

녹색 분야 키워드 정보를 이용한 녹색기술 분야 네트워크 분석 (2006년 이후 녹색기술 관련 정보를 중심으로) Network Analysis of Green Technology using Keyword of Green Field

정대현, 권오진, 권영일
한국과학기술정보연구원

Dae-hyun Jeong(gregori79@kisti.re.kr), Oh-jin Kwon(dbajin@kisti.re.kr),
Young-il Kwon(ylkwn@kisti.re.kr)

요약

본 연구는 녹색기술 분야의 지식지도를 구축하고 국내의 녹색기술 정보를 시계열로 비교 분석하여 녹색기술에 대한 연구동향을 파악하고 향후 녹색기술 분야에서 활발하게 연구될 영역을 확인하고자 하였다. 이를 위해 한국과학기술정보연구원에서 운영 중인 녹색기술정보포털 (www.gtnet.go.kr)에서 제공하고 있는 녹색기술 정보의 키워드를 대상으로 네트워크 분석을 수행하였다. 네트워크 분석은 키워드를 이용하여 수행하였으며, 이를 시기별로 나누어 연구주체의 변화를 확인하였다. 그 결과 전체 영문 키워드 중 상위 100대 키워드에 대한 네트워크 분석 결과 주로 태양광 에너지, 바이오매스 등 재생에너지 관련 분야의 중심성이 높은 것으로 나타났다. 또한 년도별 주요 키워드에 대한 추세를 살펴보았을 때, Solar Cell, Nanotechnology, Smart Grid, Fuel Cell 등의 중심성이 증가하고 있는 것으로 나타나, 재생 에너지의 생성 및 활용 분야에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있는 것으로 나타났다.

■ 중심어 : | 녹색기술 | 네트워크 분석 | 연결 중심성 |

Abstract

In this study, the trend in green technology was observed and the domain of the green technology area that will be actively studied in the future was found by establishing knowledge map in green technology area and comparing and analyzing green technology information in Korea and overseas in time series. For the purpose of this study, network analysis was conducted for the keyword of green technology information provided by green technology information portal site (www.gtnet.go.kr) operated by Korea Institute of Science and Technology Information. Network analysis was conducted using keyword, and change of study subject was found by dividing the analysis result into periods. In the result of network analysis on top 100 keywords from total English keyword, it was found that renewable energy related areas such as solar energy and biomass had high centrality. When the main keyword trend by year was studied, centrality of solar cell, nanotechnology, smart grid, and fuel cell were found to increase, showing that research and development in generation and use of renewable energy are actively made.

■ keyword : | Science Technology | Network Analysis | Connection Centrality |

* 본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구결과임(NRF-C1AAA002-2012-0001006)

접수번호 : #120919-006

심사완료일 : 2012년 10월 22일

접수일자 : 2012년 09월 19일

교신저자 : 권영일, e-mail : ylkwn@kisti.re.kr

I. 서론

전 세계적인 에너지 수요 증가, 화석연료의 고갈 및 기후변화 협약에 대응하기 위해 저탄소 녹색성장이 새로운 국가발전 패러다임으로 대두되고 있다. 녹색기술이란 온실가스 감축기술, 에너지 이용 효율화 기술, 청정생산기술, 청정에너지 기술, 자원순환 및 친환경 기술(관련 융합기술을 포함) 등 사회·경제 활동의 전 과정에 걸쳐 에너지와 자원을 절약하고 효율적으로 사용하여 온실가스 및 오염물질의 배출을 최소화하는 기술(저탄소 녹색성장 기본법 제2조제3호, 특허법시행령 제9조제2호)를 의미한다. 이에 따라 정부에서는 지속가능한 개발을 목표로 저탄소 녹색성장을 지원하기 위해 녹색기술 연구개발 종합대책을 수립하여 녹색기술 27대 중점기술을 선정하고 기술 개발을 위해 노력하고 있다. 국내 기업 역시 녹색기술의 필요성과 잠재력을 인지하고 전기자동차, 태양전지, 연료전지 등의 산업에 뛰어들고 있다[1][2]. 또한 녹색기술은 녹색기술 간 융합화가 활발히 이루어지고 있는 분야로 재생에너지원 개발, 전기자동차 배터리팩을 활용한 스마트그리드 구축, 나노기술을 활용한 태양전지 개발 등이 전 세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 특히 전기자동차는 기존 전력망에 있어 상당한 전력부하를 필요로 하기 때문에, 전기자동차 시장 형성에 따른 다양한 범위의 스마트 그리드 기술들이 개발되고 있다. 태양전지의 경우 탄소나노튜브를 이용한 박막태양전지 기술 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 이러한 나노기술은 박막태양전지 분야의 제조비용을 줄이고, 에너지 용량을 크게 늘릴 것으로 기대되고 있다[3].

기존에 연구동향을 파악하는 방법으로는 논문의 서지 정보(SCI, Scopus 등)를 활용하였으며, 논문에서 키워드를 추출하여 동시발생 키워드 분석을 하거나 논문 인용정보를 이용한 동시인용 분석이 수행되었다. 국내의 경우 의학분야에 있어서 논문 키워드 분야를 추출하여 네트워크 분석을 통해 연구동향을 파악한 예가 있었으나, 녹색기술 분야에서 녹색기술 관련 기사에 대한 키워드를 활용한 연구동향을 파악한 예는 없었다[4-8]. 정보 사이트에서 제공하는 정보는 전 세계에서 쏟아져

나오고 있는 최신 녹색기술 동향에 대해 가장 신속하게 제공한다는 점에서 논문 키워드 보다 신속하게 동향을 파악하는데 있어 효율적이다.

따라서 본 연구에서는 기존에 연구되었던 논문에 나타난 키워드 정보가 아닌 녹색기술정보포털에서 제공하고 있는 최신 녹색기술 정보 중 영문 키워드를 통해 네트워크 분석을 수행하고 전 세계 녹색기술 동향을 파악하여, 녹색기술 간 융합관계를 분석하였다.

II. 분석방법

1. 분석자료

한국과학기술정보연구원에서 운영 중인 녹색기술정보포털(www.gtnet.go.kr)은 녹색기술 관련 해외에서 발간하고 있는 잡지의 기사들을 요약하고, 요약된 기사에 대해 한글키워드, 영문 키워드를 부여하여 서비스하고 있다. 한글 및 영문 키워드 작성 프로세스는 다음과 같다.



그림 1. 키워드 작성 프로세스

본 연구에서는 해외 잡지 정보들에 대한 영문 키워드를 중심으로 분석을 수행하였다. 키워드 추출에 이용된 전체 기사건수는 2006년 1월1일부터 2012년 8월12일까지 총 16,542건의 녹색기술 정보데이터를 이용하였으며, 이를 통해 영문 키워드 25,068건을 추출하여 분석하였다. 영문 키워드 상위 10대 순위는 다음과 같다[10].

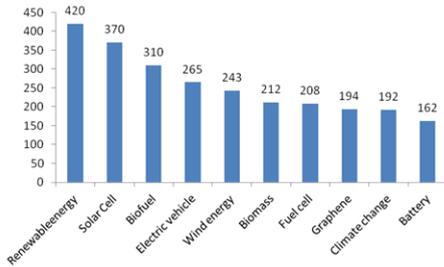


그림 2. 영문 키워드 상위 10개

2. 녹색기술정보포털 (GTNet, www.gtnet.go.kr)

“녹색기술정보포털 (GTNet, www.gtnet.go.kr)”은 녹색성장기본법 제26조 1항에 의해, 한국과학기술정보연구원 (KISTI)이 교육과학기술부, 녹색성장위원회의 지원으로 녹색관련 기술, 산업·시장, 정책, 국가 R&D 정보를 제공하고, 녹색기술 전문가 커뮤니티를 활성화하기 위해 구축되었다. 녹색성장위원회를 중심으로 KISTI, KISTEP, 에너지기술연구원, 에너지기술평가원 등 10개 정보협력 연계기관은 녹색기술 정보 교류·협력을 위한 MOU를 체결하고, 녹색기술정보포털을 통해 정보를 종합·제공함으로써, 정부, 연구기관, 기업의 전문가 및 일반인에게 녹색기술정보를 제공하고 협력을 도모하고 있다[9].

3. 분석방법

선정된 키워드를 대상으로 분석하기 위해 사회 네트워크 분석 소프트웨어인 NetMiner 3.0을 사용하였다. NetMiner는 소셜네트워크 분석(Social Network Analysis)을 이용한 연구/학습 및 전문적인 분석을 위해 사이람(cyram)이 개발한 소프트웨어이다. 특히, 소셜네트워크 분석 방법론과 최신의 네트워크 시각화 기술이 포함되어 있으며, 사용자들이 네트워크 데이터와 분석·시각화 결과물을 유연하게 활용하여 탐색적 분석을 효과적으로 수행할 수 있다[10]. 이를 통해 네트워크 구축은 녹색기술정보포털에 등록된 정보의 키워드를 노드로 하고 서로 다른 기사에 동일한 키워드가 출현하는 경우 이들 키워드 사이에 연결이 있는 것으로 간주하여 키워드 간 매트릭스를 구축하였다. 이러한 네트워크 내의 핵심 키워드 변화를 관찰하기 위해 중심성

지수 중 연결 중심성 (Degree Centrality) 지수를 사용하였다. 본 연구는 미시적 수준에서의 분석요소를 중심으로 살펴볼 예정인 바 중심성이라는 지표를 중심으로 분석하였다. 네트워크 중심성 분석은 노드간의 연결 정도 중심성 (Degree Centrality), 인접 중심성 (Closeness Centrality), 매개 중심성 (Betweenness Centrality)으로 나누어진다. 연결정도 중심성이란 한 노드가 네트워크에서 얼마나 중심에 위치하는지에 대한 정도를 측정하는 방법으로, 네트워크를 구성하는 어느 하나의 노드와 이것과 직접적으로 연결된 다른 노드들과의 연결 정도를 측정하여, 연결된 노드가 많고 적음이 절대적인 기준이 된다. 즉, 각각의 노드가 네트워크에서 얼마나 중심에 위치하는지를 알아보는 기법으로, 두 노드의 연결 방향성에 따라 내향 중심성 (In-Degree Centrality) 분석과 외향중심성 (Out-Degree Centrality) 분석으로 나누어지는데, 이를 수식화하면, 임의의 노드인 p_k 에서 연결중심성 $D_c(p_k)$ 는 p_k 에 인접하는 다른 노드들의 합으로 아래와 같이 계산할 수 있다. 여기서, $(p_i, p_k)=1$ 은 p_i 와 p_k 가 연결된 경우를 의미하고 $(p_i, p_k)=0$ 은 그렇지 않은 경우를 의미한다.

$$D_c(p_k) = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot p_k}{n - 1}$$

한편 인접 중심성이란, 네트워크상에서 직접적이건 간접적이건 다른 노드와의 근접성을 의미하는 것으로 정보의 접근성 정도를 분석하는 방법으로 활용되며, 네트워크의 한 노드를 비롯하여 모든 노드의 최단거리의 총합으로 측정된다. 즉, 연결중심성과는 달리 직접적으로 연결된 노드 외에 네트워크 내에서 간접적으로 연결된 모든 노드간의 거리를 합산하여 중심성을 측정하는 특징을 가진다. 경로 거리의 합이 가장 작은 노드가 전체 중심성이 가장 높으며, 네트워크의 중심을 차지하는 노드로 해석할 수 있는데, 네트워크의 구조적 특징으로 인해 집단내 다른 노드와 최단 경로로 접근할 수 있고 정보의 흐름을 모니터링 할 수 있음을 의미한다. 이를 수식화하면, 인접중심성 C_c 는 노드간의 최단 거리의

합을 역수의 개념으로 사용하여 아래와 같이 계산할 수 있다. 여기서 $d(p_i, p_k)$ 는 p_i 와 p_k 를 잇는 최단선의 거리를 의미한다.

$$C_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^n d(p_i, p_k)}$$

마지막으로 매개 중심성이란 한 노드의 중심성을 측정하는 연결정도 중심성 분석과 달리, 네트워크를 구성하는 한 노드와 다른 노드를 연결시키는 특정 노드의 매개 정도로 중심성을 측정하는 기법인데, 특정 노드의 매개성은 그 노드를 제외한 다른 모든 노드의 쌍들간 최단거리 수와 실제 최단거리에 특정 노드가 존재하는 수의 비율을 표현한다. 즉, 매개 중심성은 다른 노드들 사이에서 매개 역할을 담당하는 정도를 측정하는 것으로, 이를 수식으로 표현하면 아래와 같다. 여기서 $i < j$ 를 의미하며 $b_{ij}(p_k) = d_{ij}(p_k)$ 로서, 분모는 p_i 와 p_j 를 연결하는 최단선의 개수이고 분자는 p_k 를 포함하면서 p_i 와 p_j 를 연결하는 최단선의 개수를 의미한다.

$$B_c(p_k) = \frac{2 \sum_i^n \sum_j^n b_{ij}(p_k)}{n^2 - 3n + 2}$$

연결정도 중심성은 조직 내 네트워크에서 중심적인 역할을 수행함을 의미하는 반면, 인접 중심성은 네트워크의 총체적인 측면에서 직간접적인 관계의 정도를 의미하고 매개중심성은 정보 흐름을 매개하는 통제 측면을 의미한다[11-16].

III. 결과

1. 전체 키워드 네트워크 분석

전체 25,036개의 영문 키워드 중 상위 100개를 기준으로 네트워크를 구성하였다. 그 결과 Renewable energy, Biomass 등 에너지 분야와 전기자동차 및 나노 기술에 대한 키워드가 연결 중심성이 높은 것으로 나타났다.

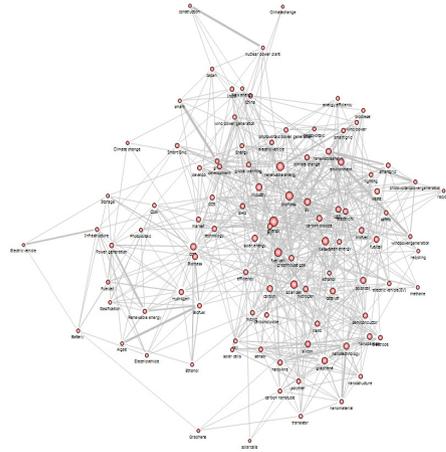


그림 3. 상위 100대 키워드 네트워크 분석

표 1. 상위 10대 영문키워드 연결 중심성

영문 키워드	연결 중심성
Renewable energy	0.39
Biomass	0.32
Fuel cell	0.30
Battery	0.29
Solar cell	0.28
Electric Vehicles	0.25
CO ₂	0.24
Nano technology	0.21
LED	0.20
Smart grid	0.13

또한 절삭값(Threshold) 10을 기준으로 하여 키워드 간 네트워크 구조를 간단히 도식화 하면 [그림 3]과 같이 그래핀, 나노와이어, 탄소나노튜브를 중심으로 한 나노 기술은 태양전지와 연계되어 기술 개발이 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 태양전지, 풍력에너지, 바이오매스, 폐기물 등 재생에너지 생성과 이를 활용하기 위한 전기자동차, 배터리, 연료전지, 스마트 그리드 등이 강하게 연계되어 있는 것으로 나타났다. 이는 전체 녹색기술에 있어서 에너지원이 가장 중요한 핵심 키워드로 에너지원을 개발하기 위한 다양한 기술개발이 이루어지고 있는 것으로 분석되었다.

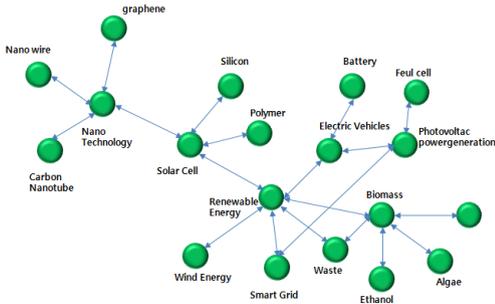


그림 4. 주요 키워드간 연계 현황 (10이상 절삭)

2. 전체 키워드 네트워크의 변화

2010년에서 2012년까지의 영문키워드에 대한 네트워크 밀도는 0.118로 2006년에서 2009년까지의 영문 키워드간 네트워크 밀도인 0.058에 비해 2배 가량 높은 것으로 나타나, 녹색기술 분야에서 기술 간 연결정도가 강화되고 있는 것으로 나타났다. 이는 점차 녹색기술 분야에서 다양한 기술을 적용한 융합적 측면이 강한 기술이 개발되고 있다는 것으로 분석되었다. 네트워크 연결강도가 10 이상인 값을 절삭하여 분석한 결과, 2006년에서부터 2009년 동안 보다 2010년 이후 Renewable Energy를 중심으로 Solar Cell, Bio mass, Smart Grid, Electric Vehicles 등의 연계가 강화되고 있는 것으로 나타났다. 이는 현재 전 세계적으로 진행되고 있는 재생에너지 생성 및 전기자동차 배터리를 활용한 스마트 그리드 개발, 나노 기술을 활용한 박막 태양전지 개발 등이 정확하게 반영된 것으로 분석된다.

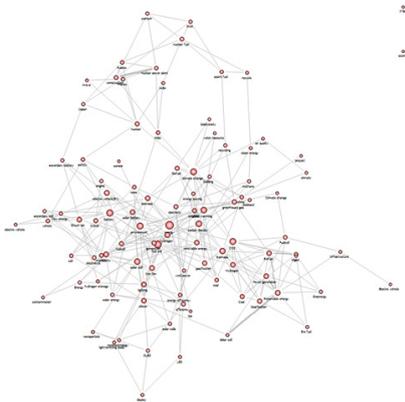


그림 5. 2006-2009년 영문 키워드 네트워크 (네트워크 밀도: 0.058)

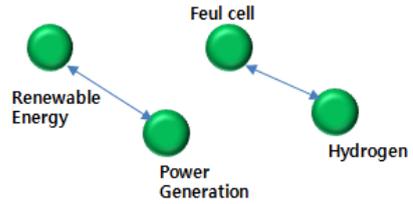


그림 6. 2006-2009년 영문 키워드 네트워크 (10이상 절삭)

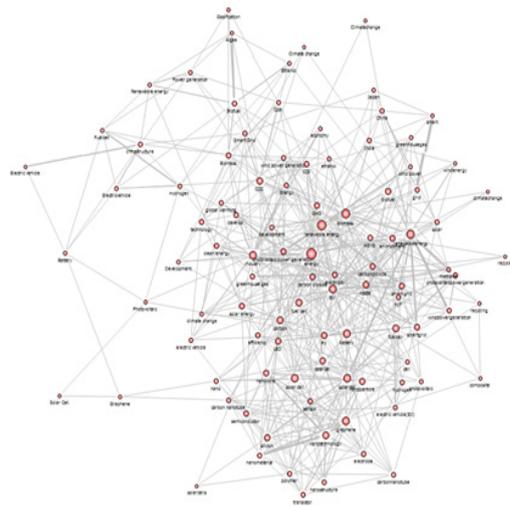


그림 7. 2010-2012 영문 키워드 네트워크 (네트워크 밀도: 0.118)

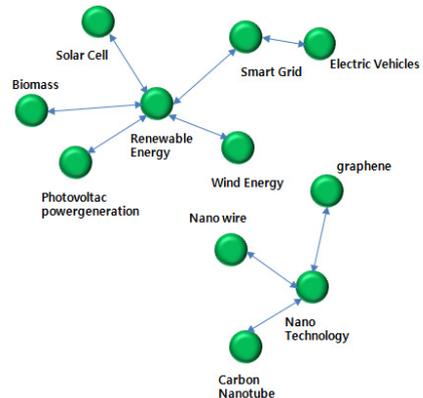


그림 8. 2010-2012 영문 키워드 네트워크 (10이상 절삭)

3. 주요 키워드 추세 변화

녹색기술 분야 주요 키워드의 추세를 분석하기 위해 [표 1]에서 나타난 것처럼 키워드 중 중심성이 높은 상위 10개 키워드에 대해 연도별로 분석하였다. 분석 방법은 연도별로 키워드에 대한 중심성 변화를 회귀분석을 통해 분석하였으며, R^2 값이 0.6 이상으로 연도별 변화 추세가 타당하다고 인정되는 값 중 P-Value값이 95% 수준에서 유효한 값에 대해 분석하였다.

그 결과 [표 2]에서와 같이 전반적으로 상위 10대 키워드 중 연도별로 중심성값이 증가하고 있는 키워드는 Biomass, Fuel Cell, Solar Cell, Nanotechnology, Smart Grid 등인 것으로 나타났다. 전체적으로 살펴보았을 때 바이오 에너지, 연료전지, 태양전지 등 주요 재생에너지 분야의 중심성이 지속적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 이를 활용하기 위한 스마트 그리드 기술과 태양전지 분야에서 활용되는 나노 기술 역시 증가하고 있는 것으로 나타났다.

표 2. 녹색기술 키워드의 중심성 기울기

Keyword	R^2	P	F	기울기
Biomass*	0.63	0.03	8.43	0.02
Fuel cell*	0.64	0.03	9.61	0.02
Solar cell*	0.84	0	26.39	0.03
Nanotechnology*	0.85	0	28.88	0.03
Smart Grid*	0.71	0.02	12.4	0.02
Renewable Energy	0.55	0.06	6.14	0.04
Battery	0.36	0.16	2.77	0.02
Electric Vehicles	0.15	0.4	0.86	0
CO ₂	0.35	0.16	2.66	0.01
LED	0.24	0.26	1.59	0.01

* 신뢰도 95% 수준에서 유효한 데이터

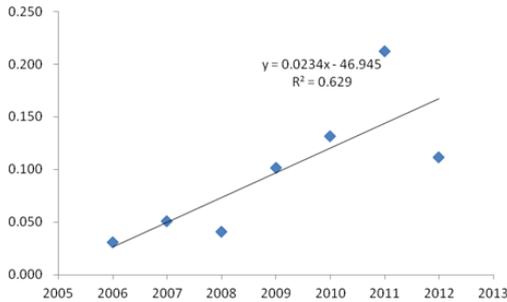


그림 9. Biomass 추세선

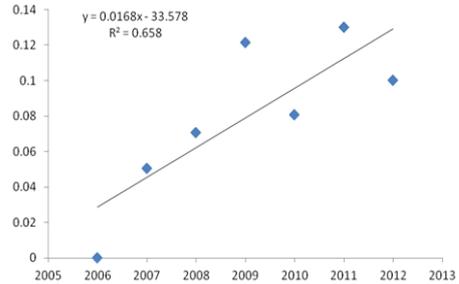


그림 10. Fuel cell 추세선

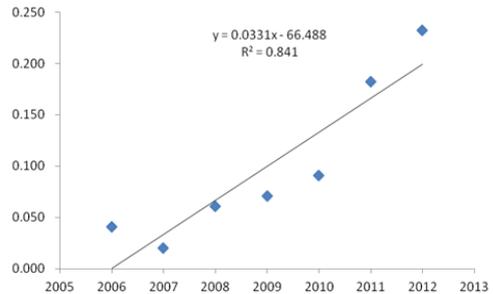


그림 11. Solar cell 추세선

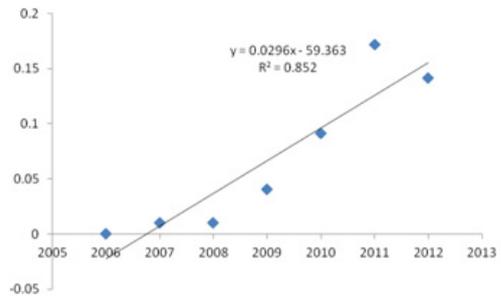


그림 12. Nanotechnology 추세선

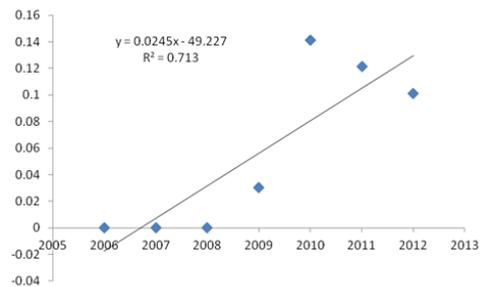


그림 13. Smart Grid 추세선

IV. 결론 및 제언

녹색기술 분야의 키워드 분석을 통하여, 녹색기술에 대한 최신 주제를 살펴보고, 이를 지식지도로 작성하였으며, 주요 키워드에 대한 시계열적인 네트워크 분석을 통해 전 세계적으로 진행 중인 연구 주제를 확인할 수 있었다. 그 결과 전 세계적으로 녹색기술 관련 연구는 에너지 분야에 대해 초점이 맞추어져 있으며, 이를 통한 에너지 활용 및 저장 분야 역시 중요시 되고 있는 것으로 나타났으며, 대표적인 기술로는 스마트 그리드 등이 현재 녹색기술 분야에 있어 매우 활발히 진행 되고 있는 것으로 나타났다. 특히, Renewable Energy, Solar Cell, Nanotechnology 분야에 대한 키워드의 증가율이 다른 키워드에 비해 높게 나타났으므로, 향후 재생에너지 분야 중에서, 나노 기술을 적용한 태양전지에 대한 기술 개발이 활발히 진행 될 것으로 예상된다. 또한 이러한 결과는 녹색기술 관련 연구자나 정책 입안자에게 연구 방향이나 연구개발 투자를 위한 객관적인 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 주요 키워드에 대한 연도별 중심성 변화 차이가 그리 크지 않은 것으로 나타났는데, 이는 녹색기술이라는 개념이 등장한 시점이 얼마 되지 않기 때문으로 판단된다. 이에 따라 해당 키워드에 대한 지속적인 모니터링을 통해 이를 검증할 필요가 있다. 또한 키워드에 대한 네트워크 분석 결과가 정책적 차원의 연구개발 사업 방향을 제시하기 위한 하나의 방법론으로 활용하기 위해서는 녹색 기술 분야 전문가들의 검증을 통해 키워드에 대한 객관성을 확보할 필요가 있다. 따라서 향후 녹색기술 분야에 있어서 주요 키워드에 대한 전문성을 확보하기 위한 장치와 키워드에 대한 신뢰성이 확보 된다면, 녹색기술 분야에서 연구방향을 제시할 수 있는 주요 지표 개발이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 홍미영, 황기하, 홍정석, 이경재, *중점녹색기술 기술수준 현황과 시사점*, 한국과학기술기획평가원, 2011.

[2] 윤병운, *특허데이터를 활용한 녹색기술의 기술 파급 분석*, 동국대학교, 2011.

[3] <http://www.gtnet.go.kr>

[4] 유소영, 이재운, “학제적 분야의 정보서비스를 위한 학술지 인용분석에 관한 연구: Y대 학교 생명공학과를 중심으로”, *정보관리학회지*, 제25권, 제4호, pp.284-291, 2008.

[5] 여운동, 손은수, 정의섭, 이창환, “국가적 차원의 유망연구영역 탐색: Scopus 데이터베이스를 이용한 과학계량적 접근”, *정보관리학회지*, 제39권, 제3호, pp.95-113, 2008.

[6] 송충한, *국가 전략 기초연구분야 도출 및 미래유망 우수과학자 선정 지원 방안 마련을 위한 연구*, 한국연구재단, 2010.

[7] Cambriso, Alberto, Keating, Peter, Mercier, Simon, Lewison, Grant and Mogoutv, Andrei, “Mapping the emergence and development of transtional cancer research,” *European Journal of Cancer*, Vol.42, pp.3140-3148, 2006.

[8] 장혜란, 강길원, 이은정, 김승렬, 이영성, “암유전자 연구주제 네트워크 분석”, *기술혁신학회*, 제15권, 제2호, pp.369-399.

[9] M. H. Suh, “A Study on Service Enhancement using Information Demand Analysis of Green Technologies,” *Korea Society for internet information*, Vol.13, pp.117-124, 2012.

[10] 김기훈, *NetMiner를 이용한 소셜 네트워크 분석(SNA)*, 사이람, 2010.

[11] I. Y. Choi, Y. S. Lee, and J. K. Kim, “A Usage Pattern Analysis of the Academic Database Using Social Network Analysis in K University Library,” *Journal of information management*, Vol.27, pp.25-40, 2010.

[12] T. H. Kim, “A Study on the Effect of Evaluators’ Network on the Efficiency of Nuclear Program in Korean R&D Program,” *Journal of innovation*, Vol.14, pp.794-816, 2010.

[13] S. H. Lee, J. S. Sim, and S. Y. Kim,

“Information Resource Analysis and Development Strategies of Portal,” Journal of Agriculture & Life Science, Vol.42, pp.45-56, 2006.

[14] 손동원, *사회네트워크 분석*, 경문사, 2010.

[15] 이일환, 양해영, 정상기, “지식맵 분석을 통한 녹색기술분야 연구네트워크 분석”, 대한기계학회, 제1권, pp.4607-4612, 2010.

[16] H. J. Kwon, K. R. Noh, B. R. Lee, B. R. Koh, and T. H. Moon, “Measurement convergence intensity between technology fields by analysis of betweenness centrality,” Journal of Korea Contents Conference, Vol.1, pp.1-5, 2007.

권 영 일(Young-il Kwon)

정회원



- 1986년 2월 : 성균관대학교 대학원 졸업(공학석사)
- 2001년 8월 : 성균관대학교 대학원 졸업(공학박사)
- 1991년 ~ 2000년 : 산업기술정보원(KINITI) 책임연구원

▪ 2001년 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원(KISTI) 책임연구원

<관심분야> : 계량정보분석, 유망기술 발굴, 녹색기술 분석, 텍스트마이닝

저 자 소 개

정 대 현(Dae-hyun Jeong)

정회원



- 2006년 2월 : 숭실대학교 환경화학공학과(공학사)
- 2009년 8월 : 한양대학교 신소재공학과(공학석사)
- 2011년 8월 ~ 현재 : 한국과학기술정보연구원 프로젝트 연구원

<관심분야> : 과학계량학, 녹색기술분석

권 오 진(Oh-jin Kwon)

정회원



- 2009년 8월 : (공학박사) 서울시립대학교 대학원 졸업
- 현재 : 한국과학기술정보연구원 기술정보분석실 실장 재직 중

<관심분야> : 과학계량학, 정보분석 시스템, 지식과학, 정보 구조화 등