

## 빅데이터 기반한 미세플라스틱 지적네트워크 분석

김영희<sup>1\*</sup>, 장관종<sup>2</sup>

<sup>1</sup>호서대학교 벤처대학원 융합공학과 교수, <sup>2</sup>호서대학교 벤처대학원 융합공학과 학생

## Microplastics Intellectual Network Analysis based on Bigdata

Younghee Kim<sup>1</sup>, Kwanjong Chang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Convergence Engineering, Graduate School of Venture, Hoseo University

<sup>2</sup>Student, Department of Convergence Engineering, Graduate School of Venture, Hoseo University

**요약** 2019년 이후부터 전 세계적으로 미세플라스틱(Microplastics)에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있어 국내의 미세플라스틱 연구에 대한 차이점을 분석하는 것은 국내연구 방향 수립에 이정표가 될 수 있다. 본 연구에서는 KCI와 WoS에서 미세플라스틱 논문들을 발췌하여 저자 키워드동시출현단어분석, 논문동시인용분석, 저자동시인용분석 등 빅데이터를 기반으로 한 네트워크 분석방법론으로 국내외의 연구 차이점을 분석했다. 분석결과, 연구주제 분석은 인간의 생체에 영향을 미칠 수 있는 연구와 일상에서의 미세플라스틱의 처리에 관한 연구가 국내에서 추가로 필요함을 확인하였다. 연구 품질을 살펴보는 논문 인용 깊이 분석에서는 국외 2.25와 국내 1.39로 국내가 아직 부족함을 보였고, 다양한 연구자들이 참여하고 정보를 공유하는 공동연구전선 구성형태 분석은 국내는 22개 군집 중에서는 3개가 Star형 구조가 있고, 국외의 경우는 19개 군집 모두가 Mesh 구조로 되어 있어 국내는 특정 연구 분야에서는 정보의 흐름과 공유가 부족함도 확인할 수 있었다. 이런 연구 결과는 미세플라스틱의 연구주제 확장과 연구 질의 향상, 더불어 다양한 연구자들이 참여하는 연구 추진체계 개선 등이 필요함을 확인하였다. 추가로 주제 모델링(Topic Modeling)을 기반으로 자동화 프로그램 개발을 한다면 실시간 분석이 가능한 시스템 구축도 가능할 것이다.

**주제어** : 미세플라스틱, 지적네트워크, 키워드동시출현단어분석, 논문동시인용분석, 저자동시인용분석

**Abstract** Since 2019, research on microplastics has been actively conducted around the world, so analyzing the differences between domestic and foreign microplastics research can be a milestone in establishing the direction of domestic research. In this study, microplastic papers from KCI and WoS were extracted and the differences between domestic and foreign studies were analyzed using a network analysis methodology based on big data such as author keyword co-occurrence word analysis, thesis co-citation analysis, and author co-citation analysis. As a result of the analysis, the analysis of the research topic confirmed that studies that could affect the human body and the treatment of microplastics in daily life were additionally needed in Korea. In the analysis of the depth of thesis citation that examines the quality of research, it was found that Korea was still insufficient at 2.25 overseas and 1.39 in Korea. In the analysis of the composition of the joint research front, where various researchers participate and share information, 3 out of 22 clusters in Korea are Star type. In the case of overseas, all 19 clusters have a mesh structure, so it was confirmed that information flow and sharing were insufficient in specific research fields in Korea. These research results confirmed the need to expand the research topic of microplastics, improve the quality of research, and improve the research promotion system in which various researchers participate. In addition, if the automation program is developed based on topic modeling, it will be possible to build a system capable of real-time analysis.

**Key Words** : Microplastics, Intellectual Network, Keyword co-word analysis, Paper co-citation, Author co-citation

\*Corresponding Author : Younghee Kim(yhkim514@hoseo.edu)

Received January 15, 2022

Accepted April 20, 2022

Revised March 31, 2022

Published April 28, 2022

### 1. 서론

일상생활과 다양한 제조공정에서 사용되는 플라스틱(Plastic)은 우리에게 수많은 경제적 혜택을 주었다. 가볍고 내구성이 뛰어나며 저렴한 특성으로 인해 현대의 풍요로운 인류 생활과 산업 발전에 크게 이바지해왔다. 그러나 플라스틱은 노화에 강하고 내화성 저하로 인해 플라스틱 폐기물이 심각한 환경문제를 일으키고 있다 [1-3]. 플라스틱 쓰레기 더미는 전 세계적으로 환경문제에 가장 위협적이고 도전적으로 떠오르고 있다[4]. 플라스틱 쓰레기 더미에서 서로 부딪치면서 파편으로 잘게 쪼개진 작은 플라스틱 즉, 미세플라스틱(Microplastic)에 대한 우려가 증가하고 있다.

미세플라스틱은 토양에 매립되거나 투기 되어 지하 수나 담수를 거쳐 대부분 해양으로 흘러 들어가서 해양 생태계를 위협하고 있고 급기야는 인간의 건강도 위협하고 있다. 이런 사유로 2019년 이후부터 전 세계적으로 미세플라스틱에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있고 국내외 미세플라스틱 연구에 대한 차이점 분석은 국내 연구 방향 수립에 이정표가 될 수 있다.

미세플라스틱 문헌에 대한 서지정보, 인용 정보와 같은 빅데이터 기반으로 한 분석방법을 사용하여 계량적 분석이 가능한 시스템을 구축하면 전 세계적으로 관련 분야의 지식의 격차를 해결할 수 있다는 연구 결과도 있다[5-8]. 미세플라스틱과 미생물학 간의 공통분모가 있다는 것을 문헌 서지정보 분석을 통해 확인한 연구도 있다[9]. 또한, 학제 간 연구로서 같은 방법을 통하여 2004년~2014년 동안 해양 환경의 미세플라스틱 연구 동향과 미래의 영향에 대하여 분석 결과도 있다[10]. 따라서, 본 연구에서는 KCI와 WoS에서 미세플라스틱 논문을 발췌하여 저자 키워드동시출현단어분석, 논문동시인용분석, 저자동시인용분석 등 빅데이터를 기반으로 한 네트워크 분석방법을 통해 국내외 지적네트워크 차이점을 분석했다. 본 연구에서는 학문의 연구내용의 차이 분석을 지적네트워크(Intellectual Network) 차이 분석의 의미로 사용했다.

### 2. 관련 연구

국내 미세플라스틱 연구는 Fig. 1와 같이 2010년 1월 1일부터 2021년 9월 30일까지 한국학술지인용색인(Korea Citation Index, 이하 KCI)에서 96건을 추출

하였으며 2019년부터 연구가 증가했음을 알 수 있다.

최근 발표된 유사논문을 살펴보면, 2020년 국내 발표 논문에서 저자 키워드 동시출현단어 분석에 의하면 KCI에서 2011년부터 2020년 사이에 추출한 논문들을 대상으로 ‘미세플라스틱’과 ‘식품’의 카테고리를 구성하였고 키워드 중 ‘해양(Marine)’, ‘오염(Pollution)’이 중심 키워드로 30% 이상이 출현 되었고, ‘유독성(Toxicity)’, ‘섭취(Ingestion)’ 키워드는 6%만 출현 되어 생물축적에 기인한 미세플라스틱 또는 식품 내 존재하는 미세플라스틱의 섭취로 인해 인체에 미치는 유해성 연구는 미흡한 것으로 분석되었다[11].

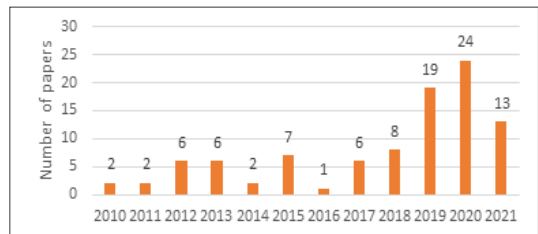


Fig. 1. KCI number of papers published by year

국외 미세플라스틱 연구는 2010년 1월 1일부터 2021년 9월 30일까지 Clarivate 학술지인용색인(Web of Science, 이하 WoS)에서 99개국 3,092건을 발췌되었으며, 1위가 중국(China) 994건(32%), 2위 독일(Germany) 198건(6.4%), 3위 미국(USA) 178건(5.7%), 4위 이탈리아(Italy) 174건(5.6%), 5위 스페인(Spain) 131건(4.2%), 6위 영국(England) 92건(3.0%), 7위 한국(South Korea) 90건(2.9%), 8위 프랑스(France) 84건(2.7%), 9위 인도(India) 74건(2.4%), 10위 호주(Australia) 72건(2.3%)으로 나타났고, 10건 이상 논문이 등재 한 나라는 40개국이며 Fig. 2과 같다.

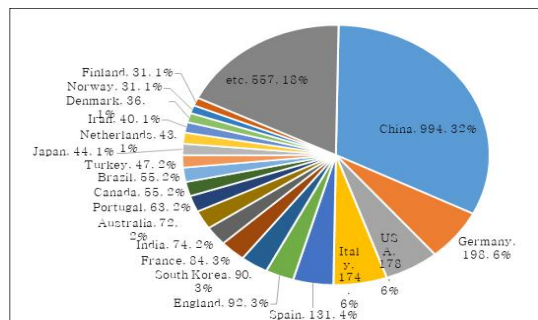


Fig. 2. WoS number of papers published by country

2020년에 발표된 국외논문에 의하면 WoS에서 추출한 미세플라스틱 논문들을 대상으로 빅데이터 기반으로 분석한 결과, 미세플라스틱 연구의 글로벌 동향과 전망은 1986년부터 2019년까지 미세플라스틱 관련 논문들은 크게 늘었다는 결과가 나왔으며, 더욱이 생태학적 독성 및 인체 건강위험 등의 해양 시스템과 해양 플라스틱에 관한 연구는 여전히 지배적이었다. 인간은 먹이 사슬의 궁극적인 소비자이기 때문에 미세플라스틱은 인간의 호흡기 및 위장관에 대한 영향에 대한 연구주제가 부상하고 있다고 했다[12]. 또한, 같은 해에 발표된 논문에 의하면 2006년부터 환경오염에 관한 관심의 부각으로 미세플라스틱에 대한 출판물의 엄청난 증가로 이어졌다. 절대적인 숫자에서 중국, 미국 및 독일이 주도하고 있으며 포르투갈, 칠레 및 아일랜드도 참여국이 되었다. 그러나 이런 국제적 관심에도 불구하고 여러 나라가 미세플라스틱에 대한 자신의 역할을 적절하게 수행하지 않고 있어, 지구 전체를 위한 지속 가능한 솔루션에 찾기 위하여 국제적 협력을 확대할 필요가 있음을 강조했다[13].

### 3. 네트워크 분석 설계

#### 3.1 키워드 동시 출현단어 분석

키워드 동시 출현단어 분석은 문헌에 나타난 텍스트 문치(텍스트 전체, 제목, 초록, 키워드 등)에서 의미가 있는 단어의 쌍이 동시에 출현하는 빈도를 계산하고, 단어들의 유사성 관계를 토대로 각종 분석을 수행하는 기법으로 동시 출현단어 분석(Co-word analysis)이라고 한다. 이는 텍스트 마이닝의 한 방법이며, 하나 이상의 문헌에서 텍스트 문치에 두 단어 A와 B가 모두 포함되면, 단어 A와 B는 해당 문헌에서 동시에 출현한 것이 된다. 그리고 두 단어의 쌍이 동시에 출현하는 문헌의 수는 동시 출현빈도가 된다. 동시 출현단어 분석은 두 단어의 동시 출현빈도 패턴에 대한 정보를 토대로 단어 쌍이 동시단어 네트워크를 표현하며, 단어들을 몇 개의 군집(cluster)으로 분류하여 핵심주제 또는 연구주제를 파악한다.

#### 3.2 논문 동시 인용 분석

논문 동시 인용 분석(Co-citation analysis)은 두 문헌이 특정 문헌에 동시에 인용되는 관계의 동시 인용

관계를 바탕으로 분석한다. 특정 학문 분야에서 동시 인용이 된 문헌들의 집합은 어떤 주제적인 관계성이 있다는 전제를 가정한다. 문헌 X에서 문헌 A와 B를 동시에 인용하는 문헌의 수를 동시 인용빈도라 한다. 동시 인용 관계에 있는 문헌들을 대상으로 동시 인용빈도 패턴의 정보를 토대로 동시 인용 네트워크를 표현하고 분석하게 된다. 동시 인용 분석은 인용된 논문과 피인용된 논문 간의 시간상으로 차이가 있어 해당 연구주제에 관한 연구의 흐름을 파악하는 데 적합하다.

#### 3.3 저자 키워드 동시 인용 분석

저자 동시 인용 분석(Author co-citation analysis)은 분석단위가 문헌이 아니라 저자로 분석하는 것으로 분석의 단위는 저자가 되는 것이다. 저자는 저자 그 자체가 아니라 해당 저자가 쓴 저작물의 총체를 뜻하는 것으로, 저자의 문헌 중 어떠한 문헌이 인용되었는지는 상관없이 한 저자에 의하여 두 명의 저자가 동시에 인용되었다면 저자 동시 인용이 발생한다. 물론 두 저자의 동시 인용빈도가 높으면 높을수록 두 저자가 갖는 관계성은 더 밀접하다고 가정할 수 있다. 저자 동시 인용 분석은 주로 특정 학문 분야의 인용에서 저자들 간에 나타나는 공동연구 전선을 파악하는 도움을 주고 있다.

#### 3.4 분석데이터 수집

분석데이터의 상세내용은 Table 1과 같다.

Table 1. Data collection contents

Site Name	KCI	WoS
Key word	미세플라스틱 or 마이크로플라스틱	microplastic or microplastics
Search period	Jan. 2010~Sep. 2021	Jan. 2010~Sep. 2021
Retrieved paper (count)	96	3,092
Cited paper (count)	135	13,705
Author keyword (count)	305	3,814
Cited author (people)	234	15,802
Retrieved information	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paper id</li> <li>• Paper name</li> <li>• Author name</li> <li>• Co-author name</li> <li>• Journal name</li> <li>• Publisher</li> <li>• Publication year</li> <li>• Research areas</li> <li>• Author keyword</li> <li>• Times cited</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paper id</li> <li>• Paper name</li> <li>• Author name</li> <li>• Co-author name</li> <li>• Journal name</li> <li>• Publisher</li> <li>• Publication year</li> <li>• Research areas</li> <li>• Author keyword</li> <li>• Times cited</li> </ul>

### 3.5 분석절차

#### 3.5.1 데이터 정제

영문키워드는 한국어 키워드로 변환하고 full name 표기는 제외하고 줄임표기를 사용하였다. 연구주제와 같은 '미세플라스틱' 키워드는 분석에서 제외하였다. 대문자 영문키워드는 소문자로 변환하여 사용하였다. 'microplatics'를 'microplatic'으로 변환하여 사용한 것 같이 복수 명사는 모두 단수 명사로 변환하여 사용하였다.

#### 3.5.2 키워드 출현빈도 추출

키워드 추출 방법은  $KM^+$ 에서 제공하는 기능을 사용하여 생성하였다. 결과 파일은 키워드들의 출현 빈도수를 나타내는 `freq_list`(frequency List) 파일과 키워드들의 위치 정보를 나타내는 list 파일이 생성된다.  $KM^+$ (KnowledgeMatrix Plus)는 한국과학기술정보연구원(KISTI, Korea Institute of Science and Technology Information)에서 제공하는 소프트웨어이다. 키워드 출현 빈도수를 결정하는 방식은 키워드의 출현 횟수를 기반으로 멱함수 분포도를 산출하여 추세선 기울기가 가장 크게 변화하는 변곡점을 기준으로 출현 빈도수를 정하였다. 변곡점의 변화가 크다는 것은 키워드 간의 유사도가 떨어진다는 것을 의미한다.

#### 3.5.3 코사인 유사도 행렬생성

코사인 유사도 행렬생성은 앞 단계에서 생성된 결과 파일들을 가지고 코사인 유사도 행렬을 생성한다. 코사인 유사도는 키워드들의 군집 구성을 위해 키워드 벡터 값들의 코사인 각도를 기반으로 계산하여 유사도를 측정한다. 코사인 유사도 행렬생성은 공개 소프트웨어 COOC(CO Occurrence Cosine) ver. 0.4 활용했다[14].

#### 3.5.4 PFnet과 군집 생성

코사인 유사도 행렬을 가지고 pathfinder 네트워크 알고리즘 PFNe(Pathfinder Network, 이하 PFNet)를 적용하여 네트워크를 생성했다. PFNet은 복잡한 네트워크에서 노드별로 중요 링크만을 남겨 네트워크 구조 파악을 쉽게 해준다. 사용된 도구는 공개용 소프트웨어인 WNET ver0.4.1 프로그램을 사용했다. WNET을 적용하면, PFNet 이외에 추가적으로 군집 생성이 된 PNNC(Parallel Nearest Neighbor Clustering; 이하

PNNC) 파일이 생성된다. PNNC는 PFNet 네트워크상의 Node들을 여러 개의 하위 네트워크로 분할된 군집 생성 파일이다[15].

#### 3.5.5 네트워크 중심성 분석 및 대표키워드 선정

네트워크 내에서 중심적인 역할을 하는 노드를 파악하기 위하여 연결정도중심성(degree centrality)[16]과 상대적 삼각매개중심성(r-Triangle Betweenness Centrality, 이하 매개중심성)[17], 상대적최근접이웃중심(r-Nearest Neighbor Centrality, 이하 근접중심성)[17]을 분석했다. 연결정도중심성이 높은 노드는 집단 내에서 자율성과 권력이 집중되는 정도를 의미하는 영향력을 나타내고 매개중심성이 높은 노드는 네트워크 전체에 걸쳐 다른 노드들과의 연관성을 높여 주는 전역 중심성이다. 근접중심성이 높은 노드는 해당 군집 내에서 다른 키워드들과의 연관성을 높여 주는 역할을 하는 지역 중심성이다.

각 군집을 대표하는 대표키워드 선정은 군집 내에서 가장 높은 연결 정도 중심성을 갖는 노드, 매개 중심성이 높은 노드, 근접 중심성을 높은 노드 순서로 정했다. 이 같은 기준은 연결 정도 중심성과 매개 중심성과 근접 중심성이 높은 노드의 키워드는 해당 군집에서 다른 키워드 대비하여 군집 내 영향력이 높은 것을 의미한다. 즉, 해당 군집의 연구주제를 설명하기에 가장 적합하다.

#### 3.5.6 네트워크 시각화

앞에서 생성된 PFnet 네트워크에 대하여 시각화를 제공하고 여러 가지 그래프 분석을 할 수 있는 시각화 소프트웨어 NodeXL을 사용했다. NodeXL는 마이크로소프트에서 제공되는 소프트웨어다.

### 3.6 연구설계의 제한 사항

국내·외 미세플라스틱의 지적네트워크 분석은 KCI와 WoS 등재된 논문으로 국한하였다. 연구의 양과 질적 수준을 대표하는 것이 아님을 고려해야 한다. KCI에서 발췌한 논문은 96건으로 국외논문과 비교 시에 데이터의 편향성이 발생할 수 있어 표본화하지 않았다. 국외논문의 논문동시인용과 저자동시인용 분석에 사용한 피인용 논문은 발췌한 논문 100,299건 중에서 인용 횟수가 높은 순을 기준으로 상위 30개 논문 13,705건을 대상으로 하였다. 이같이 데이터를 표본화한 이유는

컴퓨터 자원을 효율적으로 사용하면서 불필요하게 생성되는 노드들의 링크 수를 줄여서 필요한 지적네트워크 구조를 간략하게 하고 네트워크가 의미하는 시사점을 최적으로 찾기 위함이다.

#### 4. 미세플라스틱 연구네트워크 분석

##### 4.1 연구주제 분석

###### 4.1.1 국내 연구주제 분석

KCI 미세플라스틱 관련 논문 96건에서 총 357개의 저자 키워드를 추출하였다. 이 중에서 검색어로 사용한 '미세플라스틱' 키워드 빈도는 52회 출현 되었으며 그

외 출현빈도 수가 2회 이상인 키워드 35개를 선정하고 각 키워드에 대한 네트워크 중심성 분석을 하여 Table 2에 기술하였다. 추출된 키워드는 페플라스틱 7회, 플라스틱 오염 5회, 해양오염 4회 등으로 상위를 차지하고 있으며, 출현 빈도수가 대부분은 2회로 낮은 수준을 보인다. 이는 KCI로부터 추출된 분석대상의 논문 수가 적은 것에 기인한 것으로 판단된다. '미세플라스틱' 검색어에 의해 추출된 출현빈도 수가 2회 이상인 키워드 36개를 가지고 코사인 유사도 행렬을 만들고 PNNC 알고리즘에 적용하여 Fig. 3과 같이 5개 하부 군집 네트워크를 시각화하였다.

Table 2. Network centrality of domestic author keywords

Rank	Degree Centrality		TBC		NNC	
	Keyword	Count	Keyword	Value	Keyword	Value
1	waste plastic	7	waste plastic	0.04456	garbage island	0.08824
2	plastic pollution	5	food waste	0.02139	waste plastic	0.05882
3	marine pollution	4	plastic	0.01426	plastic	0.05882
4	scanning electron microscope	4	moisture content	0.00713	moisture content	0.05882
5	food waste	3	energy cost	0.00713	energy cost	0.05882
6	plastic	3	marine pollution	0.00713	scanning electron microscope	0.05882
7	microwave drying	3	garbage island	0.00535	marine ecosystem	0.05882
8	nano plastic	3	plastic pollution	0.00357	seafood	0.05882
9	drying speed	3	scanning electron microscope	0.00178	toxicity	0.05882
10	microbeads	2	marine ecosystem	0.00178	Numerical analysis	0.05882
11	garbage island	2	seafood	0.00178	marine debris	0.05882
13	marine debris	2	toxicity	0.00178	polypropylene	0.05882
13	injection molding	2	Numerical analysis	0.00178	FT-IR microscope	0.05882
14	marine ecosystem	2	marine debris	0	discrimination	0.05882
15	moisture content	2	polypropylene	0	Pollution	0.05882
16	hot embossing	2	FT-IR microscope	0	food waste	0.02941
17	Intake	2	discrimination	0	microwave drying	0.02941
18	hard coal	2	Pollution	0	drying speed	0.02941
19	polypropylene	2	microwave drying	0	microbeads	0.02941
20	soil	2	drying speed	0	injection molding	0.02941
21	FT-IR microscope	2	microbeads	0	hot embossing	0.02941
22	energy cost	2	injection molding	0	hard coal	0.02941
23	mechanical properties	2	hot embossing	0	soil	0.02941
24	fresh water	2	hard coal	0	scrub	0.02941
25	discrimination	2	soil	0	solid fuel	0.02941
26	newstone	2	scrub	0	marine pollution	0
27	recycle	2	solid fuel	0	plastic pollution	0
28	Pollution	2	nano plastic	0	nano plastic	0
29	seafood	2	Intake	0	Intake	0
30	toxicity	2	mechanical properties	0	mechanical properties	0
31	scrub	2	fresh water	0	fresh water	0
32	particle	2	newstone	0	newstone	0
33	Numerical analysis	2	recycle	0	recycle	0
34	absorption	2	particle	0	particle	0
35	solid fuel	2	absorption	0	absorption	0

\*TBC : Triangle Betweenness Centrality, NNC : Nearest Neighbor Centrality

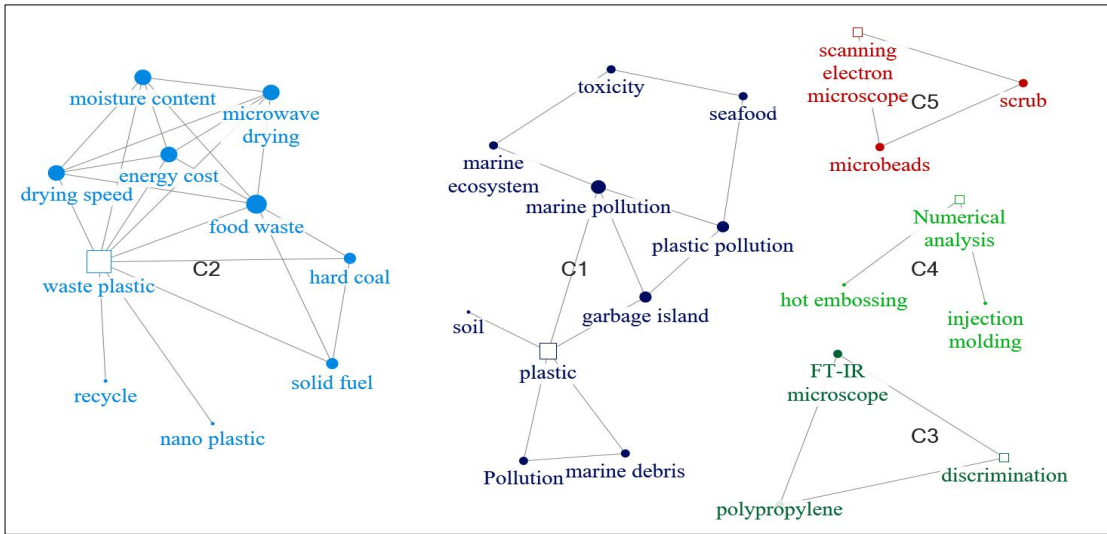


Fig. 3. Cluster network of domestic author keywords

Table 3. Domestic representative keyword by cluster

Cluster	Keyword	Cluster	Keyword	Cluster	Keyword
C1	pollution	C2	moisture content	C3	polypropylene
	marine pollution		**waste plastic		**discrimination
	marine debris		recycle		FT-IR microscope
	marine ecosystem		food waste	C4	hot embossing
	seafood		energy cost		**numerical analysis
	plastic pollution		hard coal		injection modeling
	**plastic		microwave drying		**scanning electron microscope
	soil		nano plastic	C5	scrub
	garbage island		solid fuel		microbeads
	toxicity		drying speed		

각 군집에서 노드(키워드)의 크기는 출현빈도의 횡수 크기에 비례하며, 대표키워드는 사각형으로 표시했다. Table 3에서 군집 별 세부내용을 기술하였으며, 대표 키워드는 (\*\*)로 표시하였다. 국내의 미세플라스틱 관련 연구주제는 하부 군집 네트워크와 같이 5개의 주제로 구별되어 있음을 알 수 있고, 그 내용은 다음과 같다. 군집 C1의 대표키워드는 '플라스틱'과 소속 키워드를 담고 있는 논문들의 초록들을 분석하면 『미세플라스틱 의한 해양생태계 영향』으로 분류할 수 있다. 군집 C2는 대표키워드 '폐플라스틱'과 소속 키워드를 같은 방법으로 분석하면 『미세플라스틱의 발생 경로(이동, 거동)』, 군 C3은 『미세플라스틱 측정도구 개발』, 군집 C4는 『플라스틱 제조공정 개발』, 군집 C5는 『마이크로비즈 영향』으로 구별할 수 있다.

#### 4.1.2 국외 연구주제 분석

국외의 경우는 WoS에서 발췌한 논문 3,092건에서 총 6,451개의 저자 키워드를 추출하였다. 추출된 저자 키워드 중에서 검색어로 사용한 'microplastic'의 빈도수는 2,637건이며 그 외 빈도수가 14회 이상인 키워드 101개를 선정하여 Fig. 4처럼 시각화 하여 군집 7개를 형성하였고 상위 50개의 키워드를 선정하여 Table 4에 네트워크 중심성을 기술하였다. 추출된 키워드는 sediment(침전) 178회, pollution(오염) 118회, lastic pollution(플라스틱오염) 114회, nanoplastic(나노플라스틱) 102회로 상위를 차지하고 있다. 그 외 97개의 키워드는 출현빈도가 100회 미만이다. 여기서 살펴볼 수 있는 시사점은 논문의 저자 키워드에서 'microplastic'과 동시에 출현 되는 빈도가 높은 키워드들은 'microplastic'의 연구주제를 잘 설명할 수 있

다고 볼 수 있다. 즉, sediment(침전), pollution(오염), plastic pollution(플라스틱 오염), nanoplastic (나노플라스틱)은 미세플라스틱과 관련하여 환경오염과 관련된 연구가 많다고 판단할 수 있다.

**Table 4. Network centrality of foreign author keywords**

Rank	Degree Centrality		TBC		NNC	
1	sediment	178	sediment	0.343	plastic pollution	0.04
2	pollution	118	plastic pollution	0.213	ftir	0.04
3	plastic pollution	114	pollution	0.211	bioavailability	0.04
4	nanoplastic	102	freshwater	0.189	sediment	0.03
5	marine debris	94	nanoplastic	0.179	marine debris	0.03
6	freshwater	82	polyethylene	0.153	polystyrene	0.03
7	polystyrene	79	marine debris	0.147	weathering	0.03
8	adsorption	77	polystyrene	0.137	environment	0.03
9	ingestion	74	ftir	0.122	biomarkers	0.03
10	wastewater treatment plant	72	polymer	0.121	pollution	0.02
11	toxicity	68	marine pollution	0.106	fish	0.02
12	microplastic pollution	68	toxicity	0.105	adsorption	0.02
13	marine litter	67	fish	0.089	ingestion	0.02
14	ftir	67	wastewater treatment plant	0.074	water	0.02
15	polyethylene	64	polypropylene	0.074	mussel	0.02
16	fish	64	adsorption	0.07	biofilm	0.02
17	oxidative stress	60	marine litter	0.069	sorption	0.02
18	surface water	58	ingestion	0.067	mediterranean sea	0.02
19	sorption	58	microfiber	0.067	abundance	0.02
20	marine pollution	57	water	0.06	macroplastic	0.02
21	wastewater	52	microplastic pollution	0.06	plastic debris	0.02
22	microfiber	49	raman spectroscopy	0.059	biodegradation	0.02
23	mussel	48	mussel	0.057	citizen science	0.02
24	polystyrene microplastic	44	biofilm	0.055	heavy metal	0.02
25	polymer	44	soil	0.054	seafood	0.02
26	plastic	44	wastewater	0.052	polyester	0.02
27	biofilm	43	oxidative stress	0.051	freshwater	0.01
28	polypropylene	39	sorption	0.051	nanoplastic	0.01
29	soil	38	heavy metals	0.046	polyethylene	0.01
30	abundance	38	contamination	0.041	marine pollution	0.01
31	raman spectroscopy	37	surface water	0.041	toxicity	0.01
32	macroplastic	37	plastics	0.04	wastewater treatment plant	0.01
33	fiber	36	plastic	0.038	polypropylene	0.01
34	mediterranean sea	35	mediterranean sea	0.037	microfiber	0.01
35	heavy metals	35	accumulation	0.036	raman spectroscopy	0.01
36	plastic debris	32	beach sediment	0.033	soil	0.01
37	risk assessment	31	abundance	0.032	wastewater	0.01
38	bioaccumulation	30	risk assessment	0.03	contamination	0.01
39	water	29	macroplastic	0.03	plastic	0.01
40	quantification	28	fiber	0.03	accumulation	0.01
41	biodegradation	28	weathering	0.028	beach sediment	0.01
42	contamination	27	plastic debris	0.028	identification	0.01
43	accumulation	27	zooplankton	0.026	bioaccumulation	0.01
44	zooplankton	26	identification	0.026	trophic transfer	0.01
45	trophic transfer	26	bioaccumulation	0.025	polystyrene microplastic	0.01
46	plastics	26	biodegradation	0.025	estuary	0.01
47	beach sediment	26	trophic transfer	0.024	fragmentation	0.01
48	zebrafish	25	environment	0.024	plastic waste	0.01
49	estuary	25	polystyrene microplastic	0.024	polycyclic aromatic hydrocarbons	0.01
50	transport	24	microbeads	0.024	microplastic ingestion	0.01

\*TBC : Triangle Betweenness Centrality, NNC : Nearest Neighbor Centrality

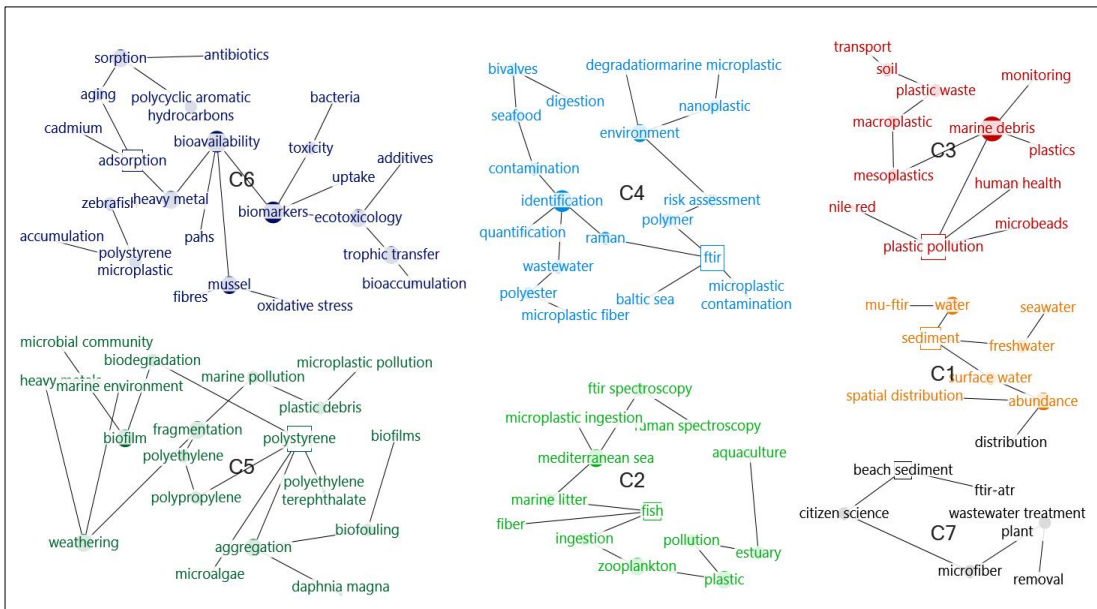


Fig. 4. Cluster network of foreign author keywords

국의 연구주제는 Fig. 4와 같이 7개의 군집을 형성하므로 7개 연구주제로 분류할 수 있다. Table 5에서 군집 C1은 대표키워드 'sediment(침전)'와 소속 키워드 water(물), seawater(바닷물), freshwater(민물)로 나타났다. 대표 키워드와 소속 키워드를 담고 있고 피인용 횟수(672회)가 높은 대표논문『Claessens, M, De Meester, S, Van Landuyt, L, De Clerck, K, Janssen, CR, "Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast" on the beaches reflect the global plastic production increase』의 초록을 분석하면, 『플라스틱 파편은 바다에서 파편화되어 미세한 플라스틱 입자가 형성되는 것으로 알려져 있다. 이른바 미세 플라스틱 부력과 지속적인 특성으로 인해 이러한 미세 플라스틱은 유체 역학 과정과 해류를 통해 해양 환경에 널리 분산될 가능성이 있다. 이 연구에서는 다양한 위치(연안 항구, 해변 및 연안 지역)에서 벨기에 해양퇴적물에서 미세플라스틱의 발생 및 분포를 조사했다. 모든 샘플에서 입자가 많이 발견되어 벨기에 연안 해역에서 미세플라스틱이 광범위하게 분포되어 있음을 보여준다. 가장 높은 농도는 최대 390개 입자인 건조 침전물로 항구에서 발견되었으며, 이는 다른 유사한 연구 지역의 보고된 최대 농도보다 15에서 50배 더 높다. 퇴적물 코어의 깊이 프로파일은 해변의 미세플라스틱 농도가 전

세계 플라스틱 생산 증가를 반영한다고 제안했다』에서 나타났듯이 『미세플라스틱의 해양·담수 생태계 영향』영역으로 분류할 수 있다. 같은 방법으로 다른 군집들의 키워드를 분석하면 다음과 같다. 군집 C2는 대표키워드 fish(생선), zooplankton(동물성 플랑크톤), microplastic ingestion(미세플라스틱 섭취), aquaculture(양식업)와 소속 키워드들은 『미세플라스틱에 의한 해양오염』로 분류할 수 있다. 군집 C3은 『미세플라스틱의 발생 경로(이동, 거동)』, 군집 C4는 『미세플라스틱 측정 도구 개발』, 군집 C5는 『미세플라스틱에 해양쓰레기 추적』, 군집 C6은 『미세플라스틱에 의한 인간의 생체 영향』, 군집 C7은 『일상의 생활에서 미세플라스틱의 발생·처리』에 관한 연구』로 분류할 수 있다.

#### 4.1.3 국내·외 연구주제 차이점

국내·외 미세플라스틱 연구주제에 대한 차이점을 정리하면 다음과 같다. 국내의 공통되는 연구주제는 『미세플라스틱에 의한 해양·담수 생태계 영향』과 『미세플라스틱 발생 경로 연구』, 『미세플라스틱 측정 도구개발』 등이다. 차이점 있는 부분은 국외에서는 『미세플라스틱에 의한 인간의 생체 영향』, 『미세플라스틱에 의한 해양오염』, 『해양쓰레기 추적』, 『일상의 생활에서 미세플라스틱 발생·처리』 등이며 국내에서는 『플라스틱 제조공정』이나 『마이크로비즈』이다. 단, 『마이크로비즈』는 일



상의 생활에서 발생할 수 있고 인간의 생체에도 영향을 줄 수 있다. 그러나, 국외에 대비하면 제한적 연구이다. 따라서, 국내에서는 연구주제를 『미세플라스틱에 의한 인간 생체에 영향을 주는 연구』와 『일상에서의 미세플라스틱의 처리에 관한 연구』등으로 확장할 필요가 있음을 확인했다.

4.2 인용 네트워크 분석

4.2.1 국내 인용 네트워크 구조

국내 96건의 미세플라스틱 관련 논문에서 피인용 논

문은 135건으로 논문 당 1.4회의 논문이 인용되고 피 인용 논문 중에서 피인용 회수가 3회 이상인 논문 20개를 추출하여 동시 인용 분석에 사용하였다. 추출된 논문 20개에서 논문별로 인용 관계를 분석하기 위하여 논문별 피인용 논문은 135건으로 논문 당 1.4회의 논문이 인용되고 피인용 논문 중에서 피인용 회수가 3회 이상인 논문 20개를 추출하여 동시 인용 분석에 사용하였다. 추출된 논문 20개에서 논문별로 인용 관계를 분석하기 위하여 논문별 피인용 논문 95개를 새롭게 추출하여 Fig. 5처럼 인용 네트워크 구조를 시각화했다.

Table 5. Foreign representative keyword by cluster

Keyword	Cls	Keyword	Cls	Keyword	Cls
water	C1	wastewater	C4	biofilms	C6
surface water		seafood		biofilm	
spatial distribution		risk assessment		biodegradation	
**sediment		raman		aggregation	
seawater		quantification		zebrafish	
mu-ftir		polymer		uptake	
freshwater		polyester		trophic transfer	
distribution		nanoplastic		toxicity	
abundance		microplastic fiber		**adsorption	
zooplankton		microplastic contamination		polystyrene microplastic	
raman spectroscopy	C2	marine microplastic	C5	polycyclic aromatic hydrocarbons	C7
pollution		identification		pahs	
plastic		**ftir		oxidative stress	
microplastic ingestion		environment		mussel	
mediterranean sea		digestion		heavy metal	
marine litter		degradation		fibres	
ingestion		contamination		ecotoxicology	
ftir spectroscopy		bivalves		cadmium	
**fish		baltic sea		biomarkers	
fiber		weathering		bioavailability	
estuary	**polystyrene	bioaccumulation	C5	bacteria	C7
aquaculture	polypropylene	antibiotics			
transport	polyethylene terephthalate	aging			
soil	polyethylene	adsorption			
plastics	plastic debris	additives			
plastic waste	microplastic pollution	accumulation			
**plastic pollution	microbial community	wastewater treatment plant			
nile red	microalgae	removal			
monitoring	marine pollution	microfiber			
microbeads	marine environment	ftir-atr			
mesoplastics	heavy metals	citizen science	C7		
marine debris	fragmentation	**beach sediment			
macroplastic	daphnia magna				
human health		biofouling			

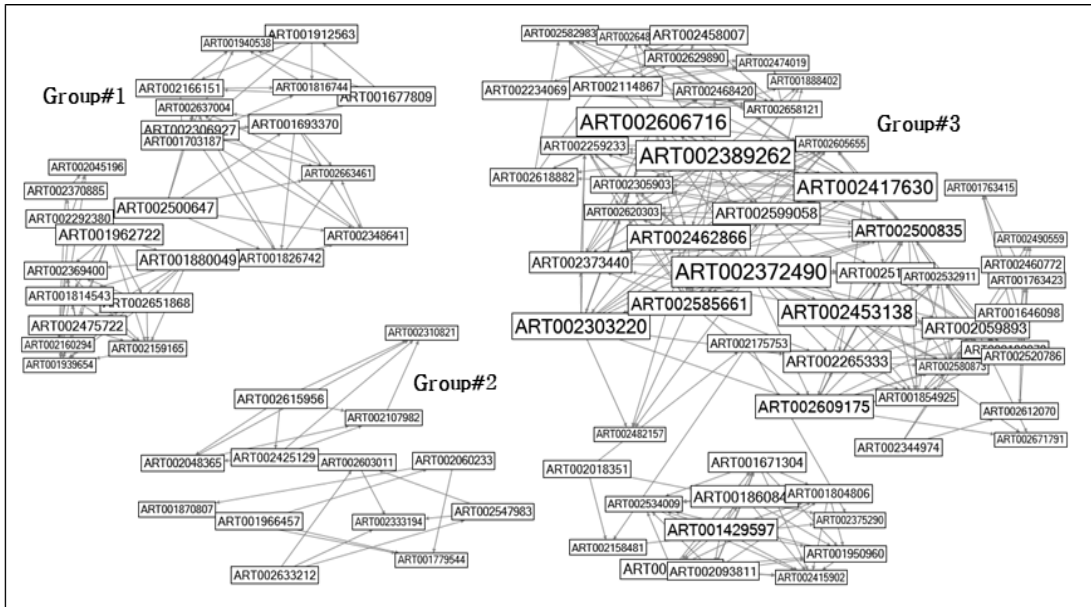


Fig. 5. Co-citation network of domestic paper

Fig. 5의 네트워크 속성들을 분석하면, 평균 거리 (Average Geodesic Distance)가 1.39로 2보다 작다. 이는 논문들의 인용 관계가 2단계 이상을 넘지 않은 것이다. 즉, 논문 X를 논문 Y가 인용하고 논문 Y를 논문 Z로 인용 확장되지 못함을 의미한다. 이것은 해당 분야 연구의 깊이가 아직은 성숙 되지 않았다고 할 수 있다. 95개 논문 중 2개씩 쌍으로 동시 인용 관계가 형성되고 출현빈도가 2회 이상인 21개의 논문을 Appendix 1에 기술하였다.

문헌들에 대한 동시 인용 분석은 두 문헌이 특정 문헌에 동시에 인용되는 관계의 동시 인용 관계를 바탕으로 분석한다. 즉, 특정 학문 분야의 동시 인용이 된 문헌들의 집합은 어떤 주제적인 관계성 있고 학문의 지적 네트워크의 연관성 있다는 전제를 가정한다. 이 관계는 시간상으로 연구의 선행 연구와 후속 연구와 관계를 갖게 된다. 특정 연구주제에 대하여 선행적으로 연구된 연구논문은 시간이 지남에 따라 후속적인 연구의 인용 논문으로 발전된다. 즉, 피인용 되는 논문들이 많을수록 해당 논문에 질적인 면과 연구주제에 대한 영향력은 높아질 수 있다. 인용 관계에 있는 논문들은 시기별로 연구주제들에 관한 추이 변화를 알 수 있게 한다. 논문들의 인용 관계는 시간의 흐름에 따라 변화하는 연구주제의 발전 경향을 파악할 수 있다. Appendix 1에서 순번 1번의 논문ID ART002389262 『미세플라스틱으로 인

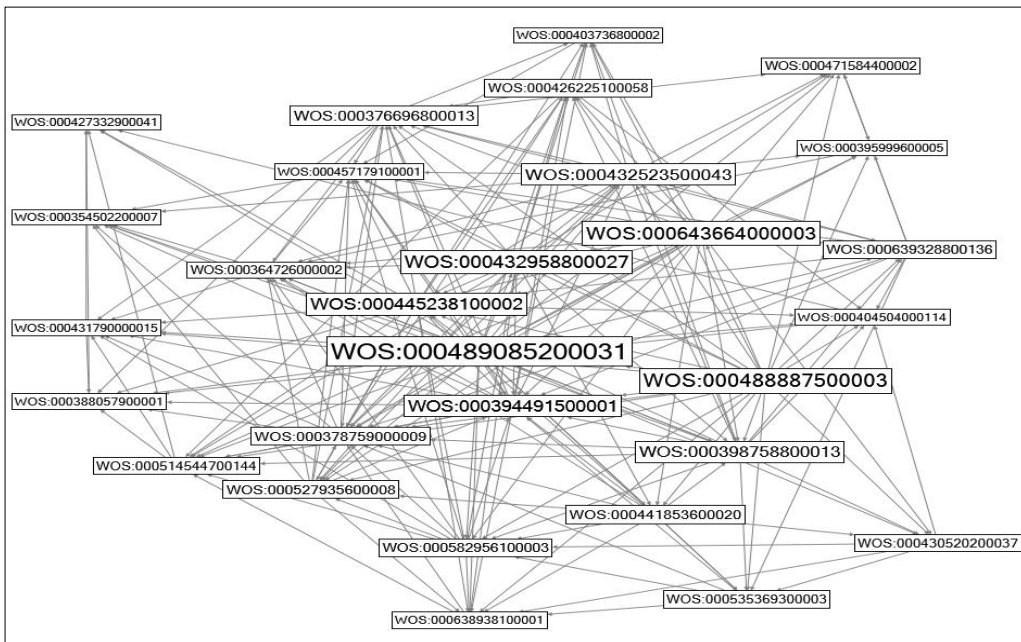
한 해양오염 방지정책』이라는 논문은 2018년에 발행되었고, 2년 후의 논문ID ART002606716 『국내 생활폐기물 분야 플라스틱 비 재활용 처리량 요인분해 연구』에 인용된 것을 알 수 있다. 논문 ART002389262와 ART002606716는 선행과 후속의 연구 관계가 유지되었다. 이는 연구주제에 대하여 서로 연관성을 갖고 있다고 볼 수 있다. 또한, 2개의 논문에 대한 저자 키워드와 논문의 초록을 자세하게 살펴보면 후속 연구논문 ART002606716는 선행 연구에 대비하여 연구범위가 상세하며 구체적인 것을 알 수 있다. 선행 연구논문 ART002389262는 해양오염, 해양생태계, 해양환경정책에 관하여 연구가 필요하다는 문제를 제기하였고, 후속 연구논문 ART002606716에서는 선행 문제 제기 에 관한 구체적인 연구가 진행되었음을 알 수 있다. 이는 연구주제 에 관한 연구 동향 및 연구 경향을 파악할 수 있다. 순번 2번 논문ID ART002303220 『M시의 포장도로변에서 미세플라스틱의 분포』(2017년 발행)와 논문ID ART002585661 『도로 중 타이어트레이드 마모 조각의 수계 유입 가능성 연구』(2020년 발행)도 앞의 논문들과 같이 선·후속 연구 관계가 성립하고 연구주제와 연구 경향 및 방향에서 기술적으로 더 발전한 것을 알 수 있다. 연구의 질적으로 변화와 향상되었다고 판단할 수 있다.

#### 4.2.2 국외 인용 네트워크 구조

3,092건의 'microplastic' 키워드 관련 논문에서 피인용 논문 100,299건을 추출하였다. 논문당 약 32.5건이 인용되었다. 피인용 논문 중에서 인용 횟수 순으로 상위 30개를 추출하여 동시 인용 분석을 위해 13,705건의 논문을 새롭게 추출하였다. 이 중 출현빈도 9회 이상인 상위 115건의 논문을 가지고 동시 인용 분석을 하였다. 이 중 출현빈도 4회 이상인 논문 동시 인용 관계를 Fig. 6에 시각화했다.

Fig. 6의 네트워크 속성들을 분석하면, 평균 거리(Average Geodesic Distance)가 2.25로 2보다 크다. 이는 논문들의 인용 관계가 2단계 이상 넘는 것을 의미한다. 즉, 논문 X를 논문 Y가 인용하고 논문 Y를 논문 Z로 인용 확장되었음을 의미한다. 이것은 해당 분야 연구의 깊이 성숙 되었다고 할 수 있다. 일반적으로 논문들의 2단계 이상의 인용 단계를 보이는 것은 통상 논문 출시 후 인용 관계가 성립하는데 2년 이상의 기간이 필요한 것을 고려하면 해당 분야의 연구주제는 적어도 6년 이상의 기간이 걸렸다고 판단할 수 있다. 출현빈도가 11회 이상인 21개의 논문은 Appendix 2에 기술하였고. Appendix 2에서 2개 논문에서 좌측 논문ID WOS:000643664000003, 『An ecotoxicological approach to microplastics on terrestrial and

aquatic organisms: A systematic review in assessment, monitoring and biological impact(육상 및 수생 생물에 대한 미세플라스틱에 대한 생태독성학적 접근: 평가, 모니터링 및 생물학적 영향에 대한 체계적인 검토)』와 저자 키워드 『Biodegradation, Bioaccumulation(생분해, 생물축적)』, 우측 논문ID WOS:000432958800027, 『Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health (해양 먹이 그물에서 미세플라스틱 및 혼합 오염 물질의 영양 전달 및 인간 건강에 대한 영향)』와 저자 키워드 『Trophic transfer, Food chain, Human health, Contaminants, Seafood(영양 전달, 먹이 사슬, 인체 건강, 오염 물질, 해산물)』을 동시에 살펴보면, 좌측 논문 발행 연도 2021년, 우측 논문 발행 연도 2018년으로 좌측 논문이 우측 논문을 참고문헌으로 인용한 것을 확인할 수 있다. 좌측의 연구자는 우측의 논문에서 제시했던 여러 가지 연구 결과를 인용하여 좀 더 체계적이고 구체적인 연구를 하였음을 좌측 논문의 초록을 통해서 확인할 수 있다. 이같이 논문들의 동시 인용에 대한 분석은 시간상으로 선행 연구와 후속 연구의 관계가 성립되어 있어, 관련 연구주제의 연구 경향과 같은 연구의 질적 변화를 파악할 수 있다.



### 4.3 미세플라스틱 공동연구전선 분석

#### 4.3.1 국내 공동연구전선

KCI에서 미세플라스틱 학술논문 96건에서 234명의 저자를 추출하여 미세플라스틱 관련 연구의 영향력이 높은 연구자를 찾기 위하여 공동연구 네트워크를 연결 정도 중심성 값을 기반으로 크기가 높은 순으로 Fig. 7에 시각화하였다. 연결 정도 중심성의 높은 순위는 노드의 크기로 구분하였다. 분석 결과, Joseph Han은 연결 정도 중심성 1위이고 Byunggil Jeong, Daejin Kim, Hoyoung Seo은 공동 2위로 나타났다. 이들 4명의 저자는 국내 미세플라스틱 연구 분야에서 다른 저자들보다 상대적으로 높은 연관성과 영향력을 갖고 있다고 판단할 수 있다.

저자 동시 인용의 네트워크를 파악하기 위하여, 피 인용된 논문 중에서 추출된 총 234명의 저자를 가지고 군집화를 실시하여 Fig. 8에 시각화하였다. Fig. 8을 살펴보면 군집 C2, C12, C13 등은 다른 군집과 대비하여 약한(Star 형) 공동연구 전선을 형성하고 있고, C9, C15, C15, C17, C19 등은 강한(Mesh 형) 공동연구 전선을 형성하고 있음을 확인할 수 있다. 군집 C2의 경우 Jinho Kim 연구자는 연결 정도 중심성이 최상위로 군집 내에서 공동연구 전선을 형성하는데 주요한 역할을 하고 있다. 그러나, 군집 C5에서 Inyi Choi 연구자는 연결 정도

중심성이 Jinho Kim 연구자와 같이 최상위를 유지하고 있으나, 약한 공동연구 전선을 형성하고 있는 것으로 나타났다. 이는 Inyi Choi 연구자는 농학이 주 연구 분야인데 미세플라스틱에 관한 논문을 발표한 이후 추가적인 연구논문 발표 실적이 없는 것으로 확인되었다.

저자 동시 인용은 분석단위가 문헌이 아니라 저자를 분석단위로 하여 분석한다. 저자는 저자 그 자체가 아니라 해당 저자가 쓴 저작물의 총체를 뜻하는 것으로, 저자의 문헌 중 어떠한 문헌이 되었는지는 상관없이 한 저자에 의하여 두 명의 저자가 동시에 인용되었다면 저자 동시 인용이 발생한다. 이는 두 저자가 공동연구 전선을 구축하고 있다고 볼 수 있다. 저자들의 공동연구 전선을 파악하기 위하여 군집 C1, 군집 C3, 군집 C4, 군집C5에 저자들의 세부적인 사항을 Table 6에 기술했다. 그룹별로 소속된 구성원들의 연구 분야가 모두 동일 또는 유사하다. 특이한 점은 군집 C5에서 연구 분야가 농학인 저자들이 출현하였는데 관련된 연구논문을 찾아보면, 논문 제목이 "왕고들빼기 어린잎과 성체의 수확 후 특성과 온도별저장성 비교"에서 작물의 저장기술 MA(Modified atmosphere)는 PE (Polyethylene) 필름으로 작물을 포장하는 기술로 포장하여 유통하는 과정에서 미세플라스틱이 흡착되는 영향도를 파악하는 논문이었다.

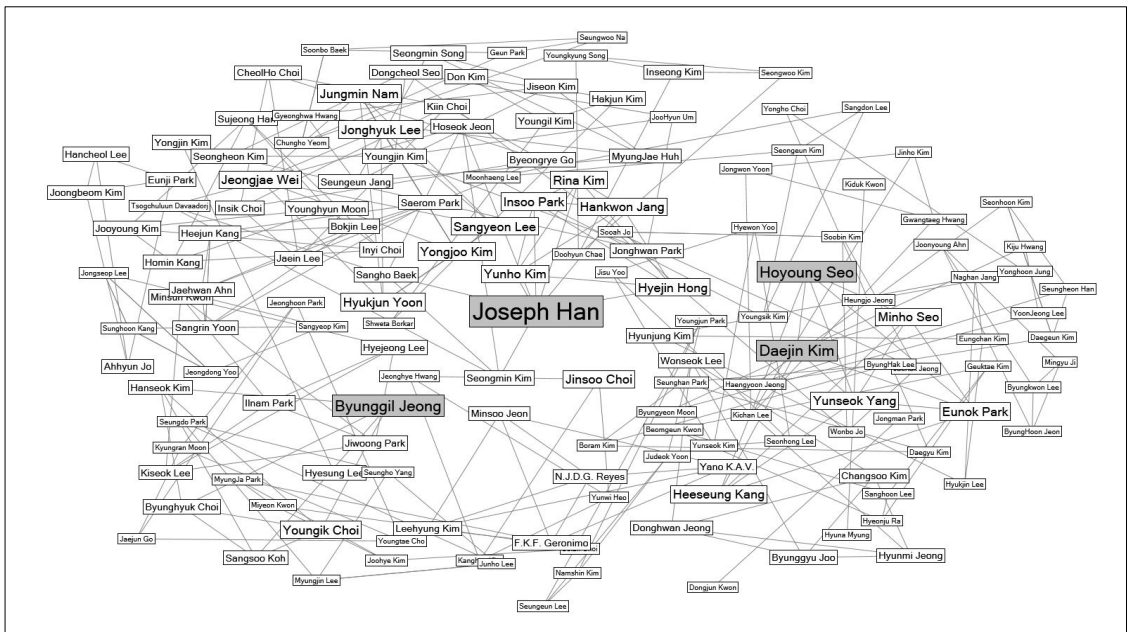


Fig. 7. Collaborative research network of domestic author

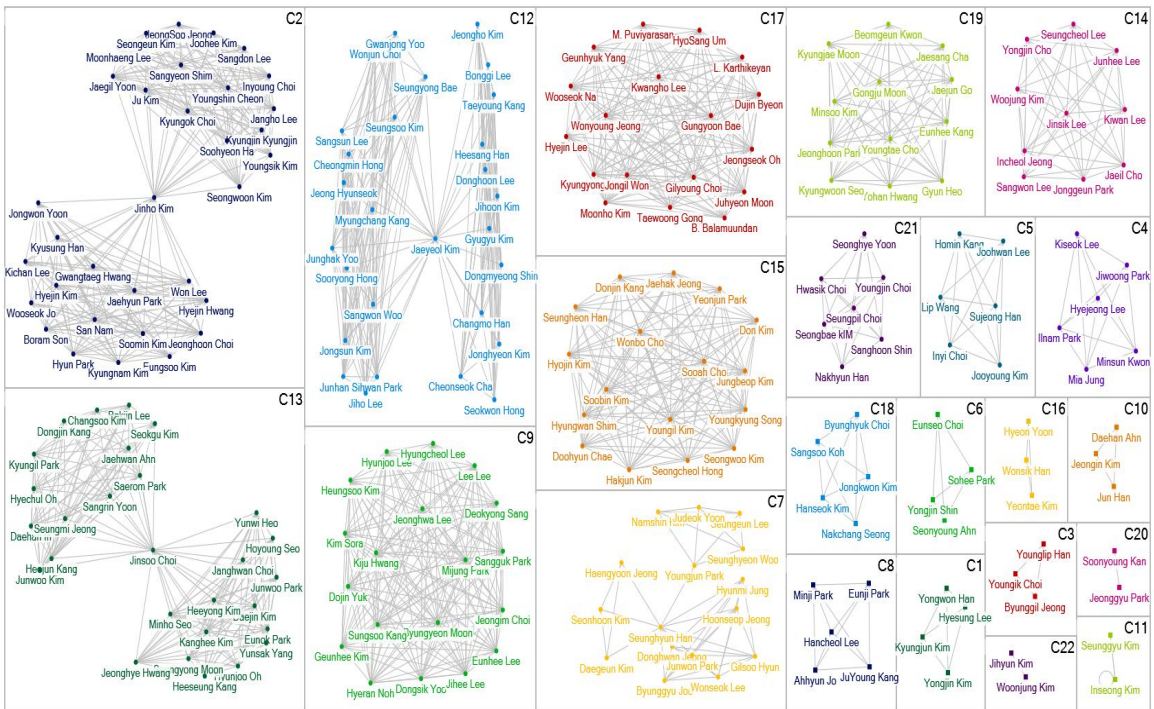


Fig. 8. Collaboration research clustering of domestic author

Table 6. Research fields of domestic author in C1, C3, C4, C5

Cluster	Author	Research Field	Cluster	Author	Research Field
C1	Yongwon Han	environmental engineering	C3	Younglip Han	earth science
	Hyesung Lee	environmental engineering		Youngchik Choi	interdisciplinary research
	Yongjin Kim	environmental engineering		Byunggil Jeong	environmental engineering
	Kyungjun Kim	environmental engineering	C5	Inyi Choi	agriculture
C4	Mia Jung	interdisciplinary research		Sujeong Han	agriculture
	Minsun Kwon	environmental engineering		Joo-young Kim	agriculture
	Jiwoong Park	natural science		Homin Kang	agriculture
	Hyejeong Lee	natural science		lip Wang	agriculture
	Ilnam Park	natural science		Joochwan Lee	agriculture
	Ki-seok Lee	natural science			

이 같은 저자 동시 인용 관계에 대한 분석은 저자들 간의 공동연구에 관한 연구 전선을 파악하는 데 유용하게 활용할 수 있다. 이런 공동연구 전선은 특정 분야의 학문의 지식체계를 규명하고 학문의 발전 동향 등을 파악하는데 주된 기초 자료로 활용될 수 있다.

#### 4.3.2 국외 공동연구전선

WOS에서 학술논문 3,092건에서 총 11,131명의 저자가 추출되었다. 이 중에서 출현 빈도수 6회이상인 303명에 대하여 동시 출현 현황을 Fig. 9에 시각화했

다. Fig. 9에서 1위는 Shi, Huahong과 2위는 Huang, Wei, 3위는 Li, Daoji 모두 중국(china) 국적을 갖고 있으며 연결 정도 중심성이 높게 나타나 저자들 간에 관계성과 영향력이 높다고 볼 수 있다. 논문 횟수가 높은 순으로 상위 30개를 논문을 대상으로 피인용 논문 100,299건에 나타난 저자들 15,802명에서 이들 중 출현빈도가 16회 이상인 저자 366명을 선별하여 저자 동시 인용 분석을 해서 Fig. 10에 시각화하였으며, 이 중에서 2개 쌍으로 출현빈도가 20회 이상인 20명은 Table 7과 같다. Fig. 10에서 시각화된 군집 19개는

모두 적절하게 강력한 공동연구 전선을 형성하고 있다. 군집 13의 경우 연결 정도 중심성이 높은 순위로 1위 Ong, Hwai Chyuan, 2위 Ahmed, S. F., 3위 Mofijur, M. 모두가 소속되어 있으며, 연구 분야는 Environment Science(환경과학)과 Public, Environmental & Occupational Health(공공, 환경 및 산업보건)으로 미세플라스틱 연구에 연관성이 있는 것으로 확인되었다. 논문ID, WOS:0006647 98400004 『Recent

developments in physical, biological, chemical, and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater(폐수에서 새로운 오염 물질을 제거하기 위한 물리적, 생물학적, 화학적 및 하이브리드 처리 기술의 최근 개발)』에서 3명의 저자는 공동저자로 연구에 참여하였음을 확인하였고, 이후 다수의 논문에서 공동저자로 연구에 참여하였음을 WoS 논문검색을 통해서 확인할 수 있었다.

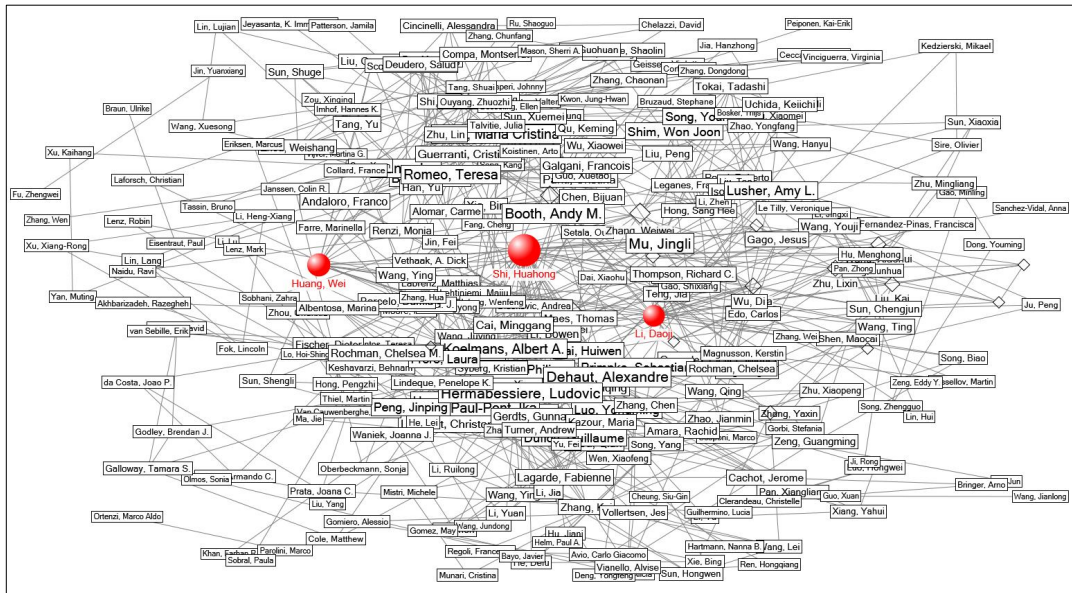


Fig. 9. Collaborative research network of foreign author

Table 7. Collaborative research field of foreign author

Rank	Author(Reference)	Research Field	Author(Cite)	Research Field	Frequency.
1	Shi, Huahong	Environmental Sciences	Wang, Jun	Environmental Sciences	25
2	Wang, Jun	Environmental Sciences	Zeng, Eddy Y.	Oceanography	24
3	Shi, Huahong	Environmental Sciences	Zeng, Eddy Y.	Oceanography	23
4	Shi, Huahong	Environmental Sciences	Huang, Wei	Environmental Sciences	22
5	Shi, Huahong	Environmental Sciences	Duarte, Armando C.	Environmental Sciences	22
6	Wang, Jun	Environmental Sciences	Huang, Wei	Environmental Sciences	22
7	Wang, Jun	Environmental Sciences	Duarte, Armando C.	Environmental Sciences	22
8	Duarte, Armando C.	Environmental Sciences	Rocha-Santos, Teresa	Food Science & Technology	22
9	Shi, Huahong	Environmental Sciences	Rocha-Santos, Teresa	Food Science & Technology	21
10	Wang, Jun	Environmental Sciences	Rocha-Santos, Teresa	Food Science & Technology	21
11	Wang, Jun	Environmental Sciences	Zeng, Guangming	Environmental Sciences	21
12	Wang, Jun	Environmental Sciences	Shen, Maocai	Environmental Sciences	21
13	Huang, Wei	Environmental Sciences	Zeng, Eddy Y.	Oceanography	21
14	Zeng, Guangming	Environmental Sciences	Shen, Maocai	Environmental Sciences	21
15	Shi, Huahong	Environmental Sciences	Li, Daoji	Environmental Sciences	20
16	Shi, Huahong	Environmental Sciences	Sun, Chengjun	Environmental Sciences	20
17	Wang, Jun	Environmental Sciences	Koelmans, Albert A.	Environmental Sciences	20
18	Wang, Jun	Environmental Sciences	Li, Daoji	Mincer, Tracy J.	20
19	Wang, Jun	Environmental Sciences	Rochman, Chelsea M.	Environmental Sciences	20
20	Wang, Jun	Environmental Sciences	Booth, Andy M.	Spectroscopy	20



Table 7을 살펴보면 저자 동시 출현빈도 25회 Shi, Huahong(China)와 Wang, Jun(China) 모두 환경과학(Environmental Sciences)의 연구자이다. 그러나, 두 저자는 공동저자 이거나 혹은 직접적인 논문들의 인용관계는 없지만, 제3의 연구자를 통해 참고문헌으로 인용되는 것을 본 저자 동시 인용 분석 연구에서 확인하였다. 즉, 논문『Huang, Wei, “Microplastics and associated contaminants in the aquatic environment: A review on their ecotoxicological effects, trophic transfer, and potential impacts to human health(수중 환경의 미세플라스틱 및 관련 오염 물질: 생태 독성학적 영향, 영양 전달 및 인간 건강에 대한 잠재적 영향에 대한 검토)”, Elsevier, 405, 2021』에서 확인하였다. Zeng, Eddy Y.(China)는 Oceanography(해양학)이 연구 분야지만, Zeng, Eddy Y.가 2013년에 발표한 논문『Zeng, Eddy, Y, “Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization(30여 년간의 집중적인 산업화와 도시화를 겪은 지역의 표면 토양 중금속 오염 평가)”,

Springer Heidelberg, 20(9), 2013, 6150-6159』이 Wang, Jun의 논문『Wang, Jun, “Occurrence and risk assessment of heavy metals and organochlorinepesticides in surface soils, Central Kenya(케냐 중부 지표 토양 중금속 및 유기염소 농약의 발생 및 위험 평가)”, Springer Heidelberg, 17(1), 2019, 63-73』에서 참고문헌으로 인용하였다.

이같이 저자 동시 인용은 서로 공동저자 이거나 직접 연구논문의 인용 관계는 없을지라도 제3의 연구자에 의해 인용되는 것을 볼 수 있다. 이는 관심 되는 연구주제들이 서로 공통적인 부분이 많고, 서로 연구 결과에 대한 실적 등을 공유하는 것으로서 연구 동향과 추이의 변화를 확인할 수 있으며, 공동연구 전선을 파악할 수 있는 지식기반이 되는 것을 알 수 있다.

국내·외 공동연구전선의 분석에서는 국내는 22개 군집에서 3개의 군집에서 Star형 군집이 나타났고 국외의 경우 19개의 군집에서 대부분은 Mesh형 군집을 형성하고 있다. 즉 Star형 군집은 특정 연구자에 의해 정보의 흐름이 집중될 수 있어 Mesh형 구조보다는 상대적으로 정보확산이 약한 하다고 볼 수 있다.

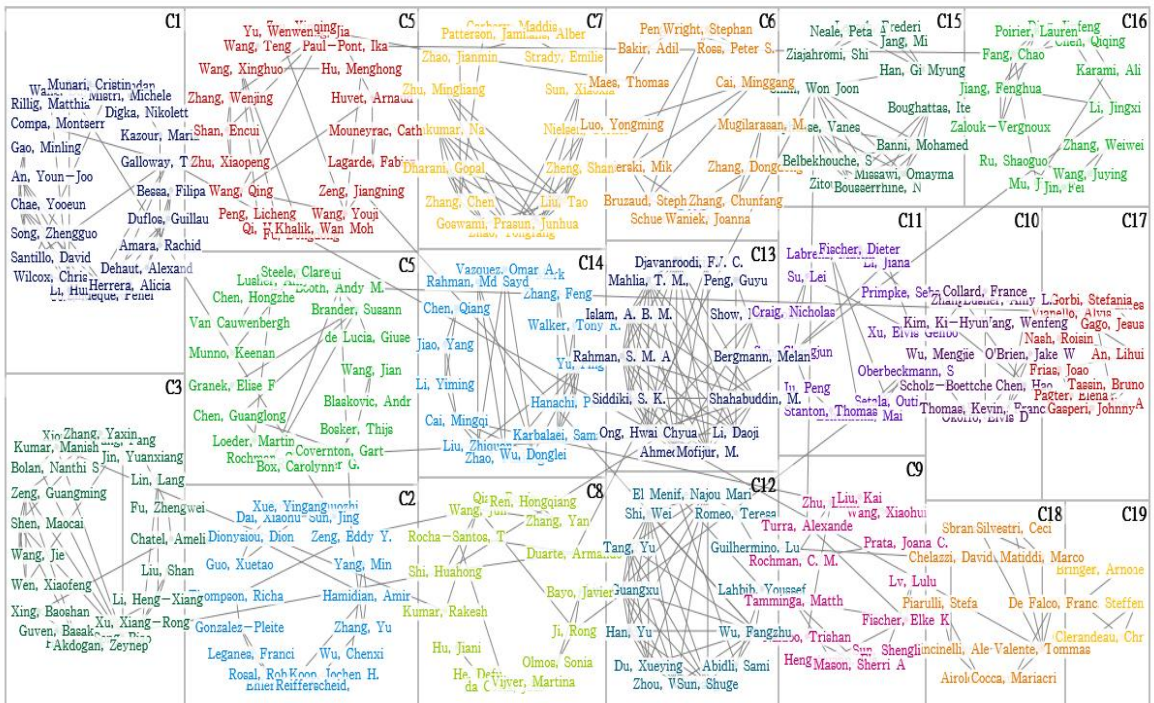


Fig. 10. Collaborative research clustering of foreign author

## 5. 결론

2019년 이후부터 전 세계적으로 미세플라스틱에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있는 상황을 고려하여 국내와 국외의 미세플라스틱 연구 동향의 차이점을 분석하고 이를 국내연구 분야와 수행에 중요한 도움이 되고자 연구를 했으며 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 국내 KCI 논문과 국외 WoS 논문에서 추출한 저자 키워드 305개와 3,814개를 가지고 키워드 동시 출현단어 분석 결과는 국내 5개 연구주제와 국외 7개 연구주제가 도출되었으며, 동일주제 3개, 국내에서는 2개와 국외 4개에서 차이점을 파악했고, 특히 국내에서는 인간의 생체 영향을 미칠 수 있는 연구와 일상에서의 미세플라스틱의 처리에 관한 연구가 필요함을 확인했다.

둘째, 국내 135건과 국외 13,705건의 논문들의 피인용 깊이를 비교 분석한 결과는 국내 경우는 인용 단계가 1.39이고 국외 경우는 2.25로 나타났다. 국내는 국외 대비 아직 연구의 깊이가 성숙 되어있지 않는 것으로 확인되었다.

셋째, 국내 234명과 국외 15,802명 저자에 관한 상호 협력형태를 살펴보기 위한 공동연구전선 분석에서는 국내에서는 Star 형 구조가 있고 국외의 경우는 대부분은 Mesh형 구조로 되어 있는 것을 확인할 수 있어, 연구의 협력 추진체계에 개선이 필요하다.

이 같은 연구 결과는 미세플라스틱의 연구주제 확장 과 연구 질과 깊이 향상, 더불어 다양한 연구자들이 참여하는 연구 추진체계 개선 등이 필요함을 확인하였으며, 국내 미세플라스틱의 장기적인 '연구·개발 로드맵' 작성에 도움이 될 수 있을 것으로 사료 된다.

본 연구에서는 국내외 미세플라스틱 학술연구의 연구 동향을 파악하기 위하여 방대한 논문을 대상(약 1만여 건)으로 연구를 하였다. 그러나 논문 수가 방대하고 엑셀(Excel)을 이용한 일부의 수작업으로 개별 논문들의 초록들을 분석하는 데에는 한계가 있었다. 이를 보완하기 위한 주제 모델링(Topic Modeling) 기법을 도입하여 연구주제와 인용 관계를 자동으로 분석하는 프로그램 개발되면 실시간으로 분석이 가능한 시스템 구축도 가능할 것이다.

## REFERENCES

- [1] D. K. Barnes, F. Galgani, R. C. Thompson & M. Barlaz. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transaction Royal Society London Series B, Biological Science*, 364(1526), 1985-1998.
- [2] M. Cole, P. Lindeque, C. Halsband & T. S. Galloway. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597
- [3] D. Eerkes-Medrano, R. C. Thompson & D. C. Aldridge. (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, 75, 63-82
- [4] Y. Yu, D. R. Zhou, Z. M. Li & C. Zhu. (2018). Advancement and challenges of microplastic pollution in the aquatic environment: a review. *Water, Air & Soil Pollution*, 229(140), 1-18  
DOI : 10.1007/s11270-018-3788-z
- [5] X. Zou, W. L. Yue & H. L. Vu. (2018). Visualization and analysis of mapping knowledge domain of road safety studies. *Accident Analysis & Prevention*, 118, 131-145
- [6] M. Zhang, M. Gao, S. Y. Yue, T. L. Zheng, Z. Gao, X. Y. Ma & Q. H. Wang. (2018). Global trends and future prospects of food waste research: A bibliometric analysis. *Environment Science Pollution Research*, 25(25), 24600-24610.
- [7] L. Wang, L. Zhao, G. Mao, J., Zuo & H. Du. (2017). Way to accomplish low carbon development transformation: A bibliometric analysis during 1995-2014. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 68, 57-69
- [8] J. L. Ruiz-Real, J. Uribe-Toril, J. D. P. Valenciano & J. C. Gazquez-Abad. (2018). Worldwide research on circular economy and environment: A bibliometric analysis. *International Journal Environment Research Public Health*, 15(12), 2699
- [9] J. A. Ivar do sul, A. S. Tagg, M. Labrenz. (2018). Exploring the common denominator between microplastics and microbiology: A scientometric approach. *Scientometrics*, 117, 2145-2157
- [10] L. G. A. Barboza & B. C. G. Gimenez. (2015). Microplastics in the marine environment: Current trends and future perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, 97(1-2), 5-12
- [11] S. Y. Cho & K. S. Byun. (2020). Research Trends



- of Microplastic in Food via Centrality Analysis. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 21(5), 508-515
- [12] Y. Zhang, S. Y. Pu, X. Lv, Y. Gao & L. Ge. (2020). Global trends and prospects in microplastics research: A bibliometric analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 400, 123110
- [13] K. H. Doris, B. Markus, Q. David, B. Dorthe & A. David. (2020). Research landscape of a global environmental challenge: Microplastics. *A Journal of the International Water Association, Water Research*, 170, 115358
- [14] J. Y. Lee. (2006). A novel clustering method for examining and analyzing the intellectual structure of a scholarly field. *Journal of the Korean Society for Information Management (JKOSIM)*, 23(4), 15-23
- [15] J. Y. Lee. (2012). A Study on the Network Generation Methods for Examining the Intellectual Structure of Knowledge Domains. *Journal of the Korean Literature and Information Society*, 40(2), 333-355
- [16] S. S. Lee. (2012). *Network Analysis Methodology*. Seoul : Nonhyeong, 257-258
- [17] J. Y. Lee. (2013). A Comparison Study on the Weighted Network Centrality Measures of tnet and WNET. *Journal of Information Management*, 30(4), 241-264

## 장 관 중(Kwanjong Chang)

[정회원]



- 1989년 2월 : 인하대학교 전자계산학과(이학사)
- 1992년 8월 : 인하대학교 전자계산학과(공학석사)
- 2019년 3월 ~현재 : 호서대학교 벤처대학원 융합공학과 박사과정
- 관심분야 : Deep Learning(예측), Blockchain(보안)
- E-Mail : jangck11@naver.com

## 김 영 희(Younghee Kim)

[정회원]



- 1990년 2월 서울시립대학교 환경공학(공학사)
- 2004년 8월 서울대학교 환경보건학과(보건학석사)
- 2008년 8월 서울대학교 환경보건학과(보건학 박사)
- 2013년 3월 ~현재 호서대학교 벤처대학원 융합공학과 교수
- 관심분야 : 미세먼지, 미세플라스틱
- E-Mail : yhkim514@hoseo.edu

## Appendix 1. Co-occurrence paper over 2 times

NO	Paper ID	Paper Name	Yr of Issue	Paper ID	Paper Name	Yr of Issue
		Author Keyword			Author Keyword	
1	ART002389262	Marine Pollution Prevention Policy due to Microplastics	2018	ART02606716	A study on decomposition of factors affecting non-recycling of plastics in domestic household waste	2020
		Microbeads, marine pollution, marine ecosystem, marine environmental policy			Household waste, non-recycled plastic treatment, LMDI	
2	ART002303220	Distribution of microplastics along the paved road in M city	2017	ART02585661	A study on the possibility of water ingress of tire tread wear fragments on the road	2020
		Roadside, tire dust, distribution			Tire, tread, wear, microplastic, rainwater inlet	
3	ART002372490	Distribution of microplastics in mudflats near M.	2018	ART02303220	Distribution of microplastics along the paved road in M city	2017
		Tidal flats, octopus fishing, laver farms			roadside, tire dust, distribution	
4	ART002372490	Distribution of microplastics in mudflats near M.	2018	ART02462866	Estimation of tire dust emission according to driving time or distance	2019
		Tidal flats, octopus fishing, laver farms			Tire dust emission coefficient, tire dust generation, driving time, mileage	
5	ART002372490	Distribution of microplastics in mudflats near M.	2018	ART02585661	A study on the possibility of water ingress of tire tread wear fragments on the road	2020
		Tidal flats, octopus fishing, laver farms			Tire, tread, wear, microplastic, rainwater inlet	
6	ART002372490	Distribution of microplastics in mudflats near M.	2018	ART02609175	Qualitative and quantitative evaluation of residual microplastics in shellfish	2020
		Tidal flats, octopus fishing, laver farms			Ark, Residue, Qualitative	
7	ART002372490	Distribution of microplastics in mudflats near M.	2018	ART02265333	A Study on Quantitative and Qualitative Methods of Microplastics in Various Media	2017
		Tidal flats, octopus fishing, laver farms			Organic digestion, density separation, quantitative analysis, qualitative analysis,	
8	ART002389262	Marine Pollution Prevention Policy due to Microplastics	2018	ART02417630	Survey on the Disposal of Contact Lenses after Use	2018
		Microbeads, marine pollution, marine ecosystem, marine environmental policy			Contact lenses, disposal, environmental pollution	
9	ART002389262	Marine Pollution Prevention Policy due to Microplastics	2018	ART02462866	Estimation of tire dust emission according to driving time or distance	2019
		Microbeads, marine pollution, marine ecosystem, marine environmental policy			Tire dust emission coefficient, tire dust generation, driving time, mileage	
10	ART002606716	A study on decomposition of factors affecting non-recycling of plastics in domestic household waste	2020	ART02417630	Survey on the Disposal of Contact Lenses after Use	2018
		Household waste, non-recycled plastic treatment, LMDI			Contact lenses, disposal, environmental pollution	
11	ART002606716	A study on decomposition of factors affecting non-recycling of plastics in domestic household waste	2020	ART02462866	Estimation of tire dust emission according to driving time or distance	2019
		Household waste, non-recycled plastic treatment, LMDI			Tire dust emission coefficient, tire dust generation, driving time, mileage	
12	ART002453138	Research on microplastics remaining in freshwater and fish in the Geumgang water system	2019	ART02609175	Qualitative and quantitative evaluation of residual microplastics in shellfish	2020
		Freshwater ecosystem, FTIR analysis, types of microplastics			Ark, Residue, Qualitative	
13	ART002453138	Research on microplastics remaining in freshwater and fish in the Geumgang water system	2019	ART02059893	Seasonal distribution characteristics of microplastics remaining on sandy beaches in Daebudo, Gyeonggi-do	2015
		Freshwater ecosystem, FTIR analysis, types of microplastics			Marine debris, estuaries, beach sediments, seasonal changes, spatial distribution, EPS	
14	ART002453138	Research on microplastics remaining in freshwater and fish in the Geumgang water system	2019	ART02511496	Pulse laser-based microplastic real-time sensor monitoring system for freshwater research	2019
		Freshwater ecosystem, FTIR analysis, types of microplastics			Microplastic sensor, laser induced fluorescence, microfluid, photomultiplier tube	

NO	Paper ID	Paper Name	Yr of Issue	Paper ID	Paper Name	Yr of Issue
		Author Keyword			Author Keyword	
15	ART002303220	Distribution of microplastics along the paved road in M city	2017	ART002462866	Estimation of tire dust emission according to driving time or distance	2019
		roadside, tire dust, distribution,			Tire dust emission coefficient, tire dust generation, driving time, mileage	
16	ART002417630	Survey on the Disposal of Contact Lenses after Use	2018	ART002599058	Behavior of microplastics in sewage in the BNR system	2020
		Contact lenses, disposal, environmental pollution			Adsorption, activated sludge, removal of biological nutrients, fixation, sedimentation	
17	ART002417630	Survey on the Disposal of Contact Lenses after Use	2018	ART002373440	A study on the microplastic discharge characteristics and management plan of this sewage treatment facility through domestic and foreign research cases	2018
		Contact lenses, disposal, environmental pollution			Discharge characteristics, mid- to long-term investigation plans, sewage treatment facilities	
18	ART002462866	Estimation of tire dust emission according to driving time or distance	2019	ART002585661	A study on the possibility of water ingress of tire tread wear fragments on the road	2020
		Tire dust emission coefficient, tire dust generation, driving time, mileage			Tire, tread, wear, microplastic, rainwater inlet	
19	ART002609175	Qualitative and quantitative evaluation of residual microplastics in shellfish	2020	ART002265333	A Study on Quantitative and Qualitative Methods of Microplastics in Various Media	2017
		Ark, Residue, Qualitative, Quantitative			Organic digestion, density separation, quantitative analysis, qualitative analysis	
20	ART002609175	Qualitative and quantitative evaluation of residual microplastics in shellfish	2020	ART002059893	Seasonal distribution characteristics of microplastics remaining on sandy beaches in Daebudo, Gyeonggi-do	2015
		Ark, Residue, Qualitative, Quantitative			Marine debris, estuaries, beach sediments, seasonal changes, spatial distribution, EPS	
21	ART002599058	Behavior of microplastics in sewage in the BNR system	2020	ART002373440	A study on the microplastic discharge characteristics and management plan of this sewage treatment facility through domestic and foreign research cases	2018
		Adsorption, activated sludge, removal of biological nutrients, fixation, sedimentation			Discharge characteristics, mid- to long-term investigation plans, sewage treatment facilities	

Appendix 2. Co-occurrence paper over 11 times

Rank	Paper ID	Paper Name	Yr of Issue	Paper ID	Paper Name	Yr of Issue
		Author Keyword			Author Keyword	
1	WOS: 00064 36640 00003	An ecotoxicological approach to microplastics on terrestrial and aquatic organisms: A systematic review in assessment, monitoring and biological impact	2021	WOS: 00043 29588 00027	Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health	2018
		Biodegradation, Bioaccumulation			Trophic transfer, Food chain, Human health, Contaminants, Seafood	
2	WOS: 00048 90852 00031	Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics	2019	WOS: 00043 29588 00027	Advancement and Challenges of Microplastic Pollution in the Aquatic Environment: a Review	2018
		Microplastic pollution, Plastic debris, Primary microplastics, Secondary microplastics, Fate and transport			Aquatic environment, Sampling, Identification, Biototoxicity threats, Challenge	
3	WOS: 00039 44915 00001	Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs	2016	WOS: 00037 87590 00009	Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment	2016
		Environmental compartments, Occurrence and characterization, Uptake by organisms, Effects in organisms, Fate and transport			Sediment, Seawater, Organism, Quality, Quantity	
4	WOS: 00064 36640 00003	An ecotoxicological approach to microplastics on terrestrial and aquatic organisms: A systematic review in assessment, monitoring and biological impact	2021	WOS: 00039 87588 00013	Is there any consistency between the microplastics found in the field and those used in laboratory experiments?	2016
		Biodegradation, Bioaccumulation			Field samples, Laboratory exposures, Ingestion, Biological effects	
5	WOS: 00048 90852 00031	Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics	2019	WOS: 00064 36640 00003	An ecotoxicological approach to microplastics on terrestrial and aquatic organisms: A systematic review in assessment, monitoring and biological impact	2021
		Microplastic pollution, Plastic debris, Primary microplastics, Secondary microplastics, Fate and transport			Biodegradation, Bioaccumulation	
6	WOS: 00048 90852 00031	Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics	2019	WOS: 00039 87588 00013	Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities	2017
		Microplastic pollution, Plastic debris, Primary microplastics, Secondary microplastics, Fate and transport			Plastic pollution, Nanoplastics, Litter, Rivers, Soil, Hazard	
7	WOS: 00048 90852 00031	Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics	2019	WOS: 00063 93288 00136	Source, distribution and emerging threat of micro- and nanoplastics to marine organism and human health: Socio-economic impact and management strategies	2021
		Microplastic pollution, Plastic debris, Primary microplastics, Secondary microplastics, Fate and transport			Management of microplastics and nanoplastics, Environmental pollution, Human health, Marine organism, Marine environment, Socio-economic impact	
8	WOS: 00048 90852 00031	Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics	2019	WOS: 00044 52381 00002	Worldwide distribution and abundance of microplastic: How dire is the situation?	2018
		Microplastic pollution, Plastic debris, Primary microplastics, Secondary microplastics, Fate and transport			Marine debris, freshwater pollution, polyethylene, polypropylene, ocean, plastics, impacts on fauna	
9	WOS: 00048 90852 00031	Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics	2019	WOS: 00037 87590 00009	Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment	2016
		Microplastic pollution, Plastic debris, Primary microplastics, Secondary microplastics, Fate and transport			Sediment, Seawater, Organism, Quality, Quantity	
10	WOS: 00048 88875 00003	Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs	2019	WOS: 00048 90852 00031	Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics	2019
		Environmental compartments, Occurrence and characterization, Uptake by organisms, Effects in organisms, Fate and transport			Microplastic pollution, Plastic debris, Primary microplastics, Secondary microplastics, Fate and transport	
11	WOS: 00048 88875 00003	Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs	2019	WOS: 00043 25235 00043	Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health	2018
		Environmental compartments, Occurrence and characterization, Uptake by organisms, Effects in organisms, Fate and transport			Trophic transfer, Food chain, Human health, Contaminants, Seafood	

Rank	Paper ID	Paper Name	Yr of Issue	Paper ID	Paper Name	Yr of Issue
		Author Keyword			Author Keyword	
12	WOS: 00048 88875 00003	Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs	2019	WOS: 00044 52381 00002	Worldwide distribution and abundance of microplastic: How dire is the situation?	2018
		Environmental compartments, Occurrence and characterization, Uptake by organisms, Effects in organisms, Fate and transport			Marine debris, freshwater pollution, polyethylene, polypropylene, ocean, plastics, impacts on fauna	
13	WOS: 00048 88875 00003	Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs	2019	WOS: 00058 29561 00003	Microplastics as contaminants in freshwater environments: A multidisciplinary review	2020
		Environmental compartments, Occurrence and characterization, Uptake by organisms, Effects in organisms, Fate and transport			Detection, Aquatic environment, Analytical methods, Ecotoxicology	
14	WOS: 00044 52381 00002	Worldwide distribution and abundance of microplastic: How dire is the situation?	2018	WOS: 00063 89381 00001	Microplastics in the Aquatic Environment: Occurrence, Persistence, Analysis, and Human Exposure	2021
		Marine debris, freshwater pollution, polyethylene, polypropylene, ocean, plastics, impacts on fauna			emerging contaminants, microplastics pollution, aquatic environment, analytical methods	
15	WOS: 00044 52381 00002	Worldwide distribution and abundance of microplastic: How dire is the situation?	2018	WOS: 00051 45447 00144	The way of microplastic through the environment – Application of the source–pathway–receptor model (review)	2020
		Marine debris, freshwater pollution, polyethylene, polypropylene, ocean, plastics, impacts on fauna			Life cycle, Sources, Sinks, Transport paths, Model	
16	WOS: 00043 29588 00027	Advancement and Challenges of Microplastic Pollution in the Aquatic Environment: a Review	2018	WOS: 00037 66968 00013	Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities	2017
		Aquatic environment, Sampling, Identification, Biototoxicity threats, Challenge			Plastic pollution, Nanoplastics, Litter, Rivers, Soil, Hazard	
17	WOS: 00039 87588 00013	Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities	2016	WOS: 00044 40735 00001	Plastic pollution and potential solutions	2018
		Plastic pollution, Nanoplastics, Litter, Rivers, Soil, Hazard			microplastic pollution, marine–environment, density polyethylene, organic pollutants, synthetic–fibers, garbage patch, human health, great–lakes, bisphenol–a, debris	
18	WOS: 00039 44915 00001	Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects	2016	WOS: 00037 66968 00013	Is there any consistency between the microplastics found in the field and those used in laboratory experiments?	2016
		Plastic debris, Environmental concern, Persistence, Personal care products, Cosmetic products, Microplastic			Field samples, Laboratory exposures, Ingestion, Biological effects	
19	WOS: 00039 44915 00001	Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects	2016	WOS: 00036 47260 00002	Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects	2015
		Plastic debris, Environmental concern, Persistence, Personal care products, Cosmetic products, Microplastic			Pellets, Sediment, Techniques, Direct effects, Indirect effects	
20	WOS: 00037 87590 00009	Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment	2016	WOS: 00036 47260 00002	Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects	2015
		Sediment, Seawater, Organism, Quality, Quantity			Pellets, Sediment, Techniques, Direct effects, Indirect effects	
21	WOS: 00037 66968 00013	Is there any consistency between the microplastics found in the field and those used in laboratory experiments?	2016	WOS: 00037 87590 00009	Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment	2016
		Field samples, Laboratory exposures, Ingestion, Biological effects			Sediment, Seawater, Organism, Quality, Quantity	