

주파수의 용도별 경제적 효율성 평가에 관한 연구: 생산 효율성을 중심으로

Evaluation of the Economic Efficiency of the Spectrum: Focusing on Productive Efficiency

변 희 섭 · 연 권 흠*

Hee Sub Byun · Kwon-Hum Yeon*

요 약

회수·재배치, 공동사용 등 주파수의 이용 효율성을 개선하기 위한 정책적 노력이 확대되고 있다. 관련 제도로 2020년 주파수 대역정비 예보제가 도입되었으며, 동 제도의 핵심은 이용 효율성에 입각한 용도별 활용 현황을 평가하는 데 있다. 우리나라에서 시장 기반의 주파수 자원 관리 체계가 도입되고 있는 점을 고려할 때, 이용 효율 평가 역시 경제성 관련 지표를 포함해야 정책적 일관성을 갖출 것으로 판단된다. 이러한 논의하에서 본 연구는 주파수의 경제적 효율성을 평가하기 위한 체계와 지표를 제안한다. 생산 효율성 개념을 차용하여 적용할 수 있는 방법론으로 자료포락분석을 도출하였다. 동 분석을 전제로 경제적 효율성 평가 과정을 3단계로 제안하며, 이 과정에서 핵심적으로 필요한 투입 및 산출 요소를 제시한다. 더불어 실제 자료를 활용한 실증분석을 통해 이러한 분석의 현실 적용 가능성을 확인한다. 본 연구는 주파수 이용 효율 평가의 객관화·전문화에 기여할 것으로 기대한다.

Abstract

In Korea, regulatory authorities are implementing various policies to promote the efficient use of the spectrum, such as withdrawal, reallocation, and joint use. Accordingly, a prediction system for the readjustment of spectrum bands was introduced in 2020, whose core purpose is to evaluate the usage efficiency of each band. In market-based spectrum management, an economic indicator must be included in the evaluation process. Therefore, this study suggests a scheme and indicator for evaluating the economic efficiency of spectrum bands. Based on the concept of productive efficiency, we propose the use of data envelopment analysis and suggest that productive efficiency evaluation be performed in three stages with potential input-output factors. In addition, we conduct an empirical analysis to verify the effectiveness of this approach. We aim to contribute to the objectification and specialization of evaluating the efficiency of spectrum bands through the study.

Key words: Spectrum Management, Readjustment of Spectrum Bands, Economic Efficiency, Data Envelopment Analysis

「이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(사업코드: 1600-1631-310, 주파수 수급 및 정비체계 구축 사업)을 받아 수행된 연구이며, 이러한 지원의 결과물인 연권흠 외(2021), “주파수 용도별 경제적 효율성 평가 방법론 연구”를 보완하여 작성함.」
「실증분석을 위한 분석 자료를 제공해주신 한국방송통신전파진흥원 관계자에게 깊은 감사의 말씀을 전합니다.」

한림대학교 경영대학 금융재무학과(Department of Finance, College of Business, Hallym University)

*세종기술경제연구소(Sejong Economic Research Institute on Technology)

· Manuscript received February 8, 2022 ; Revised February 21, 2022 ; Accepted April 4, 2022. (ID No. 20220208-016)

· Corresponding Author: Hee Sub Byun (e-mail: heesbyun@hallym.ac.kr)

I. 서 론

무선기술의 발전에 기인하여 4차 산업혁명이 가속화되고 있다. 이에 따라 주파수의 수요가 급증함에 따라, 경제성에 기초한 분배·할당과 이용 효율성 개선이 주요한 정책과제로 대두되고 있다. 전자는 주파수 할당 이전 경제성을 평가하고, 이에 기초한 할당대가를 부과함으로써 활용주체의 효율적 이용을 유도하기 위한 목적을 갖는다. 반면, 후자는 주파수 할당 이후 용도별 이용 효율성 평가를 통해 회수·재배치, 공동사용 등 대역정비의 필요성을 파악하기 위한 목적을 갖는다. 우리나라에서 경매제, 할당대가 부과 등 시장 기반의 주파수 관리체계가 적극적으로 도입되고 있는 점을 고려할 때, 대역정비에 있어도 경제성에 대한 고려가 필요하다. 그간 주파수의 경제성 평가는 주로 할당대가 산정을 위한 금전적 규모에 집중하였으며, 용도별 이용 효율성에 대한 논의는 적극적으로 이루어지지 않았다. 특히 매출액, 가입자 수에 기초한 경제성은 시장 규모, 사업특성 등이 개입되어, 용도 간 비교를 전제한 이용 효율성을 평가하는 데 활용되기 어렵다는 점에서 새로운 시각의 연구가 필요한 시점이다.

정부는 급증하는 주파수 수요에 대응하기 위해 데이터 기반·과학적 방법으로 대안을 발굴·정비하기 위한 주파수 대역정비 예보제를 도입하였다¹⁾. 동 제도는 주파수의 이용 효율 개선을 전제로 용도별 서비스의 수요 정도와 주파수의 공급 가능성에 기초하여, (1) 중·장기 효율화, (2) 대역정비, (3) 지속이용, (4) 이용 활성화/신규 수요 발굴 등의 대안을 도출하는 방식으로 시행된다. 제도의 근본적 취지를 고려하여 이러한 대안의 도출에 있어, 이용 효율성을 평가하기 위한 지표의 도입이 필요하다. 객관적인 평가지표의 활용은 주파수의 회수·재배치에 따른 이해관계자 간 갈등과 불필요한 행정비용의 발생을 축소할 것이다. 더불어 무선기술의 발전 가능성을 고려할 때, 앞으로는 현재보다 더 많은 용도로 주파수가 세분되어 활용될 것으로 예상된다. 이 때문에 객관화·전문화된 평가체계의 필요성이 가중될 것이다.

본 연구는 주파수의 경제적 효율성 평가의 방안을 제안한다. 경제적 효율성은 생산 효율성, 분배효율성과 동태적 효율성¹⁾으로 구분되며²⁾, 주파수의 이용 효율 평가는 생산 효율성을 중심으로 논의되어야 할 것이다. 이는 본질적으로 주파수가 통신서비스를 위한 하나의 생산요소로 활용되기 때문이다. 파레토 기준(Pareto criterion)하에서 경제적 효율성은 특정 경제적 활동이 다른 경제주체의 후생을 해치지 않으면서 한 경제주체의 후생을 개선하기 위한 대안적인 방법을 찾을 수 없는 상태를 의미한다. 이를 전제로 생산 효율성은 재화와 서비스의 생산을 위한 투입요소의 비용이 최소화되어야 함을 의미한다. 즉, 최소의 투입물로 최대의 산출물을 창출하는 것이 효율적인 상태임을 의미한다. 이러한 논리하에서 서로 다른 용도 간 주파수의 투입과 경제적 성과 지표의 관계를 비교함으로써, 어떤 용도가 경제적 관점에서 효율적으로 활용되는지에 대한 평가가 가능할 것이다. 물론 주파수의 활용 용도는 다른 기술적 특성을 보유하기 때문에 이용 효율 평가에 있어 다양한 특성이 통제되어야 할 것이다.

본 연구는 크게 세 가지 연구 방향을 설정한다. 먼저 미국, 영국 등 주요국의 주파수 이용현황조사, 공동사용, 회수·재배치 등 이용 효율 개선에 관련된 제도 및 현황을 조사한다. 둘째, 주파수의 경제적 효율성을 평가하기 위한 이론적 체계(방법론)를 탐색한다. 보다 구체적으로 경제적 효율성 평가를 위한 대안으로 자료포락분석(data envelopment analysis: DEA)과 확률변경분석(stochastic frontier analysis: SFA)을 제안한다. 마지막으로, 주파수의 기술적·사업적 특성과 각 방법론의 장단점을 바탕으로 어떤 대안의 활용이 효과적일지를 판단한다. 이러한 판단에 기초하여 실제 경제적 효율성 평가를 시행하기 위한 체계(단계)와 지표를 제안한다. 더불어 실제 자료를 활용한 실증분석을 통해 이러한 분석의 현실 적용 가능성을 확인한다.

본 연구의 결과는 주파수 관리의 체계화에 기여할 것으로 기대된다. 주파수의 이용 효율 평가에 대한 논의가 지속해서 제기되고 있지만, 이를 계량화한 사례는 해외에서조차 쉽게 찾아보기 힘들다. 이는 과거에는 주파수의

1) 분배 효율성은 생산된 재화와 서비스의 조합이 다른 어떤 조합을 통해 여타 경제주체의 후생을 해치지 않는 한 특정 경제주체의 후생을 증가시키지 못하도록 최적이어야 함을 의미한다. 동태적 효율성은 생산요소로서 자원은 가장 바람직한 수준의 연구개발 및 기술혁신을 장려할 수 있는 수준으로 배분되어야 함을 의미한다.

수요가 높지 않아 간섭방지 심사를 통한 관리만으로 충분히 정책목표를 달성할 수 있었기 때문이다. 해외의 경우, 주파수 거래의 2차 시장(secondary market)의 존재로 인해 주파수의 수급 불균형이 사업자 간 거래를 통해 조정될 수 있다. 하지만 우리나라에서는 2차 시장이 활성화되지 않아 사후적 이용 효율 평가 등, 정책을 통한 조정의 필요성이 크다. 본 연구의 결과는 이러한 요구에 대응하기 위한 하나의 대안으로 검토될 수 있다. 구체적으로 본 연구에서 제안된 방법론과 지표는 전파법 제6조, 전파법 시행령 제4조 등에 기초한, 주파수 이용 효율 평가 시 활용이 가능할 것이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 주파수 이용 효율을 평가 관련 해외 사례를 제시한다. III장에서는 경제적 효율성을 평가하기 위한 방법론을 도출하고, IV장에서는 이러한 방법론을 바탕으로 한 평가체계를 제안한다. V장에서는 결론, 정책적 활용방안과 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 주파수 이용 효율 평가 사례

주요국에서는 주파수 확보를 위한 회수·재배치 소요 발생 시 이용현황에 대한 조사 및 평가를 수행한다. 다만, 구체적인 지침, 지표, 방법론 등 체계화된 자료는 거의 공개되지 않고 있다. 따라서 본 장에서는 주요국의 이용현황조사 시 고려하는 요인들을 중심으로 논의를 전개한다.

2-1 미국

미국은 무선통신 인프라를 개선하기 위해 무선 브로드밴드용 주파수 500 MHz 대역폭 확보 계획을 수립하였다. 이를 위해 500 MHz 확보 10년 계획 및 일정표^{[3][4]}를 발표하였다. 주파수 확보는 후보 대역을 선정하여 우선순위를 정하고, 목표로 하는 대역폭의 달성까지 차례대로 기술적·제도적 측면의 활용 가능성을 검토하는 방식으로 진행된다. 확보 절차는 후보 대역의 선정, 우선순위 선정, 대역별 세부 평가, 재배치 계획 수립의 단계로 구성된다.

구체적으로 살펴보면, 우선순위의 평가 시 가용 대역폭 및 대역의 연속성, 산업계의 관심, 예상 경매수익, 경제적 파급효과, 주파수 재배치 예상 비용, 국제협상의 필요성, 10년 이내 확보 가능성 등을 고려한다. 연방통신

위원회 추가로 이용기관, 시스템 종류 및 복잡성, 수행업무의 중요성 및 재배치 시 영향 등에 대해 고려한다. 대역별 세부 평가 시에는 기술, 운용, 비용 측면의 평가를 시행하고 사용할 수 있는 것으로 평가되었을 때 다음 단계를 진행한다. 재배치 계획 수립 시에는 이전 대역 변경 시 기술 방식 선정 및 장비 활용 계획 수립과 주파수 공동사용 시스템 계획을 고려한다. 대역별 세부 평가는 우선순위에 따라 높은 순위 대역부터 시행되며, 목표 대역폭 확보 시 까지 반복적으로 수행한다.

2-2 영국

영국은 2011년 국방, 항공, 해양 등 5 GHz 이하에서 주로 공공용으로 사용 중인 주파수를 이동통신용 등으로 확보하는 계획을 수립하였다^[5]. 이를 위해 후보 대역을 선정하였는데, 선정을 위한 기준으로는 미래 수요 충족 및 공급 필요성, 경제적 가치 극대화 및 투자·성장 촉진, 투자가치의 환수, 저이용 대역 및 확보가 빠른 대역, 주파수 확보를 위한 비용 및 사용이익 간 균형 가능 등을 고려하였다. 2014년과 2016년에는 모바일 주파수 확보를 위해 모바일 데이터 전략 보고서^{[6][7]}를 발간하고, 2028년까지 941 MHz 대역폭 확보를 위한 계획 수립 및 우선순위 대역을 선정하였다.

2-3 일본

일본은 전파법 제26조의 2에서 주파수 이용현황조사를 규정하고 있으며, 이용현황조사는 기술의 발전에 따라 주파수의 최적 이용 실현에 필요한 재배분 등에 이바지하는 것을 목적으로 한다^[8]. 이용현황조사 결과는 주파수 할당 계획의 수립에 반영된다. 이용현황조사는 해당 대역의 무선국을 조사하는 단계, 자료 집계 및 분석하는 단계, 주파수 유효 이용 정도를 평가하는 단계, 조사 결과를 발표하는 단계로 구성된다. 무선국 조사단계에서는 조사 대상 주파수 대역에서 사용하는 무선국의 일반사항을 파악한다. 집계 및 분석단계에서는 면허인의 수, 라디오 방송국의 수, 조사표 결과를 집계하고, 무선국 증감 추이, 이용 시간 및 지역 등을 분석한다. 평가단계에서는 주파수의 유효 이용 정도를 평가하며, 마지막으로 이용현황조사

결과를 발표한다.

주파수 유효 이용 정도 평가지표는 정량 지표이며, 민간뿐만 아니라 공공분야에도 적용할 수 있는 지표를 활용한다. 평가지표는 주파수의 운용 시간을 어떻게 활용하고 있는지를 평가하는 시간 유효 이용도와, 허가 지역 범위 내에서 활용하고 있는지를 평가하는 이용 지역 유효 이용도, 허가 대역폭을 효율적으로 활용하고 있는지를 평가하는 대역폭 유효 이용도, 디지털화 등 보다 효율적인 신기술의 도입에 대한 적극성을 평가하는 기술 활용 유효 이용도 등을 제시하고 있다.

해외 사례를 정리해볼 때, 주파수의 이용현황조사에 있어 예상 경매수익, 경제적 파급효과, 경제적 가치 극대화 등 경제성에 대한 정보와 유효 이용도와 같은 효율적 이용 여부에 대한 정보가 활용되고 있음을 파악할 수 있다. 이를 바탕으로 경제성과 효율성의 의미를 동시에 내포하는 지표의 활용이 필요할 것으로 판단되며, 이는 본 연구의 연구 방향과 일치한다.

III. 생산 효율성에 기초한 경제적 효율성 평가 방법론

본 장에서는 생산 효율성의 관점을 기반으로 이를 계량화할 수 있는 방법론으로, DEA와 SFA를 제안한다. 이용 효율성을 평가하기 위한 대안적 방법론으로, 전문가 의견을 활용한 정성평가 기반의 계층화 분석 과정(analytic hierarchy process), 경제적 파급효과 개념을 바탕으로 한 산업연관분석(inter-industry analysis) 등도 활용할 수 있다. 다만, 이들 방법론은 생산 효율성에 기초하지 않을 뿐만 아니라, 효율성을 객관적으로 계량화하는 데 한계를 갖는다. 계층화 분석 과정의 경우, 정성평가에 기초하므로 평가자의 주관적 개입될 가능성이 내재하며, 산업연관분석의 경우 산출물(산업 생산액)에 집중하여 투입물(주파수 할당량)의 차이를 반영하기 어려운 구조를 갖는다.

3-1 자료포락분석(DEA)

DEA는 Farrell(1957)^[9]에서 제안되었는데, 동 연구는 효

율성을 기술효율성(technical efficiency)과 분배 효율성(allocation efficiency)으로 구분한다. 기술효율성은 최소 투입물로 최대 산출물을 유도하는 능력을 의미하며, 분배 효율성은 투입물 간의 최적 조합을 유도하는 능력을 나타낸다. 따라서 기술효율성은 주파수의 이용 효율성에 밀접한 개념으로 이해될 수 있으며, 이를 추정하기 위한 대안이 DEA이다. 동 모형은 다수의 투입물과 다수의 산출물을 갖는 의사결정 개체(decision making unit: DMU)들 간의 비교를 통해 상대적 효율성을 판단하기 위한 접근으로, DMU의 가중치를 고려한 투입물과 산출물의 각각의 합계의 비율을 바탕으로 효율성을 측정한다^[10]. DEA를 추정하면 효율성 점수는 0에서 1 사이로 나타나며, 이는 가장 효율적 기준집단(reference group, 효율성 점수=1)과의 비교를 바탕으로 측정된다. 따라서 상대적 효율성의 비교가 가능하며, 가장 효율적인 DMU와의 차이에 기초한 비효율성의 수준에 대한 평가도 가능하다.

DEA는 크게 두 가지 가정하에서 추정이 가능하다. CCR 모형^[11]은 규모수익불변(constants returns to scale: CRS) 생산을, BCC 모형^[12]은 가변 규모수익(variable return to scale: VRS) 생산을 가정한다²⁾. CCR 모형에서는 투입물의 가중 합에 대한 산출물의 가중 합의 비율이 1을 초과하지 않는다. CCR 모형은 DMU가 최적 규모로 운영됨을 전제하는데, 현실적으로 최적 규모를 달성하지 못하는 상황에서는 기술효율성(technical efficiency)과 규모 효율성(scale efficiency)을 구분치 못하는 한계에 직면할 수 있다. BCC 모형은 가변 규모수익을 가정하므로, 규모 효율성을 배제하고 순수기술 효율성(pure technical efficiency)을 도출할 수 있는 장점이 있다.

그림 13)은 DEA의 효율성 개념을 제시한다. X는 투입물, Y는 산출물을 의미하며, F1~F4는 네 개의 DMU가 가진 투입물과 산출물의 조합(mix)이다. 원점을 통과하는 직선은 규모수익불변(CRS)을 의미하며, 이를 효율적 프런티어(efficient frontier)로 활용한다. F₁, F₂, F₃를 연결하는 곡선은 주어진 산출물 규모 대비 최소 투입이 이루어진 프런티어로 가변 규모수익(VRS)을 의미한다^{[13][14]}. 이러한 프런티어들은 효율성을 측정하기 위한 기준으로 활용

2) 흔히, 이러한 모형 상의 가정을 기술 조건이라 명명한다.

3) 그림 1에 관련한 설명은 최충익, 김미숙(2008), 김권식, 이광훈(2019)을 참고하여 작성하였다. 더욱 상세한 설명은 동 연구를 참고하길 바란다.

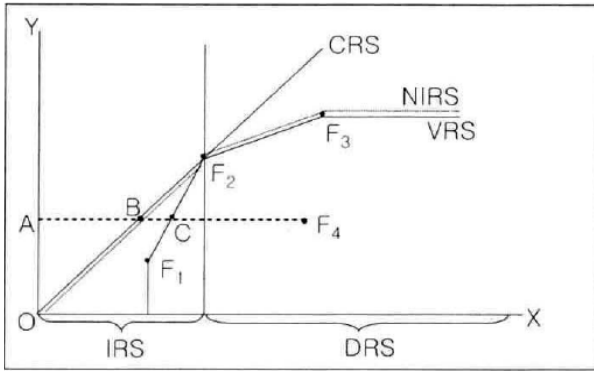


그림 1. DEA의 효율성 개념

Fig. 1. Concept of the efficiency in DEA.

Coelli et al.(1998)^[15]

된다. 만일 특정 DMU의 투입물과 산출물의 조합이 CRS 프런티어에 위치하였다면, 이를 기술적으로 효율적인 상태로 평가한다. 이를 확장하면, 각 조합이 CRS 프런티어에서 떨어진 정도를 바탕으로 기술효율성에 대한 평가가 가능하다. 이는 규모의 경제(economies of scale)가 존재함을 전제로, 가장 효율적 DMU의 투입물과 산출물 조합에서 규모가 특정 DMU의 수준으로 감소할 때 투입물의 감소 비율을 의미한다. 순수기술 효율성은 각 생산 단위의 투입물과 산출물의 조합이 VRS 프런티어에서 떨어진 정도로 측정된다. 규모 효율성은 CRS 프런티어와 VRS 프런티어 간 차이에 기초하여 측정된다. 가령, 그림 1에서 DMU F4의 기술효율성은 AB/AF4, 순수기술 효율성은 AC/AF4, 규모 효율성은 AB/AC로 계산될 수 있다. 한편, 각 DMU가 규모수익증가인지 규모수익감소 상태인지는 비증가 규모수익(non increasing return to scale: NIRS) 조건을 바탕으로 평가될 수 있다. CRS 프런티어의 기술효율성과 NIRS 프런티어의 기술효율성이 같으면 규모수익증가(increasing return to scale: IRS)하에 있으며, 다르면 규모수익감소(decreasing return to scale: DRS) 하에 있음을 의미한다^[14].

DEA는 투입지향과 산출지향 방식으로 구분할 수 있는데, 전자는 주어진 산출물하에서 가장 효율적인 DMU와의 비교를 통해 효율적 수준에서 투입물을 얼마나 축소

할 수 있을지를 평가한다. 즉, 최적 생산요소의 투입 수준을 평가하게 된다. 반면, 산출지향은 주어진 투입물 하에서 산출물의 증가 가능성에 초점을 맞춘다. 두 방식의 선택은 현재 정책목표에 따라 이루어져야 할 것이다.

식 (1)은 CRS를 가정하는 투입지향모형을 제시한다⁴⁾. x 는 투입물을, y 는 산출물을 의미한다. m 은 투입물의 수를, n 은 산출물의 수를 나타낸다. θ_k 는 기술효율성의 값을 나타내며, z_k 는 DMU에 대한 가중치를 의미한다. θ_k 가 1이 되면 해당 DMU는 효율적인 것으로 간주하고, 1보다 작은 값을 갖게 되면 상대적으로 비효율적인 DMU로 판단될 수 있다^[13]. VRS를 가정하는 모형은 위 모형에서 모든 가중치의 합계가 1과 같다는 조건을 부여함으로써 도출된다.

$$\begin{aligned} \text{Min } \theta_k \\ \text{s.t. } \sum_{k=1}^K z_k x_{km} &\leq \theta_k x_{km}, k=1, \dots, K \\ \sum_{k=1}^K z_k y_{kn} &\geq y_{kn}, z_k \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

3-2 확률변경분석(SFA)

SFA는 Aigner et al.(1977)^[16], Meeusen and van Den Broeck (1977)^[17]에서 제안되었다. SFA의 기술 효율성은 식 (2)⁵⁾로 출발해 측정될 수 있다^[18]. q 는 산출물을, x 는 투입물을 의미한다. v 는 무작위오차 효과(noise effect)를 u 는 비효율성 효과(inefficiency effect)를 나타낸다. 일반적으로 v 와 u 는 상호 독립적이며, 평균이 0이고 일정한 분산을 갖는 독립된 분포를 가짐을 전제한다. 산출물은 지수함수의 형태를 가지며, 이에 자연로그를 취하면 무작위오차와 비효율성의 구분이 가능하다. u 는 또다시 δ 와 같은 비효율성에 영향을 주는 요인에 따라 설명될 수 있다.

그림 2는 SFA하에서 비효율성을 제시한다. 이는 동일한 투입물을 전제로 최대 산출량에서 상대적으로 낮은 수준의 산출량까지의 거리로 측정된다. 이러한 논리를 바탕으로 기술효율성(TE)은 식 (3)과 같이 측정된다^[18]. 이는 0에서 1 사이의 값을 가지며, 1의 값을 가질수록 효율적 개

4) 동 모형을 본 연구의 주제와 연관하면, 주어진 산출물하에서 주파수 할당량(투입물)을 얼마나 줄일 수 있는지에 대한 정보를 포함한다.

5) 동 모형에 대한 설명은 강달원(2019)의 내용을 참고하여 정리되었다.

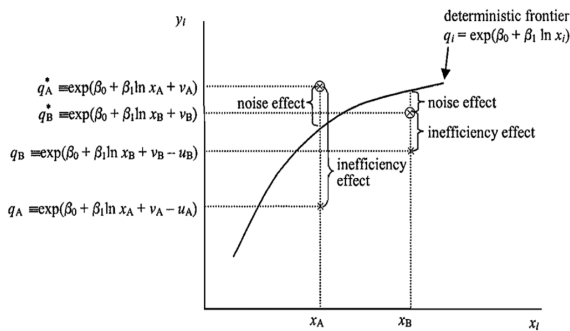


그림 2. SFA의 효율성 개념

Fig. 2. Concept of the efficiency in SFA.

Coelli et al.(2005)^[19]

체임을 의미한다. 앞선 식 (2)와 같이 비효율성은 여타 요인(δ)에 의해 영향을 받을 수 있으며, 이에 대한 동시적 추정도 가능하다. 일반적으로 이러한 요인들은 효율적 개체에 비해 비효율적 개체가 보유한 특성들의 대리변수들로 구성된다. 이를 바탕으로 비효율성의 원인을 판별할 수 있다.

$$\begin{aligned} q_i &= \exp(\beta_0 + \beta_1 \ln x_i) \times \exp(v_i) \times \exp(-u_i) \\ \ln q_i &= x_i \beta + v_i - u_i \\ u_i &= z_i \delta + \omega_i \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} TE_i &= \frac{q_i}{\exp(x_i \beta + v_i)} \\ &= \frac{\exp(x_i \beta + v_i - u_i)}{\exp(x_i \beta + v_i)} = \exp(-u_i) \end{aligned} \quad (3)$$

식 (2)의 추정을 위해서는 특정 생산함수의 활용이 필요하다. 생산함수의 형태는 생산요소 간 대체탄력성(elasticity of substitution)의 형태를 어떻게 가정하느냐에 따라 달라진다. CES(constant elasticity of substitution) 생산함수는 대체탄력성이 고정적임을 가정한 것으로, 콥-더글라스 생산함수와 초월 대수 생산함수가 대표적이다. 반면, 레온티에프 생산함수는 대체탄력성을 0으로 가정하는 형태이다. 선형 생산함수와 같이 대체탄력성을 무한대로 가정하는 형태도 존재한다. 분석하는 생산과정의 특성을 고려하

여 적절한 생산함수를 선택하는 것은 평가자의 몫이다.

IV. 주파수의 경제적 효율성 평가 방안

4.1 평가 방안

DEA는 비모수적 방식을 활용하여 별도의 분포를 가정하지 않기 때문에 유연한 확장이 가능하다. 또한, SFA와 달리 생산함수를 활용하지 않기 때문에 평가 주체의 선택에 따라 다양한 변수의 활용이 가능하다. 이는 특정한 생산이론에 국한되지 않고 생산 주체의 다양한 특성을 분석에 고려할 수 있는 장점으로 풀이될 수 있다. 주파수의 경제적 효율성 평가에 있어, 경제이론에 기초하여 이용 효율을 계량화하기 어려운 비사업용(또는 공공용 등) 등의 용도가 존재하며, 이들은 생산함수와 같은 생산자(사업자) 관점을 적용하기 어려운 측면이 내재한다⁶⁾. 따라서 DEA는 이러한 주파수 이용 효율 평가의 특성을 고려하여 대부분의 용도에 적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한, DEA는 가장 효율적인 DMU와의 비교를 통해 효율성의 차이를 계량화하기 쉬우므로, 주파수 이용 효율 개선을 위한 객관적 개선 목표를 판단하기가 비교적 수월하다.

표 1은 DEA에 기초한 주파수 용도별 경제적 효율성 평가 단계를 제시한다. 1단계로, 성과와 성과 영향 요인의 식별이 필요하다. 성과는 산출물을 의미하며, 성과 영향 요인은 투입물을 대리한다. 이를 식별하는 방법으로는 평가자의 정성평가가 활용될 수 있다. 이 경우 기존 학술연구, 정책보고서 등을 통해 제안된 무선통신 서비스의 성과변수와 주파수 활용 대리변수들의 활용 가능성을 검토할 수 있다. 더욱 객관적인 방법으로 사전적으로 이용 효율의 기준을 설정하고, 다양하게 설정된 변수(투입물)들과의 상관분석(correlation analysis)을 통해 높은 상관성을 갖는 변수만을 추출하는 방법이 고려될 수 있다. 보다 엄밀하게, 이용 효율 수준을 이분화하여, 이를 식별하기 위한 로짓 분석(Logit analysis)이나 프로빗 분석(Probit analysis)

6) 이러한 특성을 고려하여, (i) DEA를 적용하되, 비사업용 또는 공공용의 경우 별도의 투입(input)-산출(output) 요인 조합을 활용하거나, (ii) 모형 구성 시 이들 용도의 특성을 대리하는 변수(즉, 비사업용, 공공용 더미변수 등)를 일종의 통제요인으로 포함하는 방안을 고려할 수 있다. 다만, 이러한 대안들의 적정성은 평가 목적에 의존하므로, 주파수 관리자가 적용 가능성을 판단할 필요가 있다.

표 1. 주파수 용도별 경제적 효율성 평가 단계

Table 1. Step for the evaluation of the economic efficiency of the spectrum.

Step		Methodology
1 Step	Identification of input (independent variable) and output (dependent variable) factors	<ul style="list-style-type: none"> Qualitative evaluation Correlation analysis Logit analysis (probit analysis)
↓		
2 Step	Estimation of the efficiency	<ul style="list-style-type: none"> DEA
↓		
3 Step	Scoring based on the rank	<ul style="list-style-type: none"> DEA Qualitative evaluation

를 활용하는 대안도 검토될 수 있다.

2단계로, 앞서 식별된 성과와 성과 영향 요인을 각각 산출물과 투입물로 가정하여 DEA를 통해 용도별 상대적 효율성 순위를 평가한다. 이러한 분석에는 DMU, 즉, 주파수의 용도별 활용 주체를 확정할 필요가 제기된다. 개별적인 활용주체를 DMU로 활용할지, 아니면 동일 용도는 하나의 DMU로 볼지에 대한 판단이 필요하다. 이는 이용 효율 평가의 정책목표에 따라 조정이 가능하다⁷⁾.

3단계로, DEA 결과를 점수화하기 위해 평점을 부여할 필요가 있다. 앞서 언급한 바와 같이 DEA는 0부터 1까지 기술효율성값을 제시한다. 이는 상대적 효율성을 의미하므로, 그 자체를 평점으로 활용하는 대안이 검토될 수 있다.

DEA의 적용에 있어, 1단계의 투입물과 산출물을 선정하는 작업이 무엇보다 중요하다. 2, 3단계의 경우 DEA의 산식을 적용하고, 그 결과를 해석하는 과정이지만, 1단계의 경우 평가 주체의 주관적인 판단이 요구되기 때문이다. 따라서 본 연구는 DEA의 적용에 있어 활용할 수 있는 투입물과 산출물의 대안들을 제시함으로써, 실무적 활용 가능성을 높인다.

표 2는 DEA를 통한 주파수 용도별 경제적 효율성 평가에 있어 활용할 수 있는 성과 또는 성과 영향 요인을 제안한다. 성과요인은 소비자 관점의 지표와 주파수 활용 주체(즉, 생산자) 관점의 지표로 구분된다. 전자는 소비자의 활용도에, 후자는 이용 효율 개선을 위한 생산자의 행태에 기초한다. 전자의 경우 소비자에 의해 적극적으로 선택·활용되는 용도일수록 높은 성과를 가진 것으로 판단한다. 후자의 경우, 생산자가 제공하는 서비스의 질을 높이기 위한 적극적인 노력을 이행할수록 높은 성과를 가진 것으로 판단한다. 소비자 관점의 지표는 매출액, 부가가치, 이용자 수, 트래픽 등의 활용이 가능하다. 주파수 활용 주체 관점의 지표는 용량, 커버리지, 전송속도 등이 제안될 수 있다. 한편, 매출액, 가입자 수⁸⁾ 등은 이동통신, 주파수공용통신, 무선호출 등의 사업적 용도에서 주로 활용이 가능하다. 트래픽, 용량, 커버리지 등은 비사업용(또는 공공용)과 사업용 공통으로 활용이 가능할 것으로 판

표 2. 주파수 용도별 경제적 효율성 평가 요인

Table 2. Factors for the evaluation of the economic efficiency of the spectrum.

Factors	Variable	
Output (dependent variable)	Consumers' point of view	Sales
		Added value
		Number of subscriber
		Traffic
	Producers' point of view	Capacity
		Coverage
		Speed
Input (independent variable)	Labor	
	Capital	
	Bandwidth	
	Business use	
	Characteristics of band	
	Market conditions	

- 7) 더욱 현실적인 주파수 회수·재배치 대안의 마련을 위해서는 동일 용도 내에서도 상호 비교가 이루어져야 한다. 이는 DMU의 단위를 용도 및 대역이 아닌 활용 주체로 보다 세밀하게 구분한다면 충분히 실현할 수 있다. 다만, 이를 위해서는 구분된 활용 주체에 대한 자료의 수집이 필요하다.
- 8) 동 변수들은 이용 효율 평가가 필요 시 사업용과 비사업용(또는 공공용)으로 구분됨을 전제로, 사업용에 국한하여 활용될 수 있는 지표를 제시하기 위한 목적을 갖는다. 왜냐하면, 주파수의 경제성에 대한 논의가 사업용을 중심으로 제기되었기 때문이다. 보다 현실적으로, 공공용은 정책적 이유로 인해 주파수 회수·재배치가 제한될 수 있지만, 사업용은 용도를 비교적 탄력적으로 조정할 수 있기 때문이다.

단된다. 따라서 본 연구가 제시한 지표들은 평가의 목적에 부합하도록 평가자가 선택적으로 활용해야 할 것이다.

성과 영향 요인은 경제이론에 입각한 생산요소들을 기초로 경제성에 영향을 미칠 수 있는 특성들로 제안될 수 있다. 먼저, 노동, 자본, 주파수 등은 무선통신 서비스를 위한 필수적 생산요소이므로 모형에 포함될 필요가 있다. 이들은 생산함수의 구성 요인이기도 하다. 이들 생산요소의 투입이 확대될수록 성과는 증가할 것이다. 따라서 동일한 양을 확대하더라도 더 높은 성과(한계가치)를 얻는 주파수 용도가 경제적 효율성이 우수한 것으로 평가할 수 있다.

사업용 활용 여부는 사업용과 비사업용(또는 공공용)의 차이를 반영하기 위한 특성이다. 비사업용의 경우 경제성보다 공공성이 우선되기 때문에 경제적 성과가 비교적 낮게 나타날 수 있다. 따라서 이러한 효과를 고려할 필요가 있으며, 동 변수는 이러한 목적을 위해 활용이 검토될 수 있다. 대역 특성으로 저대역 주파수는 고대역 주파수에 비해 회절성 등이 우수해 이용의 효율성이 높다. 이를 주파수 활용 주체의 효율적 이용의 결과로 평가하기는 힘들다. 따라서 이러한 특성을 사전에 고려할 필요가 있다. 관련 시장 여건은 시간에 따라 변화하는 주파수 활용 환경의 차이를 반영하기 위한 요소이다. 가령, 특정 용도의 경제성 개선이 주파수의 효율적 이용이 아니라, 추세적으로 해당 서비스에 대한 수요가 확대되었거나, 기술이 발전되었기 때문일 가능성이 있기 때문이다. 이러한 요인을 고려하는 것은 순수하게 주파수의 이용 효율 개선 효과를 평가하는 방안의 하나로 이해될 수 있다.

4.2 사례 분석

본 연구는 실제 자료를 활용한 사례 분석을 통해 앞서 제안된 방법론(DEA)의 현실 적용 가능성을 검토한다. 분석 대상으로 2019년 용도별 주파수 활용 현황 중 무작위로 30개 대역을 선정하여 분석한다. 무선국, 주파수 할당량 등에 대한 세부 자료는 한국방송통신전파진흥원의 자체 데이터베이스에서 추출하여 활용한다⁹⁾. 분석은 산출

지향 방식으로 실시하며, 기술효율성, 순수기술 효율성과 규모 효율성을 측정한다.

표 3은 분석에 활용된 변수의 정의를 제시한다. 본 연구는 정성평가를 통해 분석에 활용될 변수를 선정한다. 성과 요인으로 커버리지를 활용한다. 이러한 설정은 첫째, 현재 시점을 기준으로 사업용과 비사업용(또는 공공용)을 아우를 수 있는 자료의 활용이 가능하기 때문이다. 둘째, 커버리지는 이용자가 서비스를 채택함으로써 얻는 편익(성과)이 실현되기 위한 필수적인 조건이기 때문이다. 커버리지는 주파수를 활용하여 확보할 수 있는 서비스 면적(전체 채널 수(대역폭)×전국 면적) 대비 실제 무선국이 설치된 지역에서 주파수 활용을 통해 확보된 서비스 면적(\sum 무선국 설치 지역¹⁰⁾에서 사용되는 주파수 채널 수×해당 지역 면적)으로 측정한다. 동 변수는 적극적인 주파수 활용과 무선국 구축을 통한 잠재적 이용자의 서비스 접근 가능성을 반영한다. 성과 영향 요인으로 무선국 수와 주파수 대역폭은 생산이론에 입각한 생산요소의 조합이다. 동 변수들은 무선 통신 및 방송 서비스를 구현하기 위해 필수적으로 요구되는 투입물로 인식될 수 있다. 1 GHz

표 3. 실제 사례 분석에 활용된 변수
Table 3. Variables using the case study.

Factors	Variables	Definition
Output	Coverage	\sum Number of spectrum channels used in the area where the radio station is deployed×the range of area where the radio station is deployed (km ²)/total number of spectrum channels (bandwidth)×national area (km ²)
	Radio station	Number of radio station
Input	Bandwidth	Amount of spectrum
	1 GHz dummy	Dummy variable that takes the value of 1 if the spectrum band is over the 1 GHz
	Public dummy	Dummy variable that takes the value of 1 if the spectrum is for public or non-business use

9) 실증분석을 위한 자료를 제공해주신 한국방송통신전파진흥원 관계자에게 감사의 말씀을 전한다.

10) 지역은 특별·광역시, 도를 기준으로 구분한다.

이상 여부 더미변수는 회절성 등 주파수의 기술적 특성을 통제하기 위한 변수이며, 공공용 더미변수는 사업용과 공공용(또는 비사업용) 주파수의 경제성 차이를 고려하기 위한 변수이다.

표 4는 실제 자료를 활용한 분석 결과를 제시한다. ID는 용도별 주파수의 대역을 의미한다. 기술효율성(technical efficiency)은 대역별 상당한 편차가 확인된다. 이는 동일한 투입물(주파수 등)을 활용하더라도 대역별 커버리지 수준으로 평가된 이용자 편익이 다르게 나타날 수 있음을 의미한다. 용도 간 편차가 존재한다는 것은 상대적 차이에 기초한 경제적 효율성 평가에 있어 DEA의 현실 적용 가능성을 뒷받침한다.

7, 10, 17, 21, 28 용도의 기술효율성이 가장 높게 나타나, 비교적 효율적으로 활용되고 있음을 확인할 수 있다. 반면, 13 용도의 경우 가장 낮은 값이 확인된다. 다만, 이러한 분석의 결과는 현재 분배·할당된 모든 용도별 주파수 대역을 활용하지 않았기 때문에 일반화하는 데 한계가 있다. 순수기술 효율성은 앞선 기술효율성과 그 순위가 대체로 비슷하게 확인된다. 순수기술 효율성(pure technical efficiency)이 규모 효율성(scale efficiency)에 비해 낮은 값을 갖는 경우 기술적 비효율성이 비효율성의 주된 원인으로 작용하고 있음을 의미한다. 한편, 기술효율성 값이 1점 만점으로 평가되므로, 실제 평가점수를 산출하기 위해서 이를 직접 활용하거나 주파수의 이용 효율성 평가체계 내 경제성이 차지하는 비중(가중치)을 곱하는 대안이 활용될 수 있다.

V. 결론 및 시사점

주파수의 경제성과 이용 효율성 개선이라는 두 가지 정책목표는 용도별 경제적 효율성 평가에 기초한 대역정비를 통해 동시에 달성될 수 있다.

보다 실무적으로, 이는 전파법 제6조(전파자원 이용 효율의 개선), 전파법 시행령 제4조(주파수 이용 현황의 조사·확인) 등을 이행하기 위한 대안으로도 활용될 수 있다. 그럼에도 불구하고, 이를 구체적으로 현실화하기 위한 시도는 많지 않은 것으로 판단된다. 본 연구는 이러한 실무적·학술적 공백을 해소하기 위해 생산 효율성에 입

표 4. DEA를 활용한 실제 사례 분석

Table 4. Results for the case study using DEA.

ID	Technical efficiency	Pure technical efficiency	Scale efficiency
1	0.0517	0.0517	1.0000
2	0.1118	0.1118	1.0000
3	0.5452	0.5452	1.0000
4	0.3999	0.4259	0.9390
5	0.3063	0.3063	1.0000
6	0.0930	0.1697	0.5478
7	1.0000	1.0000	1.0000
8	0.8025	0.8199	0.9788
9	0.1429	0.1452	0.9840
10	1.0000	1.0000	1.0000
11	0.1040	0.5201	0.2000
12	0.0588	0.2942	0.2000
13	0.0077	0.2867	0.0267
14	0.0445	0.2231	0.1994
15	0.1991	0.9954	0.2000
16	0.1517	0.7584	0.2000
17	1.0000	1.0000	1.0000
18	0.5466	0.8533	0.6406
19	0.0501	0.2925	0.1714
20	0.1979	0.4293	0.4610
21	1.0000	1.0000	1.0000
22	0.1991	0.9954	0.2000
23	0.6120	0.6231	0.9821
24	0.1342	0.1530	0.8771
25	0.4385	1.0000	0.4385
26	0.0087	1.0000	0.0087
27	0.4671	1.0000	0.4671
28	1.0000	1.0000	1.0000
29	0.5321	0.5336	0.9973
30	0.1402	0.1421	0.9866

각한 주파수의 용도별 경제적 효율성을 평가하는 대안을 제시한다. 주요 결과, 용도별 경제적 효율성은 자료포락 분석을 기반으로 3단계를 거쳐 평가될 수 있음을 제안하며, 실제 분석에 활용될 수 있는 평가지표의 후보군을 제

시하였다. 더불어, 실제 자료를 활용한 사례 분석을 통해 방법론의 적용 가능성이 존재함을 확인하였다.

주파수 경제적 효율성 평가 대안은 크게 세 가지 정책을 뒷받침하는 데 활용이 가능할 것으로 평가된다. 먼저, 대역정비 평가에 활용될 수 있다. 이는 평가된 경제적 효율성을 바탕으로 순위를 부여하고, 이에 따라 별도의 평점으로 계량화함으로써 구체화할 수 있다. 다음으로, 이용현황 점검에 활용할 수 있다. 앞서 평가 결과에서 최상위 순위에 있는 대역 및 용도에 대한 자료를 바탕으로 주파수 관리자는 효율성 개선을 위한 목표를 설정하고, 이행 여부 평가를 위한 기준으로 활용이 가능할 것이다. 마지막으로, 주파수 할당(특히, 재할당 등)의 심사 절차에 활용될 수 있다. 관련하여 주파수의 대가할당 시 적용되는 심사기준 중 효율성을 계량화하는 데 활용이 가능할 것이다. 현행 전파법하에서 주파수 할당(대가할당) 시 전파자원 이용의 효율성, 재정적 능력, 기술적 능력 등이 평가 요소로 고려된다. 이 중 효율성은 주로 비계량 정성지표로 구성되어 있으며, 경제적 효율성에 대한 명시적 고려가 부족한 상황이다. 경제성에 근거한 주파수 이용 효율 개선을 위한 정책목표를 효과적으로 실현하기 위하여 효율성 평가 시 계량화된 경제적 효율성을 활용하거나, 정성평가를 위한 설명자료로 제공이 가능할 것이다. 예를 들어, 3G, 4G/LTE 등 가입자 기반이 축소되는 이동통신 용도 주파수에 대해서 재할당 여부를 검토하면서, 여타 용도와의 경제적 효율성을 비교함으로써 재할당, 회수·재배치, 공동사용 등 할당정책의 방향성을 설정할 수 있을 것이다.

본 연구의 결과에는 다음과 같은 한계점이 존재한다. 먼저, 본 연구가 제시한 방법론은 현재 분배·할당된 모든 용도 및 대역에 적용할 수 있지만, 궁극적으로 경제적 효율성 측정을 위한 방대하고 다양한 자료가 사전적으로 구축되어 있음을 가정한다. 특히 모든 용도를 아우를 수 있는 변수의 활용 가능성이 전제되어야 일관성 있는 평가가 가능할 것이다. 따라서 연구 결과의 활용이 관련 자료의 접근 가능성에 의존된다는 점을 인지해야 할 것이다. 둘째, 우리나라의 주파수 용도는 크게 사업용, 비사업용, 공공용으로 구분할 수 있다. 투입물-산출물 관계에 기초한 경제적 효율성은 지표화하기 힘든 사회적·공익적

필요성에 대한 고려가 이루어지기 힘들다. 따라서 오로지 경제적 효율성에만 의존하여 이용 효율성이 평가될 경우, 비사업용과 공공용 주파수가 상대적으로 저평가될 우려가 제기될 수 있다. 이러한 한계점은 이용 효율 평가 체계에 사회적·공익적 평가지표를 포함하는 방안이나 이와 같은 용도에 대해 경제적 효율성의 가중치를 조정하는 방안을 통해 보정될 수 있다.

본 연구 이후에는 다음과 같은 후속 작업이 필요하다. 주파수 대역정비 시 본 연구가 제안한 평가 체계 및 지표가 활용될 경우, 도출된 결과를 어떻게 반영할지(가령, 순위, 점수 등), 어느 정도의 가중치를 부여할지 등에 대한 보다 세밀한 연구가 필요하다. 한편, 평가된 경제적 효율성의 차이 발생 요인을 파악하기 위한 연구도 필요하다. 용도별 경제적 효율성 차이의 원인을 보다 자세히 파악함으로써 이용 효율 개선을 위한 정책 마련의 방향성을 설정할 수 있을 것이다. 관련하여 경제적 효율성의 차이를 초래하는 요인으로 정책적 요인, 기술적 요인, 사업적 요인, 기타 요인으로 구분하고, 각각에 대해 효율성에 대한 민감도(sensitivity)를 추정하는 대안이 검토될 수 있다.

References

- [1] Minister of Science and ICT, "Implementation of the trial evaluation of the spectrum bands for promoting the efficiency of use", 2020. Available: <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=112&pageIndex=3&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=2948001&searchOpt=ALL&searchTxt=%EC%A3%BC%ED%8C%8C%EC%88%98>
- [2] C. Doyle, "The pricing of radio spectrum: Using incentives mechanisms to achieve efficiency," in *ITU Workshop on Market Mechanisms for Spectrum Management*, Geneva, Jan. 2007.
- [3] National Telecommunications and Information Administration, "Third interim progress report on the ten-year plan and timetable," 2012. Available: <https://www.ntia.doc.gov/report/2012/third-interim-progress-report-ten-year-plan-and-timetable>

- [4] National Telecommunications and Information Administration, "Sixth interim progress report on the ten-year plan and timetable," 2016. Available: [https:// www.ntia.doc.gov/report/2016/sixth-interim-progress-report-ten-year-plan-and-timetable](https://www.ntia.doc.gov/report/2016/sixth-interim-progress-report-ten-year-plan-and-timetable)
- [5] Department for Culture, Media and Sport, *Enabling UK Growth-Releasing Public Spectrum: Making 500 MHz of Spectrum Available by 2020*, London, DCMS, 2011.
- [6] Ofcom, "Mobile data strategy," 2014. Available: [https:// www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0027/58347/Mobile-Data-Strategy-statement.pdf](https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0027/58347/Mobile-Data-Strategy-statement.pdf)
- [7] Ofcom, "Mobile Data Strategy: Update on our strategy for mobile spectrum," 2016. Available: https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0033/79584/update-strategy-mobile-spectrum.pdf
- [8] Ministry of Internal Affairs and Communications, "Report of the Conference on Growth Strategy for Effective Use of Radio Wave," 2018. Available: https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000273.html
- [9] M. J. Farrell, "The measurement of productive efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society. Series A(General)*, vol. 120, no. 3, pp. 253-290, 1957.
- [10] T. H. Kim, I. Kim, S. B. Ahn, and K. S. Lee, "A way to enhance efficiency of nuclear program in Korean R&D program by data envelopment analysis," *Journal of Korea Technology Innovation Society*, vol. 12, no. 1, pp. 70-87, Mar. 2009.
- [11] A. Charnes, W. W. Cooper, and E. Rhodes, "Measuring the efficiency of decision making units," *European Journal of Operational Research*, vol. 2, no. 6, pp. 429-444, Nov. 1978.
- [12] R. D. Banker, A. Charnes, and W. W. Cooper, "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis," *Management Science*, vol. 30, no. 9, pp. 1031-1142, 1984.
- [13] K. S. Kim, K. H. Lee, "An assessment of the efficiency of local events and festivals through data envelopment analysis(DEA): The case of Gangwon province in South Korea, 2012~2016," *The Journal of Cultural Policy*, vol. 33, no. 1, pp. 35-73, Apr. 2019.
- [14] C. Choi, M. S. Kim, "Efficiency analysis for public sports facilities with data envelopment analysis," *Journal of Korea Planning Association*, vol. 43, no. 3, pp. 275-288, Jun. 2008.
- [15] T. J. Coelli, D. S. P. Rao, and G. E. Battese, *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Boston, MA, Springer, 1998.
- [16] D. Aigner, C. A. K. Lovell, and P. Schmidt, "Formulation and estimation of stochastic frontier production function models," *Journal of Econometrics*, vol. 6, no. 1, pp. 21-37, Jul. 1977.
- [17] W. Meeusen, J. van Den Broeck, "Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error," *International Economic Review*, vol. 18, no. 2, pp. 435-444, Jun. 1977.
- [18] D. Kang, "An analysis of the technical efficiency in panel stochastic Frontier production model of German states after reunification of Germany," *Koreanische Zeitschrift für Wirtschaftswissenschaften*, vol. 37, no. 4, pp. 129-146, Dec. 2019.
- [19] T. Coelli, D. S. P. Rao, C. J. O'Donnell, and G. E. Battese, *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, 2nd ed. Boston, MA, Springer, 2005.

변 희 섭 [한림대학교/부교수]

<https://orcid.org/0000-0002-2746-8485>



2007년 2월: 한양대학교 ERICA 캠퍼스 경제학부 (경제학사)

2009년 2월: 한양대학교 응용경제학과 (경제학석사)

2012년 8월: 고려대학교 경영학과 (경영학박사)

2015년 2월~현재: 한림대학교 금융재무

학과 부교수

[주 관심분야] 무형자산 가치평가, 주파수 경제성 평가

연 권 흠 [세종기술경제연구소/소장]

<https://orcid.org/0000-0002-1104-4290>



2003년 2월: 한양대학교 ERICA 캠퍼스 경제학부 (경제학사)

2005년 2월: 한양대학교 응용경제학과 (경제학석사)

2016년 2월: 한양대학교 응용경제학과 (경제학박사)

2018년 4월~현재: 세종기술경제연구소 소장

장

[주 관심분야] 주파수 정책, ICT 산업분석