

음수 값을 처리할 수 있는 Malmquist 생산성 분석 시스템 개발 및 적용*

박 만 희(제1저자)

부산가톨릭대학교 경영학과 (교수)

Development and Application of Malmquist Productivity Analysis System to Handle Negative Values

Park, Man Hee(First Author)

Department of Business Administration, Catholic University of Pusan (Professor)

Abstract

The Malmquist productivity index, a non-parametric productivity analysis technique, is used for productivity analysis in various fields. When the variables considered as input and output variables in the DEA (Data Envelopment Analysis) model have negative values, there is a case where the solution of the DEA model does not exist, and for this reason, the existing methodology has a problem that the Malmquist productivity index cannot be calculated. In order to solve this problem, this study presented a Biennial Malmquist productivity analysis method that can process negative values and developed a system that can support it. The results of this study are summarized as follows.

First, the Biennial Malmquist productivity index, which can analyze negative values in input and output variables, is presented, and the productivity index is subdivided into technological efficiency change index and technological change index. Second, an empirical analysis was conducted using performance data from

* 이 연구는 2021년 부산가톨릭대학교 교내연구비 지원에 의한 연구임

public corporations for five years from 2007 to 2021 to prove the applicability of the Biennial Malmquist productivity index presented in this study. Third, a web-based productivity analysis system was developed to support the analysis of the Biennial Malmquist productivity index proposed in this study.

Keywords : Negative DEA, Biennial Malmquist Productivity Index, Web-based Productivity Analysis System

접수일(2023년 07월 12일), 수정일(2023년 08월 21일), 게재확정일(2023년 08월 21일)

I. 서론

다수 개의 투입요소를 이용하여 다수 개의 산출요소를 생산하는 의사결정단위(DMU: Decision Making Units)의 투입요소와 산출요소 관련 시계열 데이터가 주어진 경우 시간의 변화에 따른 DMU의 생산성 변화를 분석하기 위한 비모수적 방법론으로 Malmquist 생산성지수가 제시되어 다양한 분야의 생산성분석에 이용되고 있다. 효율성 척도를 이용하여 생산성 변화를 계산하는 방법은 Caves 등(Caves et al., 1982)에 의해 처음 소개된 후 Färe 등(Färe et al., 1994)이 Malmquist 지수를 이용하여 생산성 변화를 측정하는 방법을 제시하였다. 효율성은 투입변수 대비 산출변수의 비율로 정의할 수 있고, 생산성은 효율성 개념에 기술변화, 효과성 등을 포함하는 효율성 보다 독립적이고 포괄적인 개념으로 DEA(Data Envelopment Analysis: 자료 포락분석)는 생산 프론티어를 형성한 후 개별 DMU의 효율성을 계산하는 반면 Malmquist 생산성 분석은 DEA를 이용하여 거리함수를 구한 후 개별 DMU의 생산성을 계산하는 방식을 적용한다는 점에서 차이점이 있다(전민준, 한근수, 2021).

Malmquist 생산성 지수는 효율성 변화(Efficiency change)와 기술적 변화(Technical change)로 분해할 수 있으며 효율성 변화는 Catching up 지수로 해석할 수 있고 기술적 변화는 혁신 지수 혹은 프론티어 이동지수로 해석할 수 있다. 효율성 변화지수(ECI: Efficiency Change Index)는 t 시점에 비해 $t+1$ 시점에 특정 DMU가 효율적인 변경에 얼마나 가까워졌는지를 평가할 수 있는 척도이다. ECI가 1보다 크다는 것은 효율적인 프론티어와의 거리가 감소했다는 것을 의미하고, 1보다 작다는 것은 거리가 증가했다는 것이고 1이면 거리변화가 없다는 것을 의미한다. 기술적 변화지수(TCI: Technical Change Index)는 t 시점에 비해 $t+1$ 시점에 특정 DMU가 기술 변화나 혁신을 통해서 프론티어 라인이 효율적인 방향으로 얼마나 이동하였는지를 평

가하는 척도이다. TCI가 1보다 크다는 것은 프론티어 라인이 효율적인 방향으로 이동하였다는 것을 의미하고, 1은 변화가 없다는 것을 의미하고 1보다 작다는 것은 프론티어 라인이 비효율적인 방향으로 이동하였다는 것을 의미한다.

VRS(Variant Return to Scale) 가정하에서 해가 존재하지 않는 경우가 발생하는 실행 불가능성(Infeasibility) 문제를 해결하기 위하여 VRS 가정에서도 이용할 수 있는 두 가지 Malmquist 지수가 선행연구를 통해 제시되었다. 첫 번째 지수는 Sequential Mamlquist 지수인데, 기술진보 요소를 명시할 수 없다는 문제점이 존재하고, 두 번째 지수로 비교대상 전체 데이터에 대해서 하나의 지수를 만들어 내는 Global Malmquist 지수도 제안되었는데 새로운 시점 데이터가 추가되는 경우 지수를 재계산해야 한다는 문제점을 가지고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 Pastor 등은 해가 존재하는 않는 경우를 회피할 수 있고 기술진보 효과를 파악할 수 있으며 신규 데이터가 추가된다고 기존에 계산된 생산성 변화지수는 유지될 수 있는 Biennial Malmquist 지수를 제시하였다(Pastor et al., 2011).

기존에 Färe 등(Färe et al., 1994)이 제시한 Malmquist 생산성 지수는 투입변수나 산출변수가 음수 값을 가지는 경우 다음과 같은 문제로 인해 생산성변화 지수를 계산할 수 없다.

첫째, 일부 데이터가 음수 값을 가지는 경우 CRS를 가정하면 원점을 통과하는 효율적인 프론티어를 정의하지 못하는 경우가 발생하므로 해가 존재하지 않는다는 문제점이 존재한다. 둘째, 음수 값을 가지는 요인의 절대값을 방사방향으로 확장하면 수준이 더 나빠지고 바람직하지 못한 결과를 만들어 낼 수 있기 때문에 방사형 확대 및 축소는 양수 데이터와 음수 데이터가 혼재된 경우 유의미한 결과를 제시할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 투입변수 및 산출변수가 음수 값을 가지는 경우 이를 처리할 수 있는 DEA 모형을 기반으로 하는 Biennial Malmquist 생산성 지수를 제시하고, Biennial Mamlquist 생산성지수와 모형분석을 지원할 수 있는 웹기반 생산성분석시스템을 개발하고 실증분석을 통해 적용하였다.

II. 선행 연구 검토

본 연구와 관련이 있는 DEA 모형을 이용한 Malmquist 생산성분석 관련 선행연구를 정리하면 다음과 같다.

이수철과 이동호(2016)는 기초기술연구회 소속 10개 출연(연)의 2006년부터 2013년까지 데이터를 이용하여 연구개발 효율성 변화를 분석하였는데, 투입변수로 연구비, 연구인력을 이용하였고, 산출변수로는 SCI논문, 특허등록, 기술이전 건수를 이용하였

으며 연구개발이라는 특성을 반영하기 위해서 투입변수와 산출변수 간에는 3년의 시차를 두고 분석하였다. 분석결과에 따르면 분석대상 출연(연)들은 평균적으로 연구개발 효율성이 향상되고 있지만 효율성이 전반적으로 향상되고 있다는 경향성에도 불구하고 일부 출연(연)의 경우 프론티어 라인과 거리가 더 멀어지는 경향을 보이는 것으로 분석되었다(이수철, 이동호, 2016)

전민준과 한근수(2021)는 Malmquist 생산성지수를 이용하여 2009년부터 2018년까지 10년 동안 국내 12개 공항의 생산성 변화를 측정하고 그에 따른 효율성 변화와 기술 변화를 분석하였다. 공항운영 효율성 측면에서 생산성을 분석하기 위해서 투입변수로 종업원수, 고정운영비, 변동운영비를, 산출변수로는 여객수, 운항횟수, 공항수익을 사용하였다. 분석결과에 따르면 규모가 큰 공항일수록 생산성이 꾸준히 개선되는 것으로 나타났으며, 공항별로는 그룹 내 공항 순위에 차이가 약간 있었으나, 그룹별 결과에서는 거점공항(대형)에서부터 일반공항(소형)까지 규모가 클수록 생산성 지수도 높은 것으로 나타났다(전민준, 한근수, 2021).

임형철(2008)은 종업원수와 고정자본을 투입요소로, 매출액을 산출물로 선정하고, 2000년부터 2006년까지 어업, 광업, 제조업, 전기 및 가스업, 건설업, 도매 및 소매업, 운수업, 사업 및 서비스업, 오락 및 문화업 등 9개 산업분야를 대상으로 우리나라 산업의 효율성과 생산성을 분석하였다. 분석결과에 따르면 모든 기간에서 경영의 비효율이 규모의 비효율보다 더 크다는 것으로 나타났으며, 규모의 변화를 보면 산업들이 2003년도에는 2002년도에 비해서 규모의 경제에 더 가깝게 경영활동을 하였고, 2004년도에는 2003년도에 비해 규모의 경제범위를 벗어나서 경영활동을 한 것으로 나타났다(임형철, 2008). 또한 2000년부터 2006년까지 광업과 서비스업을 제외하고 규모의 경제에 접근하고 있으며, 기술진보의 변화는 모든 산업에서 1보다 작게 나타나 기술의 퇴보로 인하여 규모의 경제에서 더 멀어지게 되었다고 분석하였다(임형철, 2008).

정진호와 임성목(2014)은 대구경북지역 270개 새마을금고의 2003년에서 2008년까지 6년간 자료를 대상으로 비모수적 효율성 측정기법인 DEA 기법과 Malmquist 생산성지수 분석방법을 적용하여 효율성 및 생산성 변화를 분석하였다(정진호, 임성목, 2014). 분석결과에 따르면 기술효율성과 순수기술효율성의 경우 2007년도를 정점으로 지속적인 증가세를 보이다가 2008년도엔 감소세를 보이고 있어 2008년 하반기부터 본격적으로 진행된 금융위기가 새마을금고의 영업환경에도 심대한 영향을 끼치고 있는 것으로 분석되었고, 표본기간동안 평균 생산성이 감소하는 것으로 나타났으며 생산성 감소의 주된 원인은 기술퇴보에 기인하는 것으로 분석되었다(정진호, 임성목, 2014).

김홍섭과 박정립(2013)은 투입변수로 부지면적, 활주로 수, 여객터미널 면적, 화물

터미널 면적을, 산출변수로 연간 여객처리량, 연간화물처리량, 운항횟수를 선택하고 World Airports 순위 상위 20개 주요 공항을 대상으로 2006년부터 2010년까지 데이터를 이용하여 생산성 변화를 분석하였다(김홍섭, 박정림, 2013). 분석결과에 따르면 2006년부터 2010년까지 5년간 중국의 베이징 수도공항이 비교대상 공항들 중에서 가장 효율적인 공항으로 분석되었고 한국의 인천공항은 분석 대상 구간에서 비효율적인 공항으로 분석되었으며, 공항의 생산성은 기술변화 보다는 공항 자체의 효율성 변화에 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났으며 대부분 공항의 생산성이 하락하는 추세를 보이는 것은 기술적 효율성 지수 감소가 원인인 것으로 분석하였다(김홍섭, 박정림, 2013).

대부분의 선행 연구들은 투입변수와 산출변수가 모두 양수 값을 가지는 경우에 DEA와 Malmquist 지수를 이용하여 효율성과 생산성분석을 수행한 것으로 조사되었다. 본 연구에서 제시한 투입변수나 산출변수가 음수 값을 가지는 경우에 생산성 분석을 수행할 수 있는 Malmquist 생산성분석 관련 연구는 수행되지 못한 것으로 조사되었다.

III. 연구방법론

Malmquist 생산성지수(Malmquist Productivity Index: MPI) 추정방법은 특정 생산함수를 가정하지 않고 거리함수에 기초하여 투입요소에 대한 산출물의 지수로 정의된다. 다수개의 투입요소 x 와 다수개의 산출물 y 를 생산하는 의사결정단위에 대하여 시계열별 투입요소와 산출물 데이터가 주어졌을 때 t 시점의 생산기술을 이용하여 (x^{t+1}, y^{t+1}) 이 실행 가능한 범위 내에서 최대를 생산할 수 있는 산출량의 정도를 측정하는 거리함수는 $D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})$ 로 나타내고, 동일한 개념으로 $t+1$ 시점의 생산기술을 이용하여 (x^t, y^t) 가 실행 가능한 범위 내에서 최대를 생산할 수 있는 산출량의 정도를 측정하는 거리함수는 $D_o^{t+1}(x^t, y^t)$ 로 나타낼 수 있다(박만희, 2008). 이를 바탕으로 산출지향 MPI는 다음과 같이 정의된다(Färe et al., 1994).

$$\begin{aligned} M_o(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) &= \frac{V_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{V_o^t(x^t, y^t)} \cdot \left[\frac{V_o^t(x^t, y^t)}{D_o^t(x^t, y^t)} \cdot \frac{V_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right] \cdot \\ &\quad \left[\frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \cdot \frac{D_o^t(x^t, y^t)}{D_o^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= PECI \cdot SECI \cdot TCI \end{aligned}$$

MPI는 PEI, SEI, TCI 등 3가지 부분으로 분해하여 추정할 수 있는데, PEI(Pure Efficiency Change Index)는 순수 효율성변화지수, SEI(Scale Efficiency Change Index)는 규모 효율성변화지수, TCI(Technical Change Index) 기술변화지수를 나타낸다. MPI를 계산하기 위해서는 DEA 모형을 이용하여 6개 거리함수를 도출하여야 하는데 각각의 거리함수는 다음 수식을 통해 계산할 수 있다(Färe et al., 1994).

$$\begin{aligned}
 D_o^t(x^t, y^t) &= \text{Max } \theta \\
 \text{s.t. } & -\lambda Y^t + \theta y^t \leq 0 \\
 & \lambda X^t - x^t \leq 0 \\
 & \lambda \geq 0 \\
 D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}) &= \text{Max } \theta \\
 \text{s.t. } & -\lambda Y^{t+1} + \theta y^{t+1} \leq 0 \\
 & \lambda X^{t+1} - x^{t+1} \leq 0 \\
 & \lambda \geq 0 \\
 D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1}) &= \text{Max } \theta \\
 \text{s.t. } & -\lambda Y^t + \theta y^{t+1} \leq 0 \\
 & \lambda X^t - x^{t+1} \leq 0 \\
 & \lambda \geq 0 \\
 D_o^{t+1}(x^t, y^t) &= \text{Max } \theta \\
 \text{s.t. } & -\lambda Y^{t+1} + \theta y^t \leq 0 \\
 & \lambda X^{t+1} - x^t \leq 0 \\
 & \lambda \geq 0 \\
 V_o^t(x^t, y^t) &= \text{Max } \theta \\
 \text{s.t. } & -\lambda Y^t + \theta y^t \leq 0 \\
 & \lambda X^t - x^t \leq 0 \\
 & \lambda = 1 \\
 & \lambda \geq 0 \\
 V_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}) &= \text{Max } \theta \\
 \text{s.t. } & -\lambda Y^{t+1} + \theta y^{t+1} \leq 0 \\
 & \lambda X^{t+1} - x^{t+1} \leq 0 \\
 & \lambda = 1 \\
 & \lambda \geq 0
 \end{aligned}$$

투입변수나 산출변수가 음수 값을 가지는 경우 기존 DEA 모형과 함께 Malmquist 생산성 지수도 적용할 수 없으므로 음수 값을 처리할 수 있는 DEA 모형과 음수 값을 처리할 수 있는 새로운 Malmquist 생산성 지수가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 음수 값을 처리할 수 있는 DEA 모형을 제시하고, 이를 이용하여 음수 값을 처리할 수

있는 Malmquist 생산성 지수도 제시하였다.

Cheng et al.(2013)의 연구에서는 음수 값을 처리할 수 있는 RDM(Range directional measure)+, RDM-, SORM(Semi-oriented radial measure), VRM(Variant of radial measure) 모델을 이용하여 실증분석을 수행하였는데 SORM 모델의 경우 산출변수의 투영점이 관측치 보다 악화되는 문제점이 있음을 제기하였다(Cheng et al, 2013). 본 연구에서는 음수 값을 처리할 수 있는 RDM 모델, SORM 모델, VRM 모델 중 선행 연구에서 모델의 수행도가 가장 우수하다고 판명된 VRM 모델을 적용하였다. Cheng et al.(2013)은 음수 값을 가지는 변수를 처리하기 위해서 기존 DEA 모델에 투입지향 모델의 경우 θ 를 $1-\beta$ 로 대체하고 산출지향 모델의 경우 ϕ 를 $1+\beta$ 로 대체하여 VRM 모델을 제시하였다(Cheng et al., 2013). VRS 가정 투입지향 VRM 모델은 다음과 같이 주어지고 효율성은 $1-\beta^*$ 로 계산된다.

$$\begin{aligned} & \text{Max } \beta \\ & \text{st } X\lambda + \beta|x_0| \leq x_0 \\ & \quad Y\lambda \geq y_0 \\ & \quad \sum_j \lambda_j = 1 \\ & \quad \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

VRS 가정 산출지향 VRM 모델은 다음과 같이 주어지고 효율성은 $\frac{1}{1+\beta^*}$ 로 계산된다.

$$\begin{aligned} & \text{Max } \beta \\ & \text{st } X\lambda \leq x_0 \\ & \quad Y\lambda - \beta|y_0| \geq y_0 \\ & \quad \sum_j \lambda_j = 1 \\ & \quad \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

개별 시점 t 에 대하여 두 가지 벤치마크 기술을 고려할 수 있는데 T_V^t 는 t 시점의 VRM 모델을 적용한 기술을 나타내고, T_V^{t+1} $t+1$ 시점의 VRM 모델을 적용한 기술을 나타낸다고 할 때 Biennial technology T_V^B 는 시점 t 와 시점 $t+1$ technology의 convex hull인 $T_V^B = \text{conv}\{T_V^t, T_V^{t+1}\}$ 로 정의할 수 있다(Pastor et al., 2011).

Pastor 등(2011)이 정의한 Biennial Malmquist Index를 이용하여 음수 값을 처리할 수 있는 VRM 모델 기반 Biennial Malmquist Index를 정의하면 다음과 같다. Biennial VRS Malmquist 지수 M_V^B 는 두 개 요소로 분해할 수 있는데 기술 효율성 변화를 의미하는 지수 EC_V^B 와 기술 변화를 의미하는 지수 TC_V^B 의 곱으로 나타낼 수 있

다. Pastor 등(2011)은 Biennial Malmquist 지수의 장점으로 해가 존재하지 않는 경우를 회피할 수 있고, 지수 분해를 통해 기술진보 효과인 기술변화를 파악할 수 있으며 신규 데이터가 추가되더라도 생산성 변화지수 계산을 최소화 할 수 있다고 제시하였다.

$$\begin{aligned}
 M_V^B(x_j^t, y_j^t, x_j^{t+1}, y_j^{t+1}) &= \frac{D_V^B(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})}{D_V^B(x_j^t, y_j^t)} \\
 &= \frac{D_V^{t+1}(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})}{D_V^t(x_j^t, y_j^t)} \times \frac{D_V^B(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})/D_V^{t+1}(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})}{D_V^B(x_j^t, y_j^t)/D_V^t(x_j^t, y_j^t)} \\
 &= EC_V^B \times TC_V^B
 \end{aligned}$$

여기서 $D_V^B(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})$ 는 VRS 가정하에서 t 시점과 t+1 시점의 모든 DMU들을 평가 대상으로 하여 t+1 시점 DMU_j의 Biennial 거리함수를 나타내고, $D_V^B(x_j^t, y_j^t)$ 는 VRS 가정하에서 t 시점과 t+1 시점의 모든 DMU들을 평가 대상으로 하여 t 시점 DMU_j의 Biennial 거리함수를 나타낸다. $D_V^{t+1}(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})$ 는 VRS 가정하에서 t+1 시점의 DMU_j의 거리함수를 나타내고, $D_V^t(x_j^t, y_j^t)$ 는 VRS 가정하에서 t 시점의 DMU_j의 거리함수를 의미한다. TC_V^B 가 1보다 크다는 것은 기술진보를 의미하고 1보다 작다는 것은 기술퇴보를 의미한다. 산출지향 모형을 가정하는 경우 $D_V^B(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})$, $D_V^B(x_j^t, y_j^t)$, $D_V^{t+1}(x_j^{t+1}, y_j^{t+1})$, $D_V^t(x_j^t, y_j^t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 D_V^B(x_j^{t+1}, y_j^{t+1}) &= \text{Max } \beta \\
 \text{st } &X^B \lambda \leq x_j^{t+1} \\
 &Y^B \lambda - \beta |y_j^{t+1}| \geq y_j^{t+1} \\
 &\sum_j \lambda_j = 1 \\
 &\lambda \geq 0 \\
 D_V^B(x_j^t, y_j^t) &= \text{Max } \beta \\
 \text{st } &X^B \lambda \leq x_j^t \\
 &Y^B \lambda - \beta |y_j^t| \geq y_j^t \\
 &\sum_j \lambda_j = 1 \\
 &\lambda \geq 0 \\
 D_V^{t+1}(x_j^{t+1}, y_j^{t+1}) &= \text{Max } \beta \\
 \text{st } &X^{t+1} \lambda \leq x_j^{t+1} \\
 &Y^{t+1} \lambda - \beta |y_j^{t+1}| \geq y_j^{t+1} \\
 &\sum_j \lambda_j = 1 \\
 &\lambda \geq 0
 \end{aligned}$$

$$D_V^t(x_j^t, y_j^t) = \text{Max } \beta$$

$$\text{st } X^t \lambda \leq x_j^t$$

$$Y^t \lambda - \beta |y_j^t| \geq y_j^t$$

$$\sum_j \lambda_j = 1$$

$$\lambda \geq 0$$

총요소생산성을 기술적 효율성 요인과 기술진보로 분해하는 MPI 방법론은 생산성 향상과 관련하여 중요한 정책적 시사점을 제공할 수 있다. 만약 기술진보의 둔화로 생산성이 악화되고 있는 경우라면 생산변경을 상향 이동시킬 수 있는 기술혁신을 유도하는 정책이 필요할 것이고, 기술적 비효율성이 높은 경우에는 신기술의 도입과 더불어 기술을 과급시키고 활용을 개선시킬 수 있는 정책을 통하여 생산성 향상을 제고시킬 수 있다(이재설, 고현우, 2009).

IV. 실증분석 결과

공공기관 경영평가편람을 기준으로 사회기반시설에 대한 계획, 건설과 관리 등을 주요 업무로 하는 대규모기관인 공기업 I 을 분석대상으로 선정하고, 분석대상 데이터는 공공기관 경영정보 공개시스템인 알리오(Alio.go.kr) 사이트로부터 2007년부터 2021년까지 최근 5년 동안의 실적 데이터를 수집하였다. 본 연구에서는 공기업들의 생산성 변화를 분석하기 위해서 투입변수로 투입요소 중 상당비중을 차지하는 인건비와 기업이 보유한 유무형의 재산으로 기업의 규모를 파악할 수 있는 자산을 선정하였고, 산출변수로 산출물의 양을 대변하는 매출액과 산출물에 대한 수익성을 대변하는 영업이익을 선정하였다.

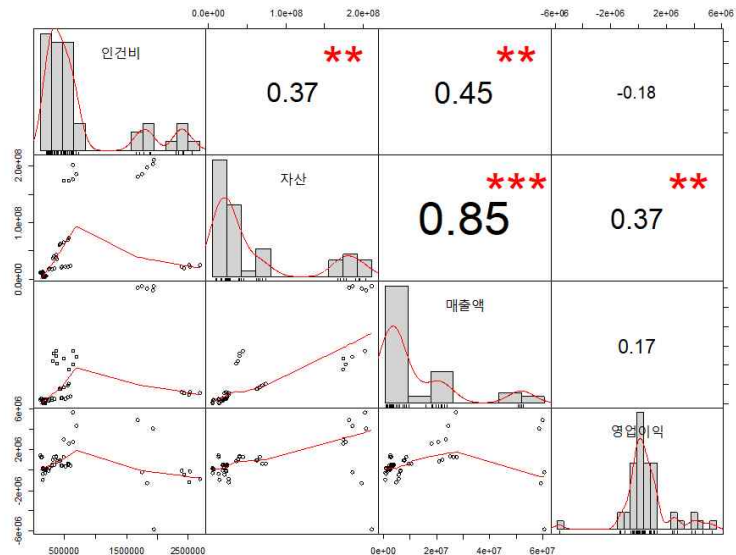
<표 1> 연도별 주요 투입·산출변수의 기술통계량(단위: 백만원)

연도	변수	평균	중위수	표준편차	최소값	최대값
2017	인건비	645,497	367,869	776,775	106,659	2,430,519
	자산	53,660,127	20,372,819	67,451,804	4,564,559	181,788,915
	매출액	13,029,774	4,581,135	18,415,869	883,196	59,814,862
	영업이익	1,190,628	699,654	1,633,889	-469,912	4,953,152
2018	인건비	667,027	376,031	764,743	122,515	2,382,689
	자산	54,602,444	21,956,791	67,974,740	4,659,697	185,249,061
	매출액	13,163,512	4,859,207	18,530,636	912,259	60,627,610
	영업이익	707,771	509,692	857,342	-208,001	2,613,600

연도	변수	평균	중위수	표준편차	최소값	최대값
2019	인건비	719,165	425,093	800,150	140,322	2,522,512
	자산	56,558,953	22,457,678	71,219,278	4,652,324	197,597,792
	매출액	13,187,564	4,686,543	18,125,857	970,949	59,172,890
	영업이익	633,185	450,110	1,095,825	-1,276,521	2,782,745
2020	인건비	742,291	470,415	811,940	143,935	2,514,589
	자산	58,255,395	24,090,289	74,104,354	4,769,675	203,142,111
	매출액	12,787,239	4,355,181	18,153,951	580,350	58,569,314
	영업이익	873,773	341,141	1,856,984	-1,211,372	4,334,572
2021	인건비	765,213	470,092	851,488	148,494	2,679,531
	자산	62,145,153	24,296,333	78,645,454	4,914,813	211,108,870
	매출액	14,158,334	4,888,069	19,269,873	559,425	60,574,819
	영업이익	49,355	243,562	2,794,389	-5,860,143	5,648,583
전체	인건비	707,839	402,477	769,523	106,659	2,679,531
	자산	57,044,414	22,457,678	69,064,137	4,564,559	211,108,870
	매출액	13,265,285	4,485,028	17,738,867	559,425	60,627,610
	영업이익	690,942	449,639	1,748,152	-5,860,143	5,648,583

생산성 변화 분석에 사용된 주요 투입변수와 산출변수의 기술통계량을 정리하면 <표 1>과 같다. 2017년부터 2021년까지 5년간 평균 인건비는 7,078.4억원이고 5년 동안 연평균 4.3% 수준으로 증가한 것으로 분석되었다. 자본의 전체 평균은 57조 444.1억원이고 5년 동안 연평균 3.7% 수준으로 증가한 것으로 분석되었다. 매출액 전체 평균은 13조 2,652.9억원이고 5년 동안 연평균 2.1% 수준으로 증가한 것으로 나타났다. 영업이익 5년간 전체 평균은 6,909.4억원이고 2017년 평균 영업이익이 1조 1,906.3억원에서 2018년, 2019년까지 감소하다가 2020년에 다시 증가하였으며, 2021년 평균 영업이익은 493.6억원으로 급격하게 감소하였다. 이는 코로나19로 인한 불확실성 증가와 국제경기 악화 및 인플레이션 영향 등으로 인해 공기업들의 영업이익이 급격하게 감소한 것으로 분석된다.

<그림 1> 투입변수와 산출변수간 상관분석 결과



투입변수와 산출변수 사이에 상관관계가 존재하는지 여부를 파악하기 위해서 수행한 상관분석 결과는 <그림 1>과 같다. 투입변수 중 하나인 인건비는 자산, 매출액 변수와 양의 상관관계가 존재하고, 자산은 매출액과 강한 양의 상관관계, 영업이익과도 양의 상관관계가 존재하는 것으로 분석되었다. 산출변수인 매출액은 2017년부터 2021년까지 연평균 2.1% 증가한 반면 영업이익은 2017년부터 2021년까지 연평균 -54.9%로 지속적으로 감소하는 경향을 보여 매출액과 영업이익 변수사이에는 상관관계가 존재하지 않는 것으로 분석되었다.

시간의 변화의 따른 생산성 변화를 측정하기 위해서 Biennial Malmquist 생산성 변화지수를 계산하면 <표 2>와 같다. <표 2>를 통해 2007년부터 2021년까지 최근 5년 동안의 분석대상 공기업의 생산성지수의 변화추이를 파악할 수 있는데, 5년 동안 생산성이 증가한 공기업이 4곳, 생산성이 감소한 공기업이 6곳으로 나타났으며 전체적으로 5년 동안 생산성이 평균 4.65% 증가한 것으로 분석되었다.

<표 2> Biennial Malmquist 생산성지수 변화추이

DMU	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	평균
공기업1	0.9478	1	0.3737	0.6021	0.7309
공기업2	1.1009	1	0.9186	1.0705	1.0225
공기업3	0.8920	1	0.5261	0.8689	0.8218
공기업4	0.9521	1.2794	0.5773	1.0141	0.9557
공기업5	1.9054	1.0414	0.4443	4.4559	1.9618
공기업6	1.0167	0.7229	1.5265	0.8024	1.0171
공기업7	1	0.9760	1	1	0.9940
공기업8	1	0.9256	0.9768	1	0.9756
공기업9	0.9712	0.9851	0.7399	0.9855	0.9204
공기업10	0.8332	1	1.2490	1.1803	1.0656
평균	1.0619	0.9930	0.8332	1.2980	1.0465
Max	1.9054	1.2794	1.5265	4.4559	1.9618
Min	0.8332	0.7229	0.3737	0.6021	0.7309
SD	0.3050	0.1343	0.3712	1.1209	0.3369

<표 3> 기술적 효율성 변화추이

DMU	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	평균
공기업1	1	1	1	1	1
공기업2	1	1	1	1	1
공기업3	1	1	1	1	1
공기업4	1.2173	1.2419	0.5473	0.9446	0.9878
공기업5	1.8276	1.0379	0.5586	4.1171	1.8853
공기업6	1.0336	0.7263	3.6815	0.7678	1.5523
공기업7	1	1	1	1	1
공기업8	1	1	1	1	1
공기업9	0.8621	1.0290	0.8513	0.9627	0.9263
공기업10	1	1	1	1	1
평균	1.0941	1.0035	1.1639	1.2792	1.1352
Max	1.8276	1.2419	3.6815	4.1171	1.8853
Min	0.8621	0.7263	0.5473	0.7678	0.9263
SD	0.2716	0.1227	0.9033	0.9997	0.3183

시간의 변화에 따른 기술적 효율성 변화를 파악하기 위해서 기술적 효율성 변화지수를 계산하면 <표 3>과 같다. 분석결과에 따르면 분석대상 공기업들의 기술적 효율성 지수는 2017년부터 2021년까지 5년 동안 평균 13.5% 증가한 것으로 분석되었다. 기술적 효율성이 증가한 공기업이 2곳, 감소한 공기업이 2곳, 유지된 공기업이 6곳으

로 분석되었다.

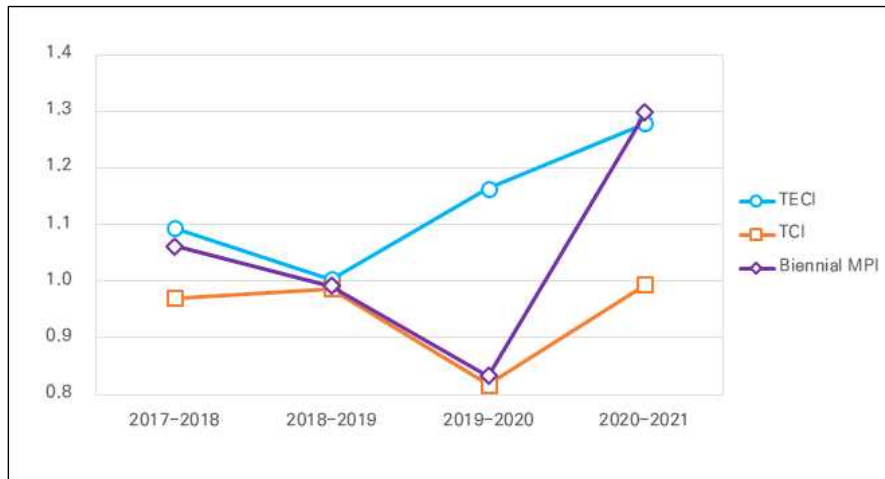
시간의 변화에 따른 기술변화 추이를 파악하기 위해서 기술변화지수를 계산하면 <표 4>와 같다. 분석결과에 따르면 기술변화지수는 2007년부터 2021년 5년 동안 전체적으로 평균 5.7% 감소하였고, 개별 공기업별로는 기술변화지수가 증가한 공기업이 2곳, 감소한 공기업이 8곳으로 나타났다. 일반적으로 기술변화는 외부 요인으로 설명되는 정부정책, 기술적 환경변화, 경제적 상황변화 등에 의해서 결정되는데 이러한 요인들로 인해 분석대상 기간 동안 공기업의 기술변화지수가 감소한 것으로 판단된다.

<표 4> 기술변화지수 추이

DMU	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	평균
공기업1	0.9478	1	0.3737	0.6021	0.7309
공기업2	1.1009	1	0.9186	1.0705	1.0225
공기업3	0.8920	1	0.5261	0.8689	0.8218
공기업4	0.7821	1.0302	1.0548	1.0735	0.9852
공기업5	1.0425	1.0034	0.7954	1.0823	0.9809
공기업6	0.9837	0.9953	0.4146	1.0450	0.8597
공기업7	1	0.9760	1	1	0.9940
공기업8	1	0.9256	0.9768	1	0.9756
공기업9	1.1265	0.9573	0.8692	1.0237	0.9942
공기업10	0.8332	1	1.2490	1.1803	1.0656
평균	0.9709	0.9888	0.8178	0.9946	0.9430
Max	1.1265	1.0302	1.2490	1.1803	1.0656
Min	0.7821	0.9256	0.3737	0.6021	0.7309
SD	0.1103	0.0291	0.2904	0.1590	0.1041

2007년부터 2021년까지 10개 공기업의 기술적 효율성변화지수, 기술변화지수, 생산성지수를 이용하여 공기업들의 생산성 변화추이를 분석하면 <그림 2>와 같다. 분석대상 공기업들의 평균 생산성은 2019년부터 2020년 기간 동안 하락하였다가 2020년 이후 상승하는 경향을 보이고 있으며 생산성은 기술적 효율성지수 보다 기술변화지수에 더 크게 영향을 받는 것으로 분석되었다. 기술변화 지수를 증가시키기 위해서는 경영상의 비효율요인 제거, 고비용 발생요인을 개선할 필요가 있다. 또한 IT를 활용한 기술융합, 연구개발 생산성 향상 및 기술혁신을 통한 기술수준을 발전시킬 필요가 있다.

<그림 2> 평균 생산성 변화지수



본 연구에서는 공개SW 중 하나인 R을 이용하여 음수 값을 처리할 수 있는 웹기반 Biennial Malmquist 생산성분석시스템을 개발하였다. 음수 값을 처리하기 위한 VRM DEA 모형과 Biennial Malmquist 생산성지수를 라이브러리로 생성하였으며, 웹기반 인터페이스를 제공하기 위해서 R Shiny를 이용하였다. 본 연구를 통해 개발된 웹기반 생산성분석시스템의 주요 기능을 설명하면 다음과 같다.

<그림 3> 변수 설정 및 분석 데이터 입력

Define Biennial MPI Variables

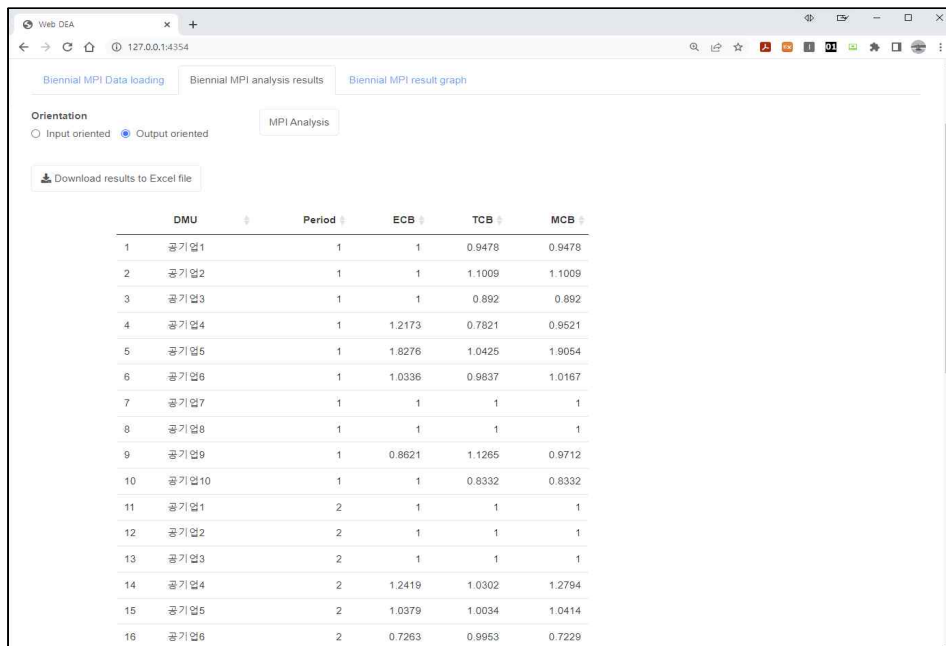
Number of period(time-series): 5 Number of DMUs: 10 Number of Inputs: 2 Number of Outputs: 2 File input: 06 VRM Biennial MPI

공기업명	연도	안전비	자산	매출액	영업이익
1 공기업1	2017	109659	12556810	2489104	1464147
2 공기업2	2017	319648	37130439	22172198	1035163
3 공기업3	2017	148082	4564559	883196	227328
4 공기업4	2017	419091	61089748	8059819	971592
5 공기업5	2017	263495	15611700	2312486	175871
6 공기업6	2017	442143	20867295	3375580	427716
7 공기업7	2017	1689039	181788915	59614862	4963152
8 공기업8	2017	148874	5721591	1834422	119796
9 공기업9	2017	2430519	19878343	5786709	469912
10 공기업10	2017	490425	173682667	23559413	3001428
11 공기업1	2018	122515	12951158	2729885	1298558
12 공기업2	2018	321085	39689691	26185038	1276859
13 공기업3	2018	167240	4659697	912259	155101
14 공기업4	2018	430996	62921165	7794490	841490
15 공기업5	2018	302761	18239001	3148265	543361
16 공기업6	2018	460388	21796758	3391568	476022

<그림 3>은 음수 값을 가진 DMU들의 생산성분석을 위한 변수설정 및 데이터 불러오기 기능을 나타낸다. 분석대상 시계열 수, DMU 수, 투입변수 수, 산출변수 수를 설정하고 분석대상 파일을 불러올 수 있으며, 데이터 파일은 CSV, Excel 파일 인터페이스를 제공하여 사용의 편의성을 높이고자 하였다.

<그림 4>은 Biennial Malmquist 생산성 분석을 지원하는 기능을 나타내는데 투입지향 모형과 산출지향 모형을 선택하고 ‘MPI Analysis’ 버튼을 클릭하면 생산성 분석 결과가 표로 제공된다. 분석결과는 DMU, Period, 기술적 효율성변화지수, 기술변화지수, 생산성변화지수 형태로 제공되고 엑셀파일 다운로드 기능을 제공한다.

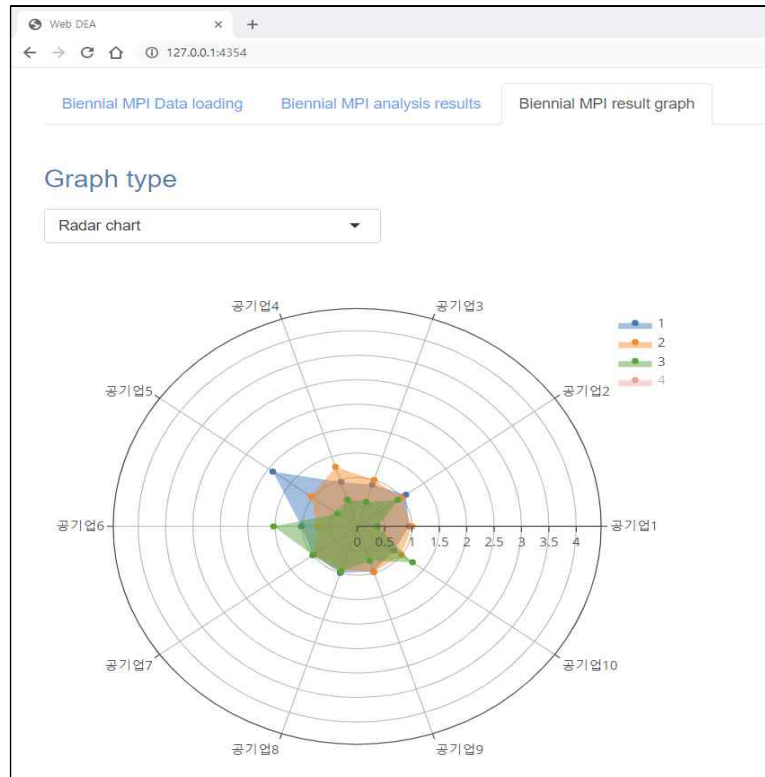
<그림 4> Biennial Malmquist 생산성 분석결과



DMU	Period	ECB	TCB	MCB
1 공기업1	1	1	0.9478	0.9478
2 공기업2	1	1	1.1009	1.1009
3 공기업3	1	1	0.892	0.892
4 공기업4	1	1.2173	0.7821	0.9521
5 공기업5	1	1.8276	1.0425	1.9054
6 공기업6	1	1.0336	0.9837	1.0167
7 공기업7	1	1	1	1
8 공기업8	1	1	1	1
9 공기업9	1	0.8621	1.1265	0.9712
10 공기업10	1	1	0.8332	0.8332
11 공기업1	2	1	1	1
12 공기업2	2	1	1	1
13 공기업3	2	1	1	1
14 공기업4	2	1.2419	1.0302	1.2794
15 공기업5	2	1.0379	1.0034	1.0414
16 공기업6	2	0.7263	0.9953	0.7229

<그림 5>은 생산성 분석결과를 가시화해주는 그래프 기능을 나타내는데, 분석결과는 Bar chart, Scatter chart, Radar chart 형태로 제공되고 그래프는 SVG(Scalable vector graphics) 파일형식으로 저장할 수 있다. 그래프 상에서 범례를 클릭할 때 마다 생산성 지수 결과 값에 해당하는 데이터가 그래프로 표시되었다 감춰지기가 반복 되도록 구현하였으며, 그림에서 4번째 범례를 나타내는 숫자 4가 회색으로 표시되어 있는데 이는 선택이 해제된 상태를 의미하고, 이로 인해 4번째 분석대상 기간의 생산성 지수 값이 그래프에서 감춰진 상태이다.

<그림 5> Biennial Malmquist 생산성지수 결과 그래프



V. 결 론

본 연구에서는 분석대상 데이터들 중 음수 값을 가지는 경우 DEA 기반 Malmquist 생산성분석을 수행할 수 있는 Biennial Malmquist 생산성지수를 제시하고, 생산성 분석을 지원할 수 있는 웹기반 생산성분석시스템을 개발하였다. 또한 2007년부터 2021년까지 10개 공기업의 실적 데이터를 바탕으로 본 연구에서 제시한 방법론의 적용 가능성을 실증분석을 통해 입증하였다. 선행 연구들에서 공공서비스, 행정서비스, 고객만족서비스, 의료서비스 등 다양한 서비스 조직의 효율성 및 생산성 분석에 DEA와 Malmquist 생산성 지수가 적용되어 왔으며, 향후에도 Malmquist 생산성 지수를 이용한 생산성 분석은 보다 다양한 분야에서 서비스 조직의 경영 효율성과 생산성 분석에 활용될 것으로 기대된다. 본 연구를 통해 도출된 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 투입변수와 산출변수에 음수 값이 존재하는 경우 이를 분석할 수 있는 Biennial Malmquist 생산성지수를 제시하고, 생산성지수를 기술적 효율성변화지수와 기술변화지수로 세분화하였다. 둘째, 본 연구에서 제시한 Biennial Malmquist 생산성지수의 적용 가능성을 입증하기 위하여 2007년부터 2021년까지 5년 동안의 공기업 실적데이터를 이용하여 실증분석을 수행하였다. 셋째, 본 연구에서 제시한 Biennial Malmquist 생산성지수 분석을 지원할 수 있는 웹기반 생산성분석시스템을 개발하였다. 다양한 조직의 생산성 분석에 영업이익, 성장률, 증가율 등의 산출지표를 고려하는 경우 해당 지표들이 음수값을 가지는 경우가 발생하므로 기존 방법론으로는 Malmquist 생산성지수를 계산할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 음수 값을 처리할 수 있는 Biennial Malmquist 생산성 분석방법을 제시하고 이를 지원할 수 있는 시스템을 개발하였다는 점에서 연구의 의의가 있다.

본 연구와 관련된 추후 연구주제를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 전통적인 Malmquist 생산성 분석에서는 기술적 효율성변화지수를 순수 효율성변화지수와 규모 효율성변화지수로 세분화할 수 있는데 음수 값을 가지는 경우에 기술적 효율성변화지수를 세분화할 수 있는 새로운 Malmquist 생산성 지수를 개발할 필요가 있다. 둘째, 선행 연구를 통해 제안된 음수 값을 처리할 수 있는 Malmquist 생산성 지수들간의 수행도 평가를 통해 변별력이 가장 우수한 생산성 지수를 밝히는 연구도 필요하다고 판단된다. 셋째, DEA 기반 Malmquist 생산성분석은 고려하는 투입변수와 산출변수에 따라 효율성과 생산성 분석결과가 상이할 수 있으므로 다양한 투입변수와 산출변수를 고려하여 생산성 분석을 수행할 필요가 있다. 또한 정책요인, 경제상황 변화와 같은 외생변수를 종합적으로 고려할 수 있는 방법론에 대한 연구도 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- 기획재정부 (2020), *2021년도 공공기관 경영평가편람*.
- 박만희 (2008), *효율성과 생산성 분석*, 한국학술정보.
- 김홍섭, 박정립 (2013), 세계 주요 공항 운영 효율성 분석: DEA와 Malmquist 생산성 지수 분석을 중심으로, *유통과학연구*, 11(8), 5-14.
- 이수철, 이동호 (2016), Cumulative DEA/Malmquist Index 기법을 이용한 정부출연 연구기관 연구개발 효율성 변화 분석, *한국경영과학회지*, 41(1), 99-111.
- 이재설, 고현우 (2009), DEA-Window 분석 및 Malmquist 생산성지수를 사용한 우편집 중국 효율성 및 생산성 변화 분석, *산업경영시스템학회지*, 32(4), 79-86.
- 임형칠 (2008), DEA와 Malmquist지수를 이용한 우리나라 산업의 효율성과 생산성 분석, *상업교육연구*, 20 305-318.
- 전민준, 한근수 (2021), Malmquist 생산성지수를 이용한 국내 주요 공항 생산성 분석, *무역연구*, 17(4), 329-343.
- 정진호, 임성목 (2014), DEA-Malmquist 생산성 지수 분석방법을 응용한 대구·경북지역 새마을금고의 경영효율성 및 생산성변화 분석, *금융공학연구*, 13(1), 79-100.
- Caves, D.W., Christensen L.R., Diewert W.E.(1982), The economic theory of index numbers and the measurement of inputs, outputs and productivity, *Econometrica*, 50(6), 1393-1414.
- Cheng, G., Zervopoulos, P. and Qian, Z. (2013). A variant of radial measure capable of dealing with negative inputs and outputs in data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, 225, 100-105.
- Pastor, J. T., Asmild, M. and Lovell, C.A. K. (2011), The biennial Malmquist productivity change index, *Socio-Economic Planning Sciences*, 45(1), 10-15.
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., Zhang, Z.(1994), Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries, *The American Economic Review*, 84(1), 66-83.

*** 저자소개 ***

· **박 만 희(mhpark@cup.ac.kr)**

성균관대학교에서 산업공학 전공으로 박사학위를 취득하였고 KAIST 연구교수, KISTI 선임연구원으로 근무하였다. 주요관심 분야는 빅데이터분석, 딥러닝, 최적화, 품질경영 등이다.