

Comparison of Smart City Efficiency Using DEA and KPI

Sang-Ho Lee*, Hee-Yeon Jo*, Yun-Hong Min**

*Student, Dept. of Convergence Logistics System, Graduate School of Logistics, Incheon National University, Incheon, Korea

*Student, Dept. of Convergence Logistics System, Graduate School of Logistics, Incheon National University, Incheon, Korea

**Professor, Graduate School of Logistics, Incheon National University, Incheon, Korea

[Abstract]

This research aims to investigate how major cities in Korea utilize smart city-related technologies, develop key performance indicators (KPIs) to measure the smartness and efficiency of cities, and propose a methodology for assessing and suggesting smart city policy directions based on Data Envelopment Analysis (DEA). Referring to the CITYkeys Smart City Performance Measurement Framework, 10 key performance indicators (KPIs) were derived. For each KPI, city statistical data were allocated to input and output variables, and 15 cities were assigned as Decision Making Units (DMUs). The DEA methodology was employed to evaluate the operational efficiency and scale profitability of cities, providing insights into the operational efficiency of each city. Finally, the operational efficiency among DMUs was ranked to propose smart city policy directions for each city.

▶ **Key words:** Smart city, Key performance indicators(KPI), Smart City Performance Measurement Framework, Data envelopment analysis(DEA)

[요 약]

이 연구에서는 국내 주요 도시들이 스마트시티 관련 기술을 활용하는 방식을 조사하여 도시의 스마트성과 효율성을 측정하기 위한 핵심성과지표(KPI)를 개발하고, DEA 분석을 통해 도시의 운영 효율성을 파악한 내용을 기반으로 스마트시티 정책 방향을 제안하는 방법론을 제시하고자 한다. CITYkeys의 스마트시티 성과측정 프레임워크를 참고하여 10개의 핵심성과지표(KPI)를 도출하였으며, 각 KPI마다 도시 통계데이터를 투입변수와 산출변수에 할당하고, 15개 도시들을 DMU에 할당하였다. DEA 방법론을 활용하여 도시의 효율성과 규모수익성을 평가하였다. 이를 통하여 도시의 운영효율성을 파악하였다. 최종적으로 각 DMU 간의 운영효율성을 순위화하여 도시별 스마트시티 정책 방향을 제안하였다.

▶ **주제어:** 스마트시티, 핵심성과지표, 스마트시티 성과측정 프레임워크, 자료포락분석

• First Author: Sang-Ho Lee, Corresponding Author: Yun-Hong Min

*Sang-Ho Lee (leeracle@gmail.com), Dept. of Convergence Logistics System, Graduate School of Logistics, Incheon National University

*Hee-Yeon Jo (vevaraxana@naver.com), Dept. of Convergence Logistics System, Graduate School of Logistics, Incheon National University

**Yun-Hong Min (yunhong.min@inu.ac.kr), Graduate School of Logistics, Incheon National University

• Received: 2023. 12. 04, Revised: 2023. 12. 21, Accepted: 2023. 12. 26.

I. Introduction

도시는 급속한 도시화 및 증가하는 도시 인구로 인해 다양한 문제와 도전에 직면하고 있다. 이러한 도시 문제는 교통, 환경, 에너지, 안전, 교육, 건강 등 다양한 영역에서 나타난다. 최근 몇 십 년 동안, "스마트시티"가 이러한 도시 변화와 혁신의 중심에 서 있으며, 다양한 스마트 기술을 활용하여 도시의 문제를 해결하고 개선하기 위한 노력을 진행하고 있다. 스마트 기술은 센서, 인터넷 연결 기술, 빅데이터 분석, 인공지능 및 자동화 기술 등을 포함하며, 이러한 기술들은 도시의 운영 및 서비스 제공에 혁신적인 변화를 가져오고 있다. 따라서 도시는 이러한 스마트 기술을 활용하여 다양한 문제를 해결하고 도시의 스마트성을 향상시키기 위해 지속적으로 노력하고 있다. 국내 주요 도시들은 명시적으로 "스마트시티"로 정의되지는 않더라도 스마트 기술을 활용하여 여러 도시 문제에 대응하고 있다.

1. Study on Smart City Policies

우리나라의 스마트시티 프로젝트는 중앙정부의 국토교통부를 중심으로 지자체 확산하는 방향으로 진행되었으나, 실제 지자체는 국토교통부 외에 다른 정부부처와 연계하여 스마트시티와 연관된 서비스 구축 프로젝트를 진행하는 경우도 발생하면서 중앙정부와 지방정부 간 서로 다른 정책 부문을 형성하고 서로 다른 정책 추진체계에 의해 세부 정책을 추진하여 왔다. 기존 스마트시티 정책의 경우 중앙정부(국토교통부) 주도의 시범사업으로 추진되거나 주로 인프라 위주에 초점을 두고 있어, 개별 지자체 차원에서 접근할 수 있는 정책 방향성이나 내용 발굴에 있어서는 상당한 어려움이 존재하였다.

2. Study on Smart City Evaluation

스마트시티 프로젝트는 2000년 대 초반 도시의 운영 효율성을 제고하는 목표에서 U-City 프로젝트가 시작된 이래, 현재까지 지속되고 있으나 많은 예산이 투입되었던 사업에 비하여 개별 프로젝트에 대한 평가 위주로 진행되었으며, 스마트시티의 여러 서비스를 대상으로 종합평가를 진행하거나 도시 간 프로젝트 성과에 대한 비교 연구가 활발하게 진행되지 못하였다.

이러한 스마트시티의 정책 및 평가 관점에서 파악된 이슈를 바탕으로 효율적인 스마트시티 구축 및 관리·운영하기 위한 방안이 마련될 필요가 있다.

이 연구는 국내 주요 도시들이 스마트시티 관련 기술을 어떻게 활용하고 있는지를 조사하고, 도시의 스마트성과

효율성을 측정하는 방법을 제시한다. 우리의 목적은 스마트 기술을 통해 해결될 수 있는 도시 문제 중 스마트시티의 핵심 가치와 연관성이 있는 문제들을 식별하고, 이러한 문제들을 얼마나 효과적으로 해결하는지를 측정하는 효율성지표(핵심성과지표, KPI)를 개발하는 것이다. 이러한 핵심성과지표(KPI)에 대한 DEA 분석을 통해 도시의 효율적 운영에 필요한 개선사항을 파악한 다음, 이를 기반으로 스마트시티 정책의 방향을 제시하고자 한다.

II. Literature Review

1. DEA Study Using City Data

DEA는 효율성 평가에 중점을 둔 방법론으로, 도시 관련 문제에 적용되어 도시의 스마트성을 평가하고 비교하는데 사용된다. 아래 논문들은 도시 관련 서비스나 정책, 기타 평가항목을 연구대상으로 선정하고, DEA를 통하여 효율성을 평가한 다음 향후 도시 정책 결정에 도움을 주는 방안을 제공하였다.

1.1 DEA Study - Smart City Related

스마트시티 관련한 DEA를 통한 연구는 스마트시티 관련 여러 서비스 평가항목을 정의하고, 해당 항목의 도시 데이터를 수집하여 스마트시티의 특정 서비스의 효율성을 평가하는데 중점을 두었다.

이다솔(2018)은 전국 지방자치단체를 대상으로 스마트시티의 단기적 성과인 실행수준의 효율성을 평가하기 위해 DEA를 활용하였다. 투입요소(①재정: 재정자립도, ②정치: 지방자치단체장의 지지율, ③교육: 인구 천명 당 대학교 수, ④경제: 인구 천명당 사업체 수) 대비 산출요소(스마트시티 실행수준: 교통관리 시스템 구축 여부, 주차정보 제공 시스템 구축 여부, 공공데이터 개방여부, 전자민원상담 실시 여부, 재난 시스템 구축 여부, 스마트 가로등 설치 여부)의 효율성을 분석하여 각 지자체의 스마트시티 실행수준의 효율성을 분석하였다. 그러나, 연구대상의 항목별 수집하는 통계 데이터가 해당 항목을 대표하는 데이터로 활용하기에는 대표성이 부족하고, 스마트시티 실행수준의 평가내용도 질의 내용의 여부 판단(이분법적인 접근)으로 해당 결과(스마트시티 실행수준)를 유일한 산출요소 항목으로 설정하였다[1].

Yang Kairui(2018)는 중국의 특정 도시(Wuhan)를 대상으로 투입변수와 산출변수를 스마트시티 지표의 Index Level로 나누어 정의한 내용을 바탕으로 DEA를 활용하여

연구대상 도시의 효율성을 평가하였다. 투입요소(① Human capital input, ② Infrastructure construction, ③ Capital input) 대비 산출요소(① Smart government, ② Smart economy, ③ Smart life, ④ Smart humanistic quality)의 효율성을 분석하여 해당 도시의 스마트시티 서비스의 효율성을 분석하려고 하였다. 그러나 해당 연구에서 설정한 스마트시티 지표 및 Index Level에 따른 모든 항목에 대한 상세 통계 데이터의 존재 유무를 확인하기 전에 항목을 정의하였기 때문에 통계 데이터 수집에 어려움이 있어 일부 항목의 데이터만 수집하여 적용하였다[2].

도시를 연구대상으로 정하고, DEA를 활용하여 효율성을 분석하기 위해서는 도시서비스 분류체계를 설정하고, 해당 서비스별로 같은 기준으로 정리된 통계 데이터가 확보되었을 때 의미 있는 분석이 가능하다고 할 수 있다.

1.2 DEA Study - Public Sector Related

공공영역의 DEA를 활용한 효율성 분석 연구는 공공기관 내 운영효율성이나 재무효율성을 분석하기 위하여 주로 기관 내부자료(재무제표나 경영성과자료)를 활용하여 관련 공공기관 간 비교·평가하는데 중점을 두었다.

김태웅 외(2000)[3], 유극록(2005)[4], 고승철 외(2008)[5], 우윤석 외(2009)[6], 이승용(2010)[7]은 공공서비스 제공 기관의 효율성 분석하기 위하여 투입변수(인건비, 자본) 대비 산출변수(매출액, 수익)를 설정하여 기관의 운영 효율성을 집중하여 분석하였다.

이환범 외(2005)는 광역자치단체별로 설치·운영 중인 11개 도시개발공사를 대상으로 2001년부터 2002년까지 2개년 패널자료를 이용해 DEA분석을 시도하였다. 투입요소로는 직원 수, 노동가격, 총비용, 물적자본가격을, 산출요소로는 자기자본, 자기자본비율, 수익, 수지비율을 선정하였다[8].

이상철(2009)은 규모와 운용 면에서 유사한 전국 시도 16개 지방개발공사를 분석대상으로 하여 시계열적으로 DEA 분석을 시도하였다. 투입변수는 인력과 예산이며, 산출변수는 재무제표를 이용한 기업경영분석 시 사용되는 안정성, 수익성, 활동성, 수지비율을 선정하여 효율성을 파악하고자 하였다. 안정성은 유동비율, 자기자본비율, 부채비율, 수익성은 매출액순이익률, 자기자본순이익률, 총자산경상이익률, 자기자본경상이익률, 활동성은 총자본회전율, 자기자본회전율, 수지비율은 총수지비율, 경상수지비율, 영업수지비율을 세부지표로 설정해 분석을 수행하였다[9].

최현목(2014)은 도시공공서비스를 제공하는 지방공기업의 재무효율성을 안정성, 수익성, 활동성의 세차원에서

DEA를 통해 분석하였다. 투입변수는 인력, 예산이며, 산출변수는 안정성, 수익성, 활동성으로 선정하여 효율성을 파악함으로써, 광역자치단체의 공사·공단의 재무제표에 기초한 재무효율성 분석결과를 경영전략수립 및 정책입안에 활용하고자 하였다. 안정성은 유동비율, 자기자본비율, 부채비율, 수익성은 매출액순이익률, 자기자본순이익률, 활동성은 총자본회전율, 자기자본회전율로 설정하였다[10].

송건섭(2021)은 DEA를 이용하여 공공기관 성과평가지표에서 많이 논의되어지는 소통지수의 효율성을 분석하였다. 이를 위해 경상북도 출자·출연기관을 대상으로 경영평가실적보고서(2017~2018)에 나타난 평가지표를 분석, 소통지표를 발췌하여 기관별 소통효율성을 측정하였다. 투입요소(직원수, 예산) 대비 산출요소(의사소통채널확보, 소통관련 규정지침, 의견수렴 프로그램, 언론홍보 정보공개, 사회약자프로그램, 소통참여 추진실적)의 효율성을 분석하여 각 기관 내 조직의 효율성을 분석하였다.

공공영역의 DEA 연구는 지역을 구분하거나, 혹은 지역 구분 없이 공공기관을 연구대상으로 하여 운영의 효율성을 파악하거나, 하나의 공공서비스에 대하여 각 지역별 기관들의 인력운용이나 예산집행 등의 성과를 비교하는 연구로 진행되었다[11].

2. Study on Smart City Policies of Cities

도시별 스마트시티 정책은 지자체별로 스마트시티의 기본 정책을 주기적으로 수립하고, 지자체 주도로 필요 스마트 서비스를 발굴하고, 자체 예산으로 수행하는 경우가 대부분이다. 따라서 한국의 스마트시티 정책에 대한 연구는 지자체별 스마트시티 기본 계획을 바탕으로 진행되었다.

김홍광(2017)은 도시경쟁력 제고를 위한 스마트시티 서비스 도입에 영향을 미치는 요인을 파악하고 각 지자체에서 도입하는 스마트시티 서비스의 혁신수준에 영향을 미치는 요인을 분석함으로써 우리나라 지자체가 스마트시티 서비스의 도입확대와 그 혁신수준을 향상시키기 위한 정책적 시사점을 제시하였다[12].

이재용 외(2019)는 스마트시티의 다양한 출발점 및 배경을 살펴보고, 국내 스마트시티 정책 전환에 대한 키워드를 분석하였으며 국가 스마트시티 정책의 시사점을 도출하였다. 또한 국내외 스마트시티 정책의 등장 배경 및 그 전환들에 대해 검토 후 스마트시티 추진 주체인 지자체들에 이러한 정책들이 실제 영향을 미치고 있는지에 대하여 전국 지자체들을 대상으로 수행한 설문조사를 통하여 분석하였다[13].

탁성숙 외(2021)는 우리나라의 지방정부가 도입하고 있는 스마트시티 서비스를 대상으로 스마트시티 정책확산의

발생과 정책도입의 영향요인을 검증하는 연구를 수행하였다. 전국 226개의 기초자치단체를 대상으로 스마트시티 서비스의 확산 유형 및 도입현황을 분석하였으며, 수도권과 비수도권의 서비스 격차를 완화할 수 있도록 정부차원의 정책마련이 필요하다는 시사점을 도출하였다.

한국의 스마트시티 정책에 대한 연구는 지자체별 스마트시티 정책이나 서비스 구축 계획을 비교하거나, 하나의 도시를 대상으로 특정 지자체에서 수행하는 스마트시티 프로젝트에 대한 계획 대비 수행수준을 평가하는 연구로 진행되었다[14].

3. Differences from Existing Studies

도시서비스는 기술과 솔루션이 발전함에 따라 지속적으로 변하고 있으며, 각 도시별로 개발 계획이나 발전방향이 상이하다. 도시 범위에서 수집된 통계데이터를 활용하여 공통된 기준으로 설정된 연구대상을 비교·분석한 연구가 어려운 이유이다. 특히 국제 도시 간 비교·평가는 일반적으로 일부 공통 관리지표를 참고하여 전문가들의 설문평가를 통한 결과를 바탕으로 통계데이터로 만들어 도시 간 비교 연구가 진행되고 있다.

Xiaotong Chen(2020)은 중국 내 대표도시를 인구, 지역총생산, 고정자산, 지방공공예산 수입 및 지출, 소셜상품 소매판매총액을 활용하여 도시 간 효율성을 분석하였다[15]. 국내의 경우 김경옥(2021)[16], 최현목(2014)은 직장어린이집, 공공도서관 같이 하나의 연구대상을 설정하고 전 도시 간 운영효율성을 분석하였다[17]. 이동석(2018)은 교통수단정책을 연구대상으로 도시 간 비교연구를 진행하였다[18].

본 연구는 도시의 공공서비스 전 영역을 대상으로 종합적인 도시운영 효율성 분석을 하기 위하여 스마트시티의 서비스 분류체계를 반영하여 여러 가지 연구대상을 설정하였다. 여기서 설정된 연구대상들은 도시의 스마트성을 비교평가하기 위하여 주요 도시별로 분류되어 있는 공공의 오픈데이터를 최대한 활용하였다. 이는 매년 관리되어지는 통계데이터로 해당 도시의 도시운영 KPI 지표를 산출하는데 지속적으로 활용될 수 있을 것이다. 결론적으로 선행연구와의 차별성으로 본 연구는 스마트시티 서비스 기준에서 여러 분야를 연구대상으로 설정하고, 주요 도시별 통계데이터를 활용 및 DEA 방법론을 적용함으로써, 도시 간 비교연구를 지속적으로 평가 및 관리할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

III. The Proposed Framework

스마트시티 KPI(핵심성과지표) 측정시스템은 스마트 시티의 목표 달성 성과를 평가하는 데 사용되는 프레임워크 또는 방법론이다. 이러한 시스템에는 일반적으로 도시의 스마트 이니셔티브의 다양한 측면을 반영하는 주요 지표 및 지표의 식별이 포함된다. 구체적인 KPI와 측정 방법론은 특정 스마트 시티의 목표와 중점 영역에 따라 달라질 수 있다. 목표는 도시가 더욱 스마트해지고, 지속 가능해지며, 주민들의 요구에 더 잘 부응하는 방향으로 나아가는 과정에 대한 전체적인 시각을 제공하는 포괄적인 시스템을 만드는 것이다.

CITYkeys 스마트시티 성과측정 프레임워크는 EU국가들 간에 여러 도시서비스 프로젝트들의 성과를 측정 및 비교하기 위하여 활용되는 대표적인 스마트시티 성과측정 프레임워크이다[19]. 본 연구에서는 CITYkeys 프레임워크를 활용하여 스마트시티 성과측정 프레임워크를 구성하고, 도시 서비스에 대한 핵심성과지표(KPI)를 정의할 것이다. 스마트 기술이 적용된 여러 분야의 도시 서비스를 대상으로 문헌연구를 통하여 스마트시티 평가지표를 도출하고, CITYkeys Smart City KPIs를 이 평가지표에 매칭하여 스마트시티 핵심성과지표를 정의한다.

1. Structure of smart city performance measurement framework

The CITYkeys 스마트시티 성과측정 프레임워크(Fig 1)를 활용하여 본 연구에 활용해보고자 한다.

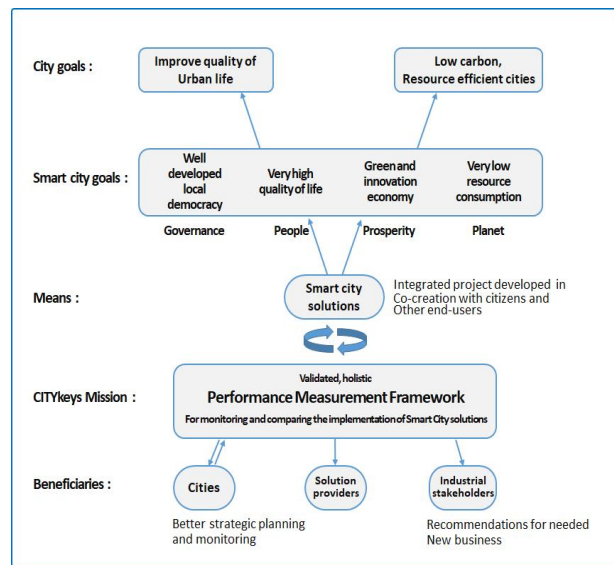


Fig. 1. The CITYkeys Smart City Performance Measurement Framework

2. Define key performance indicators (KPIs) for City services

CITYkey 스마트시티 측정지표는 5가지로 분류되어 구성된다.

- (1) People
- (2) Planet
- (3) Prosperity
- (4) Governance
- (5) Propagation

CITYkey 스마트시티 측정지표의 구성내용은 아래 그림 (Fig 2)과 같다.

People	Planet	Prosperity	Governance	Propagation
<ul style="list-style-type: none"> • Health • Safety • Education • Access to services • Diversity & Social Cohesion • Quality of housing and built environment 	<ul style="list-style-type: none"> • Energy & Mitigation • Materials, water and land 	<ul style="list-style-type: none"> • Employment • Equity • Green economy • Economic Performance • Innovation • Attractiveness & competitiveness 	<ul style="list-style-type: none"> • Organization • Community Involvement • Multilevel Governance 	<ul style="list-style-type: none"> • Scalability • Replicability

Fig. 2. The CITYkeys Smart City KPIs

3. Derive smart city indicators using smart technology

스마트 기술을 활용한 도시 서비스에 대한 문헌연구를 바탕으로 도시 서비스 평가지표를 도출하였다.

- 1) Quality of Life - Medical Treatment
 - Hsinchun Chen(2011)는 스마트 기술이 어떻게 의료 접근성을 향상시키고, 공중 보건을 모니터링하며, 도시 인구의 전반적인 웰빙에 기여할 수 있는지 연구 [20]
- 2) Quality of Life - Education
 - Das, Nilanjan(2023)은 e-러닝 플랫폼, 스마트 교실, 스마트 시티의 디지털 활용 능력 향상을 위한 이니셔티브에 중점을 두고 교육에 기술을 통합하는 방법을 탐구[21]
- 3) Safety and Security
 - Baek, Myung-Sun(2021)은 범죄 예방 및 감시를 위한 데이터 분석과 예측을 활용한 범죄 예방 및 도시 안전을 연구[22]
- 4) Efficiency of Mobility
 - A. Maria Nancy 외(2023)은 교통 관리, 대중 교통 최적화, 도시 이동성의 미래를 형성하는 자율주행차

와 전기 자동차의 역할을 포함한 스마트 교통 시스템을 연구[23]

- 5) Sustainability & Renewable Energy
 - Viktor Sebestyén(2021)는 에너지의 효율적인 분배와 소비를 촉진하기 위하여 신재생에너지의 다양한 기술과 정책의 통합을 통해 이루어지며, 이를 통해 도시의 에너지 효율성과 환경 지속 가능성을 높이는 데 방안을 연구[24]
- 6) Environmental Quality
 - Walid Chatti, Muhammad Tariq Majeed는 신기술 및 ICT가 도시화와 상호작용할 때 환경에 미치는 영향 등을 신기술 및 오염에 대한 다른 지표를 사용하여 ICT의 환경 영향에 대하여 연구[25]
- 7) Economic Growth
 - Andrea Caragliu 외(2019)는 일자리 창출, 혁신 생태계, 경제 성장 촉진에 있어서 기술의 역할 등 스마트 시티 이니셔티브의 경제적 영향을 분석[26]
- 8) Urban Planning and Development
 - John R. Vacca(2021)는 다양한 기술과 시스템의 통합을 통해 도시를 더 효율적이고 지능적으로 만드는 데 중점을 두고, 도시의 핵심 시설과 서비스를 설계, 운영 및 유지하는 방법을 탐구[27]
- 9) Community Engagement & Governance
 - Mijin Choo 외(2023)는 투명성, 시민 참여, 효율적인 서비스 제공을 위한 디지털 플랫폼 개발을 강조하면서 향상된 도시 거버넌스 및 시민 참여 개선에서 기술의 역할에 대하여 연구[28]
- 10) Innovation & Technology Adoption
 - Md Eshrat E. Alahi 외(2023)은 많은 연구에서 스마트 기술(IoT, AI, 센서)을 도시 인프라에 통합하는 방법을 조사하고 효율성, 서비스 제공 및 리소스 최적화에 미치는 영향을 연구[29]

The CITYKeys Smart City KPIs를 도시 서비스 평가 지표와 매칭한 후 스마트시티 핵심성과지표(KPI)로 전환하여 본 연구에 적용하고자 한다.

Table 1. Smart City KPIs & Evaluation Indicators

The CITYkeys Smart City KPIs		Smart Service Evaluation Indicators
People	Health Education Safety Access to services	Quality of Life - Medical Treatment
		Quality of Life - Education
		Safety and Security
		Efficiency of Mobility
Planet	Energy & mitigation Climate resilience Pollution & Waste Ecosystem	Sustainability & Renewable Energy
		Environmental Quality
Prosperity	Employment Equity Economic performance Innovation Attractiveness & competitiveness	Economic Growth
		Urban Planning and Development
Governance	Organization Community involvement Multilevel governance	Community Engagement & Governance
Propagation	Scalability Replicability	Innovation & Technology Adoption

IV. DEA Analysis for City KPIs

1. DEA Efficiency Analysis

본 연구에서는 주요 도시들의 스마트 기술을 활용한 스마트시티 핵심 성과지표(KPI)의 효율성 분석을 위해 DEA를 이용한다. DEA는 다수의 투입 변수와 다수의 산출 변수를 선정하여 생산성을 하나의 측정지표로 나타낼 수 있는 기법이다. 도시별 스마트시티 운영효율성을 평가하기 위해 평가대상 DMU의 효율적 수치를 측정하는 비모수적 분석방법으로 접근한다. 상대적인 효율성을 측정하며 DMU간의 객관적인 비교를 할 수 있기에 도시 간 운영효율성의 비교연구를 위해 적용할 수 있는 분석기법이다.

효율성이 낮은 DMU들이 효율성 개선을 위해 효율적이 되기 위해서 본받아야 할 DMU들을 벤치마킹(Benchmarking) 할 수 있으며, 스마트시티 핵심 성과지표(KPI)들에 맞추어 도시별로 제공하는 공공서비스의 효율적인 프론티어에 도달할 수 있는 투입변수와 산출변수를 관리적 측면에서 해석할 수 있다.

자료포락분석(DEA) 모형은 Charnes, Cooper와 Rhodes(1978)의 CCR 모형과[30] Banker, Charnes와 Cooper(1984)의 BCC 모형으로 구별할 수 있으며[31], 두

모형의 차이는 투입요소와 산출요소의 생산관계에 있어서 전제가 되는 기본가정이 서로 다르다. 즉, CCR 모형은 투입요소를 일정비율로 증가시켰을 때 산출요소가 일정비율로 증가한다는 규모수익불변(Constant Return to Scale: 이하 CRS)을 가정한 반면 BCC 모형은 규모수익가변(Variable Returns to Scale: 이하 VRS)을 가정하여 투입요소를 일정비율로 증가시켰을 때 산출요소가 일정비율로 증가하지 않는다는 것을 가정한다.

또한, DEA 모형은 투입지향(Input-oriented)과 산출지향(Output-oriented)으로 구분된다. 연구의 목적과 효율성을 개선하고자 하는 방향을 명확하게 식별하여 지향 모형을 선정해야 한다. 투입지향은 산출을 고정하여 투입을 최소화하는 반면, 산출지향은 투입을 고정하여 산출을 최대화하여 효율성을 개선하는 것을 의미한다.

본 연구는 도시 문제를 얼마나 효과적으로 해결하는지 측정하기 위하여 개발한 스마트시티 KPI설정에 맞추어 투입을 최소화하고, 산출을 최대화하여 도시관리의 운영 효율성을 최대한 높이도록 하는 게 최우선 목표이기 때문에 최종적으로 투입·산출지향 CCR모형과 BCC모형을 활용하였다.

2. Data Collection and Selection of Variables

본 연구를 위한 자료의 수집은 공공기관의 통계자료를 활용하여 본 연구에 필요한 년도별(2021년), 시도별(15개 시도, 제주 및 세종 제외)로 통계 데이터로 구성되어 있는 자료를 대상으로 수집하였다.

수집대상 자료는 앞서 스마트시티 KPI 지표로 도출된 10가지 항목을 대상으로 하였다.

- 1) Quality of Life - Medical Treatment
- 2) Quality of Life - Education
- 3) Safety and Security
- 4) Efficiency of Mobility
- 5) Sustainability & Renewable Energy
- 6) Environmental Quality
- 7) Economic Growth
- 8) Urban Planning and Development
- 9) Community Engagement & Governance
- 10) Innovation & Technology Adoption

DEA 모형의 효율성 분석 시 적용되는 투입변수와 산출변수에 대한 변수 선정에 대해서는 투입 성과 측정치가 그 값이 감소할수록 개선되는 측정치를 투입변수로 정의하였으며, 산출 성과 측정치는 그 값이 증가할수록 개선되는 측정치를 산출변수로 정의(Sarkis, 2000)하였다.[32] (Table 2)

Table 2. Input and Output Variables for Smart City KPIs

Smart City KPI Indicators	Input & Output Values	Description & Data Source
Quality of Life - Medical Treatment	Population, Medical insurance premiums	* (Life satisfaction) : Statistics Korea (Social Survey) - Ratio of overall satisfaction (happiness) with economics, family relationships, job, health, etc. among the population aged 13 or older
	Life satisfaction, Medical service satisfaction	
Quality of Life - Education	Population, Education budget	* (Satisfaction with school life) : Statistics Korea (Social Survey) - The percentage of students aged 13 or older who are satisfied with their overall school life (education content, teaching methods, peer relationships, etc.)
	Life satisfaction, Satisfaction with school life	
Safety and Security	Number of crime Number of 112 reports	* (Number of criminal arrests) : National Police Agency - Number of arrests and number of arrestees by major crime (violence, theft, violence, other crimes)
	Number of criminal arrests	
Efficiency of Mobility	Number of registered cars, Traffic accident statistics	* (Traffic safety index) : Road Traffic Authority - An index that evaluates the level of traffic safety by local government * (Transportation Culture Index) : Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Traffic Culture Survey) - An index of the habits and behavior patterns of drivers, pedestrians, etc. who use traffic.
	Traffic safety index, Transportation Culture Index	
Sustainability & Renewable Energy	Final energy consumption, Household waste generation	* (The amount of renewable energy source) : Korea Energy Agency (renewable energy survey) - The value of regional new and renewable energy production in energy-specific units such as solar power, wind power, bio, etc. converted into calories
	The amount of renewable energy source, General waste recycling capacity	
Environmental Quality	Annual emissions of air pollutants (CO, NOx, TSP, PM-10, BC)	* (Satisfaction with green space environment) Statistics Korea (Social Survey) - Percentage of people aged 13 or older who think about the level of green space around them
	Satisfaction with green space environment	
Economic Growth	Unemployment rate, Number of workers	* (Unemployment rate) : Statistics Korea (Economically Active Population Survey) - Proportion of unemployed people among economically active population (employed + unemployed)
	Employment rate, Number of employed people	
Urban Planning and Development	Population, Revenue budget	* (GRDP : Gross Regional Domestic Aproduct) Statistics Korea (regional income) - The sum of the value of final products newly created within a certain area over a certain period of time
	GRDP (gross regional domestic product), Financial independence	
Community Engagement & Governance	Revenue budget, Number of employees in the entire industry	* (Health and social welfare budget) Ministry of the Interior and Safety (Local Finance Yearbook) - The ratio of the local government's budget in the social welfare field to the total budget amount in the current year.
	Number of health & social welfare workers, Health and social welfare budget	
Innovation and Technology Adoption	R&D expenses, Investment in research facilities	* (Patent commercialization) : Korean Intellectual Property Office (Intellectual Property Statistics) - Statistics linked to business using patents
	Patent commercialization, Number of patent applications	

Table 3. Efficiency Evaluation Results for CCR and BCC Models

DMU	Quality of Life - Medical Treatment		Quality of Life - Education		Safety and Security		Efficiency of Mobility		Sustainability & Renewable Energy		Environmental Quality		Economic Growth		Urban Planning and Development		Community Engagement & Governance		Innovation and Technology Adoption	
	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR
Seoul	0.13	0.12	0.17	0.16	0.92	0.86	1.00	0.34	1.00	0.87	0.20	0.19	0.96	0.93	1.00	0.72	1.00	0.92	1.00	1.00
Pusan	0.44	0.44	0.40	0.37	0.97	0.94	1.00	0.54	1.00	1.00	0.35	0.35	0.88	0.87	0.46	0.42	1.00	1.00	0.87	0.80
Daegu	0.56	0.53	0.57	0.56	0.98	0.96	0.52	0.52	0.99	0.92	0.60	0.53	0.80	0.80	0.47	0.42	0.98	0.93	1.00	1.00
Incheon	0.43	0.39	0.41	0.39	0.97	0.93	0.88	0.59	0.86	0.85	0.29	0.23	0.79	0.79	0.53	0.48	1.00	0.98	0.61	0.35
Gwangju	0.96	0.93	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.85	1.00	0.75	1.00	1.00	0.89	0.87	0.78	0.64	1.00	1.00	1.00	1.00
Daejeon	1.00	0.99	1.00	0.91	0.95	0.95	0.95	0.85	1.00	0.92	1.00	1.00	0.85	0.83	0.77	0.62	0.96	0.91	1.00	0.82
Ulsan	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	0.62	0.61	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.86	1.00	1.00
Gyeonggi	0.08	0.08	0.11	0.10	1.00	0.95	1.00	0.21	1.00	0.76	0.08	0.08	1.00	1.00	1.00	0.56	1.00	0.81	1.00	1.00
Gangwon	1.00	1.00	0.80	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.88	1.00	0.31	0.88	0.88	0.73	0.48	1.00	0.93	1.00	0.95
Chungbuk	0.82	0.82	0.85	0.82	0.96	0.95	0.77	0.76	0.77	0.73	0.25	0.25	0.93	0.91	0.70	0.67	0.85	0.83	0.72	0.60
Chungnam	1.00	0.67	1.00	0.60	0.94	0.92	0.68	0.68	0.87	0.86	0.19	0.17	1.00	1.00	1.00	0.84	0.82	0.81	0.96	0.82
Jeonbuk	0.91	0.88	0.72	0.66	0.97	0.96	0.92	0.92	1.00	1.00	0.37	0.36	1.00	0.99	0.63	0.45	1.00	1.00	1.00	1.00
Jeonnam	0.91	0.87	0.71	0.69	1.00	0.99	1.00	0.90	0.82	0.80	0.57	0.19	1.00	1.00	0.73	0.69	0.95	0.94	1.00	0.85
Gyeongbuk	0.58	0.55	0.43	0.40	1.00	0.98	1.00	0.65	0.66	0.65	0.17	0.16	1.00	1.00	0.71	0.62	1.00	0.88	0.59	0.49
Gyeongnam	0.42	0.42	0.36	0.36	1.00	0.98	1.00	0.60	0.69	0.69	0.71	0.25	0.93	0.89	0.56	0.49	0.92	0.84	0.48	0.46

3. DEA Results

스마트시티 KPI별 CCR과 BCC 모델을 적용한 효율성 평가결과는 다음과 같다.(Table 3)

3.1. Efficiency and Scale Efficiency

규모효율성이 1인 도시(BCC와 CCR 값이 모두 1인 도시)에 대하여 효율적인 도시 운영을 하고 있으며, 규모를 제대로 이용하고 있다고 할 수 있다.(Table 4)

Table 4. Cities with a Scale Efficiency Value of 1

Smart City KPI Indicators	Cities (Scale Efficiency Value = 1)
Quality of Life - Medical Treatment	Ulsan, Gangwon
Quality of Life - Education	Ulsan
Efficiency of Mobility	Ulsan, Gangwon
Innovation and Technology Adoption	Seoul, Daegu, Gwangju, Ulsan, Gyeonggi, Jeonbuk
Economic Growth	Ulsan, Gyeonggi, Chungnam, Jeonnam, Gyeongbuk
Safety and Security	Gwangju, Ulsan, Gangwon
Urban Planning and Development	Ulsan
Community Engagement & Governance	Busan, Gwangju, Jeonbuk
Sustainability & Renewable Energy	Busan, Jeonbuk
Environmental Quality	Gwangju, Daejeon

3.2. Frequency of Reference Set

참조집합(reference set)이란 비효율적인 DMU들이 효율적이 되기 위해서 본받아야 할 DMU들을 나타내는 것으로서, 참조집합에 많이 나타난 DMU들은 다른 DMU들이 본받아야 할 모범이 되는 DMU라고 평가할 수 있다.

BCC모형의 참조집합의 빈도수가 많은 도시가 효율적인 도시라고 할 수 있다.(Table 5)

Table 5. Frequency of Reference Set for Smart City KPIs

Smart City KPI Indicators	Frequency of Reference Set
Quality of Life - Medical Treatment	Gangwon(11), Ulsan(9), Daejeon(8)
Quality of Life - Education	Ulsan(12), Gwangju(5), Daejeon(4)
Efficiency of Mobility	Ulsan(7), Gangwon(5), Gwangju(3)
Innovation and Technology Adoption	Daegu(6), Gangwon(5), Jeonbuk(4), Daejeon, Gwangju(3)
Economic Growth	Jeonnam(8), Gyeongbuk(6), Ulsan, Gyeonggi(5)
Safety and Security	Gyeongbuk(7), Gwangju, Gyeonggi(5), Gangwon, Jeonnam(3)
Urban Planning and Development	Ulsan(13), Seoul(7)
Community Engagement & Governance	Busan, Jeonbuk(7), Gwangju(6)
Sustainability & Renewable Energy	Jeonbuk(9), Busan, Daejeon(8)
Environmental Quality	Daejeon(13), Gwangju, Gangwon(5)

3.3. Summary of KPIs and DEA Analysis Results

DEA분석을 통하여 스마트시티 KPI별 도시 간 효율성 순위를 파악한 결과는 아래와 같다.(Table 6)

- 1) (삶의 질-의료)분야에서는 강원이 최상위 운영효율성을 갖고 있으며 이는 인구수 대비 의료보험료 지출 비용이 낮으면서 의료서비스 만족도가 높기 때문이다. 울산의 경우는 의료서비스 만족도는 높지 않으나 인구수와 의료보험료 지출 대비 삶의 만족도가 높아 운영효율성이 높은 것으로 파악되었다. 대전은 의료서비스 만족도가 타 도시에 비하여 높은 편이나 인구수 대비 의료보험료 지출비용이 상대적으로 커서 운영효율성이 낮아진 것으로 파악된다.
- 2) (삶의 질-교육)분야에서는 울산이 인구수 대비 교육비 예산 비율을 기준으로 삶의 만족도와 학교생활 만족도가 높아 최상위 운영효율성을 갖는 것으로 파악되었다. 광주는 삶의 만족도와 학교생활 만족도가 최상위에 위치하나 인구수대비 교육비 예산이 높기 때문에 운영 효율성이 낮은 것으로 평가되었다.
- 3) (이동 효율성)분야에서 울산이 상위의 운영효율성을 보여준다. 타도시에 비하여 차량 등록대수 대비 교통사고 비율이 현저히 낮기 때문에 교통에 대한 이동

효율성 평가가 높은 것으로 파악된다. 차상위의 운영 효율성을 갖는 강원인 경우는 차량 등록대수 대비 교통사고 비율은 중간 순위이나 교통안전지수가 상대적으로 매우 높기 때문에 운영효율성이 높은 것으로 평가되었다. 인천의 경우 차량 등록대수 대비 교통사고 비율은 제일 낮았으나 교통안전지수가 낮아 운영효율성이 좋지 않은 것으로 평가되었다.

- 4) (혁신과 기술 채택)분야에서 대구가 ICT 연구개발비 및 투자비용 대비 특허 출원 및 특허 사업화 실적이 높아 운영효율성이 제일 높은 것으로 평가 되었다. 강원인 차상위로 운영효율성이 높은 도시로 평가되었다. 서울, 경기 및 대전은 특허 출원 건수가 타도시에 비하여 높은 편이나 ICT 연구개발비가 타도시에 비하여 현저하게 높은 편이라 투자대비 운영효율성은 낮은 것으로 평가되었다.
- 5) (경제성장)분야에서 전남과 경북은 현 근로자수 대비 취업자수가 높아 운영효율성이 높은 것으로 평가되었다. 전남의 경우는 타도시에 비하여 상대적으로 실업률이 제일 낮은 것으로 파악되었다. 서울, 인천 및 경남의 경우는 실업률이 상대적으로 높아 운영효율성이 낮은 도시로 평가 되었다.

Table 6. Efficiency Rankings of Cities for Smart City KPIs

Smart City KPI Indicators	DEA Analysis Results		
	Input Values	Output Values	Efficiency Rankings
Quality of Life - Medical Treatment	Population, Medical insurance premiums	Life satisfaction, Medical service satisfaction	① Gangwon ② Ulsan
Quality of Life - Education	Population, Education budget	Life satisfaction, Satisfaction with school life	① Ulsan ② Gwangju
Efficiency of Mobility	Number of registered cars, Traffic accident statistics	Traffic safety index, Transportation Culture Index	① Ulsan ② Gangwon
Innovation and Technology Adoption	R&D expenses, Investment in research facilities	Patent commercialization, Number of patent applications	① Daegu ② Gangwon
Economic Growth	Unemployment rate, Number of workers	Employment rate, Number of employed people	① Jeonnam ② Gyeongbuk
Safety and Security	Number of crime Number of 112 reports	Number of criminal arrests	① Gwangju ② Gyeongbuk
Urban Planning and Development	Population, Revenue budget	GRDP (gross regional domestic product), Financial independence	① Ulsan ② Seoul
Community Engagement & Governance	Revenue budget, Number of employees in the entire industry	Number of health & social welfare workers, Health and social welfare budget	① Jeonbuk ② Busan
Sustainability & Renewable Energy	Final energy consumption, Household waste generation	The amount of renewable energy source, General waste recycling capacity	① Jeonbuk ② Daejeon
Environmental Quality	Annual emissions of air pollutants (CO, NOx, TSP, PM-10, BC)	Satisfaction with green space environment	① Daejeon ② Gangwon

- 6) (안전과 보안) 분야에서 광주, 경북이 112 신고 건 수 및 범죄발생 건 수 대비 범죄검거 건 수가 상대적으로 높아 운영효율성이 좋은 것으로 평가되었다. 서울의 경우는 범죄검거 건 수가 타도시에 비하여 월등하게 많으나 범죄발생 건 수도 매우 높아 운영효율성이 낮은 도시로 평가되었다.
- 7) (도시 계획 및 개발) 분야에서 울산과 서울이 도시 인구 수 및 예산 대비 GRDP(지역 내 총생산)가 높아 좋은 운영 효율성을 가진 것으로 평가되었다. 서울의 경우는 인구 및 예산이 타 도시에 비하여 현저하게 높으나 도시의 재정 자립도도 유일하게 매우 높은 편이어서 운영효율성이 매우 좋은 도시로 평가되었다.
- 8) (지역사회 참여 및 거버넌스) 분야에서 전북, 부산이 전체 예산액 및 전체 산업 종사자 수 대비 보건·사회복지 분야의 예산 및 종사자 수 비율이 상대적으로 높아 타도시에 비하여 높은 운영효율성을 가진 것으로 파악되었다. 특히, 서울 및 경기의 경우는 전체 산업 종사자 수 대비 보건·사회복지 종사자 수가 현저하게 낮아 타 도시에 비하여 운영효율성이 매우 낮은 것으로 평가되었다.
- 9) (지속가능성 및 재생에너지)분야에서 전북이 최상위 운영효율성을 보여주었다. 이는 신재생에너지 생산량 부분에서 타도시에 비하여 압도적으로 높은 수치를 나타내었기 때문에 파악되었다. 대전의 경우는 에너지 소비량 및 생활계폐기물 발생량이 상대적으로 적으면서 일반폐기물 재활용량이 높은 편이어서 차상위 운영효율성을 가진 것으로 평가되었다.
- 10) (환경품질) 분야에서 대전, 강원에서 높은 운영 효율성을 갖는 것으로 파악되었다. 대전의 경우는 타도시에 비하여 현저하게 낮은 대기오염물질 배출량을 갖기 때문에 상대적으로 높은 운영효율성을 보여주었다. 강원은 타도시에 비하여 월등하게 높은 녹지환경 만족도로 인하여 운영효율성이 높은 것으로 평가되었다.

4. Policy Proposals for Enhancing the Smartness of Cities

(삶의 질 - 의료) 서울과 경기도에 집중되어 있는 의료서비스의 분산을 통하여 의료보험료 지출 비용을 효과적으

로 관리하고, 인구 대비 비용 효율성을 개선하는 정책을 도입할 필요가 있다.

(삶의 질 - 교육) 광주의 경우 교육비 예산 비율을 고려하여 울산과의 경쟁에서 경제적 효율성을 개선할 수 있도록 교육 예산을 조절하고, 기타 도시(울산, 광주 제외)는 학교 생활 만족도를 높이기 위한 프로그램을 개발해야 한다.

(이동 효율성) 대구와 충남은 교통사고와 교통안전지수를 고려하여 지속적인 교통 안전 캠페인과 향상된 교통 인프라 투자를 통해 이동 효율성을 향상시킬 필요가 있다.

(혁신과 기술 채택) 서울과 경기도는 ICT 연구개발비와 특허 출원을 균형 있게 조정하여 기술 혁신을 지속적으로 유지하고, 다양한 분야에서의 연구 개발을 지원할 정책이 필요하다.

(경제성장) 청년 고용률이 낮은 대구와 부산은 청년 중심의 일자리 프로그램을 지속적으로 확대하고, 타 도시에 비해 고용률을 높일 수 있는 정책을 우선적으로 수립해야 한다.

(도시 계획 및 개발) 부산과 대구는 지속 가능한 도시 개발을 위해 인구와 예산을 고려하여 효과적인 도시 계획을 수립하고, 도시의 재정 자립도를 높일 수 있는 정책을 구상해야 한다.

(지역사회 참여 및 거버넌스) 충남과 충북은 지역사회 참여를 증진하기 위해 보건 및 사회복지 예산과 종사자 수를 향상시키고, 시민 참여를 장려하는 정책을 도입해야 한다.

V. Conclusion

스마트시티 프로젝트는 현대 도시의 지속 가능한 발전을 위해 필수적이며, 이를 위한 효율적이고 체계적인 정책 수립과 평가가 더욱 중요해지고 있다. 본 연구는 스마트시티 정책과 평가에 대한 중요성을 강조하고, 특히 도시별 운영효율성에 대한 분석을 통해 실질적인 스마트시티 정책 방향 수립에 대한 방법을 제시하였다.

1. Importance of smart city policy and evaluation

스마트시티 정책은 국가, 지역, 도시 간의 다양한 환경과 요구사항을 고려하여 수립되어야 한다. 각 도시는 자체적인 문제, 여건, 정책목표에 기반하여 스마트시티를 정의하고 추진해야 한다. 이러한 다양성을 이해하고 존중하는 것이 효과적인 정책 수립의 출발점이며, 지자체 차원에서의 노력과 협력이 국가적 차원에서의 스마트시티 프로젝트에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다.

스마트시티 평가는 해당 도시가 스마트시티 원칙과 목표를 얼마나 효과적으로 달성하고 있는지를 평가하는 과정을 나타낸다. 이러한 평가는 다양한 측면에서 이루어질 수 있으며, 주로 성과, 품질, 지속가능성, 혁신성, 효율성 측면에서 평가되어야 한다. 도시별 공통의 성과측정지표를 기준으로 객관적 통계데이터를 활용하여 비교 및 분석과정이 이루어져야 효과적인 스마트시티 평가가 가능하다고 할 수 있다.

2. Discussion of operational efficiency analysis results

DEA 분석을 통해 도시별 스마트시티 서비스 운영효율성을 비교하였다. 효율적인 도시들은 규모효율성이 뛰어나며, 다른 도시들에게 모범이 될 수 있음을 나타냈다. 참조 집합에 자주 등장하는 도시들은 특히 운영효율성이 높다고 평가할 수 있으며, 이러한 도시들의 사례 연구는 다른 도시들이 효율성을 향상시키는 데에 도움이 될 것이다.

3. Smart city policy and project suggestions and direction

향후 스마트시티 정책과 프로젝트를 위해 몇 가지 제안과 방향성을 제시한다. 첫째, 도시별로 스마트시티 정책방향을 수립할 때에는 지역 특성, 문제, 목표를 고려한 맞춤형 접근이 필요하다. 이를 위해 국가 차원에서의 가이드라인과 함께 지자체 차원에서의 창의적이고 협력적인 노력이 필요하다. 둘째, 스마트시티 서비스의 운영효율성을 향상시키기 위해 정기적인 분석과 평가가 필요하다. 이를 통해 효과적인 서비스 전략을 개발하고 운영에 반영할 수 있다.

총론적으로, 이 연구에서 제시된 스마트시티 정책과 평가의 중요성, 운영효율성 분석 결과, 그리고 향후 제안과 방향성은 스마트시티 프로젝트의 성공적인 추진을 위한 유용한 지침으로 활용될 것이다. 지속 가능하고 지능적인 도시의 건설을 위해 다양한 이해관계자들 간의 협력이 필수이며, 이러한 노력들이 더 나은 미래의 도시를 구축하는데 기여할 것으로 기대한다.

4. Research limitations and research directions

이 연구의 한계점은 DEA 모형을 사용하여 효율성을 분석할 때, 측정치가 감소하면 향상되는 투입 변수 및 값이 증가하면 개선되는 산출 변수를 사용하여 분석을 진행함으로써 이러한 특성이 아닌 데이터에 대한 분석이 제한된 것이다. 그리고 스마트시티 KPI 지표로부터 연계하여 연구

대상에 적용(투입변수, 산출변수)되는 통계데이터의 추가에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

향후 연구 방향으로는 더 현실적인 분석을 위해 기존 데이터 관리와 새로운 데이터 분석 방법론 도입, 도시별 스마트시티 서비스의 특성을 나타내는 변수의 구체화가 필요하다. 이를 통해 년도별 각 도시 간 운영효율성을 비교하고, 특정 스마트시티 서비스에 대한 개선정도를 파악할 수 있을 것이다.

또한 DEA의 추가 분석을 통해 비효율성 개선 지표를 확인하고, 이를 기반으로 스마트시티 KPI에 부합하는 각 도시별 주요 스마트시티 정책 제안이 가능할 것이다.

이러한 결과를 활용하여 스마트시티 추진에 대한 향후 방향성을 지속적으로 제시하여 지속적인 발전을 도모할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] DS Lee, "A Study on Policy Evaluation of Smart City Efficiency-Focused on Data Envelopment Analysis and Tobit Analysis-", Department of Public Administration, Graduate School of Governance Sungkyunkwan University, 2018. Accession Number :edsker.000004632981
- [2] Y. Kairui, L. Stanley, R. Alvaro, "Intelligent evaluation approach for smart city based on DEA model: Taking Wuhan, China as an example," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol 35, pp. 2667-2677, 2018. DOI: 10.3233/JIFS-169618
- [3] TW Kim, SH Kim, "Measuring Efficiency of Global Electricity Companies Using Data Envelopment Analysis Model", *Environmental and resource economics review*, Vol. 9, pp.349-371, 2000. KOI: KISTI1.1003/JNL.JAKO200017551615434
- [4] KR Yoo, "A Method and its Application of Dealing with Negative Data of Inputs and Outputs in Data Envelopment Analysis for Assessing the Efficiency of the Public Sector", *Korean Journal of Policy Analysis and Evaluation*, Vol.15, Iss.4, pp.173-197, 2005. DOI:10.23036/kapae.2005.15.4.007
- [5] SC Koh, GS Sim, JY Kim, "An Efficiency Evaluation of Korea's Electric Power Generation Industries using DEA model", *Military Operations Research Society of Korea*, Vol. 34, pp. 61-77, 2008. ISSN: 1229-9898
- [6] YS Woo, SK Oh, "Evaluating Efficiency of Integrating Korea National Housing Corporation and Korea Land Corporation using Data Envelopment Analysis of financial statements with Local Public Corporations", *Journal of the Korean Urban Management Association*, Vol.22, pp.73-98, 2009. ISSN: 1598-8686
- [7] SY Lee, "A Development of Evaluation Index and A Performance

- Management of Local Public Enterprise: Measurement of Efficiency by DEA(Data Envelopment Analysis),” Korean Society and Public Administration, vol.15, no.4, pp. 275-298, 2005. ISSN: 2733-4252
- [8] HB Lee, “Measuring the efficiency of public enterprises using DEA(Data Envelopment Analysis),” Korean Journal of Public Management, 24(4), pp. 51-71, 2010. UCI: G704-000388.2005.15.4.006
- [9] SC Lee, “Financial Efficiency Evaluation of Local Public Development Corporations in Korea with DEA”, Korean Journal of Public Administration, Vol.47, pp. 71-100. 2009. ISSN: 1229-6694
- [10] HM Choi, “An Analysis of Equity in the Local Public Library Service : Focused on the 17 Metropolitan Governments of the Country” Journal of the Korean Regional Development Association, Vol.26, Iss.5, pp.115-140, 2014. ISSN:1225-9055
- [11] KS Song, “Measuring Efficiency of Communication in Public Institutions using Data Envelopment Analysis I : Focused on Gyeongbuk Investment Agency”, Korean Local Government Review, Vol. 21, pp.43-68, 2019. ISSN 1598-0960
- [12] HG Kim, “An Investigation of a Smart City Policy Change and Local Government Response”, The Korean Urban geographical society, Vol. 29, pp.93-110, 2019. DOI:10.26847/mspa.2019.29.1.93
- [13] JY Lee, SH Han, “Factors Affecting the Introduction of Smart City Service”, The Korea Association Of Governance Studies, Vol. 22, no. 2, pp.1-11, 2019. DOI:10.21189/JKUGS.22.2.1
- [14] SS Tak, GH Kwon, “Diffusion of Smart City Policy in Korean Local Government: Focused on Smart City Service Introduction”, TThe Korean Association for Public Administration Vol. 55, no. 3, pp.351-380, 2021. DOI: 10.18333/KPAR.55.3.351
- [15] X. Chen, H. Ren, “Research on the Efficiency of Urban Economic Development Based on DEA Model,”, 2020 International Conference on Robots & Intelligent System., , 2020. DOI: 10.1109/ICRIS52159.2020.00180
- [16] KO Kim, “Analysis of cost-effectiveness and determinants of workplace daycare centers by province”, Department of Global Economic Consulting The Graduate School Pusan National University, 2021. DOI: 10.18333/KPAR.55.3.351 Accession Number:desker.000004918684
- [17] HM Choi ME Jeong, “The Financial Efficiency Analysis of Urban Public Services Provider-Metropolitan Council Local Public Corporation”, Korean Journal for the Conflict Management Studies, Vol.1, Iss.2, pp.33-61, 2014. ISSN: 2383-7381
- [18] DS Lee, “Analysis on the Transportation Policy for Persons with Disability in 17 Provinces - Focusing on “Targeting within Universalism”, TNational Assembly Research Service, Vol. 10, no.3, pp.327-349, 2018. DOI:10.22809/nars.2018.10.3.012
- [19] V. Rovers, H. Neumann, M. Airaksinen, A. Huovila, "CITYkeys indicators for smart city projects and smart cities," Technical Report, 2017, DOI: 10.13140/RG.2.2.17148.23686
- [20] H. Chen, “Smart Health and Wellbeing,” IEEE Intelligent Systems, Vol.26, no.5, pp. 78-90, 2011. DOI: 10.1109/MIS.2011.91
- [21] D. Nilanjan, “Digital Education as an Integral Part of a Smart and Intelligent City: A Short Review,” Advanced Technologies and Societal Change, pp. 81-96, 2023. DOI: 10.1007/978-981-19-8967-4_5
- [22] MS Baek, “A Study on the Prediction of Crime Case Information and Identification of Suspect Candidates based on Supervised/Semi-Supervised Learning Technique for Efficient Preliminary Investigation” Then Journal of Korean Institute of communications and information sciences, Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences pp. 636-637, 2021. ISSN:2383-8302.
- [23] A. Maria, Vinoth, N. A. S., Sargunan, K., Rajesh, A. Alex, Alaskar, Kamal, Kanakala, V Raviteja, “Revolutionizing Urban Mobility: An Overview of Intelligent Transportation Systems in Smart Cities,” Proceedings of the 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications. pp.1495-1499, 2023. DOI: 10.1109/ICIRCA57980.2023.10220794
- [24] V. Sebestyén, “Renewable and Sustainable Energy Reviews: Environmental impact networks of renewable energy power plants,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 151, 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111626
- [25] C. Walid, M. Muhannad Tariq, “How does ICT affect the shadow economy towards environmental preservation? Evidence from a panel of developing and developed nations” Environmental Science and Pollution Research, Vol 30, pp.22046-22062, 2022. DOI: 10.1007/s11356-022-23701-6.
- [26] A. Caragliua, Chiara F. Del Bo, “Smart innovative cities: The impact of Smart City policies on urban innovation,” Technological Forecasting and Social Change, Volume 142, pp. 373-383, 2019. DOI: 10.1016/j.techfore.2018.07.022
- [27] J. R. Vacca, “Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies : Handbook on Planning, Design, Development, and Regulation,” Amsterdam, Netherlands : Elsevier. 2021. ISBN 9780128168172. 012816817X
- [28] MJ Choo, YW Choi, SB Bae, DK Yoon, “Citizen Engagement in Smart City Planning: The Case of Living Labs in South Korea,” Urban Planning, Vol 8, Iss 2, pp. 32-43, 2023. DOI: 10.17645/up.v8i2.6416
- [29] A. Md Eshrat E, S.Arsanchai, T.Fah,ida Wazed, N.Anindya, K.Wattanapong, S.Korakot, M.Subhas Chandra “Integration of IoT-Enabled Technologies and Artificial Intelligence(AI) for Smart City Scenario: Recent Advancements and Future Trends.” Seosors, Vol. 23 Issue 11, p5206. 36p, 2023. DOI: 10.3390/s23115206

- [30] A.Charnes, W.W.Cooper, E.Rhodes, "Measuring the efficiency of decision making units" European Journal of Operational Research, Vol.2, No.6, 1978. DOI:10.1016/0377-2217(78)90138-8
- [31] R.D. Banker A.Charnes, W.W.Cooper, "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis" Management science, Vol.30, No.9, 1984. DOI:10.1287/mnsc.30.9.1078
- [32] S.Joseph, "A comparative analysis of DEA as a discrete alternative multiple criteria decision tool" European Journal of Operational Research, Vol.123, No.3, 2000. DOI:10.1016/S0377-2217(99)00099-5

Authors



Sang-Ho Lee earned his Bachelor's degree in Industrial Engineering from Inha University in 2002 and obtained a master's degree from Incheon National University Logistics Graduate School in 2017.

He worked at LGCNS from 2002 to 2013 and then at Incheon Smart City Corporation from 2013 to 2023. Since June 2023, he has been working at the Incheon Free Economic Zone Authority. He is interested in smart cities, smart logistics, and the utilization of big data.



Hee-Yeon Jo is a graduate student at Incheon National University Logistics Graduate School. She has been working as a research assistant in the Convergence Logistics Systems Department since 2022.

She is interested in logistics and SCM optimization.



Yun-Hong Min received his Bachelor's degree in Industrial Management from POSTECH in 2006 and earned his Ph.D. in Industrial Engineering from Seoul National University. He worked at Samsung Advanced Institute of

Technology from 2012 to 2017 and has been a professor at Incheon National University Logistics Graduate School since 2017. He is interested in optimization and artificial intelligence.