



RESEARCH ARTICLE

스마트시티 서비스를 위한 공리적 설계 기반 평가 지표 개발과 사례 연구

조형민¹ · 유동철² · 이선우³ · 장향인^{4*}

¹미래환경플랜건축사사무소 건축친환경신기술연구소 선임연구원,

²미래환경플랜건축사사무소 건축친환경신기술연구소 책임연구원,

³Texas A&M 대학교 건설과학과 연구원,

⁴미래환경플랜건축사사무소 건축친환경신기술연구소 연구소장

Evaluation Indicators and Case Study for Smart City Service based on Axiomatic Design

Cho, Hyung-Min¹ · Yoo, Dong-Chul² · Lee, Sun-Woo³ · Jang, Hyang-In^{4*}

¹Junior Researcher, Institute of Green Building and New Technology, Mirae Environment Plan, Seoul, Korea

²Senior Researcher, Institute of Green Building and New Technology, Mirae Environment Plan, Seoul, Korea

³Researcher, Department of Construction Science, College of Architecture, Texas A&M University, TX, U.S.

⁴Director, Institute of Green Building and New Technology, Mirae Environment Plan, Seoul, Korea

*Corresponding author: Jang, Hyang-In, Tel: +82-2-6459-6036, E-mail: hijang@mrplan.co.kr

ABSTRACT

To achieve the smart city development successfully, smart city service is considered one of the most essential elements. Smart city service is a way to implement the concept in the business area, but the services should also include the key values of the smart city such as smart technologies and user-centric development. However, there are few studies that evaluated individual smart city services from private sectors. This study suggested the evaluation indicators for smart city services based on the axiomatic design method and social needs of the smart city. Indicators were selected as three higher-level design parameters and ten lower-level design parameters. These indicators represent the technical, operational, and governance attributes and each has criteria of evaluation by four scores; 0, 0.33, 0.67, 1. The suggested indicators were applied to five existing services as a case study. The result of the case study showed that indicators distinguished the services according to attributes, and the criteria were established within the range of existing services' characteristics. The suggested indicators are expected to apply to evaluate the individual services and help make policy to develop and support the smart city services.

주요어 : 스마트시티 서비스, 지표 평가, 공리적 설계, 스마트시티 에너지

Keywords: Smart City Service, Indicator Evaluation, Axiomatic Design, Smart City Energy

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2020 December, 14(6): 565-576
<https://doi.org/10.22696/jkiaeb.20200048>

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: October 12, 2020

Revised: November 9, 2020

Accepted: November 9, 2020

© 2020 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

스마트시티는 정보통신기술(ICT)에 기반하여 도시에서 발생하는 다양한 문제를 해결하고 시민의 삶의 질을 개선할 수 있는 도시 모델로서, 최근 국내외에서 스마트시티 개발에 대한

관심이 높아지고 있다(MOLIT, 2019a). 국제적으로 스마트시티 개발에 대한 수요가 증가함에 따라 향후 10년간 전 세계 도시의 약 15%에 스마트시티 개념이 도입될 것으로 예측되며, 스마트시티 관련 시장 또한 현재 연간 110조원 규모에서 2030년경에는 연간 300조원 이상으로 성장할 것으로 기대되고 있다(Hwang, 2017; Navigant Research, 2019). 스마트시티에 대한 국제적 흐름에 대응하기 위해, 국내에서는 기존의 U-City 정책 및 개발 사례를 기반으로 “스마트도시 종합계획”을 수립하고 새로운 사회적 요구에 부응하는 스마트시티 개발을 추진하고 있다.

스마트시티는 ICT 인프라와 데이터를 기술적 플랫폼으로 제공하는 동시에, 스마트 기술을 활용하는 서비스 제공을 통해 도시 문제를 해결하는 것을 목표로 한다. 따라서 사용자에게 효과적인 도시 운영 서비스를 개발하는 것은 스마트시티 구현에서 가장 핵심적인 요소 중 하나로 꼽힌다(Monzon, 2015). 특히 국내에서는 기존 U-City 정책이 공공 주도로 ICT 인프라를 구축한 후에 활용성이 낮았던 점이 한계로 지적되어, 스마트시티 정책에서는 민간 주도의 서비스 개발 및 운영의 중요성이 대두되고 있다(Shin et al., 2015; Ahn et al., 2018). 스마트시티 서비스에서는 기업과 시민이 주도적으로 지속가능한 비즈니스 모델을 발굴하고, 민간과 공공이 협력하여 서비스를 운영하는 상향식 서비스 개발로의 전환이 요구된다.

스마트시티 서비스의 개발과 운영이 스마트시티 구현을 위한 주요 요소로 주목받고 있으나, 현재 국내외에서 스마트시티에서 운용되는 민간 서비스와 비즈니스 모델에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이러한 현황은 스마트시티 개발의 초기 단계에서 도시 단위의 개발 정책 및 개념 정의가 주로 논의되는 특성에 따른 결과로, 국내외의 스마트시티 사례가 실증 단계에 접어들면서 개별 서비스에 관한 분석의 필요성이 점차 대두되고 있다(Woods, 2019). 최근 국내에서도 여러 지자체에서 스마트시티 사업이 추진되며, 민간기업과 협력하여 실증 서비스를 개발하는 것에 대한 관심이 높아지고 있다. 이때, 사업 투자의 효과성을 예측하고 중복 투자의 비효율을 방지하기 위해서는 스마트시티 서비스의 평가 방법에 대한 연구가 필요한 것으로 제안되고 있다(Lee and Leem, 2019). 또한 서비스의 분류 체계(taxonomy) 평가는 기존 서비스의 동향을 분석하고 스마트시티 정책을 도출하기 위해서 필요한 것으로 알려져 있다(Perboli et al., 2014).

본 연구에서는 스마트시티의 핵심 개념과 목표를 달성하기 위한 스마트시티 서비스의 평가 방법과 세부 기준을 제시하고, 현재 운영되는 서비스를 대상으로 사례 연구를 수행하여 평가 방법의 효과성을 검증하고자 한다. 이를 위해 스마트시티 및 서비스 평가에 대한 선행 연구 현황을 검토하였으며, 공리적 설계를 이용한 평가 지표 개발을 제안하였다. 평가 지표는 스마트시티 서비스가 스마트시티의 목표 및 가치를 실현할 수 있는지를 파악하는 동시에, 서비스의 대상과 적용 방법의 특성에 따라 분류하는 것을 목표로 하였다. 본 연구에서 제안한 스마트시티 평가 방법을 통해 민간 주도의 서비스 개발 시 그 효과성을 예측할 수 있으며, 지자체와 공공기관 등에서 서비스의 특성 비교에 따라 지원 사업과 정책을 수립할 수 있다.

선행연구 조사 및 이론적 고찰

스마트시티에서 민간 주도의 서비스가 활성화되기 위해서는, 도시 내 사용자의 수요를 충족하고 지속가능한 사업성을 가진 서비스 개발이 필요하다. 그러나 무형의 스마트시티 서

스는 기존 도시 프로젝트의 인프라 건설이나 단기적인 사업에 비해 성과를 평가하기 어려운 특징이 있다. 또한, 민간 주도의 서비스들은 개발과 운영 단계의 특성이 광범위하여 서비스 분류 기준 수립에 대한 연구가 필요하다. 하지만 이러한 서비스 평가 체계 연구에 대한 필요성에도 불구하고, 현재까지 스마트시티 내 개별 서비스 평가에 관련한 연구는 국내외적으로 미비한 편이며, 그 개념과 평가 방법에 대한 학술적 논의가 부족한 상황이다.

스마트시티 서비스를 비즈니스 모델로서 접근하는 평가 방법은 서비스의 가치와 효용을 효과적으로 파악할 수 있는 동시에, 기존의 경영학 부문에서 개발된 도구를 활용할 수 있다는 장점 때문에 현재 여러 연구에 응용되고 있다(Tanda and De Marco, 2019). Abbate et al. (2019)는 비즈니스 모델 캔버스 방법을 이용하여 가치 제안, 핵심 활동, 핵심 자원, 핵심 파트너, 4개 요소를 점수화하는 방법을 제안하였다. 각 요소에서 스마트시티의 목표에 부합하는 정도에 따라 4단계 평가 기준을 수립하고, 이를 이용하여 21개 스마트시티 IoT 플랫폼 서비스를 평가하였다. Walravens (2015)는 비즈니스 모델 매트릭스 방법을 기반으로 스마트시티 서비스 평가 지표를 수립하고, 공공-민간의 참여도와 공공 이익 기여도에 따라 10개의 스마트시티 서비스를 평가하여 나타내었다. 예를 들어 공공 민원 서비스인 NYC311은 공공참여도가 높고 간접적인 이익에 기여하는 반면, 민간 기업에서 개발한 소규모 사업서비스 중개 애플리케이션인 App van't Stad은 민간참여도가 높고 직접적인 이익을 창출하는 결과를 보여 주어 여러 특성의 서비스를 효과적으로 비교할 수 있도록 하였다.

반면 비즈니스 모델 분석 방법은 복잡한 사업 계획 중 핵심적인 요소만을 요약하기 위해 개발된 것으로, 심층적 분석을 수행하려면 분석 대상의 특성을 반영할 수 있도록 보완이 필요한 것으로 지적된다(Ryou and Lee, 2016). 스마트시티의 연구 사례에서는, Diaz-Diaz et al. (2017)과 Quak et al. (2014)은 비즈니스 모델 캔버스 방법의 구성 요소가 도시 시스템 내에서 발생하는 외부 효과를 반영하지 못하는 점을 지적하였다. 따라서 스마트시티 내 개별 서비스의 적용으로 인한 에너지 절감, 삶의 질 향상 등 사회환경적 외부성과 도시 정책의 공공성을 반영하기 위해서는 기존 비즈니스 모델 포맷의 수정이 요구된다. 그러나 요약적인 분석을 위해 개발된 도구를 분석 대상에 따라 임의로 확장하고 보완하는 것은 한계를 가지므로 단점을 보완할 수 있는 대안적인 연구 방법을 함께 이용하는 것을 고려할 수 있다.

평가 지표를 이용한 방법은 스마트시티를 도시 단위 정책의 관점에서 평가할 때 주로 이용되고 있으며, 스마트시티뿐 아니라 다양한 연구 목적으로 이용되는 방법이므로 설계, 평가, 사례 적용 등에 대한 이론적 토대가 풍부하고 확장성이 높다는 장점이 있다. 국내 스마트시티 사례에 대한 지표 설계를 제안하는 연구는 인증 제도 개발, 정책 제시 등 여러 목적에서 이루어지고 있으나 세부 서비스에 대한 연구는 미비한 상황이다(Han et al., 2018; Choi and Chun, 2019). 한편, Lee and Leem (2019)는 도시 이하의 단위에 대한 평가 방법이 국내에 전무하다는 점을 지적하며, 스마트시티의 실증 사업 내 서비스를 대상으로 한 평가 지표 설계를 수행하였다. 그러나 스마트시티를 정부 추진 사업의 일환으로 접근하였기 때문에 국가 연구 개발 사업이 아닌 민간 주도로 개발하는 서비스에 적용하기 어려운 한계를 가지고 있다. 따라서 평가 지표 방법이 스마트시티 내 개별 서비스에 적용된 사례가 드물고, 서비스 평가 지표에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 나타난다.

스마트시티에 관한 선행 연구의 부족을 보완하기 위하여, 유사한 성격의 기존 정책인 녹색 도시, U-City 사업에 대해서 선행된 평가 연구 사례를 분석하여 스마트시티 서비스 평가에 적용할 수 있다. Kim et al. (2012)는 U-City 개발 사업의 평가 방법으로 기술 요소, 서비스 요소, 도시 운영 요소를 선정하고 요소별로 세부적인 지표를 제안하였으며 이는 스마트시티에서도 유사하게 적용이 가능하다. Shin et al. (2013)은 녹색 도시 구현을 위한 도시 인프라 시설의 기여도를 평가하기 위한 평가 체계와 지표를 개발하였다. 녹색 도시라는 개념을 구현하는 과정을 공학적인 설계로 접근하여 공리적 설계(Axiomatic Design) 방법을 이용하고, 일반적인 지표 선정이 선행 연구를 기반으로 연구자의 임의적인 기준에 의해 이루어지는 한계를 극복한 것이 특징적이다. 공리적 설계 방법은 도시 정책이 가지는 여러 속성을 독립적으로 구성함에 따라, 평가 지표의 중복적인 선정을 방지할 수 있다. 또한, 사용자의 필요 및 기능적 요구에 근거하여 평가 지표를 선정하는 방식으로서, 기존의 도시 평가지표가 개념적인 속성으로부터 만들어지는 것에 비해 실용적이고 사용자 친화적인 설계가 가능하다는 장점이 있다.

결론적으로, 스마트시티 서비스에 대한 연구 방법은 비즈니스 모델 분석으로의 접근 방식과 스마트시티 정책에 대한 평가 지표를 응용하는 접근 방식이 존재하는 것으로 요약할 수 있다. 본 연구에서의 분석 대상인 스마트시티 서비스는 선행 연구에서 정의한 비즈니스 모델의 단위와 유사하므로 서비스 평가 속성 및 범위를 설정할 때 비즈니스 모델 분석 사례를 응용할 수 있다. 반면, 평가 도구에 있어서는 평가 지표 설계 방식을 활용하는 것이 기존의 국내 스마트시티 또는 유사 정책의 평가 연구와의 연속성을 가질 수 있다. 이때, 공리적 설계 방법을 이용하면 소비자의 요구사항으로부터 평가 지표 선정이 이루어지는데, 이는 비즈니스 모델에서의 분석 방법과 공통 요소를 가지고 있으므로 앞서 논의한 두 가지 접근방식을 융합할 수 있는 연구 방법으로 판단된다.

스마트시티 서비스 평가 지표 개발

공리적 설계를 이용한 지표 개발 방법

Suh (1998)에 의해 제안된 공리적 설계 이론은 복잡성을 줄이고 적합한 의사결정을 이루기 위한 시스템 설계 방법으로, 본 연구에서는 평가 지표 선정을 위한 공리적 설계의 응용 방법을 이용하였다. 공리적 설계의 첫 번째 단계로, 사용자 요구(Customer Needs)를 파악하고, 이를 만족할 수 있는 기능적 요구(Functional Requirements, FRs)를 정한다. 이 때, 기능적 요구는 특정한 해결 방안을 전제하지 않은 중립적인 문장으로 구성되어야 한다. 다음으로, 기능적 요구에 사상(Mapping)된 설계 인자(Design Parameters, DPs)를 설정한다. 설계 인자는 설계하고자 하는 대상의 특성에 따라 물리적 요소 또는 소프트웨어 모듈 등으로 나타날 수 있으며, 본 연구에서는 스마트시티 서비스의 평가 항목에 해당한다.

스마트시티 서비스에 대한 사용자 요구를 파악하는 근거로서, 국내에서 발행된 스마트시티 계획 자료와(MOLIT, 2019a; 2019b), 미국 교통부에서 시행한 Smart City Challenge의 핵심 비전을 이용하였다(U.S.DOT, 2015). 스마트시티에 대한 정의와 개념, 그리고 정책의 목표는 국가와 도시별로 상이하므로 국내에서 사회적인 요구 사항을 반영하였다. 또한, 미국의

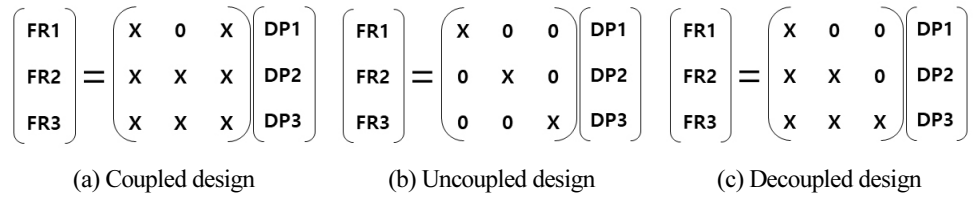


Figure 1. Design matrices of functional requirements and design parameters

Smart City Challenge는 국내 스마트시티 관련 주요 사업인 스마트시티 챌린지사업에서 벤치마킹하고 있으며, 국제적으로 주목받았던 해외 사업의 스마트시티 관점을 반영하고자 활용하였다. 이러한 자료는 시민의 요구사항을 직접 반영하지 못하는 한계가 존재하나, 현재 국내외에서 스마트시티 서비스의 실사용자인 시민 및 기관의 실제 수요에 대한 조사 자료가 미비하여 정책 문서를 활용해 사회적 요구사항을 반영하는 방법을 택하였다.

기능적 요구 및 설계 인자는 사용자 요구를 만족하도록 선정되고, 독립 공리 조건에 따라 기능적 요구가 설계 변수에 독립적으로 영향을 주도록 설계되어야 한다. 기능적 요구와 설계 인자의 관계는 Figure 1에서 나타나는 바와 같이 연성(Coupled), 비연성(Uncoupled), 비연성화(Decoupled)로 구분할 수 있으며, 독립 공리를 만족하기 위해서는 비연성 또는 비연성화 설계로 이루어져야 한다. 연성화 행렬을 이루기 위해서는 도출된 기능적 요구와 설계 인자의 순서를 재배치하고, 독립성을 만족하지 못하는 요소를 제거한다.

스마트시티 서비스 평가 지표 선정

스마트시티 서비스에 대한 사용자 요구는 국내 스마트시티 주요 정책 계획 및 미 교통부의 Smart City Challenge의 비전을 기반으로 도출하였다(Table 1). 스마트시티 서비스에 대한 사용자 요구는 기술 요소, 도시 운영 요소, 거버넌스 요소로 분류하였다. 기술 요소는 ICT를 비롯한 다양한 스마트 기술의 적용 요구를 나타내며, 도시 운영 요소는 기술 및 인프라를 기반으로 스마트시티를 운영하는 방법과 그 효과에 대한 요구이다. 거버넌스 요소는 민간 주도의 스마트시티 서비스 개발과, 민간-공공-시민의 협력적 참여가 요구되는 점을 의미한다.

사용자 요구에 대응하는 기능적 요구 및 설계 인자는 Table 2에 나타난 바와 같이 설정하였다. FR1, DP1 등은 상위 계층의 기능적 요구 및 설계 인자에 해당하며, FR11, DP11 등은 하위 계층에 속하며 평가에 이용되는 지표로 결정된다. 또한, 선정된 기능적 요구와 설계 인자는 비연성화 조건을 만족하기 위해 Figure 2와 같이 배열되어 독립적 관계를 형성하였다.

FR1은 기술 요소로, 스마트시티에서 정보통신기술 기반의 스마트시티 신기술이 활용되어야 하는 기능적 요구이다. 스마트시티는 기존 도시의 문제를 해결하기 위해 혁신적인 스마트 기술을 적용할 수 있어야 하므로, 이를 실현하기 위한 설계 인자 DP1은 빅데이터 수집 및 관리 기술, 인공지능 기반의 데이터 분석과 의사결정 기술을 선정하였다. FR2는 도시 운영 요소로, 스마트시티 서비스가 도시 운영 및 관리 체계를 개선하고 에너지, 교통, 의료 등의 세부 분야의 운영목표를 달성하는 것에 이용되어야 하는 기능적 요구이다. 운영 및 관리 체계 개선 위한 설계 인자 DP2는 데이터 공유 활용도, 통합관리시스템 연계도, 그리고 이를 통한 도시

목표에 대한 기여도로 제시하였다. FR3는 거버넌스 요소로 스마트시티가 기존의 기술 중심의 하향식 개발 방식을 넘어서, 민간과 시민이 주도하는 사용자 참여형 개발이 이루어져야 한다는 기능적 요구이다. 이를 위한 설계 인자 DP3는 민간, 시민 등 다양한 참여자의 서비스 개발 과정에서의 참여도, 운영 과정에서의 협력 체계, 그리고 지속가능한 경제적 비즈니스모델 구현 정도로 선정하였다.

Table 1. Customer needs for smart city services

Customer Needs	Description
Technology	Smart Technologies (IoT, Cloud, Big Data, Mobile)
	Test-bed of innovative technologies
	Intelligent urban infrastructure
Smart City Operation	Data collection and analysis
	Solving urban problems related to citizens
	Interconnection urban services
Governance	Environment for data-based activities
	Sustainable financing and business model
	Private initiators and business model
	Living lab or platform service for engaging citizens connected- and engaged-governance

Table 2. List of FRs and DPs

	Functional Requirements		Design Parameters
FR1	Apply innovative technologies	DP1	Smart technology
FR11	Data collection	DP11	Automatic sensing
FR12	Data sharing	DP12	Cloud-based data sharing
FR13	Data analysis	DP13	A.I. based real-time analysis
FR14	Data application to problem solving	DP14	Data-driven decision making
FR2	Improve the city operation	DP2	Smart operation of city services
FR21	Improve the quality of life	DP21	Contribution to achievement of goals
FR22	Improve the connectivity	DP22	Connection to other services
FR23	Improve the data management	DP23	Multiway data sharing
FR3	Build the smart governance	DP3	Private-People engagement
FR31	Bottom-up development	DP31	Participation of private initiator
FR32	Various stakeholder	DP32	Collaborative management model
FR33	Sustainable business model	DP33	Independent private financing

		Design Parameters										
		DP11	DP12	DP13	DP14	DP21	DP22	DP23	DP31	DP32	DP33	
Functional Requirements	FR11	X	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	FR12	○	X	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	FR13	X	○	X	○	○	○	○	○	○	○	○
	FR14	X	○	X	X	○	○	○	○	○	○	○
	FR21	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	○
	FR22	○	X	○	○	○	X	○	○	○	○	○
	FR23	○	X	○	○	○	X	X	○	○	○	○
	FR31	○	○	○	○	○	○	○	X	○	○	○
	FR32	○	○	○	○	○	○	○	X	X	○	○
	FR33	○	○	○	○	X	○	○	○	○	○	X

Figure 2. Decoupled design matrix

Table 3. Evaluation Criteria of DPs

Design Parameter	Evaluation	Criteria Description
DP11	Low	Data collection without automatic sensing
	Medium	Automatic sensing from key facilities
	High	Automatic sensing from all facilities and environment
DP12	Low	Partial data share in local system
	Medium	Data share in small group
	High	Cloud-based data share in wide area
DP13	Low	Conventional statistical analytics
	Medium	A.I. based data analytics
	High	Real-time data analytics
DP14	Low	Data offering to users
	Medium	Partial decision making based on data
	High	Data-based decision making
DP21	Low	Indirect contribution to key objective
	Medium	Achieve key objective
	High	Achieve multiple key objectives
DP22	Low	Connect to another city service
	Medium	Connect to various city services
	High	Multiple connection via operation center
DP23	Low	One-way data sharing
	Medium	Multiway data sharing in key users
	High	Multiway data sharing
DP31	Low	Public initiator
	Medium	Private initiator
	High	Citizen-involved private initiator
DP32	Low	Collaborative management
	Medium	Citizen involved management
	High	Public-private-people management
DP33	Low	Public financing
	Medium	Subsidy or tax refund
	High	Private financing

평가 지표 점수화 기준 수립

설계 인자는 스마트시티 서비스를 평가하는 지표로 이용되므로, 평가 대상을 점수화할 수 있도록 기준을 설정하여야 한다. 평가 기준은 서비스의 이상적 목표치를 제시하고 개별 서비스가 해당될 수 있는 부분적인 달성도를 점수로 차등화하는 선행 연구의 연구 방법을 차용하여 설정하였다(Walravens, 2015; Abbate et al., 2019). 기능적 요구에 대응하여 달성할 수 있는 가장 높은 수준의 기댓값을 ‘높음’ 평가 기준으로 설정하고, 달성 수준에 따라 높음, 중간, 낮음, 없음의 4단계의 기준을 수립하여 각각 1점, 0.67점, 0.33점, 0점의 점수를 부여한다. 하위 설계 인자의 점수 평가 기준은 Table 3과 같이 설정하였으며 없음(0점)은 낮음 이상의 내용에 해당하지 않았을 때 부여한다.

평가 지표 활용성 검증을 위한 사례 연구

사례 연구 대상 선정

본 연구에서는 공리적 설계를 이용하여 개발된 스마트시티 서비스 평가 체계의 활용성을 검증

하기 위해 사례 연구를 수행하였다. 지표의 평가 기준은 현재 운용되는 서비스의 수준에 적합하도록 설정되어야 하며, 여러 서비스의 평가 결과가 유의미한 격차를 드러내어 효과적인 비교가 가능하여야 한다. 사례 연구는 평가 지표가 이러한 성능을 만족하는지를 검증하기 위하여 수행되었다.

사례 연구 대상인 스마트시티 서비스는 스마트시티 내에서 여러 기술요소의 결합으로 비즈니스모델을 창출할 수 있는 단위로 정의한다. 즉, 센서 또는 설비 장치 등 하나의 요소를 공급하는 것 이상의 서비스 범위에어야 하며, 도시 또는 지구 단위의 스마트시티 개발 사업 이하의 개별 서비스를 사례 연구의 대상으로 정의한다. 사례 연구에서는 사례별 특성을 용이하게 비교하기 위해서 동일한 분야의 서비스를 대상으로 연구를 수행하며, 국가 및 지역간 서비스 제공 환경의 차이가 비교적 적은 에너지 관리 분야를 본 연구의 대상 범위로 설정하였다. 따라서 사례 연구의 대상 서비스간 특성이 유사한 조건에서 비교가 가능하며, 사례 연구의 결과를 타 지역의 유사 사례에도 적용할 수 있다. 또한, 기술 구현이나 운영 성과의 객관적인 평가를 할 수 있도록, 현재 기준으로 실증 또는 사업화가 진행된 서비스만을 대상 사례로 선정하였다. 선정된 스마트시티 서비스는 Table 4에 나타난 5개 서비스로, 사례별 상세한 내용은 다음과 같다.

CATALYST 프로젝트는 대표적인 에너지 다소비 건물인 데이터센터의 에너지 사용량과 데이터 연산 처리량을 관리하고, 데이터센터에서 발생하는 잉여 열에너지를 지역 공급망과 거래하는 서비스를 제공한다(CATALYST, 2020). me² 프로젝트는 스마트시티 내 커뮤니티의 에너지 소비 패턴을 관리하고 효율 개선에 인센티브를 제공하는 플랫폼을 제공하는 서비스이다. 본 연구에서는 개인 및 가정의 전기 사용패턴을 관리하는 리스본 대상의 서비스를 사례 연구 대상으로 선정하였다(Antunes et al., 2018). DOLL (Danish Outdoor Lighting Lab, 덴마크 실외조명 연구소)의 실외조명 리빙랩 서비스는, 코펜하겐 인근 앨버트슬룬드(Albertslund) 시내에 가로등 조명을 이용한 스마트시티 실증 단지를 구축한 서비스 사례이다(DOLL, 2020). ICT 기술을 이용한 가로등의 소비 전력의 제어를 통해 도시 내 에너지소비량을 감축하고, 여러 기업과 제품의 리빙랩 경험을 제공한다. 네덜란드 렌쿰(Renkum) 시의 스마트 공공 조명 서비스 사례는, 도시의 야외 공공조명을 에너지 효율이 높은 LED 조명으로 교체하는 것과 동시에 원격으로 모니터링 및 밝기 조절이 가능한 스마트 방식의 가로등을 설치하는 프로젝트이다(Luminext, 2020). 또한, 민간 컨소시엄에서 투자와 설치, 운영을 담당하여 지자체의 투자 비용을 절감하고 민간 참여도를 높인 것이 특징이다. 건물 리트로핏 서비스는 유럽연합의 Sharing Cities 프로그램의 일부로서 밀란시에서 수행된 것으로, 프로그램 중 민간의 참여와 경제성에 대한 고려를 위해 민간 공동주택 적용 사례를 선정하였다(SharingCities, 2020). 리트로핏 과정은 건물의 공동 소유주의 직접 디자인 참여를 통해서, 에너지 사용량을 줄이고 에너지 및 환경 정보를 실시간 모니터링할 수 있도록 개보수를 진행한 점이 특징이다.

Table 4. Selected services for case studies

Services	Main Objectives
CATALYST	Energy flexibility management in data centers
me ²	Marketplace and online community for energy efficiency
DOLL	Living lab for intelligent outdoor lighting
Smart Public Lighting in Renkum	Replacement with smart public lighting
Building Retrofit in Milan	Retrofit of privately-owned buildings

사례 연구 결과

스마트시티 서비스 평가 지표의 사례 연구를 위해 5개의 에너지 관련 서비스를 평가한 결과는 Table 5와 같다. 평가 지표는 상위 및 하위 설계 인자로 구성되어있으며, 상위 설계 인자의 평가 값은 하위 설계 인자의 평균으로 산출하였다. 상위 설계 인자는 기술 요소, 도시 운영 요소, 거버넌스 요소를 나타내므로, 상위 지표점수를 중심으로 평가 결과를 비교하여 각 스마트시티 서비스의 특성을 분석할 수 있다. 상위 지표를 축으로 사례 연구 대상인 서비스의 점수를 시각화하여, 각 서비스의 특성을 나타낸 결과는 Figure 3과 같다.

기술적 요소에서는 CATALYST, me², 스마트 공공 조명 서비스가 각각 0.92, 0.75, 0.75로 높은 점수를 획득하였다. 3가지 서비스 모두 IoT 센서에 기반한 데이터 수집 기능과 에너지 이용 최적화를 위한 실시간 데이터 관리 및 공유 기능을 갖추고 있어 기술적 요구사항의 달성도가 높다. 특히 CATALYST 서비스는 데이터센터라는 고도화된 설비를 대상으로 하므로 모든 분야에서 스마트 기술의 적용이 용이한 것으로 판단된다. 운영적 요소에서는 CATALYST와 me²가 각각 0.89와 0.78으로 높은 평가 점수를 획득하였다. 두 서비스 모두 개별 설비 또는 이용자의 에너지 사용량을 제어하고, 에너지 절감량을 타 서비스에 연계하여 편익을 얻을 수 있

Table 5. Results of case study evaluation

Indicators	Case Study				
	CATALYST	me ²	DOLL	Smart Public Lighting	Building Retrofit
DP11	1	1	0.67	0.67	0.67
DP12	1	0.67	0.67	0.67	0.33
DP13	0.67	1	0.33	0.67	0.33
DP14	1	0.33	1	1	0.33
DP21	1	0.67	1	0.67	0.67
DP22	0.67	0.67	0.67	0.33	0
DP23	1	1	0.33	0.67	0.33
DP31	0.67	0.33	0.67	0.67	1
DP32	0.33	1	1	0.33	1
DP33	0.33	0.33	0.67	1	0.67
Avg. of DP1	0.92	0.75	0.67	0.75	0.42
Avg. of DP2	0.89	0.78	0.67	0.56	0.33
Avg. of DP3	0.44	0.55	0.78	0.67	0.89

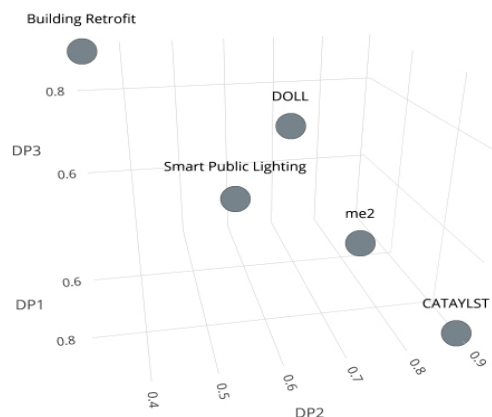


Figure 3. Result of case studies

도록 설계되었다. 이를 통해 스마트시티 서비스 운영의 주요 목표인 에너지 사용량 절감과, 데이터 기반의 도시 서비스 통합 관리를 달성할 수 있는 서비스로 평가되었다. 거버넌스 요소에서는 건물 리트로핏과 DOLL이 0.89와 0.79로 높은 점수로 평가되었다. DOLL은 민간기업의 제품을 중심으로 리빙랩 형태로 운영되는 서비스이며, 빌딩리트로핏 또한 주민 참여형 서비스 모델을 구현하였으므로 민간 및 시민의 협력이 중요시되는 스마트시티 거버넌스에서 높은 점수를 획득하였다. 또한, 서비스 운영에 필요한 기술을 민간에서 보유하고 있으므로, 연구개발 및 실증을 위한 공공예산이 불필요하여 서비스의 경제적 지속가능성이 높은 것으로 평가된다.

서비스별로 평가 결과를 요약하면 CATALYST는 데이터센터 대상의 에너지 관리 서비스로 기술 및 운영요소가 뛰어난 강점이 있으나 시민 참여적 거버넌스가 취약한 것이 약점으로 나타난다. me²는 기술 및 운영 요소에서 높은 점수를 획득하였으나, 민간 주도의 서비스와 비즈니스 모델 개발이 취약한 것으로 평가되었다. 스마트 공공 조명 서비스는 전체적으로 중상 수준의 평가점수를 취득하였으나, 타 서비스와의 연계 및 시민 협력형 참여 모델이 미비한 것으로 평가되었다. DOLL은 리빙랩의 특성상 거버넌스 요소가 뛰어난 강점이 나타나고 기술 요소와 운영 요소 모두 높은 평가를 받았으나, 데이터의 분석 및 양방향 공유 요소가 낮게 평가되어 데이터 활용성을 높여야 하는 것으로 나타났다. 빌딩리트로핏 서비스 또한 시민참여형 서비스로 거버넌스 요소가 뛰어난 것으로 평가되었으나, 스마트시티의 주요 특성인 데이터 활용이 미비하여 기술 요소와 운영 요소가 취약한 것으로 평가되었다. 사례 연구에서는 각 서비스의 평가 지표 값이 낮음(0.33)에서 높음(1)까지 골고루 나타나며, 개발된 평가 지표가 스마트시티 서비스의 다양한 특성을 충분히 반영할 수 있는 범위로 개발된 것을 알 수 있다. 또한, Figure 3와 같이 평가 결과에 따라 서비스의 특성을 쉽게 구분할 수 있어, 다수의 서비스를 대상으로 한 분류 체계를 도출하려는 본 연구의 목표에 부합하는 것으로 판단된다.

결론

본 논문에서는 스마트시티의 목표 및 핵심 요소를 바탕으로 한 서비스 평가 방법을 개발하기 위해 공리적 설계를 이용한 평가 지표를 수립하고 실제 사례에 적용하는 연구를 수행하였다. 공리적 설계 이론에 근거하여 스마트시티의 주요 정책을 반영한 사용자 요구와 기능적 요구를 도출하고, 기능적 요구에 대응하는 설계 인자를 도출하였으며 이를 스마트시티 서비스의 평가 지표로 선정하였다. 평가 지표는 기술 요소, 도시 운영 요소, 거버넌스 요소의 상위 계층 지표와 10개의 하위 계층 지표로 구성되었으며, 점수화를 위해 하위 계층 지표는 각각 높음, 중간, 낮음, 없음 4단계 기준을 수립하였다. 선정된 평가 지표의 사례 연구로 에너지 관리 분야의 스마트시티 서비스 사례 5건에 대해 지표 평가를 적용하였으며, 그 결과 연구에서 목표한 바와 같이 평가 지표가 개별 서비스의 특성을 반영하는 충분한 범위에서 개발되었으며, 서비스의 다양성을 분류할 수 있는 것으로 분석되었다. 이는 본 연구에서 개발한 평가지표가 다수의 서비스에 적용될 수 있으며, 서비스의 경향과 분류를 파악하는 목적으로 이용될 수 있음을 나타낸다.

기존의 스마트시티 관련 연구에서는 주로 도시 단위의 정책을 순위화하는 평가 방법이 이용되거나, 개별 서비스에 대해서는 비즈니스 모델 분석 도구를 이용한 연구가 진행되고 있었다. 본

연구에서는 비즈니스 모델 분석 도구에 비해 자유로운 확장이 가능한 평가 지표 방법을 택했으며, 스마트시티에 대한 주요 목표와 가치 요구사항을 반영하여 기존의 도시 단위 연구에서 미비하였던 서비스 단위 평가 체계를 개발하였다. 사용자 중심의 스마트시티 서비스 평가를 위해서는 시민의 요구사항을 직접적으로 반영하는 공리적 설계 과정이 필요하나, 현재까지 스마트시티 실사용자에 대한 자료가 미비하여 계획 정책의 수요를 기반으로 평가 지표가 개발된 점이 본 연구의 한계로 남는다. 그리고 국내외에서 스마트시티 서비스의 특성이 상세히 알려진 사례가 적어서, 사례 연구의 대상이 한정적인 점 또한 향후 연구에서 극복되어야 할 과제이다. 또한, 본 연구에서는 사례 서비스의 문헌 자료를 바탕으로 연구자의 정성적 평가가 이루어졌으나, 평가의 신뢰도를 향상시키기 위하여 전문가 및 시민의 의견을 수렴하여 지표별 가중치를 부여하고 서비스 참여자에 의한 평가가 이루어지는 과정 또한 보완되어야 할 사항으로 남는다. 본 연구에서 제안한 평가 지표는 공리적 설계에 의한 독립성을 가지고 있으므로 설계 인자의 변경 또는 추가 과정에서 중복을 방지하는 강점이 있어, 추후 연구에서 위와 같은 한계점을 개선하고 반영하기에 용이하며 더욱 발전된 형태의 스마트시티 서비스 평가체계 개발이 가능할 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2019271010015D).

References

1. Abbate, T., Cesaroni, F., Cinici, M.C., Villari, M. (2019). Business models for developing smart cities. A fuzzy set qualitative comparative analysis of an IoT platform. *Technological Forecasting and Social Change*, 142, 183-193.
2. Choi, J.U., Chun, E.Y. (2019). A Study on Smart City Planning Method for Residents' Experience by Applying the Concept of Core Index. *Journal of the Korean Institute of Culture Architecture*, 66, 141-150.
3. Díaz-Díaz, R., Muñoz, L., Pérez-González, D. (2017). Business model analysis of public services operating in the smart city ecosystem: The case of SmartSantander. *Future Generation Computer Systems*, 76, 198-214.
4. Han, S.H., Shin, Y.S., Yu, I.J., Lee, J.Y. (2018). A Study on the Korea Smart City Certification Index and Demonstration Authentication. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 19(1), 688-698.
5. Hwang, J.S. (2017). National Strategy Research Tasks through Smart City Development Trends and Issues. *Information & communications magazine*, 34(8), 14-18.
6. Kim, B.G., Kim, J.H., Lee, C.S. (2012). Development and Application of an Evaluation Model for Ubiquitous City Project. *The Journal of Society for e-Business Studies*, 17(2), 87-104.
7. Lee, M.S., Leem, C.S. (2019). A Study on Performance Evaluation of the Korea Smart City Demonstration Service. *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 44(10), 1992-2002.

8. Perboli, G., De Marco, A., Perfetti, F., Marone, M. (2014). A new taxonomy of smart city projects. *Transportation Research Procedia*, 3, 470-478.
9. Quak, H., Balm, S., Posthumus, B. (2014). Evaluation of city logistics solutions with business model analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 125, 111-124.
10. Ryou, H.S., Lee, D.H. (2016). A Comparative Study on Analytical Tools of Business Model. *Journal of Digital Convergence*, 14(5), 137-147.
11. Shin, W.J., Kim, D.N., Cho, Y.T., Park, S.W. (2015). Comparative Analysis Research on the Difference Between U-City and Smart City for the Establishment of International Competitiveness of U-City. *Journal of The Urban Design Institute of Korea*, 16(5), 5-16.
12. Suh, N.P. (1998). Axiomatic design theory for systems. *Research in engineering design*, 10(4), 189-209.
13. Walravens, N. (2015). Qualitative indicators for smart city business models: The case of mobile services and applications. *Telecommunications Policy*, 39(3-4), 218-240.
14. Monzon, A. (2015). Smart cities concept and challenges: Bases for the assessment of smart city projects. Paper Presented at the 2015 International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems: INSTICC. Lisbon, Portugal. 1-11.
15. Shin, J.S., Shin, S.M., Han, J.K., Park, H.K. (2013). Developing Indicators for Measuring Greenes of Urban Infrastructure based on Axiomatic Design. Paper presented at the 39th KSCE Convention 2013. 1489-1499.
16. Tanda, A., De Marco, A. (2019). Business Model Framework for Smart City Mobility Projects. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(9), 1-11.
17. Ahn, Y.J., Lee, S.H., Yoo, M.O. (2018). Establishing Smart City Model Based on Citizen Participation. Daejeon: Daejeon Sejong Research Institute.
18. Antunes, C., Bohnsack, R., Caridade, L., Gregorio, V., Groot, J., Hoed, R., Khan, S., Matos, L., Mendes, R., Oliveira, A., Pruggler, N., Tamis, M., Teixeira, J., Thorsdottir, H. (2018). *me²: Integrated Smart City Mobility and Energy Platform*. Netherlands: Amsterdam University of Applied Sciences.
19. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2019a). Third Smart City Comprehensive Plan. Sejong: Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
20. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2019b). Implementation Plan for Sejong Smart City National Demonstration City. Sejong: Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
21. Navigant Research. (2019). *Smart City Tracker 2Q19*. Boulder: Navigant Consulting, Inc.
22. SharingCities. (2020). Retrofit of privately owned buildings Privately-owned buildings and multi-property buildings. Brussels: EUROCITIES.
23. U.S. Department of Transportation (USDOT). (2015). *Beyond Traffic: The Smart City Challenge*. DC: U.S. Department of Transportation.
24. CATALYST. (2020). <https://project-catalyst.eu>, Accessed: September 23, 2020.
25. DOLL. (2020). <https://doll-livinglab.com>, Accessed: September 23, 2020.
26. Luminext. (2020). <https://www.luminext.eu/en/project/municipality-of-renkum-becomes-smart-city/>, Accessed: September 23, 2020.
27. Woods, E. (2019). *Scaling Smart City Solutions: City Leadership and Technology Innovation*. <https://guidehouseinsights.com/news-and-views/scaling-smart-city-solutions-city-leadership-and-technology-innovation>, Accessed: September 23, 2020.