

동시출현단어 분석을 활용한 도로 관리에서의 인공지능 활용에 관한 지적구조 분석

김선겸*, 김승현
한국건설기술연구원 도로관리통합클러스터

Domain Analysis on the Use of Artificial Intelligence in Road Management Using Co-occurring Word Analysis

Sun-Kyum Kim*, Seung-Hyun Kim

Integrated Road Management Research Cluster, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 제 4차 산업혁명 시대의 차세대 혁신 기술 도입 및 제도 개선을 통한 도로 관리 체계를 선진화 하고, 미래상을 제시할 수 있도록 최근 도로유지관리시스템의 스마트화 및 지능화 도입이 요구되어지고 있다. 특히 인공지능은 그 중에서 가장 핵심 기술로 다양한 연구가 진행되고 있으며, 이를 활용하기 위한 발전방향제시를 위해 도로 관리에서의 인공지능을 활용에 관한 이해가 필요하다. 본 연구는 동시출현단어 분석을 활용하여 도로 관리에서의 인공지능 활용에 관한 최신 연구 경향을 반영하는 지적구조를 제시하여 주제영역 구성을 밝히는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 2018년 1월 1일부터 2022년 12월 31일까지의 5년간의 Web of Science 기반으로 문헌 데이터를 수집하고 동시출현단어를 활용하여 분석한다. 네트워크 분석을 통해 세부 주제 영역을 파악하고, 중심성 분석을 통해 전역 및 지역 중심의 키워드를 도출하였다. 또한 군집분석을 수행하여 형성된 군집을 다차원적도지도에 표시하고, 각 키워드 간 상관관계에 따른 지적구조를 제시하였다. 향후 도로 관리에서의 보다 발전적인 인공지능 활용에 관한 연구에 도움이 될 것으로 기대한다.

Abstract There has been recent demand for the introduction of smart and intelligent road maintenance systems in order to advance the road management system by introducing next-generation innovative technologies, to improve systems in the era of the 4th Industrial Revolution, and to present a vision for the future. In particular, artificial intelligence is the most core technology, and various research is being conducted. It is necessary to understand the use of artificial intelligence in road management in order to suggest development directions for utilizing it. This study used co-occurrence word analysis to reveal the composition of topic areas by presenting a domain structure that reflects the latest research trends in the use of artificial intelligence in road management. For this purpose, literature data were collected based on Web of Science from the five-year period of January 1, 2018, to December 31, 2022. The trends were analyzed using co-occurring words. Detailed subject areas were identified through network analysis, and global and regional keywords were derived through centrality analysis. In addition, cluster analysis was performed, and the formed clusters were displayed on a multidimensional scale map. A domain structure is presented according to the correlation between each keyword. It is expected that the result will be helpful in research on the more advanced use of artificial intelligence in road management.

Keywords : Artificial Intelligence, Deep Learning, Domain Analysis, Co-occurring Word Analysis, Road Management

*Corresponding Author : Sun-Kyum Kim(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: sunkyumkim@kict.re.kr

Received September 14, 2023

Accepted November 3, 2023

Revised October 16, 2023

Published November 30, 2023

1. 서론

도로는 정치·경제·문화를 연결하는 국가의 주요 사회 간접자본(SOC, Social Overhead, Capital) 중 하나로 철도, 항공, 해운 등 타 SOC와의 수송 분담률 통계에서 항상 최상위를 기록하고 있다 [1]. 도로와 도로시설물은 1980년대부터 건설되어 노후화가 계속 진행되고 있으며, 도로 투자 패턴이 관리 위주로 전환됨에 따라 정기점검 및 시스템을 통해 유지관리가 되고 있으나 [2], 그동안의 건설기술은 설계 및 시공기술의 개발에 역점을 두어왔기 때문에 유지관리에 대한 관심도가 상대적으로 낮아 유지관리 기술은 설계 및 시공기술에 비해 낙후되어 있는 실정이다 [3].

제 4차 산업혁명 시대의 차세대 혁신 기술 도입 및 제도 개선을 통한 도로 관리 체계를 선진화 하고, 미래상을 제시할 수 있도록 최근 도로유지관리시스템의 스마트화 및 지능화 도입이 요구되어지고 있다 [4]. 이러한 시대적 흐름에 따라 기존 도로 관리의 문제를 개선하기 위해 ICBMS(IoT, Cloud, Big Data, Mobile, Security) 및 AI(인공지능) 등 미래형 기술 도입이 필요하며 특히 인공지능은 그 중에서 가장 핵심 기술로 다양한 연구가 진행되고 있으며, 이를 활용하기 위한 발전방향제시를 위해 도로 관리에서의 인공지능 활용에 관한 이해가 필요하다.

도로 관리에서의 인공지능의 활용에 관한 이해를 위해서 관련 문헌에 대한 지적구조 분석을 활용할 수 있다. 지적구조란 계량서지학 분야에서 사용하는 개념으로 인용관계를 분석해 관계성과 주제영역을 밝히는 것이 목적이다. 지적구조 분석은 문헌을 구성하는 전문, 제목, 초록의 텍스트 전문, 제목, 초록 키워드를 이용한 동시출현단어 분석이 대표적으로 활용되며, 이를 통해 하위분야 및 관련 분야의 패턴 분석과, 이를 통한 발전 방향을 예측할 수 있도록 한다 [5].

그러므로 본 연구는 이러한 동시출현단어 분석을 활용하여 도로 관리에서의 인공지능 활용에 관한 최신 연구 경향을 반영하는 지적구조 및 주제영역 구성을 밝히는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 도로 관리에서의 인공지능 활용에 관한 문헌 데이터를 수집하고 이를 분석하였다. 2018년부터 2022년까지 5년간 발간된 도로 관리에서의 인공지능 활용에 관한 주제로 Web of Science 데이터베이스로부터 총 396건의 문헌을 수집하였으며, 수집된 문헌의 제목과 초록에서 추출된 키워드는 총 2,678개였다. 추출된 키워드를 활용하여 네트워크 분석을 통한 중심 및 세부 주제영역 파악과 중심성

분석을 통한 키워드 간의 영향력을 확인하였다. 또한 클러스터 분석과 이를 다차원축척지도로 나타내어 도로 관리에서의 인공지능 활용에 관한 전체적인 주제영역의 흐름 및 구성을 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 데이터의 추출 및 행렬 생성에 대해서 확인한다. 3장에서는 네트워크 분석과 중심성 분석을 수행하고 이에 대한 결과를 보여준다. 4장에서는 클러스터 분석과 5장에서는 이를 토대로 한 다차원축척지도를 활용한 지적구조의 결과를 확인한다. 6장에서는 최종적으로는 연구를 수행한 결과와 의의를 논하는 것으로 마무리한다.

2. 데이터 추출 및 행렬 작성

2.1 문헌 분석

도로 관리에서의 인공지능 활용에 관한 지적구조 분석을 위해서는 자료 수집과 키워드 선정이 필요하며, 이를 위하여 Web of Science에 등재된 2018년 1월 1일부터 2022년 12월 31일까지의 최근 5년 동안의 문헌 데이터를 활용하였다. 관련 문헌 데이터를 추출하기 위해 키워드 ‘road management’를 첫 번째 검색어로, ‘road maintenance’를 두 번째 검색어로 지정 하였고, 세 번째 검색어로 ‘artificial intelligence’와 ‘deep learning’을 ‘or’로 연결하여 주제(Topic) 검색을 실시하였다. 한정적인 검색 키워드로 인해 많은 양의 데이터가 검색되지 않아 Web of Science 데이터베이스에서 제공하는 저널 범주를 제한하지 않았다. 검색 결과 이 기간 동안 발표된 도로 관리에서의 인공지능 활용 관련 연구 논문 71건과 Review article 논문 6건 총 77건이 수집되었으며, 이에 대한 연도별 추세는 Fig. 1로 나타내었다.

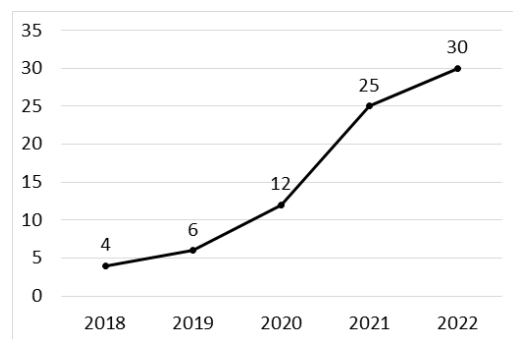


Fig. 1. Literatures in the last 5 years

문헌 편수는 2018년에 4편으로 시작하여 2022년 기준 30편까지 꾸준히 증가하였으며, 이를 통해 도로 관리에서 인공지능 활용에 관한 연구가 활발히 진행 중임을 확인할 수 있었다.

Fig. 2는 데이터의 추출과 가공 및 분석을 통한 지적 구조 분석을 위한 본 연구의 전체 과정이다. 도로 관리에서의 인공지능 활용 관련 문헌들의 기초 데이터를 수집하고, CiteSpace 6.2를 통해 수집된 기초 데이터로부터 전처리를 분한 유의미한 단어의 정제 과정과 분석에 필요한 데이터 셋을 제작하였다. COOC ver 0.4 [6]을 통해 데이터 셋으로부터 동시출현단어를 추출하고 이를 코사인 및 피어슨 상관계수를 활용하여 키워드별 유사도를 통한 키워드 간의 관계를 파악하였다. 병렬 최근접 이웃 클러스터링 알고리즘(Parallel nearest neighbor clustering, PNNC)를 활용 WNET ver 0.4 [7]를 통해 중심성 분석을 수행하였고, 이를 Nodexl [8]을 활용하여 시각화하였다. 끝으로 SPSS ver. 29.0을 통해 클러스터 분석과 다차원축척지도 분석을 통해 도로 관리에서의 인공지능 활용 연구의 흐름을 확인하였다.

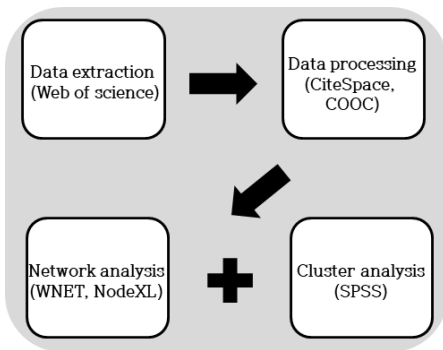


Fig. 2. Domain analysis process

2.2 키워드 선정

본 연구에서는 수집된 77건의 문헌으로부터 CiteSpace 6.2를 활용하여 제목과 초록에서 명사구를 포함한 키워드와 빈도수를 추출하였다. 보다 상세한 주제영역 파악을 위해 명사구의 범위 개수를 2~4개로 정하였으며, 초록이 없는 경우, 제목에서 키워드를 추출하였다. 이 77건의 문헌들에서 추출된 키워드는 총 306개(문헌 당 4.3개)로, 이 중 용이한 분석을 위해 불용어 제거하고, 복잡성 제거를 위하여 최소 2회의 빈도수를 가진 키워드 66개로 구성된 리스트를 완성하였다. 키워드의 정규화를 위하여 단수와 복수의 명사구 중 ‘artificial neural

networks’ 및 ‘artificial neural network’와 ‘neural network’의 경우, 단수형태로 보다 더 많이 사용하는 ‘neural network’로 통일하였다. 또한 ‘learning techniques’ 및 ‘learning methods’, ‘pavement distress’ 및 ‘pavement distress detection’, ‘road damage’ 및 ‘detecting road damage’, ‘random forest’ 및 ‘random forest regression’과 동일한 뜻을 가진 키워드들도 빈도수가 높은 ‘learning techniques’, ‘pavement distress’, ‘road management’, ‘road damage’, ‘random forest’로 치환하였고, 특별히 ‘road management’ 및 ‘road maintenance’의 경우는 국내에서 보다 범용적으로 사용되는 ‘road management’로 통일하였다. 앞서 추출한 키워드는 중복 출현한 단어의 빈도수가 모두 포함되어 있기 때문에 이러한 키워드 빈도와 문헌 빈도의 값의 치우침을 피하기 위하여 단어 빈도에 대한 문헌 빈도값인 TF/IDF 값이 9.66 이상인 최종 키워드 리스트를 선정하였으며, 이에 대한 최종 28개의 리스트는 Table 1과 같다. 도로 관리에서의 인공지능 활용을 대표로 하는 키워드는 빈도수에 따라 deep learning(2), neural network(4), support vector machine(5), computer vision(9), mean average precision(10), random forest(11), learning techniques(12), artificial intelligent (28) 등은 인공지능을 연구함에 있어서 자주 사용되어지는 키워드이지만 실질적으로 road management(1), road damage(3), road surface(6), road network(7), road safety(8), pavement distress(13), winter road maintenance(32), road pavement(36) 등의 키워드를 통해 도로 관리에서의 다양한 분야에 인공지능이 활용되고 있다는 것을 확인할 수 있다.

2.3 동시출현단어 행렬 작성

본 연구에서는 동시출현단어 행렬을 구성하기 위해 유사도를 측정하는 방법인 코사인 및 피어슨 상관계수를 활용하였다. Table 1과 같이 28개의 키워드가 선정된 문헌 77건의 정보를 COOC ver 0.4를 활용하여 최종 키워드 출현빈도 정보 리스트, 최종 키워드 리스트, 동시출현단어 행렬을 생성하였다. 이 동시출현단어 행렬은 28×28의 정방대칭행렬로써, 동시출현빈도와 대각선 간의 출현빈도로 구성된다. 이 행렬을 COOC에 재 입력하여 코사인 유사도계수와 피어슨 상관계수를 통한 정규화한 행렬을 얻게 된다 [9].

코사인 유사도는 두 키워드가 코사인 유사도 값이 1에

Table 1. Final selected keyword list

No.	Keywords	Frequency	No.	Keywords	Frequency
1	road management	34	15	artificial intelligence	3
2	deep learning	12	16	previous studies	3
3	road damage	9	17	transportation agencies	3
4	neural network	8	18	the-art methods	3
5	support vector machine	6	19	winter road maintenance	3
6	road surface	6	20	multilayer perceptron	2
7	road network	6	21	gravel roads	2
8	road safety	4	22	pavement images	2
9	computer vision	4	23	road pavement	2
10	mean average precision	4	24	detection performance	2
11	random forest	4	25	traffic flow	2
12	learning techniques	4	26	genetic algorithm	2
13	pavement distress	4	27	image processing	2
14	challenging task	3	28	crack detection	2

가까울수록 유사하고 0에 가까울수록 유사하지 않다. 코사인 유사도를 통한 분석의 결과로, 유사도가 가장 높은 키워드 쌍은 ‘image processing’-‘pavement images’와 ‘image processing’ - ‘transportation agencies’ (0.57735)로 나타났으며, 그 다음으로 ‘road management’-‘deep learning’(0.47565) 순으로 나타났다. 유사도가 0인 키워드 쌍을 제외하고, 유사도가 가장 낮은 키워드 쌍은 ‘road management’ - ‘random forest’(0.0767)로 나타났으며, 그 다음으로 ‘road damage’-‘deep learning’(0.09806), ‘support vector machine’ - ‘deep learning’(0.09245) 순으로 매우 낮은 유사도를 보여주었다. 이를 통해 ‘image processing’은 ‘pavement images’, ‘transportation agencies’와 각 문헌에서 유사하게 활용된다는 것을 알 수 있다.

피어슨 상관계수에 의해 산출된 값은 -1에서 1사이의 값을 가지며 +1에 가까울수록 강한 긍정적 관계를, -1에 가까울수록 강한 부정적 관계를 뜻하고, 0은 두 키워드 간에 선형적인 관련성이 없음을 나타낸다. 피어슨 상관계수를 통한 분석의 결과로, 상관관계가 가장 높은 키워드 쌍은 코사인 유사도가 두 번째로 높은 키워드 쌍은 코사인 유사도와 동일하게 ‘image processing’ - ‘pavement images’(0.84813)와 ‘image processing’ - ‘transportation agencies’(0.75165), ‘road management’-‘deep learning’(0.72985) 순으로 나타나 해당 키워드 간에 관련이 높다는 것을 알 수 있고, 음의 상관관계가 가장 큰

키워드 쌍은 ‘computer vision’-‘winter road maintenance’(-0.25291), ‘computer vision’-‘genetic algorithm’(-0.1994), ‘computer vision’-‘random forest’(-0.19175) 순으로 나타났으며, 해당 키워드들은 서로 부정적 관계인 것을 의미하였다. 이 외에 음의 상관관계를 지닌 키워드 쌍은 총 124쌍이었다.

3. 지적구조 분석 결과

3.1 네트워크 생성

주제영역을 살펴보기 위해 동시출현단어 행렬로 이루어진 여러 개의 클러스터로 나뉘어진 네트워크를 활용할 수 있다. 이를 위하여 피어슨 상관계수를 이용하여 패스 파인더 네트워크 알고리즘 [6]을 적용한 네트워크를 생성하고, PNC 알고리즘 [10]을 이용하여 세부 주제들을 확인할 수 있도록 하였다. WNET을 활용하여 네트워크 및 클러스터링 알고리즘을 수행하였고, NodeXL를 통하여 시각화를 하였다. 키워드 28개에 관한 동시출현단어의 네트워크 분석 결과, Fig. 3과 같이 PNC 알고리즘으로 5개의 최적의 클러스터가 생성되었다. 보다 명확하게 하기 위하여 클러스터의 각 세부 영역을 합하고, 각 클러스터에서 빈도수가 가장 높은 키워드를 해당 클러스터의 주제명으로 설정하였다. 그 결과로, 제 1 클러스터는 road management, 제 2 클러스터는 neural network,

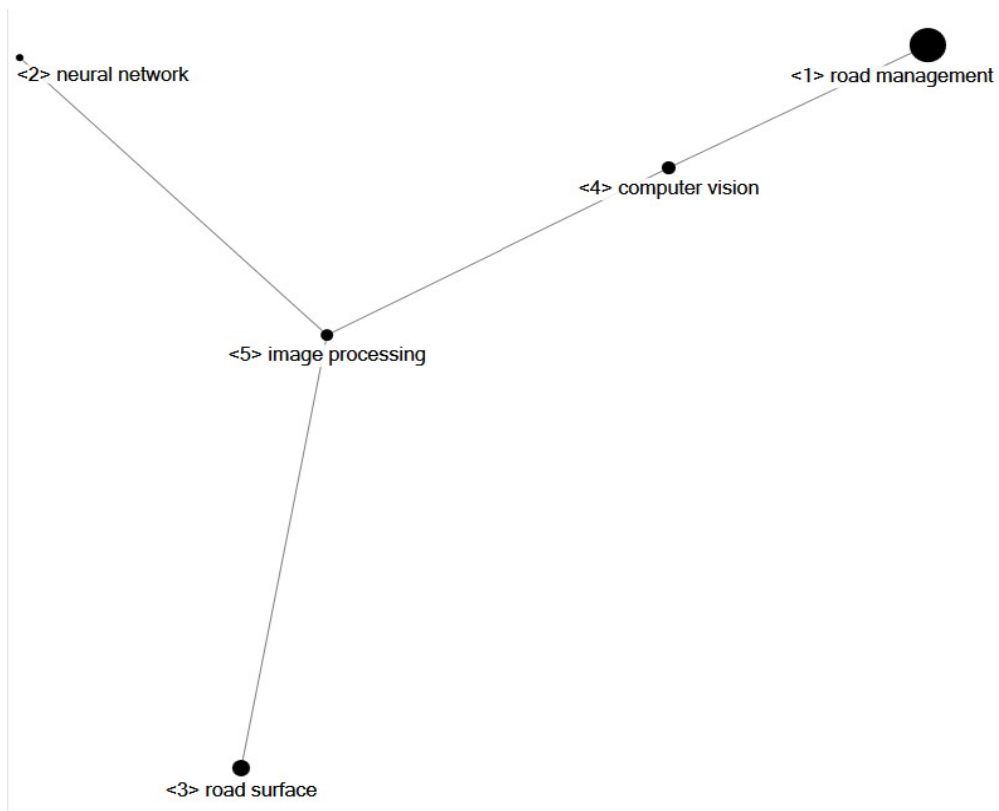


Fig. 3. 5 Clusters

제 3 클러스터는 road surface, 제 4 클러스터는 computer vision, 제 5 클러스터는 image processing로 선정되었으며, 이것은 도로 관리의 핵심 주제인 road management, road surface, 활용되는 인공지능 기법인 neural network, computer vision, image processing이기에 이와 관련한 주제의 키워드들이 도로 관리에서의 인공지능 연구에 가장 많이 활용되고 있음을 알 수 있었다.

3.2 네트워크 분석에 의한 지적구조 분석

본 장에서는 Fig. 3의 클러스터를 구성하는 네트워크는 PNNC 알고리즘을 통해 활용되어 빈도수에 따른 높은 연관성을 갖는 가중 네트워크이므로 키워드 간 구조상 어떻게 연결되어 있는지 확인하기 위한 중심성 분석을 위해 중심성 분석 척도 [11]를 활용하였다. Fig. 3의 클러스터 기반으로 Fig. 4, Fig. 5와 같이 각 5개의 클러스터에 속한 하위 주제영역을 표현하였고, 네트워크 중심성 분석을 통한 전역, 지역, 매개중심성을 도출하였다. 전역중심성이 높을수록 키워드 간 높은 연계성을 나타내

며, 지역중심성이 높을수록 해당 키워드가 속한 클러스터에서의 키워드 간 높은 영향력을 의미하고, 매개중심성이 높을수록 인접한 클러스터 간의 높은 연계성을 나타낸다.

전역중심성이 높은 키워드를 측정하기 위해 상대적 삼각매개중심성(Relative triangle betweenness centrality)과 평균연관성(Average mean association)을 활용하여 Fig. 4와 같이 주제영역 기반의 네트워크를 작성하였다. 상대적 삼각매개중심성은 동시출현단어의 영향력 범위와 구조적인 입지를 나타내며, 평균연관성의 경우 동시출현단어의 강도를 반영한다. 그림에서 노드간의 연결된 간선은 가중치가 높을수록 굵어지며, 노드의 크기를 통해 상대적 삼각매개중심성 값을 나타내었다. 또한 평균연관성을 나타내기 위하여 평균연관성 상위 10개 노드들을 모두 사각형으로 바꾸어 표현하였다. 이를 통해 도로 관리에 인공지능 활용에 관한 연구에 중심이 되는 키워드를 구별하여 확인할 수 있었다. Table 2와 같이 상대적 삼각매개중심성과 평균연관성을 비교하였을 때, 'road management(1)', 'deep learning(2)', 'neural

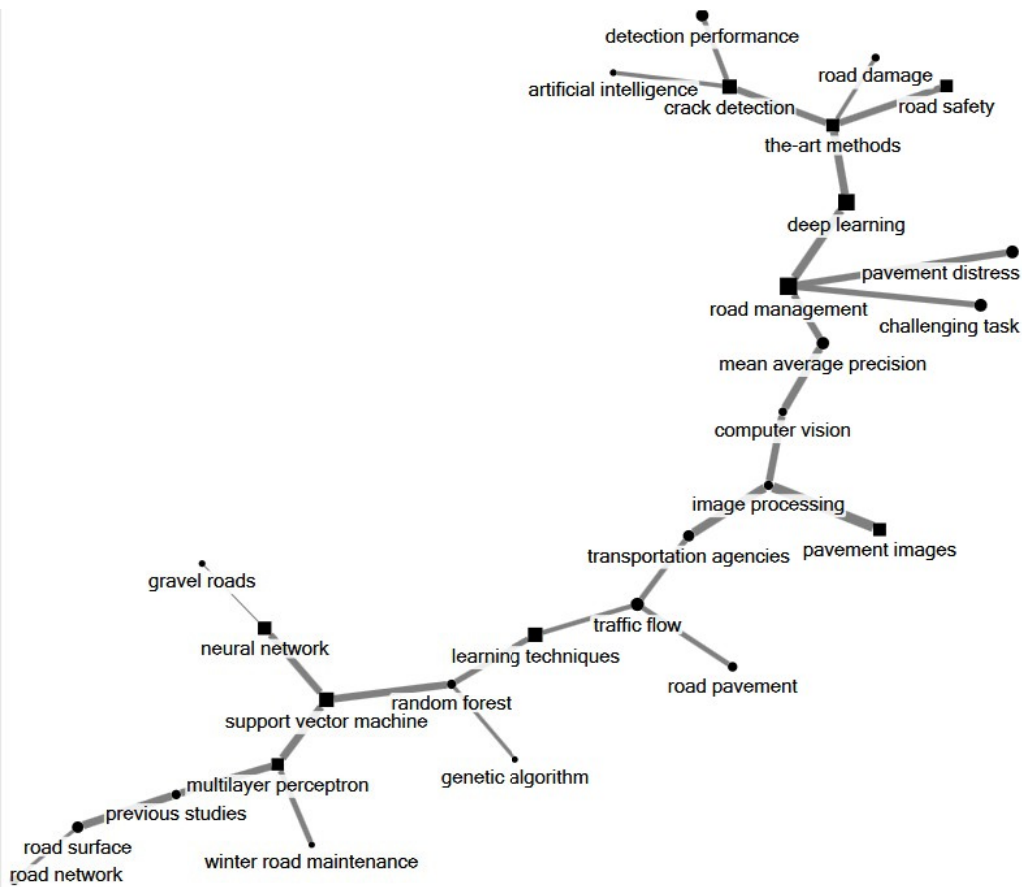


Fig. 4. Keyword relations network by global centrality

Table 2. List of top 10 keywords for centrality

Rank	Keyword(No.)	Relative triangle betweenness centrality	Keyword(No.)	Average mean association
1	road management(1)	0.71795	road management(1)	0.352
2	deep learning(3)	0.64672	deep learning(3)	0.27296
3	support vector machine(5)	0.50997	support vector machine(5)	0.24386
4	learning techniques(12)	0.49858	learning techniques(12)	0.21392
5	crack detection(28)	0.49573	crack detection(28)	0.20889
6	neural network(4)	0.42735	pavement images(22)	0.19362
7	traffic flow(25)	0.42735	neural network(4)	0.19187
8	pavement distress(13)	0.40171	the-art methods(18)	0.18754
9	the-art methods(18)	0.39886	road safety(8)	0.17578
10	pavement images(22)	0.39601	multilayer perception(20)	0.17368

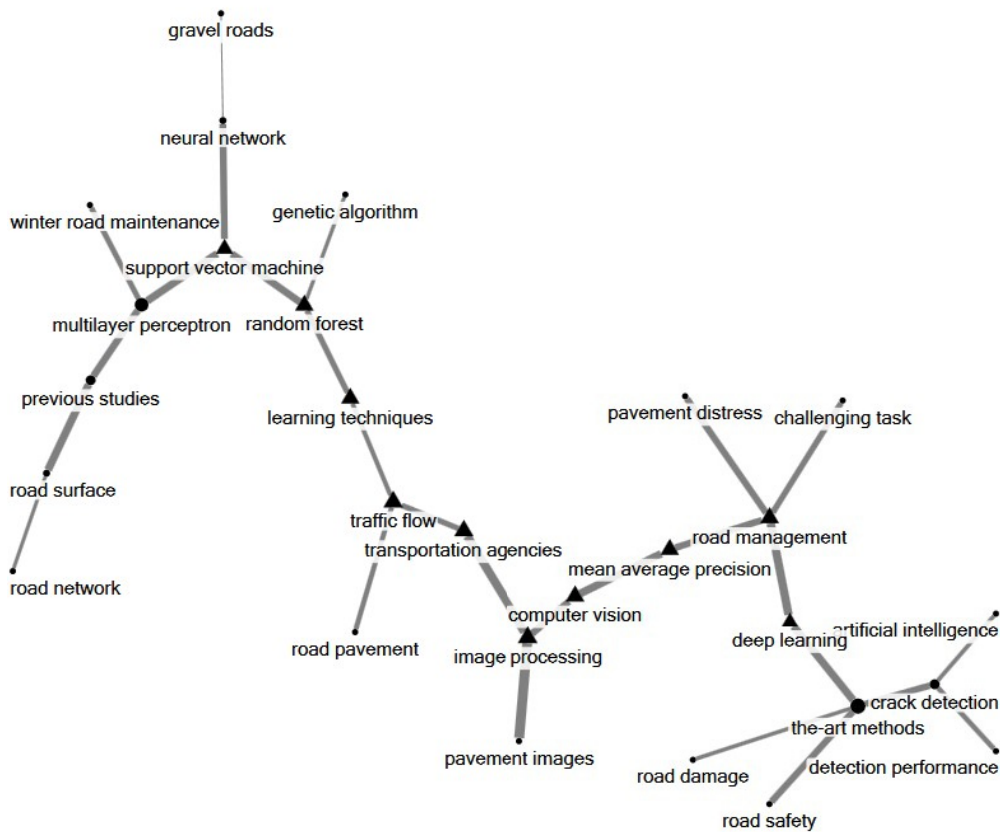


Fig. 5. Keyword relations network by betweenness centrality

network(4)', 'support vector machine(5)', 'learning techniques(12)', 'the-art methods(18)', 'pavement images(22)', 'crack detection(28)'는 모두 상위 10위 안에 포함되는 높은 전역중심성과 평균연관성을 가진 키워드라고 할 수 있으며, 이는 도로 관리에서의 인공지능 활용에 관하여 광범위하게 활용되는 키워드라고 할 수 있다. 또한 상대적 삼각매개중심성에서의 'pavement distress(13)', 'pavement images(22)', 'traffic flow(25)'와 평균연관성의 'road safety(8)', 'multilayer perception(20)' 역시도 도로 관리에 인공지능 활용 분야에 자주 활용되는 키워드라고 볼 수 있다.

또한 도로 관리에서의 인공지능 활용 연구에서 클러스터 간 중개자 역할을 하는 키워드들을 확인하기 위하여 NodeXL을 이용하여 매개중심성 지수를 측정하였다. 이 매개중심성 값 상위 10위까지를 기준으로 'image processing(27)', 'traffic flow(25)', 'transportation agencies(26)', 'road management(1)', 'computer

vision(9)', 'mean average precision(12)', 'random forest(10)', 'learning techniques(7)', 'support vector machine(5)', 'deep learning(3)'순이었다. Fig. 5와 같이 노드의 크기는 중심성 값에 따라, 간선의 크기는 키워드 간 빈도에 비례하도록 하며, 매개중심성 값이 126 이상인 상위 10개의 노드들을 삼각형 형태로 표시하여 네트워크 지도를 작성하였다.

다음으로 5개 클러스터의 세부 주제영역을 분석하기 위해 지역중심성 지수를 측정하였으며, 클러스터에서 영향력이 가장 높은 키워드를 확인할 수 있는 지역중심성의 지표인 상대적 최근접 이웃 중심성 값을 이용하였다. 각 클러스터에서 지역중심성이 가장 높은 중심 키워드는 제 1 클러스터 road management(1), 제 2 클러스터 neural network(4), 제 3 클러스터 road surface(6), 제 4 클러스터 computer vision(10), 제 5 클러스터 image processing(27)로 해당 클러스터의 대표 키워드로 나타내었다.

제 1 클러스터는 도로 관리(Road management) 자체에 관련된 키워드와 관련된 road management(1), deep learning(2), road damage(3), road safety(8), pavement distress(13), crack challenging task(14), artificial intelligence(15), the-art methods(18), detection performance(24), detection(28)로 구성되어 있으며, 도로 관리에서의 인공지능을 활용한 분야 및 딥러닝과 성능에 관련한 키워드를 나타낸다.

제 2 클러스터의 키워드들은 뉴럴 네트워크(Neural network)와 관련된 neural network(4), support vector machine(5), random forest(11), learning techniques(12), winter road maintenance(19), multilayer perceptron(20), gravel roads(21), genetic algorithm(26)로 구성되어 있으며, 각종 인공지능 기법들과 가장 많이 활용되어 지는 분야인 gravel roads와 겨울 도로 관리로 나타낸다.

제 3 클러스터는 도로 표면(Road surface)와 관련된 road surface(6), previous studies(16)로 구성되어 도로 표면과 이전 연구들의 대한 연구 키워드를 나타낸다.

제 4 클러스터는 이미지 인식 알고리즘인 컴퓨터 비전(Computer vision)과 관련된 키워드인 computer vision(9)과 mean average precision(10)으로 구성되어 있다.

제 5 클러스터는 이미지 처리(Image processing)와 관련된 키워드인 image processing(27), pavement images(19), traffic flow(20), road pavement(22), transportation agencies(26)로 구성되어 있으며 도로 포장과 교통과 관련하여 image processing이 많이 활용되어 지고 한 축을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

4. 클러스터 분석을 위한 지적구조

본 장에서는 SPSS ver 29.0을 활용해 피어슨 상관계수를 활용한 연관성 행렬로부터 클러스터 분석을 수행하였다. 클러스터링을 위한 Ward 기법과 덴드로그램을 나타내기 위해 z점수 표준화 설정 및 제곱 유클리디안 거리를 활용하였다. Table 3을 통해 도로 관리에서의 인공지능 활용에 관련하여 가장 잘 나타낸다고 판단한 2개의 클러스터를 표현하였다. 클러스터에 포함된 키워드들 중 클러스터를 나타내는 가장 적절한 키워드를 클러스터 명으로 선정하였고, 클러스터를 구성하는 키워드를 통해 도로 관리에서의 인공지능 활용에 관한 흐름을 파악할

수 있었다.

제 1 클러스터 road management는 도로 관리에서의 가장 많이 이미지 처리 기법의 인공지능이 활용되고 있는 분야와 해당 분야에서 사용되고 있는 인공지능 기법들에 대한 키워드들로 구성되어 있다. road management(1), deep learning(2), road damage(3), road network(7), road safety(8), computer vision(9), mean average precision(10), pavement distress(13), challenging task(14), artificial intelligence(15), transportation agencies(17), the-art methods(18), gravel roads(21), pavement images(22), road pavement(23), detection performance(24), traffic flow(25), image processing(27), crack detection(28)이며, 도로 관리에 관한 도로 데미지, 안전, 포장, 무덤길, 감지 성능, 교통량, 크랙 감지와 이를 활용하기 위한 컴퓨터 비전, 이미지 프로세싱, 감지 성능을 나타낸다.

제 2 클러스터는 artificial intelligence(2)가 대표 키워드로서, 일반적인지 않은 '겨울'과 관련된 분야 및 인공지능 기법을 사용한 키워드인 neural network(4), support vector machine(5), road surface(6), random forest(11), learning techniques(12), previous studies(16), winter road maintenance(19), multilayer perceptron(20), genetic algorithm(26)이며, 뉴럴 네트워크, 서포트 벡터 머신, 랜덤 포레스트, 다층 퍼셉트론, 유전자 알고리즘, 그리고 도로 표면과 겨울 도로 관리에 사용되고 있는 것을 확인할 수 있다.

5. 다차원축척지도에 의한 지적구조

본 장에서는 다차원축척지도를 활용한 지적구조를 분석하기 위해 SPSS ver 29.0의 PROXSCAL 알고리즘을 이용하였다. Fig. 6는 Table 3의 클러스터 분석의 결과를 2개의 클러스터 영역을 나타낸 것이다. 이를건 통해 클러스터의 키워드들은 상관관계를 통해 키워드의 위치가 나타남을 알 수 있다.

지도의 x축과 y축 기준으로 좌측으로부터 하단 전체에 위치한 키워드들은 제 1 클러스터인 road management의 세부 키워드들과, 우측 상단에 위치한 키워드들은 제 2 클러스터인 artificial intelligence의 세부 키워드들과 유사하게 분포되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

Table 3. Domain structure by cluster analysis

Cluster No.	Keyword(No.)	Cluster No.	Keyword(No.)
Cluster #1 (18 keywords) road management	road management(1) deep learning(2) road damage(3) road network(7) road safety(8) computer vision(9) mean average precision(10) pavement distress(13) challenging task(14) artificial intelligence(15) transportation agencies(17) the-art methods(18) gravel roads(21) pavement images(22) road pavement(23) detection performance(24) traffic flow(25) image processing(27) crack detection(28)	Cluster #2 (9 keywords) neural network	neural network(4) support vector machine(5) road surface(6) random forest(11) learning techniques(12) previous studies(16) winter road maintenance(19) multilayer perceptron(20) genetic algorithm(26)

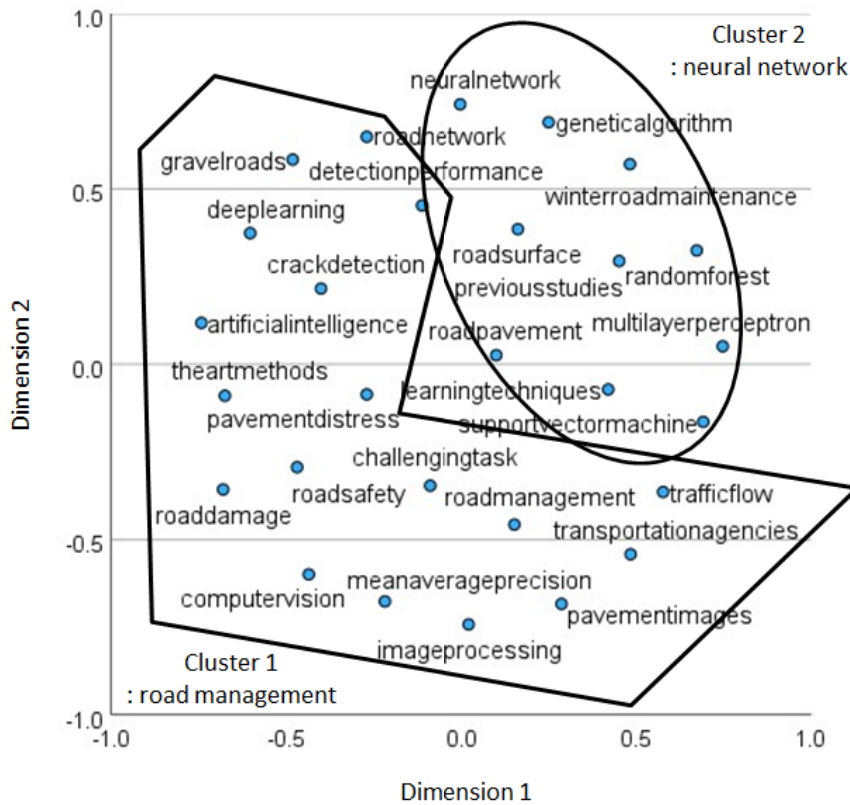


Fig. 6. Domain structure by multidimensional accumulation map

6. 결론

본 연구는 최근 5년간 Web of Science에서 도로 관리에서의 인공지능 활용을 주제로 하는 문헌 데이터로부터 동시출현단어를 활용한 네트워크 분석, 클러스터 분석, 동시출현단어 행렬을 활용한 네트워크 분석, 클러스터 분석, 다차원축척지도를 통해 도로 관리에서의 인공지능 활용 연구에 관한 지적구조를 확인하였다. PNNC 클러스터링 알고리즘 기반의 클러스터 구성을 통해 도로 관리에서의 인공지능 활용에 관한 세부 영역을 확인하였으며, 전역 및 지역 중심성 분석을 통해 가장 핵심이 되는 키워드를 확인하였다. 또한 SPSS를 활용한 클러스터 분석을 통해 도로 관리에서의 인공지능 활용 연구의 흐름을 살펴보았다.

이에 대한 결과로, 2018년부터 2022년까지의 핵심적인 연구는 포장 및 데미지에 관한 이미지 처리와 겨울에서의 표면과 유지에 관한 인공지능 기법의 적용에 관한 연구였음을 확인할 수 있었다. 도로 분야에서의 인공지능의 '활용'이 아직 이미지 처리 위주의 연구에만 머물러 있고, 보다 다양하고 확장적인 연구가 필요하다는 점을 확인할 수 있었다.

본 연구의 대상 분야인 '도로 관리'와 '인공지능' 및 '딥러닝'에 관한 분석 결과가 모든 도로 관리 분야에 활용될 수 있는 것은 아니다. 본 연구를 통하여 도로 관리에서도 인공지능 활용에 관한 지적구조를 분석할 수 있음을 보여주는 것에 큰 의미가 있으며, 향후 에 도로 관리에서의 보다 발전적인 인공지능 활용에 관한 연구에 도움이 될 것으로 기대한다.

References

- [1] Ministry of land, Statistical year book of molit, Bibliographic Information, Ministry of land, Korea, pp.667-667.
- [2] D. Lee, J. Kim, T. Jun, S. Bae, D. Lee, and J. Lee, "A Study on the Prediction of Maintenance Cost for Mid-to Long Term Period and Investment Priority of Road Facilities", *Proceedings of Korean Society of Civil Engineers*, pp.232-234, Oct. 2022.
- [3] C. Lee, Crack Detection Technology of Lining Surface for Road Tunnel Maintenance Based on High Resolution Imaging Equipment and Artificial Intelligence, Technical Report, Korean Society of Civil Engineers, Korea, pp.103-108.
- [4] C. Yang, J. Sung, D. Yoon, S. Lim, J. Moon, S. Shin,

J. Kim, J. Park, and I. Kim, A Planing Study on Smart Road Management Integration System and Elementary Technology, Technical Report, Korean Institute of civil engineering and Building technology, Korea, pp. 1-5.

- [5] S. Seo and E. Chung, "Domain Analysis on the Field of Open Access by Co-Word Analysis", *Korean Biblia Society for Library and Information Science*, Vol.24, No.1, pp.207-228, Mar. 2013.
DOI: <https://doi.org/10.14699/kbiblia.2013.24.1.207>
- [6] J. Lee, "A Study on the Network Generation Methods for Examining the Intellectual Structure of Knowledge Domains", *Korean Library and Information Science Society*, Vol.40, No.2, pp.333-355, Sep. 2006.
DOI: <https://doi.org/10.4275/KSLIS.2006.40.2.333>
- [7] J. Lee, "A Comparison Study on the Weighted Network Centrality Measures of tnet and WNET", *Korean Society for Information Management*, Vol.30, No.4, pp.241-264, Dec. 2013.
DOI : <https://doi.org/10.3743/KOSIM.2013.30.4.241>
- [8] D. Hansen, B. Shneiderman, and M. A.Smith, M. A. Analyzing social media networks with NodeXL: Insights from a connected world, Human-Computer Interaction, Elsevier, pp. 405-408, Feb. 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1080/10447318.2011.544971>
- [9] H. D. White and B. C. Griffith, "Author cocitation: A literature measure of intellectual structure", *American Society for Information Science*, Vol.32, No.3, pp.163-171, May 1981.
DOI: <https://doi.org/10.1002/asi.4630320302>
- [10] J. Lee, "A Novel Clustering Method for Examining and Analyzing the Intellectual Structure of a Scholarly Field", *Korean Society for Information Management*, Vol.23, No.4, pp.215-231, Nov. 2006.
DOI: <https://doi.org/10.3743/KOSIM.2006.23.4.215>
- [11] J. Lee, "Centrality Measures for Bibliometric Network Analysis", *Korean Library and Information Science*, Vol.40, No.3, pp. 191-214, Sep. 2006.
DOI: <https://doi.org/10.4275/KSLIS.2006.40.3.191>

김 선 겸(Sun-Kyum Kim)

[정회원]



- 2016년 2월 : 연세대학교 컴퓨터 과학과 (공학박사)
- 2017년 3월 ~ 2019년 3월 : 한국 과학기술정보연구원 박사후연구원
- 2019년 3월 ~ 2020년 7월 : 차세대융합기술연구원 선임연구원
- 2020년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

인공지능, 데이터분석, 블록체인

김 승 현(Seung-Hyun Kim)

[정회원]



- 2000년 8월 : 부산대학교 지질학과 (지질학석사)
- 2013년 8월 : 부산대학교 지질환경과학과 (지질학박사)
- 2000년 9월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 지반연구본부 연구위원

〈관심분야〉

지질학, 산사태, 도로유지관리