

발전단계에 따른 스마트도시의 구성요소 변화 분석

: 제1차~4차 스마트도시 종합계획을 사례로

Changes in Smart City Components by Developmental Stage

장석길* · 이준혁**

Jang, Seok-Gil Denver · Lee, Junhyuk

Abstract

With the launch of smart city initiatives tailored to regional conditions, such as the Small-Sized Smart City Creation Projects, interest in smart city development in Korea has steadily increased. Urban components, which form the core units of urban structure, affect how cities function and can exhibit different characteristics depending on their stage of development. In particular, the development stages of smart cities (smart city 1.0~4.0) differ in terms of development processes, major drivers, and the role of technology. However, few studies have examined how these components shift across development stages and proposed strategies for the future development of smart cities. Therefore, this study addresses this gap by analyzing the changes in components according to the development stage of smart cities using topic modeling applied to the 1st–4th Comprehensive Smart City Plans. The review found that the first and second plans corresponded to smart city 1.0~2.0, the third to 2.0, and the fourth to 2.0~3.0. According to the topic modeling results, environment, economy, and living appeared across all stages, while people and governance were mostly absent. Additionally, mobility was emphasized in the early stages (smart city 1.0~2.0), whereas living gained prominence in the later stages (2.0 and 2.0~3.0).

주제어 스마트도시, 스마트도시계획, 구성요소, 발전단계, 토픽모델링

Keywords Smart City, Smart City Planning, Component, Developmental Stage, Topic Modeling

1. 서론

거점·강소형 스마트도시 조성사업, 스마트도시 솔루션 확산사업 등 지역의 다양한 여건을 고려한 스마트도시 공모 사업이 추진됨에 따라 국내 스마트도시 개발에 대한 관심이 높아지고 있다(심은지, 2025). 또한, 가장 최근에 수립된 제4차 스마트도시 종합계획¹⁾에서는 기후위기, 지역소멸, 디지털 전환 등 도시환경 변화에 대응하기 위한 국가 차원의 추진 전략이 다뤄지고 있다(국토교통부, 2024).

스마트도시 담론은 정보화도시, 지능형도시, 지속가능도시 등 현재까지 제시된 이상적인 도시 모델과 4차산업혁명을 배경으로 등장하였다(Vanolo, 2014). 하지만, 스마트도시에 대한 방대한 학술 연구와 실무적 적용에도 불구하고 스마트도시의 개념 및 특징에 대한 합의가 명확히 이루어지지 않았다는 비판 또한 제기되고 있다(Fernandez-Anez et al., 2018). 이러한 모호성에도 불구하고, 국제적으로 스마트도시 4.0 등 미래형 스마트도시 모델의 개발을 위한 수요는 지속적으로 증가하고 있다(Makiela et al., 2022).

* Research Fellow, Jeonnam Research Institute (First and Corresponding Author: sg.jang@jri.re.kr)

** Master's Student, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University (doi: junhyuk@snu.ac.kr)

도시를 구조적으로 이해 또는 분석하기 위한 핵심 단위를 의미하는 도시 구성요소(urban component)는 스마트도시의 개념 및 특징을 검토하기에 적합한 틀을 제시한다(Lombardi et al., 2012). 경제, 사람, 거버넌스, 모빌리티, 환경, 생활로 대표되는 스마트도시의 구성요소(Giffinger et al., 2007)는 상호작용을 통해 스마트도시의 기능과 역할에 영향을 미친다. 더불어, 도시 구성요소는 해당 도시의 발전단계에 따라 서로 다른 특징을 나타낼 수 있다. 특히, 스마트도시의 발전단계는 발전 과정, 주요 동인, 기술의 역할 등에 따른 차이를 보인다(Zwick and Spicer, 2024). 따라서, 스마트도시의 발전단계에 따른 구성요소의 변화를 분석하여 향후 스마트도시의 지속가능한 개발을 위한 전략을 마련할 필요가 있다.

스마트도시 구성요소를 다룬 기존 연구(예: 정다래 외, 2020; 장석길·김태형, 2023a; 장석길·김태형, 2023b)는 주로 계획보고서, 연구보고서 등의 문헌을 대상으로 내용분석을 수행하여 스마트도시의 계획요소를 도출하고 있다는 특징을 보인다. 또한, 지속가능성, 혁신 등 특정 측면을 중심으로 스마트도시의 구성요소를 분석하여(이나경, 2024; 정종근·이명훈, 2024), 종합적인 관점에서 구성요소의 특징을 검토하기 어렵다는 한계가 있다. 나아가, 도시의 발전단계는 도시 구성요소에 영향을 미칠 수 있으나, 선행연구의 경우 특정 단계를 중심으로 사례 도시의 구성요소를 도출하고 있어 발전단계의 변화에 대한 고려가 필요한 것으로 여겨진다.

더불어, 방법론적 측면에서 내용분석과 비교할 때, 텍스트마이닝 기법은 대량의 텍스트를 대상으로 핵심 주제를 추출 및 유형화하기에 적합하며(Rivera et al., 2014), 특히 토픽모델링은 문서 간 단어 활용의 패턴을 분석하는 확률 모델에 근거하여 문헌의 구조적인 특징을 분석하기에 용이하다(Cheng et al., 2018). 이에, 최근 도시 분야에서 정책의 특징 및 구성요소를 분석하기 위한 기법으로서 토픽모델링의 적용이 확산되고 있다(장석길 외, 2024).

한국은 스마트도시 관련 정책의 법제화 경험이 풍부하며, 국가 수준에서 스마트도시 모델을 구축하기 위한 다양한 정책적 시도를 추진 중에 있다(Jang and Gim, 2022). 특히, 스마트도시계획은 스마트도시의 효율적인 조성 및 관리, 운영을 위한 중장기 발전 방향을 제시하는 5년 단위의 법정계획으로, 국내 스마트도시 정책의 변천사를 중심으로 발전단계를 파악하기에 적합하다(장환영·김걸, 2024).

따라서, 본 연구는 현재까지 수립된 제1차~4차 스마트도시 종합계획을 대상으로 토픽모델링을 활용하여 스마트도시의 발전단계에 따른 구성요소의 변화를 분석하고자 한다. 본 연구의 결과는 향후 스마트도시 개발을 위한 전략과제를 제시하고, 제5차 스마트도시 종합계획의 수립을 위한 기초자료를 제공하는 데 기여할 수 있다.

II. 문헌 검토

1. 스마트도시의 구성요소와 발전단계

1) 스마트도시 구성요소

현재까지 스마트도시의 구성요소를 정의하는 다양한 연구가 수행되었으며(Giffinger et al., 2007; Nam and Pardo, 2011; Lombardi et al., 2012). 대표적으로, 유럽의 중소규모 스마트도시를 평가하기 위해 개발된 Giffinger et al.(2007)의 6개 구성요소(스마트 경제, 스마트 사람, 스마트 거버넌스, 스마트 모빌리티, 스마트 환경, 스마트 생활)가 있다.

유사한 맥락에서, Nam and Pardo(2011)는 기술, 사람(창의성, 다양성, 교육), 제도(거버넌스, 정책)를 스마트도시의 구성요소로 제시하였다. 또한, Washburn et al.(2010)는 스마트 컴퓨팅 기술 측면에서 스마트도시 인프라의 구성요소 및 서비스를 행정, 교육, 의료, 안전, 부동산, 교통으로 정의하였다. 그밖에 다양한 연구를 통해 스마트도시 구성요소가 정의된 바 있으나, 일반적으로 Giffinger et al.(2007)의 구성요소가 널리 활용되고 있다(Albino et al., 2015).

Giffinger et al.(2007)에 따르면, 스마트 경제는 기업이 정신, 생산성, 노동 시장의 유연성 등 스마트도시의 경쟁력을 나타내며, 스마트 사람은 교육 수준, 창의성 등 도시의 사회적 및 인적 자원을 의미한다. 또한, 스마트 거버넌스는 의사결정 참여, 공공 서비스 제공, 투명성 등 도시에서의 참여 측면을, 스마트 모빌리티는 지역 내 접근성, 국가 간 접근성, ICT 인프라의 이용 가능성 등 교통 및 ICT를 나타낸다. 마지막으로, 스마트 환경은 환경오염, 자원관리 등 천연자원을, 스마트 생활은 문화시설, 안전, 교육시설 등 도시의 삶의 질 측면을 내포한다.

Lombardi et al.(2012)는 Giffinger et al.(2007)의 6개 구성요소가 실제 도시생활에서 어떠한 측면과 연결되는지를 검토하였으며, 스마트 경제는 산업, 스마트 사람은 교육, 스마트 거버넌스는 전자 민주주의, 스마트 모빌리티는 물류 및 인프라, 스마트 환경은 지속가능성 및 효율성, 스마트 생활은 안전 및 삶의 질과 관련성이 높음을 주장하였다.

하지만, 기존 연구들은 스마트도시의 발전단계에 따른 차이를 고려하지 않고 특정 발전단계를 중심으로 구성요소를 도출하고 있다는 한계를 보인다. 급속하게 변화하는 ICT의 특성에 따라 스마트도시의 발전은 다른 도시모델에 비해 빠른 속도로 진행되고 있으며, 이에 스마트도시의 기능과 역할을 제시하는 구성요소는 발전단계에 따른 특성 차이를 고려하여 검토될 필요가 있다.

2) 스마트도시 발전단계

스마트도시의 발전단계는 도시의 진화 과정을 개념화한 Cohen(2015)의 스마트도시 세대 모델(smart city generation

model)을 기반으로 한다(Zwick and Spicer, 2024). 해당 모델은 도시의 주요 이해관계자 간의 상호작용을 중심으로, 기술 중심의 스마트도시 1.0, 도시 관리자 중심의 스마트도시 2.0, 시민 중심의 스마트도시 3.0의 세 단계로 구분된다(Cohen, 2015).

Cohen(2015)에 따르면, 스마트도시 1.0은 민간 주도로 도시의 인프라 및 서비스에 기술을 적용하는 단계로, B2G(Business to Government)를 통한 기술 중심의 솔루션 확산을 목적으로 한다. 다음 단계인 스마트도시 2.0은 도시 관리자(공공) 중심의 하향식 의사결정을 바탕으로, 기술을 삶의 질 향상 등을 위한 수단으로 적용하는 것을 목표로 한다.

스마트도시 3.0은 거주민이 문제 해결의 주체이자 최종 사용자로서 상향식 의사결정에 참여하는 단계를 나타낸다. 이후, Cohen(2015)의 모델을 확장시킨 다수의 연구(Yun and Lee, 2019; Makiela et al., 2022)를 바탕으로, 도시의 지속가능발전 목표 달성을 위해 지역사회 중심의 공동창조(co-creation)를 목적으로 하는 스마트도시 4.0이 제시되었다. 스마트도시 1.0부터 4.0까지 발전단계에 따른 주요 특징은 <Table 1>과 같다.

한국의 경우, 「스마트도시 조성 및 산업진흥 등에 관한 법률」을 근거로 5년마다 수립되는 국가 스마트도시계획을 중심으로 스마트도시의 중장기 발전 전략이 구축되고 있어, 스마트도시계획을 중심으로 국내 스마트도시의 발전단계를 파악하기에 적합하다. 제1차 유비쿼터스도시 종합계획(2009~2013년)의 경우, 통합 운영센터 등 물리적 기반 시설의 확보를, 제2차 유비쿼터스도시 종합계획(2014~2018년)은 통합플랫폼 등 정보시스템의 연계를 주요 목적으로 수립되었다. 이후, 2017년 스마트도시법으로 법제가 개정됨에 따라, 제3차 스마트도시 종합계획(2019~2023)은 민관협력 거버넌스 등 혁신 프로그램의 도입을, 가장 최근의 제4차 스마트도시 종합계획(2024~2028)의 경우 국내 스마트도시 모델의 고도화 및 확산을 핵심 목표로 수립되었다(국토교통부, 2024). <Table 2>는 제1차~4차 스마트도시 종합계획의 주요 특징을 비교하여 보여준다.

제1차~4차 스마트도시 종합계획을 발전단계에 따라 구분하면, 제1차~2차 종합계획은 기술 공급자 및 공공 주도의 하향식 접근을 통해 도시의 서비스 및 인프라에 첨단 기술을 도입하는 단계로, 스마트도시 1.0과 2.0의 중간 단계에 해당한다. 제3차 종합

계획의 경우, 시민체감도 부족 등 제1차~2차 종합계획의 한계를 반영하여 거버넌스 확대를 주요 과제로 하였으나(장환영·김남곤, 2017), 초기 기반(리빙랩 등)을 마련한 것으로 공공 주도의 스마트도시 2.0에 해당한다고 할 수 있다. 마지막으로, 제4차 종합계획은 거버넌스, 민관협력, 디지털 포용성 등 상향식 의사결정을 중심으로 한 추진 과제들이 실천적인 형태로 포함되어 있다는 점에서 스마트도시 2.0과 3.0의 중간 단계에 해당한다고 볼 수 있다.

2. 선행연구 고찰

1) 스마트도시 구성요소 연구

스마트도시 구성요소 관련 연구는 주로 계획보고서, 연구보고서 등의 문헌을 대상으로 내용분석을 수행하여 스마트도시의 정책 및 계획요소를 분석하고 있다는 특징을 보인다.

대표적으로, 장석길·김태형(2023a)은 제3차 스마트도시 종합계획과 8개 인종 스마트도시의 스마트도시계획 보고서를 대상으로 내용분석을 수행하여 스마트도시 계획요소를 분석하였다. 분석 결과, 14개 추진과제에 대한 26개 계획요소(주민참여 기반의 스마트거버넌스 구축 등)가 도출되었으며, 대부분의 스마트도시 인종 도시에서 적극적으로 다뤄지고 있는 계획요소로는 스마트도시형 도시재생 뉴딜사업 추진, 통합플랫폼 조기 확산, 민·관 협력 거버넌스 활성화, 스마트도시 교류협력 강화 관련 요소가 나타났다.

정다래 외(2020)는 혁신지구 우수 사례(보스턴 이노베이션 디스트릭트, 런던 테크시티, 뉴욕 로어 맨해튼)를 대상으로 산업재생 정책으로서 스마트도시 조성을 위한 계획요소를 도출하였다. 공간 및 장소, 정책 및 거버넌스, 기술 및 서비스의 구성요소를 중심으로 분석한 결과, 공통적으로 공간 및 장소 측면에서는 코워킹 스페이스 등이, 정책 및 거버넌스 측면에서는 인센티브 등이, 기술 및 서비스 측면에서는 리빙랩 등의 구성요소가 도출되었다.

지속가능성 관점에서 스마트도시의 구성요소를 살펴본 연구로, 장석길·김태형(2023b)은 국내 정부출연연구기관 연구보고서와 서울시 스마트도시계획 보고서를 대상으로 내용분석을 수행하여 지속가능한 스마트도시의 지속가능성 요소를 분석하였다. 지속가능성 요소는 경제(비즈니스 모델 개발 등), 사회(주거환경

Table 1. Characteristics of smart city models by development stage

Category	Smart city 1.0	Smart city 2.0	Smart city 3.0	Smart city 4.0
Process	Direct, vendor-to-government	Top-down, iterative and purposive-driven	Engagement, bottom-up goal setting	Co-creation
Drivers	Private vendors	Municipal government	Residents	Community
Focus	Technology as a solution	Technology as a tool and enabler to drive solutions	Technology in service of public good; risk mitigation and protection	Technology in service of the UN's SDGs

Source: Zwick and Spicer (2024)

Table 2. Development of comprehensive smart city plans in South Korea

Category	1 st comprehensive plan	2 nd comprehensive plan	3 rd comprehensive plan	4 th comprehensive plan
Goal	<ul style="list-style-type: none"> Streamlining urban management Fostering new growth engines Advancing urban service delivery 	<ul style="list-style-type: none"> Expanding U-City initiatives Revitalizing the U-City industry based on the creative economy Enhancing support for global market expansion 	<ul style="list-style-type: none"> Addressing diverse urban challenges Developing inclusive smart cities Strengthening global collaboration through the creation of innovation ecosystems 	<ul style="list-style-type: none"> Providing high-tech digital spaces accessible to all, anytime and anywhere Creating innovation spaces led by the private sector and supported by public institutions Establishing smart urban spaces as global benchmarks
Implementation strategy	<ul style="list-style-type: none"> Building institutional frameworks Developing core technologies Supporting the growth of the U-City industry Delivering citizen-centered U-services 	<ul style="list-style-type: none"> Establishing a national safety infrastructure for safe cities Expanding U-City and developing related technologies Supporting private companies in realizing creative economy-based industries Enhancing global market entry through international cooperation 	<ul style="list-style-type: none"> Creating customized models tailored to each stage of growth Establishing the foundation for the nationwide expansion of smart cities Building a robust smart city innovation ecosystem Strengthening global initiatives in smart city development 	<ul style="list-style-type: none"> Promoting the diffusion of sustainable spatial models Developing AI- and data-driven urban infrastructure Creating a business-friendly smart city industrial ecosystem Accelerating the global expansion of South Korean Smart Cities
Process	<ul style="list-style-type: none"> Direct, vendor-to-government Top-down, iterative and purposive-driven 	<ul style="list-style-type: none"> Direct, vendor-to-government Top-down, iterative, and purposive-driven 	<ul style="list-style-type: none"> Top-down, iterative, and purposive-driven 	<ul style="list-style-type: none"> Top-down, iterative and purposive-driven Engagement, bottom-up goal setting

Note: Adapted from Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2024), with modifications

개선 등), 환경(그린인프라 확충 등), 거버넌스(규제혁신 등), 인프라(공간구조 변화 등)의 5개 부문에서 분석되었으며, 스마트도시의 주요 목표인 삶의 질 향상은 사회적 부문을, 도시경쟁력 강화는 경제적 부문을 통해 다뤄지고 있는 것으로 도출되었다.

또한, 지속가능성 평가지표에 관한 문헌검토를 수행한 이나경(2024)의 연구에서는 지속가능성의 경제, 사회, 환경 측면을 중심으로 국가시범도시(세종, 부산), 거점형(울산, 고양), 강소형(평택, 아산) 스마트도시의 스마트도시계획을 분석하였다. 분석 결과, 분석 사례의 지속가능성 달성 수준이 전반적인 낮은 것으로 나타났으며, 공통적으로 경제 분야의 지역특화 경쟁력 제고와 사회 분야의 형평성 추구가 부족한 것으로 나타났다.

정종근·이명훈(2024)은 문헌검토를 통해 스마트도시의 포용성 구성 계획요소를 도출하고, 서울시 공무원, 학계 및 민간 전문가를 대상으로 계층분석법(AHP)을 실시하여 각 요소의 중요도를 분석하였다. 분석 결과, 구성 계획요소로는 공간적 포용성(접근성 등), 경제적 포용성(경제적 형평성 등), 사회적 포용성(기관 및 조직역량 등), 거버넌스 포용성(시민참여 등)이 도출되었으며, 접근성을 중심으로 공간적 포용성의 중요도가 가장 높은 것으로 나타났다.

종합하면, 기존 연구는 지속가능성, 혁신 등 특정 측면을 중심으로 스마트도시의 구성요소를 분석하여 종합적인 관점에서 구

성요소의 특징을 검토하기 어렵다는 한계가 있다. 또한, 도시의 발전단계는 도시 구성요소에 영향을 미칠 수 있으나, 선행연구의 경우 특정 단계를 중심으로 사례 도시의 구성요소를 도출하고 있다는 점에서 발전단계의 변화에 대한 고려가 부족한 것으로 여겨진다.

더불어, 방법론적 측면에서 스마트도시 구성요소 연구는 내용 분석을 중심으로 수행되고 있다는 특징을 보인다. 하지만, 내용 분석과 비교할 때 텍스트마이닝 기법은 대량의 텍스트를 대상으로 핵심 주제를 추출 및 유형화하기에 적합하며(Rivera et al., 2014), 특히 토픽모델링은 문서 간 단어 활용의 패턴을 분석하는 확률 모델에 근거하여 문헌의 구조적인 특징을 분석하기에 용이하다(Cheng et al., 2018). 이에, 최근 도시 분야에서 정책 및 계획의 특징을 분석하기 위한 기법으로서 토픽모델링의 적용이 확산되고 있다(장석길 외, 2024).

2) 텍스트마이닝을 활용한 스마트도시 연구

텍스트마이닝을 활용한 스마트도시 연구에서는 주로 스마트도시 관련 계획보고서, 학술지 논문, 사업 제안서 등을 대상으로 스마트도시의 주요 차원, 실행 전략 등을 분석하고 있는 것으로 나타났다.

Prasad and Alizadeh(2020)는 인도의 20개 스마트도시의 사

업 제안을 분석 자료로 네트워크 분석을 실시하여 인도 스마트 도시의 주요 차원별 키워드를 도출하였다. 이를 위해, 사업 제안서에 포함된 비전 진술문(vision statements)을 중심으로 스마트 시민, 스마트 거버넌스 등 10개 차원에 대한 키워드의 출현 빈도, 연결성 등을 분석하였다.

스마트도시 관련 학술지 논문을 분석 대상으로 한 Liu et al.(2021)의 연구에서는 텍스트마이닝을 사용하여 중국과 일본에서 적용되고 있는 스마트도시 개념의 특징을 비교하였다. 키워드 빈도 분석을 통해 상위 빈도수를 갖는 키워드 간의 연관성을 분석하였으며, 이를 바탕으로 중국과 일본 스마트도시 담론의 네트워크 구조를 도출하였다.

지자체 계획을 분석한 연구로, 서형준(2023)은 텍스트마이닝을 수행하여 국내 지자체 스마트도시계획의 목표, 전략, 환경분석 결과(SWOT)에 대한 키워드 빈도를 분석하였으며, 토픽모델링을 통해 핵심 전략의 키워드를 주제별로 분류하였다. 이를 위해, 2017년부터 2022년까지 수립된 25개 지자체(대구광역시, 인천광역시 등)의 스마트도시계획을 선정하였으며, LDA(Latent Dirichlet Allocation, 잠재 디리클레 할당) 알고리즘을 활용하여 토픽모델링을 수행하였다.

또한, 채윤식·이상훈(2018)은 네트워크 분석 및 군집 분석을 활용하여 부산시 스마트도시계획의 수립을 위한 전략 분야를 도출하였다. 연구의 수행을 위해, 부산시의 유비쿼터스도시계획(2012)과 지역 정보화 기본계획(2015)의 서지정보를 대상으로 단어 연결망(밀집도, 중심성 등)을 분석하였으며, 키워드의 동시출현 빈도를 중심으로 네트워크의 군집화를 수행하였다. 이후, 서울시, 광명시 등 6개 지자체의 유비쿼터스도시계획과 비교하여 주요 특징을 분석하였다.

국가 계획과 지자체 계획을 비교한 연구로, 김홍광·이미숙(2018)은 네트워크 분석을 활용하여 광명시 및 춘천시의 스마트도시계획과 제2차 스마트도시 종합계획 간의 연결성을 분석하였다. 분석을 위해, 해당 계획의 서비스 부문을 중심으로 계획내용을 수집하였으며, 스마트도시 종합계획의 주요 키워드와 각 지자체에서 도출된 키워드 간의 총연결수, 평균 연결정도, 네트워크 밀도, 키워드 간 평균 거리를 분석하였다.

종합하면, 기존 연구는 주로 특정 시기의 스마트도시 관련 계획 또는 사업 보고서를 대상으로 텍스트마이닝 기반의 키워드 분석을 수행하고 있는 것으로 나타났다. 이에, 스마트도시 도입 초기부터 현재까지 발전단계에 따른 구성요소의 변화를 분석하여 시계열적 특성을 비교하는 연구가 필요하다. 특히, 스마트도시 종합계획의 경우, 지자체 스마트도시계획의 상위 법정계획으로서 국가 전반의 스마트도시 정책, 계획, 사업에 대한 실행 지침을 제시하므로 종합적인 관점에서 스마트도시 구성요소를 분석하기에 적합하다고 할 수 있다.

III. 방법론

본 연구에서는 제1차~4차 스마트도시 종합계획을 대상으로 토픽모델링을 활용하여 발전 단계별 스마트도시의 구성요소를 분석하였다. 이를 위해, <Figure 1>과 같이 1) 데이터 수집, 2) 데이터 전처리, 3) 데이터 분석을 수행하였으며, 분석 도구로는 파이썬을 사용하였다. 텍스트 분석 전용 소프트웨어와 비교할 때, 파이썬은 프로그래밍을 통해 자료의 특성에 적합한 분석 알고리즘을 세부적으로 설계할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 정밀한 자연어 처리를 위한 라이브러리의 활용 가능성이 높으며, 대규모 텍스트 분석에 용이하다(Lutz, 2013; Vel, 2021; 김효관·황원용, 2020).

1. 데이터 수집 및 전처리

데이터 수집과 관련하여 분석 자료로는 국토교통부 제1차~4차 스마트도시 종합계획 보고서를 활용하였다. 각 계획의 발전단계는 2장에서 검토한 바와 같이, 제1차~2차 종합계획의 경우 스마트도시 1.0~2.0 단계로, 제3차 종합계획은 스마트도시 2.0 단계로, 제4차 종합계획은 스마트도시 2.0~3.0 단계로 설정하여 분석에 활용하였다.

분석 자료의 전처리를 위해, 먼저 보고서 자료를 영역별로 파싱(parsing)하여 구성요소를 추출하는 pdfplumber²⁾ 패키지를 사용하여 텍스트 자료를 분리하였다. 본문에서 표, 그림, 각주 및 부록을 제외한 문서별 텍스트 자료를 대상으로 하였다. 텍스트

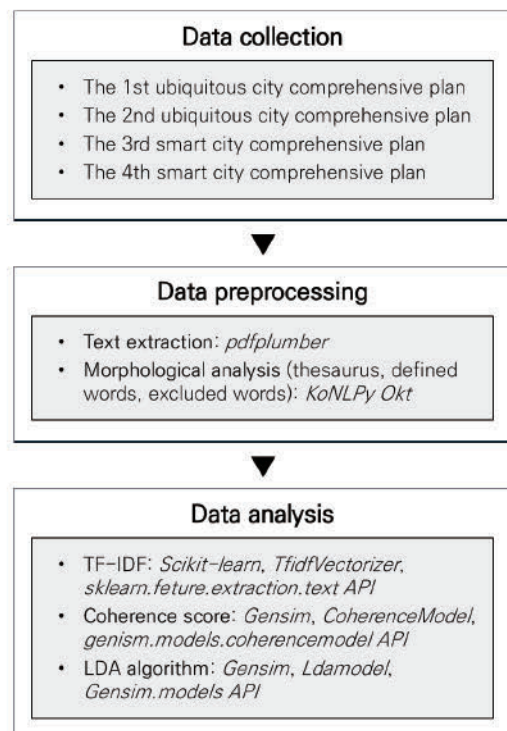


Figure 1. Analysis process

추출 결과, 제1차~4차 종합계획에서 각각 24,785자, 47,315자, 43,313자, 28,846자를 수집하였다. 다음으로, 한국어 대상의 자연어 처리에 적합한 KoNLPy 패키지의 Okt(Open Korean Text) 클래스를 사용하여 토큰화 및 형태소 분석을 진행하였다(박은정·조성준, 2014; 이경건 외, 2018; 임현열, 2023).

데이터 정제를 통한 전처리 과정은 텍스트 분석의 품질을 향상할 수 있어(Thorleuchter and Van den Poel, 2013), 명사 외의 접속사, 조사, 기호 및 특수 문자를 불용어로 처리하고 제외어, 유의어, 지정어 사전을 구성하여 데이터를 정제하였다. 1차 전처리 결과를 토대로 각 문서에서 자주 등장하지만 유의미한 해석이 어려운 단어를 제외어로 설정하였다(예: 달리, 담당). 또한, 유사하거나 동일한 의미를 가진 단어를 유의어로 설정하였으며(예: 국제+글로벌 → 국제, 자동차+차량 → 차량), 복합어의 분리를 막기 위해 지정어(예: 기후+위기 → 기후위기, 자율+주행 → 자율주행)를 설정하여 적용하였다(장석길 외, 2024).

2. 데이터 분석

데이터 분석을 위해, 명사를 벡터로 임베딩하고 가중치에 해당하는 단어별 TF-IDF(Term Frequency-Inverse Document Frequency) 값을 토픽모델링에 활용하였다. TF-IDF는 문서 전체에서 단어 빈도(TF)와 역문서빈도(IDF)를 모두 고려한 가중치 결정 방식으로, 문서에서 반복적으로 등장하는 단어의 가중치를 낮게 산정하여 상대적으로 덜 중요한 단어를 추려내는 방식이다(Sparck, 1972). 이를 위한 산출 수식은 식 (1)과 같다(Zhang et al., 2011).³⁾

$$w_{i,j} = t_{f i,j} \times \log \frac{N}{d_{f i}} \quad (1)$$

본 연구에서는 TF-IDF 값을 적용하기 위해 Scikit-learn 패키지의 sklearn.feature_extraction.text API가 제공하는 TfidfVectorizer 클래스를 사용하였다. Scikit-learn 패키지는 빈도, 의미 분석 및 토픽모델링 등 텍스트 분석을 위한 전문적인 기능을 제공하는 라이브러리이다(박기창·김형관, 2021). 이를 활용하여 정제된 자연어 명사 텍스트를 입력 값으로 하여 임베딩을 통해 TF-IDF 벡터를 생성하고 모든 단어의 가중치를 수치화하였다.

이후, LDA 알고리즘 기반의 토픽모델링으로 자료를 분석하였다. 토픽모델링을 수행하기 위해 1) 토픽 수(k), 2) 문서에서 추정된 토픽, 3) 토픽에 포함되는 추정 키워드를 도출하였다(이수상, 2016). 토픽모델링에서 토픽 수(k)의 설정은 결과의 정확성과 타당성에 영향을 미치며, 결정 기준으로는 1) 연구자의 주관적 판단, 2) 혼잡도(perplexity), 3) 응집도(coherence)가 있다(양연

희 외, 2019; 이대영·이현숙, 2021). 이 중, 혼잡도 평가법은 응집도에 비해 토픽의 해석 가능성이 낮을 수 있어(Wahid et al., 2022), 본 연구에서는 응집도 평가법에 기초하여 최적의 토픽 수를 결정하였다. 응집도는 토픽 내 주요 단어들의 연관성을 측정하는 지표이며, 응집도가 낮다면 토픽의 단어 연관성이 떨어지는 것으로 간주할 수 있다. 또한, 응집도 값이 높을수록, 토픽모델링 결과의 일관성이 높은 것을 의미한다(장석길 외, 2024).

토픽모델링은 Gensim 패키지를 활용하여 수행되었다. 해당 패키지는 기본적으로 알고리즘을 일괄 처리하는 배치 모드(Batch mode)에서만 작동하는 다른 패키지(예: scikit-learn)와 달리, 알고리즘 처리 과정에서 발생하는 오류가 적으며(Chauhan and Shan, 2021), 응집도를 신뢰성 있게 추출하는 함수를 제공한다(이대영·이현숙, 2021). 먼저, Gensim 패키지 중 응집도와 최적 토픽 수(k)를 계산하는 CoherenceModel 클래스를 사용해 가장 높은 응집도 값을 지니는 토픽 수(k)를 선정하였다. 선정 결과, 제1차~4차 종합계획의 최적 토픽 수(응집도)는 각각 5(0.74), 5(0.62), 4(0.74), 5(0.64)개가 도출되었으며, 토픽 수에 따른 응집도 분포는 <Figure 2>와 같다.

다음으로, 토픽모델링 알고리즘 중에서 다수의 연구에서 사용되고 있는 LDA 알고리즘에 기반하여 분석을 수행하였다(Vayansky and Kumar, 2020; 박준형·오효정, 2017; 이수환·송기상, 2023). LDA 알고리즘은 문서가 잠재된 토픽들로 구성되어 있다고 가정하며, 각 토픽을 여러 단어에 대한 확률 분포를 기반으로 추론한다(Blei, et al., 2003; Aizawa, 2003). LDA의 디리클레 분포⁴⁾는 확률 벡터 θ 를 모델링하여 문서가 특정 토픽을 얼마나 포함하고 있는지 나타내며, 다음의 식 (2)로 표현된다.

$$p(\theta | \alpha) = \frac{\Gamma(\sum_{i=1}^k \alpha_i)}{k} \theta_1^{\alpha_1 - 1} \dots \theta_k^{\alpha_k - 1} \prod_{i=1}^k \Gamma(\alpha_i) \quad (2)$$

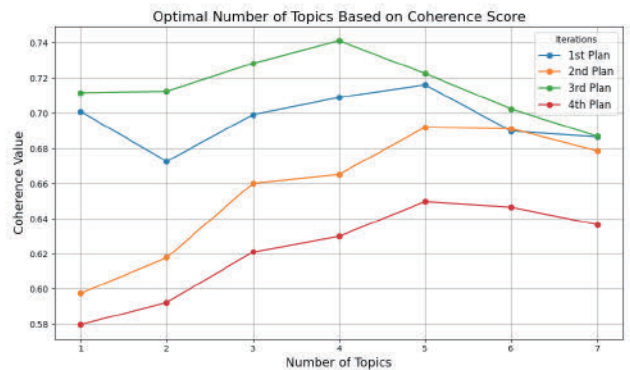


Figure 2. Optimal number of topics

여기서 각 토픽은 하나의 행렬로 표현되며, 토픽과 키워드 간 관계식은 식 (3)과 같다(Blei et al., 2003).

$$\beta_{ij} = P(w_j | z_i) \tag{3}$$

이후, LDA 알고리즘 기반의 토픽 모델을 구축하기 위해 Gen-sim.models API에서 제공하는 LdaModel 클래스를 사용하였다. 본 클래스는 디리클레 계수인 하이퍼파라미터를 자동으로 설정할 수 있다(이용구·김선욱, 2024). 해당 방식은 통계적 분포로 하이퍼파라미터를 동적으로 추정하는 Minka의 고정점 반복법(Minka's Fixed-Point Iteration)에 기반하여 토픽모델링 결과의 신뢰성을 높일 수 있다(Řehůřek and Sojka, 2011; Sadamitsu et al., 2007). 이를 바탕으로, 최종 구축된 LDA 모델을 통해 토픽모델링을 실시하여 제1차~4차 문서의 각 토픽과 키워드 분포를 할당 확률에 따라 산출하였다.

IV. 분석결과⁵⁾

본 장에서는 제1차~4차 스마트도시 종합계획의 상위 키워드를 살펴보고, 각 계획에 대한 토픽모델링 결과를 분석한다. 이후, 분석결과를 종합하여 발전단계별 스마트도시 구성요소의 변화를

탐색하고, 향후 스마트도시계획의 수립을 위한 정책적 함의를 논의하고자 한다.

〈Table 3〉은 제1차~4차 종합계획에서 TF-IDF 값이 가장 높은 상위 15개 키워드를 나타낸다. 분석결과, 대부분의 계획에서 '인프라', '정부', '광역' 등이 상위 키워드로 도출되었다. 또한, 유니쿼티스도시 종합계획에 해당하는 제1차~2차 계획에서는 '교통', '에너지', '가이드라인' 등이, 스마트도시 종합계획인 제3차~4차 계획에서는 '자율주행' 등의 상위 키워드가 공통적으로 나타났다.

1. 제1차 종합계획: 스마트도시 1.0~2.0

제1차 종합계획의 분석 결과, 주요 토픽으로는 오염(Topic 1), 행정(Topic 2), 산업(Topic 3), 통행(Topic 4), 관제(Topic 5)가 도출되었다. 토픽 간 공통 키워드로는 '에너지'가 3회 나타났으며, '교통', '인프라', '개인', '국민'이 2회씩 포함되었다(〈Table 4〉 참고).

첫째로, 오염 토픽에서 할당확률이 높은 키워드로는 '친환경'과 '국민'이 나타났으며, 이어서 '폐기물', '오염', '에너지'가 포함되었다. 이는 환경오염원의 실시간 관리를 위한 친환경 모니터링 시스템(55)과 국민 체감형 u-서비스 부문 중 환경기술(에너지)과 IT를 접목한 친환경 녹색서비스(22) 등의 맥락이 반영된 것으로 보인다. 다음으로, 행정 토픽의 키워드로는 '국민', '인프라', '교통', '도

Table 3. Top 15 keywords by TF-IDF values of each comprehensive plan

Ranking	1 st comprehensive plan		2 nd comprehensive plan		3 rd comprehensive plan		4 th comprehensive plan	
	Keyword	TF-IDF	Keyword	TF-IDF	Keyword	TF-IDF	Keyword	TF-IDF
1	Infrastructure	46.8576	Government	109.7520	Sustainability	20.3590	Company	35.8350
2	Government	31.6265	Local government	84.7949	Urban regeneration	17.2675	Nation	32.2948
3	The public	26.3806	Transportation	74.7358	New town	16.2549	Industry	30.4437
4	Transportation	25.7510	Company	63.3491	Digital twin	10.4689	Region	22.0476
5	Logistics	24.7256	Infrastructure	61.7829	Testbed	10.3029	Governance	21.7397
6	Administrative agency	16.5837	Sustainability	51.7002	Autonomous driving	10.2169	Private sector	20.4659
7	Welfare	14.8792	Citizen	48.6450	Eco-friendliness	8.0035	Space	19.7924
8	Individuals	13.5629	Environment	31.3043	Living lab	7.5411	Infrastructure	19.5398
9	Energy	13.4963	Metropolitan	27.4504	Mobility	7.0598	Environment	19.2564
10	Eco-friendliness	11.5049	Ministry of Land, Infrastructure and Transport	24.0160	Metropolitan	6.4128	Climate crisis	18.6602
11	Distribution	8.0085	Organization	23.9142	Car	5.4337	Network	17.9413
12	Ecosystem	5.9343	AI	23.7574	Blockchain	4.7813	Autonomous driving	17.4961
13	Road	4.5494	Space	22.8465	Living sphere	4.3961	Government	16.5873
14	Guideline	4.3854	Guideline	14.0723	Big data	3.8387	Metropolitan	16.1364
15	Class	3.7656	Energy	13.9784	Bio	3.6476	Market	14.8870

Table 4. Topic modeling results of the 1st comprehensive ubiquitous city plan

Topic 1	Topic 2	Topic 3	Topic 4	Topic 5
Pollution	Administration	Industry	Passage	Control
Eco-friendliness (0.1242)	The public (0.1207)	Transportation (0.2878)	Logistics (0.1377)	Infrastructure (0.3036)
The public (0.1116)	Infrastructure (0.0971)	Individuals (0.0851)	Welfare (0.1216)	Government (0.1525)
Waste (0.0270)	Transportation (0.0693)	Ecosystem (0.0387)	Energy (0.0301)	Energy (0.1235)
Pollution (0.0269)	Road (0.0548)	Soft power (0.0381)	People (0.0293)	Administrative agency (0.1155)
Energy (0.0154)	Traffic congestion (0.0544)	Public transport (0.0259)	Shipping (0.0162)	Individuals (0.0324)

Note: Shading represents keywords shared across multiple topics; the darker the shading, the higher the frequency of overlap (2–3 occurrences).

로, ‘교통체증’이 나타났으며, 해당 순으로 할당확률이 높게 도출되었다. 이와 관련하여, 제1차 종합계획에서는 행정서비스의 핵심 전략으로 교통 부문의 모바일 서비스(52)와 도로 등의 기반시설에 ITS(Intelligent Transportation System)를 적용하여 교통정보를 실시간으로 수집, 분석, 관리하기 위한 u-교통 기반의 구축(53) 등이 포함된 것으로 나타났다.

산업 토픽에서 할당확률이 높은 키워드로는 ‘교통’이 나타났으며, 또 다른 키워드로 ‘개인’, ‘생태계’, ‘소프트파워’, ‘대중교통’이 포함되었다. 특히, 해당 계획에서는 신성장동력 산업 측면에서 에너지 절감 및 탄소배출량 감축을 위한 첨단그린도시 구축(3)과 국가 소프트파워 제고를 위한 창의적 인재 육성 및 U-City 산업 육성의 지원(22) 등이 강조되었다.

넷째로, 통행 토픽의 키워드는 ‘물류’, ‘복지’, ‘에너지’, ‘사람’, ‘운송’ 순으로 할당확률이 높게 나타났다. 이는 여객 및 물류 통행 측면에서, 센서를 활용하여 거동 불편 계층의 운송을 지원하는 복지서비스(54)와 교통, 복지, 환경 등 분야별 서비스를 연계하는 통합플랫폼 표준화(40) 등과 관련이 있는 것으로 나타났다.

마지막으로, 관제 토픽에서는 ‘인프라’, ‘정부’, ‘에너지’, ‘행정기관’, ‘개인’ 순으로 키워드 할당확률이 높게 도출되었다. 해당 키워드와 관련하여, 제1차 종합계획에서는 지능형 전력망 기반의 국가에너지 통합관제 인프라 구축(57)과 가정 단위의 에너지 소비에 대한 웹기반 제어시스템 및 스마트 가전제품을 통한 자동제어 기능 구축(57) 등이 포함되었다.

종합하면, 스마트도시 구성요소(환경, 경제, 사람, 생활, 모빌리티, 거버넌스)와 비교할 때 제1차 종합계획에서는 폐기물, 에너지 등 오염(Topic 1)을 중심으로 환경 요소가 도출되었으며, 교통 및 생태계 부문의 산업(Topic 3)을 중심으로 경제 요소가 나타났다. 또한, 모빌리티 요소의 경우, 물류, 운송 등으로 구성된 통행 토픽(Topic 4)과 관련성이 높은 것으로 나타났다. 그밖에 기존 구성요소와 관련성이 부족한 토픽으로는 행정(Topic 2)과 관제(Topic 5)가 도출되었다.

2. 제2차 종합계획: 스마트도시 1.0~2.0

분석 결과, 제2차 종합계획의 핵심 토픽으로는 교통(Topic 1), 에너지(Topic 2), 시민(Topic 3), 제도(Topic 4), 협력(Topic 5)이 도출되었다. 토픽 간의 공통 키워드로는 ‘교통’과 ‘인프라’가 4회씩 나타났으며, ‘지자체’가 3회, ‘정부’, ‘기업’, ‘기관’, ‘탄소배출’이 2회씩 나타났다(〈Table 5〉 참고).

교통 토픽의 키워드로는 ‘교통’, ‘기관’, ‘정부’, ‘국토교통부’, ‘공간’, ‘인프라’가 나타났으며, 해당 순으로 할당확률이 높게 도출되었다. 이는 국토교통부를 전담 부처로 하는 지능형 교통체계 확충 사업(127)과 도로교통 정보, 주차 정보 등 공간 정보를 통합하여 제공하기 위한 인프라 구축 사업(84) 등이 강조되었기 때문인 것으로 보인다.

둘째로, 에너지 토픽에서 할당확률이 높은 키워드로는 ‘환경’, ‘인프라’가 나타났으며, 그밖에 ‘교통’, ‘인구’, ‘탄소배출’, ‘에너지’가 포함되었다. 이와 관련하여, 제2차 종합계획에서는 탄소저감형 인프라 및 서비스 발굴(17)과 탄소포인트 등 친환경 도시 운영을 통한 탄소저감 및 수익창출(17) 등이 포함된 것으로 나타났다.

시민 토픽의 키워드로는 할당확률이 높은 순서대로 ‘시민’, ‘지자체’, ‘인공지능’, ‘기업’, ‘기관’, ‘탄소배출’이 포함되었다. 특히, 해당 계획에서는 시민 체감형 서비스를 통한 시민 만족도 향상(17)과 공공의 U-City 정보(교통, 복지 등) 제공 및 민간의 U-City 서비스 개발을 통한 시민의 삶의 질 향상(96) 등이 강조되었다.

다음으로, 제도 토픽에서 할당확률이 높은 키워드로는 ‘지자체’, ‘교통’이 나타났으며, 이어서 ‘인프라’, ‘광역’, ‘가이드라인’, ‘네트워크’가 도출되었다. 이는 U-City 확산을 위한 교통시스템 및 인프라 구축의 제도적 기반 마련(25)과 U-City 지자체의 확산 및 연계를 위한 가이드라인 개발(28, 44) 등과 관련이 있는 것으로 나타났다.

마지막으로, 협력 토픽에서는 ‘정부’, ‘지속가능성’, ‘기업’, ‘지자체’, ‘교통’, ‘인프라’ 순으로 키워드 할당확률이 높게 도출되었다.

Table 5. Topic modeling results of the 2nd comprehensive ubiquitous city plan

Topic 1	Topic 2	Topic 3	Topic 4	Topic 5
Transportation	Energy	Citizen	Institution	Cooperation
Transportation (0.2123)	Environment (0.2237)	Citizen (0.3404)	Local government (0.3186)	Government (0.3978)
Organization (0.1513)	Infrastructure (0.1652)	Local government (0.1217)	Transportation (0.2454)	Sustainability (0.2237)
Government (0.1191)	Transportation (0.1064)	AI (0.1186)	Infrastructure (0.1992)	Company (0.1487)
Ministry of Land, Infrastructure and Transport (0.1145)	Population (0.1034)	Company (0.0750)	Metropolitan (0.0545)	Local government (0.0556)
Space (0.0695)	Carbon emission (0.0559)	Organization (0.0671)	Guideline (0.0342)	Transportation (0.0340)
Infrastructure (0.0634)	Energy (0.0550)	Carbon emission (0.0278)	Network (0.0298)	Infrastructure (0.0268)

Note: Shading represents keywords shared across multiple topics; the darker the shading, the higher the frequency of overlap (2–4 occurrences).

이와 관련하여, 제2차 종합계획에서는 산-학-연 협력을 통한 산업원천기술의 개발(51)과 민관협력을 통한 U-City 공간계획모델 개발(123) 등이 강조되었다.

기존 스마트도시 구성요소(환경, 경제, 사람, 생활, 모빌리티, 거버넌스)와 비교할 때, 제2차 종합계획에서는 교통체계 및 공간정보(Topic 1)를 중심으로 교통 요소가 도출되었으며, 탄소배출부문의 에너지(Topic 2)를 중심으로 환경 요소가 나타났다. 또한, 생활 요소의 경우, 시민 체험형 서비스, 삶의 질 등에 관한 시민 토픽(Topic 3)과 관련성이 높으며, 정부, 기업 등을 포함하는 협력 토픽(Topic 5)은 거버넌스 요소에 해당하는 것으로 나타났다. 기존 구성요소와의 관련성이 낮은 토픽으로는 제도(Topic 4)가 도출되었다.

3. 제3차 종합계획: 스마트도시 2.0

제3차 종합계획의 분석 결과(〈Table 6〉 참고), 주요 토픽으로는 공간(Topic 1), 에너지(Topic 2), 혁신(Topic 3), 정주(Topic 4)가 도출되었다. 토픽 간의 공통 키워드로는 ‘지속가능성’, ‘디지털트윈’, ‘자율주행’, ‘도시재생’이 2회씩 포함되었다.

첫째로, 공간 토픽에서 할당확률이 높은 키워드로는 ‘신도시’와 ‘지속가능성’이 나타났으며, 이어서 ‘광역’, ‘디지털트윈’, ‘도심’이 포함되었다. 이는 2기 신도시 등 기존의 스마트도시 개발 성과를 3기 신도시로 확산시키고(30), 디지털트윈과 같은 스마트 인프라의 공간화 전략(27) 등이 주요하게 반영된 것으로 보인다.

에너지 토픽의 키워드로는 할당확률이 높은 순으로 ‘테스트베드’, ‘도시재생’, ‘온실가스’, ‘신재생에너지’, ‘수자원’이 나타났다. 제3차 종합계획에서는 신기술 테스트베드로서 스마트시티 국가

Table 6. Topic modeling results of the 3rd comprehensive smart city plan

Topic 1	Topic 2	Topic 3	Topic 4
Space	Energy	Innovation	Settlement
New town (0.3487)	Testbed (0.4369)	Digital twin (0.2673)	Living lab (0.2478)
Sustainability (0.2800)	Urban regeneration (0.2689)	Autonomous driving (0.2306)	Eco-friendliness (0.1882)
Metropolitan (0.1578)	Greenhouse gas (0.0963)	Sustainability (0.1889)	Car (0.1869)
Digital twin (0.0874)	Renewable energy (0.0736)	Blockchain (0.1601)	Urban regeneration (0.1635)
Downtown (0.0628)	Water resource (0.0736)	Mobility (0.0970)	Autonomous driving (0.1155)

Note: Shading indicates keywords shared across topics, each duplicated twice.

시범도시의 조성을 위한 에너지 분야 등의 신산업 특례(46)와 노후도시 대상의 스마트도시형 도시재생사업과 연계한 스마트팜 등 적정기술의 적용(35) 등이 포함된 것으로 나타났다.

또한, 혁신 토픽에서 할당확률이 높은 키워드로는 ‘디지털트윈’, ‘자율주행’이 나타났으며, 이어서 ‘지속가능성’, ‘블록체인’, ‘모빌리티’가 포함되었다. 특히, 해당 계획에서는 블록체인 등 디지털 기술과 사회·경제 부문의 융합을 위한 신산업 육성(10)과 혁신성장효과가 높은 미래기술 중 자율주행, 드론, 가상실 등 체감 기술의 확대(8) 등이 강조되었다.

정주 토픽의 키워드로는 ‘리빙랩’, ‘친환경’, ‘자동차’, ‘도시재생’, ‘자율주행’이 도출되었으며, 해당 순서로 할당확률이 높게 나타났다. 이는 정주성 측면에서 시민참여 기반의 리빙랩을 통한 지역 문제(원도심 쇠퇴, 교통 인프라 부족, 미세먼지 등) 솔루션의 발굴(8) 등과 관련이 있는 것으로 나타났다.

종합하면, 스마트도시 구성요소(환경, 경제, 사람, 생활, 모빌리티, 거버넌스)와 비교할 때, 제3차 종합계획에서는 온실가스 등 에너지(Topic 2)를 중심으로 환경 요소가 도출되었으며, 자율주행 등 혁신(Topic 3) 측면에서 경제 요소가 나타났다. 더불어, 도시재생 등을 포함하는 정주 토픽(Topic 4)은 생활 요소와 관련성이 높은 것으로 나타났으며, 공간 토픽(Topic 1)은 기존 구성요소와의 관련성이 부족한 것으로 도출되었다.

4. 제4차 종합계획: 스마트도시 2.0~3.0

제4차 종합계획에서는 핵심 토픽으로 혁신(Topic 1), 정주(Topic 2), 에너지(Topic 3), 산업(Topic 4), 공간(Topic 5)이 도출되었다. 토픽 간의 공통 키워드로는 ‘지역’이 3회 도출되었으며, ‘환경’, ‘기후위기’, ‘탄소중립’, ‘산업’, ‘국가’, ‘지역’, ‘시민’이 2회씩 포함되었다(〈Table 7〉 참고).

혁신 토픽의 키워드로는 할당확률이 높은 순으로 ‘광역’, ‘특화단지’, ‘정부’, ‘인프라’, ‘지속가능성’, ‘지역’이 포함되었다. 이는 혁신성장동력 측면에서 스마트도시의 광역권 거점모델 조성(13)과 스마트도시 특화단지의 혁신성장진흥구역 지정을 통한 신산업 규제 특례(42) 등의 맥락이 주요하게 반영된 것으로 보인다.

다음으로, 정주 토픽에서는 ‘지역’, ‘탄소중립’, ‘시민’, ‘자율주행’, ‘로봇’, ‘샌드박스’의 키워드가 도출되었으며, 해당 순으로 할당확률이 높게 나타났다. 이와 관련하여, 제4차 종합계획에서는 지역 특성에 맞는 공공교통체계의 도입을 통한 정주여건 개선(25)과 기후위기 및 디지털 포용성 등 지역 문제에 대응하기 위한 스마트도시 챌린지 사업(20) 등을 핵심 전략으로 포함하고 있는 것으로 나타났다.

에너지 토픽에서 할당확률이 높은 키워드로는 ‘산업’, ‘기후위기’, ‘거버넌스’가 나타났으며, 이어서 ‘환경’, ‘탄소중립’, ‘민간’이 포함되었다. 특히, 해당 계획에서는 기존의 신도시형 스마트도시 개발 사업의 한계에 대응하기 위한 민간 혁신 및 민관 합동 SPC 거버넌스의 도입(26) 등이 강조되었다.

또한, 산업 토픽의 키워드로는 할당확률이 높은 순으로 ‘기업’, ‘산업’, ‘지역’, ‘국가’, ‘인공지능’, ‘시민’이 나타났다. 이는 민간 참여 측면에서, 스마트도시 산업생태계의 활성화를 위한 어반테크 기업의 육성(41)과 인공지능, 사물인터넷 등 디지털 사회로의 전환에 따른 노동시장 구조 및 직업사회 변화 대응(4)과 관련이 있는 것으로 나타났다.

마지막으로, 공간 토픽에서 할당확률이 높은 키워드로는 ‘네트워크’, ‘기후위기’, ‘공간’이 나타났으며, 이어서 ‘국가’, ‘환경’, ‘오픈소스’가 포함되었다. 제4차 종합계획에서는 공간정보 측면에서 온실가스 감축을 위한 탄소공간지도 기반의 계획 지원 기술 개발(21)과 환경, 교통 등 다양한 분야의 정밀 공간 정보를 수집하기 위한 네트워크 기술 개발(37) 등이 포함되었다.

Table 7. Topic modeling results of the 4th comprehensive smart city plan

Topic 1	Topic 2	Topic 3	Topic 4	Topic 5
Innovation	Settlement	Energy	Industry	Space
Metropolitan (0.188)	Region (0.176)	Industry (0.133)	Company (0.265)	Network (0.176)
Specialized complex (0.111)	Carbon neutral (0.104)	Climate crisis (0.126)	Industry (0.144)	Climate crisis (0.160)
Government (0.103)	Citizen (0.099)	Governance (0.120)	Region (0.102)	Space (0.158)
Infrastructure (0.079)	Autonomous driving (0.094)	Environment (0.101)	Nation (0.097)	Nation (0.107)
Sustainability (0.070)	Robot (0.084)	Carbon neutral (0.077)	AI (0.076)	Environment (0.081)
Region (0.062)	Sandbox (0.083)	Private sector (0.063)	Citizen (0.045)	Open source (0.045)

Note: Shading represents keywords shared across multiple topics; the darker the shading, the higher the frequency of overlap (2–3 occurrences).

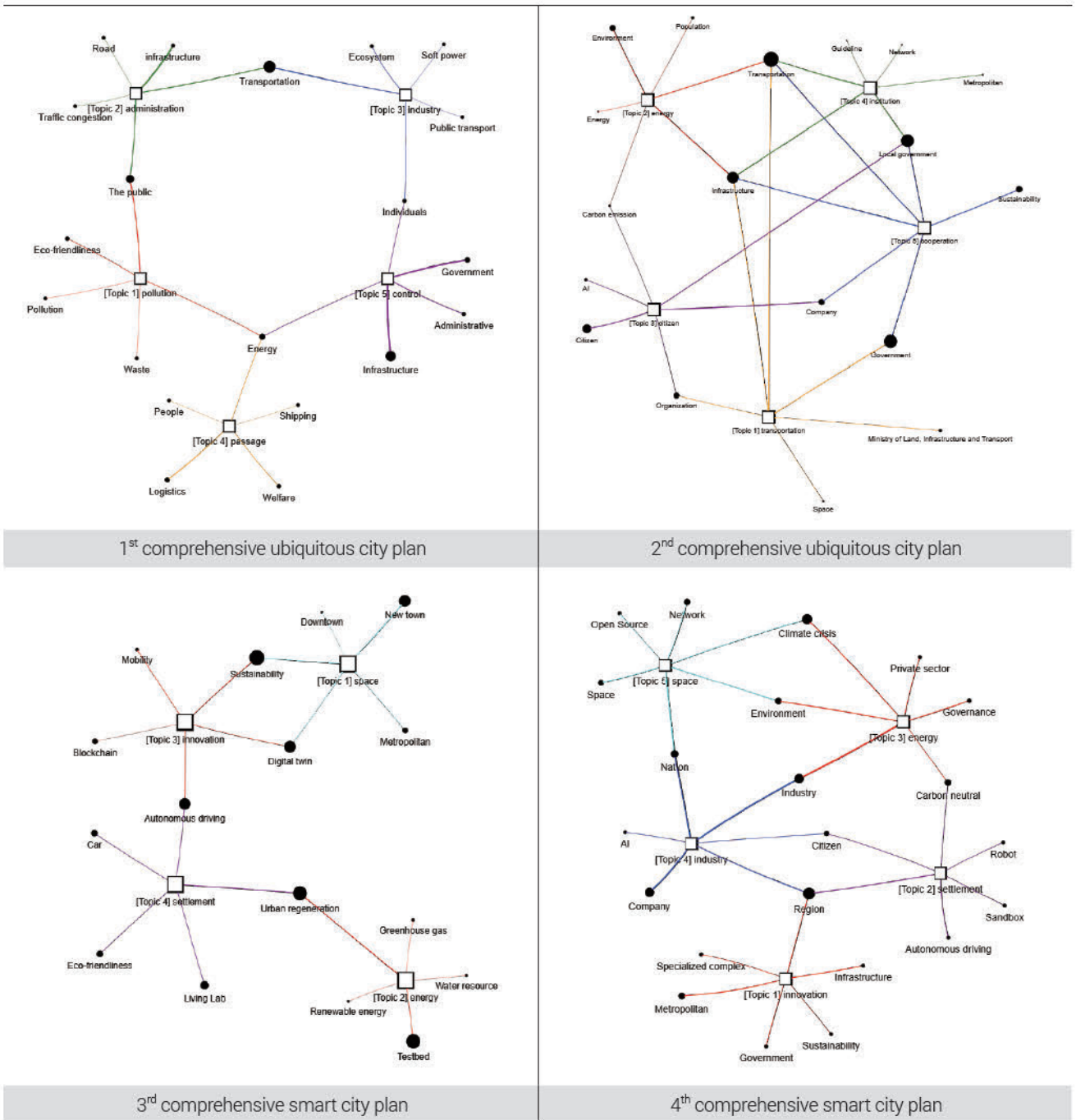


Figure 3. Comparison of topic modeling results from the 1st to 4th comprehensive plans

Note: Nodes in shades of gray (from light gray to black) represent keywords shared across topics, with darker colors indicating higher frequencies of overlap (2–4 occurrences). Edges connecting the nodes represent topic assignment probabilities, where thicker lines indicate higher probabilities (ranging from 0.0268 to 0.4369).

스마트도시 구성요소(환경, 경제, 사람, 생활, 모빌리티, 거버넌스)와 비교할 때, 제4차 종합계획에서는 에너지(Topic 3)와 공간(Topic 5)을 중심으로 환경 요소가 도출되었으며, 혁신(Topic 1) 및 산업(Topic 4)을 중심으로 경제 요소가 나타났다. 더불어, 생활 요소의 경우, 지역, 시민 등으로 구성된 정주 토픽(Topic 2)과 관련성이 높은 것으로 나타났다. <Figure 3>은 제1차~4차 종합계획의 토픽모델링 결과를 종합하여 나타낸다.

5. 종합 및 토의

<Table 8>은 발전단계별 스마트도시 종합계획의 구성요소별 토픽을 나타낸다. 분석 결과, 모든 발전단계에서 공통적으로 나타난 구성요소로는 환경이 있으며, 기후위기, 탄소중립, 신재생 에너지 등의 키워드를 중심으로 한 에너지 토픽이 강조되었다. 이는 유럽형 스마트도시 모델과 유사하게 국내 스

마트도시가 환경문제의 체계적 대응을 위한 첨단기술의 활용

Table 8. Comparison of smart city components and topic modeling results

Category	Environment	Economy	People	Living	Mobility	Governance	Others
1 st comprehensive plan (1.0~2.0)	Pollution	Industry	-	-	Passage	-	Administration, Control
2 nd comprehensive plan (1.0~2.0)	Energy	-	-	Citizen	Transportation	Cooperation	Institution
3 rd comprehensive plan (2.0)	Energy	Innovation	-	Settlement	-	-	Space
4 th comprehensive plan (2.0~3.0)	Energy, Space	Innovation, Industry	-	Settlement	-	-	-

을 주요 전략으로 적용하고 있는 것을 알 수 있다(국토교통부, 2019).

스마트도시 1.0~2.0 단계에서는 모빌리티가 공통 구성요소로 나타났으며, 제1차 종합계획의 통행 및 물류에서 제2차 종합계획의 교통 인프라로 범위가 확장되었다는 특징을 보인다. 또한, 기타 구성요소로는 행정, 제도 등의 토픽이 공통적으로 포함되어 초기 단계의 스마트도시 구축을 위한 제도적 기반이 주요 내용으로 다뤄진 것을 알 수 있다(박찬호 외, 2010). 제1차 종합계획의 문제점으로 제기된 시민참여 및 거버넌스의 경우(장환영·김남곤, 2017), 후속 계획인 제2차 종합계획에서 각각 생활 요소와 거버넌스 요소로 다뤄지고 있어 시민 체감형 서비스 발굴과 의사결정 체계 구축을 위한 계획내용이 강조된 것을 알 수 있다.

또한, 스마트도시 2.0 단계인 제3차 종합계획의 경제 요소로 나타난 혁신은 제1차 종합계획의 산업 토픽이 확장되었다는 특징을 보인다. 이는 제3차 종합계획에서 혁신성장효과가 높은 디지털 기술 분야의 신산업 육성이 강조되었기 때문으로 보인다(김승래·이운환, 2019). 더불어, 스마트도시 2.0 단계의 생활 요소로는 정주가 나타났으며, 이전 단계의 서비스 이용자로서의 시민 토픽과 비교할 때 참여를 바탕으로 정주 문제에 대한 솔루션을 공동으로 발굴하는 시민으로서의 역할 차이를 보인다(지상태 외, 2021). 마지막으로, 스마트도시 1.0~2.0 단계에서 기타 구성요소는 행정, 제도 등 시스템을 중심으로 도출되었으나, 스마트도시 2.0 단계에서는 신도시, 도심 등 실제 공간을 대상으로 한 개발 관련 키워드가 강조되었다는 차이를 보인다. 이러한 결과는 제3차 종합계획의 추진 과제로 도시의 성장 단계에 따른 맞춤형 스마트도시 모델 조성이 포함되면서 기존 도시, 노후 도시, 국가시범도시 등 공간 특성을 반영한 스마트화 전략이 반영된 것으로 보인다(국토교통부, 2019).

마지막으로, 스마트도시 2.0~3.0 단계의 제4차 종합계획에서는 제3차 종합계획의 공간 토픽이 환경 요소로 다뤄졌다는 차이를 보인다. 이는 제4차 종합계획에서 탄소공간지도 등 환경계획의 공간화가 강조되었기 때문으로 여겨진다(국토교통부, 2024).

또한, 경제 요소로는 제1차 종합계획의 산업 토픽과 제3차 종합계획의 혁신 토픽이 모두 포함되었으며, 제4차 종합계획의 주요 추진 과제로 신산업 규제 특례(규제 혁신)를 통한 산업생태계 조성이 다뤄지고 있기 때문으로 생각된다(정영준 외, 2025).

반면, 모든 발전단계에 포함되지 않은 구성요소로는 사람이, 제2차 종합계획에만 포함된 구성요소로는 거버넌스가 나타났다. 스마트도시 구성요소 중 사람 및 거버넌스는 교육, 참여, 전자 민주주의와 관련된 요소로(Lombardi et al., 2012), 국내 스마트도시의 추진방향이 시민 중심의 상향식 모델로 점차 변화하고 있으나(이창현, 2023) 현재까지의 계획 내용은 환경, 경제, 생활, 모빌리티 등 개발 및 산업 관련 요소가 상대적으로 강조되는 것을 알 수 있다.

종합하면, 스마트도시 발전단계 전반에 걸쳐 나타난 구성요소로는 환경, 경제, 생활이 있으며, 대부분의(또는 모든) 발전단계에서 포함되지 않은 구성요소로는 사람, 거버넌스가 나타났다. 또한, 초기 발전단계(스마트도시 1.0~2.0)에서는 모빌리티 요소가 주요하게 다뤄졌으며 기타 구성요소로 행정, 제도 등이 포함되었다. 이와 비교할 때, 이후 발전단계에서는 상대적으로 생활 요소의 중요도가 강조되었으며, 스마트도시 2.0에서는 기타 구성요소로 공간이 나타났다는 차이를 보인다.

따라서, 향후에는 스마트도시의 균형적인 발전을 위해 사람 및 거버넌스 요소를 핵심으로 하는 추진과제를 수립할 필요가 있다. 특히, 시민 및 거버넌스는 스마트도시 3.0의 핵심 가치로(Cohen, 2015), 참여 및 협업을 통해 정책 및 기술로는 해결이 어려운 도시 문제에 공동으로 대응하기 위한 디지털 플랫폼의 활용이 요구된다. 나아가, 스마트 어바니즘 측면에서 사람(이용자)의 실천을 중심으로 하는 스마트 기술의 활용을 통해 도시의 포용성을 증진시킬 필요가 있다(양희진·박혜정, 2024). 대표적으로, 바르셀로나의 경우, 디지털 도시계획을 통해 디지털 임파워먼트를 주요 목적으로 설정하고 1) 교육 및 디지털 기술의 촉진, 2) 디지털 포용성 향상, 3) 민주주의 및 디지털 권리 진작을 위한 실행과제를 추진한 바 있다(Ajuntament de Barcelona, 2015).

더불어, 제1~3차 종합계획과 비교할 때 가장 최근의 제4차 종합계획에서는 단일 구성요소에 대해 복수의 토픽이 다뤄지고 있다는 특징을 보인다. 이는 하나의 구성요소에 다양한 부문의 접근이 종합적으로 적용되어 계획의 실효성을 높이기 위한 기회요인으로 이해될 수 있다. 특히, 환경 요소의 경우 에너지 및 공간 토픽에서 기후위기를 공통 키워드로 포함하고 있으므로, 일본 센다이시의 에코모델타운 추진사업과 같이 에너지의 자급 자족을 위한 지역 단위의 공간개발 사업이 적용될 수 있다(임화진 외, 2020). 또한, 경제 요소는 산업 및 혁신 토픽에서 지역을 공통 키워드로 포함하므로, 향후에는 산업 기반의 스마트도시 비즈니스 모델에 지역사회 문제 해결형 실험과 같은 혁신적 요소(김상민·임태경, 2020)를 결합하는 접근이 요구된다.

나아가, 현재 국내 스마트도시계획은 스마트도시 2.0에서 3.0로의 전환기에 있으나, 스마트도시 분야의 빠른 성장세를 고려할 때 스마트도시의 중장기 발전 로드맵을 마련하여 스마트도시 4.0의 비전에 점진적으로 대응할 필요가 있다. 스마트도시 4.0은 개별 시민을 넘어서 커뮤니티 단위의 계획, 운영, 관리 체계를 기반으로 하므로(Cohen, 2015), 이를 위한 집단지성과 공동 실천이 요구된다. 현재 국내 스마트도시계획은 공간 모델의 확산, 국내 모델의 해외 수출, 산업생태계 조성 등에 초점이 있으므로, 향후에는 커뮤니티 단위에서 스마트 인프라 및 서비스를 기반으로 생활양식의 변화를 추구할 수 있는 스마트 문화 사업이 요구된다.

V. 결론

기후위기, 지역소멸, 디지털 전환 등 도시환경 변화에 대응하기 위한 제4차 스마트도시 종합계획이 수립됨에 따라, 도시계획 관점에서 스마트도시 활성화를 위한 관심이 높아지고 있다. 이에, 본 연구에서는 제1차~4차 스마트도시 종합계획을 대상으로 토픽모델링을 사용하여 스마트도시의 발전단계에 따른 구성요소 변화를 분석하였다. 각 계획의 발전단계는 선행연구 검토 결과 및 계획별 특징을 종합하여 제1차~2차 종합계획은 스마트도시 1.0~2.0 단계로, 제3차 종합계획은 스마트도시 2.0 단계로, 제4차 종합계획은 스마트도시 2.0~3.0 단계로 설정하여 분석을 수행하였다.

분석 결과, 제1차 종합계획에서는 오염, 행정, 산업, 통행, 관계의 5개 토픽이 도출되었다. 스마트도시 구성요소와 비교할 때, 제1차 종합계획의 환경 요소로는 오염이, 경제 요소로는 산업이, 모빌리티 요소로는 통행이, 기타 구성요소로는 행정 및 관계가 나타났다. 둘째로, 제2차 종합계획의 토픽으로는 교통, 에너지, 시민, 협력, 제도의 4개가 도출되었으며, 각각 모빌리티 요소, 환경 요소, 생활 요소, 거버넌스 요소, 기타 구성요소와 연관성이 높은 것으로 나타났다.

또한, 제3차 종합계획의 분석 결과, 공간, 에너지, 혁신, 정주

의 4개 토픽이 도출되었다. 구성요소로는 환경 요소로는 에너지가, 경제 요소로는 혁신이, 생활 요소로는 정주가, 기타 구성요소로는 공간이 나타났다. 마지막으로, 제4차 종합계획에서는 혁신, 정주, 에너지, 산업, 공간의 5개 토픽이 도출되었으며, 혁신 및 산업은 경제 요소와, 에너지 및 공간은 환경 요소와, 정주는 생활 요소와 관련성이 높게 나타났다.

종합하면, 스마트도시 발전단계 전반에 걸쳐 나타난 구성요소로는 환경, 경제, 생활이 있으며, 대부분의 발전단계에서 포함되지 않은 구성요소로는 사람, 거버넌스가 나타났다. 이상의 결과를 바탕으로, 사람 및 거버넌스 요소를 핵심으로 다루는 추진과제의 수립과 환경 및 경제 요소를 중심으로 하는 부문간 융합사업의 추진을 향후 국내 스마트도시의 과제로 제시하였다.

본 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째로, 스마트도시 및 인접 분야의 전문가를 대상으로 인터뷰를 수행하여 토픽모델링 결과의 타당성을 검증하고, 분석결과를 확장하는 후속연구가 요구된다. 특히, 각 스마트도시 종합계획이 수립될 당시의 국가적, 기술적 상황을 중심으로 발전단계의 변화를 심층적으로 검토하고, 국내 스마트도시 맥락에 적합한 발전단계의 구분 기준을 제시할 수 있다. 둘째로, 분석 자료로 제1차~4차 스마트도시 종합계획 보고서 자료를 활용하였으나, 구성요소의 변화를 보다 세부적으로 분석하기 위해서는 법정계획 이외의 관련 정책 문서를 분석하여 결과를 비교 검토할 필요가 있다. 마지막으로, 향후에는 계획 기간(제1차~4차)별로 스마트도시계획을 수립한 지자체를 선정하여 국가 계획과 지자체 계획의 구성요소를 비교함으로써, 상위 계획과 하위 계획 간의 정합성을 검토하는 연구가 요구된다. 이를 통해, 다양한 위계의 스마트도시계획에서 나타나는 시계열적 특징을 검토할 수 있다.

주1. 「스마트도시 조성 및 산업진흥 등에 관한 법률」을 근거로 5년 단위로 수립되는 스마트도시 종합계획은 스마트도시의 조성, 관리, 운영을 위한 기본방향, 단계별 추진전략, 법·제도의 정비에 관한 사항 등을 다룬다. 해당 계획은 국가 계획으로서 지자체 스마트도시계획, 스마트도시건설사업 실시계획 등에 대한 상위 계획으로서 정책적 위상을 지닌다(스마트도시 조성 및 산업진흥 등에 관한 법률 제4조).

주2. 파이썬의 pdfplumber는 PDF 파일 내 페이지를 영역별로 파싱(Parsing)하여 이미지, 표 및 각주 등 구성요소를 구조적으로 분석하고 추출하는 기능을 제공한다. 본 연구에서는 pdfplumber 0.11.5를 기준으로 전처리를 수행하였다.

주3. w_{ij} 는 문서 j 내 용어 i 의 가중치이며, N 은 문서 집합 내의 문서 수, f_{ij} 는 문서 j 에서 용어 i 의 빈도, df_i 는 문서 집합 내에서 용어 i 가 등장하는 문서 수를 의미한다.

주4. θ 는 k -차원 확률 벡터이며 α 는 디리클레 분포의 하이퍼파라미터로서 α_i 값은 θ 의 i -번째에 해당하는 성분의 출현 빈도를 결정한다. 이에 따라 α 값을 통해 문서 내 특정 토픽이 얼마나 자주 노출되는지를 제어할 수 있다.

주5. 본 장에서 괄호 안 숫자는 해당 내용을 포함하고 있는 보고서의 페이지 번호를 나타낸다.

인용문헌 References

1. 국토교통부, 2019. 「제3차 스마트도시 종합계획(2019~2023)」, 세종.
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *The 3rd Comprehensive Plan for Smart City*, Sejong.
2. 국토교통부, 2024. 「제4차 스마트도시 종합계획(안)(2024~2028)」, 세종.
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *The 4th Comprehensive Plan for Smart City*, Sejong.
3. 김상민·임태경, 2020. 「지방자치단체의 스마트시티 혁신 정책 추진 방향-스마트시티와 사회혁신의 융합적 접근 모색」, 원주: 한국지방행정연구원.
Kim, S.M. and Lim, T.K., 2020. *Policy Directions for smart City Innovation in Local Governments: A Convergent Approach of Smart Cities and Social Innovation*, Wonju: Korea Research Institute for Local Administration.
4. 김승래·이윤환, 2019. 「스마트시티 구축에 관한 정책과 법제연구」, 「법학연구」, 19(4): 163-202.
Kim, S.R. and Lee, Y.H., 2019. "Policy and Legislative Studies on Smart City Construction", *Law Review*, 19(4): 163-202.
5. 김홍광·이미숙, 2018. 「사회연결망 분석을 활용한 스마트도시종합계획과 스마트도시계획간 연결성 연구: 광명시와 춘천시의 스마트도시 서비스를 중심으로」, 「한국측량학회지」, 36(6): 601-609.
Kim, H.G. and Yi, M.S., 2018. "A Study on the Connectivity between the Smart City Comprehensive Plan and Smart City Planning Using the Social Network Analysis - Focusing on Gwangmyeong and Chuncheon Smart City Services", *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, 36(6): 601-609.
6. 김효관·황원용, 2020. 「파이썬 활용한 데이터 처리 성능 향상방법 제안」, 「한국정보전자통신기술학회 논문지」, 13(4): 306-311.
Kim, H.G. and Hwang, W.Y., 2020. "Proposal For Improving Data Processing Performance Using Python", *Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology*, 13(4): 306-311.
7. 박기창·김형관, 2021. 「텍스트마이닝을 이용한 건설공사 위험요소의 계절별 중요도 분석」, 「대한토목학회논문집」, 41(3): 305-316.
Park, K.C. and Kim, H.K., 2021. "Analysis of Seasonal Importance of Construction Hazards Using Text Mining", *Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, 41(3): 305-316.
8. 박은정·조성준, 2014. 「KoNLPy: 쉽고 간결한 한국어 정보처리 파이썬 패키지」, 제26회 한글 및 한국어 정보처리 학술대회, 춘천: 강원대학교.
Park, E.L. and Cho, S., 2014. "KoNLPy: Korean natural language processing in Python", Proceedings of the 26th Annual Conference on Human & Cognitive Language Technology, Chuncheon: Kangwon National University.
9. 박찬호·이재석·신동빈·김정훈, 2010. 「유비쿼터스도시계획과 관련계획의 비교연구」, 「대한공간정보학회지」, 18(1): 99-109.
Park, C.H., Lee, J.S., Shin, D.B., and Kim, J.H., 2010. "Comparative Study Between U-City Plan and Related Plans", *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, 18(1): 99-109.
10. 박준형·오효정, 2017. 「국내 기록관리학 연구동향 분석을 위한 토픽모델링 기법 비교: LDA와 HDP를 중심으로」, 「한국도서관·정보학회지」, 48(4): 235-258.
Park, J.H. and Oh, H.J., 2017. "Comparison of Topic Modeling Methods for Analyzing Research Trends of Archives Management in Korea: Focused on LDA and HDP", *Journal of Korean Library and Information Science Society*, 48(4): 235-258.
11. 서형준, 2023. 「텍스트 마이닝을 활용한 지방정부의 지역 스마트 시티계획 분석」, 「한국정책과학학회보」, 27(2): 129-158.
Seo, H.J., 2023. "Analysis on Local Smart City Plan of Local Government Using Text Mining", *Korean Policy Sciences Review*, 27(2): 129-158.
12. 양연희·권영주·이상철, 2019. 「토픽모델링과 네트워크 분석을 활용한 공공갈등 연구경향 분석」, 「지방정부연구」, 23(3): 427-450.
Yang, Y.H., Kwon, Y.J., and Lee, S.C., 2019. "Research Trends Analyses on Public Conflicts through Topic Modeling and Network Analysis", *The Korean Journal of Local Government Studies*, 23(3): 427-450.
13. 양희진·박혜정, 2024. 「스마트 어바니즘의 이론적·실천적 고찰: 스마트 기술을 이용한 공간 포용성의 증진」, 「국토계획」, 59(6): 55-65.
Yang, H.J. and Park, H.J., 2024. "Theoretical and Practical Reflections on Smart Urbanism: Promoting Spatial Inclusiveness with Smart Technologies", *Journal of Korea Planning Association*, 59(6): 55-65.
14. 이경건·하희수·홍훈기·김희백, 2018. 「머신 러닝을 활용한 과학 논문 구성 요소 코딩 자동화 기능성 탐색 연구」, 「한국과학교육학회지」, 38(2): 219-234.
Lee, G.G., Ha, H.S., Hong, H.G., and Kim, H.B., 2018. "Exploratory Research on Automating the Analysis of Scientific Argumentation Using Machine Learning", *Journal of the Korean Association for Science Education*, 38(2): 219-234.
15. 이나경, 2024. 「지속가능성 측면에서 본 지역 스마트도시계획 분석: 국가시범도시, 저점형, 강소형 스마트도시를 중심으로」, 「한국정책과학학회보」, 28(4): 107-129.
Lee, N.K., 2024. "A Study on the Smart City Planning of the Region in terms of Sustainability: Focusing on National Pilot Cities, Base Types, Small but Strong Types", *Korean Policy Sciences Review*, 28(4): 107-129.
16. 이대영·이현숙, 2021. 「LDA 토픽 모델링의 적정 수 결정 방법 탐색: 혼합도와 조화평균법 활용을 중심으로」, 「교육평가연구」, 34(1): 1-30.
Lee, D.Y. and Yi, H.S., 2021. "Exploring Methods for Determining the Appropriate Number of Topics in LDA: Focusing on Perplexity and Harmonic Mean Method", *Journal of Educational Evaluation*, 34(1): 1-30.
17. 이수상, 2016. 「독후감 텍스트의 토픽모델링 적용에 관한 탐색적 연구」, 「한국도서관·정보학회지」, 47(4): 1-18.
Lee, S.S., 2016. "A Study on the Application of Topic Modeling for the Book Report Text", *Journal of Korean Library and Information Science Society*, 47(4): 1-18.

18. 이수환·송기상, 2023. “생성형 인공지능의 교육적 활용에 대한 국내 연구 동향 탐색”, 『컴퓨터교육학회 논문지』, 26(6): 15-27.
Lee, S.H. and Song, K.S., 2023. “Exploration of Domestic Research Trends on Educational Utilization of Generative Artificial Intelligence”, *The Journal of Korean Association of Computer Education*, 26(6): 15-27.
19. 이용구·김선옥, 2024. “LDA, Top2Vec, BERTopic 모형의 토픽 모델링 비교 연구-국의 문헌정보학 분야를 중심으로-”, 『한국문헌정보학회지』, 58(1): 5-30.
Lee, Y.G. and Kim, S.W., 2024. “A Comparative Study on Topic Modeling of LDA, Top2Vec, and BERTopic Models Using LIS Journals in WoS”, *Journal of the Korean Society for Library and Information Science*, 58(1): 5-30.
20. 이창현, 2023. “시민참여 기반의 스마트시티 구축을 위한 주민참여 플랫폼 운영진단 및 개선방안 연구”, 『국토계획』, 58(6): 73-84.
Lee, C.H., 2023. “Assessment and Improvement Measures for Online Participation Platforms for Citizen-Engaged Smart City Development”, *Journal of Korea Planning Association*, 58(6): 73-84.
21. 임현열, 2023. “조사 분포의 계량적 측정을 통한 정보 탐색 연구-구어성 텍스트와 문어성 텍스트의 특성 비교-”, 『어문론집』, 95: 113-138.
Im, H.Y., 2023. “Quantitative Analysis of Particle Distribution: Comparative Traits in Spoken and Written Texts”, *The Journal of Lang. & Lit.*, 95: 113-138.
22. 임화진·류현영·이정찬, 2020. “한일 스마트시티의 분야별 사례와 추진전략에 관한 비교 연구”, 『국토계획』, 55(2): 143-155.
Lim, H.J., Ryu, H.Y., and Lee, J.C., 2020. “A Comparative Study of Smart City Projects and Strategies in Korea and Japan”, *Journal of Korea Planning Association*, 55(2): 143-155.
23. 장환영·김남곤, 2017. “스마트시티 거버넌스와 부처 간 협력방향에 관한 연구: 국토교통부와 미래창조과학부를 중심으로: 국토교통부와 미래창조과학부를 중심으로”, 『한국콘텐츠학회논문지』, 17(5): 430-439.
Jang, H.Y. and Kim, N.G., 2017. “A Study on Smart City Governance and Collaboration Direction of Government Departments: Focus on MOLIT and MSIP”, *The Journal of the Korea Contents Association*, 17(5): 430-439.
24. 장석길·김태형, 2023a. “스마트도시 계획요소 분석: 스마트도시 국가 종합계획과 지역계획의 비교를 중심으로”, 『도시행정학보』, 36(3): 123-145.
Jang, S.G.D. and Gim, T.H.T., 2023a. “Smart City Planning Elements: Analyzing the Consistency between the National Comprehensive Plan and Municipality-Level Plans in Certified Cities”, *Journal of The Korean Urban Management Association*, 36(3): 123-145.
25. 장석길·김태형, 2023b. “지속가능한 스마트도시의 지속가능성 요소 분석: 국내 정부출연연구기관 연구보고서 및 서울시 스마트도시 및 정보화 기본(시행) 계획을 중심으로”, 『한국지역개발학회지』, 35(5): 1-25.
Jang, S.G.D. and Gim, T.H.T., 2023b. “Sustainability Elements of the Sustainable Smart City”, *Journal of The Korean Regional Development Association*, 35(5): 1-25.
26. 장석길·양지혜·김태형, 2024. “지방소멸 대응 정책의 특징 및 변화 분석: 일본의 마을·사람·일자리 창생 종합전략 및 기본방침을 사례로”, 『지역연구』, 40(1): 37-51.
Jang, S.G.D., Yang, J.H., and Gim, T.H.T., 2024. “Characteristics and Changes of Policy Responses to Local Extinction: A Case of Comprehensive Strategy and Basic Policy on Community-Population-Job Creation in Japan”, *Journal of the Korean Regional Science Association*, 40(1): 37-51.
27. 장환영·김길, 2024. “한국 스마트도시의 발전과정과 수준 진단을 통한 정책방향 연구”, 『대한공간정보학회지』, 32(3): 65-76.
Jang, H.Y. and Kim, K., 2024. “A Study on Policy Directions through Diagnosing the Development Processes and the Levels of Korean Smart Cities”, *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, 32(3): 65-76.
28. 정다래·한승균·장은교·김도년, 2020. “혁신지구의 스마트시티 계획 요소에 관한 연구-보스턴, 런던, 뉴욕 사례를 중심으로-”, 『서울도시연구』, 21(3): 43-63.
Jung, D.R., Han, S.Y., Jang, E.K., and Kim, D.N., 2020. “A Study on Smart City Planning Components in Innovation District - Focused on Cases of Boston, London, and New York -”, *Seoul Studies*, 21(3): 43-63.
29. 정영준·이서은·우정현, 2025. “보행친화적 스마트시티의 보행환경 계획을 위한 평가 지표 연구-전문가 AHP 분석을 통한 스마트시티 보행환경 개선 제안”, 『한국도시설계학회지 도시설계』, 26(1): 131-147.
Jung, Y.J., Lee, S.E. and Woo, J.H., 2025. “Research on Evaluation Indicators for Pedestrian Environment Planning in Pedestrian-Friendly Smart Cities - Recommendations for Improving Smart Pedestrian Environments through Expert AHP analysis”, *Journal of The Urban Design Institute of Korea*, 26(1): 131-147.
30. 정종근·이명훈, 2024. “스마트시티 포용성 구성 계획요소의 중요도 분석: 서울시 25 개 자치구를 중심으로”, 『한국콘텐츠학회논문지』, 24(10): 609-625.
Jung, J.K. and Lee, M.H., 2024. “Analysis of the Importance of Smart City Inclusion Planning Components: Focusing on 25 Autonomous Districts in Seoul”, *The Journal of the Korea Contents Association*, 24(10): 609-625.
31. 지상태·박준호·박정우·남광우, 2021. “스마트도시서비스 공동창의자로서의 시민 역할 강화 방안-기능카드 기법 개발을 중심으로”, 『한국지리정보학회지』, 24(2): 1-11.
Ji, S.T., Park, J.H., Park, J.W., and Nam, K.W., 2021. “A Plan to Strengthen the Role of Citizens as Co-Creators of Smart City Services - Focused on the Development of Function Issue Card Technology -”, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 24(2): 1-11.
32. 채윤식·이상훈, 2018. “텍스트 마이닝을 이용한 스마트 도시계획 수립을 위한 전략분야 도출연구: 부산 사례를 바탕으로”, 『디지털융복합연구』, 16(11): 1-11.
Chae, Y.S. and Lee, S.H., 2018. “Identification of Strategic Fields for Developing Smart City in Busan Using Text Mining”, *Journal of Digital Convergence*, 16(11): 1-11.
33. Albino, V., Berardi, U., and Dangelico, R.M., 2015. “Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives”, *Journal of Urban Technology*, 22(1): 3-21.
34. Aizawa, A., 2003. “An Information-theoretic Perspective of TF-idf Measures”, *Information Processing & Management*, 39(1):

- 45-65.
35. Ajuntament de Barcelona, 2015. *Barcelona Digital City: Putting Technology at the Service of People*, Barcelona.
 36. Blei, D.M., Ng, A.Y., and Jordan, M.I., 2003. "Latent dirichlet allocation", *Journal of Machine Learning Research*, 3: 993-1022.
 37. Chauhan, U. and Shah, A., 2021. "Topic Modeling Using Latent Dirichlet Allocation: A Survey", *ACM Computing Surveys*, 54(7): 1-35.
 38. Cheng, X., Shuai, C., Liu, J., Wang, J., Liu, Y., Li, W., and Shuai, J., 2018. "Topic modelling of Ecology, Environment and Poverty Nexus: An Integrated Framework", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 267: 1-14.
 39. Fernandez-Anez, V., Fernández-Güell, J.M., and Giffinger, R., 2018. "Smart City Implementation and Discourses: An Integrated Conceptual Model. The Case of Vienna", *Cities*, 78: 4-16.
 40. Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., and Meijers, E.J., 2007. *Smart Cities. Ranking of European Medium-sized Cities. Final Report*, Vienna: UT: Centre of Regional Science.
 41. Jang, S.G. and Gim, T.H.T., 2022. "Considerations for Encouraging Citizen Participation by Information-disadvantaged Groups in Smart Cities", *Sustainable Cities and Society*, 76: 103437.
 42. Lombardi, P., Giordano, S., Farouh, H., and Yousef, W., 2012. "Modelling the Smart City Performance", *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 25(2): 137-149.
 43. Lutz, M., 2013. *Learning python: Powerful Object-oriented Programming*, O'Reilly Media Inc.
 44. Liu, D., Morimoto, A., and Kitano, N., 2021. "Comparison of Smart City Development in Japan and China by Text Mining Analysis", Paper presented at the International Conference on Internet of Things and Smart City, Kunming, China.
 45. Makiela, Z.J., Stuss, M.M., Mucha-Kuś, K., Kinelski, G., Budziński, M., and Michalek, J., 2022. "Smart City 4.0: Sustainable Urban Development in the Metropolis GZM", *Sustainability*, 14(6): 3516.
 46. Nam, T. and Pardo, T.A., 2011. "Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions", Paper presented at the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times, Maryland: USA.
 47. Prasad, D. and Alizadeh, T., 2020. "What Makes Indian Cities Smart? A Policy Analysis of Smart Cities Mission", *Telematics and Informatics*, 55: 101466.
 48. Rivera, N.V., Gómez-Sanchis, J., Chanona-Pérez, J., Carrasco, J.J., Millán-Giraldo, M., Lorente, D., and Blasco, J., 2014. "Early Detection of Mechanical Damage in Mango Using NIR Hyperspectral Images and Machine Learning", *Biosystems Engineering*, 122: 91-98.
 49. Řehůřek, R. and Sojka, P., 2011. "Gensim-python Framework for Vector Space Modelling", *NLP Centre, Faculty of Informatics, Masaryk University, Brno, Czech Republic*, 3(2): 2.
 50. Sadamitsu, K., Mishina, T., and Yamamoto, M., 2007. "Topic-based Language Models Using Dirichlet Mixtures", *Systems and Computers in Japan*, 38(12): 76-85.
 51. Sparck, J.K., 1972. "A Tatistical Interpretation of Term Specificity and Its Application in Retrieval", *Journal of Documentation*, 28(1): 11-21.
 52. Thorleuchter, D. and Van den Poel, D., 2013. "Weak Signal Identification with Semantic Web Mining", *Expert Systems with Applications*, 40(12): 4978-4985.
 53. Vel, S.S., 2021. "Pre-processing techniques of text mining using computational linguistics and python libraries", Paper presented at the 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems, Coimbatore: JCT College of Engineering and Technology, Coimbatore, India.
 54. Vanolo, A., 2014. "Smartmentality: The Smart City as Disciplinary Strategy", *Urban Studies*, 51(5): 883-898.
 55. Vayansky, I. and Kumar, S.A., 2020. "A review of topic modeling methods", *Information Systems*, 94: 101582.
 56. Wahid, J.A., Shi, L., Gao, Y., Yang, B., Wei, L., Tao, Y., and Yagoub, I., 2022. "Topic2Labels: A Framework to Annotate and Classify the Social Media Data through LDA Topics and Deep Learning Models for Crisis Response", *Expert Systems with Applications*, 195: 116562.
 57. Washburn, D., Sindhu, U., Balaouras, S., Dines, R.A., Hayes, N., and Nelson, L.E., 2010. *Helping CIOs Understand "Smart City" Initiatives*, Cambridge, MA: Forrester Research, Inc.
 58. Yun, Y. and Lee, M., 2019. "Smart City 4.0 from the Perspective of Open Innovation", *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 5(4): 92.
 59. Zwick, A. and Spicer, Z., 2024. "Examining the Smart City Generational Model: Conceptualizations, Implementations, and Infrastructure Canada's Smart City Challenge", *Urban Affairs Review*, 60(4): 1229-1253.
 60. Zhang, W., Yoshida, T., and Tang, X., 2011. "A Comparative Study of TF* IDF, LSI and Multi-words for Text Classification", *Expert Systems with Applications*, 38(3): 2758-2765.
 61. 심은지, 2025.03.16. "국토부, 2025년 스마트도시 조성·확산사업 공모", 한국경제, <https://www.hankyung.com/article/202503144887i>
 - Sim, E.J., 2025, March 16, "Ministry of Land, Infrastructure and Transport Invites Proposals for 2025 Smart City Development and Expansion Project", Korea Economic Daily, <https://www.hankyung.com/article/202503144887i>
 62. Cohen, B., 2015, Aug. 10. "The 3 Generations Of Smart Cities", Fastcompany Impact, <https://www.fastcompany.com/3047795/the-3-generations-of-smart-cities>

Date Received 2025-04-17
 Date Reviewed 2025-07-22
 Date Accepted 2025-07-22
 Date Revised 2025-07-24
 Final Received 2025-07-24