

# AIP 한계가치 산정모형 및 시뮬레이션 분석

Marginal Cost Modeling and Simulation Analysis for AIP

스마트 시대의 IT 정책 및 표준화 동향 특집

여인갑 (I. K. Yeo)	모바일사업전략연구팀 책임연구원
안춘수 (C. S. Ahn)	모바일사업전략연구팀 선임연구원
홍인기 (I. K. Hong)	경희대 전자공학부 교수
임효성 (H. S. Rhim)	경희대 전자공학부 석사과정

## 목 차

- .....
- I . 머리말
  - II . AIP와 한계가치
  - III . 800MHz 한계가치 산정모형
  - IV . 용량분석 시뮬레이션 모형설정
  - V . 대체안의 용량분석 및 비교
  - VI . 맺음말

AIP를 설정하는 방법에서는 국가에 따라 일부 차이를 보이고 있지만, 본 고에서는 중국이라 할 수 있는 영국에서의 최소비용대체법을 사용한 한계가치 산출방식을 사용하여 2011년에 주파수 재할당 대상이 되는 800MHz 대역을 대상으로 모형을 제시하고 적용결과를 분석하였다. 먼저 추가주파수를 사용하는 시스템과 주파수 대신 기지국 투자를 추가하는 시스템의 비교를 통하여 두 시스템간 셀간 면적비를 기준으로 한계가치를 도출하는 모형을 제안하고, 새로 도입될 기술인 LTE의 시스템 성능을 평가할 수 있는 시스템 레벨 시뮬레이터를 3GPP에서 제안하고 있는 이동통신 시스템 환경 및 요구조건에 따라 제작하였으며, 이 시뮬레이터를 바탕으로 시스템 도입 지역 또는 운영 주파수 대역에 따라 시뮬레이션을 통하여 시스템 용량을 산출하였다. 마지막으로 제안된 한계가치 모형과 시뮬레이션 결과를 결합하여 최종적으로 한계가치 산정의 기준이 될 추가기지국의 규모를 추정할 수 있는 모델을 제시하였다.

## I. 머리말

우리나라 전파법상의 주파수 할당대가 산정은 전파법 시행령을 따라, 주파수 배정 후 10년 동안의 예상매출액과 매년 나올 실제매출액에 일정비율을 곱하고 합산하여 산출하며 두 비율의 합은 0.03으로 하도록 공식이 정해져 있다[1].

그러나 예상매출액의 규모산정과 매출액에 곱하는 비율의 타당성 제시가 논란이 되고 있는 가운데, 주파수 할당대가에 대한 근본적인 제도개선 요구가 제기되고 있고 대안으로 AIP 제도의 도입이 검토되고 있다. AIP 가격의 설정은, 대가에 의한 할당의 경우 적절한 할당대가의 계산방식을 제공할 수 있으며, 경매제 실시의 경우 최소입찰가 설정의 수단이 될 수도 있을 것이다.

AIP를 설정하는 방법에서는 국가에 따라 일부 차이를 보이고 있지만, 본 고에서는 종주국이라 할 수 있는 영국에서의 최소비용대체법을 사용한 한계가치 산출방식을 사용하여, 2011년에 주파수 재할당 대상이 되는 800MHz 대역을 대상으로 모형을 제시하고 적용결과를 분석하고자 한다.

## II. AIP와 한계가치

### 1. 주파수의 경제적 가격설정 배경

이동전화 같은 특정 주파수 사용은, 지난 수십 년 동안 크게 성장하였으며, 많은 주파수밴드에서 이제 초과수요가 존재하고 동일 또는 잠재적으로 대체가 능한 밴드에서 주파수 가치는 크게 달라질 수 있게 되었다.

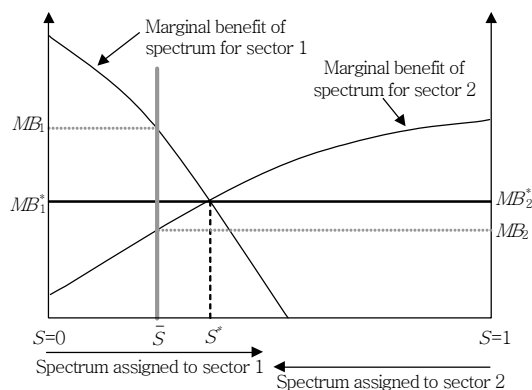
따라서 더 낮은 가치의 용도로 사용되는 주파수를 높은 가치의 용도로 대체할 수 있는 곳에서는 효율성

으로 인한 잠재적 수익이 존재하게 된다.

AIP로 대변되는 주파수 가격설정은 이러한 이용의 효율성과 일치되어야 하고 결과적으로 총후생 또는 잉여를 극대화 할 수 있으며 사회적 최적을 달성하는 기능을 하게 될 것이다. 주파수는 투입물이며, 경쟁적인 시장에서 투입물의 사용은 한계대체율이 투입물을 사용하는 모든 사용자에서 동일할 때, 효율성을 달성하게 된다.

따라서 주파수의 용도에 대한 제약이 없고 주파수가 동질적인 것으로 가정할 때, 효율성은 한계에서 사회에 대한 주파수의 가치가 다른 사용자나 용도를 통틀어 동일할 때 달성된다. 다시 말하면, 우리는 다른 사용자의 후생을 감소시키지 않고서는 후생을 증진시키는 주파수를 재할당할 수 없어야만 최적효율을 달성한다.

(그림 1)에서  $S^*$ 는 효율적인 주파수 할당이 이루어진 점으로 두 사용자 섹터1과 섹터2의 주파수 한계이익인  $MB_1^*$ 와  $MB_2^*$ 가 서로 같으며 가격은 동일한 한계이익에서 결정된다. 반면  $\bar{S}$ 에서의 주파수 할당은 비효율성을 초래하는데, 섹터1에서의 한계이익  $MB_1$ 이 섹터2에서의 한계이익  $MB_2$ 보다 크기 때문에 섹터1에서의 주파수 사용을 증가시키고 섹터2에서의 주파수 사용을 감소시키는 것이 총효율을 증대



<자료>: Indepem 등(2004)

(그림 1) 주파수의 경쟁적 수요

시킬 수 있으며, 주파수가격설정은 재할당이 발생할 유인을 제공함으로써 최적효율 달성에 도움을 줄 수 있다[2].

## 2. Nera-Smith의 한계가치 방법론

Nera-Smith(1996)가 개발한 LCA법이 주파수 한계가치를 계산하는 데 주로 사용되고 있다. LCA법은 해당밴드에서 작은 주파수 블록을 사용할 수 없게 되었을 때, 비교적 효율적인 대표 서비스 공급자의 대응을 고려한 것으로, 동일한 수준의 산출물을 유지하기 위하여 공급자에게 발생하는 최소추가비용이 공급자에게 있어서 주파수 가치를 나타내는 것으로 보는 것이다.

즉, LCA법은 주파수 사용으로부터 동일한 산출물을 유지하기 위하여 투입요소를 대체하는 방안을 사용하는데, 주파수와 다른 자원(즉 설비)의 사용비용을 변경할 수 있을 때, 공급자는 동일한 수준의 서비스를 제공하는 여러 방법들 중 선택을 할 수 있게 된다. 예를 들면, 많은 주파수와 작은 설비(즉 기지국)를 사용하는 방법이 있는 반면, 작은 주파수와 많은 설비를 사용하는 방법이 있을 수 있다. 따라서 주파수 대신 다른 투입요소를 증가시키는 방법으로, 더 작은 주파수로도 동일한 산출물도 얻을 수 있다.

주파수 감소에도 불구하고 동일한 산출물을 유지할 수 있는 다른 투입요소의 대체 방법은 다음과 같은 것들이 제안되고 있다[3].

- 네트워크 인프라 추가투자(즉, 기지국 추가)
- 협대역 장비를 사용
- 대체서비스로 전환
- 대체기술로 전환
- 수요가 적은 밴드로 전환

한계주파수(블록)의 가치추정은, 먼저 각 대체방

법의 비용을 계산한 다음, 현재수준에서 서비스를 제공하는 비용과 최소비용대체안의 비용을 비교하여 그 차이를 현재용도의 가치로 추정하게 된다.

LCA법을 사용하기 위해서는 몇 가지 가정이 필요하게 된다. 한계 주파수(블록)에의 접근이 금지되었을 때를 가정할 때, 한계주파수의 양은 사용자에게 실질적인 이익을 가져다 주는 단위로 서비스의 종류에 따라 다르다. 해당밴드의 대표사용자로 정의된 ‘평균 사용자’는 주파수 사용량이 비슷한 사용자들로 구성된 경우도 있고 크게 다른 사용자로 구성된 경우도 있을 수 있는데, 다른 사용자그룹별로 가치를 따로 추정하여 사용량에 따른 가중평균으로 가치를 계산하기도 한다. 또한 대체안 비용계산을 위한 비용기준에 대한 가정이 필요한데, 설비원가, 설비수명, 네트워크 성숙도, 자본설비 투자에 대한 자본할인비용 및 할인기간 등의 결정이 필요하다[3].

## III. 800MHz 한계가치 산정모형

### 1. 800MHz 대역 검토 및 모형 설계

800MHz 대역의 미래지향적인 최신 기술을 고려했을 때, 적용 대상서비스는 LTE를 가정하는 것이 타당할 것으로 생각되며, 800MHz 대역의 가장 효율적인 이용은 기존 용도인 셀룰러서비스로 생각되어서 대체용도에 대한 수요를 고려할 필요는 없을 것으로 보인다.

AIP의 기본 목표인 전파의 효율적 이용이라는 정책목표를 고려할 때, ETRI, KORPA(2006)의 연구에서 사용한 전파의 단순한 효용가치를 측정하는 평균한계효용 적용방법에 의한 가격설정[4]은 이론적으로 전파의 과소이용을 초래할 위험이 존재하므로 한계기회비용을 채택하는 것이 타당하며, 셀룰러

비스에 있어서 주파수 사용을 대체할 수 있는 대안으로 기지국의 추가설치 대안이 가장 유력한 대안으로 Ofcom의 사례를 준용하여 최소비용 대체안으로 기지국의 인프라 투자비용을 채택하여 산정한다[2],[3].

한계변화량의 가정에서는 우리나라의 수요량을 고려하였을 때, 기지국에서 사용하는 주파수량은 5MHz 1FA에서 한 단위를 추가하는 정도가 적당하고, LTE Scalable Bandwidth는 1.25MHz, 2.5MHz, 5MHz, 10MHz, 20MHz 등 다양한 옵션이 존재하지만 정부에서의 현실적인 할당단위를 고려할 경우에도 5MHz에서 한 단위 추가한 10MHz를 기준으로 하는 것이 타당할 것으로 보인다.

망 용량분석 시뮬레이션을 수행할 망구성 기준은 3GPP에서 정의한 LTE 시스템 용량평가를 위한 물리채널 프레임워크를 준용하며, 망구조는 셀 당 3개 섹터로 구성된 18개 인접 셀, 2-tier 다중 셀 모델을 구성하여 인접 셀로부터의 간섭을 실제적으로 모델링 한다. 셀 반경은 시뮬레이션 환경에 따라 가변적으로 설정할 수 있도록 구성하며 안테나 구성은 3GPP의 제안에 따라 2x2 TX Diversity, 2x2 Spatial Multiplexing을 고려한다[5],[6].

추가 주파수를 사용하는 기준시스템은 AIP의 기본논리에 따라 기본적으로 고수요 지역을 대상으로 하는 것으로 하지만, 기지국 용량산출 시뮬레이션 결과를 바탕으로 주파수 추가에 따라 의미있는 변화양상을 보이는 가상망을 설정하도록 한다.

한편 분석의 편의성을 위하여 트래픽이라는 현실 수요를 반영하지 않고 기지국 셀의 공학적 산출량의 비교를 실시하여, 공학적 셀 용량이 실질적인 경제적 수요와 괴리가 있는 경우에 주파수가치를 과다계산할 우려가 존재하지만, 미래 시장수요예측에서의 위험 등을 고려할 경우 공학적 용량비교도 의미가 있을 것으로 보인다.

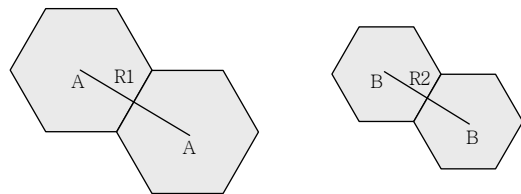
또한 최소비용대체의 기본 논리에 따라 LRIC 비용자료를 사용하는 것이 타당하지만, LTE라는 미래 지향적 기술적용으로 관련 비용데이터가 존재하지 않으므로 구체적인 비용자료는 추후 적용하는 것으로 한다.

## 2. AIP 한계가치 산출 방법론

본 연구에서 주파수의 한계가치를 기지국 인프라 설비의 대체로 평가하는 방법론을 사용한다.

주파수 대신 추가로 필요한 기지국의 규모를 산출하기 위해서는 셀 중심간 거리에 따른 평균 셀(섹터) 수율을 산출하여 비교하는 방법을 사용한다. 이는 기본적으로 평균 셀 수율은 셀 중심간 거리의 함수이기 때문이다.

한계가치 분석의 시뮬레이션을 위한 두 개의 대체 가능한 시스템 A와 B가 있다고 가정한다. 시스템 A는 5MHz의 대역폭 2개를 사용하는 2FA 10MHz 시스템으로 셀 중심간 거리는  $R_1$ 로 정의하고, 시스템 B는 5MHz의 대역폭 1개를 사용하는 1FA 5MHz 시스템으로 셀 중심간 거리는  $R_2$ 로 정의한다(그림 2) 참조).



(그림 2) 기준시스템과 비교시스템의 셀 정의

한편,  $\alpha$ 는 두 시스템의 셀 면적 비로써  $\alpha = \frac{R_1^2}{R_2^2}$  ( $R_1 > R_2$ )와 같이 정의하고, 시스템 A의 평균 셀 수율을  $Thu_A(R_1)$ , 시스템 B의 평균 셀 수율을  $Thu_B(R_2)$ 라고 한다.

AIP 적용을 위한 한계가치를 구하기 위해서는 시스템 B가 얼마만큼의 기지국을 더 설치해야 시스템 A와 동일한 평균 셀 수율을 갖는지 산출하게 되고, 식 (1)을 통해  $\alpha$ 값을 찾음으로써 그 값을 구할 수 있을 것이다.

$$Thu_A(R_1) = Thu_B(R_2) \times \alpha \quad (1)$$

### 3. 모형의 파라미터 설정

식 (1)을 통해  $\alpha$ 값을 얻어내려면,  $R_1$ 은 고정되어 있어야 하고,  $R_2$ 값은 바꾸어 가면서 시뮬레이션을 수행하여야 한다.

예를 들어,  $R_1=3000m$ 이면  $\alpha = \frac{3000^2}{R_2^2}$  이 되고

$Thu_A(R_1 = 3000m) = Thu_B(R_2) \times \frac{3000^2}{R_2^2}$  와 같다.  $Thu_A$

( $R_1=3000m$ )값은 시뮬레이션을 통해 이미 얻은 결과값이므로,  $R_2$ 값을 바꾸어 가면서 평균 셀 수율을 구하면  $Thu_A(R_1=3000m)$ 와  $Thu_B(R_2) \times \frac{3000^2}{R_2^2}$  가 같은 지점이 되는  $R_2$ 값을 얻을 수 있다.  $R_2$ 값을 얻게 되면  $\alpha$ 도 얻을 수 있게 되고, 주파수를 대체하기 위하여 필요한 기지국의 규모를 결정할 수 있게 된다.

하지만, 셀 용량(=평균 셀 수율)은 셀 중심간 거리의 함수이기 때문에  $R_1$ 과  $R_2$ 값을 어떻게 설정하고 시뮬레이션을 하느냐에 따라  $\alpha$ 값은 달라질 수 있다. 셀 중심간 거리가 바뀌면 셀 안에 있는 단말기의 위치도 바뀌게 되고 그에 따라 수신신호의 품질을 나타내는 단말기의 Geometry CDF 그래프 모양도 바뀌게 된다. 그렇기 때문에 Geometry CDF 그래프의 해석을 통해서 AIP 한계가치 적용을 위한 비교시스템의  $R_1$ 과  $R_2$ 값을 정할 수 있다.

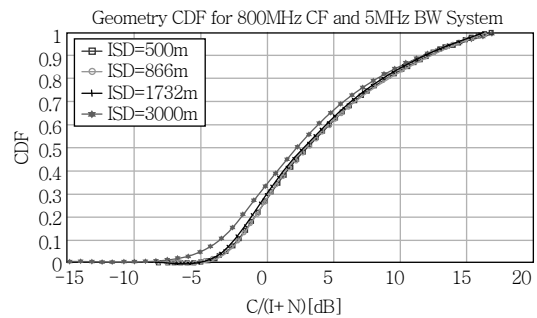
Geometry CDF란 단말기의 위치 때문에 결정되는 SINR의 분포를 말하며 식 (2)를 통해 결정된다.

$$SINR = C/(I+N) \quad (2)$$

$C$ 는 기지국으로부터 신호의 크기,  $I$ 는 인접기지국으로부터 간섭의 크기,  $N$ 은 사용하는 대역 내에서의 열 잡음의 크기를 나타낸다.

(그림 3)에서 보면 셀 중심간 거리가 500m, 866m, 1,732m일 때 그래프는 거의 동일한 곡선을 갖고 셀 중심간 거리가 3,000m가 되어야 Geometry CDF 곡선에 차이가 생기는 것을 알 수 있다. 그래프 곡선이 같은 형태가 되는 이유는 800MHz 반송주파수는 거리에 따른 신호의 경로감쇠가 상대적으로 작기 때문이다.

결국 추가 주파수를 사용하는 기지국의 셀 중심간 거리  $R_1$ 을 어떻게 설정하느냐에 따라서  $\alpha$ 값은 달라



(그림 3) 800MHz 시스템의 Geometry CDF

<표 1> 800MHz(BW=5MHz) 시스템의 ISD별 용량분석

ISD(meter)	평균 셀 수율(Mbps)	
	2×2 SM	2×2 SFBC
500	9.13	7.37
700	9.27	7.35
900	9.24	7.47
1100	9.21	7.42
1300	9.19	7.41
1500	9.26	7.36
1700	9.11	7.37
1900	9.06	7.28
2100	9.08	7.28
2300	9.04	7.18
2500	8.94	7.10
2700	8.76	6.93
3000	8.64	6.81

질 수 있다. <표 1>은 800MHz 대역의 5MHz 대역 폭을 사용하는 시스템의 셀 중심간 거리에 따른 평균 셀 용량 분석결과이다. Geometry CDF를 통해 예상 했듯이, 2,100m 이전에는 셀 수율의 증감이 일정하 진 않지만, 이후로는 평균 셀 수율이 감소함을 볼 수 있다.

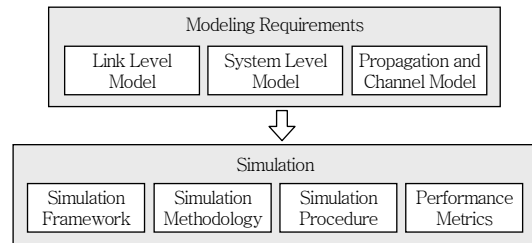
LTE와 같은 차세대 이동통신 시스템에서는 세계적 으로 통용되는 표준이 만들어져 있으며, 본 고에서는 이를 바탕으로 (그림 4)와 같이 시뮬레이션 요구사항, 채널모델 및 성능지표를 구성하였다[5]-[7].

시뮬레이션 환경과 주요 파라미터들은 3GPP의 권고를 기준으로 하고 한계가치 산정모형에서 검토 되었던 내용들을 고려하여 선택되었는데, 그 주요내 용은 <표 2>와 같다.

#### IV. 용량분석 시뮬레이션 모형설정

##### 1. 시뮬레이션 모형구성 및 환경

시스템 레벨의 시뮬레이션은 여러 대의 기지국과 단말기가 존재하는 실제 통신환경과 유사하게 시뮬 레이션 환경을 구축하여 통신시스템의 실제 성능을 추 측할 수 있는 시뮬레이션으로, 최근에 개발된 3GPP



(그림 4) 시스템 레벨 시뮬레이션을 구성하는 요소들

<표 2> 시뮬레이션 환경의 주요 파라미터

Parameter	Assumption
Cellular layout	Hexagonal grid, 19 cell sites, 3 sectors per site
Shadowing standard deviation	8dB
Antenna pattern(horizontal)	$A(\theta) = -\min\left[12\left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}\right)^2, A_m\right]$ , $\theta_{3dB}=70$ degrees, $A_m=20$ dB
Antenna bore-sight points	
Total BS TX power	43dBm - 1.25, 5MHz carrier, 46dBm - 10MHz carrier
Minimum distance between UE and cell	□ 35meters
Thermal noise spectral density	-174dBm/Hz
eNodeB antenna gain plus cable loss	14dBi(for macro cell case)
UE noise figure	9dB
Traffic model	Full buffer
User per sector	10
Frequency re-use factor	1
Link to system interface	EESM
CQI feedback period	7ms
Target BLER	10%
Basic modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM
Node B schedule	PF scheduling in time and frequency
Link adaptation	20 CQI(MCS) levels, feedback highest CQI satisfying 10% BLER

## 2. 시뮬레이션 과정

실제 수행된 시뮬레이션은 (그림 5)의 순서에 의하여 절차대로 수행되었다.

우선 시뮬레이션에 관련된 파라미터들을 모두 초기화 해준 후 셀을 구성하고 기지국을 배치한다. 인접 셀로부터의 간섭을 실제적으로 모델링하기 위해서, 중심 셀을 기준으로 18개의 인접 셀이 둘러져 있는 2-tier 다중 셀 모델을 고려하여 wrap-around 방식으로 셀을 구성하고 하나의 셀은 3개의 섹터를 가지도록 한다.

한 번의 drop 과정은 다음과 같이 구성되는데, 우선 19개의 모든 셀에 균일한 분포를 이루도록 단말기들을 뿌리고 각 단말기들과 57개 모든 섹터와의 경로 손실, 새도잉, 안테나 이득을 계산한 후 프리앰블(pre-ambble) 신호를 통해서 각 단말기들은 자신의 서빙

(serving) 섹터를 결정한다.

만약 섹터와 단말기의 간격이 35m 이내이거나 선택된 서빙섹터에 이미 10명의 단말기가 차있다면 다시 단말기를 뿌린다.

이후 'FrameLimit' 동안 스케줄링, 전력제어, 인접 셀 간섭 계산 등 기지국들과 단말기들간의 동작을 반복적으로 진행시킨 후 메트릭(metric)을 측정한다.

이러한 drop 과정은 'DropLimit' 만큼 반복되고 이후 각 drop 과정에서 측정하였던 메트릭 데이터를 평균화하여 시스템 레벨 시뮬레이션 성능을 평가한다. 본 연구에서는 10번의 user drop과 500개의 frame을 설정하였다.

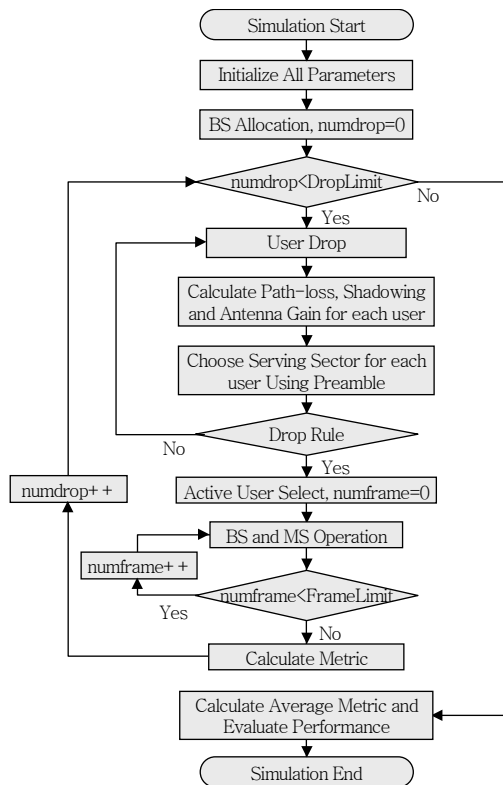
## V. 대체안의 용량분석 및 비교

### 1. 추가 주파수 사용시스템 용량분석

추가 주파수를 사용하는 시스템 A의 평균 셀 용량  $Thu_A(R_1)$ 은 단순히 5MHz LTE 시스템이 하나 더 들어가는 것으로 가정하였기 때문에 5MHz 시스템에

〈표 3〉 주파수 추가(800MHz 대역 10MHz)에 따른 ISD별 용량분석

ISD(meter)	평균 셀 수율(Mbps)	
	2×2 SM Multiplexing	2×2 SFBC
500	18.26	14.74
700	18.54	14.70
900	18.48	14.94
1100	18.42	14.84
1300	18.38	14.82
1500	18.52	14.72
1700	18.22	14.74
1900	18.12	14.56
2100	18.16	14.56
2300	18.08	14.36
2500	17.88	14.20
2700	17.52	13.86
3000	17.28	13.62



(그림 5) 시스템 레벨 시뮬레이션 과정 흐름도

서 얻은 수율에 단순히 두 배를 하면 얻을 수 있다. 이렇게 해서 얻는 추가 주파수를 할당 받아 사용하는 시스템 A의 용량분석 결과는 <표 3>과 같다.

비교기준이 되는 시스템은 3GPP의 기준과 800MHz 반송주파수 시스템에서 Geometry CDF 분석결과를 바탕으로 셀간 중심거리가 1,700m와 3,000m인 경우를 채택하여, 1,700m, 3000m의 결과는 기지국 증설에 따른 용량분석 결과와 비교를 하는 기준시스템의 셀간 중심거리로 사용될 것이다.

### 2. 기지국 증설시스템 셀 평균용량 분석

추가 주파수를 사용하지 않고 대신 기지국을 증설하는 시스템 B의 셀 평균용량  $Thu_B(R_2)$ 은 단순히 5MHz 시스템에서 얻은 수율에 추가 주파수를 갖는 시스템과의 면적비  $\alpha$ 를 곱하여 구할 수 있다.

셀간 거리에 따른 두 가지 기준시스템별로 기지국 증설 시스템의 셀간 중심거리별로 평균 셀 수율을 시뮬레이션을 통하여 산출하고 그 숫자를 역으로  $\alpha$ 를 구하는 파라미터로 사용한다.

<표 4>는 추가 주파수를 투입하는 기준시스템의 셀 중심간 거리가 1,700m일 때의 기지국 증설시스템의 셀 중심간 거리에 따른 용량분석의 결과이며, <표 5>는 기준시스템의 셀 중심간 거리가 3,000m일

<표 4> 기준시스템의 셀 중심간 거리가 1,700m일 때의 기지국 증설시스템의 용량분석

ISD(meter)	평균 셀 수율(Mbps)	
	2×2 SM	2×2 SFBC
500	105.5428	85.1972
700	54.6741	43.3500
900	32.9674	26.6522
1100	21.9974	17.7221
1300	15.7154	12.6715
1500	11.8940	9.4535
1700	9.1100	7.3700

<표 5> 기준시스템의 셀 중심간 거리가 3,000m일 때의 기지국 증설에 따른 용량분석

ISD(meter)	평균 셀 수율(Mbps)	
	2×2 SM	2×2 SFBC
500	328.6800	265.3200
700	170.2653	135.0000
900	102.6667	83.0000
1100	68.5041	55.1901
1300	48.9408	39.4615
1500	37.0400	29.4400
1700	28.3702	22.9516
1900	22.5873	18.1496
2100	18.5306	14.8571
2300	15.3800	12.2155
2500	12.8736	10.2240
2700	10.8148	8.5556
3000	8.6400	6.8100

때의 기지국 증설에 따른 용량분석의 결과이다.

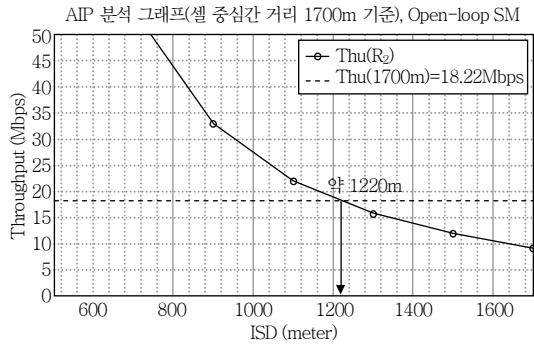
### 3. AIP 한계가치 모형의 적용

두 가지 비교대체안인 시스템 A와 B의 시스템 용량이 일치하는  $R_2$ 를 결정하기 위하여, 앞에서 수행한 용량분석 시뮬레이션의 결과를 이용해 거리별 시스템의 평균 셀 수율 그래프를 그린다. 그리고 추가 주파수를 사용하는 기준 시스템의 용량  $Thu_A(R_1)$ 과 비교대체안인 기지국 증설 시스템의 총용량  $Thu_B(R_2) \times \frac{R_1^2}{R_2^2}$ 이 일치되는 셀 중심간 거리  $R_2$ 를 찾을 수 있다.

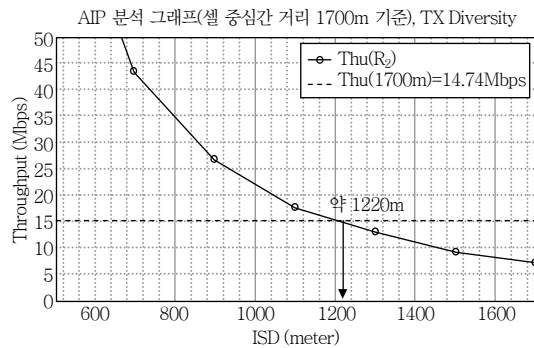
추가 주파수를 투입하는 기준시스템의 셀 중심간 거리가 1,700m일 때의 시스템의 총용량이 동일한 기지국 증설시스템의 셀 중심간 거리를 구한 결과는 (그림 6), (그림 7)과 같다.

기준 셀 중심간 거리가 1,700m일 경우에는, 안테나 구성이 2×2 TX Diversity일 때와 2×2 Spatial Multiplexing일 경우 모두 추가 주파수에 따른 시스템 총용량과 기지국 증설에 따른 시스템 총용량이 일

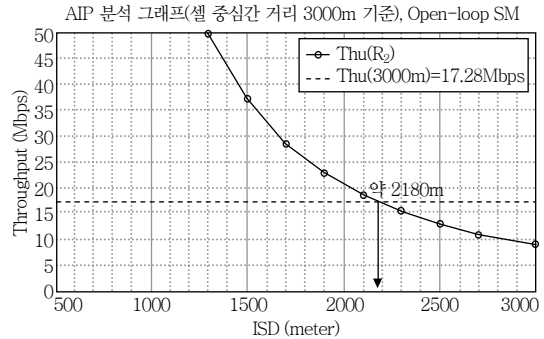




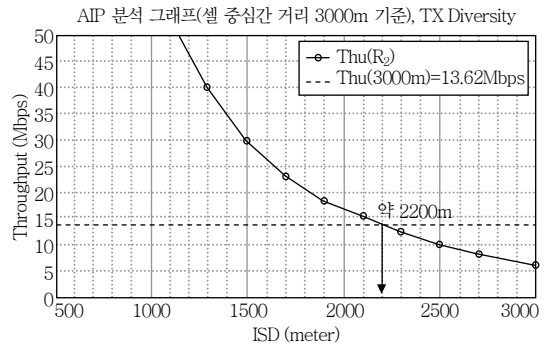
(그림 6) AIP 한계가치분석: ISD1,700m, SM



(그림 7) AIP 한계가치분석: ISD1,700m, TX



(그림 8) AIP 한계가치분석: ISD3,000m, SM



(그림 9) AIP 한계가치분석: ISD3,000m, TX

치되는 지점은 1,220m로 나타났다.

따라서, 1,700m에 대한 1,220m의 면적비에 따라 필요한 추가기지국의 수가 결정될 수 있다.

같은 방법으로 추가 주파수를 투입하는 기준시스템의 셀 중심간 거리가 3,000m일 때의 시스템 총용량과 동일한 기지국 증설시스템의 셀 중심간 거리를 구한 결과는 다음과 같다.

(그림 8)에서 볼 수 있듯이, 안테나 구성이 2×2 Spatial Multiplexing일 경우 추가 주파수에 따른 시스템 총용량과 기지국 증설에 따른 시스템 총용량이 일치되는 지점은 2,180m이다.

한편 안테나 구성이 2×2 TX Diversity일 경우 추가 주파수에 따른 시스템 총용량과 기지국 증설에 따른 시스템 총용량이 일치되는 지점은 (그림 9)에서 볼 수 있듯이 2,200m로 나타났다.

따라서, 3,000m에 대한 2,180m와 2,200m의 면

적비에 따라 각각 필요한 추가기지국의 수가 결정될 수 있을 것이다.

#### 4. 주파수의 한계가치 산정

본 연구의 모형에서 주파수의 한계가치는 비교 시스템간의 셀간 면적비  $\alpha$ 값의 크기에 따라 산출될 수 있는 것으로 되어 있다.

$R_1, R_2$ 의 결정으로  $\alpha(= \frac{R_1^2}{R_2^2})$  값을 산정할 수 있는

데  $\alpha$ 는 비교대체안의 시스템별 기지국 면적비율로 추가주파수를 사용하는 시스템과 동일한 시스템 용량을 유지하기 위해 필요한 추가 기지국의 수를 산출하는 파라미터가 된다.

이상의 과정을 통하여 구한  $R_1, R_2$ 값을 대입하여 셀간 면적비를 구하면 <표 6>과 같다.

한편 주파수의 한계가치를 최소비용대체법을 사

〈표 6〉 비교대체안의 셀간 면적비

면적비 $\alpha$	2×2 SM	2×2 TXD
1700m 기준	1.9417	1.9417
3000m 기준	1.8938	1.8595

용하여 추가기지국의 최소설치비용으로 평가할 때, 1MHz 당 가치는 식 (3)과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{주파수한계가치}/\text{MHz} = \frac{\beta \times (\alpha - 1)}{5} \quad (3)$$

여기에서  $\beta$ 는 기지국 한 개의 최소 설치비용을 나타내며, 반송주파수 5MHz의 추가에 대한 대체비용이므로 5로 나누어주면 1MHz의 한계가치를 구할 수 있다. 구체적인 기지국 설비비용에 대해서는 본 연구의 범위에서 제외되어 있으나, 일반적으로 최소비용의 원칙에 따라 LRIC 모형을 사용한 원가자료를 사용한다.

결국 800MHz 대역에서 5MHz 1FA 시스템이 5MHz 2FA 시스템과 똑같은 셀 용량을 가지려면 거의 2배에 가까운 기지국을 설치해야 함을 알 수 있으며 AIP 분석 방식과 셀 수율 결과를 이용하면, 기준이 되는 셀을 바꾸어가면서 주파수 가치를 산정할 수 있게 된다.

## VI. 맺음말

이동통신 시스템의 시스템 용량은 적용하고 있는 시스템의 성능, 셀 크기, 시스템 도입지역, 운영 주파수 대역 등에 따라 달라질 수 있다. 본 연구에서는 주파수의 가치를 산정하기 위해 3GPP에서 제안하고 있는 이동통신 시스템 환경 및 요구조건에 따라, 새로 도입될 기술인 LTE의 시스템 성능을 평가할 수 있는 시스템 레벨 시뮬레이터를 제작하였고, 이 시뮬레이터를 바탕으로 시스템 도입 지역 또는 운영 주파수 대역에 따라 시스템 용량을 산출하였다.

또한, 제안하는 AIP 분석 방식을 통해 주파수 추가에 따른 시스템 용량과 기지국 증설에 따른 시스템 용량을 분석하였고, 주파수의 가치를 산정하였다.

최종적인 비용자료를 적용하지 못하였고 서비스 수율과 제품품질의 수준 등 일부 경제학적인 고려가 부족하여 공학적 망 효율성만을 고려한 분석이라는 한계가 있지만, 본 연구의 결과는 향후 효율적인 주파수 할당 정책에 있어 참고자료로 충분히 활용될 수 있을 것이다.

### ● 용 어 해 설 ●

AIP: 행정유인가격(제도), 전파의 효율적 사용이라는 정책 목표 달성을 유도하기 위하여 정부가 면허에 부과하는 가격(제도)

한계가치: 어떤 재화(또는 서비스)의 마지막 1단위 생산으로 유발되는 효익으로 완전경쟁시장에서 한계비용과 동일

LCA: 최소비용대체안, 어떤 재화(또는 서비스) 1단위를 포기했을 때, 동일한 효익을 유지하기 위하여 대신 선택할 수 있는 최소비용의 다른 재화(또는 서비스)

## 약어 정리

AIP	Administrative Incentive Pricing
FA	Frequency Allocation
ISD	Inter Site Distance
LCA	Least Cost Alternative
LRIC	Long Run Incremental Costs
LTE	Long Term Evolution
SINR	Signal to Interference Ratio

## 참고 문헌

- [1] 전파법시행령(제22605호, 2010. 12. 31.), 별표3, <http://likms.assembly.go.kr>
- [2] INDEPEN, AEGIS Systems and Warwick Business School(2004), An Economic Study to Review Spectrum Pricing.
- [3] NERA and Smith System Engineering Limited, Study into the use of spectrum pricing, 1996.

- [4] ETRI, KORPA, 전파의 공학적, 경제적 가치산정 연구, 2006.
- [5] 3GPP TR 25.814, "Physical Layer Aspects for Evolved UTRA."
- [6] IEEE 802.16m-08/004r5, "IEEE 802.16m Evaluation Methodology Document."
- [7] 3GPP TR 25.913, "Requirements for Evolved UTRA and Evolved UTRAN."