

RESEARCH ARTICLE

Empirical Study on the Analysis of Technological Diffusion and Convergence Patterns Using a Logistic Diffusion-Convergence Model: Focusing on Quantum Computing Technology

Giho Ryu¹, Taehoon Kim²

¹Ph.D. Program in Intellectual Property Convergence Department, Chungnam National University; Chief Patent Officer in National Strategic Technology Patent Division, Korea Intellectual Property Strategy Agency, Republic of Korea

²Professor of Electrical, Electronic, and Communication Engineering Education, College of Education, Chungnam National University, Republic of Korea

Corresponding Author: Taehoon Kim (kth0423@cnu.ac.kr)

ABSTRACT

Technological advancement is accelerating rapidly. Technology continues to evolve through diffusion and convergence, making the development of objective data-driven methodologies based on patents to compare temporal patterns of technology diffusion and convergence essential. This paper proposes a methodology for comparing technology diffusion and convergence patterns using patent citation indices and co-classification information. The proposed method applies patent citation data and co-classification information to a logistic diffusion-convergence model to measure the peak diffusion time and saturation threshold of a given technology. For empirical validation, 7,173 patent records from the field of quantum computing were analyzed. The experimental results indicated that the peak diffusion and convergence times were calculated as 11.58 and 17.98 years, respectively, whereas the diffusion and convergence saturation thresholds were determined to be 46.21 and 35.45 years, respectively. This implies that in quantum computing, technology diffusion reaches its peak earlier than convergence, whereas the saturation threshold is reached earlier for convergence than for diffusion. Through this empirical analysis, we demonstrated that applying the proposed methodology enables the identification and comparison of diffusion and convergence patterns across technologies. Consequently, R&D policymakers across various technological domains can leverage this methodology to obtain objective insights into the direction of technological advancement. Additionally, by distinguishing between fundamental scientific technologies and market-driven convergent technologies, policymakers can strategically design investment directions and prioritize R&D funding more effectively at different stages of technological development.

Open Access

Received: February 10, 2025

Revised: March 01, 2025

Accepted: May 30, 2025

Published: June 30, 2025

Funding: The author received manuscript fees for this article from Korea Institute of Intellectual Property.

Conflict of interest: No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

© 2025 Korea Institute of Intellectual Property



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided that the article is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

KEYWORDS

Patent information, Quantum computer, Technology diffusion, Technology convergence, Technology diffusion pattern, Technology convergence pattern

원저

로지스틱 확산·융합 모델을 이용한 기술의 확산 및 융합 패턴 실증 연구: 양자컴퓨터 기술을 중심으로

류기호¹, 김태훈²

¹충남대학교 대학원 지식재산융합학과 박사과정, 한국특허전략개발원 국가전략기술특허지원단 특허전담관

²충남대학교 사범대학 전기·전자·통신공학교육과 교수

교신저자: 김태훈 (kth0423@cnu.ac.kr)

차례

1. 서론
 - 1.1. 연구의 필요성
 - 1.2. 연구의 목적
2. 이론적 배경
 - 2.1. 기술 확산
 - 2.2. 기술 융합
3. 연구 방법
 - 3.1. 연구 절차
 - 3.2. 연구 대상
 - 3.3. 연구 모형
 - 3.4. 자료의 수집 및 분석
4. 연구 결과
 - 4.1 기술 확산의 연구결과
 - 4.2 기술 융합의 연구결과
 - 4.3 기술 확산 및 융합의 비교연구 결과
5. 결론 및 연구의 한계
 - 5.1. 결론 및 제언
 - 5.2. 연구의 한계

국문초록

최근 기술의 발전 속도는 너무나 빠르다. 기술은 확산과 융합을 통하여 계속 발전해 나가는데 기술 확산과 융합에 대한 시기별 패턴을 비교하기 위한 객관적인 데이터(특허) 기반 방법론과 이를 통한 실증 연구는 매우 필요성이 높은 주제이다. 본 논문은 특허 피인용지수와 동시분류부여 정보를 기반으로 기술 확산 및 융합 패턴을 비교하기 위한 방법론을 제안한다. 제안된 방법은 특허의 피인용 정보와 동시 분류부여 정보를 로지스틱 확산·융합모델에 적용하여 최대 기술의 확산 시기와 한계값을 측정한다. 실증은 양자컴퓨터 분야 특허 데이터 7,173건으로 진행하였다. 실험 결과 기술의 최대 확산·융합 시기는 11.58년과 17.98년으로 산출되었고 확산 한계값은 46.21년과 35.45년으로 산출되었다. 즉, 양자컴퓨터 분야는 기술 확산이 융합보다 선행되어 최대값에 도달하는 반면, 한계값은 기술 융합이 확산보다 선행되어 도달하는 것을 실증할 수 있었다. 이러한 실증을 통해 기술 확산 및 융합 방법론을 활용하면 기술 확산 및 융합의 패턴을 확인하고 상호 패턴간의 비교 연구가 가능하기 때문에 다양한 기술 분야의 R&D 정책 입안자들이 해당 방법론을 활용하여 기술 발전의 방향성에 대한 객관적인 정보를 확보하고, 과학적 원천 기술과 시장 중심의 융합 기술을 분리하여 시기별 핵심 기술에 대한 투자 방향과 R&D 투자의 우선순위를 효과적으로 설계할 수 있을 것이다.

주제어

특허정보, 양자컴퓨터, 기술확산, 기술융합, 기술확산패턴, 기술융합패턴

1. 서론

1.1. 연구의 필요성

새로운 기술의 등장과 혁신적인 기술의 발전은 현대 사회에서 경제 성장과 산업 경쟁력 강화의 핵심 동력으로 작용하고 있다. 최근 정민(2016)¹⁾은 다보스포럼에서 클라우드 슈밥이 인공지능 등의 새로운 기술이 경제 성장을 지속적으로 이루고 인류가 한 번도 경험하지 못한 새로운 시대를 접하게 될 것이라고 언급하였다.

기업들은 특히 기존 산업의 지속적인 성장과 한계의 극복을 위해 기술과 산업 등의 융합 활동을 늘리고 있다. Bierly, P. E 등(2001)²⁾은 R&D 단계에서 이종 분야 지식들간 활발한 결합이 시도되고 있으며, 인접 분야에서 기술 발전이 이전에는 상관없이 보이던 타 산업 분야의 발전을 획기적으로 이끌기도 한다고 언급하였다. 또한 Curran, C. 등(2011)³⁾은 지식들의 융합을 통해 새로운 기술이 생겨나고, 여러 분야의 기술들이 조합되어 새로운 제품과 서비스가 등장하고 새로운 산업과의 융합도 이루어진다고 언급하였다. 또한 김미정 등(2021)⁴⁾은 4차 산업혁명 기술의 도입과 활용에 따라 지속적으로 신기술을 도입하기 위한 행동이 정(+의 영향을 미치고 다양한 산업 분야의 초연결성으로 인하여 새로운 비즈니스 모델 등이 나타나고 있다고 언급하였다. 이러한 특성으로 기술의 융합은 개별 기술의 성숙도뿐만 아니라 관련 산업 전반에 걸친 영향을 평가하는 데 중요한 요소로 인식된다.

국가나 기업의 경제적 성장을 이끄는 또 다른 주요 동력 중의 하나로 기술의 확산이 있다. 기술 확산은 기술의 혁신을 촉진하고 기존의 기술을 대체하는 창의적 파괴를 가능하게 한다. 박창현(2017)⁵⁾은 기술 혁신의 과정을 이해하는데 중요한 요소로 기술 확산을 언급했으며, 기술의 확산은 기술 혁신의 구성요소로 이에 대한 이해를 통해 기술 혁신의 과정을 자세히 이해해야만 혁신을 주도하는 초기시장 진입자가 될 수 있다고 언급하였다.

기술의 융합은 서로 다른 기술이나 산업과의 융합을 통하여 산업 구조를 재편성 할 수 있는 현상도 가능하게 한다. Seongkyoon Jeong 등(2015)⁶⁾은 기술의 융합은 산업과 시장에 매우 중요한 영향을 미쳐 새로운 산업이나 시장이 생겨날 만큼 영향이 크고 점점 더 복잡하고 이질적인 형태로 발전하고 있다고 언급했다.

현재 우리나라 정부 주요 기술부처에서는 기술 확산 및 융합 등이 많이 가장 활발하게 일어나는 과학기술, 정보통신, 보건, 환경기술 분야에 대한 기술 영향력을 확인하기 위한 기술 수준의 조사에 있어서 논문 정보 활용이나 기술 전문가 대상의 설문조사 방식을 널리 사용하고 있다. (한국과학기술기획평가원, 2022).⁷⁾ 그러나 이철주 등(2022)⁸⁾은 설문조사를 위해서는 상당한

1) 정민, “현안과 과제: 2016년 다보스 포럼의 주요 내용과 시사점 - 4차 산업혁명, 글로벌 성장 원동력으로”, 현대경제연구원, 2016, 5-7면.

2) Paul E. Bierly III & Alok Chakrabarti, “Dynamic knowledge strategies and industry fusion”, *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, Vol.3 No.1-2(2001), pp. 31-35.

3) Clive-Steven Curran & Jens Leker, “Patent indicators for monitoring convergence-examples from NFF and ICT”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.78 No.2(2011), pp. 256-259.

4) 김미정·성백춘, “4차 산업혁명 도입 기업의 기술수용과 확산에 미치는 영향요인에 관한 연구”, 「한국비즈니스연구」, 제5권 제2호(2021), 55-56면.

5) 박창현, “기술적 성능향상 및 경제성을 고려한 기술 확산 추세에 대한 연구: 32nm, 22nm, 14nm 로직 반도체의 기술진화 사례”, 「한국산학기술학회논문지」, 제18권 제2호(2017), 177-184면.

6) Seongkyoon Jeong et al., “Technology convergence: What developmental stage are we in?”, *Scientometrics*, Vol.104(2015), pp. 841-871.

7) 한국과학기술기획평가원, “분야별 기술수준 평가”, 과학기술정책지원서비스, <<https://www.k2base.re.kr/techLevelEval/list.do>>, 검색일: 2024. 10. 15.

시간과 비용이 소요될 뿐만 아니라, 전문가들의 다양한 경험에 따라 견해 차이가 커서 결과에 편차가 발생할 가능성이 크다는 한계가 존재한다고 언급하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 산업 및 기술 정보를 포괄적으로 담고 있는 특허 데이터를 활용하는 것이 효과적이다. 이근 등(2021)⁹⁾은 특허 자료를 통한 분석의 방법론이 기술 경제학의 창시자로 일컬어지는 조셉 쉘페터(Joseph Alois Schumpeter)의 이론을 계승한 쉘페테리안(Schumpeterian) 학파의 기술 체제 분석에 그 기반을 두고 있다고 언급, 최근 수십 년 동안 국내외의 다양한 학술 연구 및 지식재산과 관련된 정책 수립에 활용된 검증된 방법이라 밝히고 있다. 윤정연 등(2012)¹⁰⁾은 특허 데이터에 기반한 다양한 특허 지표를 개발하여 시장에 대한 전망이나 예측 및 기술의 평가에 대한 전반적인 정보를 제공하고 있다고 언급하였다.

또한 특허는 그 내용이 공중에 공개되는 것이 원칙이기에 기술의 융합과 확산을 측정하는 주요 지표로 많이 활용되기도 한다. 그 예로 서용운(2017)¹¹⁾은 키워드를 이용하여 미국 등록특허를 추출하고 연관규칙분석을 활용하여 이들 특허의 IPC(International Patent Classification)를 분석하여 안전 기술 융합 분야를 추출하였다고 언급하였다. 또 다른 예로 T.J. Lybbert 등(2014)¹²⁾은 국제적 기술의 확산이 국가 간 경제 성과 차이를 결정하는 중요한 요인이며 특허가 혁신과 기술 변화 및 확산에 대한 유용한 대리 지표가 될 수 있다고 언급하였다. 이처럼 특허의 지표를 활용하면 기술의 확산 및 융합 패턴을 매우 빠르고 정교하고 파악할 수 있는 장점이 있다. 따라서 특허정보를 활용한 기술 확산과 융합 패턴의 분석은 기술 진화에 대한 심층적인 이해를 도모할 뿐만 아니라, 기업이 전략적인 기술 투자 방향을 수립하는 데 있어 실질적인 도움을 제공한다. 또한, 정책 입안자들에게는 과학기술정책을 보다 정교하게 설계하고 효과적으로 실행할 수 있도록 객관적이고 신뢰할 만한 근거를 제공할 수 있다.

1.2. 연구의 목적

본 연구는 로지스틱 확산·융합 모델을 이용하여 기술의 확산과 융합 패턴 분석 방법을 제안하는 것이다.

국가 및 기업의 R&D 정책 입안자들이 기술 확산과 융합에 대한 시기별 패턴을 측정할 수 있는 본 방법론을 활용하여, 기술 발전의 방향성을 보다 정확하게 예측할 수 있다. 기술의 확산과 융합이 진행되는 경로를 예측하기 위해서는 기술 정보를 객관적이고 신속하게 파악할 수 있는 특허정보를 활용하는 것이 효과적이다. 이 연구에서는 특허의 피인용 정보와 IPC 동시분류부여 정보를 활용하여 기술의 확산 및 융합 패턴을 분석하고, 이를 통해 두 가지 패턴의 상호 차이를 비교 연구할 수 있다. 또한, 본 연구는 양자컴퓨터 분야를 사례로 하여 피인용 정보와 동시분류부여 정보를 활용한 기술 확산 및 융합 분석 패턴 결과를 실증적으로 비교해 볼 수 있다. 이를 통해 다양한 기술 분야의 R&D 정책 입안자들은 해당 방법론을 활용하여 기술 발전의 방향성에 대한 객관적인 정보를 확보하고, 초기 단계의 핵심 기술에 대한 투자 방향을 효과적으로 설정할 수 있을 것이다.

8) 이철주 외 4인, “특허정보와 기계학습을 활용한 산업기술수준 측정 방법 연구”, 「지식재산연구」, 제17권 제2호(2022), 298-299면.

9) 이근 외 2인, “산업-특허 연계 분석 방법론 수립에 관한 연구”, 특허청, 2021, 1-62면.

10) 윤정연 외 2인, “IP포트폴리오의 특성분석을 위한 특허지표 개발에 대한 연구”, 「정보관리연구」, 제43권 제2호(2012), 70-73면.

11) 서용운, “공통특허분류 분석을 활용한 안전기술융합분야 탐색 : Association Rule Mining(ARM) 접근법”, 「한국안전학회지」, 제32권 제5호(2017), 88면.

12) Travis J. Lybbert, & Nikolas J. Zolas, “Getting patents and economic data to speak to each other: An algorithmic links with probabilities approach for joint analyses of patenting and economic activity”, *Research Policy*, Vol.43 No.3(2014), pp. 530-542.

2. 이론적 배경

2.1. 기술 확산

20세기 초부터 다양한 분야에서 여러 확산 모델이 개발되었다. 이러한 확산 모델은 초기에는 주로 경영 측면에서 제품이나 서비스의 확산을 설명하는 데 사용되었으나, 이후 인류학, 사회학 등의 사회 과학과 생물학을 포함한 자연 과학 분야에서도 폭넓게 활용되고 있다. 기술 확산의 용어는 새로운 기술이 개발되고 그 기술이 시간에 걸쳐 점차적으로 다양한 사용자 그룹이나 산업에 진보된 기술로 퍼지는 과정을 의미한다. 대표적인 학자인 Rosers(2010)¹³⁾는 확산은 혁신이 확산 채널을 통해 일정 기간 동안 사회 체계 내에서 구성원들 사이 혹은 시장에 전파되는 것이라 언급하였다. 또한 기술 확산 패턴은 새로운 기술이 도입되고 활용되면서 점진적으로 다양한 사용자에게로 퍼져나가는 과정을 설명하는 개념이고 국가 기술혁신 시스템에서 어떤 매개 기구나 채널을 통하여 기술과 지식이 교류됨으로써 경제 활동의 주체가 혁신된 지식을 공유해 가는 과정으로 정의하였다. Hannu Jaakkola(1996)¹⁴⁾는 확산 모델은 크게 세 가지 발전의 단계를 거치는데 기본 모델 시대(1960~1970), 확장 모델 시대(1970~1980), 새로운 응용 시대(1980년 이후)로 구분되며 기본 모델 시대에는 수학적 모델 개발에 연구가 집중되었고 그 후 다양한 응용 모델이 “Bass 확산 모델”을 기반으로 활발하게 개발되었다고 언급하였다. 또한 1980년대 이후 연구는 기존 방법론을 개선하고 HDTV, IP 통신 서비스 등과 같은 신제품 및 서비스에 확산 모델을 적용함으로써 모델의 범위와 유연성을 확대할 수 있다고 언급하였다. Vijay Mahajan 등(1990)¹⁵⁾은 Bass 모델에 따른 확산의 전체 기간은 배아기, 성장기, 성숙기의 세 단계로 구분할 수 있고 확산 곡선은 일반적으로 “S”자 형태를 띠며 신제품, 서비스 또는 신기술의 누적 채택률은 배아기 단계에서 낮은 성장세를 보이다가 성장기에 접어들며 가파르게 증가하고, 성숙기에서는 성장이 정체되는 패턴을 보인다고 언급하였다. 또한 일반적인 확산 이론은 아래의 식(1)과 같다. 확산 계수 $g(t)$ 에 따라 외부 영향 확산 모델, 내부 영향 확산 모델, 혼합 영향 확산 모델의 세 가지 모델로 구분이 된다고 언급하였다.

$$\frac{dN(t)}{dt} = n(t) = g(m - N(t)) \quad (1)$$

$N(t)$ 는 임의의 시간의 누적 채택자 수, $n(t)$ 는 비누적 채택자 수, m 은 최종 채택자의 잠재적 수, g 는 잠재적 채택자를 확산시키는 확산 매개 변수

외부 영향 확산 모델은 기술이나 제품의 확산이 광고, 정부 정책, 미디어, 유명 인사의 추천 등 외부 요인에 의해 주도되는 경우를 의미한다. 혁신이 사회에 도입될 때, 초기 소비자는 주로 외부 자극(광고, 언론 보도 등)을 통해 제품을 채택하며, 내부 네트워크(입소문, 사용자 간 영향)보다는 외부 요인이 더 중요한 역할을 한다. 이 모델에서는 확산 속도가 일정하며, 외부 충격이 클수록 빠르게 확산되며 대표적인 예로 신형 스마트폰 출시가 있다. 반면, 내부 영향 확산 모델은 혁신이나 기술이 기존 사용자들의 사회적 네트워크를 통해 확산되는 경우를 의미한다. 초기 사용자가 새로운 기술을 경험한 후 만족도를 주변에 전파하면서 점진적으로 확산되는 것이 특징

13) Everett M. Rosers, *Diffusion of innovation*, 4th Edition, Collier Macmillan Publishers, 2010, p. 530.

14) Hannu Jaakkola, “Comparison and Analysis of Diffusion Models”, Edit. by K. Kautz, J. Pries-Heje, *Diffusion and Adoption of Information Technology*, Springer, 1996, pp. 65-82.

15) Vijay Mahajan et al., “New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research”, *Journal of Marketing*, Vol.54 No.1(1990), pp. 1-26.

이다. 혼합 영향 확산 모델은 외부 요인과 내부 요인이 함께 작용하는 경우로, 일반적인 실생활 제품 등이 이에 해당한다.

Wagner A. Kamamura 등(1988)¹⁶⁾은 신제품이나 새로운 서비스는 그 특성에 따라 외부 영향 또는 내부 영향 확산 모델이 혼합 영향 확산 모델보다 더 잘 설명하고 예측한다고 언급하였다. 성웅현(2002)¹⁷⁾은 내부 효과에만 영향을 받는 내부 영향 확산 모델은 이동통신 기기와 같은 복잡한 제품이나 최신 기술에 대한 확산을 모델링하는데 더욱 적합하다고 언급하였다. 또한 Vijay Mahajan 등(1990)¹⁸⁾은 내부 영향 확산 모델은 확산 곡선이 좌우 대칭인지 여부에 따라 로지스틱 모델과 고펜츠 모델로 나누는데 내부 영향 확산 모델은 $t=0$ 에서 누적 채택 수 N_0 가 필요하기에 확산 과정의 활성화를 위해 특정 수의 채택자가 필요한 로지스틱 모델이 내부 영향 확산 모델에 더욱 적합하다고 언급하였다.

또 다른 혁신 확산 이론은 1962년 에버렛 로저스(Everett Rogers)가 그의 책 혁신의 전파(Diffusion of Innovations)을 통해 제안한 이론으로, 새로운 아이디어나 기술이 문화와 사회 시스템 내에서 어떻게, 왜, 그리고 어떤 속도로 확산되는지를 설명한다. Rosers(2010)¹⁹⁾는 확산모형은 혁신이 확산 채널을 통해 일정 기간 동안 사회 체계 내에서 구성원들 사이 혹은 시장에 확산되는 것이라 언급하였다. Choi 등(2015)²⁰⁾은 로지스틱 확산 모델을 이용하여 기술 분야 내에서 기술 융합의 확산을 확인할 수 있는 모형을 제시하였다. 특히, 융합 기술의 확산 패턴을 정량적으로 분석함으로써 기술 발전 시기별(예를 들어 도입기, 성장기, 성숙기, 쇠퇴기 등)로 나누어 확산의 과정도 함께 확인할 수 있다고 언급하였다. 또 다른 예로 류기호 등(2024)²¹⁾은 특허 피인용지수를 기반으로 로지스틱 성장 모델에 적용하여 기술의 확산 시기를 예측할 수 있다고 언급하였다. 따라서, 로지스틱 성장 모델을 활용하면 다양한 기술의 확산 과정을 추적하는 것이 가능하고 이를 통한 기술과 산업의 전략 수립에 있어 중요한 도구가 될 수 있다.

2.2. 기술 융합

Nathan Rosenberg(1963)²²⁾는 1960년대에 “융합(convergence)” 개념을 제시하며, 기술 융합 현상을 처음으로 정의했다. 그는 융합이 서로 다른 분야의 기술들이 하나로 통합되는 과정을 강조했으며, 특히 기계 기술 분야에서 융합이 어떻게 발생하는지 설명했다. 로젠버그는 융합이 혁신을 촉진하고 새로운 산업과 제품을 창출할 수 있는 중요한 매커니즘으로 작용한다고 보았다. 이후 그의 연구는 융합 개념이 제품, 서비스, 비즈니스 모델 등 다양한 영역에 적용되며 기술과 산업의 경계를 넘는 혁신을 가능하게 한다는 점에서 많은 주목을 받았다. 즉, 기술 융합의 용어는 서로 다른 기술 분야들이 결합되어 새로운 혁신이나 서비스, 제품을 창출하는 현상을

16) Wagner A. Kamamura & Siva K. Balasubramanian, “Long-term view of the diffusion of durables A study of the role of price and adoption influence processes via tests of nested models”, *International Journal of Research in Marketing*, Vol.5 No.1(1988), pp. 1-13.

17) 성웅현, “오광우 교수 정년퇴임 기념호 : 사례연구 : 성장과 확산모형을 이용한 정보기술산업 시장의 중대기 수요예측”, 『통계연구』, 제10권(2002), 31-48면.

18) Vijay Mahajan et al., “New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research”, *Journal of Marketing*, Vol.54 No.1(1990), pp. 1-26.

19) Everett M. Rosers, *Diffusion of innovation*, 4th Edition, Collier Macmillan Publishers, 2010, pp. 530.

20) Jae Young Choi et al., “A Study on Diffusion Pattern of Technology Convergence: Patent Analysis for Korea”, *Sustainability*, Vol.7 No.9(2015), pp. 11546-11569.

21) 류기호·전상규, “로지스틱 확산 모델과 특허 피인용 지수를 활용한 최대 기술 확산 시기 및 기술 확산의 한계 수명에 관한 연구”, 『한국지능시스템학회 논문지』, 제34권 제3호(2024), 211-212면.

22) Nathan Rosenberg, “Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-1910”, *The Journal of Economic History*, Vol.23 No.4(1963), pp. 414-443.

나타낸다. Fredrik Hacklin(2008)²³⁾은 기술 융합(Technology Convergence)은 서로 독립적이었던 기술적 지식이 융합되고 상호 확산되는 현상으로 정의하였고, 이는 우연한 사건이 아니라 필연적인 흐름이라고 언급했다. 또한 Fredrik Hacklin 등(2013)²⁴⁾은 기술 융합은 서로 다른 기술 분야가 결합하여 새로운 혁신을 창출하는 과정이며 이러한 융합이 정보통신기술과 생명공학기술의 결합처럼 새로운 산업과 시장을 형성한다고 언급했다. 또한 Mamadou Diallo 등(2013)²⁵⁾은 기술 융합은 서로 다른 과학 분야, 기술, 커뮤니티, 인간 활동 영역 간의 상호작용을 통해 상호 호환성, 시너지, 통합을 이루고 이를 통해 부가가치를 창출하는 과정으로 언급하였다. Matti Karvonen 등(2012)²⁶⁾은 융합은 일반적으로 별개의 이질적인 항목이 단일성이거나 확실성으로 변환되거나 별개의 기술, 장치 또는 산업이 통합된 전체로 병합된다는 개념으로 설명할 수 있다고 언급하였다. Seongkyoon Jeong 등(2015)²⁷⁾은 과학 융합, 기술 융합, 산업 융합의 세 가지 범주로 구분했고 이중 기술의 융합은 서로 다른 응용 분야의 기술이 새로운 공통 기술 통일체로 전환되는 것을 의미한다고 언급하였다. 이를 위해 IPC의 융합 특허의 수를 활용하여 기술 융합의 특성을 분류할 수 있고 융합에 일반적인 로지스틱 모델을 적용하여 기술 융합이 확산되는 관점으로 바라볼 수 있다고 언급하였다. 그리고 Alfred Nordmann(2004)²⁸⁾은 기술 발전이 일정한 성장 패턴을 따른다는 점을 보여주었으며, 이는 로지스틱 성장 모형이 기술 융합 연구에서 중요한 도구가 될 수 있음을 언급하였다. 또한 Dmitry Kucharavy 등(2009)²⁹⁾은 로지스틱 모델을 적용하여 기술 대체 및 장기적 경쟁 역학을 설명하였고 장기간에 걸친 기술 변화 및 융합을 예측하는데 로지스틱 모델이 유용하다는 것을 언급하였다.

Holger Ernst(2003)³⁰⁾는 특허가 기술 혁신의 대표적인 지표라고 언급했으며, 권오진 등(2007)³¹⁾과 윤민호(2011)³²⁾는 기술 동향을 분석하기 위해 대표적인 정보로 특허정보를 활용하고 있으며 기술의 확산을 관찰하는데 주요한 데이터로 이용하였다. 이현민 등(2018)³³⁾은 기술 융합의 흐름을 파악하고 예측하기 위하여 특허의 동시 출현 기술분류(IPC)를 활용하였다. 김영정 등(2012)³⁴⁾은 기술 융합을 측정하려는 기존 연구는 일반적으로 특허의 공동 인용 분석이나 특허 기술 범주의 동시분류부여 분석을 사용했다고 언급하였다. 다만 Choi 등(2015)³⁵⁾은 특허

23) Fredrik Hacklin, *Management of Convergence in Innovation: Strategies and Capabilities for Value Creation Beyond Blurring Industry Boundaries*, 1st edition, Physica-Verlag, 2008, pp. 2-91.

24) Fredrik Hacklin & Martin M. Wallin, "Convergence and interdisciplinarity in innovation management: a review, critique, and future directions", *The Service Industries Journal*, Vol.33 No.7-8(2013), pp. 774-788.

25) Mamadou Diallo et al., "Implications: Convergence of Knowledge and Technology for a Sustainable Society", Edit. by M. Roco, W. Bainbridge, B. Tonn, G. Whitesides, *Convergence of Knowledge, Technology and Society*, Science Policy Reports, Springer, 2013, pp. 371-431.

26) Matti Karvonen & Tuomo Kässi, "Patent citations as a tool for analysing the early stages of convergence", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.80 No.6(2013), pp. 1094-1107.

27) Seongkyoon Jeong et al., "Technology convergence: What developmental stage are we in?", *Scientometrics*, Vol.104(2015), pp. 841-847.

28) Alfred Nordmann, "Converging Technologies - Shaping the Future of European Societies", EU Publications, 2004, pp. 1-64.

29) Dmitry Kucharavy et al., "Long-Run Forecasting of Emerging Technologies with Logistic Models and Growth of Knowledge", Cranfield University, 2009, pp. 277.

30) Holger Ernst, "Patent information for strategic technology management", *World Patent Information*, Vol.25 No. 3(2003), pp. 233-242.

31) 권오진 외 4인, "매개중심성 분석을 통한 기술군간 융합 정도측정", 「한국콘텐츠학회 종합학술대회 논문집」, 제5권 제1호(2007), 1-5면.

32) 윤민호, "DRAM 산업의 지식확산, 기술궤적과 산업 주도권의 이동 - 특허인용 네트워크 분석과 신신편터 주의 기술경제학", 「지식재산연구」, 제6권 제3호(2011), 239-270면.

33) 이현민 외 2인, "융합기술 개발전략 기획을 위한 특허 인용 네트워크 기반의 분석 방법론 - 스마트공장 ICT 기술을 중심으로", 「한국산학기술학회 논문지」, 제19권 제1호(2018), 34-47면.

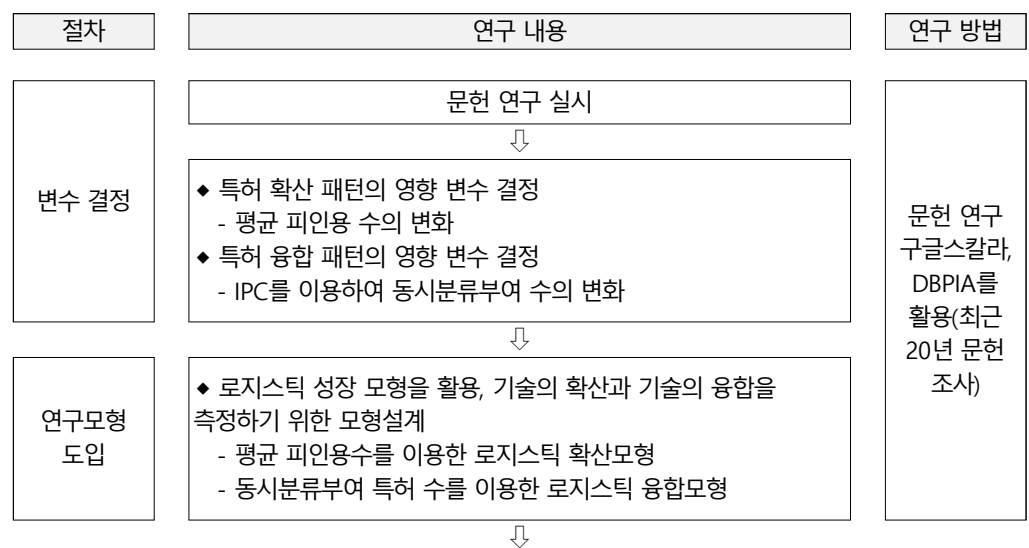
34) 김영정 외 3인, "Technological Convergence of IT and BT: Evidence from Patent Analysis", 「ETRI Journal」, 제34권 제3호(2012), 297-484면.

인용정보는 기술 융합에 중요하지만 특허의 기술 속성을 설명하는 직접적인 지표가 될 수 없고 인용되지 않은 고유 노하우와 기술을 반영하기 어려운 반면, 특허의 기술 분류는 특허가 분류한 기술 분야를 설명하는 직접적인 지표가 될 수 있다고 언급하였다. 따라서 IPC 동시분류부여 정보를 통해 기술 간 유사성과 상호작용을 정량적으로 분석하고, 기술 융합의 패턴을 분석하는 것은 기술 융합 흐름이나 경향을 예측하는 데 매우 중요한 역할을 할 수 있다. 상기 기술의 확산과 융합 방식을 상호 결합하여 분석할 수 있으면 기술의 확산과 융합에 대한 패턴을 비교하며 다양하게 나타나는 기술의 변화에 세심하게 대응하는 것도 가능할 것으로 판단한다.

3. 연구 방법

3.1. 연구 절차

본 연구의 절차는 문헌 연구를 기반으로 특허 확산의 패턴에 대한 변수와 융합 패턴의 영향 변수인 평균 피인용 수의 변화와 IPC를 이용한 동시분류부여 수의 변화를 활용한다. 연구 모형은 성웅현(2002)³⁶⁾의 내부 효과에만 영향을 받는 내부 영향 확산 모델은 복잡한 제품과 최신 기술 대한 기술의 확산을 모델링하는데 더욱 적합하다고 언급한 부분, Vijay Mahajan 등(1990)³⁷⁾의 로지스틱 모델이 내부 영향 확산 모델에 더욱 적합하다고 언급한 부분과 Dmitry Kucharavy 등(2009)³⁸⁾의 로지스틱 모델을 적용하여 장기간에 걸친 기술 변화 및 융합을 예측하는데 로지스틱 모델의 유용성을 강조한 부분이 본 연구 모형의 연관성에 기초가 되었다. 이에 연구 모형으로 로지스틱 성장 모형을 최종적으로 확정하였고 최신 기술인 양자컴퓨터 분야에 이를 적용하기 위하여 최근 20년간의 특허데이터를 수집하였다. 이를 통해 기술 확산 및 기술 융합 패턴을 확인하고 이를 비교하여 분석하는 연구를 진행하였다.

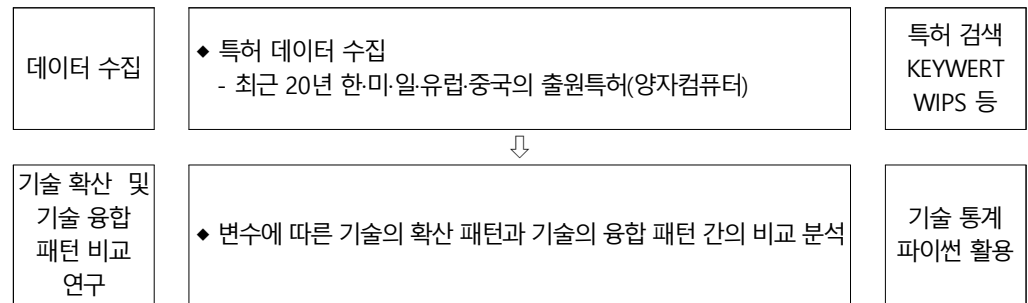


35) Jae Young Choi et al., "A Study on Diffusion Pattern of Technology Convergence: Patent Analysis for Korea", *Sustainability*, Vol.7 No.9(2015), pp. 11546-11569.

36) 성웅현, "오광우 교수 정년퇴임 기념호 : 사례연구 : 성장과 확산모형을 이용한 정보기술산업 시장의 중단기 수요예측", 『통계연구』, 제10권(2002), 31-48면.

37) Vijay Mahajan et al., "New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research", *Journal of Marketing*, Vol.54 No.1(1990), pp. 1-26.

38) Dmitry Kucharavy et al., "Long-Run Forecasting of Emerging Technologies with Logistic Models and Growth of Knowledge", Cranfield University, 2009, pp. 277.



3.2. 연구 대상

본 연구의 대상은 다양한 산업에 적용 가능한 혁신적 기술로, 초기 단계에서의 기술 확산과 융합 과정을 실증적으로 분석하기에 적합하며, 학문적 융합, 기술 생태계의 협력, 정책적 파급 효과 등을 종합적으로 관찰할 수 있는 대표적 사례로 활용 가능한 분야인 양자컴퓨터 기술을 연구 대상으로 선정하였다. 또한 Intonti, Kimberly(2024)³⁹⁾ 등은 해당 분야를 단순한 양자 역학의 초기 개발을 넘어, 현대 양자 물리학의 혁신적 도약과 획기적인 진보가 이루어진 양자 혁명으로 언급하고 있어 다양한 산업에 혁신적인 영향을 끼치는 분야로 판단하였다. 또한, 해당 분야의 연구를 위해 연구자가 자비로 출원하는 연구 성과는 그 가치가 객관적으로 보장될 가능성이 높은 바, 이를 반영한 특허정보를 활용하여 실증 분석을 수행하였다. 실증 연구를 위한 DATA는 전 세계 특허출원의 약 85%를 차지하는 한국, 미국, 일본, 유럽, 중국에서 출원된 양자컴퓨터 기술 분야 특허 자료 중 미공개 특허가 존재하는 2023, 2024년 특허 구간을 제외한 최근 20년(2003년~2022년)간 공개 및 수집 가능한 7,173건의 특허 데이터로 구성하였다. 이러한 자료를 통해 양자컴퓨터 기술 분야의 기술적 특성을 파악하고, 특허정보를 통한 로지스틱 확산 모형 결과를 통해 기술 확산 양상을 분석할 수 있다. 또한, 로지스틱 융합 모형 결과를 통해 특정 기술이 융합되어 발전하는 양상을 관찰함으로써 양자컴퓨터 기술의 혁신 방향과 연구 동향을 도출할 수 있다. 또한 이들의 비교 연구가 양자컴퓨터 기술의 발전 과정과 주기별 기술의 융합과 확산 패턴에 대한 통찰을 제공하며, 향후 기술 전략 수립에 기초 자료로 활용될 수 있다.

3.3. 연구 모형

본 연구에서는 특허 데이터를 연구 모형에 적용하고 분석을 위한 사전 처리를 수행하는 과정에서, 대규모 데이터셋 처리와 특허의 시간적 변화를 모델링하거나 기술 발전 트렌드를 파악하는 데 유용한 파이썬 라이브러리인 SciPy를 활용하였다. SciPy는 직관적이고 강력한 API를 제공하여 연구자가 코드 작성에 소요되는 시간을 줄이고 분석에 집중할 수 있도록 지원하기 때문에 이를 이용하여 분석 작업을 수행하였다. 특히 로지스틱 성장 모형을 활용하여 평균 피인용수를 중심으로 한 로지스틱 확산 모형과 동시분류부여 특허수를 활용한 로지스틱 융합 모형을 생성한다.

특허 데이터를 활용한 로지스틱 확산 모형에서는, 특허 출원 후 후속 연구에서 해당 특허가 인용되는 과정을 기술의 확산으로 간주한다. 이를 통해, 시간에 따라 누적되는 특허 피인용수율식 (2)로 정의된 로지스틱 확산 모형에 적용하여 기술의 잠재적 성장 규모와 성장률을 예측할 수 있다. 이 식은 기술의 확산이나 혁신의 전파 과정과 같은 현상을 설명하는 데 유용하며, 초기

39) Kimberly Intonti et al., "The Second Quantum Revolution: Unexplored Facts and Latest News", *Encyclopedia*, Vol.4 No.2(2024), pp. 630-671.

단계, 성장 단계, 포화 단계로 나뉘는 S자형 곡선을 그린다.

$$L(t) = \frac{b_1}{1 + \frac{(b_1 - b_0)}{b_0} e^{-k_2(t-t_0)}} \quad (2)$$

여기서, $L(t)$ 는 t 시점에서 평균 피인용 수이고, t_0 는 변곡점(성장률이 가장 높은 시점)을 나타내는 시간, b_0 는 초기 피인용수, b_1 은 잠재적 최대 성장의 상한선(포화 수준)이며, k_2 는 성장률 계수로, 곡선이 b_1 에 얼마나 빠르게 도달하는지를 나타낸다. 이를 이용하여 기술 확산 과정의 초기 확산, 급성장, 포화 단계에 대한 확인이 가능하다. 또한 기술의 확산 패턴을 산출하는데 활용되는 평균 피인용도 수는 후행 특허들에 의해 피인용된 횟수의 평균값으로, 후행 연구에서 IP 포트폴리오가 얼마나 널리 인용되었는지를 통해 기술 확산의 정도를 확인할 수 있는 지표다. 이의 산출 방법은 식 (3)과 같이 계산된다.

$$CPP_t = \frac{\sum_{i=1}^{n_t} C_i}{n_t} \quad (3)$$

n_t 은 t 연도에 등록된 특허 건수, C_i 는 i 특허의 피인용 수

특허 데이터를 활용한 기술 융합 모형에서는, 하나의 특허에 여러 동시 분류가 부여된 특허를 재추출하여 이를 기술 융합의 지표로 간주한다. 추출된 지표는 식 (2)로 정의된 로지스틱 함수를 이용하여 시각화하고 기술 융합의 시기별 동향을 파악할 수 있다. 여기서, $L(t)$ 는 t 시점에서 융합 특허의 수이고, t_0 는 변곡점(성장률이 가장 높은 시점)을 나타내는 시간, b_0 는 초기 융합 특허의 수, b_1 은 잠재적 최대 성장의 상한선(포화 수준)이며, k_2 는 성장률 계수로, 곡선이 b_1 에 얼마나 빠르게 도달하는지를 나타낸다. 이 식 또한 기술의 융합이나 혁신의 전파 과정과 같은 현상을 설명하는 데 유용하며, 초기 단계, 성장 단계, 포화 단계로 나뉘는 S자형 곡선을 그린다. 이를 통해 기술의 확산 시기와 융합 시기를 상호 비교할 수 있으며, 특히 양자컴퓨터 기술 분야에서 기술 확산과 융합의 패턴을 비교 연구하는 데 유용한 통찰을 제공한다.

3.4. 자료의 수집 및 분석

본 연구에서는 제안된 방법의 실제 적용 가능성을 검토하고 확인하기 위해, 양자컴퓨터 분야의 특허 자료를 핵심 키워드 조합과 분류 체계를 활용하여 수집하였다. 데이터 수집에는 공공 및 상용 특허 검색 시스템인 WIPS, KIPRIS를 활용하여 유사 키워드 조합을 도출하고 최종 검색을 위해서는 Keyword 데이터베이스를 활용하였다. 먼저 데이터의 수집을 위하여 검색식은 (양자 or 쿼텀 or quantum)등의 동의어를 기반으로 하였고 교집합으로 (컴퓨터 or 컴퓨팅 or 연산 or 계산 or computer or computing or G06N*) 등의 컴퓨팅 관련 동의어 및 IPC 분류로 확정되어 있는 G06N 분야를 기반으로 검색식을 작성하였다. 이들로 산출된 특허는 47,450건의 특허가 산출되었으며, 이를 기반으로 중복된 특허를 1차적으로 제거 총 34,536건의 데이터를 추출하였다. 이후 양자컴퓨터와 관련된 2003년부터 2022년까지의 최종 유효데이터를 산출하기 위하여 양자컴퓨터와 관련없는 데이터를 배제하고 최종 7,173건의 유효데이터 추출 후 이

를 최종 확정하였다. 해당 유효 데이터를 통해 추출된 특허정보는 아래의 <표1>과 같다.

<표1 연구에 사용된 특허 데이터>

출원연도	출원건수	등록건수	피인용 문헌수	평균 피인용수	융합 특허수 (동시분류부여건수)
2003	78	51	2,434	47.7	36
2004	62	39	1,250	32.1	38
2005	86	57	2,257	39.6	48
2006	40	25	765	30.6	15
2007	48	33	1,050	31.8	26
2008	63	43	1,043	24.3	31
2009	63	55	1,157	21.0	23
2010	45	30	1,009	33.6	21
2011	53	48	962	20.0	21
2012	79	60	1,331	22.2	36
2013	94	80	1,438	18.0	49
2014	124	98	2,008	20.5	60
2015	192	151	2,333	15.5	80
2016	313	238	2,434	10.2	129
2017	356	254	1,621	6.4	131
2018	373	283	1,966	6.9	137
2019	931	582	2,419	4.2	373
2020	1,137	508	1,196	2.4	454
2021	1,431	413	574	1.4	639
2022	1,605	347	339	1.0	710

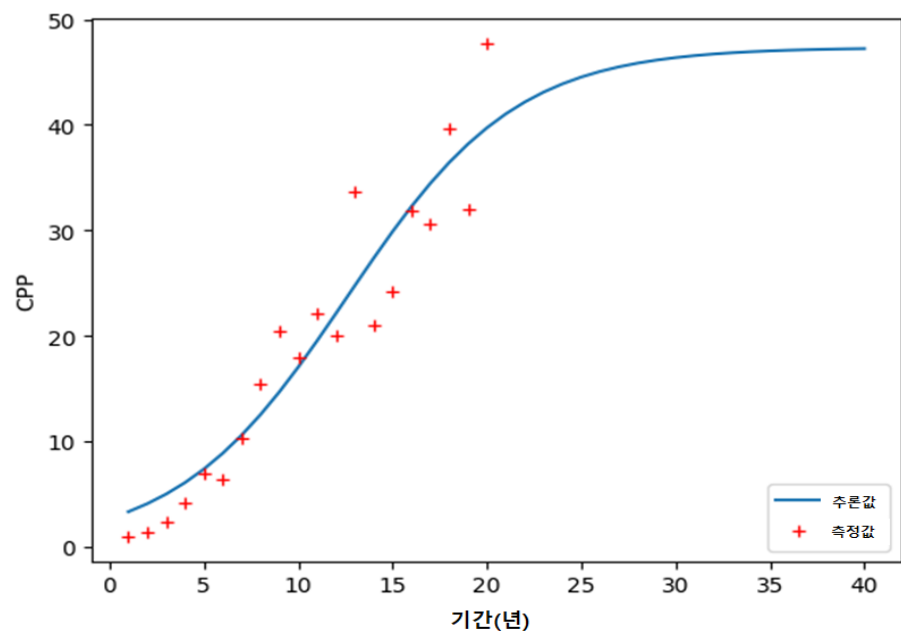
4. 연구 결과

4.1. 기술 확산 패턴의 연구 결과

특허 데이터의 통계적 정보를 바탕으로 연구 결과를 도출하기 위해 사용된 데이터는 연도별 출원량과 평균 피인용 수로 구성되었으며, 이에 대한 통계적 분석 결과는 <표1>에 요약되어 있다. 연도별 출원량은 기술의 발전과 관련된 전반적인 추이를 파악하는 데 유용하며, 평균 피인용 수는 해당 기술의 학문적·산업적 영향력을 평가하는 주요 지표로 활용된다. 이러한 지표들을 바탕으로 최근 20년간의 데이터를 분석한 결과, 평균 피인용 수와 함께 로지스틱 확산 함수(Logistic Diffusion Function)를 적용하여 기술 확산의 패턴을 구체적으로 도출하였다. 이 분석 결과는 <그림1>에 시각적으로 표현되어 있으며, 이를 통해 기술 확산의 시기별 동향과 특징을 명확히 이해할 수 있다. 특히 양자컴퓨터 분야를 대상으로 로지스틱 기술 확산 함수를 적용한 결과, 해당 기술의 발전 경로를 상세히 설명하는 계수와 모형적합도를 산출할 수 있었다. 이러한 결과는 <표2>에 요약되어 있으며, 기술 확산 모델의 신뢰성과 유의성을 판단하는 데 중요한 자료를 제공한다. 파이썬 SciPy 라이브러리를 사용하여 모형을 학습시키고 모형적합도 분석 결과, 초기 피인용 수는 3.33으로 나타났으며 이는 기술 확산 초기 단계에서의 영향력을 나타낸다. 또한 잠재적 최대 피인용 수는 47.33으로, 기술이 완전히 성숙했을 때 예상되는 최대 영향력을 보여준다. 성장 계수는 2.23으로 산출되었으며, 이는 기술의 확산 속도를 의미하며,

기술이 시장 및 학문적으로 얼마나 빠르게 수용되고 있는지를 반영한다. 더불어, SciPy 라이브러리의 ODR(Orthogonal Distance Regression) 모듈을 이용하여 각 계수의 통계적 유의성을 p-검증하였다. ODR(Orthogonal Distance Regression)을 통한 p-검증의 방법은 변수 간 관계를 최적으로 설명하는 회귀 모델을 찾기 위해 모든 방향(x축과 y축 최단 거리 방향)으로의 잔차를 최소화하는 방식이다. 이상치로 제시되는 S 커브의 모형에서 측정된 20개의 모델값이 fitting되어 x와 y의 측정오차를 최소화할 수 있는 변수값 b_0 , b_1 , k_2 이 산출되고 측정된 변수 구간에서의 t-통계량과 자유도를 활용하고 t-분포에서의 누적분포함수(CDF)를 이용하여 p-값을 계산한다. 그 결과, 모든 계수가 유의수준 내에 포함되는 것으로 나타나 본 연구 모형이 높은 신뢰성을 갖고 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 로지스틱 확산 모형으로 생성되는 S 커브는 실제 확산모형에 적용되는 20개의 데이터 포인트를 기준으로 생성되도록 Fitting한 것이다. 20개의 데이터 포인트는 S 커브의 라인을 기준으로 오차값이 0.05~0.01로 세팅될 수 있도록 최적의 계수 값으로부터 산출된 것이고, 이를 p-값을 통해 검증 결과 실제 유의수준 내에 포함된다는 것도 <표 2>를 통해 확인하였다. 또한 결정계수($R^2=0.897$), 자유도 값이 17로 확인되어 로지스틱 모델이 데이터와 비교적 잘 맞으며 통계적으로 의미있는 피팅이 이루어졌다고 확인할 수 있었다. 또한 로지스틱 함수의 추정을 위한 샘플사이즈의 경우 Choi 등(2015)⁴⁰⁾은 12년 동안 데이터를 연도별로 구분하여 12개의 샘플 데이터를 활용하였고, Seongkyoon Jeong 등(2015)⁴¹⁾은 14년 동안 데이터를 연도별로 구분하여 14개의 샘플 데이터를 활용하였으나, 본 연구에서는 20년 동안 데이터를 연도별로 구분하여 20개의 샘플 데이터를 활용하여 통계적으로 적합한 사이즈의 샘플 데이터를 활용하였다.

<그림1 양자컴퓨터 기술의 로지스틱 확산 패턴 결과>



40) Jaeyoung Choi et al., "A Study on Diffusion Pattern of Technology Convergence: Patent Analysis for Korea", *Sustainability*, Vol.7 No.9(2015), pp. 11546-11569.

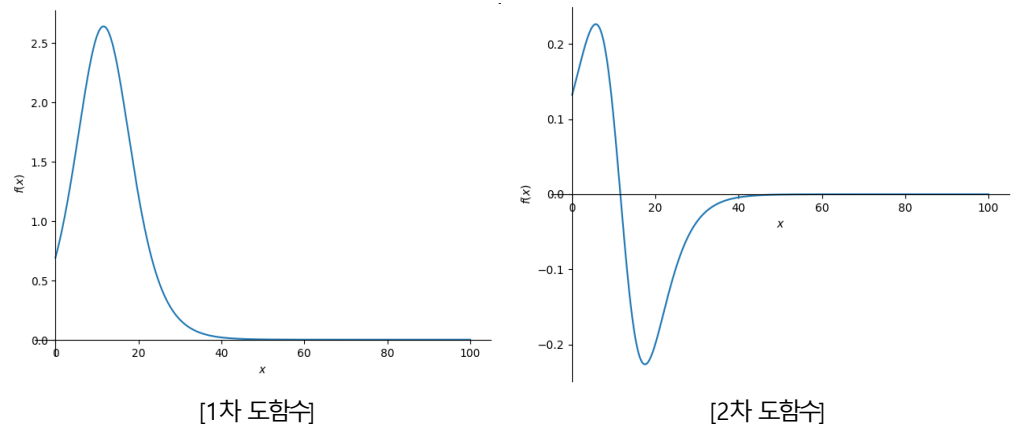
41) Seongkyoon Jeong et al., "Technology convergence: What developmental stage are we in?", *Scientometrics*, Vol.104(2015), pp. 841-847.

<표2 양자컴퓨터 기술 로지스틱 확산 모형의 적합도>

	b_0	b_1	k_2
계수	3.33	47.33	2.23
p-value	0.031*	0.0002**	0.0016**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

<그림2 로지스틱 확산 함수의 1차, 2차 도함수>



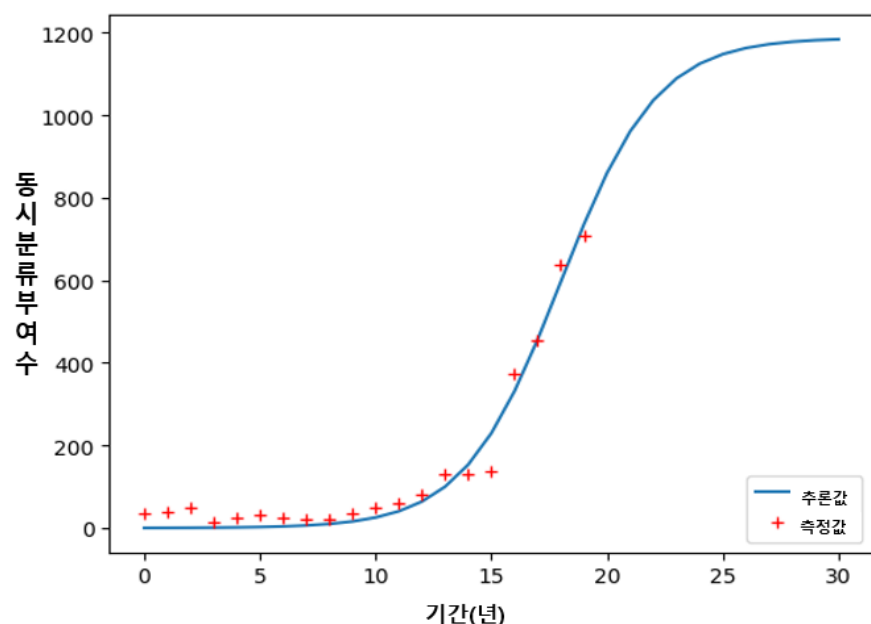
양자컴퓨터 분야의 로지스틱 기술 확산 함수에 대해, 파이썬의 SciPy 모듈을 사용하여 1차 및 2차 도함수를 구한 후, 1차 도함수가 임계값에 도달하는 시점과 2차 도함수가 처음으로 0이 되는 시점을 계산하였다. <그림2>에서 보듯이, 양자컴퓨터 분야의 로지스틱 확산 함수의 1차 도함수는 시간이 흐름에 따라 점차 0에 수렴하는 모습을 보인다. 본 연구에서는 피인용 증가율이 0.01에 도달하는 시점을 1차 도함수의 임계치로 설정하였고, 이 값이 발생하는 시점인 46.21년을 기술 확산의 최대값으로 산출하였다. 도함수의 임계값을 0.01로 설정하는 것은 통계적 분석에서 유의수준(significance level)과 관련이 있다. 유의수준은 가설 검정에서 귀무가설을 기각할 기준이 되는 확률로, 일반적으로 0.05(5%)나 0.01(1%)이 사용되며 이는 연구자가 허용할 수 있는 제1종 오류의 최대치를 설정하는 것으로, 선택된 유의수준에 따라 임계값이 결정하는데 본 연구에서는 가장 낮은 수치로 0.01을 채택하였다. 또한 <그림2>에 도시된 바와 같이 양자컴퓨터 분야 로지스틱 확산 함수의 2차 도함수가 처음 0에 도달하는 시점에서 1차 도함수의 기울기가 최대가 되는 지점은 약 11.58년으로, 이 시점이 양자컴퓨터 분야의 기술 확산이 가장 활발하게 이루어진 시점임을 확인할 수 있다. 또한 이러한 결과들을 종합하면 20년간의 특허 피인용 값은 선행연구에서 언급하는 도입기, 성장기, 성숙기, 쇠퇴기의 형태인 S자형 커브의 확산 패턴을 정확하게 따르고 있는 모습이 확인되고 있어 본 연구의 모델을 통해 양자컴퓨터 기술의 발전과 확산 패턴을 쉽게 이해할 수 있을 뿐만 아니라, 기술 혁신의 관리 및 촉진을 위한 실질적인 정책적·산업적 시사점을 확인할 수 있다.

4.2. 기술 융합 패턴의 연구 결과

특히 데이터의 통계적 정보를 바탕으로 연구 결과를 도출하기 위해 사용된 데이터는 연도별 특허 출원량과 융합 특허 수로 구성되었다. 이 데이터는 기술 발전 및 융합 현상을 심층적으로 이해하는 데 핵심적인 역할을 하며, 해당 통계적 정보는 <표1>에 요약되어 있다. 연도별 출원량은 특정 기술 분야의 전반적인 발전 양상을 파악하는 데 유용하며, 융합 특허 수는 다양한 기술

이 결합되어 새로운 형태의 혁신이 이루어진 정도를 정량적으로 평가할 수 있는 중요한 지표로 활용된다. 본 연구에서는 최근 20년간의 데이터를 분석하여 융합 특허 수와 로지스틱 융합 함수를 적용함으로써 기술 융합의 패턴을 명확히 도출하고자 하였다. 이를 통해 얻어진 로지스틱 기술 융합 패턴의 결과는 <그림3>에 시각적으로 제시되었으며, 이를 통해 특정 기술 영역에서 기술 간 융합이 이루어지는 속도와 규모를 효과적으로 파악할 수 있다. 특히, 로지스틱 기술 융합 함수는 기술 융합의 초기 단계부터 성숙기까지의 전반적인 확산 과정을 설명할 수 있는 적합한 모델로 활용되었다. 양자컴퓨터 분야를 대상으로 수행된 로지스틱 기술 융합 함수 분석에서는 기술 융합의 발전 경로를 설명하는 계수와 모형 적합도가 산출되었으며, 해당 결과는 <표3>에 요약되어 있다. 구체적으로, 초기 융합 특허 수는 0.21로 분석되었으며, 이는 융합 기술이 초기 단계에서 상대적으로 낮은 영향력을 가지는 것을 나타낸다. 이는 기술 융합이 초기 단계에서 연구자 및 기관들의 관심이 제한적이었음을 시사한다. 반면, 잠재적 최대 융합 특허 수는 1,187.98로 나타났으며, 이는 기술 융합이 성숙기에 접어들면서 학문적·산업적 영향력이 급격히 증가할 수 있음을 보여준다. 이는 양자컴퓨터 기술이 다양한 기술과 결합하여 광범위한 응용 가능성을 가진 잠재력이 크다는 점을 시사한다. 융합 특허 수의 성장 계수는 0.48로 나타났으며, 이는 융합 기술이 시장과 학계에서 비교적 완만한 속도로 융합되고 있음을 의미한다. 이는 기술의 복잡성이나 초기 진입 장벽으로 인해 융합 속도가 다소 제한적일 수 있음을 보여주는 지표로 해석된다. 추가적으로, p-값 검증 결과 초기값을 제외한 나머지 계수는 모두 유의수준 내에 포함되는 것으로 나타나, 본 연구에서 사용된 로지스틱 융합 함수 모델이 높은 신뢰성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 로지스틱 융합 모형으로 생성되는 S 커브는 실제 융합모형에 적용되는 20개의 데이터 포인트를 기준으로 생성되도록 Fitting한 것인데 S 커브의 라인이 20개의 데이터 포인트를 기준으로 오차값이 0.05~0.01로 세팅될 수 있는 최적의 계수 값을 산출한 것이고, 이를 p-값을 통해 검증 결과 실제 유의수준 내에 포함된다는 것도 확인한 것이다. 또한 결정계수($R^2=0.973$), 자유도 값이 17로 확인되어 로지스틱 모델이 데이터와 비교적 잘 맞으며 통계적으로 의미있는 피팅이 이루어졌다고 확인할 수 있었다.

<그림3 양자컴퓨터 기술의 로지스틱 융합 패턴 결과>

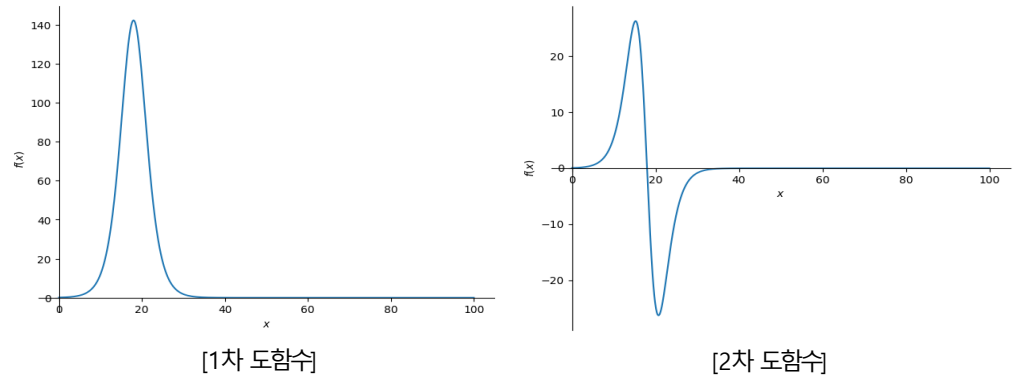


<표3 양자컴퓨터 기술 로지스틱 융합 모형의 적합도>

	b_0	b_1	k_2
계수	0.21	1,187.98	0.48
p-value	0.43	0.0030**	3.12e-05**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

<그림4 로지스틱 융합 함수의 1차, 2차 도함수>



양자컴퓨터 분야의 로지스틱 기술 융합 함수에 대해, 파이썬의 SciPy 모듈을 사용하여 1차 및 2차 도함수를 구한 후, 1차 도함수가 임계값에 도달하는 시점과 2차 도함수가 처음으로 0이 되는 시점을 계산하였다. <그림4>에서 보듯이, 양자컴퓨터 분야의 로지스틱 융합 함수의 1차 도함수는 시간이 흐름에 따라 점차 0에 수렴하는 모습을 보인다. 본 연구에서는 융합 특허 수 증가율이 0.01에 도달하는 시점을 1차 도함수의 임계치로 설정하였고, 이 값이 발생하는 시점인 33.45년을 기술 융합의 최대값으로 산출하였다. 도함수의 임계값을 0.01로 설정하는 것은 통계적 분석에서 유의수준(significance level)과 관련이 있다. 유의수준은 가설 검정에서 귀무가설을 기각할 기준이 되는 확률로, 일반적으로 0.05(5%)나 0.01(1%)이 사용되며 이는 연구자가 허용할 수 있는 제1종 오류의 최대치를 설정하는 것으로, 선택된 유의수준에 따라 임계값이 결정하는데 본 연구에서는 가장 낮은 수치로 0.01을 채택하였다. 또한 <그림4>에 도시된 바와 같이 양자컴퓨터 분야 로지스틱 융합 함수의 2차 도함수가 처음 0에 도달하는 시점에서 1차 도함수의 기울기가 최대가 되는 지점은 약 17.98년으로, 이 시점이 양자컴퓨터 분야의 기술 융합이 가장 활발하게 이루어진 시점임을 확인할 수 있다. 또한 이러한 결과들을 종합하면 20년간의 융합 특허 수는 선행연구에서 언급하는 도입기, 성장기, 성숙기, 쇠퇴기의 형태인 S자형 커브의 융합 패턴을 따르고 있는 모습이 확인되고 있어 본 연구의 모델을 통해 양자컴퓨터 기술의 발전과 응용 분야 및 산업별 융합 기술의 패턴을 쉽게 이해할 수 있을 뿐만 아니라, 기술 혁신의 관리 및 촉진을 위한 실질적인 정책적·산업적 시사점도 확인할 수 있다.

4.3. 기술 확산-융합 패턴의 비교 연구 결과

특히 데이터의 통계적 정보를 바탕으로 양자컴퓨터 기술 분야에서의 특허 확산 패턴과 융합 패턴을 비교한 결과를 살펴보면 기술의 확산이 빠르게 일어난 이후에 기술의 융합이 최대치에 이르는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 이론적 타당성과 실질적 해석 모두에서 의미 있는 시사점을 제공하지만, 연구 방법론과 선행연구와의 비교를 통해 다양한 고찰적 시사점 또한 제

공한다. 우선 T.J. Lybbert 등(2014)⁴²⁾은 특허 데이터는 공개적으로 접근 가능하며 기술의 객관적 상태를 평가하는 데 적합한 자료로 평가받고 있다고 언급한다. 본 연구에서 사용된 20년간의 7,173건의 양자컴퓨터 관련 특허 데이터는 기술 발전의 장기적 추세를 분석하기에 충분한 크기와 품질을 보인다. 또한 본 연구 결과에서 기술 확산의 최대값이 기술 융합의 최대값보다 약 6.4년 먼저 도달하는 것은 기술 확산이 기술 융합의 기반이 된다는 점을 시사한다. 이는 Choi 등(2015)⁴³⁾의 “기술 융합은 기술 확산 이후 본격적으로 발생하며, 확산된 기술을 결합하여 새로운 혁신을 창출한다”는 주장과 일치하며 기술 확산이 기술 융합보다 긴 주기를 가지는 결과는 Nathan Rosenberg(1963)⁴⁴⁾의 융합 이론에서 제시된 “융합은 개별 기술이 충분히 성숙한 이후 이루어진다”는 이론적 근거와 부합한다. 그리고 본 연구에서 기술 융합은 확산에 비해 짧은 주기를 가지며, 이는 기술 융합이 특정 시점 이후 포화 상태에 이른다는 점을 나타낸다. 이는 Seongkyoon Jeong 등(2015)⁴⁵⁾의 기술 융합이 초기 단계에서는 급격히 증가하다가 특정 시점 이후 포화되는 경향이 있다는 결과와 일치하는 점을 보여준다. 즉, 기술의 확산은 11.58년에 이르러서 최대의 기술 확산을 나타내는 반면, 기술의 융합은 17.98년에 이르러서 최대의 기술 융합이 이루어진다는 것을 확인할 수 있다. 반면 양자 컴퓨터 분야의 기술 확산은 46.21년까지 계속해서 확산이 이루어지는 반면, 기술의 융합은 이보다 짧은 33.45년까지만 융합이 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 기술 확산이 기술 융합보다 먼저 최대치에 도달한다는 본 연구의 결과는 선행연구와 일치하며, 이는 기술 발전 과정에서 확산이 융합의 토대를 제공한다는 것을 보여준다.

5. 결론 및 연구의 한계

5.1. 결론 및 제언

본 연구는 특허 데이터를 활용하여 로지스틱 확산 및 융합 모델을 통해 기술의 확산 및 융합 패턴을 분석하는 방법론을 제안하였으며, 이를 양자컴퓨터 기술 분야에 적용하여 실증적으로 검증하였다. 특히, 기존에 주관적 요소가 반영되는 설문조사의 방법의 한계를 극복하여 특허 데이터를 활용한 로지스틱 확산 및 융합 모델을 적용, 기술이 확산되는 과정과 융합되는 과정을 정량적으로 측정하는 데 성공하였다. 로지스틱 모델은 기술 발전의 S자형 곡선을 기반으로 확산 및 융합 과정을 체계적으로 분석할 수 있는 도구로, 평균 피인용 문헌 수와 IPC 동시분류부여 수를 각각 확산 및 융합의 지표로 설정하여 보다 신뢰할 수 있는 결과를 도출하였다.

양자컴퓨터 기술의 확산 패턴을 분석한 결과, 기술 확산이 본격적으로 이루어진 시기는 출원 후 11.58년이며, 46.21년까지 지속적으로 확산이 이루어지는 것으로 나타났다. 이는 초기 연구 단계에서 점진적으로 기술이 확산되다가 산업적으로 수용되면서 급속도로 확산된 이후 일정 수준에서 포화되는 전형적인 S-커브 형태를 따르는 것을 의미한다. 특허의 평균 피인용 수는 확산 초기에 급격히 증가하였으며, 시간이 지남에 따라 점차 둔화되는 경향을 보였으며 이는 특정 핵심 기술이 등장한 후 후속 연구에서 이를 인용하며 지속적인 연구가 이루어지는 양상을 반

42) Travis J. Lybbert, & Nikolas J. Zolas, “Getting patents and economic data to speak to each other: An algorithmic links with probabilities approach for joint analyses of patenting and economic activity”, *Research Policy*, Vol.43 No.3(2014), pp. 530-542.

43) Jaeyoung Choi et al., “A Study on Diffusion Pattern of Technology Convergence: Patent Analysis for Korea”, *Sustainability*, Vol.7 No.9(2015), pp. 11546-11569.

44) Nathan Rosenberg, “Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-1910”, *The Journal of Economic History*, Vol.23 No.4(1963), pp. 414-443.

45) Seongkyoon Jeong et al., “Technology convergence: What developmental stage are we in?”, *Scientometrics*, Vol.104(2015), pp. 841-871.

영한 것이다. 로지스틱 확산 모델을 통해 기술 확산의 한계 시점을 예측할 수 있었으며, 이를 통해 기술이 언제까지 확산될 수 있는지를 예측하는 데 중요한 시사점을 제공한다.

양자컴퓨터 기술의 융합 패턴을 분석한 결과, 기술 융합이 본격적으로 이루어진 시점은 출원 후 17.98년이며, 33.45년까지 지속적으로 융합이 이루어지는 것으로 나타났다. 이는 기술 확산이 이루어진 이후 특정 기술들이 결합하여 새로운 융합 기술이 탄생하는 일반적인 패턴과 부합한다. 동시 분류 부여 특허의 수를 분석한 결과, 초기에 융합 특허의 수가 매우 적었으나, 특정 시점 이후 급격히 증가하는 양상을 보였고 이는 기술 확산이 선행된 후, 이 기술이 다양한 응용 분야에서 결합하여 융합 기술로 발전하는 과정을 보여준다. 로지스틱 융합 모델을 통해 융합 기술이 어느 시점에서 급증하고, 어느 시점에서 포화되는지를 정량적으로 측정할 수 있었다.

기술 확산의 최대치 도달 시점이 기술 융합보다 약 6.4년 빠른 것으로 나타났으며, 이는 기술이 일정 수준까지 확산된 후 융합이 본격적으로 이루어진다는 점을 실증적으로 확인한 결과이다. 기술 확산은 오랜 기간 동안 지속되었으나, 기술 융합은 비교적 짧은 기간에 급격히 증가한 후 포화되는 경향을 보였다. 이는 기술 융합이 특정 기술이 충분히 성숙한 이후 빠르게 이루어진다는 기존 연구 결과와 일치한다. 기술 확산이 특정 기술의 단독 발전을 의미하는 반면, 기술 융합은 서로 다른 기술 간의 조합을 통해 새로운 기술이 창출되는 과정을 의미한다. 따라서, 연구 결과는 기업이나 정책 입안자들이 기술 융합을 촉진하기 위해서는 기술 확산이 어느 정도 이루어진 이후에 관련 기술을 통합하는 전략을 고려해야 함을 시사한다.

또한 본 연구에서 제안한 방법론인 로지스틱 확산 모델을 활용하면 S자 커브가 한계의 상위에 도달하여 더 이상 성장하지 않는 시기를 확인 할 수 있다. 즉, 2003년을 시작점으로 하여 46.21년 이후에 최대 한계 시기에 도달하는 것을 근거로 2049.21년이 기술의 확산 한계 시기로 도출되었고, 따라서 양자컴퓨터 산업 및 기술은 2050년경에 성숙기에 도달할 것이라는 예측이 가능하다. 정부의 정책 결정자 관점에서 볼 때, 조기 정책적 지원을 통해 기술 경쟁력을 선제적으로 강화할 경우, 향후 약 25년 동안 양자컴퓨터 산업에서 국가적 이익을 극대화할 수 있는 전략적 기회를 확보할 수 있음이 확인되었다. 아울러 국가전략기술로 확대해서 해당 방법론을 적용한다면 각 기술의 성숙 시점까지의 잔존 기간을 정량적으로 비교·분석할 수 있으며, 이를 기반으로 국가 기술 투자 전략을 장기 및 단기 분야로 구분하는 것이 가능해진다. 이러한 분석을 통해, 성숙도가 낮아 장기적이고 지속적인 지원이 요구되는 기술과 단기적 투자로 신속한 성과 창출이 가능한 기술을 명확히 구분할 수 있다. 이를 바탕으로, 보다 정교하고 차별화된 정책 지원 전략을 수립할 수 있으며, 궁극적으로 효과적인 의사결정을 위한 핵심 도구로 활용될 것으로 기대된다.

따라서 본 연구는 특정 기술 분야의 확산 및 융합 방법론을 적용하여 기술 발전의 방향성을 규명하고, R&D 혁신을 위한 정책적 투자 결정에 유용한 기준을 제시할 수 있다. 이에 따라, 다양한 기술 분야에서 추가 연구를 진행함으로써 본 방법론의 적용 범위와 유효성을 더욱 확장할 필요가 있다. 예를 들어, 원천기술 개발을 위해서는 기술의 최대 확산 시기를 예측하고 한계 시점을 측정함으로써, 장·단기적 R&D 기획 시 단기적으로 집중 지원이 필요한 기술과 장기적으로 지속적 투자가 요구되는 기술을 구분하는 데 유용한 참고 자료가 될 수 있다. 또한, 원천기술 이후 융합기술이 등장하는 시점을 예측하여, 융합이 활성화되는 시기에 맞춰 활용적 관점에서의 R&D 지원 전략을 수립하는 데 기여할 수 있을 것이다. 융합 기술과 연관된 분야에서는 기술적 결합의 특성을 고려한 맞춤형 R&D 과제 편성을 위한 근거를 제공할 수 있다. 이를 통해, 정책 입안자들은 제한된 예산 내에서 최적의 자원 배분 전략을 수립할 수 있으며, 보다 효율적인 예산 투입을 통해 R&D 투자 효과를 극대화하는 데 기여할 것으로 기대된다.

향후 연구에서는 양자컴퓨터를 활용한 실증 분석에서 적용된 방법론을 다양한 기술 분야에

확장하여, 기술 확산과 융합의 차이를 보다 정밀하게 구분할 예정이다. 이를 바탕으로, 초기 확산 단계에서는 기술 촉진을 위한 정책을, 융합 단계에서는 협력과 융합 기술 활용을 촉진하는 전략적 정책을 설계하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

5.2. 연구의 한계

기술 확산과 융합 패턴은 지역적, 문화적 차이에 따라 다르게 나타날 수 있다. Richard R Nelson(1993)⁴⁶⁾은 그의 저서에서 국가마다 기술 혁신을 촉진하고 확산하는 방식이 다르며 이러한 차이는 단순한 연구개발(R&D) 투자뿐만 아니라 정책, 제도, 문화, 경제적 요인에 의해 결정됨을 강조한 것처럼 특정 지역에서 기술이 빠르게 확산되더라도 다른 지역에서는 채택이 늦어질 수 있다. 기술 융합의 경우 James Katz(2020)⁴⁷⁾는 기술 사용에는 공통적인 추세는 있지만 문화적, 지역적 요인으로 기술이 일상 생활에 통합되거나 융합되는 방식에 뚜렷한 차이가 있음을 언급했다. Tomasz Kijek 등(2023)⁴⁸⁾은 지역적 요인에 따라 기술의 융합이 다르게 나타나고 기술 혁신도 차별화 된다고 언급했다. 따라서 특허정보와 로지스틱 모델 모두 이러한 지역적 차이를 반영하는 데 한계가 있다. 후속 연구에서는 이러한 제한 사항을 인지하고 지역적 문화적 한계를 극복할 수 있는 방안을 포함하여 연구 결과를 새롭게 제시할 수 있을 것이다.

또한 기술 확산과 융합 패턴을 양자컴퓨터에 적용하여 하나의 분야에서 실증 연구를 실시한 한계가 있다. 이는 순차적으로 다양한 기술 분야에 확대 적용함으로써 기술 분야별로 기술의 확산 패턴과 융합 패턴 간에 나타나는 차이점을 명확하게 측정하고 이를 서로 비교할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 기술 융합 부분의 학술적 이론을 더욱 공고하게 유지하기 위해서는 추가적인 연구가 수반되는 것이 필요하다.

이번 연구에서 적용하지 못한 다양한 중요 기술 분야의 적용에 대해서는 특허청과 같은 주요 정부기관에서 제시되는 핵심 기술분야에 대한 특허정보를 기반으로 후속 연구를 순차적으로 진행하게 된다면 R&D 기획 시에 동일한 방식의 기획이 아닌 기술의 확산 및 융합 시기별에 따른 서로 다른 맞춤형 R&D 기획이 가능할 것으로 판단된다.

46) Richard R. Nelson & Nathan Rosenberg, *National Innovation Systems*, 1st Edition, Oxford University Press, 1993, pp. 3-22.

47) James Katz & Mark A. Aakhus, "A theory of Apparatchik", Cambridge University, 2020, pp. 301-319.

48) Tomasz Kijek et al., "Regional Technological Convergence: Patterns and Determinants", *Innovation and Regional Technological Convergence*, Springer Briefs in Regional Science, Springer, 2023, pp. 25-46.

참고문헌

단행본(서양)

- Everett M. Rosers, *Diffusion of innovation*, 4th Edition, Collier Macmillan Publishers, 2010.
- Fredrik Hacklin, *Management of Convergence in Innovation: Strategies and Capabilities for Value Creation Beyond Blurring Industry Boundaries*, 1st edition, Physica-Verlag, 2008
- Hannu Jaakkola, "Comparison and Analysis of Diffusion Models", Edit. by K. Kautz, J. Pries-Heje, Diffusion and Adoption of Information Technology, Springer, 1996,
- Mamadou Diallo et al, "Implications: Convergence of Knowledge and Technology for a Sustainable Society", Edit. by M. Roco, W. Bainbridge, B. Tonn, G. Whitesides, Convergence of Knowledge, Technology and Society, Science Policy Reports, Springer, 2013.
- Richard R. Nelson & Nathan Rosenberg, *National Innovation Systems*, 1st edition, Oxford University Press, 1993.
- Tomasz Kijek et al., "Regional Technological Convergence: Patterns and Determinants", Innovation and Regional Technological Convergence, Springer Briefs in Regional Science, Springer, 2023.

학술지(국내 및 동양)

- 권오진 외 4인, "매개중심성 분석을 통한 기술군간 융합 정도측정", 「한국콘텐츠학회 종합학술대회 논문집」, 제5권 제1호(2007).
- 금영정 외 3인, "Technological Convergence of IT and BT: Evidence from Patent Analysis", 「ETRI Journal」, 제34권 제3호(2012).
- 김미정·성백춘, "4차 산업혁명 도입 기업의 기술수용과 확산에 미치는 영향요인에 관한 연구", 「한국비즈니스 연구」, 제5권 제2호(2021).
- 류기호·전상규, "로지스틱 확산 모델과 특허 피인용 지수를 활용한 최대 기술 확산 시기 및 기술 확산의 한계 수명에 관한 연구", 「한국지능시스템학회」, 제34권 제3호(2024).
- 박창현, "기술적 성능향상 및 경제성을 고려한 기술 확산 추세에 대한 연구: 32nm, 22nm, 14nm 로직 반도체의 기술진화 사례", 「한국산학기술학회논문지」, 제18권 제2호(2017).
- 서용윤, "공동특허분류 분석을 활용한 안전 기술융합분야 탐색: Association Rule Mining(ARM) 접근법", 「한국안전학회지」, 제32권 제5호(2017).
- 성웅현, "오광우 교수 정년퇴임 기념호: 사례연구: 성장과 확산모형을 이용한 정보기술산업 시장의 중단기 수요예측", 「통계연구」, 제10권(2002).
- 윤민호, "DRAM 산업의 지식확산, 기술궤적과 산업 주도권의 이동 - 특허인용 네트워크 분석과 신선편터주의 기술경제학", 「지식재산연구」, 제6권 제3호(2011).
- 윤정연 외 2인, "IP포트폴리오의 특성분석을 위한 특허지표 개발에 대한 연구", 「정보관리연구」, 제43권 제2호(2012).
- 이철주 외4인, "특허정보와 기계학습을 활용한 산업기술수준 측정 방법 연구", 「지식재산연구」, 제17권 제2호(2022).
- 이현민 외 2인, "융합기술 개발전략 기획을 위한 특허 인용 네트워크 기반의 분석 방법론 - 스마트공장 ICT 기술을 중심으로", 「한국산학기술학회 논문지」, 제19권 제1호(2018).

학술지(서양)

- Clive-Steven Curran & Jens Leker, "Patent indicators for monitoring convergence-examples from NFF and ICT", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.78 No.2(2011).
- Fredrik Hacklin & Martin M. Wallin, "Convergence and interdisciplinarity in innovation management: a review, critique, and future directions", *The Service Industries Journal*, Vol.33 No.(7-8)(2013).
- Holger Ernst, "Patent information for strategic technology management", *World Patent Information*

n, Vol.25 No.3(2003).

Jaeyoung Choi et al., “A Study on Diffusion Pattern of Technology Convergence: Patent Analysis for Korea”, *Sustainability*, Vol.7 No.9(2015).

Kimberly Intonti et al., “The Second Quantum Revolution: Unexplored Facts and Latest News”, *Encyclopedia*, Vol.4 No.2(2024).

Matti Karvonen & Tuomo Kässi, “Patent citations as a tool for analysing the early stages of convergence”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.80 No.6(2013).

Nathan Rosenberg, “Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-1910”, *The Journal of Economic History*, Vol.23, No.4(1963).

Paul E. Bierly III & Alok Chakrabarti, “Dynamic knowledge strategies and industry fusion”, *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, Vol.3 No.1-2(2001).

Seongkyoon Jeong et al., “Technology convergence: What developmental stage are we in?”, *Scientometrics*, Vol.104(2015).

Travis J. Lybbert, & Nikolas J. Zolas, “Getting patents and economic data to speak to each other: An algorithmic links with probabilities approach for joint analyses of patenting and economic activity”, *Research Policy*, Vol.43 No.3(2014).

Vijay Mahajan et al., “New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research”, *Journal of Marketing*, Vol.54 No.1(1990).

Wagner A. Kamakura & Siva K. Balasubramanian, “Long-term view of the diffusion of durables: A study of the role of price and adoption influence processes via tests of nested models”, *International Journal of Research in Marketing*, Vol.5 No.1(1988).

인터넷 자료

한국과학기술기획평가원, “분야별 기술수준 평가”, 과학기술정책지원서비스, <<https://www.k2base.re.kr/techLevelEval/list.do>>, 검색일: 2024. 10. 15.

연구보고서

이근 외 2인, “산업-특허 연계 분석 방법론 수립에 관한 연구”, 특허청, 2021.

정민, “현안과 과제: 2016년 다보스 포럼의 주요 내용과 시사점 - 4차 산업혁명, 글로벌 성장 원동력으로”, 현대경제연구원, 2016.

Alfred Nordmann, “Converging Technologies - Shaping the Future of European Societies”, EU Publications, 2004.

기타자료

Dmitry Kucharavy et al., “Long-Run Forecasting of Emerging Technologies with Logistic Models and Growth of Knowledge”, Cranfield University, 2009.

James Katz & Mark A. Aakhus, “A theory of Apparageist”, Cambridge University, 2020.