

탐험과 활용관점 플랫폼 기술 포트폴리오 전략이 성과에 미치는 영향: 나노기술을 중심으로

문희성* · 신준석**

<목 차>

- I. 서론
- II. 선행 연구 및 가설 설정
- III. 연구 방법
- IV. 연구 결과
- V. 결론 및 토의

국문초록 : 새로운 가능성의 탐험(Exploration)과 기존 확실성의 활용(Exploitation)간 균형은 조직 학습뿐 아니라 전략, 혁신, 연구개발의 중요한 문제다.

기술의 융복합화 트렌드 속에 기업들은 지속적 경쟁 우위를 위해 기술 지식 자산을 가급적 다양하게 보유하려는 동시에 특정 분야에 깊은 기술 역량을 가지려 한다. 기업들은 기술 포트폴리오 전략 고민하지만, 기술 속성에 대한 고려는 제한적이다. 첨단 기술의 대표인 나노기술은 기존의 제품 및 사업 중심 기술과 달리 다양한 분야에 활용되는 일반목적기술 또는 플랫폼 기술 속성을 가지고 있다. 본 연구는 다국적 기업들이 플랫폼 기술로서 나노기술에 대해 탐험과 활용, 즉 다각화와 특정 기술 우위 관점의 포트폴리오 전략이 혁신 및 재무 성과에 어떤 영향을 미치는지를 패널 데이터 기반으로 다중 회귀 분석을 하였다.

본 연구의 실증 분석결과는 기존의 제품 기술들과 달리, 플랫폼 기술로서의 나노기술은 다각화와 특정 기술 우위가 증가할수록 혁신 성과와 재무 성과에 모두 긍정적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 나노기술의 포트폴리오 형태, 즉 다각화와 전문성 기반의 특정 기술 우위 중에, 다각화된 나노기술 포트폴리오가 특정 기술에 우위를 갖는 경우보다 혁신 성과와 재무 성과를 향상시키는 데 더 많은 기여를 하고 있다는 결과를 얻었다. 이는 기업들이 자원의 제약하에서 일반목적 기술의 경우 포트폴리오 전략에 어떻게 추구하는 것이 효율적인지를 시사한다.

주제어 : 탐험, 활용, 플랫폼 기술, 포트폴리오 전략, 나노기술

*재료연구소 국가나노기술정책센터 선임연구원, 주저자 (hsmoon3@gmail.com)

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

Effects of Platform-based Exploratory and Exploitative Technology Strategy on Firm's Performance: Nanotechnology case

Hee-Sung Moon · Juneseuk Shin

Abstract : The balance between exploration for new possibility and exploitation for existing certainty is an important issue in strategy, innovation, R&D as well as organization learning. Among the convergence trends of technologies, many firms seek to have the wider technological knowledge assets and the deeper technology capabilities for the sustainable competitive advantage at the same time. While firms plan technology portfolio strategies, they should consider the attribute of the technology. Nanotechnology, a cutting-edge technology, is a general purpose technology, unlike conventional product-oriented technologies. This empirical study was focused on how multi-national firms' exploration and exploitation strategies for nanotechnology affect their innovative and financial performance. It uses multiple regression analysis on panel data.

This result shows that the more diversified and specialized nanotechnology as platform technology is positively related to their innovative and financial performance, unlike the research results for product-oriented technologies. In addition, exploratory innovation is more effective to firm performance than exploitation. This implies how global firms can manage effectively platform technology strategies under the constraints of resources.

Key Word : Exploration, Exploitation, Platform technology, Portfolio, Nanotechnology

I. 서론

March의 탐험과 활용은 경영학 전 분야에 영향력이 큰 개념이다. 탐험은 탐색(search), 변이(variation), 위험 감수(risk taking), 실험(experimentation), 시도(play), 유연성(flexibility), 발견(discovery), 혁신(innovation) 등을 포함한다. 활용은 개선(refinement), 선택(choice), 생산(production), 효율(efficiency), 선발(selection), 시행(implementation), 실행(execution) 등을 포괄한다(March, 1991). 보통 탐험은 새로운 가능성을 추구하는 급진적 혁신, 활용은 기존의 확고한 영역에 집중하는 점진적 혁신을 의미한다.

기업의 목표는 지속 성장과 이익이다. 따라서 장기적으로 위험을 감수하고 폭넓게 새로운 분야를 개척하는 탐험과, 기존 강점을 더욱 강화해 생산성과 이익을 높이는 활용이 모두 필요하다. 연구개발 또한 탐험을 통한 기술지식의 다양화와 활용을 통한 경쟁자 대비 기술 지식 심화의 균형 전략을 통해 차별화된 기술을 창출할 수 있다(Porter, 1985; Henderson & Cockburn, 1994). 연구개발 조직의 기술간 이질성(heterogeneity)이 증가하면, 기술 고유 속성을 반영해야 하기 때문에 탐험-활용의 균형 포트폴리오 구축이 더욱 어려워진다. 다양한 기술과 시너지(synergy)가 있으면서, 고유 속성을 정의하기 어려운 나노기술(Nanotechnology)은 기업의 탐험-활용 전략 수립이 가장 어려운 기술 중 하나다. 나노기술은 나노소자, 나노소재, 나노바이오, 나노장비 등 다양한 세부 기술로 구성되어 있어 고유 속성 정의가 어렵다*(국가나노기술지도, 2018). 대부분의 기술은 특정 제품과 연계되어 있으나, 나노기술은 다양한 기술을 포괄하는 횡적 플랫폼(cross-sectional platform) 성격으로 여러 산업/제품에 적용되는 일반목적기술(GPT; General Purpose Technology)이기 때문이다(Teichert, 2012; Kreuchauff & Teichert, 2014). 일반목적기술은 인터넷, 전기, 인공지능 등과 같이 다양한 분야에 접목, 활용되어 경제, 사회 전반의 요소들에 변화를 가져오고, 수명과 같은 여러 제약을 완화, 해소하는 역할을 한다(Helpman, 1998).

기존 나노기술 연구는 서지학적(Bibliometric) 분석에 기반한 특정 국가의 기술혁신 사례, 동향 분석, 클러스터/시스템 구축 및 활성화 등 국가 또는 기술 수준 연구가 많다(Porter & Youtie, 2009; Shapira et al., 2011; Suominen et al., 2016; Islam & Ozcan, 2017). 기업 수준 연구는 상대적으로 적으며, 나노기술 연구개발과 기업성과간 인과관계 연구는 더욱 적다(Avenel et al., 2007). 탐험과 활용 관점의 나노기술 연구개발에 대한 연구는 Knol(2004)의 기업 사례 연구 정도이며, 기술 포트폴리오/전략 관점 연구는 아직

* 부록의 '나노기술의 세부기술 및 이를 활용한 기술/제품 사례' 참조

없다. 국내 연구는 국내 기업 대상 나노기술 연구개발 실태 연구(김동현 & 강명현, 2014), 설문조사 기반 나노기술역량 동태적 분석(이종우 & 김병근, 2013), 나노기술 사업화(Lee et al., 2013) 등이 있으나, 탐험과 활용 관점 전략 연구는 없다. 세계 4위의 국내 나노기술 위상 (과학기술부, 2018) 대비 연구가 적다.

이러한 맥락에서 본 논문은 다음과 같은 차별성이 있다. 첫째, 나노기술의 일반목적기술로서의 특성과 세부기술의 다양성을 고려해, 탐험과 활용 중 어떤 전략이 기업의 성과 창출에 효과적인지를 규명하고자 한다. 둘째, 이는 탐험과 활용의 기술전략 관점 최초의 나노기술 연구로, 기술 내 세부기술 다양성을 반영하고 플랫폼/일반목적기술 성격의 기술을 대상으로 한다는 측면에서 의미가 있다. 셋째, 본 연구는 나노기술이 부상(emerging)한 2000년대 이후의 특허를 분석 데이터로 활용했다. 본 연구에서 사용된 데이터의 장점은 두 가지다. 우선 특허 클래스(class)에서 일반적인 세 자리의 B82(나노기술)보다 하위 전개하여 세분된 여섯 자리 분류를 활용해 나노기술 내 세부기술 다양성을 반영할 수 있다. 둘째, 다국적 기업들의 나노기술 성과를 데이터의 국가별 왜곡(bias)를 최소화해 측정할 수 있다. 데이터에 가장 적합한 패널 데이터 다중회귀분석을 적용했다.

논문의 구성은 다음과 같다. 서론에서 연구의 배경, 필요성, 목적을 설명하고 연구문제를 제시한다. II장인 선행 연구 및 가설 설정에서는 탐험과 활용 전략, 일반목적기술 관련 선행연구를 검토한 후, 이를 바탕으로 연구 가설을 제시한다. 이후 III장에서 연구 모형, 방법, 분석 모형을 설명하고 IV장에서 결과를 정리, 해석한다. 마지막으로 V장에서 연구의 학술적/실무적 의의와 한계를 제시한다.

II. 선행 연구 및 가설 설정

2.1. 탐험(Exploration)과 활용(Exploitation) 전략

March는 조직 학습 관점에서 ‘탐험’과 ‘활용’ 개념을 제시했다(March, 1991). 탐험과 활용은 다양한 분야의 연구에 적용되어 왔으며, 실증연구 분야의 맥락(context)에 따라 지속적으로 재해석, 재정의됐다(Li, Vanhaverbeke & Schoenmakers, 2008; 김효정 & 박남규, 2010). 정리하면 탐험적 혁신(exploratory innovation)은 위험을 감수하며 새로운 분야의 지식과 가능성을 추구한다. 반면 활용적 혁신(exploitative innovation)은 기존 지식의 효율적 활용으로, 가치 증진을 위한 보유 자원에 집중한다. 기존에 알려진 지식의

활용이라고 개념화된다(March, 1991; Gupta et al., 2006). 세부적으로는 탐험은 새로운 지식의 창출 또는 흡수를 통한 지식의 범위(search scope) 확대, 다양화(diversity), 그리고 기존 지식의 확장(broadening)을 포함한다. 활용은 기존 지식의 탐색 심화(deep search), 신뢰성(reliability) 향상, 천착을 의미한다(Argyres, 1996; Daneels, 2002; Katila & Ahuja, 2002; Ahuja & Katila, 2004; He & Wong, 2004; Audia & Goncalo, 2007; Mom, Van Den Bosch & Volberda, 2007; Kim & Rhee, 2009; Uotila et al., 2009). 즉, 탐험은 기술의 다각화(diversification) 수준, 활용은 기존 기술에 대비 경쟁 우위를 확보할 수 있는 전문화 정도다. 탐험과 활용은 초기에는 상충(trade-off)관계로 간주되었다(March, 1991). 그러나 두 가지를 양립시키는 데 성공한, 양손잡이형(ambidexterity) 조직에 대한 사례연구가 축적되면서 탐험과 활용의 최적 균형(balance)이 중요해졌다(Tushman & O'Reilly, 1997; He & Wong, 2004). 실증연구들은 다양한 기술, 산업, 기업에 따라 탐험과 활용의 개념, 맥락, 적용에 차이가 발생하는 것을 밝혀냈으며, 연구개발에서는 기술 속성의 차이가 특히 중요했다(Li, Vanhaverbeke & Schoenmakers, 2008; 김효정 & 박남규, 2010). 본 연구는 고유한 기술 속성을 지닌 나노기술을 대상으로 기술 속성에 따른 탐험과 활용 전략의 성과에 대한 영향을 분석하는 연구이다.

2.2. 일반목적기술로서의 나노기술

나노기술이란 1~100 나노미터 이하(나노 스케일)의 과학, 공학, 기술 영역에서 연구개발 혁신을 통해 새로운 가치를 창출하는 기술이다. 리처드 파인만(Richard Feynman)은 '바닥에는 충분한 공간이 있다(There's plenty of room at the bottom)'라는 주제강연을 통해 나노머신(Nano-scale Machine)과 원자 수의 정밀 가공 시대의 개막을 역설했다(Feynman, 1960). 나노공학자 에릭 드렉슬러(Eric Drexler)는 1986년에 나노기술의 핵심 특징으로 1)나노 크기 장치의 기계를 이용한 제품 생산, 2)원자 수준 정밀성의 제품을 제시했다(Drexler, 1987). 그는 나노기술은 제품 자체와 생산공정의 혁명이며, 21세기에 세계적으로 가장 중요한 연구주제 중 하나라고 주장했다(Drexler, 2013). 나아가 나노기술이 6차 콘드라티에프(Kondratieff) 장기 파동의 핵심이라고 주장하는 연구자들도 있다(Malerba & Orsenigo, 1996; Tuncel, 2015).

나노기술에 대한 기술경영 관점의 주요 연구로, 이종우 & 김병근(2013)은 R&D 자원 투자 및 혁신 활동 등에 대한 국내 나노융합기업들의 실문을 통해 내부 역량과 외부 지

* 1959년 미국물리학회(American Physical Society)

식이 높은 기업이 성과에 유의미함을 보였다. Lee et al(2013)은 나노융합은 타 융합기술에 비해 매출 확보에 긍정적이며, 기업의 R&D 유형이 장기적 기술축적과 원천기술 개발을 위한 탐험 중심(Explorative Focus)일 때가 사업화 성과에 더 긍정적임을 보였다. 김동현 & 강명현(2014)은 2012년 국내 나노융합기업들의 내부 자원에 대한 실태 조사 결과를 기반으로 연구인력 비중이 크고 집중화될수록 기술혁신적이고, 중견기업보다는 대기업과 소기업이 더 기술혁신적임을 제시하였다.

나노기술은 부상기술(emerging technology)이자, 일반목적기술로 주목받고 있다. 전술한 바와 같이 일반목적기술은 다양한 분야에 접목, 활용되어 경제, 사회 전반의 요소들에 변화를 가져오고, 수명과 같은 여러 제약을 완화, 해소하는 기술이다(Bresnahan & Trajtenberg, 1995; Jovanovic & Rousseau, 2005). 일반목적 기술의 세 가지 특징은 1) 일반성, 2) 역동성, 3) 적용 분야에서의 혁신적 보완성이다(Bresnahan & Trajtenberg, 1995). 기존 연구는 거시경제적 관점에서 일반목적기술의 기술혁신과 경제성장에 대한 기여를 주로 분석했다(Bresnahan & Trajtenberg, 1995; Helpman, 1998). 일반목적 기술의 경제적 파급 효과 관련 주요 연구로는 전기(Moser & Nicholas, 2004; Goldfarb, 2005), 증기기관(Rosenberg & Trajtenberg, 2001), 인터넷(Jovanovic & Rousseau, 2005) 등이 있다. 다양한 산업에서의 광범위한 사용과 수요의 가속적 성장이 공통 특성이다(Lipsey et al., 1998; David & Wright, 1999; Bresnahan, 2010). 나노기술은 산업 문제의 횡단적 해결책으로, 다른 유용한(enabling) 기술(바이오 기술, 계산 과학, 물리 과학, 통신 기술, 인지 과학 등)과 융합하는 고유 특성을 가진다 (Shea, 2005; Youtie et al., 2008; Mangematin, 2012; Drexler, 2013). 광범위한 사용, 수요 촉진, 이를 통한 경제사회적 변화라는 측면에서 일반목적기술에 해당한다.

따라서 나노기술은 신산업 창출, 노동 생산성 향상과 같은 경제적 효과뿐 아니라 인간 수명 연장과 같은 사회적 효과를 광범위하게 창출할 수 있는 잠재력을 가진다 (National Nanotechnology Initiatives, 2018). 주요 특징은 1) 다양한 분야에 적용 가능한 파급성(pervasiveness), 2) 복잡한 제품의 크기/비용 감소 및 가능한 성능 향상 범위(scope) 확대, 3) 나노 중심 가치 사슬(Value chain) 재편을 통한 적용 분야 혁신 촉진 등이다(Shea et al., 2011; Kreuchauff & Teichert, 2014). 일반목적기술인 나노기술과 특정기술에 대한 서지학적 비교연구 결과, 나노기술은 쉽게 인지할 수 있는 기술은 아니지만 위와 같은 특징을 통해 성장동력으로서 충분한 잠재력을 가지는 것으로 평가되고 있다(Kreuchauff & Teichert, 2014). 본 연구는 이와 같은 나노기술의 경제적 잠재력을 기존의 국가 수준이 아닌 기업 수준에서 혁신/재무성과를 통해 실증하는 연구이며, 세부 나노기술의 파급성과 기여를 정량화했다는 측면에서 의미가 있다.

2.3. 가설 설정

탐험이 일반적으로 신기술로 신시장을 창출하는 고위험-고수익 전략이라면, 활용은 기존 시장에서의 제품의 저가/차별화를 통해 안정적인 수익을 창출하는 저위험 전략이다. 탐험과 활용은 조직 학습이 이론적 기반이므로 연구개발에서의 탐험은 주로 기술지식 범위 확대, 활용은 기술지식 심화로 정의한다(Argyres, 1996). Katila & Ahuja (2002)는 탐험은 새로운 지식을 얻기 위해 광범위한 영역에서의 찾는(search scope)것으로, 활용은 특정 지식을 얻기 위해 기존 지식의 축적(Search depth)로 관점에서 조작적 정의를 하였다. Benner & Tushman(2004)은 탐험은 조직의 혁신활동의 확장(distant search)을, 활용은 기존 지식의 앵커링을 통한 강화(local search)로서 개념화했다. 지식탐색과 범위 확대는 초기에는 제품혁신과 양의 관계를 가지나, 일정 수준 이상에서는 혁신을 통한 수익 창출보다 탐색비용이 많아지면서 음의 관계로 전환된다. 탐험과 제품혁신간 역 U자형(Inverted-U shape) 관계를 갖는다(Katila & Ahuja, 2002). 이후의 실증연구들도 유사한 현상을 확인했다(Huang & Chen, 2010; Quintana-García & Benavides-Velasco, 2008). 기술지식의 심화는 경쟁우위의 핵심요소며, 제품혁신 및 재무성과와 양의 관계를 가진다(Prahalad & Hamel, 1994). 그러나 과도한 심화는 성공의 함정(success trap), 기술적 근시안(myopia) 등의 부정적 효과를 증가시킨다. 결과적으로 활용과 혁신 또한 역 U자형(Inverted-U shape) 관계를 보인다(Levinthal & March, 1993).

기술의 융복합화가 가속화되면서 기업은 지속적 경쟁우위 확보를 위해 기술지식 자산의 다양화와 심화를 동시에 추진한다. Knol(2004)은 DSM 산하 벤처&사업개발 조직, Mo6 등 2개 나노기업 사례를 통해 조직, 사업, 기술 측면에서의 탐험과 활용 전략의 균형이 혁신성장에 기여함을 정성 분석하였다. He & Wong(2004)은 싱가포르와 말레이시아 제조기업 206개 기업을 대상으로 차세대 제품 R&D, 신시장 개척, 신기술 개발 등을 지향하는 탐험적 혁신전략과 기존 제품의 개선 등을 지향하는 활용적 혁신전략을 동시에 균형있게 사용하여 기술혁신하는 것이 매출액 성장률에 긍정적임을 실증하였다. Avenel et al(2007)은 나노기업을 대상으로, 기업의 크기와 나노기술지식 기반의 다각화와 혼성화에 따른 융합정도를 연구했고, 기업의 기술적 나노지식기반(nano-knowledge base)의 크기가 커짐에 따라 다양성(Diversity)이 진화함을 보였다. Quintana-García & Benavides-Velasco(2008)은 미국 바이오기업을

대상으로 기술 다각화가 탐험적 혁신 역량과 활용적 혁신 역량에 미치는 영향을 각각 피인용이 없는 연간 특허수와 피인용 특허수로 실증하였다. Utila et al(2009)는 제조업을 대상으로 탐험과 활용이 조직성과에 미치는 영향은 세부 산업 특수성 고려 없이 비선형적(Curve-linear relationship)임을 보였다. 기술 포트폴리오 구성과 전략이 중요한 문제가 되지만, 개별 기술의 속성을 이 과정에 반영하는 기업은 적다. 기존 실증연구들은 대부분 기술 특성을 고려하지 않고 탐험-활용과 혁신 성과간 인과관계를 분석했다. 나노기술의 일반목적기술 특성과 과급성은 탐험 기반 혁신 창출에 적합하며, 성능 향상 및 가치 사슬 재편 특성은 활용 기반 혁신에 적합하다. 따라서 아래와 같은 가설을 수립할 수 있다.

가설 1a. 기업이 나노기술을 다양하게 가질수록 혁신성과에 긍정적이다.
가설 1b. 기업이 특정 나노기술에 깊이있는 우위를 가질수록 혁신성과에 긍정적이다.

March(1991)는 탐험과 활용의 균형이 기업 성장의 핵심이라고 주장했다. 이후 많은 경영학자들이 탐험과 활용의 균형을 강조했다(Raisch et al., 2009). 그러나 자원 제약으로 인해 탐험과 활용은 양립이 어렵다(O'Reilly & Tushman, 2004). 탐험에 집중하면 높은 불확실성으로 인해 실패와 비용이 증가한다. 반면 활용에 집중하면 단기 성과는 개선되지만, 기술 및 환경 변화에 대한 준비와 대응 부족으로 도태될 확률이 높다.

연구개발 실패와 비용 증가가 부담스러운 대부분의 기업은 활용의 비중이 높고, 탐험은 새로운 성장동력을 창출하기에는 부족한 수준에서 유지된다. 그러나 탐험과 활용이 양립 가능하며, 최적 균형점이 존재한다는 연구도 있다(Katila & Ahuja, 2002; Laursen & Slater, 2006). 기업은 탐험과 활용 전략의 우열 판단이 쉽지 않으며, 보통 무게중심이 어느 한 전략으로 치우치게 된다. 각 전략의 성과에 대한 기여도가 명확하지 않으므로, 기업은 자사 전략 균형의 개선 필요성을 판단하기 어렵다. 따라서 탐험과 활용의 성과에 대한 상대적 기여도를 측정할 필요가 있다. 나노기술은 플랫폼 기술이므로 탐험을 통한 기술범위의 확장은 다양한 기술 분야와의 융합 가능성을 높인다(Avenel et al., 2007). 즉, 사업 다각화 수준이 높은 다국적 대기업일수록 탐험 전략 확대를 통해 나노기술과 다양한 제품기술간 시너지를 증가시킬 수 있을 것이다. 활용적 혁신을 통한 특정 나노기술 심화는 확실하지만, 상대적으로 좁은 범위의 제품 혁신으로 이어질 것이다. 이를 종합하면, 아래와 같은 가설을 수립할 수 있다.

가설 2. 나노기술의 다양한 보유는 특정 나노기술 분야에 우위를 갖는 것보다 혁신성과에 더 긍정적이다.

탐험과 활용을 동시에 추구하는 전략은 매출액, 총자산 순이익률(ROA, Return on Assets), 토빈의 Q(Tobin's Q) 등 재무 성과에 긍정적 영향을 미친다. 그러나 전술한 바와 같이 각 전략의 비중 확대는 재무성과와 역 U자형 관계를 가진다(He & Wong, 2004; Lin et al., 2006; Uotila et al., 2009). 임계점을 넘은 과도한 특정 전략 추구는 한계이익(marginal benefits) 감소와 비용 증가로 인해 성과 감소로 이어진다(Leten et al., 2007; Huang & Chen, 2010).

그러나 나노기술은 플랫폼 기술 특성으로 인해 세부기술 보유 범위를 확대하면 다른 기술과의 융합을 통해 새로운 사업기회를 창출할 잠재성이 높다. 점차 나노기술은 전자, 바이오, 소재, 장비 등의 분야에서 융합을 통해 신제품, 나아가 융합 신사업을 창출해 오고 있다(문희성, 2016). 고부가가치 사업 창출을 통한 중장기 성장 견인 잠재력이 있는 것이다. 또한, 특정 나노기술에 대한 깊이있는 우위는 기술 리더십을 통한 경쟁 우위 창출과 매출 성장/높은 영업이익 유지 가능성을 높인다. 나노기술 탐험과 활용 모두 재무 성과에 긍정적인 영향이 있으며, 따라서 아래와 같은 가설을 수립할 수 있다.

가설 3a. 기업이 나노기술을 다양하게 가질수록 재무성과에 긍정적이다.

가설 3b. 기업이 특정 나노기술에 깊이있는 우위를 가질수록 재무성과에 긍정적이다.

기업의 목표는 가치 창출이며, 이는 혁신과 재무 성과를 포함한다. 전술한 바와 같이 탐험은 고위험-고성과, 활용은 저위험-저성과 전략이다. 그러나 나노기술은 플랫폼 기술 특성으로 인해 기술간 수렴, 융복합을 통해 수확 체감을 체증으로 전환할 수 있다(Roco and Bainbridge, 2002). 즉, 활용 대비 탐험 전략의 비중 증가를 통해 성과 창출 증분을 지속적으로 증가시킬 수 있다. 특정 기술 우위는 좁은 제품 영역에서의 비용 절감, 성능 개선과 같은 점진적 혁신으로 인해 제한된 가치 창출에 그칠 확률이 높다. 이를 종합하면, 아래와 같은 가설 수립이 가능하다.

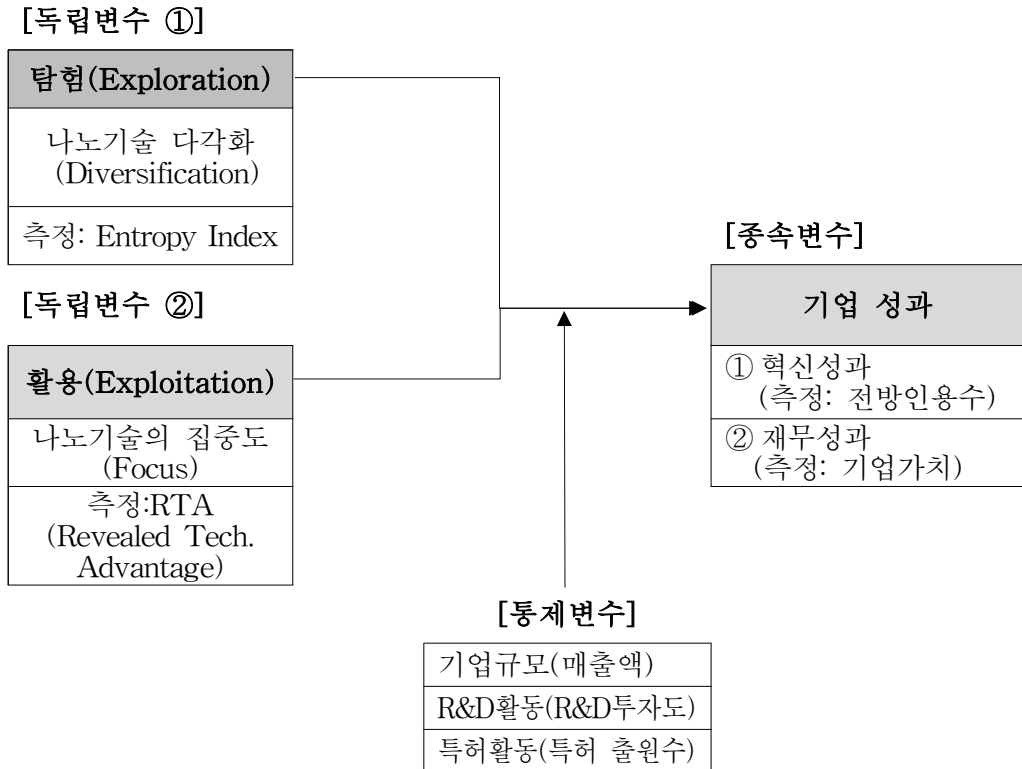
가설 4. 나노기술의 다양한 보유는 특정 기술 우위보다 재무성과에 더 긍정적이다.

Ⅲ. 연구 방법

3.1. 연구 프레임워크

본 연구는 다국적 기업을 대상으로 나노기술의 탐험/활용 전략이 기업의 혁신 및 재무성과에 미치는 영향을 실증한다. 나노기술의 특성인 1)일반목적기술 특성, 2)과급성, 3)제품 혁신 특성, 4)가치사슬 재편성은 이전에 기술한 바와 같이 가설에 반영했다. 각 전략의 성과에 대한 순효과를 분석하기 위해 기업규모, R&D 투자, 특허 활동이 성과에 미치는 영향을 통제했다. 연구 프레임워크는 아래 <그림 1>과 같다.

<그림 1> 연구 프레임워크(research framework)



3.2. 데이터

본 연구는 나노기술의 다각화와 특정 기술 우위를 가능한 세부 기술수준에서 측정하기 위해 다양한 기술 데이터 중 기술 분류가 체계적이고, 가장 구체적인 특허 데이터를 사용했다. 혁신성과는 기술의 질적 가치를 반영하기 위해 특허 인용수 데이터를 사용했으며, 나머지 통제변수 및 재무성과 지표는 톰슨(Thomson)사와 대상 기업 연차보고서 및 IR(investors relations) 자료를 활용했다.

3.2.1. 재무 데이터

본 연구는 나노기술 관련 산업, 학계, 연구소에서 10년 이상의 경력을 지닌 6인의 전문가들로부터 나노기술과 관련성이 높은 산업 분야를 추천받았다. 전문가들은 공통으로 테크(technology), 일반산업(industrials), 소재(materials), 헬스케어(healthcare), 화학(chemicals)의 5개 제조업 섹터를 추천했다. 다국적 기업 데이터를 유사한 기준으로 분류한 포춘(Fortune) 기업 데이터베이스를 활용해 관련 기업들의 목록을 구성했다. 이후 해당 기업들이 미국과 유럽 특허청에 보유하고 있는 특허를 조사해 나노기술 관련 클래스(class)의 특허를 1건 이상 보유한 51개 기업을 연구 대상으로 선정했다.

다국적 기업 재무 데이터는 가정 널리 사용되는 데이터베이스 중 하나인 톰슨 로이터(Thomson Reuter)의 톰슨원(Thomson One)을 사용했다. 금융위기 시점의 기업 성과에 대한 영향을 최소화하기 위해 이후인 2009~2016년간의 매출액, 영업이익, 자산, 종업원수, R&D 투자 데이터를 수집했다. 톰슨 DB의 데이터를 각 기업 홈페이지의 IR 자료 및 연차 보고서와 대조해 데이터의 일관성과 신뢰성을 높였다.

3.2.2. 특허 데이터

특허는 기술혁신과 기술역량을 파악할 수 있는 최선의 대리지표(proxy)다(Griliches, 1981). 특허는 장기간 누적된 시계열 데이터로, 연구개발의 정태적/동태적 특성 비교, 성과 분석이 가능하다(Griliches, 1991). 각국 특허청은 독자적 분류 체계를 가지고 있으나, 기본적으로는 국제 특허 분류(IPC, International Patent Class)에 기초를 두고 있다. 분류 체계는 상위로부터 섹션(Section)-클래스(Class)-서브클래스(Sub-class)-메인그룹(Main Group)-서브그룹(Sub-group)의 여섯 계층으로 구성된다. 체계적 기술 분류가 가능하고, 상세한 기술 정보와 발명자, 출원인 등 다양한 연구개발 정보를 포함하고 있으

며, 공공재적 성격을 가지기 때문에 연구성과, 나아가 기업이나 국가의 연구역량 측정지표로 다양한 분야에서 활용되어 왔다(Hall, Jaffe & Trajtenberg, 2005).

기업 특허 포트폴리오는 기능적 또는 개념적 기준 하에 수집된 특허 집합으로 정의할 수 있다(한국지식재산연구원, 2012). 이 포트폴리오는 개별 기업의 경쟁우위 확보를 위한 전략적 연구개발과 혁신의 산물이며, 따라서 기업의 기술전략, 성과, 경쟁 현황을 파악할 수 있다(Bloom & Van Reenen, 2002; Ernst, 2001; Pohlmann, 2016; Pohlmann & Opitz, 2013). 본 연구에서는 나노기술을 다양성있게 확대한 포트폴리오가 탐험형, 나노기술의 특정 세부기술에 집중한 포트폴리오가 활용형 전략의 측정지표다.

나노기술의 국제 특허 분류에서의 클래스는 B82(3-digit)며, 서브클래스-그룹-하위그룹은 <표 1>과 같다. 기존 연구들은 3-digit 또는 서브 클래스인 B82B, B82Y (4-digit) 수준에서 나노기술을 분류했다. 그러나 서브클래스는 나노기술의 다각화, 타 기술의 융복합을 구체적으로 파악하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 분류 최하위 클래스인 서브그룹 단위로 특허 데이터를 수집, 분류했다.

선정 기업 특허 자료는 클래리베이트 애널리틱스(Clarivate Analytics, 과거 Thomson Reuters Intellectual Property & Science business)의 더웬트(Derwent World Patent) 데이터베이스에서 수집했다. 미국 특허청 출원연도를 기준으로 2009~2016년의 7년간 6,474건의 특허를 수집했다. 검색 및 수집 과정에서 특허의 출원인이 선정 기업과 유사해 잘못 포함되거나, 선정 기업이라도 자회사 출원, 특허 전문 회사 귀속 등의 사유로 해당 기업 특허로 보기 어려운 경우들을 제외해 데이터 신뢰성을 높였다. 특허는 심사 과정에서 유관 기술을 모두 포함하므로 해당 기술의 클래스 하위분류 코드를 포함한다. 본 연구에서는 각 서브 그룹이 상호 배타적인 기술 역량을 나타낸다고 보고, 서브그룹의 동시출현(co-occurrence)에 의한 중복을 허용해 특허수를 계산했다 (Argyres, 1996).

<표 1> 나노기술의 특허분류(IPC)

Section	Class	Sub-class	Sub-group	내용	비고 (세부기술)
B				처리조작;운수	
	B82			나노기술	
		B82B		개별단위로서의 분자, 원자들의 제한된 집합 또는 개별 원자, 분자의 조작에 의해 형성된 나노구조; 그의 취급 또는 제조	
			B82B1/00	개별 원자 또는 분자의 조작 또는 개별 단위로서 원자 또는 분자의 제한된 집합에 의해 형성된 나노구조	나노구조
			B82B3/00	개별 원자 또는 분자의 조작 또는 개별 단위로서 원자 또는 분자의 제한된 집합에 의한 나노 구조의 제조 또는 처리	나노공정
		B82Y		나노 구조의 응용 또는 특정한 사용; 나노 구조의 분석 또는 측정; 나노 구조의 처리 또는 제조	
			B82Y5/00	나노 바이오기술 또는 나노 약물, 예. 단백질 엔지니어링 또는 약물 전달	나노바이오
			B82Y10/00	정보 처리, 저장 또는 전달을 위한 나노 기술, 예. 양자 컴퓨팅 또는 단일 전자 로직	나노전자
			B82Y15/00	상호작용, 감지 또는 작동을 위한 나노 기술, 예. 단백질 분석 또는 분자 모터에서 표지로서의 양자점	나노바이오
			B82Y20/00	나노 광학, 예. 양자 광학 또는 광양자 결정체	나노광학
			B82Y25/00	나노-마그네티즘, 예. 자기 임피던스, 이방성 자기 저항, 거대 자기 저항 또는 터널링 자기 저항	나노자기
			B82Y30/00	표면 과학 또는 물질을 위한 나노 기술, 예. 나노 합성물	나노전자
			B82Y35/00	나노 구조의 분석 또는 측정을 위한 방법 또는 장치	나노장비
			B82Y40/00	나노 구조의 처리 또는 제조	나노공정
			B82Y99/00	이 서브클래스의 다른 그룹으로 분류되지 않는 주제 사항	기타

3.3. 변수

3.3.1. 독립변수

위의 나노기술 특허분류에 기반해 기업이 보유한 나노기술특허의 다각화 수준으로 탐험 나노기술 포트폴리오 측정했다. 다각화 지표로는 허핀달 지수(Herfindahl-Hirschman Index, HHI)와 엔트로피(entropy) 지수가 가장 널리 사용된다. 허핀달 지수는 해당 특허의 특정 분야 집중을 나타내는 지표로, 1에서 허핀달 지수를 빼면 다각화 수준을 측정할 수 있다. 엔트로피 지수는 특허 포트폴리오의 분류코드(클래스)별 특허 수를 계산해, 특정 기업 포트폴리오의 다각화 수준을 측정하는 지표다(한국지식재산연구원, 2012). 본 연구는 나노기술 서브그룹 수준에서 다각화를 측정하므로 분류코드별 특허 수를 계산하는 엔트로피 지수가 더 적합하다. 기존 연구들도 기업 다각화 전략을 구체화하기 위한 다각화 척도로 엔트로피 지수를 활용했다(Granstrand & Oskarsson, 1994, Miller et al. 2006; Huang & Chen, 2010; Kim & Lee, 2016). 엔트로피 지수는 해당 특허 포트폴리오가 특정 분류(클래스, 서브그룹 등)에만 속하면 0이며, 여러 분류에 속할수록 1에 가까워진다. 수식은 다음과 같다. P_i 는 특정 IPC 클래스(i)에 속한 특허 수를 분석 대상 클래스(N 개) 전체 특허수로 나눈 값이다. 이 값을 자연로그(log)로 정규화한 값을 반영한 합이 엔트로피 지수다. 만약 한 기업이 특정 클래스 1개만 보유하고 있다면, 가중치 $\ln(1/P_i)$ 는 0이 된다. 이 경우 엔트로피 지수는 0이 되며, 반대로 모든 클래스의 특허를 보유하면 1이 된다.

$$\text{Entropy Index} = \sum_{i=1}^N P_i \ln \frac{1}{P_i} \quad (0 \leq \text{Entropy Index} \leq 1)$$

$$P_i = \frac{N[\text{no. of patents} \in IPC_i]}{\sum_{i=1}^N N[\text{no. of patents} \in IPC_i]}$$

나노기술 활용 포트폴리오는 기업이 보유한 나노기술 특허의 해당 서브 그룹에서의 경쟁력으로 측정했다. 서브그룹별 출원수나 등록수를 비교하는 방법이 가장 간단하나, 섹터간 차이나 클래스 내 상대적 순위 비교가 어렵다. 따라서 보다 고도화된 측정 지표인

현시 기술 우위 지수(Revealed Technological Advantage, RTA)를 사용했다. 국가별 산업 경쟁력 등을 측정하기 위해 쓰는 현시 비교 우위 지수(Revealed Comparative Advantage, RCA)를 기술 우위 비교에 적용한 것으로, 기존 연구에서 지표의 신뢰성이 어느 정도 검증되었다(Balassa, 1965; Quintana-García & Benavides-Velasco, 2008; Kim & Lee, 2016). 현시 기술 우위 지수의 식은 아래와 같다. 기업 특허 포트폴리오에서 기업의 RTA는 특정 시점(t)에 기업(j)이 특정 IPC 클래스(i)에 출원한 특허 수($Patents_{ijt}$)를 동일 IPC(i)의 해당 기업 전체 특허 출원 수로 나눈 값을 분자로 하고, 해당 기업이 출원한 나노기술 관련 IPC 총특허 수를 연구 대상 기업들 전체의 총 특허 출원 수로 나눈 값을 분모로 한다. 분자/분모의 비(ratio)가 기업의 해당 IPC 클래스의 현시 기술 우위 지수를 의미한다. RTA지수가 통상적으로 1 이상이면 해당 분야에서 기술 비교 우위에 있음으로 판단한다. IPC 클래스 기술분야에 기업이 연구개발을 통한 특허 출원을 활발하게 할수록 지수가 증가한다. 기업 보유 특허 수와 무관하게 기업별로 특정 기술분야에 대한 연구개발/특허 출원 활동의 비중을 측정할 수 있으며, 기업간 상호 비교도 가능하다.

$$RTA_{ijt} = \frac{(Patents_{ijt} / \sum_j^{tot} Patents_{ijt})}{(\sum_i^{tot} Patents_{ijt} / \sum_i^{tot} \sum_j^{tot} Patents_{ijt})}$$

3.3.2. 종속변수

종속 변수는 두 가지다. 첫째는 기업의 혁신 성과다. 기업은 연구개발 투자와 실행을 통해 논문, 특허 등 성과를 창출한다. 특허 수는 1)기업의 특허전략에 영향을 받으며, 2)특허의 질적 가치를 반영하지 못하는 단점이 있다(Jaffe & Trajtenberg, 2002). 후자의 단점을 보완한 지표가 특허의 전방인용수(Forward Citation, 피인용수)다. 본 연구에서는 해당 기업이 보유한 나노기술 특허의 전방인용수를 종속변수로 활용한다. 최근 출원 특허일수록 인용될 기간이 짧아 피인용수가 적을 가능성이 높은, 피인용의 절단(truncation) 등의 문제가 있지만 가장 널리 사용되고 있으며, 기존 연구들을 통해 질적 가치 지표로서의 신뢰성이 어느 정도 검증되었다(Nerkar, 2003).

두 번째는 기업 재무 성과다. 기업의 대표적 재무 지표인 매출, 영업이익은 탐험-활용 전략 시행과 재무 성과 창출간의 시차(time lag)가 문제다. 따라서 탐험-활용 전략에 따른

성과의 시차를 최소화해 측정하기 위해 기업 가치(enterprise value)를 사용했다. 기업 가치는 시가총액에서 보유 현금을 빼고 부채(debt)를 더한 값으로, 자본시장에서 기업의 포괄적인 가치를 정량화한다. 혁신적 나노기술 개발은 매출, 영업이익으로 실현되기까지 짧게는 수 년, 길게는 십수 년의 시간이 소요된다. 그러나 기술혁신이 성장 잠재력으로 시장에 인지되면, 이는 즉시 기업 가치(상장기업 시가 총액)에 반영된다. 연구 대상인 다국적 기업들이 모두 상장기업이므로, 기업 가치가 가장 적합한 재무성과 측정 지표이다.

3.3.3. 통제변수

탐험과 활용 전략의 성과에의 순효과(net effect)를 측정하기 위해 성과에 영향을 미치는 주요 변수를 파악, 통제했다. 기존 연구에서 공통적으로 사용한 주요 통제변수는 기업 규모, 연구개발 투자, 특허 수이다. 주로 사용하는 지표는 매출액, 특허 출원수, 매출액 대비 연구개발 투자(R&D intensity)다. 기업 규모가 크면 가용 자원 자유도가 높고, 혁신과 재무 성과가 창출에 유리하다(Hitt et al., 1991). 특허 수는 인용수 중 특허 수 증가로 인한 단순 증가를 통제하기 위해 사용한다. 본 연구에서는 해당 기업이 출원한 모든 기술 영역의 전체 특허 수를 사용하여 특허 전략 차이를 통제한다. 연구개발 투자는 기업 규모, 산업 구조, 기술 특성 등에 따라 왜곡(bias)이 발생하므로 이를 완화할 수 있는 매출 대비 R&D 투자가 적합하다(Katila & Ahuja, 2002). 연도별 효과 통제를 위해 2009~2016년 각 연도의 더미 변수를 추가했으며, 섹터별 차이로 인한 성과 차이를 통제하기 위해 5개 제조업 섹터(technology, industrials, materials, healthcare, chemicals) 산업 더미 변수를 사용했다.

3.4. 패널 데이터 회귀분석 모형

본 연구는 51개 기업에 대한 2009~2016년간 균형 패널 데이터(balanced panel data)를 사용해 탐험-활용 전략의 성과에 대한 인과관계를 검증하므로 패널 데이터 회귀분석 모형이 가장 적합하다. 변수는 1)시간에 따라 변화, 2)기업의 그룹(group)에 따라 변화, 3)시간-그룹에 따라 모두 변화하는 세 가지 유형으로 분류할 수 있다. 이 중에 시간/기업 그룹의 고정효과를 모두 고려한 복합 시간-그룹 고정효과 모형(combined time and entity fixed effects regression model)을 사용했다. 이 모형은 시간에 따라, 또는 그룹에 따라 상수인 관찰할 수 없는 변수들을 모형에 포함하지 못해 발생하는 왜곡을 제거할 수 있는

장점이 있다. 식은 아래와 같다.

$$y_{it} = \alpha + \beta_1 x_{it} + \beta_2 z_i + \beta_3 w_t + \epsilon_{it} \dots\dots\dots(\text{식 1})$$

(x_{it} :시간, 그룹 독립변수; z_i : 그룹 독립변수; w_t :시간 독립변수)

그러나 이 모형은 독립변수간 다중공선성, 시간/그룹 더미 수로 인한 자유도 감소의 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 위의 약점으로 인한 왜곡을 최소화하기 위해 오차항에 대한 변수 개별 효과, 시간효과, 교란항을 모두 고려하는 이원 에러 컴포넌트 모형(Two-way error Component Model)을 사용했다.

$$\epsilon_{it}(\text{오차항}) = u_i(\text{관찰되지 않는 그룹 특성}) + \mu_t(\text{관찰되지 않는 시간 특성}) + e_{it} \dots\dots(\text{식 2})$$

(식 1)에 오차항 수식(식 2)을 대입하면 (식 3)을 얻을 수 있다.

$$y_{it} = \alpha + \beta_1 x_{it} + \beta_2 z_i + \beta_3 w_t + u_i + \mu_t + e_{it} \dots\dots\dots(\text{식 3})$$

오차항의 형태에 적합한 모형 결정을 위해 하우스만 검정(Hausman test)을 사용했다. 본 연구 패널 데이터상의 독립변수의 외생성(Exogeneity) 검정 결과 두 모형 모두 귀무가설을 기각할 수 있었다. 따라서 고정효과 모형을 채택했다.

관찰되지 않는 특성의 오차항(u_i , μ_t)을 모수로 간주해, u_i 는 그룹(Industry) 더미(Dummy)변수, μ_t 는 시간(year) 더미 변수를 이용해 통제했다. 그룹에 따라 변하는 독립변수(z_i)는 그룹 더미변수와 선형관계가 존재하여 β_2 추정계수는 없다. 또한, 시간에 따라 변하는 독립변수(w_t)는 시간 더미변수와 선형관계가 존재하여 β_3 추정계수는 없다.

IV. 연구 결과

4.1. 기술통계(Descriptive Statistics)

변수들의 기술통계량은 <표 2>와 같다. 51개 다국적 기업의 8년간 데이터로 관측치 수는 408개다. 변수 데이터마다 왜도(skewness)와 첨도(kurtosis)를 계산해 정규분포 여부를 확인했다. 각각 2와 4 미만 기준을 벗어나는 경우, 자연로그를 취해 모든 변수값들이 정규분포를 따르게 했다. 변수간 상관관계 파악을 위해 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)를 계산했다.

〈표 2〉 기술통계량

변수	평균	표준편차	최소값	최대값	1	2	3	4	5	6	7
Ln(피인용수)	2.088	2.177	0	7.842	1.0000						
Ln(기업가치)	4.052	0.903	2.136	6.296	0.0044	1.0000					
다양성(Entropy)	0.471	0.666	0	3.290	0.6500**	0.0910 [†]	1.0000				
집중도(RTA)	1.231	1.004	0	4.252	0.1911**	0.0658	0.0643	1.0000			
매출액(\$Bil)	53.812	33.989	0	233.715	0.2685**	0.3621**	0.4627**	0.0421	1.0000		
Ln(총특허수)	5.582	1.777	0	9.283	0.2337**	0.0419	0.4318**	0.1148*	0.3696**	1.0000	
R&D Intensity	0.072	0.059	0	0.246	-0.0361	0.5234**	-0.0645	0.0981*	-0.1924**	0.0900 [†]	1.0000

Note) N=408, $p^{\dagger} < 0.1$, $p^* < 0.05$, $p^{**} < 0.01$

4.2. 결과

4.2.1. 혁신성과

혁신 성과에 대해 탐험-활용 전략을 고려하지 않은 경우(Model I), 탐험 전략만 포함한 경우(Model II), 활용 전략만 포함한 경우(Model III), 탐험-활용 전략을 모두 고려한 경우(Model IV)의 네 모형의 분석 결과는 아래 <표 3>과 같다. 분산팽창지수(Variance Inflation Factor)는 모두 10 미만으로 다중공선성에 의한 왜곡은 크지 않다. Model II~IV에서 다국적 기업들의 다양한 나노기술 보유(탐험)와 특정 나노기술 심화(활용) 전략이 모두 혁신성과에 유의한 양의 영향을 가지는 것을 확인할 수 있다. 상대적으로는 나노기술 탐험전략이 활용전략 대비 혁신성과에 미치는 영향이 크다. 통제변수인 매출액, 총 특허수, R&D 집중도는 모두 유의하지 않다. 질적 기술성과는 양적 투입 및 성과 증가와 인과관계가 없으며, 질적 자원 투입과 효과적 활용이 보다 중요할 것이라고 추정된다.

<표 3> 혁신성과 회귀분석 결과

	Model I	Model II	Model III	Model IV
다양성(Entropy Index)		1.219** (0.237)		1.162** (0.239)
집중도(RTA Index)			0.169* (0.073)	0.120 ⁺ (0.071)
매출액(\$Bil)	-0.006 (0.005)	0.005 (0.005)	0.006 (0.005)	0.005 (0.005)
Ln(총특허수)	0.018 (0.093)	0.003 (0.090)	0.021 (0.093)	0.006 (0.090)
R&D Intensity	-0.161 (6.341)	-2.473 (6.137)	-0.471 (0.941)	-2.586 (6.121)
Year_dummy	Included	→	→	→
Sector_dummy	Included	→	→	→
R-sq.(overall)	0.3178	0.4986	0.3346	0.5046

$p^+ < 0.1$, $p^* < 0.05$, $p^{**} < 0.01$

※()는 표준오차(Std. Err.)

4.2.2. 재무성과

재무성과에 혁신성과와 같은 기준으로 모델 I~IV를 분석한 결과는 <표 4>와 같다. 다양한 나노기술 보유 전략(탐험)은 재무성과에 유의한 양의 영향을 가지나, 특정 기술 심화(활용)전략은 유의하지 않다. 주목할 변수는 R&D 집중도다. 혁신성과에 미치는 영향은 유의하지 않았으나, 재무성과에 미치는 영향은 유의하다. 다국적 기업의 나노기술 연구개발이 사업화-재무성과 창출을 지향하는 방향으로 이루어지며, 그 전략적 중점이 특정 기술 심화보다 기술범위 확장에 놓여 있다는 해석이 가능하다. 총 특허수는 재무성과에 유의한 영향이 없으며, 매출액과 R&D 집중도는 유의하다. 매출규모가 크고 R&D 집중도가 높을수록 R&D 투입은 증가한다. 즉, R&D 투입 증가 → 나노기술 탐험 투입 자원 증가 → 재무성과 증가의 인과관계가 성립한다고 추정할 수 있다.

<표 4> 재무성과 회귀분석 결과

	Model I	Model II	Model III	Model IV
다양성(Entropy Index)		0.142* (0.237)		0.137* (0.045)
집중도(RTA Index)			0.017 (0.014)	0.011 (0.014)
매출액(\$Bil)	0.007** (0.001)	0.007** (0.001)	0.007** (0.001)	0.007** (0.001)
Ln(총특허수)	-0.006 (0.018)	-0.008 (0.018)	-0.006 (0.018)	-0.008 (0.018)
R&D Intensity	2.756* (1.188)	2.492* (1.175)	2.672* (1.189)	2.445* (1.177)
Year_dummy	Included	→	→	→
Sector_dummy	Included	→	→	→
R-sq.(Overall)	0.4503	0.3526	0.4445	0.3522

p†<0.1, p*<0.05, p**<0.01; ()는 표준오차(Std. Err.)

위 분석 결과에 기반해 본 연구의 연구가설 검증한 결과는 <표 5>와 같다. 나노기술은 탐험 전략이 혁신/재무성과 모두에 유의한 영향을 미치나, 활용 전략은 혁신성과에만 약한 영향을 미친다.

<표 5> 가설 실증 결과(요약)

No.	가설	지지/기각 여부
H1a	기업이 나노기술을 다양하게 가질수록 혁신성과에 긍정적이다.	지지(Supported)
H1b	기업이 특정 나노기술에 깊이있는 우위를 가질수록 혁신성과에 긍정적이다.	약하게 지지 (Weakly supported)
H2	나노기술의 다양한 보유는 특정 나노기술 분야에 우위를 갖는 것보다 혁신 성과에 더 긍정적이다.	지지(Supported)
H3a	기업이 나노기술을 다양하게 가질수록 재무성과에 긍정적이다.	지지(Supported)
H3b	기업이 특정 나노기술에 깊이있는 우위를 가질수록 재무성과에 긍정적이다.	기각(Rejected)
H4	나노기술의 다양한 보유는 특정 기술 우위보다 재무 성과에 더 긍정적이다.	지지(Supported)

V. 결론 및 토의

본 연구는 다국적 기업의 나노기술 탐험(다각화)과 활용(특정 기술 우위) 포트폴리오가 혁신과 재무성과에 미치는 영향을 패널 데이터를 통해 검증했다. 기술 특성을 반영하지 않은 기존 연구(Katila & Ahuja, 2002; He & Wong, 2004; Uotila et al., 2009)와 달리 일반목적기술 특성을 가진 나노기술은 세부기술 다각화를 통한 탐험형 기술 포트폴리오를 구축할수록 혁신과 재무성과가 증가했다. 이는 글로벌 대기업들의 나노기술 관련 신기술 및 신사업 보유 소식은 자본시장의 투자자들에게 기업의 잠재가치를 높게 평가하는 요인이 되어 시가 총액에 영향을 주기 때문으로 해석할 수 있다. 한편으로는 위험기피형 활용전략이 재무성과에 긍정적이라는 기존 결과가 본 연구인 나노기술에서는 반대로 나타났다. 이는 시장에서 볼 때, 기업들이 보유한 기존 나노기술 관련 제품 및 사업들이 이미 투자자들에게 기대치가 높은 상황이라 신규성/첨단성 측면에서 획기적이지 못하면 매력도가 중립적인 평가를 받기 때문으로 추정할 수 있다.

이론적으로는 두 가지 함의가 있다. 첫째, 일반목적기술(플랫폼기술)과 같은 기술 특성을 반영하면 탐험-활용전략의 혁신과 재무 성과에 대한 영향이 변화하는 것을 실증했다. 즉, 기술 특성을 고려하지 않는 경우 탐험-활용전략의 성과에 대한 영향력 평가에 왜곡이 발생할 수 있다. 둘째, 2000년대 이후의 나노기술 특허 데이터를 최하위 분류인 서브 그룹 단위에서 분석해 세부기술이 상이한 분야의 기술들과 융복합해 발생하는 시너지(synergy) 효과를 규명했다. 기술 다각화를 상위 분류단계에서 분석하면 그 효과가 제한적인 경우가 있는데, 이는 세부기술의 서로 다른 융복합 효과를 간과하기 때문이다. 기술 융복합에 의한 시너지와 성과간 인과관계를 어느 정도 입증했다는데 두 번째 의미가 있다.

실무적 시사점은 다음과 같다. 첫째, 기업들이 자원 제약하에서 추구해야 하는 나노기술 포트폴리오 전략의 방향성을 제시했다. 기업 나노기술 포트폴리오의 다각화(탐험)가 특정 기술 우위(활용)보다 혁신 및 재무 성과에 영향이 크다. 따라서 탐험 전략에 무게중심을 두고, 사업화 가능성이 높은 세부기술 분야로 적시에 다각화하는 전략이 효과적이고, 또 효율적이다. 둘째, 특허의 현시 기술 비교 우위(RTA) 분석을 통해 기업이 보유한 세부적인 나노기술의 경쟁 강도를 파악할 수 있었다. 특허의 하위그룹단위 분석 전략은 첨단 기술 영역의 폭과 깊이가 확대되는 가운데 어떤 나노기술에 보다 집중해야 하고, 어떤 길목 특허를 확보해서 성과 창출에 기여할 수 있을지도 파악할 수 있다.

위의 기여에도 불구하고, 몇 가지 한계가 있다. 첫째, 나노기술의 특성상 자원 제약이 적은 다국적 기업들을 대상으로 했기 때문에 연구의 함의가 해당 기업들에 국한된다. 자원제약이 심한 중견·중소기업들을 대상으로 한 확대 연구가 필요하다. 둘째, 본 연구는 일반목적 기술(또는 플랫폼 기술)로 특정할 수 있는 나노기술의 특허 전략이 기업의 혁신 및 재무 성과에 미치는 영향을 검증했다. 그러나 혁신 성과를 특허 피인용수만으로 측정했기 때문에 두 가지 왜곡이 있다. 첫째, 피인용 절단(truncation) 문제로 인해 오래된 특허들이 과대평가되고 최근 특허들은 과소평가되기 쉽다. 둘째, 산업 및 기술특성에 따라 기업의 특허 전략이 재무 성과에 직접적인 영향을 주지 못할 수 있다. 향후 분석의 엄밀성을 높이기 위해 신제품 출시 건수(NPI, New Product Introduction) 등과 같은 보다 직접적인 혁신 성과 변수를 활용하거나 특허 전략과 재무 성과간 관계를 적절하게 매개 또는 조절할 수 있는 변수를 찾는 것이 필요할 것으로 판단된다. 향후 연구 과제로서 본 연구를 토대로 탐험과 활용의 양손잡이 균형(balance) 연구를 해볼 수 있다. 양손잡이 이론과 섹터 혁신(Sectoral Innovation) 이론(Pavitt, 1984)을 접목해 나노기술 보유에 따른 산업별 차이를 살펴볼 수도 있다. 또한, 기업 수준에서 기존 사업 수익성, 특허 집중도, 혁신 전략 유형간 관계 분석을 통해 다양한 패턴의 수익성-특허 집중도-혁신 전략을 도출할 수도 있다. 마지막으로 양손잡이 전략의 유형을 순차적, 동시적, 맥락적 유형으로 나뉘었을 때, 기술 속성에 따라 동시에 추구하는 양손잡이(Simultaneous Ambidexterity) 기업이 성과가 더 우수한지(Lubakin et al., 2006) 등을 살펴본다면 더 의미있는 연구가 될 것으로 생각한다.

참고문헌

(1) 국내문헌

- 김동현, 강명현(2015), “A Study on the Market Structure and Innovation of the Nano Industry Case in Korea - Focus on the Firm Size -”, 『e-비즈니스연구』, 제16권 제2호, p.127-148.
- 김효정, 박남규(2010), “활용(Exploitation)과 탐험(Exploration)에 대한 실증연구 결과가 제기하는 개념적 이슈와 향후 연구과제”, 『전략경영연구』, 제13권 제3호, pp.1-34.
- 문희성(2016), “나노융합산업의 육성을 위한 정책 방향”, 『KISTEP 이슈페이퍼』, 2016-10
- 민인식, 최필선(2016), 『STATA 고급 패널데이터 분석』, 지필미디어.
- 이종우, 김병근(2013), “ “동태적 역량을 기반으로 한 나노기술 기업의 유형 분류 및 분석 모델 개발”, 『기술혁신연구』, 제21권 제2호, pp. 285-317.

(2) 국외문헌

- Ahuja, G. and Katila, R. (2004), “Where Do Resources Come From? The Role of Idiosyncratic Situations”, *Strategic Management Journal*, Vol. 25, pp. 887-907.
- Argyres, N. (1996), “Capabilities, Technological Diversification and Divisionalization”, *Strategic Management Journal*, Vol. 17, pp. 395-410.
- Audia, P. and Goncalo, J. A. (2007), “Past Success Creativity over Time: A Study of Inventors in the Hard Disk Drive Industry”, *Management Science*, Vol. 53(1), pp. 1-15.
- Avenel, E., Favier, A. V., Ma, S., Mangematin, V. and Rieu, C. (2007), “Diversification and hybridization in firm knowledge bases in nanotechnologies”, *Research Policy*, Vol. 36, pp. 864-870.
- Balassa, B. (1965), “Trade Liberalisation and Revealed Comparative Advantage”, *Manchester School*, Vol. 33(2), pp. 99-123.
- Bloom, N. and Van Reenen, J. (2002), “Patents, Real Options and Firm Performance”, *The Economic Journal*, Vol. 112(478), pp. C97-C116.
- Bresnahan, T. and Trajtenberg, M. (1995), “General purpose technologies ‘Engines of growth?’”, *Journal of Econometrics*, Vol. 65(1), pp. 83-108.
- Bresnahan, T. (2010), “Chapter 18: General Purpose Technologies”, *Handbook of the Economics of Innovation*, Vol. 2, pp. 761-791.

- David, P. and Wright, G. (1999), "General Purpose Technologies and Surges in Productivity: Historical Reflections on the Future of the ICT Revolution", *Discussion Paper in Economic and Social History* No. 31, University of Oxford.
- Drexler, E. (1987), "Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology", Anchor Library of Science
- Drexler, E. (2013), *Radical Abundance: How a Revolution in Nanotechnology Will Change Civilization*, PublicAffairs
- Ernst, H. (2001), "Patent applications and subsequent changes of performance: evidence from time-series cross-section analyses on the firm level", *Research Policy*, Vol. 30(1), pp. 143-157.
- Feynman, R. (1960), "There's Plenty of Room at the Bottom", *Engineering and Science*, 23(5), pp. 22-36.
- Gambardella, A., and Torrisi, S. (1998), "Does technological convergence imply convergence in markets? Evidence from the electronics industry," *Research Policy*, Vol. 27(5), pp. 445-463.
- Goldfarb, B. (2005), "Diffusion of general-purpose technologies: understanding patterns in the electrification of US Manufacturing 1880 - 1930", *Industrial and Corporate Change*, Vol. 14(5), pp. 745-773.
- Granstrand, O. and Oskarsson, C. (1994), "Technological diversification in 'multi-tech' corporations," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 41(4), pp. 355-364.
- Griliches, Z. (1981), "Market Value, R&D and Patents", *Economic Letters*, Vol. 7(2), pp.183-187.
- Griliches, Z. (1991), "R&D, Patents, and Market Value Revisited: Is There A Second (Technological Opportunity) Factor?", *Economics of Innovation and New Technology*, Vol. 1(3), pp. 183-201.
- Grupp, H. and Gunnar, M. (1998), "Trade on High-Technology Markets and Patent Statistics - leading-edge versus high-level technology", *Trade, growth and technical change*, Cambridge University Press
- Gupta, A. K., Smith, K. G. and Shalley, C. E. (2006), "The Interplay between Exploration and Exploitation", *The Academy of Management Journal*, Vol. 49(4), pp. 693-706.
- Hall, B. H., Jaffe, A. and Trajtenberg, M. (2005), "Market Value and Patent Citations", *The RAND Journal of Economics*, Vol. 36(1), pp. 16-38..
- He, Z. and Wong, P. (2004), "Exploration vs. Exploitation: An Empirical Test of the

- Ambidexterity Hypothesis”, *Organization Science*, Vol. 15(4), pp. 481-494.
- Helpman, E. (1998), *General Purpose Technologies and Economic Growth*, MIT Press.
- Henderson, R. M. and Cockburn, I. (1994), “Measuring competence? Exploring firm effects in Pharmaceutical Research”, *Strategic Management Journal*, Vol. 15(S1), pp.63-84.
- Hitt, M. Hoskisson, R. E., Ireland, R. D. and Harrison, J. S. (1991), “Effects of acquisitions on R&D inputs and outputs”, *Academy of Management Journal*, Vol. 34(3), pp. 693-706.
- Huang Z., Chen H., Yip, A., Ng, G., Guo, F., Chen, Z. and Roco M. C. (2003), “Longitudinal Patent Analysis for Nanoscale Science and Engineering: Country, Institution and Technology Field”, *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 5, pp. 333-363.
- Huang, Y. -F. and Chen, C. -J. (2010), “The Impact of Technological Diversity and Organizational Slack on Innovation”, *Technovation*, Vol. 30, pp.420-428.
- Islam, N. and Ozcan, S. (2017), “The management of nanotechnology: analysis of technology linkages and the regional nanotechnology competencies”, *R&D Management*, Vol. 47(1), pp. 111-126.
- Jaffe, A. B., and Trajtenberg, M. (2002). “Patents, citations, and innovations: A window on the knowledge economy”. MIT press.
- Jovanovic, B. and Rousseau, P. L. (2005), “General Purpose Technologies”, *Handbook of Economic Growth*, 1 Suppl. Part B:1181-1224.
- Katila, R. and Ahuja, G. (2002), “Something Old, Something New: A Longitudinal Study of Search Behavior and New Product Introduction”, *Academy of Management Journal*, Vol. 45(6), pp. 1183-1194.
- Knol, W. H. C. (2004), “Micro and Nanotechnology Commercialization: Balance between Exploration and Exploitation”, *Proceedings of the MANCEF COMS2004 conference*, pp. 215-220.
- Kim, J. and Lee C. -Y. (2016), “Technological Regimes and Firm Survival”, *Research Policy*, Vol. 45, pp. 232-243.
- Kim, T. and Rhee, M. (2009), “Exploration and exploitation: internal variety and environmental dynamism”, *Strategic Organization*, Vol. 7(1), pp. 11-41.
- Kreuchauff, F. and Teichert, N. (2014), *Nanotechnology as general purpose technology*, Working Paper Series in Economics, Karlsruher Institut für Technologie(KIT), No. 53.
- Laursen, K. and Salter, A. (2006), “Open For Innovation: The Role of Openness in explaining innovation performance among U.K Manufacturing Firms“, *Strategic Management Journal*, Vol. 27, pp. 131-150.

- Lee, C., Lee, S., Jhon, M. S. and Shin J. (2013), “Factors influencing nanotechnology commercialization: an empirical analysis of nanotechnology firms in South Korea“, *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 15:1444,
- Levinthal, D. A. and March, J. G. (1993), “The Myopia of Learning”, *Strategic Management Journal*, Vol. 14, pp. 95-112.
- Li Y., Vanhaverbeke, W. and Schoenmakers, W. (2008), “Exploration and Exploitation in Innovation: Reframing the interpretation“, *Creativity and Innovation Management*, Vol. 17(2), pp. 107-126.
- Lin, B. -W., Chen, C.-J. and Wu, H.-L. (2006), “Patent Portfolio Diversity, Technology Strategy, and Firm Value”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 53(1), pp. 17-26.
- Lipsey R. G., Bekar, C. and Carlaw, K. (1998), “Chapter 2. What Requires Explanation?“, *General Purpose Technologies and Economic Growth*, MIT Press
- Lubakin, M. H., Simsek, Z., Ling, Y. and Veiga, J. F. (2006), “Ambidexterity and Performance in Small- to Medium-Sized Firms: The Pivotal Role of Top Management Team Behavioral Integration”, *Journal of Management*, Vol. 32(5), pp. 646-672.
- Malerba, F. and Orsenigo, L. (1996), “Schumpeterian Patterns of Innovation are Technology-Specific,” *Research Policy*, Vol.25(1), pp.451-478.
- Mangematin, V. (2012), “The future of nanotechnologies”, *Technovation*, Vol. 32(3-4), pp. 157-160.
- March, J. (1991), “Exploration and Exploitation in Organizational Learning”, *Organizational Science*, Vol.2(1), p. 71.
- Meyer, M., Libaers, D. and Park, J. (2011), “The Emergence of Novel Science-related Fields: Regional or Technological Patterns? Exploration and Exploitation in United Kingdom Nanotechnology“, *Regional Studies*, Vol. 45.7, pp. 935-959.
- Miller, D. J. (2006), “Technology Diversity, Related Diversification, and Firm Performance”, *Strategic Management Journal*, Vol.27(7), pp. 601-619.
- Mom, T. J. M., Van Den Bosch, F. A. and Volberda, Henk W. (2007), “Investigating Managers’ Exploration and Exploitation Activities: The Influence of Top-Down, Bottom-Up, and Horizontal Knowledge Inflows”, *Journal of Management Studies*, Vol. 44:6, pp. 910-931.
- Moser, P. and Nichlas, T. (2004), “Was Electricity a General Purpose Technology? Evidence from Historical Patent Citations”, *American Economic Review*, Vol. 94(2), pp. 388-394.

- Nerkar, A. (2003), Old is Gold? “The Value of Temporal Exploration in the Creation of New Knowledge”, *Management Science*, Vol. 49(2), pp. 211-229.
- O’Reilly, C. A. and Tushman, M. L. (2004), “The Ambidextrous Organization”, *Harvard Business Review*, Vol. 82(4), pp. 74-81.
- Pavitt, K. (1984), “Sectoral Patterns of technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory”, *Research Policy*, Vol. 13(6), pp. 343-373
- Pohlmann, T. and Opitz, M. (2013), “Typology of the Patent Troll Business”, *R&D Management*, Vol. 43(2), pp. 103-120.
- Pohlmann, T., Neuhausler, P. and Blind, K. (2016), “Standard Essential Patents to boost Financial Returns”, *R&D Management*, Vol. 46(S1), pp. 612-630.
- Porter, A., Youtie, J. (2009), “Where does nanotechnology belong in the map of science?”, *Nature*, Vol. 4, p. 534.
- Porter, M. E. (1985), “Technology and Competitive Advantage”, *Journal of Business Strategy*, Vol. 5(3), pp. 60-78.
- Prahalad C. K. and Hamel, G. (1994), “Strategy as a field of study: Why search for a new paradigm?”, *Strategic Management Journal*, Vol. 15, pp.5-16.
- Quintana-García, C. and Benavides-Velasco C. (2008), “Innovative competence, exploration and exploitation: The influence of technological diversification”, *Research Policy*, Vol. 37(3), pp. 492-507.
- Raisch, S., Birkinshaw, J., Probst, G. and Tushman, M. L. (2009), “Organizational ambidexterity: balancing exploitation and exploration for sustained performance”, *Organization Science*, Vol. 20(4), pp. 685-695.
- Roco, M. and Bainbridge, W. S. (2002), “*Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science*”, National Science Foundation, Virginia: Arlington.
- Rosenberg, N. and Trajtenberg, M. (2001), “A General Purpose Technology at Work: The Corliss Steam Engine in the late 19th Century US”, NBER Working Paper No. 8485.
- Scherer, F. M. (1965), “Firm Size, Market Structure, Opportunity, and the Output of Patented Inventions,” *The American Economic Review*, vol.55(5), pp.1097-1125.
- Shapira, P., Youtie, J. and Kay L. (2011), “National Innovation Systems and the Globalization of nanotechnology Innovation”, *The Journal of Technology Transfer*, Vol. 36(6), pp. 587-604.
- Shea, C. M. (2005), “Future management research directions in nanotechnology: A case study”, *Journal of Engineering and Technology Management*, Vol. 22, pp.185-200.

- Shea, C. M., Grinde, R. and Elmslie, B. (2011), “Nanotechnology as general-purpose technology: empirical evidence and implications”, *Technology Analysis & Strategic Management*, Vol. 23(2), pp. 175-192.
- Suominen A., Li Y., Youtie, J. and Shapira P. (2016), “A bibliometric analysis of the development of next generation active nanotechnology”, *Journal of Nanoparticle Research*, Vol. 18:270.
- Teichert, N. (2012), *Innovation in General Purpose Technologies: How Knowledge Gains when It Is Shared*, KIT(Karlsruher Institut für Technologie) Scientific Publishing.
- Tuncel, C. O. (2015), “Neo-Schumpeterian Long Wave Theory and Nanotechnology: Assessing the Future of Manufacturing Industry”, *Journal of Economics and Development Studies*, Vol. 3(1), pp.57-81.
- Uotila, J., Maula, M., Keil, T. and Zahra, S. A. (2009), “Exploration, Exploitation, and Financial Performance: Analysis of S&P 500 Corporations”, *Strategic Management Journal*, Vol. 30, pp.221-231.
- Youtie, J., Iacopetta, M. and Graham, S. (2008), “Assessing the nature of nanotechnology: can we uncover an emerging general purpose technology?”, *Journal of Technology Transfer*, Vol. 33, pp. 315-329.

(3) 기타 보고서

- 과학기술부 (2018), 「제3기 국가나노기술지도(2018~2027)」, 국가과학기술자문회의, 2018. 6. 25.
- 한국지식재산연구원 (2012), “지식재산 경쟁력 및 특성지표 개발”, 특허청.
- NNI (2018), “The National Nanotechnology Initiative Supplement to the President’s 2019 Budget”, National Science and Technology Council, USA.

<참고 1> 나노기술의 세부기술 및 이를 활용한 나노제품 사례

(참고문헌: 제3기 국가나노기술지도(2018))

나노기술 세부분야	세부 나노기술 예시	나노 제품 사례
나노소자, 나노소재, 나노공정/장비	초절전 나노 스위치 소자, 나노 로직-인-메모리, 3차원 나노집적소자, 시냅스용 나노소자기술	저전력 인공지능 칩
나노소자, 나노공정	수직형 3D 나노스토리지, 고속 비휘발성 스토리지 클래스 나노메모리기술	대용량 고속 메모리
나노소자, 나노소재, 나노공정	나노포토닉스(광검출 소자, 광원 소자, 광변조기, 광도파로 등)	초고속 통신소자
나노소자, 나노소재, 나노공정	소프트 나노소재/나노공정, 고성능 유연 스위치/발광 나노소자	플렉시블 디스플레이
나노소자, 나노소재	나노압전소자	가상 현실 소자
나노소자, 나노바이오, 나노소재	전자코 나노센서, 나노촉각센서, 저전력 나노 이미지 센서	오감 센서
나노에너지, 나노소재	초박형 고효율 광활성층 나노소재, 초경량 기관 나노소재	경량 고효율 태양전지
나노에너지, 나노소재, 나노공정	나노소재/구조기반 압전 에너지 하베스팅, 나노소재/구조기반 정전 에너지 하베스팅, 나노소재/구조기반 열전 발전/냉각	에너지 하베스터
나노에너지, 나노소재, 나노공정	유연 이차전지 나노소재/소자	유연 배터리
나노바이오, 나노소재	기능성 물질 나노전달체, 피부세포 재생 촉진 나노소재, 생체적합 인조피부 나노소재	고기능성 화장품
나노바이오, 나노소재	피부진단 나노바이오센서, 3차원 프린팅 미용 나노소재/공정	피부진단기
나노에너지, 나노소재	초고효율 광전변환 나노소재, 초고효율 광전 변환 나노소자 설계 및 공정	초고효율 태양전지
나노에너지, 나노소재	나노스케일 산화물 전해질, 피독 저항형 나노전극소재, LNG 직접활용 나노촉매 및 전극구조	대용량 연료전지
나노에너지, 나노소재	수소저장 및 수송용 나노소재, 고성능 나노 분리판, 저가 나노촉매	수소 연료전지
나노에너지, 나노소재	고성능 이차전지 나노양극, 고성능 이차전지 나노음극	급속충전 배터리

나노에너지, 나노소재	수전해용 나노촉매, 수소생산용 나노광촉매, CO ₂ 환원용 나노촉매	온실가스 자원화
나노에너지	창호형 나노박막 태양전지, 자가구동 변색 나노소재, 실내발전용 태양전지 나노기술	제로에너지 주택
나노환경, 나노바이오, 나노소재	초고성능 흡착 나노기공소재, 수질 측정용 나노바이오센서	정수장치
나노바이오, 나노소재, 나노소자	토양대체 나노스케폴드, 친환경 병충해 방지 나노소재, 농작물 장기 보관 나노코팅 소재, 상태 모니터링 나노센서	농작물 생장촉진 화분
나노에너지, 나노소재	고안전성 전고체 이차전지 나노소재, 고안전성 수계 이차전지 나노소재	고안정 배터리
나노바이오, 나노소자, 나노소재, 나노공정	나노백신(항원-나노구조체) 제조 및 전달, 질병예방 활성물질 담지 나노전달체	면역강화 반창고
나노바이오, 나노소재, 나노소자	동시 진단/치료 나노약물, 동시 진단 치료용 나노 이미징 기술	동시 진단/치료제
나노바이오, 나노소재, 나노공정	생체적합형 나노스케폴드, 나노소재 기반 조직재생 기술	인공장기
나노바이오, 나노소재, 나노소자, 나노공정	나노액츄에이터, 고감도 나노바이오물질 식별기술, 광 및 전자기 방식 나노 트위저 제어기술	초소형 내시경
나노바이오, 나노소재	설치/착용/부착/삽입형 나노바이오센서, 자율형상 나노바이오센서 공정기술	헬스 모니터링 센서
나노바이오, 나노소자, 나노소재	고감도 나노바이오물질 식별기술, 유해 바이오물질 검출 고감도 나노바이오센서	공기부유 바이러스 검출기
나노바이오, 나노소재	외부유해물질 검지용 나노바이오센서, 유해물질 차단용 나노멤브레인	스마트 마스크
나노바이오, 나노소재, 나노공정, 나노환경	유해물질 신속분해 나노촉매, 유해물질 나노흡착체, 배출가스 오염물질 처리 나노촉매	공기청정기
나노바이오, 나노소재	기능성 영양성분 나노 제형화 기술, 나노코팅/패키징 기술	우주식량
나노바이오, 나노소자, 나노소재, 나노공정	초경량 생체인식 나노센서, 생체모방 나노소자	곤충로봇

<참고 2> 분석 대상 기업 목록
(참고문헌: Forbes 및 각 기업 홈페이지)

No	기업명	Sector	국적(본사)	매출액(\$ Bil. 16년)
1	Apple	Technology	미국	215.64
2	Canon	Technology	일본	29.10
3	Cisco	Technology	미국	49.25
4	Ericsson	Technology	스웨덴	24.44
5	Fujitsu	Technology	일본	40.98
6	Google(Alphabet)	Technology	미국	90.27
7	Hewlett-Packard	Technology	미국	78.52
8	Hon-Hai Precision	Technology	대만	134.37
9	IBM(Int. Business Machines)	Technology	미국	79.92
10	Intel	Technology	미국	59.39
11	LG Display	Technology	한국	21.97
12	LG Electronics	Technology	한국	45.90
13	Microsoft	Technology	미국	85.32
14	NEC	Technology	일본	26.65
15	Oracle	Technology	미국	37.05
16	Panasonic	Technology	일본	73.44
17	Qualcomm	Technology	미국	23.55
18	Samsung Electronics	Technology	한국	167.35
19	Sony	Technology	일본	68.26
20	Taiwan SeMiConductor	Technology	대만	29.22
21	ArcelorMittal	Materials	룩셈부르크	56.79
22	JFE Steel	Materials	일본	33.10
23	Lafarge	Materials	스위스	71.89
24	Nippon Steel	Materials	일본	26.90
25	POSCO	Materials	한국	41.60

No	기업명	Sector	국적(본사)	매출액(\$ Bil. 16년)
26	Saint-Gobain	Materials	프랑스	44.01
27	ThyssenKrupp	Materials	독일	41.10
28	3M	Industrials	미국	42.70
29	ABB	Industrials	스위스	30.11
30	Hitachi	Industrials	일본	33.83
31	Honeywell	Industrials	미국	91.62
32	Philips	Industrials	네덜란드	39.30
33	Mitsubishi Electric	Industrials	일본	18.32
34	Mitsubishi Heavy Industry	Industrials	일본	38.06
35	Siemens	Industrials	독일	35.14
36	Sumitomo Electric	Industrials	일본	89.50
37	Toshiba	Industrials	일본	25.27
38	AbbVie	Healthcare	미국	43.73
39	AstraZeneca	Healthcare	영국	25.64
40	GlaxoSmithKline	Healthcare	영국	23.00
41	Johnson & Johnson	Healthcare	미국	34.40
42	Merck	Healthcare	미국	39.81
43	Novartis	Healthcare	스위스	49.39
44	Pfizer	Healthcare	미국	52.82
45	Sanofi	Healthcare	프랑스	36.49
46	BASF	Chemicals	독일	60.50
47	Bayer	Chemicals	독일	36.74
48	Dow Chemical	Chemicals	미국	48.16
49	Dupont	Chemicals	미국	24.59
50	Mitsubishi Chemical	Chemicals	일본	37.08
51	Sabic	Chemicals	사우디	38.13