



계량서지 분석을 통한 생태산업단지의 국제적 연구 동향 규명

Identification of Global Research Trends of Ecological Industrial Park Researches through Bibliographic Analysis

정상규* · 반영운**

Sang-Kyu Jeong* · Yong-Un Ban**

* First author, Visiting Professor, Dept. of Smart Eco-Industrial Convergence, Chungbuk National Univ., South Korea (neoshaky@chungbuk.ac.kr)

** Corresponding author, Professor, Dept. of Urban Engineering, Chungbuk National Univ., South Korea (byubyu@chungbuk.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: To understand the global status of Korean eco-industrial park(EIP) research and enhance the future EIP role for sustainable development, this study aims to identify global trends of EIP researches. **Method:** This study conducted an exhaustive investigation of EIP research documents published in international academia from 1995 to 2019. The bibliographic analysis methods such as citation analysis and co-occurrence analysis are used to find the relationships between the documents. The relationships are analysed and visualized using VOSviewer software. **Result:** China has published the most EIP research documents, and the studies conducted in the United States have had the greatest impact on many countries. The hottest topic in the EIP study was “symbiosis” and the latest topic was related to the “circulatory economy”. In 1998, the world's first EIP research paper was published in the field of urban research. Korea's first EIP research paper published in 2005 in the international academia also belongs to the urban research field. Globally, the studies in the field have been conducted mainly on the theme of converting existing industrial complexes to EIP.

KEYWORD

생태산업단지
연구 동향
계량서지 분석

Eco-industrial park (EIP)
Research trend
Bibliographic analysis

ACCEPTANCE INFO

Received Jul. 9, 2020
Final revision received Aug. 3, 2020
Accepted Aug. 7, 2020

© 2020. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

20세기의 산업화와 도시화는 환경 오염, 자원 및 에너지 부족 등으로 세계적으로 환경과 경제 위기를 초래했다[1]. 이러한 위기 상황 극복을 위한 대안으로 기업 간 협력이나 기업과 공동체의 상호작용을 통한 환경적으로 지속가능한 개발에 기초한 생태산업단지(eco-industrial park, 이하 EIP)의 아이디어가 출현하였다[2]. EIP는 산업공생을 통해 폐기물 생성, 에너지 소비, 원료 사용을 최소화할 수 있는 산업 시스템을 갖춘 공간[3]으로 환경 부하 최소화와 산업단지 내의 자원 순환 기능을 갖는다.

1990년대에 산업생태학에 대한 세계적인 관심 고조로 한국보다 앞서서 미국, 프랑스, 캐나다, 인도, 일본이 EIP 조성을 위한 발의에 착수[4]했지만 한국의 산업은 여전히 철강, 자동차, 조선, 석유화학, 시멘트 제조업 등과 같은 이산화탄소 배출량이 방대한 산업에 집중되어 있었다[5]. 한국에서는 2003년에 EIP 개발을 위한 마스터플랜이 수립되었고 2004년에야 비로소 기존의 산업단지들을 EIP로 변환하기 위한 몇가지 프로젝트들이 착수되었다[6, 7].

2000년대까지 전 세계적으로 대부분의 EIP 개발은 기존 산업단지를 산업공생을 통해 변화시키는데 초점을 두었다[8]. 2003년에 수립된 한국의 EIP 개발 계획 1단계(2005~2009)는 이러한 전략을

따랐다. 2단계(2010~2014)에서는 전국 9개 지역을 9개 허브 산업단지와 37개의 스포크 단지로 구분하여 산업공생 네트워크를 보다 광역적으로 확산하고자 했다. 3단계(2015~2019)에서는 이전 단계의 프로젝트들에서 노정된 문제점들을 보완하여 EIP 모델 구축을 위한 계획을 수립하였다. 이 사업은 2016년 12월에 조기 종료되었음에도 불구하고 사업화가 끝난 235건의 과제로부터 높은 수준의 경제·환경·기술적 성과와 함께 일자리 창출 등의 효과를 거두었다.

이에 이 연구에서는 국제 학계의 EIP 연구 동향과 화제를 분석하고 한국 EIP 연구의 세계적 위상을 파악하여 지속가능한 발전을 통한 미래의 EIP 역할 제고에 대한 의사결정 및 후속연구를 위한 지식의 정량적 근거와 기반을 확보하고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

이 연구는 국제 학계에 발표된 EIP 연구성과물들을 전수 조사하여 그들의 관계를 계량서지학(bibliometrics)의 인용분석과 동시출현분석법을 이용하여 규명하였다. 연구 범위는 1995년부터 2019년에 이르기까지 국제 학계에 발표된 세계 각국의 EIP 연구성과물들의 출판연도, 문헌유형, 국가, 연구분야, 연구기관별 연구 동향 및 주제를 대상으로 하였다.

2. 이론 고찰

2.1. EIP의 개발 전략

‘환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률’ 제 2조 6항에 따르면 EIP는 “생산과정에서 발생하는 폐기물, 부산물, 에너지 등을 산업공생네트 워크를 통해 재자원화 혹은 재이용하거나, 이들을 순환 이용할 수 있는 생태적 기반시설을 조성함으로써 환경에 대한 부담을 최소화하고 자원 효율성을 극대화하기 위하여 지정된 산업단지”로 정의된다. EIP 사업 성과를 효과적으로 평가하고 관리하기 위해 많은 연구자들이 다양한 보고서와 데이터 분석을 통해 과업을 위한 새로운 의사결정방법을 제안했다[9, 10]. 자원흐름분석을 통해 공급망을 효율적으로 관리하는 방법[10], 생애주기평가(life cycle assessment, LCA)를 산업공생에 적용하기 위한 방법[11], 중앙집중식 폐수 처리 플랜트나 에너지 병합 설비와 같은 자원순환 기반시설의 공유 방법[12]에 대한 의사결정은 EIP 개발 성공 여부를 좌우한다. EIP에서 성공적인 자원순환 체계 구축을 위해서는 더 많은 연계를 위한 새로운 가능성을 열어두면서도 기존 성공사례에 대한 체계적 검색이 필요하다[9]. 또한 자원 순환 문제에 대한 고도의 해법 개발을 위해 기술 혁신도 필요하다[9, 13]. EIP 개발을 위해서는 자원순환을 위한 연계 전략 이외에도 지속적인 환경 개선, 환경 관리, 그리고 지속가능한 녹색 디자인을 위한 전략들도 중요하다[13]. 재정 상황은 EIP 사업의 착수와 지속에 지대하게 영향을 주는 요인이므로 성공적인 EIP 개발을 성취하기 위해서는 건전한 재정 계획, 정책적 지원, 제도적 기틀 등과 같은 광범위한 지원 체계가 구축되어야 한다[9, 14]. EIP의 환경 및 사업적 성과 향상을 위한 기업과 지자체 간 협력이 필요하고 지역적 수준에서 조직적 소통으로 산업 생태계 진화를 위한 자료 및 경험의 공유가 이루어져야 한다[9]. 이에 이 연구는 전술한 EIP 개발 전략들을 실현하기 위해 수행된 많은 연구들의 동향을 분석하고자 했다.

2.2. 계량서지학

계량서지학은 문헌에 대한 통계 분석에서 비롯되었다[15]. 이는 책과 기타 매체에 수학 및 통계를 활용하는 학문[16]으로 연구 주제의 정성적 및 정량적 변화를 설명하기 위해 통계적 방법을 사용하고 학술 활동을 평가하는 학계에 적절한 통계결과를 제공한다. 출판 결과와 피인용수에 근거한 성과 분석기법과 매핑 기법이 계량서지학의 주요 기법이다[17]. 계량서지학에서는 텍스트 분석, 인용(citation) 분석, 동시출현(co-occurrence) 분석, 동시인용(co-citation) 분석, 공동저술(co-authoring) 분석 등의 다양한 분석법들을 다룬다. 이러한 분석법들 중에서 동시인용법이 가장 일반적으로 사용되는데 출처가 되는 논문에서 함께 인용된 논문들의 연결 관계를 추적하면서 유사 문서들을 검색하여 인용된 논문의 유사성을 평가하여 관련 분야의 이론적 기반을 식별한다[18].

계량서지학에서 매핑 기법들은 중요한데 Kopcsa와 Schiebel (1998)에 제안된 다차원 스케일링(multidimensional scaling) 기법[19]은 ‘BibTechMon’이라고 불리는 프로그램을 통해 실행된다. 이 기법을 보완하여 보다 구조화된 맵을 만들 수 있는 대안적 기술이 VOS 매핑 기법이다. 일반적으로 이 기법은 다차원 스케일링보다 더

욱 구조화된 맵을 생성할 수 있다[20]. 2010년 네덜란드의 Leiden 대학의 Van Eck과 Waltman은 VOS 매핑 기법을 실행할 수 있는 전산도구인 “VOS viewer”를 개발하여 동시인용, 동시출현, 공동저술의 관계를 기반으로 학술지, 연구자, 연구기관, 키워드, 출판물들에 대한 네트워크를 구축하여 분석 결과를 가시화시킬 수 있도록 하였다[21].

3. 정보 분석 방법

3.1 서지정보 발췌

1997년 미국의 클래리베이트 애널리틱스(Clarivate Analytics)사가 개발한 웹 오브 사이언스(Web of Science, 이하 WoS)는 1900년 이후에 발간된 학술지, 단행본, 학술발표자료로부터 참고문헌들을 검색할 수 있는 웹기반의 인용색인 데이터베이스로 SCIE (Science Citation Index Expanded), SSCI (Social Sciences Citation Index), A & HCI (Art & Humanities Citation Index)급 학술지에 수록된 연구성과물들에 대한 서지 정보 데이터를 제공한다. 이 연구에서는 WoS 데이터베이스로부터 EIP를 연구한 문헌들을 검색하였다. 검색용어를 “eco industrial park” 또는(OR) “eco industrial parks”로 하여 1995년부터 2019년까지 발표된 EIP 연구 문헌들의 서지정보를 발췌하였다. 발췌된 서지정보를 바탕으로 출판 연도, 문헌유형, 발표 학술지, 연구분야별로 EIP 연구성과물들의 수를 조사하였다.

3.2 네트워크 분석

WoS로부터 얻어진 서지정보를 바탕으로 연구성과물들 간의 상호관계를 노드와 연결선으로 구성된 네트워크로 구축하여 인용 분석법과 동시출현 분석법을 기초로 데이터를 분석하였다. 이를 통해 국가 또는 연구기관별 인용 관계 및 연구 화제를 정량 분석하고 가시화하였다. 이러한 네트워크의 분석과 가시화는 전술한 VOSviewer 프로그램을 활용하였다.

4. 연구동향 분석결과

4.1. 전반적 결과

1) 연도별 출판 문헌수

이 연구에서는 WoS 웹데이터베이스로부터 검색용어를 “eco industrial park” 또는(OR) “eco industrial parks”로 하여 총 48개국의 422개 연구기관에 소속된 921인의 연구자들이 1995년부터 2019년까지 EIP를 연구한 400건의 성과물들에 대한 서지정보를 얻어낼 수 있었다. Fig. 1.은 1995년부터 2019년까지 수행된 EIP 연구 성과물의 수를 보여준다. 1995년 최초로 EIP 관련 문헌 2건이 학계에 출현한 이후로 꾸준히 연구성과물들이 발표되었는데 2006년까지는 매년 10건 이하의 성과물들이 발표되다가 2007년부터는 매년 10건을 초과한 성과물들이 출판되었고 지속적으로 그 수가 늘면서 2011년부터는 매년 20건 이상으로 성과물들이 늘었고 2017년에는 역대 최다인 52건의 성과물들이 출판되었다.

2) 문헌유형

검색된 총 400건의 EIP 연구문헌들 중에서 일반 논문(article)이 364건(91%)으로 거의 대부분을 차지하였고 리뷰(review)가 26건(6.5%), 학술대회 발표논문이 11건(2.8%), 개인, 그룹 또는 조직의 의견을 제공하는 에디토리얼 자료(editorial material) 9건(2.3%), 북챕터(book chapter) 1건(0.3%), 뉴스 항목 1건(0.3%)으로 나타났다(Fig. 2.).

3) 연구분야

WoS의 데이터베이스에서 추출한 EIP 연구문헌들은 다양한 연구 분야에 해당되는데 환경 과학(Environmental sciences)과 환경 공학(engineering environmental)의 범주로 분류된 학술지에서 각각 254건과 203건으로 가장 많은 성과물들이 발표되었다. 그다음으로 지속가능한 녹색 과학 기술(green sustainable science technology) 분야 190건, 화학 공학 분야 73건, 에너지 연료 분야 28건 등의 순으로 나타났다(Fig. 3.).

4) 학술지별 출간 문헌수

110개 학술지에서 EIP 연구문헌들이 출간되었는데 그 중에서 The Journal of Cleaner Production에서 116건이 출판되어 전체 문헌들중에서 29%에 달하는 가장 많은 연구성과물들이 발표된 것으로 조사되었다. 그다음으로 The Journal of Industrial Ecology에서 30건(7.5%), The Resources Conservation and Recycling에서 23건(5.8%), The Sustainability에서 18건(4.5%) 등의 순으로 연구성과물들이 검색되었다(Fig. 4.).

4.2. 네트워크 분석 결과

1) 국가별 인용 분석

2019년까지 EIP 연구 수행 국가는 총 48개국인데 그들 중 연구 문헌을 10건 이상 출판한 국가는 16개국이었다. 중국은 126건으로 세계에서 가장 많은 EIP 연구 문헌들을 발표한 국가로 밝혀졌다. 미국은 85건의 성과로 세계 2위의 연구 문헌들을 출판하였으며 한국은 세계 3위로 50건의 연구 문헌들을 출판하였다. 그다음으로 필리핀 29건, 이탈리아 25건, 캐나다 23건, 프랑스 21건, 네덜란드 20건, 말레이시아 17건 등의 순으로 나타났다.

미국의 EIP 연구 문헌들은 인용횟수 4,268건으로 학계에서 가장 많이 인용되었다. 그다음으로 중국 3,937건, 이탈리아 1,342건, 한국 1,326건, 네덜란드 1,047건 등의 순으로 나타났다. 특히 이탈리아의 연구성과물들은 25건으로 50건을 발표한 한국에 비해 절반 수준이지만 인용 횟수는 한국보다 많았다.

Fig. 5.는 이상의 결과를 네트워크로 가시화한 것으로 노드 크기는 학계에 발표된 문헌의 수와 비례하고 노드의 색은 평균 인용횟수를 나타내며 연결선의 굵기는 연결 강도에 비례한다. 인용 네트워크 상에서도 미국은 가장 강한 총 연결 강도(Total Link Strength, 이하 TLS)가 산출되었는데 이는 많은 국가에서 미국의 연구성과물들을 참고문헌으로 인용하여 나타난 결과이다. 특히 필리핀과 영국의 경우에는 상대적으로 50건의 연구성과물을 발표한 한국에 비해 연구성과물들과 인용건수가 적음에도 불구하고 한국에 비해 TLS가 강

하게 나타났다(Table 1. 참조). 이는 이들의 성과물들이 한국에 비해 직·간접적으로 더 많은 국가들에게 영향을 주었음을 시사한다.

미국과 중국은 연결강도(Link strength, 이하 LS)가 최대치(326)로 양국의 연구가 아주 강한 연관성이 있고 미국과 중국은 TLS가 각각 1,551과 1,363으로 이들을 중심으로 세계 각국의 연구들이 집중적으로 연결되는 패턴을 보였다. 한국도 타국에 비해 중국 및 미국과 강한 연관성을 갖는 것으로 나타났다. 특히 일본은 최소치의 TLS(176)을 보여 타국의 연구들과 연관성이 약한 고립된 패턴을 보였다.

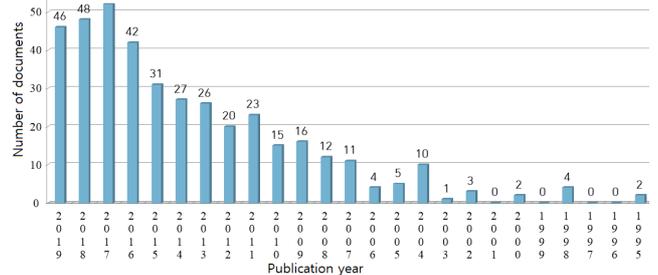


Fig. 1. Number of publications by year

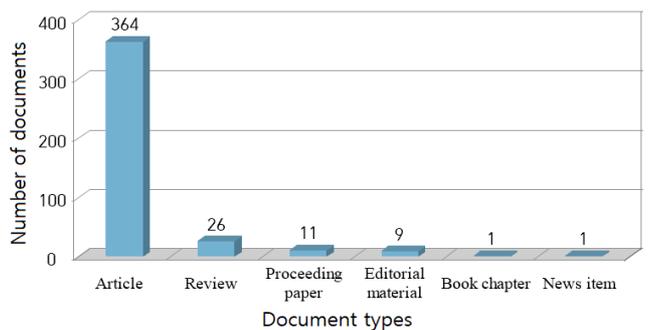


Fig. 2. Types of EIP documents published from 1995 to 2019

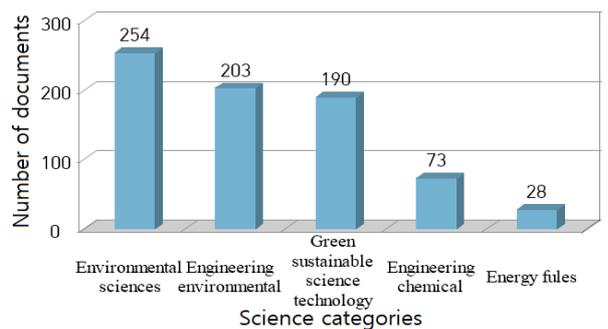


Fig. 3. Top 5 science categories in the global network of EIP study



Fig. 4. Top 10 source titles of the EIP documents

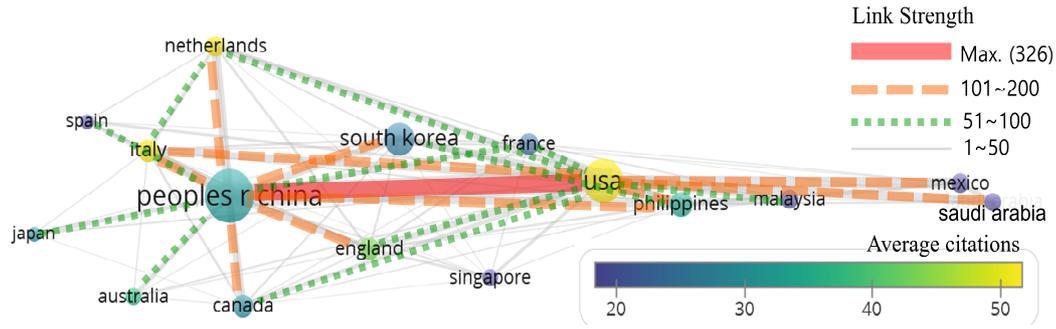


Fig. 5. 16 central countries in the global network of EIP study

Table 1. Top 10 central countries in the global network of EIP research

Country	Documents	Country	Citations	Country	TLS
China	126	USA	4,268	USA	1,551
USA	85	China	3,937	China	1,363
South Korea	50	Italy	1,342	Philippines	664
Philippines	29	South Korea	1,326	Italy	534
Italy	25	Netherlands	1,047	England	514
England	23	England	979	South Korea	510
Canada	23	Canada	656	Netherlands	468
France	21	Australia	518	France	421
Netherlands	20	France	507	Canada	385
Mexico	17	Mexico	345	Mexico	355
Malaysia	17	Malaysia	344	Malaysia	305

2) 연구기관별 인용분석

EIP 연구는 전 세계 418개 기관들에 소속된 연구자들이 공동 연구나 개별 연구로 수행한 것으로 조사되었다. 이 기관들 중에서 5건 이상의 연구성과물들을 발표한 31개 기관들을 선별하여 이들 간에 인용관계 분석에 기초한 네트워크 분석을 실행하였다. 그 결과에 따르면 미국 텍사스 A&M 대학교가 국제 학계에 가장 많은 30건의 EIP 연구성과물들을 발표한 것으로 조사되었다. 그다음으로 필리핀 라살대학(De La Salle University)이 26건, 중국 칭화대학이 24건, 중국 과학원(The Chinese Academy of Sciences)이 18건, 멕시코 미코야칸 대학(University of Michoacana)이 15건, 중국 다롄이공대(Dalian University of Technology) 15건 등의 순으로 나타났다.

미국의 예일(Yale)대학에서는 9건의 EIP 연구성과물들만 발표했음에도 불구하고 인용횟수가 1,640건에 달하여 국제 학계에서 가장 강력한 영향력을 준 것으로 밝혀졌다. 중국 베이징 보통 대학교가 발표한 12건의 연구성과물들도 인용횟수 1,030건으로 많은 연구에서 이들이 인용되었음을 알 수 있다. 그다음으로 필리핀 라살대학 957건, 중국 다롄이공대 798건, 중국 칭화대학 653건 등의 순으로 나타났다. 미국 텍사스 A&M 대학교가 EIP 연구에 대해 세계적으로 가장 강력한 TLS(468)를 갖는 기관으로 산출되었다. 그다음으로 필리핀 라살 대학이 433, 멕시코 미코야칸 대학이 298, 미국 예일 대학이 298, 중국 다롄이공대가 298 등의 순으로 TLS가 산출되었다. 한국의 경우에 카이스트, 울산대학교, 한국산업단지공단, 부산대학교가 비교적 활발하게 EIP 연구를 수행하는 기관인 것으로 분석되었다(Table 2.).

Table 2. Top 5 central organizations in the global network of EIP research

Organization	Documents	Organization	Citations	Organization	TLS
Texas A&M University	30	Yale University	1,640	Texas A&M University	468
De La Salle University	26	Beijing Normal University	1,030.	De La Salle University	433
Tsinghua University	24	De La Salle University	957	University of Mchoacana	298
The Chinese Academy of Sciences	18	Dalian University of Technology	798	Yale University	298
Dalian University of Technology	15	Tsinghua University	653	Dalian University of Technology	265

3) 화제 분석

화제 분석은 계량서지학의 동시출현 분석법을 이용하여 수행하였다. 400건의 EIP 연구 문헌들로부터 1,676개의 주제어들이 검색되었는데 EIP를 직접 가리키는 “eco-industrial park”, “eco-industrial parks”, “eco-industrial park (eip)”와 20건 미만의 연구 문헌들에서 출현한 주제어를 제척하여 총 20개의 주제어를 선별하였다. 그들 중 가장 많이 출현한 주제어는 “symbiosis(공생)”이었고 그다음으로 “industrial ecology(산업 생태학)”, “ecology(생태학)”, “industrial symbiosis(산업 공생)”, “design(설계)”, “China(중국)” 등의 순으로 나타났다. TLS도 “symbiosis”가 가장 높은 값(457)으로 산출되었고 그다음으로 “ecology”, “industrial ecology”, “industrial symbiosis”, “design” 등의 순으로 나타났다(Table 3.).

Fig. 6.의 네트워크에서 노드 크기는 주제어의 출현횟수에 비례하고 노드 간 연결선의 두께와 종류는 LS에 따라 달리 표현되었다. 특히 이 그림에서 주제어가 출현한 문헌들의 평균 출판연도는 노드의 색상으로 표현되었다.

주제어 사이의 LS는 “생태학”, “산업생태학”, “공생”, “산업공생” 간에 아주 높은 31~40(최대치)로 산출되어 매우 강한 연관성을 나타냈고 이들을 중심으로 여러 화제들이 집중적으로 관련되는 패턴을 보였다. 생태학 기반의 공생과 관련된 화제인 “설계(design)”는 “최적화”와의 LS가 28로서 강한 연관성을 나타냈다. 지속가능한 개발은 “생태학” 및 “산업 생태학”과 LS가 23으로 나타나 강한 연관성을 갖는 화제로 조사되었다. 평균 출판연도 기준으로 2016년에 부각된 “순환경제”는 “산업공생”과 LS가 23으로 강한 연관성을 갖는

화제로 조사되었는데 “중국”이라는 주제어와도 LS가 비교적 강한 30으로 나타나 중국의 순환경제가 학계의 주목을 받은 것으로 분석되었다. 종합하면 EIP 연구는 산업단지에 도입한 자연 생태계의 원리인 공생과 생태학을 주요 주제로 지속가능한 개발, 순환경제, 디자인으로 연구 방향이 전개되고 주제가 분화되면서 부차적인 주제들로 다양한 접근이 이루어진 것으로 보아 향후 혁신적인 분야가 다양하게 개척될 것으로 판단된다. 특히 에너지 효율 제고와 산업공생 네트워크 구축 연구는 미진하여 지속적으로 도전해야 할 분야로 분석되었다.

5. 도시·건축 연구 분야의 동향

1995년부터 2019년까지 25년간 국제 학계에서 도시 및 건축 연구분야인 “도시 연구(Urban Studies)”, “지역 및 도시계획(Regional & Urban Planning)”, “건축(Architecture)”, “건설 기술(Construction & Building Technology)”의 범주로 분류된 EIP 연구성과물들의 경우에 미국 2건, 영국 2건, 인도, 포르투갈, 이탈리아가 각 1건씩 연구를 수행하였고 한국은 가장 많은 4건의 도시·건축 분야의 EIP 연구들을 수행하여 총 11건에 불과한 것으로 조사되었다. 하지만 1998년에 세계최초의 EIP 연구 논문이 도시 연구 부문에서 출현했다는

Table 3. Top 10 hot topics in the global network of EIP research

Keyword	Occurrences	Keyword	TLS
Symbiosis	98	Symbiosis	457
Industrial ecology	97	Ecology	433
Ecology	85	Industrial ecology	416
Industrial symbiosis	82	Industrial symbiosis	381
Design	74	Design	346
China	64	China	303
Circular economy	59	Circular economy	293
Sustainable development	52	Sustainable development	250
Sustainability	52	Optimization	237
Management	41	Sustainability	212

점을 주목해야 할 것이다. 1995년 최초로 EIP 관련 문헌 2건이 학계에 발표되었지만 이들은 Chemical & Engineering News Archive에 수록된 EIP의 태동을 알리는 단편적 기사 형식의 글이었다[22, 23]. 미국 오클라호마의 축토(Choctaw)에 있는 산업단지를 EIP로 재설계하기 위해 산업 생태학의 개념을 적용하여 경제성장과 환경보호를 결합한 토지이용계획 방법을 제시(Carr, 1998)[24]하고 산업단지에 산업생태학 적용을 시도(Martin외, 1998)[25]한 연구성과 2건이 논문 형식을 갖춘 세계 최초의 EIP 연구 문헌이다. 2015년 인도와 2018년 포르투갈에서도 기존 산업단지의 EIP 변형을 위한 도시 계획 분야의 연구가 수행된 바 있다[26, 27].

한국은 도시·건축부문에서 총 4건의 EIP 연구들을 발표했는데 그 중에서 전술한 타국의 연구들과 유사하게 기존 산업단지를 EIP로 설계하기 위해 대덕 테크노밸리 프로젝트 개발 계획 과정을 분석하여 미래 EIP의 개발 방향을 도출한 논문[28]은 2005년 국제 학계에 발표된 한국 최초의 EIP 연구 논문이다. 이외에도 2007년에는 진해 마천 산업단지의 시범적 EIP의 실제 개발 사례를 조사하여 EIP 실현의 장애요인을 프로젝트 이해 관계자들의 요구 파악을 통해 규명한 연구[29]가 진행되었고 2016년에는 한국산업단지공단과 산업통상자원부에 의해 수행된 EIP 건설 프로그램의 일환으로 아파트의 향에 따른 울산광역시 도시 가스 소비량을 조사한 연구[30]가 수행된 바 있다. 2017년에는 호남권 EIP 총괄사업단과 한국연구재단의 연구지원으로 타이어를 소각한 재인 TDFA(Tire Derived Fuel Ash)를 건축 자재의 결합제로 활용하여 그 내구성을 평가한 연구[31]가 “건설 기술” 부문의 연구로 발표된 바 있다.

6. 결론

이 연구는 계량서지학의 분석 기법을 이용하여 1995년부터 2019년까지 48개국 422개 기관에서 발표된 EIP 연구 문헌들을 대상으로 국제 학계의 연구 동향을 조사하였다.

중국은 가장 많은 EIP 연구 문헌들을 발표하였고 미국의 연구 문헌들은 가장 많이 인용되어 여러 나라에 큰 영향을 주었다. 대부분의

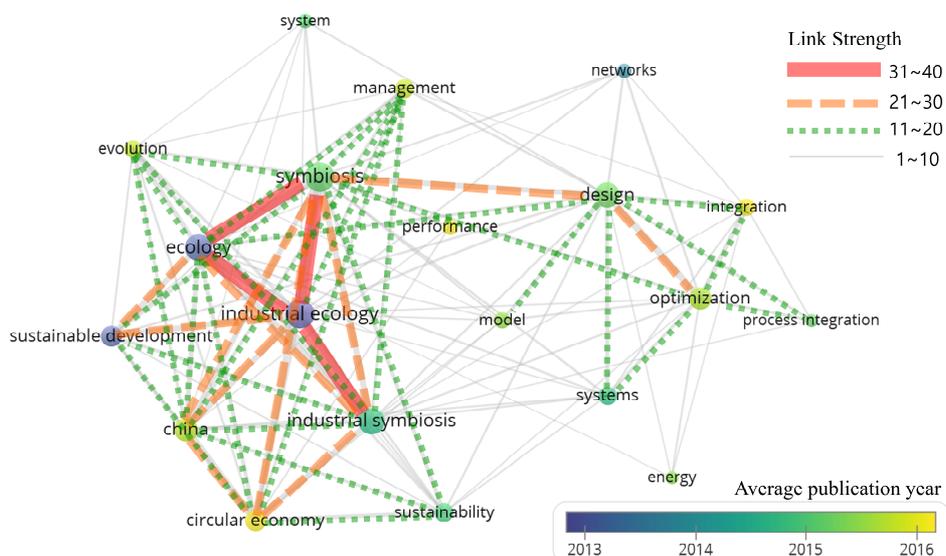


Fig. 6. 20 hot topics in the global network of EIP study

EIP 연구 문헌들은 환경 과학과 환경 공학의 범주로 분류된 학술지에서 주로 발표되었으나 1998년 세계 최초의 EIP 연구 논문이 도시 연구 부문에서 출현하였고 그 후로 여러 부문에서 다양한 연구들이 수행되었다. 전반적으로 한국은 중국, 미국, 필리핀, 이탈리아, 영국 등과 함께 EIP 연구 중심 국가의 위상을 갖고 있는데 2005년에 발표된 한국 최초의 EIP 연구도 도시 연구 부문에서 출현하였다. 세계적으로 이 부문의 연구들은 주로 기존 산업단지의 EIP화와 관련된 주제로 수행되었다.

개별 연구기관으로는 텍사스 A&M 대학이 가장 많은 연구 문헌들을 발표했고 미국 예일대학의 연구 문헌들이 가장 많이 인용되었다. EIP 연구에서 화제의 핵심은 “공생”이며 2019년을 기준으로 최신 화제는 “순환경제”와 관련되었다.

전 세계적으로 EIP와 관련된 도시·건축 분야의 연구는 미약하나 세계 학계에 발표된 한국의 연구성과들과 연구진의 위상을 고려할 때 도시·건축 분야에서 한국의 EIP 연구가 국제 학계에서 선도적 역할을 수행할 수 있을 것이다.

이 연구에서는 EIP 연구의 국제적 동향을 분석하기 위해 계량서지 정보에 대한 네트워크 분석을 수행하였는데 향후에는 실제 EIP 실행 과정에서 의사결정을 행하는 이해관계자들을 고려한 소셜네트워크 기반의 분석이 필요하다.

이 연구의 결과가 EIP의 건전하고 지속가능한 발전을 위한 의사결정과 후속연구에 활용될 수 있는 지식의 정량적 기반과 근거가 될 수 있기를 바란다.

Acknowledgement

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부, 교육부, 그리고 산업통상자원부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(NRF-2019 R1A2C1008612)과 한국산업기술진흥원의 지원(P0008421)을 받아 수행된 연구임.

Reference

- [1] United Nations Environment Programme (UNEP), Global Environment Outlook 2000, London: Earthscan, 2000.
- [2] R.P. Côté, E. Cohen-Rosenthal, Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences, *Journal of Cleaner Production*, 6(3), 1998, pp.181-188.
- [3] M. Chertow, Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 2000, pp.313-337.
- [4] S. Erkman, Industrial ecology: an historical view, *Journal of Cleaner Production*, 5(1-2), 1997, pp.1-10.
- [5] J.A. Mathews, Green growth strategies - Korean initiatives, *Futures* 44(8), 2012, pp.761-769.
- [6] D.S. Oh, K.B. Kim, S.Y. Jeong, Eco-Industrial Park Design: a Daedeok Technovalley case study, *Habitat International*, 29(2), 2005, pp.269-284.
- [7] H.S. Park, E.R. Rene, S.M. Choi, A.S.F. Chui, Strategies for sustainable development of industrial park in Ulsan, South Korea - From spontaneous evolution to systematic expansion of industrial symbiosis, *Journal of Environmental Management*, 87(1), 2008, pp.1-13.
- [8] J.A. Mathews, H. Tan, Progress toward a circular economy in China: the drivers (and inhibitors) of eco-industrial initiative, *Journal of Industrial Ecology*, 15, 2011, pp.435-457.
- [9] T. Sterr, T. Ott, The industrial region as a promising unit for eco-industrial development: reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology, *Journal of Cleaner Production*, 12, 2004, pp.947-965.
- [10] Q. Zhu, R.P. Côté, Integrating green supply chain management into an em-bryonic eco-industrial development: a case study of the Guitang Group, *Journal of Cleaner Production*, 12, 2004, pp.1025-1035.
- [11] T. Mattila et al., Methodological aspects of applying life cycle assessment to industrial symbioses, *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 2012, pp.51-60.
- [12] J. Tian et al., Study on the performance of eco industrial park development in China, *Journal of Cleaner Production*, 64, 2014, pp.486-494.
- [13] M. Schlarb, Eco-industrial Development: a Strategy for Building Sustainable Communities. United States Economic Development Administration, Washington, DC.: Cornell University, 2001.
- [14] T. Tudor, E. Adam, M. Bates, Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): a literature review, *Ecological Economics*, 61(2-3), 2007, pp.199-207.
- [15] F.J. Cole, N.B. Eales, The history of comparative anatomy: Part I.-A statistical analysis of the literature, *Science Progress (1916-1919)*, 11(44), 1917, pp.578-596.
- [16] V. Groos, A. Pritchard, Documentation notes, *Journal of Documentation*, 25(4), 1969, pp.344-349.
- [17] E.C.M. Noyons, H.F. Moed, Combining mapping and citation analysis for evaluative bibliometric purposes: A bibliometric study, *Journal of the American Society for Information Science*, 50(2), 1999, pp.115-131.
- [18] K.W. Boyack, R. Klavans, Co-citation analysis, bibliographic coupling, and direct citation: Which citation approach represents the research front most accurately?, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(12), 2010, pp.2389-2404.
- [19] A. Kopcsa, E. Schiebel, Science and technology mapping: A new iteration model for representing multidimensional relationships, *Journal of the American Society for Information Science*, 49(1), 1998, pp.7-17.
- [20] N.J. Van Eck, L. Waltman, Bibliometric mapping of the computational intelligence field, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 15(5), 2007, pp.625-645.
- [21] N.J. Van Eck, L. Waltman, Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping, *Scientometrics*, 84(2), 2010, pp.523-538.
- [22] E. Kirschner, Eco-industrial parks find growing acceptance, *Chemical & Engineering News Archive*, 73(8), 1995, p.15.
- [23] B. Hileman, Eco-industrial parks offer economic and environmental advantages, *Chemical & Engineering News Archive*, 73(22), 1995, p.34.
- [24] A.J.P. Carr, Choctaw Eco-Industrial Park: an ecological approach to industrial land-use planning and design, *Landscape and Urban Planning*, 42(2-4), 1998, pp.239-257.
- [25] S.A. Martin et al., Applying industrial ecology to industrial parks: An economic and environmental analysis, *Economic Development Quarterly*, 12(3), 1998, pp.218-237.
- [26] R. Patnaik, G. Poyyamoli, Developing an eco-industrial park in Puducherry region, India - a SWOT analysis, *Journal of Environmental Planning and Management*, 58(6), 2015, pp.976-996.
- [27] P. Ribeiro et al., An integrated approach towards transforming an industrial park into an eco-industrial park: the case of Salaise-Sablons, *Journal of Environmental Planning and Management*, 61(2), 2018, pp.195-213.
- [28] D.S. Oh, K.B. Kim, S.Y. Jeong, Eco-Industrial Park Design: a Daedeok Technovalley case study, *Habitat International*, 29(2), 2005, pp.269-284.
- [29] H.S. Kim, Building an eco-industrial park as a public project in South Korea. The stakeholders' understanding of and involvement in the project, *Sustainable development*, 15(6), 2007, pp.357-369.
- [30] Y.A. Lee, H.S. Park, K.Y. Son, An Analysis of City Gas Consumption According to the Building Orientation of Apartment Buildings - Focused on a Case in Ulsan, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 15(1), 2016, pp.57-64.
- [31] H.J. Kim et al, Durability performance evaluation of concrete containing TDFA (Tire Derived Fuel Ash), *Construction and Building Materials*, 133, 2017, pp.376-386.