

스펙트럼 이용 계량화 방법

(A Method for Quantifying Spectrum Use)

김 영 수* · 이 형 수** · 정 영 호** · 강 상 원*** · 정 진 옥****

(Young Soo Kim*, Hyung Soo Lee**, Young Ho Jeong**, Sang Won Kang*** and Jin Wook Jeong****)

요 약

본 논문에서는 기존 무선통신 시스템의 스펙트럼 이용정도를 계량화할 수 있는 스펙트럼 이용척도 모델을 연구한다. 이모델은 간섭 예측프로세스의 EMC 분석기법을 적용하여 송신기와 수신기사이의 간섭레벨을 계산한다. 많은 기존연구가 무선시스템의 주위에 간섭 등고선을 구성함으로써 스펙트럼 자원을 묘사한 반면에 조사한 방법은 무선시스템이 이용하고 있는 스펙트럼자원을 계량화하여 지형적인 영역 위에 묘사할 수 있도록 개발되었다. 스펙트럼 이용척도 모델인 스펙트럼 이용대역폭과 스펙트럼 이용요소의 계산을 검증하고 그 모델의 유용성을 분석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

Abstract

In this paper, we study the Spectrum Use Measure(SUM) model for quantifying the extent of spectrum use by existing radio communication systems. This model calculates the interference level between transmitters and receivers by applying the EMC analysis technique of interference prediction process such as antenna radiation pattern model and propagation model which are well known. While several previous works have described the spectrum resources by constructing the interference contours around existing radio systems, the SUM technique is developed for quantifying and portraying the spectrum resources used by radio communication systems in a geographic area. Computer simulation results are illustrated to verify the calculations for the Spectrum Use Bandwidth(SUB) and Spectrum Use Factor(SUF) performed by the SUM model and find the usefulness of the SUM model.

* 경희대학교 전자공학과
** 한국전자통신연구소 전자파공학연구원
*** 한양대학교 제어계측공학과
**** 성균관대학교 정보공학과

I. 서 론

통신시스템에 의해 “이용되는” 스펙트럼 자원을 계량화하려는 초기의 노력들에는 어떤 스펙트럼 자원 공간상에서 다른 시스템들에게 내주지 않은 주파수, 물리적 공간, 그리고 시간 자원들을 표시하는 것과, 내주지 않은 자원의 크기를 적분법을 사용하여 계산하는 것이 포함되어 있다. 이것은 스펙트럼 이용의 단순화된 정의에 근거한 것으로서 스펙트럼 이용은 “이용된” 대역폭, 공간, 그리고 시간의 곱이다 [1].

스펙트럼 이용은 통신시스템간의 잠재적인 간섭에 기초를 두고 있다. 스펙트럼 자원의 사용을 계량화하기 위한 두가지 기본적인 판별기법이 있는데, 그들은 상이한 유형의 판단 기준에 기초를 두고 있다. 보다 직접적인 기법은 송신기의 출력밀도 기준들과 수신기의 감응도 기준을 사용한다. 송신기는 그 위치와 주파수를 기준으로 수신기 감응도가 감응 기준을 초과할 경우, 스펙트럼 자원의 조합을 “사용한다.” 다른 하나는 “기준시스템”을 사용하는 것인데, 이는 가설적인 한 쌍의 송신기와 수신기를 사용하는 것이다. 이 경우, 송신기는 기준시스템의 수신기가 간섭을 받으면서 거기서 운영될 경우, 자원의 어떤 조합을 “사용한다.” 마찬가지로 보호된 수신기는 기준 송신기가 보호된 수신기에서 간섭을 야기하지 않고는 그 위치에서 운영될 수 없을 경우, 스펙트럼 자원의 어떤 조합을 “사용한다.”

최근에 지정학적 영역에서 기존 무선통신시스템이 사용하는 스펙트럼 자원을 표시해주기 위한 새로운 스펙트럼이용 계량화 모델기술이 Haines에 의하여 개발되었다[2, 3]. 이 기술은 경도와 위도로 표시되는 2차원 공간에 스펙트럼 자원 공간을 갖는 시스템의 스펙트럼 이용을 지도에 표시하는 것이다. 어떤 한 지점에서의 스펙트럼 이용을 계량화함으로써 스펙트럼 이용적도는 어떤 영역내에서의 스펙트럼 이용의 변화를 그래프로 보여준다[4].

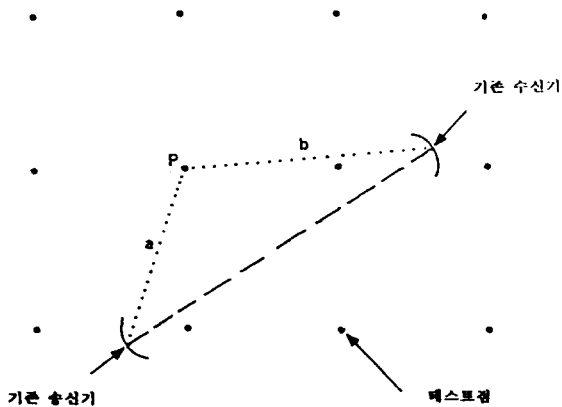
본 논문에서는 ITU-R에서 제안된 EMC 분석기법

을 이용하여 주파수 대역내에서 스펙트럼 자원의 이용을 계량화하는 방법을 연구하였다. 스펙트럼 이용 척도 모델에서 필요한 장비특성데이터와 지형고도 데이터는 데이터베이스를 통하여 얻을 수 있다고 가정하였으며 모델의 유용성을 검증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 모델의 파라미터는 가능한 실제환경에서 적용가능한 값을 사용하였다.

II. 스펙트럼 이용의 개념정의

“어떤 가까이 있는 송신기가 어떤 지점에서 적당한 주파수 대역을 사용한다”는 것은 그 송신기로부터의 간섭 때문에 그 지점에서 기존 수신기가 그 주파수 대역에서 만족스럽게 동작할 수 없다는 것을 의미한다. 실제적인 거리 간격과 주파수 선택외에 시간분할과 지향성 안테나 이러한 모든 요인들은 스펙트럼 자원을 계량화하는데 영향을 미칠 수 있다. [그림 1]은 전형적인 기존 무선시스템(송신기와 수신기)과 스펙트럼 이용의 정도를 계산하는 주위의 여러개 테스트 점을 보여준다. 가설적으로 새로운 수신기가 기준시스템으로써 테스트점 “P”에 설치되어 있다면, 새로운 수신기는 기존시스템의 장비특성과 기준시스템의 특성에 따라 기존시스템으로부터 a 방향의 간섭을 받을 수 있다. 어떤 조건하에서도 기존 송신기로부터의 간섭 가능성은 테스트점에서 새로운 수신기가 주파수를 이용하는 것을 허용하지 않는다. 이러한 잠재적인 간섭은 테스트점 “P”에서의 새로운 시스템이 사용되지 못하게 하는 것이다. 이는 테스트점 “P”에서 기존 송신기가 주파수의 일부분을 이용하고 있다고 간주할 수 있다. 같은 방법으로 기존 수신기에서 b 방향으로 간섭을 야기시킬 수 있기 때문에 기존 수신기는 테스트점 “P”에서 기존송신기가 주파수를 사용할 경우 이를 허용하지 않는다. 이런 경우에 기존수신기는 테스트점 “P”에서 스펙트럼을 이용하고 있다. 앞에서 언급한 내용은 기존시스템과 기준시스템의 장비 특성에 따라 정도의 차이가 있을 수 있으며 기준시스템의 특성은 가

설적인 데이터 또는 관심 대상인 실제적인 시스템의 파라미터를 사용할 수 있다. 테스트점에서 기존시스템이 사용하는 전체 스펙트럼을 “스펙트럼 이용 대역폭”이라고 하며 이는 스펙트럼 이용척도 모델중의 하나이다. 스펙트럼 이용의 두 번째 척도는 어떤 테스트점에 있는 기존시스템이 간섭을 받거나 간섭을 일으킬 확률을 추정하는 것으로서 “스펙트럼 이용요소”를 들 수 있다.



[그림 1] 기존송신기, 수신기 및 여러개의 테스트점

[Fig. 1] Existing transmitter and receiver and several test points

어떤 테스트점에서의 스펙트럼 이용 요소(Spectrum Use Factor: SUF)는 기존 무선통신 시스템이 사용하는 주파수 대역에서의 전체 스펙트럼 자원의 부분으로 정의된다(0에서 1사이의 값). SUF값은 등간격으로 떨어져 있는 테스트점에서 계산되어진다. 테스트점에서 기존송신기가 사용하는 자원의 분수(또는 소량)를 송신기 SUF(SUF_T)라고 일컫으며 반면에 기존 수신기가 사용하는 자원의 분수를 수신기 SUF(SUF_R)로 명명한다. 그러므로 SUF값은 기존시스템과 기준시스템으로 일컫는 가설적 시스템의 기술특성에 좌우된다.

Ⅲ. 스펙트럼 이용 계량화 알고리즘

간섭에 대한 판별기준은 기존시스템과 기준시스템간의 주파수 이격의 함수인 반송전력대 간섭전력비율(C/I)임계치이다. 이 비율은 보호비라고 불리우며 수신기에서의 C/I비가 임계치인 C/I_{th}보다 작으면 간섭을 받는다. 관련된 송신기로부터의 수신기에서의 반송전력은 다음과 같이 주어진다[3].

$$C = P_D + G_D(0) + G_R(0) - L_P(d_D) \quad (1)$$

여기서

C = 수신기에서 원하는 반송전력[dBW]

P_D = 원하는 송신기의 전력[dBW]

G_D(0) = 원하는 송신기 안테나의 주빔 이득[dBi]

G_R(0) = 수신기 안테나의 주빔 이득[dBi]

d_D = 원하는 송신기와 수신기 사이의 거리

L_P(d_D) = 거리 d_D에 따른 전파경로 손실[dB]

기존시스템과 기준시스템에 대한 수신 반송전력을 계산하기 위한 데이터는 기존시스템의 장비특성 데이터베이스로부터 얻어질 수 있으며 이때 기준시스템의 데이터베이스는 가정된 특성을 사용한다. 간섭 송신기로부터 수신기에서의 간섭전력은 다음과 같이 주어진다[3].

$$I = P_I + G_I(\theta_I) + G_R(\theta_R) - L_P(d_I) - OTR \quad (2)$$

여기서

I = 수신기에서의 간섭전력[dBW]

P_I = 간섭 송신기의 전력[dBW]

θ_I = 간섭 송신기의 주빔과 수신기 방향과의 사잇각[degree]

G_I(θ_I) = 간섭 송신기의 주빔과 θ_I°로 벗어난 방향으로의 간섭 송신기의 안테나 이득[dBi]

θ_R = 수신기의 주빔과 간섭 송신기 방향과의 사잇각[degree]

G_R(θ_R) = 수신기의 주빔과 θ_R°로 벗어난 방향으로

의 수신기의 안테나 이득[dBi]
 d_t = 간섭 송신기와 수신기 사이의 거리
 OTR = On-Tune Rejection: 수신기 IF필터에 의
 한 간섭신호 제거[dB]

여기서 OTR은 다음과 같이 주어진다.

$$\text{OTR} = 10\log(\text{BW}_I / \text{BW}_R) : \text{for } \text{BW}_I > \text{BW}_R \quad (3)$$

$$= 0 \quad : \text{그밖에}$$

BW_I = 간섭신호의 대역폭[MHz]

BW_R = 원하는 수신기의 IF 대역폭[MHz]

안테나 이득과 경로상의 전송손실을 한개의 전송
 손실 L_t 로 묶으면 다음과 같다.

$$L_t = L_p(d_t) - G_1(\theta_t) - G_R(\theta_R) \quad (4)$$

여기서

L_t = 간섭 송신기와 수신기 사이의 전송손실[dB]

따라서 식 (2)와 (4)로부터 간섭신호 전력 I 는 다
 음과 같이 표현된다.

$$I = P_1 - L_t - \text{OTR} \quad (5)$$

수신기에서의 반송파대 간섭비 (C/I)는 다음과
 같이 표현된다.

$$C/I = C - P_1 + L_t + \text{OTR} \quad (6)$$

전송손실 임계치를 C/I 임계치로부터 유도해보
 면 다음과 같다.

$$L_{th}(\Delta f) = P_1 - \text{OTR} - C + C/I_{th}(\Delta f) \quad (7)$$

여기서

Δf = 기존시스템과 기준시스템과의 주파수 간격
 [MHz]

그러므로 전송손실 임계치와 C/I 임계치는 기존시
 스템과 기준시스템과의 주파수간격(Δf)의 함수이
 다. 식 (7)은 간섭송신기와 수신기의 상대적인 위치
 와 안테나 방향에 무관하며 C/I_{th} 는 SUM 모형에서
 는 동일채널과 인접채널 간섭신호에 대해서 고려되
 어야 한다. 기존시스템과 기준시스템을 포함하여 보
 호비는 이상적으로 여러가지 요인을 기본으로 하고
 있지만 여기에서는 [4]에서 제시된 두가지 값을 사
 용한다. 즉 동일채널간섭인 경우에 60dB이고 인접
 채널 간섭인 경우에 0dB를 사용하였다. 식 (7)을 이
 용하여 전송손실 임계치 L_{th} 를 계산할 수 있으며 기
 존 및 기준시스템의 안테나 방향과 거리에 독립임을
 알 수 있다. 실제적으로 전송 손실은 시스템의 위치
 에 따라 달라지므로 식 (4)는 다음과 같이 일반화
 될 수 있다.

$$L_t = L_p(d_t) - G_1(\theta_1) - G_2(\theta_2) \quad (8)$$

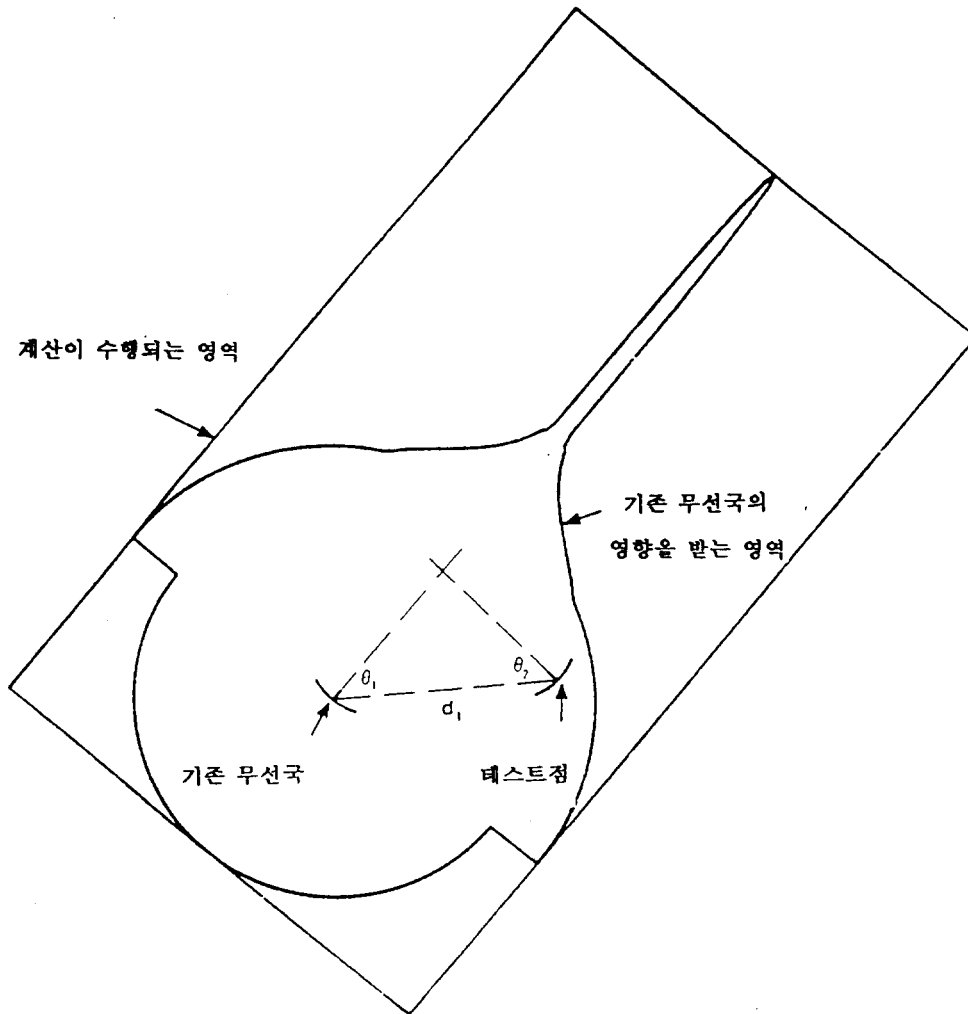
θ_1 = 기존시스템의 주빔방향과 테스트점 방향과
 의 사잇각[degree]

$G_1(\theta_1)$ = 기존시스템의 주빔으로부터 θ_1° 벗어난 방
 향으로의 안테나 이득[dBi]

θ_2 = 기준시스템의 주빔 방향과 기준시스템 방
 향과의 사잇각[degree]

$G_2(\theta_2)$ = 기준시스템의 주빔으로부터 θ_2° 벗어난 방
 향으로의 안테나 이득[dBi]

[그림 2]는 전형적인 고정서비스 무선국에 대한
 각 파라미터를 설명한다. [그림 2]에서 내부패턴에
 있는 테스트점은 0보다 큰 SUF값을 갖는다. 전체 4
 각형은 SUF 계산을 위하여 고려되어진 테스트점을
 포함한다. 기존시스템의 안테나 주빔방향과 위치 그
 리고 테스트점의 위치가 정해지면 안테나 방사패턴
 과 전파모델을 이용하여 $G_1(\theta_1)$, $G_2(\theta_2)$ 과 $L_p(d_t)$ 를
 계산할 수 있다.



[그림 2] 기존 무선국의 주위에 있는 테스트점에서의 SUM 계산을 위한 기하학적 설명

[Fig. 2] Geometry for calculations of SUM at a test point in the vicinity of existing radio station

1. 스펙트럼 이용 대역폭(SUB) 계산

어떤 테스트점에서의 스펙트럼 이용 대역폭, 즉 기존시스템이 그 점에서 사용하는 전체 대역폭은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 \text{SUB} &= \text{BW}_A && \text{for } L_i \leq L_{\text{thA}} \\
 &= \text{BW}_C && \text{for } L_{\text{thA}} < L_i \leq L_{\text{thC}} \\
 &= 0 && \text{for } L_i > L_{\text{thC}}
 \end{aligned} \quad (9)$$

여기서

SUB = 어떤 한 테스트점에서의 스펙트럼 이용 대역폭[MHz]

BW_C = 동일채널 간섭이 발생할 수 있는 대역폭 [MHz]

BW_A = 동일 혹은 인접채널 간섭이 발생할 수 있는 대역폭[MHz]

$\text{BW}_C = \text{BW}_I + \text{BW}_R$

$$BW_A = 3 \times (BW_I + BW_R) \leq BW_{tot}$$

$$L_{ithA} = P_I - OTR - C$$

$$L_{ithC} = P_I - OTR - C + 60$$

식 (8)은 전파경로 손실과 안테나 이득면에서 전송손실 L_t 를 계산한다. 식 (8)에서 기존시스템과 테스트점의 위치와 기존시스템의 안테나 방향 등을 기초로 하여 θ_1 과 d_1 를 계산할 수 있으나 θ_2 는 일반적으로 알려져 있지 않다. 기준국의 안테나 주빔방향이 기존시스템쪽으로 향하고 있다고($\theta_2 = 0$) 가정한다. 물론 θ_2 는 다른 값으로 선택될 수 있다. 이와 같은 가정에 의해서 식 (8)은 다음과 같이 주어진다.

$$L_t = L_P(d_1) - G_1(\theta_1) - G_2(0) \quad (10)$$

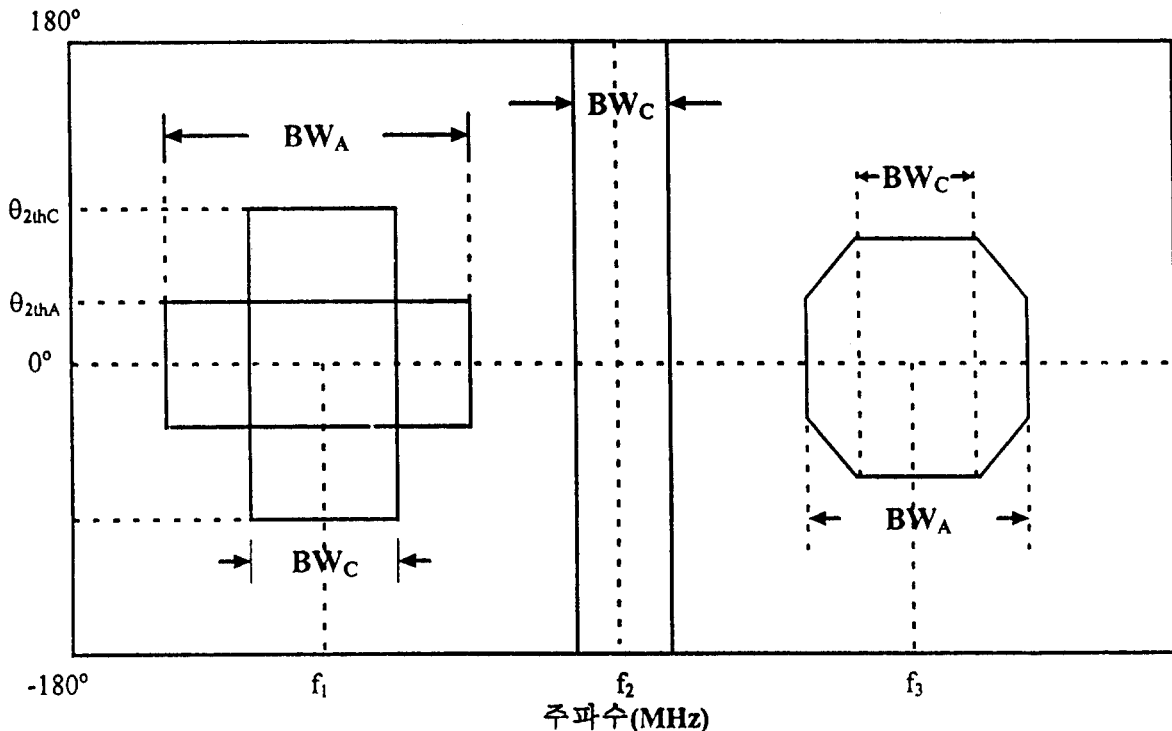
여기서

$$G_2(0) = \text{기준시스템의 주엽방향의 안테나 이득[dBi]}$$

식 (10)에 주어진 L_t 가 전송손실 임계치 L_{ith} 보다 작으면 기존시스템은 그 테스트점에서 대역폭 BW_A 혹은 BW_C 를 사용하고 있는 것이다. 식 (9)는 오직 한 개의 기존시스템을 토대로 하여 SUB를 계산할 경우에 사용되는 수식이며 테스트점 주위의 모든 기존시스템에 대한 SUB 총계를 계산하기 위해서는 각 테스트점에 대한 주파수 "bin"의 집합을 설정한다.

2. 스펙트럼 이용요소(SUF) 계산

SUF는 테스트점에서의 θ_2 값을 가정할 필요가 없다. 즉 전송손실을 계산하여 그것을 전송손실 임계치와 비교하는 대신에 전송손실 임계치 L_{ith} 를 θ_{2th} 로 변환시켜서 SUF를 계산한다. θ_{2th} 와 L_{ith} 와의 관계는 식 (11)과 같이 주어진다.



[그림 3] 한 테스트 점에서 기존 송신기들이 사용한 주파수와 방향

[Fig. 3] Frequencies and bearings used at a test point by existing transmitters

$$G_2(\theta_{2th}) = L_P(d_1) - L_{1th}(\Delta f) - G_1(\theta_1) \quad (11)$$

L_{1th} 와 테스트점의 위치가 정해지면 $G_2(\theta_{2th})$ 가 식 (11)을 이용하여 계산될 수 있다. 다음에 기준국의 안테나 방사패턴을 이용하여 θ_{2th} 를 계산한다. 여기서 L_{1th} 는 Δf 의 함수이므로 $G_2(\theta_{2th})$ 와 θ_{2th} 도 Δf 의 함수이다. 즉 기준시스템의 안테나패턴 $G(\theta)$ 가 정해지면 Δf 에 따라 계산된 $G_2(\theta_{2th})$ 값을 $G(\theta)$ 와 비교하여 $G(\theta) > G_2(\theta_{2th})$ 조건을 만족하는 θ 의 범위를 계산한다.

한개의 기준송신기로 인한 지정된 테스트점에서의 SUF는 [그림 3]에 있는 패턴중에서 한개에 둘러싸인 면적을 전체면적(4각형)으로 나눈 값을 말하며 이런 경우 SUF는 식 (12)와 같이 표현될 수 있다.

$$SUF = 1/BW_{tot} \int_f \theta_{2th} / 180 df \quad (12)$$

IV. 모델과 가정

본 장에서는 앞에서 기술한 SUB와 SUF계산시 사용되는 가정과 모델을 고려해본다. 먼저 기준시스템의 기본 모델을 구성하는 경우에 송신전력, 원하는 반송전력 및 안테나이득은 마지막 수신기에서의 반송전력이 신호의 경로에 관계없이 즉 송신기에서 수신기로 직접 방사하는 경우이거나 중간에 중계기를 통과하거나 상관없이 같다고 가정하여 정해진다.

기준시스템에 대해서 송신전력과 대역폭, 안테나이득, 효율적인 안테나 높이 그리고 수신기에서의 원하는 반송전력은 분석하고자 하는 대역에 있는 고정서비스 할당값 중에서 중앙값을 배정한다. 사용자는 기준시스템의 파라미터로써 다른 값을 선택할 수 있다. 기준시스템과 기준시스템에 대한 기초 데이터가 정해지면 전송손실 임계치인 L_{1th} 가 식 (7)로부터 계산되어진다.

전파손실과 지향성 안테나의 이득을 결정하기 위해서는 거리와 방향계산이 필요하며 기준시스템과 테스트점 사이의 거리는 식 (13)을 이용하여 계산될

수 있다[4].

$$d_1 = \cos^{-1}[\sin(L_1) \sin(L_2) + \cos(L_1) \cos(L_2) \cos(\delta)] \times \text{dist} \quad (13)$$

여기서

L_1 = 기준시스템의 위도[°]

L_2 = 테스트점의 위도[°]

δ = 기준시스템과 테스트점 사이의 경도상의 차이 [°]

= 테스트점의 경도 - 기준시스템의 경도

dist = 위도 1°간의 거리[km]

기준시스템과 테스트점간의 방향은 식 (14)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$B_{12} = \cos^{-1} \left[\frac{\sin(L_2) - \cos(d_1/\text{dist}) \sin(L_1)}{\sin(d_1/\text{dist}) \cos(L_1)} \right] \quad (14)$$

테스트점이 기준시스템의 서쪽에 위치하고 있으면 ($\delta < 0$) B_{12} 는 360°에서 계산된 값을 뺀다. 즉 B_{12} 는 [그림 6]에 보여진 바와 같이 정북에서 동쪽방향으로의 각도를 나타낸다[4].

송신기와 수신기 사이의 전파손실은 그들 사이의 거리의 함수이다. 원하는 반송전력을 결정하기 위하여 전파손실은 기준시스템의 송신기와 수신기 사이의 거리를 기초로 하고 있으며 다양한 전파모델에 대해서는 [5]에 기술되어 있다. 본 논문에서는 스펙트럼 이용척도 모델에 대해서 연구하였으므로 전파 경로손실 값은 지형고도 데이터베이스 및 가정된 전파모델을 통하여 계산되었다고 가정하였다.

[6]에서 제시한 무선중계시스템에 대한 기준 안테나 패턴을 이용하면 안테나 부엽의 기본 포락선 패턴은 다음과 같이 주어진다.

$$G(\theta) = 52 - 10\log(D/\lambda) - 25\log(\theta) \quad \text{for } G(\theta) < G_1 \quad (15)$$

여기서 $G(\theta) =$ 주빔으로부터 θ° 만큼 벗어난 방향의 이득[dBi]

$D =$ 포물반사경의 직경

$\lambda =$ 반송파의 파장

$G_1 =$ 첫번째 부엽의 이득[dBi]

D 와 λ 의 단위는 같다. 반사기의 직경을 모를 경우에는 [7]에서 제시한 추정값을 이용한다.

$$20\log(D/\lambda) \approx G_{\max} - 7.7 \quad (16)$$

여기서 $G_{\max} =$ 안테나의 주빔이득[dBi]

[7]에서 첫번째 부엽은 식 (17)과 같이 주어지며

$$G_1 = 2 + 15\log(D/\lambda) \quad (17)$$

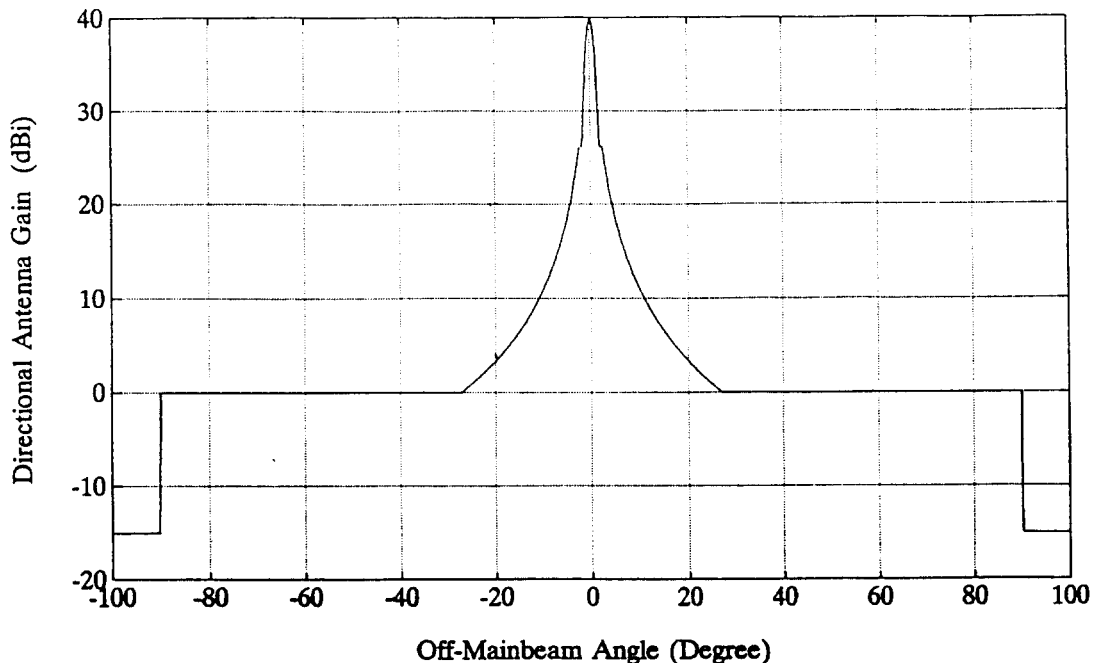
주빔 패턴은 다음과 같다.

$$G(\theta) = G_{\max} - 0.0025[(D/\lambda)\theta]^2 \quad \text{for } G(\theta) > G_1 \quad (18)$$

일반적으로 주파수 재사용 문제에 대해서 90° 까지는 0dBi 이득을 그리고 90° 에서 180° 까지는 -15 dBi를 제시한다[6].

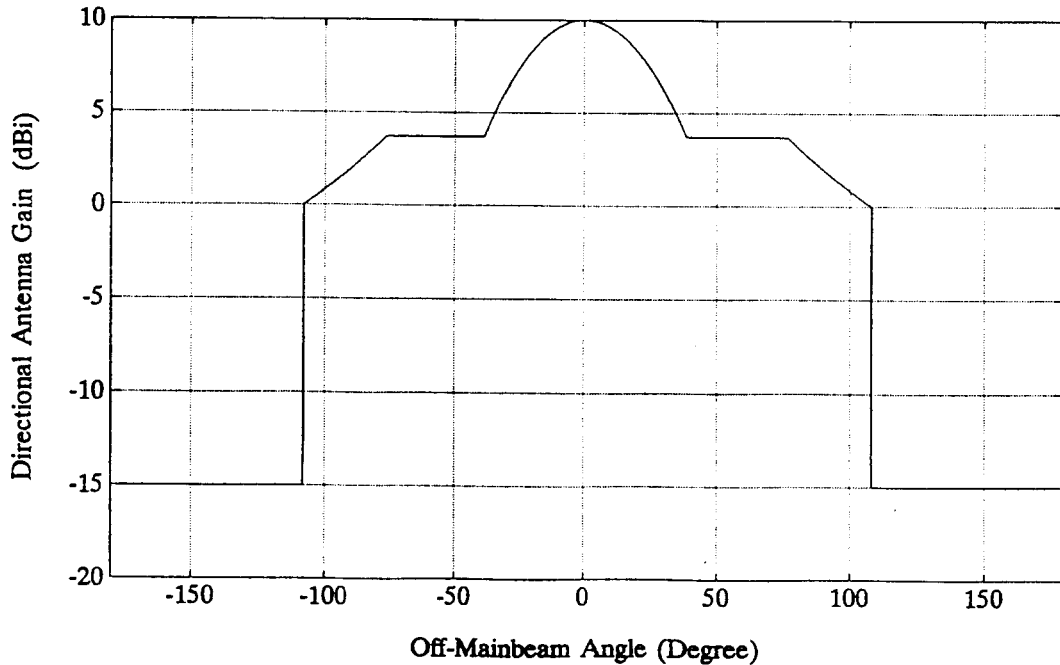
GMF로부터 안테나 유형에 대한 정보가 쉽게 검색되지 못하므로 주빔이 10dBi 보다 큰 경우에는 식 (15)와 (18)을 사용한다. 10dBi 보다 작은 크기를 갖는 경우에는 모든 방향에 대하여 이득이 같다고 가정한다. 주빔의 크기에 따라 변하는 안테나 방사 패턴을 [그림 4]와 [그림 5]에 나타내었다.

[그림 4]와 [그림 5]의 결과로부터 10dBi 보다 작으면 이 모델이 적용 안됨을 알 수 있다. 테스트점에서 SUF를 계산하기 위해서는 주어진 이득 $G(\theta)$ 에 대한 각도 θ 를 결정하는 것이 필요하다. 식 (11)에서 계산된 테스트점에서의 안테나 이득 임계치 $G_2(\theta_{2th})$



[그림 4] 주빔의 이득이 40dBi인 경우의 안테나 포락선 패턴 ($-100^\circ \sim 100^\circ$)

[Fig. 4] Antenna envelope pattern in the case of mainbeam width of 40dBi



[그림 5] 주빔의 이득이 10dBi인 경우의 안테나 포락선 분포

[Fig. 5] Antenna envelope pattern in the case of mainbeam width of 10dBi

가 수신기의 안테나의 이득 G_{max} 보다 큰 경우에는 $\theta = 0^\circ$ 가 되며 이때 $SUF = 0$ 이 된다. $G_2(\theta_{2th})$ 가 G_{max} 보다 작고 G_1 보다 클 경우에는 식 (18)로부터 θ_2 의 임계치 θ_{2th} 가 다음과 같이 주어진다.

$$\theta_{2th} = \frac{20 [G_{max} - G_2(\theta_{2th})]^{\frac{1}{2}}}{D/\lambda} \quad \text{for } G_1 < G(\theta) < G_{max} \quad (19)$$

부엽영역에서는 식 (15)로부터 다음 관계식을 유도할 수 있다.

$$\theta_{2th} = 10^{0.04[52 - 10\log(D/\lambda) - G_2(\theta_{2th})]} \quad \text{for } 0 < G_2(\theta_{2th}) \leq G_1 \quad (20)$$

$G_2(\theta_{2th})$ 가 -15dBi 보다 크고 0dBi 보다 작을 경우에는 $\theta_{2th} = 90^\circ$ 이고 -15dBi 보다 같거나 작을 경우에는 $\theta_{2th} = 180^\circ$ 로 놓는다.

V. 시뮬레이션 결과

SUM 모델을 이용하여 계산되는 SUB와 SUF값의 유용성을 검증하기 위하여 세계의 테스트점과 한 개의 기존시스템(송신기)을 가정하여 앞절에서 제시한 여러가지 모형과 계산과정의 유용성을 모의실험을 통하여 확인해본다.

먼저 조사 대상 주파수 범위는 7,750MHz부터 7,900MHz까지 $BW_{tot} = 150\text{MHz}$ 의 대역을 선정하였으며 기존시스템과 기준시스템이 위치하고 있는 세계 테스트점의 위치는 <표 1>에 주어진 바와 같이 북위 30° 근방을 택하였다. 북위 30° 근처에서 위도 1° 간격의 거리는 실제적으로 약 111.12km이다. 기존시스템과 기준시스템의 장비특성 데이터는 <표 2>에 주어진 바와 같이 실제적인 시스템의 파라미터 값을 가정하였다.

〈표 1〉 기존시스템과 세개의 테스트점 위치

〈Table 1〉 Location of existing system and three test points.

	기존시스템	테스트점 #1	테스트점 #2	테스트점 #3
위 치	30° 0' N 75° 0' W	30° 19' N 75° 05' W	30° 02' N 74° 51' W	30° 00' N 74° 55' W
위도(° N)	30.0000	30.3167	30.0333	30.0000
경도(° E)	-75.0000	-75.0833	-74.8500	-74.9167

〈표 2〉 송신기와 가설적인 기준수신기의 장비특성 데이터

〈Table 2〉 Technical characteristics of transmitter and hypothetical reference receiver

	기존시스템 (송신기)	기준시스템 (수신기)
안 테 나 주 빔 방 향	90°(북에서 동쪽방향으로)	-
주 파 수 [MHz]	7825.0	-
송 신 전 력 [dBw]	0.0	-
대 역 폭 [MHz]	40.0	20.0
안 테 나 이 득 [dBi]	40.0	40.0
효 율 적 인 안 테 나 높 이 [m]	30.5	30.5
수 신 반 송 파 전 력 [dBw]		-60.0

기존송신기의 주빔 방향은 〈표 1〉 및 [그림 6]에 보여진 바와 같이 90° 방향이고, 대역폭은 40MHz, 안테나 이득은 40dBi 그리고 수신반송파 전력은 -60dBw를 입력데이터로 가정하였다. 이러한 입력 데이터로부터 OTR은 약 3dB, L_{thC} 는 117dB, L_{thA} 는 57dB로 계산되어지고 동일채널 및 인접채널에 대한 대역폭은 식 (9)를 이용하여 각각 $BW_C = 60\text{MHz}$ 와 $BW_A = 150\text{MHz}$ 로 주어진다.

스펙트럼 이용 대역폭을 결정하기 위하여 동일채널 및 인접채널에 대한 반송파 전력대 간섭비의 임계치 C/I_{th} 는 각각 60dB와 0dB를 취하였다. 〈표 1〉과 〈표 2〉에 주어진 입력 데이터를 이용하여 SUM 모델의 각 파라미터 값을 계산한 결과를 〈표 3〉에 표시하였다.

전파손실 $L_p(d_1)$ 값은 가정하였으며, 거리 d_1 는 식 (13)을 이용하여 계산하였다. 각 테스트점에서의

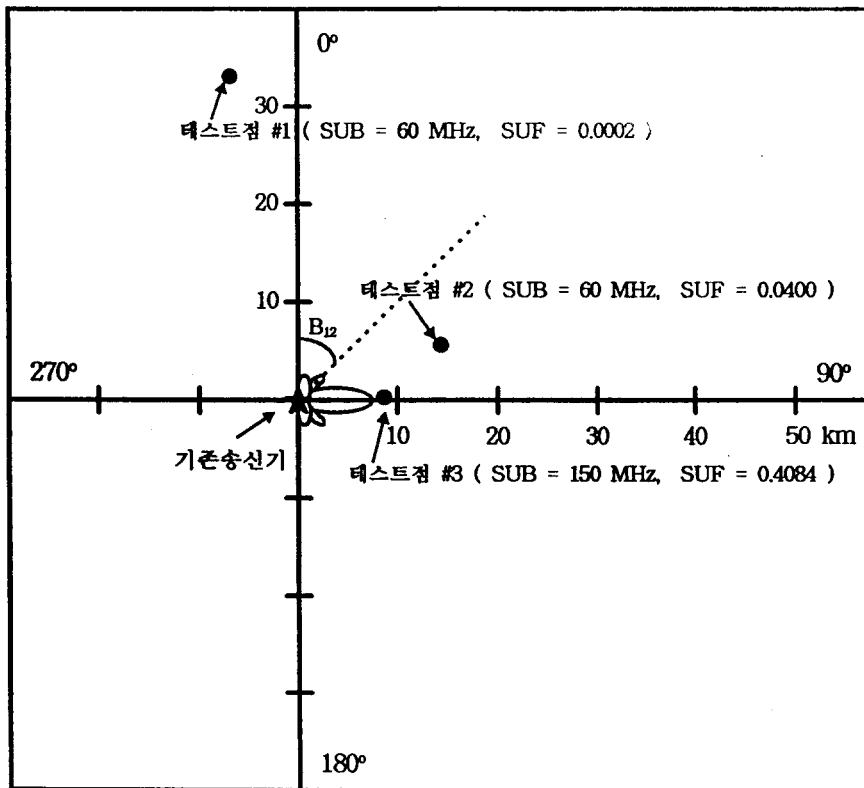
SUB와 SUF 값을 [그림 6]에 나타내었다. [그림 6]으로 부터 테스트점 #3에서 SUB가 150MHz인데 이는 기존송신기의 주빔방향이 테스트점을 향하고 있으므로 조사대상 전 주파수 대역을 사용하고 있음을 쉽게 알 수 있다. 결과적으로 SUF 값은 0.4보다 약간 큰 값으로 표시된다. 테스트점 #1에서의 SUF 값이 가장 작게 나타나는 이유는 기존송신기의 거리가 가장 멀고 테스트점 #1의 위치는 기존송신기의 부엽방향에 있으므로 송신기의 간섭영향이 훨씬 작게 나타난 결과이다.

가설적인 데이터를 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 결과로부터 소개된 SUM 기술이 장비특성 데이터 및 지형고도 데이터가 주어진 경우에 스펙트럼 이용 정도를 계산할 수 있는 효율적인 방법으로 이용될 수 있음을 알 수 있다.

〈표 3〉 각 테스트점에서의 파라미터 데이터

〈Table 3〉 Parameter data at each test point

	테스트점 #1	테스트점 #2	테스트점 #3
d_1 [km]	36.0880	14.9005	8.0195
$L_p(d_1)$ [dB]	141.9617	128.3266	122.7650
B_{12} (γ)	347.2023	75.5686	89.9792
θ_1 (γ)	102.7977	14.4314	0.0208
$G_1(\theta_1)$ [dBi]	-15.0000	6.86730	39.9982
$L_1(\theta_2 = 0^\circ)$ [dB]	116.9617	81.4593	42.7668
SUB[MHz]	60.0	60.0	150.0
$G_2(\theta_{2hc})$ [dBi]	39.9720	4.4696	-34.2229
θ_{2hc} (\uparrow)	0.0813	17.9976	180.0000
$G_2(\theta_{2hA})$ [dBi]	99.9720	64.4696	25.7771
θ_{2hA} (\uparrow)	0.0000	0.0000	2.5288
SUF	0.0002	0.0400	0.4084



[그림 6] 각 테스트점에서의 SUB와 SUF

[Fig. 6] SUB and SUF at each test point

VI. 결 론

본 논문에서는 EMC 분석기법을 기초로 하여 무선통신시스템이 이용하고 있는 스펙트럼 이용량을 계량화하기 위한 개념과 방법을 연구하였다. 이 방법은 스펙트럼 이용척도를 지형적인 영역에 무선시스템의 스펙트럼 자원을 표시할 수 있도록 개발되었고 고정시스템에 대하여 적용하여 분석되었다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 스펙트럼 이용척도 모델이 실제환경하에서도 효율적으로 사용될 수 있음을 검증하였다. 이 모델은 스펙트럼이용 효율증대, 스펙트럼 배분계획 및 무선시스템 개발계획 수립시 중요한 기초자료로 활용될 수 있으며 향후 이동서비스 시스템에도 적용될 수 있도록 수정보완 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] F. Matos, *et. al. Spectrum management and engineering*, IEEE Press, 1985.
- [2] R. H. Haines, "Quantification of spectrum use: spectrum management tools for the twenty-first century," IEEE National Symposium on Electromagnetic Compatibility, New York, pp.390-396, 1990.
- [3] R. H. Haines, "An innovative method for quantifying spectrum use," IEEE National Symposium on electromagnetic compatibility, Denver Colorado, pp.234-238, May, 1989.
- [4] R. J. Mayher *et. al.* The SUM Data Base: A New Measure of Spectrum Use U.S. Department of Commerce, NTIA, NTIA Report 88~236, August, 1988.
- [5] CCIR, 핸드북 스펙트럼관리 및 컴퓨터 이용기술, pp.Ⅲ-1~Ⅲ-33, 1986.
- [6] CCIR, "Reference radiation patterns for radio-relay system antennas," Report 614-2, vol.Ⅸ-part I, ITU, Geneva, Switzerland, pp.270-274, 1986.
- [7] CCIR, "Radiation diagrams of antennas for earth stations in the fixed-satellite service for use in interference studies and for the determination of a design objective, Report 391-5, vol.Ⅳ-part I, ITU, Geneva, Switzerland, pp.138-156, 1986.