

기술 분야별 기술혁신 패턴과 특성의 차이분석

변정은* · 성태웅** · 박현우***

I. 서론

급속하게 변화하는 경제적 환경과 경쟁의 심화가 계속되면서 기업은 제품과 마케팅 전략에 있어 지속적인 혁신을 통해 도약하지 않으면 시장에서 살아남지 못하게 된다. 성공적인 제품은 반드시 기술, 마케팅, 사용자 경험, 세 가지에 있어 균형을 이뤄야만 하며(Norman, 1998) 이 중 기술은 성공적인 제품을 위한 중요한 핵심적 요소가 된다(Ming *et al.*, 2004). 경쟁 우위를 갖는 제품, 소재, 공정 과정 또는 시스템 기술의 제공을 위해서는 제품에 관한 전략을 세우기 전에 기술전략의 수립이 필수적이라 할 수 있다(Vijay, 2008). 기술전략을 구상하기 위해 우선적으로 할 일은 기술이 투자할 가치가 있는지 여부를 결정하는 것이며 이는 ‘향후 기술이 어떠한 방향으로 발전할 것인가? 기술이 앞으로 더욱 발전할 것인가 아니면 사장될 것인가?’ 와 같은 질문에 대한 답을 필요로 한다. 이에 대한 답은 투자여부 결정에 도움이 되는 기술혁신 패턴을 예측함으로써 얻을 수 있는데 이는 수명주기 상 기술의 현재 위치를 알아야만 가능해진다(Gao *et al.*, 2013).

기술수명주기를 추정하는 것은 법률, 경제, 사회, 기술 환경의 변화에 영향을 받기 때문에 다양한 정보에 근거한 신뢰성 있는 평가방법론의 개발이 요구된다. 기술수명주기를 측정함에 있어서 다양한 지표들이 사용되는데 특히 특허정보를 이용하는 것이 가장 널리 알려진 접근방법이다(Achilladelis *et al.*, 1990; Achilladelis, 1993; Andersen, 1999). Ernst(1997)는 특허출원수를 연구개발의 정도로 보고 연구개발이 활발한 증가세를 나타내는 구간을 성장기로 정의하고, 그 이전의 구간을 도입기로, 그 이후의 출원량이 줄지 않는 구간을 성숙기로, 출원량이 감소하는 구간을 쇠퇴기로 구분하였다. Little(1981)은 경쟁의 정도를 분석구간의 출원인수로 보고 생산의 효율화는 출원량 혹은 출원증가량으로 대체하여 이의 추이를 시간의 흐름에 따라 살펴보았다. 도입기는 두 지표의 출현으로 보고 성장기는 지표의 증가, 성숙기는 지표의 정체 및 감소, 쇠퇴기는 지표가 급감하는 단계로 정의했다. Watts and Porter(1997)는 특허 및 과학논문 인용지수 등의 9가지 지표의 변화와 기술수명주기와의 관계를 설명하였으며 Haupt *et al.* (2007)은 특허와 관련지어 7가지의 지표를 시험분석 하였는데 특허의 선행인용수, 선행인용의 직접성, 특허의 심사기간 등을 변수로 기술수명주기의 각 단계와의 관련성을 통계적으로 분석 하였다.

이와 같이 특허정보를 이용하여 기술수명주기에 접근하는 방법에는 다음과 같은 장점이 있다(Debackere *et al.*, 2002). 첫째, 특허는 기술적 노하우를 담고 있기 때문에 기술 발전 자체에 대한 정보를 제공한다. 둘째, 특허는 기술의 상업적 잠재력에 대한 정보를 제공하는데 특허의 전제조건 중 하나가 상업적 사용의 가능성에 있기 때문이다. 셋째, 특허정보는 자료의 입수가 용이하고 신뢰할만한 기술정보이며 데이터베이스(DB)화되어 쉽게 접근 가능하다는 점에서 기술의 경향을 나타내는 객관적인 지표로 활용이 가능하다. 이와 더불어 특허정보의 경우에는 일반 기술과 달리, 각 특허별로 연도 색인(year-based index)이 출원번호, 공개번호, 등록번호 등의 태깅(tagging)화가 되어 있으므로 상호 인용 연관관계 분석 및 통계처리가 용이한 점이 가장 큰 특징이

* 변정은, 과학기술연합대학원대학교 박사과정, 02-3299-6162, jebyun@kisti.re.kr

** 성태웅, 과학기술정보연구원 선임연구원, 02-3299-6172, ts322@kisti.re.kr

*** 박현우, 과학기술정보연구원 책임연구원, 02-3299-6051, hpark@kisti.re.kr, 교신저자

라 할 수 있다.

본 연구에서는 기술수명주기 추정을 위한 방법으로 특허정보를 활용한 기술순환주기(Technology Cycle Time)를 적용하였으며, BT(바이오), 자동차, 소재, IT(정보통신)의 4가지 주요 기술 분야를 대상으로 1990년부터 2014년까지 미국 특허청에 등록된 특허 데이터 중 각각의 기술 분야를 대표하는 IPC 서브클래스 코드를 선택하여 데이터를 수집하고 이를 5개년도(1990년~1994년, 1995년~1999년, 2000년~2004년, 2005년~2009년, 2010년~2014년)로 나눠 기술순환주기를 도출한다. 도출된 기술순환주기는 기술수명주기로 해석되어 기술 분야별, 시기별 특성화된 기술혁신 패턴을 모델화하는데 활용한다.

본 논문의 제 I 절 서론 이후 내용은 다음과 같이 구성된다. 제 II 절에서는 기술혁신 패턴을 모델화하고 이를 해석하기 위한 이론적 배경을 다루는데, 여기서는 기술수명주기를 설명하는 기본적 개념인 S-curve와 단속적 기술에 대해 살펴본다. 다음으로 기술수명주기를 시장 환경에 대입시켜 시장과 소비자 측면에서 바라본 기술수명주기를 살펴본다. 더 나아가 기술수명주기를 상업적 성과와 연계 분석하여 그 상관관계를 규명한다. 제 III 절에서는 기술수명주기 분석을 위한 대리변수인 기술순환주기의 개념과 산정 방법을 서술하고 4가지 주요 기술 분야의 시기별 기술순환주기를 분석한 결과를 제시한다. 제 IV 절은 선행된 분석 결과를 해석하기 위해 제 II 절에서 다룬 이론적 배경을 토대로 분석 프레임워크를 제시하고 각 기술 분야별 그리고 시기별 기술혁신 패턴을 모델화한다. 마지막으로 제 V 절에서는 각 절에서 분석한 연구결과를 정리하고 시사점을 제시한다.

II. 이론적 배경

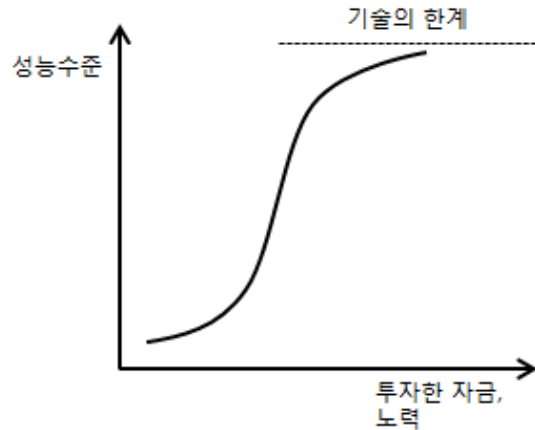
1. S-curve와 단속적 기술

새로운 기술이 등장하고 시간에 따라 이동하는 경로를 기술발전궤도(Technology trajectory)라고 하는데 기술궤도에 있어서 일관성 있는 패턴을 관찰하고 또 이러한 기술의 발전과 확산이 어떠한 경로를 통해 이루어지는가에 대한 이해와 분석을 수행하여 실제 이를 국가의 효율적인 R&D 투자나 기업의 전략적 경영의 중요한 부분으로 활용하고 있다. 이러한 기술발전궤도를 시간의 흐름에 따라 기술의 발전에 대한 노력이 균등하게 투입된다고 가정할 때 대부분의 기술들은 S-curve의 형태(그림 1)로 나타나게 되는데 S-curve란 많은 기술이 진보하면서 기술의 수명주기 안에서 S자 형태의 곡선을 그리게 된다는 것이다(Ayres, 1994; Christensen, 1992, 1993; Foster, 1986; Twiss, 1992).

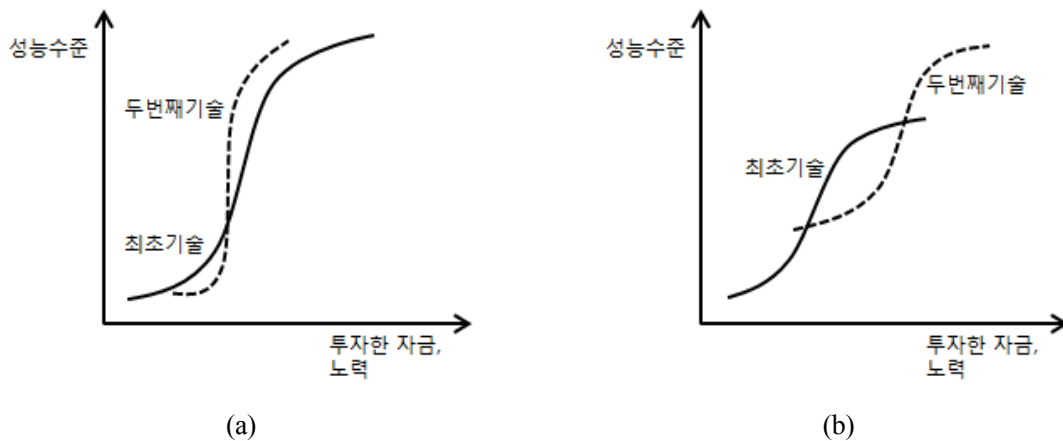
S-curve는 수학기론에서 시그모이드 곡선(Sigmoid curve)이라는 용어로 알려져 있으며 기술(혹은 상품)에 대한 생명주기 곡선을 나타내는데, 도입기, 성장기, 성숙기, 쇠퇴기를 거쳐 소멸하게 된다. S-curve에는 두 번의 위험이 존재하는데 도입기-성장기 사이에 있는 특이점(singular Point)과 성장기-성숙기 사이에 존재하는 변곡점(inflexion point)이다. 새로운 기술이 나타나 초기 수용자들에게 수용되는 도입기는 성장속도가 아주 느린데, 기술에 따라 차이가 있으나 대략 10%의 수용자들에게 인지되기까지의 시간(time to singular point)과 10%~90%의 수용자들에게 인지되기까지의 시간(time to strategic inflexion point)이 거의 일치한다. 실제로 기술이 성숙기를 지나면 다시 S-curve를 그리기 어려우며 기술보완, 기술고도화 등의 형태로 쇠퇴하는 속도를 조금 늦출 수 있다(Rogers, 1995; Christensen, 1992).

S-curve의 도입기에는 연구개발을 위해 투자한 비용과 노력에 비해 기술의 발전이나 진보 속도가 매우 완만하게 일어나는데, 이는 기술에 대한 이해가 전혀 없기 때문이다. 이 시기에는 기술 진보의 다른 경로를 발견하는 것이 쉽지 않기 때문에 많은 노력을 필요로 한다. 그러나 시간이 흐름에 따라 기술에 대한 이해의 정도

가 증가하고 경험과 전문지식, 시행착오가 누적 및 결합되면서 기술수준이 급격히 진보하는 성장기를 거치게 된다. 그 이후 S-curve의 변곡점을 지나면 기술의 발전이 성숙단계로 좀 더 급진적으로 접근하나 진보 속도는 성장기에 비해 느려진다. 성숙기에 이르면 기술수준 자체는 거의 정점에 이르지만 기술의 진보 속도는 매우 완만해지고, 이후 기술한계선에 접근함에 따라 쇠퇴하기 시작한다(Narayanan, 2001).



(그림 1) 기술수준의 S-curve



(그림 2) S-curve: 단속적 기술의 출현

실제로 기술이 항상 자신의 한계점에 이를 때까지 발전하는 것은 아니다. 그 한계에 도달하기 전에 단속적 기술(discontinuous technology)에 의해 대체될 수도 있는데 단속적 기술은 기존 기술과는 연결되지 않는 완전히 새로운 지식을 기반으로 하는 기술을 의미한다. 단속적 기술은 기존의 유사한 시장수요를 충족시켜 기존 기술을 대체함으로써 시장한계를 극복한다(Anderson and Tushman, 1990; Christensen, 1999; Foster, 1986). 단속적 기술의 예로는 프로펠러기반의 비행기에서 제트비행기로의 전환, 카본복사나 비닐레코드(혹은 아날로그 카세트)에서 콤팩트디스크로의 전환, 필름카메라 시장이 디지털카메라 시장으로 변환된 것 등을 들 수 있다(Schilling, 2013).

단속적 기술의 출현 초기에는 기존의 기술보다 성능수준이 낮은 경우가 존재할 수 있다. 한 예로 1771년 출시된 자동차는 마차보다 훨씬 느리고 조작이 어려워 1900년대 초가 되어서야 대량생산이 시작되고 수요가

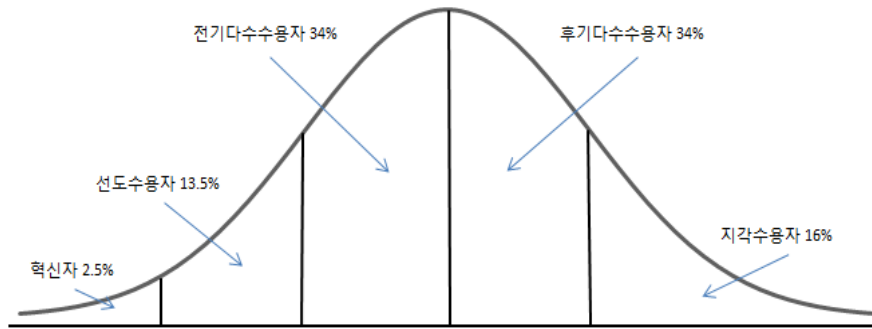
증가된 경우이다. 또한 기업은 신기술의 시작단계에 투자하는 것을 꺼리게 되는데 이는 기존의 기술에 투자하는 것보다 더 낮은 수익률을 거둘 수 있기 때문이다. 그러나 단속적 기술이 진보하기 시작하거나(그림 2(a)) 기존 기술이 더 이상 진보할 수 없다고 판단될 때에는 신기술에 투자함으로써 더 높은 수익 창출을 기대한다(그림 2(b)). 이러한 특징 때문에 신생 기업의 경우 단속적 기술을 통해 처음 시장에 진입하려고 노력하며 기존 기업은 기존 기술에 지속적으로 투자할 것인지 아니면 새로운 기술이 잠재성을 가지고 있다고 판단하여 장기적으로 새로운 기술에 투자할 것인지에 대한 선택이 필요해진다. 이렇듯 단속적 기술의 등장은 현재 시장에서의 경쟁구도를 바꿔 놓을 수 있기 때문에 시장의 새로운 리더와 실패자를 양산해 낸다.

2. 기술의 혁신에 따른 기술수용주기

기술의 혁신을 나타내는 S-curve는 기술을 보유한 제품과 시장 환경에 대입시켜 설명할 수 있다. 새로운 기술이 적용된 제품이 시장에 나오게 되면 공급자는 아직까지 성능을 결정짓는 핵심적 요인에 대한 파악이 완전하지 않으므로 성과를 거두기가 어렵고 더불어 소비자는 제품에 대한 이해의 부족으로 제품의 수용 속도가 느려지는 경향이 있다. 이 시기에는 주로 새로운 제품에 크게 거부감을 느끼지 않는 니치 마켓(Niche market)을 중심으로 시장이 형성된다. 성장기에 접어들면서 기술의 진보로 인해 제품의 성능개선 속도가 빨라지고 점차 제품이 표준화되어 많은 소비자들이 제품을 수용하게 된다. 표준화된 제품이 시장에서 경쟁을 활성화시키고 대다수 소비자들이 제품을 구매하게 되어 성숙기에는 판매성장이 둔화됨과 동시에 새로운 공급자들은 미래 혁신의 기회를 엿보게 된다. 마지막으로 제품이 쇠퇴기에 접어들면서 판매와 이익이 급속하게 둔화된 다(Kim *et al.*, 2012).

Rogers(1983, 1995)는 특히 기술을 수용하는 소비자 측면에서 시간흐름 및 누적적인 기술수용자를 각각 종축, 횡축으로 구분하여 S-curve를 살펴보았는데, 전형적인 종 모양의 곡선분포(bell-shaped curve)를 보이고 있다(그림 3). Rogers에 따르면 가장 먼저 불연속적 혁신을 받아들이는 사람들을 혁신수용자(Innovators 혹은 Techies)로 구분하였으며 이들은 전체수용자의 2.5% 정도를 보인다. 혁신수용자는 높은 수준의 기술이 가진 복잡성과 불확실성에도 불편해하지 않으며 실험적 사고로 기술혁신을 수용한다. 다음 단계에서 혁신을 받아들이는 그룹을 선도수용자(Early Adopters 혹은 Visionaries)로 구분 하였으며 이들은 전체수용자의 13.5% 정도로 의견 선도자로서의 자질을 가지고 있어 잠재적 수용자들에게 정보와 조언을 주는 역할을 한다. 차상위 단계에서는 전기다수수용자(Early Majority 혹은 Pragmatists)로 전체수용자의 34% 정도를 차지하는데, 이들은 사회의 평균적인 사람들보다 조금 앞서서 혁신을 수용하며 의견을 선도하지는 않지만 동료들과 빈번이 접촉하며 실용적 자세로 기술혁신을 전파하는 역할을 수행한다. 다음 상위단계에 위치하는 그룹은 후기다수수용자(Late Majority 혹은 Conservatives)로서 이들은 혁신을 쉽게 받아들이지 않으며 동료로부터 압력을 받기 전에는 수용하려 하지 않는다. 마지막으로 지각수용자(Laggards 혹은 Skeptics)는 전체수용자의 16%로 혁신에 대해 상당히 회의적이며 혁신이 실패가 아니라는 확신이 들어야만 이를 수용한다.

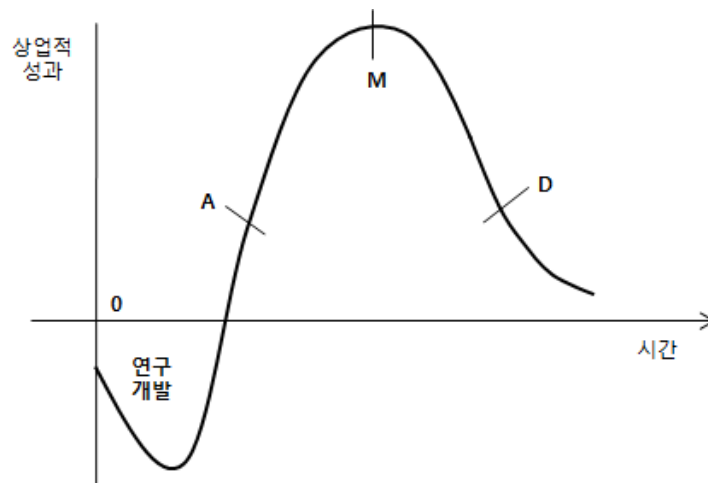
이러한 이론적 배경을 토대로 기술수용주기를 그릴 수 있는데 이를 통해서 기술혁신이 초기부터 무조건적으로 시장, 더 나아가 소비자들에게 긍정적 영향을 미치는 것은 아니며 특히 불연속적 혁신의 경우 불확실성과 위험성이 크기 때문에 대부분의 소비자로 하여금 불연속적 혁신을 담은 제품이나 기술 혹은 아이디어를 수용하게 만들기 위해서는 일정 시간이 요구됨을 알 수 있다(Rogers, 2003).



(그림 3) 기술수용수명주기

3. 기술수명주기(Technology Life Cycle)와 상업적 성과

기술수명주기는 특정 기간 내에서 시간이 경과함에 따라 제품의 기술적 발전으로부터 상업적 성과가 창출되는 정도를 나타내는 지표로 해석되기도 한다. 다시 말해, 시장이 성숙되어 결국 쇠퇴하기까지 기술의 발전이 진행되면서 나타나는 제품의 비용과 이익이 어떻게 변화하는지를 설명해준다. 이는 연구개발 자원을 효율적으로 배분하기 위한 기준이 되는 매우 유용한 개념으로 이를 통해 비즈니스 당사자는 시장에서 제품의 잠재적 성장정도 및 향후 수익예상기간을 판단하여 연구개발 투자 회수 시점을 정확히 예측하고 이해하는데 활용할 수 있다(Dussauge *et al.*, 1987). 제품이 시장에 출시되면 상업적(경제적) 성과는 반드시 연구개발비용을 상쇄하게 되는데 기술수명주기를 통해 이러한 파악이 가능한 것이다.



(그림 4) 기술수명주기와 상업적 성과의 관계

기술수명주기는 주로 기대되는 수익과 관련하여 발전의 시간과 비용을 중점적으로 다룬다. 기술수명주기는 크게 다음의 4가지 단계로 구성된다(그림 4). 첫 번째 단계는 연구개발 단계로서 기술적 혁신에 대한 투자 위험을 감수하는 시기이다. 이는 가장 유망한 프로젝트를 중심으로 연구개발에 전략적으로 투자하면서 시장의 반응을 살펴보는 시기로 실패의 가능성 또한 높다고 볼 수 있다. 두 번째 단계는 A지점을 지나는 발전기 단계로서 제품 발명에 들어간 비용을 전부 회수할 수 있는 시기로 이 시기의 기업의 목표는 급진적 성장과 더불어 기개발된 제품의 확산이며 가장 최신의, 효율적인 제품으로 경쟁 우위를 점하는 것이다. 다음으로는

M지점 전후로 나타나게 되는 성숙기 단계로 새로운 혁신이 일반적 대중에게 받아들여지는 시기이며 경쟁자들이 시장에 진입하여 공급이 수요를 추월하게 되어 수익이 점점 줄어들게 된다. 마지막은 D 지점 이후 나타나는 쇠퇴기 단계로서 마진이 확보되지 않고 결국 제로섬(zero-sum)게임 형태로 쇠퇴하게 된다(Boundless, 2014).

III. 분석방법 및 결과

1. 기술순환주기(Technology Cycle Time)의 개념 및 분석방법

본 연구에서는 기술의 경제적 수명을 결정할 수 있는 추정방법으로 특허 정보를 활용한 특허인용수명 지수 중 기술순환주기(Technology Cycle Time, 이하 TCT)를 적용하였다. 특허인용수명이란 특정 특허가 등록 이후 다른 특허에 의해 인용되는 기간을 의미한다. TCT 지수는 CHI社(美)에서 개발한 지표로서 기술군내 개별 특허의 연차별 인용빈도수에 기반하여 개별특허의 수명주기 값을 산출한 것이며 개별특허의 인용수명은 각 특허에 대해 당해 특허의 등록년도와 그것이 인용하고 있는 특허들의 등록년도 간의 기간을 산출(backward citation)한 것이다. 특정 기술군에 대한 특허인용수명 분포의 형태는 양의 왜도를 갖는 비대칭분포로 나타나기 때문에, 이 분포의 대표값을 중앙값(median value)으로 사용하고 이를 기술순환지수의 개념이라고 정의한다(Narin, 1999). TCT 지수는 국제특허분류(IPC)를 사용하여 산출된 값을 제공하고 있어 적용분야 선택이 용이하며 후방인용 기간을 산출하는 방식이므로 최근년도에 대한 인용수명 기간을 산출하여 기존 데이터에 추가하면 되므로 기술수명 데이터 갱신이 용이하여 정기적으로 신규 보완하는 것이 가능하다. 이와 더불어 최근 특허에 대한 인용수명도 안정적으로 산출할 수 있다는 장점이 있다.

TCT는 기술발전의 속도, 즉 혁신활동의 속도에 대한 정보를 제공하는데, 특정 기술 분야의 기술발전 속도나 특정 주체의 기술혁신 활동 기반이 최근의 연구 성과에 기인하는가 혹은 과거 오래전의 연구 성과에 기인하는가를 살펴볼 수 있다. 즉 TCT 값이 작게 나타난다는 것은 해당 기술이 보다 최근의 선행기술에 기반을 두고 있다는 것을 의미하며, TCT 값이 크게 나타난다는 것은 보다 오래된 기술들에 기반을 두고 있다는 것으로 해석할 수 있다. 이를 기업 입장에서 보면 최근의 선행기술을 기반으로 기술혁신이 진행된다는 것, 즉 특정 기술 분야에 있어 작은 TCT 값을 갖는다는 것은 경쟁자들보다 빠른 기술발전을 이루고 있으며 그 기술 분야를 선도하고 있다고 해석할 수 있다. 다시 말해서, 다른 기술 분야에서는 TCT 값이 크게 나타나지만 특정 분야에서 TCT 값이 작게 나타난다면 그 기업은 특정 기술 분야에 있어 연구개발 역량을 집중하고 있으며 해당 분야에서 선구자적 역할을 한다고 볼 수 있다. TCT는 이처럼 같은 기술 분야 내에서 복수의 국가나 기업들의 기술개발의 속성을 비교 평가하는데 사용될 수 있다(Kayal and Waters, 1999).

일반적으로 TCT 값은 기술 분야에 따라 큰 차이를 보이는데 빠르게 변화하는 기술, 예를 들어 전자나 정보통신 분야는 대체로 3~4년으로 TCT 값이 작게 나타나며, 변화의 속도가 느린 기술 분야인 선박과 보트 제조기술의 경우에는 TCT 값이 15년 또는 그 이상으로 나타난다(Narin, 1993). 본 논문에서는 실제 기술 분야별 TCT 값의 차이를 살펴보기 위해 BT, 자동차, 소재, IT의 4가지 주요 기술 분야를 선정하였으며, 기존의 연구 및 접근 방식을 참조하였으나 각 기술 분야를 시기별로 나누고 이에 따른 차이 변화도 함께 분석하였다는 점에서 차별성을 갖는다. 최근 들어 기술혁신 속도가 빨라지고 있다는 의견이 많은데(Markman, 2005; 황용수 외, 2003) 본고에서는 각 기술 분야별 특허 데이터를 5개년도(1990년~1994년, 1995년~1999년, 2000년~2004년, 2005년~2009년, 2010년~2014년)로 나누어 TCT의 통계적 결과를 도출함으로써 10년 주기로 특

히 데이터를 분석할 때보다 좀 더 명확히 최근의 기술혁신 경향을 살펴볼 수 있도록 하였다. 이와 더불어 본 연구에서는 획득 가능한 가장 최신의 특허 데이터를 기반으로 TCT를 분석한다는데 그 의미를 둘 수 있다.

2. 자료 수집 및 분석

본 연구에서 다루는 4가지 주요 기술 분야는 BT, 자동차, 소재, IT이며 1990년부터 2014년까지 25년 동안 미국특허청(USPTO)에 등록된 특허 데이터 중 각각의 기술 분야를 대표하는 국제특허분류(IPC) 내에 서브클래스 코드를 선택하였으며 해당 코드 및 정의는 <표 1>과 같다.

<표 1> 연구 데이터: IPC 서브클래스 코드 및 정의

코드	정의
A61K	의약품, 치과용 또는 화장용 제제
B60K	차량의 추진 장치 또는 동력 전달 장치의 배치 또는 설치; 복수의 서로 다른 원동기의 배치 또는 설치; 보조 구동장치; 차량용 계기 또는 계기판; 차량의 추진 장치의 냉각, 흡기, 배기 또는 연료 공급에 관한 배치
C22B	금속의 제조 또는 정제; 원료의 예비처리
G06F	전기적 디지털 데이터 처리

여기서는 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 구축한 데이터베이스인 G-Pass를 토대로 특허 데이터를 수집하고 이를 5개년도로 나눠 TCT를 중심으로 통계적 결과를 도출하였으며 이를 정리하면 <표 2>~<표 5>와 같다. 분석기간 내에 가장 많은 특허건수를 보유한 기술 분야는 IT(G06F)로서 총 4,925,928건의 특허가 출원된 것으로 나타났다. IT 분야는 전 기술 분야를 통틀어 2010년~2014년에 가장 많은 특허가 출원된 것으로 분석되었는데 그 수가 무려 3,044,898건에 이른다. 가장 적은 특허수를 보유한 기술군은 소재(C22B)로 총 7,604건으로 분석되었다. 전 기술군은 2010년~2014년에 가장 많은 특허가 출원된 것으로 분석되었으며 이는 최근으로 갈수록 기술개발에 대한 지식재산권을 보호하려는 경향이 중시되는 것으로 분석할 수 있다. BT(A61K)와 IT(G06F)의 경우 분석 기간 내에 꾸준히 특허 출원 건수가 증가하고 있는 것으로 나타났는데 이는 점차 특허가 기술 개발 이후 지식재산권 침해 관련 분쟁이 증가함에 따라, 이를 보호하고 권리화하기 위한 경향이 강해졌다는 것을 보여주고 있다(권혁재, 2012; 이근, 2003).

<표 2> A61K: 5개년도 TCT 및 관련 통계 분석 결과

	1990~1994	1995~1999	2000~2004	2005~2009	2010~2014
N(개)	44,319	98,559	137,916	168,947	479,738
평균(년)	7.6087	9.023	9.3481	9.8189	11.3849
분산	35.8906	41.1539	45.3429	48.7911	53.6341
표준편차	5.9909	6.4151	6.7337	6.9851	7.3235
최대값	34	39	44	49	54
최소값	0	0	0	0	0
Q1(년)	3	4	4	5	6
Q3(년)	11	12	12	13	14
중앙값	6	7	8	8	10
최빈값	3	6	4	6	8

<표 3> B60K: 5개년도 TCT 및 관련 통계 분석 결과

	1990~1994	1995~1999	2000~2004	2005~2009	2010~2014
N(개)	9,196	6,531	9,223	10,453	14,260
평균(년)	5.7417	8.2070	9.3054	10.5013	11.3363
분산	26.5949	44.5161	56.5110	75.5382	91.8110
표준편차	5.1570	6.6720	7.5174	8.6913	9.5818
최대값	34	38	44	49	54
최소값	0	0	0	0	0
Q1(년)	2	4	4	4	5
Q3(년)	7	10	13	14	14
중앙값	4	6	7	8	8
최빈값	2	6	2	5	5

<표 4> C22B: 5개년도 TCT 및 관련 통계 분석 결과

	1990~1994	1995~1999	2000~2004	2005~2009	2010~2014
N(개)	1,248	1,451	1,719	1,144	2,042
평균(년)	11.5128	11.3729	14.3642	17.4720	18.9261
분산	62.7039	69.1292	88.3574	122.8024	145.4169
표준편차	7.9186	8.3144	9.3999	11.0816	12.0589
최대값	34	39	43	49	54
최소값	0	0	1	0	0
Q1(년)	5	5	7	8	9
Q3(년)	17	17	22	26	27
중앙값	10	9	13	16	16.5
최빈값	3	4	6	7	8

<표 5> G06F: 5개년도 TCT 및 관련 통계 분석 결과

	1990~1994	1995~1999	2000~2004	2005~2009	2010~2014
N(개)	73,946	238,426	451,473	1,117,185	3,044,898
평균(년)	6.7169	6.0266	5.7298	6.9726	8.5430
분산	23.0596	22.5471	19.6394	19.1218	21.9488
표준편차	4.8020	4.7484	4.4316	4.3729	4.6850
최대값	33	39	44	48	53
최소값	0	0	0	0	0
Q1(년)	3	3	3	4	5
Q3(년)	9	8	7	9	11
중앙값	5	5	5	6	8
최빈값	3	3	3	5	8

<표 2>~<표 5>에 따르면 분석기간을 통틀어 소재(C22B) 분야의 경우 가장 긴 평균값(전체평균: 14.73년)을 가지고 있으며 IT(G06F) 분야의 경우 가장 짧은 평균값(전체평균: 6.8년)을 보였다. 가장 최근년도(2010년~2014년)를 기준으로 그 값을 살펴보면 C22B의 경우 18.9년으로 나타났으며 G06F는 8.5년으로 그 값의 차이가 크다. 또한 두 수치를 각 기술군의 중앙값과 비교하면 중앙값이 평균보다 항상 작은 것으로 분석되었는데 이는 기술군의 TCT가 정규분포의 형태가 아닌 정적편포(Positive skewed distribution)를 보이며 양의

왜도(Right-skewed or Positive skewness)임을 나타낸다. 즉 상기 두 개 분야 기술군은 상호 참조하는 인용 연수가 평균값(mean value)보다 전체적으로 짧게 나타나고 있다.

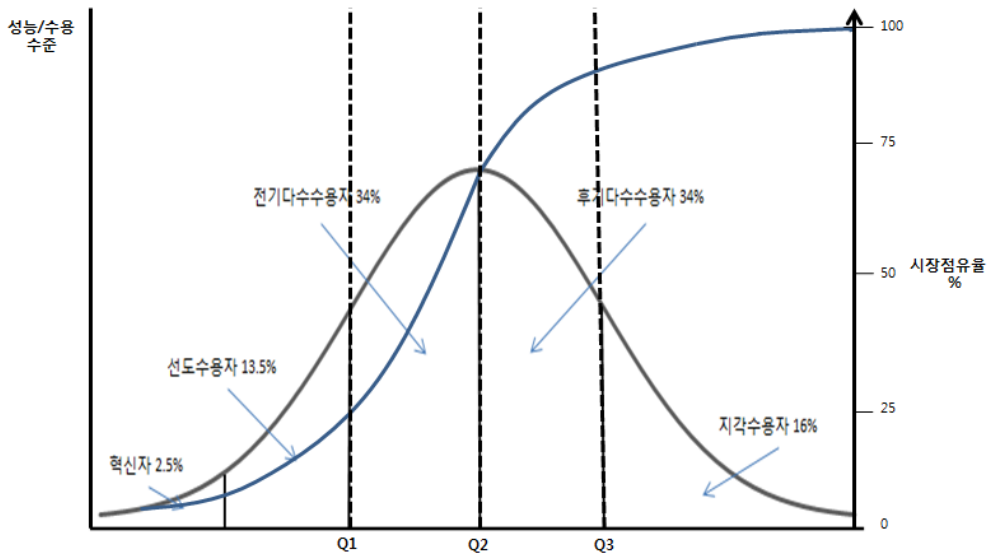
전체 기술 분야의 분석기간을 통틀어 TCT 내에 중앙값은 평균보다 항상 짧은 것으로 분석되었다. 2010년~2014년을 기준으로 분석결과를 살펴보면 자동차(B60K) 분야와 IT(G06F) 분야의 경우 중앙값이 8년으로 가장 짧은 것으로 나타났으며 가장 긴 중앙값을 갖는 기술군은 소재(C22B)로 16.5년으로 나타났다. Q1(제1사분위수, 25% quartile)값 또한 B60K와 G06F의 경우 가장 짧은 5년으로 나타났으며 C22B의 경우 Q1값이 9년으로 길게 나타났다. Q3(제3사분위수, 75% quartile)값은 G06F가 11년으로 가장 짧은 것으로 분석 되었 으며 C22B의 경우 Q3값이 27년으로 여전히 가장 긴 것으로 나타났다. 따라서 소재(C22B) 분야의 경우 기술 인용기간이 길어지는 경향을 보이고 있으며, 발전 속도 또한 상대적으로 느리다고 분석될 수 있는 반면, 자동차(B60K) 분야나 IT(G06F) 분야의 경우 신기술 출현속도가 빨라지고 해당 분야 기술개발에 집중도가 높음을 보여주고 있다.

IV. 결과 해석

1. 결과 해석을 위한 분석 프레임워크

앞서 살펴본 이론적 배경을 토대로 기술별 그리고 시기별로 특성화 된 기술혁신 패턴을 모델화하기 위해서 S-curve, 기술수용주기 및 상업적 성과에 TCT 통계수치를 대입시켜 살펴보면 (그림 5)와 같다. S-curve의 형태로 나타나는 TCT는 크게 도입기, 성장기, 성숙기, 쇠퇴기로 나눌 수 있는데 이를 TCT 통계수치를 토대로 살펴보면 대략 Q1 지점까지를 도입기로 정의할 수 있다. 이 시기에는 투자대비 성과가 미미하거나 성과가 아예 나타나지 않을 수 있으며 상업적 성공여부가 불확실하다. 또한 기술이 가진 복잡성 및 시장에서의 가격 등으로 인해 혁신수용자와 선도수용자 및 극히 일부의 전기다수수용자 정도가 기술을 수용하게 된다. 다음으로 대략 Q1에서 Q2(제2사분위수, 50% quartile, 중앙값) 지점까지를 성장기로 볼 수 있으며 이 시기에는 투자 한 비용의 회수가 가능해지며 대부분의 전기다수수용자가 기술을 수용하게 된다. 또한 Q2에서 Q3 지점까지를 성숙기로 정의함으로써, 이 시기에는 후기다수수용자까지 기술을 수용하게 되고 경쟁은 계속 유지되지만 공급이 수요를 앞지르며 수익이 점점 줄어들게 된다. 마지막으로 Q3 지점 이후를 쇠퇴기로 정의함으로써 지 각수용자들이 기술을 수용하게 되고 기존 기술을 대체할 새로운 기술이 출현하게 되는 시점으로 분류할 수 있다.

이러한 분석 프레임워크는 기업의 기술전략을 수립하는데 있어 유용한 자료가 된다. 기업의 기술전략은 기술 자체의 수명을 다루는 S-curve만으로 구상하는데 한계가 있으며 기술을 보유한 제품이 시장에서 갖는 역할과 시장에서 제품을 수용하는 소비자의 역할을 다루는 기술수용주기를 고려해야 한다. 더 나아가 기술이 발전함에 따라 나타나는 제품의 상업적 성과를 고려하여 기업의 기술전략이 완성된다. 본 연구에서 제시하고 있는 분석 프레임워크는 위 세 가지를 충족시키고 있으며 분석 프레임워크에 실제 TCT 통계수치를 대응하여 기술 분야별 기업의 기술전략을 제언한다. 기술 분야별로 도입기, 성장기, 성숙기, 쇠퇴기를 아우르는 전체 기술수명주기와 함께 각 단계별 기술수명을 실제 분석값으로 제시하고 이를 해석함으로써 좀 더 객관적인 기술전략 수립이 가능하며 시기별로 분석된 TCT 통계수치를 토대로 기술혁신 패턴을 모델화한다.



(그림 5) 분석 프레임워크

2. 결과 해석

앞서 제시한 분석 프레임워크를 기반으로 각 기술 분야별 Q1, Q2, Q3 값을 기준으로 기술수명주기를 살펴 보면 다음과 같다. 분석기간을 통틀어 평균적으로 가장 짧은 중앙값(Q2)을 갖는 기술 분야는 IT(G06F)로 5.8년으로 나타났다. 이는 IT 분야가 나머지 기술 분야에 비해 짧은 기술수명주기를 갖고 있는 것으로 해석된다. 다음으로 짧은 중앙값을 갖는 기술 분야는 자동차(B60K)로서 평균 6.6년으로 나타났으며 뒤를 이어 BT(A61K) 분야가 평균 7.8년으로 분석되었다. 가장 긴 중앙값을 갖는 기술 분야는 소재(C22B)로서 평균 12.9년으로 나타났으며 소재 분야의 기술수명주기가 다른 기술 분야에 비해 긴 것으로 해석된다.

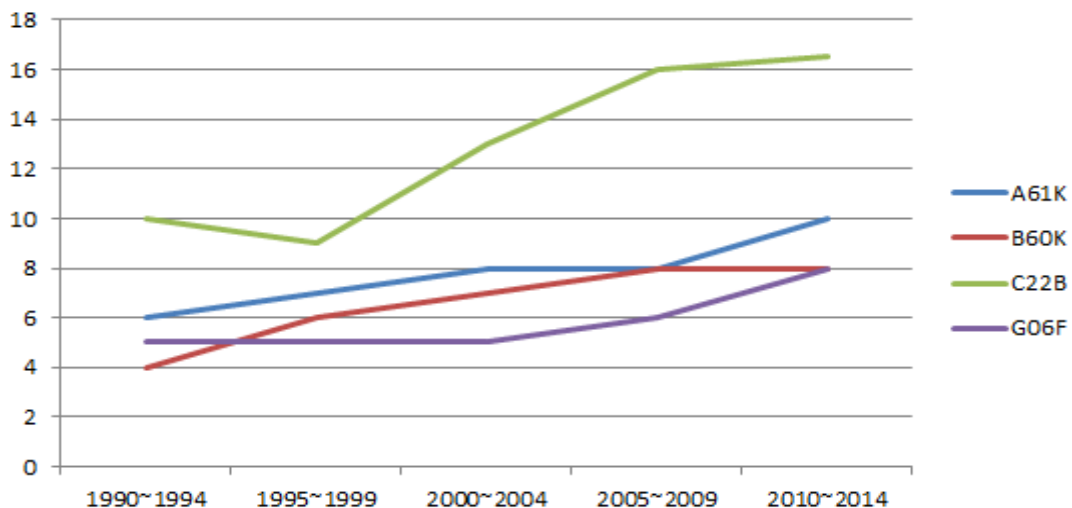
상기 계산된 중앙값을 IQR(Inter-Quartile Range)값과도 비교할 수 있으며, 여기서 IQR은 사분위수 범위를 뜻하며 상한 사분위수(Q3)에서 하한 사분위수(Q1)를 뺀 값으로 전체 관측치의 50%를 나타낸다. 각 기술 분야별 평균 IQR 값을 살펴보면 가장 짧은 중앙값을 갖는 G06F의 경우 IQR 값도 평균 5.2년(8.8년(Q3)-3.6년(Q1))으로 가장 짧은 것으로 나타났으며 가장 긴 중앙값을 갖는 C22B의 IQR 값은 평균 15년(21.8년(Q3)-6.8년(Q1))으로 4가지 기술 분야 중 가장 긴 것으로 나타났다. 나머지 기술 분야도 마찬가지로 IQR 값이 길면 중앙값도 긴 것으로 나타났으며 IQR 값이 짧으면 중앙값 또한 짧은 것으로 분석 되었다. IQR 값을 토대로 데이터 분포의 중앙 집중 정도를 평가할 수 있는데 짧은 IQR 값을 갖는다는 것(첨도값이 큼)은 그만큼 데이터의 변화량이 크지 않으며 다시 말해 G06F의 경우 C22B 보다 좀 더 안정적이며 일관된 기술수명주기를 갖는다고 해석할 수 있다.

IT(G06F) 분야의 경우 쇠퇴기로 들어서는 시점이 기술이 시장에 도입된 후 평균 8.8년 이후이며 수익을 거둘 수 있는 성장기에서 성숙기 사이의 기간은 5.2년으로 짧은데 반해 소재(C22B)의 경우 쇠퇴기로 들어서는 시점이 평균 21.8년 이후이며 성장기에서 성숙기 사이는 15년으로 수익을 거둘 수 있는 기간이 상대적으로 매우 긴 것으로 분석되었다. 즉 IT 기술 분야에 속한 기업이 지속적으로 경쟁우위를 유지하기 위해서는 전략적으로 도입기부터 기술을 수용하는 소비자의 의견을 받아들여 기존 기술(혹은 제품)을 업그레이드 하거나 끊임없이 새로운 기술 개발을 위해 연구개발에 투자하여 새로운 S-curve를 도출하여 시장을 선도해야 할 것으로 보인다. 분석 기간 중 가장 최근년도인 2010년~2014년의 경우 자동차(B60K) 분야의 TCT는 8년으로

IT(G06F) 분야와 동일한 값을 보였다. 그러나 성장기에서 성숙기 사이의 기간은 9년으로 G06F(6년)보다는 상대적으로 긴 것으로 분석되어 아직까지 자동차 분야의 경우 보유 기술에 있어 좀 더 길게 수익기간을 영위할 수 있을 것으로 판단된다.

각 기술별 그리고 시기별 TCT 값을 좀 더 면밀히 살펴보면 (그림 6)과 같다. 기술혁신이 빨라지고 경쟁이 치열해짐에 따라 갈수록 기술수명주기가 단축되는 추세를 보일 것으로 예상했으나(Markman, 2005; 황용수 외, 2003) 분석결과는 이와는 상이하게 나타났다. 소재(C22B)를 제외하고 전 기술 분야를 통틀어 기술수명주기는 지속적으로 길어지는 경향을 보이고 있으며 C22B 또한 분석기간 중 1995년~1999년을 제외하고는 꾸준히 그 주기가 길어지고 있는 것으로 나타났다. 특히 IT(G06F) 분야의 경우 다른 기술 분야보다 시간의 흐름에 좀 더 동적으로 반응할 것으로 예상할 수 있으나 최근 들어 특허 수가 증가하면서 기술수명주기를 나타내는 TCT 값은 더욱 길어진 것으로 나타났다. 이는 실제 상업 이용성을 담보하고 있으며 기술의 성장패턴을 예측하는데 유용한 지표인 특허를 토대로 기술수명주기를 추정하였을 경우(Campbell, 1983) 기술혁신의 속도가 그다지 빠르지 않다는 것을 나타낸다. 이는 IT 분야에 새롭게 출원(등록)되는 기술이 인용 및 참조하는 기술은 최근 기술이 아닌 과거 기술이며, 또한 최근 기술과는 상이한 혁신기술임을 나타낸다.

분석 결과를 해석하는데 앞서 TCT 지수가 가진 특징을 살펴볼 필요가 있다. 본 연구에서 분석 데이터로 쓰인 미국특허청의 특허 데이터를 출원 및 등록하기 위한 절차상에는 출원인은 특허출원 신청 시 명세서를 제출해야만 하는데 여기에 발명 기술의 배경이 되는 피인용 특허를 반드시 기재하게 되어 있다. 그러나 기재된 피인용 특허가 그대로 반영되는 것은 아니며 미국 특허청의 심사관(Examiner)이 상기 명세서를 가지고 특허 등록 여부를 심사할 때 심사관 개인의 판단에 의해 피인용 특허가 누락되거나 새롭게 추가될 수 있다. 여기서 실제 특허 출원인이 인용한 특허로부터 달라질 수 있으며 이에 따라 실제 기술 및 시장 환경과는 상이한 결과를 가져올 수도 있다. 분석 결과를 바탕으로 TCT 지수를 통해 시기별 기술혁신 패턴을 도출하는 것은 한계가 있으며 실제 기술혁신의 속도가 빠르지 않다는 것을 입증하기 위해서는 향후 기술혁신 속도를 추정하는 타 방법론 기반의 분석결과와 본 연구에서의 분석결과를 비교함으로써 유의미한 결론이 추가적으로 도출될 수 있을 것으로 판단된다.



(단위: 년)

(그림 6) 기술 분야별 TCT 변화추이

V. 결론

기술혁신 패턴을 모델화 하는 것은 기업이 보유한 기술의 특성을 파악하고 기업에 적합한 기술전략의 수립을 위해서 필수적이다. 기술혁신 패턴을 모델화 한다는 것은 기술수명주기를 추정하여 분석함으로써 가능한 것이며 본 논문에서는 접근성이 용이하고 객관적 지표로 활용 가능한 특허 데이터를 기반으로 기술 분야별 기술순환주기(TCT)를 도출하여 기술수명주기의 대리변수로 추정하였다. 기술순환주기는 국제특허분류를 사용하여 산출된 값을 제공하고 있어 적용분야 선택이 용이하고 후방인용(Backward citation) 기간을 산출하는 방식이므로 데이터 갱신이 용이하며 최근 특허에 대한 인용수명까지 안정적으로 산출할 수 있어 최근 신뢰성이 높아지고 활용성이 부각되고 있다.

본 논문에서는 BT, 자동차, 소재, IT의 4가지 기술 분야의 기술순환주기를 분석하여 기술혁신 패턴을 모델화하였다. 일반적으로 기술순환주기는 기술 분야에 따라 큰 차이를 보이는데 이는 기술 분야별 기술혁신의 속도가 다르다는 것으로 해석된다. 실제 기술 분야별 기술순환주기를 분석한 결과 IT 분야의 기술순환주기가 가장 짧은 것으로 나타났으며 소재 분야는 가장 긴 기술순환주기 값을 갖는 것으로 분석되었다. 그리고 그 차이는 분석기간을 통틀어 평균 7.1년으로 매우 큰 것으로 나타났다. 그 밖에 자동차는 평균 6.6년으로 4가지 기술 분야 중 비교적 짧은 기술순환주기를 갖는 것으로 분석되었으며 BT 분야는 평균 7.8년으로 나타났다.

분석된 기술순환주기 값을 기술수명주기로 해석하여 이를 S-curve, 기술수용주기 및 상업적 성과에 대응시켜 살펴보면 IT 분야의 경우 쇠퇴기로 들어서는 시점이 평균 8.8년 이후이며 수익을 거둘 수 있는 기간은 평균 5.2년으로 나타났다. 가장 긴 기술순환주기 값을 갖는 소재 분야의 경우 쇠퇴기로 들어서는 시점은 평균 21.8년 이후이며 수익을 거둘 수 있는 기간은 평균 15년으로 IT 분야와 비교해볼 때 상대적으로 오랜 기간 동안 안정적으로 수익을 영위할 수 있는 것으로 나타났으며, 경쟁강도 또한 낮은 것으로 판단된다. 상기 분석 결과는 각 기술 분야별로 그 분야에 속한 기업의 특성을 고려하여 기술전략을 수립하는데 활용할 수 있다. IT분야에 속한 기업의 경우 기술을 보유한 제품이 시장에 출시되면서부터 기술 및 제품혁신에 대한 고민이 전략적으로 수반되어야 할 것으로 보인다. 기술수명주기가 타 기술 분야에 비해 짧고 이와 더불어 수익유지 기간이 짧기 때문에 지속적으로 경쟁우위를 갖기 위해서는 신속하게 시장의 반응을 살펴 기존 기술을 업그레이드 하거나 새로운 기술을 끊임없이 개발하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 소재 분야의 경우 기술수명주기가 길고 수익유지 기간 또한 길기 때문에 진입장벽이 높아 후발 경쟁자의 위협은 덜하지만 단속적 기술의 출현으로 새로운 S-curve가 그려질 수 있는 상황을 염두에 두고 연구개발에 지속적으로 투자하는 것이 필요할 것으로 보인다. BT 분야와 자동차 분야의 경우 기술수명주기가 IT 분야보다는 길지만 그 차이가 분석기간을 통틀어 평균적으로 BT 분야의 경우 2년, 자동차 분야의 경우 0.8년으로 크지 않은 것으로 나타났다. 다만 수익 유지 기간은 상대적으로 IT 분야보다 긴 것으로 분석되었다. 두 분야에 속한 기업은 IT 분야와 비교했을 때 비교적 제품의 질을 향상시키거나 새로운 속성을 부가하여 시장 환경에 적극적으로 대응할 수 있는 시간이 확보되나 소재 분야에 속한 기업보다는 빠른 움직임이 필요할 것으로 보인다.

본 논문에서는 각 기술 분야별 특허 데이터를 5개년도로 나눠 기술순환주기의 통계적 결과를 도출함으로써 최근의 기술혁신 패턴을 살펴보고 각 시기별로 특화된 기술혁신 패턴을 유형화하는 분석을 수행하였다. 분석 결과에 따르면 4가지 기술 분야(BT, 자동차, 소재, IT)를 통틀어 시간의 흐름에 따라 기술수명주기가 길어지고 있는 것으로 나타났는데 이는 앞선 학자들의 연구와는 상반된 결과로서, 실제 기술혁신의 속도가 점차 느려지고 있음을 검증하기 위해서는 향후 기술혁신 속도를 추정하는 타 방법론 기반의 분석결과와 본 논문의 결과를 심층적으로 비교 분석할 필요가 있다고 판단된다. 이는 기술순환주기를 도출하는 방법에 있어서 사용되는 미국 특허 데이터의 피인용 특허가 가진 한계로 인해 실제 기술 및 시장 환경과 왜곡된 결과를 가져올

수 있기 때문이다. 따라서 본 연구결과를 토대로 최근 기술혁신 속도의 저하 여부를 검증하고 좀 더 정확도 및 신뢰도 높은 시기별 기술혁신 패턴을 모델화 하는 것이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 권혁재 (2012), 「지식재산권 분쟁의 추세와 대응방향」, SERI 경제 포커스, 제395호.
- 이근 (2003), “지적재산권과 기업의 특허전략”, 「과학기술정책」, 138: 24-31.
- 황용수·김성수·변병문·이광호·이홍 (2003), 「신기술 변화에 대응한 산학연 연구개발 파트너십의 강화방안-산학연, 산산 파트너십을 중심으로」, 서울: 과학기술정책연구원.
- Achilladelis, B. (1993), “The Dynamics of Technological Innovation: The Sector of Antibacterial Medicines”, *Research Policy*, 22: 279-308.
- Achilladelis, B., Schwarzkopf, A. and Cines, M. (1990), “The Dynamics of Technological Innovation: The Case of the Chemical Industry”, *Research Policy*, 19: 1-34.
- Andersen, B. (1999), “The Hunt for S-shaped Growth Paths in Technological Innovation: A Patent Study”, *Journal of Evolutionary Economics*, 9: 487-526.
- Anderson, P. and Tushman, M. (1990), “Technological Discontinuities and Dominant designs: A Cyclical Model of Technological Change”, *Administrative Science Quarterly*, 35: 604-634.
- Ayres, R. U. (1994), “Toward a Non-linear Dynamics of Technological Progress”, *Journal of Economic Behavior and Organization*, 24: 35-69.
- Booundless (2014), “Technology Life Cycle”, <http://www.boundless.com/management/textbooks/boundless-management-textbook/organizational-culture-and-innovation-4/technology-and-innovation-37/the-technology-life-cycle-202-3486/> (13 May 2015).
- Campbell, R. S. (1983), “Patent Trends as a Technological Forecasting Tool”, *World Patent Information*, 5(3): 137-143.
- Christensen, C. M. (1992), “Exploring the Limits of the Technology S-curve. Part I: Component Technologies”, *Production and Operations Management*, 1(4): 334-357.
- Christensen, C. M. (1993), “The Rigid Disk Drive Industry: A History of Commercial and Technological Turbulence”, *Business History Review*, 67: 531-588.
- Christensen, C. M. (1999), *Innovation and the General Manager*, New York: McGraw Hill.
- Debackere, K., Verbeek, A., Luwel, M. and Zimmermann, E. (2002), “Measuring Progress and Evolution in Science and Technology-: The Multiple Uses of Technometric Indicators”, *International Journal of Management Reviews*, 4: 213-231.
- Dussauge, P., Hart, S. and Ramanantsoa, B. (1987), *Strategic Technology Management*, Paris: McGraw-Hill.
- Ernst, H. (1997), “The Use of Patent Data for Technological Forecasting: The Diffusion of CNC-technology in the Machine Tool Industry”, *Small Business Economics*, 9(4): 361-381.
- Foster, R. N. (1986), *Innovation: The Attacker's Advantage*, New York: Summit Books.
- Gao et al. (2013), “Technology Life Cycle Analysis Method Based on Patent Documents”, *Technological*

- Forecasting and Social Change*, 80(3): 398-407.
- Haupt, R., Kloyer, M. and Lange, M. (2007), "Patent Indicators for the Technology Life Cycle Development", *Research Policy*, 36(3): 387-398.
- Kayal, A. A. and Waters, R. C. (1999), "An Empirical Evaluation of the Technology Cycle Time Indicator as a Measure of the Pace of Technological Progress in Superconductor Technology", *IEEE Transactions on Engineering Management*, 46(2): 127-131.
- Kim, K. H., Kim, C. H. and Park, H. W. (2012), "A New Approach to Estimating Product Lifetimes: A Case Study of an LED Based LCD TV", *Asian Journal of Innovation and Policy*, 1(2): 200-218.
- Little, A. D. (1981), "The Strategic Management of Technology", paper presented at the European Management Forum, Davos, Switzerland.
- Markman, G. D., Gianiodis, P. T., Phan, P. H. and Balkin, D. B. (2005), "Innovation Speed: Transferring University Technology to Market", *Research Policy*, 34(7): 1058-1075.
- Ming, H. X. G., Lu, W. F. and Zhu, C. F. (2004), "Technology Challenges for Product Lifecycle Management", http://www.simtech.astar.edu.sg/Research/TechnicalReports/TR0_4PR13.pdf (13 May 2015).
- Narayanan, V. K. (2001), *Managing Technology and Innovation for Competitive Advantage*, New Jersey: Prentice Hall.
- Narin, F. (1999), *Tech-Line® background paper*, In J. Tidd (Ed.), *Measuring strategic competence*. Imperial College Press, Technology Management Series.
- Norman, D. A. (1998), "The Life Cycle of a Technology: Why It is so Difficult for Large Companies to Innovate?", http://www.nngroup.com/reports/life_cycle_of_tech.html (10 May 2015).
- Rogers, E. M. (1983), *Diffusion of Innovations*, 3rd edition, New York: Free Press.
- Rogers, E. M. (1995), *Diffusion of Innovations*, 4th edition, New York: Free Press.
- Rogers, E. M. (2003), *Diffusion of Innovations*, 5th edition, New York: Free Press.
- Twiss, B. C. (1992), *Forecasting for Technologists and Engineers: A Practical Guide for Better Decisions*, London: Peter Peregrinus.
- Schilling, M. A. (2013), *Strategic Management of Technological Innovation*, 4th edition, Boston: McGraw Hill.
- Schilling, M. A. and Esmundo, M. (2009), "Technology S-curves in Renewable Energy Alternatives: Analysis and Implications for Industry and Government", *Energy Policy*, 37(5): 1767-1781.
- Vijay, T. A. (2008), "Challenges in Product Strategy, Product Planning and Technology Development for Product Life Cycle Design", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 43(1): 157-162.
- Watts, R. J. and Porter A. L. (1997), "Innovation Forecasting", *Technological Forecasting and Social Change*, 56(1): 25-47.