

생산함수를 활용한 주파수의 경제성 평가: 이동통신 산업을 중심으로*

Economic Values of Spectrums: Estimation in the Mobile Telecommunication Industry Using the Production Function

변 희 섭 (Hee Sub Byun)**

국문초록

정부의 주파수 관리에 있어 시장 중심 체계의 도입이 시도되고 있다. 이러한 체계의 핵심은 시장원리, 즉, 경제성에 기초한 주파수의 할당 또는 재배치에 있다. 따라서 주파수의 경제성을 합리적으로 평가하기 위한 다양한 대안이 적극적으로 검토되어야 할 시점이다. 본 연구는 생산함수를 활용한 주파수의 경제성 평가 대안을 제안한다. 전 세계 이동통신 기업을 대상으로 한 실증분석결과, 주파수의 산출 탄력성은 0.05-0.07 수준으로 추정된다. 산출 탄력성은 주파수의 추가 투입이 매출액, 즉, 경제성을 정량적으로 어느 정도 증가시키는지 시사한다. 이러한 논리를 바탕으로 경제성 평가 과정을 제안하며, 과거 1.8GHz 대역 20MHz 폭의 경매 사례와의 비교를 통해 실효성 있음을 확인한다. 본 연구의 결과는 정책적 함의를 가질 것으로 기대된다. 먼저, 본 연구의 논리는 현행 전파법의 주파수의 경제성을 매출액의 일부분으로 인식하는 과정과 유사하므로, 이에 대한 적정성을 이론적으로 검토하는데 활용이 가능할 것이다. 다음으로, 예상 매출액 추정의 어려움, 한계편익의 변화 가능성 등에 기인한 현행 체계의 제약을 주파수 할당량과 매출액의 동태적 변화를 고려하는 대안을 통해 일부 완화하는데 기여할 것으로 기대된다.

주제어: 주파수 정책, 경제성, 생산함수, 산출 탄력성, 이동통신

※ 논문접수일: 2021. 2. 1, 수정일: 2021. 5. 18, 게재확정일: 2021. 5. 29

* 이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(No.2017-0-00109, 전파자원 선순환을 위한 주파수 분석 기술 개발)을 받아 수행된 연구입니다. 실증분석을 위한 자료 수집에 도움을 준 한양대학교 최에서 대학원생에게 감사의 말씀을 전합니다.

** 한림대학교 경영대학 금융재무학과 부교수, E-mail: heesbyun@hallym.ac.kr

ABSTRACT

Market-based spectrum management policy is used around the world. The core of this policy is the allocation and reallocation of spectrums based on economic factors. It is timely to actively examine various alternatives, and define the economic properties of spectrum management. This study proposes an alternative for estimating the economic properties of spectrums using the production function. Empirical analysis of mobile telecommunication companies around the world yields an output-input elasticity of spectrums – how much additional output (e.g. sales) is generated from an additional spectrum allocation – between 0.05 and 0.07. This study then proposes an economic estimation approach and confirms its effectiveness with respect to the winning price observed in the 1.8GHz band auction. The findings have clear policy implications. Since the approach taken in this study is similar to the way the Korean Radio Waves Act views the economics of spectrums, the approach can be used to examine the propriety of laws. The current constraints in calculating the spectrum prices, such as the difficulty of estimating expected sales and the possibility of changes in marginal benefits, are partially relieved by the alternative approach that considers dynamic changes in the spectrum allocation size and sales.

Key words: Spectrum policy, Economics, Production function, Elasticity, Mobile telecommunication

I. 서론

4차 산업혁명의 도래로 인해 주파수 수요가 급증하고 있다. 공급이 제한되는 국가자원인 주파수의 특성상 효율적 할당 또는 재배치가 요구된다. 이에 따라, 각국의 규제기관들은 통제 중심 주파수 관리 체계에서 시장 중심 체계로의 전환을 적극적으로 시도하고 있다. 시장 중심 체계의 기본 원칙은 주파수의 경제성을 극대화하는데 있기 때문에, 이를 인식하는 것이 선행되어야 한다. 이러한 조류에 발맞춰 국내에서도 제3차 전파진흥기본계획¹⁾을 통해 주파수의 면허제 도입을 검토할 예정에 있다. 면허제 도입의 일환으로 모든 주파수에 대해 할당대와 전파사용료가 통합된 면허료(license fee) 부과가 이루어질 것으로 예상된다.²⁾ 면허료는 경제성에 기초해야 시장원리에 입각한 자원 배분의 효율성을 극대화하는 정책 목표를 달성할 수 있을 것이다.

주파수의 경제성 평가의 중요성은 크게 정책적 관점과 실무적 관점에서 강조될 수 있다. 먼저, 정책적 관점에서 경제성은 사전적으로 주파수에 대한 배타적 사용권을 부여함에 있어 최적의 할당 대안의 모색은 물론, 사후적으로 활용 주체의 효율성 개선 유인 부여하기 위한 수단으로 활용될 수 있다. 실무적 관점(즉, 사업자의 관점)에서, 주파수는 무선통신 서비스에 필요한 생산요소로 이의 활용에는 할당대가라는 비용이 수반된다. 할당대가가 경제성에 기초함을 전제로, 사업자는 이를 사전적으로 인식함으로써 생산요소의 재배치, 신기술 도입 등과 같은 최적의 경영전략을 도출할 수 있다. 결국, 정부와 사업자 모두 주파수의 경제성을 사전에 합리적으로 인식해야 국가자원의 효율적 관리, 비용 대비 편익 극대화라는 각자의 목표를 달성할 수 있다. 이러한 목표의식 하에서 강건한 이론적 배경과 현실적 적용 가능성을 담보할 수 있는 경제성 평가 대안을 모색하는 작업이 이루어져야 할 것이다.

주파수의 경제성 평가의 중요성에도 불구하고, 이에 대한 학술적 접근은 비교적 제한적으로 이루어져왔다. 대체로, 주파수 활용의 기회비용, 활용주체의 현금흐름

1) 과학기술정보통신부 보도자료, 초연결 지능화 시대를 위한 중장기 전파정책의 밑그림 제시, 2019. 1. 24.

2) 과학기술정보통신부 보도자료, 복잡한 주파수 이용체계, 주파수 면허로 통합한다, 2019. 11. 13.

(cash flow)의 할인가치, 과거 거래가격의 활용 등이 제안되었다 (Smith & NERA, 1996; DotEcon, 2013; Prasad & Kathuria, 2014). 이러한 대안들을 통해 특정 활용 주체 또는 특정 대역에 국한하여 경제성을 평가하기 용이하나, 여러 주체와 대역을 아우를 수 있는 공통가치(common value)를 추정하는데 제약이 있다. 이러한 제약을 해소하기 위해 산업의 관점에서 주파수 활용의 파급효과 내지는 국민경제 내 기여도를 평가하는 대안으로 산업연관분석도 시도되었다. 하지만, 중간재인 주파수의 특성상, 주파수 산업(혹은 전파 산업)을 사전에 명확히 획정하기 어렵기 때문에 이러한 접근 역시 제한적일 수밖에 없다.

본 연구는 생산함수를 활용한 주파수의 경제성 평가 대안을 제안한다. 주파수는 무선통신 서비스의 필수적 생산요소로 인식될 수 있다. 자연히, 기존 노동, 자본과 같은 부존자원(endowment)들과 유사하게 산출물에 대한 기여도를 가질 것으로 추론할 수 있다. 이러한 논의를 확장하면, 이론적으로 주파수를 생산함수의 하나의 구성요인으로 인식할 수 있다. 생산함수는 기업의 투입물(input)과 산출물(output)의 경제적 관계를 나타낸다. 이를 응용하면, 생산요소인 주파수의 산출 탄력성(elasticity)은 매출액 변화에 대한 기여도로 해석될 수 있다. 이러한 비교적 단순한 추론에도 불구하고, 이러한 접근이 시도되지 못한 이유는 실증분석에 있어 상당한 자료의 수집이 요구되기 때문이다. 특히, 기업의 주파수 할당량의 정량화하는데 상당한 시간과 노력이 소요된다. 또한, 특정 국가 내 기업의 주파수 할당량의 시계열 변화나 횡단면 차이가 크지 않기 때문에 실증적 추론의 신뢰성을 담보하기 어렵다. 본 연구는 전 세계 37개 국가 내 65개 이동통신 기업을 대상으로 실증분석 자료를 구축하고, 생산함수를 추정한다. 실증분석결과에 추가하여 생산함수의 산출 탄력성의 개념을 응용하여, 과연 활용주체가 주파수의 추가 할당을 통해 어느 정도의 매출액(경제성)을 증가시킬 수 있는지에 대한 직접적인 추론 과정, 즉, 경제성 평가 대안을 제시한다.

주파수의 산출 탄력성에 대한 평가는 특히, 국내에서 중요성이 강조될 수 있다. 현행 전파법의 주파수 할당대가는 매출액에 대한 산출 기여도³⁾를 고려하는 방식으로 산정된다. 이러한 체계가 유지된다는 전제 하에서, 본 연구의 시도는 이러한 방식의 현실성을 검증함과 동시에 개선방향을 모색하는데 기여할 것으로 기대된다. 특히, 현실적으로 주파수의 경제적 기여도에 대한 논쟁이 제기되는 현실을 감

3) 전파법 시행령 별표3의 ‘주파수 할당 대가의 산정 기준’

안할 때, 실증적 시도의 필요성은 가중된다. 한편, 윤기호·이홍재 (2005)는 이론적으로 주파수의 할당대가가 고정적인 부분과 실제 매출액에 기초한 로열티 부분으로 구성되어야 함을 제안한다. 이들의 연구의 연장선에서, 과연 제안된 요소를 어떻게 정량화할 수 있을지에 대한 평가도 이루어져야 할 것이다. 본 연구는 이러한 학술적 공백을 메우는 함의도 가질 것으로 예상된다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서 주파수의 경제성 평가에 관련한 기존 연구와 생산함수 활용의 이론적 배경을 제공한다. III장에서 실증분석을 위한 자료의 구축과정을 제시한다. IV장에서 실증분석결과를 제시하고, 이에 기초한 경제성 평가 대안을 제안한다. 마지막으로 V장에서 결론 및 시사점을 도출한다.

II. 기존 문헌 및 이론적 배경

1. 기존 문헌

시장 중심 관리 체계의 도입으로 인해 주파수의 경제성을 평가하기 위한 다양한 대안이 제안되고 있다. 관련 연구들은 주로 주파수 활용 주체의 지불의사(willingness to pay), 이익(income), 기회비용(opportunity cost) 또는 실제 거래가격(trading price or auction price) 등에 주목하여 경제성을 추론한다. 먼저, 지불의사에 기초한 방식은 경매가격에 기초하여 경제성을 인식한다. 경매가 주파수 관리의 대안으로 인식된 것은 Coase (1959)에서 주파수에 대한 재산권 부여와 시장원리에 입각한 배분의 필요성이 제안된 것을 시작점으로 볼 수 있다. 경매이론은 크게 사적가치(private-value) 모형과 공통가치(common-value) 모형으로 구분할 수 있다(박동욱 외, 2002). 전자는 경매대상의 가치는 오로지 참가자의 사적 정보에 따라 결정됨을 가정한다. 반면, 후자는 경매대상의 가치가 여러 참가자에 따라 동일하나, 실제 활용에 있어 상이한 사적 정보를 활용하게 됨을 가정한다. 경매를 통한 경제성 평가는 다수의 국가에서 시행될 만큼 충분한 실효성을 갖는 것으로 평가된다. 하지만, 승자의 저주(winner's curse), 최적 경매 설계의 어려움, 적은 경매 참가자로 인한 효율성 감소 등이 한계점으로 지적된다. 특히, 경매가 시행되더라도, 유보가격(reserve price)을 사전에 결정해야하기 때문에 경제성 평가를 위한 또 다른 대안이 필요하다.

Smith-NERA (1996), Indepen et al. (2004)는 주파수 활용의 기회비용을 바탕으로, 경제성을 추정하는 대안을 제안한다. 사업자는 여러 생산요소(투입물)의 최적 조합을 바탕으로 산출물을 최대화해야 하며, 이는 이론적으로 생산 효율성(productive efficiency)을 극대화해야 함을 의미한다.⁴⁾ 이러한 관점에서, 특정 생산요소의 감소로 인해 여타 생산요소의 추가 투입이 필요하다면, 사업자는 가장 적은 비용이 드는 대안(기회비용)을 선택할 것으로 예상할 수 있다. 가령, 주파수의 활용이 아닌 또 다른 대안을 통해 동일한 서비스의 제공이 가능하다면, 이러한 대안을 실현하는데 소요되는 비용이 곧, 기회비용을 의미하며, 이를 주파수의 경제성으로 인식할 수 있다는 논리이다. 실무적으로, (1) 더 많은 네트워크 장비 구축, (2) 대체 서비스로의 전환, (3) 수요가 적은 대역으로의 이동, (4) 기술진보 및 혁신을 통한 신기술의 도입 등이 주파수 활용의 기회비용으로 제안되고 있다. 기회비용 접근법은 명료한 이론적 배경을 갖는 장점을 가져 영국, 호주 등을 중심으로 동 방법론의 적용이 적극적으로 제안되고 있다. 하지만, 주파수 활용 대안의 선정에 있어 자의성이 개입될 여지가 있으며, 기회비용 추정에 있어 내부 자료의 활용 가능성이 담보되어야 하는 제약을 내포한다. Rana et al. (2020)은 기회비용 접근법을 활용하여 주파수의 경제성을 평가하고, 이를 경매의 유보가격과 비교한다. 이를 바탕으로 방글라데시의 주파수 경매의 저조한 성과의 원인이 과도한 유보가격의 설정에 있음을 주장한다. 국내에서는 변희섭 외 (2019)은 주파수 공용통신 용도 주파수의 경제성을 기회비용의 개념에 기초하여 평가한다. 이들은 주파수 할당이 아닌 망 임차를 기회비용의 대안으로 간주한다.

이익 접근법은 재무이론의 현금흐름할인법(discounted cash flow approach)를 차용하여, 주파수의 경제성을 평가하는 대안이다. 동 방법론은 주파수 활용을 통해 사업자가 얻을 수 있는 미래 이익(현금흐름)의 현재가치로 경제성을 평가한다 (Bazelon & McHenry, 2013). Prasad & Kathuria (2014)는 인도의 1,800MHz 대역 주파수의 유보가격 설정에 이익 접근법을 활용한다. 동시에, 현금흐름할인법을 확장한 실물옵션(real option)을 활용한 대안도 제기되고 있다 (Sinha & Mudgal, 2011). 현금흐름할인법은 미래 예상이익을 추정하여 현재가치를 계산한다. 하지만, 예상

4) 생산 효율성은 한계수익(marginal benefit)을 통해 평가가 가능하다. 한계수익은 생산요소의 투입량이 증가할수록 감소하는 특성을 갖는다. 이러한 한계수익의 변화 양상은 해당 생산요소를 활용하는 주체에 따라 달라질 수 있으며, 이를 효율성을 가늠하는 척도로 이해될 수 있다.

이익에는 불확실성(또는 변동성)이 존재하며, 이를 경제성 평가에 반영하기 어려운 한계가 존재한다. 실물옵션은 예상이익의 불확실성을 경제성 평가에 고려함으로써 이를 보완한다. 이익 접근법은 직관적이며, 분석에 필요한 자료의 접근 가능성이 비교적 높다는 장점을 갖는다. 하지만, 미래 예상이익, 할인율, 주파수의 기술 기여도(technical contribution) 등에 대한 가정이 필요하다는 점에서 추정오차(estimation error)가 발생할 수 있다. 더불어, 단일 사업자가 여러 주파수 대역을 할당받은 경우, 각 대역의 활용으로부터 창출되는 고유의 이익을 구분해내기 어려운 제약도 존재한다.

벤치마크 접근법은 주파수의 과거 할당대가 부과 사례, 거래가격(trading price) 등을 참고하여 경제성을 추정하는 방식이다 (DotEcon, 2013). 동 방법론은 자료의 활용방식에 따라 시계열(time-series) 접근과 횡단면(cross-sectional) 접근으로 구분된다. 전자는 해당 국가 내 과거 사례를, 후자는 유사대역에 대한 여타 국가의 사례를 참고한다. 추정방식에 따라서, 평균 벤치마킹과 회귀분석 방식이 제안되고 있다. 전자는 기존 사례의 단순 평균 또는 GDP, 물가 상승률 등의 조정을 통해 경제성을 추정한다. 후자는 주파수의 경제성에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 사전에 선별하고, 회귀분석을 통해 각 요인의 한계효과를 추정하여 모형을 도출한다. 평가가 필요한 주파수 대역에 해당하는 요인별 수치를 모형에 입력하여 경제성의 추정치(예측치)를 도출한다. Madden et al. (2015)는 전 세계 국가의 3G 주파수 경매결과(경매 낙찰가)를 바탕으로, 시장여건, 입찰경쟁 등의 요인들을 활용하여 벤치마크 모형을 제안한다. 벤치마킹 방식은 비교적 적용이 단순하며, 이미 지불된 할당대가에 기초하기 때문에 논쟁이 여지가 크지 않다는 장점을 갖는다. 하지만, 과거 혹은 여타 국가의 자료에 의존하기 때문에 시장여건의 변화(또는 차이), 기술진보 등으로 인해 경제성이 달라질 가능성이 적극적으로 고려하지 못한다는 우려가 제기될 수 있다.

Hazlett & Muñoz (2009), 김용규·김지연 (2011)은 주파수의 추가 할당에 따른 사회후생(social welfare)의 변화를 통해 경제성을 평가한다. 이들은 이동통신 서비스의 수요와 공급함수의 추정하고, 각 계수값의 변화에 기초하여 사회후생을 추정한다. 이러한 방식은 주파수 할당량 증가가 서비스의 공급 상승을 견인함에 따라 요금 하락과 이용량 증가를 야기할 것이라는 논리에 기초한다. 동 방법론은 주파수의 고유가치보다는 요금과 이용량 변화에 기초한 소비자잉여 또는 생산자잉여의 차이를 통해 간접적으로 경제성을 추정하는 방식이다.

<표 1> 주파수의 경제성 평가 대안

대안	추정 방식	내용 및 가정
경매	· 사적가치 모형 · 공통가치 모형	· 경쟁적 수요의 존재 하에서, 경매 참여자의 지불의사 (willingness to pay) · 경매 참여자의 합리성과 시장의 효율성을 전제
기회비용 접근법	· 최소비용대안	· 주파수 활용의 대안을 통한 서비스 제공에 수반되는 비용 · 사업자의 생산 효율성 극대화 유인을 전제
이익 접근법	· 현금흐름할인법 · 실물옵션	· 사업자의 실현될 미래이익(수익-비용) · 생산요소인 주파수 자원의 금전적 활용가치에 주목
벤치마크 접근법	· 평균 벤치마킹 · 회귀분석	· 과거 동일 국가 할당대가 부과사례, 타 국가 동일 대역 할당대가 부과사례 · 기 형성된 가격의 정보력을 신뢰
사회후생 접근법	· 수요와 공급 함수	· 주파수 할당량 변화에 따른 사회후생의 변화 · 시장 균형을 전제로, 서비스의 수요 및 공급함수의 추정이 선행
산업연관 분석	· 생산유발효과, 부가가치유발효과, 고용유발효과, 공급지장효과 등	· 특정 산업(주파수 산업)에서 생산된 상품이 타 산업의 상품생산을 위한 원재료로 투입됨으로써 각 산업이 직·간접적인 연관관계를 수량적으로 파악

자료출처: 변희섭 (2020) 재정리

마지막 대안으로, 전파산업에 대한 산업연관분석을 통해 경제성을 평가할 수 있다. 산업연관분석(inter-industry analysis)은 재화나 서비스가 생산되는 산업 간 연관관계를 정량적으로 파악하는 방법론이다. 따라서, 산업적, 거시적 수준에서의 분석을 수행하고, 이를 기업별 경제적 기여도로 의제한다. 생산유발효과, 부가가치유발효과, 고용유발효과, 공급지장효과 등을 통해 파급효과(spillover effect)를 추정하고, GDP에서 차지하는 비중을 계산한다. 김용규·김택식 (2002)은 전파 관련 제반 서비스 및 기기 산업을 ‘전파산업’으로 정의하고 동 산업의 경제적 비중과 산업연관효과를 추정한다. 장재혁·여재현 (2014)은 1.8GHz 및 2.6GHz 대역 이동통신용 주파수의 파급효과를 분석한다. 이들은 이동통신 산업을 네트워크, 서비스, 단말기, 콘텐츠 등으로 나누어 산업연관분석을 수행한다. 산업연관분석의 한계점은 사전적으

로 주파수 유관 산업을 획정하는데 있다. 중간재인 주파수의 특성상 이에 기준한 별도의 산업 분류가 존재치 않는다. 따라서, ‘전파산업’을 연구자가 자의적으로 선별해야 하는 제약이 있다.

한편, 본 연구와 동일하게, 주파수의 경제성 평가에 있어 생산함수의 활용을 제안한 연구들이 존재한다. ITU (2017)은 생산 효율성 확보를 위해 각 생산요소의 비용 대비 한계생산이 동일하다는 전제 하에서 여타 생산요소의 가격에 기초하여 주파수의 경제성을 추정할 수 있음을 제안한다.⁵⁾ 이러한 대안을 구현함에 있어 생산요소의 산출 탄력성을 추정하기 위해 생산함수의 활용이 제안된다. Prasad (2015)는 이러한 논리를 전제로 생산함수의 추정계수(coefficient)와 기지국(base transceiver station)의 설치비용을 통해 주파수의 경제성을 추정한다. Rana et al. (2020) 역시 주파수의 경제성 평가에 생산함수를 활용할 수 있음을 제안한다. 하지만, 이들 연구가 주파수와 여타 생산요소 간의 비교(즉, 대체관계)에 기초하여 경제성 평가의 대안을 제시하는 것과 달리, 본 연구는 주파수의 고유의 산출 탄력성에 주목하다는 점에서 차이를 보인다. 즉, 주파수와 산출물의 관계를 전제로 보다 직접적으로 경제성을 추정하는 방식으로 이해될 수 있다.

주파수는 일종의 무형자산으로 인식될 수 있다. 이러한 맥락에서 생산함수를 통한 무형자산의 경제적 기여도를 평가한 연구가 본 연구와 연관될 수 있다. 임효정 외 (2018)은 콤팩트-더글라스 생산함수를 활용하여 지적 재산권(intellectual property)의 경제적 기여도를 평가한다. 이들은 특허권, 상표권, 디자인권 등을 무형자산으로 의제하고, 이러한 권리들의 매출액과 부가가치에 대한 산출 탄력성을 기여도로 해석한다. 주파수 할당은 배타적 사용권의 부여를 의미하므로, 이러한 연구와 유사한 논리의 적용이 가능할 것이다. 더욱이, 특허권 등과 달리 주파수는 무선통신 서비스에 반드시 투입되어야 하는 생산요소이므로, 자본, 노동에 추가하여 생산함수의 구성요소로 인식하는 논리적 당위성은 더 클 것으로 판단된다.

본 연구는 이동통신용 주파수의 경제성을 실증적으로 평가한다. 관련 국내 연구로 이흥재 (2013)은 이동통신용 주파수 경매의 유보가격 산정 체계를 제안한다. 동 연구는 현행 전파법의 할당대가 산정 체계 하에서 시장여건의 변화, 기존 유보

5) 이는 생산요소 간 대체비율인 한계기술대체율(marginal rate of technical substitution)의 개념으로 이해될 수 있다, 즉, 주파수 보유량을 감소시키고, 자본 투자를 확대하더라도 동일한 생산량을 유지할 수 있다는 전제 하에서 두 요소 간 교환비율을 기회비용 추정에 활용이 가능하다.

가격과 낙찰가의 차이 등을 고려하여 조정하는 대안을 제시한다. 임동민 (2017)은 전 세계 국가의 4G 경매 사례를 바탕으로 경매설계 요인과 낙찰가 간의 관계를 제안한다. 이는 벤치마크 접근법의 회귀분석의 실증 사례로 이해할 수 있다. 광정호·조지연 (2020)은 설문조사에 기초한 AHP(Analytic Hierarchy Process) 모형을 통해 재할당 주파수 대가의 추정방식을 제안한다. 조찬우 외 (2020)은 이동통신용 주파수의 재할당 대가의 산정을 위해 수익 기여도를 활용한다. 이들은 Norton-Bass 모형에 기초한 세대별 가입자 수를 추정하고, 세 가지 시나리오를 바탕으로 재할당 주파수의 기여도를 추정한다. 국내에서 주파수의 경제성 평가를 위해 생산함수의 활용 가능성이 실증적으로 검토한 연구는 찾기 힘들다.

2. 이론적 배경

생산함수는 이론적인 투입물과 산출물의 관계를 정의한다. 생산요소는 노동, 자본 뿐만 아니라, 지적 재산권, 기술수준, 경영능력 등과 같은 무형자원도 포함된다. 일반적으로, 기업의 생산에 있어 노동(labor)과 자본(capital)은 필수 생산요소로 간주된다. 무선통신 서비스의 경우 이들에 추가하여 주파수가 반드시 투입되어야 하므로, 기존 생산함수의 구성요인을 확장하여 아래 식 (1)이 도출된다. 여기서, Y는 산출물, L은 노동, K는 자본, S는 주파수 할당량을 의미한다.

$$Y = f(L, K, S) \quad (1)$$

생산함수는 다양한 형태를 가지며, 생산요소 간 대체탄력성(elasticity of substitution)⁶⁾을 어떻게 가정하느냐에 따라 분류할 수 있다. 일반적인 형태는 CES(Constant Elasticity of Substitution) 생산함수로 대체탄력성이 고정적임을 가정한다. 이러한 부류로 콥-더글라스 생산함수와 초월대수(translog) 생산함수가 대표적이다. 전자는 대체탄력성을 1로 가정하며, 후자는 이러한 제약을 완화하는 특징을 갖는다. 레온티에프 생산함수는 대체탄력성을 0으로 가정하며, 생산요소 간 보완성이 성립함을 의미한다. 선형 생산함수는 대체탄력성을 무한대(∞)로 가정하므로, 생산요소 간 완전한 대체관계를 전제한다.

6) 동 지표는 생산량을 유지하면서 한계기술대체율(marginal rate of technical substitution)을 변화시킬 때, 요소 결합비율이 얼마나 변화하는가를 의미한다.

본 연구는 콥-더글라스 생산함수를 활용하여 주파수의 산출 탄력성을 추정한다. 이는 직관적인 해석과 이해가 용이하며, 실증적 추정에 있어도 적합도가 높기 때문이다. 가령, 초월대수 생산함수의 경우 비선형(non-linear)항이 모형에 추가됨으로써 적합도가 낮은 것으로 평가된다.⁷⁾ 무엇보다, 주파수의 경제성 평가에 있어 주로 콥-더글라스 생산함수가 활용되기 때문이다. Rena et al. (2020)은 이동통신 기업을 대상으로 콥-더글라스 생산함수와 초월대수 생산함수를 동시에 활용하고 있는데, 전자가 후자에 비해 모형 적합도가 높음을 보고한다.

본 연구의 콥-더글라스 생산함수는 아래 식 (2)와 같다. 여기서, Y는 산출량, L은 노동 투입량, K는 자본 투입량, S는 주파수 할당량이다. $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 는 각 생산요소의 산출 탄력성을 의미한다. 산출 탄력성의 합계가 1인 경우 규모의 수확 불변(constant returns to scale), 1보다 크면 수확 체증(increasing returns to scale), 1보다 작으면 수확 체감(decreasing returns to scale)을 의미한다.

$$Y = \alpha L^{\beta_1} K^{\beta_2} S^{\beta_3} \quad (2)$$

위 식 (2)의 양변에 자연로그(natural log)를 취하면 아래 식 (3)이 도출된다. 따라서 추정계수는 특정 생산요소의 변화에 따른 산출물의 변화로 해석될 수 있다.

$$\ln Y = \ln \alpha + \beta_1 \ln L + \beta_2 \ln K + \beta_3 \ln S \quad (3)$$

본 연구는 산출물로 매출액(sales)과 부가가치(added value)를 고려한다. 매출액은 가시화되는 양적 성과로, 부가가치는 중간 투입물의 가치를 제외한 질적 성과로 의제할 수 있다 (임효정 외, 2018). 이들을 각각 종속변수로 활용하여, 주파수의 양적, 질적 기여도를 구분하여 평가한다. 노동(L)의 대응치로 이동통신 기업별 종업원 수, 자본(K)의 대응치로 유형고정자산을 활용한다. 주파수 할당량(S)는 기업이 보유한 주파수의 전체 합계와 대역별 주파수 보유량으로 구분하여 활용한다. 대역별 주파수는 각기 상이한 기술적 특성을 갖는다. 이 때문에, 모든 주파수가 동일한 산출 기여도를 가질 것이라는 가정은 현실적이지 않다. 주파수 보유량의 합계는

7) 실제 본 연구의 연구표본을 활용하여 초월대수 생산함수를 추정한 결과는 부록에 제시된 바와 같다. 대부분 변수의 추정계수가 유의하지 않아 모형 적합도가 크지 않음을 확인할 수 있었다.

질적 특성을 배제한 단순 양적 특성을 내포한다. 반면, 대역별 주파수 보유량의 활용은 대역 간 질적 특성을 통제함으로써 현실성을 강화시킬 것으로 기대한다.

Ⅲ. 실증분석 자료

본 연구는 2016년부터 2019년까지 전 세계 이동통신 기업을 대상으로 실증분석을 수행한다. 이러한 분석기간의 설정은 대부분의 국가에서 이동통신 서비스의 확산이 성숙된 상황을 감안하여 현실적인 주파수의 경제성을 추정하는 의미를 가질 것으로 기대된다. 특히, 이동통신 서비스의 확산과정이 국가별로 상이하다는 측면을 감안할 때, 이러한 설정은 생산과정이 아닌 서비스 도입시점, 기술방식의 선택, 관련 규제 등 외부적 요인이 분석결과에 미치는 영향을 최소화하여 일반화 가능성을 확대시켜줄 것이다. 한편, 특정 국가의 자료를 사용할 경우, 기업 간 주파수 보유량의 차이가 크지 않아 주파수의 경제적 의미가 과소 추정될 우려가 제기될 수 있다. 따라서 본 연구는 여러 국가의 자료를 사용함으로써, 주파수 보유량의 차이를 보다 명료히 분석결과에 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

산출물⁸⁾인 매출액(Sales)과 부가가치(Value added), 투입물⁹⁾인 종업원 수(Employee)와 유형고정자산(Fixed asset)은 기업의 재무제표¹⁰⁾와 사업보고서에 보고된다. 이러한 자료는 무디스 애널리틱스(Moody's Analytics) - 뷰로반다익(Bureau van Dijk)의 OSIRIS 데이터베이스에서 추출한다. 기업별 주파수 할당량은 spectrummonitoring.com의 데이터베이스를 통해 추출하고, 각국의 규제기관이 발표

8) 기업의 산출물로 가입자 수, 사업점유율 등을 고려할 수 있다. 다만, 가입자 수는 산출물의 구성요인 중 가격을 제외한 판매량만을 대리하므로 그 자체를 산출물로 보는데 한계가 있다. 한편, 사업점유율의 경우 특정 국가 내에서 특정 기업이 차지하는 매출액 비중으로 측정되기 때문에 여러 국가에 분포한 기업 간(국제 비교) 매출액 규모의 차이를 실증분석에 반영하지 못하는 한계가 있다.

9) 이동통신기업의 산출물에 영향을 미치는 요인으로 사업자 측면의 기술방식과 정책적 측면의 국가별 사업자의 수, 주파수 공급시점, 공동사용 제도 등도 고려될 수 있다. 다만, 본 연구의 주된 목적이 주파수의 경제성 평가에 있어 생산함수의 활용 가능성을 검토하는 것임을 감안할 때, 이러한 변수들을 실증분석모형에 포함하지 않는다. 향후 생산함수의 활용이 아닌 이동통신기업의 성과에 대한 분석 시에는 이들에 대한 고려가 필요할 것으로 판단한다.

10) 본 연구는 기업별 연결 재무제표를 활용한다. 이는 북미, 유럽 국가가 개별 재무제표의 공시 의무가 없기 때문에, 국가 간 동일한 기준을 적용하기 위한 설정이다.

하는 보고서 또는 보도자료를 통해 적정성을 재확인한다. 본 연구는 주된 관심변수인 주파수 할당량 자료의 확보 여부에 기초하여 최초의 연구표본을 설정한다. 이 중, 재무제표의 접근 가능성에 기초하여 매출액, 종업원 수, 유형고정자산 정보를 확보 여부를 다시 확인한다. 동일 재무제표를 보고하는 다국적 기업의 경우 본사 소재지 기준 기업만을 분석에 활용한다. 이러한 분류과정을 거쳐 설정된 최종 연구표본은 222개(firm-year)이며, 이는 37개 국가 내 65개 기업으로 구성된다. 모든 변수는 자연로그(natural log)를 취하여 활용한다.

<표 2> 변수의 정의

구분	변수	설명
산출	Sales	매출액
	Value added	부가가치(인건비+영업이익+임차료+대손상각비+감가상각비+세금과공과)
투입	Employee	종업원 수
	Fixed asset	유형고정자산
	Spectrum _{Total}	주파수 할당량 합계

<표 3>은 표본의 구성을 제시한다. 자료 확보 가능성에 기초하여 국가별 최소 1개부터 최대 3개 기업이 표본에 포함된다. 국가별 이동통신 기업의 평균 주파수 할당량은 다소 상이하게 관찰된다. 본 연구의 연구표본이 비교적 짧은 시계열 기간을 갖기 때문에 주로 국가 혹은 기업 간 주파수 할당량의 차이(즉, 횡단면 차이)에 기인한 산출물의 차이가 실증분석에 반영될 것으로 추론된다. 한편, 본 연구는 실증분석에 있어 먼저, 전체 표본을 활용하고, 영국, 독일과 인도를 제외한 표본을 활용한 분석을 추가로 실시한다.¹¹⁾ 이러한 설정은 이들 국가의 경우 과도한 경쟁대가로 인한 주파수의 경제성이 과도하게 높게 관찰될 우려가 제기되었기 때문이다 (Madden et al., 2015; 임동민, 2017; Zehle, 2019).

11) 과도한 할당대가 부과는 주파수 활용주체의 행동(conduct)과 성과(performance)에 영향을 미칠 수 있다. 가령, 높은 할당대가로 인해 기업의 영업비용이 상승할 경우 종업원 고용, 신규 서비스를 위한 투자지출이 축소될 수 있다. 한편, 과도한 할당대가는 주파수 할당량의 산출 탄력성에도 영향을 미칠 수 있다. 할당대가는 영업비용을 상승시켜 마케팅, R&D 등에 투입할 자금적 여력을 축소시킬 수 있으며, 이로 인해 기업의 산출물이 감소할 수 있다.

<표 3> 표본의 구성

국가	기업	표본	평균 주파수 보유량 (단위: MHz)
Argentina	1	2	40.00
Australia	2	6	463.87
Austria	1	4	552.40
Bangladesh	1	3	67.33
Belgium	3	7	160.29
Canada	1	4	70.00
Chile	2	3	140.00
China	3	12	235.67
Denmark	1	2	169.80
Finland	3	12	266.73
France	3	12	154.37
Germany	2	8	340.76
Hong Kong	3	12	291.17
India	3	8	20.10
Indonesia	2	8	88.75
Iraq	1	3	38.00
Israel	2	8	78.00
Italy	1	4	199.60
Japan	3	10	373.12
Korea	3	12	591.83
Malaysia	1	3	104.00
Morocco	1	2	156.00
New Zealand	1	4	214.50
Nigeria	1	3	113.33
Norway	1	4	234.80
Peru	1	2	110.00
Philippines	2	6	113.33
Portugal	1	4	145.20
Russia	1	2	95.00
Singapore	3	8	170.45
South Africa	3	12	73.33
Spain	1	4	159.60
Sweden	2	8	199.10
Switzerland	2	8	219.00
Taiwan	1	4	175.00
Turkey	1	4	175.00
United Kingdom	1	4	212.20

<표 4>는 변수의 기술통계량을 제시한다. 모든 변수는 이상치(outlier) 제거를 위해 상·하위 1% 수준에서 극단치 보정(winsorization)을 실시하여 활용한다. 화폐단위로 표시되는 변수는 연도 말 기준 환율을 적용하여 미국 달러로 변환한다. 매출액(Sales)의 평균은 15,500 백만 달러, 부가가치(Value added)는 7,216 백만 달러로 관찰된다. 종업원 수(Empolyee)는 평균 42,912명으로, 유형고정자산(Fixed asset)은 평균 11,800 백만 달러로 나타난다. 주파수 할당량은 평균은 214MHz로 나타난다. 이동통신 기업이 최소 11MHz부터 최대 1,097MHz까지 주파수를 보유한 것으로 나타난다.

<표 4> 기술통계량

(단위: US thousand dollar/MHz)

변수	관측치	평균	중위수	표준편차	최대값	최소값
Sales	222	15,500,000	5,418,687	22,400,000	114,000,000	800,374
Value added	184	7,216,395	1,852,710	12,000,000	60,900,000	166,295
Employee	222	42,912	12,452	82,991	460,647	1,099
Fixed asset	222	11,800,000	3,593,601	19,800,000	112,000,000	258,054
Spectrum _{Total}	222	214	160	216	1,097	11

V. 실증분석 결과¹²⁾

1. 생산함수 추정 결과

본 연구는 패널자료(panel data)를 활용한 OLS(Ordinary Least Square) 회귀분석(regression)을 통해 생산함수를 추정한다. 패널자료의 특성상 자기상관, 이분산성으로 인한 통계적 오류가 발생할 가능성이 제기된다. 가령, 동일 기업 내 주파수 할당량의 변화가 크지 않을 것으로 예상되는데, 이는 전체 표준오차를 축소시켜 실제 통계적 유의성이 없더라도 축소 성향으로 인해 유의성이 관찰될 우려가 제기된다. 이러한 문제를 보정하기 위해, 본 연구는 기업-연도 수준의 군집표준오차

12) 생산함수 추정 시 주파수의 평균적인 산출 탄력성을 평가하기 위해 모든 대역의 주파수 할당량 합계를 활용한다. 이러한 탄력성 활용의 현실성을 검증하기 위해 사례 분석(case study)으로 국내 1.8GHz 대역의 경매 결과와의 비교를 실시한다.

(clustered standard errors at the firm and year level)을 활용한다.¹³⁾¹⁴⁾

한편, 본 연구는 생산함수 추정에 있어 국가 더미 변수(country dummy variable)을 추가로 고려한다. 동 변수는 특정 국가에 해당하는 경우 1, 아닌 경우 0의 값을 부여하여 형성한다. 본 연구의 표본에는 37개 국가가 포함되므로, 더미변수 역시 37개가 형성되어 포함된다. 이러한 설정은 국가 간 규제 환경, 시장여건의 차이가 생산과정에 개입될 가능성이 제기되기 때문이다. 가령, 주파수 공급 시점 및 규모, 공동 사용 등에 대한 관리 정책 등이 주파수 활용의 효율성, 즉, 생산요소로서 투입량과 산출량의 관계를 변화시킬 가능성이 제기될 수 있다. 이러한 가능성을 사전에 차단하여 주파수 할당량의 순수한 효과를 분석할 필요가 있다.

<표 5>는 양적 성과인 매출액을 종속변수로 생산함수의 추정결과를 제시한다. 모형 (1)은 세 가지 생산요소 변수들만을 독립변수로 포함하여 추정한 결과이다. 모든 독립변수는 통계적으로 유의한 값을 갖는 것으로 나타난다. 추정계수의 합계는 1.0291로 수확 체증이 확인된다. 일반적으로 이동통신 산업에서 규모의 경제(economic of scale)가 관찰된다는 추론이 실증적으로도 확인됨을 시사한다, 하지만 그 수준이 기대와 다르게 미미한 것으로 나타나는데, 이는 연구표본의 특성상 어느 정도 투입과 생산이 성숙된 기업들만을 대상으로 하기 때문에 서비스 도입 초기에 주로 관찰되는 수확 체증이 적극적으로 확인되지 않는 것으로 해석될 수 있다.

본 연구의 주된 관심변수인 주파수 할당량의 추정계수는 0.1822로 유의적이다. 이러한 결과는 이동통신 기업의 생산함수 추정에 있어 주파수 할당량에 대한 고려가 충분한 의미를 가짐을 뒷받침한다. 주파수 할당량의 1% 증가는 매출액을 약 0.18% 상승시키는 것으로 나타난다.

모형 (2)는 보다 현실적으로 국가 더미 변수를 포함한 상태에서 생산함수를 추정한 결과를 제시한다. 모형 (1)과 마찬가지로 모든 투입변수는 유의적인 값이 확인된다. 하지만, 추정계수는 다소 크게 하락하고 있다. 이는 규제산업인 이동통신 산업의 특성상 국가 간 규제의 차이가 투입과 산출의 관계에 영향을 미칠 수 있기

13) 패널자료의 고정효과모형(fixed effect model)의 활용할 경우 시계열적으로 변화가 크지 않는(극단적으로 변화하지 않는) 변수가 모형에 포함되며 기업더미변수와 다중공선성이 우려될 수 있다. 본 연구의 주요 변수는 주파수 할당량으로 시계열적 변화가 크지 않다. 따라서 고정효과모형의 활용으로 인한 통계적 추론의 오류 가능성이 크다고 판단된다.

14) 연도 수준의 군집표준오차의 활용이 아닌 연도 더미변수(year dummy variables)를 모형에 포함한 추정결과도 보고된 결과와 유사하게 관찰되었다.

때문으로 풀이된다. 특히, 주파수 할당량의 추정계수가 하락이 두드러지는데,¹⁵⁾ 정부의 통제 하에 있는 자원인 주파수 활용의 효율성이 정책요인에 좌지우지될 가능성이 높기 때문으로 추론된다. 주파수 할당량의 추정계수는 0.0616로 나타난다. 이는 국가 특성을 통제하고, 주파수 할당량의 1% 증가는 매출액을 약 0.06% 증가시킴을 시사한다. 이는 주파수의 산출 탄력성으로 해석될 수 있다. 한편, 투입 변수의 추정계수는 1보다 낮은 값을 갖는 것으로 나타난다(0.8635). 이는 국가 더미 변수가 포함됨에 따라 투입변수의 효과가 축소되었기 때문으로 해석된다. 직관적으로, 이동통신 기업의 매출액이 국가의 정책적 특성에 영향을 받을 수 있기 때문으로 풀이된다.

모형 (3)와 (4)는 영국, 독일, 인도를 표본에서 제외하여¹⁶⁾ 생산함수를 추정한 결과이다. 대체로 앞선 모형 (1)과 (2)의 결과와 유사한 결과가 확인된다. 이는 추정결과가 과도하게 높은 경매대가 산정에 기초한 주파수의 비효율적인 활용 가능성에 의해 왜곡되지 않음을 의미한다. 국가 간 차이를 통제한 모형 (4)에서 주파수 할당량의 추정계수는 0.0537으로 통계적으로 유의적이다. 이는 주파수 할당량의 1% 증가가 매출액을 약 0.05% 증가시킴을 의미한다. 정리하면, 이동통신 기업의 주파수의 산출 탄력성은 0.0537-0.0616으로 평가할 수 있다. 이러한 수치는 주파수 할당량이 100% 증가한다면 매출액이 약 5.37-6.16% 가량 확대되는 효과가 기대됨을 시사한다.

Zehle (2019)은 지속 가능한 주파수의 할당대가로 매출액의 약 4.00-6.00% 수준을 제안한 바 있다. 본 연구는 이러한 기존 연구의 주장이 실증적으로도 지지될 수 있음을 확인한다. 물론, 해당 연구는 경매대가가 매출액에서 차지하는 비중을 정태적으로 평가한 반면, 본 연구는 계량모형을 활용하여 주파수 할당량의 변화에 기초한 산출 탄력성 개념을 활용하여 동태적 추정을 실시하였기 때문에 접근방식의 차이를 보인다.

15) 한편, 국가 더미 변수의 포함 여부에 따른 추정계수의 동태적 변화에 주목할 때 주파수의 산출 탄력성의 변화율이 가장 두드러지게 나타난다. 가령, 모형 (1)과 (2)에서 추정계수의 변화율은 종업원 수는 약 55% 상승, 유형고정자산은 약 30% 감소, 주파수 할당량은 약 66%가 감소한 것으로 나타난다.

16) 주파수 이용 산업의 규모, 경제발전 수준 등에 따른 차이의 효과를 통제하기 위해 OECD 회원국 내 기업들의 표본으로 생산함수를 추정하였다. 이 경우 주파수의 산출 탄력성은 보고된 수치와 유사하게 관찰되었다(0.0482). 따라서 이러한 요인들의 영향력이 크지는 않은 것으로 판단할 수 있었다.

<표 5> 생산함수 추정 결과: 매출액

변수/모형	Total sample		영국, 독일, 인도 제외	
	종속변수: ln(Sales)			
	모형(1)	모형 (2)	모형 (3)	모형 (4)
상수항	3.2694*** [7.44]	5.2956*** [9.44]	3.4041*** [7.54]	5.3045*** [8.89]
ln(Employee)	0.2467*** [3.26]	0.3813*** [3.82]	0.2263*** [2.74]	0.3488*** [3.14]
ln(Fixed asset)	0.6002*** [8.41]	0.4206*** [4.05]	0.6086*** [7.81]	0.4425*** [4.01]
ln(Spectrum _{Total})	0.1822*** [5.87]	0.0616** [2.40]	0.1659*** [5.23]	0.0537** [2.59]
Country dummy	Not included	Included	Not included	Included
Obs	222	222	202	202
R ²	0.9305	0.9781	0.9266	0.9784

<표 6>은 질적 성과인 부가가치를 종속변수로 활용한 분석결과를 제시한다. 모형 (1)의 모든 투입변수는 통계적으로 유의한 양(+)의 값을 갖는 것으로 나타나, 본 연구의 투입과 산출 간의 관계 설정의 적정성을 다시금 확인시켜 준다. 투입 변수의 추정계수들의 합계는 1이상으로 수확 체증 현상이 관찰된다. 모형 (2)는 국가 더미 변수를 모형에 추가한 결과를 제시하는데, 주파수 할당량의 추정계수의 통계적 유의성이 사라지고 있다. 다만, 추정계수는 앞선 <표 5>의 모형 (2)와 유사하게 0.0635로 확인된다. 이러한 결과는 국가자원인 주파수가 외생적으로 할당이 이루어져 기업 내부의 생산과정에서 새로운 가치를 창출해내는데 있어 크게 기여하지 않기 때문으로 해석된다. 즉, 이미 완성된 생산요소로 소비자에게 서비스를 제공하는데 활용되므로, 최종적인 결과물인 매출액과 보다 명확한 관련성을 갖는 것으로 풀이된다. 모형 (3)과 (4)는 과도한 주파수 할당대가가 부과된 국가의 사례를 표본에서 제외한 분석결과를 나타낸다. 모형 (1)과 (2)와 대체로 유사한 결과가 확인된다. 정리하면, 주파수 할당량은 부가가치에 통계적으로 의미있는 영향을 보이지 않지만, 경제적 의미(산출 탄력성)는 앞선 매출액의 경우와 유사하게 0.0404-0.0635 수준임을 확인할 수 있다.

<표 6> 생산함수 추정 결과: 부가가치

변수/모형	Total sample		영국, 독일, 인도 제외	
	종속변수: ln(Value added)			
	모형(1)	모형 (2)	모형 (3)	모형 (4)
상수항	1.7160*** [2.77]	3.6902*** [5.85]	1.9067*** [2.81]	3.3588*** [4.67]
ln(Employee)	0.2814*** [3.51]	0.4539*** [5.36]	0.2355*** [2.71]	0.4026*** [4.62]
ln(Fixed asset)	0.6114*** [7.44]	0.4391*** [5.17]	0.6568*** [7.22]	0.4629*** [5.48]
ln(Spectrum _{Total})	0.2207*** [4.66]	0.0635 [1.19]	0.1329** [2.14]	0.0404 [0.72]
Country dummy	Not included	Included	Not included	Included
Obs	184	184	164	164
R ²	0.9267	0.9651	0.9286	0.9693

2. 주파수의 경제성 평가 대안

앞서 실증적으로 추정된 주파수의 산출 탄력성은 주파수의 할당량 변화(percentage change)가 매출액을 얼마나 변화시키는지의 의미한다. 이러한 해석은 이동통신 기업의 산출물(매출액)에 기반한 주파수의 경제성 평가에 응용 및 확장할 수 있다. 특히, 전파법 시행령 하의 주파수 할당대가가 매출액을 기반으로 산정되기 때문에 이러한 체계를 보다 현실화하기 위한 대안을 검토할 필요가 있다. 주파수의 산출 탄력성을 활용한 주파수의 경제성 평가 대안은 아래 제시한 식 (4)와 같다.

$$Spectrum\ value = \sum_{t=1}^n \left[\frac{Sales * Elasticity * \Delta Spectrum}{(1+r)^t} \right] \quad (4)$$

Sales는 현재 시점에서 개별 기업의 매출액, Elasticity는 주파수의 산출 탄력성, $\Delta Spectrum$ 은 주파수 할당량의 변화율, r은 할인율, n는 할당기간, t는 각 시점을 의미한다. Elasticity와 $\Delta Spectrum$ 의 곱은 주파수 할당량 변화에 따른 매출액의 변화율로 해석될 수 있다. 즉, 주파수의 경제적 기여도를 의미한다. 이를 현재 시점

의 매출액에 곱하면, 주파수 할당량 증가로 인한 매출액의 증가분을 추정할 수 있다. 할당기간동안 각 기간의 매출액 증분들은 현재가치로 할인하여 합하면 현재시점에서 주파수의 경제성이 평가된다.

본 연구는 기존 주파수 할당대가 부과 사례와의 비교를 통해 제안된 평가 체계의 적합성을 검토한다. 앞서 논의한 바와 같이, 대부분의 국가는 주파수의 효율적인 배분을 위해 경매제를 도입하고 있다. 국내에서도 2011년부터 주파수의 경매제가 시행되고 있다. 경매 낙찰가는 주파수 활용 주체의 지불의사를 반영하여 경제성을 명료히 반영하는 지표로 인식된다. 따라서, 본 연구가 제안한 체계를 통해 도출된 경제성이 경매 낙찰가와 유사하게 관찰된다면, 실제 활용 주체의 지불의사를 사전적으로 평가하기 위한 대안으로 실효성을 가짐을 시사할 것이다.

본 연구는 2011년 1.8GHz 대역 경매 사례와의 비교를 실시한다. 이러한 설정은 동 사례가 경쟁적 수요에 기반하여 최초로 실시된 경매이기 때문이다. 따라서, 경매 낙찰가에는 경쟁에 기반한 기업의 최대 지불의사가 반영되었을 것으로 판단된다. 해당 대역은 20MHz 대역폭을 10년 간 사용함을 전제로 SK텔레콤에게 9,950억 원에 낙찰되었다. 동 경매의 최저경쟁가격은 4,455억 원으로 책정되었다.

<그림 1> 생산함수 추정 결과를 활용한 주파수의 경제성 추정 과정

단계	의미
(1단계) 생산함수를 통한 주파수의 산출 탄력성 추정(Elasticity)	· 주파수 할당량의 변화로 인한 매출액(산출물)의 변화 양상 예측
(2단계) 주파수의 변화율(Δ Spectrum) 산정	· 주파수 할당량의 변화(%) = 신규 할당 주파수/기존 주파수*100
(3단계) 매출액 증분 추정	· 현재시점의 매출액(Sales)에 주파수의 산출 탄력성과 할당률(경제적 기여도)을 곱하여 시점별 증분 산정
(4단계) 할당기간(n) 설정	· 할당기간 동안 매출액 증분의 합계 → 매출액(유량)은 매 기간 발생
(5단계) 현재가치 추정	· 각 시점의 매출액 증분을 현재가치 요소(discount factor)로 나눈 값을 합산 → 주파수의 경제성

SK텔레콤의 2010년 매출액은 12조 4,599억 원이다, 경매 전 주파수 할당량은 800/900MHz 대역 30MHz, 2.1GHz 대역 60MHz, 2.3GHz 대역(Wibro) 27MHz를 보유하여 총 117MHz이다. 경매 주파수는 20MHz 대역이므로, 약 17.09%의 주파수의 양적 증가가 예상되었다. 향후 예상되는 매출액 증분에 대한 현재가치를 위해 한국은행의 2010년 기업경영분석에서 제시된 전기통신업의 차입금평균이자율(6.38%)를 할인율로 활용한다. 본 연구는 앞서 생산함수를 통해 추정된 주파수의 산출 탄력성은 대략 0.05-0.07 수준을 갖는 것으로 나타난다. 따라서, 이러한 범위 내의 산출 탄력성을 적용하여 경제성을 추정한다.

추정결과는 <표 7>에 제시된 바와 같다. 산출 탄력성을 0.05로 가정할 경우 연간 1,065억 원의 매출액의 증가가 예상된다. 이러한 증가가 할당기간인 10년 간 발생함을 전제하고, 이의 현재가치(주파수 할당시점, 2011년)를 계산하면, 7,699억 원으로 산정된다. 이는 기존 경매 낙찰가에 77.38%에 해당하는 수치이다. 산출 탄력성이 상승할수록 경제성과 경매 낙찰가에서 차지하는 비중을 증가하는 것으로 나타난다. 앞서 <표 5>에서 산출 탄력성이 0.0537과 0.0616으로 나타남을 제시한 바 있다. 이를 적용하면, 전자의 경우 8,269억 원의 경제성과 83.10%의 경매 낙찰가 비중이 계산된다. 후자의 경우 9,485억 원의 경제성과 95.33%의 경매 낙찰가 비중이 계산된다. 정리하면, 본 연구가 산정한 경제성을 기초로, 동 대역에 대한 경매 낙찰가가 과열경쟁에 기초한다는 주장(정인준·여재현, 2011)을 일부 지지하지만, 아주 큰 괴리가 나타나지 않는 것으로 평가된다.

<표 7> 생산함수의 산출 탄력성을 활용한 경제성과 경매 낙찰가 비교

주파수의 산출 탄력성	연간 매출액 증가분	10년 간 매출액 증가분의 현재가치 합계	경매 낙찰가 비중
0.05	1,065억 원	7,699억 원	77.38%
0.06	1,278억 원	9,239억 원	92.85%
0.07	1,491억 원	1조 779억 원	108.33%

V. 결론 및 시사점

1. 결과 요약

주파수의 경제성 평가는 정부의 효율적 정책 수립의 기반으로 그 중요성이 강조될 수 있다. 정부는 경제성에 기초한 할당대가 부과를 통해 기업에게 신기술 개발을 통한 비용 효율성 개선, 주파수의 효과적인 활용 전략 등의 유인을 부여할 수 있다. 하지만, 적절치 못한 할당대가 부과는 주파수의 비효율적인 활용이나 기업의 과도한 비용 부담으로 작용하여 산업 진흥의 걸림돌로 작용될 우려가 제기된다. 따라서 주파수의 경제성을 객관적이고 투명하게 평가해야 하며 이의 대안을 모색하는 작업은 계속적으로 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 전 세계 이동통신 기업의 대상으로 생산함수를 활용한 주파수의 경제성을 평가하였다. 주파수의 산출 탄력성은 0.0537-0.0616 수준임을 확인할 수 있었다. 다음으로, 본 연구는 산출 탄력성에 기초하여 주파수의 경제성을 평가하는 대안을 제안하였다. 사후적으로, 본 연구의 경제성 평가 결과와 과거 1.8GHz 대역 주파수의 경매 낙찰가가 대체로 유사하게 확인되었다. 이를 바탕으로 본 연구의 평가 체계가 현실에 부합하는 실효성을 갖는 것으로 판단할 수 있다.

2. 시사점

본 연구가 제안한 체계는 현행 주파수 할당대가 산정 체계를 검증하고 개선하는데 기여할 것으로 기대된다. 먼저, 주파수의 산출 탄력성은 매출액에 기여하는 정도로, 현행 체계 하의 매출액의 3% 부과의 적정성을 사후적으로 검토하는데 활용될 수 있다. 앞서 논의한 바와 같이 산출 탄력성과 주파수 할당량 변화율의 곱은 할당 주파수가 매출액을 변화시키는 수준으로 이해될 수 있으며, 이를 검증에 활용할 수 있다. 다만, 두 수치는 시기에 따라 변화할 수 있으므로, 주기적인 재검토가 필요할 것이다.

다음으로, 현행 체계를 일부 개선하는데도 활용이 가능할 것이다. 현행 체계는 매출액을 시장 전체 예상 매출액과 개별 기업의 실제 매출액을 구분한다. 이 중 전자자의 경우(전파법 시행령 상 예상 매출액 기준으로 부과하는 납부금) 미래 예상되는 매출액의 추정이 필요하며, 이에 대한 논쟁이 발생할 가능성이 제기된다. 반

면, 본 연구의 체계는 개별 기업의 기존(현재) 매출액을 활용하여 증분을 평가하기 때문에 예상 매출액의 추정이 필요치 않다.

한편, 현행 체계는 신규 할당되는 전체 주파수 대역폭에서 개별 기업에게 할당되는 주파수 대역폭의 비중(전파법 시행령 상 주파수 할당률)을 고려한다. 이론적으로 생산요소의 한계편익(marginal benefit)이 감소하는 것은 잘 알려진 사실이다. 이러한 논의 하에서, 기존 주파수 할당량이 많은 기업의 경우 주파수의 한계가치가 비교적 낮게, 적은 기업의 경우 높게 관찰될 것으로 예상할 수 있다. 현행 체계는 단순히 주파수의 할당 비중만을 고려하기 때문에 시장 전체 매출액의 일부를 나누어 부담하는 효과만을 가져 실제 활용가치를 적절히 반영하지 못할 우려가 제기될 수 있다.¹⁷⁾ 본 연구의 체계 하에서 주파수 할당량의 변화율은 증분의 의미를 갖는다. 자연히, 주파수의 한계편익 감소라는 현실적 특성을 경제성 평가에 반영이 가능할 것으로 기대한다.¹⁸⁾

3. 한계점

본 연구가 제안한 생산함수를 활용한 주파수의 경제성 평가 체계는 두 가지 제약 조건이 존재한다. 먼저, 주파수의 양적 변화에만 주목하는데 제약이 있다. 주파수는 대역별 활용가치가 상이하기 때문에 이를 정량화할 수 있다면, 양적 특성과 동시에 질적 특성을 고려한 분석도 필요할 것이다. 평가 체계가 현실화됨을 전제로, 본 연구의 결과는 할당대가 부과의 기초가액(reference rate)로 고려하여야 할 것이다. 이에 조정요인(adjustment factor)을 추가하여 현실적인 할당대가의 도출이 가능할 것이다.

17) 물론, 실제 매출액을 기준으로 부과하는 납부금의 경우 실제 매출액(지불 접속료 제외)에 개별 기업의 전체 주파수 할당량에서 신규 할당량이 차지하는 비중을 곱하므로, 증분의 개념이 어느 정도 포함된다고 볼 수 있다. 하지만, 매출액의 기여도가 탄력성을 개념을 포함하지 않기 때문에 본 연구의 체계와 같이 한계편익의 행태를 명시적으로 고려한다고 보기는 어렵다. 더욱이, 실제 매출액이 기존 매출액의 증분가치가 반영된 결과물로 보기 어렵다는 차이도 존재한다.

18) 예를 들어, 기존 주파수의 보유량이 10MHz인 상황에서 10MHz의 추가 주파수가 할당될 경우 이의 매출액 기여도는 약 0.0616으로 평가될 수 있다. 반면, 기존 보유량이 50MHz인 상황에서 10MHz가 추가될 경우 이의 매출액 기여도는 약 0.0123으로 추정된다. 물론, 이러한 추정은 본 연구가 제안한 주파수의 산출 탄력성이 적정하다는 전제에 기초한다. 더불어, 주파수의 대역 특성, 신규 서비스의 도입 여부와 대체성 등을 요인이 고려되지 않았으므로 해석 상 주의를 요한다.

둘째, 경제성 평가에 있어 서비스별 대체성을 단기에 고려치 못하는 제약도 있다. 통상적으로, 이동통신 기업은 기술 발전에 따라 기존 주파수를 활용한 서비스를 제공하면서 추가 주파수를 활용한 신규 서비스도 동시에 제공한다. 이러한 특성은 제살 깎아먹기(carnivalization) 가능성을 제기한다. 가령, 4G/LTE 서비스가 5G 서비스로 대체된다면, 실제로 추가 주파수의 투입만큼 단기적으로 매출액의 증가가 발생하지 않을 수 있다. 물론, 대체성이 실현된다면 기존 할당된 주파수가 비효율적으로 활용되며 장기적으로 정부에 반납하는 것이 적절할 것이다. 이러한 현상이 현실화된다면, 결국, 4G/LTE 서비스의 매출액이 5G 서비스로 이전되는 효과를 가지며, 본 연구의 평가 체계가 실효성을 가질 것이다.

참고문헌

- 과학기술정보통신부 보도자료 (2019). 복잡한 주파수 이용체계, 주파수 면허로 통합한다, 2019. 11. 13.
- _____ (2019). 초연결 지능화 시대를 위한 중장기 전파정책의 밑그림 제시, 2019. 1. 24.
- 곽정호·조지연 (2020). 재할당 주파수의 합리적 대가 산정에 관한 연구. 『정보통신정책연구』, 27(2), 39-62.
- 김용규·김지연 (2011). 700MHz 대역 주파수의 이동통신용 분배에 따른 사회후생효과 분석. 『정보통신정책연구』, 18(2), 125-148.
- 김용규·김택식 (2002). 전파산업의 경제적 비중과 산업연관효과. 『정보통신정책연구』, 9(2), 197-217.
- 박동욱·왕규호·김원식·이승훈 (2002). 『주파수경매의 이론 및 사례분석』. 정보통신정책연구원 연구보고서 (연구보고 02-19).
- 변희섭 (2020). 『주파수의 경제성 평가 방법론: 경제적 가치와 경제적 기여도』. 정보통신정책연구원 워크숍 발표자료 (2020. 6. 15).
- 변희섭·연권흠·김용규 (2019). 주파수 공용통신 용도 주파수의 경제적 가치 측정. 『한국전자과학회논문지』, 30(5), 356-364.
- 윤기호·이홍재 (2005). 주파수 할당대가의 최적구조에 관한 경제적 분석. 『정보통신정책연구』, 12(2), 79-99.

- 이홍재 (2013). 이동통신 주파수경매의 유보가격 산정에 대한 연구. 『정보사회와 미디어』, 25, 78-107.
- 임동민 (2017). 주파수 경매 설계와 낙찰가: 주요국 4G 주파수 경매 회귀분석을 중심으로. 『정보통신정책연구』, 24(3), 55-84.
- 임효정·강경남·정찬식·김혁준·변혜영·김규환 (2018). 『지식재산 집약산업의 경제적 기여도 분석』. 특허청 연구과제 보고서.
- 장재혁·여재현 (2014). 광대역 이동통신 주파수 할당의 경제적 효과: 투입산출분석. 『정보통신정책연구』, 21(3), 79-107.
- 전파법 시행령 별표3. ‘주파수 할당 대가의 산정 기준’.
- 정인준·여재현 (2011). 『주파수 경매제 추진 현황 및 주요 이슈』. KISDI Premium Report 11-13.
- 조찬우·이성준·유지은 (2020). 재할당 주파수 할당대가 산정방식 개선에 관한 연구: 재할당 주파수의 수익기여도를 중심으로. 『정보통신정책연구』, 27(3), 65-92.
- Bazon, C., & G. McHenry (2013). Spectrum value. *Telecommunications Policy*, 37, 737-747.
- Coase, R. (1959). The Federal Communications Commission, *Journal of Law & Economics*, 2, 1-40.
- DotEcon (2013). *International benchmarking of 900MHz and 1800MHz spectrum value: Final Report for Ofcom*.
- Hazlett, T., & R. Muñoz (2009). A welfare analysis of spectrum allocation policies. *Rand Journal of Economics*, 40(3), 424-454.
- Indepen, Aegis Systems and Warwick Business School (2004). *An economic study to review spectrum pricing*.
- International Telecommunication Union (2017). *Methodologies for valuation of spectrum: Technical report*.
- Madden, G., I. Saglam, & I. Hussain (2015). Spectrum auction designs and revenue variations, *Applied Economics*, 47(17), 1748-1763.
- Prasad, R., & R. Kathuria (2014). The value of 1800 MHz and 2100 MHz spectrums in India and implications for auction design. *Telecommunications Policy*, 38, 223-235.
- Prasad, R. (2015). The production function methodology for estimating the value of spectrum. *Telecommunications Policy*, 39, 77-88.

- Rana, M., R. Prasad, H. Yoon, & J. Hwang (2020). Opportunity cost of spectrum for mobile communications: Evaluation of spectrum prices in Bangladesh. *Telecommunications Policy*, 44, 101925.
- Sinha, P., & H. Mudgal (2011). Valuation of 3G Spectrum License in India: A Real Option Approach. Working paper.
- Smith-NERA (1996). *Study into the Use of Spectrum Pricing*.
- Zehle, S. (2019). *Sustainable spectrum pricing: Fostering the deployment of 5G through appropriate spectrum pricing*, Coleago consulting.

〈부록〉 초월대수 생산함수의 추정 결과

변수/모형	Total sample	영국, 독일, 인도 제외
	종속변수: ln(Sales)	
	모형 (1)	모형 (2)
상수항	10.3487 [1.45]	17.2509** [2.51]
ln(Employee)	0.5064 [0.50]	0.6683 [0.68]
ln(Fixed asset)	-0.4127 [-0.29]	-1.5133 [-1.08]
ln(Spectrum _{Total})	0.2578 [0.76]	0.3960 [1.07]
ln(Employee) ²	0.0864 [1.53]	0.1423*** [3.33]
ln(Fixed asset) ²	0.0437 [0.62]	0.1394** [2.24]
ln(Spectrum _{Total}) ²	-0.0586* [-1.66]	-0.0379*** [-2.64]
ln(Employee)*ln (Fixed asset)	-0.0906 [-0.79]	-0.2192*** [-2.63]
ln(Employee)*ln (Spectrum _{Total})	-0.0730 [-0.92]	0.0708 [0.93]
ln(Fixed asset)* ln(Spectrum _{Total})	0.0720 [1.17]	-0.0403 [-0.58]
Country dummy	Included	Included
Obs	222	202
Adj-R ²	0.977	0.980