KIEAE Journal, Vol. 20, No. 6, Dec. 2020, pp.51-57.

KIEAE Journal
Korea Institute of Ecological Architecture and Environment
106

소셜 네트워크 분석을 통한 도시 계획 의사결정지원 시스템 개발 동향 규명
- 생태산업개발(EID)과 관련된 도시 계획을 중심으로 -

Identification of Development Trends of Decision Support Systems for Urban Planning using Social Network Analysis
- Focused on Urban Planning in relation to Eco-industrial Development -

정상규* · 안병선** · 이정민*** · 반영운****
Sang-Kyu Jeong* · Byoung-Sun An** · Jung-Min Lee*** · Yong-Un Ban****

* First author, Visiting Professor, Dept. of Smart Eco-Industrial Convergence, Chungbuk National Univ., South Korea (neoshaky@chungbuk.ac.kr)
** Coauthor, Graduate Student, Dept. of Smart Eco-Industrial Convergence, Chungbuk National Univ., South Korea (ansun521@gmail.com)
*** Coauthor, Graduate Student, Dept. of Smart Eco-Industrial Convergence, Chungbuk National Univ., South Korea (min-lee@naver.com)
**** Corresponding author, Professor, Dept. of Urban Engineering, Chungbuk National Univ., South Korea (byubyu@chungbuk.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: This study aims at identifying the development trends of decision support system (DSS) for the urban planning in relation to the ecological industry in order to secure the decision support base for leading sustainable eco-industrial development (EID) within the city. **Method:** In this study, through text mining technique, key words was extracted from the titles and abstracts of the DSS-related research documents published from 2003 to 2019 in international academia. Their relationships were analyzed through Social Network Analysis (SNA). **Result:** Most of the extracted key words were analyzed to have close relations with each other in the network. In particular, the very strong link between the 'circular economy' and the 'environment' showed that the application of the concept of circular economy is needed in the decision-making process. In particular, 'China' is the keyword that appeared most frequently in the research documents, which has strong links with other topics, especially with 'urbanization', 'CO_2 emission', and 'NPS pollutants'. Researches around the world conducted to economically implement EID and reduce negative social and environmental impacts during the development process show that it is necessary to develop DSS construction to optimize vehicle routes, manage water quality, and minimize carbon dioxide emissions. It was found that while 'cost' and 'policy makers' are factors that directly influence the decision-making process, 'sustainable development' is a factor that has a high mediating influence on the process.

ⓒ 2020. KIEAE all rights reserved.

KEYWORD
도시계획
생태산업개발(EID)
의사결정 지원 시스템(DSS)
텍스트 마이닝
소셜 네트워크 분석(SNA)

Urban planning
Eco-industrial development (EID)
Decision support system (DSS)
Text mining
Social network analysis (SNA)

ACCEPTANCE INFO
Received Oct. 29, 2020
Final revision received Dec. 9, 2020
Accepted Dec. 14, 2020

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

21세기의 최대 과제인 기후변화 대응을 위해서는 에너지 및 자원 효율성과 지속 가능성을 높이기 위한 세계적 수준의 포괄적인 고찰이 필요하다[1]. 세계적 규모의 산업화와 도시화에 따른 기후변화 적응과 완화를 위해서는 의사결정자들을 교육하고 인도하기 위한 공통된 인식이 요구된다[2]. 도시는 기후변화 대응을 위한 계획적 조치로 온실가스배출을 감축할 수 있는, 기후변화에 대한 세계적 적응과 완화를 위한 핵심지역이다[3]. 도시 속 에너지 생산과 소비에 따른 화석 연료 연소와 산업 공정은 이산화탄소 배출에 큰 영향을 주는 요인[4]으로 탄소 저감을 위한 보다 정교한 도시계획 의사결정은 기후변화에 따른 위기 극복을 위한 중요한 수단이 될 수 있다.

1990년대 초 컴퓨터를 활용한 도시계획을 위한 의사결정 지원 시스템(Decision Support Systems, 이하 DSS)의 개념이 태동[5]하면서 생태도시계획을 위해 도시 폐기물 관리[6], 산업 부지 선정[7], 환경계획[8], 토지 이용 계획[9], 수질 관리[10] 등을 위한 다양한 DSS들이 출현하였고 이들은 환경적으로 지속가능한 개발 방식으로 기존의 산업 시설과 도시를 변모시키기 위한 중요 수단이 되었다. 이에 이 연구에서는 도시에서 지속 가능한 생태산업개발(eco-industrial development, 이하 EID)을 유도하기 위한 의사결정과정에서 세계적인 EID 실행 경험에서 비롯된 공통된 교훈에 따라 향후 현실적이고 합리적인 DSS 모델 개발 방향을 설정할 수 있는 지원 기반 확보를 위해 EID 문제 해결을 위한 도시계획 DSS의 개발 동향을 기존 연구 주제들을 나열하여 검토하는 방식이 아닌 연구 주제들 간의 복잡한 관계를 네트워크 분석을 통해 보다 정교하게 살펴보고자 한다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

이 연구는 국제 학계에 EID와 관련된 도시계획을 위한 DSS 개발 연구가 처음 발표된 2003년부터 2019년에 이르기까지 출판된 세계 각국의 연구문헌들의 제목과 초록 구성 내용들 중에서 텍스트 마이닝을 통해 화제어들을 추출하고 그들의 관계를 소셜 네트워크 분석(social network analysis, 이하 SNA)을 통해 분석하여 당해 DSS 개발 동향을 규명하였다.

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2020.20.6.051

2. 배경 지식

2.1. EID의 태동과 발전

급격한 경제 성장에 따른 산업화와 도시화에 따른 환경 악화로 기존의 산업 개발 방식의 수정이 불가피해짐에 따라 1990년대부터 환경 문제에 대응할 수 있도록 자원과 에너지 이용 효율을 높일 수 있는 순환경제(circular economy)를 기반으로 경제, 환경, 사회의 균형과 조화를 성취할 수 있도록 설계된 지역 개발 방식인 EID에 대한 세계적 관심이 확대되었다[12]. 한국은 2005년부터~2016년까지 생태산업단지(EIP) 사업을 운영해왔고 2008년에는 녹색 산업을 신성장 동력으로 육성하기 위한 '저탄소 녹색 성장 비전', 2020년에는 그린 뉴딜 정책을 발표하면서 8개의 추진과제를 수립하였는데 그 중 '도시의 녹색 생태계 회복'을 위한 대표사업으로, 지속 가능한 환경도시 구현을 목표로 하는 '스마트 그린도시' 사업 추진을 위한 지원단을 구성하고 그린 어바니즘에 기반한 도시 녹색전환 해법 마련을 위한 스마트 그린도시 사업대상 지역 공모 사업에 착수하였다[28].

2.2. EID 문제 해결을 위한 DSS

범세계적 EID에 대한 관심에도 불구하고 전통적으로 추구하던 이익 사업들을 선호한 결과로 생태, 경제, 사회적 문제들을 체계적으로 해결하기 위해 고안된 EID의 목적과 부합하지 못하는 불완전하고 편향된 이해와 오해에서 비롯된 관련 정책들의 비효율성으로 많은 실무자들이 다중적 맥락에서 다양한 요인들을 다루지 않고 EID 과정에서 재활용 지원 등과 같은 소수 요인만을 최적화하는 방식을 취함으로써 EID와 관련된 인간 사회와 생태계 사이의 다양하고 복잡한 상호작용들을 고려하지 못했다[12]. 이러한 복잡성으로 종합적이고 혁신적인 EID를 구상하고 구현해야 할 필요가 있다. 즉 제대로 설계된 지표들은 EID 진행 상황을 모니터링하는데 필요하지만 단일 지표는 EID의 전체적 특성을 보장하고 지원할 수 없다. 20세기 말 컴퓨터 메모리 기술 발전에 따른 전문가 시스템(expert systems)의 출현으로 관계 및 검색의 논리를 활용한 도시계획 DSS의 실험적 모델들이 개발[5, 11]되면서 EID 문제해결을 위한 DSS들이 출현하기 시작했다. 3차원 GIS 환경에서 대기의 물리적 거동을 모델링한 대기 오염 통합 시뮬레이션으로 도시 교통 수요에 따른 배기 가스 감축[13], 관계형 지식 기반의 산업부지 선정과 평가[14], 수질 시뮬레이션 모델을 적용하여 지역과 도시에 대한 비점오염원(non-point source)의 장기적인 영향들을 수질 관리 관점에서 추정[10], 순환경제 개념에 기초한 환경 및 경제적 이점을 통해 산업과 사회에 유익하도록 이해관계자들이 폐기물과 자원을 관리[15] 등을 위한 협업적 DSS 모델들이 개발되었다.

3. 분석 방법

3.1 자료수집 및 텍스트 마이닝

이 연구에서는 1997년 미국 클래리베이트 애널리틱스(Clarivate Analytics)사의 국제 저명 문헌의 서지 정보 자료를 제공하는 웹 데이터베이스인 웹 오브 사이언스(Web of Science, 이하 WoS)로부터 EID관련 도시계획 의사결정지원 연구 문헌들을 검색하고 수집하였다. 자연어 처리(natural language processing, 이하 NLP)에 사용되는 아파치(Apache) Open NLP 라이브러리에 기초한 텍스트 마이닝 도구인 보스 뷰어(VOS viewer)[20]로 EID 기반 도시계획 의사결정지원 연구 문헌들의 텍스트 데이터인 제목과 초록들을 구성하는 모든 용어들을 추출하였다. 이 도구는 단순 명사(예: environment) 이외에도 복합 명사(예: industrial development)도 추출할 수 있다. 이러한 단순 명사나 복합 명사로 이루어진 추출 용어들에 대해 추출된 용어들에 대하여 출현횟수(occurrences)와 관련성 점수(relevance score)를 산출하였다. 각 용어에 대한 모든 용어들의 동시 출현 분포 상태를 상호 비교하여 각 용어들의 관련성 점수를 두 확률분포의 차이를 계산하는 함수인 쿨백-라이블러 발산(Kullback-Leibler divergence)법(Eq. 1)을 이용하여 산출하였다. 이 방식에 따르면 측정된 두 분포들간의 차이가 클수록 용어의 관련성 점수가 높게 산출된다.

$$D_{KL} = \sum_i P(i) \log \frac{P(i)}{Q(i)} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

여기서, D_{KL}: 쿨백-라이블러 발산. P, Q: 2개의 확률분포, i : 확률 공간(probability space)

관련성이 낮은 용어, 즉 일반적 의미를 갖는 용어의 경우에 동시 출현이 어느 정도 동등하게 분포하는 경향을 갖는 반면에 관련성 높은 용어, 즉 특수한 의미를 갖는 용어는 다른 특정 용어들에게 크게 편향되는 동시출현 분포 성향이 있다. 따라서 관련성 점수가 높은 용어들은 텍스트 데이터가 다루는 특정 화제를 대표하는 경향이 있고 점수가 낮은 용어들은 일반화된 성향을 대표하는 경향이 있는 것으로 해석된다[20].

3.2 소셜 네트워크 분석

이 연구에서는 사회현상을 네트워크로 표현하여 그 특성을 분석하는 SNA를 활용하여 EID기반의 도시계획 DSS 관련 화제들의 상호 영향 관계를 도출하여 각 화제별 특성을 SNA의 주표 지표들인 4개의 중심성 지표 산출을 통해 도출하였다.

1) 연결정도 중심성(degree centrality)

연결정도 중심성은 측정하고자 하는 노드와 직접 연결된 노드들만 고려하여 산정되어 전체 네트워크 수준의 중심성을 확인할 수 없으나 국지적 수준(local level)의 중심성 확인에 용이하다. 이 지표는 각 노드의 연결선 수에 따라 중요도를 할당하여 네트워크에서 특정 노드가 인접 노드들과 직접 연결된 상태를 알려준다. 연결정도 중심성은 화제 요소들, 많은 정보를 갖고 있을 가능성이 큰 요소들, 더 큰 네트워크에 빠르게 연결될 수 있는 요소들을 찾아낼 경우에 사용될 수 있다[16]. 이 연구에서는 국지적 수준에서 직접적인 영향력이 높은 주제어들을 파악하기 위해 이 지표를 사용했다(Eq. 2).

$$C_D(i) = \sum_{j=1}^{n} A_{ij} \qquad \text{(Eq. 2)}$$

여기서, $C_D(i)$: 노드 i에 대한 연결정도 중심성, A_{ij} : 노드 i와 j의 연결여부(연결: 1, 비연결: 0)

2) 근접 중심성(closeness centrality)

근접 중심성은 네트워크 내에서 각 노드가 다른 모든 노드들로 부터 근접한 정도를 판단하는 지표로 모든 노드들 간의 최단 경로들을 산출한 후에 각 노드에 대해 당해 노드의 최단 경로 거리의 총합을 할당하여 산출된다. 전체 네트워크에서 가장 신속히 영향을 주는 최상의 위치에 있는 요소들을 탐색할 경우에 이 지표를 활용하며 연결정도 중심성과 달리 직접 연결된 노드들뿐만 아니라 간접적으로 연결된 모든 노드들 간의 최단 거리를 고려할 수 있다[16]. 이 연구에서는 전체 네트워크 수준에서 영향력이 높은 주제어들을 파악하기 위해 이 지표를 사용했다(Eq. 3).

$$C_C(i) = \frac{1}{\sum_{j=1}^{n} D_{ij}} \quad \text{(Eq. 3)}$$

여기서, $C_C(i)$: 노드 i에 대한 근접 중심성, D_{ij} : 노드 i와 j 사이의 최단 경로 거리

3) 매개 중심성(betweenness centrality)

매개 중심성은 특정 노드가 다른 노드들 사이의 최단 경로 상에 놓여지는 횟수를 측정한 것으로 소셜 네트워크에서 두 노드들 사이의 최단경로에 있는 노드들 중에서 네트워크 내의 서로 다른 부분들을 연결해주는 매개 역할을 하는 노드를 찾아내는 지표로 높은 매개 중심성을 갖는 노드는 이 노드를 거쳐서 발생할 수 있는 영향력이 큰 것으로 해석된다[16]. 이 연구에서는 화제를 이끄는 주제어들 사이에서 영향을 주는 용어들을 찾기 위해 이 지표를 사용하였다(Eq. 4).

$$C_B(i) = \sum_{j<k}^{n} G_{jk}(i) / G_{jk} \quad \text{(Eq. 4)}$$

여기서, $C_B(i)$: 노드 i에 대한 매개 중심성, $G_{jk}(i)$: 노드 j와 k 사이에 있는 최단 경로 중에서 노드 i를 경유하는 경로의 개수, G_{jk} : 두 노드 j와 k 사이의 최단경로들의 개수

4) 위세 중심성(Eigenvector centrality)

위세 중심성은 네트워크 내에 한 노드와 연결된 다른 요소들의 중심성을 가중치로 적용하여 계산하는 방식으로 자신과 연결된 다른 노드들이 네트워크 내에서 얼마나 중요한지 파악하는 지표이다. 위세 중심성이 높으면 연결정도 중심성이 적어도 높은 영향력을 갖고, 반대로 연결정도 중심성은 높지만 위세 중심성이 낮다면 네트워크 내 실질적 영향력은 미미한 것으로 해석된다[17]. 이 연구에서는 전체 네트워크 내에서 실질적 영향력이 우세한 주제어를 찾아내기 위해 이 지표를 사용하였다.

$$C_E(i) = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^{n} A_{ij} C_E(j) \quad \text{(Eq. 5)}$$

여기서, $C_E(i)$: 노드 i에 대한 위세중심성, λ : 노드 i의 고유값(상수), A_{ij} : 노드 i와 j의 연결여부 (연결: 1, 비연결: 0), $C_E(j)$: 노드 j에 대한 위세중심성 값

상기 지표들에 대한 SNA 분석을 위한 네트워크 데이터 입력, 분석, 가시화는 Ucinet 프로그램[18]을 이용하였다.

4. 결과 및 논의

4.1 문헌 분석

WoS에서 EID 관련 도시계획 의사결정 지원과 관련된 연구 문헌 검색조건으로 '지속 가능', '생태', '산업', '도시계획', '의사결정 지원'이라는 검색어들을 'AND'와 'OR'의 부울 연산자(boolean operators)를 이용해서 쿼리(query)를 구성하였다. 이 과정에서 와일드카드로 별표(*)를 사용하여 특정 형태소에서 파생되는 단어들을 모두 찾아내도록 했다(Table 1.). 이로써 총 21건의 문헌들이 수집되었다. 이들은 자연과학, 사회과학, 예술 및 인문학분야의 세계 유수 학술지, 도서, 논문의 서지 정보가 등록된 WoS의 데이터베이스에서 추출한 국제학계의 대표적 문헌들이다. 이러한 EID 관련 도시계획 DSS 관련 연구들은 모두 2000년대 중반 이후에 발간되었고 14개국 57개 기관 소속 83명의 연구자들에 의해 도출된 연구 성과물들인 것으로 나타났다.

이러한 연구 문헌들은 14개 연구분야에 해당되는데 환경과학 및 생태학 분야에 해당하는 논문들이 11건으로 가장 많았다. 그 다음으로 공공 행정, 도시 연구, 과학 기술 및 기타 화제 분야에서 각각 6건, 공학엔지니어링 분야에서 4건, 에너지 연료 분야, 지리학, 자연지리학 분야에서 각각 3건, 건설 기술 분야에서 2건 등의 순으로 나타났다. 중국은 총 7건으로 가장 많은 연구 문헌들을 발표하였고 그 다음으로 호주 4건, 영국 2건, 이탈리아 2건, 스위스 2건, 미국 2건 등의 순으로 나타났다(Table 2. 참조). 한국도 중국과 1건의 공동 연구를 수행했는데 이 연구는 중국의 스마트 도시들과 산업단지들을 고찰하여 지속 가능한 저탄소 사회 전환을 위한 스마트 도시와 스마트 산업단지 진흥 요소들을 저탄소 도시와 산업 시스템 계획을 위한 의사결정에 효과적으로 적용할 수 있는 방법을 탐구하였다[19].

4.2 주제어 추출 및 선별

텍스트 마이닝 도구를 이용해서 수집된 EID관련 도시계획 의사결정지원 연구 문헌들의 텍스트 데이터인 제목과 초록들로부터 총 1,043개의 용어들을 추출할 수 있었다. 먼저 이 용어들 중에서 3회 이상 출현한 용어들은 총 72개로 조사되었다. 이들에 대한 출현횟수와 관련성 점수 분석을 수행한 결과는 표 3과 같다. 특정 의미를 갖는 주제어 추출을 위해 전체의 30% 수준에서 관련성 점수가 낮아 일반 용어들로 판정된 용어들을 먼저 제척하였다. 이러한 텍스트 마이닝

Table 1. Composition of query for literature search

Division	Query components
Morphemes and words for the search	sustainable-, eco-, industr-, urban plan-, decision support
Boolean operators used	AND, OR
Wildcard used	*
Composed query	("sustainabl*" OR "eco*") AND "industr*" AND "urban plan*" AND "decision support"

Table 2. Number of documents by research area and country

Research areas	Documents	Country	Documents
Environmental sciences and ecology	11	China	7
Urban studies	6	Australia	4
Public administration	6	England	2
Science technology and other topics	6	Italy	2
Engineering	4	Switzerland	2
Energy fuels	3	USA	2
Geography	3	Poland	1
Physical geography	3	Saudi Arabia	1
Construction building technology	2	France	1
Biotechnology applied microbiology	1	Iran	1
Business economics	1	Netherland	1
Computer science	1	Scotland	1
Food science technology	1	South Korea	1
Toxicology	1	Taiwan	1

ⓒ2020. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

을 통한 선별 후에도 주제 검색을 위한 쿼리로 사용되어 당연히 많은 비중을 차지할 것으로 예상되는 3건의 용어들(예: urban planning, industry, sustainable development), 논문에서 빈번히 나타나는 단순명사 5개(예: paper, study case 등), 평범한 단어로 판단되는 단순명사 10개(예: number, increase, reduction 등)를 추가 제척하여 총 33개의 주제어들이 최종 선별되었다(Table 3.).

4.3 소셜 네트워크 분석

1) 네트워크 구성요소 간 연계성

먼저 텍스트 마이닝을 통해 추출되어 최종 선별된 33개 용어들에 대한 네트워크를 구축하고 동시출현(co-occurrence)법을 이용하여 주제어들 간의 관계 분석을 수행하였다. Fig. 1.의 네트워크에서

Table 3. Terms that co-appear three or more times among those extruded through text mining

Term	Occurrences	Relevance score	Note
study	16	0.0768	Exclusion
urban planning	16	0.1266	Exclusion
tool	17	0.1743	Exclusion
urban development	6	0.1872	Exclusion
complexity	5	0.1996	Exclusion
decision making	4	0.204	Exclusion
decision	14	0.2081	Exclusion
research	5	0.2443	Exclusion
city	23	0.2498	Exclusion
planning	12	0.2505	Exclusion
paper	7	0.2585	Exclusion
information	10	0.2679	Exclusion
sustainable development	3	0.2734	Exclusion
practice	11	0.2761	Exclusion
industry	10	0.3001	Exclusion
case study	8	0.3164	Exclusion
planner	6	0.3167	Exclusion
case	5	0.3525	Exclusion
decision making process	4	0.3617	Exclusion
development	14	0.395	Exclusion
system	35	0.4058	Exclusion
problem	11	0.4165	Exclusion
stakeholder	5	0.4434	
model	20	0.4456	Exclusion
approach	13	0.4624	Exclusion
use	11	0.4952	Exclusion
solution	10	0.5131	Exclusion
impact	14	0.5372	
policy maker	3	0.5497	
role	5	0.5673	Exclusion
environment	12	0.5772	
smart city	11	0.593	
China	15	0.5989	
area	9	0.6494	Exclusion
PSS	8	0.6757	
account	4	0.6868	Exclusion
type	3	0.713	Exclusion
program	4	0.7154	Exclusion
user	7	0.7172	
delphi-fuzzy model	4	0.7452	
CO_2	5	0.823	
SEA	3	0.8277	
criteria	3	0.846	
industrial development	3	0.8991	
interview	4	0.9258	
cost	8	0.9565	
concept	5	0.9903	
circular economy	8	1.025	
order	4	1.109	Exclusion
number	4	1.1095	Exclusion
NPS pollutant	3	1.2797	
neighborhood scale	5	1.3138	
relation	3	1.3317	Exclusion
urbanization	4	1.3441	
addition	3	1.3877	Exclusion
neighborhood	4	1.4538	
increase	4	1.4789	Exclusion
CO_2 emission	8	1.6	
reduction	4	1.657	Exclusion
route	6	1.7131	
ROS	5	1.7914	
driver	4	1.8733	
socioeconomic factor	3	1.9992	
urban soil	5	2.7508	
ecosystem service	5	2.7508	
economic loss	5	2.7657	
water quality pollution	5	2.7657	
visualisation product	4	2.8364	
strength	4	2.8364	Exclusion
current user	3	2.9751	
weakness	3	2.9751	Exclusion
soil	3	3.0608	

연결선은 용어들과의 연계를 의미하며 연결선의 굵기는 연결 강도를 나타낸다. '순환경제'와 '환경' 사이에는 가장 강력한 연결 강도가 산출되어 두 요소들이 매우 밀접한 연관이 있다는 것을 파악할 수 있었다. '순환경제'는 환경적 이점과 경제적 이점을 동시에 지닌, 산업과 사회에 유망한 개념으로 레모이 외 3인(Remøy et al., 2019)은 도시 수준을 초월한 세계적 규모로 구현할 수 있는 다양한 폐기물 및 자원을 효율적으로 관리하고 순환시키기 위해 여러 이해관계자들이 공동으로 해법을 찾아낼 수 있는 순환경제의 개념이 통합된, 협력적 도시계획 DSS를 제안하였다[15]. '영향', '중국', 'CO_2 방출', '비점오염원(nonpoint source, 이하 NPS)'의 화제들 간에도 강한 연결강도가 산출되었다. 이들의 중심에는 '영향'이라는 요소가 있는데 이는 의사결정 과정에서 CO_2와 NPS에 대한 영향력을 최소화하기 위한 노력들이 필요하다는 것을 시사하는 네트워크 관계 구조로 볼 수 있다. 특히, 중국은 이러한 환경적 영향에 대한 해법을 찾기 위한 여러 노력들을 수행[21-25]해왔음을 알 수 있었다. 네트워크에서 '경로 최적화 시스템(route optimization system, 이하 ROS)', '경로', 그리고 '운전자'의 3개 요소들이 강하게 연결된 구조를 나타냈다. 이는 사물인터넷 기술을 통해 차량과 운전자의 실시간 정보를 수집하여 화물이나 여객 등을 운송하는 운전자에게 최적의 경로를 할당해주는 ROS[21]가 EID 과정에서 경제성을 높이고 부정적인 사회·환경적 영향을 절감할 수 있는 의사결정지원수단이 될 수 있음을 시사한다. 마지막으로 '수질 오염'과 '경제적 손실' 간에 산출된 강한 연결 강도와 '사회경제적 요인'과 'CO_2 방출' 간의 강한 연결 강도는 사회·경제적 효과를 얻어내기 위해 수질 오염과 CO_2 방출을 최소화하기 위한 DSS 개발과 적용이 필요하다는 것을 보여준다. '토양' 및 '생태계 서비스'와의 강한 연결 강도가 산출되어 '토양'과 관련된 '생태계 서비스'도 EID 기반의 도시계획 DSS 구축과정에서 다루어야 할 화제임을 추론할 수 있었다. 또한 도시의 '전략적 환경 평가(strategic environmental assessment, 이하 SEA)'라는 주제는 '중국', '산업개발', '지속 가능한 개발'과 직접 관련된 것으로 나타나 중국은 환경 문제 해소를 위해 산업개발과 지속 가능한 개발에 기초한 도시의 SEA를 DSS에 적용하였음을 알 수 있었다. 추출된 용어들 중에서 '중국'은 가장 많이 출현한 단어로 네트워크 내 총 연결강도(total link strength, 이하 TLS)가 140으로 매우 강력했다. 이는 중국이 네트워크 내 다른 화제들과 강한 연계성을 갖는 것으로 해석된다. 이는 중국에서 교통 경로 최적화[21], 도시의 SEA[22], 스마트 산업단지 개발[19], 저탄소 생태도시 계획[19, 23], 지역 위험 평가

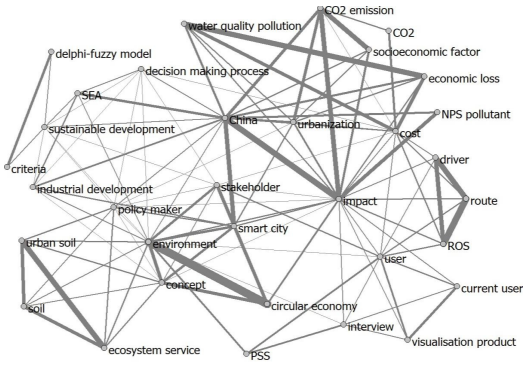


Fig. 1. Network consisting of terms extracted through text mining

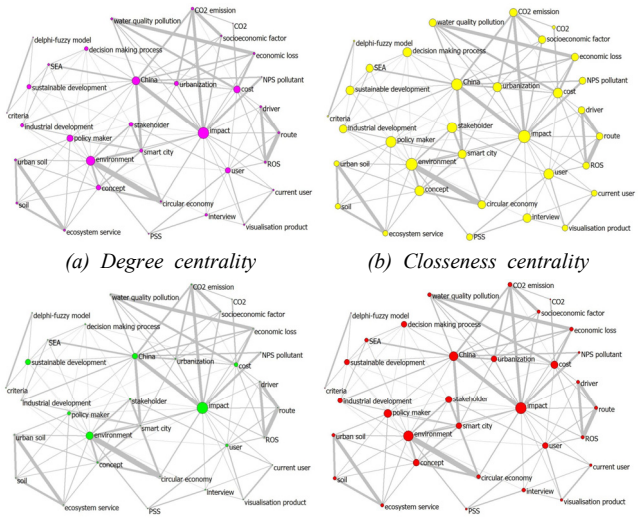
(regional risk assessment)[24], 폐기물 관리[25]와 같은 다양한 목적을 위한 DSS의 적용, 개발 및 개선 시도가 행해졌던 사실을 통해서도 예증된다.

왕 외 4인(Wang et al., 2017)이 중국 대도시들의 토지 이용 데이터, 디지털 교통지도 및 일련의 사회 · 경제적 데이터를 이용하여 CO_2 배출 수준에 따른 사회 경제적 요인, 도시 형태, 교통망의 영향들을 추정하여 CO_2 배출 감축을 위한 공간 최적화 DSS를 개발한 연구[23]는 2019년 기준으로 106회 인용되어 조사된 문헌들 중에서 국제 학계에서 가장 많이 인용된 논문으로 밝혀졌다. '환경'이라는 주제어도 출현횟수가 많고 TLS가 119로 매우 강하게 산출되어 EID 기반의 도시계획에서 많이 언급되고 다른 계획 요소들과 연계성이 강한 것으로 조사되었다. 특히 '영향', '중국', '스마트 도시' 그리고 '개념'과 직접 연관된 연결 구조를 갖는 것으로 분석되었다. 이와 유사하게 '영향'이라는 주제어도 '중국'과 함께 가장 강력한 TLS(145)를 나타내고 있는데 '중국', '도시화', 'CO_2 방출', 'NPS'라는 용어들과 강하게 직접 연결되는 구조를 형성했다. 이는 '중국'은 '도시화'로 'CO_2 방출'과 'NPS' 문제가 심각하고 이는 환경에 큰 '영향'을 주는 것으로 추론할 수 있다. 이러한 '영향'은 '비용'이라는 화제와도 직접 관련되고 '비용'은 'CO_2 방출'에 따른 '경제 손실'과 관련된다. '순환경제'와 함께 비교적 최근 출현한 개념인 '스마트 도시'도 '환경', '중국', '이해관계자', '순환경제'라는 화제와 직접적이고 밀접한 관련성이 강하게 나타났다.

2) 네트워크 내 화제 중심성

네트워크 내 화제들의 속성을 보다 구체적으로 규명하기 위해 SNA 분석을 통한 4가지 중심성 지표들에 대한 용어들의 속성들을 산출하여 이를 가시화하였다(Fig. 2.). 전반적으로 연결정도 중심성(Fig. 2.(a))과 위세 중심성(Fig. 2.(d))은 대부분 유사한 양상을 보이고 있는데 '이해 관계자'와 '스마트 도시' 요소의 경우에는 연결정도 중심성은 낮게 나타나지만 가중치를 고려한 위세 중심성은 연결정도 중심성보다 비교적 높게 나타났다. 이는 그들의 중요도도 높다는 것을 의미한다. 다양한 정보의 효율적인 제공과 에너지 절약 유도로 지속가능한 도시 환경 조성을 지원할 수 있는 소셜 네트워크는 기존 도시를 스마트 시티로 전환할 수 있는 핵심 기능이다[26]. 따라서 의사결정 과정에서 이해관계자들의 역할이 중요하고 스마트 도시도 DSS 구축에서 고려해야하는 중요한 개념이라는 것을 파악할 수 있다. 따라서 소셜 네크워크에 기초한 스마트 도시가 EID 관련 도시 계획의 기본 개념으로 적용되어야 한다고 본다.

근접 중심성의 경우에 네트워크 가장 자리에 고립되어 있는 몇몇 화제요소들을 제외하고 모두 근접한 관련성을 고르게 갖고 있는 것으로 분석되었다(Fig. 2.(b)). 전반적으로 '영향', '환경', '중국'의 요소들은 4개의 모든 지표에서 중심성이 높게 산출되었다. 이는 이들이 그만큼 직·간접적 영향력과 중요도가 높은 요소들로 작용하였다는 것을 의미한다. '비용'의 경우에 매개 중심성을 제외하고 모두 높은 중심성이 산출되어 의사결정과정에서 직접적 영향을 주고 중요도가 높은 요소임을 파악할 수 있다. 롬바르디와 페레티(Lombardi & Ferretti, 2015)는 도시 및 지역의 지속 가능한 개발 과정에서 네트워크 표현과 시나리오의 시각화로 정책입안자를 비롯한 이해관계자들이 해결하기 어려운 문제들에 대한 DSS를 제안한 바 있다[27]. '정책 입안자'의 경우에 높은 연결정도 중심성, 근접 중심성, 위세 중심성이 산출되었다. 이는 생태산업도시계획 의사결정과정에서 그들의 역할이 중요하고 그 만큼 직접적이고 주된 영향력을 행사할 수 있는 것으로 해석될 수 있다. 이러한 '정책 입안자'를 포함하는 '이해관계자'의 요소도 높은 근접 중심성이 산출되어 전체 네트워크 상에서 DSS에 중심 역할을 하는 존재임을 파악할 수 있다. 또한 '지속가능한 개발'이라는 용어도 매개 중심성이 높게 산출되어 EID 기반의 도시계획에서 핵심적 중재자 역할을 하는 요소로 분석되었다(Table 4. 참조).



(a) Degree centrality (b) Closseness centrality

(c) Betweenness centrality (d) Eigenvector centrality

Fig. 2. Results of centrality analysis of nodes in the network

Table 4. TLS and centralities of the selected term

Term	TLS	Centrality			
		Degree	Betweenness	Closeness	Eigenvector
China	140*	15*	66.632*	49*	0.305*
circular economy	76*	4	0	63	0.122
CO_2	15	2	0	85	0.04
CO_2 emission	77*	6	8.494	64	0.136
concept	65	10	15.812	57	0.215
cost	76*	13*	46.7*	56	0.243*
criteria	12	2	0	91	0.021
current user	24	4	0	72	0.083
decision making process	17	8	8.113	58	0.196
delphi-fuzzy model	12	2	0	91	0.021
driver	56	5	0	69	0.11
economic loss	60	5	0	65	0.134
ecosystem service	55	5	0	74	0.111
environment	119*	17*	90.85*	48*	0.33*
impact	145*	21*	143.885*	45*	0.374*
industrial development	26	7	3.033	63	0.165
interview	22	6	6.356	61	0.121
NPS pollutant	24	2	0	69	0.072
policy maker	28	12*	35.272	53*	0.272*
PSS	24	3	0	70	0.069
ROS	65	5	0	69	0.11
route	72	5	0	69	0.11
SEA	21	5	0	65	0.125
smart city	65	7	2.605	60	0.199
socioeconomic factor	42	4	0	66	0.108
soil	39	5	0	74	0.111
stakeholder	42	9	17.527	55*	0.227
sustainable development	22	9	61.167*	61	0.177
urban soil	55	5	0	74	0.111
urbanization	57	9	7.783	58	0.203
user	54	11	30.771	55*	0.198
visualization product	28	4	0	72	0.083
water quality pollution	60	5	0	65	0.134

Note: The asterisk here refers to the top 5 terms with high values

ⓒ2020. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

5. 결론

2000년대 중반 이후로 여러 국가에서 EID 관련 도시계획 DSS 구축 연구들이 여러 분야에서 수행되었는데, 특히 과학 및 생태 분야의 연구들이 가장 많았다. 선행 연구 문헌들로부터 텍스트 마이닝으로 추출된 주제어들에 대한 SNA 분석 결과에 따르면 선별된 대부분의 주제어들은 근접 중심성의 편차가 적어 근접한 연관성을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 특히 '순환경제'와 '환경' 간의 강한 연계성이 산출되어 도시계획시 환경문제 해법 마련을 위한 의사결정과정에 순환경제 개념의 적용이 필요하다는 것을 추론할 수 있었다. 또한 연계성 분석으로 CO2와 비점 오염물질이 환경에 주된 영향을 미치는 요인으로 밝혀져 의사결정과정에서 이들에 대한 영향력을 최소화하기 위한 DSS 개발 필요성도 파악할 수 있었다. 특히 '중국'은 최다출현 화제어로 네트워크 내 다른 화제어들과 강한 연계를 갖고 있는 데 특히, '도시화', 'CO2 방출', 'NPS 오염물질'과 매우 밀접한 관계를 갖는 것으로 나타났다. 중국은 환경 영향에 대한 해법을 찾기 위한 연구들을 활발히 수행했는데 특히 도시의 저탄소화, 교통 경로 최적화, 지역 위험 평가, 전략적 환경 평가 등을 통한 도시계획 의사결정에 높은 관심을 갖고 있는 것으로 나타났다. 다른 국가에서도 중국 및 자국의 도시들을 대상으로 환경 영향에 대한 해법을 찾기 위한 많은 연구가 수행되었음을 파악할 수 있었다. 또한 경제적 EID와 사회·환경적 악영향 절감을 위해서는 의사결정 과정에서 차량 경로 최적화, 수질 관리, 이산화탄소 방출 최소화를 위한 DSS 구축이 필요하다는 것을 파악할 수 있었다. '비용'과 '정책입안자'들은 높은 연결정도 중심성, 근접 중심성, 위세 중심성을 보여 의사결정과정에 직접적이고 중대한 영향을 주는 요인들로 밝혀졌고 매개 중심성이 높은 '지속가능한 개발'은 그 매개 영향력이 높은 특성으로 인해 의사결정과정에서 핵심적으로 추구해야하는 화제임을 추론할 수 있었다. 스마트 도시도 환경영향을 저감할 수 있는 순환경제 및 의사결정 관련 이해관계자와 직접적 관련성이 높은 것으로 나타나 향후 생태산업도시는 스마트 도시 개념을 기반으로 조성될 가능성이 큰 것으로 전망할 수 있었다. 이 연구는 EID와 관련한 도시계획 의사결정에 국한하여 분석했기에 광범위한 도시계획 DSS 구축 동향 파악에는 한계가 있어 산업개발적 측면에 치중되어 결과가 도출된 경향이 있다. 이에 향후 연구에서는 범위를 보다 확대하거나 계획 유형별로 구분하여 보다 구체적이고 확대 적용이 가능한 도시계획 DSS 개발 연구가 필요하다. EID에 대한 세계적 인식 확산과 대조적으로 이와 관련한 도시계획 DSS 개발 연구가 미진하므로 이 연구의 성과가 효과적인 DSS 개발을 지원하는 참고자료가 될 것으로 기대한다.

Acknowledgement

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

Reference

[1] C. Dienst et al., Wuxi – a Chinese city on its way to a low carbon future, Journal of Sustainable Development of Energy, Water, and Environment Systems, 3(1), 2015, pp.12-25.
[2] M. Hussain et al., Regional and sectoral assessment on climate-change in Pakistan: Social norms and indigenous perceptions on climate-change adaptation and mitigation in relation to global context, Journal of Cleaner Production, 200, 2018, pp.791-808,
[3] D. Reckien et al., Climate change response in Europe: what's the reality? Analysis of adaptation and mitigation plans from 200 urban areas in 11 countries, Climatic Change, 122, 2014, pp.331–340.
[4] X. Liu et al., Low-carbon developments in Northeast China: Evidence from cities, Applied Energy, 236, 2019, pp.1019-1033.
[5] M. Batty, T. Yeh, The promise of expert systems for urban planning, Computers, Environment and Urban Systems, 15(3), 1991, pp.101-108.
[6] Y.J. Chang, M.D. Lin, Compromising economic cost and air pollutant emissions of municipal solid waste management strategies by fuzzy multiobjective optimization model, Journal of the Air & Waste Management Association, 63(6), 2013, pp.712-723.
[7] F. Witlox, MATISSE: a relational expert system for industrial site selection, Expert Systems with Applications, 24(1), 2003, pp.133-144.
[8] M.G. Culshaw et al., The role of web-based environmental information in urban planning—the environmental information system for planners, Science of The Total Environment, 360(1–3), 2006, pp.233-245.
[9] T. Arentze et al., An agent-based heuristic method for generating land-use plans in urban planning, Environment and Planning B: Planning and Design, 37, 2010, pp.463-482.
[10] L. Yang et al., Evaluating long-term hydrological impacts of regional urbanisation in Hanyang, China, using a GIS model and remote sensing, International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 15(4), 2008, pp.350-356.
[11] H. Timmermans, Decision Support Systems in Urban Planning and Urban Design, Environment and Planning B: Planning and Design, 21(1), 1994, pp.1-4.
[12] Y. Geng et al., Recent progress on innovative eco-industrial development, Journal of Cleaner Production, 114, 2016, pp.1-10.
[13] M. Schmidt, R.P. Schäfer, An integrated simulation system for traffic induced air pollution, Environmental Modelling & Software, 13(3-4), 1998, pp.295-303.
[14] F. Witlox, Expert systems in land-use planning: An overview, Expert Systems with Applications, 29(2), 2005, pp.437-445.
[15] H. Remøy et al., Facilitating circular economy in urban planning. Urban Planning, 4(3), 2018, pp.1-4.
[16] L.C. Freeman, Centrality in social networks conceptual clarification, Social Networks, 1(1978/79), 1978, pp.215-239.
[17] P. Bonacich, Some unique properties of eigenvector centrality, Social Networks, 29(4), 2007, pp.555-564.
[18] S.P. Borgatti, M.G. Everett, L.C. Freeman, Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis, Harvard, MA: Analytic Technologies, 2002.
[19] Y. Wang et al., Smart solutions shape for sustainable low-carbon future: A review on smart cities and industrial parks in China, Technological Forecasting and Social Change, 144, 2019, pp.103-117.
[20] N.J. Van Eck, L. Waltman, Text mining and visualization using VOSviewer, ISSI Newsletter, 7(3), 2011, pp.50-54.
[21] S. Shao, G. Xu, M. Li, The design of an IoT-based route optimization system: A smart product-service system (SPSS) approach, Advanced Engineering Informatics, 42, 2019, pp.101006.
[22] W. Li, Y. Xie, F. Hao, Applying an improved rapid impact assessment matrix method to strategic environmental assessment of urban planning in China, Environmental Impact Assessment Review, 46, 2014. pp.13-24.
[23] S. Wang et al., Examining the impacts of socioeconomic factors, urban form, and transportation networks on CO_2 emissions in China's megacities, Applied Energy, 185, 2017, pp.189-200.
[24] M. Zhao, X. Liu, Regional risk assessment for urban major hazards based on GIS geoprocessing to improve public safety, 87, 2016, pp.18-24.
[25] G. Zhang et al., Spatial characteristics of municipal solid waste generation and its influential spatial factors on a city scale: a case

study of Xiamen, China, Journal of Material Cycles and Waste Management, 17, 2015, pp.399-409.
[26] B.A. Alyoubi, Smart cities in shaping the future of urban space: Technical perspective and utilitarian aspects, Journal of Fundamental and Applied Sciences, 9, 2017, pp.1749-1770.
[27] P. Lombardi, V. Ferretti, New spatial decision support systems for sustainable urban and regional development, Smart and Sustainable Built Environment, 4(1), 2015, pp.45-66.
[28] 환경부, 스마트 그린도시, 환경부와 지역이 함께 만듭니다, 환경부 보도자료, 2020.09.07.// Ministry of Environment, Smart green city, the Ministry of Environment and the region make it together, Press release from the Ministry of Environment, September 7, 2020.

ⓒ 2020. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.