

주파수자원의 경제적 가치 추정 방법론 연구 (A study on the economic evaluation model for spectrum)

이상우*·현창희***·최선미****·김정태****

I. 서론

1990년대 이후 국내는 물론 전세계적으로 전파자원에 대한 수요가 민간을 비롯한 공공부분에 이르기까지 전 분야에 걸쳐 확산됨에 따라 전파자원 이용에 대한 관심과 수요가 급격히 증가하고 있으며, 특히 향후 유비쿼터스 환경이 도래하면 각종 서비스의 종점이 개인으로 전환되면서 전파자원의 희소성은 물론 효율성의 증대로 전파자원 확보 경쟁은 더욱 심화될 것으로 예상된다. 이러한 최근 일련의 주파수 수요 증가와 경제적 가치 증대는 기술변화에 유연하고 주파수 이용 효율성을 극대화할 수 있는 시장의 수요 및 공급 기반의 보다 합리적인 주파수 관리체계를 요구하고 있다.

전파법 제2조에 의하면 3,000GHz 이하의 주파수의 전자파를 전파로 정의하고 있으며, 이는 적외선 영역에까지 포함한 광범위한 주파수 대역을 포함하고 있다. 즉, 전파는 인공적인 유도없이 공간에 퍼져나가는 전자파로서 국제전기통신연합(ITU)가 정한 범위의 주파수를 가지는 것을 칭하고 있다. 이러한 전파의 정의에도 불구하고 전파로 정의된 3,000GHz 이하의 전자파 스펙트럼 중 현재 개발되어 주로 이용되고 있는 것은 50GHz 이하의 범위에 불과하다.

최근 전파자원 수급의 변화 및 이와 관련한 주요 이슈들을 살펴보면, 수요적 측면에서는 각종 서비스 제공 채널의 종점이 개인으로 전환되면서 전파자원의 희소성이 증가하고 이에 따라 그 경제적 가치 또한 재평가 받고 있으며, 공급적 측면에서는 기술개발을 통해 신규 전파자원 확보 및 다양한 효율적 사용방안이 제시되고 있다. 특히 경쟁수요의 확대, 무선통신서비스의 개발 및 보급 등 전파자원을 활용한 신규서비스의 기하급수적인 증가로 인해 제한된 주파수 자원에 대한 관리 및 활용도를 극대화하여야 할 필요성이 어느 시점보다 절실히 요구되고 있는 상황이다. 이에 따라 과거 전파자원의 정책 패러다임이 전파간섭 방지라는 기술적 관점이나 혹은 사업면허제도의 부수적인 형태에 초점이 맞추어져 있었다면 최근 들어 한정된 자원의 효율적 활용과 합리적 배분이라는 경제적 관점으로 패러다임이 전환되고 있다.

전파자원 관리의 궁극적인 목표라 할 수 있는 전파자원의 효율적 배분과 이용은 다음과 같이 주파수가 지니고 있는 경제적인 특성에 의해 기반하여야 한다. 첫째 전파자원의 희소성, 둘째 전파자원의 전략성, 셋째, 전파의 공공성이다. 이와 관련 현재 많은 국가에서 주파수 배분 즉, 이용권의 할당에 있어 주파수 경매제 또는 행정가격부과 방식(AIP : Administered Incentive Pricing) 등의 시장기반 전파관리체계가 도입되어 시행하는 등 주파수 할당의 시장 메커니즘 도입, 주파수 재할용등 전파자원의 효율적 활용을 통한 국가경쟁력 제고에 정책의 주안점을 두고 주파수 환경변화에 적극적으로 대처해 나가고 있다.

흔히 전파자원은 그 공공자원이라는 관점에서 토지와 많은 유사성을 지니고 있다.

* 한국전자통신연구원, 정보통신서비스연구단, 선임연구원, 042)860-3848, woody@etri.re.kr

** 한국전자통신연구원, 정보통신서비스연구단, 정보기반연구팀장, 042)860-5594, chhyun@etri.re.kr

*** 한국전자통신연구원, 정보통신서비스연구단, 연구원, 042)860-5183, sonia@etri.re.kr

**** 한국전자통신연구원, 정보통신서비스연구단, 연구원, 042)860-1172, acroo@etri.re.kr

구분	전파자원	토지
공통점	통신서비스 생산에 필요한 생산요소	건물, 도로 등의 생산에 필요한 생산 요소
	<ul style="list-style-type: none"> - 전체 공급량이 제한되어 있고, 분배과정에서 용도별로 공급이 제한됨 - 물리적으로 제한된 자원의 효율적 활용을 위한 다양한 기술이 등장 - 위치가 가치 결정에 핵심요소로 작용 - 용도와 이용에 있어 많은 정부의 규제를 받고 있음 	
차이점	<ul style="list-style-type: none"> - 공공소유/사적재산권 불허 - 위치별 가치결정요인이 단순 	<ul style="list-style-type: none"> - 사유재산권 허용 - 위치별 가치결정요인이 다양

<표 1 전파자원과 토지자원과의 공통점 및 차이점 비교>

요컨대, 전파라는 희소한 경제적 자원은 그 처분과 이용에 있어 항상 공공의 이해, 편리성, 필요성에 따라 이루어져야 한다. 이에 본 연구에서는 주파수 자원을 이용하는 이용자들에게 적절한 이용대가를 부가함으로써 주파수 사용의 효율성 극대화를 유인할 수 있는 주파수 대역별 적정 가치 산출 방법론을 제시하고자 한다. 제2장에서는 기존에 제시되었던 다양한 주파수 자원의 경제적 가치 추정 방법론을 고찰하고 각각의 방법론 간의 장단점 분석을 수행하였으며, 이를 통해 전파자원의 효율적 이용, 전파자원의 공정성 및 산업정책적 측면에서 보다 합리적이고 공정한 주파수 자원의 가치 추정 방법론을 제시하고자 한다. 특히 제4장에서는 본 연구에서 제시한 가치 추정방법론을 통해 셀룰러의 주파수 대역인 800MHz와 PCS의 주파수 대역인 1.8GHz간의 주파수 가치를 측정하고자 하였다.

II. 기존 주파수 가치산정 방법론

일반적인 미시경제학적 이론하에서 재화의 가격 결정을 위한 일반적인 절차는 1) 가격설정을 위한 목표를 정의하고, 2) 재화를 생산하는데 소요되는 비용 및 그에 따른 수요를 예측하고 3) 가격 결정 방법을 선정한 후 4) 해당 재화의 가격을 결정하게 된다.

주파수의 가치를 산정하고 이에 대한 가격을 부과하기 위한 목표를 설정하는 문제는 매우 정책적으로 중요한 이슈이다. 이러한 관점에서 주파수의 가치 산정은 단순히 정부의 재정 수입 확보적인 차원이라기 보다는 주파수 사용과 관련된 다양한 이해 집단들의 동의와 이해가 수반되어야 한다. 결국 주파수에 부여되는 가격은 주파수 사용의 효율성을 극대화하고 주파수를 활용한 신기술의 도입을 촉진시킬 수 있어야 할 뿐만 아니라, 최종 서비스의 요금 인상을 억제하여 소비자 후생의 감소를 유발시키지 않아야 한다는 전제가 밑받침되어야 한다. 현재까지 주파수 가치 산정을 위해 다양한 방법들이 제시되고 논의되어 왔는데, 이제까지 제시된 주파수 가치 산정 방법을 요약해 보면, 크게 5가지 범주로 나누어 볼 수 있다. 1) 행정비용충당가격, 2) 시스템 성능에 기초한 가격설정, 3) 주파수 재배치 가격설정, 4) 차액가격 및 5) Shadow 가격설정 방법

1. 행정비용충당가격설정

행정비용충당가격설정 방식이란 과거 주파수의 이용이 활발하지 않은 상황에서 주파수 관리에 수반되는 연간 행정비용을 추산하여 이를 주파수 이용대가로 부과하는 방식이다. 이 가격설정방식

의 장점은 주파수 사용가치와는 상관없이 단지 주파수를 관리하는데 있어 수반되어지는 행정비용에 근거하여 이를 회수할 수 있는 수준으로 가격을 설정하게 되므로 사용자의 입장에서는 주파수를 보다 저렴하게 사용할 수 있는 반면, 최근 주파수자원 관리의 정책 목표라 할 수 있는 자원의 효율적 사용 극대화를 유인할 수 없다는 단점을 지니고 있는 가격설정 방식이라 할 수 있다. 따라서 과거 전파간섭방지라는 전파자원의 정책 패러다임하에서는 유용한 가격설정 방식이었으나, 최근의 정책 패러다임에는 부합되지 않는 가격설정 방식이라 할 수 있다.

2. 시스템 성능 기초 가격설정 방식

시스템 성능에 기초한 가격설정방식은 주파수 사용에 따른 시스템 성능의 차이를 분석하여 이를 기초로 주파수의 가치를 산정하는 방식이다. 이 가격설정 방식의 범주에 속하는 대부분의 가격설정 모형들은 주로 주파수 사용 대역폭, 채널 혹은 링크의 수, 혼잡도, 무선설비의 효율성, 커버리지 영역 등을 시스템 성능을 결정짓는 기준으로 사용하여 왔다. 그러나 이러한 가격결정 방식이 실제로 적용되기 위해서는 먼저 무선 시스템의 적용범위를 정의하거나 혹은 사용되어지는 주파수 양을 측정하기 위하여 다양한 기술적 패러미터들의 정의가 선행되어야 한다.

현재까지 일반적으로 사용되어왔던 주파수 가치 측정 모델은 다음과 같다.

$$P = V/M * (K_f * K_s)/K_m * C_s * K_p$$

P = 주파수 가격

V = 주파수 서비스 제공영역

M = 제공가능한 사용자 수 혹은 채널수와 같은 무선설비로부터 얻어지는 유용한 결과

K_f = 사용되는 범위의 특정한 특성을 반영하는 계수

K_s = 무선기지국 구축 지역을 고려한 계수

K_m = 무선시스템의 사회적 효익을 반영한 계수

C_s = 연간 주파수 관리 비용

K_p = 주파수 접근 수요 수준을 고려한 계수

시스템 성능에 기초한 주파수 가격설정방식은 주파수 사용 효율성 극대화를 유도할 수 있는 이론적으로 매우 좋은 대안적 가격설정방식이라 할 수 있으나, 이를 현실적으로 적용하기 위해서는 위에 제시된 공식에서 보는 바와 같이 어떠한 공식을 정의하여 시스템의 성능을 측정할지에 대한 문제와 다양한 계수들을 정의하고 이들 계수 값을 산출하여야 하는데 이는 매우 어려운 작업일 뿐만 아니라, 이를 정의함에 있어 주로 전문가의 주관적인 판단에 의존함으로써 객관성을 저해할 가능성이 높다는 단점을 지니고 있다. 또한 만약 객관성을 확보하여 정의되었다 하더라도 그 정의된 공식이 주파수의 모든 특성을 반영하고 있는지에 대해서도 논란의 여지가 많을 수 있으며, 이에 따라 반드시 추가적인 검증절차가 수반되어야 한다.

3. 주파수 재배치 가격설정 모형(Spectrum Reframing Pricing Model)

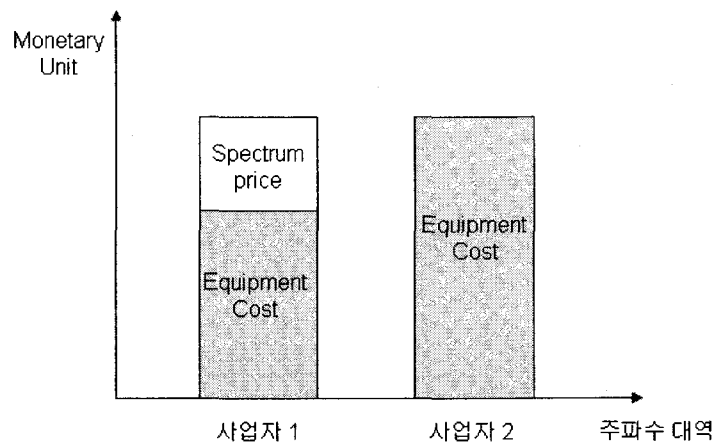
주파수 재배치 가격설정 모형은 앞선 언급한 시스템 성능 기초 가격설정방식에 비해 상대적으로 현실적 적용이 수월한 가격설정 방식으로 알려져 있다. 주파수 재배치 가격설정 모형은 기존에 할당되어 있는 주파수 대역을 회수 이를 다시 재배치함에 따라 발생하는 비용을 근거로 주파수의 가격을 산정하는 방식으로 이 가격설정 방식에 의하면 현재의 사용자들이 가까운 시일내에 다른

주파수 대역으로 이동하였을 경우 주파수 배제치에 따라 관련 사업자들이 치루어야 할 비용, 특히 새로운 장비나 새로운 사업자들이 지불해야 하는 비용을 근거로 하여 가격을 설정하는 방법이다. 이러한 가격설정 방식은 매우 합리적일 뿐만 아니라 간접적으로 주파수 이용효율성을 극대화 할 수 있으며, 특히 새로운 기술이 주파수 사용의 효율성 극대화는 물론 사회전체적으로 효율을 높일 수 있는 방식으로 평가받고 있다.

4. 차액지대 주파수 가격설정 모형(Differential Rent Spectrum Pricing)

차액지대 주파수 가격설정 방식은 서로 다른 주파수 대역을 사용하지만 서로 동일한 서비스를 제공함에도 불구하고 사용하는 주파수 대역의 본질적 차이로 인하여 발생하는 서비스 제공 비용이나 혹은 시스템적 비용 차이에 근거한 가격설정방식이다. 예를 들어 국내의 경우에는 동일한 이동전화 서비스를 제공함에도 불구하고 Cellular 사업자의 경우에는 800MHz 대역을, PCS 사업자의 경우에는 1.8GHz 대역을 사용함에 따라 망 구축에 필요한 비용 혹은 운영상의 효율성이 상이함을 기초로 주파수 대역별 가격을 차별적으로 설정할 수 있도록 하는 방법이다. 다시 말해, 서로 다른 주파수 대역을 이용하여 동일한 서비스를 동일한 품질로 제공한다고 가정하였을 경우 낮은 주파수 대역을 이용하는 사업자의 경우에는 상대적으로 높은 주파수 대역을 사용하는 사업자에 비해 망 구축비용이 상대적으로 저렴하여 기업의 사업운영과는 관계없이 주파수 대역의 본질적 차이에 의해 보다 높은 수익을 얻을 수 있게 된다.

이러한 차액지대 주파수 가격설정 방식은 무선 시스템 구축에 필요한 자본비용의 차이에 근거하는 것으로 동일한 서비스를 제공하기 위한 대안적 기술을 개발하였을 경우에 필요한 자본비용을 근거로 가격설정을 하는 방식이 있다.



<그림 1 차액지대 주파수 가격설정 모형 예>

이러한 차액지대 주파수 가격설정방식의 최종 목표는 서로 다른 주파수 대역을 이용하는 사업자들간에 공정경쟁환경을 조성할 수 있도록 유도하는데 있으며 특히 대안적인 기술을 사용하는 사업자나 혹은 상대적으로 높은 주파수 대역을 사용하는 사업자들에게 인센티브를 제공함으로써 주파수 사용의 효율성을 극대화하기 위함이다. 그러나 이러한 가격설정 방식은 같은 서비스를 제공하기 위해 다른 주파수 대역이 존재하거나 혹은 대안적 기술이 존재하였을 경우 적용가능한 방법이다.

5. Shadow Price 가격설정 방식

마지막 가격설정 방식으로는 이른바 Shadow prices의 사용에 근거한 가격설정방식을 들 수 있다. Shadow prices는 시장내 다수의 구매자가 존재하고 시장으로부터 주파수 자원의 사용을 제한함으로써 주파수 자원의 가치를 임의적으로 상승시킬 수 있는 독점력이 없을 경우 공개된 시장내에서 설정될 수 있는 경쟁적 가격을 의미한다. 또 다른 Shadow prices의 정의로는 기업에게 있어 주파수 자원의 가치를 의미한다. 따라서 shadow prices는 주파수 자원을 한단위 투입함에 따라 기업의 이익의 변동분 혹은 자원의 추가적 투입의 최대 지불의사금액을 의미한다고 볼 수 있다.

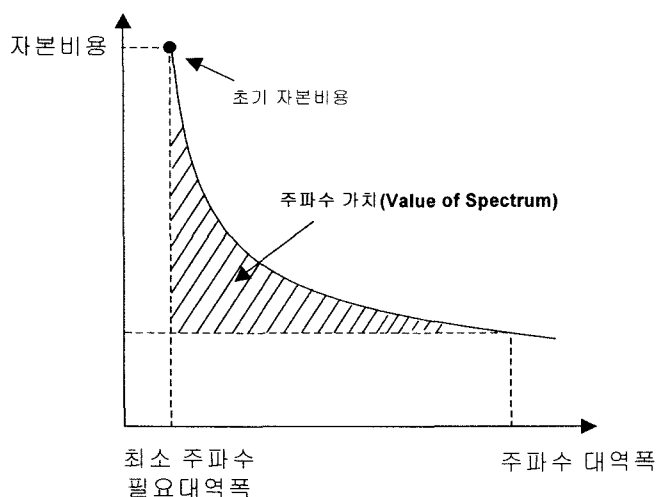
이러한 가격설정방식은 주파수 시장 없이 가상의 완전경쟁시장의 조건하에서 주파수 사용 권리의 가격을 추정하는 방식이다. Shadow prices를 활용한 주파수의 가치를 산정하는 방식에는 여러 가지 방식이 있다. 그 중 하나는 그 주파수 대역을 활용하여 해당서비스와 유사한 서비스의 평균 수익률과 해당서비스의 수익률을 비교하여 그 수익률의 차이만큼을 주파수를 이용함에 따라 발생하는 추가 수익률로 간주하여 이를 주파수 이용대가 혹은 주파수 가격으로 설정하는 방식이 있다.

III. 주파수 대역가치추정 방법론

본 연구에서 제시하고자 하는 주파수 가격결정 모형은 차액지대 가격설정 모형의 개념을 활용한 한계효용 가격결정 모형이다. 본 모형은 할당되는 주파수 대역폭의 증가에 따른 한계 효용을 측정하여 사업자에게 할당된 총 주파수 대역의 한계효용을 합하여 이를 주파수의 가격으로 설정하는 가격설정 모형이다.

본 연구에서 제시하고자 하는 한계효용 가격설정 모형은 어떤 재화의 소비량이 증가함에 따라 필요도가 점차 작아지는 한계효용체감의 법칙에 근거한 것으로 소비자들이 재화를 소비함에 따라 한계효용이 감소하는 것처럼 통신서비스를 제공하는 사업자에게도 할당되는 주파수 대역이 증가함에 따라 망 구축에 투입되는 자본비용의 감소폭은 점차 작아져 그 효용 또한 점차 감소할 것이라는 기본 가정에서 출발한다.

주파수의 가격 P 는 할당되는 주파수 대역폭과 이를 활용하여 망을 구축하였을 경우 투하되는 자본비용과의 관계에서 도출되게 된다. 즉 할당되는 주파수 대역폭이 한단위 증가함에 따라 망 구축시 투하되는 자본비용의 감소분을 사업자들이 해당 주파수 자원에 대해 지불하고자 하는 최대 지불의사금액으로 가정하여 주파수의 가치를 평가하게 된다. 이를 그림으로 도식화하여 나타내면 다음 <그림 2>와 같다.



<그림 2 한계효용 가격설정 모형>

본 연구에서 제시한 한계효용 가격설정 모형을 통해 가격을 설정하게 되면 별도의 정책 기제 없이도 사업자 스스로가 자신의 효용을 극대화하기 위한 주파수 사용의 최적 선택을 추구하게 됨으로써 자연스럽게 주파수 시장에 시장메커니즘을 도입할 수 있다. 또한 사용자는 자신의 효용에 근거하여 주파수 자원의 최적 조합을 선택하게 됨에 따라 시장 메커니즘 도입시 최대 애로점으로 간주되어 왔던 주파수의 독점현상을 미연에 방지할 수 있게 된다. 이와 더불어 한계효용균등의 법칙($MU_x/P_x = MU_y/P_y$)에 따라 자신의 주파수 사용의 최적 선택함으로써 사회적으로 주파수 사용의 효율성을 극대화 할 수 있다는 점이다.

결국 한계효용 가격설정 모형하에서의 주파수의 가치 P_f 는 다음과 같은 수식을 통해 산출되어 질 수 있다.

$$\text{Value of Spectrum} = \int_{\text{Minimum required bandwidth}}^{\infty} \text{Marginal Utility}(x) dx$$

IV. Case study of spectrum price determination for cellular mobile network and PCS network.

본 장에서는 3장에서 제시한 한계효용 가격설정 모형을 토대로 800MHz와 1.8GHz간의 주파수 가치를 측정해보고자 한다. 앞서도 언급하였듯이 본 연구에서 제시한 한계효용 가격설정 방식은 서로 동일한 서비스를 제공함에도 불구하고 주파수 대역의 본질적 차이로 인해 발생하는 서비스 제공비용이나 혹은 시스템적 비용 차이에 근거하여 주파수의 가치를 측정하는 일종의 차액지대 주파수 가격설정 기법이라 할 수 있다.

구분	셀룰러	PCS
주파수 대역	800MHz	1.7 ~ 1.8GHz
전파도달거리	길다. 넓은 지역, 지하 등을 안정적으로 커버 가능	짧음. 감쇄가 심함
전파의 회절성	높음. 장애물 뒷면에 도달하는 전파의 세기가 크고 골고루 도달	낮음. 상대적으로 통화불능 지역이 많이 발생
전파의 투과성	높음. 건물이나 산악 등 장애물의 영향이 적음	낮음. 장애물의 영향을 많이 받음
- 기술적으로 800MHz 주파수 대역이 이동통신 서비스에 적합하나 이미 다 사용되어 더 이상 사용이 불가능하므로 차선책으로 1.7GHz 대역 이용 - 일반적으로 전파특성상 다른 조건이 모두 동일하다고 가정할 경우 동일 품질의 서비스를 제공하기 위해서는 PCS가 더 많은 투자비를 필요로 하는 것으로 알려져 있음		

<표 2 PCS vs. 셀룰러 전파특성 차이>

한계효용 가격설정 모형은 크게 다음과 같이 4가지 절차를 통해 주파수의 가치를 측정하게 된다. 첫 번째 절차는 망 구축 비용 산정을 위한 가상적 망설계에 필요한 주파수 대역별 망설계 원칙을 정의하는 것이며, 두 번째는 정의된 망설계 원칙에 따라 현재의 통화량 수요는 물론 전파특성을 고려하여 셀룰러 및 PCS 망을 설계하게 된다. 세 번째 절차는 가상적으로 설계된 이동통신망을 구축함에 따라 투입되는 자본비용(감가상각비+투자보수율)을 도출하고 마지막으로는 할당 주파수

대역폭의 증가에 따라 자본비용의 감소분이라 할 수 있는 주파수 대역의 한계효익(MU; Marginal Utility)을 도출하여 최종적으로 주파수의 가치를 측정하게 된다.

현재 국내 셀룰러 사업자와 PCS사업자가 할당된 주파수 대역 및 대역폭의 현황은 다음 <표 3>과 같다.

사업자	주파수 대역		할당(FA)
	순방향	역방향	
SKT(셀룰러)	869~894	824~849	9
KTF(PCS)	1840~1860	1750~1770	7
LGT(PCS)	1860~1870	1770~1780	7

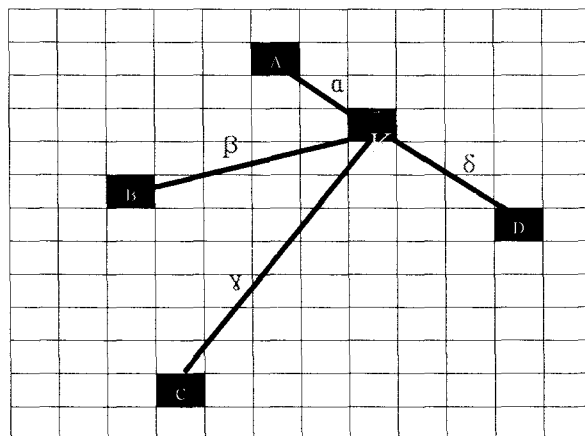
<표 3 국내 이동통신서비스 주파수 할당 현황>

1. 망설계 원칙의 정의

망설계의 범위는 셀룰러, PCS 공히 기지국을 포함한 무선망 구간(BTS), 기지국제어기(BSC), 교환전송망 및 신호망 등 이동통신망을 구성하는 모든 설비를 대상으로 하였다. 특히 할당된 주파수 대역에 의해 비용 차이 혹은 시스템적 성능차이가 크게 발생하게 될 것으로 예측하는 이동통신망의 BTS구간을 보다 정확하고 객관적으로 설계하기 위해 Hata, Lee, CCIR, Cost231-Walfisch-Ikegami, Walfisch-Bertoni 등 다양한 전파전파분석 모형을 검토한 후 본 연구의 설계 대상 지역인 서울 지역의 전파분석 모형에 가장 적합한 것으로 분석된 전파전파분석 모형을 선택하였다.

앞서도 언급하였듯이 본 연구에서는 분석의 편의를 위해 가상적인 망설계 대상지역으로 서울지역을 대상으로 하였으며, 사용된 전파전파분석모형은 Cost231-Walfisch-Ikegami model을 조합한 L_{vpm} (Vertical plane model)을 사용하였다. 통화량은 실제 셀룰러 사업자 및 PCS 사업자로부터 통화량 자료를 제공받아 실제 사업자별 통화량 수요를 반영하여 해당 통화량을 수용할 수 있는 최적의 망설계를 실시하였다. 망 재설계 설비 범위는 음성전화서비스 제공에 필요한 설비만을 대상으로 하였으며, 데이터 및 문자 서비스 등에 필요한 설비는 설계 대상에서 제외하였다.

본 연구에서는 이동통신망 설계에 적합한 통화량을 산정하기 위하여 사업자의 실제 트래픽 자료를 기준으로 예측통화량을 변환하여 10m * 10m 그리드에 배부하여 통화밀도를 보다 정확하게 반영코자 하였다. 지역별 통화밀도의 배부는 다음과 같은 과정을 통하여 이루어졌다.



실제 BTS and Grid K간의 거리
: $\alpha, \beta, \gamma, \delta$
ex) 거리 $\alpha < \beta < \gamma < \delta$ 라면
Grid K의 통화량은 가장
가까운 위치에 있는 기지국
A에 귀속

<그림 3 통화량 배부용 Grid와 실제 기지국 위치간의 관계>

본 연구에서 적용한 전파전파분석 모형은 다음과 같다.

$$L_{vpm} = (1-g)[\text{Max}(L_{fs}, L_{DS}) - F] + gL_w$$

- g = 가중치(Weighting factor)
- L_{fs} = 자유공간손실(Free Space Loss)
- L_{DS} = Dual Slope model
- F = Knife Edge 모델
- L_w = Cost231 Walfisch Ikegami 모델

또한 기지국당 최대설비제원은 다음과 같은 공식을 적용하여 산출하였다.

$$\# \text{ of users} = (\text{확산이득/신호대잡음비}) \times (1/\text{음성활성화율}) \times \text{섹터이득} \times \text{주파수재사용계수} \times \text{셀로딩 계수}$$

기지국당 최대설비제원 산출시 확산이득(Processing Gain)은 셀룰러의 경우에는 8K, PCS의 경우에는 13K 보코더 사용을 전제로 하였으며, 신호대잡음비는 7dB, 음성활성화율(Voice Activity)은 0.4, 셀당 섹터 수는 3섹터를 기본으로 하였고, 주파수재사용율(Frequency Reuse Factor)은 0.63, 셀로딩 값은 0.75로 가정하여 설계하였다.

또한 산출된 기지국당 최대설비제원을 토대로 Erlang B 테이블을 활용하여 최대 통화량을 산출하였으며, 실제 사업자별 통화량 데이터를 분할된 지역에 맞게 배분하여 통화밀도에 따라 각 지점의 전파세기를 분석함으로써 기지국이 최적의 위치에 생성되도록 설계하였다.

본 연구에서는 설계 대상지역의 전파환경을 분석하여 2% Blocking rate의 적정 통화품질을 확보할 수 있는 커버리지를 대상으로 기지국을 치국하는 것을 가정한다. 즉, 완료호 기준으로 서비스등급(GoS : Grade of Service)은 최번시에 통화를 시도할 때 단말기와 기지국간의 호손실율이 2% 이내가 되도록 설계하였다.

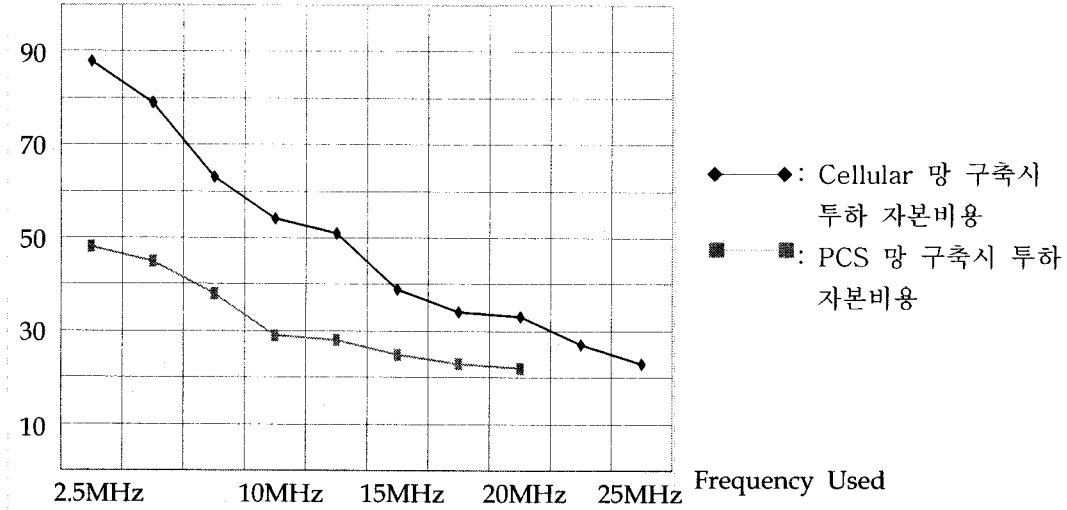
2. 망설계 및 투자비 산정

본 연구에서 적용된 투자비 산정 모형을 도식화하면 다음 <그림 4>과 같다.

이동망 설계를 통한 투자비 산정 알고리즘은 크게 교환국투자비 및 제어국투자비(MSC), 기지국투자비(BTS), 전송로 투자비, 교환국사 및 전원설비 투자비로 구성하였다. 교환국 및 제어국투자비는 교환제어국신설공사비, 교환제어국전원공사비 및 제어국사투자비로 구성된다. 기지국투자비는 기계공사, 전원공사, 접지공사, 공중선공사, 철탑공사, 환경공사, 수전공사, 기지국용토지(혹은 건물)임차비 및 기타비용으로 구성하였다. 전송로투자비는 관로투자비, 선로투자비 및 전송설비투자비로 구분하여 비용을 산출하였으며, 전송설비 및 다중화장치의 선택은 중계회선수 및 국간거리를 고려하여 기지국 ~ 교환국간에는 155M동기식 광전송장비와 다중화장치를 교환국간에는 2.5M동기식광전송설비와 다중화장치를 설치하는 것을 가정하여 설계하였다.

다음에 제시되는 <그림 5>와 <그림 6>는 앞서 정의된 망설계 원칙과 투자비 산정 알고리즘을 활용하여 서울지역을 대상으로 PCS와 셀룰러 망을 설계한 결과를 보여 주고 있다.

Capital Cost



<그림 7 주파수 대역과 자본비용간의 관계>

<그림 7>에 의하면 셀룰러 및 PCS 공히 할당 주파수 대역폭이 커짐에 따라 망 구축시 투입되는 자본비용은 감소하고 있음을 또한 주파수 대역폭이 커짐에 따라 주파수 대역별 한계 효용은 점차 감소함을 알 수 있다.(한계효용체감의 법칙) 특히 셀룰러의 경우에는 할당되는 주파수의 대역폭이 증가함에 따라 투입되는 자본비용이 급속히 하락하는 반면, PCS의 경우에는 상대적으로 자본비용의 하락폭이 작은 것을 알 수 있다. 이러한 분석 결과는 PCS에 비해 셀룰러 사업자 할당되는 주파수 대역폭이 증가함에 따라 한계효용(최대지불의사금액; Maximum Willingness to Pay)이 높음을 의미하는 것으로, 이는 PCS 대비 셀룰러의 주파수 대역의 가치가 높다는 것을 의미한다.

분석된 주파수 대역폭과 투입자본비용과의 관계를 통해 주파수대역별 가치를 추정하기 위해서는 앞서 분석된 결과를 수식적으로 표현할 수 있는 함수로 추정하여야 하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 분석의 확장성을 위해 함수 추정 방식으로 1차 선형함수(Linear)이외에 2차 함수(Quadratic)를 사용하여 분석하였다.

추정 결과, 셀룰러의 경우, 1차 선형식은 자본비용(Kc) = $88.13 - 2.893F_{MHz}$ ($R^2 = 94.1\%$)로 추정되었으며, 2차 함수를 가정하였을 경우에는 자본비용(Kc) = $101.3 - 5.472F + 0.09576F^2$ ($R^2 = 99.0\%$)로 추정되었다. 이에 반해 PCS의 경우에는 1차 선형식은 자본비용(Kc) = $50.04 - 1.584F_{MHz}$ ($R^2 = 94.1\%$)였으며, 2차 함수의 경우에는 자본비용(Kc) = $57.54 - 3.381F + 0.080F^2$ ($R^2 = 99.0\%$)으로 추정되었다.

두 개의 주파수 대역 모두 1차 선형함수 보다는 2차 함수를 통한 추정식이 훨씬 더 통계적으로 정확한 통계치를 얻을 수 있었다.

셀룰러 및 PCS별 주파수대역폭과 투입자본비용 사이의 관계를 추정한 함수를 기초로 다음과 같은 식에 의해 주파수 가치를 산정할 수 있다.

구분	주파수 가격설정 모형	
	1차 선형 함수 추정시	2차 함수(Quadratic) 추정시
Cellular	$P_{Spectrum_Price} = \int_{2.5}^{25} 88.13 - 2.893x \, dx$	$P_{Spectrum_Price} = \int_{2.5}^{25} 101.3 - 5.472x + 0.09576x^2 \, dx$
PCS	$P_{Spectrum_Price_PCS} = \int_{2.5}^{20} 50.04 - 1.584x \, dx$	$P_{Spectrum_Price_PCS} = \int_{2.5}^{20} 57.54 - 3.381x + 0.08x^2 \, dx$

<표 4 주파수 대역별 한계효용 주파수 가격설정 모형 도출 결과>

위의 산출식을 토대로 셀룰러와 PCS 주파수 대역간 차이를 비교해 보면, 먼저 1차 선형함수를 통해 추정하였을 경우 셀룰러의 주파수 대역인 800MHz는 1087.903/25MHz(relative monetary unit; 이하 monetary unit), PCS의 주파수 대역인 1.8GHz는 563.0625/20MHz(monetary unit)의 가치를 지니고 있는 것으로 도출되었다. 이는 셀룰러의 주파수 대역인 800MHz가 PCS의 주파수 대역인 1.8GHz에 비해 약 1.932배의 높은 가치를 가지고 있는 것을 의미한다. 2차 함수로 추정하였을 경우에도 이와 유사한 결과를 얻을 수 있었는데, 800MHz는 1084.601/25MHz(monetary unit)을 1.8GHz는 554.2326/20MHz (monetary unit)의 주파수 가치를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 이는 셀룰러의 경우는 1MHz당 평균 43.38404(monetary unit)의 가치를 가지고 있는 반면, PCS의 1.8GHz 대역의 경우에는 1MHz 당 평균 27.71163(monetary unit)의 가치를 지니고 있는 것으로 분석됨에 따라 PCS 대비 셀룰러의 주파수 대역이 1.7배 이상의 가치를 지니고 있는 것으로 분석되었다.¹⁾

IV. 결론

지금까지 기존에 제시되었던 다양한 주파수 자원의 경제적 가치추정 방법론들을 살펴보았으며, 이를 토대로 새로운 가치추정방법론이라 할 수 있는 한계효용 가격설정 방식을 제안해 보았다. 또한 사례연구로 본 논문에서 제안한 한계효용 가격설정 방식을 사용하여 800MHz와 1.8GHz의 경제적 가치를 산출해 보았다.

주파수 가치측정은 전파자원의 효율적 이용, 전파자원의 공정성 및 산업정책적 측면에서 매우 중요한 역할을 담당한다. 특히 주파수 가치를 측정하는 작업은 최근 주파수의 수요증가로 인한 주파수 자원의 경제적 가치 증대에 따라 주파수 이용 효율성을 극대화 할 수 있는 시장의 수요 및 공급기반의 합리적인 주파수 관리체계에서 핵심적인 역할을 수행하게 될 것이다. 본 논문에서 제시한 한계효용 가격설정 모형은 이제껏 제시되어 왔던 여러 가격설정 방법론과 함께 주파수 가치 측정을 위한 하나의 훌륭한 대안이 될 수 있을 것으로 기대되며, 본 모형을 현실적으로 적용하기 위한 보다 심도 있는 이론적/실험적 검토가 요구된다.

마지막으로 본 연구에서 제시한 방법론을 기초로 전파자원의 효율적 활용을 통한 국가경쟁력 제고는 물론 주파수 환경변화에 적극적으로 대처할 수 있는 기반이 마련될 수 있기를 기대한다.

참고문헌

R. Sweet, I. Vierhoff, D. Linardatos, N. Kalouptsidis, 2002. "Marginal value-based pricing of additional spectrum assigned to cellular telephony operators", *Information Economics and Policy* 14,(2002), pp 371~384

Ofcom, "Spectrum Pricing : A consultation on proposals for setting wireless telephony act licence fees", Consultant document, 2004.

Quitient associates, "Spectrum Pricing in the Netherlands Final Report", 2004

한국전자통신연구원, 「정보통신기술개론」, 1997

1) 일반적으로 사업자들의 망구축 원가 및 통화량 정보는 기업의 기밀사항에 해당되므로 본 논문에서는 실제의 화폐단위를 사용하는 대신 상대적인 가치를 측정하는 별도의 가치기준을 사용하였음.