

## 주파수 간섭의 이해, 분석 방법, Sub-GHz 주파수대역 적용 사례

### Frequency Interference, Analysis Method, and Application Examples of Sub-GHz Frequency Band

윤 현 구 · 장 병 준\*

Hyungoo Yoon · Byung-Jun Jang\*

#### 요 약

무선기기의 급속한 확산과 광대역화 추세로 인해 증가하는 주파수 수요 요구에 적절히 대응하기 위해서는 주파수 스펙트럼을 효율적으로 사용하는 것이 매우 중요하다. 하지만 모든 무선기기는 자유공간에 전파를 방사하므로 타 무선 기기에 주파수 간섭을 줄 수 있으며, 이러한 주파수 간섭에 대한 막연한 두려움으로 타 무선기기의 사용을 배제한다면 주파수 스펙트럼의 효율적인 사용은 요원하다. 따라서 주파수 간섭을 정량적으로 분석하여 합리적인 주파수 간섭 대책을 세우는 것이 매우 중요하다. 이에 본 논문에서는 무선기기에서 발생하는 주파수 간섭을 총간섭전력의 개념으로 설명할 수 있음을 보인다. 하지만 실제의 경우, 다양한 이유로 이러한 접근법의 한계가 있음을 주파수간섭 이슈가 많은 Sub-GHz 대역의 면허대역과 비면허대역에서 주파수간섭을 고려한 실제 주파수 할당 사례를 통해 설명한다.

#### Abstract

Utilizing the frequency spectrum efficiently is critical to properly respond to increasing frequency demands owing to the rapid spread of wireless devices and the latest broadband technology trends. However, because all wireless devices emit radio waves into air, frequency interference with other wireless devices can be caused. If the use of these wireless devices is restricted owing to uncertain fears of such frequency interference, efficient utilization of the frequency spectrum becomes difficult. Therefore, it is crucial to quantitatively analyze frequency interference and establish a reasonable countermeasure against it. Therefore, this study shows that the frequency interference generated by wireless devices can be explained in terms of total interference power. However, practically, this approach is limited for various reasons. These shortcomings are discussed herein through an actual frequency allocation case considering frequency interference in the licensed and unlicensed bands of the sub-GHz band, in which several frequency interference issues are faced.

Key words: Frequency Interference, Spectrum Usage, Wireless Communication, Interference Mitigation, Local Regulation

#### I. 서 론

전 세계 이동통신 주파수 경매 과정에서 볼 수 있듯이

이동통신 주파수의 가치는 수십조에 육박할 정도로 매우 높다. 게다가 주파수를 필요로 하는 분야는 이동통신 외에도 방송, 공공, 국방, 비면허 대역 등 다양한 분야가 있

명지전문대학 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Myongji College)

\*국민대학교 전자공학과(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

· Manuscript received November 13, 2020 ; Revised November 24, 2020 ; Accepted January 25, 2021. (ID No. 20201113-003S)

· Corresponding Author: Byung-Jun Jang (e-mail: bjjang@kookmin.ac.kr)

으며, 새로운 무선기기의 출현과 급속한 확산, 그리고 광대역화 추세로 주파수 수요 요구는 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 현실적으로 사용 가능한 주파수는 100 GHz 이하로 한정되어 있어서, 주파수 부족 현상은 시간이 갈수록 심화될 것으로 예상된다<sup>[1]~[3]</sup>.

이렇게 증가하는 주파수 수요 요구에 적절히 대응하기 위해서는 주파수 스펙트럼을 효율적으로 사용하는 것이 매우 중요하다. 하지만 모든 무선기기는 안테나를 통해 자유공간에 전파를 빛의 속도로 방사하므로 타 무선기기에 간섭을 줄 가능성이 있다. 보통 무선기기는 특정 주파수대역을 사용하고, 동작주파수 대역이 같은 경우에만 간섭이 발생하므로 무선기기 간의 간섭을 주파수 간섭(frequency interference)이라고 부른다. 이러한 주파수 간섭에 대한 막연한 두려움으로 타 무선기기와 주파수를 공동사용할 수 있음에도 하지 않거나, 심지어 인접 주파수 대역을 사용하는 것조차 못하게 한다면 주파수 스펙트럼의 효율적인 사용은 요원할 수밖에 없다. 따라서 주파수 간섭을 정량적으로 분석하여 막연한 두려움을 없애고, 만약 발생한다면 이를 극복할 수 있는 합리적인 방안을 기술기준에 포함시키는 것은 효율적인 주파수 스펙트럼 사용을 위해 매우 중요한 일이다<sup>[4]</sup>.

이런 정책적, 경제적 중요도에 비하여 주파수 간섭에 대한 연구는 체계적이지 못한 것이 현재의 상황이다. 그 이유는 주파수 간섭의 연구는 오랜 역사가 있으며, 각 시기별로 접근법이 달랐기 때문이라 판단된다. 예를 들어 무선기술의 태동기에서는 무선기기가 많지 않았을 뿐만 아니라, 주파수 간섭에 약한 아날로그 방식이 대부분이었으므로 주파수를 각 기술별로 할당하고, 보호대역이나 공간상의 이격으로 보호하는 방식을 사용하였다. 당시 무선기기는 사용이 많지 않았고, 무선기술도 협대역 기술이 대부분으로 보호대역이나 보호 영역을 설정하는 것만으로도 주파수 간섭을 없앨 수 있었다. 이러한 방식의 대표적인 예로는 AM과 FM 라디오방송, 지상파TV방송 등에서 볼 수 있는데, 이런 방송대역은 채널 간 충분한 주파수 이격 및 송신기 간 공간 이격을 주고 있으며, 방송국 송신소의 경우에는 접근 금지 구역으로 설정하여 보호하고 있다<sup>[5]</sup>.

이후 무선통신 기술이 발전하여 디지털화가 이루어진

이후에는 주파수 재사용(frequency reuse) 기술이 등장하여 같은 대역 내에서는 주파수 간섭을 극복하는 다양한 기술적 진보가 등장하게 되었다. 하지만 과거 아날로그 방식의 기술과 최신 디지털 기술이 혼재되어 있는 주파수 대역 전체 관점에서 주파수 간섭 문제는 과거와 같이 보호대역이나 공간적인 이격 등을 사용하는 방식이 지속될 수밖에 없었다. 여기에 면허대역의 경우, 주파수 사용료를 징수함에 따라 면허대역을 보호할 필요가 있게 되었다. 따라서 실제로는 존재하기 어려운 최악의 경우까지 고려한 주파수 간섭 시나리오를 가정하고, 이러한 시나리오 상에서도 면허대역을 보호하도록 하는 주파수간섭 연구가 주로 이루어져 왔다. 이에 따라 면허대역의 과도한 보호 논란이 발생되고 있으며, 이동통신 외에 타 무선기술은 도태되어 이동통신 기술로 대체되는 현상까지 발생되고 있다. 철도통신이나 공공통신 등에서 LTE 등의 이동통신 기술이 사용되는 것이 그 대표적인 예이다<sup>[6]</sup>.

다행히 무선기술이 등장한 초기부터 비면허 대역으로 할당된 주파수 대역의 경우에는 면허대역으로부터 자유로울 뿐만 아니라, 간섭을 용인하고 사용하는 것이 기본적인 전제이었으므로 타 무선기기와 주파수 공동사용을 위한 다양한 기술이 발전하였다<sup>[7][8]</sup>. 또한, 비면허 대역의 기술기준도 초기부터 주파수 공동사용을 전제로 제정되어 왔다. 하지만, 비면허 대역에서도 기술적 특성이 다른 각각의 기술들이 경쟁함에 따라 먼저 진입한 무선기술들이 주파수 간섭을 이유로 신규 도입되는 무선기술들을 배제하려는 시도 또한 다양하게 전개되고 있다<sup>[9][10]</sup>.

이상과 같이 주파수 간섭은 주파수 간섭 시나리오와 연구자의 의도에 따라 다양한 방식으로 접근되어 왔으며, 이에 따라 보편적인 주파수 간섭 연구방법론이 존재하지 않고, 시나리오 별로 파편적인 연구결과가 발표된 것이 현재의 상황이다. 따라서 특정 시나리오를 벗어나 주파수 간섭을 큰 틀에서 살펴보고, 중립적인 시각에서 향후 주파수 간섭에 대한 전반적인 방향에 제시하는 것이 필요한 시점이라고 저자들은 판단하고 있다.

이에 본 연구에서는 주파수 간섭에 대한 막연한 두려움을 없애고자 무선기기에서 발생하는 주파수 간섭의 원인을 설명하고, 총간섭전력의 개념으로 주파수 간섭의 양을 계산할 수 있음을 보인다. 총간섭전력을 주파수 간섭

이슈가 많은 Sub-GHz 대역을 예로 들어 설명한다. 이러한 시도는 향후 주파수 정책의 방향을 일관되게 유지하는데 도움이 될 수 있을 것이다. 이러한 의도에 맞게 본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 먼저, II장에서 주파수 간섭을 정의하고, 총간섭전력으로 계산하는 방법을 제시한다. III장에서는 면허대역에서의 주파수간섭의 주요 고려사항을 살펴보고, 주파수간섭 극복 사례를 살펴본다. 그리고 IV장에서는 면허대역과는 다른 상황인 비면허대역에서 주파수 간섭의 사례와 한계를 살펴보고, 마지막에 결론을 맺는다.

## II. 주파수 간섭 이론

주파수 간섭을 분석하기 위해서는 주파수 간섭을 정확히 정의하는 것이 먼저 필요하다. 먼저, 전파의 ‘간섭(interference)’이란 전파가 파동의 성질을 가지므로 파동의 중첩에 의해 발생하는 현상이다. 인접 지역에서 동일한 시간에 동일한 주파수를 갖는 전파는 간섭을 일으키게 되는데, 보통 무선기술은 특정 주파수에 할당되므로 주파수를 강조하여 주파수 간섭이라 부른다.

그림 1(a)와 같이 피간섭원(victim) 송신기가  $P_{TX}$ 의 전력으로 전파를 방사하고,  $d_0$  떨어진 피간섭원 수신기가 이 신호를 받는 상황에서 주변에 위치한 유하N개의 타 무선 기기들이 같은 시간에 신호를 송신한다면 피간섭원 수신기에 수신되는 신호의 신호 대 간섭비 (S/I: signal-to-interference ratio)는 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{S}{I} \approx \frac{P_{TX} d_0^{-n}}{\sum_{i=1}^N P_{TX,i} d_i^{-n}} \quad (1)$$

여기서  $n$ 은 거리에 따른 신호의 감쇄를 나타내는 지수로 자유공간에서는 2가 되지만 일반적인 무선전파환경에 따라 2보다 클 수 있다. 그리고  $N$ 은 간섭원의 수,  $d_i$ 는  $i$ 번째 간섭원과 피간섭원 수신기 사이의 거리를 의미한다. 피간섭원 수신기는 간섭신호 외에도 잡음신호가 추가되므로 식 (1)의 분모에 잡음신호를 추가하여 신호 대 간섭과 잡음비(SINR:signal-to-interference-plus-noise ratio)로 표현할 수 있다. 이제 주파수 측면에서 SINR을 그림으로 표

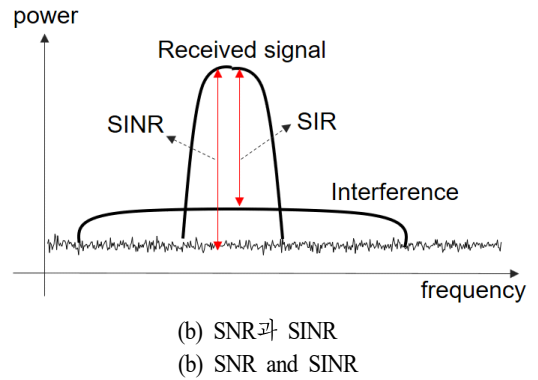
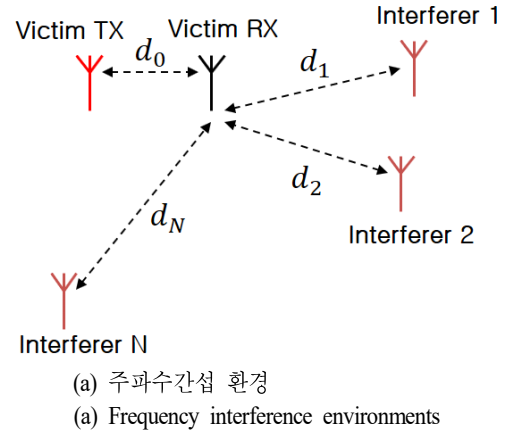


그림 1. 주파수간섭 환경과 SINR

Fig. 1. Frequency interference environments and SINR.

현하면 그림 1(b)와 같다.

열잡음은 AWGN(additive white Gaussian noise) 잡음으로 모델링할 수 있으므로 열잡음 전력  $P_N$ 은 주파수에 비례하며, 식 (2)와 같이 주어진다.

$$P_N = kTB \quad (2)$$

여기서  $k$ 는 Boltzmann상수로  $1.380 \times 10^{-23} [J/K]$ 의 값을 가지며,  $T$ 는 절대온도,  $B$ 는 주파수대역폭을 의미한다. 실온에서 열잡음전력은  $-174 \text{ dBm/Hz}$ 의 값을 가지며, 대역폭이  $1 \text{ MHz}$ 인 경우,  $-114 \text{ dBm}$ 의 전력을 갖게 된다. 즉 주파수 대역폭에 비례한다. 실제 수신기는 식 (2)의 값에 수 dB의 수신기 잡음지수와 송신과 수신에 동시에 이루어지는 FDD(frequency division duplex) 무선통신이나 레이다의 경우 송신기로부터의 누설전력이 포함된다.

이제 간섭원에 의해 피간섭원 수신기가 영향을 받을

수 있는지를 판단하기 위해서는 먼저 간섭원에 의한 총 간섭전력과 열잡음만 있는 경우의 잡음전력을 비교할 필요가 있다. 즉, 간섭원의 총전력이 열잡음보다 작다면 간섭에 의한 영향은 없다고 판단할 수 있는 것이다. 다음으로 총간섭전력을 계산하기 위해서는 간섭원의 분포와 전파특성을 살펴보아야 한다. 간섭원의 분포는 그림 2와 같이 모델링할 수 있다<sup>[11]</sup>.

그림 2는 피간섭원 주위에 간섭원들이 공간 상에 랜덤하게 분포하고, 보호 영역에는 간섭원들이 존재하지 않는다고 가정한 것이다. 보호 영역의 결정은 실제 무선기기들의 설치 방법과 사용자들의 이용방법에 따라 합리적으로 결정되어야 한다. 보호영역의 반경이  $r_{\min}$  이고,  $n=2$  인 자유공간 무선채널을 가정한 경우, 피간섭원 수신부에서 하나의 간섭원에 의한 평균간섭전력은 식 (3)과 같이 표현된다<sup>[11,12]</sup>.

$$\langle I_1 \rangle = 2I_{\max} \ln\left(\frac{D}{r_{\min}}\right) \frac{r_{\min}^2}{D^2 - r_{\min}^2} \quad (3)$$

여기서  $I_{\max}$  는 최대간섭전력으로 간섭원의 방사전력이  $P_{TX}$ 이고, 피간섭원의 거리가  $r_{\min}$  일 때 발생하므로 식 (4) 처럼 표현된다.

$$I_{\max} = P_{TX} r_{\min}^{-2} \quad (4)$$

같은 시간에 신호를 송신하는 간섭원이 그림 2와 같이  $r_{\min} \leq d \leq R$ 의 영역 내에 단위  $m^2$  당의 평균밀도  $\rho_u$ 를 갖는다면 간섭원의 평균 수는 식 (5)로 주어진다.

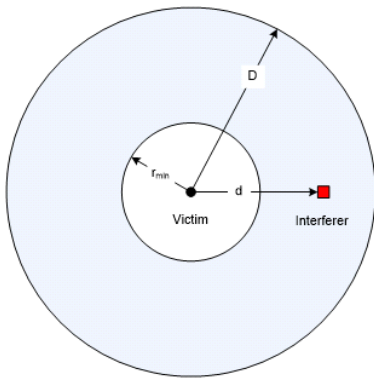


그림 2. 간섭원의 분포 모델  
Fig. 2. Geometry of interferes.

$$\langle J \rangle = \pi \rho_u (D^2 - r_{\min}^2) \quad (5)$$

이제,  $r_{\min} \leq d \leq R$ 의 영역 내에 활성화된 간섭원에 의한 평균간섭 전력은 식 (3)과 식(5)의 곱으로 주어진다.

$$\langle I \rangle = 2\pi \rho_u I_{\max} r_{\min}^2 \ln\left(\frac{R}{r_{\min}}\right) \quad (6)$$

식 (6)에서 주어진 총간섭전력은 장애물이 없는 자유공간을 계산하였으므로 최악의 경우를 의미하며, 실제로는  $n$ 이 2보다 크고, 장애물이 존재하므로 언제나 식 (6)보다는 작다.

그림 3은 국내 RFID/USN 대역에서 간섭원 출력에 따른 간섭확률을 시뮬레이션한 사례를 보여준다.  $r_{\min}$ 이 50 m이고,  $n=3.5$ 인 무선채널에서 간섭원의 수가 10개일 때 간섭원이 4 W의 대출력을 갖는 경우와 10 mW 소출력  $I$ 을 갖는 경우를 분석하였다. 만약 -90 dBm 이상의 총간섭전력이 SNR에 영향을 준다고 가정하면 10 mW의 소출력 IoT 기기의 간섭확률은 5 % 이하인데 반하여 4W 대출력 RFID 기기의 간섭확률은 70 % 이상임을 알 수 있다. 이와 같이 간섭이론을 바탕으로 간섭 시나리오를 실제와 유사하게 가정하여 파라미터 값을 정하여 총간섭전력을 계산하면 SINR을 계산할 수 있다. 이때 식 (1)에서 식 (6)까지를 계산할 때 오류를 방지하기 위하여 보통 검증된

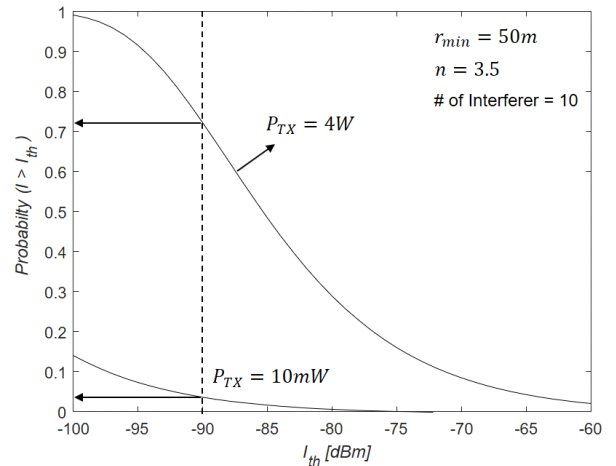


그림 3. RFID/USN 대역에서 간섭원에 따른 간섭 영향  
Fig. 3. Interference probability as a function of output power of interferer in RFID/USN frequency band.

시뮬레이터를 사용한다. 대표적인 주파수 간섭 시뮬레이터로는 유럽 ERO에서 개발하여 무료로 배포하고 있는 SEAMCAT<sup>TM</sup>이 있다<sup>[13][14]</sup>. SEAMCAT은 물리계층에서 간섭전력을 계산하는 방식인데 반하여 주파수간섭을 네트워크 계층에서 분석할 수 있는 시뮬레이터로 NS-3가 있다<sup>[9][15]</sup>. 하지만 NS-3는 네트워크 성능 분석을 위한 것으로 물리 계층은 간섭분석에는 적용된 사례가 부족하여 아직까지 대중화된 방식은 아니다

이와 같이 주파수간섭 분석은 그 자체로는 매우 간단하며, 검증된 프로그램도 존재하므로 간섭분석이 어렵지 않다. 하지만 주요 논란은 주파수간섭을 계산하는데 있지 않고, 간섭시나리오를 만들 때 발생한다. 간섭 시나리오 논의 시 피간섭원 측면에서는 간섭이 크다고 결론이 나올수록 보호받을 수 있으므로 최악의 경우를 가정하려고 하고, 간섭원 측면에서는 간섭이 작다는 결론이 나오기를 바라므로 갈등이 발생한다. 간섭 시나리오 논의 시 발생할 수 있는 주요 이슈사항은 다음과 같다.

- ① 피간섭원 수신기에 간섭원이 접근 가능성을 높게 판단한다. (즉,  $r_{\min}$ 을 비현실적으로 작게 한다.)
- ② 실제 송신하는 간섭원의 수를 높게 판단한다(즉,  $\rho_u$ 를 비현실적으로 크게 한다). 실제 간섭원 중에 시 간분할 방식을 사용하거나, 스펙트럼 센싱을 사용하는 간섭원은 가까이 있는 경우에도 송신하지 않으므로 간섭원의 수에 포함되지 않음에도 최악의 경우를 가정하여 송신하다고 판단한다.
- ③ 위의 이론을 적용할 때 식 (6)은 자유공간에서의 채널모델을 가정한 식이므로 실제 간섭전력은 이보다 작은데도 최악의 경우를 가정하여 자유공간에서 채널모델을 사용한다. 자유공간 모델은 원역장에 대한 식이므로 무선기기 간 거리가 가까운 근역장에서는 매우 부정확하다<sup>[16]</sup>.
- ④ 피간섭원의 SNR 기준을 실제 운용환경보다 지나치게 높게 잡을 뿐만 아니라, 여기에 마진을 추가하여 피간섭원을 지나치게 보호하고자 한다.

이외에도 간섭원의 분포를 균일 분포로 가정한 확률적인 결과이므로 이러한 가정 자체를 인정하지 않는 경우도 있다. 또한, 간섭을 조금이라도 피하고 싶은 피간섭원 입장에서는 최악의 경우의 이론값을 제시하여 간섭이 없

다고 분석되더라도 이를 믿지 않고 측정을 통해 검증해야 한다고 주장하는 경우도 종종 볼 수 있다. 측정할 때는 변수도 많고, 실제 발생할 수 없는 환경에서 측정을 하는 경우도 많지만, 이를 간섭에 피해를 받는다고 생각하는 쪽에서 주장하면 거부하기 어렵다. 결론적으로, 주파수 간섭은 실제 분석의 어려움보다는 사나리오 등 상호 협의에 어려움이 많다고 볼 수 있다.

### Ⅲ. 피간섭원이 면허대역인 경우 사례

주파수 간섭을 파악하고 대처방안을 세우는 것은 사용하는 간섭에 영향을 받는 주파수 대역이 면허대역인지, 비면허 대역인지에 따라 다르게 접근해야 한다. 먼저, 이동통신과 같은 주파수 사용료를 지불하는 면허대역 사용자는 배타적인 사용권을 가지고 있으므로 동일대역에서는 타 무선기기에 의한 주파수 간섭이 있어서는 안 된다. 만약 발생한다면 이는 불법 무선국이 되므로 정부에 신고하여 적발토록 하여야 한다. 한편, 면허대역 바로 옆에 위치한 인접대역을 사용하는 무선기기가 있는 경우 불요발사(스피리어스) 신호에 의한 주파수 간섭이 발생할 수 있다. 이에 대한 대처방안으로는 두 무선기기 간 주파수 이격을 위해 보호대역(guard band)을 설정하거나 인접대역 무선기기의 불요파 방사를 낮추도록 기술기준을 정해야 한다. 이때 주파수 간섭 분석을 통해 보호대역을 얼마로 설정할지, 인접대역 무선기기의 불요발사의 기술기준을 얼마로 정할지 결정하여야 하는데 이 때 주파수 간섭 분석이 필요하다.

예를 들어 국내 900 MHz 대역을 살펴보면 그림 4와 같이 면허대역과 비면허 대역이 혼재되어 있음을 알 수 있다. 특히, 917~923.5 MHz의 RFID/USN 비면허대역은 KT의 LTE 상향주파수대역(단말기 → 기지국)과 인접해 있으며, 940.1~946.3 MHz의 RFID/USN 비면허대역은 KT의 LTE 하향주파수대역(기지국 → 단말기)와 인접해 있음을 알 수 있다. 간섭 시나리오 측면에서 면허대역인 KT의 LTE 상향주파수대역에서 피간섭원은 기지국이 되며, 기지국은 보통 전봇대 위나 건물 옥상에 설치되므로 이동형 RFID/USN 기기가 접근하기 어려우므로 보호영역 반경인  $r_{\min}$ 이 수 m 이상 보장될 수 있다. 반면, KT의

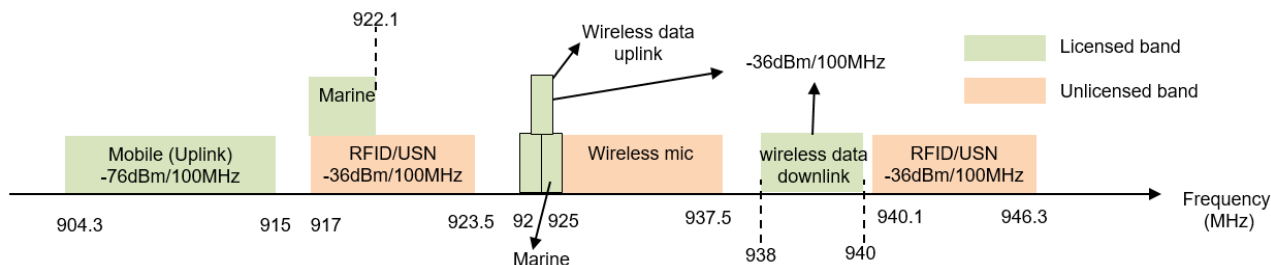


그림 4. 국내 Sub-GHz 주파수 분배 현황

Fig. 4. Korean frequency allocation for Sub GHz frequency range.

LTE 하향주파수대역에서 피간섭원은 사람들이 휴대하는 스마트폰이 되므로 RFID/USN 대역을 사용하는 IoT기기와 근접하여 사용될 수 있으므로  $r_{\min}$  이 보장될 수 없다. 따라서 간섭 시나리오 측면에서는 940.1~946.3 MHz의 RFID/USN 비면허대역에 의한 KT의 LTE 하향주파수대역에의 영향을 분석할 필요가 있다. 분석의 기준은 5% 이하의 throughput의 저하를 기준으로 한다.

940.1~946.3 MHz의 주파수 대역은 2019년에 IoT 산업의 활성화를 위해 2019년에 RFID/USN 대역으로 추가 할 당된 대역으로 기술기준 제정 시 면허대역의 간섭을 피하기 위하여 간섭 분석 및 실험을 거쳐 다음과 같은 기술 기준을 2020년 개정하였다<sup>[17]</sup>.

- ① 고출력 RFID 기기는 사용할 수 없으며, 출력이 낮은 USN 기기만 사용가능하다.
- ② 안테나 이득까지 포함한 실효복사전력은 200 mW 이하로 제한한다.
- ③ 대역제한이 없는 경우, 듀티사이클(DC: duty cycle) 규정을 0.1 %로 제한한다. 듀티사이클을 사용하지 않는 기기에 비해 1/1,000로 간섭전력이 작아진다.
- ③ 200 kHz의 대역제한이 있는 경우에는 듀티사이클(DC: duty cycle) 규정을 5 %로 할 수 있다. 단, 주파수 호핑(FH: frequency hopping)이나 송신전 신호감지(LBT: listen before talk) 등의 간섭회피 기능을 추가적으로 사용한다.
- ④ 1 GHz 이하에서 불요발사 영역을 -36 dBm/100 sMHz로 제한한다. 하지만, KT의 이동통신 하향 주파수 대역에 해당하는 불요발사 기준값은 대역제한이 없는 경우에는 -64 dBm/100 kHz로 한다. 대

역제한이 있는 경우에는 -76 dBm/100 kHz로 한다.

이상의 기술기준 개정 시 이론적인 간섭 분석은 이루어지지 않았으며, 실제 실험을 통해서 면허대역 기기와 비면허대역 기기를 최단 거리에 위치시킨 후 간섭 측정이 이루어졌다. 비록 기술기준은 개정되었으나, 개정된 기술기준은 IoT 기기 입장에서는 출력이 낮고 듀티사이클 조항으로 다양한 서비스가 어려우며, 추가적인 고주파 필터 등이 포함으로 제작단가가 높아질 수 있는 어려움이 발생할 수 있어 안타까운 결과라 할 수 있다. 하지만 주파수 사용료를 지불하는 배타적인 면허대역 사용자의 보호 요구를 거부하기 어려운 것도 현실이다.

#### IV. 비면허 대역 내에서의 간섭분석 사례

비면허 대역의 경우, 용도가 지정되어 있는 경우에는 해당 용도의 무선기기만이 사용되므로 주파수간섭의 이슈는 크지 않다. 예를 들어 77~81 GHz를 사용하는 차량충돌 레이더 주파수 대역은 차량충돌 레이더로만 사용되므로 레이더 간의 간섭만 극복하면 된다. 이는 레이더 자체의 기술로 해결될 수 있는 것이므로 이 경우, 주파수 간섭 이슈는 크지 않다고 볼 수 있다. 하지만 주파수 간섭을 이유로 대역폭을 추가적으로 요구하는 경우는 발생할 수 있으므로 이 경우 동일 무선기기 간의 정량적인 주파수 간섭 분석은 필요하다.

한편, 무선 LAN의 사례에서 볼 수 있듯이 비면허대역의 사용이 지속적으로 확대되고 있으므로 특정 비면허대역을 기술방식이 다른 무선기기들이 공동사용하려는 요구가 지속적으로 발생하고 있다. 특히, Sub-GHz의 경우,

주파수 전파 특성이 우수하므로 주파수 공동사용 수요가 많은 주파수 대역이다. Sub-GHz 주파수 공동사용의 대표적인 사례로는 917~923.5 MHz RFID/USN 대역을 들 수 있다<sup>[18]</sup>. 이 주파수 대역에서는 최초에는 RFID 기술로 사용되었으나, 이후 IoT 기기의 등장으로 Z-wave 등의 IoT 기술이 포함되었고, 수년 전에는 LoRa 기술이 새롭게 포함되게 되었다. 이러한 3가지 주요 기술이 하나의 주파수 대역을 공동사용하기 위한 기술기준 개정 시 나중에 포함되는 무선기술을 사용하는 무선기기가 기존에 사용 중인 무선기기에 주파수 간섭을 줄 수 있다는 우려가 제기되었다. 당시 새로운 기술이 포함될 때마다 간섭의 영향이 분석되어 실제 운용 환경에서는 그림 3과 같이 출력이 높은 RFID와 동일 주파수를 사용하는 경우를 제외하고는 대부분의 운용 환경에서 5 % 이하의 간섭 확률만이 발생하여 주파수 공동사용이 가능성이 제시되었으나, 연구반에서 받아들여지지 않았다<sup>[11]</sup>.

이에 정부에서는 기술기준 개정을 통해 그림 5와 같이 어느 정도 주파수 대역을 나누어 사용하는 것으로 우선 정리하였다. 하지만 이런 방식으로는 장기적으로 비면허 대역의 활성화에 지장을 줄 수밖에 없고, 미래에 새롭게 출현할 수 있는 무선 신기술을 기존에 존재하는 무선기기에 주파수간섭을 줄 수 있다는 우려로 사용을 제약하거나, 심지어는 시장에서 퇴출되는 경우도 발생할 수 있다. 따라서 주파수간섭을 이유로 특정 무선기기가 비면허 주파수 대역을 독점하여 사용하지 못하도록 주파수 간섭 분석을 통해 여러 무선기기가 동일한 조건에서 사용할 수 있는 합리적인 노력이 필요하다. 이를 통하여 많은 무

선기기들이 공동사용될 수 있는 조건을 정하는 노력이 지속되어야 한다.

## V. 결 론

본 논문에서는 증가하는 주파수 수요 요구에 적절히 대응하기 위해서는 주파수 스펙트럼을 효율적으로 사용하는 것이 중요하며, 이 때 발생할 수 있는 주파수 간섭 이슈를 슬기롭게 극복할 필요가 있음을 살펴보았다. 특히, 주파수 간섭을 총간섭전력의 개념으로 정량적으로 분석하여 합리적인 주파수 간섭 대책을 세우는 것이 매우 중요함을 보였다. 하지만, 실제 상황에서는 합리적인 주파수간섭 분석 결과가 받아들여지지 않고 최악의 경우만을 가정하여 실제 기존 무선기기의 기득권이 유지되는 상황이 지속되고, 있음을 Sub-GHz 주파수 대역의 면허대역과 비면허대역의 사례를 들어 설명하였다. 이러한 한계에도 불구하고 향후 새로운 무선기기의 출현을 돕기 위해서라도 주파수 간섭에 대해 관련 종사자들이 지속적인 관심을 갖기를 희망한다. 특히, 주파수는 국가 발전의 중요 인프라이므로 향후 면허대역과 비면허대역 모두를 포함하여 주파수 스펙트럼 전체를 효율적으로 사용되는 방향으로 주파수 간섭 이슈가 해결되기를 바란다.

## References

- [1] J. Reed, M. Vassiliou, and S. Shah, "The role of new technologies in solving the spectrum shortage," in *Proceedings of the IEEE*, Jun. 2016, vol. 104, no. 6, pp. 1163-1168.
- [2] Y. Kang, "An efficient frequency utilization policy for UAS in hyper: Connectivity era," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 26, no. 10, pp. 914-923, Oct. 2015.
- [3] S. Y. Lee, "Spectrum-band prioritization scheme for establishing efficient spectrum: Use policy," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 6, pp. 452-466, Jun. 2019.
- [4] J. P. Choi, W. C. Lee, "Study on the introduction of spectrum policy to revitalize the domestic spectrum sharing," *The Journal of Korean Institute of Electroma-*

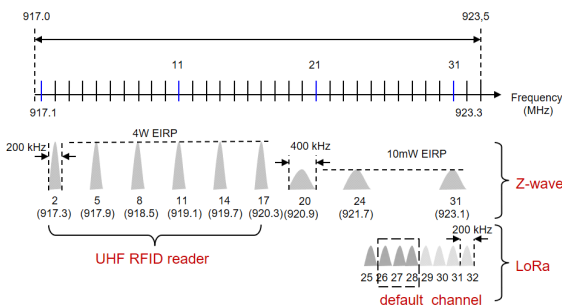


그림 5. 917~923.5 MHz RFID/USN 대역 주파수할당<sup>[18]</sup>  
Fig. 5. 917~923.5 MHz RFID/USN band allocation<sup>[18]</sup>.



- getic Engineering and Science*, vol. 29, no. 3, pp. 200-213, Mar. 2018.
- [5] Y. M. Cheng, I. K. Cho, and I. K. Lee, "Analysis on interference impact of WiFi on DTV," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 36, no. 11, pp. 1357-1362, Nov. 2011.
- [6] H. Cho, H. K. Kim, and I. Sohn, "Research on co-channel interference analysis of jointly deployed LTE-based railway communication systems and public safety communication systems and their coexistence strategy," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 42, no. 6, pp. 1276-1284, Jun. 2017.
- [7] L. Polak, J. Milos, "Performance analysis of LoRa in the 2.4 GHz ISM band: Coexistence issues with Wi-Fi," *Telecommunication Systems*, vol. 74, pp. 299-309, Mar. 2020.
- [8] R. Natarajan, P. Zand, and M. Nabi, "Analysis of coexistence between IEEE 802.15.4, BLE and IEEE 802.11 in the 2.4 GHz ISM band," in *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Florence, Oct. 2016, pp. 6025-6032.
- [9] B. J. Jang, S. Choi, and H. Yoon "Interference analysis and its mitigation policy based on MAC layer for peaceful co-existence between unlicensed devices," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 24, no. 8, pp. 841-848, Aug. 2013.
- [10] S. Lee, J. Um, H. Yoon, and B. J. Jang, "Performance comparison and its verification of spectrum sharing technologies using interference load concept," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no. 3, pp. 177-185, Mar. 2017.
- [11] H. G. Yoon, M. S. Kang, and B. J. Jang, "Coexistence of RFID and USN systems in the frequency bands 908.5~914 MHz," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 19, no. 6, pp. 647-656, Jun. 2008.
- [12] J. E. Padgett, R. A. Ziegler, "Analysis of the interference temperature concept to support spectrum sharing between licensed services and unlicensed devices," *Telcordia Technologies*, Piscataway, NJ, 2004.
- [13] European Conference of Postal and Telecommunication Administrations, "SEAMCAT - Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool." Available: <https://cept.org/eco/eco-tools-and-services/seamcat-spectrum-engineering-advanced-monte-carlo-analysis-tool>
- [14] A. Rosalina, R. Munadi, and A. Fahmi, "Coexistence LTE with GSM and UMTS - performance analysis using seamcat simulation," in *2015 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNESTAT)*, Bandung, 2015, pp. 68-73.
- [15] ns-3 project, "ns-3 network simulator - tutorial." Jan 09, 2021, Available <https://www.nsnam.org/docs/release/3.33/tutorial/ns-3-tutorial.pdf>
- [16] S. Blanch, J. Romeu, and A. Cardama, "Near-field in the vicinity of wireless base-station antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 50, no. 5, pp. 685-692, May 2002.
- [17] Ministry of Science and ICT, "Technical standards for radio equipment for radio stations that can be opened without reporting," *Notice 2020-59*, 2020.
- [18] H. Yoon, J. Um, and B. J. Jang, "Performance analysis of a LoRa device on duty cycle local regulation of Korean RFID/USN frequency band," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no. 2, pp. 113-119, Feb. 2017.



윤 현 구 [명지전문대학/교수]

<https://orcid.org/0000-0001-5722-2438>



1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

2002년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

2002년~2004년: (주)현대시스콤 선임연

구원

2004년~현재: 명지전문대학 전자공학과 교수

[주 관심분야] 통신시스템, 무선자원관리, 간섭회피방안

장 병 준 [국민대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-5295-6050>



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1995년 3월~1999년 1월: LG전자(주)

1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소

2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원

2013년 9월~2015년 8월: 미래창조과학부 민간전문가(CP)

2005년 9월~현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수

[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템, 전파응용