

특허 인용 네트워크와 동적 기술트리 분석을 활용한 기술 진화 경로 연구: 초고압 직류송전 시스템 사례

김준모* · 신준석**

<목 차>

- I. 서론
- II. 선행연구 분석
- III. 연구방법
- IV. 실증분석 결과
- V. 결론

국문초록 : 기존의 기술 진화 경로 연구는 주로 거시적 동향 분석 수준에서 이루어져 왔으며 포괄적인 기술정책 방향 수립에는 시사점이 있었으나, 기업 기술 및 특허전략에는 활용 가치가 낮았다. 2000년대부터 논문 및 특허 등의 데이터를 활용해 미시적인 기술의 진화 경로를 분석하고, 기업 기술전략에 적용하려는 연구가 증가하고 있다. 그러나 대부분 과거 진화 경로의 서술에 그치고 있으며 기술의 진화 또는 파생-융합 등의 변화에 대한 분석은 전문가의 정성적 판단에 상당부분 의존하고 있다. 본 연구에서는 특허 인용 네트워크를 구축해 미시적 기술의 진화 경로를 도출하고, 기술의 진화와 파생을 동적 기술트리를 통해 분석하는 방법론을 제시한다. 동적 기술트리 분석은 기술의 핵심요소를 체계화하고, 신기술 요소의 신규성과 확장성을 평가해 차세대 기술진화와 파생에 대한 정량적 판단을 가능하게 한다. 이를 통해 차세대 신기술과 파생기술에 대하여 파악, 평가, 비교하고 나아가 예측의 토대를 구축한 것이 본 연구의 의의이다. 본 연구의 결과는 기술 및 특허전략과 포트폴리오 구축의 신뢰

* (주)효성 전력 Performance Unit 부장 (junmokim73@gmail.com)

** 성균관대학교 시스템경영공학과/기술경영대학원 부교수, 교신저자 (jsshin@skku.edu)

성을 높일 수 있는 좋은 도구가 될 것이다. 본 연구에서 제안한 방법론을 이용하여 최근 전력 산업에서 기존 교류 송전의 대안으로 주목을 받고 있는 초고압 직류송전 시스템 기술을 대상으로 실증분석을 수행하였다.

주제어 : 특허, 인용 네트워크, 기술 진화 경로, 동적 기술트리, 초고압 직류송전

On the evolutionary technological trajectory using patent
citation network and dynamic technology tree analysis:
a case study of HVDC(High Voltage DC transmission system

Jun-Mo Kim · Juneseuk Shin

Abstract : Tracing an evolutionary technological trajectory in the macroscopic viewpoint is useful for technology policy, but not for corporate technology and intellectual property strategy. Tackling this issue, recent bibliometric studies using patents and papers have made efforts to identify more specific and detailed technological trajectory. However, these studies cannot go beyond simple description of the past trajectory. Also, identification of technology fusion and evolution relies on experts judgments. We suggest a way of identifying microscopic evolutionary technological trajectories by combining patent citation network analysis with dynamic technology tree. Also, using new indicators of generality, diversity and novelty, we can detect key technologies that can be a starting point of next generation technology and derivative technology. HVDC(High Voltage DC transmission) system technology is exemplified.

Key Words : Patent citation network, Evolutionary technological trajectory, Dynamic technology tree, High voltage DC transmission

I. 서론

기술의 진화 경로를 도출하여 이를 분석하고 향후의 추세를 예측하는 것은 많은 사람들의 관심을 받아온 분야이다. 특정 기술의 진화 경로에 대한 연구를 통하여 새롭게 부각되는 핵심기술을 인지하고 해당 기술 개발에 대하여 합리적이고 전략적인 의사결정을 내리고 이를 연구개발 전략에 반영하는 것은 연구개발 기획의 핵심활동 중 하나이다.

Dosi(1982)가 기술 패러다임의 개념을 정의하고 이를 통해 기술 진화의 이론적 틀을 마련한 이후, 이를 바탕으로 기술 진화에 대한 연구가 활성화 되었다. 이는 크게 두 유형으로 분류할 수 있다. 첫째, 특정 기술 패러다임 내에서의 진화를 분석하는 연구와 둘째, 다양한 기술 패러다임이 상호 작용하는 보다 폭넓은 기술 진화 시스템에 대한 연구이다. 두 유형 모두 주로 거시적 관점에서 기술의 출현, 성장과 진화를 분석한다(Glasmeier, 1991; Possas et al., 1996; Orsenigo, 2001). 이러한 분석은 대부분 정성적이며, 기술 진화 경로와 기술의 특성을 구체적이고 정량적으로 분석하려는 시도는 거의 없었다. 특히 기술 진화가 오랜 기간에 걸쳐 발생하고 기술의 구성요소가 복잡한 산업의 경우에는 핵심 기술 도출과 기술 진화 경로를 정성적으로 분석하는데 한계가 있다. 따라서 보다 미시적이고, 정량적인 접근방법이 필요했으며, 이 중 1990년대 후반부터 주목받고 있는 것이 논문, 특허 등의 서지정보를 활용한 분석기법이다.

특히 특허는 기술의 혁신과 변화에 관련된 연구에서 중요한 데이터로 간주되어 왔다. 특허가치 측정은 다양한 방법이 있지만, 일반적으로 특허가 인용되는 빈도가 높을수록 가치 있는 특허이다(Jaffe et al., 2000; Chen and Hicks, 2004). 따라서 특허 인용에 기반해 핵심기술을 파악하고, 기술발전 동향을 분석하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 다양한 특허간 인용 관계는 네트워크 형태로 표현 가능하므로 다수의 특허 데이터를 분석하는 경우에는 사회적 네트워크 분석 방법이 널리 활용되고 있다(Huang et al., 2003; Li et al., 2007; Lee et al., 2010; Chen et al., 2011; Choe et al., 2013).

특허 인용 네트워크에서는 기본적으로 인용, 피인용 수에 기반해 특허 가치를 평가한다. 인용 및 피인용수가 많을수록 영향력이 있고, 중요한 특허다. 결국 각각의 특허에 연결된 특허들의 수가 중요한 것이다. Hummon and Doreain(1989)는 이에 주목해 특허 간 연결성을 고려하여 인용관계의 수준을 나타낼 수 있도록 했다. 이후 이를 응용하여 기술 진화 경로를 도출하고 그 특징에 대하여 분석하는 연구가 증가하고 있다(Verspagen, 2007; Mina et al., 2007; David et al., 2011; Lin et al., 2011; Ho et al., 2013).

위의 기존 연구들은 모두 특허를 활용해 미시적인 기술의 진화 경로를 파악하고, 해당 분야의 핵심기술을 구체적으로 도출하고 있다. 그러나 기술 진화의 원인, 차세대 기술의 특징, 파생기술의 특징에 대해서는 정성적인 추론 정도에 그치고 있다. 결국 기술 진화 경로를 구성, 설명하고는 있지만 그 경로가 형성, 변화하는 과정과 원인 파악에는 이르고 있지 못한 것이다. 본 연구에서는 전문가들의 경험과 일치하는 구체적인 기술 진화 경로를 특허 인용 네트워크 분석을 통해 구축하고, 나아가 차세대 및 파생기술의 특성을 동적 기술트리 분석을 통해 파악하고자 한다.

II장에서는 기술 진화 경로 분석 및 특허 인용 네트워크에 대한 선행연구 내용을 분석 하였으며 III장에서는 특허 인용 네트워크 분석, 동적 기술트리 및 기술 분기점 판별 등 본 연구의 방법에 대한 연구 프레임워크를 설명하였다. IV장에서는 제안된 연구방법의 실증을 위하여 최근 전력 산업에서 기존 교류송전의 대안으로 관심을 받고 있는 초고압 직류송전 시스템(HVDC, High Voltage DC transmission system)의 미국특허 데이터베이스를 활용한 실증분석 결과를 정리하였으며 V장에서는 본 연구의 결과 및 의의에 대하여 논의하였다.

II. 선행연구 분석

1. 거시적 기술진화 경로 분석

Dosi(1982)는 기술 패러다임이 기술 변화의 바탕이며, 특정 기술의 연속적인 혁신이 기술 진화의 궤적을 결정하고, 불연속적 혁신으로 인해 새로운 기술 패러다임이 형성된다고 정의했다. 이를 바탕으로 특정 기술 영역에서의 기술진화, 또는 기술 패러다임 간 상호작용에 의한 기술 진화에 대한 연구가 다수 이루어졌다. Glasmeier(1991)는 스위스 시계 산업에서의 기술 진화에 대해 연구하면서, 기술 진화가 생산방식, 산업, 문화와 사회를 구성하는 방식에 어떠한 영향을 미치는지 이해하여야 하며, 이러한 기술 진화가 산업계에 전략적 변환점을 제시한다고 주장했다. Possas et al.(1996)는 농업에서의 기술혁신 프로세스에 대해 연구했으며, Orsenigo et al. (2001)는 그래프 이론 기법을 적용해 제약 산업에서의 기술 진화를 시각화했다. Kim and Pennings(2009)는 테니스 라켓 산업에서의 연속적인 신제품 출시에 대한 연구를 통해 혁신적인 기업의 전략적 행동에 따른 기

술 진화와 산업 변화를 분석했다.

그러나 위의 연구들은 기술 진화 경로의 특성, 기술특성에 대한 구체적인 분석이 없어, 기업 기술전략에 활용하기에는 부족한 점이 많다. 특히 기술진화 경로가 장기간에 걸쳐 형성되고, 기술의 구성요소가 복잡한 산업의 경우에는 정성적 분석으로는 한계가 있다. 시계, 테니스 라켓 등 소형 소비재 중심으로 연구가 이루어지는 것은 이러한 한계에 기인한다. 최근에는 이런 한계를 극복하기 위해 특허, 논문 등의 서지정보를 분석해 기술진화 경로를 분석하는 연구가 활성화되고 있다.

2. 특허 인용 네트워크 분석

특허는 연구개발의 주요 결과물이자 신기술의 주요 특성과 용처에 대한 자료로, 기술과 혁신 관련 연구에 중요한 자료이다. 특허의 질적 가치는 변리사, 연구자 등 전문가에 의한 정성적 판단에 의존하고 있지만, 인용수를 비롯한 정량 데이터를 활용한 평가가 최근 10여 년간 활성화되고 있다. 개별 특허가 피인용 되는 빈도가 높을수록 그 특허는 보다 중요한 특허로 간주할 수 있다(Jaffe et al., 2000; Chen and Hicks, 2004). 후속 특허들에 의해 빈번하게 인용된 특허는 이를 기반으로 한 신기술과 관련 특허가 출원될 가능성이 높기 때문에, 기술적으로 중요하다. 한편 인용 특허와 피인용 특허간의 지식흐름을 분석하면, 기술간 또는 연구자간의 관계를 분석할 수도 있다 (Karki, 1997).

특허인용은 특정 기술 영역 내의 기술 확산, 기술간 연관관계, 기술 진화 동향 분석에 유용하다(Chang et al., 2009). Lai and Wu(2005)는 특허간 공동인용(co-citation)에 기반해 기술-특허간 연관관계를 분석하고, 이에 기반한 새로운 특허 분류체계를 제시했다. Chang(2012)은 특허 인용 분석과 사업 포트폴리오 기법을 활용해 기술현황을 파악하고, 이에 기반해 연구개발 전략을 수립하는 방법을 제시했다. No et al. (2010)은 특허 인용의 선행기술과 후행기술간 연결고리 역할을 분석하였다. Hu and Jaffe(2003)는 특허 인용정보를 국가간 지식 확산 분석에 활용했다. 이처럼 특허 인용은 다양한 기술간, 사업간, 국가간 연관관계 분석에 활용되고 있다.

다수 특허간 인용관계는 네트워크 형태로 표현할 수 있으며, 대규모 네트워크 분석에 효과적인 사회적 네트워크 분석 기법을 활용한 연구가 증가하고 있다. 사회 네트워크 분석은 그래프 이론에 기반을 둔 정량적 분석기법으로, 개별 특허를 개체(node), 인용을 흐름(flow)로 가정하고, 개체간 흐름관계의 구조적 집합인 네트워크를 통해 특허 인용 관

계를 표현한다. Choe et al. (2013)은 유기 태양전지 기술 분야에, Huang et al.(2003)과 Li et al.(2007)은 나노 기술 분야에 대한 사회 네트워크 기법을 적용해 기술 개발 동향을 분석했다. 최근 연구 중 Lee et al.(2010)은 전도성 폴리머 나노합성물에 대한 특허 네트워크 분석에서 기술 진화의 설명변수를 도출하고, 이를 정량적으로 측정, 분석하는 방법을 제시했다. Chang et al. (2010)은 탄소 나노튜브 전계 방출 디스플레이 특허 네트워크 분석을 통해 부상하는 신기술을 파악하는 방법을 제시했다. Cho and Shih (2011)는 1997년부터 2008년 사이에 미국 특허청에 등록된 대만 특허의 네트워크를 분석해 대만의 핵심기술과 신기술을 분석했다. Chen et al. (2012)은 지능형 전력망 기술의 주요 클러스터, 클러스터간 관계, 진화경로를 특허 인용을 통해 분석하고, 시각화했다. 한 걸음 나아가 Chen et al.(2013)은 연료전지 특허 네트워크 분석 및 시계열 분석을 통하여 연료전지 기술의 진화, 변화의 특성을 도출했다. 그러나 위 연구 모두 변화의 동인 또는 기술 특성 분석이 정성적 추론에 그치고 있는 것이 한계다.

인용 네트워크 분석은 특허는 물론 논문 분석에도 활용되고 있다. Kajikawa et al.(2008)은 논문 네트워크 분석 및 수명분석을 통해 에너지 분야에서 부상하는 신규 연구 분야를 찾아냈다. Kajikawa and Takeda (2009)는 OLED 관련 논문의 인용 네트워크 분석과 위상분석, 군집분석을 활용해 해당 연구의 최신 동향을 분석했다. Shibata et al. (2010)은 태양전지 분야의 과학기술 논문네트워크와 특허 인용 네트워크를 상호 비교, 분석하는 연구를 수행했다. 그러나 논문 분석은 특허 분석에 비해 기초 과학기술 연구에 가깝기 때문에, 과학적 발견과 기술 상용화까지의 기간이 짧은 연구가 아니면 기업 연구 개발에 대한 시사점이 적은 것이 문제다.

Hummon and Doreain(1989)이 특허간 인용관계를 연결성 지표를 통해 평가, 분석한 이래 이에 기반해 기술진화 경로를 분석하는 다수의 후속연구가 있었다. Verspagen(2007)은 Hummon과 Doreian이 제안한 지표를 활용하여 네트워크의 주경로를 도출하는 방법을 제안하고 이를 이용하여 연료전지의 기술진화 경로를 도출했다. David et al. (2011)은 Verspagen의 분석 방법을 이용하여 의료분야에서의 인공 디스크 특허 인용 네트워크를 구축하고, 기술진화 경로를 분석했다. Mina et al.(2007)은 관상 동맥 질환의 치료방법에 대한 논문과 특허 인용 네트워크를 구축하여 각각에 대한 주경로 분석 결과를 도출하였다. Lin et al. (2011)은 자동차 산업 기술진화의 근간을 파악하기 위해 특허 인용 네트워크에 기반한 기술진화 주경로 및 주요 하위 네트워크의 구성요소에 대해 분석했다. Ho et al. (2013)은 연료전지 관련 논문 인용 네트워크를 구축하고, 주경로 분석을 통하여 연료전지의 기술진화 경로를 분석했다. 또한 다중 주경로 분석 및

분기 경로 분석을 도입하여 주경로 이외의 기술동향도 분석했다. 그러나 주경로 및 분기에 대한 판단이 단순 인용수에 의존하고 있는 것이 연구의 한계이다.

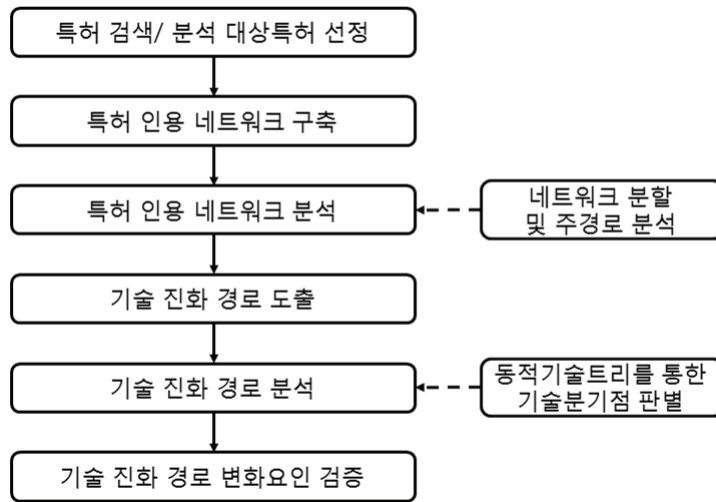
특히 인용 네트워크는 수백, 수천 개 특허로 구성된 대규모 네트워크로 내부에 다양한 하위 기술이 혼재한다. 따라서 대규모 네트워크를 명확한 기준에 따라 세부 네트워크로 분할 가능하다면, 보다 구체적인 기술진화 경로 분석이 가능하다. 대규모 네트워크를 분석하기 위해 기존의 군집분석을 비롯한 다양한 네트워크 분할방법이 개발, 적용되고 있다. Girvan and Newman(2002)은 네트워크 중심점을 기준으로 세부 네트워크의 영역을 정의하고, 이에 기반해 특정 세부 네트워크를 도출, 추적하는 방법을 개발했다. 한 걸음 나아가 Newman and Girvan(2004)은 연결강도를 기준으로 세부 네트워크를 탐색, 파악하는 알고리즘을 제안했다. 이러한 기법을 적용해 네트워크를 분할하면, 보다 구체적인 기술진화 경로 분석이 가능하다. 그러나 기계적인 알고리즘 적용으로는 세부 네트워크 파악에 오류가 많아, 정성적 전문가 판단과 정량적 분석방법을 복합적으로 적용해야 하는 것이 문제이다.

Ⅲ. 연구방법

기존 기술진화 경로 연구들은 포괄적인 기술진화 추세 분석에 머무르거나, 기술의 진화 및 파생 원인에 대한 분석이 정성적 추정에 그치는 한계를 갖고 있다. 구체적이고 상세한 기술진화, 파생의 원인 및 특성에 대한 분석이 이루어지지 않으면, 실제 기술전략에 기술 진화 경로 분석결과를 적용하기는 현실적으로 어렵다. 본 연구에서는 1) 특허 인용 네트워크의 구체적인 세부 네트워크 분할을 통해 구체적인 기술 진화 경로를 도출하고, 2) 동적 기술트리 분석을 통해 기술의 주요소(principal component)에서 진화 및 파생 과정에서 어떤 변화가 일어났는지를 정량적으로 분석, 평가하며, 나아가 3) 기술의 진화 경로상에서 파생되는 분기점을 정량적으로 판별하는 방법을 제시한다.

연구 프레임워크는 아래 <그림 1>과 같다. 특허 데이터베이스에서 핵심 검색어(query) 집합을 구성한 후, 분석 대상 기술 특허를 수집한다. 검색어 집합은 특허 샘플로부터의 키워드 분석과 전문가 의견을 기반으로 구성하고, 검색을 반복하면서 수정, 보완한다. 초기 특허집합을 구성한 후, 개별 특허의 초록을 기반으로 전문가 검증을 거쳐 분석 대상 특허 집합을 최종 확정한다. 각 특허의 인용, 피인용 관계를 조사하여 전체 특허

인용 네트워크를 구축한다. 전체 네트워크를 세부 기술 네트워크로 분할하고, 각 네트워크의 기술진화 경로를 파악하기 위해 주경로 분석을 수행한다. 마지막으로 도출된 기술진화 경로의 주요 특허들을 동적 기술트리 기법과 기술 분기 지표를 통해 분석하고, 기술의 파생의 분기점이 되는 특허들을 평가, 파악한다.



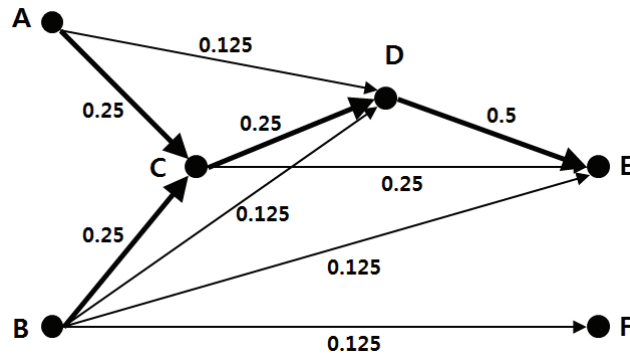
<그림 1> 연구 프레임워크

1. 특허 인용 네트워크의 분할 및 주경로 분석

본 연구에서는 대규모 네트워크의 세부 네트워크 분할에 효과적이라고 알려진 Girvan-Newman 알고리즘을 사용했다. 이 방법은 네트워크 내 개체들의 연계관계의 강도에 기반해 세부 네트워크를 구성하는 것이다. 특허 인용 네트워크에서는 네트워크 내 상호인용 강도가 다른 네트워크 특허와의 상호인용 강도보다 높은 세부 네트워크를 찾아내게 된다 (Newman and Girvan, 2004).

특허 인용관계는 이후의 특허가 이전의 특허를 인용하는 비순환 구조로 이루어져 있다. 따라서 특허 인용 네트워크에 대한 주경로 분석을 통해 핵심적인 특허간 인용흐름-지식 흐름-을 발견할 수 있다. 이 지식 흐름이 기술진화의 주경로이다. 복잡한 네트워크의 주경로 분석에는 다양한 알고리즘을 사용할 수 있다. 일반적으로 SPLC(Search Path Link Count), SPNP(Search Path Node Count)와 SPC(Search Path Count)가 가장 많이 활용된다. 본 연구에서는 대규모 네트워크에 가장 효과적인 SPC 법을 사용했다

(Batagelj, 2003). SPC는 네트워크의 특정 노드(source)간의 연결 가능한 총 경로의 수로 각 경로의 수를 나누어 개별 경로의 네트워크에서의 비중을 계산한다. 특히 네트워크에서 각 특히는 노드에 해당하며, 인용은 노드간의 연결선(arc)이다 (Batagelj, 2003). <그림 2>는 SPC에 의한 주경로 도출의 예시다. 노드 A와 B로부터 노드 E와 F로 연결되는 경로는 모두 8개이다. B와 F간 연결선을 지나는 경로는 단 하나이므로 이를 전체 경로의 수로 나누면 경로 비중은 0.125이다. D와 E간 연결선을 지나는 경로는 모두 4개이므로, 경로 비중은 0.5이다. 각 경로별로 비중을 계산한 후, 가장 높은 비중의 연결선을 시작 노드(A와 B)에서 최종 노드(E와 F)까지 연결한 것이 주경로이다. <그림 2>에서 주경로는 경로 A-C-D-E와 경로 B-C-D-E다. 따라서 특히 네트워크의 주경로는 네트워크에서 인용 비중이 가장 높은 인용들을 연결한 것이 된다.



<그림 2> SPC법에 의한 주경로 도출

2. 동적 기술트리 분석

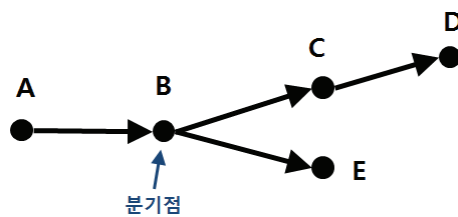
특히 데이터를 기술전략에 활용하는 연구가 최근 증가하고 있다(Chang, 2012). 기술의 전후관계 및 기술 변화의 대체적인 동향은 파악 가능하나, 기술진화의 요인 또는 특성에 대해서는 정성적 추정 수준에 그치고 있다. Choudhury and Fallah(2009)는 미국 특허를 분석해 녹색 기술 트리를 구축하고, 이를 활용해 미국의 녹색 에너지 기술진화 경로와 진화요인 및 특성 분석을 시도했다. 기술 트리를 통해 기술간 관계나 특성이 보다 체계화되었으나, 정성적 추정의 한계를 넘어서지는 못했다.

기술트리는 기술 사이의 관계를 나뭇가지 형태로 표현해 상위 기술과 하위 기술 간 계층 구조를 체계화하는 도구다. Heiss and Jankowsky(2001)는 기술트리는 기술 관리의

상향식 개념으로 엔지니어의 역량을 기술 관리 프로세스에 통합할 수 있는 도구라고 정의했다. 또한 기술트리는 현재 기술 개발 및 보유 현황을 체계화하는 도구이기도 하다 (Durand, 1992; Choi et al., 2012). 본 연구에서는 동적 기술트리(Dynamic technology tree) 분석을 통해 이러한 한계를 극복하고자 했다. 본 연구의 동적 기술트리 분석은 우선 분석 대상 특허의 청구항에 대한 정성적 분석에서 시작한다. 전문가들이 청구항의 핵심 요소들을 추출하고, 다시 핵심 요소들을 기술 아키텍처, 기능, 진화 관점에서 기술 트리 형태로 계층화한다. 연도별로 특허 청구항들의 핵심 요소가 어떻게 변화하는지를 분석하면, 기술의 기능-구조 측면에서의 진화를 파악할 수 있는 것이다. 요약하면, 기술의 핵심 구성요소를 체계적으로 정의하고, 핵심 구성요소의 동적 변화를 분석하는 기법으로 정의할 수 있다. 즉, 기존 기술트리가 정적인 기술 구조를 표현한다면, 동적 기술트리는 기술 구조의 동적 변화를 표현, 분석하는 기법이다. 본 연구에서는 한 걸음 더 나아가 동적 기술트리 분석에 기술 분기 지표를 도입해, 차세대 기술로의 진화에 핵심이 되는 기술들을 정량적으로 파악하고자 했다.

3. 기술 분기점

기술 분기점은 기술 진화경로에서 기술 아키텍처 또는 기능이 크게 변화하거나, 기존과 상이한 속성-특성을 가진 기술을 의미한다. 예를 들어 아래 <그림 3>과 같이 기술의 주 진화경로 A-B-C-D에서 다른 기술 영역으로 분기되는 A-B-E 경로가 발생할 경우 기술 B를 이 경로의 기술 분기점이라고 정의한다.



<그림 3> 기술 분기점의 정의

기존 연구에서는 기술 분기점에 해당하는 특허나 기술의 판별을 전문가의 정성적인 판단에 의존하는 경우가 많았다. 본 연구에서는 특허의 기술적 특성을 정량화하여 특정 특허가 기술진화 경로에서 다른 특허로 진화, 파생되는 분기점이 될 수 있는지의 여부를 판별하기 방법으로 특허의 보편성(Generality)과 기술 트리를 기반으로 하는 두 가지 지

표를 제안하고자 한다. 특정 특허로부터 진화, 파생되는 특허는 주경로 상의 특허와는 기술적으로 다른 특성을 내포하고 있다고 가정을 할 때 크게 두 가지 측면을 관찰할 필요가 있다. 첫 번째는 해당 특허가 기존의 기술의 제반 구성 요소들을 포함함으로써 기존 기술을 기반으로 기술이 확장되는 경우이며, 두 번째는 기존의 기술 구성요소와는 성격이 다른 특성의 기술을 포함하고 있는 경우이다. 첫 번째 경우에는 포괄성(Diversity) 지표가, 두 번째 경우는 신규성(Novelty) 지표가 적합하다.

보편성은 Hall and Trajtenberg(2004)가 제안한 지표로 특허 인용에 대한 정량분석을 통해 일반목적기술(GPT, General Purpose Technology)을 파악하는 기준으로 제시되었다. 보편성(G_i)은 아래의 식과 같으며, 여기서 S_{ij} 는 클래스 j 에서의 특허 i 의 인용 비중이다. 보편성 지수가 1에 가까울수록 해당 특허가 넓은 범위의 기술을 인용하고 있으며, 이 특허가 향후 다양한 기술 분야에서 활용될 가능성이 높다고 볼 수 있다.

$$G_i = 1 - \sum_j^{n_i} S_{ij}^2 \dots\dots\dots ①$$

보편성을 만족하는 특허 중 포괄성이 높으면 상기의 첫 번째 경우의, 신규성이 높으면 두 번째 경우의 분기점 발생 확률이 높다고 볼 수 있다. 포괄성과 신규성 분석을 위해서는 우선 분석 대상 특허의 청구항을 중심으로 기술트리 분석을 해야 한다.

본 연구에서는 특허 청구항에 대한 정성적 분석을 통해 대상 기술에 대한 기술트리를 구성하고, 이를 바탕으로 기술/특허의 포괄성과 신규성을 계산했다. 포괄성(D_i)은 주경로 특허들의 청구 항목들(C_{all})의 합에 대한 특허 i 의 청구 항목(C_i)의 합의 비율로 정의했다. 포괄성은 보편성과 마찬가지로 값이 1에 가까울수록 대상 특허가 넓은 범위의 기술을 청구항으로 지정하고 있으므로, 향후 여러 분야에서 활용될 가능성이 높다. 보편성이 거시적 기술수준에서의 평가기준이라면, 포괄성은 미시적 기술수준에서의 평가기준이다.

$$D_i = \sum C_i / \sum C_{all} \dots\dots\dots ②$$

신규성(N_i)은 아래와 같이 표현할 수 있다. 여기서 MC_i 는 특허 i 의 청구항목 중 기존의 주경로 특허와 동일한 기술의 청구 항목이고 NC_i 는 특허 i 의 청구항목 중 신규로

나타난 기술의 청구 항목을 의미한다. 신규성이 높은 특허는 기존의 기술을 인용하고는 있지만, 새로운 요소를 다수 포함하고 있다. 신규성이 1이면 기존 특허와 완전히 다른 핵심 기술요소들로 구성되어 있는 특허이다.

$$N_i = 1 - (\sum MC_i / \sum NC_i) \dots\dots\dots ③$$

IV. 실증분석 결과

1. 대상 기술 선정: 초고압 직류송전 시스템

초고압 직류 송전 시스템(HVDC, High Voltage DC transmission system)은 기존의 교류 송전을 대체하는 기술로 관심이 고조되고 있다. 장거리 대용량 전력 송전 및 해저 송전시 기존 교류 송전에 비하여 경제성과 운영 유연성 등에서 다양한 장점을 가지고 있다. 다양한 산업 분야에 활용도도 높은 일반목적기술적 특성도 장점이다. 국내외 전기·기계 기업들이 연구개발 및 상용화에 관심을 기울이는 대표적 유망기술이다.

기업 측면의 실질적 가치 외에도, 본 연구의 주경로 및 기술분기점 분석을 위해서는 대상 기술에 아래와 같은 두 가지 조건이 필요하다. 첫째, 기술의 세대 변화가 발생해야 한다. 세대 변화 없이는 주경로에 변화가 없으며, 기술 아키텍처, 기능, 속성 등의 변화가 적어 동적 기술트리 분석의 의미가 적다. 둘째, 다양한 파생기술이 있어야 한다. 파생기술이 없다면, 기술 분기점의 수가 적으며 따라서 분기점 파악의 실무적·학술적 의미가 낮아진다. HVDC 기술은 장기간에 걸쳐 뚜렷한 기술 세대 변화를 보여 왔으며, 다양한 파생 기술이 여러 산업 분야에서 활용되고 있다. 위의 두 조건을 만족하는 기술로, 본 연구의 유의미한 실증분석에 적합하다.

초고압 직류송전 시스템의 주요 구성기기는 컨버터, 변압기, 필터, 조상설비 및 직류선로이며 기술 개발도 이 요소들을 중심으로 이루어지고 있다. 초고압 직류 송전 시스템은 기존의 전류형 컨버터(CSC, Current Sourced Converter) 시스템이 시장의 대부분을 차지하고 있으나, 대규모 풍력단지 도입 등과 관련하여 전력계통을 안정적으로 연계할 수 있는 전압형 컨버터(VSC, Voltage Sourced Converter) 시스템에 대한 기술개발도 활성화되고 있다 (Bharman and Johnson, 2007). 최근에는 전압형 컨버터 시스템에서도 확장

성이 좋고 손실이 낮은 MMC (Modular Multilevel Converter) 기술개발이 활발하게 이루어지고 있다(Allebrod et al., 2008; Davidson and Trainer, 2010).

2. 자료

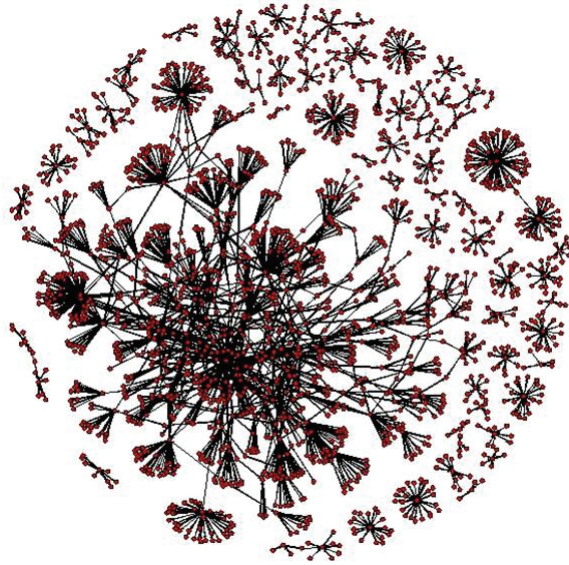
초고압 직류송전 시스템의 특허 인용 분석을 위해 미국 특허청에서 특허를 수집했다. 미국 특허청은 광범위한 인용 정보를 제공하고 있어, 인용 분석에 적합하다. 또한 전 세계적으로 발명되는 주요 초고압 직류송전 신기술은 대부분 미국 특허로 등록되고 있기 때문에(Narin et al., 1997; Iversen, 2000) 대상 기술의 진화경로 분석에 적합하다.

미국 특허청 데이터베이스에 등록되어 있는 초고압 직류송전 시스템 관련 특허의 검색을 위하여 전기 전자 기술자 협회(IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers)에서 발간한 초고압 직류송전 기술에 대한 기술 자료의 키워드를 기반으로 (Bharman and Johnson, 2007), 3인의 HVDC 전문가의 조언을 통해 초기 검색어 집합을 구성했다. 검색을 반복하며 수집된 특허의 키워드를 분석해 검색어 집합을 업데이트하며 관련 특허를 수집했다.

일차적으로 1976년부터 2012년까지의 605개 미국 특허를 수집했다. 검색된 605개 특허의 초록에 대한 3인의 전력 산업계 전문가의 검토를 거쳐, 초고압 직류송전 시스템과 직접적인 관계가 없는 특허들을 제외했다. 최종적으로는 233개 특허를 본 연구의 분석 대상으로 확정했다.

3. 특허 인용 네트워크

분석대상으로 선정된 특허들의 인용 네트워크를 구성하기 위하여 조사 대상 특허들의 인용 및 피인용을 2단계(Two-step)까지 조사해 최종 특허집합을 구성했다. 특허 인용 네트워크는 인용-피인용 행렬 형태로 정리하였으며, 크기는 1977×1977이다. 인용 네트워크 시각화 결과는 <그림 4>와 같다.

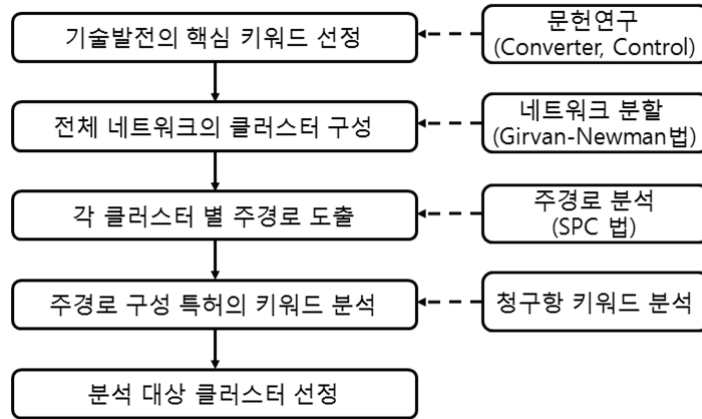


<그림 4> HVDC 특허 인용 네트워크

기술진화 경로 분석을 위해서는 특허 인용 네트워크를 세부 네트워크로 분류해야 한다. 전술한 Girvan-Newman 알고리즘을 이용한 결과 초고압 직류송전 시스템의 특허 인용 네트워크는 68개의 세부 네트워크로 분할 가능했다. 역사적으로 초고압 직류송전 시스템 기술은 컨버터(Converter) 성능과 전체 시스템 제어기술을 중심으로 발전해 왔다 (Bharman and Johnson, 2007; Allebrod et al., 2008; Davidson and Trainer, 2010).

본 연구에서는 분석 대상 세부 네트워크를 선정하기 위해 각 세부 네트워크의 핵심 특허를 주경로 분석을 통해 선정하고, 해당 특허의 청구항에서 추출한 키워드가 초고압 직류송전 시스템의 핵심기술인 컨버터(Converter)와 제어(Control)를 포함하고 있는지를 분석했다.

이러한 방식으로 선정된 핵심 세부 네트워크는 가장 큰 1237X1237의 네트워크이다. 나머지 세부 네트워크는 기술진화의 핵심적 구성요소들을 포함하고 있지 않은, 지역적 네트워크라고 할 수 있다.



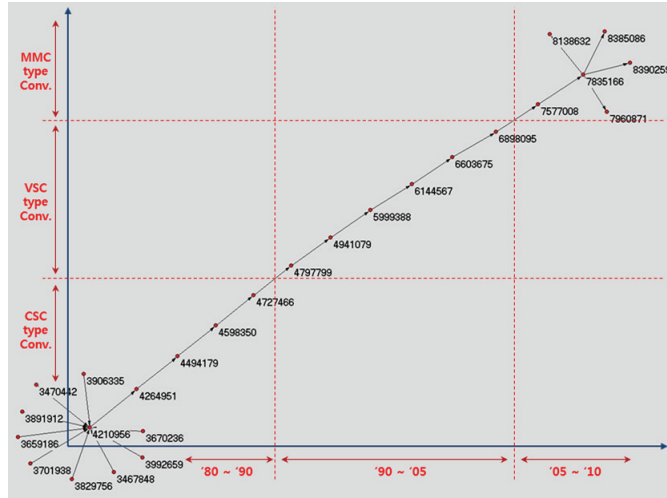
<그림 5> 분석 대상 네트워크 선정

4. 기술진화 경로 분석

초고압 직류송전 시스템의 기술진화 경로를 도출하기 위해 분석 대상 네트워크에 대한 주경로 분석을 실시했다. Batagelj(2003)는 대규모 네트워크 분석에는 SPC가 가장 효과적이고, 효율적인 방법임을 입증하였다. 따라서 본 연구에서는 SPC에 기반해 주경로를 분석했다. 소프트웨어로는 Pajek 3.12를 사용했다. 최종적으로 도출한 초고압 직류송전 시스템의 특허 인용 네트워크의 기술진화 경로는 <그림 6>과 같다.

특허 4210956부터 특허 4727466까지는 1세대에 해당하는 전류형 컨버터 기술에 대한 특허들로, 주로 전류형 컨버터 제어방법 변화가 청구항의 중심을 이루고 있다. 특허 4797799부터 특허 6898095까지의 2세대 경로는 전압형 컨버터에 대한 특허이다. 3세대에 해당하는 특허 7577008부터 특허 7835166까지는 전압형 컨버터 중 확장성이 좋고 전력 손실이 낮아 최근 많은 연구가 이루어지고 있는 MMC (Modular Multi level Converter) 특허이다.

이상과 같이 특허 네트워크의 주경로는 Bharman and Johnson (2007), Allebrod et al., (2008)과 Davidson and Trainer(2010) 등의 기존 초고압 직류송전 시스템 기술 역사에 대한 연구와 정확하게 일치한다. 즉, 특허 인용 네트워크에 기반한 기술진화 경로가 전문가들이 경험, 판단한 실제 기술진화 경로와 동일한 것이다.



<그림 6> 핵심 네트워크 기술진화 경로

그러나 기존 연구의 한계에서 지적한 바와 같이, 특히 인용 네트워크의 주경로에만 초점을 맞추면 주경로에서 파생되는 다양한 고부가가치의 파생 기술을 파악하기 어렵다는 문제가 있다. 그러한 단점을 보완하기 위하여 분석 대상 핵심 네트워크를 유사한 기술 속성을 갖는 세부 네트워크로 재분할하고, 각 세부 네트워크의 주경로를 분석하면 파생 기술의 진화 경로를 파악할 수 있다. 핵심 네트워크를 세부 네트워크로 분할하기 위해서는 분할 기준이 필요하다. 본 연구에서는 주경로상 특허들의 클래스(class)를 조사하고, 이 클래스의 수를 분할하는 초기 세부 네트워크의 수로 사용했다. 특허 클래스는 특허들의 기술-제품 측면에서의 유사성에 기반한 분류기준으로, 일차 분류기준으로 사용하기에 적합하다.

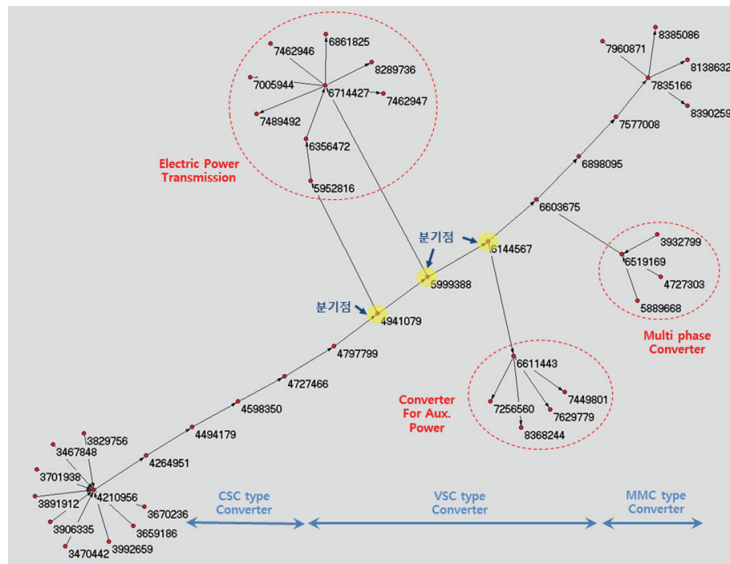
본 연구에서는 초고압 직류송전 시스템의 핵심 네트워크를 Girvan-Newman 알고리즘을 이용해 5개의 세부 네트워크로 분할했다. 여기에서 세부 네트워크를 5개로 분할한 근거는 일차적으로 주경로를 구성하는 13개 특허의 특허 클래스가 5종이기 때문이다. 이차적으로는 앞서 언급한 SPC를 활용해 경로 비중을 계산하고, 주경로를 도출했다. 즉, 특허 분류체계와 정량적 알고리즘 기반 분류를 일치시켜 기술전략뿐 아니라 특허전략에서도 의미를 가질 수 있도록 세부 네트워크를 분할했다.

네트워크 분할 결과, 세부 네트워크 #1에서는 전류형 컨버터의 제어 기술, 전압형 컨버터 기술 이외에도 전력 전송 제어기술과 보조 전원용 컨버터 기술을 추가로 확인할 수 있다. 세부 네트워크 #2의 주경로에서는 전압형 컨버터 기술이 MMC(Modular

Multilevel Converter)로 진화해가는 경로를 확인할 수 있다. 여기에서도 핵심 네트워크의 주경로 분석을 통해 발견할 수 없었던 다상 인버터 시스템 구성에 대한 파생 경로를 형성하는 것이 파악되었다. 세부 네트워크 #3은 컨버터 상태의 모니터링 및 제어관련 특허이다. 핵심 네트워크의 주경로 기술과는 별개의, 파악할 수 없었던 기술이다. 이는 핵심 네트워크 주경로에서 누락된 가치 있는 기술이다.

세부 네트워크 #4는 통신용 보조전원 장치 특허이며 세부 네트워크 #5는 풍력 발전기 제어 특허로, 두 가지 모두 초고압 직류송전 시스템과는 연관성이 낮다. 즉, 세부 네트워크 #4와 #5는 핵심 네트워크 주경로와 연관성이 낮은 관련 기술 네트워크이다.

세부 네트워크 #1, #2의 주경로는 핵심 네트워크의 주경로에 <그림 7>과 같이 연결할 수 있다. 초고압 직류송전 시스템의 기술진화 경로에서 특허 4541079와 특허 5999388는 전압형 컨버터 기술과 전력 전송 제어 기술의 분기점에 해당한다. 또한 특허 6144567는 전압형 컨버터 기술과 시스템 보조 전원용 컨버터 기술의 분기점으로, 주경로와는 상이한 별개 세부 기술경로를 구성한다. 이와 같이 핵심 네트워크를 세부 네트워크로 재분할하고, 세부 네트워크 기술에 대한 파생경로 분석을 통해 기술 및 특허 전략에 보다 유용한 정보를 제공할 수 있다. 핵심 네트워크 주경로는 차세대 기술진화의 방향, 특성, 핵심 기술요소, 시점, 경쟁자 동향 파악에 유용하다. 반면 파생경로는 점진적 기술혁신 관점에서 사업가치 창출을 위한 R&D에 중요한 정보를 제공한다.



<그림 7> 확장된 기술진화 경로

5. 기술 분기점 분석

본 연구에서 제안하는 보편성, 포괄성, 신규성 분석을 위해 우선 핵심 네트워크의 주 경로를 구성하는 특허들의 청구항을 분석해 기술트리를 작성했다. 특허 청구항에서 다루는 기술 범위와 수준이 다양하기 때문에, 개별 특허 청구항의 기술범위, 수준 전체를 포괄할 수 있도록 기술트리를 계층화해 작성했다.

핵심 네트워크 주경로를 구성하는 13개 특허 청구항에 대한 분석 결과, 총 10개의 특허는 교류/직류(AC/DC) 컨버터의 구성 및 제어에 대한 특허이며 2개는 직류/직류(DC/DC) 컨버터, 나머지 하나는 전류 제한기에 대한 특허이다. 특허 청구항을 중심으로 교류/직류 컨버터, 직류/직류 컨버터와 전류 제한기를 구성하는 세부 구성요소 수준을 2단계로 분할하고, 전체 기술트리의 수준 총 3단계로 확정했다.

핵심 특허 네트워크의 주경로 분석에 기반한 기술트리는 <표 1>에 나타내었다. 기술트리는 총 3단계 21개 세부항으로 구성되어 있으며, 최하위 21개 항목은 기술의 포괄성과 신규성 판별 기준이 된다.

앞서 <그림 7>에서와 같이 특정 기술이 다른 분야의 기술로 분기되는지의 여부를 판단하기 위해, 보편성, 포괄성, 신규성의 3개 지표를 평가기준으로 활용했다. Hall and Trajtenberg(2004)는 1967년부터 1999년간 등록된 미국 특허의 보편성을 계산한 바 있다. 최소 1회 이상 인용된 특허의 평균 보편성은 0.526이었으며, 가장 많이 인용된 상위 780개 특허 평균 보편성은 0.642였다. 즉, 보편성이 0.642 이상인 특허는 다른 특허 클래스로부터의 피인용수가 최상위권에 속한다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 특허 보편성 기준치를 0.65로 설정했다. 포괄성과 신규성에 대해서는 기존 연구가 없기 때문에 본 연구의 특허를 선별 추출하여 계산한 결과는 각각, 0.61, 0.63 이었다. 따라서 포괄성과 신규성 기준치도 0.65로 정하였다. 즉 <그림 6>의 기술진화 경로 상에 위치하는 특허들 중 보편성이 0.65 이상인 특허들을 파악하고, 이 중 포괄성과 신규성이 0.65 이상이면 분기 가능성이 높은 기술/특허라고 할 수 있다.

보편성은 대상 특허가 다양한 분야에서 인용될수록 1에 가까워진다. 핵심 네트워크의 주경로를 구성하는 13개 특허의 보편성을 계산한 결과, 특허 4210956 외 6개 특허가 0.65 이상이었다. 다음으로 포괄성과 신규성을 계산했다. 동적 기술트리 분석에 의한 기술요소들의 포괄성 및 신규성 평가 결과도 <표 1>에 나타내었다. 분석 대상 특허들은 교류/직류 컨버터 기술 특허가 대부분이다. 특히 특허 4941079가 교류/직류 컨버터 대부분의

구성요소를 포괄하고 있다. 주목할 것은 특허 5999388과 6144567이 기존의 교류/직류 컨버터 이외의 새로운 구성요소인 전류 제한기와 직류/직류 컨버터를 포함하고 있다는 것이다. 보편성 0.65 이상인 특허 중 특허 4941079는 포괄성이, 특허 5999388과 특허 6144567은 신규성이 높게 나타난다.

기술 진화 경로상의 특허에 대한 보편성, 포괄성, 신규성에 대한 정량 평가 결과는 <표 2>에 나타내었다. 위에서 언급한 세 특허는 보편성이 0.65 이상인 특허 중 포괄성 또는 신규성 지표가 0.65 이상으로, <그림 7>에서와 같이 세 특허 모두가 세부 기술 네트워크로 연결되는 분기점에 해당하는 것을 알 수 있다.

<표 1> 동적 기술트리 구축 및 구성요소 분석 결과

	1단계	2단계	3단계	4210956	4264951	4494179	4598350	4727466	4797799	4941079	5999388	6144567	6603675	6898095	7577008	7835166			
컨버터	교류/직류, 직류/직류/교류 컨버터	구성 부품	스위칭 소자							0			0	0	0				
			역병렬 다이오드							0			0	0	0				
			인덕터								0								
			커패시터								0				0				
			냉각 기기								0								
			저장 커패시터														0		
			공진회로													0			
	회로구성							0	0	0		0	0	0	0				
	제어	기기									0								
		로직/프로세스	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0			0	
	직류/직류 컨버터	구성 부품	스위칭 소자										0	0					
			역병렬 다이오드										0	0					
			회로구성											0	0				
		제어	기기																
			로직/프로세스											0	0				
전류 제한기	구성 부품	스위칭 소자									0								
		역병렬 다이오드									0								
		피뢰기										0							
	회로구성											0							
	제어	기기										0							
로직/프로세스											0								

<표 2> 기술 분기점 특허 분석 결과

특허	보편성	포괄성	신규성	비고
4210956	0.89	0.10	0.00	
4264951	0.00	0.10	0.00	
4494179	0.00	0.10	0.00	
4598350	0.75	0.10	0.00	
4727466	0.00	0.20	0.00	
4797799	0.00	0.20	0.00	
4941079	0.95	0.80	0.00	기술 분기점
5999388	0.89	0.00	1.00	기술 분기점
6144567	0.83	0.10	0.75	기술 분기점
6603675	0.83	0.40	0.00	
6898095	0.91	0.60	0.00	
7577008	0.00	0.40	0.00	
7835166	0.00	0.10	0.00	

V. 결론

본 연구는 기존의 기술진화 경로 분석 연구의 한계인 세부 파생경로 도출, 파생의 분기점이 되는 기술 파악 및 예측 등 기술진화의 동인 분석을 해결할 수 있는 방법을 제시했다. 특허 인용 네트워크와 동적 기술트리 분석 방법을 중심으로, 세부 네트워크 분할 알고리즘, 주경로 분석방법, 기술진화 및 분기의 기준이 되는 보편성, 포괄성, 신규성 지표를 활용했다. 본 연구의 학술적 기여를 보다 상세하게 기술하면 아래와 같다.

- 1) 특허 인용 네트워크에서 핵심적인 네트워크를 파악하는 방법을 제시했다. 또한 핵심 네트워크에 대한 주경로 분석을 통하여 기술의 세대별 진화 경로를 파악, 분석할 수 있다.
- 2) 주경로를 구성하는 특허들의 클래스를 기준으로 Girvan-Newman 알고리즘을 사용해 핵심 네트워크를 세부 네트워크로 분할하는 방법을 제시했다. 세부 네트워크 분석을 통해 차세대 기술 외에 점진적 기술혁신과 부가가치 창출의 원천이 될 수 있는 파생기술을 파악할 수 있다.
- 3) 세부 네트워크의 주경로와 핵심 네트워크의 주경로를 연계해 핵심 기술진화 경로

분석에서는 놓치기 쉬운 핵심기술-파생기술이 연계된 기술시스템의 동적 진화경로를 파악할 수 있다.

- 4) 기술의 세대 진화 또는 파생이 발생하는 분기점이 되는 기술을 정량적으로 파악할 수 있는 방법을 제시했다. 기존의 정량지표인 보편성과 동적 기술트리 분석을 통해 도출한 특허 청구항의 포괄성과 신규성을 복합해 높은 정확도로 분기점 후보 기술을 판별할 수 있다.

기존의 기술진화 경로 분석 연구들은 높은 피인용수의 특허들이나 침해소송의 액수가 큰 특허들을 연계해 주경로를 분석했다. 전자는 기술적-학술적 가치, 후자는 사업적-법적 가치에 초점을 둔 접근법이다. 그러나 실제 기술진화의 핵심인 급진적 기술혁신(아키텍처 혁신, 기술 세대 변화)과 점진적 혁신(기능개선)을 구분하기 어려웠다. 따라서 기업 연구개발 관점에서의 가치가 낮았으며, 주로 산업-국가혁신 시스템에서의 경로 파악에 가치가 있었다. 본 연구는 실제 R&D에서의 기술가치를 중심으로 기술의 진화경로를 파악한 연구로, 이론적 측면에서 특허분석의 높은 전문가 의존도와 구체성 부족을 보완하고, 실질적인 기술전략 및 기획에서의 활용가치를 제고했다. 고피인용-분쟁특허 기반 주경로 분석 연구들과의 체계적 통합을 통해 특허분석의 실무적 가치를 제고하고, 이론적 단점을 보완할 수 있다는데 본 연구의 의의가 있다.

본 연구에서 제안한 방법을 초고압 직류송전 시스템의 사례에 적용한 결과, 핵심 네트워크의 기술진화 경로 분석 결과가 실제 초고압 직류송전 시스템의 실제 기술진화와 일치하는 것을 확인할 수 있었다. 핵심 네트워크에서 분할된 세부 네트워크에 대한 분석 결과, 주경로에서 놓친 중요한 파생 기술진화 경로를 파악할 수 있었다. 마지막으로 기술 분기점을 판별하기 위하여 제안된 3개 지표를 핵심 네트워크 기술진화 경로를 구성하는 13개 특허에 적용, 평가했을 때 분기점 후보들이 실제 분기점이 된 특허들과 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에는 여러 한계가 있다. 우선 보편성, 포괄성, 신규성 지표의 기준치가 산업별, 기술별로 상이할 가능성이 높으므로 주요 산업 및 기술군에 대한 후속 연구를 통해 지표 기준치를 정교화 할 필요가 있다. 또한 본 연구에서 분석한 초고압 직류송전 시스템과 같은 B2B 기술은 특허의 청구항에서 명시된 시스템의 구성요소를 이용하여 기술트리를 구성할 수 있다. 그러나 B2C 기술의 경우에는 기술트리를 요소별로 구성하기보다 소비자의 관점에서 제품의 기능으로 구성하는 것이 일반적이므로, 본 연구에서 제안한 방법의 적용이 어렵다. 한편, 기술수명주기가 짧은 경우 여러 세대의 기술이 공존하는 경우

도 많으며, 이 경우 기술진화경로가 중첩된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 동적 기술 트리 분석방법에 대한 보완이 필요할 것이다. 마지막으로 본 연구는 특허분석의 원천적 한계인 지표 후행성 한계, 인용수와 특허 질적 가치의 상관관계 등을 그대로 가지고 있다. 본 연구에서는 전문가 판단과 문헌연구를 통해 이를 보완하고 있으나, 보다 효과적이고 효율적인 방법을 강구할 필요가 있다.

참고문헌

(1) 국외문헌

- Allebrod, S., Hamerski, R. & Marquardt, R.(2008), "New transformerless, scalable Modular Multilevel Converters for HVDC-transmission", *Power Electronics Specialists Conference, 2008. PESC 2008. IEEE*, p.174.
- Bahrman, M.P. & Johnson, B.K.(2007), "The ABCs of HVDC transmission technologies", *IEEE Power and Energy Magazine*, Vol. 5, No. 2, pp.32-44.
- Batagelj, V.(2003), "Efficient algorithms for citation network analysis", *arXiv preprint cs/0309023*.
- Chang, S., Lai, K. & Chang, S.(2009), "Exploring technology diffusion and classification of business methods: Using the patent citation network", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 76, No. 1, pp.107-117.
- Chang, P., Wu, C. & Leu, H.(2010), "Using patent analyses to monitor the technological trends in an emerging field of technology: a case of carbon nanotube field emission display", *Scientometrics*, Vol. 82, No. 1, pp.5-19.
- Chang, S.(2012), "Using patent analysis to establish technological position: Two different strategic approaches", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 79, No. 1, pp.3-15.
- Chen, C. & Hicks, D.(2004), "Tracing knowledge diffusion", *Scientometrics*, Vol. 59, No. 2, pp.199-211.
- Chen, D., Huang, M., Hsieh, H. & Lin, C.(2011), "Identifying missing relevant patent citation links by using bibliographic coupling in LED illuminating technology", *Journal of Informetrics*, Vol. 5, No. 3, pp.400-412.
- Chen, S., Huang, M. & Chen, D.(2013), "Exploring technology evolution and transition characteristics of leading countries: A case of fuel cell field", *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 27, No. 3, pp.366-377.
- Chen, S., Huang, M. & Chen, D.(2012), "Identifying and visualizing technology evolution: A case study of smart grid technology", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 79, No. 6, pp.1099-1110.
- Cho, T. & Shih, H.(2011), "Patent citation network analysis of core and emerging technologies in Taiwan: 1997~2008", *Scientometrics*, Vol. 89, No. 3, pp.795-811.
- Choe, H., Lee, D.H., Seo, I.W. & Kim, H.D.(2013), "Patent citation network analysis for the

- domain of organic photovoltaic cells: Country, institution, and technology field", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 26, pp.492-505.
- Choi, S., Park, H., Kang, D., Lee, J.Y. & Kim, K.(2012), "An SAO-based text mining approach to building a technology tree for technology planning", *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, No. 13, pp.11443-11455.
- Choudhury, P. & Fallah, M.H.(2009), "A technology tree based VND model for identifying the top technologies in the US renewable energy industry", *Industrial Engineering and Engineering Management, 2009. IEEM 2009. IEEE International Conference on*, p.21.
- David, B., Fernando, J. & Itziar, C.(2011), "Mapping the importance of the real world: The validity of connectivity analysis of patent citations networks", *Research Policy*, Vol. 40, No. 3, pp.473-486.
- Davidson, C.C. & Trainer, D.R.(2010), "Innovative concepts for hybrid multi-level converters for HVDC power transmission", *AC and DC Power Transmission, 2010. ACDC. 9th IET International Conference on*, p.1.
- Dosi, G.(1982), "Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change", *Research Policy*, Vol. 11, No. 3, pp.147-162.
- Durand, T.(1992), "Dual technological trees: Assessing the intensity and strategic significance of technological change", *Research Policy*, Vol. 21, No. 4, pp.361-380.
- Girvan, M. & Newman, M.E.J.(2002), "Community structure in social and biological networks", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 99, No. 12, pp.7821-7826.
- Glasmeyer, A.(1991), "Technological discontinuities and flexible production networks: The case of Switzerland and the world watch industry", *Research Policy*, Vol. 20, No. 5, pp.469-485.
- Hall, B.H. & Trajtenberg, M.(2004), "Uncovering GPTs with patent data", *NBER Working Paper*, No. 10901.
- Heiss, M. & Jankowsky, J.(2001), "The technology tree concept—an evolutionary approach to technology management in a rapidly changing market", *Change Management and the New Industrial Revolution, 2001. IEMC '01 Proceedings*, p.37.
- Ho, J.C., Saw, E., Lu, L.Y.Y. & Liu, J.S.(2013), "Technological barriers and research trends in fuel cell technologies: A citation network analysis", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 82, pp.66-79.
- Hu, A.G. & Jaffe, A.B.(2003), "Patent citations and international knowledge flow: the cases of Korea and Taiwan", *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 21, No. 6,

pp.849-880.

- Huang, M., Chiang, L., & Chen, D.,(2003), "Constructing a patent citation map using bibliographic coupling: A study of Taiwan's high-tech companies", *Scientometrics*, Vol. 58, No. 3, pp.489-506.
- Hummon, N.P. & Dereian, P.(1989), "Connectivity in a citation network: The development of DNA theory", *Social Networks*, Vol. 11, No. 1, pp.39-63.
- Iversen, E.J.(2000), "An excursion into the patent-bibliometrics of Norwegian patenting", *Scientometrics*, Vol. 49, No. 1, pp.63-80.
- Jaffe, A.B., Trajtenberg, M. & Fogarty, M.S.(2000), "Knowledge spillovers and patent citations: Evidence from a survey of inventors", *NBER/Sloan project report*, p.21
- Kajikawa, Y. & Takeda, Y.(2009), "Citation network analysis of organic LEDs", *Technological Forecasting and Social Change*, Nol. 76, Vo. 8, pp.1115-1123.
- Kajikawa, Y., Yoshikawa, J., Takeda, Y. & Matsushima, K.(2008), "Tracking emerging technologies in energy research: Toward a roadmap for sustainable energy", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 75, No. 6, pp.771-782.
- Karki, M.M.S.(1997), "Patent citation analysis: A policy analysis tool", *World Patent Information*, Vol. 19, No. 4, pp.269-272.
- Kim, H.E. & Pennings, J.M.(2009), "Innovation and Strategic Renewal in Mature Markets: A Study of the Tennis Racket Industry", *Organization Science*, Vol. 20, No. 2, pp.368-383.
- Lai, K. & Wu, S.(2005), "Using the patent co-citation approach to establish a new patent classification system", *Information Processing & Management*, Vol. 41, No. 2, pp.313-330.
- Lee, P., Su, H. & Wu, F.(2010), "Quantitative mapping of patented technology – The case of electrical conducting polymer nanocomposite", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 77, No. 3, pp.466-478.
- Lee, S., Yoon, B., Lee, C. & Park, J.(2009), "Business planning based on technological capabilities: Patent analysis for technology-driven roadmapping", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 76, No. 6, pp.769-786.
- Li, X., Chen, H., Huang, Z. & Roco, M.(2007), "Patent citation network in nanotechnology(1976 - 2004)", *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 9, No. 3, pp.337-352.
- Lin, Y., Chen, J. & Chen, Y.(2011), "Backbone of technology evolution in the modern era automobile industry: An analysis by the patents citation network", *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, Vol. 20, No. 4, pp.416-442.
- Mina, A., Ramlogan, R., Tampubolon, G. & Metcalfe, J.S.(2007), "Mapping evolutionary trajectories: Applications to the growth and transformation of medical knowledge",

Research Policy, Vol. 36, No. 5, pp.789-806.

- Narin, F., Hamilton, K.S. & Olivastro, D.(1997), "The increasing linkage between US technology and public science", *Research Policy*, Vol. 26, No. 3, pp.317-330.
- Newman, M.E.J. & Girvan, M.(2004), "Finding and evaluating community structure in networks", *Physical Review E*, Vol. 69, No. 2, pp.026113.
- No, H.J. & Park, Y.(2010), "Trajectory patterns of technology fusion: Trend analysis and taxonomical grouping in nanobiotechnology", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 77, No. 1, pp.63-75.
- Orsenigo, L., Pammolli, F. & Riccaboni, M.(2001), "Technological change and network dynamics: Lessons from the pharmaceutical industry", *Research Policy*, Vol. 30, No. 3, pp.485-508.
- Possas, M.L., Salles-Filho, S. & da Silveira, J.(1996), "An evolutionary approach to technological innovation in agriculture: some preliminary remarks", *Research Policy*, Vol. 25, No. 6, pp.933-945.
- Shibata, N., Kajikawa, Y. & Sakata, I.(2010), "Extracting the commercialization gap between science and technology - Case study of a solar cell", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 77, No. 7, pp.1147-1155.
- Verspagen, B.(2007), "Mapping technological trajectories as patent citation networks: A study on the history of fuel cell research", *Advances in Complex Systems*, Vol. 10, No. 1, pp.93-115.

□ 투고일: 2014. 07. 21 / 수정일: 2014. 10. 17 / 게재확정일: 2014. 11. 07