

네트워크 분석을 이용한 플렉시블 태양전지 최근 연구동향 분석

변기식^{1*}, 임재성², 박재우³

¹국방기술품질원 기술진흥센터, ²국방기술품질원 유도전자센터, ³국방기술품질원 전력자원체계연구센터

Evaluation of Results in Recent Flexible Solar Cell Research Trends via Network Analysis Method

Kisik Byun^{1*}, Jae Sung Lim², Jae Woo Park³

¹Technology Promotion Center, Defense Agency for Technology and Quality

²Missile Electronics Center, Defense Agency for Technology and Quality

³Forces Support Systems Research Center, Defense Agency for Technology and Quality

요약 본 연구에서는 "플렉시블 태양 전지(Flexible Solar Cell)"에 대한 학술 문헌(논문) 데이터 베이스를 대상으로 네트워크 분석을 진행하고 이를 바탕으로 "플렉시블 태양 전지(Flexible Solar Cell)"의 최근 연구 동향을 분석하였다. 네트워크 분석에 사용된 데이터는 2013년부터 2017년까지의 최근 5년 간의 학술 논문을 대상으로 하였으며, 주요 분석 기법으로는 키워드 빈도 수 출현 기반 분석 및 중심성 분석 (연결 정도 중심성, 근접 중심성, 매개 중심성)을 적용하였다. 네트워크 분석 결과, "전지(cell)"은 중심성 척도가 0.8 이상으로, 전체 키워드 중 80% 이상과 연결되어 있어, 플렉시블 태양 전지 (Flexible Solar Cell) 분야의 연구 중심으로 식별이 되었다. "페로브스카이트(Perovskite)"와 "CIGS(CuInGaSe2)"는 "전지(cell)"의 하위 그룹의 중심으로 식별되었다. 이러한 분석 결과는 최신 기술인 "CIGS/페로브스카이트 탠덤 태양 전지"를 의미하고 있음을 확인 할 수 있었다. 향후 분석 기법을 보다 최적화/정교화하게 된다면 현재의 기술 동향 예측을 통해서 관련 연구 분야의 기술기획 및 연구 방향성 제시에 큰 도구로 활용 될 것이라 기대한다.

Abstract The purpose of this research was to introduce a network analysis method for analyzing the recent trend of the flexible solar cell using a scholarly database. Based on the five years from 2013 to 2017, we used centrality analysis of research papers via measurement of degree centrality, closeness centrality, and betweenness centrality. The results of network analysis show that cell has a centrality value above 0.8, which means that cell is connected with 80% of the total keywords, so it is recognized as the center of flexible solar cell research. The analysis results also indicate that perovskite and copper indium gallium diselenide (CuInGaSe₂, or CIGS) are the center of the subgroup for cell. We recognize that the result refers to recent new technology called the CIGS/perovskite tandem solar cell. We hope that the network analysis method will be the appropriate and precise tool for technology and research planning via elaboration and optimization.

Keywords : Betweenness Centrality, Closeness Centrality, Degree Centrality, Flexible Solar Cell, Network Analysis

1. 서론

미래 전장에 대비하여 개인병사의 군용 장비는 점차 첨단화, 과학화, 현대화되어 가고 있다[1]. 이에, 각종 통

신 및 전자장비가 차지하는 중요성도 날로 더해가고 있는 실정이다. 이러한 통신 및 전자 장비를 구동하기 위하여 이동/휴대용 전원에 대한 지속적인 공급여부는 앞으로의 군 임무수행에 있어서 필수 불가결한 요소로 대두

*Corresponding Author : Kisik Byun (Defense Agency for Technology and Quality, DTaQ)

Tel: +82-2-961-1524 email: bks@dtqa.re.kr

Received April 6, 2018

Accepted June 1, 2018

Revised May 4, 2018

Published June 30, 2018

되고 있다[2].

이동/휴대용 전원으로 주로 전지와 발전기를 사용하고 있으며, 그 중 소형장비에는 전지가 많이 쓰이고 있다. 전지는 통상적으로 화학전지를 지칭하며, 충/방전 가능 여부에 따라 1차 전지와 2차 전지로 나눌 수 있다[3].

하지만, 장기간 외부에서 작전을 수행해야하는 군의 특수한 상황을 고려하였을 때, 발전기와 충전이 불가능한 1차 전지로는 통신의 지속성을 보장하는 것에는 한계가 있기 때문에, 2차 전지가 요구되어 진다. 따라서 원활한 전원공급을 위하여 태양전지를 이용한 2차 전지 충전 방식이 필수적이다[4].

현재까지 상용화된 태양전지는 Table 1과 같이 분류할 수 있다[5].

Table 1. Category of Solar Cell

Category		Characteristics
Crystalline	Single crystalline Si poly crystalline Si	Secure Reliability Stable Production Process Expensive Process Cost Limited Material Markdown
	III-V	High efficiency Expensive Material Cost
Thin Film	Amorphous Si	Cheap Production Cost Low Efficiency
	CdTe	Cheap Production Cost Toxic Material
	CIGS	Cheap Production Cost Expensive Material
	Dye-sensitized	Very Cheap Production Cost Uncertain durability
	Organic	Very Cheap Production Cost Low efficiency

결정형 태양전지(실리콘 계열)는 효율이 높다는 장점이 있으며, 고비용 공정에 소재 가격인하에 한계가 있다는 단점이 있다. 또한 결정형의 단단하고 구부러지지 않는 특성은 부피, 무게 감소에 한계가 있으므로 군용의 목적으로 적용 시 경량화 측면에서 단점으로 작용할 것으로 보인다. 반면에 플렉시블 태양전지는 결정형 태양전지에 비해 효율이 낮다는 단점이 있지만, 생산단가가 저렴한 장점이 있다. 박막형의 유연한 특성은 부피, 무게감소가 가능하여 군 작전 운용에 중요한 요소인 경량화 측면에서 장점으로 작용할 것으로 판단된다[4].

국방 분야에서는 무기체계(전력지원체계) 연구개발을 위하여 가장 선행되는 기술기획 단계에서는 개발동향 및

기술수준 파악을 위해 통상적으로 국내외 기술개발 현황 조사 및 각 구성기술에 대한 수준조사를 수행하게 된다 [4,6]. 수집된 정보는 전문가 그룹을 통한 설문조사를 활용해 핵심기술소요 등을 도출하게 되는데, 수집된 정보에서 관련 대상 기술의 분류와 식별, 분석 방법이 무엇보다도 중요하다고 볼 수 있다. 특히, 방대한 양의 정보에서 신속, 정확한 분석기법의 도입은 기술기획 단계의 성패를 좌우한다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 수집된 문헌정보(연구논문)의 분석을 위하여 최근 대두되고 있는 빅데이터 분석기법을 적용하고자 하였다. 키워드 기반의 네트워크 분석은 빅데이터 분석을 위한 필수 방법론으로서, 사회과학 분야뿐만 아니라 자연과학, 공학 등의 여러 학문 분야에 걸쳐서 적용되고 있다[7-9]. 특히, 군 관련 기술동향 분석에 있어서도 방탄헬멧 분야에 적용되어 기술기획 및 연구개발 동향에 적용하기 위한 기반자료로 활용되었다[10].

이에 본 연구에서는, 국방 기술기획의 고도화를 위하여 네트워크 분석기반의 문헌정보 분석기법을 적용하여 미래 군용으로서 개발이 요구되는 플렉시블 태양전지에 대한 연구동향 분석을 수행하였다.

2. 본론

2.1 연구방법

2.1.1 데이터 마이닝

본 연구에서 사용한 데이터는 학술정보 제공 DB 중 에서 과학, 기술, 의학 분야 등 모든 분야의 커버리지가 가장 넓은 학술문헌 DB인 “Scopus”[11]를 사용하였다. 검색어는 “Flexible Solar Cell”로 한정하여 2013년에서 부터 2017년까지 최근 5년 동안 발표된 논문정보를 획득하였다. 각 연도별 획득한 논문의 수는 Table 2와 같았다.

Table 2. Collected Journals from "Scopus" DB

Year	Journal Counting.
2013	308
2014	380
2015	446
2016	415
2017	426
Total	1,975

2.1.2 데이터 처리 방법

획득한 논문 정보에 대한 키워드 추출, 중심성 분석은 사회연결망 및 문헌 분석에서 널리 사용되는 "NetMiner" 분석툴[12]을 사용하였으며, 네트워크의 시각화는 "UciNet"[13]을 활용하였다.

연결정도 중심성(Degree centrality) 분석은 추출된 키워드 정보를 바탕으로 키워드 간의 연결강도를 정량화한 것으로, 식(1)을 통하여 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.

근접 중심성(Closeness centrality)은 특정 키워드가 다른 키워드들과 연결된 거리를 정량화한 것으로, 식(2)를 통해서 정규화 하였다.

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

여기에서 d_{ij} 는 특정노드(키워드, i)의 특정노드(키워드, j)에 대한 연결거리를 의미하며, n 은 네트워크 내 전체 노드(키워드) 수이다.

매개 중심성(Betweenness centrality)은 특정 키워드가 키워드 네트워크에서의 중개역할 정도를 정량화한 것으로, 식(3)을 이용하여 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 최단거리경로의 수이며, $g_{jk}(i)$ 는 노드(키워드) j 와 노드(키워드) k 사이에 존재하는 최단거리경로 중에서 노드(키워드) i 를 통과하는 경우의 수이다. n 은 네트워크 내 전체 노드(키워드) 수이다.

2.2 다빈도 핵심 키워드 분석

네트워크 분석을 위하여 획득된 논문 DB로부터 각각의 논문에 대한 핵심 키워드를 추출하였다. "NetMiner"

의 word filtering을 통한 단어 빈도 분석을 통해서 다빈도로 출현하는 핵심 키워드를 추출해 내었다. 2015년부터 2017년까지 5년 동안 "flexible solar cell"의 카테고리에서 많은 빈도수를 보이는 상위 20종의 핵심 키워드는 Table 3과 같이 확인 할 수 있었다.

Table 3. Top 20 Word Frequency Rank from 2013 to 2017

Rank	Word	Counting
1	cell	1,212
2	film	319
3	electrode	302
4	layer	223
5	polymer	206
6	substrate	189
7	Solar	184
8	performance	169
9	efficiency	168
10	application	119
11	Perovskite	114
12	Flexible	105
13	TiO ₂ / fabrication	91
15	device / silicon	90
17	nanowire	88
18	Cu / carbon	87
20	counter	86

Table 4. Trends of Most Frequently Mentioned Top 20 Words from 2013 to 2017

Word	2013	2014	2015	2016	2017
cell	191	244	275	241	262
film	49	59	65	66	79
electrode	43	57	69	64	68
layer	35	31	56	37	64
polymer	29	40	52	41	42
substrate	34	39	46	39	31
Solar	4	9	39	66	67
performance	19	27	38	44	41
efficiency	23	30	40	34	41
application	21	27	19	27	25
Perovskite	1	5	22	34	52
Flexible	2	4	20	41	38
TiO ₂	20	25	14	14	18
fabrication	17	24	15	17	18
device	10	10	26	22	22
silicon	11	27	20	13	19
nanowire	10	16	24	16	22
Cu	16	14	28	17	12
carbon	14	19	19	14	21
counter	13	22	16	23	12

최근 5년 전체에 대한 다빈도 핵심 키워드 분석결과 는 연구 전반에 대한 거시적인 흐름을 파악할 수 있으며, 향후 수행하게 될 네트워크 분석의 사전자료로서 활용이

가능하다. 2013년부터 2015년 동안의 연구에서 가장 다 빈도로 언급된 키워드는 “전지(cell)”였으며, 그 뒤로 “막(film)”, “전극(electrode)”, “층(layer)”, “고분자(polymer)”, “기판(substrate)” 등의 순으로 나타났다.

Table 4는 최근 5년 전체 상위 20종의 키워드에 대한 각 연도별 빈도수 변화를 나타내었다. 흥미로운 점은 “태양(solar)”, “페로브스카이트(perovskite)”, “유연성(flexible)”의 세 단어가 2015년부터 급부상하였음을 확

인 할 수 있었다.

핵심 키워드를 연도별로 재분류하여 살펴보면, 키워드 별 새로운 추세를 확인 할 수 있다. (Table 5) 예를 들면 “전지(cell)”, “막(film)”, “전극(electrode)”의 경우에는 모든 연도마다 상위 5개 키워드 내에 포함되어 있으며, “나노튜브(nanotube)”의 경우에는 2013년과 2014년에는 상위 20종에서는 포함되는 키워드였으나, 이후에는 상위 20종에서는 제외되는 경향을 보였다. 반면에

Table 5. Top 20 Word Frequency Rank from 2013 to 2017 (Each year)

Rank	2013	2014	2015	2016	2017
1	cell	cell	cell	cell	cell
2	film	film	electrode	Solar	film
3	electrode	electrode	film	film	electrode
4	layer	polymer	layer	-	Solar
5	substrate	substrate	polymer	electrode	layer
6	polymer	layer	substrate	performance	Perovskite
7	efficiency	efficiency	efficiency	Flexible	polymer
8	property	application	Solar	polymer	efficiency
9	application	performance	performance	substrate	performance
10	TiO ₂	-	Cu	layer	-
11	performance	TiO ₂	device	Perovskite	Flexible
12	ZnO	fabrication	effect	efficiency	substrate
13	fabrication	-	-	-	electron
14	process	counter	nanowire	application	application
15	-	array	Perovskite	counter	device
16	-	carbon	oxide	device	nanowire
17	-	nanotube	-	temperature	-
18	-	property	-	thinfilm	-
19	Cu	-	Flexible	-	carbon
20	nanotube	-	electron	-	thinfilm
21	oxide	-	silicon	system	-
22	-	-	-	stability	array
23	In	In	application	In	process
24	array	Highly	carbon	ZnO	silicon
25	carbon	heterojunction	oxide	process	temperature
26	energy	-	-	-	-
27	-	method	-	-	-
28	-	nanoparticles	-	-	-
29	-	nanowire	-	-	-
30	-	temperature	-	-	-

“페로브스카이트(perovskite)”의 경우 2015년부터 상위 20종의 키워드에 포함되었으며, 2017년도에는 6번째로 많이 언급된 키워드였다.

하지만 키워드 기반의 정량분석은 단지 대상 키워드에 대한 양적인 속성만을 확인 할 수 있기 때문에, 다른 키워드와의 관계의 데이터를 확인하기 위한 별도의 분석이 필요하였다. 따라서 이를 확인하기 위하여 네트워크 분석, 그 중에서도 중심성 분석을 통해서 확인하였다.

2.3 연결정도 중심성 분석

연결정도 중심성(degree centrality)은 노드(키워드)가 다른 노드(키워드)와 얼마나 많은 연결을 갖고 있는지를 정량화한 지표이다. 연결정도 중심성이 높다는 것은 네트워크 내에서 영향력이 크다는 것을 의미하며, 플렉시블 태양전지 연구 분야에 있어서도 중점 기술로 식별된다고 판단 할 수 있다.

Table 6. Top 20 Degree Centrality Result from 2013 to 2017

Rank	Word	nDegree Centrality
1	cell	0.823961
2	film	0.330073
3	Solar	0.264059
4	polymer	0.246944
5	electrode	0.242054
6	layer	0.237164
7	substrate	0.210269
8	performance	0.200489
9	efficiency	0.180929
10	Perovskite	0.146699
11	application	0.144254
	Flexible	0.144254
13	process	0.122249
	silicon	0.110024
14	TiO ₂	0.110024
	Cu	0.110024
17	fabrication	0.107579
	In	0.107579
19	nanowire	0.105134
20	temperature	0.102689
	oxide	0.102689

Table 6은 5년 전체 학술 DB 네트워크에서 높은 중심성을 갖는 20종의 키워드를 나타내었다. 분석결과 연결정도 중심성이 높은 상위 5개 키워드는 “전지(cell)”, “막(film)”, “태양(solar)”, “고분자(polymer)”, “전극(electrode)” 순으로 나타났다. 같은 기간 동안 키워드 검출 빈도수가 높았던 “층(layer)”의 경우에는 연결정도 중심성이 다소 떨어지는 현상을 보여주고 있었으며, “기구(device)”,

“탄소(carbon)”, “상대(counter)”의 경우에는 상위 20종 내에 포함되지 않았다. 대신에 “공정(process)”, “인듐(In)”, “온도(temperature)”, “산소(oxide)”가 연결정도 중심성이 높은 상위 20종 내에 포함되었다.

Table 7은 2013년부터 2017년 5년 동안 각각 해당 연도별 연결정도 중심성 결과를 나타내었다. 모든 연도에서 “전지(cell)”, “막(film)”, “전극(electrode)”은 높은 연결정도 중심성을 보여주고 있었으나, 특정 키워드의 경우에는 연도별 변화가 보여졌다. 대표적으로 전극의 주재료와 관련한 원소기호인 “구리(Cu)”, “인듐(In)”, “이산화타이타늄(TiO₂)”의 경우에는 시간이 흐를수록 네트워크에서 차지하는 중요도가 점점 감소하는 경향을 보여주고 있었으나, 2015년부터 연도별 빈도수가 급증하던 “태양(solar)”, “페로브스카이트(perovskite)”, “유연성(flexible)”의 세 단어의 네트워크 내 중요도도 눈에 띄게 증가하고 있음을 확인 할 수 있었다. (Fig. 1)

Degree Centrality Analysis

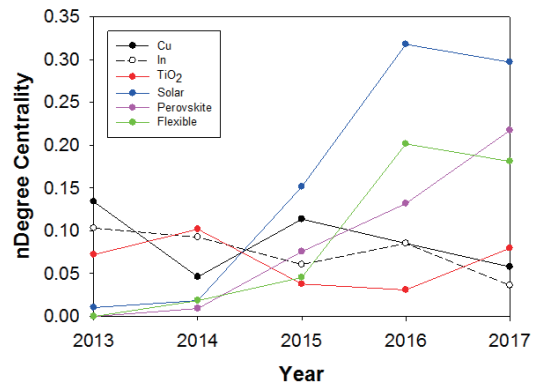


Fig. 1. Degree Centrality Trends about 6 key-words from 2013 to 2017.

2.4 근접 중심성 분석

근접 중심성(closeness centrality)은 노드(키워드)가 다른 노드(키워드)와 근접하게 연결되어 있는 지를 정량화한 지표이다. 근접 중심성이 높다는 것은 대상 키워드가 네트워크 내에서 중심에 위치한다는 것을 의미하며, 플렉시블 태양전지 연구 분야에 있어서도 연구의 중심이 되는 분야라고 판단할 수 있다. 반면에 근접 중심성이 상대적으로 적은 분야는 해당 노드(키워드)는 플렉시블 태양전지를 이용한 특수 응용분야에 대한 연구를 의미한다고 할 수 있다.

Table 7. Top 20 Degree Centrality Result from 2013 to 2017 (Each Year)

Rank	2013		2014		2015		2016		2017	
	Word	nDegree Centrality	Word	nDegree Centrality	Word	nDegree Centrality	Word	nDegree Centrality	Word	nDegree Centrality
1	cell	0.855670	cell	0.944444	cell	0.840909	cell	0.860465	cell	0.818841
2	film	0.268041	film	0.277778	film	0.287879	Solar	0.317829	film	0.304348
3	electrode	0.206186	electrode	0.212963	layer electrode	0.265152	film	0.271318	Solar	0.297101
4	layer	0.195876	polymer layer	0.148148	-	-	electrode	0.255814	layer	0.282609
5	substrate	0.154639	-	-	substrate	0.196970	Flexible	0.201550	electrode	0.224638
6	Cu	0.134021	substrate	0.138889	polymer	0.189394	layer	0.155039	Perovskite	0.217391
7	property	0.123711	efficiency	0.111111	Solar	0.151515	substrate	0.147287	Flexible	0.181159
8	polymer In	0.103093	TiO ₂	0.101852	oxide efficiency Cu	0.113636	performance	0.139535	polymer	0.152174
9	-	-	In	0.092593	-	-	polymer Perovskite	0.131783	substrate performance efficiency	0.130435
10	GaSe ₂	0.092784	temperature silicon nanotube fabrication	0.083333	-	-	-	-	-	-
11	nanotube efficiency diffusion barrier TiO ₂	0.072165	-	-	performance	0.106061	efficiency	0.100775	-	-
12	-	-	-	-	device	0.083333	thinfilm temperature counter	0.093023	electron	0.123188
13	-	-	-	-	Perovskite	0.075758	-	-	Planar	0.094203
14	-	-	performance application	0.074074	temperature nanowire metal electron effect application Organic In	0.060606	-	-	thinfilm ZnO TiO ₂	0.079710
15	-	-	-	-	-	-	In Cu	0.085271	-	-
16	steel performance oxide effect ZnO	0.061856	property nanoparticles	0.064815	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	oxide device deposition GaSe ₂	0.069767	transport nanowire application	0.079710
18	-	-	silver network conductive carbon	0.055556	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-		
20	-	-	-	-	-	-	-	-	temperature silver carbon	0.072464

Table 8은 5년 전체 학술 DB 네트워크에서 높은 연결성을 갖는 20종의 키워드를 나타내었다. 분석결과 근접 중심성이 높은 상위 5개 키워드는 “전지(cell)”, “막(film)”, “태양(solar)”, “전극(electrode)”, “층(layer)” 순으로 나타났다. 같은 기간 동안 키워드 검출 빈도수가 낮았던 “태양(solar)”의 경우에는 연결정도 중심성이 크게 증가하였음을 확인 할 수 있었으며, “구리(Cu)”, “탄소(carbon)”, “상대(counter)”의 경우에는 상위 20종 내에 포함되지 않았다. 대신에 “공정(process)”, “산화(oxide)”, “산화아연(ZnO)”, “증착(deposition)”, “인듐(In)”이 근접 중심성이 높은 상위 20종 내에 포함되었다.

Table 8. Top 20 Closeness Centrality Result from 2013 to 2017

Rank	Word	nCloseness Centrality
1	cell	0.843770
2	film	0.585274
3	Solar	0.560180
4	electrode	0.554049
5	layer	0.550285
6	polymer	0.549538
7	substrate	0.541457
8	performance	0.537148
9	efficiency	0.528733
10	application	0.519910
11	Perovskite	0.517254
12	Flexible	0.514625
13	process	0.508168
14	fabrication	0.506262
15	nanowire	0.505630
16	device	0.502494
17	silicon	0.501871
18	oxide	0.501250
	ZnO	0.501250
20	deposition	0.500630
	TiO ₂	0.500630
	In	0.500630

Table 9은 2013년부터 2017년 5년 동안 각각 해당 연도별 근접 중심성 결과를 나타내었다. 모든 연도에서 “전지(cell)”, “막(film)”은 높은 근접 중심성을 보여주고 있었으나, 특정 키워드의 경우에는 연결정도 중심성과 마찬가지로 연도별 특징이 보여졌다. 대표적으로 2013년도의 “구리(Cu)”, 2014년도의 “인듐(In)”, 2015년도의 “태양(solar)”, 2016년도의 “유연성(flexible)”, 2017년도의 “페로브스카이트(perovskite)”가 해당 연도별 연구의 중심에 위치하는 것을 확인할 수 있었다.

2.5 매개 중심성 분석

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

Table 10은 5년 전체 학술 DB 네트워크에서 높은 매개성을 갖는 20종의 키워드를 나타내었다. 분석결과 매개 중심성이 가장 높은 키워드는 “전지(cell)”로 나타났으며, 다른 키워드에 비해서 약 10배 높은 매개 중심성을 보여주고 있었다. 매개 중심성의 경우에는 이전의 연결정도, 근접 중심성의 결과와는 다르게 새로운 키워드들이 상위 20종 내에 포함되었는데, 이들은 “제어(control)”, “구조(structure)”, “모델(model)”, “동력(power)”, “에너지(energy)”, “금속(metal)”이었다.

Table 11은 2013년부터 2017년 5년 동안 각각 해당 연도별 매개 중심성 결과를 나타내었다. 모든 연도에서 “전지(cell)”는 두 번째로 높은 키워드들에 비해서 8배에서 40배 높은 근접 중심성을 보여주고 있었다. 특정 키워드의 경우에는 다른 중심성 분석결과와 마찬가지로 연도별 특징이 보여졌다. 대표적으로 2013년도의 “에너지(energy)”, 2014년도의 “성능(performance)”, 2015년도의 “층(layer)”, 2016년도의 “태양(solar)”, 2017년도의 “배열(array)”가 해당 연도별로 매개 중심성이 높은 키워드임을 확인 할 수 있었다.

2.6 네트워크 분석결과 종합

플렉시블 태양전지 관련 학술 논문 DB에 대한 네트워크 분석 결과를 종합하여, 관련 키워드에 대한 네트워크를 NetDraw를 통해서 구조화 해보았다.

Fig. 2는 2013년부터 2015년 사이의 모든 키워드에 대한 네트워크를 중심성이 낮은 키워드는 제외하여 도식화한 것이다. 네트워크의 가장 중심에는 “전지(cell)”이 위치하고 있으며, 몇몇 키워드는 다시 하위 그룹을 형성하고 있었다. 대표적으로 “태양(solar)”를 중심으로 “페로브스카이트(perovskite)”, “효율(energy)”, “전극(electrode)”, “유연성(flexible)”, “고분자(polymer)”가 하나의 그룹을 형성하고 있었으며, “구리(Cu)”, “인듐(In)”, “GaSe₂”가 또 다른 그룹을 형성하고 있었다.

Fig. 3, 4, 5, 6, 7은 2013년부터 2017년까지 각각 해당연도의 중심성이 높은 키워드로 간결하게 표시한 네트워크이며, 모든 네트워크의 중심에는 “전지(cell)”이 위치하고 있었다.

Table 9. Top 20 Closeness Centrality Result from 2013 to 2017 (Each Year)

Rank	2013		2014		2015		2016		2017	
	Word	nCloseness Centrality	Word	nCloseness Centrality	Word	nCloseness Centrality	Word	nCloseness Centrality	Word	nCloseness Centrality
1	cell	0.866071	cell	0.939130	cell	0.856008	cell	0.868271	cell	0.821429
2	film	0.551136	film	0.568421	film	0.561634	Solar	0.576180	Solar	0.560976
3	layer	0.535912	electrode	0.551020	layer electrode	0.551650	film	0.560677	film	0.556452
4	electrode	0.530055	polymer	0.526829	-	-	electrode	0.558174	layer	0.554217
5	substrate	0.521505	substrate layer	0.524272	substrate	0.523718	Flexible	0.532047	electrode	0.532819
6	Cu	0.510526	-	-	polymer	0.521518	substrate	0.520963	Perovskite	0.528736
7	polymer	0.507853	efficiency	0.519231	Solar	0.510787	performance	0.516657	Flexible	0.518797
8	property	0.505208	In	0.514286	efficiency	0.504558	polymer	0.508256	polymer performance	0.505495
9	nanotube	0.494898	performance fabrication TiO ₂	0.511848	oxide	0.502515	layer	0.506198	-	-
10	oxide fabrication effect In	0.489899	-	-	Cu	0.500489	Perovskite	0.504157	electron efficiency	0.501818
11	-	-	-	-	performance	0.496485	thinfilm	0.500124	-	-
12	-	-	temperature	0.509343	device	0.494507	counter	0.498132	substrate	0.498195
13	-	-	silicon nanotube	0.507042	effect	0.488666	efficiency	0.496155	TiO ₂	0.492857
14	performance energy deposition carbon application GaSe ₂	0.487437	-	-	In	0.486750	temperature	0.494194	thinfilm	0.489362
15	-	-	property power application	0.504673	heterojunction	0.484848	control	0.492248	Planar	0.487633
16	-	-	-	-	temperature growth application	0.481090	deposition In Cu	0.488402	ZnO	0.484211
17	-	-	-	-	-	-	-	-	application Organic	0.480836
18	-	-	nanoparticles conductive	0.502326	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	thinfilm metal ZnO Perovskite	0.479232	nanowire device	0.486502	silver carbon	0.479167
20	diffusion Transparent	0.485000	conversion carbon Cu	0.500000	-	-	-	-	-	-

Table 10. Top 20 Betweenness Centrality Result from 2013 to 2017

Rank	Word	nBetweenness Centrality
1	cell	0.697607
2	film	0.070887
3	electrode	0.041046
4	polymer	0.037792
5	Solar	0.027609
6	layer	0.026487
7	array	0.020748
8	performance	0.019611
9	control	0.018014
10	substrate	0.016641
11	Perovskite	0.015521
12	Flexible	0.014411
13	structure	0.010009
14	model	0.009803
15	power	0.009364
16	counter	0.007611
17	efficiency	0.007360
18	energy	0.007185
19	In	0.006925
20	metal	0.006855

식별된 네트워크의 주요 특징 중에서 2013년부터

2016년까지 “구리(Cu)”, “인듐(In)”, “GaSe₂”의 하위 그룹이 식별되었다.

2013년의 특징은, “전극(electrode)”를 중심으로 “상대(counter)”, “제조(fabrication)”, “플라스틱(plastic)”, “고분자(polymer)”가 그룹 형성하고 있었으며, 2014년도에는 “막(film)”을 중심으로 “기판(substrate)”, “적용(application)”, “실리콘(silicon)”, “제조(fabrication)”, “특성(property)”의 그룹이 식별되었다. 2015년도에는 더 많은 하위그룹이 식별되었는데, 각각의 중심에는 “전극(electrode)”, “층(layer)”이 식별되었다. 2016년의 경우에는 “태양(solar)”, “전극(electrode)”가 하위 그룹의 중심임을 확인 할 수 있었으며 특히, “태양(solar)”, “유연성(flexible)”, “페로브스카이트(perovskite)”가 처음으로 그룹을 형성하고 있었다.

2017년도는 전년도 대비 좀 더 많은 하위 그룹이 형성되었는데, 그 중심에는 기존에 식별되었던 “태양(solar)”, “전극(electrode)”, “층(layer)”외에도 “페로브스카이트(perovskite)”, “막(film)”이 하위 그룹의 중심으로 나타났다.

Table 11. Top 20 Betweenness Centrality Result from 2013 to 2017 (Each Year)

Rank	2013		2014		2015		2016		2017	
	Word	nBetweenness Centrality	Word	nBetweenness Centrality	Word	nBetweenness Centrality	Word	nBetweenness Centrality	Word	nBetweenness Centrality
1	cell	0.845870	cell	0.869875	cell	0.713335	cell	0.735998	cell	0.720568
2	film	0.100988	film	0.040257	film	0.086181	film	0.070752	array	0.072895
3	energy	0.070232	performance	0.020712	layer	0.075804	electrode	0.049028	film	0.062856
4	electrode	0.048450	electrode	0.020596	substrate	0.040604	Solar	0.04648	Solar	0.059176
5	property	0.023450	system	0.019701	electrode	0.033155	control	0.035138	Perovskite	0.055995
6	ZnO	0.021299	temperature	0.019404	array	0.029503	Flexible	0.034096	layer	0.047005
7	In	0.021105	conductive	0.018619	polymer	0.027839	polymer	0.018417	electrode	0.042643
8	conversion	0.020619	novel	0.017076	heterojunction	0.01518	In	0.01604	polymer	0.032756
9	layer	0.018278	power	0.016527	growth	0.014824	deposition	0.015838	system	0.032379
10	substrate	0.017795	efficiency	0.010199	graphene	0.014702	Ti	0.015551	device	0.030608
11	module	0.010939	layer	0.006704	characterization	0.008231	power	0.015262	quantum	0.028986
12	nanorod	0.010095	polymer	0.006493	Solar	0.000749	Perovskite	0.013157	substrate	0.020359
13	roll to roll	0.009572	substrate	0.005048	TiO ₂	0.00692	system	0.010677	electron	0.017763
14	highly	0.006569	In	0.002741	oxide	0.005665	layer	0.009451	Flexible	0.016113
15	Cu	0.005344	TiO ₂	0.00238	silicon	0.004532	Cu	0.008341	nanoparticles	0.014553
16	polymer	0.005259	fabrication	0.002266	efficiency	0.004462	substrate	0.007788	panel	0.014493
17	nanotube	0.002237	silicon	0.001736	performance	0.004159	GaSe ₂	0.006885	energy	0.014493
18	application	0.001611	nanotube	0.001357	Cu	0.003741	performance	0.006691	Hybrid	0.010941
19	TiO ₂	0.001432	property	0.001067	device	0.001716	device	0.006032	performance	0.007101
20	efficiency	0.000859	application	0.000603	Zno	0.001677	Hybrid	0.00594	TiO ₂	0.006297

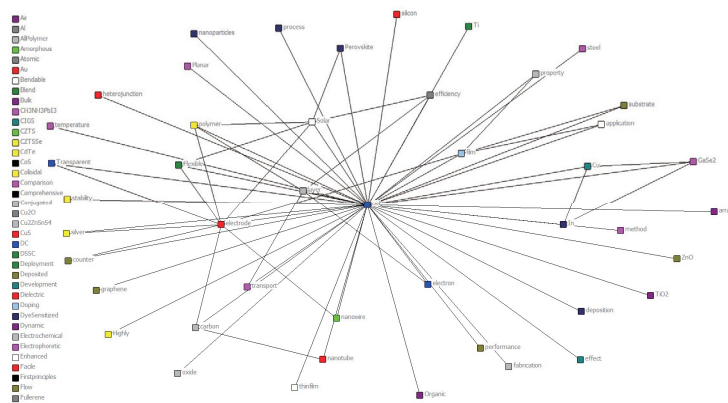


Fig. 2. Network Diagram for major central key-words *via* NetDraw from 2013 to 2017.

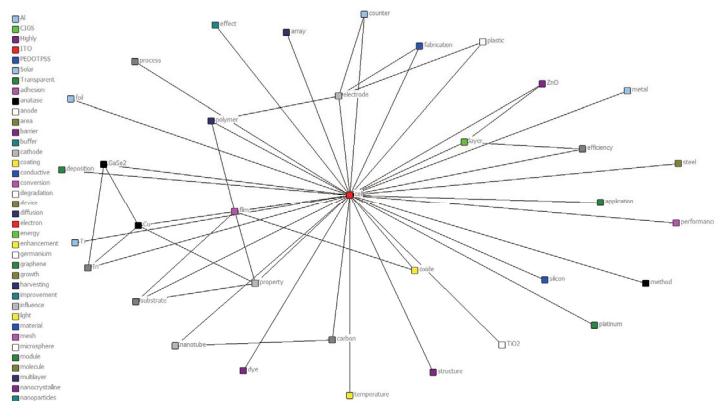


Fig. 3. Network Diagram for major central key-words *via* NetDraw at 2013.

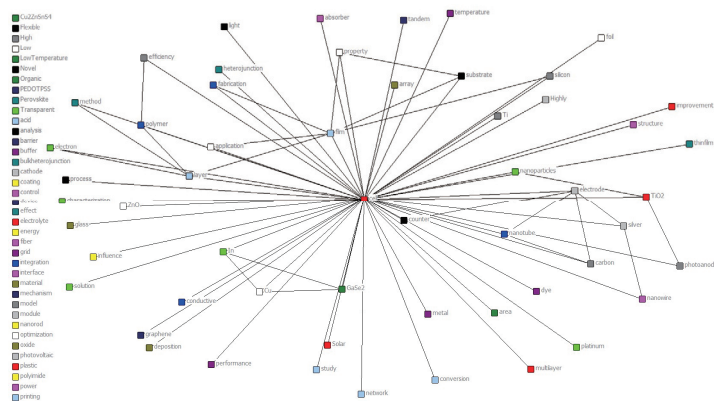
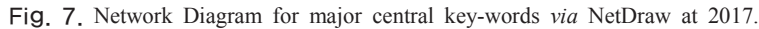
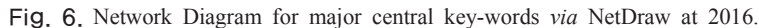
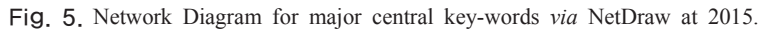


Fig. 4. Network Diagram for major central key-words *via* NetDraw at 2014.



3. 결론

네트워크 분석 방법은 본래 사회연결망 분석인 SNA(Social Network Analysis)를 위하여 적용하는 방법론에서 출발하였지만[14], 최근 대두되고 있는 빅데이터 처리를 위한 핵심 기법으로 자리 잡음으로써 그 중요성이 날로 커지고 있다[15]. 특히, 기존의 사회과학 분야만 아니라 자연과학, 공학, 의료, 예술 등의 다 방면에 걸쳐 그 활용 영역을 점차 넓혀가고 있기에, 분석하고자 하는 대상의 구성요소에 대한 상호 의존성을 파악하고 이를 기반으로 구성요소간의 행위와 방향성을 예측할 수 있는 주요 도구로서 활용되고 있다.

특히, 과학기술분야에 있어서 네트워크 분석을 통한 연구동향 파악은 기술수준의 조사 분석과 이를 통한 기술기획으로의 연계를 위한 중요 기초자료로서 그 활용성이 날로 더해가고 있다.

이에 본 연구에서는, “플렉시블 태양전지”를 대상으로 미래 군사기술에 대한 국방기술기획 및 연구개발에 대한 방향성 제시를 위한 기초자료 획득을 위하여 네트워크(중심성) 분석을 진행하였다.

연구방식은 “플렉시블 태양전지”에 대한 최근 5개년의 연구동향을 파악하기 위하여 2013년부터 2017년 사이의 관련 주제로 수집한 학술DB를 활용하여 대상 문헌에 대한 핵심 키워드 기반 네트워크 분석을 수행하였다.

먼저, 키워드 검출 빈도수 기반의 분석으로는 분석대상 기간 5년 동안에 연구의 중심이 되는 키워드는 “전지(cell)”, “막(film)”, “전극(electrode)”, “층(layer)”, “고분자(polymer)” 순이었다. 하지만 각 연도 별로 분석해 보면, “태양(solar)”, “페로브스카이트(perovskite)”, “유연성(flexible)”의 세 단어가 2015년부터 급격하게 부상하고 있는 연구 분야임을 확인 할 수 있었다.

중심성 분석 결과, 대상 기간 5년 동안에 연구 네트워크의 연결중심이 되는 키워드는 “전지(cell)”, “막(film)”, “태양(solar)”, “고분자(polymer)”, “전극(electrode)” 순이었다. 여기에서 키워드 분석 결과와는 다르게 “태양(solar)”과 “고분자(polymer)”가 “전극(electrode)”보다 키워드 검출빈도 수가 낮았음에도 불구하고 연결정도 중심성이 높았는데, 이는 연구 네트워크에서 대상 단어가 차지하는 영향력이 더 크다는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 각 연도 별로 분석결과에서는 키워드 분석 결과와 마찬가지로 “태양(solar)”, “페로브스카이트(perovskite)”,

“유연성(flexible)”의 세 단어가 2015년부터 급격하게 부상하여 연구가 활발하게 진행되고 있는 분야임을 확인할 수 있었다. 근접 중심성 분석 결과에서는 2013년부터 2017년까지 연도별로 “구리(Cu)”, “인듐(In)”, “태양(solar)”, “유연성(flexible)”, “페로브스카이트(perovskite)”가 각각의 해당연도에서 연구중심에 위치하는 것을 확인할 수 있었다. 매개 중심성에 있어서는 “에너지(energy)”, “성능(performance)”, “층(layer)”, “태양(solar)”, “배열(array)”가 2013년부터 2017년까지 연도별로 매개 중심성이 높은 키워드임을 확인할 수 있었다.

이러한 키워드 검출 빈도와 중심성 분석 결과를 바탕으로 키워드 네트워크를 작성하였을 때, 모든 네트워크의 중심에는 “전지(cell)”이 있었다. 그리고 하위 그룹의 중심에 “태양(solar)”를 중심으로 “페로브스카이트(perovskite)”, “효율(efficiency)”, “전극(electrode)”, “유연성(flexible)”, “고분자(polymer)”가 하나의 그룹을 형성하고 있었으며, “구리(Cu)”, “인듐(In)”, “GaSe₂”가 또 다른 그룹을 형성하고 있었다.

이러한 네트워크 분석결과를 종합해 보면, 플렉시블 태양전지 연구 분야에서는 “페로브스카이트(perovskite)” 분야가 가장 활발하게 연구가 진행되고 분야라고 할 수 있으며, “구리(Cu)”, “인듐(In)”, “GaSe₂”는 가장 널리 연구에 사용되는 재료라고 판단할 수 있다.

실제로 태양전지에 있어서 CIGS(CuInGaSe₂)는 1970년부터 오랫동안 비실리콘 계열 중에서 높은 에너지 전환효율(22.3%)을 가짐과 동시에 박막으로 제조가 가능하여 유연성 있는 전극의 주재료로서 사용되고 있다. 또한 “페로브스카이트(perovskite)”는 2015년부터 급격한 발전을 이루고 있는 태양전지의 기반 기술로서, 최근 높은 에너지 전환효율(22.1%)을 보여주고 있다[16].

가장 오래된 방식의 CIGS와 가장 최신방식의 페로브스카이트가 플렉시블 태양전지 분야에 있어서 가장 활발하게 연구되는 분야로 식별이 된 것은 다소 의외의 결과였으나, 관련 연구 문헌들을 살펴보면 이러한 연구동향을 뒷받침 하는 내용을 확인할 수 있었다. 그것은 바로 페로브스카이트 기반의 탠덤태양전지이다[17]. 탠덤태양전지는 크게 실리콘/페로브스카이트, CIGS/페로브스카이트, 페로브스카이트/페로브스카이트 탠덤태양전지 방식으로 개발되는데, 여기에서 CIGS/페로브스카이트 방식이 유연성을 갖는 태양전지로서의 개발을 위해서 활발히 연구되고 있다.

본 연구의 성과를 종합하면, 기존의 정량화된 연구 키워드를 바탕으로 각 키워드 간의 네트워크 분석을 통해서 플렉시블 태양전지에 대한 최신 연구 동향을 확인 할 수 있었다.

본 연구에서 시도한 방법은 네트워크 분석에서 가장 널리 사용되는 중심성 기반의 분석이었고 실제와 잘 맞는 것을 확인 할 수 있었으나, 네트워크 분석 방법은 노드 수준 분석을 비롯한 하위집단 분석, 에고 네트워크 수준 분석 등의 다양한 분석지표가 존재하기 때문에, 이러한 모든 분석 방법을 고려하여 플렉시블 태양전지 연구 동향 분석 맞는 분석기법을 최적화하는 후속 연구가 진행되어야 할 것으로 판단한다.

향후 본 연구를 기초자료로 하여 후속 연구를 수행하게 된다면, 네트워크 분석 개념이 국방기술기획 및 연구 개발에 대한 방향성 제시를 위한 새로운 패러다임으로 적용될 수 있으리라 판단한다.

References

- [1] S. Kim, Technology Trend of Future Soldier System, *Defense Science & Technology Survey*, 12, pp. 76-87, 2010.
- [2] S.-J. Park, Y.-J. Hong, Personal Mobile Power Stirling Engine/Power Generation Technology for Future Soldier System, *State of the Art Report*, vol. 19, no. 3, pp. 50-63, 2007.
- [3] B. W. Jo, Special Feature 3 - Keyword 'Lithium Secondary Battery', *Bulletin of Korea Environmental Preservation Association*, vol. 32, no. 385, pp. 20-23, 2010.
- [4] D. W. Kwak, K. Byun, Development of Flexible Solar Cell, Research and Evaluation on the Technology Level of Force Support Systems, pp. 207-233, *Defense Agency for Technology and Quality*, 2016
- [5] J. H. Kim, M. J. Chu, Y. D. Chung, R. M. Park, H. K. Sung, Technological and Industrial Trends of Thin Film Solar Cells, *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 23, no. 2, pp. 2-11, 2008.
- [6] B. Y. Han, Introduction, Defense Science & Technology Development Trends and Level, pp. 13-28, *Defense Agency for Technology and Quality*, 2016
- [7] 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>
- [8] 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>
- [9] 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.
- [10] J. W. Kang, J. W. Park, J. H. Kim, A Network Analysis of Ballistic Helmet Technology Keyword, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 18, no. 4, pp. 311-316, 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.4.311>
- [11] <http://www.scopus.com/>
- [12] <http://www.netminer.com/>
- [13] 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>
- [14] 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)
- [15] S. S. Lee, Network Analysis Methods, Non-hyung Press, 2016.
- [16] H. K. Suh, A New Paradigm of Solar Cell through Perovskite Structure, *News & Information for Chemical Engineer*, vol. 35, no. 2, 2017.
- [17] M. A. Park, J. Y. Kim, Perovskite based Tandem Solar Cell Research Trends, *Bulletin of the Korea Photovoltaic Society*, vol. 3, no. 1, pp. 42-51, 2017.

변 기 식(Kisik Byun)

[정회원]



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

<관심분야>

마이크로파 회로, 국방품질경영(전자/통신 분야)

임 재 성(Jae Sung Lim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한양대학교 전자통신 컴퓨터공학부 (공학사)
- 2014년 2월 : 포항공과대학교 전자 전기공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 ~ 2015년 8월 : LG 디스플레이
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 연구원

<관심분야>

영상, 비디오신호처리, 국방신뢰성공학

박 재 우(Jae Woo Park)

[정회원]



- 2005년 2월 : 아주대학교 생명분자 공학부 (공학사)
- 2009년 8월 : 서울대학교 화학생물 공학부 (공학석사)
- 2015년 2월 : 서울대학교 멀티스케 일기계설계전공 (공학박사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 선임연구원

<관심분야>

국방품질경영(화학/화생방 분야)