

# CR 적용형 실내 무선기기의 주파수혼용기술 연구

## A Study on the Spectrum Assignment Method for CR-related Intra Wireless Devices

이광희<sup>1</sup> · 박계각<sup>2</sup> · 전태현<sup>3</sup> · 최성진<sup>4</sup> · 차재상<sup>4</sup> · 이민호<sup>4</sup> · 김지형<sup>5</sup> · 이정훈<sup>5</sup> · 김성권<sup>◎</sup>  
Kwang-Hee Lee, Gye-Kack Park, Tae-Hyen Jeon, Sung-Jin Choi, Jae-Sang Cha,  
Min-Ho Lee, Ji-Hyung Kim, Jung-Hoon Lee and Seong-Kweon Kim

<sup>1</sup>목포해양대학교 대학원 해양전자통신공학과

E-mail : f2134@mmu.ac.kr

<sup>2</sup>목포해양대학교 해상운송시스템학부

E-mail : gkpark@mmu.ac.kr

<sup>3</sup>서울산업대학교 전기공학과

E-mail : thjeon@snut.ac.kr

<sup>4</sup>서울산업대학교 매체공학과

E-mail : chajs@snut.ac.kr

<sup>5</sup>서울산업대학교 IT 정책대학원

E-mail : jjihyung@lge.com

◎목포해양대학교 대학원 해양전자통신공학과

E-mail : skkim12632@mmu.ac.kr

### 요 약

유비쿼터스 네트워크의 실현을 위하여 다양한 연구가 진행되며, CR (Cognitive Radio) 구성의 연구는 주파수 자원의 효율적인 활용에 관한 연구를 부각시키고 있다. 또한, CR 적용형 소출력 무선기기의 활용에 따른 공유주파수대역의 소요대역폭에 대한 논의와 공통으로 사용하는 주파수 대역 내에서 혼용되는 통신기기들의 user 수를 만족하는 총 소요대역폭 산출은 더불어 중요한 작업이 되었다. 공통으로 사용하는 주파수 대역의 총 소요대역폭 산출은 소출력 무선기기의 간섭 회피 기술로 사용되는 Frequency Hopping (FH) 및 Listen Before Talk (LBT) 방식이 고려되어야 한다. 본 논문에서는 Cognitive Radio (CR) 기반의 LBT 방식을 사용하는 ZigBee와 FH 방식을 사용하는 DCP, RFID, Bluetooth 등의 소출력 무선기기가 공통으로 사용하는 주파수 대역에 공존할 경우를 가정하고, 대기행렬이론 (Queuing Theory)을 적용하여 소요대역폭 산출을 수행했다. 채널수 별 user의 통신시도에 따른 throughput을 분석한 결과, throughput 84% 이상의 조건에서 FH 및 LBT 방식을 사용하는 250mW 소출력 무선 기기들이 공존하는 공유주파수대역의 적정 채널수는 35개를 가지며, 총 소요대역폭은 채널수와 채널대역폭의 곱으로 산출이 가능함을 보였다. 이러한 접근방법은 다른 통신시스템의 소요대역폭 산출에도 유용할 것이다.

키워드 : Frequency Hopping (FH), Listen Before Talk (LBT), Queuing Theory, Cognitive Radio (CR)

### 1. 서 론

정보기술의 핵심자원인 전파자원은 새롭게 대두되는 다양한 전파응용설비 및 무선통신기기의 수요를 모두 충족시키기 위해 한계성을 가지게 되어 Cognitive Radio (CR) 기술에 대한 연구가 시작되었다. 이에 International Telecommunication Union (ITU)에서는 일정한 출력의 규제만 지키면 자유롭게 사용할 수 있는 Industrial Science Medical (ISM) 대역을 설정하여 비면허 통신 및 전파응용설비 등을 폭넓게 수용하고 있고, 급변하는 ubiquitous 시대에 보다 유연한 대처를 위하여 다양한 전파형식, 통신방식의 무선통신 시스템들을 일정주파수 대역에서 공유시키는 방안들이 대두되고 있다[1-2].

이와 같이, 공통으로 사용하는 주파수대역에서 사용될 기기들은 인접 대역에서 서비스하는 다른 무선시스템의

기술 방식에 관계없이 상호 간섭을 일으키지 않아야 하는 기술 중립성 (Technological Neutrality) 및 모든 서비스가 제공될 수 있도록 서비스 중립성 (Service Neutrality)을 만족하여야 한다. 따라서 모든 조건을 만족하는 공통 사용 주파수대역의 적정 채널수 및 총 소요대역폭의 산출은 공통 사용 주파수대역의 도입에 앞서 매우 중요한 작업이다.

CR 구성으로, 일반적으로 공통으로 사용하는 주파수 대역에는 ZigBee, DCP, RFID, Bluetooth 등의 소출력 무선기기들이 포함될 것으로 가정하였다. 이러한 소출력 무선기기들은 간섭 회피기술로 random하게 중심주파수를 이동하며 통신하는 Frequency Hopping (FH) 방식과 유휴 통신채널을 검색하여 통신을 시도하는 Cognitive Radio (CR)기반의 Listen Before Talk (LBT) 방식을 사용하고 있다. 다수의 소출력 무선기기가 존재할 수 있는 공유주파수대역에서 현재까지는 FH 방식의 소출력 무선기기가 다수 존재하지만, LBT 방식은 그렇게 많이 허용되지 않고 있다. 이는 확률적으로 채널을 점유하는 FH 방식보다는 유휴 채널을 검색하여 통신하는 LBT 방식이 채널을 우선 점유하기 때문이다[3-5].

감사의 글 : 본 연구성과의 일부는 산자부 부품 소재기술개발사업의 연구결과로 수행되었음

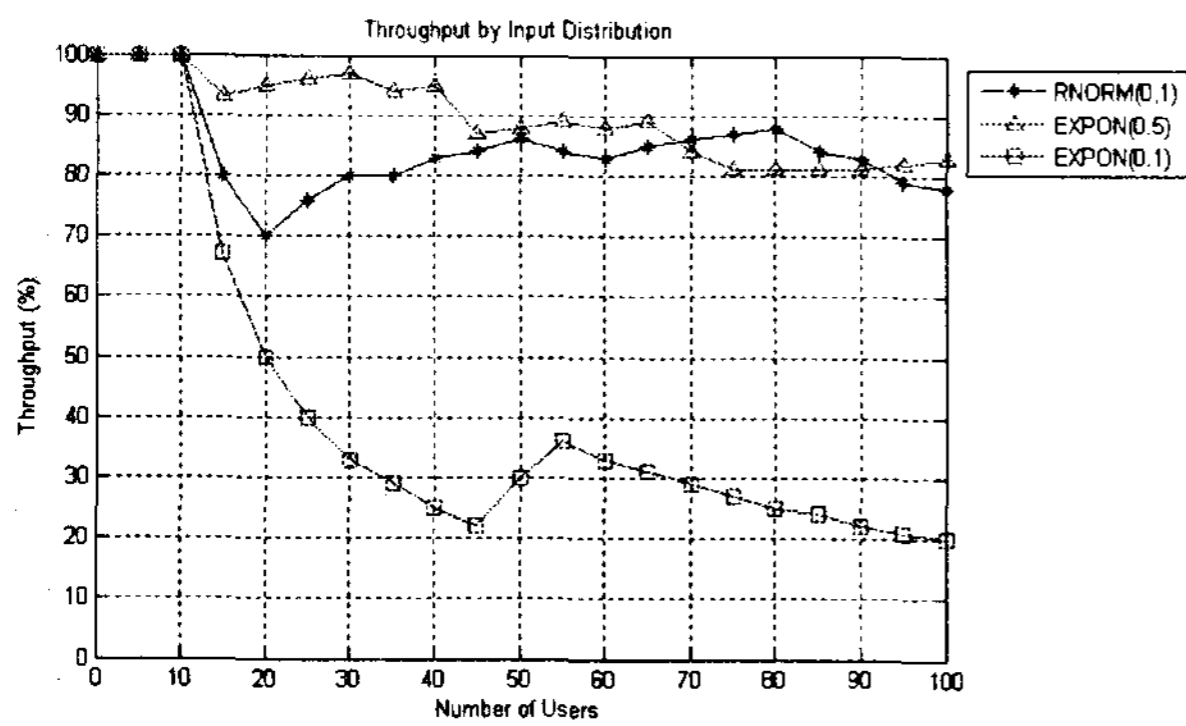


그림 1. 입력 분포에 따른 Throughput.

Fig. 1. Throughput as a function of input distribution.

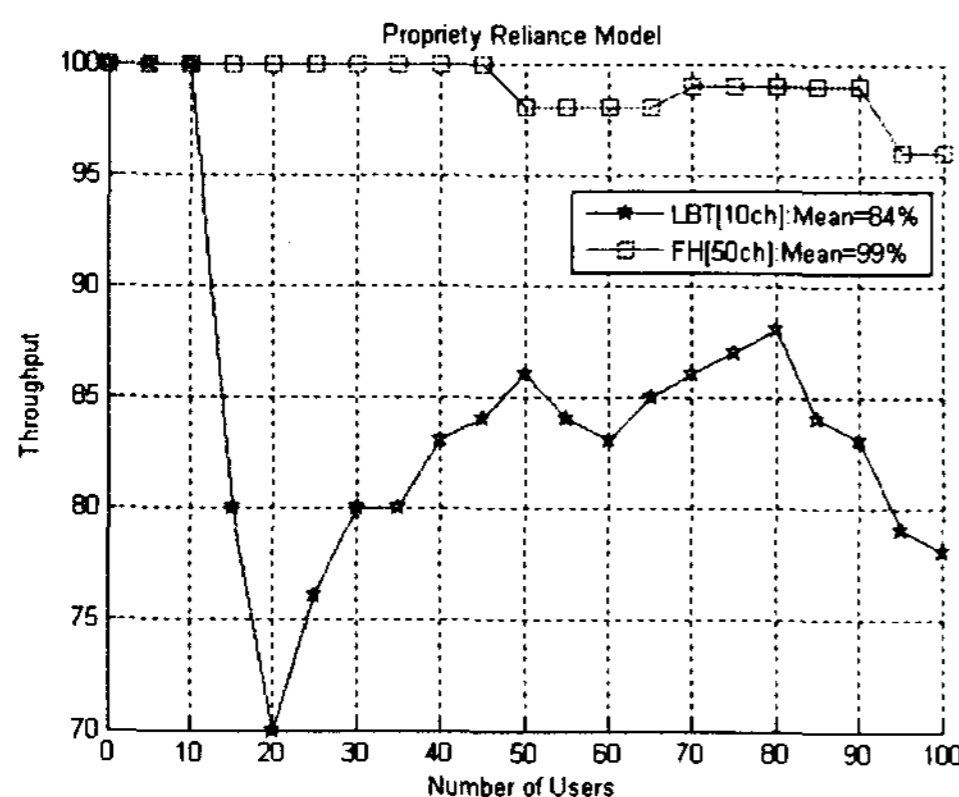


그림 2. FH / LBT 시스템의 적정 신뢰수준.

Fig. 2. The reasonable reliance level of FH & LBT system.

본 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 공통으로 사용하는 주파수 대역내에서 FH 방식과 LBT 방식의 적정 채널수를 유추하고 총 소요대역폭 산출 기법을 제시하였다. 시뮬레이션은 LBT 방식과 FH 방식을 사용하는 통신 시스템의 User 수 유추를 위해 대기행렬이론 (Queuing Theory)을 적용하였다. 대기행렬이론은 채널수 별 user의 통신시도 시간간격을 통계적으로 처리하여 통신 서비스를 시도한 user 수에 따라 서비스를 제공받은 user 수의 throughput을 분석하는데 유용한 이론이다.

## 2. 대기행렬이론(Queuing Theory)을 적용한 적정통계모델

그림 1은 LBT 시스템에서 통신을 시도하는 User의 입력 분포에 따른 throughput의 관계를 나타낸 그래프이다. 가로축은 통신을 시도하는 user 수, 세로축은 통신 성공률을 나타내는 throughput이다. 각각의 입력분포는 정규분포와 지수분포를 비교하였다. 적용된 LBT 모델은 채널수 10개, 채널점유시간 4sec, 채널 사용 후 동일 채널은 0.1sec 후에 사용하도록 설정하였다. 시뮬레이터는 대기행렬이론이 적용된 Pritsker Co.의 Awesim!이 사용되었다.

그림 1에서 user의 입력분포가 정규분포와 평균값이 0.5인 지수분포를 따를 때, 그 간격이 LBT 시스템의 채널

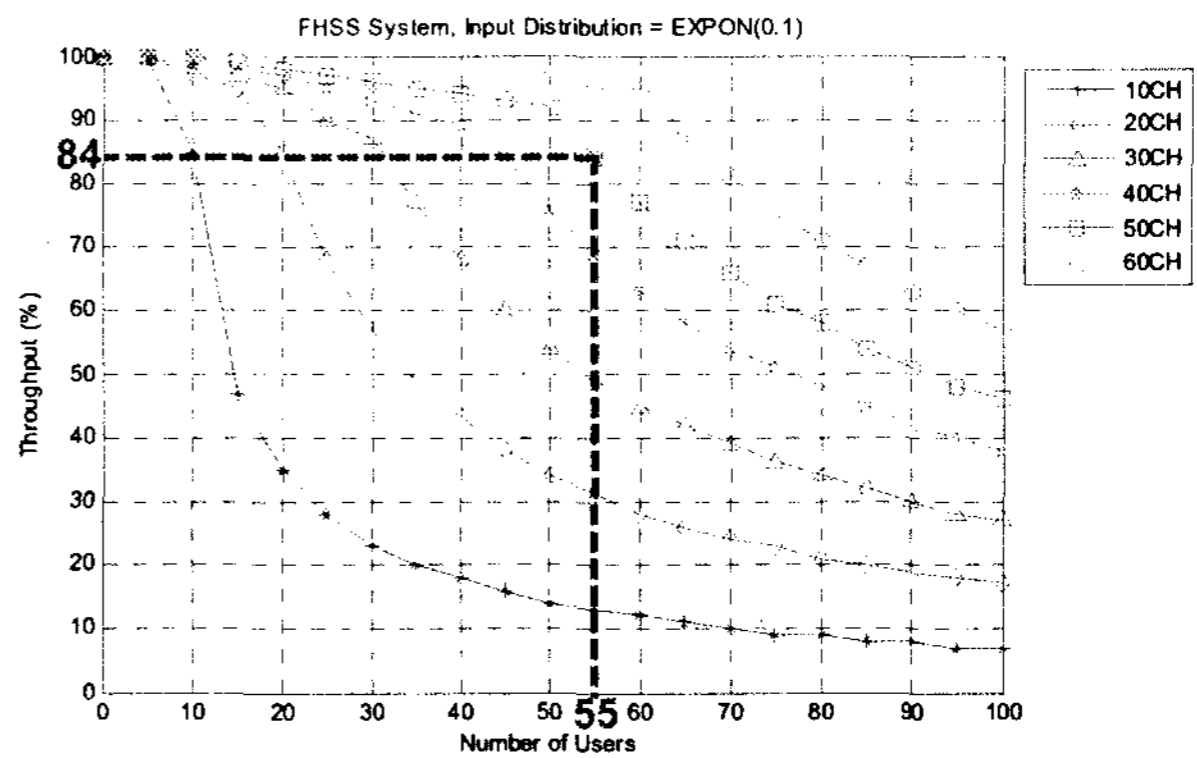


그림 3. FH 시스템에서 채널수의 변화에 따른 Throughput의 변화.

Fig. 3. The throughput to follow change of the number of channels and users in the FH system.

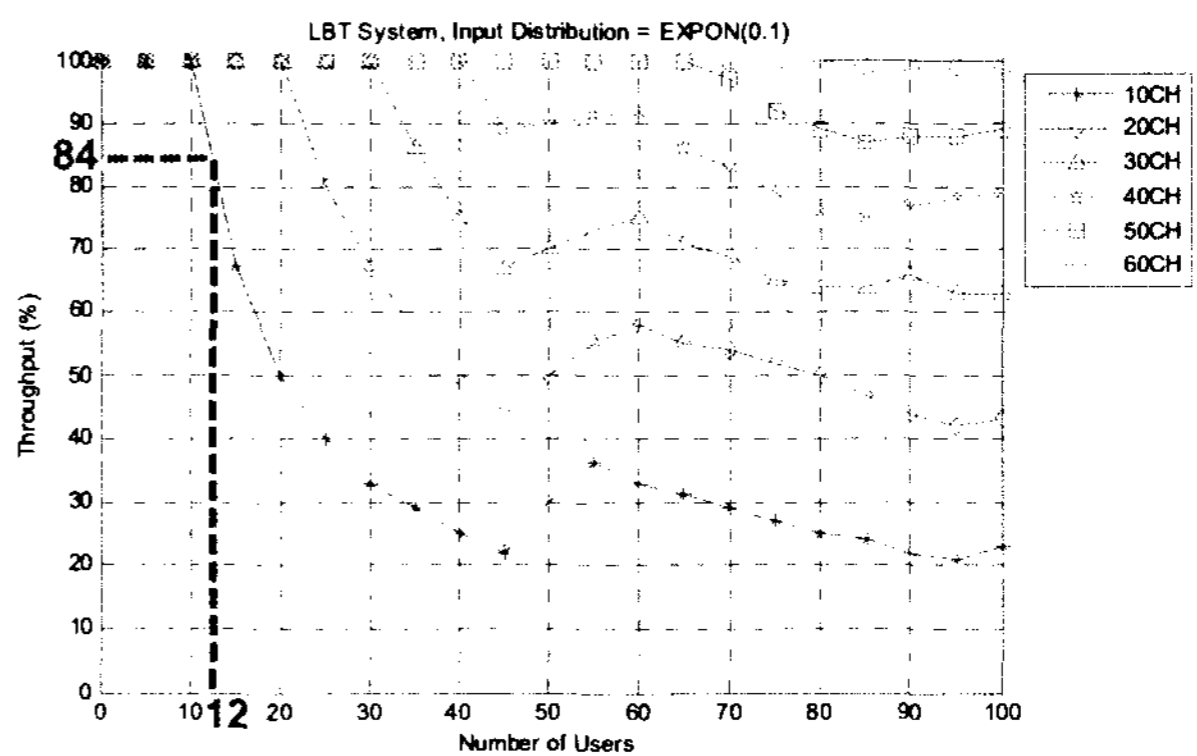


그림 4. LBT 시스템을 이용하는 시스템에서 채널수의 변화에 따른 Throughput.

Fig. 4. The throughput to follow change of the number of channels and users in the LBT system.

점유시간인 4초만큼 충분히 넓으므로, 발생 user의 0.5인 지수분포를 따를 때, 그 간격이 LBT 시스템의 채널점유 시간인 4초만큼 충분히 넓으므로, 발생 user의 80%정도가 채널을 사용함을 알 수 있다. 본 논문에서는 worst case를 고려하여 평균값이 0.1인 지수분포를 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

## 3. 적정통계모델에 따른 채널수와 서비스 가용 User수의 관계 분석

### 3.1 통신 시스템의 적정 신뢰수준

그림 2는 FH와 LBT 시스템의 입력분포가 평균 0, 분산 1을 가지는 표준 Gaussian 분포일 경우 채널수별 throughput을 나타낸다. 통신 시도 간격이 표준 Gaussian 분포를 따른다는 것은 통신 환경이 안정적인 조건임을 의미 한다. 여기서 user 수의 변화에 따른 throughput의 평균을 통신 시스템의 적정 신뢰수준이라 정의하며, 시뮬레이션 결과는 이 신뢰수준을 기준으로 분석한다. 그림 2에 나타난 바와 같이 10개의 채널수를 가지는 LBT 시스템의 적정 신뢰수준은 84%이며, 50개의 채널수를 가지는 FH 시스템의 적정 신뢰수준은 99%

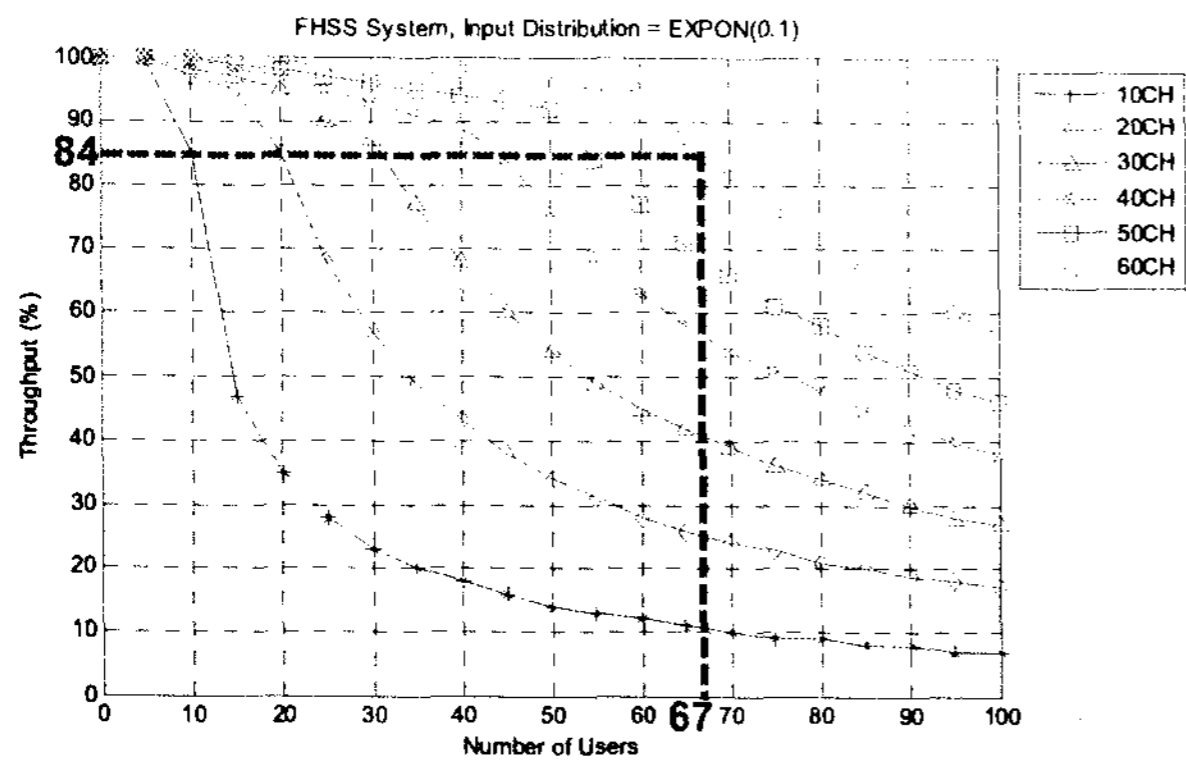


그림 5. FH 시스템에서 67 User 수와 적정 신뢰수준을 만족하는 채널수.

Fig. 5. The number of channel for satisfied at 67 users and reasonable reliance level in using FH system.

표 1. 시스템 밀도.

Table 1. Density of system.

(RFID/USN용 주파수분배방안연구 참조)

| Output Power | Density (N/km <sup>2</sup> ) | Range         |
|--------------|------------------------------|---------------|
| 1W           | 20                           | 10m           |
| 250mW        | 40                           | 5m            |
| 100mW        | 40                           | 3.5(estimate) |
| 50mW         | 90                           | 2m            |

[ Density = N/Km<sup>2</sup> ]

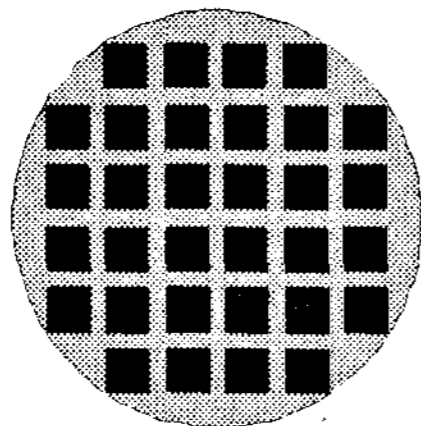


그림 6. 서비스 용도에 따른 실제 시스템 개수의 표현.

Fig. 6. Display about the number of real systems by applications.

이다.

본 논문에서는 FH와 LBT 시스템이 공존하는 통신환경을 가정하였으므로 신뢰수준의 하한치는 LBT의 신뢰수준인 84%를 적용한다.

### 3.2 FH 시스템의 호핑 채널수와 서비스 가용 User 수의 관계

그림 3은 FH 방식만을 이용하는 user수의 변화에 따른 throughput을 채널수 별로 나타낸 그래프이다. 가로축은 user 수, 세로축은 throughput을 나타내며, 채널수가 10, 20, 30, 40, 50, 60의 조건에서 throughput 결과를 보았다. user의 통신시도 간격은 평균값이 0.1인 지수분포이다. FH 시스템에서 채널 점유시간은 0.4sec로 가정하였으며, 다른 채널로의 이동시간은 0.01sec를 가정하였다[6-9].

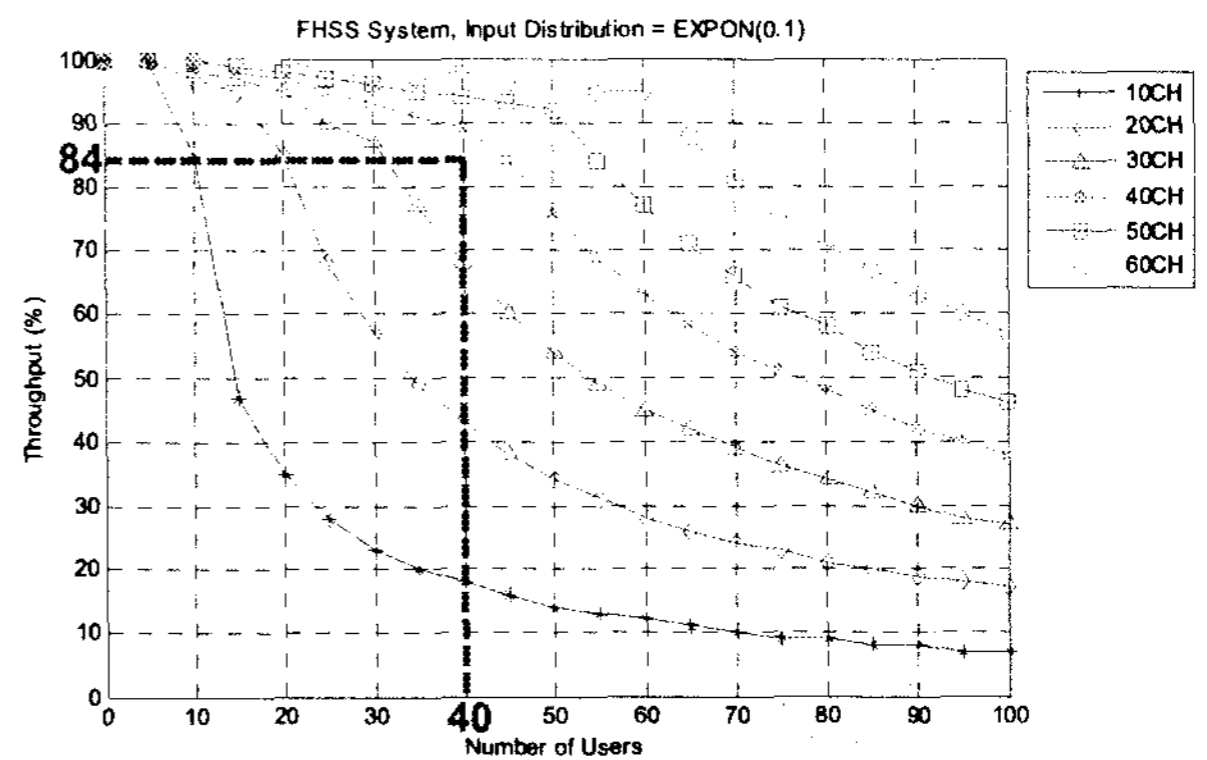


그림 7. FH 시스템에서 40 Users 와 Throughput 84%를 만족하는 채널수.

Fig. 7. The number of channel at 84% throughput & 40 users in using FH system.

공통으로 사용하는 주파수 대역에서 사용되는 소출력 무선기기가 DCP, RFID, Bluetooth, ZigBee 라고 가정하였을 때, FH 시스템을 사용하는 시스템은 DCP, RFID, Bluetooth가 된다. DCP가 10채널, RFID가 20채널, Bluetooth가 23개의 채널을 필요로 하므로, FH 시스템은 총 53개의 채널이 필요하다[13-15].

그림 3을 통해서 50 채널의 FH 시스템이 throughput 84%만족하는 user 수는 약 55임을 알 수 있다.

### 3.3 LBT 시스템의 채널수와 서비스 가용 User 수의 관계

그림 4는 LBT 시스템을 이용하는 user수의 변화에 따른 throughput을 채널수별로 나타낸 그래프이다. LBT 시스템은 다른 사용자의 채널 점유여부를 확인하여 유휴채널을 감지하고 통신하는 방식이다. 가로축은 User 수, 세로축은 throughput을 나타내며, 채널수가 10, 20, 30, 40, 50, 60의 조건에서 throughput 결과를 보았다. User의 통신시도 간격은 평균값이 0.1인 지수분포이다. 채널 점유시간은 4sec, 채널 사용 후 같은 채널은 0.1sec 후에 사용하도록 하였다[10-12].

DCP, RFID, Bluetooth, ZigBee 중 LBT 방식을 사용하는 무선기기는 ZigBee 이며, 최소 10개 이상의 채널수가 요구된다[16-17].

그림 4를 통해서 10채널의 LBT 시스템이 throughput 84%만족하는 user 수는 약 12임을 알 수 있다.

## 4. FH방식과 LBT방식의 적정 채널수 산출

앞의 두 시뮬레이션의 결과에 따라 FH 방식은 50개의 채널에서 55 users, LBT 방식은 10채널에서 12 users로 총 user 수는 67이 된다. 만약 LBT 시스템과 FH시스템의 채널당 주파수대역폭이 동일하다면, 공통으로 사용하는 주파수 대역에서 사용될 소출력 무선기기의 채널수는 60개가 요구되며, 67의 user가 적어도 84% 이상의 통신 성공률을 확보해야한다.

그림 5는 67의 user 수에서 적정 신뢰수준인 84%를 만족하는 채널수가 60채널임을 보였다. 따라서 채널 대역폭이 동일하다는 조건에서 LBT 시스템은 FH 시스템으로 가정하여도 무난하다.

표 1은 RFID/USN용 소출력 무선기기의 출력 및 시스템의 밀도 그리고 소출력 무선기기의 반경을 나타내고

있다. 소출력 무선기기를 대표하는 RFID/USN용인 경우에 일반적으로 250mW를 사용하는 소출력 무선기기의 서비스개수(User 수)는 40 으로 볼 수 있다[7-8]. 따라서 그림 7에 나타난 것과 같이 채널당 주파수대역이 동일한 소출력 무선기기가 FH 방식을 사용하는 경우, user수 40에서 FH 시스템의 적정 신뢰수준을 만족하는 채널수는 약 35개가 필요함을 알 수 있다.

LBT 시스템과 FH 시스템이 공존하는 공통 사용 주파수대역의 총 소요대역폭은 채널당 대역폭에 채널수를 곱한 값으로 산출할 수 있다.

## 5. 결 론

최근 주파수 자원의 효율적 사용과 급변하는 ubiquitous 시대에 보다 유연한 대처를 위하여 다양한 전파형식, 통신방식의 무선통신 시스템들이 공통으로 사용되는 주파수 대역에 관한 연구가 CR기술의 연구와 더불어 활발하게 진행되고 있다.

CR 구성을 전제로 공통으로 사용하는 주파수 대역 내에서 혼용되는 통신기기들의 user 수를 만족하는 총 소요대역폭의 산출은 매우 중요한 작업이다. 공통으로 사용하는 주파수 대역의 총 소요대역폭 산출은 소출력 무선기기의 간섭 회피 기술로 사용되는 Frequency Hopping (FH) 및 Listen Before Talk (LBT) 방식이 고려되어야 한다.

본 논문에서는 LBT 방식을 사용하는 ZigBee와 FH 방식을 사용하는 DCP, RFID, Bluetooth 등의 소출력 무선기기가 공통으로 사용하는 주파수 대역에 공존할 경우를 가정하고, 대기행렬이론 (Queuing Theory)을 적용하여 소요대역폭 산출을 수행했다. 채널수 별 user의 통신 시도에 따른 throughput을 통신 시스템의 적정 신뢰수준에 근거하여 분석한 결과, throughput 84% 이상의 조건에서 FH 및 LBT 방식을 사용하는 250mW 소출력 무선기기들이 공존하는 공통 사용 주파수대역의 적정 채널수는 35개를 가지며, 총 소요대역폭은 채널수와 채널대역폭의 곱으로 산출이 가능함을 보였고, 이러한 접근방법은 다른 통신시스템의 소요대역폭 산출에도 유용할 것이다.

## 참 고 문 헌

[1] 정보통신부 주파수 정책과, "FACS 제도", 2006.02  
 [2] 한국전자통신연구원 "FACS 대역 전송용량 분석 연구" 2006.  
 [3] 김성권, 정명래, 박구만, 최성진, 이광직, "SDR과 연계된 CR 기술의 발전 및 개요", 방송통신학회지, 제11권, 제1호, p.11~p.27, 2006. 3.  
 [4] 한국전자통신연구원, "전파이용설비의 기술기준 및 표준화 정책에 관한 연구", 2001. 7. 16.  
 [5] 정보통신부, "생활밀접형 신규서비스용 주파수 이용제도 개선연구", 디지털 코드리스 폰의 주파수. 분배를 위한 중간 연구 결과 보고서, 2005. 12. 31.  
 [6] Klaus Finkenzeller, RFID Handbook, WILEY, 2003.  
 [7] 정보통신부, "RFID 주파수이용방안 연구", 2003.12.  
 [8] 정보통신부, "RFID/USN용 주파수 분배방안 연구", 2004. 12.

[9] MindBranch Asia Pacific Co. Ltd, "Bluetooth Technology Overview", 2005.11  
 [10] 한국전파진흥협회, "ZigBee 및 차량용(TPMS, RKE) 주파수 분배방안 연구", 2005.12.31  
 [11] John G. Proakis, Masoud Salehi, Contemporary Communication Systems, Brooks/Cole, 2000.  
 [12] ETRI, "FCC Part 15정리 및 소출력 기기에 적용기준 분석", 2006. 02.23  
 [13] 배성호, 조하나, 조승일, 이광희, 강상기, 황택진, 홍헌진, 차재상, 이일규, 양충모, 김갑기, 김성권, "공유주파수대역의 실현을 위한 Digital Cordless Phone의 소요대역폭에 대한 고찰", 전자파기술 하계학술대회, p.124, 2006. 6.  
 [14] 조승일, 배성호, 조하나, 이광희, 강상기, 황택진, 홍헌진, 차재상, 이일규, 양충모, 김갑기, 김성권, "900MHz 대역에서 소출력 무선기기 RFID의 소요 주파수 대역에 관한 고찰", 전자파기술 하계학술대회, p.34, 2006. 6.  
 [15] 조하나, 배성호, 조승일, 이광희, 양충모, 강상기, 이일규, 황택진, 차재상, 홍헌진, 김갑기, 김성권, "공유 주파수 대역의 실현을 위한 Bluetooth의 소요 대역폭에 대한 고찰", 전자파기술 하계학술대회, p.38, 2006. 6.  
 [16] 이광희, 배성호, 조하나, 조승일, 홍헌진, 이일규, 차재상, 황택진, 양충모, 강상기, 김갑기, 김성권, "주파수의 효율적 사용 방안에 근거한 ZigBee의 주파수 소요대역폭에 대한 고찰", 전자파기술 하계학술대회, p.128, 2006. 6.  
 [17] Jerry D. Gibson, The Mobile Communications, IEEE Press, 1996.