

인지된 경관 연결성과 인구변화로 본 도시화 양식 비교 연구[†]

- 화성시 동탄 2기 신도시와 봉담읍을 대상으로 -

Perceived Landscape Connectivity and Population Change across Two Urbanization Regimes[†]

- The Case of Dongtan 2 New Town and Bongdam-eup, Hwaseong-si -

전배석**

*서울대학교 환경계획연구소 연구원, **동경대학교 도시공학부 방문연구원

Jun, Baysok**

*Researcher, Environmental Planning Institute, Seoul National University, Korea

**Visiting Researcher, Department of Urban Engineering, The University of Tokyo, Japan

Received: May 19, 2026

Revised: June 26, 2026

Accepted: June 26, 2026

3인익명 심사필

Corresponding author :

Baysok Jun

Researcher, Environmental

Planning Institute, Seoul National

University, Seoul 08826, Korea

Tel.: +82-2-880-5654

E-mail: baysokjun@snu.ac.kr

국문초록

본 연구는 한국 수도권에서 동시에 진행되어 온 두 도시화 양식, 즉 마스터플랜형 신도시 개발과 분산 누적형 택지 개발이 주거환경에 미치는 영향을 격자 단위에서 비교하는 것을 목적으로 한다. 경기도 화성시의 동탄2기 신도시와 봉담읍을 사례지로 선정하고, 환경부 토지피복도(30m)와 통계청 100m 격자 인구자료(2014, 2019, 2024년)를 두 단계 집계(30m → 100m) 절차로 결합하여 격자별 인지된 경관 연결성(perceived landscape connectivity, 이하 PLC) 변수를 산출하였다. PLC는 주민이 일상 생활권에서 경관을 얼마나 끊임 없이 보고, 인지하고, 다가갈 수 있는지를 가리키는 개념이며, AI(aggregation index), Mean Contiguity, Contact Length 세 지표로 측정된다. 격자 단위 Δ인구-ΔPLC의 Spearman 상관관계를 세 시기(2014-2019, 2019-2024, 2014-2024)와 두 지역으로 비교한 결과, 다음 세 가지 발견이 도출되었다. 첫째, 부호 방향은 두 양식에서 공통적이었다. 인구가 증가한 격자에서 녹지 응집성은 함께 낮아지고 도시·녹지 접점은 함께 높아졌다. 둘째, 상관 강도와 강하게 드러나는 지표 조합은 양식별로 달랐다. 동탄2기 신도시는 녹지 응집성(AI_Gr_4 $\rho = -0.31$)과 도시·녹지 접점(CL_GG_4 $\rho = +0.42$)이 강하게 함께 움직였고, 봉담읍은 불투수면 면적(TA_G_8 $\rho = +0.34$)과 도시·농경지 접점(CL_GY_8 $\rho = -0.31$)이 더 뚜렷이 움직였다. 셋째, 동시변동(co-variation)의 정점이 양식별로 정반대 시기에 위치하였다. 동탄2기 신도시의 동시변동은 마스터플랜 가동기인 2014-2019 구간에 집중되었고, 봉담읍의 녹지 단편화는 분산 개발이 누적되는 2019-2024 구간에서 더 뚜렷해졌다. 본 연구는 행정단위가 아닌 도시화 양식의 격자 단위 비교, 토지피복도와 인구 격자의 해상도 차이를 보존하는 두 단계 집계 절차, 그리고 격자 단위 상관을 인과가 아닌 동시변동으로 해석하는 관점이라는 세 측면에서 국내 도시화 맥락의 실증 사례를 제공한다.

주제어: 연속적 경험, 주거환경, 도시근교, 인구감소, 체험형 녹지

ABSTRACT

This study compares two urbanization regimes that have unfolded in parallel in Korea's Capital Region, master-planned new-town development and dispersed incremental small-scale land development, through a grid-based analysis of the residential environment. The two case sites are Dongtan 2 New Town and Bongdam-eup, both located within Hwaseong-si, which allows province-level policy, labor-market, and natural environment conditions to be naturally controlled. Perceived Landscape Connectivity (PLC) is operationalized through three landscape indices, Aggregation Index (AI), Mean Contiguity (CONTIG_MN), and Contact Length (CL), computed for four simplified land-cover classes: Grey (impervious), Yellow (agricultural), Green (vegetation), and Blue (water). The Ministry of Environment 30 m land-cover map and Statistics Korea 100 m population grid (2014, 2019, 2024) were integrated via a two-step aggregation (30m → 100m) that preserved the original raster resolution while aligning with the population grid. Spearman correlations between Δpopulation and ΔPLC were estimated for three periods (2014-2019, 2019-2024, 2014-2024). Three findings emerged. First, the direction of co-variation was shared across regimes: where population increased, green-cover aggregation (AI_Gr_4) declined and the city-green contact length (CL_GG_4) lengthened, in both

[†]본 논문은 2026년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2026S1A5B5A16008082).

Dongtan 2 New Town ($\rho = -0.31; +0.42$) and Bongdam-eup ($\rho = -0.20; +0.28$). Second, the strength and the dominant index combination differed by regime: Dongtan 2 is driven by the AI_Gr / CL_GG pair, whereas Bongdam-eup is more strongly characterized by impervious-area expansion (TA_G_8, $\rho = +0.34$) and a shrinking city-farmland contact (CL_GY_8, $\rho = -0.31$), reflecting cumulative farmland encroachment by dispersed developments. Third, the temporal peak of co-variation is reversed: Dongtan 2 peaked during the active master-plan phase (2014–2019), while Bongdam-eup's green-cover fragmentation became sharper in the later cumulative phase (2019–2024). The study contributes to landscape research in three respects: comparing urbanization regimes within the same jurisdiction at the grid level, demonstrating a reproducible two-step 30m $\rightarrow$ 100m aggregation procedure, and framing grid-level associations as co-variation rather than causation.

Keywords: Continuous Experience, Residential Environment, Urban Fringe, Population Decline, Experiential Green Space

1. 서론

1.1 연구 배경

한국의 도시화는 1980년대 이후 수도권을 중심으로 빠르게 진행되어 왔다. 그 과정에서 녹지, 농경지, 수면과 같은 비도시 토지피복은 시가지로 전환되거나 작은 조각으로 분절되었다. 도시화가 진행된 지역에서는 인구가 증가한 자리와 녹지의 면적·연속성이 감소한 자리가 함께 움직이는 현상이 반복적으로 관찰된다(Forman, 1995; Liu et al., 2016; Chakraborty et al., 2022; Lookingbill et al., 2022; Sharma and Ghuge, 2025). 이러한 변화는 주민이 매일 보고 걷는 환경의 모습 자체를 바꾼다.

한국에서는 1993년 국토이용관리법(NLUMA) 개정 이후 수도권 외곽에 소규모 택지개발이 분산 누적되는 leap-frog 식 확장이 이어졌다(Cho, 2005). 2000년대 중반부터는 단일 마스터플랜으로 한꺼번에 조성된 2기 신도시가 등장하면서, 같은 광역권 안에서 두 종류의 도시화가 동시에 진행되었다. 두 양식이 만들어 내는 공간적 결과는 분명히 다르다. 계획형 도시화는 광역 토지이용 구조를 일시에 재편하는 방식이고, 택지개발형 도시화는 농경지·녹지 매트릭스에 작은 택지가 점적으로 끼어드는 분산 누적 방식이다.

국내 조정 분야에서도 신도시 환경을 다룬 연구가 누적되어 왔다. 김영민과 허윤선(2024)은 1·2기 신도시 9곳의 공원 이용자 만족도와 인식을 비교하여, 신도시 공원 만족도가 보행시설·식재·수경시설 같은 공간 구성 요소에 의해 좌우된다는 점을 보고하였다. 황해권과 손용훈(2024)은 분당구 근린공원의 보행접근성을 분석하면서, 신도시 환경이라는 사실만으로 공원 서비스의 형평성이 자동적으로 확보되지는 않는다는 점을 보였다. 이러한 연구는 신도시가 만들어 내는 거주환경을 공원과 보행 측면에서 다루어 왔지만, 신도시 양식과 그 외 도시화 양식이 같은 행정구역 안에서 어떻게 다른 흔적을 남기는지를 격자 단위에서 직접 비교한 사례는 아직 드물다.

두 양식이 거주 환경에 남기는 흔적을 실증적으로 비교한 국내의 연구는 그 외에도 상대적으로 적다. 기존 연구는 비교 단위를 행정구역(시·군)으로 설정하거나(Han et al., 2024), 한 도시 내부의 양식 차이를 보고하는 데 머무는 경우가 많았다(Park et al., 2026). 도시 확장의 유형을 식별하고 그 추세를 보고하는 연구는 활발하지만, 유형 차이가 주민의 일상 경관에 어떤 차이를 만드는지까지 분석한 사례는 상대적으로 적다. 또한 도시 연결성은 그동안 주로 생태적·기능적 차원에서 다루어져 왔으며, 주민이 일상에서 체감하는 경관의 구조 자체를 측정 대상으로 삼은 시도는 최근에야 등장하기 시작했다(김도은과 손용훈, 2021; Lookingbill et al., 2022).

1.2 연구 목적 및 연구 질문

본 연구는 한국 수도권에서 동시에 진행되어 온 두 도시화 양식, 즉 계획형 도시화와 택지개발형 도시화가 거주 환경에 남기는 흔적을 격자 단위에서 비교하는 것을 목적으로 한다. 사례지는 경기도 화성시의 두 지역, 동탄2 신도시와 봉담읍이다. 동탄2 신도시는 단일 마스터플랜으로 단기간에 조성된 2기 신도시이고, 봉담읍은 NLUMA 개정 이후 소규모 택지개발이 분산 누적되며 확장된 지역이다(Cho, 2005; Han et al., 2024). 두 지역이 같은 시군 경계 내에 있어 도 단위 정책, 노동시장, 자연환경과 같은 광역 조건이 자연스럽게 통제된다. 따라서 도시화 방식의 차이가 만들어 내는 결과를 분리해 관찰하기에 적합한 자연 비교 구도가 갖춰진다.

분석 틀로는 인지된 경관 연결성(perceived landscape connectivity, 이하 PLC)을 사용한다. PLC는 주민이 일상

에서 어떤 경관을 얼마나 쉽게 보고, 알아보고, 다가가 수 있는지를 가리키는 연속된 경험의 개념이며(Jun et al., 2025), 기존의 생태적·기능적 연결성 개념을 사람의 관점에서 재구성한 시도이다. 거주자 관점의 경관 인지를 정량화하려는 흐름은 국내 조경 연구에서도 이어져 왔으며, 김도은과 손용훈(2021)과 김수민과 우아영(2025) 등은 도시공원의 인지된 자연성과 가로녹지 가시성을 각각 정량화하여 주민 체감과 건강의 관계를 다룬 바 있다. 본 연구는 이러한 흐름을 토지피복도 전반과 격자 스케일로 확장하여 PLC를 측정한다. PLC는 AI(aggregation index), Mean Contiguity, Contact Length 세 지표로 측정한다. 세 지표는 각각 동일한 토지피복이 얼마나 한데 모여 있는 지(aggregated), 패치 내부 형태가 얼마나 일관된지, 서로 다른 피복 사이의 경계가 얼마나 긴지를 나타낸다(Forman, 1995; Opdam and Wascher, 2004; McGarigal et al., 2012). 본 연구는 환경부 토지피복도(30m)와 통계청 100m 격자 인구자료를 결합하여, 두 단계 집계(30m → 100m) 절차로 격자별 PLC 변수를 산출한다. 산출된 자료는 100m 격자, 즉 주민의 일상 생활권 스케일에서 두 사례지에 적용한다.

본 연구는 격자 단위 상관관계를 인과로 해석하지 않으며, 두 변수가 같은 도시화 결과로 함께 움직였다는 동시 변동(co-variation)의 관점에서 결과를 읽는다. 단일 시점·단일 사례에 기반한 본 연구 자료로는 인구 증가가 PLC를 변화시켰는지, PLC가 인구를 끌어들이었는지를 단정할 수 없다. 다만 두 변수가 같은 격자에서 어떻게 함께 움직였는지를 정량적으로 보여 주는 작업은, 두 양식이 공간에 남긴 결과를 비교하는 출발점이 된다.

이러한 목적 아래 본 연구는 다음 두 가지 질문에 답한다. 첫째, 두 도시화 양식은 격자 단위에서 인구 변화와 PLC 변화 사이에 어떤 관계를 만드는가. 구체적으로, 두 변수가 같은 격자에서 같은 방향으로 함께 움직이는지, 두 양식에서 동일한 부호 구조가 나타나는지, 또는 양식별로 서로 다른 형태의 동반 변동이 나타나는지를 격자 단위 상관관계와 공간 분포 지도로 확인한다. 둘째, 두 변수가 함께 움직이는 강도, 그 변동이 가장 두드러지는 시기, 그리고 강하게 드러나는 지표 조합이 양식에 따라 어떻게 다른가. 마스터플랜이 가동되는 일시 재편기와 분산된 택지개발이 누적되는 점적 확장은 동일한 인구 증가에 대해 서로 다른 PLC 변동 패턴을 만들 수 있다. 본 연구는 두 양식의 동시변동을 시기별(2014–2019, 2019–2024, 2014–2024)과 지역별로 비교하여 이 차이를 정리한다.

두 질문은 본 연구의 자료 설계가 인과 식별을 직접 다루기 어렵다는 점을 인정한 위에서 설정되었다. 두 양식이 만들어 낸 공간적 결과가 격자 단위에서 어떻게 분포하고 함께 움직이는지를 정량화하는 작업이 본 연구가 답할 수 있는 범위이며, 인과 해석은 후속 연구의 과제로 남긴다. 본문은 다음 순서로 이어진다. 2장은 경관 연결성 개념의 확장 과정과 PLC의 이론적 토대, 도시화 양식과 주거환경의 관계를 정리한다. 3장은 연구 대상지, 자료, 두 단계 집계 절차, PLC 지표 산출 방법, 분석 절차를 기술한다. 4장은 격자 단위 공간 분포, Spearman 상관, 도시화 양식별 비교, 시기별 추세 순으로 분석 결과를 제시한다. 5장은 결과를 선행연구와 비교하며 이론적·방법론적 기여, 한계, 정책적 의미를 다룬다. 6장은 결론과 후속 연구의 방향을 정리한다.

2. 이론적 고찰

2.1 경관 연결성 개념의 확장: 생태적 연결성에서 인지된 연결성으로

경관 연결성(landscape connectivity)은 본래 생태학에서 서식지 패치 사이의 이동을 경관이 얼마나 보조하거나 가로막는지를 설명하기 위해 도입된 개념이다(Taylor et al., 1993; Urban and Keitt, 2001; Fahrig, 2003). 초기 연구는 그래프 이론, 최소비용경로 분석, 회로 이론과 같은 방법으로 종의 이동에 초점을 맞춰 왔다(Bennett, 2003; Saura and Pascual-Hortal, 2007; McRae et al., 2008).

최근 연구는 이 개념을 생태학에 한정하지 않고 도시·사회·문화의 차원으로 확장하여 왔다. Lookingbill et al.(2022)은 2015–2020년 도시 연결성 연구를 종합하면서, 연구 주제가 토지피복·녹지 인프라·종 이동성으로 다양해졌고 인간과 다른 생물의 연결성을 함께 다룰 필요가 있다고 보고하였다. 자연 기반 해법(nature-based solutions, NBS)이 도시 환경 개선에 어떻게 작용하는지를 정리한 연구도 이러한 흐름에서 늘어 왔으며(van den Bosch and Ode Sang, 2017; Pauleit et al., 2019), 국내에서도 완충녹지를 다기능 그린인프라로 전환한 도시공원화 사례 연구(김미연과 민병욱, 2021)와 같이 생태적 기능과 주민의 일상 이용을 함께 고려하는 연구의 흐름이 나타나고 있다.

이러한 흐름 속에서 인지된 경관 연결성(PLC)이 주거 경관을 다루는 새로운 분석 틀로 제안되었다(Jun et al., 2025). PLC는 주민이 일상에서 연속적으로 체감하는 경관의 구조적 속성을 정량화하려는 개념으로, 녹지·농경지·수면과 같은 토지피복이 시각적·공간적·기능적으로 얼마나 이어져 보이는지를 거주자의 관점에서 측정하고

자 한다. 국내 조경 연구에서도 도시공원의 인지된 자연성을 헤메로비 등급과 비교한 연구(김도은과 손용훈, 2021)나 가로녹지를 딥러닝으로 정량화하여 주민 건강과 연결한 연구(김수민과 우아영, 2025) 등 거주자 관점의 경관 인지를 정량화하려는 시도가 이어지고 있어, PLC의 문제의식과 같은 흐름에 놓여 있다.

2.2 인지된 경관 연결성(PLC)의 세 가지 이론적 축

PLC를 인간 중심으로 해석하기 위해서는 상호 보완적인 세 가지 관점이 요구된다(Figure 1 참조).

가. 시각적 차원. Kaplan and Kaplan(1989)은 사람과 경관의 관계에서 시각적 연결성이 중심에 있다고 보았다. 주민이 거주지를 어떻게 인지하는가는 경관 면적만으로 결정되지 않으며, 시야 안에서 경관 요소들이 얼마나 끊임 없이 이어져 있는지에 좌우된다. Nassauer(1995)는 경관의 시각적 수용성이 그 장소가 주민에게 어떻게 받아들여지는지를 결정한다고 보았다. 국내 도시공원을 대상으로 인지된 자연성을 정량적으로 평가한 김도은과 손용훈(2021)의 연구도, 시각적으로 식별되는 식생 구성이 이용자의 자연성 인지와 일관되게 연결된다는 점을 보여 주며 이 관점을 뒷받침한다.

나. 인지적 차원. Lynch(1960)는 주민이 주변 환경을 이해하는 방식이 인지 지도(cognitive map)의 형태로 구조화된다는 점을 보였다. 거주 환경의 연결성은 개별 정보의 단순한 합이 아니라, 주민이 경관 요소들을 하나의 일관된 구조로 묶어 인식할 때 형성된다. 따라서 PLC의 인지적 차원은 패치 내부의 형태 일관성과 패치 사이의 연속성을 함께 다룬다.

다. 경험적 차원. Gehl(2011)은 주민의 일상 경험이 도시 경관 설계의 핵심이라고 강조하였다. 주민이 매일 걷고 머무르며 이동하는 과정에서 경관과 만나는 빈도와 방식이 곧 경관 연결성의 실질적 가치이다. 이 관점에서 PLC는 서로 다른 토지피복 사이의 경계가 주민의 일상 동선에 얼마나 자주 노출되는지를 본다.

세 관점은 하나의 명제로 수렴한다. 주거 경관의 연결성은 패치 자체의 속성이 아니라 거주자와 환경의 관계 속에서 형성되는 속성이며, 따라서 그 관계가 발생하는 일상 생활권 스케일에서 측정되어야 한다(Jun et al., 2025). 이 명제가 PLC 개념의 이론적 토대를 이루며, 다음 절에서 다루는 PLC 지표들은 시각·인지·경험의 세 차원을 정량화하기 위한 도구이다.

2.3 PLC와 토지피복 유형: Grey-Yellow-Green-Blue의 일상적 체감

PLC는 주민이 일상에서 특정 경관 형태를 얼마나 쉽게 경험하고, 인지하고, 다가갈 수 있는지를 가리킨다(Jun et al., 2025). PLC를 구성하는 세 지표는 각기 다른 시각적 속성을 측정한다(Forman, 1995; Opdam and Wascher, 2004; McGarigal et al., 2012). AI(aggregation index)는 동일한 토지피복이 얼마나 한데 모여 있는지

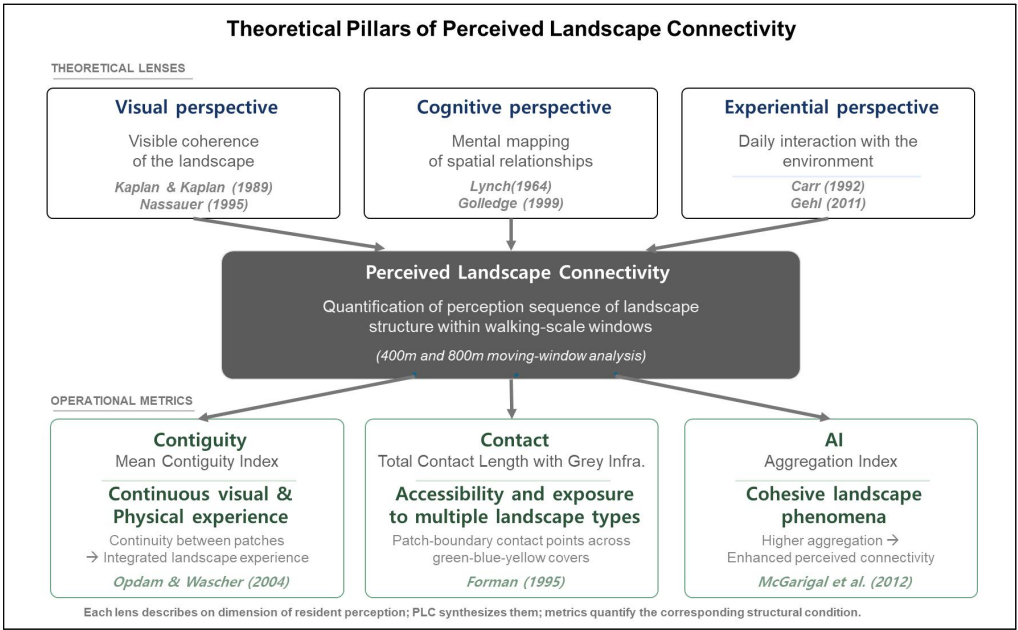


Figure 1. Three Theoretical Pillars of PLC

(aggregated)를, mean contiguity는 패치 내부 형태가 얼마나 일관된지를, contact length는 서로 다른 피복 사이의 경계가 얼마나 긴지를 나타낸다. 결과적으로 PLC는 주민이 인근의 녹지·농경지·수면을 시각적·공간적·기능적으로 얼마나 이어진 환경으로 느끼는지, 그리고 살기 좋은 환경으로 받아들이는지를 가리키는 개념으로 이해된다(Jun et al., 2025).

토지피복 유형은 주민이 일상에서 구별하여 체감하는 요소를 기준으로 나눈다. 본 연구는 환경부 토지피복도를 Grey(불투수면), Yellow(농경지), Green(녹지), Blue(수면) 네 유형으로 단순화한다. 이 분류는 도시·근교·전이지역의 주거환경에서 주민이 일상적으로 마주치는 토지피복을 포괄하면서도, 시각적·공간적·기능적으로 구별 가능한 가장 단순한 단위를 구성한다. 특히 농경지(yellow)는 도시 내부에서는 비중이 작지만, 택지개발형 도시화 지역에서는 주거 매트릭스의 주요 구성 요소이므로 별도의 유형으로 유지한다.

PLC는 이렇게 네 가지 토지피복 유형과 세 가지 지표의 조합을 통해, 주민이 주거 환경 속 경관을 얼마나 이어져 있고 다가가기 쉬운 것으로 느끼는지를 정량적으로 살핀다.

2.4 도시화 양식과 주거환경: 계획형 개발과 택지개발형 확장의 차이

PLC가 형성되는 공간적 조건은 도시화 방식에 따라 달라진다. 도시 성장이 단일한 과정이 아니라 공간적으로 이질적인 양상으로 진행된다는 점은 도시생태학과 경관생태학 문헌에서 폭넓게 보고되어 왔다. 연구자들은 Forman(1995)이 제시한 infilling, edge-expansion, outlying(leapfrogging)의 세 도시 확장 유형을 한국·중국·인도 등 도시화가 빠른 지역에 적용해 왔다(Liu et al., 2016; Chakraborty et al., 2022; Sharma and Ghuge, 2025).

그러나 이러한 유형 구분이 풍부함에도, 각 양식의 공간적·구조적 차이를 정량적 지표로 식별해 비교한 실증 연구는 상대적으로 적다. Liu et al.(2016)은 도시 토지 확장의 여러 유형을 다중 스케일에서 종합적으로 식별할 수 있는 정량 접근이 부족하다는 점을 지적하며, 도시 간 비교를 넘어 동일 도시 내부(within-city)의 서로 다른 양식을 비교하는 연구가 필요하다고 보았다.

Park et al.(2026)은 성남시를 사례로 마스터플랜형 신도시와 점진적 발전형 구도심의 공원 형태와 보행 연결성을 비교하면서, 두 양식이 서로 다른 계획 유산과 공간 구조를 가지며 그 결과 주민의 신체활동 패턴에도 다르게 작용한다는 점을 보고하였다. Han et al.(2024)은 수도권 신도시 개발이 탄소흡수원에 미친 영향을 분석하였고, Cho(2005)는 1993년 NLUMA 개정 이후 수도권 외곽에서 진행된 leap-frog 확장 양상을 정리하였다. 국내 조정 분야에서도 1·2기 신도시 공원 이용자의 만족도와 인식을 비교한 김영민과 허윤선(2024)이 보행시설·식재 등 공간 구성이 만족도에 핵심적임을 보였고, 황해권과 손용훈(2024)은 분당구 근린공원의 보행접근성을 평가하면서 신도시 환경에서도 공원 서비스 형평성이 자동적으로 확보되지 않는다는 점을 제시하였다. 이러한 연구는 도시화 양식이 만들어 내는 공간적 결과를 다양한 측면에서 보여 주지만, 동일 행정구역 안에서 두 양식을 격자 단위로 직접 비교한 사례는 아직 많지 않다.

본 연구가 비교 대상으로 삼는 한국 수도권의 두 도시화 양식은 다음과 같이 구분된다. 첫째, 계획형 도시화는 단일 마스터플랜으로 광역 토지이용 구조가 한꺼번에 짜이는 방식이다. 한국의 2기 신도시가 대표 사례이며, 도로망, 녹지 체계, 주거 블록, 상업 결절이 사전 설계된 뒤 짧은 기간에 동시에 조성된다(Han et al., 2024). 이 방식은 기존 농경지·녹지 매트릭스를 크게 재편하는 한편, 계획 단계에서 녹지축과 보행권 공원을 의도적으로 배치한다. 둘째, 택지개발형 도시화는 행정구역 안의 여러 지점에 소규모 택지개발사업이 분산 누적되는 방식이다. 한국에서는 1993년 국토이용관리법 개정으로 준농림지역 규제가 완화되면서, 사적 영역의 3ha 미만 소규모 택지개발이 수도권 외곽에 분산 누적되어 왔다(Cho, 2005). 이 방식에서는 새 시가지 블록이 농경지·녹지 사이에 점적으로 끼어드는 leap-frog 패턴이 이어진다.

두 도시화 양식은 행정단위 규모(시·읍 등)와 무관하게 주거환경에 서로 다른 구조적 결과를 만든다. 계획형 도시화가 진행된 지역에서는 광역 재편이 한꺼번에 일어나면서 녹지 응집(aggregation)과 물리적 연결성이 단기간에 크게 변할 수 있는 한편, 계획 단계에서 배치된 보행권 녹지가 불투수면과 만나는 경계를 늘릴 수 있다. 택지개발형 도시화가 진행된 지역에서는 분산 개발이 누적되며 농경지와 녹지가 점적으로 잠식되고, 그 결과 주민이 체감하는 경관 구조가 또 다른 방식으로 변한다.

따라서 동일 행정구역 내에서 두 도시화 양식이 동시에 진행된 사례를 비교하는 작업은, PLC가 양식에 따라 어떻게 다르게 형성되는지를 실증적으로 확인하는 데 적합한 접근이다. 이는 행정단위 비교가 아니라 도시화 양식의 비교이며, 분석 단위 역시 행정구역이 아닌 주민의 일상 생활권에 가까운 격자 단위로 설정되어야 한다.

3. 연구 방법

3.1 연구 대상지

본 연구는 경기도 화성시의 두 지역, 동탄2 신도시와 봉담읍을 비교 대상으로 삼는다(Figure 2 참조). 두 지역은 같은 시군 경계 안에 있으면서도 도시화 방식과 인구 변화 양상이 뚜렷이 대비된다. 이러한 대비는 II장에서 정리한 두 도시화 양식(계획형과 택지개발형)을 경험적으로 비교할 수 있는 기반을 제공한다.

동탄2 신도시는 2010년대 중반 이후 단일 마스터플랜으로 단기간에 조성된 2기 신도시의 대표 사례이다. 도로 망, 녹지축, 주거 블록, 상업 결절이 사전 설계대로 짧은 기간에 동시에 조성되었고, 그 결과 광역 토지이용 구조가 빠르게 재편되었다(Han et al., 2024). 같은 시기 봉담읍은 1993년 국토이용관리법 개정 이후 누적된 소규모 택지 개발이 점적으로 분포하는 양상을 보였으며, 기존 농경지·녹지 매트릭스 안에 시가지 블록이 분산적으로 끼어드는 leap-frog 패턴이 이어졌다(Cho, 2005). 두 지역 모두 같은 시기에 인구가 빠르게 증가하였으나, 그 증가가 광역 일시 재편(동탄2 신도시)에 의한 것이었는지 점적 분산 누적(봉담읍)에 의한 것이었는지는 분명히 다르다.

두 지역을 비교 사례로 삼는 근거는 세 가지이다. 첫째, 동일 행정구역(화성시) 안에서 두 도시화 양식이 동시에 진행되어, 도 단위 정책 환경, 노동시장, 자연환경과 같은 광역 거시 변수를 자연스럽게 통제할 수 있다. 둘째, 두 지역 모두 분석 기간 동안 인구 변화가 충분히 커서 통계적으로 다루기에 적합한 변동 폭을 확보한다. 셋째, 환경 부 토지피복도와 통계청 100m 격자 인구자료가 두 지역에 동일 해상도로 제공되어 자료의 일관성이 보장된다.

행정단위 규모(시·읍)는 본 비교의 핵심 변수가 아니다. II-4에서 정리한 바와 같이 본 연구의 비교는 행정단위 비교가 아니라 도시화 양식의 비교이며, 분석 단위 역시 행정구역이 아니라 100m 격자로 설정된다.

3.2 데이터 및 분석 단위

3.2.1 인구 격자 데이터

인구 변화는 통계청 국가통계포털(KOSIS)에서 제공하는 100m 격자 인구통계 자료를 사용한다. 분석 시점은 2014년, 2019년, 2024년 세 시점이며, 시점별로 격자별 총인구를 수집해 시점 간 변화량(Δ인구)을 산출한다. 분석 대상 격자는 세 시점 가운데 한 시점이라도 인구가 1명 이상 기록된 격자로 한정하였다. 이는 분석 기간 내내 비거주 상태였던 격자가 결과 해석에 영향을 주는 일을 사전에 차단하기 위함이다. 인구 자료의 원본 좌표계는 한국 통일좌표계(EPSG:5179)이며, 분석 단계에서 PLC 래스터의 좌표계인 한국 중부원점 GRS80(EPSG:5186)으로 재투영

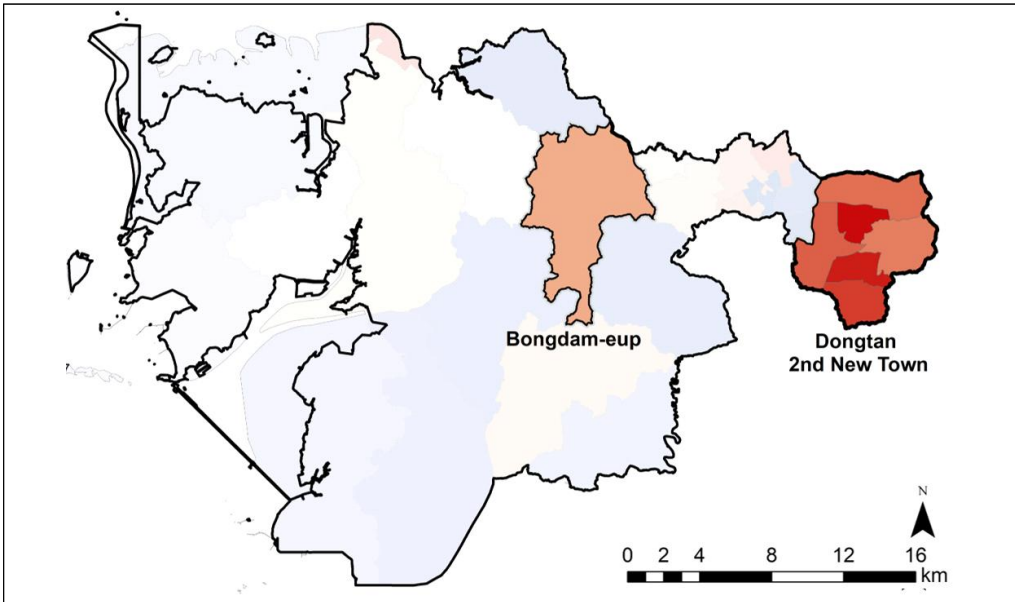
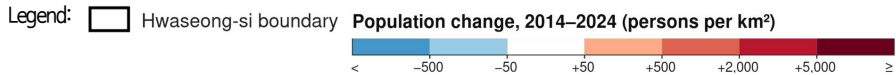


Figure 2. Research sites with population change from 2014 to 2024



하여 정합한다. 격자 단위 분석은 행정경계 변경에 따른 비교 불일치를 피하면서, 주민의 일상 생활권에 가까운 스케일에서 분석을 가능하게 한다.

3.2.2 토지피복 데이터

토지피복은 환경부 환경공간정보서비스(EGIS)에서 제공하는 세분류 토지피복도(30m 해상도)를 사용한다. 원자료의 세분류 항목을 2.3에서 정의한 네 가지 유형, 즉 Grey(주거·상업·공업·교통·공공시설지 등 불투수면), Yellow(논·밭·시설재배지·과수원 등 농경지), Green(산림·초지·공원 등 식생피복), Blue(하천·호수·저수지 등 수면)으로 재분류한다. 분석 시점은 인구 자료와 동일한 2014년, 2019년, 2024년 세 시점이며, 두 지역에 동일한 분류 기준과 시점을 적용하여 자료의 일관성을 확보한다.

3.2.3 분석 단위와 좌표계

본 연구는 두 자료의 해상도 차이를 보전하기 위해 두 단계의 공간 집계 절차를 거친다. 좌표계는 한국 중부원점 GRS80(EPSG:5186)으로 통일하고, 인구 격자와 토지피복 래스터를 동일 좌표계로 정합한다.

1차 단계에서는 30m 셀 단위로 PLC를 산출한다. 토지피복도(30m 해상도)를 유지한 채 각 30m 셀을 중심으로 이동창(moving window) 기법을 적용하여 PLC 지표를 계산하며, 산출 결과는 두 지역 각각에 대해 30m 해상도의 PLC 래스터로 출력된다. 이 단계에서는 토지피복도의 원래 해상도가 유지되어 경관 패턴의 미세한 구조가 보존된다.

2차 단계에서는 30m PLC 래스터를 100m 인구 격자에 맞춘다. 각 100m 격자(1ha)에 포함되는 약 9–11개 30m 셀의 값을 공간 평균(zonal mean)으로 모아 해당 격자의 PLC 값으로 할당한다. 이 집계는 R 환경에서 exactextractr 패키지로 수행한다.

두 단계 집계는 두 가지 의미를 가진다. 1차 단계의 30m 분석은 토지피복도의 원래 해상도를 살려 경관 패턴의 미세한 구조를 보존한다. 2차 단계의 100m 집계는 통계청 인구 격자의 단위와 정확히 정합되며, 1ha 격자 안의 평균 PLC가 그 격자에 거주하는 주민이 일상에서 체감하는 경관에 대응한다는 점에서 PLC의 이론적 정의(2.2)와도 부합한다. 분석 대상 격자는 두 지역 행정경계 내에 중심점이 포함되는 100m 격자로 한정하고, 인구 자료가 결측인 격자(주로 비주거 격자)는 분석에서 제외한다.

3.3 PLC 지표 산출

PLC는 주민이 일상에서 특정 경관 형태를 얼마나 쉽게 경험하고, 인지하고, 다가갈 수 있는지를 가리킨다(Jun et al., 2025). PLC를 구성하는 세 지표는 각각 다른 시각적 속성을 측정한다(Forman, 1995; Opdam and Wascher, 2004; McGarigal et al., 2012). AI(aggregate index)는 동일한 토지피복이 얼마나 한데 모여 있는지(aggregate)를, CONTIG_MN(mean contiguity)은 패치 내부 형태가 얼마나 일관된지를, CL(contact length)는 서로 다른 토지피복 사이의 경계가 얼마나 긴지를 나타낸다. 결과적으로 PLC는 주민이 인근의 녹지·농경지·수면을 시각적·공간적·기능적으로 얼마나 이어진 환경으로 느끼는지를 정리하는 개념으로 이해된다(Jun et al., 2025).

AI(aggregate index)는 동일 토지피복 유형의 셀이 서로 인접한 정도를 측정하는 클래스 수준의 지표이다. 실제 인접 횟수를 같은 면적에서 가능한 최대 인접 횟수로 나누어 0%–100% 범위로 표현한다(McGarigal et al., 2012). 값이 낮을수록 해당 유형이 단편적으로 흩어져 있고, 높을수록 한 덩어리로 모여 있다는 의미이다. 본 연구는 네 유형 각각에 대해 AI를 산출하여 AI_G, AI_Y, AI_Gr, AI_B로 표기한다.

CONTIG_MN(mean contiguity)은 패치 내부 셀이 얼마나 이어져 있고 형태가 일관된지를 측정하는 지표이다(McGarigal et al., 2012). 패치마다 셀 단위 인접 관계에 가중치(직교 인접에 높게, 대각 인접에 낮게)를 부여하여 산출하며, 0–1 범위의 값으로 나온다. 본 연구는 클래스 수준 평균값을 사용한다. 값이 0에 가까울수록 패치가 작거나 형태가 불규칙하고, 1에 가까울수록 패치가 균일하며 내부가 잘 이어져 있다. 네 유형 각각에 대해 CONTIG_MN_G, CONTIG_MN_Y, CONTIG_MN_Gr, CONTIG_MN_B로 산출한다. AI가 클래스 전체의 공간적 응집(aggregate) 정도를 보는 지표라면, CONTIG_MN은 개별 패치의 내부 형태 일관성을 본다는 점에서 다른 정보를 담는다.

CL(contact length)는 서로 다른 토지피복 유형 사이의 경계 길이(m)를 측정하는 지표이다(Forman, 1995; McGarigal et al., 2012). 두 클래스 사이의 공통 경계가 길수록 두 유형이 공간적으로 빈번하게 만난다는 뜻이다.

본 연구는 거주 환경의 핵심 매트릭스인 불투수면(Grey)과 다른 세 유형 사이의 접점을 따로 두어 CL_GY(시가지-농경지), CL_GG(시가지-녹지), CL_GB(시가지-수면) 세 변수로 산출한다. CL이 길다는 것은 주민이 거주하는 시가지에서 해당 자연 요소와 만나는 경계가 그만큼 길게 형성되어 있다는 의미이며, 이는 주민이 일상 동선에서 그 요소에 다가갈 수 있는 물리적 기회의 분포를 보여 준다.

세 지표의 측정 대상, 분석 수준, 값의 범위는 Table 1에 정리하였다. 추가로 각 토지피복 유형의 총면적(Total Area, TA)을 보조 변수로 산출한다(TA_G, TA_Y, TA_Gr, TA_B). TA는 PLC 핵심 지표가 아니라 면적 효과를 통제하기 위한 보조 변수이다. AI와 CONTIG_MN이 해당 유형의 총면적과 부분적으로 연동될 수 있기 때문에, TA를 함께 두면 면적 자체의 변동과 패턴의 변동을 분리해 해석할 수 있다.

모든 지표는 이동창(moving window) 기법으로 산출한다. 이동창 반경은 400m와 800m 두 가지로 설정하며, 각각 보행 5분권과 10분권에 해당하는 한국 도시계획의 근린생활권 단위이다(Figure 3 참조).

산출은 R 환경에서 landscapemetrics 패키지를 통해 원형 창(circular window) 내부의 모든 격자값을 합산한 후 평균을 계산하였다. 이 과정에서, 토지피복 기반 지표는 30m raster를 활용하였으며, contact length는 10m raster로 세분화하여 grey와 타 토지피복 간 접점 길이를 정밀하게 계산하였다.

Table 1. Comparison of three PLC indices

Index	What it measures	Analytical level	Value range	Variables in this study	Interpretation
Aggregation index (AI)	Degree to which cells of the same land cover class are spatially adjacent	Class level	0%–100%	AI_G, AI_Y, AI_Gr, AI_B	Higher = clumped; Lower = fragmented
Mean contiguity index (CONTIG_MN)	Internal connectedness and form coherence of cells within each patch	Patch level, averaged to class	0–1	CONTIG_MN_G, CONTIG_MN_Y, CONTIG_MN_Gr, CONTIG_MN_B	Higher = compact, coherent patches; Lower = elongated or fragmented
Contact length (CL)	Length of shared boundary between two land cover classes	Class-pair level	≥ 0 m	CL_GY, CL_GG, CL_GB	Longer = more extensive contact between cover types

Note: Indices are computed within a moving window (400 m and 800 m radii) centered on each 30 m cell, then aggregated to the 100 m population grid via zonal mean. G = Grey (impervious surface), Y = Yellow (agricultural land), Gr = Green (vegetation), B = Blue (water).

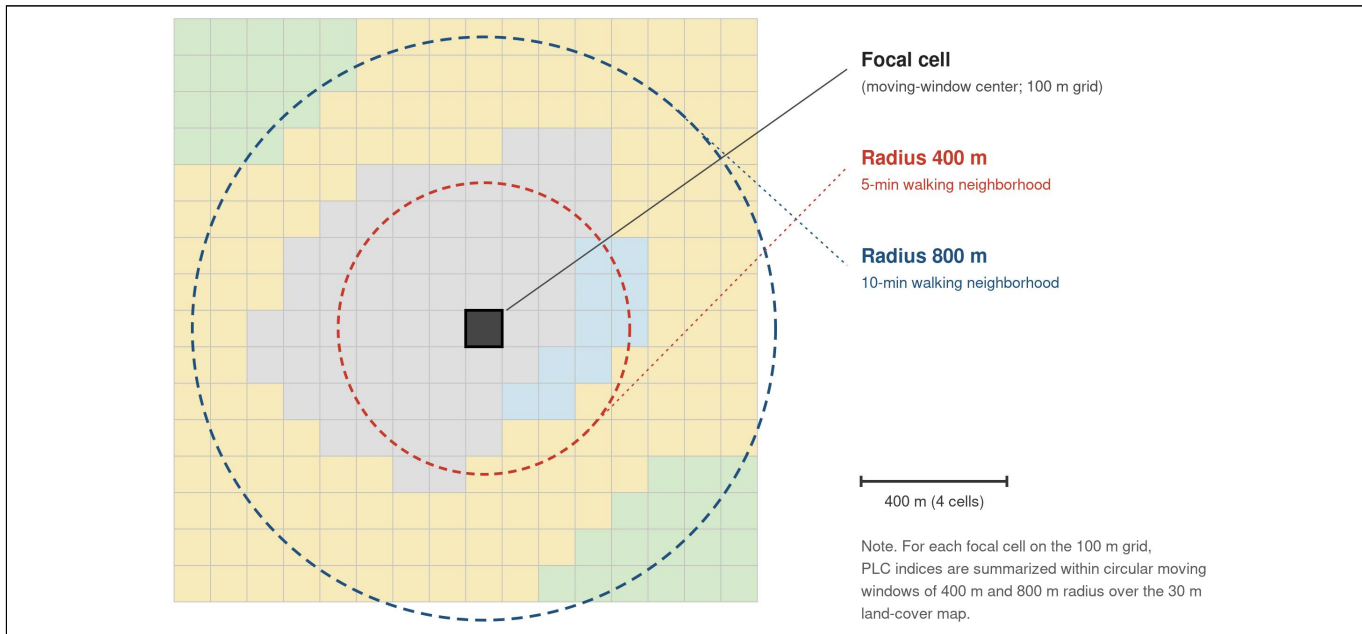


Figure 3. Moving-window concept for PLC calculation

Legend: Built-up (Grey) Farmland (Yellow) Vegetation (Green) Water (Blue)

3.4 분석 절차

두 지역의 자료는 동일 절차로 정리한 뒤 비교한다. 100m 격자별로 인구와 PLC 지표 값을 시점별로 수집하고, 시점 간 변화량(Δ 인구, Δ PLC)을 계산하여 분석 변수를 구축한다.

상관 분석에는 Spearman 상관계수를 사용한다. 격자 단위 자료는 한쪽으로 치우친 분포나 극단값이 섞이는 경우가 잦은데, Spearman은 값 대신 순위를 비교하기 때문에 이러한 자료에서 비교적 안정된 결과를 제공한다. 분석은 두 갈래로 진행한다. 한쪽은 일정 기간의 Δ 인구와 Δ PLC를 격자별로 짝지어 두 변화량이 어떻게 함께 움직였는지를 보고, 다른 한쪽은 같은 시점의 인구와 PLC 값을 격자별로 짝지어 해당 시점의 공간 분포를 확인한다. 두 결과를 함께 두면, 시간에 따른 동반 변동과 특정 시점의 공간 분포를 모두 확인할 수 있다. 유의성 기준은 $p < 0.05$ 를 적용한다.

다만 여기서 얻은 상관관계를 인과로 해석하지는 않는다. 인구 증가가 PLC를 변화시켰다거나 PLC가 인구를 끌어들이었다는 식의 해석은 본 연구의 설계로는 뒷받침되지 않는다. 두 변수가 동일한 도시화 양식의 결과로 함께 움직이기 때문에, 본 연구에서 나타나는 상관 관계는 두 양식이 공간에 남긴 결과가 동일 격자에서 어떻게 동반된 형태로 드러나는지를 보여 주는 것으로 해석한다.

결과는 네 가지 방식으로 시각화한다. 첫째, 격자 단위 공간 분포 지도로 인구 변화와 PLC 변화가 실제 공간에서 어디서 함께 움직이고 어디서 엇갈리는지를 직접 보인다. 둘째, 히트맵으로 두 지역과 여러 지표 조합의 상관 강도를 한눈에 비교한다. 셋째, 물리팝 차트로 두 지역 사이 상관계수의 크기와 방향 차이를 직관적으로 제시한다. 넷째, 시기별 추세 그래프로 동시변동이 시기에 따라 어떻게 달라지는지를 정리한다. 모든 분석과 시각화는 R 환경에서 sf, terra, landscapemetrics, exactextractr, dplyr, ggplot2, ggsf, patchwork 패키지로 수행한다.

4. 결과

4.1 두 지역의 인구 변화와 PLC 변화의 공간 분포

본 장의 분석은 공간 분포를 먼저 제시한 뒤 그 위에 통계적 결과를 얹는 순서로 진행한다. 2014–2024년의 인구 변화량(Δ 인구)이 두 지역에서 어떻게 분포하는지는 Figure 4에 정리하였다. 동탄2 신도시는 1,107개 분석 격자 가운데 975개(88.1%)에서 인구가 증가하였고, 단지 내부 격자 거의 전역에 증가가 퍼져 있다. 봉담읍은 794개 격자 가운데 381개(48.0%)에서 인구가 증가하고 360개(45.3%)에서 감소하여, 두 양상이 비슷한 비중으로 공존한다. 이 분포 자체가 광역 일시 재편(동탄2 신도시)과 점적 분산 누적(봉담읍)이라는 두 도시화 방식이 공간에 남긴 결

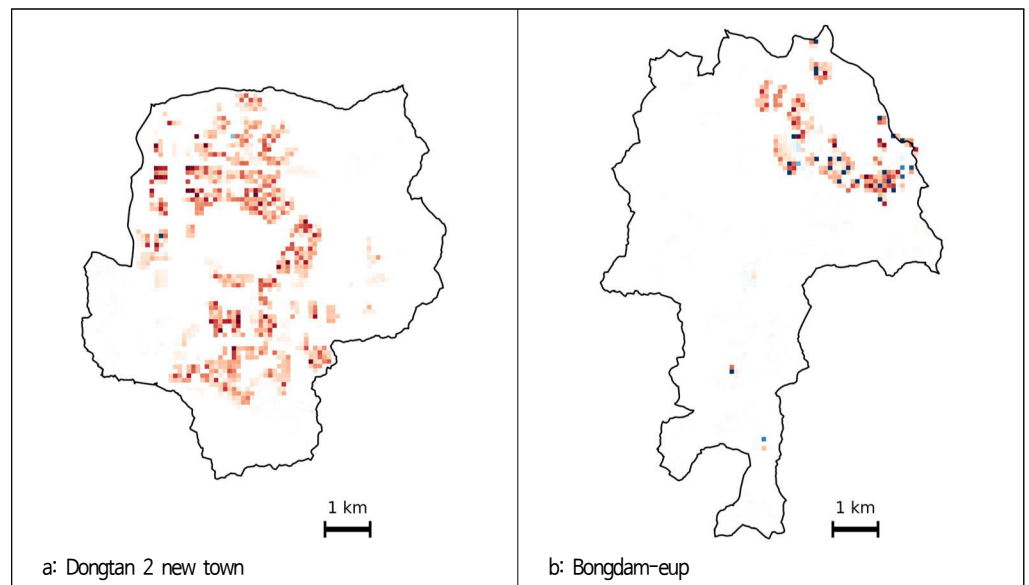


Figure 4. Spatial distribution of population change, 2014 to 2024



과를 그대로 보여 준다.

Figure 5에는 본문에서 핵심으로 다룰 세 Δ PLC 변수의 공간 분포를 정리하였다. 녹지 응집성 변화(Δ AI_Gr_4)는 두 지역 모두 음의 값이 우세하여 1,901개 격자 전체 중위값이 -8.6이다. 1ha 격자 안에서 녹지 응집성이 평균적으로 약 9포인트 하락했다는 의미이다. 녹지 내부 연속성 변화(Δ CONTIG_MN_Gr_4)도 같은 방향(중위값: -0.04)을 보였다. 반면 도시·녹지 접점 변화(Δ CL_GG_4)는 양의 분포가 압도적이어서 격자 중위값이 +789로 나타났다. 이는 10년 동안 시가지와 녹지 사이의 경계 길이가 약 두 배 가까이 증가했다는 의미이다. 녹지 패치가 잘게 쪼개지는 동시에 그 패치와 시가지 사이의 경계는 오히려 늘어나는 변화가 두 지표에서 나란히 나타난다.

Figure 6은 인구 변화와 녹지 응집성 변화가 동일 격자에서 어떻게 함께 움직였는지를 4범주로 나누어 보여 주는 지도이다. Δ Pop와 Δ AI_Gr_4의 부호를 기준으로 ① Pop↑·녹지응집성↓, ② Pop↑·녹지응집성↑, ③ Pop↓·녹지응집성↓, ④ Pop↓·녹지응집성↑로 분류하였다. 동탄2 신도시에서는 ① 범주가 920개로 전체의 83.1%를 차지하며 단지 내부 전역에 분포한다. ②와 ③은 각각 5.0%, 7.9%에 그쳐 ① 범주의 비중이 압도적이다. 봉담읍에서는 ① 범주 358개(45.1%)와 ③ 범주 290개(36.5%)가 비슷한 비중으로 공존하며, ④ 범주(인구는 감소하고 녹지 응집성은 증가한 격자)도 70개(8.8%)로 일정 부분 차지한다. 두 지역에서 부호의 방향은 같지만, 그 방향이 격자에 어떻게 분포하는지는 분명히 다른 그림으로 드러난다.

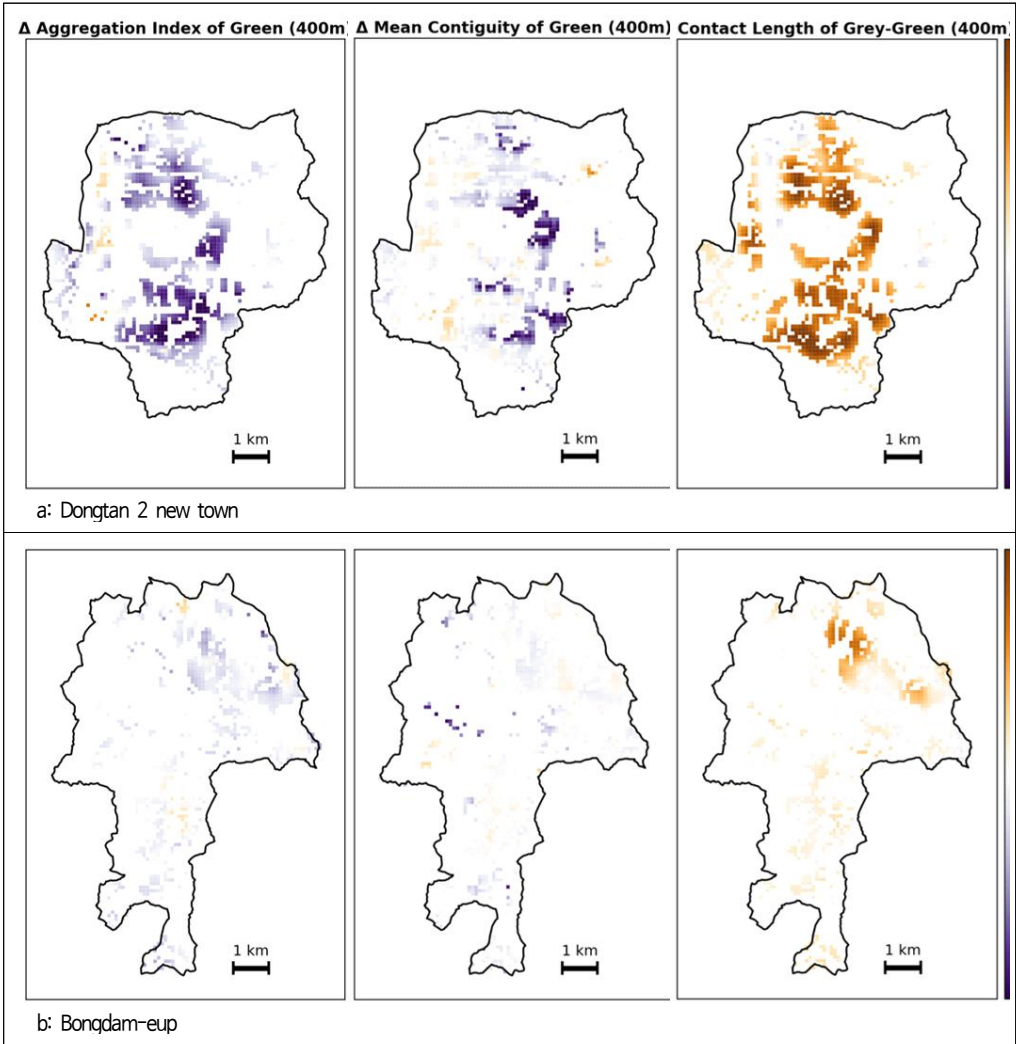
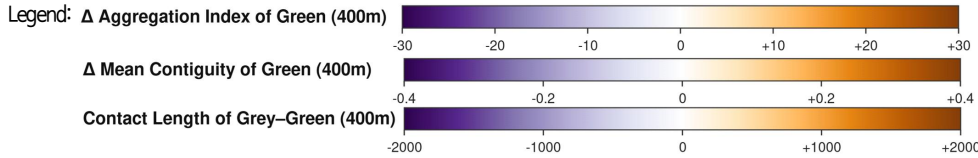


Figure 5. Spatial distribution of key Δ PLC indicators, 2014 to 2024



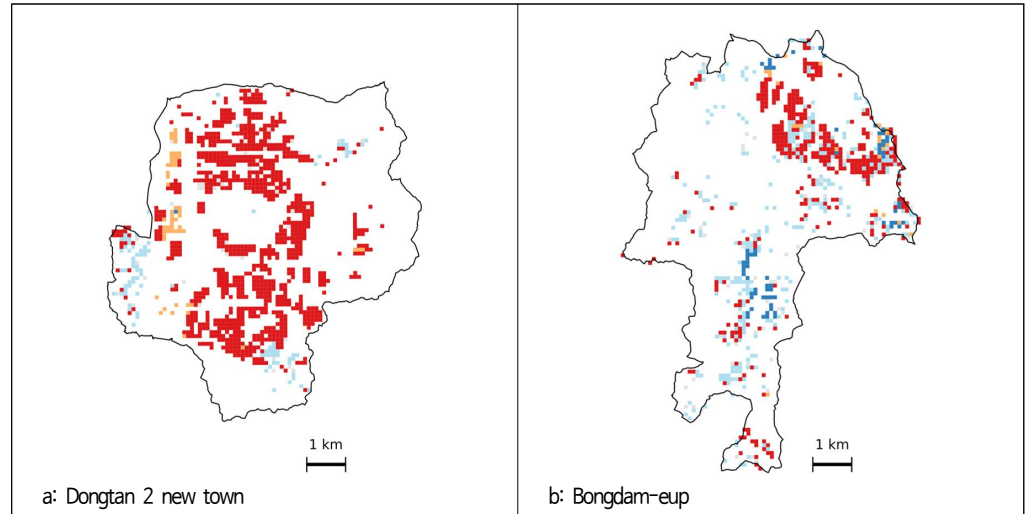


Figure 6. Four-category co-variation of Δ population and Δ Aggregation index of Green (400m), 2014 to 2024

Legend: (1) Pop ↑ · Aggregation of Green ↓ (fragmentation with population growth) (2) Pop ↑ · Aggregation of Green ↑ (aggregation with population growth) (3) Pop ↓ · Aggregation of Green ↓ (both decline) (4) Pop ↓ · Aggregation of Green ↑ (population decline, green recovery) no change / missing

4.2 Spearman 상관 패턴의 도시화 유형별 차이

공간 분포에서 확인된 양상을 격자 단위에서 정량화하기 위해 Δ 인구와 Δ PLC 변수의 Spearman 상관계수를 시·기별·지역별로 산출하였다. 분석은 2014–2019, 2019–2024, 2014–2024 세 시기와 동탄2 신도시($n = 1,107$), 봉담읍($n = 794$) 두 지역으로 나누어 총 180개 셀(30 변수 $\times$ 3 시기 $\times$ 2 지역)을 검토하였으며, 이 중 130개 셀이 $p \leq 0.05$ 수준에서 유의하였다(Figure 7 참조).

전 기간(2014–2024)에서 두 지역에 공통으로 나타나는 가장 일관된 결과는 다음과 같다. 녹지 응집성

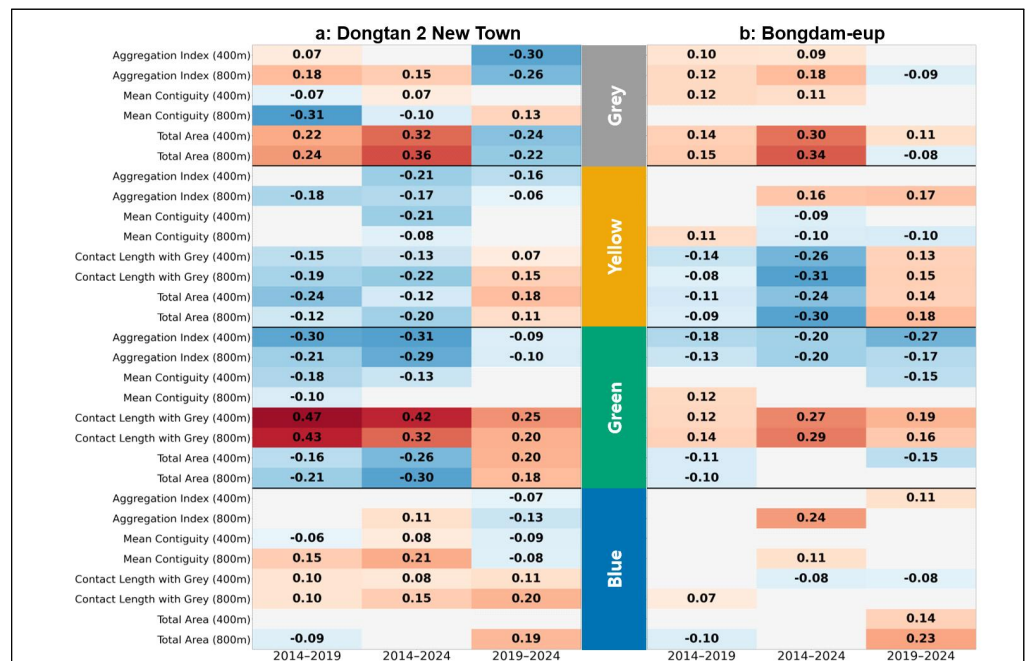


Figure 7. Spearman correlation between Δ population and Δ PLC indicators ($p \leq 0.05$)

Legend: Spearman rho $\square$ = $p > 0.05$ (non-significant)

(AI_Gr_4)은 동탄2 신도시에서 $\rho = -0.31$, 봉담읍에서 $\rho = -0.20$ 으로 음의 상관을 보였고, 400m와 800m 원도우 모두에서 방향이 유지되었다(AI_Gr_8 각각 -0.29 와 -0.20). 도시·녹지 점점(CL_GG_4)은 동탄2 신도시에서 $\rho = +0.42$, 봉담읍에서 $\rho = +0.28$ 의 양의 상관을 보였다. 정리하면, 인구가 증가한 격자에서 녹지 응집성은 낮아지고 도시·녹지 경계는 길어진 양상이 두 지역 모두에서 격자 단위 상관관계로 확인된다.

두 지역에서 부호의 방향은 같지만, 상관 강도와 강하게 나타나는 지표가 다르다. 동탄2 신도시의 CL_GG_4 상관(+0.42)은 봉담읍(+0.28)보다 약 1.5배 강했고, AI_Gr_4도 동탄2 신도시(-0.31)가 봉담읍(-0.20)보다 강하다. 한편 봉담읍에서는 도시화의 또 다른 측면이 더 강하게 드러난다. 불투수면 면적(TA_G_8)이 $\rho = +0.34$, 도시·농경지 점점(CL_GY_8)이 $\rho = -0.31$ 로 동탄2 신도시(각각 $+0.32$ 와 -0.22)보다 강하다. 농경지 매트릭스 안에 새 택지가 분산적으로 들어서면서 농경지 자체가 줄어드는 변화가 격자 단위 상관에서도 분명히 드러난다.

4.3 도시화 유형별 비교

두 도시화 유형의 차이를 더 선명하게 보기 위해 전 기간 유의 지표를 물리량 차트로 정리하였다(Figure 8 참조). 동탄2 신도시에서는 인구 증가와 함께 녹지 응집성(AI_Gr_4, AI_Gr_8)과 녹지 물리적 연속성(CONTIG_MN_Gr_4)이 강한 음의 상관을 보였고, 도시·녹지 점점(CL_GG_4, CL_GG_8)이 강한 양의 상관을 보였다. 녹지가 쪼개지면서 응집성이 낮아진 격자와 인구가 증가한 격자가 공간적으로 겹쳐 분포하는 한편, 시가지 인접부에서는 오히려 녹지와 만나는 경계가 함께 길어지는 양상이 동반된다.

봉담읍에서는 동일한 방향이 유지되지만 강도가 전반적으로 약하고, 강하게 나타나는 지표 조합이 다르다. 녹지 관련 지표(AI_Gr_4, CONTIG_MN_Gr_4)의 음의 상관은 동탄2 신도시보다 절댓값이 작고, 대신 불투수면 면적(TA_G_8, $\rho = +0.34$)과 농경지 면적(TA_Y_8, $\rho = -0.30$) 같은 면적 변수의 상관이 더 강하다. 또한 도시·농경지 점점(CL_GY_8, $\rho = -0.31$)이 동탄2 신도시보다 더 강하게 나타나는데, 이는 분산된 택지가 농경지를 잠식하면서 농경지 자체가 줄어드는 과정이 격자 단위에 그대로 남았기 때문이다. 결과적으로 두 지역은 부호의 방향은 공유하면서도, 도시화 방식에 따라 강하게 잡히는 지표 조합이 달라진다.

4.4 시기별 추세 비교

두 변수의 상관관계가 시기에 따라 어떻게 달라지는지를 확인하기 위해 시기별 상관계수를 라인 그래프로 정리하였다(Figure 9 참조). 두 지역의 동시변동은 시기상 정반대로 움직인다. 동탄2 신도시에서는 CL_GG_4 상관이 2014–2019 초기 구간에 $\rho = +0.48$ 로 가장 강하고 2019–2024 후반 구간에서는 $+0.25$ 로 약해진다. AI_Gr_4도 전 기간(2014–2024)의 -0.31 에서 2019–2024 구간에는 -0.09 로 약해진다. 반대로 봉담읍에서는

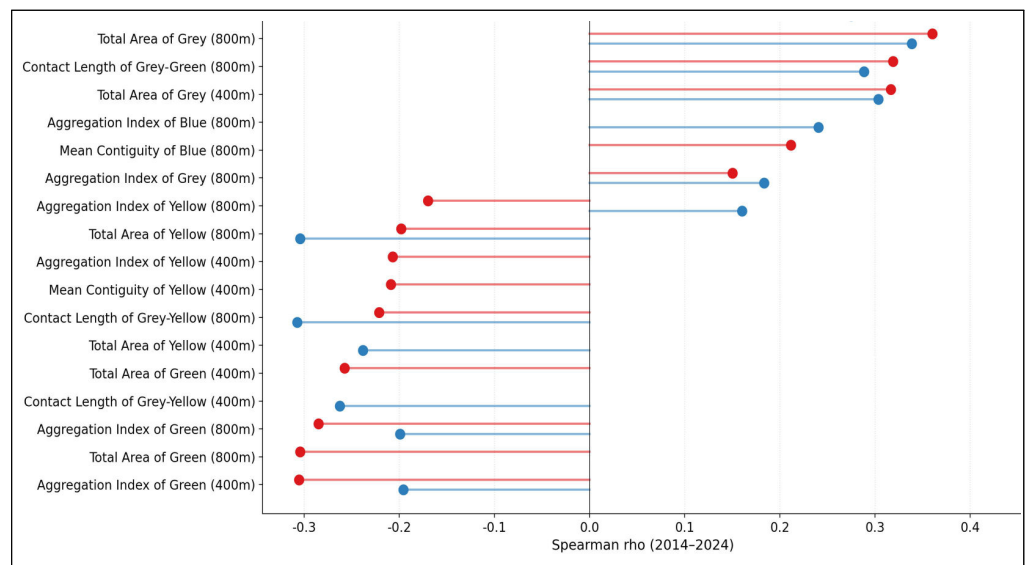


Figure 8. Co-variation strength between two cases (2014–2024, $\rho \leq 0.05$)

Legend: ● Dongtan 2 New Town ● Bongdam-eup

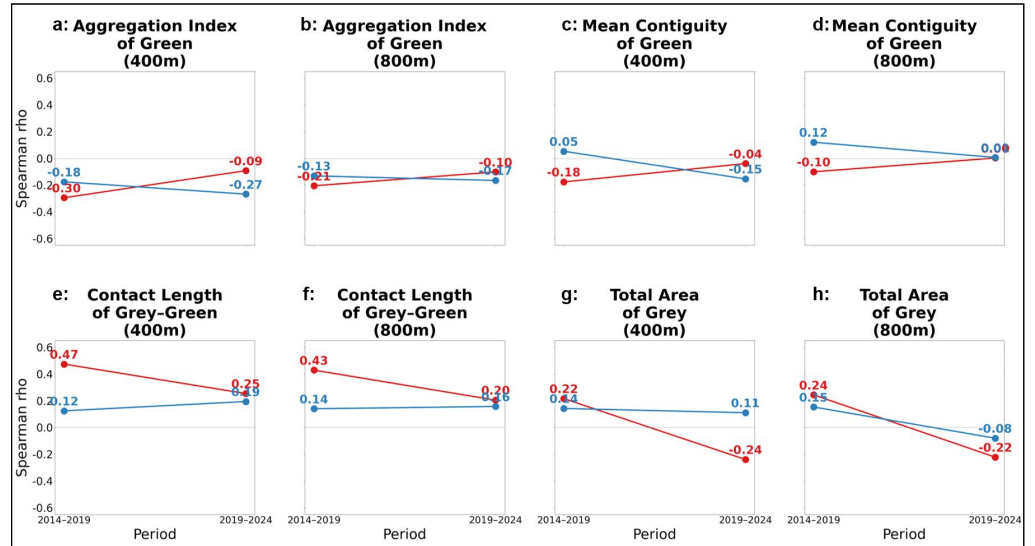


Figure 9. Period-wise co-variation strength of key PLC indicators

Legend: ● Dongtan 2 New Town ● Bongdam-eup

AI_Gr_4 상관이 2014-2019의 -0.18에서 2019-2024의 -0.27로 강해지고, CONTIG_MN_Gr_4도 같은 방향으로 -0.05에서 -0.15로 강해진다. 동탄2 신도시 마스터플랜이 가장 활발히 가동된 초기 구간에 도시·녹지 접점이 빠르게 확장되었고, 봉담읍의 분산된 택지개발이 누적되는 후반기로 갈수록 녹지가 쪼개지는 양상이 짙어진다는 해석과 부합한다.

동탄2 신도시의 2019-2024 구간에서는 또 한 가지 주목할 변화가 있다. 불투수면 응집성(AI_G_4)이 $\rho = -0.30$ 으로 음의 상관으로 전환된다. 인구가 더 증가한 격자에서 불투수면이 오히려 줄어드는 양상을 의미한다. 후기 단계에 공원·공공시설·녹지 완충대가 단지 내부에 조성되면서 불투수면이 한 덩어리에서 흩어진 모양으로 재편된 결과로 해석할 수 있다.

4.5 결과 요약

두 도시화 방식이 인구와 PLC 사이에 만든 동시변동은 방향은 공통이지만 강도, 시기상의 위치, 그리고 강하게 나타나는 지표 조합이 다르다. 동탄2 신도시는 도시·녹지 점점 확장(CL_GG_4 $\rho = +0.42$)과 녹지 응집성 약화(AI_Gr_4 $\rho = -0.31$)가 강하게 동반되었으며, 이 변동의 정점은 마스터플랜 초기 단계(2014-2019)에 몰려 있다. 봉담읍은 불투수면 면적 증가(TA_G_8 $\rho = +0.34$)와 도시·농경지 점점 감소(CL_GY_8 $\rho = -0.31$)가 더 강하게 잡혔고, 녹지가 쪼개지는 양상은 후반기(2019-2024)로 갈수록 뚜렷해진다. 4범주 동시변동 지도(Figure 6 참조)는 이러한 차이가 두 지역 안에서 공간적으로도 분명히 다르게 분포한다는 점을 보여 준다. 행정단위(시·읍)의 차이가 아니라 도시화 방식의 차이가 격자 단위 동시변동의 모양을 다르게 만들어 낸다는 본 연구의 출발 가설과 부합하는 결과이다.

5. 논의 및 결론

5.1 핵심 발견과 동시변동의 관점

본 연구는 화성시 동탄2 신도시와 봉담읍을 사례로, 두 도시화 방식이 인구 변화와 PLC 사이에 어떤 관계를 만드는지를 격자 단위에서 비교하였다. 결과는 세 가지로 정리된다.

첫째, 부호의 방향은 두 지역에서 공통이다. 인구가 증가한 격자에서 녹지 응집성(AI_Gr_4)이 함께 낮아지고 도시·녹지 점점(CL_GG_4)이 함께 늘어나는 양상이 동탄2 신도시(각각 $\rho = -0.31$, $\rho = +0.42$)와 봉담읍(각각 $\rho = -0.20$, $\rho = +0.28$) 모두에서 일관되게 나타났다. 4범주 동시변동 지도(Figure 6 참조)에서 인구 증가와 녹지 응집성 약화가 같은 격자에 겹친 비율은 두 지역에서 각각 83.1%와 45.1%로 확인된다.

둘째, 상관 강도와 강하게 드러나는 지표 조합은 다르다. 동탄2 신도시에서는 녹지 응집성과 도시·녹지 점점이

강하게 함께 움직였고, 봉담읍에서는 불투수면 면적(TA_G_8 $\rho = +0.34$)과 도시·농경지 접점(CL_GY_8 $\rho = -0.31$)이 더 뚜렷이 함께 움직였다. 후자는 농경지 매트릭스 안에 새 택지가 분산적으로 들어서면서 농경지 자체가 줄어드는 과정이 격자에 그대로 남은 결과이다.

셋째, 동시변동이 가장 강하게 나타나는 시기가 두 양식에서 정반대였다. 동탄2 신도시의 강한 동시변동은 마스터플랜이 가장 활발히 가동된 2014-2019 구간에 몰려 있고, 봉담읍에서는 분산된 택지개발이 누적되는 2019-2024 후반 구간으로 갈수록 녹지가 쪼개지는 양상이 뚜렷해진다.

세 결과는 본 연구가 채택한 동시변동(co-variation) 관점이 자료 설계와 정합한다는 점을 보여 준다. 격자 단위 상관관계로 두 변수가 어떻게 함께 움직였는지는 보일 수 있지만, 그 관계를 인과로 단정 짓는 일은 단일 시점·단일 사례 비교에 기반한 본 연구 자료로 뒷받침되지 않는다. 인구가 증가하여 PLC가 변화했는지, PLC 변동에 따라 인구가 모였는지는 자료가 직접 검증하지 못한다. 다만 두 변수가 동일한 도시화 방식의 결과로 함께 움직였다는 관찰은, 두 양식이 공간에 만들어 낸 결과를 비교하는 기반이 된다.

5.2 선행연구와의 비교 및 차별성

본 연구의 결과는 도시 연결성 연구의 최근 흐름과 두 지점에서 만난다. 먼저 도시 연결성 연구의 인간 중심적 확장이라는 흐름이다. Lookingbill et al.(2022)은 2015-2020년 도시 연결성 연구를 정리하면서, 연구 주제가 토지 피복·녹지 인프라·종 이동성으로 다양해졌으며 인간과 다른 생물의 연결성 요구를 함께 다루어야 한다고 보고하였다. PLC(Jun et al., 2025)는 이 요구에 대해 사람이 일상에서 체감하는 경관 형태로 응답한 개념이며, 본 연구는 그 정량화를 100m 격자에서 두 도시화 양식 사례에 적용하여 인간 중심 연결성 연구의 구체적 방법 하나를 제시한다. 국내에서도 도시공원의 인지된 자연성을 정량화한 김도은과 손용훈(2021)이 거주자 관점의 경관 인지가 측정 가능하다는 점을 보여 주었으며, 본 연구의 PLC 측정은 이러한 시도를 토지피복도 전반과 격자 스케일로 확장한 작업으로 위치 지을 수 있다.

본 연구와 가장 직접적으로 비교할 만한 선행연구는 Park et al.(2026)이다. 이들은 성남시를 사례로 마스터플랜형 신도시와 점진적 발전형 구도심을 공원 형태(park morphology)와 보행 연결성 측면에서 비교하면서, 두 양식이 서로 다른 계획 유산과 공간 구조를 갖고 주민의 신체활동 패턴에도 다르게 작용한다고 보고하였다. 본 연구는 이 비교 구도를 세 측면에서 확장한다. 먼저 분석 단위를 공원에서 격자로 옮기면서, 공원 경계 바깥의 거주 격자에서도 도시화 방식이 일상 생활권에 어떻게 흔적을 남기는지를 확인할 수 있게 하였다. 다음으로 지표를 공원 형태와 보행성에서 PLC 세 지표(AI, CONTIG_MN, CL)와 네 가지 토지피복 유형의 조합으로 확장하여, 녹지·농경지·수면·불투수면 사이의 동시 변동까지 함께 다루었다. 또한 한 시점의 비교가 아니라 2014, 2019, 2024년 세 시점을 활용해 동시변동의 시간상 위치 차이까지 보여 주었다. 비교 대상도 마스터플랜형과 점진적 발전형 구도심이 아니라 마스터플랜형 신도시와 분산된 택지개발형이라는 점에서, 한국적 맥락의 또 다른 대비를 더한다.

국내 신도시를 다룬 후속 연구도 본 연구의 결과를 보완한다. 김영민과 허운선(2024)은 1·2기 신도시 9곳의 공원 이용자 만족도와 인식을 분석하여, 보행시설·식재·수경시설 같은 공간 구성 요소가 신도시 공원 만족도에 가장 큰 영향을 준다고 보고하였다. 이는 본 연구가 동탄2 신도시에서 관측한 결과, 즉 녹지 응집성이 약해지는 동시에 도시·녹지 접점이 늘어나는 동시변동이 단지 면적 변수가 아니라 보행권 녹지의 형태와 분포에서 비롯될 가능성을 뒷받침한다. 황해권과 손용훈(2024)은 분당구 근린공원의 보행접근성을 분석하면서 신도시 환경에서도 공원 서비스가 격자별로 고르게 분포하지는 않는다는 점을 제시하였다. 본 연구의 격자 단위 동시변동 지도(Figure 6)에서 ② Pop↑·녹지응집성↑ 격자가 동탄2 신도시 내부에 5.0% 비율로 산재하는 결과 역시, 마스터플랜형 신도시 내부에서도 보행권 녹지의 응집성 변화가 균질하지 않다는 점을 격자 차원에서 보여 준다.

Han et al.(2024)은 수도권 신도시 개발이 탄소흡수원에 미친 영향을 분석하여 신도시 개발이 단지 외부의 carbon storage를 감소시켰다고 보고하였다. 이 연구는 신도시 개발의 결과를 거시 단위에서 본다는 점에서 가치가 있으나, 분석 단위가 시·군 수준에 머무르고 비교 대상이 신도시와 비신도시 행정구역이라는 점에서 본 연구와 다르다. 본 연구는 같은 행정구역(화성시) 안에서 진행된 두 도시화 양식을 격자 단위로 비교하여, 도 단위 정책 환경·노동시장·자연환경과 같은 광역 조건을 자연스럽게 통제된 상태에서 양식의 차이만 따로 본다. 측정 대상도 carbon이라는 단일 변수에서 PLC라는 인간 중심의 다지표 평가로 옮겨, 양식마다 강하게 나타나는 지표 조합이 격자 단위 동시변동으로 드러나도록 하였다.

도시 확장 양식의 정량적 비교 흐름에서는 Forman(1995)의 infilling, edge-expansion, outlying 세 확장 유형이 후속 연구의 출발점이 되어 왔다. Liu et al.(2016)은 중국 도시 확장 자료에서 이 세 유형을 다중 스케일로 식별하

였고, Chakraborty et al.(2022)은 466개 도시의 표본에서 확장 패턴과 토지이용 효율을 비교하였으며, Sharma and Ghuge(2025)는 1975-2020년 동안 514개 도시의 경관확장지수 변화를 보고하였다. Cho(2005)는 한국에서 1993년 국토이용관리법 개정 이후 수도권 외곽에 누적된 leap-frog 확장을 정리하였다. 이 흐름이 도시 확장의 유형 식별과 추세 보고에 집중해 왔다면, 본 연구는 한 걸음 더 들어가 그 유형이 만든 공간 구조 변동을 PLC 지표로 측정하고 인구 변화와 어떻게 함께 움직였는지를 본다. 도시 확장 유형론이 도시화 방식 자체의 식별에 머물러 있던 지점에서, 본 연구는 그 방식이 주민의 일상 생활권에 남긴 결과로 한 걸음 더 나아간다.

이러한 비교는 본 연구의 결과를 단일 지표로 환원하지 말고 여러 지표의 조합으로 읽어야 한다는 점도 보여 준다. 동탄2 신도시에서 녹지 응집성은 줄었지만 도시·녹지 접점은 늘어난 결과는, 마스터플랜이 단지 내부에 보행권 녹지를 의도적으로 분산 배치한 결과로 해석할 수 있는 패턴이다. 면적이나 응집성 하나만으로 신도시 녹지를 평가할 때 놓치기 쉬운 양식 차이가, 세 지표의 조합 위에서 비로소 드러난다. 이는 단일 종속변수(carbon, 공원 형태, 보행성 등)에 기댄 선행연구와 본 연구가 구별되는 지점이기도 하다.

5.3 연구의 의의

본 연구의 의의는 다음 네 가지로 정리된다.

첫째, PLC 개념을 격자 단위에서 직접 측정한 점이다. PLC(Jun et al., 2025)는 주민이 일상에서 경관을 얼마나 쉽게 경험·인지·접근할 수 있는지를 가리키는 개념이며, aggregation index·mean contiguity·contact length의 세 지표가 그 지각적 속성을 본다. 본 연구는 이 개념을 100m 격자라는 주민의 일상 생활권 스케일에서 측정하였으며, 두 도시화 양식 사례에서 분석에 적합한 변동 폭과 통계적 검정력을 동시에 확보할 수 있음을 확인하였다.

둘째, 두 단계 집계(30m → 100m) 절차가 자료의 해상도 차이를 보존하면서 작동한다는 점이다. 토지피복도의 원해상도인 30m 셀에서 PLC 지표를 산출한 뒤 이를 100m 인구 격자에 zonal mean으로 집계하는 방식은, 경관 패턴의 미세한 구조를 보존하면서 통계적 인구 격자의 분석 단위와도 정합된다. 두 자료의 해상도 차이를 별도의 보간 없이 활용할 수 있으며, 동일한 절차를 다른 사례지·다른 시점에 그대로 적용할 수 있다.

셋째, 동시변동의 관점이다. 격자 단위 상관관계를 인과가 아니라 두 양식이 동일한 공간에 만들어 낸 결과로 해석하는 본 연구의 접근은, 단일 시점·단일 사례 비교 설계의 자료 한계를 인정하면서도 두 양식의 차이를 비교 가능한 형태로 제시한다. 자료가 답할 수 있는 범위를 넘어선 인과 해석을 피하면서도 정책적 의미를 끌어낼 수 있는 절충점이다.

넷째, 행정단위가 아니라 도시화 방식의 비교라는 점이다. 본 연구는 시·읍 같은 행정단위 비교가 아니라, 동일 행정구역(화성시) 안에서 진행된 두 도시화 방식의 비교라는 점을 분석 단위에서부터 명시하였다. 격자를 분석 단위로 잡고 NAME 컬럼으로 두 사례지를 구별하는 절차는, 행정단위가 비교의 핵심 변수가 아니라는 점을 자료 구조 차원에서 드러낸다.

5.4 연구의 한계

본 연구의 한계는 세 가지 차원으로 묶을 수 있으며, 각 한계는 본 연구가 답할 수 없었던 부분이자 후속 연구가 이어받을 지점이기도 하다.

첫째, 동시변동 관점의 본질적 제약이다. 본 연구는 격자 단위 상관관계를 인과가 아니라 동시변동(co-variation)으로 해석한다. 이는 단일 시점·단일 사례 비교 설계가 갖는 자료적 제약이자, 두 양식이 만들어 낸 공간적 결과를 비교 가능한 형태로 다루기 위한 의도적 선택이기도 하다. 따라서 어느 변수가 원인이고 어느 변수가 결과인지를 분리해 식별하는 작업은 본 연구의 범위를 벗어나며, 더 짧은 시간 간격의 다시점 자료, 외부 충격을 활용한 자연실험 설계, 도구변수 등을 결합한 후속 연구가 이 한계를 보완할 수 있다.

둘째, 사례·맥락의 일반화 가능성이다. 동탄2 신도시와 봉담읍은 한국 수도권에서 두 도시화 양식을 비교적 선명하게 보여 주는 사례이지만, 두 양식 자체의 다양성을 모두 담아내지는 못한다. 마스터플랜형 신도시 간에도 시기별 녹지 계획의 차이가 있고, 택지개발형 도시화 역시 지역별·시기별로 양상이 다르다. 본 연구의 동시변동 패턴이 두 양식 일반의 특성으로 확장될 수 있는지는, 화성시 외의 수도권 시·군과 다른 시기의 사례를 포함하는 확장 비교에서 후속 검증이 필요하다.

셋째, 변수와 공간 스케일의 단순화이다. 본 연구는 분석의 일관성과 비교 가능성을 위해 핵심 변수를 의도적으로 단순화하였다. 인구는 격자별 총인구로 처리하였고, 토지피복은 Grey·Yellow·Green·Blue 네 유형으로 환원하였으며, 일상 생활권 스케일은 400m와 800m 두 반경으로 한정하였다. 이러한 단순화는 두 양식의 비교 구조를

분명히 하는 데 기여하였으나, 가구 구성·연령·사회경제 변수, 더 세분화된 토지피복(공원·가로수·옥상녹화), 그리고 더 넓거나 좁은 스케일(200m 근접권, 1,600m 자전거권 등)에서 PLC가 인구 변화와 어떻게 함께 움직이는지는 다루지 못하였다. 더 정교한 변수 구성과 다중 스케일 분석은 후속 연구에서 본 연구가 확보한 비교 구도 위에 쌓아 올릴 수 있는 자연스러운 다음 단계이다.

5.5 정책적 함의

본 연구의 정책적 의미는 도시화 양식에 따라 다르게 정리된다.

계획형 도시화 지역의 경우, 마스터플랜 단계에서 녹지의 응집성과 도시·녹지 접점을 함께 고려한 설계가 필요함을 보여 준다. 동탄2 신도시의 결과는 녹지 면적이 일정 수준 확보되더라도 인구 증가와 함께 응집성은 약해지는 양상이 나타날 수 있음을 시사한다. 광역 녹지축의 연결과 보행권 녹지의 응집성을 분리해 다루기보다 함께 보는 설계가 필요하다는 점이 격자 단위 결과에서 확인된다. 황해권과 손용훈(2024)이 분당구에서 보였듯, 신도시 환경이라는 사실만으로 보행권 녹지 서비스의 형평성이 자동적으로 확보되지는 않는다는 점도 함께 고려할 필요가 있다.

택지개발형 도시화 지역의 경우, 점적 누적 개발이 농경지 매트릭스를 잠식하는 과정을 시계열로 추적할 필요가 있음을 보여 준다. 봉담읍에서 도시·농경지 접점이 음의 동시변동을 보이고 농경지 총면적이 감소한 결과는, 분산된 택지개발이 누적되며 농경지가 줄어드는 과정을 격자 단위에서 그대로 보여 준다. 농경지 보전을 도시계획 규제의 부수 효과로만 다루기보다, 누적 영향을 시계열로 추적하는 모니터링 체계가 필요하다.

5.6 종합

본 연구의 한계는 후속 연구로 자연스럽게 이어진다. 동시변동의 관점은 두 변수가 함께 움직였다는 점은 보여 주지만, 어느 쪽이 원인인지를 분리하지는 못한다. 또한 두 사례지만으로는 두 양식 자체의 다양성을 충분히 담아내기 어렵다. 따라서 더 짧은 시간 간격의 자료, 외부 충격을 활용한 자연실험, 도구변수와 같은 설계를 결합하여 인과 식별을 보강하는 연구가 후속 과제로 이어질 수 있다. 격자 단위 PLC를 주민 설문 자료(만족도, 신체·정신 건강 지표)와 결합하는 단계, 그리고 동탄2 신도시와 봉담읍 외의 수도권 시·군까지 사례를 확장하여 본 연구 결과의 일반화 가능성을 검증하는 작업도 다음 단계로 가능하다.

도시화 양식의 차이는 결국 주민이 매일 마주하는 경관의 모습으로 남는다. 본 연구는 그 흔적을 격자 단위에서 읽어 내는 하나의 관점을 제시하였으며, 이 관점이 다른 사례지와 시점으로 확장될 때 도시화 논의는 행정단위 통계를 넘어 주민의 생활권 스케일에서 다뤄질 수 있다.

References

1. 김도은, 손용훈(2021) 헤메로비 등급(Hemeroby Index)을 활용한 도시공원의 인지된 자연성 평가. 한국조경학회지 49(2): 89-100.
2. 김미연, 민병욱(2021) 다기능 그린인프라로서 완충녹지의 도시공원화: 대구 신매시장 완충녹지 사례. 한국조경학회지 49(2): 101-112.
3. 김수민, 우아영(2025) 도시 녹지 환경이 거주민의 신체정신 건강에 미치는 파급효과: 서울시 가로보행환경 이미지 빅데이터 및 딥러닝 모델을 활용한 사회적 자본의 매개효과 탐구. 한국조경학회지 53(3): 65-81.
4. 김영민, 허운선(2024) 1·2기 신도시 공원 이용자의 만족도와 인식 분석. 한국조경학회지 52(4): 1-17.
5. 황해권, 손용훈(2024) 보행접근성 분석에 기반한 근린공원의 공원서비스 평가: 성남시 분당구를 대상으로. 한국조경학회지 52(1): 59-70.
6. Bennett, A. F.(2003) Linkages in the Landscape: The Role of Corridors and Connectivity in Wildlife Conservation. IUCN.
7. Chakraborty, S., I. Maity, H. Dadashpoor, J. Novotný and S. Banerji(2022) Building in or out? Examining urban expansion patterns and land use efficiency across the global sample of 466 cities with million+ inhabitants. Habitat International 120: 102503.
8. Cho, J.(2005) Urban planning and urban sprawl in Korea. Urban Policy and Research 23(2): 203-218.
9. Fahrig, L.(2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. Annual Review of Ecology, Evolution, and

- Systematics 34: 487–515.
10. Forman, R. T. T.(1995) Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press.
 11. Gehl, J.(2011) Life Between Buildings: Using Public Space. 6th English ed. Island Press.
 12. Han, A. T., H. Kim, J. Remigio and C. Oh(2024) Impacts of New Town developments on carbon sinks: Implications from the case of Seoul Metropolitan Area, Korea. Land Use Policy 143: 107215.
 13. Jun, B., H. Kwon, P. Jung and Y. Son(2025) The impact of green landscape on the socio-cultural value of ecosystem services based on the perceived landscape connectivity concept. Landscape and Ecological Engineering 21(4): 793–812.
 14. Kaplan, R. and S. Kaplan(1989) The Experience of Nature: A Psychological Perspective. Cambridge University Press.
 15. Liu, F., Z. Zhang, L. Shi, X. Zhao, J. Xu, L. Yi, B. Liu, Q. Wen, S. Hu, X. Wang, L. Zuo, X. Yang, B. Zhu and N. Li(2016) Urban expansion in China and its spatial-temporal differences over the past four decades. Journal of Geographical Sciences 26(10): 1477–1496.
 16. Lookingbill, T. R., E. S. Minor, C. S. Mullis, G. C. Nunez-Mir and P. Johnson(2022) Connectivity in the urban landscape (2015–2020): Who? where? what? when? why? and how? Current Landscape Ecology Reports 7: 1–14.
 17. Lynch, K.(1960) The Image of the City. MIT Press.
 18. McGarigal, K., S. A. Cushman and E. Ene(2012) FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.
 19. McRae, B. H., B. G. Dickson, T. H. Keitt and V. B. Shah(2008) Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. Ecology 89(10): 2712–2724.
 20. Nassauer, J. I.(1995) Messy ecosystems, orderly frames. Landscape Journal 14(2): 161–170.
 21. Opdam, P. and D. Wascher(2004) Climate change meets habitat fragmentation: Linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. Biological Conservation 117(3): 285–297.
 22. Park, K., J. Lee and Y. Shin(2026) Park morphology and urban structure for active living: A suburban case from Seongnam City. Frontiers in Public Health 14: 1744227.
 23. Pauleit, S., B. Ambrose-Oji, E. Andersson, B. Anton, A. Buijs, D. Haase, B. Elands, R. Hansen, I. Kowarik, J. Kronenberg, T. Mattijssen, A. S. Olafsson, E. Rall, A. P. N. van der Jagt and C. Konijnendijk van den Bosch(2019) Advancing urban green infrastructure in Europe: Outcomes and reflections from the GREEN SURGE project. Urban Forestry & Urban Greening 40: 4–16.
 24. Saura, S. and L. Pascual-Hortal(2007) A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison with existing indices and application to a case study. Landscape and Urban Planning 83(2–3): 91–103.
 25. Sharma, G. K. and V. V. Ghuge(2025) Assessment of urban growth dynamics using landscape expansion index: A study of 514 metropolitan cities from 1975 to 2020. Land Use Policy 153: 107593.
 26. Taylor, P. D., L. Fahrig, K. Henein and G. Merriam(1993) Connectivity is a vital element of landscape structure. Oikos 68(3): 571–573.
 27. Urban, D. and T. Keitt(2001) Landscape connectivity: A graph-theoretic perspective. Ecology 82(5): 1205–1218.
 28. van den Bosch, M. and Å. Ode Sang(2017) Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health: A systematic review of reviews. Environmental Research 158: 373–384.