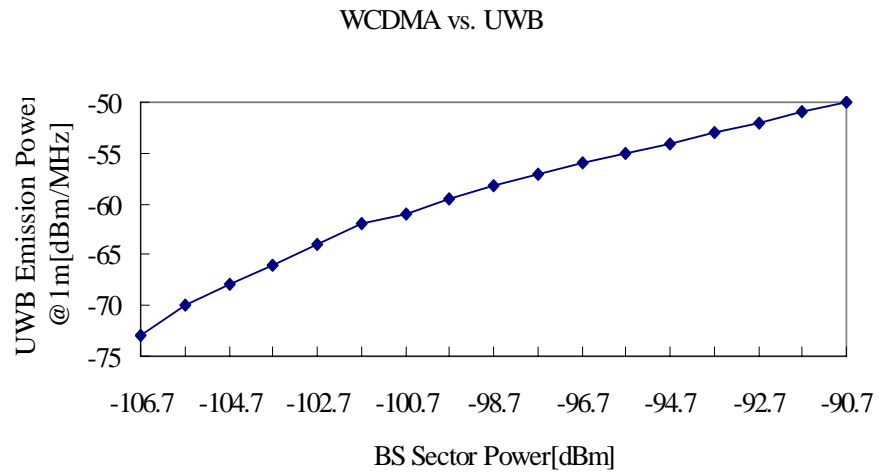


그림 3-12. WCDMA Sector Power 에 따른 최대허용가능한 UWB Power level@1m

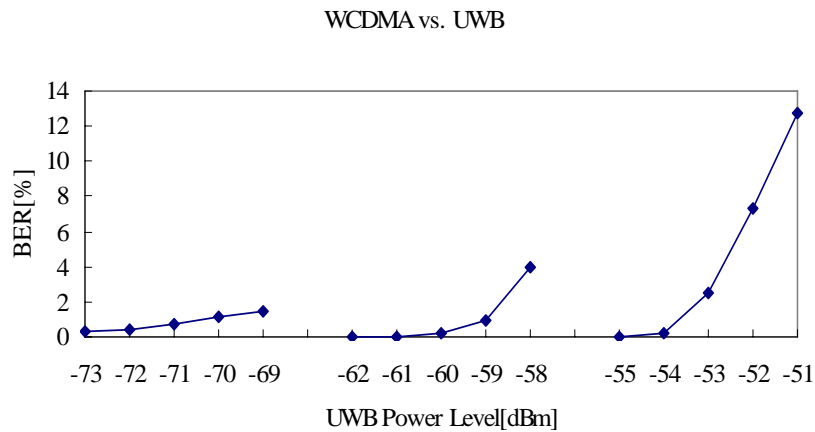


그림 3-13. 최대허용가능한UWB Power level@1m 에 따른 BER 의 변화(Solid Line : -106.7dBm, Dotted Line : -100.7dBm, Dashed Line : -95.7dBm)

2. 측정결론

대표적인 통신시스템으로서 1GHz 이하의 셀룰러 CDMA 와 2GHz 근방의 K-PCS/WCDMA 이동통신 시스템과 Impulse UWB 신호원과의 간섭을 측정하였다. 셀룰러 CDMA 의 경우 1m에서 중심주파수 4.7GHz 의 임펄스 UWB 신호원이 -80dBm/MHz 출력레벨을 가질 때 표준규격을 만족하는 수신감도에 영향을 주지 않았다. K-PCS 와 WCDMA 의 경우 1m 거리에서 각각 -72dBm/MHz 와 -73dBm/MHz 의 최대 허용 가능한 UWB Emission level 을 갖는 것으로 측정되었다. 그러나 본 측정에서 UWB 기기의 수, Use factor 등은 고려되지 않았다는 점이 고려되어야 한다. 또한 본 측정에서 사용한 기준은 미국의 Sector Power 를 가장 Call 이 단절되기 직전의 가장 최악의 상황을 기준으로 한 것으로 일반적인 서비스망에서의 약전계라고 판단되는 -100dBm 에서 -95dBm 정도라면 그 허용 가능한 UWB Emission 값이 다소 높아질 수 있다. 본 측정에서는 DS-CDMA 방식을 사용하는 Motorola 의 XSUWBWDK Kit 와 OFDM 방식을 사용하는 Wisair 의 MB-OFDM EVT 를 이용한 간섭도 아울러 측정을 했으나, 두 방식의 Source 모두 3GHz 이하의 Out of band 특성이 FCC 나 ETSI 규격을 훨씬 넘는 낮은 Noise Level 을 갖고 있기 때문에 이동통신서비스와 간섭현상이 전혀 발생하지 않았다. 따라서, 두 방식의 source 로 UWB 출력기준을 논의하기 위해서는 간섭측정을 위한 측정기술 상용화되었을 때 발생할 수 있는 대역외 잡음상승효과의 실험 등에 대한 연구가 좀 더 필요한 실정이다.

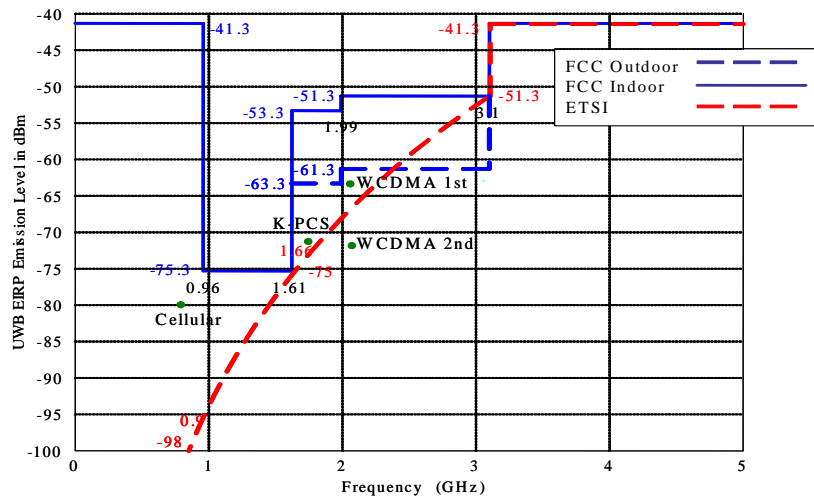


그림 3-14. 1차/2차 측정 결과

표 3-11. 측정 결과와 ITU 에 보고된 다른 계산결과와의 비교

	Measured Maximum UWB level [dBm/MHz] at -104dBm for 셀룰러/K-PCS(-106.7 dBm for WCDMA) Sector Power	Other results [dBm/MHz]	FCC Indoor Limit [dBm/MHz]	ETSI Limit [dBm/MHz]
셀룰러	-80	-	-75.3	-95.6
K - PCS	-72	-73.9[1-8/20-E]	53.3	-70.8
		-65[1-8/94-E]		
		-72.4~-74[WP8F]		
WCDMA	-73	-72.9[1-8/33-E]	51.3	-65.1
		-65[8F/892-E]		
		-71.9~-72.1[WP8F]		
		-72[8F/864-E]		
		-66.2~-69.2[8F/17-E]		
		-64[1-8/96-E]		

제 4 장 CR의 양립성분석

현재 비허가(Unlicensed) 기기들을 위해 할당을 하기에 가장 적당한 대역은 TV 방송대역이다. 미국 FCC 는 2004년 5월 NPRM(Notice Of Proposed Rule Making)에서 사용되지 않는 TV 방송대역에 대한 비허가 기기들의 동작을 허가하였다[11]. 본 절에서는 이러한 TV 방송대역(1차 시스템)에 인지 라디오(2차 시스템)가 동작할 경우에 발생할 수 있는 간섭현상에 대해 분석을 하였다. [그림 4-1] 과 같이 고출력의 단일 송신 시스템의 주파수가 이미 할당되어 있다고 가정을 하고 주(Primary) 송신기의 보호 반경 내에 있는 모든 수신기는 인지 라디오가 영역 내에서 동작을 한다고 하더라도 정상적인 수신을 할 수 있다고 가정을 하였다. 또한 모든 송수신은 전 방향으로 이루어진다고 가정을 하였다[12][13].

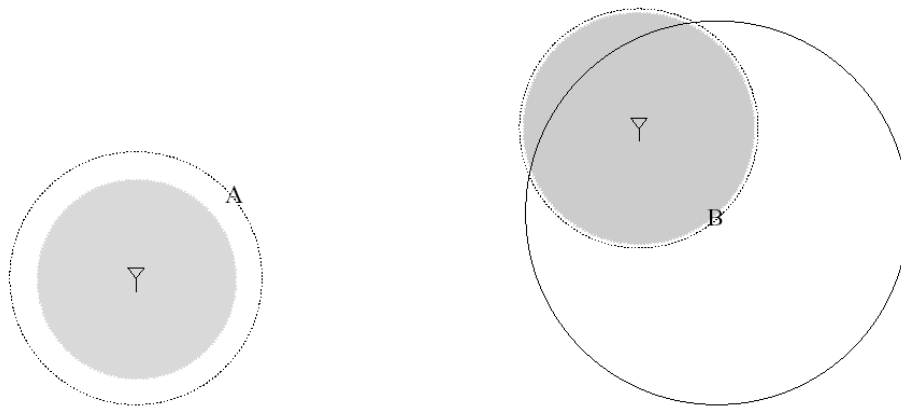


그림 4-1. 1차 시스템의 “보호반경”과 “no-talk반경”[14]

1차 시스템은 전송되는 정보를 오류 없이 복원하기 위해 최소 요구되는 SINR 값을 가지게 되는데, 만약 간섭이 없다면 송신기로부터 반경을 가진 원에서 를 갖는다고 가정할 수 있다. [그림 4-2]에서 나타낸 것처럼 을 2차 시스템이 동작을 하지 않도록 제한하는 “no-talk 반경”으로 정의를 하고 를 1차 사용자가 서비스를 원활하게 사용할 수 있는 “보호반경”으로 정의를 하였다. 1차 송신기로부터 이상 떨어진 곳에 2차 사용자가 위치하고 있다면, 2차 송신기는 신호의 송신이 가능하게 된다.

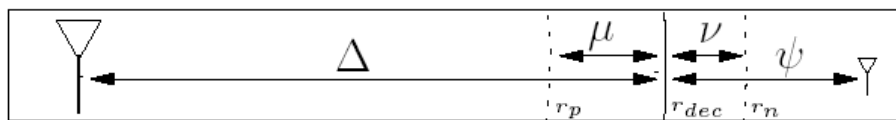


그림 4-2. 거리에 따라 표현된 SNR 값

이상적으로 “no-talk 반경”으로 구성되는 원은 1차 시스템의 수신기가 중심에 위치하게 되는데, 인지 라디오로 구성되는 2차 시스템은 이 반경을 알 수가 없다고 가정을 한다. [그림 4-2]에서 1차 시스템의 송신기로부터 거리에 따라 측정되는 SNR 값을 나타내었다. 와 에서 측정되는 SNR 은 1차 수신기에 의해 측정되는 값이며 에서 측정되는 SNR 은 2차 송신기(인지 라디오)에 의해 측정되는 값으로 각각의 지점에서 측정된 SNR 값은 , , 이라고 정의한다. 1차 송신기의 전력을 이라고 하고, 1차 수신기에서 잡음전력을 이라고 하면 식 (4-1) 과 같이 SNR 에 관한 식을 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} &= \frac{P_{\text{Tx}}}{P_{\text{Tx}} + P_{\text{Tx}} \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-\alpha}} \\ &= \frac{1}{1 + \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-\alpha}} \end{aligned} \quad (4-1)$$

예를 들어, 1차 수신기에 대해 최소 신호를 복원 가능한 SNR 이 10dB 라고 하고, 에서 2차 송신기에서 측정된 SNR 값이 -5dB 라고 한다면 가 된다. 특정한 2차 사용자에게 의해 측정되는 SNR 과와의 차이를 라고 정의를 하였다.

거리 만큼 떨어진 두 사용자사이에 전파특성과 관련된 전력 감소는 로 주어진다고 하면, 에 대해 은 자유공간 전파손실을 가정할 때, \leq 을 만족한다. 본 논문에서는 1차 송신기와 1차 수신기사이의 전파 경로 손실을 로, 1차 송신기와 2차 수신기사이에는 , 2차 송신기와 1차 수신기 사이의 전파 경로 손실은 로 나타내며 각 함수들은 식 (4-2)와 같은 관계를 가지고 있다.

$$(4-2)$$

예를 들어, 에 대하여 송신기의 영역을 구해보면 식 (4-3) 과같이 계산하여 약 5.6km 의 신호 복원영역을 가지는 것을 알 수 있다.

$$\frac{P_{\text{Tx}}}{P_{\text{Tx}} + P_{\text{Tx}} \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-\alpha}} = \frac{P_{\text{Tx}}}{P_{\text{Tx}} + P_{\text{Tx}} \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-\alpha}} \quad (4-3)$$

이때, 동작에 대한 조건으로 P_{th} 을 가정하면, 보호영역에서 신호 복원영역까지의 거리는 약 300m 정도 이고, “no-talk 영역”에서 신호 복원영역까지의 거리는 약 15m 가 되는데, 보호반경이 크기 때문에 SNR 값의 작은 dB 변화가 거리의 변화를 크게 일으키게 된다. 이것은 2차 시스템이 필요한 동작 마진이 매우 작다는 의미를 갖기 때문에 매우 중요하다.

[그림 4-3] 에는 1차 시스템에 대한 거리에 따라서 2차 시스템이 영향을 주는 간섭전력을 나타낸 것으로 사용자가 보호반경 R_p 에 가까워질수록 2차 시스템의 간섭을 크게 받는다는 것을 알 수 있으며, 보호반경에서는 간섭전력이 무한대가 되는 것을 확인할 수 있다.

보호경계에 위치한 사용자에게 신호 복원성을 보장하는 $P_{th} \geq P_{int}$ 조건을 만족한다고 하면 2차 시스템에 대해 최대 허용 가능한 전력을 얻을 수 있다.

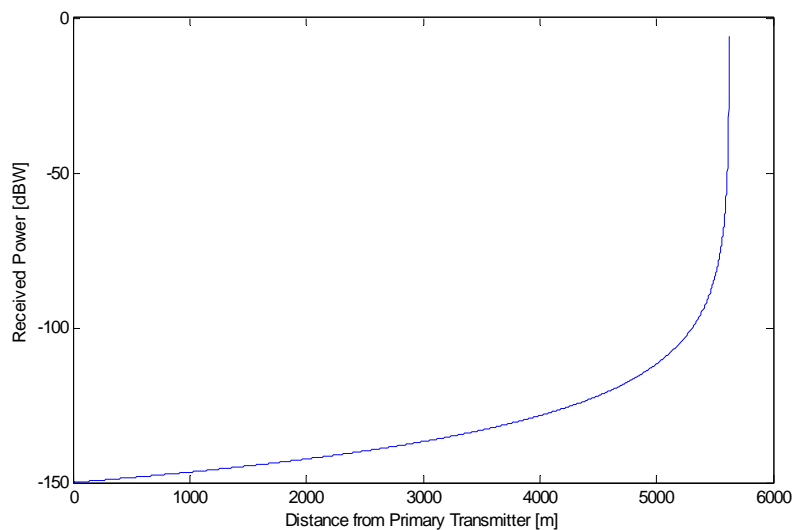


그림 4-3. 2차 수신기로부터의 간섭

과 를 각각 1차 수신기에서 측정된 1차 송신기 전력과 2차 송신기들의 집합전력이라고 할 때 보호영역 경계에 위치한 수신기에 대해서는 로 주어진다. 이 경우 1차 수신기에서의 문제없는 수신을 보장하기 위해서는 식 (4-4) 와 같이 성립한다.

$$\frac{P_{1,1}}{P_{1,2}} \geq \frac{P_{2,1}}{P_{2,2}} \quad (4-4)$$

$$\leq \frac{P_{2,1}}{P_{2,2}}$$

보호 경계에서의 을 SNR 로 표현이 식 (4-5)와 같이 가능하며,

$$\frac{P_{1,1}}{P_{1,2}} = \frac{P_{2,1}}{P_{2,2}} \quad (4-5)$$

식 (4-5)에 식 (4-4)를 대입하면, 1차 수신기가 2차 송신기에 의해 영향을 받지 않는 SNR을 만족하기 위한 2차 시스템에 대한 조건을 식 (4-6)과 같이 구할 수 있다.

$$\leq \frac{P_{2,1}}{P_{2,2}} \quad (4-6)$$

1. 단일 2차 송신기에 대한 영향

1차 시스템과 2차 시스템의 전력에 대한 조건을 고려하기 위해서,

가장 최악의 조건의 경우는 두 시스템이 가장 근접해 있는 경우로, 즉, 1차 시스템이 보호 구역의 가장자리에 있고 2차 시스템이 no-talk 영역의 가장자리에 있는 경우이다. 이 때 식 (4-6)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} & \leq \frac{P_1}{P_2} \frac{d_{12}^2}{d_{11}^2} \\ & \leq \frac{P_1}{P_2} \frac{d_{12}^2}{d_{11}^2} \end{aligned} \quad (4-7)$$

식 (4-7)에서 1차 송신기로부터 2차 송신기까지의 거리인 d_{12} 로 가장 최악의 가정인 d_{11} 을 대치하게 되면, 식 (4-7) 은 2차 송신기가 1차 시스템에 영향을 주지 않기 위한 조건으로 사용될 수 있다. 하지만 여기서, 거리는 인지 라디오가 알 수 없기 때문에, SNR 에 의해 식 (4-7)을 다시 전개할 수 있다.

우선, 보호 반경 r_p 를 SNR 로 표시하기 위해 식을 전개하면 식 (4-8) 과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{P_1}{P_2} \frac{d_{12}^2}{d_{11}^2} \leq 1 \\ & \frac{P_1}{P_2} \frac{d_{12}^2}{d_{11}^2} \leq 1 \end{aligned} \quad (4-8)$$

2차 송신기의 거리 d_{12} 를 역시 SNR 로 표시하기 위해 식을 전개하면 식 (4-9)와 같다.

$$\frac{P_{1,1}}{P_{1,2}} = \frac{P_{2,1}}{P_{2,2}} \quad (4-9)$$

식 (4-8) 과 식 (4-9) 에 식 (4-7)을 대입하면, 2 차 송신기에 대한 최대 허용 가능한 전력을 SNR 로 다음과 같이 표시할 수 있다.

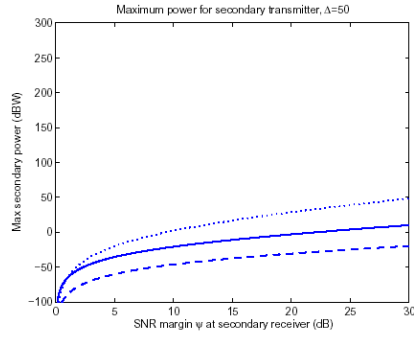
$$P_{1,1} \leq \frac{P_{2,1}}{\frac{P_{1,2}}{P_{2,2}} + 1} \quad (4-10)$$

앞서 정의한 대로 전파 경로 손실을 α_{11} 로, 1차 송신기와 2차 수신기사이는 α_{12} , 2차 송신기와 1차 수신기 사이의 전파경로 손실은 α_{21} 하고 식 (4-2)를 사용하게 되면 식 (4-10) 은 식 (4-11) 과 같이 쓸 수 있다.

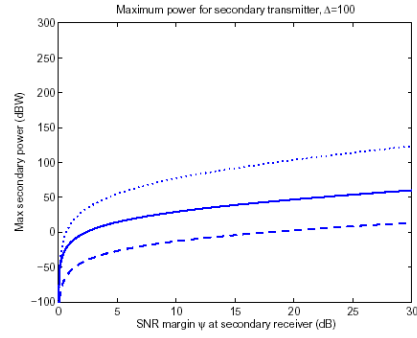
$$P_{1,1} \leq \frac{P_{2,1}}{\frac{P_{1,2}}{P_{2,2}} + 1} \quad (4-11)$$

첫 번째 항은 1차 사용자가 얼마나 먼 거리까지 1차 송신기로부터 신호를 복원이 가능하게 되는지를 나타내는 것으로, 전력의 증가 없이 1차 송신기의 비율을 증가시키면 α_{11} 가 감소하게 되고 따라서, 2차 송

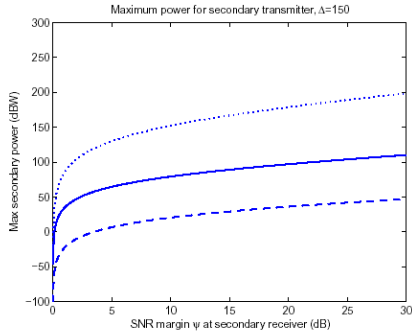
신기는 전력을 더 줄일 필요가 있게 된다. 두 번째 항은 보호를 받는 1차 수신기가 얼마나 간섭에 대해 영향을 받는가를 나타내는 것이고, 세 번째 항은 2차 송신기가 보호받는 1차 수신기로부터 얼마나 멀리 떨어져 있는 가를 나타내는 것이다. 만약 를 만족하게 되면 2차 송신기는 보호 영역에 있게 되며, 전력을 송신할 수 없게 된다.



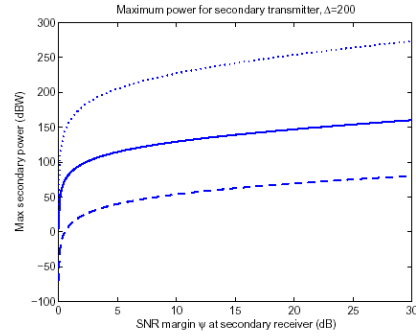
(a) $\Delta = 50$ ($r_{dec} = 18\text{m}$)



(b) $\Delta = 100$ ($r_{dec} = 316\text{m}$)



(c) $\Delta = 150$ ($r_{dec} = 5.6\text{km}$)



(d) $\Delta = 200$ ($r_{dec} = 100\text{km}$)

..... $\alpha_1 = 4, \alpha_2 = 6$
 ————— $\alpha_1 = 4, \alpha_2 = 4$
 - - - $\alpha_1 = 6, \alpha_2 = 4$

그림 4-4. 2차 송신기에 대한 최대 전력

[그림 4-4] 는 1차 송신기와 신호 복원이 가능한 반경사이의 여유정도 의 영향을 보여주는 것이다. [그림 4-4]에서 보듯이 만약 인지 라디오가 0dBW를 출력하고자 한다면 값이 작을 때는 문제가 될 수 있다. 이 경우 은 거의 30dB 정도의 여유가 필요하게 되고, 2차 사용자는 1차 사용자에 비해 훨씬 더 민감하게 된다. 그렇지만 큰 값의 에 대해서는 2차 송신기에 대한 최대 허용 가능한 전력이 2차 송신기가 보호반경 밖으로 위치하게 되면 0dBW 에서부터 매우 큰 값으로 증가하게 된다. [그림 4-4(c)] 에 나타난 것은 신호복원 반경 가 5.6km 일 때로 만약 2차 사용자가 1dBW 이하 전력을 사용하는 IEEE 802.11g 와 같은 시스템이라면 단지 보호반경 밖에 위치하는 지만 알면 된다. 인지 라디오는 1차 시스템의 사용자들보다 더 민감할 필요는 없는데, 그것은 신호 복원 반경 밖에서 모든 방향으로 신호를 수신할 수 있기 때문이다. [그림 4-4] 는 또한 서로 다른 전파경로 손실상수와 에 대한 변화도 나타내었다. 만약 이라면, 즉 2차 사용자의 전송손실이 1차 시스템의 전송손실보다 빠르게 감소한다면, 2차 사용자는 두 시스템이 같은 경로손실을 가지는 경우라면 더 큰 전력을 사용해야 한다는 것을 알 수 있다.

2. 그림자효과(Shading) 및 페이딩(Fading)을 가진 단일 2차 송신기에 대한 영향

본 논문에서는 앞서의 이론을 1차 신호와 관련되어 그림자효과, 신호 손실 를 가진 2차 송신기에도 적용하였다. 2차 송신기는 의 마진을 가지게 되며, 이에 따라 식 (4-11)은 다음과 같이 구해진다.

$$\leq \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{max}} + P_{\text{max}}} \quad (4-11)$$

[그림 4-5] 에 10dB 의 그림자효과를 가지는 경우에 대한 2차 시스템의 최대 전력에 대해서 나타내었다. [그림 4-4] 의 결과와 비교해 보면 10dB 정도 이동이 된 것을 확인 할 수 있다.

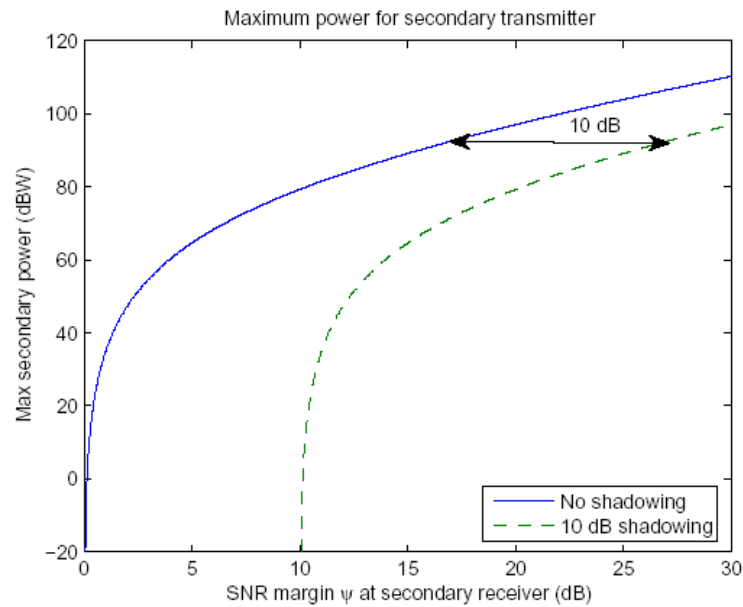


그림 4-5. 10dB 그림자효과를 가진 경우 2 차 시스템의 최대전력

3. 다중 허가된 2차 송신기

본 절에서는 단일 간섭원이 아닌 여러 개의 간섭원이 있는 경우에 대한 영향을 살펴보았다. no-talk 반경인 $r_{\text{no-talk}}$ 의 밖에 무한한 개수의 2

차 송신기가 각각 전력 P_1 을 가지고 위치하고 있다고 가정을 한다. 각
 2차 송신기의 전력이 면적 A 만큼을 점유하고 있다고 가정을 하면 전
 력 밀도 P/A 로 주어지게 된다. 따라서, 전체 2차 송신기가 차지
 하는 면적을 적분하게 되면 보호영역의 가장자리에서 1차 수신기에
 대한 2차 시스템이 전송하는 전체의 전력을 얻을 수 있다. [그림 6] 에
 이러한 시나리오를 나타내었다. [그림 6(a)] 의 회색부분은 2차 시스템
 이 위치한 부분을 나타낸 것이고, 일정부분을 확대해서 보면 [그림
 6(b)] 와 같이 가정할 수 있다. 단일 전송기일 때와 마찬가지로 no-talk
 영역 바깥에서는 일정한 전력 밀도를 가정한다. 우선 2차 전송전력의
 감소함수가 $P(r) = P_0 e^{-\alpha r}$ 라고 가정하고, 1차 수신기와 2차 송신
 기의 거리사이에는 $r \gg R$ 가 성립한다고 가정한다. 보호 영역의
 가장자리에 있는 1차 수신기에 대해, 2차 시스템이 위치한 영역의 가
 장자리는 $r = R$ 거리만큼 떨어져 있다고 볼 수 있다. 2차 시스템의 전
 력을 구하기 위해 전체 면적에 대해 적분을 하면 식 (4-12)와 같이 쓸
 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{P(r)}{r^2} r dr d\theta \\
 &= \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{P_0 e^{-\alpha r}}{r^2} r dr d\theta \\
 &= P_0 \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{e^{-\alpha r}}{r} dr d\theta \\
 &= P_0 \int_0^\infty \left[-\ln r \right]_0^\infty d\theta \\
 &= P_0 \int_0^\infty \ln r d\theta \\
 &= P_0 \ln r \int_0^\infty d\theta \\
 &= P_0 \ln r \cdot \theta
 \end{aligned} \tag{4-12}$$

여기서 $\frac{1}{2}$ 로 주어진다.

위 식 (4-12)로부터 2차 송신기들 전체의 전력은 거리만큼 떨어진 위치에서 $\frac{1}{2}$ 의 감쇄 전파상수를 갖고, 전력 $\frac{1}{2}$ 를 가진 단일 2차 송신기처럼 동작을 하고 있다는 사실을 알 수 있다. 그러나 이러한 근사적인 수식전개는 [그림 6(a)]에서 보듯이 2차 시스템의 간섭을 완전하게 표현하지 못하여 간섭량이 줄게 된다. 1차 시스템이 거리에 떨어진 2차 시스템에 의해 완전하게 둘러 쌓여 있는 경우를 고려하여 다시 수식을 전개하면 식 (4-13) 과 같이 전개할 수 있다.

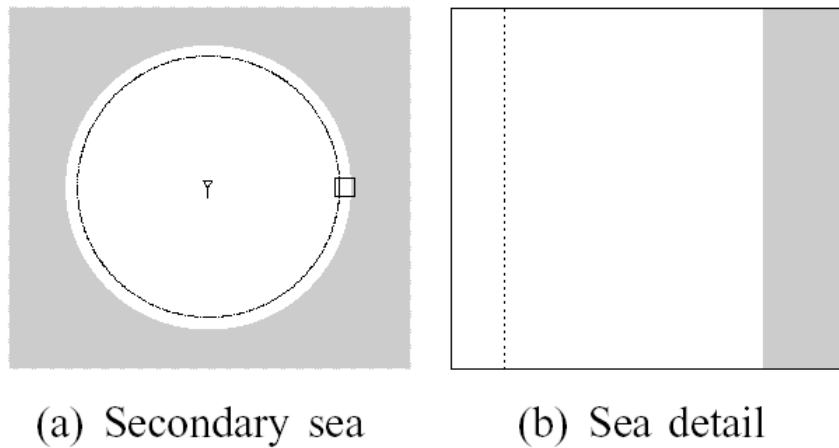


그림 4-6. 다중 2차 시스템이 있는 경우

$$\lim_{d \rightarrow \infty} P_{s, \text{true}} = -\infty \quad (4-13)$$

여기서 $P_{s, \text{true}} \leq P_{s, \text{upper}}$ 을 만족한다. 또한, $P_{s, \text{true}} \leq P_{s, \text{straight}}$ 를 만족하고, $\lim_{d \rightarrow \infty} P_{s, \text{true}} = -\infty$ 이 성립하기 때문에 식 (4-13)은 식 (4-14) 와 같이 쓸 수 있다.

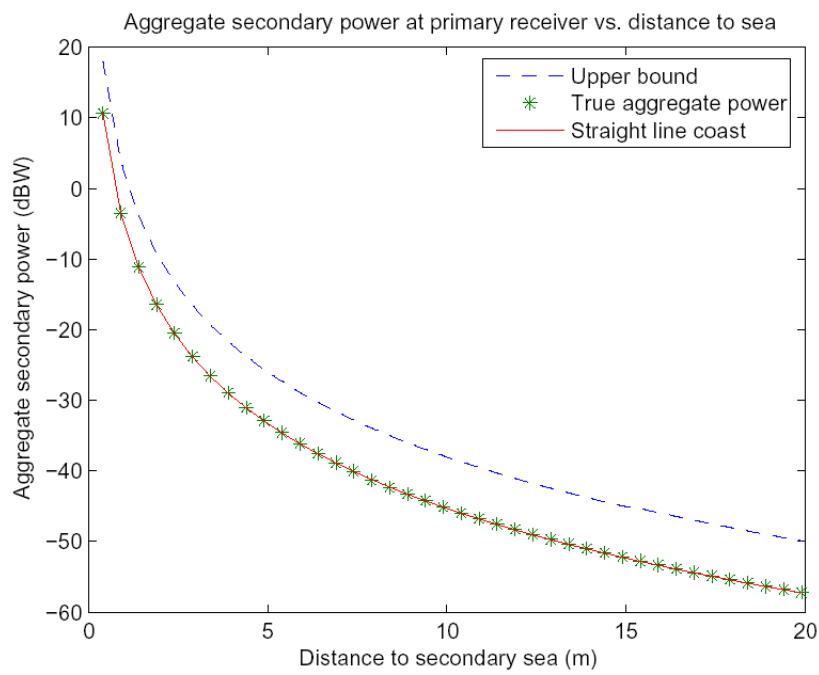


그림 4-7. 식 (4-12) 와 식 (4-15)를 비교한 그래프

$$\dots \quad (4-14)$$

앞서 가정한 이득함수를 사용하면 식 (4-14) 는 식 (4-15) 로 쓸 수 있다.

$$\dots \quad (4-15)$$

식 (4-15) 는 다중의 2차 시스템이 송신하는 전력의 크기를 갖고 거리 만큼 떨어져 있는 단일 2차 시스템과 같다는 것을 의미한다. [그림 4-7]에서 이러한 근사적인 접근 방법이 실제 값과 잘 일치하고 있다는 것을 보여주고 있다.

4. 다중의 유동적 2차 송신기들

이 절에서는 2차 사용자들이 보호 영역으로부터 멀리 떨어질수록 전송 전력을 증가시킬 수 있는 유동적인 상황에서의 간섭에 대한 분석을 유도하였다. 이 1차 사용자에 대한 2차 시스템들의 영향을 결정하는 중요한 인자이며, 이 증가하는 함수라고 가정하면, 전체의 전력밀도는 식 (4-16) 과 같이 가정할 수 있다.

$$\dots \quad (4-16)$$

여기서, 는 전력밀도 이 거리 의 변화에 따라 얼마나 변하는지를 결정하는 상수값이다.

보호영역의 가장자리위에 있는 1차 수신기에서 받아들이는 집합 간
 섭전력을 결정하기 위하여, 앞 절에서 사용한 직선 가정을 사용하면
 특정한 r 에 대하여 식 (4-17)과 같이 구할 수 있다.

$$P_{12} = \frac{P_1}{\left(\frac{r}{r_1} \right)^2} = \frac{P_1}{\left(\frac{r}{r_1} \right)^2} \quad (4-17)$$

만약 $r \gg r_1$ 라면, 즉 r/r_1 가 r/r_1 보다 충분히 느리게 변화한다면
 식 (4-17)의 적분은 수렴하게 되고 식 (4-18) 과 같이 쓸 수 있다.

$$P_{12} = \frac{P_1}{\left(\frac{r}{r_1} \right)^2} \quad (4-18)$$

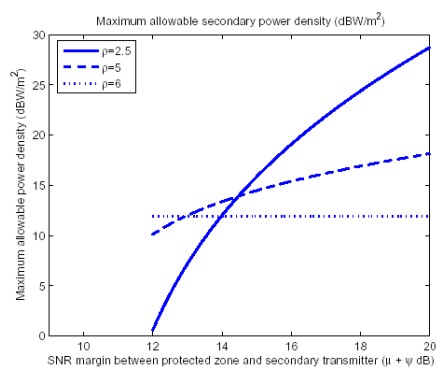
식 (4-18) 로부터 유동적인 전력을 갖는 집합된 2차 송신기들은 보호
 반경 r_p 만큼 떨어지고, 전력 P_2 를 갖고, 이득함수
 G_2 를 갖는 단일 2차 송신기라고 볼 수 있다. 식 (4-18)을
 식 (4-10) 의 경계조건에 대입하면,

$$P_2 \leq \frac{P_1}{\left(\frac{r_p}{r_1} \right)^2} \quad (4-19)$$

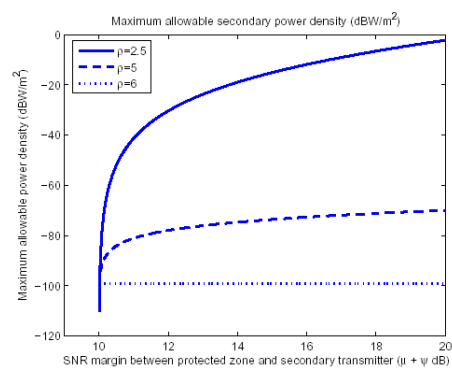
와 같이 γ 에 대한 조건을 구할 수 있다. 식 (4-18)과 식 (4-19)로부터 SNR 값인 γ 에 관한 함수로 β 를 나타내면

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left(\int_{\Omega} u^2 dx \right) = 2 \int_{\Omega} u \frac{\partial u}{\partial t} dx \\ &= -2 \int_{\Omega} u \operatorname{div} (\nabla u) dx \\ &= 2 \int_{\Omega} |\nabla u|^2 dx \end{aligned} \quad (4-20)$$

을 얻을 수 있다. 이 방정식으로부터 2차 송신기에 대한 허용가능한 전력밀도를 보호영역으로부터의 거리에 관한 함수로 얻을 수 있다.



(a) $\Delta = 50, \mu = 1, \nu = 1$

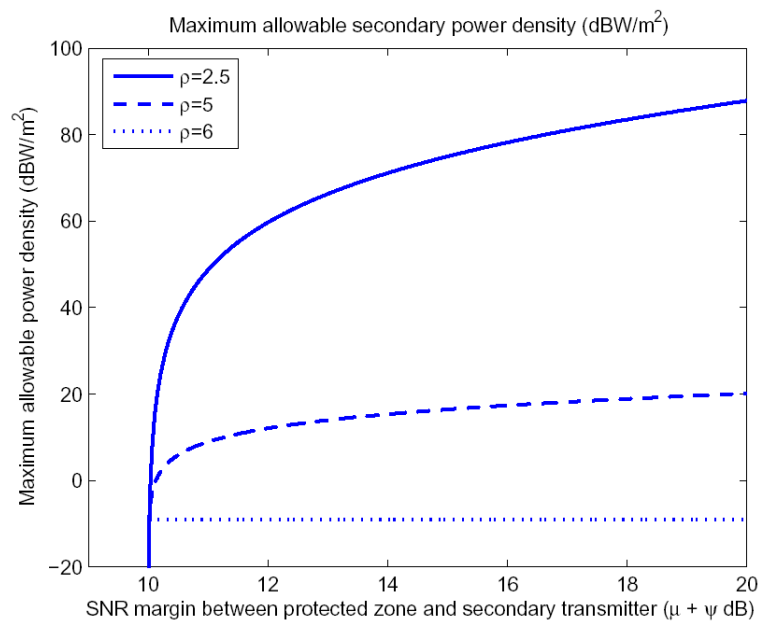


(b) $\Delta = 50$, $\mu = 0.001$, $\nu = 0.01$

그림 4-8. 보호구역으로부터 2차 송신기사이의 SNR 마진

[그림 8(a)] 에는 802.11 시스템() 으로 간섭을 받는 2차 사용자에 대한 허용가능한 전력밀도를 나타내었다. 인 경우에 대하여, 보호반경과 2차 송신기 사이에는 적어도 12dB 의 SNR 마진을 갖는다. [그림 8(b)] 에는 마진이 매우 작을 때, 즉 2차 송신기가 1차 수신기에 너무 가깝게 송신하는 경우에 대해 나타난 것으로, 2차 사용자는 어느 곳에서나 전력 제한값을 넘어가게 되어 사용할 수 없게 된다.

그러나, [그림 4-9]에서 보듯이, 큰 값을 갖는 경우에 대해서는 마진이 작아지더라도 2차 시스템에 대한 최대 허용 가능한 전력이 커지며 시스템이 구현이 쉬워지는 것을 확인 할 수 있다.



$$\Delta = 150, \mu = 0.001, \nu = 0.01$$

그림 4-9. 큰 값을 갖는 경우 2차 시스템의 최대허용 전력

제 5 장 스펙트럼 관리 정책 제안

앞장에서 살펴본 몇 가지 무선 기술들은 스펙트럼이 사용되는 방법들을 크게 변화시킬 수 있지만 이러한 새로운 무선 기술들은 현재의 스펙트럼 규제들이 제안된 무선기술의 사용을 가능하도록 개선되어야만 구현될 수 있다. 그러므로 스펙트럼 규제기관, 엔지니어들과 경제학자들은 스펙트럼과 기술의 관계를 이해하고 이러한 기술들이 성공하려면 어떻게 현재의 규제 제도가 개선되어야 하는가를 이해하는 것이 반드시 필요하다[5][15].

스펙트럼 규제기관들은 현재의 규제제도를 바꾸는 것이 다소 위험성이 있다고 판단하기 때문에 현재 제도를 현상 유지하는 상황을 변화시키는데 소극적이다. 또한, 변화에 따라서 급조된 정책은 시스템의 대혼란을 가져오게 된다는 단점도 있다. 이 절에서는 이러한 새로운 기술들이 가져올 혼란의 정도를 최소로 줄이고 현재의 규제구조와 조화를 이루게 하는 방법에 대해 검토하고, 정책 변화들에 대해 논의된 서로 다른 형태에 대하여 기술하였다.

첫 번째 절에서는 현재의 스펙트럼 할당방법에 대해 분석하였고, 왜 현재의 스펙트럼 할당방법이 새로운 무선 기술에 따른 변화를 다루는데 문제가 되는지에 대해 살펴보았다. 다음절에서는 경제적 이익과 증명되지 않은 새로운 기술들 사이의 경쟁에 대한 문제점들을 포함하여 정책 입안자가 당면한 주된 결정의 문제를 살펴보았다. 세 번째 절에서는 학자들과 전문가들이 새로운 무선기술들을 보다 완전하게 채택하기 전에 다양한 구현 시나리오를 테스트하는 것을 제안해온 실험적 방법을 검토하였다. 네 번째는 전통적인 스펙트럼관리 방법이 아닌 경우의 성공적인 경우와 성공적이지 않은 이전의 경우들 몇 가지 예를

기술하였다. 마지막 절에서는 스펙트럼 정책 입안자가 현재 규제제도의 변화를 위한 준비사항에 대하여 제안을 하였다.

제 1 절 현재 스펙트럼 할당 모델

현재 대부분 국가의 스펙트럼 할당 모델은 미국의 스펙트럼 할당모델에서 시작되었기 때문에, 현재 스펙트럼 할당 모델을 이해하기 위해서는 미국 정부가 현재의 스펙트럼 관리를 할 수 있도록 결정한 배경을 이해하는 것이 필요하다.

현재와 같은 무선통신 전송은 1920년에 시작되었고, 1921 년에 많은 전송사업자들이 나타나기 시작하였다. 초기에 전송사업자들은 단순히 전송국(Broadcast station)을 건설하고, 스펙트럼의 소유에 대한 개념 없이 전송을 시작하였다. 그렇지만 같은 지역에서 여러 전송사업자들이 나타나기 시작하면서 무선 간섭이 중요한 이슈가 되었다 따라서, 요구한 주파수에서 가장 먼저 전송을 하고 권리를 소유하는 사실상의 해결방안이 등장하였다. 미국 상무부가 그러한 기득권들이 더 이상 유효하지 않다고 선언한 1926년까지 미국 정부는 본질적으로 이러한 요구사항들을 지원하였다. 바로 새로운 전송사업자들이 전송국을 설립하여 빠르게 같은 주파수에 대한 무선통신 시장에 진입하였고 엄청난 간섭이 생겨났다. 이러한 상황으로부터 미국정부는 간섭 문제들을 해결할 정책을 취하도록 요구하였고, 1927년의 Radio Act를 통과시키고 Federal Radio Agency를 설립하고, 이는 결국에 1934년 FCC 가 되었다. 1930년대부터 미국의 라디오 스펙트럼은 FCC 에 대한 신청에 근거해서 광범위하게 나누어졌다. 어떤 지역에서 사용되지 않는 주파수로 방송을 하고자 하는 어떤 회사라도 FCC에서 정한 신청서를 제출해야만 했다. FCC 는 그때 이러한 과정들을 대중에게 공포하고, 같은

주파수에 대한 다른 사람으로부터의 신청서를 요구하였다. 마지막으로 FCC 는 어느 신청자가 주파수를 이용하여 공익을 위해 가장 적당한가를 결정하기 위해 청취하였다. 일단 결정되면, FCC 는 주파수 대역이 사용되는 방법에 대한 일부분의 제한에 따라서 스펙트럼 라이선스를 발급하였다.

그러나, 이러한 허가 과정은 주파수의 다양한 사용에 대한 라이선스의 시장교환을 허용하는 시스템을 더욱 선호하는 많은 경제학자들에 의해 다음과 같은 점 때문에 오랫동안 비판을 받아왔다. 첫 번째로 수부여 받은 라이선스는 FCC 의 승인 없이 개방된 시장에서 자유롭게 거래될 수 없다. 두 번째, 라이선스는 원래의 응용에 포함된 것 이상 되는 스펙트럼의 다른 사용을 허용하지 않는다. 이러한 스펙트럼 할당의 전통적인 방법은 IMT-2000(3G) 이동통신 스펙트럼에 대한 경매와 비허가되는 공중 주파수의 구획을 포함하는 주목할 만한 예외적인 경우 말고는 아직까지 전 세계 대부분의 스펙트럼 할당에 사용되고 있다 [16].

1. 규칙에 대한 예외

스펙트럼 규제 기관으로서 정부는 때때로 스펙트럼 허가 과정에 대한 규칙을 바꾸기도 하였는데, 가장 일반적인 예들 중 두 가지는 공익 사용을 위한 비허가 주파수 대역을 유지 하는 것과 IMT-2000 스펙트럼에 대한 경매를 시행한 것이다. 정부는 전력과 간섭에 대한 요구되는 일정한 제한조건을 충분히 지키는 장비 제조업체들에 대해서 비허가 스펙트럼의 공익적 사용을 허용하고 촉진해왔다(FCC 의 Part 15 요구사항). 새로운 무선기술을 도입하는 사람들에게 비허가 주파수는 스펙트럼 라이선스에 대한 초기 선행투자 없이 연구와 개발에 투자할

수 있는 것이 가능했기 때문에 전 세계적으로 매우 성공적인 모델이 되었다. 이는 비허가 주파수 대역을 새로운 기술에 대한 테스트베드로 만들었고, 이로 인해 많은 정부들은 비허가 주파수 대역을 계속 유지하고 있다. 또한 전세계의 많은 3G 이동통신 스펙트럼 할당은 전통적인 스펙트럼 할당 모델과는 일정부분 거리를 두고 있는데, 3G 이동통신에서는 라이선스를 가장 가치 있다고 여기는 기업들에게 라이선스를 주는 방식으로 경매를 사용하기 때문이다. 이러한 경매방법들 중 일부는 서비스들이 아직 정상적으로 개발되지 않은 라이선스를 비싸게 취득하는 다른 방법에 비해 매우 성공적이었다고 간주되었다.

2. 현재 스펙트럼 할당 시스템의 문제점들

최근 이러한 스펙트럼 허가과정의 변화에도 불구하고, 스펙트럼 할당 방법의 대부분은 아직까지 이전의 전통적인 신청과정을 기반으로 진행되고 있다. 전 세계의 많은 스펙트럼 규제기관들은 전통적인 스펙트럼 할당과정이 일부 심각한 단점을 가지고 있다는 사실로부터, 스펙트럼 공간을 더 효율적으로 사용하기 위한 혁신적인 해법을 찾고 있다. 전통적인 스펙트럼 허가과정 방법이 가진 주요한 문제점들은 다음과 같다.

- (1) 새로운 기술의 혁신적인 사용을 제한할 수 있다
- (2) 스펙트럼 라이선스가 일단 허가된 이후 할당된 스펙트럼이 효율적으로 사용되는지 확신할 수 없다.
- (3) 새로운 서비스를 제공하기 위해 할당된 스펙트럼을 사용방법을 변화시키는 것이 금지되어 있다.
- (4) 저전력 기기들에 대해 너무 제한적이다.

스펙트럼 정책입안자들이 스펙트럼 관리 정책들을 논의하고 제정하면서 초기기술의 제한된 문제들을 당면하게 된다. 기술이 매우 발전되지만 기존의 스펙트럼 구조는 유지되게 된다. 따라서, 이전구조에 기반한 무선기기들이 대부분의 세계 각국에서 많아지게 됨에 따라서 스펙트럼 환경은 더욱더 복잡하고 어려워진다. 스펙트럼 정책입안자들은 따라서 스펙트럼을 보다 효율적으로 사용하기 위해서 주의 깊게 새로운 정책 개발 진행을 해야 하지만, 동시에 전통적인 무선기기들도 현재 기능들을 이상없이 유지하도록 확신시켜야 할 것이다.

제 2 절 새로운 기술의 정책적 결정들

앞서 설명한 새로운 무선기술인 UWB 와 CR과 같은 기술들은 현재의 제한된 스펙트럼 정책에 대한 변화 없이 합법적으로 존재할 수 없다. 이 절에서는 현존하는 무선 통신 기기들과 이미 취득한 라이선스에 대한 방해를 최소화하면서 새로운 무선 기술을 사용하기 위해 필요한 정책의 변화 형태를 기술하였다. 여기에는 간섭온도측정 방법을 개발하고, 스펙트럼 공존모델을 개발하고, 새로운 비허가 스펙트럼을 창조하고, 사용이 적은 스펙트럼을 정리하여, 다중목적 무선통신 기기를 허용하고, Underlay를 허용하기 위한 정책 결정들을 포함하고 있다.

1. Underlay 의 허용

모든 전자기기들은 고의적인 방사 기기이던 아니던 간에 다양한 주파수에서 전자파 방사를 만들어 낸다. 이것은 전자기기들이 존재하는

한 노이즈 플로어로 불리는 적어도 일정레벨의 간섭이 항상 존재한다는 것을 의미한다. 엔지니어들은 간섭의 낮은 레벨에도 견딜 수 있는 허가된 기기들을 만들며, 그것은 노이즈 플로어 이상 되는 신호들을 보내고 받을 수 있어야만 한다.

Underlay 는 전송신호가 노이즈 플로어 아래 다른 간섭과 함께 섞였을 때와 같은 낮은 전력레벨에서 모든 통신을 유지하는 잡음에 강한 전통적인 내부저항을 이용한다. 허가된 무선통신 기기들은 그때 같은 주파수대역에서 Underlay 장비로부터 동시에 전송되지 않고 정상적인 동작을 지속하게 된다.

UWB 와 같은 Underlay 기술은 스펙트럼 효율성을 상당히 증가시킬 잠재력을 제공하지만 정책입안자에게 중요한 결정은 이러한 기술들이 이론처럼 이상 없이 동작할 것인가이다. 이론적으로 Underlay를 허용하여 얻는 경제적 이익은 보통의 스펙트럼 규제기관이 무시하기는 힘들다. 만약 새로운 기술들이 성공적이라면 UWB 기술은 미래에 정보를 전송하는 기본적인 방법이 될 것이다. 따라서, 스펙트럼 규제기관들은 관련분야에서 새로운 무선 기술과 규제제도의 발전에 대하여 주의를 기울여야 한다.

메쉬 네트워크와 같은 미래의 인프라 구조는 그 백본(Backbone) 통신에 대한 UWB 기술을 필요로 할지 모른다. 왜냐하면 메쉬 네트워크는 장거리에 대해 전송할 필요가 없고, 메쉬 네트워크 내 사용자는 단지 다른 사용자에게 도달만 하면 되기 때문에 UWB 의 낮은 전력과 광대역 주파수가 이상적인 기술이 될 것이다.

FCC 는 UWB를 매우 심각하게 고려하고 2002년 2월 기술의 낮은 전력 버전을 승인했다. 초기에 미국 국방부는 UWB 신호가 GPS 항법 시스템에 간섭영향을 줄 것을 우려했다. 광범위한 실험 후에 FCC 는

저전력에서 UWB 는 심각한 방해를 일으키지 않는 다는 것을 발견했다. FCC 는 UWB 에 대한 신중한 접근으로 실내 홈 네트워킹에 적합한 대략 30피트의 범위로 기술적용의 범위를 제한하였다. 만약 개발 중인 UWB 시스템이 계획대로 동작한다면, FCC 는 초기 규제에서 벗어나 전력제한을 다소 증가시킬 것이라고 언급하였다.

FCC 의 결정은 기존 스펙트럼 라이선스들을 소유한 권리자로부터 새로운 기술에 대한 커다란 반대가 있다는 점에서 UWB 와 Underlay 에 대한 세계적으로 중요한 단계였다. 현재 라이선스 소유자들은 법적인 독점권을 갖고 있는 같은 주파수에 대한 새로운 서비스를 허가하는데 강하게 반대하고 있다. 최근 모바일 라이선스에서 일반적인 주파수 영역에서 독점적 권리에 대한 경매와 댓가를 지불하는 상황을 고려한다면 더욱 복잡해진다. 무선통신 라이선스를 갖는 사업자들은 낮은 전력으로 허가된 대역에서 동작하는 비허가 기기를 허용하는 것은 사업자의 “미래 네트워크 설계 유동성뿐만 아니라 보다 효율적인 기술과 시스템을 도입하기 위한 능력”을 방해할 것이라고 주장한다.

이런 주장에 대응하여, 일부는 현재 라이선스 소유주들이 다른 기기들로부터 간섭이 항상 존재하기 때문에 본질적으로 주파수에 대한 권리를 갖지 않는다고 주장할 수 있다. 대신에 스펙트럼 권리라는 것은 본질적으로 “중요한 간섭의 부족”에 대한 권리이다. 이러한 아이디어는 노이즈 플로어 아래에서 동작하는 비허가된 기기들은 스펙트럼 규제기관과 사업자간의 원래 동의사항에 어긋나는 것이 아니라는 것을 의미한다.

많은 스펙트럼 규제기관들은 미국에서 UWB 와 Underlay 의 결과를 본 후에 UWB 를 채택할지 결정하고자 한다. 스펙트럼 규제기관들이 UWB 대한 사용 결정을 연기했다 하더라도 적어도 UWB 기술의 개발

에 대해서는 계획을 세우고 있다. 초기에 언급했듯이, 일부 분석가들은 UWB 가 미래 무선 네트워크의 백본을 형성할 것이라고 예측하고 있다. 따라서, UWB 가 적용되는 경우 현재 스펙트럼 규제제도에서 나타날 문제들을 살펴보는 것이 스펙트럼 규제기관들이 한발 앞서 나가는 것이 될 것이다.

□ Quiet House 에 Underlay 의 비교

- 인간과 라디오 모두 항상 일정한 레벨의 잡음을 견뎌야 한다.

Underlay 의 원리를 가장 쉽게 이해하는 방법 중 하나는 전통적인 주거환경에서의 잡음에 대한 전승과 비교하는 것이다. 사람들이 잠드는 밤에는 가능한 집이 더 조용한 것을 선호한다. 그렇지만 항상 집에는 낮은 레벨의 잡음이 존재할 것이다.

시계바늘 소리가 들리고, 물방울이 떨어질 수 있고 전기기기들이 웅웅거릴 수 있지만 그런 작은 레벨은 잠을 자려고 할 때 보통 방해하지 않는다. 낮 동안 이러한 작은 잡음들은 그 크기는 인간대화의 크기보다 매우 낮기 때문에 주거공간에서 발생하는 대화에 대해 거의 영향을 주지 않는다.

Underlay 는 같은 원리로 동작한다. 라디오 방사가 충분히 낮은 전력레벨을 갖는 한 그것은 통보 없이도 더 높게 출력하는 라이선스를 가진 전송기기와 공존할 수 있다.

2. 간섭온도 측정방법 개발

Underlay 시스템에 대한 중요한 사전점검 사항중 하나가 노이즈 플

로어의 법적인 정의이거나 또는 다양한 간섭이 현존하는 무선통신 기기에 대해 얼마나 노이즈가 있을 것인가이다. 일단 허용 가능한 노이즈 플로어가 정해지면, Underlay 기술은 그 이하 레벨로 전송하도록 허가될 수 있다. 몇몇 스펙트럼 규제기관 들은 모든 장치에 대한 고정된 노이즈 플로어가 아닌 보다 유동적인 개념을 연구하고 있다. “간섭온도”를 개발하여, 기기들은 영역에서 간섭의 양을 모니터할 수 있고 따라서 그 방출전력을 조절할 수 있다. 높은 잡음온도는 높은 간섭레벨과 관계가 있다.

몇몇 스펙트럼 규제기관 들은 FCC 의 Spectrum Policy Task Force 를 포함하여 간섭온도측정을 사용하여 스펙트럼 효율을 향상시키기 위한 방법을 연구하고 있다. 간섭온도 시스템은 그래서 지역에 한정된 스펙트럼의 효율적인 사용을 가능하게 하는 유동적이고 유연한 방법을 제공한다. 간섭온도 측정방법은 다음과 같은 예로 설명이 가능하다. 코롤로리 시스템은 혼잡한 교통 구조를 쉽게 하기 위한 방법으로 전 세계적으로 비통신 기반구조에서 사용되어 왔다. 교통공학 엔지니어들은 혼잡한 도시의 자동차 교통량을 조절하는 방법의 효율적인 사용으로 코롤로리 시스템을 성공적으로 적용해왔다. 피크사용시간에 고속도로 입구에 트래픽 조절구는 한 번에 한대만 진입이 허용된다. 피크시간이 아닐 때는 제한 없이 진입이 허용된다. 잡음온도시스템은 주어진 영역에서 스펙트럼에 대해 같은 원리를 적용하여 스펙트럼 효율을 상당히 증가시킬 수 있다.

간섭온도 기반 시스템은 임의의 주어진 장소에서 높은 간섭레벨을 막기 위한 예방적인 측정방법으로서 영구히 모든 기기들의 송신전력을 스펙트럼 규제기관이 제한하도록 하는 현재 시스템과는 매우 다르다. 간섭온도에 따라서 서로 다른 영역에서 서로 다른 전력레벨에 대

해 스펙트럼의 효율적인 사용이 허용가능하다.

현재는 간섭온도를 측정하는 표준시스템이 없다. 그렇지만 FCC 는 그런 시스템이 어떻게 동작하는지에 대해 연구하였는데, 잠재적인 간섭온도 측정 서비스가 동작하는 두 가지 주된 방법이 있다. 첫 번째는 각 RF 기기들이 연속적으로 간섭온도를 스스로 측정하고 그 결과에 기반하여 전송을 결정한다. 허가된 기기와 비허가 기기는 허가된 기기가 가장 높은 우선순위를 갖도록 보장하기 위해 서로 다른 파라미터를 사용하는 것이 필요하다. 그러한 시스템은 기기들이 전송을 결정하기 전에 주변 환경을 즉시 모니터링할 수 있기 때문에 더욱 효율적으로 보인다. 그렇지만, 이러한 정밀도는 가격과 연결된다. 전송장비의 복잡성이 증가할 것이고 이는 각 기기들의 가격을 증가하게 할 것이다.

또 다른 선택은 그 근처에 간섭온도를 측정할 독립적인 기록국을 가지는 것으로 그 영역에서 송신기에 관련한 허가/비허가를 전송한다. 허용되는 전송은 "Yes or No" 처럼 단순한 신호이거나 또는 각 무선 통신 기기의 형태에 따라 최대전력레벨을 규정하는 더욱 복잡한 신호일 수 있다.

이는 주어진 위치에서 스펙트럼을 훨씬 더 효율적으로 사용할 수 있다. 지역 내의 비허가된 기기들은 주어진 시간에 전송이 없고 간섭온도가 허가된 신호의 의미 있는 손실 없이 두 신호가 공존하기에 충분하다면 허가된 주파수들을 사용할 수 있다. 두 가지 선택사항들과 함께 현재 고려중인 내용은, 스마트 무선통신기술과 파워처리기술의 진보로부터 무선통신 기기가 스스로 결정을 하고 따라서 통신기반 구조가격을 감소시키고 스펙트럼을 가장 효율적으로 사용하도록 만드는 것이다.

만약 RF 음영성질을 갖는 환경이 주어지면, TV, VCR, DVD 플레이

어와 같은 비허가 기기들과 홈 네트워킹 장비들은 무선으로 매우 고속의 데이터를 여기저기 전송하기 위해 허가된 주파수에 대해 낮은 전력으로 전송할 수 있다.

그러한 시스템의 유망한 장점에도 불구하고, 많은 라이선스들은 비허가 사용자들에게 그들의 허가된 스펙트럼을 개방하기 위한 방법으로 Underlay 와 간섭온도를 사용하는 것을 강하게 반대하고 있다. 이는 간섭 없는 전송에서 기존 무선 시스템의 안전함을 고려하면 전혀 놀라운 일이 아니지만, 심지어 기존 시스템을 사용하지 않는 경우에도 스펙트럼의 모든 사용을 허용하지 않는 것은 매우 높은 사회적 비용을 지출하는 것이다.

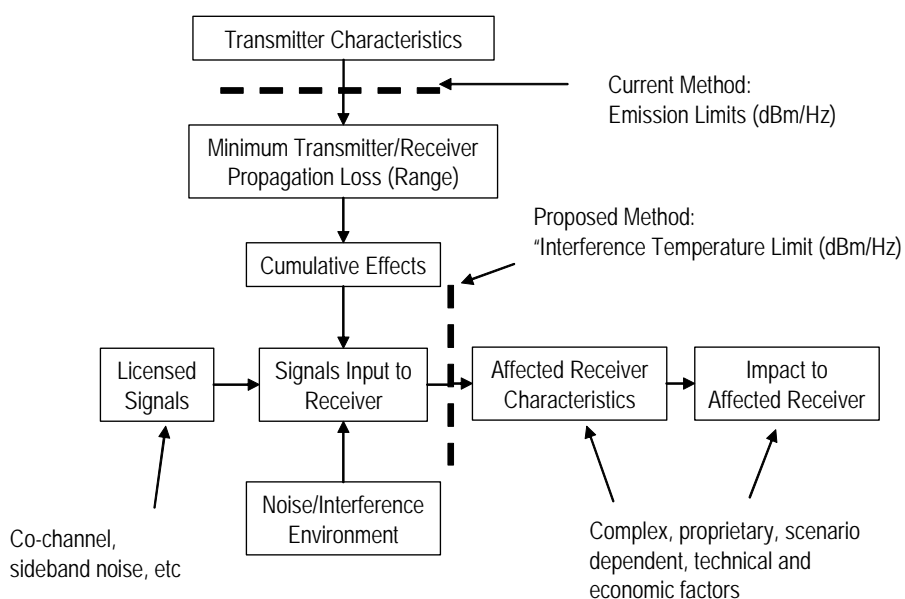


그림 5-1. 양립성 분석 방법으로서 간섭온도 측정방법의 제안

□ 지하실에서 잡음온도

- 새로운 잡음온도 측정이 이전의 RF 음영구역에서 기기들 사이의 전송보다 더 빠를 수 있는가 ?

TV 와 라디오 수신은 콘크리트 지하실에서는 특히 어려울 수 있다. 이러한 "RF 음영지역(quiet area)"에서 품질 좋은 신호를 수신하기 위해서는 적절한 안테나가 필요하다. 그렇지만 콘크리트 지하실의 RF 음영 성질은 주어진 영역에서 잡음온도에 전송을 기반하는 소비자 기기들을 최적으로 만들 수 있다. 잡음 온도가 낮을수록 비허가 기기는 더 높은 전력으로 전송을 할 수 있다. 이것은 지하실에 위치한 기기들은 정보를 여기저기 전달하기 위해 더욱더 강력한 허가주파수들을 사용해야 한다는 것을 의미한다.

3. 공존 모델의 허용

UWB 와 같은 CR 기술은 만약 기술들이 스펙트럼 규제기관들에 의해 허용된다면 라디오 스펙트럼을 훨씬 효율적으로 사용할 수 있는 잠재성을 가지고 있다. 그렇지만 CR들이 이용할 수 있는 스펙트럼의 양은 그것들의 동작이 허용되는 주파수들에 달려 있다. 만약 CR들이 단지 적은 개방대역에서만 허용된다면, 그때 효율이득은 상대적으로 적을 것이다. 그렇지만 일단 기술이 증명되면, 정책입안자들은 허가된 스펙트럼의 거대한 영역으로 사용을 개방할 것이다. 이는 심지어 대도시라 하더라도 방대하게 스펙트럼 사용을 증가시키게 된다.

스펙트럼 규제기관 들은 사용하지 않는 스펙트럼을 이용하기 위하여 허가된 주파수대역을 자유롭게 하고 전송에 대한 프로토콜에 대한 방침을 기술하는 “공존 모델”에 대처해야 한다. UWB 와 관련된 정책적 의문사항들의 대부분은 CR들에 대한 것과 유사한 반면 중요한 차이가 있다. 첫 번째는 CR 기술은 협대역의 전송을 사용하고 그래서, 높은 전력레벨로 전송을 해야 한다는 것이다. 전력레벨이 증가하면, 간섭을 받을 수 있는 상황이 또한 증가하게 된다. 두 번째로, CR과 스펙트럼 라이선스가 있는 전송국과는 효과적으로 정확하게 같은 시공간에서 공존할 수 없기 때문에, CR의 기술은 간섭을 일으키기 전에 주파수 사용을 자유롭게 하고, 허가된 전송을 즉시 감지하기에 충분하도록 만들어져야 한다.

□ 워싱턴에서 주차공간을 찾는 것보다 비어있는 스펙트럼을 찾는 게 쉽다.

- 대도시에서의 스펙트럼은 생각처럼 부족하지 않을 수 있을까 ?

2003년 6월, Shared Spectrum 사는 워싱턴에서 스펙트럼 대역이 얼마나 효율적으로 사용되는지 테스트를 진행했다. 엔지니어는 지붕위에 장치를 설치한 후에, 워싱턴의 가장 “스펙트럼-혼잡한” 영역에 스펙트럼 사용 측정을 시작하였다. 장비가 30MHz에서 3GHz 대역사이에서 8시간동안 사용량을 측정하고, 놀랄만한 결과를 제시했다. 엔지니어들은 몇몇의 트랙픽이 심한 주파수대역을 조사하였고, 8시간동안을 통한 실험에서 주어진 실험시간에서 스펙트럼의 단지 19-40% 만이 점유되었다는 사실을 발견했다.

워싱턴은 TV, 라디오, Air 트래픽, 그리고 군사적 사용에다가 모바일 폰, 페이지, E-mail 기기, 그리고 Wi-Fi 등이 포함된 무선기술들의 높은 스펙트럼 사용을 가진 도시이기 때문에 이러한 실험 결과는 놀랄만한 사

실이었다. 워싱턴과 같이 복잡한 지역에서는 이러한 실험결과가 현재 스펙트럼 할당의 문제점을 강조하고 있다. 허가된 스펙트럼의 대부분이 대부분 사용되지 않고 있다.

시험을 수행한 회사는 모든 라이선스를 가진 사업자들이 일하기 위해 자신의 길에 있다고 상황을 비유하고 정말로 Shared Spectrum사와 같은 회사들은 사업자들이 그들과 함께 길을 효과적으로 공유하도록 강제할 수 있는 그들의 기술들의 법적인 승인에 의지하고 있다

이러한 이유들로, 스펙트럼 규제기관들은 초기에는 동시사용 확률이 낮고, 잘 개발된 기술을 가진 임의 주파수대역에서 동작하는 라이선스를 보유한 CR를 더 선호할 수 있다. 만약 새로운 기술이 이러한 시험 영역에서 잘 동작한다면, 정책입안자는 허용가능한 주파수들을 늘려나갈 것이다. 공존하는 모델의 협대역 성질은 관련된 주파수양의 제한 때문에, UWB 보다는 스펙트럼 규제기관들에게는 다소 쉽게 접근할 수 있는 장점을 갖는다.

4. 비허가 또는 라이선스 예외 스펙트럼의 생성

현재 스펙트럼 라이선스를 소유자들은 위에서 언급한 것처럼 기술과는 관계없이 그들이 소유한 스펙트럼을 공유하는 다른 기기들에 대해서 반대하고 있다. 대신에 많은 이들은 정부가 새로운 기기와 스펙트럼 사용을 도모하기 위한 방법으로 비허가 주파수대역의 양을 증가시켜야 한다고 주장하고 있다. 이러한 방법으로, 라이선스 소유자들은

독점적인 라이선스를 갖는 현재의 시스템 아래에서 사업이 잘될 수 있을 것이라고 아직까지 여기고 있다. 비허가 또는 공익사용이 가능한 새로운 주파수대역을 찾아내고 만드는 것에 의해, 라이선스 소유자들은 정부가 현재의 허가된 기기들의 동작과 위험한 잠재적인 간섭없이 비허가 스펙트럼에 대한 현재의 요구를 훨씬 더 만족시킬 수 있을 것이라고 주장한다.

스펙트럼 라이선스를 이미 소유한 사업자들이 Underlay 의 장점 중 중요한 하나를 간과하고 있는 점이 UWB 와 같은 Underlay 시스템에서는 정보를 보내기 위해 기기들의 전력레벨이 낮아질 수 있다는 것이다. 비허가 기기들에게 더 많은 스펙트럼을 개방한다면 같은 스펙트럼 영역에서 동작할 수 있는 비허가 기기들의 수를 증가시킬 것이다. 그렇지만, 비허가 대역이나 스펙트럼 공유대역에서의 기술은 효율성을 위해 대역확산기술을 사용하기 때문에, 제대로 동작하기 위해 더 넓은 주파수대역을 필요로 하는 UWB 와 같은 낮은 전력을 가진 기술처럼 대역폭을 완전하게 활용할 수 없게 될 것이다. 비허가 대역에서 동작하는 기기들은 높은 전력레벨을 전송하게 될 것이고, 이는 지속적으로 더 많은 간섭을 만들어낼 잠재성을 가지고 있다.

라이선스 소유주들은 실제로 상호 배타적으로 비허가 대역과 Underlay 를 공유해야 하기 때문에, 새로운 스펙트럼정책은 비허가 대역과 Underlay 에 대한 내용을 다 포함시켜야 한다. 신중한 스펙트럼 정책이라면 새로운 무선기술을 위해 더 많은 비허가 영역을 만들어내야 하지만 또한 적어도 매우 낮은 전력레벨에서 UWB 기술을 사용을 허용할 것을 강하게 고려해야 한다. 본 연구에서는 새로운 기술이 비허가 대역에서 제공할 수 있는 장점을 설명하고, 비허가 대역에 대한 정책전략을 제안하였다.

5. 미사용 스펙트럼의 정리

스펙트럼 규제기관들이 고려해야 하는 스펙트럼 정책변화 사항중 하나는 어떻게 미사용 대역을 정리하고 다른 사용 용도로 할당하느냐 하는 것이다. 서로 다른 규제 영역에서 전 세계적으로 사용되지 않는 스펙트럼을 재할당을 통해 더 효율적으로 사용하는 것에 대한 주된 정책적 고려가 되어야 한다.

새로운 무선 기술이 향상됨에 따라 정보전송에 필요한 스펙트럼 양은 줄어들게 된다. 그렇지만 전통적인 규제제도는 효과적으로 사용되지 않는 스펙트럼 대한 복원을 할 수 없거나 어려워 하게 된다. 라이선스 소유주들이 스펙트럼을 규제기관으로부터 일정 승인과정으로 단순히 받게 받은 것이 아니라, 스펙트럼을 경매를 통하여 구입한 경우인 상황에서는 더욱더 어려워진다.

미사용 주파수 대역을 정리하는 과정은 어려울 수 있으며, 라이선스를 가진 스펙트럼 규제기관들과의 동의의 여부에 달려있다. 스펙트럼 미사용 문제가 주어졌을 때 스펙트럼 규제기관들은 대역을 정리할 수 있으며, 새로운 스펙트럼 라이선스는 스펙트럼이 매우 불충분하게 사용된다는 가정아래 스펙트럼 공급과 재할당에 대한 사항을 포함해야 한다.

CR과 UWB 는 공존하는 허가대역폭을 이론적으로 재사용할 수 있는 두 가지 기술인 반면, 정책입안자들은 미사용 스펙트럼을 찾고 그것을 다시 설정하기 위한 라이선스 대역을 정리하는 것을 고려해야 한다. 벵클러 외 몇몇 학자들은 “복원 옵션(Recovery Option)” 정리의 중요성을 주장하고 정부가 이제는 스펙트럼을 가장 가격 효율적이고 공정한 방법을 이용하여 재할당을 하는 효과적인 방법을 검토해야 한다고 주장하였다. 스펙트럼을 정리하고 복원하기 위한 필요한 법적인

변화를 만든 좋은 예가, 정부가 더 효율적인 사용을 위해 스펙트럼을 개발하고 현존하는 라이선스들을 이동하는 것을 허용하는 1997년의 오스트레일리아 Communication Authority Act 이다.

6. 다목적 라디오에 대한 허용

SDR 기술의 가장 유망한 요소 중 하나가 하나의 일반적인 무선통신 기기가 모든 통신 도구들이 동작 할 수 있는 기능을 가질 수 있다는 것이다. 그러한 기기들은 모바일 폰, 무선전화기, GPS 그리고 인터넷 데이터통신과 같은 가능한 동작과 기능을 공유하는 것이다. 전통적으로 각 무선 통신기기의 형태는 서로 다른 규제 사항에 따라 존재하며 각 기기들은 서로 다른 규제를 따라야만 한다. 그렇지만, 일반적인 기기가 내부 소프트웨어에 근거해서 새로운 형태의 기기로 변화한다면 스펙트럼 규제기관은 승인과정을 어떻게 할 것인가와 그런 기기를 어떻게 분류할 수 있을지를 결정해야만 한다.

스펙트럼 규제기관들이 해야 할 중요한 승인과정이 전자기기의 하드웨어 요소에 초점을 두지 않고 무선통신 기기를 조절하는 소프트웨어에 놓이게 될 것이라는 사실이 오히려 스펙트럼 규제기관들의 어려움을 가중 시킬 것이다.

7. 메쉬 네트워크를 다룰 특정한 규제모델의 개발

메쉬 네트워크는 통신사업자의 정의를 급격하게 변화시키기 때문에 현재의 규제제도에 대한 가장 혁신적인 기술 중 하나가 될 것이다. 전 세계의 스펙트럼 규제기관들은 이미 VoIP 사업자들이 현재 음성사업자들처럼 같은 규제를 가져야 할지 결정하는데 비슷한 어려움을 겪은

경험이 있다. 메쉬 네트워크에서는 사용자들의 그룹이 그들 자신의 ad hoc 네트워크를 형성하고 내부 통신을 할 수 있기 때문에, 스펙트럼 규제기관들에 대한 규제관련 질문내용이 증폭될 것이다.

메쉬 네트워크의 이런 복잡성은 또한 스펙트럼을 어떻게 할당할지에 대한 스펙트럼 규제기관의 결정에 영향을 준다. 메쉬 네트워크는 본질적으로 많은 다른 무선 데이터 기술과는 다른 형태의 무선 연결을 필요로 한다. 대부분의 경우, 메쉬 네트워크는 짧은 거리에 대해 상당히 많은 양의 트래픽을 취급할 수 있어야만 한다. 이는 메쉬 네트워크가 단지 주어진 영역에서 동작하는 떨어진 중앙 기지국이 아니라, 정보를 전송하기 위해 다음 사용자에게 도달할 필요를 가지고 있기 때문이다.

현재, 무선통신 사업자는 사용자들에게 정보를 전송하기 위해 높은 전력레벨에서 협대역 신호를 사용하고, 라이선스 권리가 있는 주파수에 할당된 스펙트럼을 필요로 한다. 그렇지만, 메쉬 네트워크에서 요구되는 사항들은 단지 광대역의 주파수에 대해 그러나 낮은 전력을 이용하여 정보를 전송하는 사용자들의 요구사항과 반대가 된다.

게다가, 메쉬 네트워크는 주거환경이 복잡한 지역에서 발생할 수 있는 간섭을 견딜 수 있어야만 한다. 만약 메쉬 네트워크가 협대역 통신에 의존한다면, 대형 아파트건물들의 각 아파트에서 동시에 전송을 하려고 시도할 수 있기 때문에 무시 할 수 없는 간섭을 가지게 될 것이다. 따라서, 이에 대한 해결방안으로 낮은 전력과 대역확산 전파를 사용하는 UWB 기술이 될 수 있다. 또한, SDR 과 스마트안테나와 같은 다른 새로운 무선 기술도 중요한 역할을 하게 될 것이며 이 또한 스펙트럼 규제기관들에 의해 승인되는 것이 필요하다.

8. 스펙트럼 규제기관을 위한 복잡한 결정

새로운 스펙트럼 라이선스를 위한 기술이 정치적이고 경제적인 영향력을 가질 때는 스펙트럼 정책 구조를 변경하는 것은 어려운 과정으로, 스펙트럼 규제기관들의 정책 결정사항들이 미리 준비되어 공고되는 것처럼 보이지만 실제로는 매우 복잡하고, 특히, 전통적인 기존정책과 새로운 정책이 공존해야만 하는 환경에서는 더욱 그렇다.

좋은 예는 미국에서 주목할 만한 간섭을 일으키지 않는 위성들에 대해 할당된 스펙트럼에서 전송하는 방법을 찾아낸 혁신적인 회사들을 들 수 있다. 이 경우 일단 새로운 무선 기술이 성공하면 어떻게 공존하는 권리를 할당할 것인가를 결정하는 것이 이슈가 된다.

□ 스펙트럼 수정의 복잡함 - Northpoint

1990년대 초반 Carmen 과 Saleem Tawil 은 그 지역에 있는 모든 위성 TV 안테나가 신호를 얻기 위해 남쪽을 향하고 있다는 사실에 주목했다. Saleem 은 만약 모든 위성들이 그 주파수로 남쪽으로부터 방송되고 있다면, 케이블 TV 신호를 주목할만한 간섭을 일으키지 않고 북쪽으로부터 같은 주파수로 지역 타워에서 방송할 수 있을 것이라고 결정했다.

로비스트와 사업전문가들로 팀을 만든 후에, Tawil 의 새로운 회사 Northpoint 는 DirectTV 와 Echostar 와 같은 위성 TV 공급자들과 같은 스펙트럼을 사용하기 위해 FCC 에 접근하였다. FCC 는 기술을 검토하고 광범위한 테스트 후에 기술이 현재 라이선스에 주목할만한 간섭 없이 사용될 수 있다고 규정하였다. 그때 라이선스를 어떻게 할당할 것인가의 문제는 전개되지 않았다.

위성 TV 공급자는 일반적으로 지정과정을 통해 FCC 로부터 댓가 없이 그 주파수 사용을 받았다. 그렇지만 FCC 의 스펙트럼 관리에 있어 현재의 관점은 정부에 대한 비용을 증가시키고 스펙트럼의 가장 효율적인 사용을

위한 방법으로 경매를 향해 이동하고 있다. Northpoint 는 스펙트럼에 대한 라이선스에 대해 경매를 강요하는 것은 그 라이선스들에 대해 전혀 비용을 지불하지 않은 위성공급자들에 비해 공정하지 않은 경쟁이라고 주장하였다.

권리는 미화 60-100만불사이에 경매에서 스펙트럼의 가치가 있는 것으로 추정되는 거대한 것이었다. 그러한 거대한 비용이 관련될 때, 양쪽 모두는 그들의 우월적 지위를 향한 정부에게 압력을 행사하기 위해 거대한 로비조직을 만들어야 한다. 비용없이 Northpoint 에게 라이선스를 주는 것에 반대하는 그룹은 왜 그들이 정부로부터 Northpoint 에게 뜻밖의 비용을 지불하는 것에 의해 분노하였다. 어떤 이들은 Northpoint 는 만약 라이선스를 공짜로 받는다면 바로 돌아서서 스펙트럼을 팔게 것이라고 추측하였다.

미국에서 나타난 Northpoint 의 딜레마는 새로운 기술이 현존하는 스펙트럼 권리영역에 합해질 때 스펙트럼 규제기관이 당면하게 되는 어려운 작업의 훌륭한 예가 될 것이다.

제 3 절 스펙트럼을 이용한 실험

전 세계의 스펙트럼 정책 입안자들은 현존하는 라이선스 소유자들에게 피해를 주지 않으면서 새로운 무선 기술을 채택하기 위한 최적의 방법을 찾기 위해 노력하고 있다. 문제는 기존의 라이선스 소유자들은 기존 시스템의 신호의 수신 성능 또는 강도에 영향을 주는 어떠한 스펙트럼의 정책변화에 대해서도 심한 반대를 하고 있다는 것이다.

몇몇 학자들은 새로운 무선 기술들을 가장 선호하는 주파수 대역에서 허용하기 전에 기술의 “사전 시험(test the waters)”하는 해법을 제

안하였다. 이러한 테스트들의 결과와 그 결과들의 의미에 대한 분석과 함께 아래에 설명하였다.

벵클러는 스펙트럼 정책 변화에 대한 가장 강한 지지자중 한 명으로, 어느 정책이 적절한 정책이고, 어느 정책이 그렇지 않은지 알아보기 위한 일련의 실험을 제안하였다. 벵클러의 작업은 두 종류의 서로 다른 스펙트럼 제도를 검토하였다. 하나는 스펙트럼이 공공의 위탁에 대한 스펙트럼 기증을 통해 공공의 이익이 되는 것으로 스펙트럼 위탁은 표준과 기준의 일반적인 요건만 갖춘다면 그때 모든 기기들이 주파수를 사용할 수 있도록 허용해야 한다는 것으로. 이것은 “스펙트럼 공유권(Spectrum commons)”으로 일반적으로 알려져 있다. 두 번째 제도는 스펙트럼의 소유자에게 모든 스펙트럼 권리를 주어 거래할 수 있고, 소유자로서 적절히 사용할 수 있게 하는 것이다. 기존의 많은 문헌들이 이미 각 시스템의 장점과 단점에 대해서 집중하는 반면 이절에서는 스펙트럼 규제기관 구조의 각 형태에 따라서 어떻게 새로운 기술을 구현하게 되는가를 살펴볼 것이다. 많은 학자들은 현재 두 방법 중 어느 것이 가장 효율적인가 또는 두 계획 중 어느 것이 실현가능한가에 대해 논쟁하고 있다.

1. 스펙트럼 공유권 실험

스펙트럼 공유권은 임의의 주파수대역에서 기존 시스템에 적용되던 기술을 새로운 기술로 옮겨가는 가장 빠른 방법을 제공할 수 있다 스펙트럼 제도의 혁신을 위해 제한된 라이선스를 가진 스펙트럼 소유자에 의지하기 보다는 스펙트럼 공유권은 그 관할아래 주파수에 대해 공동의 규제기구를 두어 결정할 수 있다. 예를 들어, 스펙트럼 공유권은 스펙트럼의 공공 사용에 대한 선행조건으로서 SDR 사용을 위해서는

필수적이다. 새로운 기술이 나타날 때 모든 무선통신 기기에 있는 소프트웨어는 바로 업그레이드가 될 수 있다. 공유권은 또한 무선통신 기기들에 대한 소프트웨어 에티켓뿐만 아니라, 스마트안테나, 대역확산 기술의 사용도 필요로 할 수 있을 것이다. 스펙트럼 공유권이 규제 기관들이 할 수 있는 것보다 훨씬 더 빨리 스스로를 적응하고 새로운 방식으로 변화시킬 수 있다는 것이다.

스펙트럼 공유권 실험에서는 정부가 보증하는 초기의 기간에 대해 광범위한 스펙트럼 공유영역을 만들어야 한다. 이는 대역내에서 사용되는 장비들을 개발하고 영업하기 위한 인센티브를 장비 제조자에게 허용하는 것이 중요하기 때문이다. 스펙트럼 공유권은 최소한의 장비 규칙과 에티켓에 따라서 공공 사용을 위해 개방되어야 한다. 대역을 사용하는 장비는 주파수를 사용하기 위해 “공유의 규칙”을 따라야만 한다. 이 장비인증은 공유주파수를 사용하기 위해 제조자에 의해 신청이 되어야 한다.

벵클러는 RF 출력을 갖는 전자기기들에 대한 FCC 의 Part 15 인증 과정의 허구적 확장개념으로 Part 16 과 같은 승인과정 도입을 언급하였다. Part 15 인증은 전자기기로부터 방출되는 무선통신 기기 간섭이 허가된 주파수 사용자에게 대해 받아들여질 수 있도록 고려된 어떤 한 계값을 초과하면 안된다고 확인하는 방법이다. 미국에서 비허가 무선 기기들이 사용되고 판매되기 전에 인증이 필요한 모든 고의적 우연한, 비고의적 방사기기들에 대해 미국에서는 매우 성공적으로 인증과정이 진행되어 왔다.

Part 16 과정은 미국 FCC의 현재 Part 15 와는 약간 차이가 나는데 중요한 차이점중 하나는 인증의 주된 목적이다. Part 15 규칙은 비허가된 기기들이 일정한 양의 스펙트럼을 사용하기 위해 허가된 사용자

의 권리와 간섭이 의미 있게 되지 않도록 확실하게 하는 과정이다. 그에 비해 Part 16 은 스펙트럼 공유에서 모든 사용자들의 권리를 보호하기 위한 방법이 대부분이다. 이러한 새로운 규칙들은 공유의 사용을 조절하기 위해 사용될 전력제한, SDR, 주파수 호핑 또는 다른 기술들과 같은 "스마트"기술이 요구되어야 한다. 적절하게 Part 16 규칙의 새로운 내용들과 함께, 제조업체는 개방시장에 팔고 필요로 하는 스펙트럼으로 장비를 만들 수 있다.

게다가 Part 16 과 같은 새로운 인증과정을 소개하여, 스펙트럼 규제기관 들은 또한 스펙트럼 공유 아이디어의 믿을 수 있는 테스트를 확실하게 하고 주파수를 넓은 영역에서 독립적으로 사용하는 것을 제외할 필요가 있게 된다. 만약 테스트를 위해 주어진 주파수가 충분히 넓지 않고 허가된 기기의 동작을 제거할 수 없다면, 임의의 새로운 기술은 스펙트럼을 완전하게 이용하는데 방해받을 것이다. 이는 스펙트럼 규제기관이 스펙트럼의 공유권 시도에 대한 넓은 영역에서 사용가능한 주파수정리를 해야 하는 것을 필요로 한다. 벙클러는 이상적인 주파수 영역으로 미국에서 700MHz 의 UHF 대역을 제안하였다.

마지막으로, 정부는 이러한 시도가 성공적이 아니라면 일정시간 동안 후에 스펙트럼을 재할당 할 수 있다. 이것은 실험에 제외된 주된 스펙트럼영역은 실험 실패 후에 개정이 필요한 다른 사용된 스펙트럼 블록이 되지 않는다는 것을 확실하게 하는 것이다. 실험이 성공한 경우에 벙클러는 결국에는 전체 주파수 스펙트럼이 스펙트럼 공유로 취급되도록 유도하는 주파수들로 확장할 것을 제안한다.

☐ FCC 의 Part 15 규칙

FCC 의 Part 15 규칙은 스펙트럼 규제기관이 처음으로 비허가된 기기들

의 판매와 동작을 허용한 1938년에 소개되었다. 이 기기들은 허가된 동작들을 보호하기 위하여 어떤 임계값 이상의 방사를 만들어내는 것이 허용되지 않았다. 규칙은 초기에는 무선 레코드 플레이어와 현재 통신시스템들과 같은 기기들을 커버하기 위하여 고안되었다. 시간이 지나면서 Part 15 기기의 허용 가능한 전력 제한은 기기들이 사용하는 주파수의 영역에 따라서 증가되어 왔다. 이는 차고 문 여는 장치, 텔레비전 리모트 컨트롤, 무선 전화기 등을 포함하는 무선 기술사용의 엄청난 증가를 가져왔다 1985년에, 규칙은 현재 일반적으로 사용되는 휴대전화와 무선 LAN 응용에서의 대역확산기술을 허용하도록 다시 변경되었다.

현재 Part 15 규칙은 판매전에 시험과 승인을 받아야 하는 방사기기들을 크게 세 범주로 나누어 적용되고 있다.

(1) 비고의적 방사기기

비고의적 방사기기는 내부에서 RF 에너지를 만들어 내거나 연결된 선을 통해 관련 장비로 RF 신호를 보내는 기기들인데, 공기 중으로 RF 에너지를 일부러 방사하지는 않는다. 예를 들면 컴퓨터 CPU 보드와 전원공급 장치 등이 있다. 이러한 기기들의 부품과 케이스는 방사되는 RF 에너지의 양을 충분하게 제한할 수 있도록 차폐가 되어야 한다.

(2) 우연한 방사기기

우연한 방사기기들은 전기 모터와 같이 동작 중에 RF 에너지를 만들어 내지만 기기들이 RF 에너지를 방출하거나 만들도록 고의적으로 설계된 기기들이 아니다.

(3) 의도적 방사기기

의도적 방사기기들은 방사나 유도에 의해 의도적으로 RF 에너지를 방사하고 만들어내는 기기들이다.

2. 스펙트럼의 사유화[17]

많은 저자들은 스펙트럼 규제기관들이 스펙트럼 공유권을 검토해야 한다고 추천해왔지만 경제학자들은 오랫동안 스펙트럼 변화의 다른 형태인 사유화에 대해 주장해왔다. 경제학자들은 시장은 거래할 수 있는 스펙트럼 권리와 그 무제한 사용으로 시스템을 방해하고 있는 현재 문제들의 많은 부분을 해결할 수 있을 것이라고 주장해왔다. 심지어 어떤 이들은 이론적으로 모든 주파수들을 경매블록에 할당한다고 하는 "Big Bang" 경매로 지칭해왔다.

□ 기술과 빅뱅 경매

FCC 의 Kwerel 과 Williams 는 스펙트럼의 보다 효율적인 사용을 위해 미국에서 스펙트럼 권리의 Big Bang 경매를 일컬어 왔다. 이 경매는 일년 전에 미리 공지를 하고, 현재의 라이선스 소유주들은 경매에 참여할지 않을지 결정해야만 한다. 만약 라이선스 소유자가 경매를 위한 입찰에 참여하기로 결정했다면 그들은 마지막 입찰을 받아들이는 것에 대하여 결정해야 한다. 만약 입찰을 받아들인다면, 현재의 라이선스 소유주들은 입찰 비용을 받을 것이다. 그때로부터 시장은 스펙트럼의 가격을 기술하게 된다. 시스템의 제안자는 스펙트럼이 가장 높은 입찰자에 의해 소유되었는지, 그리고 이것이 가장 효율적인 사용되기를 희망하는 것을 확신하기를 원할 것이다.

새로운 무선통신 기술들은 시장할당 과정에 매우 얽매어 있다. 사업자들은 스펙트럼 요구사항들을 감소시키기 위한 방법으로 스마트 안테나, 대역 확산 통신시스템, Agile 라디오와 같은 새로운 기술들을 구현해야 한다. 더 좋은 기술을 통하여 남은 스펙트럼은 그때 오픈마켓에서 가장 높은 입찰자에게 팔리게 된다.

전 세계적으로 현재의 규제제도 아래 스펙트럼 라이선스는 사용될 수 있는 방법에 관해 매우 제한적이다. 자유시장 옹호론자들은 스펙트럼 라이선스들을 허용하는 것에 의해 할당된 스펙트럼 대역의 사용을 자유롭게 하고, 대역의 효율을 증가시킬 수 있다고 주장한다. 한 예로 스마트 안테나의 사용을 예상하고 있다. 모바일사업자들의 서비스 형태에는 스마트 안테나와 같은 새로운 기술의 구현을 통하여 서비스 형태 증가를 제공할 수 있다. 스마트 안테나는 사용자를 추적하고, 사용자

들에게 협대역 전송을 하기 때문에, 같은 셀 내의 다른 사용자들은 간섭을 덜 받게 된다. 이러한 고품질의 전송은 만약 사용자가 데이터에 대해 기꺼이 더 경제적 가치를 지불 한다면 음성보다 데이터 전송에 더욱 적당한 대역을 만들게 된다. 그러한 환경에서, 사업자는 제공된 서비스의 형태를 변경하거나 가장 효과적인 방법으로 스펙트럼을 사용하려고 시도하는 가장 높은 입찰자에게 라이선스를 매매할 수 있다.

스펙트럼 정책에서 새로운 기술의 시도와 재산권사이의 경제적 관계는 다음과 같이 설명할 수 있다. 입찰 승리자는 입찰금의 비용을 충당하기 위해 가장 효율적인 기술을 사용하기 위한 인센티브를 가진다.

만약 재산권이 개방시장에서 매매된다면, 입찰자는 이론적으로 경제적 이익이 제로인 지점까지 경매에 참여할 것이다. 이는 스펙트럼 대역에 대해 잠재적인 입찰 경쟁자들보다 뛰어나고, 더 높은 입찰금을 제시할 수 있기 위해 가장 효율적인 기술을 사용하기 위한 커다란 인센티브를 창조하게 되며, 사업자는 스펙트럼 대역의 효율성을 증가시킬 수 있는 모든 방법을 찾게 된다. 또한 만약 그럴 수 없다면 더 좋은 기술을 가진 누군가가 위임하기 위해 현재의 소유자에게 합당한 가격을 기꺼이 지불하게 될 것이다.

새로운 기술과 스펙트럼 재산권의 영향은 스펙트럼 규제 제도가 라이선스 소유주들에게 할당받은 주파수를 나누거나 분리해서 거래할 수 있게 한다면 더욱 확실해질 것이다. 기술이 발전하면서 라이선스 소유자는 같은 서비스에 대해 더 적은 스펙트럼을 사용할 수 있고 사용하지 않는 부분을 시장에 팔거나 빌려줄 수 있다. 이는 라이선스 소유주들이 가장 가능한 효율적인 기술들을 사용하기 위한 인센티브를 창조한다는 것을 의미하게 된다.

자유 스펙트럼 무역시장에 대한 경제적인 합리성에도 불구하고, 대

부분 내용들은 시험되지 않았고 허가된 스펙트럼에서 보다 효율적인 사용을 못할 수도 있다. 스펙트럼 매매 반대론자들은 최근에 사용된 3G 라이선스 경매로 시장이 얼마나 비효율적인 스펙트럼 사용을 유도했는지, 즉 스펙트럼에 대한 가장 높은 입찰과 서비스를 대량으로 시작할 인프라구조가 없는 사업자의 무능함을 통한 경매결과를 예로 들고 있다. 실제로 많은 라이선스를 가진 3G 주파수는 아직까지 상업적인 사용이 되지 못하고 있고, 당분간은 가치 있는 주파수를 미개발된 상태로 남겨둘 수 밖에 없다.

이러한 정책상의 모호함과 불안정성 때문에, 일부 학자들은 자유시장 무역을 위해 시험 스펙트럼 대역을 사용할 것을 제안한다. 정부는 스펙트럼을 매매할 수 있는 라이선스를 정해진 대역에서 무제한적으로 사용을 허용하기 위한 실험을 위한 새로운 대역을 정리하는 것을 고려하고 있다. 단지 벙클러의 스펙트럼 공유실험과 같이, 정부는 만약 실험이 정상적으로 동작하지 않는다면 스펙트럼에 대한 복원 선택 사항을 포함해야만 한다.

제 4 절 자유화된 스펙트럼 정책의 경험들

새로운 무선 통신기술들은 현재 규제제도의 정립을 위협하고 있지만 정책입안자들은 스펙트럼 정책의 자유화에 대한 교훈을 얻을 수 있는 이전의 경험들을 가지고 있다. 이 절에서는 자유로운 스펙트럼 정책의 결과들을 살펴보고 이러한 결과들로부터 현재 당면하고 있는 정책입안자들의 결정을 위한 로드맵에 대한 도움을 얻을 수 있는지를 살펴보았다.

1. Citizen band(CB) 라디오

미국은 1950년대 후반 CB 의 소개로 시작된 개방-엑세스 라디오 와 라디오통신의 대중적 인기도에 대한 오랜 역사를 가지고 있다. 1958 년, FCC 는 CB 라디오를 분류하기 위해 26.965-27.225MHz 대역(22 채널)의 할당을 선포하였다. 기술은 빠르게 CB 라디오가 주류로 이동할 때인 1970년대까지 취미의 대상으로 자리 잡았다.

CB 라디오는 라디오에 대한 요구사항과 사용에 대한 최소한의 기준에 따라서, 자유사용으로 개방되었기 때문에 이전의 스펙트럼과는 상당히 다르게 허가되었다. FCC 는 사용자들이 저렴하게 라이선스를 얻을 수 있도록 하였고 송신 전력과 간섭제한규격을 만족하는 장비를 구입하도록 요구하였다. CB 라디오는 빠르게 가장 저렴한 가격의 주유소, 길의 상태와 속도감지계의 위치와 같은 정보를 공유하기 위해 서로 통신하기 위한 라디오로서 사용한 장거리 트럭운전자들에게 인기를 가져왔다. CB 는 초기이동통신 도구로서 운전자들을 위한 도구가 되었다. 그렇지만 CB 현상은 다음처럼 1970년대 후반 초기의 사용에서 후퇴하고, 그 상태로 머물면서 25년 동안으로 수명이 짧았다.

☐ CB 라디오의 흥망

1970년대 초기에, 트럭운전사와 라디오 광들은 미국에서 CB 운영자의 대부분을 구성하였다. 이는 25년 후에도 거의 같았다. 그렇지만, 1975년 근방의 잠깐 동안, CB 라디오는 길 위의 많은 평범한 운전자들에게 필수불가결한 통신도구가 되었다.

1970년대 중반까지, CB 라디오의 일시적인 인기는 법의 시행으로부터 도망가기 위해 CB 라디오를 통해 이야기하는 아이콘을 보여주는

"Smokey and the Bandit" 와 같은 인기 있는 영화와 함께 전체적으로 유행되었다. 이는 1975년에 CB 기기가격이 폭등하는 것과 함께, 대중적으로 CB 가 퍼지게 되었다. 사용자들은 무료로 장거리에서 서로 이야기할 수 있다는 것에 매료되었다. 원래의 성공에도 불구하고, 그 경향은 1975년 이전의 수준으로 기기판매가 떨어지고 그 이후 25년 동안 그대로 유지했던 1979년부터 지속되지 못했다.

미국에서 CB 라디오에 정말로 발생한 것에 대해서는 논란이 있다. 초기에, 저자들은 많은 사용자들이 경험한 간섭문제들을 지적하였다. 공중길이 혼잡되면서, 사용자들은 서비스를 사용하는 것에 어려움을 겪고 사용을 멈추게 되었다. 그렇지만 Ting, Bauer 와 Wildman 에 의해 수행된 최근의 연구들은 CB 장비의 판매와 사용의 급격한 증가와 바로 이어지는 하락을 조사하여 일시적인 인기현상을 지적해왔다.

확실한 것은 새로운 스펙트럼공간에서 새로운 기술의 초기성공은 장기간의 성공을 보장하지는 않는다는 것이다.

2. Family radio service(FRS)

CB 라디오의 빠른 성장과 급격한 하강에 대한 이유에 대해 논쟁들이 이루어지고 있는 동안, 미국 시장은 FRS 와 General mobile radio service(GMRS) 무전기에서 비슷한 현상을 경험하고 있었다. FRS 라디오는 462-467MHz에서 14 채널을 사용하고 있고, 거의 2마일정도의 가시영역 통신거리를 가지고 있었다. 라디오 제조업체는 네트워크에서 가능한 방해받지 않는 대화를 증가시키기 위해 CTCSS 톤 영역 사용도 때로는 포함을 했다. 사용자들은 라디오를 동작하기 위한 라이선스를 필요로 하지 않았고, 스펙트럼은 비 상업적 사용을 위해 의도되었다. FRS 에 추가하여, 소비자들은 또한 FRS/GMRS 라디오를 사용할

수 있었는데, GMRS 대역에서 동작하기 위해서는 FCC 라이선스가 필요하였다. 흥미가 있는 것은 장비는 일반적으로 소비자들에게 가능하다는 것이고 대부분의 경우 GMRS 라이선스에 대한 신청이 복잡하지 않다는 것이고 주기적으로 FCC 호출번호를 진술하는 것과 같은 특정한 대역에 대한 규제사항을 안다는 것이었다. 라디오는 미국시장에서 커다란 성공을 거두었고, 사용자 수가 증가함에 따라 서비스가 불편을 겪기 시작했다는 것이 알려져 있다. 확실한 것은 현재의 형태로서 시스템은 성공했다는 것이다. 많은 미국인들은 그들이 커다란 CB 무전기를 가지고 다니는 것보다 포켓무전기를 가지고 다니는 것을 훨씬 편하게 느낀다는 것이다.

3. 가드 밴드

1997년에, 미국은 공중서비스 주파수 대역 사이에 버퍼로서 동작하는 몇몇 주파수대역에 대한 혁신적인 실험을 시작하였다.

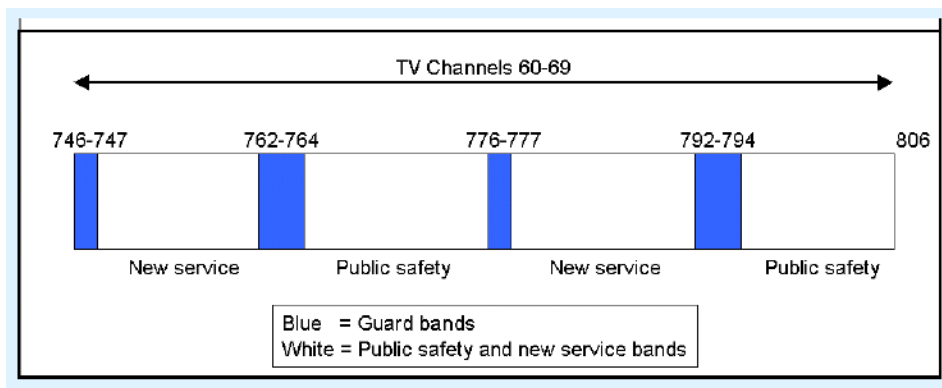


그림 5-2. 가드밴드[33]

사용되지 않는 버퍼주파수들을 남겨두기 보다는 오히려 정책입안자들은 미국에서 주파수에 대한 사용을 조절하는 “밴드 관리자(band manager)" 에 대한 주파수를 할당하는 것을 결정하였다.

예를 들어, 밴드관리자는 동시에 몇몇의 주를 통해 주 고속도로 또는 교통 네트워크를 따라 어떤 주파수를 사용하기 위한 권리를 팔 수 있다.

잠재적인 사용자의 경우 작은 양의 스펙트럼 사용을 할당하는 데는 FCC 의 복잡한 과정보다는 밴드 관리자에 의한 방법이 더욱더 효율적이라는 것이다. FCC 는 [그림 5-2]에 주어진 가드밴드를 할당하였다. 이러한 아이디어는 상당히 혁신적이었던 반면에 실험결과는 아직까지 성공적이지는 않았다. 즉각적인 사용에 새로운 주파수대역을 적용하기 보다는 주된 가드밴드 관리자중 하나인 Nextel 은 2GHz 영역에서 주파수에 대한 교환으로 새롭게 부여받은 라이선스들로 공공안전대역과 결합을 제안하였다. 일반적으로 정책입안자와 운영자의 높은 기대에도 불구하고 대역들은 사용에 적용되는 것이 느리게 진행되고 있다. 운영자들은 FCC 가 Nextel 의 제안을 결정할 때까지 다양한 서비스들을 진행하는 것을 좀 더 연기하고 있다.

가드밴드실험은 작지만, 스펙트럼 관리에 대한 사적 재산권 접근이라는 측면에서 흥미 있는 부분이 존재한다. 예상외로 스펙트럼 대역에 대한 느린 접근과 사업진행은 그들 자신의 경제적 이익에 대한 확고한 조사의 결과이며, 정확하게는 시장이 응분의 보상을 기대할 수 있는 행동들이다.

그럼에도 불구하고 정책입안자들은 가드밴드 프로젝트의 부진한 성과로부터 정책을 실패로 간주하기에는 조심해야만 한다. 그 이유로 첫 번째, FCC 는 아직까지 실험의 초기단계이며, 실험 주파수 대역은 결

국 매우 성공적일 수도 있다. 또한 더 커다란 유산 할당모델이라는 상황에서 동작하는 임의실험은 몇가지 어려움들을 마주칠 수 있다. Nextel 의 할당된 대역 내에서 진행부족은 직접적으로 주파수의 또 다른 부분을 얻기 위한 그들의 욕구와 얽여져 있다. 만약 스펙트럼에 대한 시장이 정말 경쟁적이라면, Nextel 은 주파수 습득의 첫 번째 단계를 제거하고, 본질적으로 원하는 스펙트럼에 대해 입찰을 할 것이다.

4. Wi-Fi and WLAN 기술

얼마간의 개방된 스펙트럼 테스트가 정책입안자가 추구하는 결과들을 만들어내는데 실패한 반면 Wi-Fi 의 성공과 다른 WLAN 기술의 성공은 스펙트럼 규제기관 들과 비즈니스 선도자들에게 모두를 놀라게 했다. Wi-Fi 대역의 서비스 사용의 성공적인 마케팅을 통해, WECA 는 IEEE 802.11 b, a 와 g 표준을 전 세계에 제안해왔다.

Wi-Fi 와 다른 WLAN 기술은 2.4GHz 와 5GHz 영역에서 비허가된 스펙트럼을 사용하였고, 특히 Wi-Fi 는 무선전화기와 마이크로웨이브 오븐과 2.4GHz를 공유해야만 한다. 전 세계적으로 Wi-Fi 사용은 아직 까지 초기 단계지만, 그 대역확산 기술은 스펙트럼을 보다 효율적으로 사용하는 것이 가능하다. 심지어 공항과 같은 혼잡한 영역에서도 작은 영역에서 많은 수의 WLAN 사용자를 다루는데 큰 성공을 거두었다.

5. 실험 결론

정책입안자들은 CB 라디오, FRS/GMRS, 그리고 현재 Wi-Fi 사이의 많은 공통점을 찾을 수 있다. 첫 번째 모든 기술들에 대한 스펙트럼은 공공사용을 위해 할당되었고, 각각의 기술들은 흥미와 판매에서 초기

의 급상승이 있었다. 이로부터 알 수 있는 것은 세 가지 기술들의 각각에 어떤 일이 발생했는가와 상품들이 나타난 후 초기의 시장 후에 그들이 사용하는 주파수들에 어떤 일이 발생하는가이다.

대체적으로, Wi-Fi 는 단일한 통신 공간에서 더 많은 사용자에게 적합한 최첨단기술의 사용 때문에 장기적 관점에서 승자가 될 가능성이 높다. 반면 지금은 성공적이라 하더라도, 새로운 기술들이 대역으로 진입하는 것이 허용되지 않는다면 CB 라디오 형태의 상승과 하강처럼 될 것이다.

기업들은 FRS/GMRS 주파수들의 더 생산적이고 유용한 사용을 희망하지만, 통신형태가 갖는 현재 기술적인 제한들은 라디오의 채널과 기술적인 구조가 Airway 의 지속적인 효율적 사용에 부정적인 영향을 갖게 할 것이다.

□ RINO 의 제한

- 어떻게 Garmin 의 위치기반 서비스가 GMRS 주파수들의 사용에 대한 FCC 제한에 의해 제한되었나 ?

Garmin 은 GPS 제품으로 잘 알려진 회사이지만 최근에는 RINO 라고 불리는 제품으로 FRS/GMRS 시장에 진입하였다. RINO130 은 GPS 기능과 양방향 라디오 기능을 가지고 있다. 라디오의 초기버전은 두기기의 기능들이 하나로 합쳐졌기 때문에 실외사용자들에게 매우 인기가 있었다.

RINO 의 가장 주목할 만한 특징 중 하나는 다른 RINO 사용자에게 그들의 위치를 "beam" 할 수 있는 기능이다. 이 기기의 GPS 는 사용자의 위도와 경도를 결정하고, 다른 RINO 사용자에게 FRS 라디오 채널을 통해 보낼 수 있다는 것이다. 이는 그들이 통신을 하고 싶어 하는 사람을 GPS 화면에 위치를 보여줄 수 있다는 것이다. 이러한 기능은 복잡한 환경이나

실외에서 사람들이 서로의 위치를 확인할 수 있는 훌륭한 방법이었다.

RINO 에 방향탐지 기능을 포함시키기 위해, Garmin 은 음성채널에 데이터를 보내야 하는 어려운 규제방해를 극복해야만 했다. Garmin 은 FCC 에 청원을 했고, FCC 는 초기에 FRS 채널로 위치데이터의 전송을 허가하는 임시 허가를 주었다. 결국 FCC 는 FRS 채널에 위치 데이터를 보내는 라디오를 허용하는 정식의 규제 변경을 하였다.

방향탐지 서비스를 하는 위치의 영역은 GMRS 채널에서 5마일까지 가능하더라도 현재는 FRS 의 2마일 영역에 제한되어 있다. Garmin 은 또한 FCC 에 GMRS 채널에 대한 방향탐지 허용을 요청하는 것에 대한 청원을 하였고, 아직 결정이 되지 않았다. 이것은 현재 라디오 사용자들에게 곤란한 상황으로 이끌게 될 것이다.

라디오를 구매하는 사용자들은 라디오의 증가된 영역 때문에 GMRS 채널을 선택하게 될 것이고, 그렇게 됨으로서 위치 방향탐지 기술을 사용할 수 없을 것이다.

이는 GMRS 사용자가 대화에 참여하는 모든 사람들과 FRS 주파수에 빠르게 채널 스위치를 할 수 있는 상황을 만들 것이다. 일단 같은 FRS 채널을 사용하게 되면, 그들은 서로의 위치를 빠르게 탐지할 수 있다. 그때, 모든 사람들은 탐지신호를 받게 되고, 다시 통신을 시작하기 위하여 장거리 영역의 GMRS 채널로 스위치하게 된다.

현재의 FCC 규정은 GMRS 에 대한 위치의 탐지를 허용하지 않을 것이지만 RINO에서 SDR 기술은 만약 FCC 가 그 채널에 대해 허용한다면 GMRS 탐지를 허용하도록 빠르게 업그레이드 할 것이다.

RINO 는 스펙트럼 정책과 규정이 규제기관이 필요한 정책적 변화를 만들 수 있을 때까지 새로운 통신기술의 사용을 미루어야 하는지를 보여주었다. 동시에 RINO 기술은 SDR과 같은 새로운 기술이 규제변화는 빠르게 현존하는 장비들에 적용되어야 한다는 것을 강조하였다.

새로운 기술과 함께 스펙트럼 재할당 및 재분배등 에서 정책의 성공에 대한 조건은 주파수들에서 사용되는 기술과 자원이 얼마나 자주 혁신되는가이다. 공공의 사용에 대한 스펙트럼을 개방하는 것은 CB, FRS/GMRS, 그리고 현재의 Wi-Fi 의 성공에서 중요한 역할을 하였다. 그렇지만, CB 와 FRS/GMRS 주파수들은 공공이지만 혁신에 개방되지는 않았다. 반면에 2.4GHz에서 Wi-Fi 스펙트럼 할당은 혁신에 대한 실험 바탕이 되었다. 만약 기술들이 스펙트럼 공간에서 채택이 허용되지 않는다면, CB 의 인기에서 발생한 것처럼 일시적 유행으로 끝나버릴 것이다.

가드밴드를 사용한 실험은 또한 스펙트럼 대역 내에서 혁신하기 위한 자유는 그 자체로, 효율적인 사용을 보장하기에 충분하지 않다는 것을 보여준다. 만약 대역이 사적으로 소유된다면 다양한 서비스를 연기하거나 지체할 수 있는 다른 요인들이 아직까지 존재할 것이다.

이러한 두 가지 기술과 혁신의 조합은 2003년에 열린 ITU WRC에서 동의한 새로운 5GHz 대역과 2.4GHz에서 잘 동작할 것처럼 예상이 되었다. 첫 번째, 장비제조업체들은 어떤 최소한 제한에 따라서 기술들을 가지고 혁신하는 것이 허용된다. 이는 스펙트럼의 새롭고 혁신적인 사용을 허용하고, 일시적인 인기를 가진 사용을 막을 수 있다. 두 번째로, 대역은 공공 사용에 개방이 되어, 어떤 시간에도 스펙트럼이 비어 있는 대로 유지할 수 있는 라이선스가 없다는 것을 보장한다.

제 5 절 정책 제안사항

새롭게 진화하는 기술은 무선 통신을 훨씬 더 효율적으로 만들고 스펙트럼 정책은 이러한 새로운 기술을 이용하는 것에 맞도록 변화되어야 한다. 그렇지만 스펙트럼 규제기관들은 어떠한 방법으로 스펙트럼

할당 구조를 바꾸어야 하는가 하는 요구사항들을 마주하게 된다. 이 절에서는 앞에서 강조된 이슈들에 근거에서 몇 가지 핵심 되는 정책 제안을 하였다. 이러한 정책 권고사항들은 단순히 소모적인 것이 아니라, 대부분 정책으로 처리할 필요성을 나타내는 것이고 그리고 잠재적으로 가장 효율적인 변화는 스펙트럼 관리 정책의 변화로부터 비롯된다는 것을 보여준다.

1. UWB 기술을 도입하기 위한 저전력 Underlay 의 허용

스펙트럼 규제기관 들은 초기에 간섭의 최소양에 대하여 최고의 효율성을 얻어내기 위해 Underlay 에 대해 초점을 맞추었다. 노이즈 플로어 아래에서 통신할 수 있는 기기들은 초기에는 다른 라이선스를 가진 통신을 방해하지 않는 것을 보장하기 위한 저전력 레벨에서 허용되었다. 초기 전력레벨은 UWB 기기들이 가정 내를 통해 통신하는 것을 허용하기 위해 정해졌다. 이는 스펙트럼 규제기관 들이 더 높은 전력의 통신을 허용하기 위한 규약을 만들기 전에 기술에 대한 초기 진입 단계를 도입하도록 허용하였다. 간섭온도 측정은 또한 어떤 영역에서 높은 전력을 사용하여 UWB 전송을 가능하게 하는 방법으로 간주되었다. 스펙트럼 규제기관 들은 또한 단거리 통신에 대한 고전력 레벨에 대한 요구를 줄이기 위해 가능한 넓게 UWB 에 대한 사용대역을 만들어야만 한다.

초기 UWB 전송은 영역에 대하여 제한되지만 정책입안자들은 또한 얼마나 긴 거리를 가진 UWB 전송이 mesh 네트워크와 조화되는지를 검토해야만 한다. 그러는 동안 만약 초기 UWB 채용이 성공적이라면 단거리 영역 전송이 진보된 기술로 승인된 장거리 영역기술로 허용될

수 있다.

2. CR과 실험을 위한 임의의 스펙트럼 영역을 확보

노이즈 플로어로부터 새로운 스펙트럼 사용을 추출하는 것에 추가하여, 스펙트럼 규제기관 들은 CR를 테스트하기 위해 일정한 대역을 확보해야 한다. CR는 미사용 스펙트럼의 광대한 양을 효율적으로 사용할 가능성을 제공하고, CR 시험이 간섭 없이 효율적으로 동작하기 위한 기술이라는 사실이 입증된다면 허용될 수 있을 것이다. 더 높은 전력을 사용한 CR의 전송은 스펙트럼 규제기관 들이 라이선스 대역에서 CR 사용을 허용하기 위해 더 주의를 해야 한다. 그 결과로 스펙트럼 규제기관 들은 CR 에 대한 광범위한 영역의 주파수에 대한 공존정책을 구현하기 전에 초기 테스트를 진행해야 한다.

3. 기술자문 그룹을 구성

기술자문그룹은 정책입안자가 스펙트럼 관리 정책에 대한 영향과 기술적인 변화에 대한 준비를 하는데 도움을 줄 수 있다. 스펙트럼 규제기관들은 기술자문그룹의 구성을 우선적으로 해야 할 필요성이 있는데, 전 세계적으로 몇몇 국가에서 대단한 성공을 하고 있다.

스펙트럼에 대한 영향과 기술을 지원하기 위해 정해진 기술 자문 그룹의 훌륭한 예로 두 나라의 경우를 들 수 있다. FCC 의 Spectrum Task Force 는 미국의 새로운 스펙트럼 정책을 구현하고 테스트하는 것을 도와주는 기구이다. 아일랜드 스펙트럼 규제기관의 COMREG 는 미래의 규제 영향에 대한 준비를 하기 위해 새로운 기술적인 경향들을 확인하는 것을 도와주는 미래지향적 프로그램을 구성하였다. 스펙트럼

에 대한 새로운 기술의 규제영향을 지원하기 위해 기술자문그룹을 구성하는 것은 간단하다 하더라도 새로운 기술 변화에 대해 스펙트럼 규제기관들이 미래를 준비하는 것은 매우 생산적인 방법이 될 수 있다.

기술자문그룹은 또한 정책입안자들이 앞에서 소개한 많은 다른 의문 사항들에 대해 결정하는 것을 도와주는 중요한 역할을 할 수 있다. 새로운 기술들이 개발됨에 따라, 기존 정책은 낡은 정책이 되겠지만 전문가 기술그룹은 효율적으로 새로운 기술들의 개발을 검토하게 될 것이고, 스펙트럼 규제기관들이 가장 유망하고 필요하다고 생각되는 작업들의 순서에 대해 충고할 것이다.

새로운 기술들은 스펙트럼 규제기관들이 주파수 스펙트럼을 관리하기 위한 방법을 변화시키고 있다. 새로운 기술들에 대한 신중한 검토는 라디오 스펙트럼의 효율성을 아주 크게 향상시킬 것이다. 스펙트럼 규제기관들이 당면하고 있는 결정들은 어렵지만, UWB 와 CR과 같은 몇 가지 기술들은 스펙트럼이 부족한 문제들에 대한 즉각적인 해결방안을 제공할 것이다. 진짜로, 스펙트럼 규제기관들은 그들의 규제 제도에 새롭고 효율적인 기술들을 도입하여 스펙트럼 포화라는 극단적으로 예상되는 상황을 극복할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 정보통신부 전파방송정책국 발표자료, Spectrum Policy 2010 : U-Korea over Spectrum, May, 2005
- [2] U.S.DOC Report, Spectrum Policy For The 21st Century-The President's Spectrum Policy Initiative, Jun, 2004
- [3] Ofcom Report, Spectrum Framework Review, Nov. 2004
- [4] MPHPT Report, Radio Policy Vision & Strategy for Frequency Liberalization, Dec, 2003
- [5] ITU-R, The ITU New Initiatives Programme: Radio Spectrum Management For a Converging World, 2004.
- [6] FCC 02-48 First Report and Order(R&O), Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems : FCC, Feb. 2002.
- [7] Giuliano. R, Mazzenga. F and Vatalaro. F, "On the Interference Between UMTS and UWB Systems," 2003 IEEE Conferences on Ultra Wideband Systems and Technologies, pp. 339-343, Nov. 2003.
- [8] J. R. Hoffman, et al., "Measurements to Determine Potential Interference to GPS Receivers from Ultrawideband Transmission Systems," NTIA Report 01-384, February 2001.
- [9] 3GPP2 C.S0011-B, Recommended Minimum Performance Standards for cdma2000 Spread Spectrum Mobile Stations, Dec. 2002

- [10] ETSI TS 134 121, Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Terminal Conformance Specification, Radio Transmission and Reception (FDD) (3GPP TS 34.121 version 5.3.1 Release 5), Apr. 2004
- [11] FCC 04-186, Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, Nov. 2004.
- [12] FCC 05-57, Facilitating Opportunities for Flexible, Efficient, and Reliable Spectrum Use Employing Cognitive Radio Technologies", Mar. 2005
- [13] N. Hoven and A. Sahai, "Power Scaling for Cognitive Radio", IEEE Wirelesscom 2005. Jun. 2005.
- [14] N. Hoven, On the feasibility of cognitive radio, MSc thesis of U.C Berkeley. 2005.
- [15] Amit K. Maitra, Wireless Spectrum Management, McGraw-Hill, 2004
- [16] FCC SPTF, Report of the Spectrum Efficiency Working Group, Nov. 2002
- [17] C. Evcı and B. Fino, "Spectrum Management, Pricing, and Efficiency Control in Broad-band Wireless Communications", Proceeding of the IEEE, Vol. 89, No. 1, Jan. 2001.

A. 부록 : 국내외 전파환경 측정자료

본 연구에서는 국내외 실제 환경에서 점유되고 있는 스펙트럼을 측정한 결과를 다음과 같이 나타내었으며, 스펙트럼 빈 공간에 대한 스펙트럼 효율성을 높이기 위한 기술과 정책의 필요성을 실험결과로부터 유추할 수 있다.

스펙트럼 효율성은 주파수, 시간, 공간의 3차원으로 나타낼 수 있다. 정확한 스펙트럼 효율성의 계산을 위해서는 이러한 3차원 공간을 만족하는 측정을 수행해야 하지만 실제로 3차원을 측정하기 위해서는 비용과 기술적인 측면에서 현재는 비현실적이다. 가장 커다란 문제는 공간과 관련된 스펙트럼 측정인데, 공간에서 점유되는 스펙트럼을 측정하기 위해서는 무수히 많은 지점에 대해서 스펙트럼 사용현황을 측정해야 하기 때문에, 데이터·량이 무한하게 커지게 되어 처리가 불가능하여 정해진 공간에 대하여 주파수-시간의 2차원 측정을 해야 한다. 본 연구에서는 2004년-2005년에 미국에서 Shared Spectrum Company에 의해 측정된 스펙트럼측정 결과[A1]와 2005년 중앙전파관리소에 의해 국내에서 측정된 스펙트럼 측정결과[A2]를 나타내었다. Shared Spectrum Company에 의해 측정된 결과들 중에서는 도심지에 해당하는 NewYork 과, 스펙트럼 사용이 적을 것으로 예상되는 공원지역으로 Virginia 의 Riverland Park에서 측정된 결과를 비교하였으며, 국내 측정결과에서도 역시 지역#1-대도시, 지역#2-해안지방, 지역#3-공항지역 등의 서로 다른 특성을 갖는 지역에서 측정된 결과를 비교하였다.

표 A-1. Virginia에서 측정된 점유대역폭

Start Freq (MHz)	Stop Freq (MHz)	Bandwidth (MHz)	Spectrum Band Allocation	Spectrum Fraction Used	Riverbend Occupied Spectrum (MHz)	Average Percent Occupied
30	54	24	PLM, Amateur, others	0.03895	0.93	3.9%
54	88	34	TV 2-6, RC	0.10593	3.60	10.6%
108	138	30	Air traffic Control, Aero Nav	0.00744	0.22	0.7%
138	174	36	Fixed Mobile, amateur, others	0.03372	1.21	3.4%
174	216	42	TV 7-13	0.10339	4.34	10.3%
216	225	9	Maritime Mobile, Amateur, others	0.00486	0.04	0.5%
225	406	181	Fixed Mobile, Aero, others	0.00002	0.00	0.0%
406	470	64	Amateur, Radio Geolocation, Fixed, Mobile, Radiolocation	0.02745	1.76	2.7%
470	512	42	TV 14-20	0.13313	5.59	13.3%
512	608	96	TV 21-36	0.26616	25.55	26.6%
608	698	90	TV 37-51	0.23484	21.14	23.5%
698	806	108	TV 52-69	0.07627	8.24	7.6%
806	902	96	Cell phone and SMR	0.14260	13.69	14.3%
902	928	26	Unlicensed	0.00000	0.00	0.0%
928	960	32	Paging, SMS, Fixed, BX Aux, and FMS	0.03460	1.11	3.5%
960	1240	280	IFF, TACAN, GPS, others	0.00000	0.00	0.0%
1240	1300	60	Amateur	0.00139	0.08	0.1%
1300	1400	100	Aero Radar, military	0.00022	0.02	0.0%
1400	1525	125	Space/Satellite, Fixed Mobile, Telemetry	0.00000	0.00	0.0%
1525	1710	185	Mobile Satellite, GPS L1, Mobile Satellite, Meteorological			
1710	1850	140	Fixed, Fixed Mobile	0.00000	0.00	0.0%
1850	1990	140	PCS, Asyn, Iso	0.00044	0.06	0.0%
1990	2110	120	TV Aux	0.00000	0.00	0.0%
2110	2200	90	Common Carriers, Private Companies, MDS	0.00000	0.00	0.0%
2200	2300	100	Space Operation, Fixed	0.00000	0.00	0.0%
2300	2360	60	Amateur, WCS, DARS	0.00000	0.00	0.0%
2360	2390	30	Telemetry	0.00000	0.00	0.0%
2390	2500	110	U-PCS, ISM (Unlicensed)	0.00022	0.02	0.0%
2500	2686	186	ITFS, MMDS	0.00000	0.00	0.0%
2686	2900	214	Surveillance Radar	0.00000	0.00	0.0%
Total		2850			87.62	
Total Available Spectrum					2570	
Average Spectrum Use (%)					3.4%	

표 A-2. 뉴욕에서 측정된 점유대역폭

Start Freq (MHz)	Stop Freq (MHz)	Bandwidth (MHz)	Spectrum Band Allocation	NYC Day 1	NYC Day 2	NYC Average	NYC Occupied Spectrum (MHz)	Percent Occupied
30	54	24	PLM, Amateur, others	0.04300	0.06250	0.05275	1.27	5.3%
54	88	34	TV 2-6, RC	0.52830	0.52080	0.52455	17.83	52.5%
108	138	30	Air traffic Control, Aero Nav	0.05270	0.04030	0.04650	1.40	4.7%
138	174	36	Fixed Mobile, amateur, others	0.17080	0.16980	0.17030	6.13	17.0%
174	216	42	TV 7-13	0.77730	0.77950	0.77840	32.69	77.8%
216	225	9	Maritime Mobile, Amateur, others	0.05860	0.05950	0.05905	0.53	5.9%
225	406	181	Fixed Mobile, Aero, others	0.00530	0.00370	0.00450	0.81	0.5%
406	470	64	Amateur, Radio Geolocation, Fixed, Mobile, Radiolocation	0.16610	0.14750	0.15680	10.04	15.7%
470	512	42	TV 14-20	0.21140	0.21000	0.21070	8.85	21.1%
512	608	96	TV 21-36	0.35520	0.34270	0.34895	33.50	34.9%
608	698	90	TV 37-51	0.46160	0.46090	0.46125	41.51	46.1%
698	806	108	TV 52-69	0.29580	0.30790	0.30185	32.60	30.2%
806	902	96	Cell phone and SMR	0.46190	0.46450	0.46320	44.47	46.3%
902	928	26	Unlicensed	0.22270	0.23460	0.22865	5.94	22.9%
928	960	32	Paging, SMS, Fixed, BX Aux, and FMS	0.23640	0.24370	0.24005	7.68	24.0%
960	1240	280	IFF, TACAN, GPS, others	0.03560	0.04080	0.03820	10.70	3.8%
1240	1300	60	Amateur	0.00030	0.00010	0.00020	0.01	0.0%
1300	1400	100	Aero Radar, military	0.02160	0.00130	0.01145	1.15	1.1%
1400	1525	125	Space/Satellite, Fixed Mobile, Telemetry	0.01520	0.00050	0.00785	0.98	0.8%
1525	1710	185	Mobile Satellite, GPS L1, Mobile Satellite, Meteorological	0.00240	0.00130	0.00185	0.34	0.2%
1710	1850	140	Fixed, Fixed Mobile	0.02350	0.02540	0.02445	3.42	2.4%
1850	1990	140	PCS, Asyn, Iso	0.33090	0.34430	0.33760	47.26	33.8%
1990	2110	120	TV Aux	0.01910	0.00820	0.01365	1.64	1.4%
2110	2200	90	Common Carriers, Private Companies, MDS	0.01820	0.01900	0.01860	1.67	1.9%
2200	2300	100	Space Operation, Fixed	0.05270	0.06180	0.05725	5.73	5.7%
2300	2360	60	Amateur, WCS, DARS	0.20220	0.20530	0.20375	12.23	20.4%
2360	2390	30	Telemetry	0.06200	0.06420	0.06310	1.89	6.3%
2390	2500	110	U-PCS, ISM (Unlicensed)	0.13470	0.15510	0.14490	15.94	14.5%
2500	2686	186	ITFS, MMDS	0.10430	0.10420	0.10425	19.39	10.4%
2686	2900	214	Surveillance Radar	0.02860	0.03090	0.02975	6.37	3.0%

표 A-3. 광주지역 전체대역 이용률

조사대역(MHz)	무선국수	할당대역(kHz)	점유대역(kHz)	할당파수(파)	출현파수(파)	출현율(%)	대역이용율(%)	미출현파수
50.0~54.0	110	8.5	8.5	1	1	100	0.29	0
74.8~75.2	1	8.5	8.5	1	1	100	0.13	0
108.0~117.975	2	17	17	2	2	100	49.97	0
117.975~137.0	27	298	298	34	34	100	3.83	0
138.0~143.6	65	153	153	18	18	100	0.47	0
143.6~143.65	53	8.5	8.5	1	1	100	0.7	0
143.65~144.0	52	8.5	8.5	1	1	100	1.96	0
144.0~146.0	628	1584	1584	99	99	100	1.72	0
146.0~148.0	528	263.5	263.5	31	31	100	0.9	0
149.9~150.05	3	8.5	8.5	1	1	100	0.01	0
150.05~156.0	787	354.5	354.5	32	32	100	3.02	0
157.45~160.6	35	51	51	6	6	100	0.19	0
160.975~161.475	1	8.5	8.5	1	1	100	3.68	0
162.05~174.0	380	220	211.5	25	24	96	0.48	1
216.0~223.0	1492	497	497	32	32	100	4.75	0
230.0~235.0	1	8.5	8.5	1	1	100	53.88	0
235.0~267.0	2	25.5	25.5	3	3	100	1.42	0
322.0~328.6	1077	144	144	9	9	100	24.4	0
335.4~371.5	1	17	17	2	2	100	1.32	0
420.0~430.0	4	17	17	2	2	100	0.49	0
430.0~440.0	504	8	8	499	499	100	0.78	0
440.0~450.0	1124	544	544	64	64	100	0.92	0
450.0~460.0	34	91.5	91.5	9	9	100	5.37	0
460.0~470.0	44	119	119	14	14	100	2.18	0

표 A-4. 광양지역 전체대역 이용률

조사대역(MHz)	무선국수	할당대역(kHz)	점유대역(kHz)	할당파수(파)	출현파수(파)	출현율(%)	대역이용율(%)	미출현파수
30.01~37.5	2	272	272	17	17	100	0.58	0
50.0~54.0	19	16	0	1	0	0	0	1
117.975~137.0	14	42.5	17	5	2	40	0.01	3
138.0~143.6	14	85	0	10	0	0	0	10
143.65~144.0	4	8.5	0	1	0	0	0	1
144.0~146.0	111	1584	768	99	48	48.49	0.34	51
146.0~148.0	395	203	68	23	8	34.78	3.11	15
149.9~150.05	14	17	17	2	2	100	23.92	0
150.05~156.0	131	255.5	67	23	7	30.46	1.6	16
156.0~157.45	14	912	896	57	56	98.25	1.71	1
157.45~160.6	31	51	25.5	6	3	50	3.69	3
160.6~160.975	3	208	48	13	3	23.08	0.01	10
160.975~161.475	1	8.5	8.5	1	1	100	0.01	0
161.475~162.05	3	352	176	22	11	50	0.51	11
162.05~174.0	114	136	59.5	16	7	43.75	3.30	9
216.0~223.0	654	352	352	22	22	100	1.70	0
406.0~406.1	11	16	0	1	0	0	0	1
420.0~430.0	19	568.5	68	66	8	12.12	0.02	58
430.0~440.0	55	8	304	499	19	3.81	0.01	480
440.0~450.0	935	416.5	263.5	49	31	63.27	1.87	18
450.0~460.0	77	51	25.5	6	3	50	7.55	3
460.0~470.0	15	42.5	17	5	2	40	6.81	3

표 A-5. 대전지역 전체대역 이용률

조사대역(MHz)	무선국수	할당대역(kHz)	점유대역(kHz)	할당파수(파)	출현파수(파)	출현율(%)	대역이용률(%)	미출현파수
138.0~143.6	272	153	153	18	18	100	5.68	-
143.6~143.65	164	8.5	8.5	1	1	100	0.11	-
143.65~144.0	125	8.5	8.5	1	1	100	0.14	-
144.0~146.0	1,744	1,584	1,584	99	99	100	2.43	-
146.0~148.0	811	253	253	28	28	100	4.44	-
148.0~149.9	23	34	34	4	4	100	1.62	-
150.05~156.0	1,245	491	491	41	41	100	2.56	-
157.45~160.6	236	51	51	6	6	100	4.93	-
160.975~161.475	28	17	17	2	2	100	0.02	-
162.05~174.0	166	51	51	6	6	100	0.31	-
216.0~223.0	4,011	352	352	22	22	100	6.09	-
322.0~328.6	8	288	144	18	9	50.00	12.03	9
420.0~430.0	114	1,351.5	178.5	159	21	13.21	0.003	138
430.0~440.0	855	7,984	480	499	30	6.01	0.009	469
440.0~450.0	2,701	518.5	263.5	61	31	50.82	0.83	30
450.0~460.0	62	134	67	14	7	50.00	29.06	7
460.0~470.0	20	152	42.5	17	5	29.41	23.55	12

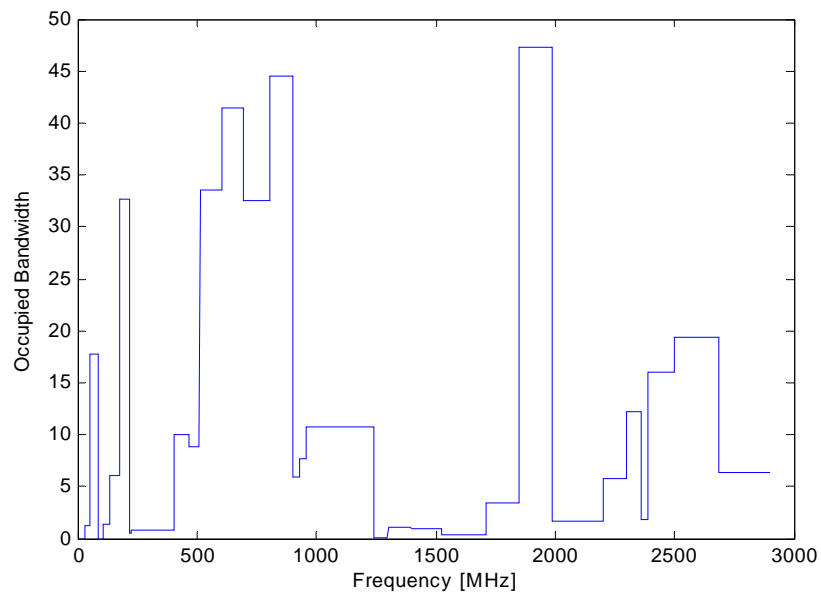


그림 A-1. 측정된 점유 스펙트럼(뉴욕)

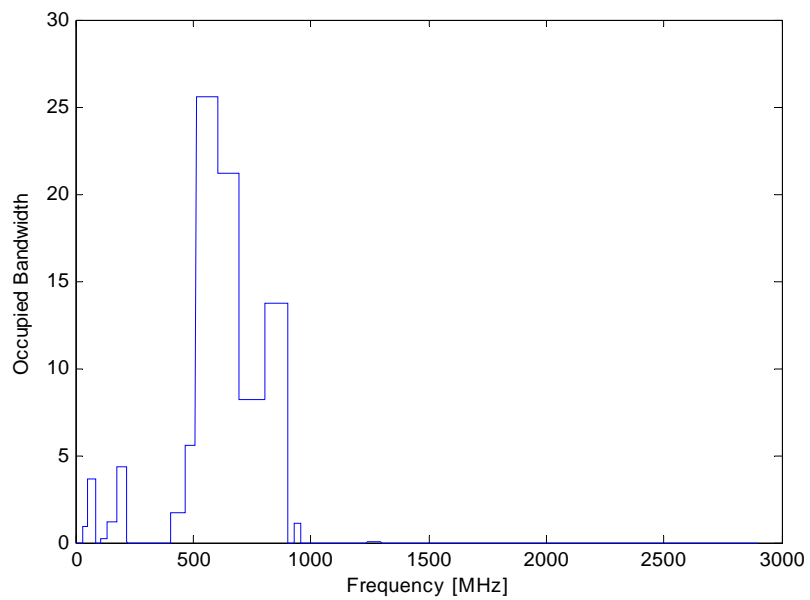


그림 A-2. 측정된 점유 스펙트럼(버지니아)

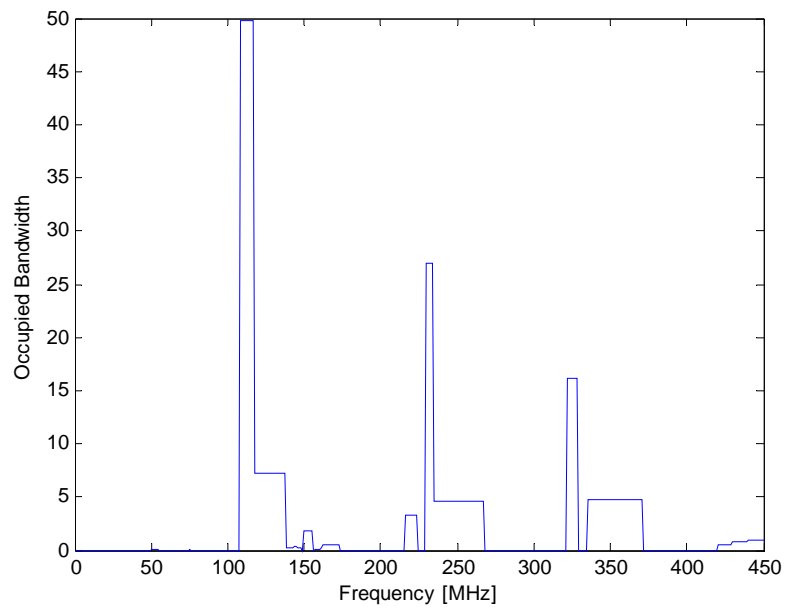


그림 A-3. 측정된 점유 스펙트럼(광주)

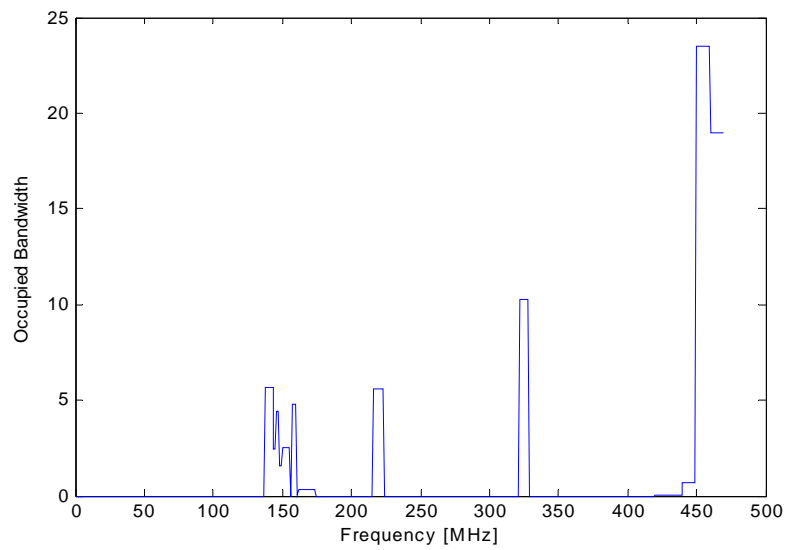


그림 A-4. 측정된 점유 스펙트럼(광양)

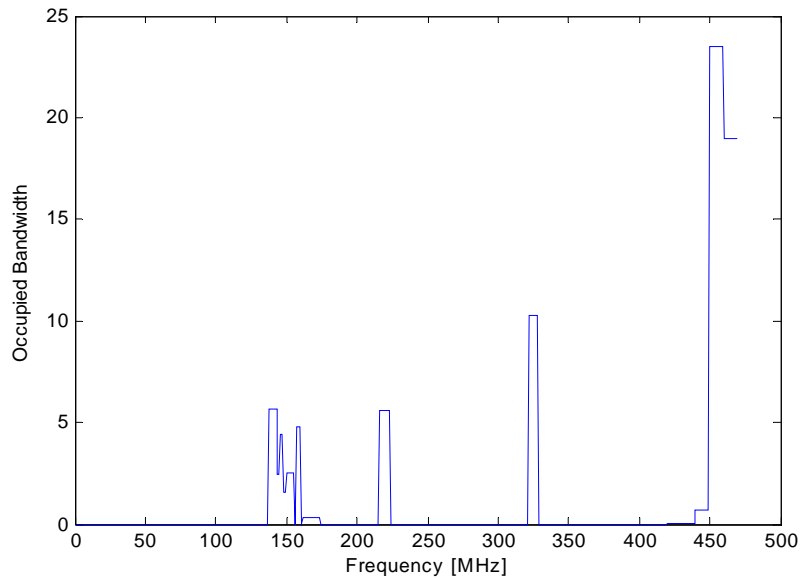


그림 A-5. 측정된 점유 스펙트럼(대전)

그림 A-1 과 그림 A-2 는 뉴욕과 버지니아에서 9kHz - 2900MHz 까지의 스펙트럼 사용을 나타낸 것으로 측정시간동안 스펙트럼이 점유된 대역폭을 나타내었다. 뉴욕의 경우에는 대도시이기 때문에 공원지역인 버지니아보다 상대적으로 스펙트럼 사용이 많다는 것을 보여주고 있다. 그림 A-1 에서 전체 스펙트럼 공간 중 점유된 스펙트럼은 13.12% 로 나타나고 있으며 그림 A-2 는 3.07% 의 스펙트럼 점유현황을 보이고 있다. 그림 A-3, 그림 A-4 과 그림 A-5 에 50MHz-470MHz 까지 측정된 광양항만과 광주공항, 대전도심지역의 스펙트럼 점유율을 각각 나타내었다. 광양지역의 경우 점유율은 조사된 전체 대역의 2.08% 이며, 광주지역의 경우 점유율은 6.25% 대전지역은 전체 대역의 7.62% 이다. 광양지역의 경우 항만지역이며, 광주지역은 공항지역, 대전지역은 도심지역에서 측정된 스펙트럼 대역폭으로 앞의 두 경우 스

스펙트럼 점유율이 높지 않다는 것을 알 수 있으며, 도심지역인 대전의 경우에는 스펙트럼 점유율이 상대적으로 높다는 것을 알 수 있다. 그림 A-6 에는 광양지역에서 특정한 시간 특정한 주파수 대역에 대해서 스펙트럼 점유현황을 나타낸 것으로, 비어 있는 공간이 가용할 수 있는 스펙트럼 공간이 된다.

[A1] Shared Spectrum Company, Spectrum Occupancy Measurements Report, 2004-2005

[A2] 중앙전파관리소 전파측정자료, 2005

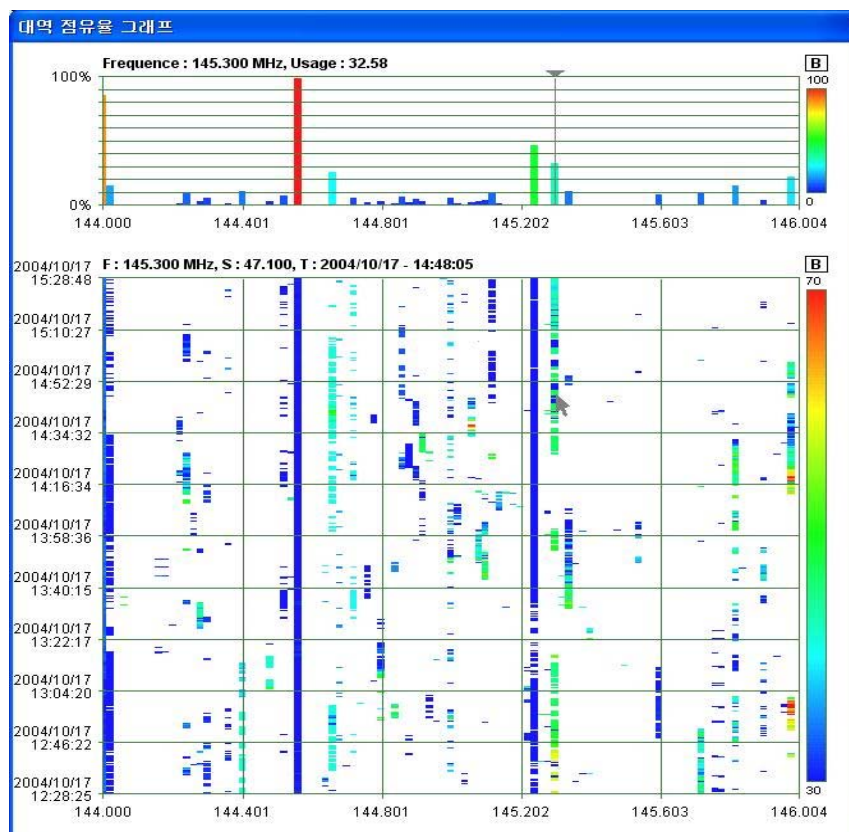


그림 A-6. 광양지역의 대역점유율 그래프