

한국수소및신에너지학회논문집에서의 공동 연구기관 네트워크 분석

최일영¹ · 김혜경² · 문현실^{3†}

¹서경대학교 경영학부, ²울산연구원, ³국민대학교 경영대학원

Analysis of the Network of Co-affiliations in the *Journal of Hydrogen and New Energy*

ILYOUNG CHOI¹, HYEAE-KYEONG KIM², HYUN SIL MOON^{3†}

¹Division of Business Administration, Seokyeong University, 124 Seogyong-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02713, Korea

²Ulsan Research Institute, 6 Samsanjung-ro, Nam-gu, Ulsan 44720, Korea

³Graduate School of Business Administration, Kookmin University, 77 Jeongneung-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02707, Korea

†Corresponding author :
hsmoon@kookmin.ac.kr

Received 27 March, 2025

Revised 27 March, 2025

Accepted 16 April, 2025

Abstract >> This study analyzed the centrality analysis of the co-affiliation network using articles published in the *Journal of the Hydrogen and New Energy* from 2020 to 2024 to build a virtuous knowledge circulation ecosystem of the *Journal of the Hydrogen and New Energy*. In addition, an empirical analysis was conducted to determine which centrality of which network has an impact on increasing future research productivity. The results of the analysis are as follows. First, during this period, 953 authors from 171 affiliations collaborated with each other by publishing 422 articles. In particular, 57% of all articles were published by authors belonging to the same affiliation, and 45% of all affiliations formed a network. Second, affiliations with high degree centrality promote knowledge flow essential for article productivity. On the other hand, even if the number of articles is not large, if they are located on the connection path between other affiliations, betweenness centrality is high, so it was found that affiliations with high betweenness centrality only had a negative impact on paper productivity.

Key words : Journal of the Hydrogen and New Energy(한국수소및신에너지논문집), Social network analysis(소셜 네트워크 분석), Co-affiliation network(공동 연구기관 네트워크), Centrality analysis(중심성 분석), Negative binomial regression analysis(음이항 회귀 분석)

1. 서론

기후 변화로 인해 1990년 이후 미국, 중국, 러시아,

브라질, 인도 등 5대 온실가스 배출국은 전 세계의 국내 총생산의 11%의 경제적 손실을 입었다¹⁾. 또한 CO₂ 배출량을 대폭 줄이더라도 기후 변화로 인하여

세계 경제는 2050년까지 소득의 19%가 감소할 것으로 예상된다²⁾. 이에 따라 탄소중립을 위하여 수소에너지가 필수적이다.

IEA 보고서³⁾에 의하면 2023년 글로벌 수소 수요는 2022년 대비 2.5% 증가한 9,700만 톤에 이르지만 청정 에너지 전환의 핵심 산업인 장거리 저장 및 에너지 저장에서의 수소 수요는 세계 수요의 1% 미만이다. 뿐만 아니라 저배출 수소(low-emissions hydrogen)는 전체 수소 생산의 1% 미만이며 이 중에서도 탄소 포집·활용·저장(carbon capture, utilization, and storage, CCUS) 기술을 적용하여 화석연료로 생산된 수소가 대부분을 차지하고 있다³⁾.

수소는 미래 에너지 전환을 위해 필수적이지만 수소경제로의 전환은 아직 미비한 상황이다. 이러한 환경에서 한국수소및신에너지학회는 수소 연구 및 정보 교환, 인력 교류 등을 협력을 강화하고 있으며 한국수소및신에너지학회논문집을 통해 수소 생산, 저장, 이송, 활용에 대한 학문적 연구 발전에 많은 기여를 하고 있다. 이에 따라 한국수소및신에너지학회논문집은 2020년 기준 기계공학 분야 학술지 중 6위를 차지하고 있으며 한국가스학회지(67회 인용), Korean Chemical Engineering Research (52회 인용), 에너지기후변화학회지(52회 인용), Clean Technology (51회 인용), 공업화학(43회 인용) 등의 학술지들의 지식 발전에도 영향을 주고 있다.

최근 수소 분야의 공동 연구는 점차 증가하는 추세이다. 공동 연구로 구성된 네트워크에 참여한 연구

기관들은 아이디어 및 기법을 공유하며 타 연구자 및 타 연구기관에 영향을 준다⁴⁾. 따라서 한국수소및신에너지학회논문집의 지식의 선순환 생태계를 구축하기 위하여 공동 연구기관 간의 지식의 흐름을 파악할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 2020년부터 2024년까지 한국수소및신에너지학회논문집에 게재된 논문을 대상으로 공동 연구기관 네트워크를 구축한 후 중심성 분석을 수행하였다. 또한 향후 연구 생산성을 높이기 위하여 어떠한 네트워크의 어떠한 중심성이 영향을 주는지 실증 분석을 하였다.

2. 관련 연구

2.1 한국수소및신에너지학회논문집

(사)한국수소및신에너지학회는 1989년 “수소에너지” 잡지를 발간하고 1996년 11월 1일에 법인을 설립하여 현재 5,000여 명이 넘는 회원이 있는 국내 수소 분야 특화 학회로 한국수소및신에너지학회논문집 발간을 통해 국내 수소 분야의 연구를 선도하고 있다. 한국수소및신에너지학회논문집은 연 6회(2월 28일, 4월 30일, 6월 30일, 8월 31일, 10월 31일, 12월 31일) 발간된다.

한국수소및신에너지학회논문집의 주요 이력을 살펴보면 Table 1과 같다. 1989년 12월 31일에 수소에너지 제1권 1호(창간호)를 발간하였다. 2003년 7월 1일

Table 1. Journal history

Date	History
2023. 4. 6	Change of foreign language academic journal name (<i>Journal of Hydrogen and New Energy</i>)
2018. 8. 16	Registration of foreign language academic journal names (<i>Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society</i>)
2006. 1. 1	Accredited KCI
2005. 5. 3	Journal registration. Korean name, Journal of the Korean Hydrogen and New Energy Society. Foreign name, not registered
2003. 7. 1	Candidate KCI
1997. 12. 15	“Hydrogen Energy” published four times a year
1989. 12. 31	“Hydrogen Energy” first issue published

에 등재 후보 학술지로 선정되었으며 2005년 5월 수소에너지에서 한국수소및신에너지학회논문집으로 학술지를 등록하였다. 2006년 1월 1일에 등재 학술지로 선정되었다. 2018년 8월 16일에 미등록된 외국어 학술지명을 *Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society*로 변경하였으며 2023년 4월 6일에 외국어 학술지명을 *Journal of Hydrogen and New Energy*로 변경하였다.

한국수소및신에너지학회논문집의 위상을 살펴보면 2020년 기준 한국학술지인용색인(Korea Citation Index, KCI)에 등재된 기계공학 분야의 31개 학술지에서 6위를 차지하고 있다. 세부적으로 동일 분야 저널의 상대적 중요성을 비교 평가하기 위한 측정 지표인 한국수소및신에너지학회논문집의 영향력 지수(impact factor, IF)를 살펴보면 Table 2와 같이 2020년에 비해 영향력 지수가 증가하였음을 알 수 있다.

2.2 소셜 네트워크 분석

소셜 네트워크 분석은 사람, 사물 등 개체 간의 연결 관계를 계량적으로 분석하는 방법으로^{5,6)} 논문 분석⁷⁻¹¹⁾, 뉴스 분석¹²⁾, 특허 분석^{13,14)} 등에서 많이 활용되고 있다. 따라서 공동 연구기관 네트워크 분석은 논문의 저자가 소속된 연구기관을 개체로 하여 논문에 연구기관들이 있으며 연결 관계가 있다고 가정하여 계량적으로 분석한다.

일반적으로 소셜 네트워크 분석에서 대표적으로 사용되는 방법은 중심성(centrality) 분석으로, 연결 중심성(degree centrality), 매개 중심성(betweenness centrality), 근접 중심성(closeness)을 분석한다¹⁵⁻¹⁷⁾. 공동

연구기관 네트워크에서 연결 중심성은 특정 연구기관과 다른 연구기관들이 공동 연구를 수행한 정도를 측정하는 지표로 다음의 식 (1)과 같이 계산된다.

$$C_D(i) = \sum_{j=1}^g x_{ij}, i \neq j \quad (1)$$

여기서 $C_D(i)$ 는 연구기관 i 의 연결 중심성, g 는 연구기관의 수를 의미한다.

따라서 연결 중심성이 높은 연구기관들은 다양한 연구기관들과 공동 연구 관계를 맺고 있음을 의미하며 이러한 관계를 통한 지식과 자원의 획득이 용이하다^{18,19)}.

$\sum_{j=1}^g x_{ij}$ 는 연구기관 i 가 $(g-1)$ 개의 다른 연구기관과 공동 연구를 수행한 개수이고 x_{ij} 는 0 또는 1이다.

매개 중심성은 특정 연구기관이 담당하는 중재자 역할의 정도를 측정하는 지표로 다음의 식 (2)와 같이 계산된다.

$$C_B(i) = \sum_{j < k} \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}} \quad (2)$$

여기서 $C_B(i)$ 는 연구기관 i 의 매개 중심성이며 g_{jk} 는 두 개의 연구기관 j 와 k 간의 최단 경로의 개수를 의미한다. 또한 $g_{jk}(i)$ 는 두 개의 연구기관 j 와 k 간의 최단 경로 가운데 연구기관 i 를 포함하고 있는 경로의 개수를 의미한다.

따라서 매개 중심성이 높은 연구기관은 지식, 정보, 자원의 흐름을 통제하는 위치에 있어 연구기관 네트워크에서 전략적 우위를 선점할 수 있다²⁰⁾.

근접 중심성은 특정 연구기관이 다른 연구기관들과 얼마나 짧은 최단 경로로 연결되어 있는지를 측정하는 지표로 다음의 식 (3)과 같이 계산된다.

$$C_C(i) = \left[\sum_{j=1}^g d_{ij} \right]^{-1} \quad (3)$$

Table 2. Impact factor of journal

Base year	KCI IF (2 years)	KCI IF (3 years)	KCI IF (5 years)	Number of citations
2023	0.63	0.67	0.51	105
2022	0.65	0.68	0.53	98
2021	0.56	0.51	0.38	87
2020	0.59	0.51	0.38	95

여기서 $C_c(i)$ 는 연구기관 i 의 근접 중심성이며 d_{ij} 는 두 개의 연구기관 i 와 j 간의 최단 경로의 거리를 나타낸다.

따라서 근접 중심성이 높은 연구기관은 중요한 연구기관과 신속한 커뮤니케이션이 가능하며 기술 및 정보 교류의 단계가 줄어든다²⁰⁾.

3. 연구 방법

본 연구의 목적은 한국수소및신에너지학회논문집

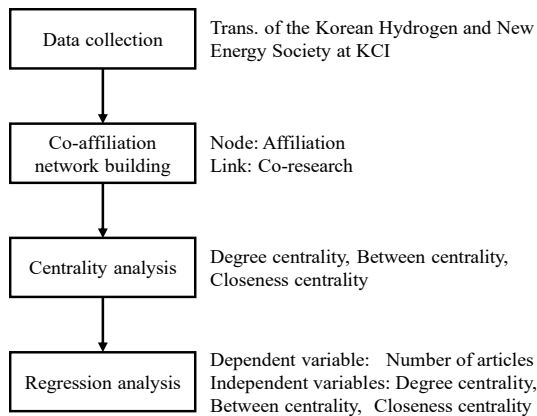


Fig. 1. Research framework

의 공동 연구기관 네트워크에서 지식의 흐름을 분석하고 어떠한 중심성이 논문 생산성에 영향을 주는지 탐색하는 것이다. 이를 위한 분석 프레임워크는 Fig. 1과 같다.

첫 번째 단계에서는 KCI로부터 2020년부터 2024년까지 한국수소및신에너지학회논문집에 게재된 논문을 수집하였다. 두 번째 단계에서는 연구기관이 공동 연구를 수행하였으면 서로 연결하여 네트워크를 구축하였다. 세 번째 단계에서는 구축된 공동 연구기관 네트워크로부터 연결 중심성, 매개 중심성 및 근접 중심성을 분석하였다. 마지막 단계에서는 연구기관의 논문 생산성에 영향을 주는 중심성을 탐색하기 위하여 독립변수를 연결 중심성, 매개 중심성, 근접 중심성으로 하고 종속변수를 논문 수로 하여 회귀 분석을 수행하였다.

4. 분석 결과

4.1 네트워크 분석 결과

본 연구에서는 2020-2024년 기간 동안 한국수소및신에너지학회논문집에 게재된 논문을 수집하여 분석하였다. 수집된 논문은 Fig. 2와 같으며 171개 연

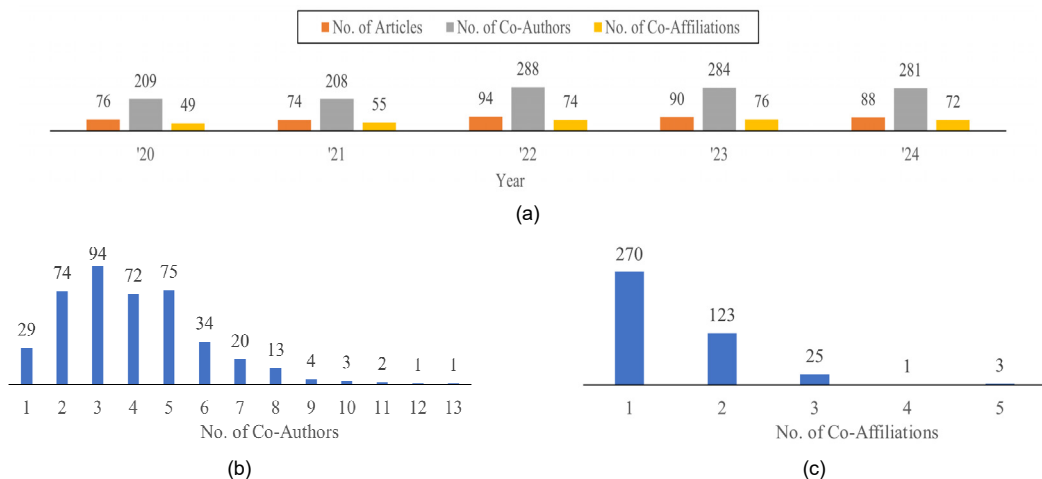


Fig. 2. The characteristic of analysis data. (a) Number of articles, co-authors, and co-affiliations by year. (b) Number of articles by number of co-authors. (c) Number of articles by number of co-affiliation

Table 3. Top 5 authors and affiliations

No.	Author	Number of articles	Affiliation	Number of articles
1	Kim** (KIMM)	18	KIMM	40
2	Lee** (KIMM)	17	KIER	29
3	Noh** (KERI)	15	KITECH	21
4	Seo** (KERI)	15	KIT	16
5	Ha** (KERI)	15	KERI	15
			Hoseo University	15
			CNU	15

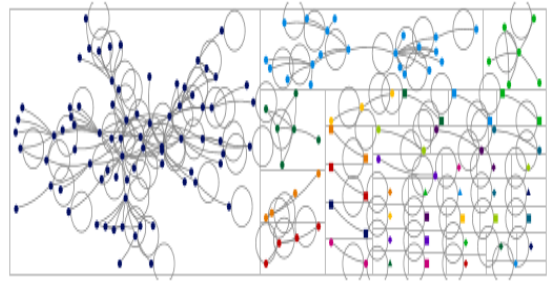
Table 4. Number of articles in which all co-authors belong to the same research affiliations

Number of co-authors	Number of articles	Ratio (%)
2	63	14.9
3	66	15.6
4	45	10.7
5	43	10.2
6	11	2.6
7	9	2.1
8	3	0.7
10	1	0.2

구기관에서 953명의 저자가 422편의 논문을 게재하였다. 또한 게재된 논문의 82%가 5인 이하의 공저자이며 93%가 2개의 공동 연구기관으로 구성되어 있었다.

주요 저자 및 주요 연구기관을 살펴보면 Table 3과 같다. 주요 저자는 김** (한국기계연구원, 18편), 이** (한국기계연구원, 17편), 노** (한국전기연구원, 15편), 서** (한국전기연구원, 15편), 하** (한국전기연구원, 15편)으로 전체 논문의 19%를 차지하고 있었다. 또한 주요 연구기관으로는 한국기계연구원(40편), 한국에너지기술연구원(29편), 한국생산기술연구원(21편), 국립금오공과대학교(16편), 한국전기연구원(15편), 호서대학교(15편), 충남대학교(15편)로 20%를 차지하고 있다. 이를 통해 많은 공저자들이 같은 연구기관에 소속되어 있음을 추정할 수 있다.

논문의 공저자가 모두 동일한 연구기관에 속해있는지 살펴본 결과는 Table 4와 같다. 전체 논문 중

**Fig. 3.** The network structure of research affiliations

57.0%를 동일 기관에 소속된 연구자들이 게재하였으며 특히 5인 이하의 공저자가 51.4%를 차지하고 있었다.

연구 주체 간의 연구의 흐름을 파악하기 위하여 연구기관 네트워크를 구축한 결과는 Fig. 3과 같다. 연구기관 네트워크는 총 19개의 컴포넌트(component)로 구성되어 있다. 컴포넌트란 연결고리가 끊이지 않는 노드들의 집합을 의미하며 직간접적으로 연결된 노드들은 하나의 컴포넌트로 해석한다. 가장 큰 컴포넌트(메인 컴포넌트)는 77개의 연구기관으로 구성되어 있어 전체 연구기관의 45%를 차지하고 있다.

메인 컴포넌트에서 연결 중심성, 매개 중심성 및 근접 중심성이 높은 연구기관은 Table 5와 같다. 한국에너지기술연구원, 과학기술연합대학원대학교, 한국건설기술연구원은 모든 중심성이 높으며 한국기계연구원은 연결 중심성과 매개 중심성이 높다. 단국대학교는 연결 중심성과 근접 중심성이 높으며 수원대학교는 매개 중심성이 높다. 또한 인하대학교와 전북대학교는 근접 중심성이 높다. 이를 통해 연결 중심성이 높은 소수의 연구기관들은 매개 중심성과 근접 중심성이 높음을 알 수 있다.

4.2 회귀 분석 결과

본 연구의 목적은 네트워크 관점에서 한국수소및신에너지학회논문집에 게재된 연구기관의 생산성에 영향을 주는 요인을 탐색하는 것이다. 이를 위하여 메인 컴포넌트를 구성하고 있는 연구기관을 대상으로 회귀 분석을 수행하였다.

Table 5. Top 5 affiliations with high centrality

No.	Affiliation	Degree centrality	Affiliation	Betweenness centrality	Affiliation	Closeness centrality
1	KIER	17	KIER	1,330.869	KIER	0.006
2	KIMM	13	UST	817.469	UST	0.006
3	KICT	12	KIMM	699.312	Dankook University	0.005
4	UST	12	KICT	650.283	KICT	0.005
5	Dankook University	11	Suwon University	631.500	Inha University	0.005
					JBNU	0.005

Table 6. Descriptive statistics and correlation analysis

	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation	(1)	(2)	(3)	(4)
(1) Degree centrality	1.000	17.000	4.156	3.491	1.000			
(2) Betweenness centrality	0.000	1,330.870	103.221	225.739	0.882	1.000		
(3) Closeness centrality	0.000	0.010	0.004	0.001	0.780	0.734	1.000	
(4) Number of articles	1.000	196.000	12.377	27.850	0.693	0.724	0.504	1.000

분석 대상의 기술 통계량 및 상관관계를 살펴보면 Table 6과 같다. 연구기관들은 평균적으로 12.4개의 논문을 게재하였으며 가장 논문을 적게 게재한 연구기관은 한국건설생활환경시험연구원 외 29개 기관이다. 반면에 가장 많이 논문을 게재한 연구기관은 한국기계연구원이다. 게재 논문 편 수는 가산 데이터(count data)이며 평균과 분산 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 따라서 포아송 분포를 이용하여 회귀 분석을 수행한다면 편향이 발생할 것으로 추정된다.

상관관계를 살펴보면 연결 중심성, 매개 중심성, 근접 중심성 간의 상관계수는 0.734부터 0.882로 높다. 그러나 분산팽창지수(variance inflation factor)가 10보다 낮아 다중 공선성 문제는 없는 것으로 나타났다. 또한 연결 중심성, 매개 중심성, 근접 중심성과 게재 논문 편 수와의 관계는 0.504부터 0.724로 높다. 따라서 중심성이 높은 연구기관일수록 많은 논문을 게재한다고 추정할 수 있다.

본 연구에서 사용한 분석인 포아송 회귀 모형과 음이항 회귀 모형 중 최적 모형을 선택하기 위해서 모형 선호 기준 통계량인 로그 우도(Log likelihood)와 Akaike information criterion (AIC) 및 Bayesian information criterion (BIC)로 평가하였다. 일반적으로

포아송 회귀 모형과 음이항 회귀 모형을 비교 시 로그 우도 값이 크고 AIC와 BIC가 낮은 모형이 더 좋은 모형이다.

포아송 회귀 모형과 음이항 회귀 모형의 분석 결과는 Table 7과 같다. 포아송 회귀 모형의 로그 우도, AIC 및 BIC는 각각 -327.357, 662.714, 672.089이며 음이항 회귀 모형의 로그 우도, AIC 및 BIC는 각각 -215.588, 439.176, 448.551이다. 이를 통해 음이항 회귀 모형의 로그 우도가 포아송 회귀 모형의 로그 우도보다 클 뿐만 아니라 음이항 회귀 모형의 AIC와 BIC가 포아송 회귀 모형보다 낮음을 알 수 있다. 따라서 연구기관의 논문 생산성에 영향을 주는 중심성을 파악하기 위해서는 음이항 회귀 모형이 포아송 회귀 모형보다 적합하다고 할 수 있다.

음이항 회귀 모형에 대한 분석 결과 연결 중심성($P<0.001$)은 논문 생산성에 유의한 양의 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 즉 연결 중심성이 높을수록 논문 생산성이 증가한다는 것을 알 수 있다. 반면에 매개 중심성($P<0.05$)은 논문 생산성에 유의한 음의 영향을 미친다. 그러나 근접 중심성은 논문 생산성에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

Table 7. Poisson and negative binomial regression model fit

Variable	Poisson		Negative binomial	
	Coefficient	Standard error	Coefficient	Standard error
Intercept	2.357***	0.244	1.269	0.895
Degree centrality	0.574***	0.028	0.578 ***	0.095
Betweenness centrality	-0.002***	0.000	-0.003*	0.001
Closeness centrality	-798.418***	84.078	-471.320	276.718
Log likelihood	-327.357		-215.588	
AIC	662.714		439.176	
BIC	672.089		448.551	

* $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$.

5. 결론

본 연구에서는 네트워크 관점에서 2020년부터 2024년까지 한국수소및신에너지학회논문집에 논문을 게재한 연구기관의 생산성에 영향을 주는 중심성을 조사하였다. 이 기간 동안 171개의 연구기관에서 953명의 저자가 422편의 논문 게재를 통해 서로 협력 관계를 맺고 있었다. 특히 전체 논문 중 57%를 동일 기관에 소속된 연구자들이 게재하였으며 전체 연구기관의 45%가 하나의 네트워크를 형성하고 있다. 따라서 연구기관 네트워크 분석은 한국수소및신에너지학회논문집에 논문 관련 지식 흐름을 한눈에 살펴보는 데 도움이 되기 때문에 수소 및 신에너지 관련 연구를 위하여 연구기관 네트워크를 이해하는 것은 연구자들에게 중요하다.

본 논문에서는 메인 컴포넌트로부터 연구기관의 연결 중심성, 매개 중심성 및 근접 중심성을 측정하였다. 또한 본 연구는 음이항 회귀 모형을 사용하여 연결 중심성이 연구기관의 논문 생산성에 긍정적인 영향을 미치지만 매개 중심성은 부정적인 영향을 미치는 것을 확인하였다.

본 연구는 한국수소및신에너지학회논문집에 논문을 게재한 연구기관의 논문 생산성에 영향을 주는 중심성을 탐색한 결과 다음과 같이 기존 문헌에 기여한다. 첫째, 본 연구는 연결 중심성이 높은 연구기관이 타 연구기관과의 상호작용의 이점을 더 잘 활용할 수 있다는 것을 확인하였다. 따라서 이러한 연

구기관은 더 높은 논문 성과를 거둘 것으로 판단된다²¹⁾. 둘째, 본 연구 결과 매개 중심성과 근접 중심성은 연구기관의 논문 생산성에 긍정적인 영향을 미칠 것이라고 예측하였지만 이러한 주장을 뒷받침할 만한 증거는 찾지 못하였다. 일반적으로 대인 관계에서는 매개 중심성과 근접 중심성이 중요한 역할을 수행하지만^{22,23)} 논문에서 연구기관 간 연결은 대인 관계처럼 작동하지 않는다. 향후 연구에서는 다른 연구 맥락에서 이러한 네트워크 중심성이 연구기관의 논문 생산성에 미치는 영향을 추가적으로 조사할 필요가 있다.

또한 본 연구는 수소 및 신에너지 관련 연구자에게 중요한 의미가 있다. 공동연구기관 네트워크에서 연결 중심성이 높은 연구기관들은 논문 생산성에 필수적인 지식 흐름을 촉진한다. 반면에 논문의 수가 많지 않아도 다른 연구기관들 사이의 연결 경로에 위치하면 매개 중심성이 높기 때문에 매개 중심성만 높은 연구기관들은 논문 생산성에 부정적인 영향을 미친다. 따라서 연구자들은 연구의 저변을 높이기 위해 연결 중심성이 높은 기관과 협업할 필요가 있다.

그러나 본 연구에는 다음과 같은 한계가 있다. 첫째, 연구기관 맥락에 특화된 변수를 고려하지 않았다. 예를 들어 수소 및 신에너지 산업 정책 등은 논문 생산성에 중요한 영향을 미친다. 둘째, 공동 연구기관을 중심으로 분석을 수행하였지만 저자 단위를 포함한 다단계 네트워크 분석을 수행한다면 논문 생산성에 미치는 효과에 대한 더 깊은 통찰력을 얻을 수 있을 것이다.

References

1. C. W. Callahan and J. S. Mankin, "National attribution of historical climate damages", *Climatic Change*, Vol. 172, 2022, pp. 40, doi: <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03387-y>.
2. M. Kotz, A. Levermann, and L. Wenz, "The economic commitment of climate change", *Nature*, Vol. 628, 2024, pp. 551-557, doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07219-0>.
3. International Energy Agency (IEA), "Global hydrogen review 2024", IEA, 2024. Retrieved from <https://iea.blob.core.windows.net/assets/89c1e382-dc59-46ca-aa47-9f7d41531ab5/GlobalHydrogenReview2024.pdf#page=20.09>.
4. J. Moody, "The structure of a social science collaboration network: disciplinary cohesion from 1963 to 1999", *American Sociological Review*, Vol. 69, No. 2, 2004, pp. 213-238, doi: <https://doi.org/10.1177/000312240406900204>.
5. H. K. Kim, Y. U. Ryu, Y. Cho, J. K. Kim, "Customer-driven content recommendation over a network of customers", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, Vol. 42, No. 1, 2012, pp. 48-56, doi: <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2011.2147306>.
6. S. Wasserman and K. Faust, "Social network analysis: methods and applications", Cambridge University Press, UK, 1994, doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815478>.
7. H. K. Kim and I. Choi, "Exploration of hydrogen research trends through social network analysis", *Journal of Hydrogen and New Energy*, Vol. 33, No. 4, 2022, pp. 318-329, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2022.33.4.318>.
8. H. You, D. B. Chung, and Y. M. Kim, "The network analysis on international joint research of government-funded research institute: focusing on the field of biohealth", *Journal of Korea Technology Innovation Society*, Vol. 26, No. 3, 2023, pp. 347-366, doi: <https://doi.org/10.35978/jktis.2023.6.26.3.347>.
9. I. Y. Choi, J. H. Kim, and H. S. Moon, "Exploring co-author networks in the field of generative artificial intelligence research", *The Journal of Internet Electronic Commerce Research*, Vol. 24, No. 6, 2024, pp. 103-116, doi: <https://doi.org/10.37272/JIECR.2024.12.24.6.103>.
10. P. Ji, J. Jin, Z. T. Ke, and W. Li, "Co-citation and co-authorship networks of statisticians", *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol. 40, No. 2, 2022, pp. 469-485, doi: <https://doi.org/10.1080/07350015.2021.1978469>.
11. J. K. Ochab, J. Škvřňák, and M. Škvřňák, "Detecting Ottokar II's 1248-1249 uprising and its instigators in co-witnessing networks", *Historical Methods: A Journal of Quantitative and Interdisciplinary History*, Vol. 55, No. 4, 2022, pp. 189-208, doi: <https://doi.org/10.1080/01615440.2022.2065397>.
12. I. Choi and H. K. Kim, "A study on social issues for hydrogen industry using news big data", *Journal of Hydrogen and New Energy*, Vol. 33, No. 2, 2022, pp. 121-129, doi: <https://doi.org/10.7316/KHNES.2022.33.2.121>.
13. H. K. Kim and I. Y. Choi, "Exploration of technological collaboration trends in Ulsan through patent network analysis", *Asia-Pacific Journal of Convergent Research Interchange*, Vol. 9, No. 4, 2023, pp. 351-361, doi: <http://dx.doi.org/10.47116/apjcri.2023.04.28>.
14. F. Hu, L. Qiu, S. Wei, H. Zhou, I. A. Bathuure, and H. Hu, "The spatiotemporal evolution of global innovation networks and the changing position of China: a social network analysis based on cooperative patents", *R&D Management*, Vol. 54, No. 3, 2024, pp. 574-589, doi: <https://doi.org/10.1111/radm.12662>.
15. Y. J. Han and Y. Park, "Patent network analysis of inter-industrial knowledge flows: the case of Korea between traditional and emerging industries", *World Patent Information*, Vol. 28, No. 3, 2006, pp. 235-247, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2006.01.015>.
16. J. Park and E. B. Jeong, "Service quality in tourism: a systematic literature review and keyword network analysis", *Sustainability*, Vol. 11, No. 13, 2019, pp. 3665, doi: <https://doi.org/10.3390/su11133665>.
17. J. Zheng, Z. Zhao, X. Zhang, D. Chen, and M. Huang, "International collaboration development in nanotechnology: a perspective of patent network analysis", *Scientometrics*, Vol. 98, 2014, pp. 683-702, doi: <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1081-x>.
18. R. Gulati, "Alliances and networks", *Strategic Management Journal*, Vol. 19, No. 4, 1998, pp. 293-317, doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199804\)19:4<293::AID-SMJ982>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199804)19:4<293::AID-SMJ982>3.0.CO;2-M).
19. J. Scott, "Social network analysis: developments, advances, and prospects", *Social Network Analysis and Mining*, Vol. 1, 2011, pp. 21-26, doi: <https://doi.org/10.1007/s13278-010-0012-6>.
20. S. P. Borgatti, "Centrality and network flow", *Social Networks*, Vol. 27, No. 1, 2005, pp. 55-71, doi: <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2004.11.008>.
21. M. Li, L. He, and Y. Zhao, "The triple helix system and regional entrepreneurship in China", *Entrepreneurship & Regional Development*, Vol. 32, No. 7-8, 2020, pp. 508-530, doi: <https://doi.org/10.1080/08985626.2019.1666168>.
22. Y. C. Chang, K. T. Lai, S. C. T. Chou, W. C. Chiang, and Y. C. Lin, "Who is the boss? Identifying key roles in telecom fraud network via centrality-guided deep random walk", *Data Technologies and Applications*, Vol. 55, No. 1, 2020, pp. 1-18, doi: <https://doi.org/10.1108/DTA-05-2020-0103>.
23. J. E. Marineau, G. J. Labianca, and G. C. Kane, "Direct and indirect negative ties and individual performance", *Social Networks*, Vol. 44, 2016, pp. 238-252, doi: <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2015.09.003>.