

중심성 분석을 이용한 식품 미세플라스틱의 최근 연구동향

조성용*, 변기식

국방기술품질원 품질경영본부 전투물자센터

Research Trends of Microplastic in Food via Centrality Analysis Method

Sung-Yong Cho*, Ki-sik Byun

Forces Support Systems Center, Quality Management Bureau,
Defense Agency for Technology and Quality (DTaQ)

요약 본 연구에서는 식품 미세플라스틱에 대한 연구 동향을 파악하고자 최근 10년 동안 발표된 학술 문헌 데이터베이스를 바탕으로 네트워크 중심성 분석을 수행하였다. 연구에 사용된 데이터는 "미세플라스틱"과 "식품" 카테고리 추출되는 2011 ~ 2020년 사이의 발표 논문을 대상으로 하였다. 분석 방법은 키워드 기반의 빈도수 출현 분석 및 중심성 분석(연결정도 중심성, 근접 중심성, 매개 중심성)을 적용하였다. 분석결과, 전체 키워드 중 "해양(marine)", "오염(pollution)" 키워드의 중심성 척도가 0.3 이상으로 나타났다는데, 이는 발표된 논문의 30 % 이상이 미세플라스틱 오염이 생태계에 미치는 영향에 대한 연구로 현재 주로 연구되는 내용임을 확인할 수 있었다. 반면 "유독성(toxicity)", "섭취(ingestion)" 키워드는 중심성 척도가 0.06으로 단 6 %만이 식별되어 생물축적에 기인한 미세플라스틱 또는 식품 내 존재하는 미세플라스틱의 섭취로 인해 인체에 미치는 유해성 연구는 미흡한 것으로 확인하였다. 이번 연구결과가 식품 중 미세플라스틱의 유해성에 대한 연구의 방향성 예측과 더불어 식품 안전 기반 마련을 위한 정책적 의사결정을 위한 기초자료로써 활용되기를 기대한다.

Abstract This study examined the research trends of "Microplastic in food" with a scholar database using the centrality analysis method. The data was based on research papers published from 2011 to 2020, sorted by "microplastic" and "food". The centrality analysis methodology(Degree centrality, Closeness centrality, Betweenness centrality) was applied, followed by a keyword-based frequency occurrence analysis. The results suggested that more than 30% of the total keywords were related to "marine" and "pollution". Therefore, research on the effects of microplastic pollution on the ecosystem had mainly been conducted. On the other hand, only 6% of the keywords were related to "toxicity" and "ingestion". Hence, the number of studies on microplastic exposure caused by bioaccumulation or food are still insufficient. These results can be used to provide directions for future research, as well as provide basic data for political decision-making on the environmental hazards of microplastic.

Keywords : Betweenness Centrality, Closeness Centrality, Degree Centrality, Microplastic, Network Analysis

1. 서론

플라스틱은 사용의 편리함과 다양한 활용성 등 명확한

장점 때문에 사용량이 매년 급격하게 증가하고 있다. 2012년의 전 세계 플라스틱 생산량은 약 2억 8천 톤으로 1900년대 플라스틱 생산량과 비교했을 때 약 60배가

*Corresponding Author : Sung-Yong Cho(Defense Agency for Technology and Quality.)

email: syc5961@dtac.re.kr

Received February 19, 2020

Accepted May 8, 2020

Revised April 7, 2020

Published May 31, 2020

넘는 생산량이며, 현재의 증가 추세로 미루어볼 때 2050년에는 누적된 생산량이 무려 330억 톤으로 예상된다[1].

한편 플라스틱의 생산 및 사용량 증가는 플라스틱 쓰레기 총량과도 직결된다. 일 예로 바다로 버려지는 쓰레기 중 플라스틱의 비중은 무려 60~80 %수준으로 높은 비중을 차지하며[2], 매년 약 950만 톤의 플라스틱 쓰레기가 바다로 유입되어 심각한 오염원으로 지적된다[3]. 특히 플라스틱 쓰레기 중 “미세플라스틱(microplastic)”은 해양 플라스틱 쓰레기의 약 15~31 %를 차지한다[4].

플라스틱은 그 크기에 따라 “나노플라스틱(nanoplastic)”부터 “메가플라스틱(megaplastic)”까지 총 5가지 단계로 분류할 수 있는데 이 중 미세플라스틱은 지름 5 mm이하의 미세한 크기의 합성 고분자 화합물로 정의된다[5]. 이러한 미세플라스틱은 그 크기가 매우 작아 여러 가지 파생되는 문제의 원인으로 알려져 있다. 특히 동물성 플랑크톤과 같은 해양생물들이 미세플라스틱을 먹이로 오인하고 섭취하는 점은 생태계에 혼란을 초래하며, 생물축적의 결과 먹이사슬의 최상위 생물종인 인간에게도 고농도의 미세플라스틱 축적이 발생함으로써 그 피해의 위험이 있다[6~7]. 실제로 최근 “지중해(mediterranean sea)”에서 채취된 “어류(fish)”의 18 %이상에서 플라스틱 파편이 발견되었으며[8], “북해(north sea)”에서 양식되는 “홍합(mussel)”에서도 미세플라스틱이 발견되었다고 보고된 바 있다[9].

한편 식품산업의 성장과 더불어 식품의 생산, 유통, 소비 세 단계에 있어 필수적인 요소로 고려되는 포장재에 있어서도 플라스틱의 활용이 증가하는 추세이다. 전 세계적으로 식품 포장재의 재료 구성 비율은 판지 31 %, 경질 플라스틱 24 %, 연질 플라스틱 20 %, 금속 14 %, 유리 6 %로 플라스틱의 구성 비율이 무려 44 %에 이르는 것으로 조사되었으며 특히 금속과 유리 비중은 감소하는 반면 가볍고 가공성이 우수한 플라스틱 포장재 비중은 증가하는 추세이다[10]. 따라서 플라스틱을 활용한 가공식품 제조 분야에서도 미세플라스틱에 대한 관심이 높아지는 추세이며 관련 연구도 활발하게 진행되고 있는 것을 확인할 수 있었다. Laura M. Hernandez(2019) 등이 발표한 연구결과[11]에 따르면, 간단한 차 음료를 마실 때 사용되는 플라스틱 티백(tea bag)을 대상으로 미세플라스틱 검출 여부를 실험한 결과 추출온도 95 ℃에서 미세플라스틱은 116억 개, 나노플라스틱은 31억 개가 검출되어 사회적으로 이슈화된 바 있다. 또한 Kieran D. Cox(2019) 등이 발표한 연구결과[12]에 따르면 알코

올, 설탕, 꿀 등의 기호식품에서도 미세플라스틱이 검출되었으며 특히 Fig. 1에서 보는 바와 같이 플라스틱 병에 담긴 물에서 검출된 미세플라스틱의 양이 다른 기호식품에서 검출된 것 보다 많은 것으로 보고되었다.

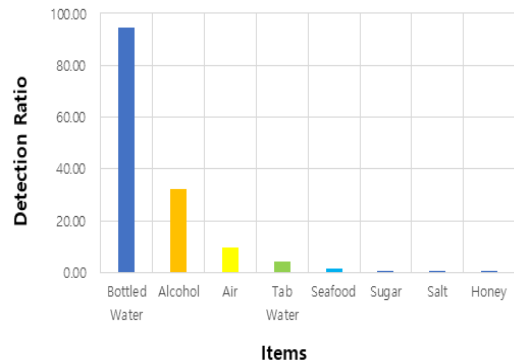


Fig. 1. Microplastic Concentration Detection Result for 8 Items[12].

하지만 미세플라스틱의 오염원 및 오염경로, 환경오염 실태, 생태계에 미치는 영향성에 대한 연구는 각종 언론 보도를 통해 대중들에게 많이 알려졌지만, 이에 비해 가공식품과 같이 일상생활에서 흔히 접하는 식품 등에 함유된 미세플라스틱의 정량적 연구는 부족한 실정이다. 더불어 미세플라스틱과 같은 화학물질에 장기적으로 노출되었을 경우의 유해성 등에 대한 특성 연구 등도 절실히 필요한 시점이다.

이에 본 연구에서는 식품 안전 연구의 기반을 마련하기 위해 식품 미세플라스틱에 대한 연구 동향을 파악하고자 하였다. 이를 위해 최근 대두되고 있는 빅데이터 분석방법 중 키워드 기반 네트워크 분석방법을 사용하였다. 이 분석방법은 사회과학 분야 뿐만 아니라 자연과학, 공학 등 여러 학문에 걸쳐 적용되고 있다[13-15]. 예를 들어 기술 동향을 파악하기 위한 연구로써 플렉시블 태양 전지 분야에 적용된 바 있으며[16], 이는 단순 연구 동향 파악이 아닌 키워드 간 유의미한 상관관계를 밝히는 데 있어서도 국내 유통되는 농산물의 잔류농약 부적합 현황 분석[13] 등 다방면으로 활용되어 왔다.

2. 본론

2.1 연구방법

2.1.1 데이터 마이닝

본 연구의 데이터베이스를 구성하는 문헌정보는 과학, 기술 및 의료 연구 등과 같은 연구 분야의 학술 문헌을 제공하는 "ScienceDirect"[17]에서 추출한 것이다. 식품 미세플라스틱에 대한 학술 문헌을 추출하기 위해 학술 데이터베이스에서 다음과 같이 "미세플라스틱(microplastic)"과 "식품(food)" 키워드를 "and" 조건으로 검색하였고, 범위는 최근 10년 간 발표된 논문을 대상으로 하였다. 추출결과 총 652건의 논문정보를 획득하였으며, 각 연도별로 획득한 논문의 수는 Table 1과 같다.

Table 1. Collected Journals from "ScienceDirect" DB

Year	Journal Counting
2011	3
2012	1
2013	5
2014	10
2015	26
2016	57
2017	58
2018	142
2019	239
2020	111
Total	652

2.1.2 데이터 처리 방법

데이터베이스를 구성한 후 핵심 키워드 추출 시에는 "KrKwic" 분석 도구[18]를 사용하였으며, 중심성 분석은 네트워크 키워드 분석에서 널리 사용되는 "Ucinet"[19] 프로그램을 사용하였다. 또한 중심성 분석 결과를 토대로 네트워크의 시각화 및 구조화는 "Ucinet" 프로그램의 패키지 프로그램인 "NetDraw"를 이용하여 구현하였다.

추출된 키워드 간의 연결 강도를 정량화 한 연결정도 중심성(Degree centrality)은 Eq. (1)을 이용하여 정규화 하였다.

$$C_d = \frac{d_i}{n-1} \quad (1)$$

여기에서 d_i 는 특정 노드(키워드)에서의 연결정도, n 은 네트워크 내 전체 노드(키워드) 수이다. 다른 키워드들 사이의 연결 거리를 정량화 한 근접중심성(Closeness centrality)은 Eq. (2)을 사용하여 정규화 하였다.

$$C_c = \frac{1}{\sum_{j=1}^n d_{ij}} (n-1) \quad (2)$$

여기에서 d_{ij} 는 특정노드(키워드, i)에 대한 타 노드(키워드, j)와의 연결거리를 의미하며, n 은 네트워크 내 전체 노드(키워드) 수이다. 마지막으로 특정 키워드의 네트워크 중개역할 정도를 정량화 한 매개 중심성(Betweenness centrality)은 Eq. (3)을 활용하여 정규화 하였다.

$$C_b = \frac{\sum_{j,k} \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}}}{(n-1)(n-2)/2} \quad (3)$$

(단, $j \neq k \neq i, j, k, i \in N$)

여기에서 g_{jk} 는 노드(키워드) j 와 노드(키워드) k 사이에 존재하는 최단거리의 경로 개수이며, $g_{jk}(i)$ 는 노드(키워드) j 와 노드(키워드) k 사이에 존재하는 최단거리의 경로 중에서 노드(키워드) i 를 통과하는 경우의 수이다. n 은 네트워크 내 전체 노드(키워드) 수이다.

2.2 다빈도 핵심 키워드 분석

네트워크 분석 전 논문 데이터베이스를 기반으로 "KrKwic" 분석 도구를 통해 2011년부터 2020년까지 각 논문의 핵심 키워드를 추출한 결과 "미세플라스틱&식품" 카테고리에서 많은 빈도수를 보이는 상위 20개의 키워드는 Table 2과 같다. 가장 많이 식별된 키워드는 "미

Table 2. Top 20 Word Frequency Rank from 2011 to 2020

Rank	Word	Counting
1	microplastic	337
2	plastic	131
3	pollution	99
4	marine debris	82
5	fish	64
6	marine	56
7	environment	51
8	toxicity	48
9	sediment	41
	polystyrene	41
11	ingestion	38
12	beach	28
	water	28
14	FTIR	25
	waste	25
16	risk	24
17	human	23
	Mediterranean sea	23
19	ecosystem	22
	management	22

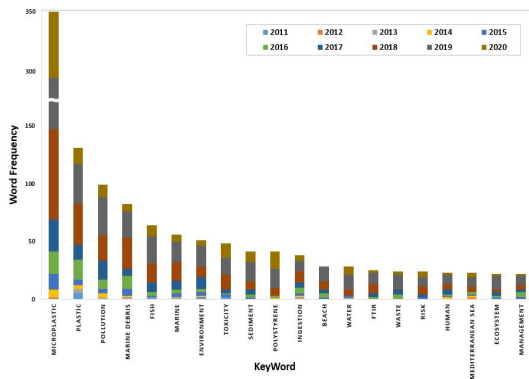


Fig. 2. KeyWord Frequency Trend from 2011 to 2020

세플라스틱(microplastic)"이었으며, "플라스틱(plastic)", "오염(pollution)", "해양쓰레기(marine debris)", "어류(fish)" 순으로 확인되었다.

Table 3은 10년 전제 다빈도 상위 20종 키워드의 연도별 빈도 변화를 나타내었다. 최근으로 올수록 연구의 양적 증가에 따라 모든 키워드가 전체적으로 증가하였으며, 특히 2018년을 기점으로 키워드의 양적 증가가 급격하게 상승하는 것을 Fig. 2에서 보는 바와 같이 확인할 수 있었다. 하지만 단순히 키워드의 출현빈도만을 가지고 계량화한 정량 분석은 네트워크 분석 시 하나의 기준점으로서의 역할이 가능할 수 있으나 키워드의 양적 속성만 확인 할 수 있기에 다른 키워드 간의 관계성을 확인하기 위해서는 별도의 분석이 필요하다. 따라서 네트워크 분석방법 중 중심성(degree centrality) 분석을 통해 키

워드 간 관계성을 확인하였다.

2.3 연결정도 중심성 분석

연결정도 중심성(degree centrality)은 특정노드(키워드)가 다른 노드(키워드)와 얼마나 많은 연결을 가지고 있는지를 정량화한 지표이다. 연결정도 중심성이 높다는 것은 네트워크 내에서 해당 키워드의 영향력이 크다는 것을 의미한다.

Table 4는 데이터마이닝을 거쳐 획득한 최근 10년 식품 미세플라스틱 관련 논문 데이터베이스에서 높은 중심성을 보여주는 20종의 키워드를 나타낸 것이다. 분석결과 연결정도 중심성이 높은 상위 5개 키워드는 "플라스틱(plastic)", "미세플라스틱(micro-plastic)", "해양(marine)", "오염(pollution)", "물(water)" 순으로 식별되었다. 흥미롭게도 "해양(marine)", "물(water)" 키워드가 정량분석 결과에 비해 연결정도 중심성이 다소 높게 나타났으며 "식품(food)", "건강(health)", "폐수(wastewater)" 키워드 또한 상위 20종에 새롭게 포함되었다. 반면에 정량분석 시 상위 20종 핵심 키워드로 나타났던 "지중해(mediterranean sea)", "생태계(ecosystem)", "관리(management)"는 연결정도 중심성이 다소 떨어져 상위 20종 키워드에서 벗어난 것으로 나타났다. 이를 통해 식품 미세플라스틱 관련 연구 중 영향력이 높은 연구분야는 "해양"과 "물"의 환경오염 실태 영향 연구인 것을 확인할 수 있었다. 반면에 "식품", "섭취", "유독성", "건강"에 대한 연구도 식별되었지만 영향력이 다소 떨어지

Table 3. Top 20 Counting Result from 2011 to 2020 (Each Year)

Word	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
microplastic	0	1	1	6	14	19	28	78	133	57
plastic	5	0	4	3	5	17	13	36	34	14
pollution	0	0	1	4	4	8	16	22	33	11
marine debris	0	0	2	1	6	11	6	27	23	6
fish	1	0	1	0	1	3	8	17	23	10
marine	0	0	1	1	3	3	8	16	18	6
environment	2	0	0	1	3	3	10	9	18	5
toxicity	2	0	0	0	2	1	3	13	15	12
sediment	0	0	0	0	1	3	4	7	17	9
polystyrene	0	0	0	1	1	1	0	7	16	15
ingestion	0	0	2	1	2	5	4	10	9	5
beach	0	0	0	0	1	4	3	7	13	0
water	0	0	1	0	2	0	0	5	13	7
FTIR	0	0	0	0	0	2	3	8	10	2
waste	0	0	0	0	0	4	4	1	12	3
risk	0	0	0	0	2	0	2	7	8	5
human	0	0	0	2	1	1	4	5	8	2
mediterranean sea	0	1	0	2	1	2	0	5	8	4
ecosystem	0	0	0	0	1	2	3	3	11	2
management	0	0	0	0	2	4	2	4	8	2

는 것으로 확인되었으며 이는 아직 식품 내 미세플라스틱 함유량 및 인체에 대한 유해성 관련 연구가 미흡한 것을 의미한다.

Table 4. Top 20 Degree Centrality Result from 2011 to 2020

Rank	Word	nDegree Centrality
1	plastic	0.090
2	microplastic	0.063
3	marine	0.032
4	pollution	0.023
5	water	0.019
6	marine debris	0.018
7	fish	0.014
8	environment	0.009
	waste	0.009
	food	0.009
11	toxicity	0.008
	sediment	0.008
	ingestion	0.008
14	polystyrene	0.006
	beach	0.006
	human	0.006
	health	0.006
18	waste water	0.005
	FTIR	0.005
	risk	0.005

2.4 근접 중심성 분석

근접 중심성(closeness centrality)은 중심이 되는 노드(키워드)가 다른 노드(키워드)와 얼마나 근접하게 연결되어 있는지를 정량화한 지표이다. 근접 중심성이 높다는 것은 네트워크 내에서 중심에 위치한다는 것을 의미하는 것으로 미세플라스틱 관련 연구 분야에 있어서도 연구의 중심이 된다는 분야라고 판단할 수 있다.

Table 5는 최근 10년 전체 학술 데이터베이스에서 높은 연결성을 갖는 상위 20종의 키워드를 나타내었다.

분석결과 근접 중심성이 높은 상위 5개 키워드는 “미세플라스틱(microplastic)”, “플라스틱(plastic)”, “오염(pollution)”, “해양(marine)”, “물(water)” 순으로 연결 정도 중심성 분석 결과와 차이를 보이지 않았다. 같은 기간 키워드 빈출 횟수가 많이 낮았던 “오염(contamination)”의 경우에는 연결정도 중심성이 크게 증가한 것을 확인할 수 있었으며, 이 외에도 정량분석 시 상위 20종에서는 확인할 수 없었던 “평가(assessment)”, “식품(food)”, “축적(accumulation)”, “모니터링(monitring)”이 근접 중심성이 높은 상위 20종 내에 새롭게 포함되었다. 반면

에 “생태계(eco- system)”, “지중해(mediterranean sea)”, “폴리스티렌(polystyrene)”은 상위 20종 내에 포함되지 않았다. 따라서 식품 미세플라스틱 관련 연구의 중심은 연결정도 중심성 분석과 마찬가지로 “해양”, “물”의 환경 오염실태 영향 연구인 것으로 확인할 수 있었고, “식품”, “평가”, “섭취” 중심성은 다소 낮게 나타나 관련 연구의 중심은 아닌 것으로 확인하였다. 하지만 “축적”이 식별된 점은 생물축적의 결과가 먹이사슬의 최상위 생물종인 인간에게 미치는 영향성에 대한 연구를 의미하는 것으로 주목할 필요가 있다.

Table 5. Top 20 Closeness Centrality Result from 2011 to 2020

Rank	Word	nCloseness Centrality
1	microplastic	100.000
	plastic	100.000
3	pollution	95.122
4	marine	90.698
5	water	90.698
6	fish	86.667
7	environment	84.783
8	marine debris	82.979
9	contamination	76.471
10	risk	75.000
	food	75.000
	assessment	75.000
13	sediment	73.585
	monitoring	73.585
15	waste	72.222
	toxicity	72.222
17	human	70.909
	ingestion	70.909
	accumulation	70.909
	management	70.909
		70.909

2.5 매개 중심성 분석

매개 중심성(betweenness centrality)은 특정노드(키워드)가 네트워크에서 다른 노드 간의 매개자 역할을 하는 정도를 정량화한 지표로서, 네트워크 내에서 중개 중심을 파악하는 지표로 사용된다.

Table 6은 10년 전체 학술 데이터베이스에서 높은 매개 중심성을 갖는 20종의 키워드를 나타내었다.

분석결과 매개 중심성이 가장 높은 키워드는 “미세플라스틱(microplastic)”과 “플라스틱(plastic)”, “오염(pollution)”, “물(water)”, “어류(fish)” 순으로 확인되었다. 또한 “오염(contamination)”, “축적(accumulation)”, “평가(assessment)”, “모니터링(monitring)”이 상위

Table 6. Top 20 Betweenness Centrality Result from 2011 to 2020

Rank	Word	nBetweenness Centrality
1	microplastic	3.648
	plastic	3.648
3	pollution	2.938
4	water	2.650
5	fish	2.328
6	marine	2.172
7	environment	1.934
8	marine debris	1.569
9	contamination	1.244
10	accumulation	1.079
11	toxicity	1.051
12	risk	1.009
13	assessment	1.008
14	food	0.940
15	chemicals	0.938
16	mussel	0.907
17	waste	0.784
18	monitoring	0.774
19	sediment	0.763
20	polyethylene	0.750

20종 키워드에 포함되었고 이전 분석에서는 볼 수 없었던 “화학약품(chemicals)”, “홍합(mussel)”, “폴리에틸렌(polyethylene)”과 같은 새로운 키워드가 상위 20종 내에 새롭게 포함된 것으로 나타났다. 반면에 “해변(beach)”, “Fourier 변환 분광기(FTIR: Fourier transform infrared spectroscopy)” 등의 키워드는 중심성이 다소

떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 중개 중심성이 높은 연구 분야는 앞서 분석된 결과와 큰 차이가 없었지만 “식품”, “유독성”, “평가”, “관찰” 관련 연구의 낮은 중개 중심성은 식품 내 함유된 미세플라스틱의 유해성 및 미세플라스틱의 인체 유해성 관련 연구가 아직은 미흡함을 의미한다.

2.6 네트워크 분석결과와 시각화 및 구조화

앞서 분석한 연결정도 중심성, 근접 중심성, 매개 중심성 분석 결과를 종합하여 관련 키워드에 대한 네트워크를 “Ucinet” 프로그램을 통해서 시각화 및 구조화 하였다.

Fig. 3은 2011년부터 2020년 사이의 모든 키워드를 대상으로 한 정량분석, 연결정도 중심성, 근접중심성, 매개중심성 분석에서 추출된 상위 20개 키워드 중 네트워크 중심성이 낮은 키워드를 제외하고 시각화 및 구조화한 것이다. 네트워크의 가장 중심에는 “미세플라스틱(microplastic)”과 “플라스틱(plastic)”이 위치했으며 이들의 연결강도(노드)가 가장 강하고 근접한 것으로 나타났다. 특히 “플라스틱(plastic)”은 미미한 연결강도를 보이는 타 키워드와 모두 연결되어 있어 여러 연구 분야와의 관계성에 있어서 매개 중심성이 높은 것을 시각적으로 확인할 수 있었다. 하위그룹을 형성하는 “오염(pollution)”, “해양(marine)”, “물(water)”, “식품(food)”과 같은 키워드는 3개 이상의 노드를 가진 연구로써 식별되

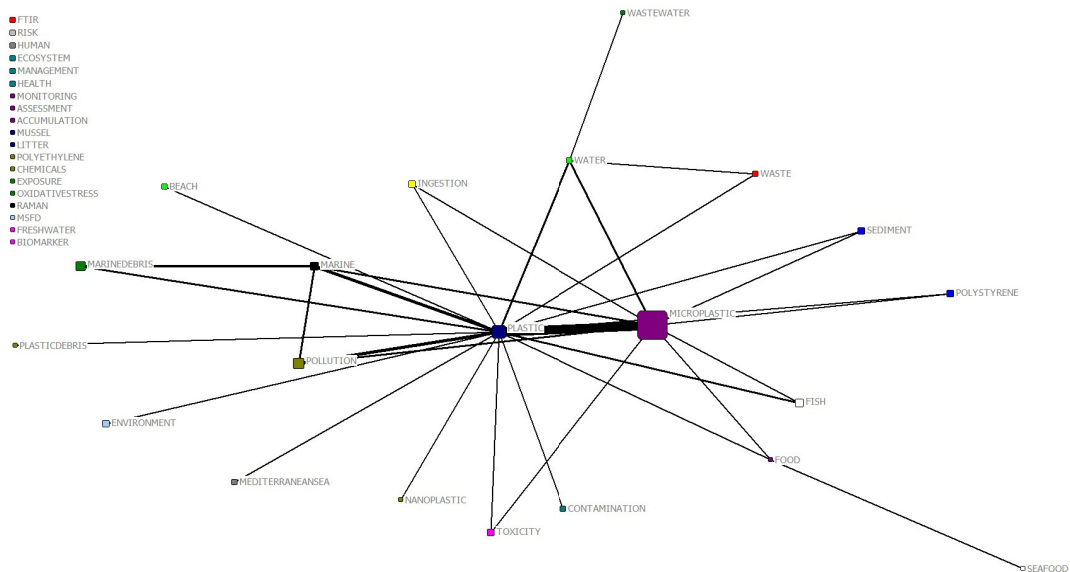


Fig. 3. Network Diagram for major central key-words via NetDraw from 2011 to 2020.

었다. 또한 “폴리스티렌(polystyrene)”, “섭취(ingestion)”, “어류(fish)”은 타 연구 분야와의 연결정도는 낮았으나 최소 2개 이상의 노드를 가진 하위그룹의 연구 분야로 식별되었다. 이를 통해 해당 연구 분야가 네트워크 안에서 타 연구와의 연결 역할을 하는 매개 중심성을 가진 연구라는 것을 확인했다.

이러한 도식화 결과를 통해서 직관적으로 많은 정보를 얻을 수 있었다. 대표적으로 “어류”와 “식품”은 “플라스틱”, “미세플라스틱”과 강한 연결성을 보여주고 있는 반면에 “유독성”, “섭취”와는 연결성을 보이지 않는 것을 볼 수 있는데, 이는 미세플라스틱의 식품 내 함유량에 대한 정량적 연구가 미세플라스틱 섭취에 따른 인체 내 유해성 연구로는 이어지지 않는 것을 의미한다. 따라서 향후에는 식품 내 미세플라스틱 함유량에 대한 정량적 연구가 현재보다 더욱 활성화 될 필요가 있고 또한 생물축적에 기인한 미세플라스틱 및 가공식품 내 존재하는 미세플라스틱의 섭취로 인해 인체에 미치는 유해성을 밝히는 심화 연구로까지 이어지는 것이 필요하다.

3. 결론

네트워크 분석 방법은 본래 사회연결망 분석(SNA: Social Network Analysis)을 위하여 적용하는 방법론에서 출발하였지만[20], 현대에서 갈수록 팽창하는 빅데이터의 처리를 위한 핵심 기법으로써 그 중요성은 날로 커지고 있는 것이 현실이다[21].

특히 키워드 기반의 중심성 분석은 기존의 사회과학 분야뿐만 아니라 자연과학, 공학을 넘어 의료, 예술 분야 등 다방면에 사용되고 있으며 분석 대상의 구성 요소에 대해 타 대상과의 상호 의존성을 파악하고 이를 기반으로 구성요소 간 행위와 방향성을 예측할 수 있는 주요 도구로써 활용되고 있다.

본 연구에서는 식품 미세플라스틱에 대한 최근 10년의 연구동향을 분석하여 식품 내 함유된 미세플라스틱과 같은 화학물질의 안전성에 대한 연구 실태를 확인하고, 이에 더하여 식품 안전 기반 마련을 위한 향후 연구가 필요한 분야를 식별하였다. 이 연구 결과를 기초자료로 하여 후속 연구를 수행한다면 빅데이터를 활용한 네트워크 분석 방법을 통해서 식품 내 미세플라스틱의 유해성에 대한 연구방향성 예측과 더불어 이러한 분석결과가 각 국가의 식품 안전 기반 마련을 위한 정책적 의사결정의 기초자료로써도 활용될 것을 희망한다.

References

- [1] International Energy Agency, The Future of Petrochemicals: Towards More Sustainable Plastics and Fertilisers, 2018.
- [2] Derraik, J. G., The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. Marine pollution bulletin, Vol 44, No. 9, pp. 842-852, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0025-326x\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/s0025-326x(02)00220-5)
- [3] Book, U. Y., Emerging issues in our global environment. United Nations Environment Programme, Nairobi, 2011.
- [4] Boucher, J., & Friot, D., Primary microplastics in the oceans: a global evaluation of sources, Gland, Switzerland: IUCN, pp. 2017-002, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2017.01.en>
- [5] Kershaw, P. J., & Rochman, C. M., Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part 2 of a global assessment. Reports and studies-IMO /FAO/ Unesco-IOC/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) eng, No. 93, 2015.
- [6] Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., & Lehtiniemi, M., Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. Environmental pollution, No. 185, pp. 77-83, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.013>
- [7] Farrell, P., & Nelson, K., Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). Environmental pollution, No. 177, pp. 1-3, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.046>
- [8] Romeo, T., Pietro, B., Pedà, C., Consoli, P., Andaloro, F., & Fossi, M. C., First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. Marine pollution bulletin, Vol. 95, No. 1, pp.358-361, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.048>
- [9] Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R., Microplastics in bivalves cultured for human consumption. Environmental pollution, No. 193, pp. 65-70, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010>
- [10] Hernandez, L. M., Xu, E. G., Larsson, H. C., Tahara, R., Maisuria, V. B., & Tufenkji, N., Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. Environmental science & technology, Vol. 53, No. 21, pp. 12300-12310, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02540>
- [11] B. J. LEE, "Food Packaging Material Trends", Prospectives of industrial chemistry. Vol. 22, No. 1, pp. 38-45, 2019.
- [12] Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., & Dudas, S. E., Human consumption of microplastics. Environmental science & technology,

Vol. 53, No. 12, pp. 7068-7074, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>

- [13] D. Jeong, O. Kwon, Y. Kwon, "Network Analysis of Green Technology using Keyword of Green Field", Journal of the Korea Contents Association, Vol. 12, No. 11, pp. 511-518, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.5392/jkca.2012.12.11.511>
- [14] J. W. Park, J. H. Seo, D. H. Lee, K. I. Na, S. Y. Cho, M. J. Bae, "Evaluation of Results in Pesticide Residues on Incongruity Commercial Agricultural Commodities using Network Analysis Method", Journal of Food Hygiene and Safety, Vol. 33, No. 1, pp. 23-30, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.13103/jfhs.2018.33.1.23>
- [15] J. Choi, H. Kim, N. Im, "Keyword Network Analysis for Technology Forecasting", Journal of Intelligence and Information Systems, Vol. 17, No. 4, pp. 227-240, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.13088/jiis.2011.17.4.227>
- [16] K. S. Byun., J. S. Lim. & J. W. Park, Evaluation of Results in Recent Flexible Solar Cell research trends via Network Analysis method. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 19, No. 6, pp. 600-613, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.6.600>
- [17] <http://sciencedirect.com>
- [18] H. W. Park, Understanding and Applying KrKwic Program for Content Analysis of Korean Language: For news on regional innovation provided by Daum.net. Journal of the Korean Data Analysis Society, Vol. 6, No. 5, pp. 1377-1387, 2004.
G704-000930.2004.6.5.005
- [19] S. P. Borgatti, M.G. Everett, L. C. Freeman, Ucinet for windows: Software for Social Network Analysis, Analytic Technologies (Harvard, MA)
(<http://www.analytictech.com>)
- [20] L. C. Freeman, Centrality in social networks conceptual classification, Social Networks, Vol. 1, No. 3, pp. 215-239, 1979.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7)
- [21] S. S. Lee, Social Network Analysis Methods, Non-hyung Press, 2013.

조 성 용(Sung-Yong Cho)

[정회원]



- 2011년 2월 : 인하대학교 식품영양학과 (이학사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

품질경영, 식품공학, 식품영양

변 기 식(Ki-sik Byun)

[정회원]



- 2013년 2월 : 한양대학교 전자통신 컴퓨터공학부 (공학사)
- 2015년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

마이크로파 회로, 국방품질경영(전자/통신 분야)