

꿀벌의 사회생태시스템 분석을 통한 도시 양봉 활성화 녹지 계획 전략 제시[†]

Analyzing the Socio-Ecological System of Bees to Suggest Strategies for Green Space Planning to Promote Urban Beekeeping[†]

최호준*, 김민**, 전진형***

*고려대학교 일반대학원 환경생태공학과 석박사통합과정, **고려대학교 오정리질리언스연구원 연구교수, ***고려대학교 환경생태공학부 교수

Choi, Hojun*, Kim, Min**, Chon, Jinhyung***

*Graduate School, Dept. of Environmental Science and Ecological Engineering, Graduate School, Korea University

**Research Professor, OJ Eong Resilience Institute, Korea University

***Professor, Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University

Received: November 03, 2023

Revised: November 21, 2023 (1st)

December 18, 2023 (2nd)

Accepted: December 19, 2023

3인익명 심사됨

Corresponding author :

Jinhyung Chon

Professor, Division of

Environmental Science and

Ecological Engineering, Korea

University, Seoul 02841, Korea

Tel.: +82-2-3290-3621

E-mail: jchon@korea.ac.kr

국문초록

수분매개자란 식물의 수분 과정을 이뤄내는 생물체를 말하며 대표적으로 벌목, 나비목, 파리목, 딱정벌레목 등이 있다. 그중 꿀벌은 수분 과정뿐만 아니라 토지이용 변화에 의해 훼손된 도시 녹지를 개선하여 도시 내 존재하는 조류 및 곤충에게 서식처와 먹이를 제공한다. 하지만 오늘날 기후변화로 인한 조기 개화를 상승, 도시화로 인한 녹지 파편화, 농약사용과 같은 문제로 인해 수분 가능한 식물의 수가 감소하고 있으며, 이는 곧 꿀벌의 개체수가 감소하는 문제로까지 이어지고 있다. 꿀벌 개체수의 감소는 곧 도시 내 생물다양성 감소, 식량 생산량 감소 같은 문제들로 직결되며, 오늘날 꿀벌 개체수가 감소하는 문제를 해결하기 위한 전략으로 도시 양봉이 제시되고 있다. 하지만 꿀벌의 먹이 활동 및 수분활동, 도시 양봉으로 구성된 사회생태시스템의 구조를 복합적으로 고려하지 못한 상태로 도시 양봉 전략이 제시되어 지속 가능하게 이루어지지 못한다는 문제점이 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 수분 매개자인 꿀벌의 사회생태시스템을 시스템 사고를 활용하여 구조적으로 분석하고 도시 양봉의 활성화를 위한 녹지 계획 전략을 제시하고자 한다. 본 연구의 결과로 첫째, 인과순환지도 작성을 위해 도시 내 꿀벌의 사회 및 생태시스템을 중심으로 선행연구를 고찰 및 수집하여 시스템 영역을 설정하고 주요 변수를 도출했다. 둘째, 개별인과순환 지도를 작성하여 꿀벌의 먹이활동과 수분활동에 대한 생태적 구조, 꿀벌의 생태 시스템이 도시에 미치는 영향 구조, 도시 양봉의 사회생태시스템 구조를 분석했다. 마지막으로 통합인과순환지도 작성을 통해 꿀벌의 사회생태시스템 구조를 전체적인 관점에서 분석하고 도시 양봉의 활성화를 위해 도시 내 유휴공간을 활용할 수 있는 시민참여 프로그램 도입, 지자체 투자, 유휴공간의 도시공원 및 녹지조성 등을 녹지 계획 전략으로 제시하고자하였다. 본 연구의 결과는 시스템 사고를 활용한 꿀벌의 생태적 구조와 도시 양봉 도입에 대한 사회적 구조를 전체적인 관점으로 파악하여 전략을 제시했다는 점에서 선행연구와 차별점이 존재하며, 지속 가능한 도시 양봉을 도입하기 위한 정책적 제언 및 시사점을 제시하였다.

주제어: 수분 활동, 시스템 사고, 유휴 공간, 식재 설계, 도시 생태계

ABSTRACT

Pollinators are organisms that carry out the pollination process of plants and include Hymenoptera, Lepidoptera, Diptera, and Coleoptera. Among them, bees not only pollinate plants but also improve urban green spaces damaged by land use changes, providing a habitat and food for birds and insects. Today, however, the number of pollinating plants is decreasing due to issues such as early flowering due to climate change, fragmentation of green spaces due to urbanization, and pesticide use, which in turn leads to a decline in bee populations. The decline of bee populations directly translates into problems, such as reduced biodiversity in cities and decreased food production. Urban beekeeping has been proposed as a strategy to address the decline of bee populations. However, there is a problem as urban beekeeping strategies are proposed without considering the complex structure of the socio-ecological system consisting of bees foraging and pollination activities and are therefore unsustainable. Therefore, this study aims to analyze the socio-ecological system of honeybees, which are pollinators, structurally using system thinking and propose a

[†]이 논문은 2023년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2022R1A6A3A01087632).

green space planning strategy to revitalize urban beekeeping. For this study, previous studies that centered on the social and ecological system of bees in cities were collected and reviewed to establish the system area and derive the main variables for creating a causal loop diagram. Second, the ecological structure of bees' foraging and pollination activities and the structure of bees' ecological system in the city were analyzed, as was the social-ecological system structure of urban beekeeping by creating an individual causal loop diagram. Finally, the socio-ecological system structure of honey bees was analyzed from a holistic perspective through the creation of an integrated causal loop diagram. Citizen participation programs, local government investment, and the creation of urban parks and green spaces in idle spaces were suggested as green space planning strategies to revitalize urban beekeeping. The results of this study differ from previous studies in that the ecological structure of bees and the social structure of urban beekeeping were analyzed from a holistic perspective using systems thinking to propose strategies, policy recommendations, and implications for introducing sustainable urban beekeeping.

Keywords: Pollination, System Thinking, Vacant Lands, Planting Planning, Urban Ecosystem

1. 서론

수분매개자인 꿀벌은 도시 생태계에 중요한 역할을 하며, 꿀벌 개체수를 향상시키기 위한 효과적인 방법으로 도시 양봉이 있다. 수분매개자란 식물의 꽃가루를 꽃의 수술에서 암술로 옮겨 생식 시키는 수분 과정을 도와주는 생물체를 말하며 대표적으로 벌목, 나비목, 파리목, 딱정벌레목 등이 있다. 그 중에서도 벌목에 속하는 꿀벌은 전 세계 식물 20만 종 가운데 약 17여만 종의 식물 수분을 담당하고 있으며, 100대 농작물의 71%의 작물이 꿀벌의 수분 활동에 의존하고 있다(FAO, 2004). 즉 꿀벌은 도시 내 작물과 식물에 수분 서비스를 제공하여(Harrison and Winfree, 2015) 도시공원, 도시 숲, 주거지 등 도시 내 다양한 녹지 공간의 생물다양성 향상과 토지이용 변화로 인해 훼손된 도시 녹지를 복원시키는데 기여할 수 있다(Garbuzov et al., 2015; Senapathi et al., 2015; Hall et al., 2017). 하지만 기후변화, 녹지 훼손 및 파편화, 농약사용 같은 문제들로 인해 꿀벌의 개체수가 지속적으로 감소하고 있는 실태이다(Harrison and Winfree, 2015). 이러한 꿀벌 개체수의 감소는 오늘날 도시 생태계의 생물다양성 감소(Potts et al., 2010), 도시 녹지에 식재된 과실수의 생산량 감소(Kulak et al., 2013; 최용수 등, 2017; 정철의, 2022), 식물다양성 감소(Breeze et al., 2011)와 같은 문제들로 이어지며 최근 이를 저감하기 위한 방안으로 도시 양봉이 전략으로 제시되고 있다.

도시 양봉이란 도시 내 존재하는 녹지에서 벌을 키우는 모든 활동을 말하며 옥상 녹지에서 키우는 옥상 양봉과 지상 녹지에서 키우는 지상 양봉으로 구분되며 영국, 일본, 미국과 같은 국가에서는 도시 양봉을 통해 도시 내 생물다양성 회복, 일자리 창출, 생태교육 등 다양한 방안으로 활용되고 있다(박진, 2016). 따라서 오늘날 도시 양봉의 도입은 꿀벌 개체수의 향상, 도시 녹지 회복 및 생물다양성 향상 같은 생태적 혜택과 도시 일자리 창출, 생태교육 프로그램, 생산물 판매로 인한 경제적 수익 발생 같은 사회적 혜택을 제공할 수 있기 때문에 중요하다(Lorenz and Stark, 2015; Egerer and Kowarik, 2020; Casanelles-Abella and Moretti, 2022).

하지만 관련 선행연구들은 두 가지 측면에서 한계점을 갖는다. 첫째, 도시 양봉으로 유입되는 꿀벌이 도시 생태계에 미치는 영향을 단편적으로 바라보았다. 도시 양봉 도입을 위해서는 벌 쏘임 같은 안전 문제를 최소화하는 동시에 생물다양성 향상 같은 효과를 극대화하기 위해 꿀벌이 도시 생태계에 미치는 영향을 통합적으로 파악하여 도시 양봉 규정을 제시하는 것이 필요하지만 현재까지 미국, 캐나다, 스위스와 같은 주요 도시나 지역차원의 여러 도시 양봉의 규정이 확립 근거에 대한 기초가 부족한 실정이다(Matsuzawa and Kohsaka, 2022). 둘째, 꿀벌의 생활사의 대부분을 차지하는 녹지 공간과 꿀벌의 사회생태시스템 간의 상호작용을 통합적으로 고려하지 못했다. 도시 양봉을 통해 꿀벌이 도시 지역에 유입되었을 때 발생하는 야생벌과 경쟁 현상에 대한 생태적 고려(Matsuzawa and Kohsaka, 2022)와 실제 꿀벌의 생활사의 대부분을 차지하는 녹지 공간에서 발생하는 농약 사용, 녹지 훼손 및 면적 감소와 같은 사회적 문제점을 통합적으로 파악하지 못했다는 한계점이 존재한다(Lorenz and Stark, 2015; Lorenz, 2016).

실제로 국내 도시 양봉의 경우 2012년부터 본격적으로 도입되어 서울시 남산별관 옥상, 보라매공원, 명동유네스코회관 옥상 등 도시에 존재하는 다양한 녹지 공간에서 운영되고 있다. 그러나 해외 도시 양봉과 달리 관련 정책

및 제도의 결여와 도시 양봉의 무분별한 확산으로 인해 발생하는 벌 쏘임 피해 같은 문제, 꿀벌의 세력이 나뉘는 분봉 등으로 인해 도시 양봉이 정착되지 못하고 있어 양봉장 설치를 위한 녹지 공간 확보 및 운영 관련 정책에 대한 필요성이 지속적으로 대두되고 있는 실태이다(박진, 2016). 따라서 국내 도시 양봉의 활성화를 위해서는 꿀벌의 먹이활동 및 수분활동, 도시 양봉으로 구성된 꿀벌의 사회생태시스템을 통합적으로 고려하여 시스템 간 발생하는 상호작용을 파악하고 이에 기반한 전략을 제시하는 것이 필요하다.

도시 양봉이 조성될 수 있는 공간은 크게 공원, 공원 내 공동체 텃밭, 건물 옥상으로 분류되며 이는 양봉활동 중 발생하는 안전문제를 해결하기 위한 입지유형의 차이이다(윤승렬과 김아연, 2020). 따라서 본 연구에서 정의하는 녹지란 꿀벌의 생활사와 겹치는 녹지로 「도시공원 및 녹지에 관한 법률」에 따른 도시의 경관 향상을 도모하기 위하여 지정된 도시 공원 및 녹지 등을 말하며 도시 내 꿀벌의 사회생태시스템 구조를 시스템 사고(system thinking)를 활용하여 분석하고자 한다. 시스템 사고란 기존 선행연구에서 검증되어 온 사실들을 바탕으로 다양한 요인들 간의 인과관계를 피드백 루프로 이해하게 하는 연구 방법이다(Kim, 2004). 또한 복잡하고 동태적인 시스템에 대한 피드백 구조를 인과순환지도로 도식화하여 시각적으로 한눈에 파악할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 수분매개자인 꿀벌의 사회생태시스템을 시스템 사고를 통해 전체적인 구조를 분석하여 시민참여 프로그램, 지자체 투자, 유희공간 녹지화 등이 포함된 녹지 계획 전략을 제시하는 것이다.

2. 연구 방법

2.1 연구 범위

도시 녹지에 존재하는 식생은 농촌 지역보다 더 다양하고, 농약과 천적에 대한 위험이 적으며(김운호 등, 2020) 농촌 및 자연지역 대비 평균기온이 높아 꿀벌의 생존에 효과적인 이점을 보이기 때문에(Vollet-Neto et al., 2011) 오늘날 도시 녹지는 꿀벌 개체수의 증가를 위한 새로운 서식지로 제안되고 있다(Senapathi et al., 2015). 따라서 본 연구의 범위는 서울시 면적 605.24km² 중 도시 양봉이 주로 도입되고 있는 서울숲, 잠원한강공원 같은 도시 공원, 학교 및 호텔 같은 건물형 옥상(윤승렬과 김아연, 2020)을 도시 녹지 공간으로 선정하였다. 오늘날 서울시는 오늘날 꿀벌 개체수 감소를 저감하기 위해 공공건물 옥상, 건축 공백지같은 유희 공간에서 도시 양봉장을 운영하여 꿀벌의 중요성을 알리는 시도를 하고 있지만 도시 양봉장 설치를 위한 면적 부족, 벌 쏘임 같은 문제 발생, 도시 양봉장 설치에 대한 제도의 결여로 인해 활성화가 이루어지지 않고 있다(박진, 2016).

하지만 해외 도시 양봉의 경우 도시공원, 가정집 뒷마당 같은 자연 녹지와 건물옥상 같이 인공지반에 조성된 인공녹지 등 다양한 장소에서 이루어지고 있으며 영국, 일본, 미국, 덴마크, 프랑스 등 다양한 나라에서 이루어지고 있다. 실제로 영국의 도시 양봉은 도시에 맞는 벌통 지원, 양봉가협회를 통한 도시 양봉 교육, 세미나 등 다양한 프로그램의 도입을 통해 안전하고 지속가능한 도시 양봉을 지원하고 있었다. 미국의 도시 양봉은 주마다 차이가 있으며 도시 양봉을 법으로 금지하는 곳도 있고, 합법화하여 공개적으로 진행하는 주도 있다(박진, 2016; Matsuzawa and Kohsaka, 2021a; Sponsler and Bratman 2021). 하지만 무분별한 도시 양봉장의 증가는 도시 내 존재하는 꿀벌의 먹이가 부족하게 되고 나아가 분봉 및 벌 쏘임 현상도 발생할 수 있기 때문에 도시 양봉과 꽃 자원에 관한 녹지 계획 및 관리에 필요성이 지속적으로 언급되고 있다(Bolshakova and Niño, 2018; McCune et al., 2020; Matsuzawa and Kohsaka, 2021b). 이처럼 도시 양봉은 관행 양봉보다 안전 및 주변 생태계에 대한 각별한 주의가 필요하며 이를 해결하기 위한 지속가능한 전략 제시를 위해서는 꿀벌의 사회생태시스템을 통합적인 관점으로 파악하여 도시 양봉에 대한 활성화 전략을 제시하는 것이 필요하다. 이에 본 연구는 꿀벌의 먹이활동 혹은 수분활동, 도시 양봉으로 구성된 꿀벌의 사회생태시스템이 도시에 미치는 효과를 종합적으로 분석하고자 한다.

2.2 시스템 사고

본 연구에서는 시스템 사고(system thinking)라는 방법론을 활용하고자 한다. 시스템 사고는 1960년대 MIT의 J. W. Forrester 교수가 최초로 개발한 방법론으로 인문, 사회, 경제 등 다양한 분야에서 오늘날 우리가 직면한 난제들에 대한 전략 도출 및 의사결정 등을 목적으로 활용되고 있다(Ramage and Shipp, 2012). 시스템 사고는 단선적 사고와 달리 시스템의 전체적인 작동 구조를 기존 선행연구에서 검증되어 온 사실들을 바탕으로 파악하고, 복잡한 피드백이나 비선형적 구조 분석과 하위시스템 간 동태적 역학관계를 고려하여 하나의 통합된 시각을 가지고 시스템 전체 차원에서 해결책을 찾는 방법론이다(최남희, 2003). 또한 시스템 사고는 기존의 단선적 사고방식을 대체하는 사고틀로 하위시스템이 전체 시스템에 미치는 현상에 대한 구조적이고 근본적인 이해가 가능하다는 특징이 있다(유

창호와 장우진, 2015). 또한 시스템 사고는 문제의 변수와 전체적인 구조에 대한 파악을 통해 작은 변화로 인해 큰 변화를 가져올 수 있는 지점을 직관적으로 파악할 수 있는 인과중심의 분석방법이며, 시스템의 순환 구조를 인과순환지도 작성을 통해 파악한다(문종열, 2007). 피드백 구조를 표현하는 인과순환지도는 변수, 화살표 및 +/- 증감표 시로 표현되며, 인과순환지도 내의 강화 루프(reinforce loop)는 시스템이 동일한 방향으로 진행되는 피드백 구조를 나타내며, 방향의 순환관계를 되풀이 하는 것을 의미한다. 균형 루프(balance loop)의 경우 시스템이 안정 상태로 진행되는 구조를 나타낸다. 시간지연(time delay)은 시스템을 구성하는 모든 요소가 동시에 반응하는 것이 아니라 시간의 경과에 따라 변수의 영향과 효과가 서서히 나타나는 특성을 표현한 것이다. 실제로 공유지의 비극(The Tragedy of the Commons), DDT와 살충제(DDT and Pesticides), 마약과의 전쟁(War on Drugs) 같은 사례들은 시스템 사고를 통해 도출된 결과이며 해당 사례들은 예측할 수 없고 잠재적으로 부정적인 결과를 피하기 위해 전체적인 시스템 구조에 대한 영향을 고려하는 것이 중요하다는 점을 강조하고 있다(Gharajedaghi, J 2011).

시스템 사고를 통해 사회생태시스템을 분석하는 과정은 크게 3부분으로 구분된다(Moon, 2007). 첫째, 시스템의 범위를 설정하고, 해당 시스템에서 발견되는 동태적 문제를 발견하여 주요 변수를 도출한다. 둘째, 도출된 주요 변수들 간의 관계를 탐색하여 동태적 문제에 대한 인과순환구조를 분석한다. 마지막으로 각 동태적 문제별로 도출된 인과순환구조를 종합하여 통합 인과지도를 구축하여 해결방안을 제시한다.

따라서 본 연구에서는 꿀벌의 사회생태시스템 구조를 시스템 사고를 활용한 인과순환지도 작성을 통해 분석하고 도시 양봉을 활성화 시킬 수 있는 녹지 계획 전략을 제시했다. 첫째, 인과순환지도 작성을 위해 도시 내 꿀벌의 사회 및 생태시스템을 중심으로 선행연구를 고찰 및 수집하여 시스템 영역을 설정하고 주요 변수를 도출했다. 둘째, 설정된 시스템 영역 내 개별 인과순환지도를 작성하여 꿀벌의 먹이활동과 수분활동에 대한 생태적 구조, 꿀벌의 생태 시스템이 도시에 미치는 영향 구조, 도시 양봉의 사회생태시스템 구조를 분석했다. 셋째, 통합인과순환지도 작성을 통해 개별 인과순환지도에서 나타나지 않은 변수들 간의 인과관계와 전체적인 구조를 분석하고 해외 도시 양봉의 지속가능한 성공 사례를 바탕으로 국내 도시 양봉 활성화를 위한 녹지 계획 전략을 제시했다.

3. 연구결과

3.1 동태적 이슈 및 주요 변수 도출

도시 양봉에 대해 기존에 발간된 문헌 검토와 기사들을 탐색하여 도시 내 꿀벌의 사회생태시스템에 대한 동태적 이슈를 파악하고 주요 변수를 도출했다. 첫 번째로 도시 양봉으로 인해 새로 출현하는 꿀벌과 기존에 존재하는 야생벌 간 먹이 경쟁으로 인한 생태적 구조의 문제가 도출되었으며 기후변화, 도시화, 농약 사용 같은 외부적 문제들로 인한 밀원식물의 감소가 이러한 먹이 경쟁을 가속화시켰다. 두 번째로 꿀벌의 수분활동은 도시 내 존재하는 식물, 조류, 곤충과 같은 생물에 영향을 미치고 있었으며, 기후변화 문제로 인한 꿀벌의 개체수의 감소는 곧 도시의 생물다양성 감소로 연결되는 문제를 발생시켰다. 세 번째로 꿀벌 개체수의 향상을 위한 도시 양봉의 도입은 인간과 접촉으로 인한 벌 쏘임, 분봉과 같은 문제점을 발생시키고 있었지만 반대로 양봉으로 인한 소득과 교육프로그램 같은 혜택을 제공하고 있어 도시 양봉에 대한 정책적 필요성이 대두되고 있다. 이처럼 도시 내 꿀벌의 사회생태시스템은 복잡한 구조를 가지고 있기 때문에 이를 통합적으로 고려하기 위한 구조적 분석이 필요하며, 연구 대상지의 동태적 이슈를 꿀벌의 먹이활동과 수분활동에 대한 생태적 구조, 꿀벌의 생태적 구조가 도시에 미치는 영향, 도시 양봉의 사회생태적 구조 3가지로 선정했다(표 1 참조).

3.2 도시 내 꿀벌의 먹이활동과 수분활동에 대한 생태적 구조

도시 내 꿀벌의 먹이활동과 수분활동에 대한 생태적 구조는 그림 1과 같다(표 2, 그림 1 참조). 본 연구에서는 도시 양봉을 통해 도시로 유입되는 꿀벌을 중심으로 분석하였으며, 인과 지도 원형 중에서 공유지의 비극(Tragedy of the commons)의 피드백 구조를 대입하여 나타냈다(Kim, 1992). 이러한 구조에서는 하나의 자원을 모두가 과도하게 이용하여, 어느 순간 공동 자원에 과부하가 걸리고 관련된 모든 당사자의 혜택이 감소하는 구조를 나타낸다. 꿀벌과 야생벌의 지속적인 수분활동으로 인해 먹이량의 지속적으로 증가하게 되며(Tilman D and Knops J, 1996) 이는 곧 도시 내 벌의 총 수분량이 점차 증가하는 강화루프 구조를 보였다(R1, R2). 하지만 기후변화로 인한 조기 개화율의 증가, 도시화로 인한 도시 내 녹지면적의 감소와 같은 요인들은 수분 가능한 꽃의 양에 영향을 미쳤다(박진, 2016). 이는 곧 수분 가능한 꽃을 두고 꿀벌과 야생벌들 간의 먹이 경쟁이 발생하게 되어 결국 둘 중 하나의 개체수가 지속적으로 감소되는 구조로 전환되는(Casanelles-Abella and Moretti, 2022) 균형구조를 보였다(B1, B2).

표 1. 동태적 이슈를 기반으로 한 주요 변수 간의 인과관계

동태적 이슈	원인 변수	극성	결과 변수	설명	참고 문헌
꿀벌의 먹이활동과 수분활동에 대한 생태적 구조	꿀벌의 개체수	+	꿀벌의 수분활동	꿀벌의 개체수가 증가할수록 수분활동을 할 수 있는 꿀벌의 수가 많아져 수분활동량이 증가함	Tilman et al.(1996)
	꿀벌의 수분활동	+	꿀벌의 먹이량	꿀벌의 수분활동이 많아질수록 수분작용을 받은 꽃의 수가 늘어나며 이는 곧 개화하는 꽃의 수가 늘어나 꿀벌의 먹이량을 증가시킴	Tilman et al.(1996)
	꿀벌의 먹이량	+	꿀벌의 개체수	꿀벌의 먹이량이 증가할수록 해당 공간에 방문하는 꿀벌의 개체수가 지속적으로 증가함	Tilman et al.(1996)
	야생벌의 개체수	+	야생벌의 수분활동	야생벌의 개체수가 증가할수록 수분활동을 할 수 있는 야생벌의 수가 많아져 수분활동량이 증가함	Tilman et al.(1996)
	야생벌의 수분활동	+	야생벌의 먹이량	야생벌의 수분활동이 많아질수록 수분작용을 받은 꽃의 수가 늘어나며 이는 곧 개화하는 꽃의 수가 늘어나 꿀벌의 먹이량을 증가시킴	Tilman et al.(1996)
	야생벌의 먹이량	+	야생벌의 개체수	야생벌의 먹이량이 증가할수록 해당 공간에 방문하는 야생벌의 개체수가 지속적으로 증가함	Tilman et al.(1996)
	꿀벌의 수분활동	+	도시 내 벌의 총 수분량	꿀벌과 야생벌의 수분활동이 많아질수록 도시 내 벌들이 제공해주는 수분량이 증가함	Casanelles-Abell and Moretti(2022)
	야생벌의 수분활동				
	도시 내 벌의 총 수분량	-	수분 가능한 꽃의 수	도시 내 꿀벌과 야생벌이 제공해주는 수분량이 많아질수록 수분할 수 있는 꽃의 수는 점차 감소함	Casanelles-Abell and Moretti(2022)
	수분 가능한 꽃의 수	+	꿀벌의 먹이량	수분 가능한 꽃의 수가 점차 증가할수록 개화하는 꽃의 수량이 증가하여 꿀벌의 먹이량이 증가함	Casanelles-Abell and Moretti(2022)
			야생벌의 먹이량	수분 가능한 꽃의 수가 점차 증가할수록 개화하는 꽃의 수량이 증가하여 야생벌의 먹이량이 증가함	Casanelles-Abell and Moretti(2022)
	농약사용	+	도시 내 꽃의 질	농약사용을 통해 도시 내 존재하는 꽃의 질을 향상시키고 유지시킴	박진(2016)
	도시 내 꽃의 질	+	수분 가능한 꽃의 수	도시 내 꽃의 질이 증가할수록 고사하는 꽃의 수가 감소하며 이는 곧 수분할 수 있는 꽃의 수가 점차 증가함	박진(2016)
	기후 변화	+	조기 개화율	기후변화로 인해 대기 온도가 점차 증가하면 꽃의 개화시기에 영향을 미쳐 조기 개화율이 증가함	박진(2016)
	조기 개화율	-	수분 가능한 꽃의 수	조기 개화율이 점차 높아질수록 꿀벌이 출현하기 전에 이미 꽃이 시들어 벌들이 수분할 수 있는 꽃의 수가 점차 감소함	박진(2016)
	도시화	-	도시 내 녹지면적	도시화가 점차 가속화될수록 도시 내 녹지면적이 감소함	박진(2016)
	도시 내 녹지면적	+	수분 가능한 꽃의 수	도시 내 녹지면적의 감소는 식물을 식재할 수 있는 면적의 감소로 이어지며 이는 곧 벌들이 수분할 수 있는 꽃의 수 감소로 이어짐	박진(2016)
벌의 생태적 구조가 도시의 생태시스템에 미치는 영향 구조	도시 내 꿀벌의 총 수분량	+	도시 내 꽃의 개화율	도시 내 꿀벌의 총수분량이 증가할수록 수분을 받는 꽃의 수가 증가하므로 도시 내 존재하는 꽃의 개화율도 증가함	Tomasi et al.(2004); Matteson et al.(2008)
	도시 내 꽃의 개화율	+	도시 내 식물 다양성	도시 내 꽃의 개화율이 증가하면 번식 가능 꽃의 개체수가 증가하여 도시 내 식물 다양성이 향상됨	Tomasi et al.(2004); Matteson et al.(2008)
	도시 내 식물 다양성	+	곤충의 먹이 다양성	도시 내 식물 다양성이 향상될수록 곤충이 가용할 수 있는 먹이가 점차 다양해짐	Tomasi et al.(2004); Matteson et al.(2008)
		+	곤충의 서식지 다양성	도시 내 식물 다양성이 향상될수록 곤충이 서식할 수 있는 서식지가 점차 다양해짐	Tomasi et al.(2004); Matteson et al.(2008)
	곤충의 먹이 다양성	+	곤충의 종 다양성	곤충의 먹이와 서식지가 다양해지면 곤충의 서식환경이 개선되며 이는 곧 곤충의 종 다양성 향상으로까지 이어짐	Sattler et al.(2010)
	곤충의 서식지 다양성				
	조류의 먹이 다양성	+	조류의 종 다양성	조류의 먹이와 서식지가 다양해지면 조류의 서식환경이 개선되며 이는 곧 조류의 종 다양성 향상으로까지 이어짐	Sattler et al.(2010)
	조류의 서식지 다양성				
	곤충의 종 다양성	+	도시 내 생물다양성	도시 내 곤충과 조류의 종 다양성 향상으로 인해 도시의 생물 다양성이 향상되는 결과로 이어짐	Tomasi et al.(2004); Matteson et al.(2008)
	조류의 종 다양성				

표 1. 계속

동태적 이슈	원인 변수	극성	결과 변수	설명	참고 문헌
도시 양봉의 사회생태적 구조	지상 양봉 규제와 옥상 양봉 정책의 필요성	+	지상 양봉장 설치량	지상 양봉에 대한 적절한 규제가 생겨날수록 규제를 통한 도시 내 지상 양봉장에 대한 설치가 증가함	<a href="http://www.youngno
ng.co.kr">http://www.youngno ng.co.kr
	지상 양봉장 설치량	+	인간과 벌의 접촉거리	지상 양봉장 설치가 증가할수록 인간과 벌의 접촉거리가 가까워짐	<a href="http://www.youngno
ng.co.kr">http://www.youngno ng.co.kr
	인간과 벌의 접촉거리	+	인간의 벌 쏘임 피해	인간과 벌의 접촉거리가 가까워질수록 인간의 벌 쏘임 피해가 증가함	<a href="http://www.youngno
ng.co.kr">http://www.youngno ng.co.kr
	인간의 벌 쏘임 피해	+	민원량	벌 쏘임 피해가 지속적으로 발생하면 피해에 대한 민원이 지속적으로 발생	<a href="http://www.youngno
ng.co.kr">http://www.youngno ng.co.kr
	지상 양봉 규제와 옥상 양봉 정책의 필요성	+	옥상 양봉 설치량	옥상 양봉에 대한 정책이 활성화되어 제시될수록 옥상 양봉 설치가 증가함	Nat Schouten and John Lioyd(2019)
	옥상 양봉 설치량	+	옥상 양봉정원	옥상 양봉에 대한 설치량이 증가하면 기존 옥상에 조성된 옥상 정원과 옥상 양봉에 대한 설치가 융합된 옥상 양봉정원의 양이 점차 증가함	Nat Schouten and John Lioyd(2019)
	옥상 정원				
	옥상 양봉정원	+	교육 프로그램의 다양성	옥상 양봉정원이 증가하면 이를 활용한 다양한 옥상 양봉 교육 프로그램이 발생	Nat Schouten and John Lioyd(2019)
	교육 프로그램의 다양성	+	도시 양봉에 대한 시민인식 개선	교육 프로그램을 통해 시민들이 양봉에 참여하면 점차 도시 양봉의 피해에 대한 부정적인 시각이 감소하고 시민인식이 점차 개선	Nat Schouten and John Lioyd(2019)
	지상 양봉장 설치량	+	도시 양봉장 설치량	도시 내 지상과 옥상에 양봉장 설치가 활성화되면 도시 내 도입된 양봉장의 설치량이 점차 증가함	Mitsumori(2020)
	옥상 양봉장 설치량				
	도시 양봉장 설치량	+	꿀벌의 개체수	도시 양봉장의 설치량이 증가하면 꿀벌이 서식할 수 있는 공간이 증가하여 꿀벌의 개체수가 증가함	Mitsumori(2020)
	꿀벌의 개체수	+	꿀 생산량	도시 양봉으로 인한 꿀벌의 개체수 증가는 생산자의 증가로 꿀 생산량이 증가함	Mitsumori(2020)
	꿀 생산량	+	양봉소득	꿀 생산량이 증가할수록 판매할 수 있는 상품이 많아지고 이는 곧 양봉소득의 증가로 이어짐	Mitsumori(2020)
	양봉소득	+	양봉업자의 경제적 지위	양봉업자의 양봉소득이 곧 판매로 인해 점차 증가하면 양봉업자의 경제적 지위도 점차 상승함	Mitsumori(2020)

표 2. 도시 내 꿀벌의 먹이 활동과 수분 활동에 관한 인과 순환 관계

범례	인과 순환 관계
R1	꿀벌의 개체수(+) → 꿀벌의 수분 활동(+) → 꿀벌의 먹이량(+) → 꿀벌의 개체수(+)
R2	야생벌의 개체수(+) → 야생벌의 수분 활동(+) → 야생벌의 먹이량(+) → 야생벌의 개체수(+)
B1	꿀벌의 먹이량(+) → 꿀벌의 개체수(+) → 꿀벌의 수분활동(+) → 도시 내 벌의 수분량(+) → 수분 가능한 꽃의 수(-) → 꿀벌의 먹이량(+)
B2	야생벌의 먹이량(+) → 야생벌의 개체수(+) → 야생벌의 수분활동(+) → 도시 내 벌의 수분량(+) → 수분 가능한 꽃의 수(-) → 야생벌의 먹이량(+)

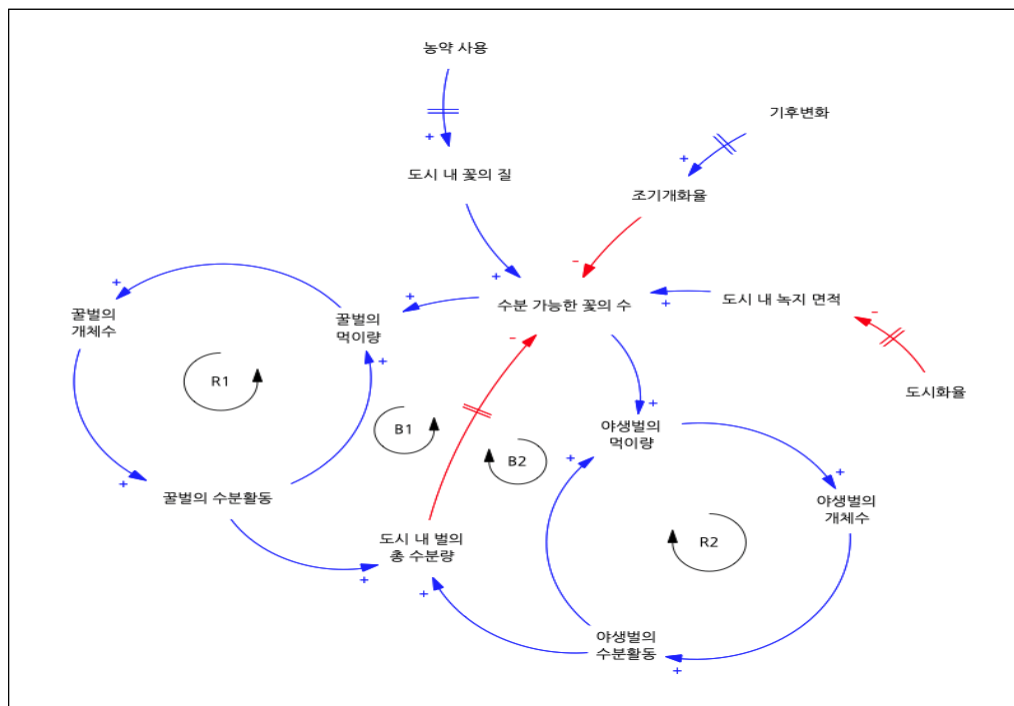


그림 1. 도시 내 꿀벌과 야생벌의 수분 활동과 먹이 경쟁에 관한 인과관계

3.3 꿀벌의 생태시스템이 도시의 생태시스템에 미치는 영향 구조

앞선 그림 1에서 파악된 것처럼 기후변화와 도시 내 농약 사용, 도시 내 녹지면적의 감소는 꿀벌과 야생벌의 수분활동에 악영향을 미치고 이는 곧 두 개체군 간의 먹이 경쟁으로 이어지는 문제까지 야기한다. 이러한 경쟁은 도시 내 벌의 총 수분량 감소로까지 이어졌으며 총 수분량 감소로 인한 도시 내 꽃 개화율의 감소는 도시 내 식물다양성의 감소까지 이어졌다(Casanells-Abella and Moretti, 2022). 도시 내 식물다양성 감소로 인해 도시 내 서식하는 조류와 곤충의 서식처 및 먹이에 영향을 미쳤으며(Tommasi et al., 2004; Sattler et al., 2010) 이는 조류와 곤충의 종 다양성 감소뿐 아니라 도시 내 생물다양성의 감소로 이어지는 결과를 보였다(Matteson et al., 2008)(그림 2 참조).

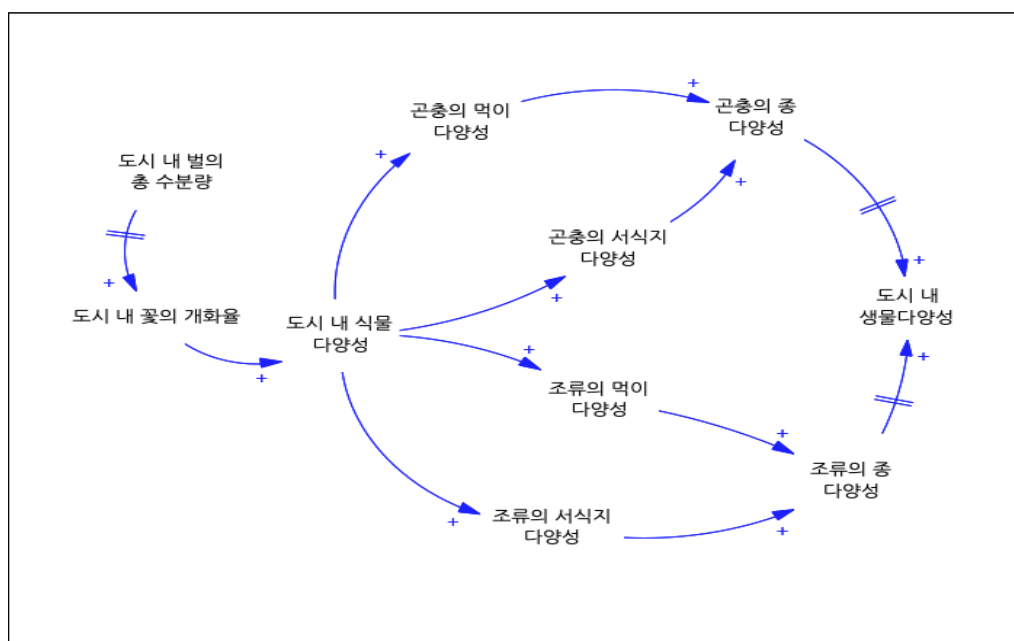


그림 2. 꿀벌의 수분활동이 도시에 미치는 생태적 영향에 대한 인과관계

3.4 도시 양봉의 사회생태시스템 구조

앞선 그림 1과 그림 2의 구조 분석을 통해 도시 내 먹이 경쟁으로 인한 꿀벌 개체수의 감소와 벌의 총 수분량 감소가 도시의 생태계에 미치는 영향을 파악했다. 이에 기반하여 꿀벌의 개체수를 향상시키기 위한 방안으로 도시 양봉을 도입했을 때 발생하는 문제점과 해택에 대한 구조를 인과 지도 원형 중에서 빈익빈 부익부(success to successful)의 피드백 구조를 대입하여 나타냈다(Kim, 1992). 해당 피드백 구조에서는 R1, R2, R3 구조가 도출되었다. 이러한 구조에서는 하나의 자원이 더 많아질수록 다른 하나의 자원이 감소하는 양상을 보인다. 도시 양봉은 크게 지상과 옥상 두 가지로 나뉘어 진행할 수 있으며, 꿀벌 개체수의 향상을 위해 지상에 설치되는 도시 양봉량이 늘어 나지만 양봉장 설치가 지속적으로 증가할수록 인간과 벌의 접촉 거리가 가까워짐에 따라 벌 쏘임 피해 증가(Morrison, 2013; Kearney, 2019)와 이로 인한 지상 양봉에 대한 규제가 증가(www.youngnong.co.kr; https://news.jtbc.co.kr)하는 강화루프의 구조를 보였다(R1). 또한 지상 양봉으로 발생하는 문제들로 인해 도시 양봉의 유형이 옥상 양봉으로 점차 전환되어 기존의 옥상녹화 시설과 양봉이 합쳐진 옥상 양봉정원이 활성화되었으며, 옥상 양봉정원에서 양봉체험과 생태교육이 접목된 프로그램들을 시민들에게 제공하였다. 이러한 프로그램들은 도시 양봉에 대한 시민들의 인식을 개선시키고 옥상 양봉 정책이 활성화되는 결과를 보였다. 따라서 지상 양봉의 규제와 옥상 양봉 정책의 필요성으로 인해 도시 양봉이 점차 활성화되는 강화루프(R2) 구조를 보였다(Schouten and Lloyd, 2019). 또한 지상과 옥상에 설치되는 도시 양봉량이 많아질수록 도시 내 꿀벌의 개체수는 증가할 것이고 이로 인한 꿀 제품 생산 및 양봉업자의 생산 소득 증가는 경제적 지위까지 향상시켜 긍정적인 이미지를 부여하고 많은 사람들이 참여하여 도시 양봉량이 증가되는(Mitsumori, 2020) 강화루프(R3)의 구조를 나타내게 되었다(그림 3, 표 3 참조).

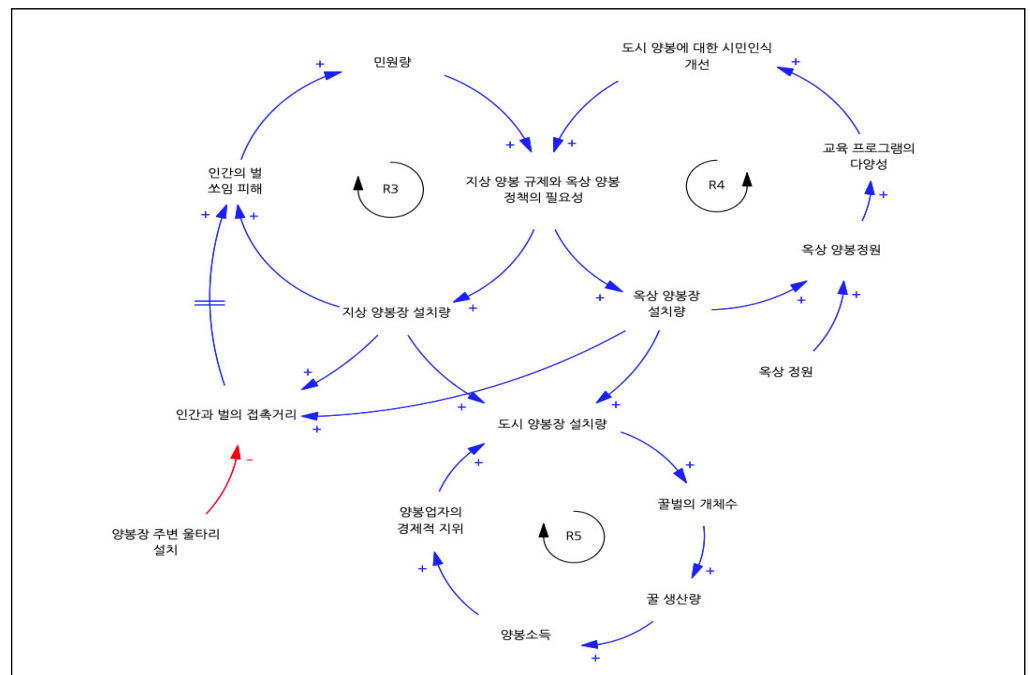


그림 3. 도시 양봉 도입에 대한 사회생태적 인과관계

표 3. 도시 양봉 도입 시 발생하는 문제점 및 해택에 대한 인과 순환 관계

범례	인과 순환 관계
R3	지상 양봉 규제와 옥상 양봉 정책의 필요성(+) → 지상 양봉장 설치량(+) → 인간의 벌 쏘임 피해(+) → 민원량(+) → 지상 양봉 규제와 옥상 양봉 정책의 필요성(+)
R4	지상 양봉 규제와 옥상 양봉 정책의 필요성(+) → 옥상 양봉장 설치량(+) → 옥상 양봉정원(+) → 교육프로그램의 다양성(+) → 도시 양봉에 대한 시민인식 개선(+) → 지상 양봉 규제와 옥상 양봉 정책의 필요성(+)
R5	도시 양봉장 설치량(+) → 꿀벌의 개체수(+) → 꿀 생산량(+) → 양봉소득(+) → 양봉업자의 경제적 지위(+) → 도시 양봉장 설치량(+)

3.5 도시 양봉 활성화를 위한 녹지 계획 전략 제시

앞서 작성된 인과지도를 통합한 결과 벌이 제공해주는 수분과정은 도시의 식물, 곤충, 조류의 서식지 및 먹이와 같은 생태적 혜택을 제공해줄 수 있는 구조를 확인할 수 있었다. 하지만 꿀벌과 야생벌의 수분활동으로 인한 먹이 경쟁, 도시 내 농약 사용, 도시화로 인한 녹지면적 감소와 같은 문제들로 인해 꿀벌과 야생벌 중 하나의 개체군이 지속적으로 감소되는 결과를 보였으며 이는 곧 도시 생태계의 생물다양성이 감소로 이어졌다. 또한 꿀벌 개체수의 증가를 위한 도시 양봉 도입 시, 지상 양봉의 경우 양봉 설치에 대한 명확한 규제의 부재로 인해 벌과의 접촉거리가 가까워져 벌 쏘임 현상과 같은 문제로 인해(Kearney, 2019; Morrison, 2013) 지상 양봉 규제 및 정책의 필요성이 점차 증가하고 인간과의 접촉거리를 감소시키기 위해 옥상양봉으로 전환되는 구조를 확인할 수 있었다. 옥상 양봉의 경우 기존 조성된 옥상 녹화와 합쳐진 옥상 양봉정원의 형태로 나타났으며 이를 활용하여 다양한 생태적 교육프로그램을 제공하여 도시 양봉에 대한 시민들의 인식을 개선시키고 활성화 시킬 수 있는 긍정적인 효과를 확인할 수 있었다. 또한 도시 양봉의 증가는 꿀 제품 생산으로 인한 양봉가의 소득증가 및 경제적 지위를 향상시킬 수 있으며, 이러한 혜택으로 인한 도시 양봉 활성화는 꿀벌 개체수의 향상으로까지 이어지는 구조를 나타냈다.

도출된 개별인과지도를 종합해보면 꿀벌은 도시 생태계 회복력에 생태적으로 긍정적인 혜택을 제공하며 꿀벌 개체수의 향상을 위한 도시 양봉 역시 꿀벌 개체수의 향상 뿐만 아니라 양봉소득, 교육 프로그램 제공 등 사회적으로도 다양한 혜택을 제공하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 기후변화로 인한 조기 개화율 증가, 도시화로 인한 토지이용 변화 및 도시 내 녹지 면적의 감소, 지상 양봉 중 발생하는 벌 쏘임 사례 및 시민들의 부정적 인식, 새로 유입되는 꿀벌로 인한 분봉 현상 등 다양한 사회생태적 문제가 얹혀 도시 양봉의 활성화를 방해하는 구조를 파악할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 도시 내 유휴공간 중 이전부지, 폐지 같은 방치 공간과 건물 옥상, 장기 미집행 시설 용지 등에 해당되는 방치 및 미이용되는 공간을 활용한 녹지화 정책 제시를 통해 지속가능한 도시 양봉 활성화를 도모하고자 한다. 유휴공간이란 도시 내 활발한 기능을 수행하던 공간이 주로 도시화로 인한 도시쇠퇴 및 토지이용 변화로 인해 본래의 기능을 상실하여 방치되거나 버려진 공간을 말하며(김현주와 이상호, 2011; 하성규, 2013; 김동한 등, 2018) 폐 공장, 쓰레기 매립장같이 버려진 방치 공간(abandoned space), 어린이 놀이터, 근린공원 같이 본래 기능이 약화된 저이용 공간(underutilized space), 고가도로 하부, 건물의 옥상과 같은 미이용 공간(vacant space) 등으로 구분된다(김동한 등, 2018; 박재민, 2022).

도시쇠퇴 및 토지이용 변화로 인한 유휴공간 면적의 증가는 곧 도시 내 녹지면적 감소로 이어 지고 거주민들의 도시 녹지량 만족도에 부정적인 영향을 미쳐 녹지의 방문 빈도가 감소하는 결과를 야기시킨다(조경진 등, 2014). 그러나 한편으로 유휴공간의 경우 대부분 도시 중심부나 주요지점에 위치하고 있는 특징을 가지고 있으며 이를 적절하게 변경하여 활용될 경우 지역을 재생시킬 수 있는 거점이 될 수 있다는 장점이 있다(조연주, 2011). 이에 따라 최근 이러한 도시 내 잉여자원인 유휴공간을 생활권 내 정원같은 녹지로 전환하고자 하는 노력이 지속적으로 일어나고 있다(이경연 등, 2020). 따라서 본 연구에서도 유휴공간을 활용할 수 있는 녹지화 정책을 통해 도시 내 부족한 녹지를 확보하고 나아가 도시양봉 활성화 역시 도모할 수 있을 것이다(그림 4, 표 4 참조).

표 4. 도시 양봉 활성화를 위한 녹지 계획 전략 도입 시 전환되는 인과 순환 관계

범례	인과 순환 관계
R6	양봉장 주변 울타리 설치량(+) → 인간과 벌의 접촉 거리(-) → 인간의 벌 쏘임 피해(-) → 민원발생량(-) → 지상양봉 규제 및 옥상양봉 정책(+) → 지상양봉 설치량(+) → 도시양봉량(+) → 양봉장 주변 울타리 설치량(+) → 인간과 벌의 접촉 거리(-)
R7	유휴공간 활용 녹지화 정책(+) → 지자체 투자(+) → 시민참여 프로그램 활성화(+) → 도시양봉 프로그램 활성화(+) → 교육프로그램 다양성(+) → 도시양봉에 대한 시민들의 인식(+) → 지상양봉 규제 및 옥상양봉 정책(+) → 옥상양봉 설치량(+) → 도시양봉량(+) → 시민참여 프로그램 활성화(+)
R8	유휴공간 활용 녹지화 정책(+) → 도시공원 및 녹지조성면적(+) → 유휴공간의 녹지전환면적(+) → 거주민들의 녹지 만족도(+) → 녹지 방문빈도(+) → 낙후되는 녹지면적(-) → 유휴공간 발생면적(-) → 도시 내 녹지(+) → 거주민들의 녹지 만족도(+)
R9	유휴공간 활용 녹지화 정책(+) → 도시공원 및 녹지조성면적(+) → 유휴공간의 녹지전환면적(+) → 거주민들의 녹지 만족도(+) → 도시공원 및 녹지확충 필요성(+) → 도시공원 및 녹지조성면적(+)
R10	유휴공간 활용 녹지화 정책(+) → 도시공원 및 녹지조성면적(+) → 공동체 텃밭 조성 가능 면적(+) → 시민참여 프로그램 활성화(+) → 공동체 텃밭 프로그램 활성화(+) → 텃밭 내 작물 재배량(+) → 수분가능 꽃의 양(+) → 꿀벌의 먹이량(+) → 꿀벌의 개체수(+) → 작물 수확량(+) → 텃밭 내 작물 재배량(+)
R11	유휴공간 활용 녹지화 정책(+) → 도시공원 및 녹지조성면적(+) → 공동체 텃밭 조성 가능 면적(+) → 시민참여 프로그램 활성화(+) → 공동체 텃밭 프로그램 활성화(+) → 텃밭 내 작물 재배량(+) → 수분가능 꽃의 양(+) → 야생벌의 먹이량(+) → 야생벌의 개체수(+) → 작물 수확량(+) → 텃밭 내 작물 재배량(+)

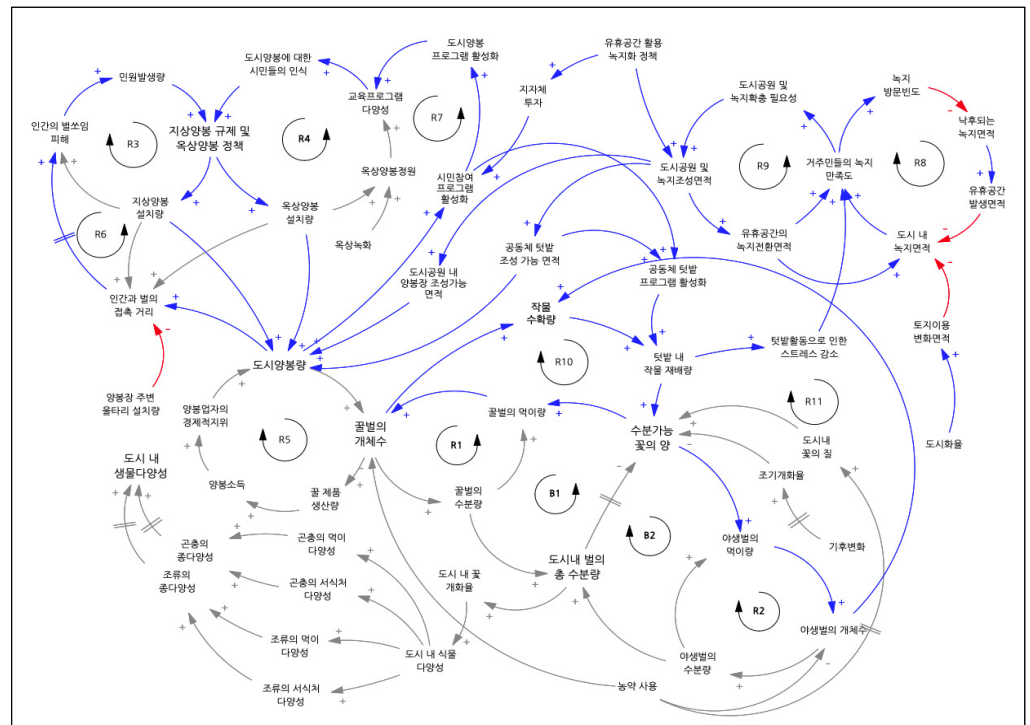
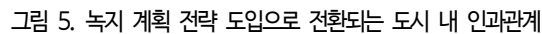


그림 4. 녹지 계획 전략 도입으로 전환되는 도시 내 인과관계

이러한 유흥공간 활용을 전략적으로 운영하기 위해서는 첫째, 지자체의 투자가 적극적으로 이루어져야한다. 지자체 투자를 통해 이해관계자들 간의 연계성을 통한 협력 시스템을 구축 및 운영함으로써 도시 내 방치되고 미이용되는 유흥공간을 활성화 할 수 있는 방안을 모색할 수 있으며(박경식 등, 2020), 그 외에도 지역의 특색을 연계한 사업을 통해 유흥공간을 보다 대중적이고 공적인 공간으로 변화시킬 수 있을 것이다(이홍, 2015). 실제로 영국의 테이트모던, 런던 와핑 프로젝트와 같은 사례의 경우 폐쇄된 발전소 지역의 공동화 및 슬럼화를 막기 위해 지자체와 기업이 투자, 협력하여 유흥공간을 활성화 시킨 사례이며 해당 프로젝트는 전시와 강연, 텃밭 가꾸기 같은 시민 참여 프로그램을 통해 지역주민들의 참여를 유도하여 지역을 활성화 시킬 수 있었다(이완희와 장준호, 2016). 또한 호주 브리즈번시에 있는 사우스뱅크 및 스트롱턴시 도시재생계획은 지자체 중심으로 추진될 수 있는 도시 재생을 민간의 창의적인 아이디어와 역량의 융합을 통해 공공과 민간의 파트너십을 형성한 대표적인 사례이며, 특히 주민 수요 피드백 및 사업의 적시성 확인이나 주변 상권 활성화, 공공공간 확보 등을 통해 주변지역까지 고려한 다양한 사업들을 연계하여 지역 주민들의 참여를 유도하였다(서민호와 박효숙, 2019).

이처럼 국내도 유희공간 활용 녹지와 정책과 지자체 투자를 통해 지역 특성을 연계한 도시양봉 및 공동체 텃밭 프로그램을 활성화시킨다면 지역 주민들의 참여를 유도할 수 있을 것이며, 나아가 도시양봉에 대한 시민들의 인식을 개선시킬 수 있을 것이다(김지영 등, 2013).

둘째, 유휴공간 활용 녹지화 정책을 통해 확보된 녹지면적 및 미이용 건물 옥상 등을 도시공원, 공동체 텃밭으로 조성한다면 도시양봉을 위한 면적확보가 가능하며 텃밭활동 및 공원에 식재되는 식생들을 통해 수분가능 꽃의 양을 확보할 수 있을 것이다. 실제 녹지 면적의 크기와 공간에 식재되는 식물의 개체수 정도에 따라 방문하는 벌의 개체수가 증가하며(Baldock et al., 2019), 도시공원, 공동체 텃밭, 옥상 정원 등의 입지유형 제공 및 도시양봉에 대한 정책적 규제를 통해 양봉활동 중 발생하는 안전문제를 해결하고 더욱 지속 가능한 도시양봉을 도모할 수 있을 것이다(윤승렬과 김아연, 2020). 나아가 도시생태계 내 생물다양성 향상에도 영향을 미칠 것이며 꿀벌의 개체수 증가는 작물의 수확량에 영향을 미쳐 텃밭 내 작물 재배량을 증가시킬 수 있을 것이다(Garibaldi et al., 2014). 그 외에도 양봉장 울타리 설치를 통해 인간과의 접촉 거리를 멀리하여 인간의 벌 쏘임 피해를 줄일 수 있으며(Matsuzawa and Kohsaka, 2021a), 텃밭 프로그램 활동을 통해 사람들의 심리적 스트레스 감소 및 녹지 만족도까지 향상시킬 수 있는 구조를 확인할 수 있었다(박태호와 이인성, 2012)(그림 5 참조).



수분매개자인 꿀벌은 수분활동을 통해 도시 내 생물다양성 향상, 경제적 소득제공 등 도시 생태계에 중요한 역할을 하고 있다. 하지만 녹지면적 감소, 기후변화, 농약사용, 벌 쏘임 현상으로 인한 민원발생 같은 다양한 사회생태적 문제들이 복잡하게 얽혀있기 때문에 특정 문제 중심의 전략이나 정책을 제시하는 것으로는 지속가능한 도시양봉에 대한 한계가 존재한다. 따라서 본 연구는 시스템 사고라는 연구방법을 통해 꿀벌의 먹이활동과 수분활동에 대한 생태적 구조, 꿀벌의 생태시스템이 도시에 미치는 영향 구조, 도시양봉의 사회생태시스템 구조를 파악하고 지속가능한 도시양봉 활성화를 위한 유희공간 활용 녹지 계획을 제시하였다는 점에서 선행연구와의 차별성이 존재한다. 다만 대상지를 도시양봉이 주로 시행되는 건물 옥상, 공원과 같은 입지에 대한 공간적 특성을 기준으로 진행하였기 때문에 도시양봉에 대한 목적성, 이용자와 같은 구체적인 범위를 고려하여 세부적인 구조를 분석하는 과정이 필요할 것으로 사료된다. 또한 향후 연구에서는 대상지를 구체화하고 도시양봉 도입으로 인해 발생하는 문제에 대한 파악과 앞서 제시한 전략을 도입하였을 시 나타날 수 있는 효과에 대한 결과를 더욱 과학적인 근거 기반으로 정량화된 도출을 하고자 한다. 연구결과는 도시 내 도시양봉의 지속가능한 활성화를 도모할 수 있으며, 이로 인한 꿀벌 개체수 향상을 통해 지속가능한 도시 경관을 조성할 수 있을 것이다.

1. 김동한, 서태성, 이미영, 한우석, 임지영, 김한아(2018) 국토유희공간 현황과 잠재력 분석 연구. 국토연구원 연구보고서.
2. 김운호, 조용현, 배양섭, 김다운(2020) Maxent 모델을 이용한 양봉꿀벌의 서식지 수분 잠재환경 분석. 한국환경복원기술학회지(환경복원기술) 23(4): 85-96.
3. 김지영, 유진형, 김철중(2013) 도시재생 관점에서 바라보는 유희공간의 활성화 방향 연구-고가도로 하부공간을 중심으로. 한국공간디자인학회 논문집 8(1): 75-83.
4. 김현주, 이상호(2011) 유희공간 재활용 계획에 나타나는 도시재생개념의 영향 분석: 기존 연구에 등장하는 계획 사례를 중심으로. 대한건축학회 논문집-계획계 27(6): 103-112.
5. 문종열(2007). 시스템 사고기법을 이용한 개성공단사업 전략데버리지 연구. 정책분석평가학회보 17(1): 109-142.
6. 박경식, 문재영, 이은지(2020) 유희공간을 활용한 마을문화공간의 효율적 운영방안. 한국컴퓨터정보학회 학술발표 논문집 28(2): 207-209.

7. 박재민(2022) 도시화 과정에서 남겨진 토지 및 시설의 공원화 조성 경향. *한국경관학회지* 14(2): 55-71.
8. 박진(2016) 해외 도시양봉의 현황과 사례. *세계농업* 191: 41-52.
9. 박태호, 이인성(2012) 도시텃밭 운영 프로그램이 참여자 공동체 의식에 미치는 영향. *한국조경학회지* 40(5): 119-128.
10. 서민호, 박효숙(2019) [해외리포트] 호주의 도시재생 사례: 유휴공간과 민간 사회주택을 활용한 지역·커뮤니티 활성화. *국토*: 88-94.
11. 윤승렬, 김아연(2020) 공공 공간으로서 서울시 도시양봉장 실태분석. In *Proceedings of the Korean Institute of Landscape Architecture Conference* (pp. 25-28).
12. 유창호, 장우진(2015). 시스템다이내믹스를 이용한 공간정보정책 레버리지 전략 요인 도출에 관한 연구. *한국지역정보학회지* 17(1): 107-125.
13. 이경연, 주이슬, 이경미(2020) 도심 속 도로변 녹지공간에 대한 정원으로서의 대안적 접근. *한국정원디자인학회지* 6(3): 269-281.
14. 이완희, 장준호(2015) 안양시 유휴부지 활용방안에 관한 연구. *지역사회발전학회 논문집* 40(1): 21-34.
15. 이홍(2015) 유휴공간을 활용한 문화 창조공간: 부산광역시 사례를 중심으로. *한국디자인문화학회지* 21(4): 549-559.
16. 정철의(2022) 환경친화적 식량생산을 위한 꿀벌의 다원적 가치. *식품과학과 산업* 55(2): 166-175.
17. 조경진, 김용국, 김영현(2014) 도시 오픈스페이스 방문동기 및 만족도 연구. *한국조경학회지* 42(1): 1-17.
18. 조연주(2011) 도시재생을 위한 유휴 산업시설의 컨버전 방법에 관한 연구. *한양대학교 박사학위논문*.
19. 최남희(2003) 시스템다이내믹스 기법을 이용한 서울시 도시동태성 분석과 정책지렛대 탐색: 인과순환구조와 시스템 행태 분석을 중심으로. *한국행정학보* 37(4): 329-358.
20. 최용수, 이만영, 이명렬, 김기형, 윤희주, 이희삼, 고인배, 이경용(2017) 농촌진흥청 국립농업과학원 곤충산업과 화분매개곤충 기술 확산을 위한 이용 현황 및 전망. *국립중앙도서관*.
21. 하성규(2013) 도시계획과 도시정책의 미래 과제와 도전. *환경논총* 52: 19-26.
22. Baldock, K. C., M. A. Goddard, D. M. Hicks, W. E. Kunin, N. Mitschunas, H. Morse, L. M. Osgathorpe, S. G. Potts, K. M. Robertson and A. V. Scott(2019) A systems approach reveals urban pollinator hotspots and conservation opportunities. *Nature ecology & evolution* 3(3): 363-373.
23. Bolshakova, V. L. and E. L. Niño(2018) Bees in the Neighborhood: Best Practices for Urban Beekeepers.
24. Breeze, T. D., A. P. Bailey, K. G. Balcombe and S. G. Potts(2011) Pollination services in the UK: How important are honeybees? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 142(3-4): 137-143.
25. Casanelles-Abella, J. and M. Moretti(2022) Challenging the sustainability of urban beekeeping using evidence from Swiss cities. *NPJ Urban Sustainability* 2(1): 3.
26. FAO(2004) Conservation and Management of Pollinators for Sustainable Agriculture, through an Ecosystem Approach 7(2): 1-4.
27. Egerer, M. and I. Kowarik(2020) Confronting the modern gordian knot of urban beekeeping. *Trends in Ecology & Evolution* 35(11): 956-959.
28. Garbuzov, M., R. Schurch and F. L. Ratnieks(2015) Eating locally: Dance decoding demonstrates that urban honey bees in Brighton, UK, forage mainly in the surrounding urban area. *Urban Ecosystems* 18: 411-418.
29. Garibaldi, L. A., L. G. Carvalheiro, S. D. Leonhardt, M. A. Aizen, B. R. Blaauw, R. Isaacs and R. Winfree(2014) From research to action: Enhancing crop yield through wild pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment* 12(8): 439-447.
30. Gharajedaghi, J.(2011) Systems thinking: Managing chaos and complexity: A platform for designing business architecture. Elsevier.
31. Hall, D. M., G. R. Camilo, R. K. Tonietto, J. Ollerton, K. Ahme, M. Arduser, J. S. Ascher, K. C. Baldock, R. Fowler and G. Frankie(2017) The city as a refuge for insect pollinators. *Conservation Biology* 31(1): 24-29.
32. Harrison, T. and R. Winfree(2015) Urban drivers of plant-pollinator interactions. *Functional Ecology* 29(7): 879-888.

33. Kearney, H.(2019) Queenspotting: Meet the Remarkable Queen Bee and Discover the Drama at the Heart of the Hive; Includes 48 Queenspotting Challenges. STOREY BOOKS.
34. Kim, D.(2004) Systems Thinking. Sungnam: Sunhaksa.
35. Kulak, M., A. Graves and J. Chatterton(2013) Reducing greenhouse gas emissions with urban agriculture: A life cycle assessment perspective. *Landscape and Urban Planning* 111: 68–78.
36. Lorenz, S.(2016) The endangerment of bees and new developments in beekeeping: A social science perspective using the example of Germany. *International Journal of Environmental Studies* 73(6): 988–1005.
37. Lorenz, S. and K. Stark(2015) Saving the honeybees in Berlin? A case study of the urban beekeeping boom. *Environmental Sociology* 1(2): 116–126.
38. Matsuzawa, T. and R. Kohsaka(2021a) Preliminary experimental trial of effects of lattice fence installation on honey bee flight height as implications for urban beekeeping regulations. *Land* 11(1): 19.
39. Matsuzawa, T. and R. Kohsaka(2021b) Status and trends of urban beekeeping regulations: A global review. *Earth* 2(4): 933–942.
40. Matsuzawa, T. and R. Kohsaka(2022) A systematic review of urban beekeeping regulations of Australia, the United States, and Japan: Towards evidence-based policy making. *Bee World* 99(3): 89–93.
41. Matteson, K. C., J. S. Ascher and G. A. Langellotto(2008) Bee richness and abundance in New York City urban gardens. *Annals of the Entomological Society of America* 101(1): 140–150.
42. McCune, F., E. Normandin, M. J. Mazerolle and V. Fournier(2020) Response of wild bee communities to beekeeping, urbanization, and flower availability. *Urban Ecosystems* 23: 39–54.
43. Mitsumori, Y.(2020) An analysis of impact of urban beekeeping projects on community: Ginza bee projects brought not only bees, but also a more sophisticated image to Ginza. In proceedings of 2020 IEEE 8th R10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC).
44. Morrison, A.(2013) Homegrown Honey Bees: An Absolute Beginner's Guide to Beekeeping Your First Year, from Hiving to Honey Harvest. STOREY BOOKS.
45. Nat Schouten, C. and D. John Lloyd(2019) Considerations and factors influencing the success of beekeeping programs in developing countries. *Bee World* 96(3): 75–80.
46. Potts, S. G., J. C. Biesmeijer, C. Kremen, P. Neumann, O. Schweiger and W. E. Kunin(2010) Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution* 25(6): 345–353.
47. Ramage, M. and K. Shipp(2012) Expanding the concept of 'model': The transfer from technological to human domains within systems thinking. In *Ways of Thinking, Ways of Seeing: Mathematical and other Modelling in Engineering and Technology*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 121–144.
48. Sattler, T., D. Borcard, R. Arlettaz, F. Bontadina, P. Legendre, M. Obrist and M. Moretti(2010) Spider, bee, and bird communities in cities are shaped by environmental control and high stochasticity. *Ecology* 91(11): 3343–3353.
49. Senapathi, D., L. G. Carvalheiro, J. C. Biesmeijer, C. A. Dodson, R. L. Evans, M. McKerchar, R. D. Morton, E. D. Moss, S. P. Roberts and W. E. Kunin(2015) The impact of over 80 years of land cover changes on bee and wasp pollinator communities in England. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 282(1806): 20150294.
50. Sponsler, D. B. and E. Z. Bratman(2021) Beekeeping in, of or for the city? A socioecological perspective on urban apiculture. *People and Nature* 3(3): 550–559.
51. Tilman, D., D. Wedin and J. Knops(1996) Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* 379(6567): 718–720.
52. Tommasi, D., A. Miro, H. A. Higo and M. L. Winston(2004) Bee diversity and abundance in an urban setting. *The Canadian Entomologist* 136(6): 851–869.
53. Vollet-Neto, A., C. Menezes and V. L. Imperatriz-Fonseca(2011) Brood production increases when artificial heating is provided to colonies of stingless bees. *Journal of Apicultural Research* 50(3): 242–247.
54. <http://www.youngnong.co.kr/>
55. https://news.jtbc.co.kr/article/article.aspx?news_id=NB10886669