

효율적인 스펙트럼을 위한 간섭관리 방안

김종헌 | 전상현

광운대학교

요 약

본고에서는 복잡해지는 전파환경에서 해로운 간섭으로부터 무선기기들을 보호하기 위한 간섭관리에 대한 패러다임의 변화와 이를 위한 정량적인 기준으로 제안된 간섭온도를 소개한다. 특히, 기존의 송신기 중심의 간섭관리에서 수신기 중심의 간섭관리를 위한 간섭온도의 개념을 설명하고 이를 이용한 주파수의 효율적 이용 방안에 대하여 살펴본 후 이에 대한 쟁점사항들을 알아본다.

1. 서 론

무선통신 기술의 급속한 발전으로 인하여 언제 어디서나 이동 중에도 손쉽게 무선 서비스를 이용할 수 있을 뿐만 아니라 보다 다양한 무선 서비스들이 제공되고 있고 새로운 무선 서비스들에 대한 연구 및 개발이 가속화되고 있다. 더욱이 우리나라는 유비쿼터스 IT사회의 진입을 위한 노력을 경주하고 있으며, 유비쿼터스 시대에는 기존의 음성 및 데이터 위주의 무선통신 서비스가 멀티미디어 서비스로 전환되는 추세에 따라 전파자원에 대한 수요가 급격히 증가할 것으로 예상하고 있고 이에 따른 전파이용기술의 발전 및 미 사용대역 활용으로 주파수 자원에 대한 수요가 점진적으로 확대될 것이 분명하다.

따라서 유비쿼터스 시대에 적합한 유연한 주파수 자원을 공급할 수 있는 체계로의 전환이 필요하며, 급증하는 주파

수 이용에 대비한 개방형 스펙트럼 정책의 필요성을 인식하여 우리나라는 물론 주요 국가들도 주파수 용도, 기술조건 등 규제완화 및 비면허 대역 확대 등을 검토하여 새로운 주파수 정책들을 수립하고 있다. 기술적인 측면에서도 지능형 무선기술, 주파수 공유기술, 다중 안테나 및 센싱 기술 등 주파수를 효율적으로 사용할 수 있는 새로운 기술들이 제시되고 있으며 이러한 기술들에 대한 적용 방안들이 제안되고 있다.

그러나, 유비쿼터스 IT 사회화에 따른 주파수 자원의 수요 증가와 관련하여 특히 주목할 만한 사항은 새로운 무선 서비스들을 위한 근거리 소출력 무선기기들의 사용이 증가할 것이고 이로 인하여 무선환경이 지금보다 훨씬 더 다양해지고 복잡해질 것이라는 것이다. 그리고 이들 소출력 무선기기들은 허가 없이 사용이 가능한 비허가 무선국들이기 때문에 이들 기기에 의한 간섭피해에 대한 우려가 증가할 것이며, 이로 인한 전파환경에서의 간섭관리가 점점 더 어려워질 것으로 예측된다.

따라서 이러한 환경에서 해로운 간섭으로부터 기존에 허가를 취득한 무선국들과 무선 서비스 사용자들을 어떻게 보호할 것인가에 대한 것이 쟁점사항으로 대두되고 있으며, 기존의 열악하지 않았던 전파 환경에서의 간섭관리 방법으로부터 앞으로의 전파환경에 적합한 새로운 간섭관리 방법의 제시가 요구되고 있다.

새로운 간섭관리를 위한 요구사항들로는 먼저 실시간 스펙트럼 사용에 대한 정량적인 기준의 필요성, 간섭에 대한 보다 정량적인 측정 방법, 그리고 간섭온도와 같이 측정된 간섭을 정량적으로 표시할 수 있는 새로운 미터법의 채택

등을 들 수 있다.

본고에서는 새로운 간섭관리 방법으로 제시되고 있는 간섭온도에 대한 배경과 개념들을 정리하고 간섭온도의 모델링 방법과 주파수의 효율적인 이용을 위한 간섭온도 적용방안과 시사점들에 대해서 알아본다.

II. 국내외 동향

1. 미국

미국은 2002년 6월 주파수 사용에 대한 공공의 이익 증진 및 스펙트럼 정책의 변화를 지원하기 위해 Spectrum Policy Task Force (SPTF)를 설립하였다. 또한, Interference Protection, Spectrum Efficiency, Unlicensed Devices and Experimental Licenses, Spectrum Rights and Responsibilities의 Working Group을 가동하여 이들 활동결과들을 보고서로 발표하였다 [1]. 이 보고서에서 SPTF는 간섭완화를 위한 권고로써 간섭온도를 간섭관리를 위한 정량적인 기준으로 채택하도록 권고하고, 간섭온도 미터법의 설정, 추가적인 간섭제어 방법모색, 다양한 주파수 및 지형에서 RF Noise Floor 데이터 취득, 송신기 중심으로부터 수신기 중심의 간섭관리로의 전환 등을 권고 하였다.

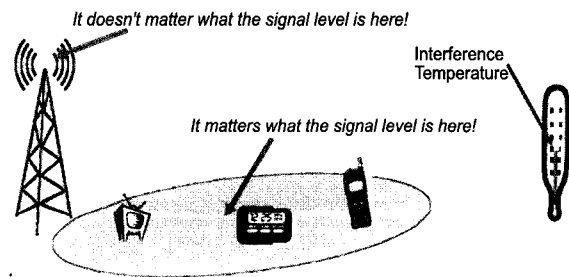
2003년 11월에는 FCC의 Notice of Inquiry and Notice of Proposed Rulemaking을 통해서 간섭을 정량화 하고 관리하기 위해 간섭온도 모델을 도입하고, 간섭평가 방법의 패러다임 전환의 필요성에 의하여 기존의 송신기 기반의 간섭관리로부터 향후에는 송수신기 사이의 상호작용을 고려한 수신기 기반으로의 전환의 필요성을 제시하였다 [2].

현재의 간섭관리는 송신기 중심에서 관리되고 있으며 인접지역 또는 인접 주파수 대역에서 동작하는 서비스들에 간섭을 유발하지 않도록 한다.

이는 피면허자의 송신기에 대한 신호세기, 최대 송신 전력, 안테나 높이, 대역외 방사등을 제한하여 간섭이 발생하지 않도록 관리한다. 그러나 SPTF는 송신기에서 규제되고 있는 이러한 기술적 파라미터들과는 상관없이 수신기가 주변 전파환경을 감안하여서 수신기에 수신되는 신호 및 간섭 레벨을 결정할 수 있는 수신기 중심의 간섭관리를 제시하고

있다 (그림 1).

다시 말해서, 스펙트럼 관리의 전통적인 정책과 규정은 특정 주파수 대역에 동작하는 송신기의 방사량과 위치를 조절하여 주파수를 관리하는 방식이었고, 이러한 관리 방법은 지금까지 스펙트럼의 효율적인 관리에 큰 문제가 없었다. 그러나 최근에 와서는 주파수 기반 서비스의 전체적인 요구가 급증하고, 이동서비스의 주파수 사용증가와 제한된 주파수로의 접속의 증가로 인해 정책과 규정 변화의 필요성이 제기되고 있으며, 특히 보다 유연하고 시장중심의 스펙트럼 관리방법이 요구되고 있기 때문에 좀 더 효율적인 간섭관리를 제안하고 있는 것이다.

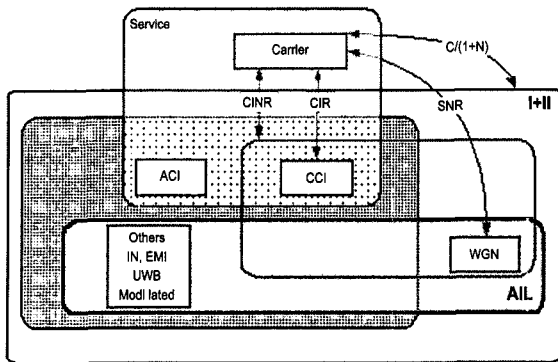


(그림 1) 수신기 중심의 간섭관리 개념

2. 영국

영국은 최근에 2007년 6월 ITU-R SG1 WP1C 회의에서 “Contribution to the study of techniques for the measurement of radio noise in radio applications”라는 제목의 기고문의 발표를 통해서 Ambient Interference Level (AIL)을 정의하고 AIL 측정 알고리즘 제안했으며 이 알고리즘을 이용한 측정 결과를 발표하였다 [3].

AIL은 주변 스펙트럼 환경의 측정을 통해 간섭을 정량적으로 나타낸다는 것은 간섭온도의 개념과 유사하나 희망 신호의 변조형식이 AIL에 미치는 영향을 주로 언급하고 있고, AIL에 포함된 Adjacent channel interference (ACI), Co-channel interference (CCI) 때문에 희망신호의 변조형식에 따라 AIL에 미치는 영향이 다르다는 것에 중점을 두고 있다 (그림 2).



(그림 2) Ambient Interference Level

3. 한국

우리나라의 경우에도 소출력 무선기기 중소기업 및 비허가 소출력 무선국들이 지속적으로 증가하고 있는 실정이며 2003년부터 2년에 걸쳐 소출력 무선국 이용제도 개선을 통하여 무선국의 분류체계를 새롭게 정립하고 유사 용도들을 통합한바 있다.

그러나 소출력 무선기기 중소기업들이 개발한 시제품들에 대한 전파간섭 실험환경이 부족하고 새로운 기술 도입에 따른 전파간섭 실험 및 분석 기능이 아직 미비하여 전파간섭 실험 및 분석체계 구축을 위한 방안이 제시되다 [4]. 또한, 주파수 공유를 위한 기술 기준화된 전파 간섭 실험 및 연구환경을 조성하여 간섭측정 기준 마련 및 유연성 있는 전파간섭 실험환경을 구현하고자 한다. 그리고, 전파간섭 실험 및 분석환경 센터의 구축을 통하여 중소기업 중심의 비허가 소출력 무선기기 제품 개발 전에 전파간섭 실험환경을 지원하고 소출력 및 신규 무선기기 전파간섭 실험 환경을 구축하려 한다.

III. 간섭온도 모델링

간섭온도는 대역폭 당 하나의 수신기 시스템에 나타나는 원하지 않는 전력 방출기와 잡음원의 합에 의해 생성된 RF 전력의 등가온도로 정의한다. 간섭온도의 개념은 안테나 온도의 개념과 같으나, 간섭관리의 관점에서는 안테나 온도보

다는 간섭온도라는 용어가 더 적합하기 때문에 간섭온도라는 용어를 사용한다.

간섭온도는 식(1)과 같이 수식으로 표시할 수 있다.

$$T_I = \frac{P_I(F_c, B)}{kB} \quad (1)$$

여기서 P_I 는 대역폭 B 를 점유하는 평균간섭전력, k 는 볼츠만 상수를 나타낸다.

또한, 간섭온도 밀도는 단위 영역당 간섭 온도로서, 간섭 온도를 수신 안테나의 유효 캡처 구역으로 나눈 값이다. 간섭온도 밀도는 수신 안테나의 특성에 비종속적인 값으로 식 (2)와 같다.

$$D_{IT} = \frac{T_I}{A_{eff}} [^{\circ}K/m^2] \quad (2)$$

여기서 A_{eff} 는 수신안테나의 유효캡처 구역을 나타낸다.

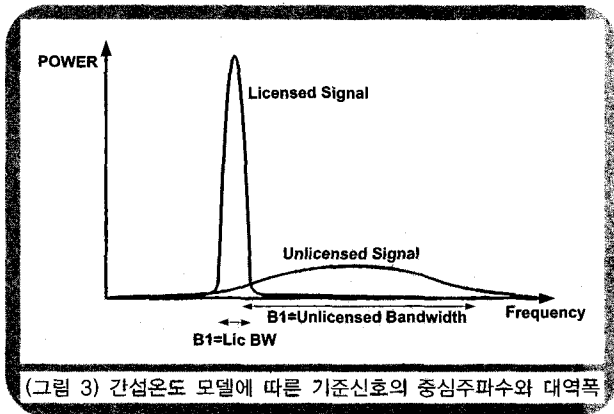
디지털 수신기의 경우, 수신기의 noise floor와 안테나 유효 면적에 의한 간섭온도 밀도를 계산할 수 있다.

간섭온도는 간섭을 정량화하여 관리하는 파라미터로 간섭 온도의 모델을 이용하여 허가 주파수 대역에서 비허가 무선 기기들이 현재의 간섭환경을 측정할 수 있게 하고, 그 측정 값을 기준으로 자신의 전송특성을 조절함으로써 허가 주파수 대역에서 비면허 무선기기들의 사용을 가능하게 한다. 따라서 간섭온도 모델은 스펙트럼 사용의 유연성을 증가시킬 수 있으며 송신기가 아닌 수신기 입장의 간섭관리가 가능하고 원치 않는 송신기들과 잡음원들로부터 발생하는 모든 원치 않는 무선 에너지의 누적 효과를 고려하여 보다 정확한 간섭의 양을 정의할 수 있다.

또한, 단 한번의 측정으로 간섭과 잡음의 특징을 단일 숫자로 나타낼 수 있으며 송신기와 수신기 간의 상호작용을 고려한 간섭평가가 가능하다.

간섭온도 모델은 간섭온도를 측정하고자 하는 수신기 대상의 중심주파수와 대역폭에 따라서 Ideal IT Model 과 Generalized IT Model로 구분할 수 있다. Ideal IT Model 은 (그림 3)에서의 면허 받은 무선기기의 중심주파수와 대역폭을 기준으로 주변 간섭을 측정하는 것이며, Generalized IT Model은 이와는 반대로 비면허 무선기기의 중심주파수와 대역폭을 기준으로 주변 간섭을 측정한다 [5].

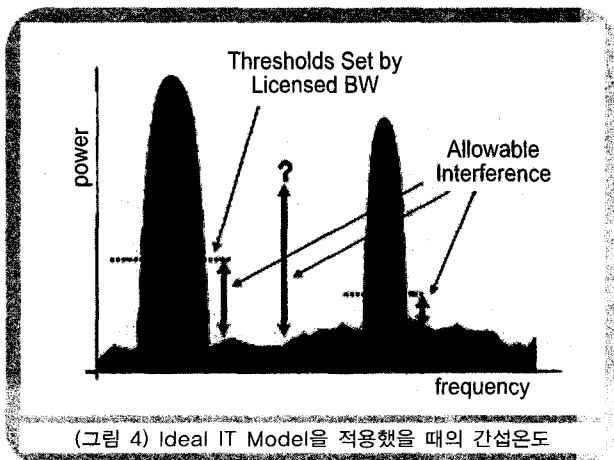
Ideal IT Model과 Generalized IT Model 적용의 가장 큰 차이점은, 간섭온도를 측정하고자 하는 주파수 대역에서의 신호환경 정보의 유무에 따른다. 즉, 간섭과 잡음으로부터 면허신호를 구분할 수 있고 면허신호에 대한 정보를 미리 알고 있으면 Ideal IT Model을 적용 할 수 있으며, 그렇지 않을 경우는 Generalized IT Model을 적용 할 수 있다.



(그림 3) 간섭온도 모델에 따른 기준신호의 중심주파수와 대역폭

1. Ideal IT Model

Ideal IT Model은 (그림 4)와 같이 면허신호의 중심주파수와 대역폭을 기준으로 면허신호와 겹치는 대역폭에 한해서만 간섭온도를 측정하고 계산한다. 즉, 각각의 면허신호에서의 사용 가능한 비면허신호의 간섭온도를 계산하게 되며, 간섭온도 한계치(IT Limit) 역시 각각의 면허신호 대역에 따라 다르게 적용된다. 그리하여, Ideal IT Model의 경우, 면허신호 대역 밖에서의 간섭온도와, 간섭온도 한계치는 간섭온



(그림 4) Ideal IT Model을 적용했을 때의 간섭온도

도 계산에서 불필요하다.

Ideal IT Model을 적용했을 때의 간섭온도의 관계는 식 (3)과 같다.

$$T_i(f_i, B_i) + \frac{T_i}{kB_i} \leq T_L(f_i) \quad \forall 1 \leq i \leq n \quad (3)$$

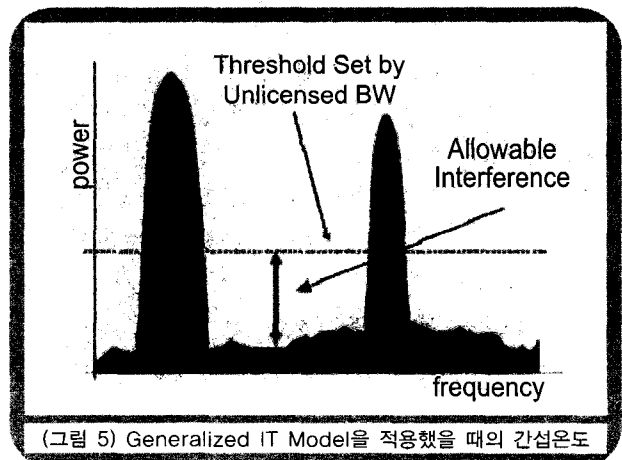
n개의 면허신호의 간섭온도 T_i 와 면허신호 대역폭에서의 비면허신호의 간섭온도 MP/kB_i 를 계산하여, 그 합이 간섭온도 한계치를 넘지 않아야 한다. 이때, M_i 는 비면허 전송기와 면허받은 수신기 사이의 페이딩과 경로손실로 인한 감쇄를 나타내는 0~1사이의 상수를 나타낸다.

2. Generalized IT Model

Generalized IT Model은 신호환경에 대한 정보가 없으며, 간섭과 잡음으로부터 면허신호를 구분할 방법이 없으므로, 신호와 대역폭의 다른 해석을 가지게 된다. 즉, 면허신호의 중심주파수와 대역폭을 기준으로 하는 것이 아니라 (그림 5)와 같이 전체 주파수 범위에서 간섭온도 모델을 적용해야 한다. 이때의 간섭온도 한계치는 전체 주파수 대역에서 간섭온도를 측정하여 계산하므로, 모든 대역에 걸쳐 동일한 값을 가지게 된다.

Generalized IT Model을 적용했을 때의 간섭온도 관계는 식 (4)와 같다.

$$T_i(f_c, B) + \frac{MP}{kB} \leq T_L(f) \quad (4)$$



(그림 5) Generalized IT Model을 적용했을 때의 간섭온도

식(4)는 식(3)과 달리, 주파수 f_c 와 대역폭 B가 측정하고자 하는 비면허 수신기의 항목으로 표현된다.

이러한 간섭온도 모델은, 정량적인 간섭의 양을 필요로 하는 여러 곳에 적용되어 사용될 수 있다. 그 한 예로써, 정해진 오류 발생률 내에서 채널을 통해 최대로 전송할 수 있는 정보의 양인 채널 전송용량을 구하는데 적용될 수 있다.

간섭온도를 이용한 전송용량 계산 절차는 다음과 같다:

- 비면허 기기가 주변환경에서의 간섭온도를 측정
- 비면허 기기 자신이 사용할 수 있는 간섭 온도를 계산함

$$\text{Licensed signal's IT} + \text{Unlicensed signal's IT} \leq \text{IT limit}$$
- 허용되는 간섭온도 조건 하에서, 간섭온도 모델을 이용하여 비면허 기기의 통신을 위해 요구 되는 전송용량을 계산

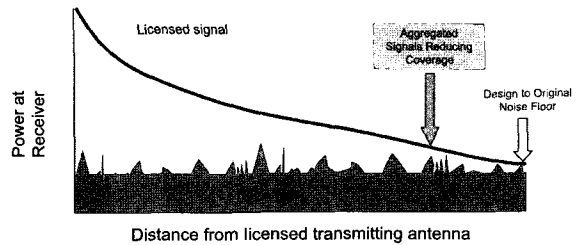
또한, 비면허 송신기의 통신을 위한 전송용량 값들이 정해질 경우, 전송용량 값을 만족하는 비면허 송신기의 사용 가능한 간섭온도 값과 대역폭 B를 결정할 수 있다. 이때 Hill Climbing Approach와 Fixed Point Iteration 등을 이용하여, 비 면허 송신기의 전송용량을 알고 있을 때, 전송용량을 만족하는 대역폭을 구할 수 있다.

IV. 간섭온도를 이용한 주파수 공유 방안

간섭온도는 스펙트럼의 효율적 사용을 촉진시키고, 주파수의 추가적이거나 새로운 사용의 기회를 가능하도록 하며, 간섭을 통제하고 관리하기 위한 새로운 접근방법으로 제안되고 있다. 또한 간섭온도를 사용함에 따라 무선서비스 피면허인에게 최대 허용된 간섭에 대한 확실성과 허가 대역에 존재하는 유해한 간섭에 대해 보다 강력한 보호를 제공할 수 있도록 하고자 한다. 특히 이러한 간섭온도는 비면허, 소출력 기기들의 스펙트럼 공유를 통한 스펙트럼 사용의 효율을 증가 시키는데 목적을 두고 있다.

(그림 6)은 간섭온도 한계치를 고려하지 않았을 경우, 허가 받은 무선국의 송신 안테나로부터 일정 거리 떨어진 수신기에서의 수신전력을 보여준다. 일반적인 통신 시스템은 전송

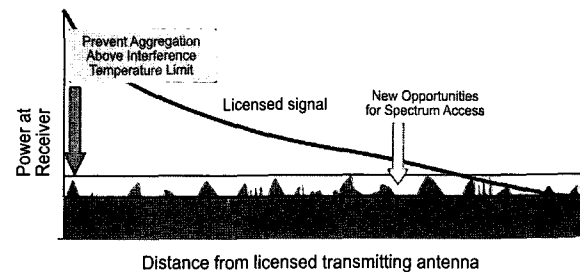
안테나로부터 신호세기가 noise floor의 레벨에 도달하는 거리까지 동작하도록 디자인 되어있다. 이 때문에 시간이 지남에 따라 새로운 사용자들과 비면허 기기의 많은 이용이 이루어지게 되면 부가적인 간섭신호들이 발생하게 되고 결과적으로 예측 불가능하게 noise floor가 증가 할 수 있다. 결과적으로 면허신호의 송신기는 아무런 경고 없이 coverage가 줄어들 수 있으며, 계속해서 간섭신호가 추가되면 면허 기기의 coverage는 더욱 악화되게 된다.



(그림 6) 간섭온도 한계치를 고려하지 않았을 경우 수신기의 수신전력

반면, (그림 7)과 같이 간섭온도 한계치를 고려했을 경우에는, 간섭온도 한계치가 적용된 통신 시스템이 각 대역에서의 허용 가능한 간섭을 간섭온도 한계치 이하로 정량화 할 수 있다. 때문에 주파수 사용을 허가받은 사용자들이 각 대역에서의 전체적인 잡음 또는 간섭의 최대 허용레벨을 확인할 수 있다. 또한 간섭온도 한계치를 초과하지 않는 범위 내에서 소출력 기기들을 이 대역에서 사용할 수 있으므로, 결국 주파수 공유를 통한 이용효율을 증가 시킬 수 있다.

그러나, 간섭온도의 일반적인 구현에 관한 쟁점사항은 비허가, 소출력 기기들의 사용자들은 면허기기로 허가받은 주



(그림 7) 간섭온도 한계치를 고려하였을 경우 수신기의 수신전력

과수대역에 접속하기를 원하기 때문에 높은 간섭온도 한계치를 선호하는 반면, 피면허자들은 간섭으로부터 운용을 보장받기를 원하기 때문에 낮은 간섭온도 한계치를 선호한다. 따라서 주과수 대역별로 간섭온도 한계치를 설정하는 것이 쉽지 않은 실정이다.

간섭온도 한계치에 대한 운용 방법으로 다음과 같은 방안들을 생각할 수 있다.

첫째, 개별 비허가 무선기기가 현재의 위치에서 간섭온도를 측정하여, 측정값과 자신에 의해서 발생한 에너지 값을 기초로 전송여부를 결정하는 것이다. 즉, 자신의 위치에서 측정된 간섭온도가 간섭온도 한계치보다 낮으면 전송하는 것이다.

두 번째 방법으로, 면허 서비스의 수신사이트가 간섭온도를 측정하는 것이다. 이 지역에서 간섭온도 프로파일을 계산하기 위해서 중앙 사이트와 특정정보를 교환한다. 또한 이 지역에 대한 간섭온도 값들을 나타낸 메시지와 기기들이 특정 주파수들에 대해서 전송할지 여부를 방송한다. 결국 이러한 방법은 주어진 영역에서 소수의 수신 사이트들을 갖는 고정 점대점 서비스에 적합하다.

세 번째 방법으로, 감시국들이 지속적으로 특정한 대역에서 RF 에너지 레벨을 검사하고 수집한 데이터들을 통해서 간섭온도를 구한 후 간섭온도를 측정된 주파수와 위치정보를 담은 데이터들을 송신기들에게 보내 개별기기들이 자신의 전송량에 의한 온도 증가를 계산하여 송신을 결정하는 것이다. 이는 가장 간단한 방법으로 네트워크상에 있는 모든 송수신기들이 간섭온도계와 GPS 수신기를 장착하여 운용된다.

한편, 기기가 간섭온도 한계치를 초과하였을 때의 경우에는 환경이 변할 때까지 전송 중지 또는 다른 전송 주파수를 선택하거나, 자동송신 전력 제어기에 의한 송신전력감소, 송신안테나 패턴의 방향 또는 패턴 변경 등의 조치를 할 수 있다.

이를 위한 기기의 요구사항으로는 송신 전에 가능성이 있는 동작 주파수들을 스캔 할 수 있어야 하며, 각 주파수에 대해서 간섭온도 양의 예측을 계산할 수 있어야 하고 적합한 운용을 위한 주파수를 선택할 수 있어야 한다. 또한 간섭온도를 감시하여 측정된 레벨이 한계치에 근접하거나 초과하면 전력을 맞추거나, 다른 주파수로 전환하거나 안테나를

조정하거나 또는 송신을 중지할 수 있어야 하며, 간섭완화 기술 적용이 요구된다.

간섭 완화 기술은 유사 서비스간의 간섭을 회피하기 위한 기술로써, 주과수 공유대역에서 신규서비스가 도입되었을 때 사용된다. 또한 기존 서비스로의 간섭영향을 줄이거나 이종서비스간 동일 주파수 채널을 공유하기 위한 목적으로 사용된다. 이러한 간섭 완화 기술로는 FHSS, LBT, DAA 등이 있다[6].

V. 결 론

비허가 소출력 무선기기들의 사용이 증가되는 환경에서 이들 기기들에 의한 간섭피해에 대한 우려가 증가하면서 가까운 미래에 적합한 전파환경에서의 간섭관리 방안이 요구되고 있다. 그리고 한가지 방안으로 간섭온도와 이를 이용한 주파수의 효율적인 사용방안이 제시되었다. 본고에서는 간섭관리를 위한 간섭온도의 배경과 개념들을 살펴보았으며 간섭온도의 이용방안과 이를 위하여 요구되는 기술들을 소개하였다.

기존에 제시된 Underlay 공유방안의 경우에는 간섭으로 운용을 보장받기 위하여 낮은 간섭온도 한계치 설정을 요구하는 허가 무선기기들과 이와는 반대로 허가 무선기기들의 Link Budget의 감소와 무관하게 허가대역에서의 주파수 공유가 용이하도록 높은 간섭온도 한계치 설정을 요구하는 비허가 무선기기간의 대협으로 실질적인 적용방안의 진전이 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

그러나, 간섭온도의 개념을 기반으로 한 새로운 이용방안들에 대한 연구들이 본 저자를 비롯하여 일부 진행되고 있어서 조만간 간섭온도의 유용한 적용방안들이 제시될 수 있을 것으로 기대된다.

VI. 감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터 지원사업 (IITA-2006-(C1090-0603-0041))의 연구 결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] FCC, "Spectrum Policy Task Force Report," ET Docket No. 02-135, Nov. 2002.
- [2] FCC, "Established of an Interference Temperature Metric to Quantify and Manage Interference and to Expand Available Unlicensed Operation in Certain Fixed, Mobile and Satellite Frequency Bands ", Notice of Inquiry and Notice of Proposed Rulemaking," ET Docket No. 03-237, Nov. 2003.
- [3] UK, "Contribution to the study of techniques for the measurement of radio noise in radio applications," ITU-R SG1 WP1C Contribution, Jun. 2007.
- [4] 배석희, 최기갑, "전파간섭실험 및 분석체계구축 기본 계획(안)," 전파연구소, 2006년 12월.
- [5] T. C. Clancy, "Dynamic Spectrum Access in Cognitive Radio Network," Ph.D. Thesis, University of Maryland, 2006.
- [6] 김종현, 홍헌진, "유연한 오픈 주파수대역," 한국전자과학회지, 17권 3호, 2006. 7.

약 력



김종현

1984년 광운대학교 전자통신 공학과 졸업 (공학사)
 1990년 독일 Ruhr University Bochum 전자공학과 졸업 (공학석사)
 1994년 독일 Dortmund University 전자공학과 졸업 (공학박사)
 1995년 ~ 현재 광운대학교 전파공학과 교수
 1999년 ~ 현재 ITU-R SG1 연구위원
 2005년 ~ 현재 IT 국제표준화전문가
 2005년 ~ 현재 스펙트럼공학 정책연구센터 연구위원
 관심분야: 스마트 선형화기 및 전력증폭기, 스펙트럼 공학, 마이크로파 센서



전상현

2005년 광운대학교 전파공학과 졸업 (공학사)
 2007년 광운대학교 전파공학과 졸업 (공학석사)
 2007년 ~ 현재 광운대학교 전파공학과 박사과정
 관심분야: 스마트 선형화기, 스펙트럼 공학

