

특허의 토픽 진화분석을 통한 에너지 하베스팅 기술 발전 경로 추적*

김유성** · 최재웅*** · 윤장혁****

- | | |
|--------------|---------------------|
| I. 서론 | 2. 토픽 진화분석 |
| II. 에너지 하베스팅 | V. 결과 |
| III. 데이터 | 1. 에너지 하베스팅 기술요소 정의 |
| IV. 방법론 | 2. 에너지 하베스팅 기술 진화 맵 |
| 1. 토픽 모델링 | VI. 토의 및 결론 |

* 본 논문은 특허청이 주최하고 한국지식재산연구원에서 주관한 제15회 대학(원)생 지식재산 우수논문공모전(2020) 대학생 부문 장려상 수상작을 일부 수정·보완한 글입니다.

** 건국대학교 산업공학과 학사과정생.

*** 건국대학교 산업공학과 석박사통합과정생.

**** 건국대학교 산업공학과 교수, 교신저자.

초록

에너지 하베스팅 기술은 주변에 소실되는 에너지를 사용 가능한 전력 형태로 변환하는 친환경적인 에너지 생산 방식으로, 환경적·기술적 필요성 아래에 많은 관심을 받고 있다. 반면, 에너지 하베스팅 기술의 발전 흐름이나 동향에 대한 계량적 분석 연구는 적은 관심을 받고 있으며, 소수의 선행 연구들은 특정 기술에너지원, 변환방식 관점에서의 제한적인 기술 동향을 다루었다. 본 연구는 전체적인 에너지 하베스팅 기술에 관련된 대량의 특허 데이터를 기반으로, 전반적인 에너지 하베스팅 기술의 발전 동향을 분석한다. 본 연구는 특허 정보 기반의 토픽 진화분석을 통해, 시간에 따라 발전하는 에너지 하베스팅 기술을 계량적으로 분석한다. 구체적으로, 본 연구는 에너지 하베스팅 기술 특허에 토픽 모델링 기법을 적용하여 세부 기술요소를 정의한다. 다음으로, 기술요소 간 연계성 및 부상 시점을 특허 정보를 기반으로 계량화하고, 기술 진화 맵을 생성한다. 에너지 하베스팅 기술의 기술 진화 맵은 다양한 세부 기술요소들이 시간에 따라 등장하고 상호작용하며 발전하는 양상을 보여 준다. 분석결과를 통해, 에너지 하베스팅 기술이 초기에는 주변 에너지나 효율적인 변환방식에 관한 기술적 연구가 진행되었고, 최근에는 에너지 하베스팅 기술을 다른 분야에 활용하기 위한 응용 연구가 진행된 것을 확인하였다. 본 연구의 분석결과를 통해, 에너지 하베스팅 연구자들과 정책 입안자들은 에너지 하베스팅 기술 발전 동향을 이해하고, 최근 발전 양상까지 모니터링할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어

특허 분석, 토픽모델링, 토픽 진화 분석, 기술 발전 경로, 에너지 하베스팅

I. 서론

에너지 하베스팅(Energy Harvesting)은 주변 환경으로부터 활용되지 않고 소실되는 에너지를 포착 및 수집하여, 전력 동력원을 확보하는 일련의 과정이다.¹⁾ 에너지 하베스팅 기술은 일회성으로 사용되는 기존의 화석 연료와 달리, 지속적으로 사용 가능한 친환경적 에너지원을 생산하는 기술로써 많은 기술적 관심을 받아 왔다.²⁾ 또한 지속적인 에너지 공급이 필수적인 사물 인터넷과 같은 첨단 기술 분야에서도 에너지 하베스팅 기술은 효율성 및 비용 측면에서 획기적인 우수성을 보여 큰 주목을 받았다.³⁾ 최근의 에너지 하베스팅 기술 분야는 효율적인 에너지 변환방식 도출에서 사용 가능한 주변 에너지 발굴, 하이브리드 에너지 하베스터 개발, 단일 다기능 재료 개발 등의 형태로 다양하게 발전하고 있다.⁴⁾ 에너지 하베스팅 기술은 미래 발전 잠재성이 여전히 높고 응용 분야가 무궁무진하므로, 해당 기술에 대한 관심이 기업뿐만 아니라 국가적 차원에서 증가하고 있다. 실제 통계자료에 따르면, 2017년 기준 세계 에너지 하베스팅 시장의 규모는 연평균 28%의 성장률을 보이며, 2022년에는 약 50억 달러 규모로 성장할 것으로 예측된다.⁵⁾

이와 같이 에너지 하베스팅 기술의 연구적, 정책적, 환경적 중요성은 점차 증가하는 반면, 대량의 기술 문서의 계량분석을 통해 전반적인 기술 발전 과정을 파악한 연구는 미흡하다. 선행연구들은 에너지 하베스팅 분야의 산업 동향 혹은 기술 정책을 제안하는 데 있어서, 특정한 응용 분야, 변환방식,

1) 최성진, “에너지 하베스팅 기술과 전력전자”, 『전력전자학회지』, 제18권 제2호(2013), 31-36면.

2) Slabov, Vladislav et al., “Natural and eco-friendly materials for triboelectric energy harvesting”, *Nano-Micro Letters*, Vol.12 No.1(2020), p.42.

3) Kawabata, Hiroki et al., “Robust relay selection for large-scale energy-harvesting IoT networks”, *IEEE Internet of Things Journal*, Vol.4 No.2(2016), pp. 384-392.

4) Bai, Yang et al., “Energy harvesting research: the road from single source to multisource”, *Advanced materials*, Vol.30 No.34(2018), p.1707271.

5) Zervos, Harry et al., *Energy harvesting and storage 2014-2024: forecasts, technologies, players*, IDTechEx, Rep, 2014.

혹은 에너지 유형에 초점을 둔 정성적 분석결과를 제시하였다. 대표적인 예로 압전 에너지 하베스팅 분야에 대해서 기술 발전의 흐름에 대한 연구,⁶⁾ 진동 에너지를 활용하는 방법에 관한 연구⁷⁾ 등이 있다. 반면에 본 연구는 더 포괄적인 관점에서 에너지 하베스팅 분야의 세부 기술요소를 식별하고, 시간 흐름에 따라 발전하는 양상을 파악함으로써, 과거부터 최근까지의 에너지 하베스팅 기술의 발전 경로를 다루고자 한다. 이를 위해, 본 연구는 에너지 하베스팅 기술과 관련된 대량의 특허 문서를 기반으로 분석을 진행한다. 특허 데이터는 기술 동향 분석 및 특정 산업의 기술에 대한 세부 정보 및 기술 간의 연계성을 나타낼 수 있다.⁸⁾ 따라서 특허를 활용한 에너지 하베스팅 기술 분석은 해당 기술 전반에 걸친 세부 기술요소의 식별뿐만 아니라 기술 발전 흐름에 대한 정보도 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 분석 절차는 총 4가지 단계로 구성된다. 우선, 에너지 하베스팅 기술 분야와 관련된 등록 특허를 미국 특허청으로부터 특허 검색식을 통해 선별하여 수집한다. 수집된 특허의 텍스트 정보(제목, 초록)로부터 영문 키워드를 추출하여, 특허 문서를 벡터화한다. 다음으로, 구조화된 특허 문서에 토픽 모델링(Topic Modeling) 기법을 적용하여 에너지 하베스팅 분야의 세부 기술요소들을 파악한다. 상기 과정을 통해 식별된 세부 기술요소 간의 연관 관계를 인적 자원, 기술적 범위, 기술적 파급 관계 측면에서 정의한다. 마지막으로, 각 세부 기술요소의 부상 시점을 분야별 특허 인용 정보를 기반으로 식별하여, 최종적으로 기술 진화 맵을 생성한다.

본 연구의 주요 분석결과는 에너지 하베스팅 기술의 세부 기술요소, 시간에 따른 발전 경로, 세부 기술요소 간의 연관 관계를 담고 있다. 따라서 본

6) Toprak, Alperen & Tigli, Onur, "Piezoelectric energy harvesting: State-of-the-art and challenges", *Applied Physics Reviews*, Vol.1 No.3(2014), p.031104.

7) Khan, Farid Ullah & Qadir, Muhammad Usman, "State-of-the-art in vibration-based electrostatic energy harvesting", *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol.26 No.10(2016), p.103001.

8) Daim, Tugrul U. et al., "Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.73 No.8 (2006), pp.981-1012.

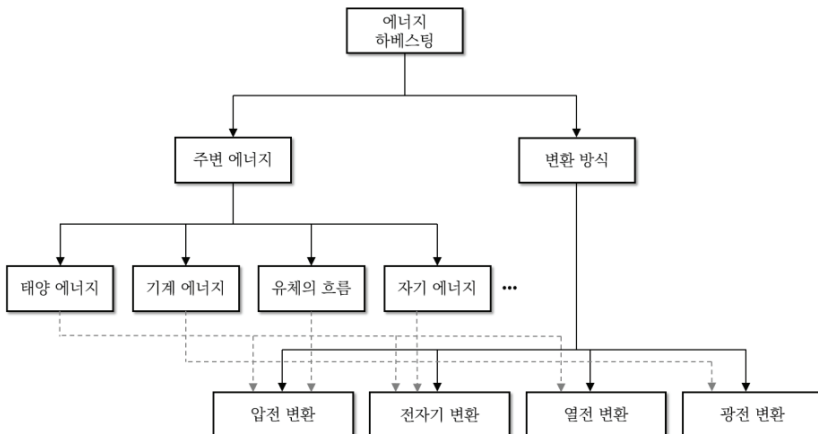
연구는 에너지 하베스팅 분야의 기업과 연구자들이 최근 발전하고 있는 세부 기술 및 새로운 응용 분야를 파악하고, 지속적인 모니터링을 가능하도록 한다. 또한 본 연구의 계량적 분석 방법 및 결과는 향후 관련 분야의 정책 입안자와 연구자들이 이 기술의 발전과정을 이해하고 기술 정책 및 연구개발 방향성을 설정하는 데 활용될 수 있다.

본 논문의 2장에서는 먼저 에너지 하베스팅 기술의 정의와 세부 기술요소를 소개한다. 다음으로, 3장에서는 본 연구에 사용되는 데이터를 설명하고, 4장에서는 기술 진화 맵 생성에 활용되는 방법론을 설명한다. 5장에서는 본 연구의 주요 분석결과 및 해석에 관한 내용을 제시하며, 마지막 6장에서는 연구의 의의 및 추후연구를 제시한다.

II. 에너지 하베스팅

에너지 하베스팅 기술은 주변 환경에서 소실되는 에너지를 수집하여 동력원으로 사용하는 기술이다. 본 장에서는 에너지 하베스팅 기술을 주변 에너지원, 에너지원 변환방식에 따라 구분하여 설명한다(그림 1).

〈그림 1〉 에너지 하베스팅 기술의 분류



에너지 하베스팅 기술에서 사용되는 주변 에너지원으로 태양 에너지, 기계 에너지(기계의 진동, 열), 유체의 흐름, 자기 에너지가 대표적이다.⁹⁾ 첫 번째로, 태양 에너지는 깨끗하고 무한에 가까운 에너지원이며 전 세계에 균일하게 분포되어 있다. 하지만 태양 에너지를 직접 사용할 수 없으므로, 사용 가능한 전력의 형태로 에너지를 전환해야 한다.¹⁰⁾ 두 번째로, 기계 에너지는 물체의 움직임이나 변형 등에서 발생하는 에너지를 의미하며, 물체의 종류에 따라서 다양한 형태로 존재한다. 기계 에너지 중, 진동 에너지가 대표적인데 다양한 환경에서 얻을 수 있으므로 보편적인 에너지원으로 알려져 있다. 기계 에너지는 진동 에너지 외에도 열에너지 등 다양한 형태로 존재하기 때문에 변환방식도 압전, 전자기 변환방식 등으로 다양하다. 세 번째로, 유체의 흐름은 바람이나 물의 흐름 등을 의미한다. 이와 같은 에너지원은 일반적으로 흐름을 이용해 터빈을 회전시켜 전기를 발생시키거나, 진동 에너지 등 다른 형태의 에너지원을 발생시켜 그 에너지를 수확하는 방식으로 쓰인다. 마지막으로, 자기 에너지는 지역에 상관없이 널리 존재하지만, 이 에너지를 수확하는 연구는 적은 편이며, 전력 밀도 또한 낮아 추가적인 연구가 필요한 에너지원이다.¹¹⁾

이와 같은 주변 에너지원을 전기 에너지로 변환하는 방식은 크게 압전, 열전, 광전, 전자기 방식 등으로 나눌 수 있다.¹²⁾ 압전 변환방식은 물체의 진동이나 움직임으로 인해 발생하는 기계 에너지로부터 전력을 생산하는 기술이다. 기계 에너지를 변환하는 방식에는 전자기 및 정전기 방식도 존재하나, 에너지 밀도가 가장 높은 변환방식은 압전 방식이다. 압전 에너지 하베스팅 기술에 사용되는 압전 물질은 부분적인 양극과 음극 전하를 띠는 결정 구조

9) Zhou, Gongbo et al., "Harvesting ambient environmental energy for wireless sensor networks: a survey", *Journal of Sensors*, Vol.2014(2014), p.815467.

10) Balzani, Vincenzo et al., "Photochemical conversion of solar energy", *ChemSusChem*, Vol.1 No.1-2(2008), pp.26-58.

11) Zhou, Gongbo et al., "Harvesting ambient environmental energy for wireless sensor networks: a survey", *Journal of Sensors*, Vol.2014(2014), p.815467.

12) Tianchen, Yuan et al., "Vibration energy harvesting system for railroad safety based on running vehicles", *Smart materials and structures*, Vol.23 No.12(2014), p.125046.

이기 때문에 쌍극자 모멘트가 발생한다. 이와 같은 압전 물질에 외부 압력이 가해지면 결정 구조가 바뀌고, 쌍극자 모멘트가 변화를 일으켜 주변의 전기장이 변하게 되며, 이 과정에서 전하가 발생하게 된다.¹³⁾ 다음으로, 열전 변환방식은 주변의 열에너지를 전기 에너지로 전환하는 방식으로, 제벡 효과(Seebeck Effect)를 기반으로 한다. 제벡 효과는 서로 다른 두 도체의 접합면에 열을 가하면 전압이 발생하는 효과이다.¹⁴⁾ 이를 이용해 열전 발생기에 주변 열에너지를 모아 가하면 n-type 반도체에서는 전자가, p-type 반도체에서는 정공이 발생하는데, 이들의 움직임이 전류를 발생시키는 원리이다. 광전 에너지 하베스팅의 경우 태양광 발전(Photovoltaics: PV) 전지를 이용하여 태양광을 전기로 변환하는 방식을 의미한다. 광전 에너지 하베스팅은 PV 전지에 태양광이 도달하면 자유 전자가 일정한 방향으로 흐르고, 이와 같은 전자의 흐름이 전기 부하에 연결되어 전류가 생성되는 방식을 사용한다. 하지만 태양광이 존재할 때만 전력 생산이 가능하기에 시간 및 장소에 제약이 있다는 단점이 존재한다. 마지막으로, 전자기 에너지 하베스팅은 패러데이 원칙(Faraday's law)에 근거하는 방식으로, 자기장과 코일의 상대적 움직임이나 자기장의 변화를 통해 전기를 유도한다. 전기 유도 방식으로는 코일을 진동시켜 움직임을 주거나, 코일은 고정하고 자기 구조물을 이동시키는 방식이 있는데, 코일을 고정하는 것이 더 안정적으로 전기를 생산할 수 있다. 생성되는 전기의 양은 코일의 회전수, 자기장의 강도, 상대적 이동 속도 등에 따라 다르다. 전자기 에너지 하베스팅 방식에 사용되는 모터는 속도 유도 변환기이기 때문에 움직임이 필요하므로, 주로 진동 에너지가 사용된다.¹⁵⁾

13) Li, Huidong et al., "Energy harvesting from low frequency applications using piezoelectric materials", *Applied physics reviews*, Vol.1 No.4(2014), p.041301.

14) Ando Junior, O. H. et al., "Proposal of a thermoelectric microgenerator based on seebeck effect to energy harvesting in industrial processes", *Renewable Energy & Power Quality Journal (RE&PQJ)*, Vol.1(2014), p. 227.

15) Wang, Hao et al., "Energy harvesting technologies in roadway and bridge for different applications - A comprehensive review", *Applied energy*, Vol.212(2018), pp.1083-1094.

Ⅲ. 데이터

본 연구에서 활용된 데이터는 미국 특허청에 등록된 에너지 하베스팅 기술 분야와 연관된 특허이다. 에너지 하베스팅 기술 분야 내 특허를 수집하기 위해, 1명의 특허 변리사와 3명의 특허 분석 전문가의 자문을 받아, 기술 키워드나 검색 범위 등을 설정하고, <표 1>과 같은 특허 검색식을 작성하였다. 특허 검색식은 에너지 하베스팅 기술을 나타내는 키워드와 주로 사용되는 에너지원, 에너지원 변환방식에 대한 키워드를 포함한다. 예를 들어, 에너지 하베스팅 기술은 유사한 의미인 ‘Energy scavenging’, ‘Power harvesting’으로도 자주 사용되기 때문에, 해당 키워드들을 검색식에 추가하였다. 또한, 세부 기술요소에 대한 키워드들은 각 에너지 변환방식에 대한 키워드와 사용되는 에너지원, 주변 에너지를 유발하는 매개체를 일컫는다. 에너지 변환방식에 대한 키워드는 열전(Thermoelectric), 압전(Piezoelectric), 광전(Photovoltaic), 전자기(Magnetic) 등이 있다. 사용되는 에너지원과 관련된 키워드로는 열(Thermal, Heat), 진동(Vibrate), 소리(Sound), 태양(Solar) 등이 있으며, 주변 에너지를 유발하는 매개체로는 유체(Fluid, Flow), 차량(Vehicle), 바람(Wind) 등이 포함된다. 본 연구는 특허 검색식을 바탕으로, 미국 특허청을 대상으로 에너지 하베스팅 기술 관련 1,607건의 유효 특허를 수집하여 분석을 진행한다. 본 연구에서는 기술적 유의성을 판단하기 어려운 단순 출원 상태 특허를 제외하고, 등록 특허만을 선별적으로 활용한다.

<표 1> 에너지 하베스팅 기술 특허 검색식

특허 검색식
((energy near1 harvest*) or (power near1 harvest*) or (energy near1 scaven*) or (ambient* near1 power*)) and (flywheel* or superconduct* or thermoelectric* or piezoelectric* or photovoltaic* or pyroelectric* or electrostatic* or wind* or antenna* or waste* or magnetic* or tree* or blood* or metamaterial* or pressure* or radio* or radia* or batter* or vehicle* or vanadium* or ocean* or fluid* or flow* or accumul* or thermal* or vibrat* or nois* or sound* or HVAC* or heat* or air* or storage* or solar* or salini* or kinetic* or electr*)

다음으로, 유효 특허의 영문 제목과 초록을 활용하여, 에너지 하베스팅 기술과 관련된 키워드를 추출하고, 각 키워드의 출현빈도를 계산한다. 이를 통해 1,607건의 특허 문서 각각은 유효키워드 출현빈도를 바탕으로 고정된 차원의 키워드 벡터로 표현된다. 키워드 벡터는 각 특허 문서에서의 키워드 출현빈도 값을 기반으로 계산되는 벡터값으로, 이 벡터값을 통해 각 특허 문서가 어떤 키워드들로 이루어져 있는지 파악할 수 있다. 즉, 각 특허가 어떤 내용을 담고 있는지 판단할 수 있다. 최종적으로 구조화된 특허 문서들은 토픽 모델링에 활용되어 각 세부 기술요소를 식별하는 데 쓰인다.

키워드 추출을 위하여 대표적인 자연어 처리 파이썬 라이브러리인 spaCy (<https://spacy.io/>)를 활용하여 에너지 하베스팅 기술 분야의 특허 문서로부터 키워드를 추출하며, 전처리 과정을 통해 총 877개의 유효키워드 집합을 구성하였다. 초기 키워드 집합은 에너지 하베스팅 기술과 연관이 없거나, 기술요소를 나타내기 어려운 불용어를 포함할 수 있으므로, 전처리 과정을 통해 기술적 내용을 포함하는 유효키워드를 선별한다. 또한 본 연구는 기술요소의 명확한 해석을 위해, 두 단어 이상으로 구성된 키워드를 사용하며, 이들 중에서 특허 문서 빈도가 2 이상인 키워드를 선별하여 유효키워드 집합을 구성한다.

마지막으로, 유효 특허의 발명자, CPC(Cooperative Patent Classification) 코드, 인용 데이터를 토픽 진화분석에 활용하기 위해 수집한다. 구체적으로, 세부 기술요소 간의 연계성을 인적 자원 관점, 기술적 범위 관점, 기술적 근원 관점에서 다루기 위해 위와 같은 특허 정보를 사용한다. 첫 번째로, 발명자 데이터는 연구개발 관련 인적 자원 관리에 중요한 데이터로 평가받고 있다. 세부 기술요소 간 공동되는 개별 발명자 수는 연구 범위의 확장 및 후속 개발과 같은 세부 기술요소 간 연계성 파악에 활용될 수 있다.¹⁶⁾ 본 연구는 각각의 발명자를 식별하기 위해 PatentsView 서비스(<https://www.patents>

16) Moehrl, Martin G. et al., "Patent-based inventor profiles as a basis for human resource decisions in research and development", *R&d Management*, Vol.35 No.5(2005), pp. 513-524.

view.org/web/)에서 제공하는 발명자 ID를 사용한다. PatentsView에서 제공한 발명자 ID는 발명자의 국적, 이름, 소속 등의 정보 기반의 모호성 해소 작업(Disambiguation)을 통해 개별 발명자를 식별한 결과이다. 또한 CPC는 IPC(International Patent Classification) 구조에 기초한 특허 분류 시스템으로, 크게 섹션, 클래스, 서브 클래스, 메인 그룹, 서브 그룹으로 구성되어 있다.¹⁷⁾ 본 연구에서는 CPC 구조에서 메인 그룹까지의 정보를 이용하여 세부 기술요소 간 연계성 파악에 활용한다. 메인 그룹 수준에서의 분석이 에너지 하베스팅 기술의 세부 기술요소를 정밀하게 분석하는 데 있어서 충분한 정보를 제공할 뿐만 아니라, 계산적으로도 용이하기 때문에 메인 그룹 수준에서 진행된 선행연구들이 존재한다.¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾ 마지막으로, 특허 인용 정보는 특허의 중요성을 판단할 수 있을 뿐 아니라 특정 기술 분야의 기술 확산을 파악하는 데 쓰인다.²¹⁾ 본 연구는 후방인용 정보를 활용하여 에너지 하베스팅 기술 내 세부 기술요소 간의 지식 흐름을 분석하고, 기술적 근원 관점에서의 연계성 정의에 활용한다.

17) Montecchi, Tiziano et al., "Searching in Cooperative Patent Classification: Comparison between keyword and concept-based search", *Advanced Engineering Informatics*, Vol.27 No.3(2013), pp.335-345.

18) Choi, Jaewoong et al., "Technology opportunity discovery under the dynamic change of focus technology fields: Application of sequential pattern mining to patent classifications", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.148(2019), p.119737.

19) 채수현 · 김장원, "CPC 기반 특허 기술 분류 분석 모델", 『한국콘텐츠학회논문지』, 제 18권 제10호(2018), pp.443-452.

20) Mun, Changbae et al., "Discovering business diversification opportunities using patent information and open innovation cases", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.139(2019), pp.144-154.

21) Chang, Shann-Bin et al., "Exploring technology diffusion and classification of business methods: Using the patent citation network", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.76 No.1(2009), pp.107-117.

IV. 방법론

1. 토픽 모델링

본 연구는 에너지 하베스팅 기술 분야의 다양한 기술요소를 파악하기 위해, 특허 텍스트 정보에 토픽 모델링 기법을 적용한다. 토픽 모델링은 단어로 구성된 문서들의 집합에서 단어들의 조합을 분석하여 문서의 잠재적 토픽을 탐색하는 확률 기반의 모형이다.²²⁾ 토픽 모델링은 구조화되지 않은 문서 집합에서 잠재적인 토픽을 찾아내어 대량의 문서를 구분할 수 있으므로, 계량적인 특허 분석 연구에서 다수 활용된 바 있다.²³⁾²⁴⁾ 토픽 모델링에 사용되는 모델은 LSA(Latent Semantic Analysis), PLSA(Probabilistic Latent Semantic Analysis), LDA(Latent Dirichlet Allocation) 등이 있는데, 본 연구에서는 LDA 모델을 사용한다. <그림 2>와 같이, 본 연구에서는 키워드 벡터로 표현된 특허-키워드들의 집합을 토픽 모델링의 투입자료로 사용하며, 토픽 모델링의 산출물은 토픽-특허(문서) 매트릭스와 토픽-키워드 매트릭스이다. 토픽-특허 매트릭스를 통해 각 특허가 토픽들에 속할 확률값을 알 수 있고, 이를 통해 동일한 토픽을 가지는 특허들의 집합을 파악할 수 있다. 또한 토픽-키워드 매트릭스를 통해 각 토픽의 형성에 영향을 미친 키워드들과 이들의 기여도를 파악함으로써, 각 토픽이 어떤 주제를 의미하는지에 대한 레이블을 부여할 수 있다.²⁵⁾²⁶⁾ 따라서 토픽 모델링을 통해 산출된 토픽-키워드 매트릭스

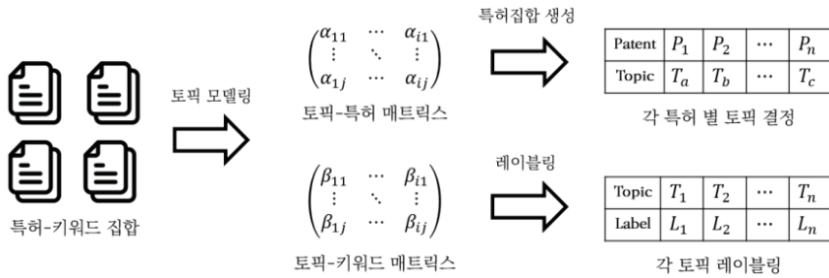
22) Dieng, Adji B. et al., "Topic modeling in embedding spaces", *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, Vol.8(2020), pp.439-453.

23) Choi, Donghyun & Song, Bomi, "Exploring technological trends in logistics: Topic modeling-based patent analysis", *Sustainability*, Vol.10 No.8(2018), p.2810.

24) Momeni, Abdolreza & Rost, Katja, "Identification and monitoring of possible disruptive technologies by patent-development paths and topic modeling", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.104(2016), pp.16-29.

25) 최재웅 외 3인. "인문사회 과학기술 분야 연구의 학제적 동향 분석 - 토픽 모델링과 네트워크 분석의 활용", 『산업경영시스템학회지』, 제42권 제1호(2019), pp.74-86.

〈그림 2〉 토픽 모델링 결과 분석 방법



를 기반으로, 에너지 하베스팅 기술 분야의 기술요소를 파악할 수 있다.

2. 토픽 진화분석

본 연구는 에너지 하베스팅 기술 분야의 시간에 따른 발전 흐름을 분석하기 위해, 토픽 모델링 결과 기반의 토픽 진화분석을 수행한다. 토픽 진화분석은 시간에 따라 변화하는 토픽 내용, 토픽 간 관계 등을 다루기 위해 기존의 토픽 모델링 방식에 시간 정보를 반영하거나, 토픽 모델링 결과를 시계열적으로 연결 분석하여 이루어진다.²⁷⁾ 본 연구는 후자의 방식으로, 토픽 모델링을 통해 파악한 기술요소별 관련 특허 정보를 기반으로, 1) 기술요소 간 링크 생성, 2) 기술 진화 맵 생성의 순서로 토픽 진화분석을 수행한다.

(1) 기술요소 간 링크 생성

본 연구는 토픽 모델링을 통해 도출된 기술요소 간의 관계를 각 토픽에 속한 특허 정보를 기반으로 분석한다. 즉, 기술요소 간의 연계성을 분석하기 위해, 기술요소에 속한 특허의 발명자, 기술 분류코드, 후방인용 정보를 활

26) 이지호 외 4인, “특허의 Problem-Solution 텍스트 마이닝을 활용한 기술경쟁정보 분석 방법”, 『지식재산연구』, 제13호 제3권(2018), pp.171-204.

27) Jung, Sukhwan & Yoon, Wan Chul, “An alternative topic model based on Common Interest Authors for topic evolution analysis”, *Journal of Informetrics*, Vol.14 No.3(2020), p.101040.

용한다. 기술요소 간의 연계성은 인적 자원, 기술적 범위, 기술적 근원 관점에서 도출될 수 있으며,²⁸⁾²⁹⁾ 구체적으로 <표 2>와 같이 계산한다.

<표 2> 본 연구에서 사용된 기술요소 연계성 지표

관점	데이터	수식
인적 자원 관점	기술요소별 특허의 발명자 정보	$Sim_{inventor} = \left(\frac{N_{A \cap B}}{N_{A \cup B}} \right)$
기술적 범위 관점	기술요소별 특허의 CPC 정보	$Sim_{CPC} = \left(\frac{N_{A \cap B}}{N_{A \cup B}} \right)$
기술적 근원 관점	기술요소별 특허의 후방인용 특허 정보	$Sim_{back_citation} = \left(\frac{N_{A \cap B}}{N_{A \cup B}} \right)$

첫 번째로, 기술요소 간의 연계성은 기술요소별 발명자 집합을 기반으로 계산된다. 본 연구에서는 미국 특허청의 PatentsView의 발명자 ID를 사용하여 기술요소별 발명자 정보를 식별한다. 두 기술요소 간에 공통된 발명자 수가 많다는 것은 해당 기술요소 간 후속연구 관계 혹은 발명적 연관성을 암시한다.³⁰⁾ 따라서 인적 자원 관점의 기술요소 연계성은 동일 발명자 수를 기반으로 계산된다. 두 번째로, 기술요소 간의 연계성은 기술 분류코드를 기반으로 계산된다. 일반적으로, 표준적인 기술 분류코드는 IPC, CPC, USPC (United States Patent Classification) 등이 있으며, 특허는 1개 이상의 기술 분류코드를 할당받는다. 기술 분류코드는 산업이나 기술 관점에서 특허가 다루는 발명적 내용에 대해 분류코드를 할당하기 때문에, 기술 분류코드의 유사성은 기술요소 간의 유사성을 나타낼 수 있다. 본 연구는 CPC 코드를 기반으로 기술적 범위 관점에서 기술요소 연계성을 계산하며, CPC 코드의 메인

28) Venugopalan, Subhashini & Rai, Varun, "Topic based classification and pattern identification in patents", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.94 (2015), pp.236-250.

29) Rodriguez, Andrew et al., "New multi-stage similarity measure for calculation of pairwise patent similarity in a patent citation network", *Scientometrics*, Vol.103 No.2(2015), pp.565-581.

30) Whalen, Ryan et al., "Patent Similarity Data and Innovation Metrics", *Journal of Empirical Legal Studies*, Vol.17 No.3(2020), pp.615-639.

그룹 수준에서 분석한다. 마지막으로, 기술적 근원 관점에서의 기술요소 연계성은 특허의 후방인용 정보를 활용한다. 특허의 인용 정보를 통해 기술의 발전과정을 분석하는 연구들이 지속해서 등장하였다. 특허의 후방인용 정보는 세부 기술요소 간의 지식 흐름을 조사하는 연구의 데이터로 자주 사용되어 왔다.³¹⁾ 따라서 동일한 선행 특허로부터 도출된 기술요소들은 유사한 세부 기술을 공유할 수 있다. 기술적 근원 관점에서의 기술요소 연계성은 공유되는 후방인용 특허의 수를 기반으로 계산된다.

지표별로 계산된 연계성 값은 <표 3>과 같이 가장 큰 연계성 값이 1이 되도록 정규화 과정을 거친다. 이후 종합적인 세부 기술요소 간의 연계성 (Sim_{AB})은 <표 3>과 같이 지표별로 정규화된 연계성 값을 더하여 산출하는데, 이는 기술 분야, 분석 목적에 따라 가중치가 부여될 수 있다. 지표별 연계성 값이 0과 1 사이의 실숫값을 가지기 때문에, 최종 연계성 값은 0과 3 사이의 실숫값을 가진다.

<표 3> 연계성 계산 식

식	설명
$Nor_{inventor} = Sim_{inventor} / Max(Sim_{inventor})$	발명자 지표 연계성 값
$Nor_{CPC} = Sim_{CPC} / Max(Sim_{CPC})$	CPC 지표 연계성 값
$Nor_{back_citation} = Sim_{back_citation} / Max(Sim_{back_citation})$	후방인용 지표 연계성 값
$Sim_{AB} = Nor_{inventor} + Nor_{CPC} + Nor_{back_citation}$	최종 연계성 값

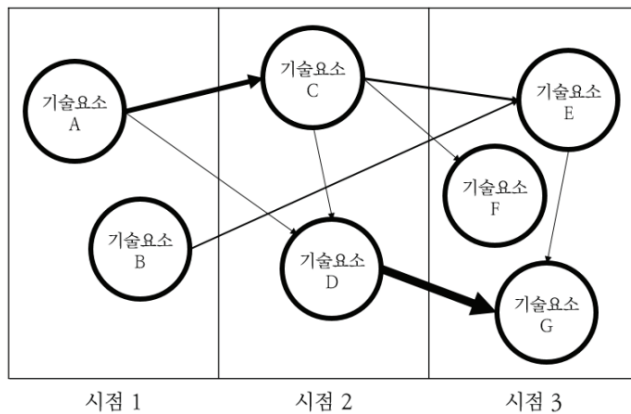
(2) 기술 진화 맵 생성

본 연구는 에너지 하베스팅 기술의 시간에 따른 발전 경로를 나타내기 위해 기술 진화 맵을 생성한다. 본 연구는 에너지 하베스팅 기술의 기술요소를 토픽 모델링을 통해 정의한 바 있다. 각 기술요소의 부상 시점을 파악하기 위해, 기술요소별로 특허 인용 분석을 추가로 진행한다. 일반적으로, 기술의 부상은 기술적 파급력이나 기술에 대한 수요와 같은 후행 지표로 판단할 수

31) Von Wartburg, Iwan et al., "Inventive progress measured by multi-stage patent citation analysis", *Research Policy*, Vol.34 No.10(2005), pp.1591-1607.

있다.³²⁾³³⁾ 따라서 본 연구는 각 기술요소의 전방 인용(피인용) 정보를 기반으로 각 기술요소의 부상 시점을 정의한다. 즉, 기술요소별로 피인용이 일정 수준 이상으로 빈번하게 발생한 특허의 등록 시점을 식별한다. 이후 식별된 기술요소별 부상 시점과 기술요소 간의 연계성을 기반으로, 기술 진화 맵을 생성한다. 기술 진화 맵은 <그림 3>과 같이 생성된다.

<그림 3> 기술 진화 맵



기술요소 간의 연계성 값은 <표 2>와 <표 3>의 수식에 따라 계산되어, 기술 진화 맵에서 링크의 굵기로 표현된다. 기술 진화 맵의 가시성을 위하여, 기술요소 간의 링크는 임계값 이상의 링크만 표현한다. 또한 기술 진화 맵의 수평축은 시간에 따라 각 기술요소가 부상한 시점을 나타낸다. 예를 들어, <그림 3>의 기술 진화 맵은 기술요소 A와 B가 가장 먼저 부상한 기술이며, 이후에 기술요소 C와 D, 기술요소 E, F와 G가 차례로 부상하였음을 나타낸다. 또한 기술 진화 맵에서 기술요소 간의 링크를 기반으로 기술요소 간의 연관 관계를 파악할 수 있다. 예를 들어, 기술요소 A는 기술요소 C와 가장

32) Halaweh, Mohanad, "Emerging technology: What is it", *Journal of Technology Management & Innovation*, Vol.8 No.3(2013), pp.108-115.

33) Rotolo, Daniele et al., "What is an emerging technology?", *Research Policy*, Vol.44 No.10(2015), pp.1827-1843.

강한 링크를 가지는데, 이는 기술요소 A가 기술요소 C와 기술적으로 유사하며, 시간에 따라 발전했음을 의미한다. 이처럼, 본 연구에서는 토픽 진화분석이 에너지 하베스팅 기술의 시계열적 발전 흐름을 분석하기 위해 사용된다.

V. 결과

1. 에너지 하베스팅 기술요소 정의

에너지 하베스팅 기술 분야와 관련된 미국 특허청 등록 특허를 수집한 후, 에너지 하베스팅 기술 분야의 세부적인 기술요소들을 식별하기 위하여, 본 연구는 토픽 모델링 기법을 도입했다. 최종 유효 특허 집합에서, 전처리 과정을 거쳐 총 877개의 유효키워드 집합을 구성한 바 있다. 다음으로, 각 특허를 키워드 벡터로 표현하였고, 이를 토픽 모델링의 인풋 자료로 활용하였다. 본 연구에서는 토픽 모델링 알고리즘 중에서 일반적으로 많이 활용되는 LDA 모형을 활용하였다. LDA의 토픽 수를 결정하는 데 있어서, 본 연구는 토픽 간의 평균 코사인 유사도를 활용하였다. 평균 코사인 유사도는 각 토픽의 키워드를 기반으로, 토픽 간의 코사인 유사도를 계산한 결과를 기반으로 한다. 최적의 토픽 수는 모든 토픽이 명확하게 구분되어야 하므로, 토픽 수를 조정하며 토픽 간의 평균 코사인 유사도 값을 계산하여 Elbow point를 찾아 최적의 토픽 수를 결정한다.³⁴⁾ 결과적으로, 에너지 하베스팅 기술 분야의 토픽은 33개로 결정되었으며, 토픽별 주요 키워드를 기반으로 개별 기술요소를 정의한 결과는 부록 <표 8>과 같다. <표 4>는 특허 수 기반 상위 10개 세부 기술요소를 나타내는데, 이때 각 특허는 특허가 가진 가장 높은 기여도를 가지는 토픽에 할당되었다.

34) Wang, Bo et al., "Identifying technological topics and institution-topic distribution probability for patent competitive intelligence analysis: a case study in LTE technology", *Scientometrics*, Vol.101 No.1(2014), pp.685-704.

〈표 4〉 에너지 하베스팅 기술요소별 주요 키워드 (특허 수 기반 상위 10개 기술요소)

기술요소	주요 키워드	특허 수
태양 에너지를 이용한 에너지 하베스팅 (토픽 17)	Solar energy (0.1125), electronic circuitry (0.0704), NFC module (0.0564), permanent magnets (0.0494), wave motion (0.0494)	47
형상기억합금을 이용한 기계 에너지 생성 (토픽 24)	Mechanical energy (0.2827), shape memory (0.1451), piezoelectric layer (0.0336), radio frequency (0.0336), Vehicle energy harvesting device (0.0336)	44
운동 에너지를 이용한 에너지 하베스팅 (토픽 27)	kinetic energy (0.3606), electromagnetic energy (0.0867), prefabricated thin film energy absorption sheets (0.0291), wireless sensor device (0.0291), motion retardation (0.0218)	43
신체 열 및 압전 에너지 하베스팅 (토픽 20)	heat energy (0.2210), Athletic activity (0.0671), wireless switch (0.0604), Piezoelectric energy harvester (0.0403), light identification (0.0270)	41
기계열 에너지 하베스팅 (토픽 3)	thermal energy (0.3045), mechanical energy (0.1296), corresponding electrical energy (0.0535), biomechanical energy Methods (0.0383), non mutualistic conditions (0.0383)	37
유체의 흐름을 이용한 에너지 하베스팅 (토픽 9)	fluid flow (0.1825), RF communicator (0.0513), mechanical motion (0.0440), magnetic fields (0.0367), wireless energy (0.0294)	36
압전 에너지 하베스팅을 위한 요소 (토픽 7)	piezoelectric elements (0.1519), lead selenide (0.0508), water vapor (0.0363), wire cables (0.0291), programmable magnetic band (0.0291)	34
에너지 하베스팅을 통한 전력 생산 및 관리 (토픽 15)	DC power sources (0.0945), output voltage (0.0676), polymeric membrane (0.0541), magnetic field (0.0541), audio input (0.0406)	34
주변 에너지 종류 및 전력 변환 장치 (토픽 13)	Wireless signals (0.1089), hydraulic fluid (0.0513), tubular endothermic catalytic reactor (0.0385), RFID tags (0.0322), current IPZ t (0.0258)	33
에너지 하베스팅 보조 장치 (토픽 19)	cooling liquid (0.0597), radiation sensor (0.0523), wireless communication circuitry (0.0523), solar energy (0.0449), working fluid (0.0449)	32

에너지 하베스팅 기술의 33개 기술요소 중, 특허 수가 많은 기술요소는 ‘태양 에너지를 이용한 에너지 하베스팅’(토픽 17), ‘형상기억합금을 이용한 기계 에너지 생성’(토픽 24), ‘운동 에너지를 이용한 에너지 하베스팅’(토픽 27) 이 대표적이다. 첫 번째로, 토픽 17에서 나타난 상위 키워드는 ‘태양 에너지’

(Solar energy)와 ‘전자 회로’(Electronic circuitry)이며, 이는 태양 에너지를 수확하여 변환 시스템 내부에 있는 전자 회로를 통해 전력으로 변환 및 사용한 기술로 정의할 수 있다. 두 번째로, 토픽 24의 상위 키워드는 ‘기계적 에너지’(Mechanical energy)와 ‘합성기억합금’(Shape memory)으로, 기계로부터 생성되는 에너지를 형상기억합금을 통해 생성하는 기술요소로 정의할 수 있다. 토픽 24에서 형상기억합금은 열과 관련이 깊으므로, 기계적 에너지는 열 에너지를 의미한다. 해당 토픽에 속하는 특허의 예시로, ‘Vehicle energy harvesting device having a continuous loop of shape memory alloy material’(US8555633B2)을 살펴보면, 기계의 엔진 구성 요소에 형상기억합금이 포함되어 있고, 엔진의 열에너지가 에너지 하베스팅 기술에 활용되고 있음을 확인할 수 있다. 다음으로, 토픽 27은 ‘운동 에너지’(Kinetic energy)를 높은 소속확률로 가지고 있기에, 여러 종류의 운동 에너지로부터 전력을 생산하는 기술요소로 해석할 수 있다. 토픽 27에 해당하는 특허는 ‘US10004995B2’, ‘US10270372B2’ 등이 있으며, 각각 타악기, 해류로부터 운동 에너지를 수집하는 기술적 내용을 담고 있다. 또한, 토픽 27은 운동 에너지에 다수의 에너지 변환방식을 적용하는 기술적 내용을 다루기도 한다. 예를 들어, ‘US10270372B2’와 ‘US10418890B2’는 각각 운동 에너지를 압전 에너지 변환방식과 전자기 에너지 변환방식을 활용하는 기술적 내용을 담고 있다. 이처럼 토픽 모델링을 통해 도출한 에너지 하베스팅 기술 토픽들을 상위 키워드를 통해 기술요소로 정의할 수 있었으며, 기술요소별 특허들을 기반으로 주요 내용을 확인할 수 있었다.

2. 에너지 하베스팅 기술 진화 맵

에너지 하베스팅 기술 분야의 세부 기술요소들의 특허 정보를 기반으로, 각 기술요소의 부상 시점을 파악하고, 기술요소 간의 관계를 정의하였다. 각 기술요소의 부상 시점은 기술요소에 속해 있는 특허 중, 일정 횟수 이상의 피인용이 이루어진 첫 특허의 등록 시점으로 정의한다. 이를 위해, 모든 특

허의 피인용 횟수를 확인하여 상위 50%인 8회를 피인용 횟수 기준으로 결정하였다. 이를 기반으로 <그림 4>와 같이 기술 진화 맵을 생성하였다. 기술 진화 맵의 링크를 의미하는 기술요소 간 연계성은 가시성 및 해석의 용이성을 위해서 임계값 0.9를 적용하였다. 기술 진화 맵의 노드는 각 기술요소를 의미하며, 수평축은 기술요소들의 부상 시점을 의미한다. 또한 기술 진화 맵의 각 노드는 부록 <표 8>에 제시된 세부 기술요소의 약어로 표현되었다. 기술 진화 맵에 최종적으로 표현된 기술요소는 33개이며, 부상 시점은 1976년에서 2015년에 이른다. 또한, 기술 진화 맵에서 다양한 기술요소 간의 관계 및 변화를 살펴볼 수 있는데, 대표적으로, 1) 연계성이 강한 기술요소 쌍, 2) 후행 기술요소가 많은 선행 기술요소, 3) 새롭게 등장한 기술요소가 있다.

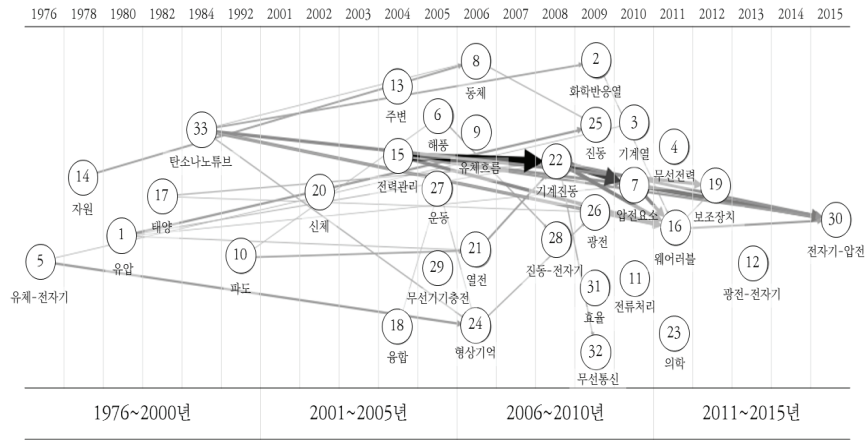
첫 번째로, 연계성이 강한 기술요소 쌍의 예시는 <표 5>와 같으며, 연계성은 <표 3>에 따라 계산된 수치이다. 대표적인 예시로, ‘에너지 하베스팅을 통한 전력 생산 및 관리’(토픽 15)와 ‘기계의 진동 에너지 하베스팅 및 처리’(토픽 22)의 관계가 있다. 토픽 15는 에너지를 전력으로 변환한 후 이를 효율적으로 생산 및 관리하는 연구인데, 이는 대부분의 에너지 하베스팅의 세부 기술요소에서 필수적으로 사용되는 기초적인 기술요소이다. 따라서 두 개의 기술요소 간의 강한 관계는 기계의 진동 에너지를 이용한 에너지 하베스팅 기술(토픽 22)에서 토픽 15의 기술요소가 활발하게 활용되었음을 나타낸다. 다음

<표 5> 연계성이 강한 기술요소 쌍 상위 5개

선행 기술요소	후행 기술요소	연계성
‘에너지 하베스팅을 통한 전력 생산 및 관리’ (토픽 15)	‘기계의 진동 에너지 하베스팅 및 처리’ (토픽 22)	2.3030
‘기계의 진동 에너지 하베스팅 및 처리’ (토픽 22)	‘압전 에너지 하베스팅을 위한 요소’ (토픽 7)	2.0455
‘압전 에너지 하베스팅을 위한 요소’ (토픽 7)	‘전자기 및 압전 에너지 하베스팅’ (토픽 30)	1.6637
‘기계의 진동 에너지 하베스팅 및 처리’ (토픽 22)	‘웨어러블 기기에 접목된 에너지 하베스팅’ (토픽 16)	1.5576
‘압전 에너지 하베스팅을 위한 요소’ (토픽 7)	‘웨어러블 기기에 접목된 에너지 하베스팅’ (토픽 16)	1.4874

으로, ‘기계의 진동 에너지 하베스팅 및 처리’(토픽 22)와 ‘압전 에너지 하베스팅을 위한 요소’(토픽 7) 간의 관계 또한 강한 연계성을 보였다. 이는 진동 에너지를 전력으로 변환시키는 방식이 압전 에너지 하베스팅 기술에 활용되었음을 나타낸다. 이처럼 연계성이 강한 기술요소 쌍은 기술요소 간의 활용 관계 및 발전 흐름을 나타낸다.

〈그림 4〉 에너지 하베스팅 기술 진화 맵



다음으로, 〈표 6〉에 따르면 후행 기술요소가 많은 선행 기술요소의 예시로는 1984년에 부상한 ‘탄소나노튜브를 이용한 에너지 하베스팅’(토픽 33)이 대표적이다. 토픽 33에 속하는 특허들을 살펴보면, 초기에는 파동이나 열에너지에 관련된 기초적인 특허들이 주로 등장하였으나, 탄소나노튜브의 발명 이후로 기존 기술요소들을 탄소나노튜브에 접목한 에너지 하베스팅 특허들이 활발하게 등장하였다. 토픽 33의 주요 요소인 탄소나노튜브는 뛰어난 열전도도를 보이기 때문에, ‘화학반응열 에너지를 이용한 전력 생산’(토픽 2), ‘광전 에너지 하베스팅 시스템’(토픽 26) 등의 후행 기술에서 활발하게 응용되었다. 또한 토픽 33은 탄소나노튜브의 우수한 기계적·전기적 특성 덕분에, ‘동체를 이용한 에너지 하베스팅’(토픽 8), ‘에너지 하베스팅 보조 장치’(토픽

19)와 같은 후행 기술요소에서 응용된 바 있다. 후행 기술요소가 많은 선행 기술요소의 다른 예시로는, ‘유압을 이용한 에너지 하베스팅’(토픽 1)이 존재한다. 토픽 1은 ‘열전 에너지 하베스팅 시스템’(토픽 21), ‘기계의 진동 에너지 하베스팅 및 처리’(토픽 22), ‘에너지 하베스팅에 쓰이는 진동 에너지’(토픽 25), ‘압전 에너지 하베스팅을 위한 요소’(토픽 7)과 같은 후행 기술요소에서 응용된 바 있다. 토픽 1은 1980년에 부상하였고, 에너지 하베스팅 기술의 초창기 기술요소로서의 유압 장치에 대한 기초적인 기술내용을 다루고 있다. 토픽 1의 유압 장치가 진동 에너지와 열에너지를 비롯한 대부분의 기계 에너지와 연관성이 크기 때문에, 토픽 1은 토픽 22나 토픽 25와 같은 기계 에너지 기반의 기술요소들에 활발하게 활용되었다. 또한 토픽 1의 기술요소는 기계 에너지의 대표적인 에너지 변환방식인 압전 변환이나 열전 변환방식에서도 기초적인 기술요소로 작용하기 때문에, 토픽 21과 토픽 7과 같은 후행 기술요소와 강한 연계성을 보였다.

<표 6> 후행 기술요소가 많은 상위 기술요소 2개

선행 기술요소	부상 시점 (연도)	후행 기술요소	부상 시점 (연도)
‘탄소나노튜브를 이용한 에너지 하베스팅’ (토픽 33)	1984	‘동체를 이용한 에너지 하베스팅’ (토픽 8)	2006
		‘광전 에너지 하베스팅 시스템’ (토픽 26)	2009
		‘화학반응열 에너지를 이용한 전력 생산’ (토픽 2)	2009
		‘에너지 하베스팅 보조 장치’ (토픽 19)	2012
‘유압을 이용한 에너지 하베스팅’ (토픽 1)	1980	‘열전 에너지 하베스팅 시스템’ (토픽 21)	2006
		‘기계의 진동 에너지 하베스팅 및 처리’ (토픽 22)	2008
		‘에너지 하베스팅에 쓰이는 진동 에너지’ (토픽 25)	2009
		‘압전 에너지 하베스팅을 위한 요소’ (토픽 7)	2010

마지막으로, 새롭게 등장한 기술요소는 선행 기술요소와의 링크가 약한 기술요소들을 일컫는다. <표 7>에 따르면, 이와 같은 기술요소의 예시로는 ‘무선 전력 분야의 에너지 하베스팅’(토픽 4), ‘의학 분야의 에너지 하베스팅’(토픽 23), ‘광전 에너지 하베스팅을 통한 무선 기기 충전’(토픽 29), ‘무선 통신 분야에서의 에너지 하베스팅’(토픽 31) 등이 있다. 이와 같은 기술요소들은 선행 기술요소와 강한 링크가 형성되지 않았고, 새로운 분야에 에너지 하베스팅 기술을 접목하는 경향을 보였다. 즉, 기존의 에너지 하베스팅 기술 분야에 없던 새로운 기술요소를 활용하였기 때문에, 선행 기술요소와의 연계성이 상대적으로 강하지 않은 것으로 판단된다. 흥미롭게도, <표 7>에 따르면 새롭게 등장한 기술요소들은 평균 연계성 값이 작아 선행 기술요소뿐만 아니라, 후행 기술요소와의 연계성 또한 약한 경향을 보였다. 평균 연계성은 해당 기술요소와 다른 모든 기술요소 간의 연계성 값의 평균을 의미한다. 다시 말해, 해당 기술요소들은 새롭게 등장하였으나, 추가적인 후행 기술요소들이 발생하지 않은 것으로 보인다. 과거에 새롭게 등장하였으나, 후행 기술요소를 동반하지 않는 기술요소는 기술적인 파급력이나 기술적 근원이 상대적으로 약한 기술요소 혹은 독자적으로 발전한 기술요소 등으로 해석될 수 있다. 하지만 최근에 새롭게 등장한 기술요소들은 미래에 후행 기술요소와의 연계가 발생할 잠재성을 가지고 있으므로, 지속적인 관찰이 필요할 것으로 보인다.

<표 7> 신규 기술요소의 평균 연계성 하위 4개

기술요소	부상 시점 (연도)	평균 연계성
‘의학 분야의 에너지 하베스팅’ (토픽 23)	2011	0.3489
‘무선 통신 분야에서의 에너지 하베스팅’ (토픽 31)	2009	0.3743
‘무선 전력 분야의 에너지 하베스팅’ (토픽 4)	2011	0.3830
‘광전 에너지 하베스팅을 통한 무선기기 충전’ (토픽 29)	2005	0.3996

VI. 토의 및 결론

에너지 하베스팅 기술은 주변환경으로부터 소실되는 에너지를 포착 및 수집하여 전력동력원을 확보하는 기술로, 최근 증가하는 환경적 중요성 아래 많은 기술적·정책적 관심을 받고 있다. 하지만 에너지 하베스팅 기술에 대한 발전 흐름 분석 및 동향 분석 연구들은 상대적으로 미흡하고, 일부의 선행연구들은 제한적인 관점에서의 에너지 하베스팅 기술 동향을 분석하였다. 따라서 본 연구는 대량의 특허 계량분석을 통해 전반적인 에너지 하베스팅 기술 분야를 다루었다. 구체적으로, 에너지 하베스팅 기술의 세부 기술요소를 정의하고, 기술 진화 경로를 정량적으로 분석하였다. 본 연구에서는 미국 특허청에 등록된 특허 중에서 에너지 하베스팅 기술과 관련된 특허들을 검색식을 통해 수집하였다. 이후 수집된 특허들의 제목과 초록으로부터 키워드를 추출하였고, LDA 기반의 토픽 모델링 기법을 활용하여 에너지 하베스팅 기술의 세부 기술요소들을 정의하였다. 그다음, 세부 기술요소 간 연계성을 발명자, CPC, 인용 정보를 기반으로 산출하였다. 본 연구는 시간에 따른 세부 기술요소들의 발전 경로를 파악할 수 있도록 각 기술요소의 연관 관계를 시계열적으로 표현하여 기술 진화 맵을 생성하였다. 기술 진화 맵에서 각 세부 기술요소는 노드로, 연계성은 링크로 표현되며, 각 세부 기술요소들의 부상 시점은 각 기술요소에 속하는 특허들의 전방 인용 정보를 기반으로 결정하였다.

본 연구에서는 포괄적인 관점에서 에너지 하베스팅 기술 분야를 분석했기 때문에, 다양한 세부 기술요소들을 식별하고 그들 간의 연계성을 정량적으로 파악할 수 있다. 또한 기술요소별 특허 분석을 통해 생성한 기술 진화 맵은 에너지 하베스팅 기술의 발전 경로를 시각적으로 나타내며, 선행 기술요소와 후행 기술요소 간의 관계, 새로운 기술요소의 등장 등의 기술 발전 흐름 정보를 제공한다. 본 연구의 결과는 연구자가 에너지 하베스팅 기술 내 새로운 기술요소의 등장 및 발전 동향 등을 파악하는 데 도움이 될 수 있으

며 연구개발 방향성을 설정하는 데 효과적인 기초자료로 활용될 수 있다. 또한 정책 입안자가 에너지 하베스팅 기술 분야 관련 정책 과제 등을 수립하는데 있어서, 기술적 개발이 필요한 기술요소, 잠재성이 있는 기술요소, 기술적 파급력이 상당할 것으로 예측되는 기술요소 등을 식별하도록 도울 수 있다. 마지막으로, 본 연구에서 에너지 하베스팅 기술 발전 흐름을 분석하기 위해 활용한 특허 데이터 기반의 접근방식은 체계적이고, 데이터 중심적이기 때문에, 다른 기술 분야에서의 활용 가능성이 크다. 따라서 본 연구의 특허 데이터 기반의 기술 발전 흐름 분석 접근법은 특허 분석 연구자들이 다양한 기술 분야를 분석하는 데 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다.

하지만 본 연구는 몇 가지 한계점을 지닌다. 첫째, 미국 특허청의 등록 특허만을 수집 및 분석했기 때문에 국제적인 기술 동향을 다루지는 못하였다. 국가별 에너지 하베스팅 기술 분야의 발전 정도 및 진화 경로가 다를 수 있는데, 본 연구에서 도출한 기술 진화 맵은 에너지 하베스팅 기술의 국제적 동향 혹은 국가 간 비교를 다루지는 못하였다. 따라서 추후연구에서는 데이터 수집 범위를 확장하여, 폭넓은 기술 진화분석을 수행할 필요가 있다. 다음으로, 에너지 하베스팅 기술요소를 정의하는 과정이나 기술요소 간의 연계성을 도출하는 과정 또한 추가적인 연구를 통해 발전될 수 있다. 본 연구는 에너지 하베스팅 기술 관련 특허의 텍스트 정보에 토픽 모델링 기법을 적용하여, 33개의 기술요소를 도출한 바 있다. LDA와 같은 토픽 모델링 기법은 비정형화된 텍스트 문서로부터 잠재적인 토픽을 도출하는 데 있어서, 탁월한 성능과 결과를 보이는 것으로 알려져 있으나, 최근 제안되는 문서 임베딩 모델들을 추후에 활용하면 더 우수한 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.³⁵⁾³⁶⁾ 또한 본 연구의 기술요소 간의 연계성 지표들은 특허의 텍스트 유사도 등을 통해 발전될 수 있으며, 기술 분야에 따라 지표 중요성을 조정할 필

35) Devlin, Jacob et al., "Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding", arXiv, <<https://arxiv.org/abs/1810.04805>>, 검색일: 2018. 10.11.

36) Li, Shaobo et al., "DeepPatent: patent classification with convolutional neural networks and word embedding", *Scientometrics*, Vol.117 No.2(2018), pp.721-744.

요도 있다. 이와 유사하게, 기술요소의 부상 시점을 피인용 정보를 기반으로 정의하였는데, 이는 더욱 심층적이고 정량적인 인용 분석이 요구된다. 마지막으로, 추후연구에는 에너지 하베스팅 기술 분야의 특허를 정제하는 방식에 있어서, 정량적인 방식이 연구될 필요가 있다. 본 연구는 변리사 및 특허 분석 경험이 다수 있는 전문가들의 도움을 받아, 에너지 하베스팅 기술 관련 특허 검색식을 작성하였다. 하지만 특허 검색식의 정보 검색 결과는 노이즈 특허를 포함할 수 있으므로, 추후연구에는 특허가 분석 대상 기술과 관련된 정도를 정량적으로 산출하여 효율적인 특허 수집을 진행할 것이다. 이와 같은 한계점에도 불구하고, 본 연구는 에너지 하베스팅 기술의 전반적인 발전 경로를 대량의 특허 기반의 계량분석을 통해 제시했다는 점에서, 학술적·정책적 기여점을 가질 것으로 기대된다.

부 록

〈표 8〉 정의된 세부 기술요소

토 픽	기술요소	약 어
토픽 1	유압을 이용한 에너지 하베스팅	유압
토픽 2	화학반응열 에너지를 이용한 전력 생산	화학반응열
토픽 3	기계열 에너지 하베스팅	기계열
토픽 4	무선 전력 분야의 에너지 하베스팅	무선전력
토픽 5	유체를 이용한 전자기 에너지 하베스팅	유체-전자기
토픽 6	해풍을 통한 에너지 하베스팅	해풍
토픽 7	압전 에너지 하베스팅을 위한 요소	압전요소
토픽 8	동체를 이용한 에너지 하베스팅	동체
토픽 9	유체의 흐름을 이용한 에너지 하베스팅	유체흐름
토픽 10	파도를 이용한 압전 에너지 하베스팅	파도
토픽 11	전류 처리 장치	전류처리
토픽 12	광전 및 전자기 에너지 하베스팅	광전-전자기
토픽 13	주변 에너지 종류 및 전력 변환 장치	주변
토픽 14	에너지 하베스팅 자원	자원
토픽 15	에너지 하베스팅을 통한 전력 생산 및 관리	전력관리
토픽 16	웨어러블 기기에 접목된 에너지 하베스팅	웨어러블
토픽 17	태양 에너지를 이용한 에너지 하베스팅	태양
토픽 18	에너지 하베스팅과 기존 기술과의 융합	융합
토픽 19	에너지 하베스팅 보조 장치	보조장치
토픽 20	신체 열 및 압전 에너지 하베스팅	신체
토픽 21	열전 에너지 하베스팅 시스템	열전
토픽 22	기계의 진동 에너지 하베스팅 및 처리	기계진동
토픽 23	의학 분야의 에너지 하베스팅	의학
토픽 24	형상기억합금을 이용한 기계 에너지 생성	형상기억
토픽 25	에너지 하베스팅에 쓰이는 진동 에너지	진동
토픽 26	광전 에너지 하베스팅 시스템	광전
토픽 27	운동 에너지를 이용한 에너지 하베스팅	운동
토픽 28	진동 에너지를 통한 전자기 에너지 하베스팅	진동-전자기

토픽 29	광전 에너지 하베스팅을 통한 무선기기 충전	무선기기충전
토픽 30	전자기 및 압전 에너지 하베스팅	전자기-압전
토픽 31	무선 통신 분야에서의 에너지 하베스팅	무선통신
토픽 32	전류 변환 및 저장 효율	효율
토픽 33	탄소나노튜브를 이용한 에너지 하베스팅	탄소나노튜브

참고문헌

〈학술지(국내)〉

- 이지호 외 4인, “특허의 Problem-Solution 텍스트 마이닝을 활용한 기술경쟁정보 분석 방법”, 『지식재산연구』, 제13권 제3호(2018).
- 채수현 · 김장원, “CPC 기반 특허 기술 분류 분석 모델”, 『한국콘텐츠학회논문지』, 제18권 제10호(2018).
- 최성진, “에너지 하베스팅 기술과 전력전자”, 『전력전자학회지』, 제18권 제2호(2013).
- 최재용 외 3인. “인문사회 과학기술 분야 연구의 학제적 동향 분석 — 토픽 모델링과 네트워크 분석의 활용”, 『산업경영시스템학회지』, 제42권 제1호(2019).

〈학술지(서양)〉

- Ando Junior, O. H. et al., “Proposal of a thermoelectric microgenerator based on seebeck effect to energy harvesting in industrial processes”, *Renewable Energy & Power Quality Journal (RE&PQJ)*, Vol.1(2014).
- Bai, Yang et al., “Energy harvesting research: the road from single source to multisource”, *Advanced materials*, Vol.30 No.34(2018).
- Balzani, Vincenzo et al., “Photochemical conversion of solar energy”, *ChemSusChem*, Vol.1 No.1-2(2008).
- Chang, Shann-Bin et al., “Exploring technology diffusion and classification of business methods: Using the patent citation network”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.76 No.1(2009).
- Choi, Donghyun & Song, Bomi, “Exploring technological trends in logistics: Topic modeling-based patent analysis”, *Sustainability*, Vol.10 No.8(2018).
- Choi, Jaewoong et al., “Technology opportunity discovery under the dynamic change of focus technology fields: Application of sequential pattern mining to patent classifications”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.148(2019).
- Daim, Tugrul U., et al., “Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.73 No.8(2006).
- Dieng, Adji B. et al., “Topic modeling in embedding spaces”, *Transactions of the Association for Computational Linguistics*, Vol.8(2020).

- Halaweh, Mohanad, "Emerging technology: What is it", *Journal of Technology Management & Innovation*, Vol.8 No.3(2013).
- Jung, Sukhwan & Yoon, Wan Chul, "An alternative topic model based on Common Interest Authors for topic evolution analysis", *Journal of Informetrics*, Vol.14 No.3(2020).
- Kawabata, Hiroki et al., "Robust relay selection for large-scale energy-harvesting IoT networks", *IEEE Internet of Things Journal*, Vol.4 No.2(2016).
- Khan, Farid Ullah & Qadir, Muhammad Usman, "State-of-the-art in vibration-based electrostatic energy harvesting", *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol.26 No.10(2016).
- Li, Huidong et al., "Energy harvesting from low frequency applications using piezoelectric materials", *Applied physics reviews*, Vol.1 No.4(2014).
- Li, Shaobo et al., "DeepPatent: patent classification with convolutional neural networks and word embedding", *Scientometrics*, Vol.117 No.2(2018).
- Moehrle, Martin G., et al., "Patent-based inventor profiles as a basis for human resource decisions in research and development", *R&d Management*, Vol.35 No.5(2005).
- Momeni, Abdolreza & Rost, Katja, "Identification and monitoring of possible disruptive technologies by patent-development paths and topic modeling", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.104(2016)..
- Montecchi, Tiziano et al., "Searching in Cooperative Patent Classification: Comparison between keyword and concept-based search", *Advanced Engineering Informatics*, Vol.27 No.3(2013).
- Mun, Changbae et al., "Discovering business diversification opp. rtunities using patent information and open innovation cases", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.139(2019).
- Rodriguez, Andrew et al., "New multi-stage similarity measure for calculation of pairwise patent similarity in a patent citation network", *Scientometrics*, Vol.103 No.2(2015).
- Rotolo, Daniele et al., "What is an emerging technology?", *Research Policy*, Vol.44 No.10(2015).
- Slabov, Vladislav et al., "Natural and eco-friendly materials for triboelectric energy harvesting", *Nano-Micro Letters*, Vol.12 No.1(2020).

- Tianchen, Yuan et al., “Vibration energy harvesting system for railroad safety based on running vehicles”, *Smart materials and structures*, Vol.23 No.12(2014).
- Toprak, Alperen & Tigli, Onur, “Piezoelectric energy harvesting: State-of-the-art and challenges”, *Applied Physics Reviews*, Vol.1 No.3(2014).
- Venugopalan, Subhashini & Rai, Varun, “Topic based classification and pattern identification in patents”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.94(2015).
- Von Wartburg, Iwan et al., “Inventive progress measured by multi-stage patent citation analysis”, *Research Policy*, Vol.34 No.10(2005).
- Wang, Bo et al., “Identifying technological topics and institution-topic distribution probability for patent competitive intelligence analysis: a case study in LTE technology”, *Scientometrics*, Vol.101 No.1(2014).
- Wang, Hao et al., “Energy harvesting technologies in roadway and bridge for different applications – A comprehensive review”, *Applied energy*, Vol.212 (2018).
- Whalen, Ryan et al., “Patent Similarity Data and Innovation Metrics”, *Journal of Empirical Legal Studies*, Vol.17 No.3(2020).
- Zhou, Gongbo et al., “Harvesting ambient environmental energy for wireless sensor networks: a survey”, *Journal of Sensors*, Vol.2014(2014).

〈인터넷 자료〉

- Devlin, Jacob et al., “Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding”, arXiv, (<<https://arxiv.org/abs/1810.04805>>), 검색일: 2018.10.11.

〈연구보고서〉

- Zervos, Harry et al., *Energy harvesting and storage 2014-2024: forecasts, technologies, players*, IDTechEx, Rep, 2014.

Tracing Technological Development Pathways through a Topic Evolution Analysis — A Case Study of Energy Harvesting

Kim, Yuseong; Choi, Jaewoong & Yoon, Janghyeok

Energy Harvesting technology, which converts ambient energy present in the environment into usable power forms, has received steady attention under environmental and technical necessity. Few existing prior studies have focused on specific technical energy support or conversion methods, dealing with limited technical trends. This study analyzes the overall development trend based on a large amount of patent data. This study quantitatively addresses the development pathways over time through a patent information-based topic evolution analysis. This study defines detailed technical elements by applying topical modeling to the text of collected patents. Next, the connection between technology elements is quantified using inventor, citation, and classification information. The emerging time points of each technology element are defined based on forward citation information, and a technology evolution map is generated. The technology evolution map shows that various detailed technical elements emerge, interact, and develop over time. The analysis results showed that technologies on ambient energy and efficient conversion method were active in the beginning, and application technologies in other areas were recently conducted.

Through the analysis results, it is expected that researchers and policy makers in related academia understand the trends in Energy Harvesting technology and monitor the latest development trends.

Keyword

Patent analysis, Topic modeling, Topic evolution analysis, Technology development path, Energy Harvesting