

특허 데이터베이스를 활용한 기술연관맵 분석 및 가시화 서비스 방안에 관한 연구

서민호* · 이준영** · 김강희*** · 이혁재****

I. 서론

최근 기술혁신 연구자들은 혁신을 통한 지식 요소들 간 네트워크 구조의 진화, 및 이러한 진화의 과정에서 발생하는 창의성을 강조해 왔다(Krafft and Quatraro 2011). 이와 같은 접근 방식은 지식을 1) 상호 연결된 구조(correlational structure), 2) 탐색(retrieval) 또는 해석 가능한 구조로 파악하는 관점(Saviotti 2009)을 출발점으로 한다. “상호연결된 구조” 관점은 지식을 사회연결망분석(Social Network Analysis)의 프레임으로 다룰 수 있게 하여주고, 기술을 네트워크의 ‘노드’로, 기술의 결합 활용(joint utilization)을 ‘링크’로 설정하여 분석 가능하도록 하여 준다. “탐색/해석가능 구조” 관점은 일정한 경계 안에서 지식의 누적 발전이 일어난다는 점, 지식의 연결이 경계를 넘나들어 진행되면서도 형성된 의미체계에 기반을 두고 있다는 점을 강조하고 있다. 따라서, 기술혁신 활동의 결과는 지식 네트워크상에서 노드 간의 고유한 연결 관계에 반영이 되며, 역으로 지식 네트워크의 특성은 기술혁신 활동을 제약하거나 또는 촉진하는 조건이 될 수 있다는 것이다.

지식 네트워크를 가시적인 형태로 맵핑하고, 맵에 기반을 둔 탐색활동을 하는 것은 혁신의 속도와 효율성을 제고시킬 것으로 기대할 수 있다(Mapped Searching, Fleming and Sorenson 2003). 또한, 지식 네트워크의 맵핑을 위해 네트워크 구성요소를 측정 가능한 형태의 변수로 설정하고, 이들의 관계를 추출하는 노력이 중요하다 할 수 있겠다.

본 논문에서는 기술혁신이 기존 기술들을 새롭게 재조합 하는 방식으로 가능하다는 기본적인 가정 하에 관심 기술과 관련된 특허들이 지니고 있는 기술 분류(IPC 코드)간의 연결 관계를 나타내는 기술연관맵과 핵심기술경로맵을 제공함으로써, 관심 있는 기술들 간의 재조합 가능성을 탐색할 수 있는 도구를 지원하는 모델을 제안한다. 따라서 기술이 갖는 기회를 탐색하거나 미래 R&D 전략 방향성 등을 설정할 때 활용 가능하다.

기술연관맵이란 관심 기술에 대한 특허 데이터 세트에 존재하는 IPC 분류코드들 간의 관계를 네트워크로 표현한 것을 말하고, 핵심기술경로맵이란 기술연관맵 상의 가장 영향력이 큰 두 개의 기술 분류 노드 간의 연결 경로에 참여하는 노드를 중심으로 간략하게 표현된 기술 연관도라 할 수 있다. 기술연관맵과 핵심기술경로맵을 활용하면 사용자가 역량을 갖추고 있는 기술(노드)로부터 신규 진출, 확보하고자 하는 기술(노드) 간의 연결 경로를 확인함으로써, 신규 기술 지식을 습득하기 위한 기술적 필요 경로를 신속히 검색

* 서민호, 한국과학기술정보연구원(KISTI) 책임연구원, 02-3299-6121, mhsuh@kisti.re.kr

** 이준영, 한국과학기술정보연구원(KISTI) 선임연구원, 02-3299-6044, road2you@kisti.re.kr

*** 김강희, 한국과학기술정보연구원(KISTI) 책임연구원, 02-3299-6038, kimkh@kisti.re.kr

**** 이혁재, 한국과학기술정보연구원(KISTI) 책임연구원, 02-3299-5277, hlee@kisti.re.kr

할 수도 있다.

제안되는 모델을 통해 보유한 기술의 핵심, 주변, 공백기술 등에 대한 분석을 기존의 빈도 분포 관점이 아니라 세부 구성요소들로 구성된 네트워크적 관점에서 수행이 가능하다. 특히, 분석의 주체를 기업단위에서 국가수준으로 확대하면, 유망 기술간 연계, 융합 촉진을 위한 과학기술정책 수립에 유효한 도구를 제공하는 것이 가능하다.

본 논문에서는 태양전지 기술 사례에 대해 기술연관맵과 핵심기술경로맵을 구성하고, 이에 대해 해석함으로써 제안하는 분석 및 정보서비스 방법론을 설명하고자 한다. 먼저 기술연관맵의 정의와 예시를 보이고, 그 다음으로 핵심기술경로맵을 생성하기 위한 알고리즘을 설명하고, 핵심기술경로맵 분석방법 및 정보서비스를 위한 가시화 방안에 대해 다룬 후 결론짓도록 한다.

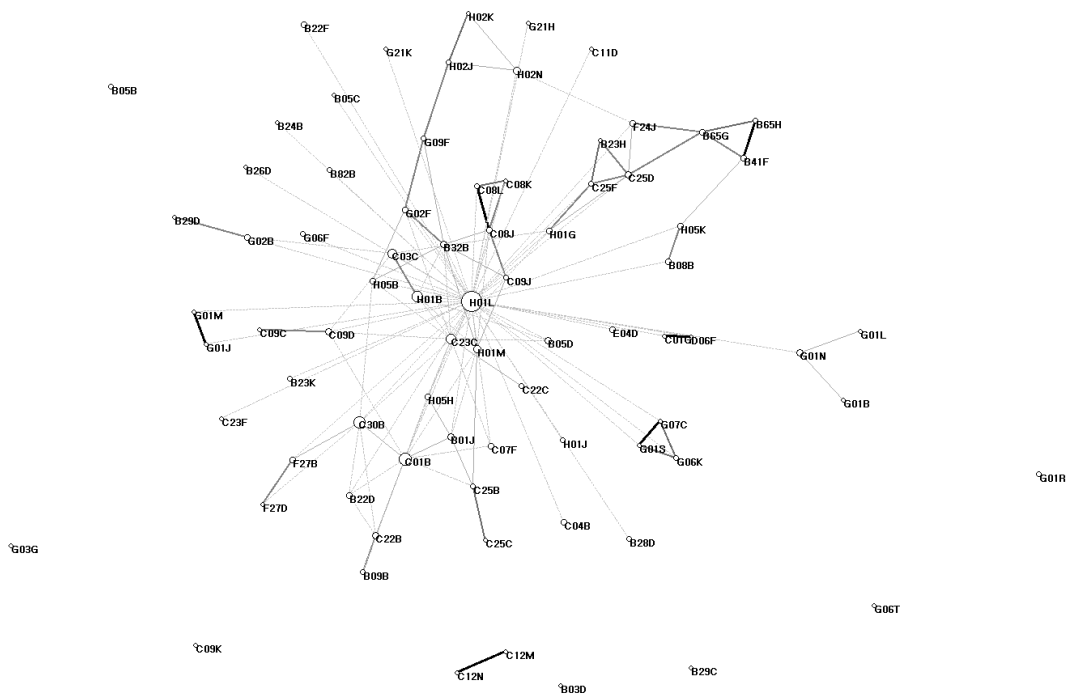
II. 본 론

1. 기술연관맵

본 연구에서는 특허 데이터베이스의 기술 분류체계(IPC) 정보를 활용하여, 기술 네트워크를 구축하고, 이를 분석함으로써 기술지식 흐름의 양상을 파악하는 데에 초점을 두고 있다. 이를 위해 본 연구에서는 다음과 같은 세 가지 가정을 하였다. 첫째, 하나의 특허기술에 대해 특정 기술 분류 A와 B가 동시에 지정되었다면, 이는 동시 지정된 특허분류(기술) 들 간에 지식의 연계관계가 존재하며, 지식의 상호 흐름이 존재할 수 있음을 의미한다. 둘째, 하나의 특허기술에 대해 특정 기술 분류 A와 B가 동시에 지정되는 현상이 여러 개의 특허 기술에 대해 반복적으로 나타나 A와 B가 동시 등장하는 특허의 개수가 일정 건수(cut-off value)를 넘는다면, 각 기술 간에는 밀접한 지식 연계구조가 존재한다고 볼 수 있다. 셋째, 특허 데이터세트 내에서 특정 기술 분류의 등장 횟수(즉 빈도수)는 해당 세부기술의 중요성(파급성)에 비례한다.

위의 가정을 토대로, 본 연구에서는 기술연관맵(technology relation map)을 다음과 같이 정의한다. 먼저 분석 대상 기술에 대한 특허 데이터 세트가 존재하는 상황 하에서, 특허 데이터 세트의 IPC 분류 코드 필드에 대한 동시 발생 행렬(co-occurrence matrix)을 생성한다. 동시발생행렬은 기본적으로 각 노드들(여기서는 IPC 분류코드가 된다.) 간의 연결 관계가 매트릭스로 표현(존재할 경우 동시발생 횟수, 존재하지 않을 경우 0)된다. 그 다음 동시 발생 행렬을 네트워크 가시화 소프트웨어를 활용하여 가시화 하면, IPC 분류 코드를 노드로 하고, 기술 분류 간 연관관계가 아크(arc)로 표현된 기술 네트워크 그림이 그려지는데, 이를 기술연관맵이라고 정의한다. 본 연구에서는 특허 데이터 세트를 추출한 이후 이를 입력받아 동시발생행렬의 생성 및 네트워크 맵을 그려내는 데에 KISTI에서 자체 개발한 Knowledge MatrixTM을 활용한다(KnowledgeMatrix User Manual 2008). 네트워크 그림을 그리는 도구로는 상용 소프트웨어(예, Netminer), 무료 학술 소프트웨어(예, VOSviewer) 등도 활용이 가능하다.

본 연구에서는 “실리콘 기반 태양전지”에 대한 예제를 통해 기술연관맵의 형태를 설명하고자 한다. 먼저 특허 데이터베이스로부터 실리콘 기반 태양전지에 관한 특허를 추출한다. 특허 데이터베이스는 상용 특허 데이터베이스인 WIPS(www.wips.co.kr) 데이터를 활용하였으며, 기간은 2001년부터 2010년까지 10년으로 한정하였고, 국제특허에 해당하는 PCT특허 875건을 데이터셋으로 정하였다. 875건의 특허에는 중복을 허락하여 부여된 IPC 분류코드가 상위 4 digit(예, H01L) 단위로 보았을 때, 78 종류 존재하였으며, 단독으로 존재하는, 즉 다른 분류코드와 연관관계가 형성되지 않은 9건을 제외한 69건의 IPC 분류코드가 네트워크를 형성하여 동시발생 네트워크를 형성하였다. 실리콘 기반 태양전지 기술 분야에 대한 기술연관맵 그림은 (그림 1)과 같다.



(그림 1) 실리콘 기반 태양전지의 기술연관맵 예시

(그림 1)에서 노드의 크기는 해당 IPC 분류의 등장 빈도에 비례하게 작성하며, 노드의 크기가 클수록 다빈도, 즉 분석 대상 기술을 구성하는 요소기술들 중에서 그 영향력이 크다고 볼 수 있다. 한편, 노드 간 연결선의 굵기는 각 노드간 연관정도로 볼 수 있으며, 굵기가 굵을수록, 해당 두 쌍의 IPC노드가 동시에 하나의 특허에서 발생하는 빈도가 높다고 볼 수 있다. 한편 본 그림은 FDP(Forced Directed Placement 1991) 알고리즘을 통해 그려졌으므로, 각 노드간 위치가 가까울수록 해당 노드끼리의 유사성은 높아 연관관계가 높다고 볼 수 있다.

실리콘 기반 태양전지 기술의 기술연관맵을 살펴보면, 가장 영향력이 큰 기술(노드)는 “H01L : 반도체 장치”이며, 그 다음으로 영향력이 큰 기술(노드)는 “C01B : 비금속원소”이다. 그 밖에 영향력이 큰 Top 20 노드들과 중요 노드들의 의 발생빈도와 정의는 다음의 표와 같다.

<표 1> 실리콘 기반 태양전지 분야의 주요 IPC 리스트

No.	Records (#)	IPC (4 digits)	Definition
1	698	H01L	Semiconductor devices
2	90	C01B	Non-metallic elements
3	67	C30B	Single-crystal growth
4	45	H01B	Conductors ; insulators
5	44	C23C	Surface treatment of metallic material by diffusion
6	23	C03C	Chemical composition of glasses
7	12	H01M	Batteries, for the direct conversion of chemical energy into electrical energy
8	10	H02N	Electric machines
9	8	B32B	Layered products
10	8	B05D	Processes for applying liquids or other fluent materials to surfaces
11	7	G01N	Investigating or analysing materials by determining their chemical or physical properties
12	7	C22B	Production or refining of metals
13	6	B01J	Chemical or physical processes
14	6	C09D	Coating compositions
15	6	C25D	Processes for the electrolytic or electrophoretic production of coatings
16	5	H05H	Plasma technique
17	5	C04B	Lime ; magnesia ; slag ; cements
18	5	F27B	Furnaces, kilns, ovens, or retorts in general
19	5	G02B	Optical elements, systems, or apparatus
20	5	F24J	Production or use of heat
21	5	H05K	Printed circuits ; casings or constructional details of electric apparatus
22	4	B65G	Transport or storage devices, e.g. Conveyers for loading or tipping
23	3	H01G	Capacitors
24	3	G02F	The optical operation of which is modified by changing the optical properties
25	2	C25B	Electrolytic or electrophoretic processes for the production of compounds or non- metals
26	2	C25F	Processes for the electrolytic removal of materials from objects
27	2	H02J	Circuit arrangements or systems for supplying or distributing electric power
28	2	G09F	Displaying ; advertising ; signs
29	1	H02K	Dynamo-electric machines

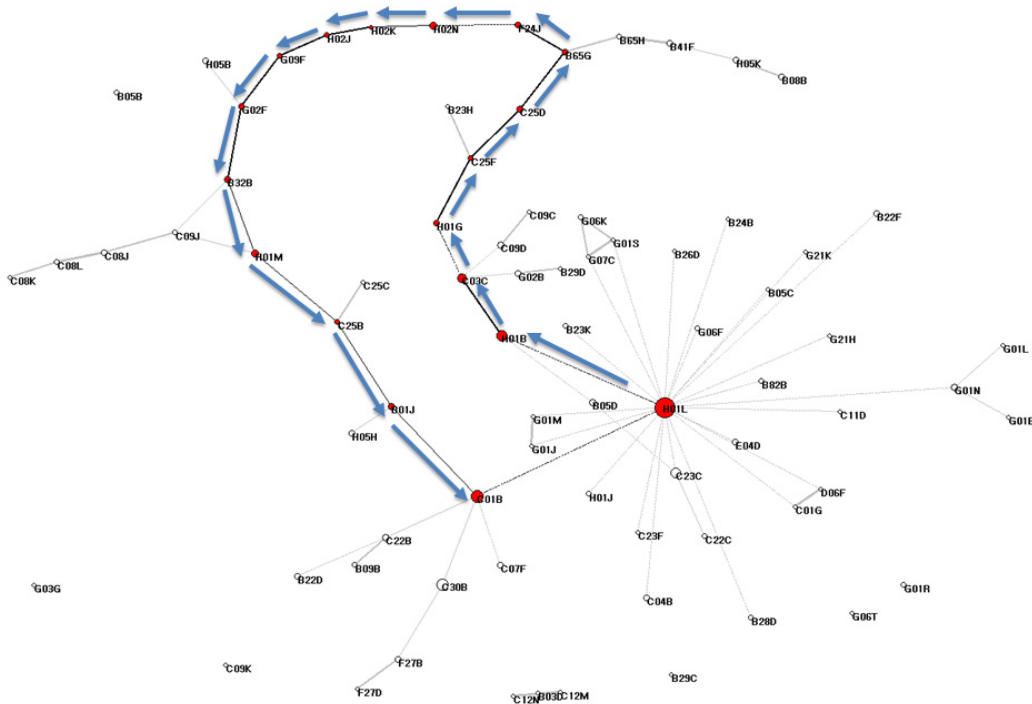
2. 가시화 알고리즘

앞서 소개한 기술연관맵을 통해 전반적인 기술 내용 및 세부기술간 연관관계를 파악하는 것은 가능하지만, 노드가 많으면 많을수록 노드 간 연결이 복잡해져 한눈에 기술의 관

계 및 핵심을 가로지르는 기술 경로 등을 파악하는 것은 어려움을 알 수 있다. PFNet 알고리즘(Schvaneveldt 1990)은 복잡하게 연결된 네트워크를 최대한 단순화 시켜 경로를 파악하기 쉽게 하는 데에 사용된다. PFNet 알고리즘에서는 파라미터 값의 조절을 통해, spanning tree를 생성해 낼 수 있다. Spanning tree란 각 노드를 연결한 최대한 단순화된 tree 형태의 경로를 생성하는 것을 말하며, 본 연구에서 목적하고 있는 기술경로(기술을 관통하고 있는 핵심 기술 경로)를 파악하기 위한 전처리 과정으로 활용하기에 적합한 가시화 알고리즘이라고 할 수 있다. PFNet 알고리즘을 포함하여 본 연구에서 제안된 핵심 기술경로맵 구성(가시화) 알고리즘에 대한 설명은 다음과 같다.

1) 알고리즘 1 : 시작 노드와 끝 노드의 선정 및 Long closed loop 찾기

핵심기술경로맵은 기술의 main 흐름을 나타내는 뼈대(bone) 노드와 주변 기술을 의미하는 가지(branch) 노드들을 연결한 형태로 나타낸다. 뼈대(bone)의 시작 노드는 가장 영향력이 큰 “H01L” 노드, 끝 노드는 그 다음으로 영향력이 큰 “C01B” 노드로 선정한다. 이렇게 해당 기술 분야에서 핵심 기술경로맵을 구성하는 시작 노드와 끝 노드를 해당 기술 분야에서 영향력이 가장 큰 IPC 로 정의하는 이유는 다음과 같은 두 가지 가설에 근거한다. 1) 가장 영향력이 큰 두 개의 IPC 분류는 해당 기술 분야의 가장 대표적인 세부 기술 분야를 나타낸다는 점에서 이 두 개의 노드와 관련된 주변기술을 살펴보는 것은 해당 기술 분야의 주요 기술을 빠르게 검토할 수 있다는 장점이 있다. 2) 시작 노드와 끝 노드를 세부 IPC 노드들로 연결하여 구성되는 경로는 시작 노드로부터 시작해서 끝 노드 기술을 개발하기 위한 기술적 연관관계, 즉 관련 기술들에 관한 정보를 제공하며, 그것이 충분히 많은 기술적 단계를 표현한다면, 그 경로는 해당 기술을 관통하는 기술 경로로 간주될 수 있다.



(그림 2) PFNet 알고리즘의 q 파라미터를 감소시켜가며 찾는 핵심 기술 경로 탐색

알고리즘 1 :

- 1) 가장 큰 노드(시작 노드)와 두 번째(끝 노드)로 큰 노드를 찾는다.
- 2) PFNet 알고리즘을 통해, 적당한 파라미터 q 값(예 q=10)을 부여하고 기술연관맵을 가시화한다.
- 3) q값을 줄여감에 따라 시작 노드와 끝 노드를 포함하는 closed loop의 개수는 점점 줄어들며, closed loop가 1개가 남을 때까지 q값을 줄여 나간다.

위와 같은 알고리즘을 적용했을 때, (그림 2)는 실리콘 기반 태양전지 기술 분야에 대해 q=5를 대입한 PFNet 적용, 기술연관맵이다. 그림에서 보이는 바와 같이 시작노드인 “H01L”에서부터 끝 노드인 “C01B”에 이르기까지 17개 단계를 거치며, ‘H01L’에서 ‘C01B’까지 이어지는 long closed loop가 형성됨을 알 수 있다. H01L부터 C01B까지 이어지는 18개의 노드로 구성되는 경로가 핵심기술경로맵의 뼈대(bone) 노드를 구성한다. 이 상태에서 가지를 선정하는 알고리즘2를 추가적으로 적용한다.

2) 알고리즘 2 : 가지(branch) 선정

뼈대 노드들은 위에서 설명한 것과 같이 총 18개의 노드, 17 단계로 정의되며, 뼈대 노드를 구성하는 18개의 노드별로, 뼈대노드를 제외한 가장 노드 사이즈가 큰 노드를 최대 2개씩까지 선정하여, 가지(branch) 노드로 선정한다. 가지노드를 선정하기 위한 기초자료가 되는 내용을 아래의 표에 나타내었다. 가지 노드의 선정 알고리즘은 다음과 같다.

알고리즘 2 :

- 1) 해당 뼈대 노드에 연결된 노드들 중에서 이전 뼈대 노드와 다음 뼈대 노드를 제외한 노드들에 대해 Record #를 조사한다.
- 2) 뼈대노드들을 구성하는 노드를 제외한 후보 노드들 중에서 Record#가 높은 순으로 최대 2개까지 branch노드로 선정한다.

<표 2> 가지(branch) 노드의 선정

No.	뼈대 IPC	가지 IPC 후보	Records(#)	선정 여부
1	H01L	C23C	44	0
		G01N	7	0
		E04D	3	
		B82B	2	
		
2	H01B	B05D	8	0
3	C03C	C09D	6	0
		G02B	5	0
4	H01G	-	-	-
5	C25F	B23H	1	0
6	C25D	-	-	-
7	B65G	B65H	2	0
8	F24J	-	-	-
9	H02N	-	-	-
10	H02K	-	-	-

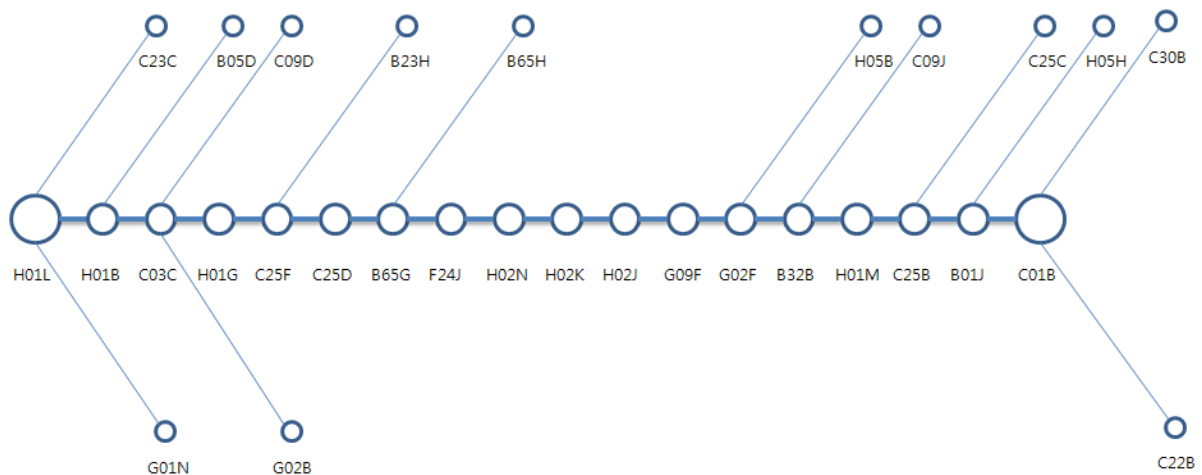
11	H02J	-	-	-
12	G09F	-	-	-
13	G02F	H05B	3	0
14	B32B	C09J	2	0
15	H01M	-	-	-
16	C25B	C25C	1	0
17	B01J	H05H	5	0
18	C01B	C30B	67	0
		C22B	7	0
		C07F	3	

3. 핵심기술경로맵(FISH-BONE맵)

1) 핵심기술경로맵의 생성

2-1)에서 구성된 뼈대(bone) 노드들과, 2-2)에서 선정된 가지(branch) 노드들을 핵심기술경로맵으로 표현한 그림은 (그림3)과 같다. 핵심기술경로맵을 통해 이용자는 실리콘 기반 태양전지 기술을 구성하는 핵심 기술들과 이들을 관통하고, 주변에서 도움을 주는 주변 기술들, 또한 그 관계들을 한눈에 파악하는 것이 가능하다.

핵심기술경로맵 상에 나타난 IPC Section은 뼈대 노드 및 가지노드에 H, C, B, F, G의 5개 섹션이 나타나고 있으며, branch 노드의 수는 총 13개이다.



<그림 3> 실리콘 기반 태양전지 분야의 핵심기술경로맵

2) 핵심기술경로맵 상의 IPC Section 분석 - 정보서비스 관점

핵심기술경로맵 상의 등장 IPC 섹션과 중요 subclass들에 대한 기술분류 정의를 파악하기 쉽도록 표로 표현하였으며, 핵심기술경로맵과 다음의 <표 3>을 함께 검토함으로써, 실리콘 기반 태양전지 기술의 중점, 주변 기술들에 대해 파악이 가능하다. 아래의 표에서 다수 IPC subclass를 선정하는 것 역시 해당 subclass의 등장 빈도, 즉 Record #에 근거하여 상위 3개까지 선정하여 보여준다.

<표 3> 실리콘 기반 태양전지 분야 핵심기술경로맵에 대한 다수 IPC subclass 정보

No.	빠대 IPC	다수IPC Subclass (7digits)	Description
1	H01L	-031 -021 -027	Semiconductor devices sensitive to infra-red radiation, light, electromagnetic radiation of shorter wavelength Processes or apparatus specially adapted for the manufacture or treatment of semiconductor Devices consisting of a plurality of semiconductor
2	H01B	-001 -013 -005	Conductors or conductive bodies characterised by the conductive materials Apparatus or processes specially adapted for manufacturing conductors Non-insulated conductors or conductive bodies
3	C03C	-008 -003 -017	Enamels ; Glazes cold glazes for ceramics Glass compositions glass batch compositions Surface treatment of glass, e.g. of devitrified glass
4	H01G	-009	Electrolytic capacitors, rectifiers, detectors, switching devices
5	C25F	-001	Electrolytic cleaning, degreasing, pickling, or descaling
6	C25D	-017 -011 -007	Constructional parts, or assemblies thereof, of cells for electrolytic coating apparatus Electrolytic coating by surface reaction, i.e. forming conversion layers Electroplating characterised by the article coated
7	B65G	-047 -017 -049	Article or material-handling devices associated with conveyers Conveyers having an endless traction element Conveying systems characterised by their application
8	F24J	-002	Use of solar heat, e.g. solar heat collectors distillation or evaporation of water using solar energy
9	H02N	-006	Generators in which light radiation is directly converted into electrical energy solar cells
10	H02K	-007	Arrangements for handling mechanical energy structurally associated with the machine
11	H02J	-007	Circuit arrangements for charging or depolarising batteries
12	G09F	-009 -013	Indicating arrangements for variable information Illuminated signs ; Luminous advertising
13	G02F	-001	Devices or arrangements for the control of the intensity, colour, phase, polarisation
14	B32B	-027 -037 -009	Layered products essentially comprising synthetic resin Methods or apparatus for laminating, e.g. by curing or by ultrasonic bonding Layered products essentially comprising a particular substance not covered by groups
15	H01M	-014 -002	Electrochemical current or voltage generators not provided for in groups Constructional details, or processes of manufacture, of

		-004	the non-active parts
16	C25B	-001	Electrodes electrodes for electrolytic processes
		-019	Electrolytic production of inorganic compounds or non-metals
17	B01J	-015	Chemical, physical, or physico-chemical processes in general physical treatment of fibres, threads, yarns, fabrics
		-037	Chemical processes in general for reacting gaseous media with non-particulate solids
			Processes, in general, for preparing catalysts ; Processes, in general, for activation of catalysts
18	C01B	-033	Silicon ; Compounds thereof
		-013	Oxygen ; Ozone ; Oxides or hydroxides in general
		-031	Carbon ; Compounds thereof

위와 같이 핵심경로맵에 등장하는 뼈대 노드와 가지 노드들에 대해서 중요한 subclass 들을 추가적으로 표시하여 정보 서비스할 수도 있지만, 해당 노드별로 다피인용 특허를 3 건씩 보여줄 수도 있다. 이는 본 연구에서 개발된 핵심경로맵 표현과 관련 정보 제공이 가능한 한 이용자들에게 해당 기술에 대한 핵심, 주변, 공백 기술을 파악하기 위한 기초 자료로 제공되고자 한다는 목적에 부합하도록 콘텐츠를 조합하여 제공할 수 있다는 뜻이다. 이에 정보서비스 관점에서는 소위 “리스트 더 보기” 등의 기능을 추가함으로써, 좀 더 자세한 특허 현황 정보를 원하는 이용자들에게 차별화된 서비스를 제공할 수 있도록 시스템이 구현될 수도 있음을 의미한다.

III. 결론

본 연구에서는 실리콘 기반 태양전지 분야에 대한 특허 데이터 세트를 기반으로 기술연관맵 분석과 핵심기술경로맵 생성 및 정보서비스 방안에 대해 제안하였다. 세부 기술 분야를 표현하는 데에 있어서 IPC 분류체계(4 digits, 7 digits)는 태양전지 분야 기술 파악에 있어서, 적용 가능하며, 기술연관맵과 핵심기술경로 맵의 노드로 표현되는 데에 적용 가능하였다. 특히, 기술을 관통하는 핵심 기술경로맵을 생성하고, 정보서비스 하기 위한 가시화 알고리즘이 제안되었으며, 이를 활용하여 실리콘 기반 태양전지 분야의 핵심기술경로맵이 제시되었다. IPC 주요 섹션으로는 H, C, B, F, G 등이 참여되었으며, 이를 통해 실리콘 기반 태양전지가 반도체 기반 기술(H section)로부터 소재기반 기술(C section)까지 어떠한 기술 경로를 통해 연관되어 있는지 파악이 가능하였다. 이러한 측면에서 다양한 검증이 추가적으로 요구되기는 하지만, 제안된 알고리즘과 가시화 방안이 태양전지 분야 뿐 아니라, 다양한 기술 분야에서 적용 가능할 것이라는 가능성을 확인하였다. 또한, 핵심 기술경로맵 상의 노드들에 대해, 세부 IPC subclass(7 digits), 해당 노드별 핵심 특허 제목 등을 추가적으로 제공함으로써, 정보서비스 관점에서 이용자에게 더 많은 정보를 제공할 수 있는 방안이 제안되었다. 향후, 다양한 태양전지 종류별로 핵심 기술 경로를 파악하고, 또, 시간적으로 핵심기술경로맵이 어떻게 진화하는 지 등을 파악

하는 연구 등이 도전할 연구 분야로 남아있다.

참고문헌

- Krafft, J. and Quatraro, F. (2011), The dynamics of technological knowledge: from linearity to recombination, in Antonelli, C. (ed.), Handbook on the Economic Complexity of Technological Change, Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Krafft, J., Quatraro, F., and Saviotti, P.P. (2011), The knowledge-base evolution in biotechnology: a social network analysis, Economics of Innovation and New Technology, 20(5) 445-475, 2011.
- Leydesdorff, L. (2008), Patent classification as indicators of intellectual organization, Journal of the American Society for Information Science and Technology, 59(10) 1582-1597, 2008.
- Schvaneveldt, R. W. (Ed.) (1990) Pathfinder Associative Networks: Studies in Knowledge Organization. Norwood, NJ: Ablex.
- Thomas, M.J. Fruchterman, and Edward M. Reingold(1991), Graph Drawing by Forced-directed Placement, SOFTWARE—PRACTICE AND EXPERIENCE, 21(1 1) 1129-1164, 1991.
- Fleming, L. and Sorenson, O., Science as a map in technological search, Strategic Management Journal, 25(8-9) 909-928, 2004
- KISTI, KnowledgeMatrixTMUserManual(2008).