

## 주파수 이용효율 평가의 정합성과 개선방향

# Consistency Test and Improvement of the Spectrum Usage Efficiency Evaluation Process

변 희 섭

Hee Sub Byun

### 요 약

본 연구는 주파수 대역정비에 활용되는 이용효율 평가의 정합성을 분석하며, 개선방향을 제안한다. 이를 위해 본 연구는 크게 세 가지 접근을 시도한다. 먼저, 통계학 방법론에 근거하여 정합성을 평가하기 위한 체계를 제안하며, 상관성, 판별력과 정확성을 대안으로 도출한다. 제안된 체계의 실무적 활용성을 확인하기 위해 실증자료에 기초한 사례분석을 실시한다. 다음으로, 정책 목표를 달성하기 위한 개선방향으로, 평가지표 선정의 측면에서 정량지표 확대, 수준/변화 평가지표 조합, 보완 평가지표 활용, 규모효과 통제, 투입-산출 관계 고려를, 평가체계 구성의 측면에서 평가지표 가중치 적정성 검정과 사업용/비사업용 구분을 제안한다. 본 연구의 결과는 주파수 이용효율을 개선하기 위한 정책대안을 모색함에 있어 세부적 방향성 마련에 활용이 가능할 것이다. 더불어, 주파수 관리의 과학적 접근을 통해 정책의 신뢰성과 객관성을 제고하는 데 기여할 것이다.

### Abstract

This study evaluated the consistency of the evaluation for the efficiency of spectrum usage and proposed improvement plans. First, a system for evaluating consistency was devised based on a statistical methodology, and the correlation, discrimination, and adequacy were derived as detailed criteria. Furthermore, a case study is conducted using empirical data to confirm the practical applicability of the proposed system. Moreover, improvement plans, such as the expansion of quantitative variables, a combination of variables reflecting level and change, utilization of complementary variables, control for size effects, consideration of the input-output relationship, weight adequacy test of variables, and classification of business and non-business usage, were devised. The findings of this study can contribute to formulating a detailed spectrum-management policy to promote the efficient use of each frequency band. Moreover, a scientific approach to spectrum management will enhance the reliability and objectivity of policies.

Key words: Efficiency of Spectrum Usage, Spectrum Re-Farming, Statistical Methodology, Case Study

「이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국방송통신전파진흥원의 지원(사업코드: 1600-1631-310, 주파수 수급 및 정비체계 구축 사업)을 받아 수행된 연구이며, 이러한 지원에 의한 참고문헌 [1] 중 저자가 작성한 내용을 토대로 작성함. 또한, 이 논문은 2023년도 한림대학교 교비연구비(HRF-202301-017)에 의하여 연구되었음. 실증분석을 위한 분석자료를 제공해주신 한국방송통신전파진흥원 관계자에게 깊은 감사의 말씀을 전합니다.」

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

· Manuscript received January 9, 2023 ; Revised January 22, 2023 ; Accepted March 6, 2023. (ID No. 20230109-001)

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

## I. 서 론

주파수의 이용효율 개선을 목표로 2020년 대역정비 예보제가 실시되었다<sup>1)</sup>. 동 제도의 핵심은 이용효율 개선이 필요한 대역을 사전에 발굴하는 데 있으며, 이를 위해 평가모형이 활용<sup>2)</sup>된다. 평가모형은 신규 서비스의 수요와 주파수의 공급 가능성에 기초하여 대역별 이용효율 개선 방향을 도출하는 데 활용된다. 상기 두 가지 특성에 대한 평가는 다양한 정량·정성 지표들을 조합하여 이루어진다. 구체적으로 수요 관련 지표는 실제수요와 잠재수요를 평가하기 위해 각 대역별 이용현황, 수요제기, 이용계획 등을 반영하도록 설정되었다. 공급 관련 지표는 여타 대역에 대한 주파수의 공급 가능성을 전제로 유희체널의 존재 여부 등에 기초하여 설정되었다<sup>2)</sup>. 주파수의 수요와 공급 간 균형(equilibrium)을 전제한 평가모형의 설정은 경제성에 기초한 시장 기반의 주파수 관리 목표에 부합한다.

모형 활용이 주파수 관리의 객관화·과학화에 기여할 것으로 기대되는 한편, 모형 리스크(model risk)에 대한 우려도 동시에 제기될 수 있다. 모형 리스크는 잘못된 모형 설계(지표, 가중치 등) 또는 모형 관리 및 운영으로 인해 의사결정의 목표를 효과적으로 달성하지 못할 가능성에 기인한다<sup>3)</sup>. 이는 주파수 이용효율 개선 평가모형이 실제 이용효율이 낮은(즉, 대역정비가 필요한) 대역을 적절히 판별해내지 못할 가능성으로 적용될 수 있다. 따라서 모형 활용에 있어 해당 모형의 목적과 판별력을 기초로 정합성을 사후적으로 평가하는 작업이 필수적이라 할 수 있다. 주파수 이용효율 개선 평가모형은 2020년과 2021년<sup>4)</sup>에 걸쳐 여러 주파수 대역의 평가에 활용되었다. 기평가된 자료를 활용하여 평가결과가 이용효율 개선이 필요한 주파수 대역을 탐색하는 데 있어, 효과적인 판별력을 갖추었는지에 대한 연구가 필요한 시점이다.

본 연구는 주파수 이용효율 개선 평가지표의 정합성을

기초로 모형 리스크를 평가한다. 이를 위해 세 가지 접근을 실시한다. 먼저, 정합성을 평가하기 위한 체계와 방법론을 제안한다. 기업 및 금융 분야에서는 리스크 관리를 위해 부실예측, 신용평가 등 다양한 모형을 구축하고 있으며, 이에 대한 판별력을 평가하기 위한 방법론들이 제안되고 있다. 주로 계량경제학 방법론을 차용하여 이론적 토대가 명확하며, 객관성이 담보된다는 장점을 갖는다. 본 연구는 이러한 사례를 활용하여 주파수 이용효율 개선 평가모형의 정합성 검증 방법론을 제안한다. 둘째, 앞서 도출된 방법론을 실제자료에 적용하여 모형의 정합성 수준에 대한 실증적 평가를 실시한다. 다만, 평가지표 공개의 어려움, 평가기준의 연도별 변화 가능성을 고려하여, 가장 최근 평가가 이루어진 대역(2021년, 3 GHz 미만)을 대상으로 표본을 구성하고, 일부 평가지표만을 분석에 활용한다. 마지막으로, 현행 주파수 이용효율 개선 평가모형의 개선방향을 논의한다. 과거자료를 활용한 주파수 이용효율 개선 평가모형의 정합성 평가 결과, 이론적, 통계적 정확성을 갖춘 것으로 판단되더라도 개선을 위하여 고려해야 할 사항이 여전히 존재한다. 왜냐하면, 산업진흥, 기술혁신 등과 같은 미래지향적(forward looking) 목표도 평가모형에 반영되어야 하기 때문이다. 따라서 이를 논의함으로써 현실적인 정책대안 마련을 위한 정보를 제공한다.

본 연구의 결과는 다음과 같은 시사점을 갖는다. 먼저, 주파수 이용효율 개선 평가모형의 고도화를 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다. 특히 본 연구가 제안한 방법론을 평가모형의 정합성을 검증하기 위한 하나의 단계로 활용할 수 있다. 대부분 평가모형의 운영은 모형구축, 실행, 사후검정의 세 단계로 구분된다. 본 연구의 결과는 사후검정 단계에서 검토되어야 하는 특성과 방법론으로 활용이 가능하다. 더 나아가 동 단계에서 평가된 판별력은 모형의 세부적인 개선방향을 모색하는 데도 활용될 수 있다. 둘째, 정책적 관점에서 주파수 관리의 과학화가

1) 과학기술정보통신부 보도자료(2020.6.29.), 주파수 이용효율 개선을 위한 대역별 시범평가 실시.

2) 용도별 서비스의 수요 정보와 주파수의 공급 가능성에 기초하여, (1) 중·장기 효율화, (2) 대역정비, (3) 지속이용, (4) 이용 활성화/신규 수요 발굴 등의 대안을 도출.

3) 일반적으로 모형 리스크는 모형 설계 오류, 모형의 부적절한 집행, 부정확한 모형교정, 데이터 처리의 부적절성, 모형의 잘못된 적용 등에 의해 발생하며, 본 연구는 주로 모형 설계 오류 가능성에 주목.

4) 2020년에는 3 GHz 미만 대역, 2021년에는 3 GHz 이상 10 GHz 미만 대역에 대한 평가가 실시.

요구되는 가운데, 본 연구의 결과는 이를 뒷받침하는 데 활용될 수 있다. 과거와 달리 주파수 수요가 급증하고 있으며, 이에 대응하여 과학적 기법을 활용한 데이터 기반의 관리가 요구되고 있다. 데이터 기반 관리의 성패는 축적된 자료를 얼마나 효과적으로 활용하는지에 의존한다. 이러한 관점에서 본 연구는 주파수 이용효율 개선 평가 자료를 어떻게 활용 및 관리되어야 하는지를 제시한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 주파수 이용효율 개선 평가모형의 정합성 평가 방법론을 제안한다. III장에서는 평가모형의 정합성 평가결과를 제시하고, IV장에서는 정성적 평가에 기초한 평가모형의 개선방향을 제안한다. V장에서는 결론 및 정책적 활용방안을 제시한다.

## II. 정합성 평가 방법론

경제 현상 및 주체에 대한 평가 또는 예측을 목표로 다양한 모형이 활용되고 있으며, 모형 리스크에 대비하기 위해 정합성 평가체계를 마련하고 있다. 관련하여, 산업 또는 기업의 부실화 가능성을 평가하기 위한 부실예측모형, 개인의 파산위험을 파악하기 위한 신용평가모형 등이 존재한다. 이들은 공통적으로 부실 또는 신용 수준에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 판별하고, 이를 바탕으로 예측치(평가결과)를 도출하는 과정을 거친다. 이러한 측면에서 주파수의 이용효율 개선 평가모형과 유사한 체계를 갖는다. 무엇보다, 모형 도입의 목적이 기업 또는 개인의 위험수준을 파악하고 이를 관리하기 위한 정책 대안을 사전에 마련하는 데 있다는 점에서 주파수 이용효율 개선 평가모형의 도입 취지와 일맥상통한다. 예를 들어, 부실예측결과를 상시 모니터링하고, 부실징후가 발견되는 경우 모형 내 구성요인의 변화(또는 수준)를 통해 주된 그 원인을 파악한다. 파악된 원인을 바탕으로 정책금융, 개인파산지원 등의 대안을 도출하게 된다. 이러한 특성을 종합적으로 감안할 때, 기존 부실예측모형, 신용평가모형 등에서 활용되고 있는 정합성 평가체계와 방법론은 주파수 이용효율 개선 평가모형에도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

기업의 부실예측모형을 제안한 연구로 참고문헌 [3]이 대표적이다. 동 연구는 미국 기업을 대상으로 사전적으로

부도 가능성과 연관되는 재무비율을 선별하고, 이를 바탕으로 판별분석(discriminant analysis)을 통해 부도확률 예측모형을 제안한다. 판별분석은 두 개 이상의 모집단에서 추출된 변수들을 통해 집단을 구분할 수 있는 모형을 도출하고 이를 통해 각 집단에 속할 가능성을 추정하는 방법론이다. 동 방법론은 각 집단 간 분산을 최대화하는 함수를 추정하는 과정을 거친다. 종속변수, 즉, 판별하기 위한 집단 수가 2개인 경우 판별분석과 3개 이상인 경우, 다중판별분석(multiple discriminant analysis)으로 구분한다. 판별분석의 한계는 독립변수들의 결합분포가 다변량 정규분포를 따라야 하며 집단별 독립변수들의 공분산 구조가 같아야 하는 가정이 충족되어야 하는 점이다<sup>[4]</sup>. 이러한 한계점을 보완할 수 있는 대안이 로지스틱 회귀모형(logistic regression model)이다. 참고문헌 [5]는 로지스틱 회귀모형을 활용하여 기업 재무변수가 부도확률에 미치는 영향을 분석한다. 동 모형은 앞선 판별분석의 가정이 충족하지 않아도 활용이 가능하며, 각 독립변수와 종속변수인 부도확률 간의 상관관계를 직접 파악할 수 있는 장점을 갖는다. 왜냐하면, 판별분석은 판별점수를 바탕으로 판별점과 비교를 통해 부도 가능성에 대한 평가가 필요한 반면, 로지스틱 회귀모형의 추정결과는 그 자체로 부도확률을 측정할 수 있기 때문이다.

이외에도 인공신경망(artificial neural network) 모형, 생존분석(survival analysis) 등의 방법론이 존재한다. 인공신경망은 자료의 관련성을 파악할 수 있는 분석 방법론으로, 뇌의 신경시스템을 응용하여 예측력을 최대화하기 위해 반복적으로 학습하는 원리이다<sup>[6]</sup>. 동 방법론은 다양한 기업경영의 현실을 반영하여 정확한 부도예측이 가능한 장점을 갖지만, 복잡한 구조로 인해 개별 평가지표의 영향력을 쉽게 인지하기 어려운 단점이 있다. 한편, 생존분석의 경우 특정 이벤트(부실 등)가 발생하기까지의 시간을 예측하는 방법론으로 중도절단(censoring) 자료를 활용한다. 따라서, 생존분석의 목적은 기업의 부실이 발생하기까지의 기간 또는 특정기간 내 기업이 생존할 확률(생존율)을 추정하는 데 있다.

본 연구는 기존의 부실예측모형, 신용평가모형 등의 정합성 평가에 활용되는 상관성, 판별력과 정확성을 모형의 예측력 평가기준으로 설정한다. 상관성은 평가지표와

이용효율성 간 상관관계를 파악함으로써 평가가 가능하다. 상관성이 높다는 것은 평가지표와 실제 이용효율 수준이 유사한 패턴을 보임을 의미하며, 예측력이 우수할 수 있음을 나타낸다. 판별력은 주파수가 효율적으로 이용되는 집단과 그렇지 않은 집단 간 평가지표의 차이에 기초하여 평가된다. 우수한 판별력을 보유한다는 것은 평가지표가 효율적으로 주파수를 활용하는 집단을 적절히 식별해낼 수 있음을 의미한다. 앞서 상관성 평가와 달리 판별력 평가 시에는 여러 개의 평가지표를 동시에 투입하고 인과관계가 설정된다는 점이 차별적이다. 마지막으로, 정확성은 판별력을 보다 엄밀히 평가하기 위해 실시된다. 판별력은 개별 평가지표의 방향성과 통계적 유의성에 초점을 맞춘 반면, 정확성은 다수의 평가지표를 활용한 예측치가 실제치에 근접하는 수준에 주목한다. 이러한 모형 예측력 검정과정 이전에는 평가지표에 대한 기초통계량을 파악할 필요가 있다. 이를 통해 평균적으로 어떤 평가지표가 우수한지 또는 개선이 필요한지에 대한 평가가 가능하다. 또한, 여러 통계량을 활용함에 있어 가정(지표 분포 등)에 부합하는지에 대한 제반조건을 진단하는 데도 활용될 수 있다(표 1).

## 2-1 기초통계량

기초통계량은 평균, 중위수, 표준편차, 왜도, 첨도 등을

포함하며, 평가지표의 특성을 정책 입안자의 관점에서 거시적으로 조망하는 데 활용될 수 있다. 가령, 주파수 이용에 있어 어떤 특성이 수요 정도와 공급 가능성을 확대 또는 축소시키는지를 파악함으로써 정책의 방향성을 설정하는 데 활용이 가능하다. 적합성 분석 측면에서 방법론 선택을 위한 기준으로 활용되며, 이상치(outlier) 탐색에도 활용될 수 있다. 평가지표의 정규성(normality) 보유 여부를 바탕으로 적용 가능한 방법론이 달라지기 때문이다. 기초통계량 중 왜도(skewness)와 첨도(kurtosis)는 변수의 정규성을 평가하기 위한 기준으로 활용된다. 왜도는 해당 변수 분포의 치우침을 판단하기 위한 척도로 절대값이 3 이상이면 정규분포와 다른 비대칭이 존재하는 것을 평가한다. 왜도가 양(+)의 값을 가지면 정규분포에 비해 왼쪽으로 치우침을 의미하며, 음(-)의 값을 가지면 오른쪽으로 치우침을 의미한다. 한편, 첨도는 분포의 뾰족한 형태를 평가하기 위한 척도로 정규분포는 0의 값을 갖는다. 첨도가 0보다 큰 값을 가지면 정규분포보다 더 뾰족한 모양을 갖게 되고, 0보다 작은 값을 가지면 더 평평한 모양을 갖게 된다. 일반적으로 첨도의 절대값이 7 이상이면 평가지표의 분포가 정규분포와 괴리가 있는 것으로 판단한다.

정규성에 대한 보다 명확한 평가는 Shapiro-Wilk의 정규성 검정<sup>5)</sup>을 통해 가능하다. 동 검정 통계량<sup>5)</sup>은 식 (1)과 같으며,  $n$ 은 표본 수,  $a_i$ 는 주어진 상수,  $x_{(i)}$ 는  $i$ 번째

표 1. 적합성 평가 방법론

Table 1. Methodology for the evaluation of the consistency.

Characteristics	Methodology	Criteria
Descriptive statistics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skewness/Kurtosis</li> <li>• Statistical distribution</li> <li>• Shapiro-Wilk test</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normality</li> </ul>
Correlation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pearson correlation coefficient</li> <li>• Kendall's tau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sign and statistical significance of coefficient</li> </ul>
Discrimination	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>t</math>-test</li> <li>• Wilcoxon rank sum test</li> <li>• Logit analysis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sign and statistical significance of difference</li> <li>• Sign and statistical significance of coefficient</li> </ul>
Adequacy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ROC curve</li> <li>• AUROC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>AUROC \geq 0.8</math></li> </ul>

5) 정규성 검정에는 Shapiro-Wilk 검정 이외에 Kolmogorov-Smirnov 검정도 존재. 일반적으로 전자는 표본 수가 2,000개 이하, 후자는 2,000개 초과하는 경우로 분류하여 적용.

통계,  $\bar{x}$ 는  $x_i$ 의 평균이다. 동 통계량을 통한 유의수준이 5 % 미만인 경우, 귀무가설인 ‘표본이 정규분포를 따른다’를 기각하고, 대립가설인 ‘표본이 정규분포를 따르지 않는다’를 채택할 수 있다.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

## 2-2 상관성

상관성의 평가에는 Pearson 상관계수<sup>6)</sup>와 Kendall의 타우( $\tau$ )<sup>7)</sup>가 활용될 수 있다. 두 통계량 모두 주파수의 효율적 이용 여부와 평가지표 간의 상관관계(correlation)를 파악하는 데 활용된다. 전자는 상관관계를 파악하고자 하는 두 변수가 정규분포를 따름을 가정하여 선형관계의 정도를 평가하는 데 활용된다. 후자는 변수가 정규분포를 따르지 않으며, 선형관계를 가정하지 않은 조건하에서 상관성을 파악하는 데 활용된다. 특히, 순서형 변수의 활용을 통해 이상치의 영향력을 축소하는 대안으로 간주된다. 따라서, 평가지표가 정규분포를 따를 경우 Pearson 상관계수를, 따르지 않은 경우 Kendall의 타우를 활용하는 것이 적절하다. 상관계수의 크기와 별도로 유의성 검정을 통해 해당 통계량에 대한 신뢰도를 평가할 수 있다. 일반적으로 5 % 유의수준을 기준으로 활용한다.

식 (2)는 Pearson 상관계수의 산식을 제시한다.  $x_i$ 와  $y_i$ 는 상관성을 평가하기 위한 변수들을 의미하며,  $\bar{x}$ 와  $\bar{y}$ 는 각 변수의 평균을 의미한다. 식 (3)은 Kendall의 타우 산식<sup>8)</sup>을 제시한다.  $n$ 은 표본 수,  $n_c$ 는 concordant pair의 수로 concordant pair는 비교대상 변수의 상하관계(순위)가 같은 경우,  $n_d$ 는 concordant pair가 아닌 경우의 수를 의미한다. Pearson 상관계수는 -1에서 1의 값을 가지며, -1은 음(-)의 선형상관관계, 1은 양(+)의 선형상관관계를 의미한다. 0은 선형상관관계가 성립하지 않음을 의미한다.

다. Kendall의 타우는 -1에서 1의 값을 갖는데, -1은 두 변수 간 순위가 완벽히 불일치할 경우, 1은 두 변수 간 순위가 완벽히 일치할 경우, 0은 두 변수가 독립적일 경우를 의미한다.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{n_c - n_d}{\frac{1}{2}n(n-1)} \quad (3)$$

## 2-3 판별력

판별력의 평가에는  $t$ -test(독립표본  $t$ -test)<sup>[10]</sup>와 Wilcoxon 순위합 검정<sup>[11]</sup>이 활용될 수 있다.  $t$ -test는 독립된 두 집단 간 평균의 차이가 존재하는지를 검정하는 방법론이다. 귀무가설은 ‘특정 평가지표에 있어 두 집단 간 평균의 차이가 없다.’이다. 따라서,  $t$ -test의 결과, 통계적으로 유의적인 값이 확인되면 귀무가설을 기각하고, 두 집단 간 평균의 차이가 있는 것으로 판단이 가능하다. 연구자의 선택에 따라 유의수준 설정이 가능하지만, 일반적으로 5 %를 기준으로 활용한다.  $t$ -test의 검정 통계량은 식 (4)와 같다. 여기서,  $\mu$ 는 각 모집단의 평균,  $s^2$ 은 각 모집단의 분산,  $n$ 은 각 모집단의 수를 의미한다.

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)}} \quad (4)$$

한편, 정규성이 만족되지 않은 경우 활용될 수 있는 방법론이 Wilcoxon 순위합 검정이다. 동 방법론은 평가지표의 값이 아닌 순위를 사용하여 중위수의 차이를 비교하는 통계량을 제시한다. 귀무가설은 ‘특정 평가지표에 있어 두 집단 간 중위수의 차이가 없다.’이다. 두 집단의 표

6) 동 통계량은 Pearson(1895)<sup>[9]</sup>에 의해 개발되었으나, 다양한 학자에 의해서 아이디어, 개념, 명칭 등이 제안.

7) 순서형 상관계수로 Spearman 상관계수도 존재함. 다만, Kendall의 타우가 표본 수가 적거나 지표의 측정결과가 동일한(동점) 경우에 보다 유용한 것으로 알려져 있음.

8)  $\tau = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i < j} \text{sgn}(x_i - x_j) \text{sgn}(y_i - y_j)$ 로 표현되기도 함.

본을 혼합하여 순서대로 나열하고 순위를 부여한 뒤, 이들의 합에 대한 검정을 실시한다.  $\mu_R$ 은 순위의 평균,  $\sigma_R$ 은 순위의 표준편차를 의미하며,  $n_1$ 과  $n_2$ 는 표본의 수,  $R$ 은 순위합을 의미한다. 일반적으로 5 % 유의수준에 따라 귀무가설의 기각 여부를 평가한다.

$$\mu_R = \frac{n_1(n_1 + n_2 + 1)}{2} \quad (5)$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad (6)$$

$$z = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R} \quad (7)$$

한편, 앞서 논의한 기업의 부실예측모형을 종합적으로 평가할 때, 주파수 이용효율 개선 평가모형의 정합성 평가에는 로지스틱 회귀모형이 적합한 대안으로 평가된다. 로지스틱 회귀모형은 판별분석과 유사하게 두 개 이상의 모집단이 구분된 경우 특정 표본이 어떤 모집단에 속하는지를 예측하는 데 활용되는 방법론이다. 동 모형은 부도확률이 0과 1사이에 있으며, 로지스틱 분포를 따름을 가정한다. 식 (8)는 로지스틱 회귀모형을 제시한다. 오즈(odds)는 각 집단에 속할 확률을 의미한다. 식 (8)는 식 (9)과 같이 재정리될 수 있다.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p \quad (8)$$

$$p = \frac{1}{1 + \exp[-(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p)]} \quad (9)$$

## 24 정확성

한편, 판별력에 더하여 정확성 역시 모형 리스크 관리를 위해 중요하게 고려되어야 할 요소이다. 개별 평가지표의 판별력이 높더라도, 모형을 통한 예측치가 실제치와 괴리가 발생할 수 있기 때문이다. 이러한 논의하에서 모형의 정합성 평가에는 대개 예측의 정확도를 평가하는 과정이 추가된다. 제1종 오류(type 1 error)는 실제 비효율

개체를 효율적 개체로 예측할 가능성에 기초한다. 제2종 오류(type 2 error)는 실제 효율적 개체를 비효율적 개체로 예측할 가능성에 기초한다. 이에 기초한 개념으로, 민감도(sensitivity)는 실제 비효율 개체를 비효율 개체로 예측한 비중을 의미한다. 특이도(specificity)는 실제 효율적 개체를 효율적 개체로 예측한 비중을 의미한다. 민감도와 특이도가 모두 높아져야 모형의 정확도가 우수하다고 판단할 수 있다.

ROC(receiver operating characteristics) 곡선은  $x$ 축이 ‘1-특이도’,  $y$ 축이 ‘민감도’이며, 모든 임계값(threshold)에서 평가모형의 정확도를 평가하는 데 활용된다. ‘1-특이도’는 최소가 되어야 하며, ‘민감도’는 최대가 되어야 모형의 정확도가 높다고 할 수 있다. 따라서, ROC 곡선이  $y$ 축에 가까울수록( $x$ 변수가 최소),  $x$ 축에서 멀어질수록( $y$ 변수가 최대) 우수한 예측력을 갖는 것으로 평가한다. AUROC(area under ROC)는 ROC 곡선의 아래 면적을 의미한다. 따라서, AUROC가 클수록 모형의 정확도는 높다. 일반적으로 AUROC가 0.8 이상일 경우 모형이 적정하다고 판단한다<sup>[12]</sup>.

## III. 정합성 평가 결과: 사례분석

정합성 평가에 대한 사례분석에 앞서 분석에 사용될 자료를 정의할 필요가 있다. 주파수 이용효율 개선 평가 모형의 연도별 변화를 고려하여, 일관된 평가가 가능한 1개 연도의 자료만을 분석에 활용한다. 평가는 2020년(3~10 GHz 대역)과 2021년(3 GHz 미만 대역)에 걸쳐 시행되었다. 2021년의 평가가 2020년에 비해 더 많은 표본 수 확보가 가능하며 시의성이 높다고 판단하여 이를 분석표본(180개)으로 활용한다. 한편, 평가결과에 대한 보안상의 이유로 평가지표(독립변수)의 정의는 제공하지 않으며<sup>9)</sup>, 전체 지표 중 8개만을 추출하여 사례분석을 실시한다. 평가지표에 대한 균형 있는 평가를 위하여 지표의 특성을 수요와 공급, 정성과 정량으로 구분하고, 각 특성별 대표지표를 선별하여 분석한다. 평가지표의 정합성 평가에 활용된 모든 자료는 한국방송통신전파진흥원으로부터 제

9) Demand A는 기존 서비스에 주파수가 수요되는 수준, Demand B는 신규 서비스에 대한 주파수의 잠재 수요, Demand C와 D는 신규 서비스에 대한 주파수의 실제 수요를 내포한다. Supply A는 주파수가 서비스에 공급되는 수준, Supply B와 C는 해당 용도에 주파수가 공급될 가능성, Supply D는 공급 가능한 용도의 공익성에 대한 정보를 포함한다.

공받은 원자료(raw data)를 분석의 목적에 맞도록 가공하여 활용한다.

본 연구는 정합성 평가기준<sup>10)11)</sup>을 정합에 있어 생산함수(production function)의 개념을 활용한다. 주파수를 활용한 서비스를 제공함에 있어 무선국(자본)과 주파수가 필수적으로 투입 및 활용되어야 한다. 이러한 두 가지 생산요소의 양적 투입 규모를 통해 주파수 활용주체의 이용효율 또는 이용효율 개선의지 수준에 대한 평가가 가능하다. 가령, 무선국 규모가 유사대역 대비 높은 수준을 갖는 대역의 경우 적극적인 설비투자를 통해 주파수의 활용한 서비스의 질(quality)을 높이고 있음을 의미할 것이다. 다만, 무선국 규모는 과거에 누적된 설비투자의 결과물이 대부분을 차지하므로, 활용주체의 서비스 질 개선의지를 반영하는 데 한계가 존재한다. 따라서 정태적(static) 규모뿐만 아니라, 개선의지를 반영하는 동태적(dynamic) 변화도 동시에 고려한다. 무선국 투자에 적극적일수록 서비스 질 개선의지가 높을 것으로 판단한다. 반대 논리로 무선국 수가 적거나 축소될 경우, 주파수의 이용효율 개선노력이 적극적이지 않은 것으로 판단이 가능하다. 한편, 주파수 공급이 제한된다는 점에서, 기본배 및 할당된 대역폭의 효율적인 활용 여부가 중요하다. 정책적 관점에서 효율적 활용은 주파수 활용주체가 유휴대역을 최소화함으로써 서비스의 범위와 질을 확대하는 것으로 인식될 수 있다. 만일, 넓은 대역폭을 할당받고도 서비스 제공을 위해 좁은 대역폭만이 실제 활용된다면 이용효율이 높지 않음을 의미할 것이며, 유휴대역은 다른 용도로 이전(즉, 대역정비)하는 것이 적절할 것이다. 따라서 보유한 대역폭 중 실제 활용되는 대역폭 수준으로 주파수의 이용효

율에 대한 평가가 가능하다.

본 연구는 상기 세 가지 기준(무선국 수, 무선국 수의 변화, 유휴 주파수 대역)을 동시에 활용하여 보수적인 관점에서 주파수가 비효율적으로 활용되는 대역을 식별한다. 이러한 설정은 실제 주파수의 비효율적 활용행태를 보다 명확하게 분석에 반영하는 데 기여할 것으로 판단된다. 무선국 수와 유휴 주파수 대역의 경우, 적정 설치 및 활용 수준에 대한 기준이 존재치 않기 때문에, 상대적 기준을 활용한다. 본 연구는 동 기준으로 전체 분석표본의 하위 20 %를 설정한다. 한편, 무선국 수 기준의 설정에 있어 대역특성을 고려한다. 왜냐하면, 주파수 활용에 있어 대역특성(회절성 등)의 차이로 인해 필요로 하는 무선국 수가 달라질 수 있기 때문이다. 본 연구는 전파법 상 전파특성계수 기준을 활용하여 1 GHz 미만과 1 GHz 이상 3 GHz 미만으로 대역에 따라 표본을 구분하고, 구분된 표본 내 무선국 수를 비교한다. 무선국 수 변화의 경우 최근 5년 간 무선국 개설 이력이 없거나 무선국 수가 감소한 경우 비효율적으로 활용되는 대역으로 정의한다. 정리하면, (i) 무선국 수가 비교대상 대비 하위 20 %에 해당하는 대역, (ii) 5년 간 무선국 개설 이력이 없거나 무선국 수가 감소한 대역, (iii) 전체 주파수 대역폭(채널 수) 대비 이용 대역폭이 하위 20 %에 해당하는 대역에 동시에 해당되는 대역을 주파수가 비효율적으로 활용되는 대역(이하, 비효율성 변수)으로 정의한다. 본 연구는 이러한 기준을 적용한 더미변수(dummy variable)를 생성하여 실증분석에 활용한다.

### 3-1 기초통계량

표 2는 분석대상 평가지표의 기초통계량을 제시한다.

- 10) 본 연구의 접근은 실무적으로 활용되고 있는 평가모형이 관련 정책의 취지(주파수의 효율적 활용)를 내포하는 이론적 기준에 얼마나 부합하는지를 파악하는 작업으로 이해될 수 있다. 이러한 관점에서, 본 연구가 제안한 정합성 평가기준은 이론적 기준을 대리한다. 이러한 기준은 실제 평가에 활용되지 않기 때문에 모형의 정합성 평가가 필요하다. 즉, 이론과 실제 간 괴리가 있는지 평가해볼 필요가 있으며, 그 괴리가 크지 않다면 평가모형이 정합성을 갖춘 것으로 판단할 수 있다.
- 11) 한편, 비면허대역의 경우 무선국 수 파악이 사실상 어렵기 때문에, 생산함수에 기초한 정합성 평가기준을 활용하기 어렵다. 따라서, 또 다른 대안의 마련이 필요하다. 정합성 평가기준은 주파수의 효율적 활용 여부를 대리한다. 이론적 관점에서, 이는 주어진 주파수 할당량(투입)하에서 더 많은 산출을 보이느냐를 바탕으로 평가가 가능하다. 비면허대역의 경우 면허대역과 달리 활용주체를 특정하기 힘들기 때문에 산출을 파악하기 어렵다. 따라서, 특정 활용주체가 아닌 시장(market)의 관점에서, 주파수의 효율적 활용 수준을 평가하는 것이 적절할 것으로 판단한다. 이러한 판단은 시장규모의 성장에 비해 이용자(user)가 늘어날 경우 주어진 주파수가 더 많이 활용되어 산출이 증가할 것이라는 예상에 기초한다. 다만, 활용주체를 특정할 수 없는 비면허대역의 경우 서비스 시장규모 파악 역시 간접적인 방식이 적용되어야 할 것이다. 하나의 대안으로 비면허대역 주파수 활용을 위한 기기의 생산액(또는 매출액)에 대한 활용이 가능할 것이다. 주파수를 이용한 서비스의 활용을 위해 기기의 확보가 필수적이라는 점에서, 기기 생산액의 증가는 그 자체로 서비스 이용자 확대에 의한 주파수의 사용량 상승을 의미할 것이기 때문이다.

표 2. 기초통계량

Table 2. Descriptive statistics.

Variable	Mean	Median	STD. DEV	Skewness	Kurtosis
Demand A	3.14	3.00	1.23	0.14	2.18
Demand B	2.73	3.00	0.85	-0.65	3.86
Demand C	1.32	1.00	0.87	2.84	9.95
Demand D	1.09	1.00	0.46	6.45	46.35
Supply A	5.42	4.00	3.55	0.29	1.29
Supply B	3.16	2.00	2.53	1.98	5.35
Supply C	4.89	4.80	0.64	1.86	17.88
Supply D	0.12	0.00	0.38	3.64	15.24

Demand A~D는 주파수 이용효율 개선 평가모형 내 수요 관련 지표들, Supply A~D는 공급 관련 지표들을 의미한다. Demand A의 평균은 3.14, 중위수는 3.00으로 관찰된다. 왜도와 첨도는 각각 0.14와 2.18로 확인된다. Demand A는 정규분포를 따를 가능성이 높은 것으로 평가된다. Demand B의 평균은 2.73으로 나타난다. Demand A에 비해 Demand B에 관련한 척도에 대한 평가대상의 관리가 다소 부족한 것으로 평가된다. Demand C와 D의 경우에도 평균이 각각 1.32와 1.09로 평가대역 전반적으로 Demand A에 비해 낮은 수준을 보이는 것으로 확인된다. 주파수 이용효율 개선 평가지표는 높은 값을 가질수록 비효율적으로 활용되는 대역임을 나타낸다. 따라서 수요 측면에서 활용주체의 Demand A와 B에 대한 적극적인 관리가 필요함을 시사한다. 보다 구체적으로 적극적인 설비 투자, 경제성 개선, 기술개발, 신규수요 발굴 등 수요측면에서 주파수 이용효율을 높이기 위한 정책적 노력이 필요함을 시사한다. 한편, Demand C의 왜도와 첨도는 2.84와 9.95, Demand D는 6.45와 46.35로 정규분포에서 벗어나는 수치가 확인된다.

Supply A의 평균은 5.42로 관찰된다. 왜도와 첨도는 0.29와 1.29로 비교적 정규분포 기준 범위 안의 값이 확인된다. Supply B의 평균은 3.16으로 왜도와 첨도는 1.98과 5.35로 나타난다. Supply C의 평균은 4.89로 왜도와 첨도는 1.86과 17.88로 관찰된다. Supply D의 평균은 0.12로 여타 지표에 비해 낮은 값을 보인다. 동 평가지표의 경우, 상대적으로 만점이 낮지만, 평균의 만점 대비 비중을 감

표 3. 정규성 검정

Table 3. Normality test.

Variable	W	Statistical significance (confidence level)	Normality
Demand A	0.98	Significance (0.01)	No
Demand B	0.82	Significance (0.00)	No
Demand C	0.71	Significance (0.00)	No
Demand D	0.40	Significance (0.00)	No
Supply A	0.98	Significance (0.01)	No
Supply B	0.84	Significance (0.00)	No
Supply C	0.73	Significance (0.00)	No
Supply D	0.63	Significance (0.00)	No

안하더라도 상당히 낮은 것으로 평가된다. 평균이 낮다는 점은 평가대상 전반에 대해 해당 평가지표의 특성에 대한 효과적인 관리가 이루어지고 있다는 것을 시사할 뿐, 판별력이 낮다는 것을 의미하지는 않는 점을 주지할 필요가 있다. Supply D의 왜도와 첨도는 3.64와 15.24로 정규분포 기준에서 벗어난 값이 확인되고 있다.

표 3은 Shapiro-Wilk 정규성 검정을 실시한 결과이다. W는 검정 통계량을 의미한다. 앞서 언급한 바와 같이 동 통계량이 통계적으로 유의하다는 것은 해당 평가지표의 분포가 정규성을 가지지 않음을 의미한다. 수요와 공급 평가지표 모두 통계적으로 유의적인 값이 확인된다. 이는 모든 평가지표가 정규분포를 따르지 않고 있음을 의미한다. 앞선 왜도와 첨도의 측정결과와 다소 상이한 결과가 몇몇 평가지표에서 확인된다.

왜도와 첨도는 정규분포 여부를 판단하기 위한 참고기준일 뿐 최종적 판단은 정규성 검정 방법론인 Shapiro-Wilk test를 거치는 것이 적절하다. 평가지표가 정규성을 따르지 않기 때문에 향후 정합성 검정에는 정규분포를 가정하지 않는 비모수적 방식을 활용하는 것이 적합하다. 특히, 판별력 평가에 있어 판별분석보다는 로지스틱 회귀 모형이 적합할 것으로 판단된다.

### 3.2 상관성

표 4는 주파수 이용효율 개선 평가지표와 정합성 평가 기준인 비효율성 변수와의 상관성을 평가한 결과를 제시



표 4. 상관계수  
Table 4. Correlation coefficients.

Variable	Pearson correlation coefficient	Kendall's tau
Demand A	0.48*	0.17*
Demand B	0.15*	0.07*
Demand C	-0.11	-0.03
Demand D	-0.07	-0.02
Supply A	0.27*	0.09*
Supply B	-0.01	-0.01
Supply C	0.04	0.01
Supply D	-0.03	-0.03

\* denotes the statistical significance at minimum 5 % level.

한다. 모든 평가지표가 정규분포를 따르지 않아 Pearson 상관계수보다는 Kendall의 타우를 활용하는 것이 적합하다. 그럼에도 불구하고, 종합적인 접근을 통해 정책판단의 기초자료를 제공하는 차원에서 두 통계량을 모두 제시한다. Demand A는 비효율성 변수와 통계적으로 유의한 양(+)의 상관관계를 갖는 것으로 확인된다. 이는 Demand A가 높은 값을 가질수록 비효율적으로 주파수가 활용되는 대역일 가능성이 높음을 의미한다. 이를 통해 평가지표의 방향성이 당초 설정된 것과 일치함을 확인할 수 있다. 더불어, 상관계수는 0.48로 나머지 변수에 비해 높은 편이다. 따라서 Demand A가 주파수 활용의 비효율성과 비교적 높은 연관성을 가질 수 있는 것으로 평가할 수 있다. Kendall의 타우 역시 유의적인 양(+)의 값을 가져 이러한 판단을 일관되게 지지한다. Demand B의 Pearson 상관계수는 유의적인 양(+)의 값(0.15)이 확인되었으며, Kendall의 타우 역시 동일한 패턴이 확인된다. Demand A와 마찬가지로 주파수 활용의 비효율성과 동일한 선형상관관계를 보임을 파악할 수 있다. 다만, 상관계수가 낮은 편으로 명확한 상관성을 주장하는 데 어려움이 있다. Supply A의 Pearson 상관계수는 0.27로 통계적으로 유의적이다.

한편, Demand C와 D는 음(-)의 상관계수가 관찰되며, 통계적 유의성이 확인되지 않는다. 이러한 결과는 비효율적으로 활용되는 주파수 대역을 식별하기 위한 모형의 목적과 다소 배치된다. 앞서 언급한 바와 같이, 주파수 이

용효율 개선 평가지표는 높은 값을 가질수록 대역정비의 필요성이 높은, 즉, 이용효율이 낮은 대역임을 의미한다. 이러한 관점에서 상관계수가 음(-)의 값을 갖는다는 것은 오히려 효율적인 대역에서 두 평가지표의 점수가 높게 나타남을 시사한다. 물론, 이러한 결과는 정합성 평가 기준(비효율성)에 크게 의존하므로 실무적 판단은 정책 관리자에 의해 재차 이루어져야 할 것이다. Supply B와 D 역시 당초 설정된 방향성과 다소 상이한 결과(음(-)의 상관계수)가 확인된다. 상관계수의 부호(방향성)와 별개로 상관계수의 절대값이 낮아 상관성이 존재하지 않는 것으로 보는 것이 보다 적합하다. Supply C는 양(+)의 상관계수가 확인되나, 절대값이 매우 작으며 통계적 유의성도 보유하지 않는다.

### 3-3 판별력

표 5는 주파수 이용효율 개선 평가지표의 판별력 검정 결과를 제시한다. 전체 표본을 비효율성 변수가 1인 집단(주파수가 비효율적으로 활용되는 집단)과 그렇지 않은 집단으로 구분하고, 두 집단 간 평균(또는 중위수)의 차이를 검정한다. 상관성 분석과 동일하게 종합적인 평가를 위해 *t*-test와 Wilcoxon 순위합 검정을 동시에 활용한다. Demand A의 집단 간 평균의 차이는 -1.84로 통계적으로 유의한 것으로 파악된다. 이는 비효율적인 집단이 효율적인 집단에 비해 Demand A가 1.84점 높게 나타남을 의미

표 5. 차이 검정  
Table 5. Difference test.

Variable	Difference	<i>t</i> -test	Wilcoxon rank sum test
Demand A	-1.84	0.00*	0.00*
Demand B	-0.40	0.04*	0.01*
Demand C	0.30	0.14	0.18
Demand D	0.10	0.36	0.19
Supply A	-3.03	0.00*	0.00*
Supply B	0.11	0.86	0.69
Supply C	-0.09	0.56	0.49
Supply D	0.04	0.70	0.14

\* denotes the statistical significance at 5 % level.

한다. 이는 평가의 방향성과 일치하는 결과이다. Demand B의 집단 간 평균의 차이는  $-0.40$ 으로 확인된다. 이 역시도 평가의 방향성과 일치한다.  $t$ -test와 Wilcoxon 순위합 검정을 통해 이러한 차이가 통계적 유의적인 것으로 파악되었다. 다만, 앞선 Demand A에 비해 점수 차이나 통계적 유의성이 다소 낮은 것으로 확인된다. Demand C와 D의 집단 간 차이는 통계적으로 유의적이지 않아 이용효율을 판별하는 데 제한적인 정보를 포함하고 있음을 추론할 수 있다. Supply A의 두 집단 간 평균의 차이는  $-3.03$ 으로 나타나, 평가의 방향성과 일치하였으며, 통계적 유의성도 보유하는 것으로 확인된다. 이는 이용효율 수준을 식별함에 있어 효과적인 평가지표임을 의미한다. 반면, 나머지 공급측면 평가지표의 집단 간 차이는 유의적이지 않은 것으로 나타난다.

표 6은 로지스틱 회귀모형을 활용하여 평가지표의 판별력을 검정한 결과이다. 주파수 이용효율 개선 평가모형은 여러 가지 평가지표를 동시에 활용한 종합적인 평가에 활용된다. 이러한 현실을 감안하여, 모든 평가모형의 동시적 판별력을 평가할 필요가 있다. 모형 (1)은 수요측면 평가지표를 동시에 포함한 모형을 추정한 결과이다. Demand A의 추정계수는 통계적으로 유의한 양(+)의 값을 갖는다. 모형 (2)는 공급측면 평가지표를 동시에 포함한 모형을 추정한 결과이다.

표 6. 로짓 분석

Table 6. Logit analysis.

Variable	Model (1)	Model (2)	Model (3)
Demand A	1.93*		2.21*
Demand B	0.82		0.99
Demand C	-1.11		-1.77*
Demand D	-3.30		-5.76
Supply A		0.29*	0.16
Supply B		-0.16	0.01
Supply C		0.44	2.70
Supply D		-0.27	-1.49
Intercept	-7.59	-5.61*	-20.45
Pseudo $R^2$	0.44	0.13	0.54

\* denotes the statistical significance at 5 % level.

모형 (3)은 모든 평가지표를 동시에 고려한, 즉, 실제 평가과정과 가장 유사한 설정을 바탕으로 한 판별력 검정결과를 제시한다. Demand A의 추정계수는 여전히 통계적으로 유의한 양(+)의 값을 갖는다. 반면, 기존 모형에서 유의성이 확인되었던, Supply A의 유의성은 사라지고 있다. 이는 Demand A가 여타 평가지표와 높은 상관관계를 갖는데 반해, 이용효율을 설명하는 데 가장 큰 영향력을 보유하기 때문으로 평가된다. 기존 모형에서 유의성을 가지지 않았던 Demand C의 추정계수가 통계적으로 유의한 음(-)의 값을 갖는 것으로 확인된다. 이는 모든 평가지표의 효과를 통제하는 경우 해당 평가지표의 설명력이 실현됨을 의미한다. 다만, 음(-)의 추정계수는 평가모형의 방향성과 상반되어 설명력을 명확히 판단하는 데 제한적이다.

### 3.4 정확성

앞선 판별력 평가에서 활용된 다변량 로지스틱 회귀모형은 실제 평가과정과 가장 유사한 설정이다. 따라서 이러한 설정을 전제로 주파수 이용효율 개선 평가모형의 정확성을 평가한다.

그림 1은 평가모형에 대한 ROC 곡선과 AUROC를 측정한 결과를 제시한다. 모든 평가지표를 동시에 고려한 전체모형의 ROC 곡선은  $y$ 축에는 가깝게  $x$ 축에서는 먼 형태가 관찰되고 있다. AUROC는 0.96으로 평가기준을

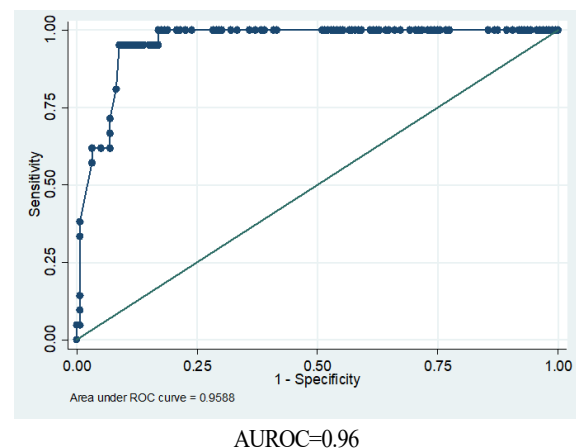


그림 1. AUROC 측정 결과

Fig. 1. AUROC.

상회하는 것으로 나타난다. 정리하면, 주파수 이용효율 개선 평가모형이 이용효율이 높은(또는 낮은) 대역을 식별하는 데 충분한 설명력, 즉, 정확성을 갖추고 있음을 의미한다.

#### IV. 주파수 이용효율 평가 개선방향

본 연구는 주파수 이용효율 개선 평가모형을 정교화하는 일련의 과정을 제안한다. 이러한 측면에서 정합성 평가과정은 정량적(quantitative) 방식을, 개선방향 제안은 정성적(qualitative) 방식을 통한 접근으로 이해될 수 있다. 정합성 평가과정은 이론적 관점에서 평가모형의 정확성 또는 설명력을 갖추었는지를 정량적으로 평가하는 목적을 갖는다. 다만, 평가모형은 이론적 판별력을 갖추는 것뿐만 아니라, 다양한 정책 의도를 내재화하는 목적도 갖는다. 따라서, 정합성 평가과정만으로 평가모형을 정교화하는 데 한계가 있으므로, 정성적 방식인 개선방향 제안도 추가로 실시한다.

##### 4.1 평가지표 선정

먼저, 정량지표를 확대하는 방안이 검토될 필요가 있다. 이는 평가결과에 대한 자의성을 최소화하고 객관성을 확대하기 위한 대안이다. 정성지표는 평가자의 주관에 평가결과에 개입될 수 있으며, 평가자 간 의견이 크게 불일치하는 경우, 평가지표의 판별력이 약화될 수 있다. 물론, 평가의 유연성을 확보하는 차원에서 정성지표의 활용을 완전히 배제하는 것은 어렵다. 특히, 과거에 누적된 자료를 활용하는 정량지표와 달리 정성지표는 전문가의 예상을 고려한 미래지향적(forward looking) 평가가 이루어진다는 장점을 갖는다. 따라서 정성지표의 활용을 완전히 배제하기보다는, 정량지표를 보조적으로 활용하여 객관성을 유지할 필요가 있다. 일례로, 델파이 방식의 설문조사 방식을 응용하는 방안을 고려할 수 있다.

둘째, 수준/변화 평가지표의 조합이 필요하다. 평가지표의 수준(level)은 현재 이용효율 수준을, 변화(change)는 이용효율의 개선정도를 대리한다. 효율적으로 주파수를

이용하는 활용주체를 선별함과 동시에 이용효율의 개선 유인을 부여하는 평가의 목적을 감안할 때, 두 가지 특성을 동시에 고려할 수 있는 평가지표의 활용이 필요하다. 예를 들어, 설비투자 수준을 파악하기 위해 무선국 수만을 활용할 경우, 신규 서비스가 불리하게 평가될 수 있다. 역으로 무선국 수의 변화만을 고려할 경우, 활용주체의 적극적인 서비스 품질 개선의지를 평가결과에 반영하기 어렵다.

셋째, 보완 평가지표의 활용이 검토될 수 있다. 보완 평가지표는 평가모형에 상시 활용되지 않지만, 평가자의 판단하에 평가기준시점에 고려되어야 할 특성을 반영하기 위한 대안이다. 데이터에 근거한 평가는 과거지향적(backward looking)이라는 한계를 갖는다. 이 때문에, 주파수 활용의 미래 변화 가능성도 고려한 평가모형의 설계가 필요하다. 특히, 주파수는 무형자산으로써 기술 개발, 용도 변경 등에 따라 그 가치가 변화할 수 있으며, 이를 고려하여 주파수를 효율적으로 분배·할당하는 것이 전과정의 주된 목표 중 하나이다. 이러한 측면에서 현재 이용효율이 높지 않지만, 산업진흥 등 정책적 목적을 위해 적극적인 주파수의 활용이 필요한 용도가 존재할 수 있다. 이러한 정책목표를 내재화하기 위한 대안으로 보완 평가지표가 활용될 수 있다. 다만, 보완 평가지표는 매년 평가 전 전문가 자문단에 의해 결정되도록 설정하여 자의적인 평가가 이루어질 가능성을 통제해야 할 것이다.

넷째, 규모효과를 통제하는 방안이 검토될 필요가 있다. 주파수가 무선통신 서비스의 제공을 위한 생산요소로 활용된다는 점에서 이용효율은 서비스 특성과 밀접한 연관성을 가질 수 있다. 이론적으로 규모의 경제(economies of scale)는 효율성을 결정하는 요인으로 작용할 수 있다. 높은 규모에 기인하여 발생하는 효율성은 주파수를 효율적으로 활용하였다고 보기 어렵기 때문에<sup>12)</sup> 이러한 효과를 통제된 상태에서 용도 간 효율성이 비교되어야 할 것이다. 현실적으로, 전국적 서비스를 제공하는 용도와 지역적 서비스를 제공하는 용도는 무선국 수, 주파수의 이용범위 등이 다르게 나타날 수 있다. 만일, 이러한 차이가 고려되지 않고 주파수의 이용효율이 평가될 경우 전국적

12) 주파수를 활용한 통신 및 방송 서비스는 높은 초기투자비용이 진입장벽(entry barrier)을 형성함에 따라 경영상의 규모의 경제가 성립.

서비스가 과대평가될 수 있다. 유사한 측면에서, 서비스 시장의 규모가 평가결과에 미치는 영향력도 고려되어야 한다. 잠재 가입자 규모가 큰 서비스의 경우 높은 사업성에 비례하여 무선국 설치, 서비스 커버리지 등이 확대될 수 있다. 이는 주파수 활용주체의 효율적 이용에 따른 결과로 보기보다는 서비스 특성에 기인한 것이다. 따라서 평가지표 설정 시 가입자 수, 서비스 제공범위, 사업성 등 서비스 시장의 규모를 반영하는 특성을 고려할 필요가 있다.

다섯째, 경제적 측면에서 이용효율은 투입된 자원 대비 얻어진 산출물의 규모로 평가될 수 있으므로, 투입된 주파수의 양에 대한 고려가 필요하다. 참고문헌 [13]은 투입-산출의 관계에 입각한 주파수 이용효율 개선 평가의 필요성을 제기한다. 이들은 경제적 관점에서 생산요소의 투입에 비례하는 산출의 확대를 고려하여 효율성의 상대적 크기의 활용을 주장한다. 이러한 주장과 일맥상통하게, 서비스 이용자 수 또는 서비스 제공범위가 동일하더라도 적은 주파수를 활용하는 용도라면 이에 대한 이용효율을 높게 평가하는 것이 적절하다. 이는 주파수 이용효율 평가의 취지에 부합한다.

## 4.2 평가체계 구성

먼저, 평가지표의 판별력뿐만 아니라, 평가지표가 평가결과(점수)로 산출되는 기준의 적정성 평가가 필요하다. 구체적으로, 평가지표 가중치의 적정성이 검토되어야 한다. 현행 주파수 이용효율 개선 평가모형하에서 평가지표별 가중치가 다르게 설정되어 있다. 평가지표의 중요도를 고려하여 이러한 차이를 두는 것은 적절한 설정으로 판단된다. 하지만, 도출된 가중치에 대한 논리적 근거를 쉽게 인지하기 어렵기 때문에 이에 대한 사후적 적정성 검증이 필요하다. 이를 위한 검증방안으로 통계적 방법론인 주성분분석(principle component analysis)이 활용 가능하다. 동 분석은 모형의 정보력을 최대화하는 평가지표 조합(가중치)에 대한 정보를 제공한다.

둘째, 사업용과 비사업용 서비스를 구분한 평가체계 구성이 필요하다. 사업용과 비사업용 서비스는 수익성,

표 7. 개선방향 요약

Table 7. Summary of improvement plans.

Category	Improvement plans
Selection of variable	Expansion of quantitative variables
	Combination of variables reflecting level and change
	Utilization of complementary variables
	Control for size effects
	Consideration of input-output relationship
Composition of evaluation	Weight adequacy test of variables
	Classification of business and non-business usage

공익성 등 분배된 목적이 상이할 뿐만 아니라, 시장 규모, 활용주체의 특성(사업자, 공공기관 등) 역시 다르다. 특히, 비사업용 서비스는 국가 안보, 국민 안전 등을 목표로 사용되는 반면, 사업용 서비스는 수익성 창출을 위한 목적을 갖는다. 이러한 차이로 인해 현행 전파법 하에서 사업용 주파수는 할당, 비사업용 주파수는 지정, 사용승인의 절차를 거쳐 분배된다<sup>13)</sup>. 더불어, 공공용 주파수의 경우 전파법 제18조의6에 따라 별도의 수급계획이 수립·시행되고 있어 명백한 제도적 차이가 존재한다. 이동통신, 주파수공용통신 등에만 할당대가가 부과되는 점 역시 여타 용도(대역)와 비교를 어렵게 만드는 요인으로 작용할 수 있다. 물론, 이러한 특성을 감안하여, 경제성과 공익성을 모형에 동시에 고려하여 평가의 균형을 맞출 수 있다. 그럼에도 불구하고, 비사업용 서비스는 신기술 도입, 신규 생태계 조성 등 사업용 서비스와 동일한 기준에 의해 이용효율 개선 여부를 평가하는 데 한계가 있다(표 7).

## V. 결론 및 시사점

본 연구는 주파수의 대역정비에 활용되는 이용효율 평가의 적합성을 평가하며 개선방향을 제안한다. 먼저, 통계학 방법론에 근거하여 적합성을 평가하기 위한 체계를 제안하며, 상관성, 판별력과 정확성을 대안으로 도출한다. 더불어, 제안된 체계의 실무적 활용성을 확인하기 위해 실증자료에 기초한 사례분석을 실시한다. 다음으로, 정책 목표를 달성하기 위한 개선방향으로, 평가지표 선정

13) 향후 전파법 개정으로 인해 이러한 용도별 상이한 절차는 하나로 통합될 가능성이 존재함.

의 측면에서 정량지표 확대, 수준/변화 평가지표 조합, 보완 평가지표 활용, 규모효과 통제, 투입-산출 관계 고려를, 평가체계 구성의 측면에서 평가지표 가중치 적정성 검증과 사업용/비사업용 구분을 제안한다.

본 연구의 결과는 주파수 이용효율을 개선하기 위한 정책대안을 모색함에 있어 세부적인 방향성을 마련하는데 활용될 것으로 기대된다. 주파수 이용효율 개선 평가지표는 각기 활용주체(대역)별 이용행태와 관련 서비스의 생태계, 즉, 주파수의 활용과정을 반영한다. 본 연구는 각 평가지표가 실제 이용효율에 미치는 효과를 실증적으로 제시한다. 본 연구의 결과를 통해 정책 관리자는 각 평가지표가 이용효율 수준에 미치는 효과, 즉, 평가지표별 기여도를 인식할 수 있다. 기여도는 주파수를 활용한 서비스 창출과정에서 활용주체의 이용행태와 관련 서비스 생태계의 중요성으로 판단될 수 있다. 정책 관리자는 이를 인식함으로써 보다 효과적으로 주파수의 이용효율을 개선하기 위한 정책 대안의 도출이 가능할 것이다.

본 연구는 주로 이론적(또는 통계적) 접근에 기초하여 주파수 이용효율 개선 평가모형의 정합성을 평가한다. 다만, 평가모형(즉, 평가지표)의 도입 취지는 비효율적인 대역을 사후적으로 선별해내는 것뿐만 아니라, 사전적으로 활용주체의 적극적인 주파수 관리 노력을 유인하기 위한 목적도 갖는다. 따라서, 사후적 목적에 국한한 통계적 유의성 평가결과만으로 평가지표의 적절성을 판단하기보다는 평가모형의 정합성을 평가하기 위한 하나의 과정으로써 본 연구의 접근을 활용하는 것이 적절하다.

## References

- [1] K. Yeon, H. Byun, D. Lee, and E. Park, "Study on the consistency of the indicators in the evaluation of the efficiency of spectrum usage," Naju, Korea Communications Agency, Nov. 2022.
- [2] Minister of Science and ICT, "Implementation of the trial evaluation of the spectrum bands for promoting the efficiency of use," 2020. Availble: <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156398350>
- [3] E. I. Altman, "Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy," *Journal of Finance*, vol. 23, no. 4, pp. 589-609, Sep. 1968.
- [4] S. Kim, "Prediction of hotel bankruptcy using multivariate discriminant analysis, logistic regression and artificial neural network," *Journal of Tourism Sciences*, vol. 30, no. 2, pp. 53-75, Apr. 2006.
- [5] S. Kim, P. Ji, and K. Jo, "The analysis on the causes of corporate bankruptcy with the bankruptcy prediction model," *Journal of Market Economy*, vol. 40, no. 1, pp. 85-106, 2011.
- [6] W. Oh, J. Kim, "Forecasting corporate bankruptcy with artificial intelligence," *Journal of Industrial Convergence*, vol. 15, no. 1, pp. 17-32, Jun. 2017.
- [7] S. S. Shapiro, M. B. Wilk, "An analysis of variance test for normality(complete samples)," *Biometrika*, vol. 52, no. 3-4, pp. 591-611, Dec. 1965.
- [8] M. G. Kendall, "A new measure of rank correlation," *Biometrika*, vol. 30, no. 1-2, pp. 81-89, Jun. 1938.
- [9] K. Pearson, "Note on regression and inheritance in the case of two parents," *Proceedings of the Royal Society of London*, vol. 58, pp. 240-242, 1895.
- [10] Student, "The probable error of a mean," *Biometrika*, vol. 6, no. 1, pp. 1-25, Mar. 1908.
- [11] F. Wilcoxon, "Individual comparisons by ranking methods," *Biometrics Bulletin*, vol. 1, no. 6, pp. 80-83, Dec. 1945.
- [12] W. Jeong, C. P. Kook, and G. Hong, "A comparative study on the performance of credit evaluation models," *Journal of Money & Finance*, vol. 11, no. 2, pp. 67-104, 2006.
- [13] H. S. Byun, K. H. Yeon, "Evaluation of the economic efficiency of the spectrum: Focusing on productive efficiency," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 33, no. 6, pp. 47-7-488, Jun. 2022.

변 회 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] 전파 정책, 전파 이용효율, 경제성 평가