

환경기술개발사업 사업화 성과 결정요인 분석

Analysis of Determinants of Environmental R&D Commercialization Performance

김정인* · 신광근**

Jeong in Kim · Kwang keun Shin

요약: 본 연구는 허들모형을 활용하여 환경기술개발사업 연구과제를 대상으로 사업화 성과에 영향을 미치는 결정요인을 실증적으로 분석하였다. 분석 결과는 첫째, 독립변수 중 사업화 여부 및 사업화 매출액 크기에 영향을 미치는 방향이 서로 다른 경우가 있었으며, 이는 연구과제의 목적을 사업화 여부 또는 사업화 매출액 크기 중 어느 것으로 설정하는가에 따른 선택 문제를 가지게 한다. 둘째, 기술사업화 과정의 허들 구조를 고려하여 수요처 연계 홍보, 기술이전, 기술가치평가 등 다양한 사업화 프로그램을 지원할 필요가 있다는 것을 확인하였다. 마지막으로, 연구과제 수행 경험이 많을수록 사업화가 잘 이루어짐에 따라, 사업화 노하우를 체계적으로 정리하여 공유하는 것이 필요함을 도출하였다.

핵심주제어: 환경기술개발사업, 기술사업화, 허들모형, 한계효과, 성과결정요인

Abstract: The present study utilizes a hurdle model for an empirical analysis of commercialization performance determinants in environmental research and development (R&D) projects. The analysis yielded several findings. First, the correlational relationship between independent variables affecting commercialization and those affecting total sales were sometimes incongruent. This disparity presented challenges in research subject selection due to the diversity of purpose across relevant projects: while some projects are commercialization-oriented, others are designed to maximize sales. Second, the hurdle structure of the technology commercialization process confirmed the need for commercialization programs such as demand-linked promotion, technological transfer, and technology valuation. Finally, as increased research and analysis lead to improved commercialization, it will become expedient to systematically organize and share procedural knowledge.

Key Words: Environmental R&D, Technology Commercialization, Hurdle Model, Marginal Effects, Performance Determinants

* 주저자, 중앙대학교 경제학부 교수

** 교신저자, 중앙대학교 대학원 경제학과 박사수료, 한국환경산업기술원 선임연구원

I. 서론

정부는 미세먼지, 기후변화, 물 부족 등 날로 심각해지는 환경이슈에 효과적으로 대응하기 위한 주요 수단으로 환경분야의 국가 주도 R&D 투자를 크게 늘리고 있다(환경부 등, 2018).

환경부의 2021년도 R&D 예산은 4,072억 원으로 국가 R&D 예산 27조 4천억 원의 1.5%에 불과하지만, 전년 대비 13.1% 증가하였다. 환경부 R&D 예산 가운데 주요 R&D 예산은 3,636억 원이며,¹⁾ 이 중 한국환경산업기술원에서 관리하고 있는 환경기술개발사업 예산은 2,836억 원으로(환경부·한국환경산업기술원, 2021), 환경부 소관 주요 R&D 예산의 78.0%를 차지하고 있다.

한편 정부는 국가 R&D 예산의 지속적 확대에 따라 SCIE 논문, 특허 등록, 사업화, 기술료 등 R&D 성과의 활용 측면을 더욱 강조하는 추세이며, 특히 4차 산업혁명 시대에 기업 역량 강화와 혁신 속도 단축을 가능케 하는 핵심 전략으로서, R&D 성과를 활용하여 제품·서비스를 생산하고 시장을 개척하는 기술이전·사업화를 적극 추진하고 있다.²⁾

이러한 흐름 속에서 국가 R&D 사업의 과제별 특성과 수행주체의 특성에 따른 사업화 성과를 분석하는 것은 앞으로의 국가 R&D 성과 활용을 촉진하는 데에 있어서 정책적 시사점을 줄 수 있다.

따라서 본 연구에서는 환경부 소관 R&D 예산 중 가장 큰 비중을 차지

- 1) 주요 R&D(국가연구개발사업)는 「과학기술기본법」 시행령 제21조 3항에 따라 ① 기본계획 및 관계 중앙행정기관이 소관 법령에 따라 수립한 계획에 근거하여 추진하는 5년 이상 중장기 대형 국가연구개발사업, ② 미래성장동력 창출을 위하여 추진하는 사업으로서 고도의 전문적·기술적 판단이 필요한 국가연구개발사업, ③ 새로운 지식을 획득하기 위한 기초과학 분야의 국가연구개발사업, ④ 관계 중앙행정기관 간 유사하거나 중복되는 사업, 연구시설·장비 구축사업, 2개 이상의 중앙행정기관과 관련되는 연구개발사업 등 투자 효율성을 높이기 위하여 국가과학기술자문회의의 심의가 필요한 국가연구개발사업을 의미한다.
- 2) 「기술의 이전 및 사업화 촉진에 관한 법률」에 따르면 “기술이전”이란 양도, 실시권 허락, 기술지도, 공동연구, 합작투자 또는 인수·합병 등의 방법으로 기술이 기술 보유자로부터 그 외의 자에게 이전되는 것을 의미하며, “사업화”란 기술을 이용하여 제품을 개발·생산 또는 판매하거나 그 과정의 관련 기술을 향상시키는 것을 의미한다.

하고, 동시에 환경부의 연구관리 전문기관인 한국환경산업기술원에서 관리 중인 환경기술개발사업을 대상으로 사업화 성과를 분석하고자 한다. 즉, 환경기술개발사업의 기술적 유형이나, 수행주체, 지원 예산 등의 요인들이 사업화에 미치는 영향을 계량적으로 분석하고자 한다.

그동안 환경기술개발사업의 성과에 영향을 미치는 요인을 파악한 연구는 매우 부족한 실정이다. 한대훈(2019)은 연구개발비 규모, 연구주체, 연구개발단계에 따라 연구개발 성과가 어떻게 달라지는지를 분석하여, 연구개발비 규모가 커질수록 SCIE 논문, 특허출원 및 등록, 기술료 성과가 증가함을 밝혔다. 김주경(2013)은 자본스톡, R&D스톡, 연구인력 수, 연구기간이 SCIE 논문과 특허 성과에 미치는 영향을 분석하여, 연구인력 수는 논문 성과에 정(+)¹⁾의 영향을 미치고, R&D스톡, 연구인력 수, 연구기간은 특허 성과에 정(+)²⁾의 영향을 미치는 것을 밝혔다.

범위를 넓혀 국가연구개발사업의 사업화 성과에 영향을 미치는 요인에 대하여 분석한 연구를 살펴보면 다음과 같다. 정규영(2019)은 연구개발비 규모, 연구인력 수, 벤처캐피탈(VC) 투자유치액, 사업화 협력기관 수가 사업화 매출액에 미치는 영향을 분석하여, 정부출연금 투자규모, 벤처캐피탈(VC) 투자유치액이 사업화매출액에 정(+)³⁾의 영향을 미치는 것을 밝혔다.

고은옥 등(2014)은 정보통신산업 및 화학산업 관련 국가연구개발사업을 주제로 연구개발비 규모, 참여기관수, 연구기간, 기업 자체 기술개발 투자비용이 특허출원, 사업화 매출액에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과 두 산업 모두에서 연구개발비 규모가 특허출원에 정(+)⁴⁾의 영향을 미치고, IT산업 중소기업에서 특허출원이 사업화 매출액에 정(+)⁵⁾의 영향을 미치는 것을 밝혔다.

이수지·김태운(2015)은 부품소재산업경쟁력향상사업을 주제로 하여 특허 건수, 논문 건수, 연구개발비 규모, 연구주체, 과제유형(단독주관 또는 공동주관), 연구책임자의 과제수행능력(R&D사업 참여경험), 기술분야(기계, 재료, 화공 등)가 사업화 성과에 미치는 영향을 분석하여 연구개발비 규모가 정(+)⁶⁾의 영향을 미치는 것을 밝혔다.

선행연구를 살펴보면, 주로 연구개발비 규모, 연구주체, 연구개발단계 등을 독립변수로 설정하고 기술료, 사업화 매출액, 사업화 건수, 사업화 유무 등을 종속변수로 설정하였으며, 공통적인 분석 결과로 연구개발비 규모가 국가연구개발사업 성과에 정(+)의 영향을 미치는 것을 도출하였다. 분석 모형으로는 주로 다중회귀분석 또는 로지스틱 회귀분석을 기본으로 하는 분석 모형이 사용되었다.

그러나 사업화 성과는 사업화가 이루어져 사업화 매출액이 발생하고 있는 대상과 사업화가 되지 않은 대상을 분리하여 분석하지 않을 경우 영향요인의 효과를 과소 추정할 우려가 있다. 또한 사업화 여부에 영향을 미치는 요인과 기술이 사업화된 후 사업화 매출액의 크기에 영향을 미치는 요인은 서로 다를 수 있음을 고려해야 한다.

따라서 본 연구에서는 앞서 언급한 선행연구들의 한계점을 보완하기 위하여 허들모형(hurdle model)을 활용한 분석을 실시하였으며, 본 연구는 환경기술개발사업 성과에 영향을 미치는 요인을 허들모형(hurdle model)을 활용하여 분석한 유일한 실증논문이라는 차별성을 가지고 있다.

II. 분석 모형

과학기술정보통신부(2021)는 국가연구개발사업의 경제적 성과지표로 기술이전, 기술료, 매출액, 수입대체, 일자리 창출 등을 활용하도록 명시하고 있다. 또한 정규영(2019), 고은옥 등(2014)의 선행연구에서도 사업화 매출액을 종속변수로 활용하고 있는 점을 참고하여, 본 연구에서도 연구과제의 사업화 성과를 나타내는 사업화 매출액을 종속변수로서 고려하였다.

종속변수인 사업화 매출액은 0 이상의 값을 가지는 연속형(continuous) 변수이고 음수는 나타낼 수 없다. 여기서 종속변수가 0에서 1로 변화하는 것과 1에서 2로 변화하는 것이 절대값의 변화는 동일하지만, 동일한 변화요인으로 설명되지 않을 수 있다. 즉, 성과의 발생 여부와 성과의 크기가

같은 요인에 의해 설명된다고 보기는 어렵다.

구체적으로는 개발된 기술이 사업화되기 위해서는 시작품 제작 및 성능평가, 시제품 인증 및 표준화, 홍보, 수요기업 발굴, 생산자금 확보 등 다양한 단계를 거쳐야 하기 때문에, 연구과제의 사업화 성과를 분석함에 있어 사업화 매출액 창출의 문지방 효과(threshold effect)³⁾를 고려해야 할 필요가 있으며, 이러한 문턱을 넘어 사업화가 될 경우 그 사업화 매출액의 크기를 결정짓는 요인이 사업화 여부를 결정짓는 요인과 동일하지 않다는 것이다.

실제 본 연구의 종속변수인 사업화 매출액 변수에 대하여 커널 밀도 추정(kernel-density estimation)을 실시한 결과, 동 변수의 상당수 표본이 0의 값을 가지며, 이를 제외할 경우 연속확률분포(continuous probability distribution)가 정규분포(normal distribution)의 모습을 보인다. 이러한 경우, 종속변수의 값이 0일 확률이 0이 아닌 값들의 평균과 독립적이라고 가정해볼 수 있다(Cameron and Trivedi, 2010).

이에 본 연구에서는 허들모형(hurdle model)을 사용하여 분석을 수행하고자 한다. 허들모형은 성과 발생 여부를 결정하는 구조와 성과가 발생할 경우 그 성과 크기를 결정하는 메커니즘을 분리하여 접근하는 방법이다(Cameron and Trivedi, 2010).

동일한 하한 값이 상당수 관찰된다는 측면에서 토빗(Tobit) 모형을 고려할 수 있으나, 토빗(Tobit) 모형은 참여와 성과 모형에서 같은 독립변수를 사용해야 하고, 독립변수가 참여와 성과에 미치는 한계효과가 같은 방향이라는 제약이 있다. 또한, 헤크만(Heckman) 선택 모형은 종속변수가 0인 경우에 결측치로 판단(사업화가 이루어지지 않은 경우 사업화를 포기한 것으로 간주)하기 때문에 본 연구에 적합하지 않다. 이런 점에서 본 연구의 목적과 분석 자료의 경우 일종의 구석 해(corner solution)처럼 0의 관측치가 많이 나타나는 경우를 분석할 수 있는 허들모형이 적합하다.

Cragg(1971)가 개발한 허들 모형(hurdle model)은 이항분포에 대한 선택

3) 문지방 효과(threshold effect)란 일반적으로 상황이나 상태가 어느 지점을 넘어서면 급격하게 변화하는 것을 의미하며, 본 연구에서는 사업화가 이루어지기 위해 넘어야 하는 문턱을 의미한다.

모형(selection model)과 양의 정수로 관측되는 절단정규분포(truncated normal distribution)에 대한 성과 모형(outcome model)이 결합된 2부분 모형(two-part model)이다. 허들모형에서 종속변수 y_i 는 다음과 같이 정의된다.

$$y_i = s_i h_i^* \quad (1)$$

여기에서 y_i 는 종속변수로서 0 또는 0보다 큰 값으로 관찰된다. 선택변수인 s_i 는 $y_i = 0$ 이면 0이고 $y_i > 0$ 이면 1의 값을 갖는다. 선택 모형은 다음 식 (2)와 같이 이항변수(binary) 모형으로 설정되며, Z_i 및 γ 는 각각 독립변수의 벡터, 회귀계수의 벡터이고, ϵ_i 는 오차항이다.

$$s_i = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_i \gamma + \epsilon_i > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

성과 모형은 잠재변수인 h_i^* 에 대한 함수이며, $s_i = 1$ 인 경우에만 관찰된다. 성과 모형은 다음 식 (3)과 같이 선형(linear) 모형 또는 지수(exponential) 모형으로 표현되며, 여기서 X_i 는 독립변수의 벡터이고, β 는 회귀계수의 벡터이며, ν_i 는 오차항이다. 선형모형에서 오차항의 분포는 절단정규분포(truncated normal distribution)를 가정함에 따라 본 연구에는 선형(linear) 모형을 활용하였다.

$$\begin{aligned} h_i^* &= X_i \beta + \nu_i \text{ (linear)} \\ h_i^* &= \exp(X_i \beta + \nu_i) \text{ (exponential)} \end{aligned} \quad (3)$$

한편, 추정 결과로부터 한계효과를 구하기 위해서는 주어진 독립변수 x 에 대한 종속변수 y 의 조건부기대치를 함수 형태로 구하여야 하고, 조건부 기대함수는 다음과 같다(Wooldridge, 2002, p.538).

$$E(y|x) = \Phi(x\gamma) \exp\left(x\beta + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (4)$$

한계효과는 평균에서의 한계효과(marginal effect at the mean)와 한계 효과의 평균치(average marginal effect) 중 후자의 방법을 활용하였다.

III. 분석 자료

본 연구는 한국환경산업기술원이 관리하는 환경기술개발사업 연구과제 중 사업화를 주목적으로 하는 연구과제를 대상으로 하며,⁴⁾ 국가과학기술 지식정보서비스(NTIS)에서 제공하는 국가연구개발사업 조사·분석 자료를 기반으로 분석하였다.

국가연구개발사업 조사·분석은 매년 성과를 조사하기 때문에 계속과제의 경우 다년간의 연도별 데이터를 한 개의 과제 데이터로 병합하는 작업을 수행하였다. 예를 들어 A 과제가 3개년에 걸쳐 수행되는 경우 3개년의 성과 데이터를 과제 단위 기준으로 하나의 데이터로 병합하는 절차이다.⁵⁾ 또한 이현준(2013) 등 다수의 연구에서 정부연구개발사업 성과의 시간지연(time lag)이 1~2년으로 나타났음을 고려하여⁶⁾ 과제 종료 후 1년의 기간이 지나지 않은 연구과제는 분석에서 제외하였다. 최종적으로, 2011년

4) 환경기술개발사업은 국가연구개발사업의 분류 방식인 연구개발단계(기초, 응용, 개발, 기타)와는 별개로 「환경기술개발사업 운영규정」 제2조 1항에 따라 과제 추진단계를 “실용화과제”, “실증화과제”, “공공활용과제”, “원천기술과제” 등으로 구분하고 있으며, 사업별 추진계획 공고문에서 과제별 추진단계를 확인할 수 있다. 아울러, 본 연구의 분석 대상인 사업화를 주목적으로 하는 연구과제는 “실용화과제” 및 “실증화과제”를 의미한다.

5) 국가연구개발사업 조사·분석은 단일 사업의 사업기간 종료 후에는 과제별 성과조사를 진행하지 않는다. 다만 사업기간이 유지되고 있을 경우 사업 내 종료된 과제에 대해서는 조사가 진행된다.

6) 이현준(2013)은 Almon 모형을 활용하여 연구개발 투자와 매출액 증가 사이에 1~2년의 시차 효과가 나타남을 밝혔다. 이 외에도 김근령·김기홍(2016), 심우중·김은실(2010) 등 다양한 시차 효과 연구에서 평균적으로 1~3년의 시차가 발생함을 나타내었다.

1월부터 2018년 12월까지의 기간 동안 선정되고 종료된 548개의 연구과제가 분석에 활용되었다.⁷⁾

본 연구의 실증분석에는 다음의 변수들을 활용하였다. 종속변수로서 연구과제로부터 도출된 사업화 매출액을 사업화 성과로 고려하였다. 연구과제별 평균 사업화 매출액은 57.3억 원이며, 실증분석에서는 자연로그를 취한 후 활용하였다.

독립변수는 앞서 전술한 선행연구의 변수들을 참고하여, 연구과제의 사업화 여부와 사업화될 경우 매출액의 크기에 영향을 미칠 것으로 예상되는 변수들을 추가하였다. 첫째, 연구개발비 규모를 들 수 있다. 연구과제에 지원한 평균 정부 연구개발비 규모는 10.4억 원이며, 종속변수와 마찬가지로 자연로그를 취한 후 활용하였다.

둘째, 과제별 연구기간을 개월 수로 나타내어 활용하였다. 연구과제 선정 시점이 빠를수록 상대적으로 사업화 성과 창출을 위한 기간이 증가함에 따라, 2011년 1월을 기준으로 하여 연구과제 선정 시점까지의 기간을 개월 수로 나타내어 활용하였다. 값이 클수록 최근에 선정된 연구과제에 해당된다.

셋째, 대학, 연구소, 기업 등 연구주체를 더미변수로 활용하였으며, 연구주체는 주관연구기관을 의미한다. 특히 기업은 대기업, 중견기업, 중소기업으로 세분화하여 기업규모에 따른 사업화 성과의 변화를 파악하고자 하였다.

7) 한국환경산업기술원은 1992년부터 G-7 환경기술개발사업을 시작으로 다양한 환경기술개발사업을 추진 중이나, 2011년부터 글로벌환경기술개발사업(2011~2020, 6,976억 원), 환경산업선진화기술개발사업(2011~2020, 3,910억 원) 등 사업화 및 수출산업화를 위한 대형 R&D가 추진되었다. 환경기술개발사업 종류 등에 대해서는 한대훈(2019)을 참조하기 바란다.

〈표 1〉 변수의 기초통계량

| 변수 | 설명 | 평균 | 표준편차 | 최소값 | 최대값 |
|-----------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| (Ln)매출액 | 연구과제로부터 창출된 사업화 매출액 | 8.705 | 10.434 | 0 | 27.652 |
| (Ln)연구개발비 | 연구과제별 정부투자액 | 20.487 | 0.746 | 17.910 | 23.063 |
| 연구기간 | 연구과제별 총 연구기간(개월) | 33.856 | 12.326 | 8 | 62 |
| 선정시점 | 연구과제별 선정시점(2011년 기점, 개월) | 30.283 | 22.504 | 3 | 77 |
| 연구주체* | 중소기업 | 0.557 | 0.497 | 0 | 1 |
| | 국공립 및 출연연구소 | 0.126 | 0.332 | 0 | 1 |
| | 대기업 | 0.073 | 0.260 | 0 | 1 |
| | 중견기업 | 0.274 | 0.163 | 0 | 1 |
| | 대학 | 0.193 | 0.395 | 0 | 1 |
| | 기타 | 0.024 | 0.152 | 0 | 1 |
| 참여기업 수 | 연구과제별 누적 참여기업 수 | 4.500 | 4.714 | 0 | 52 |
| 연구수행 건수 | 환경기술개발사업 연구과제 수행 경험 | 1.733 | 3.050 | 0 | 14 |
| 연구개발단계* | 기초연구 | 0.389 | 0.488 | 0 | 1 |
| | 응용연구 | 0.177 | 0.382 | 0 | 1 |
| | 개발연구 | 0.328 | 0.470 | 0 | 1 |
| | 기타연구 | 0.105 | 0.308 | 0 | 1 |
| 소재지역* | 서울 | 0.265 | 0.442 | 0 | 1 |
| | 인천/경기 | 0.292 | 0.455 | 0 | 1 |
| | 충청 | 0.199 | 0.400 | 0 | 1 |
| | 경상 | 0.097 | 0.296 | 0 | 1 |
| | 전라 | 0.049 | 0.217 | 0 | 1 |
| | 강원 | 0.015 | 0.120 | 0 | 1 |
| 기타 | 0.084 | 0.278 | 0 | 1 | |
| 환경분야* | 기후대기 | 0.345 | 0.469 | 0 | 1 |
| | 상하수도 | 0.168 | 0.374 | 0 | 1 |
| | 물환경 | 0.084 | 0.278 | 0 | 1 |
| | 자원순환 | 0.170 | 0.376 | 0 | 1 |
| | 자연보전 | 0.033 | 0.178 | 0 | 1 |
| | 토양지하수 | 0.131 | 0.338 | 0 | 1 |
| | 환경보건 | 0.016 | 0.127 | 0 | 1 |
| | 기타 | 0.073 | 0.260 | 0 | 1 |

주: *는 더미변수를 의미함(미해당 = 0, 해당 = 1)

넷째, 연구과제를 함께 수행한 참여기업 수를 활용하였다.⁸⁾ 이는 연구과제에 대한 참여기업이 많을수록 연구성과의 기술이전 및 사업화에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다는 점을 고려한 것이다. 아울러 환경기술개발사업 연구과제 수행 경험이 사업화 성과에 영향을 미칠 수 있기 때문에 연구주체의 연구과제 수행 건수를 활용하였다.

다섯째, 연구개발단계를 활용하였다. 국가연구개발사업은 연구과제의 특성을 반영하여 기초연구, 응용연구, 개발연구, 기타연구의 네 단계로 구분하여 연구개발단계를 나타낸다. 연구개발단계는 연구과제 추진 시 사업화 관련 성과지표 설정에 영향을 미칠 수 있음을 고려하였다. 또한 지역성이 사업화 성과에 영향을 미치는지 여부를 살펴보기 위하여 연구주체의 소재지역을 활용하였다.

마지막으로, 연구과제를 물환경, 기후대기, 상하수도, 자원순환, 자연보전, 토양지하수, 환경보건, 기타분야 등 환경매체로 분류하여 활용하였다.

변수들의 기초통계량은 <표 1>과 같이 정리된다.

IV. 실증분석 결과

본 연구는 사업화 여부와 사업화 매출액의 크기에 영향을 미치는 변수로 연구개발비, 연구기간, 선정시점, 연구주체, 참여기업 수, 연구수행 건수, 연구개발단계, 소재지역, 환경분야를 고려하였으며, 분석에는 통계 패키지인 Stata 14.1을 이용하였다.

허들모형을 활용하여 사업화 여부 및 사업화 매출액에 영향을 미치는 변수를 도출하고, 두 가지 효과를 모두 감안할 때 독립변수의 단위 변화에 따른 종속변수의 영향을 살펴보기 위해 한계효과(marginal effect) 분석을

8) 권오상·한귀덕(2006)은 농림기술개발사업을 주제로 한 연구에서 연구과제에 참여기업이 있을 경우 연구개발성과(기술이전)에 정(+)의 영향을 미치는 것을 밝혀내었다. 그러나 본 연구에서 연구과제 중 참여기업이 없는 과제는 6개(1.09%)에 불과하여 연구기간 동안 함께한 참여기업의 수를 연단위로 합산하여 활용하였다.

실시한 결과는 <표 2>와 같다.

추정 결과를 살펴보면 모형 전체의 설명력은 매우 높은 것으로 나타났으며, 모형에 포함된 독립변수들 중 다수가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

전체적으로 살펴보면 사업화 여부에 영향을 미치는 변수와 사업화 매출액의 크기에 영향을 미치는 변수가 반드시 일치하는 것은 아니며, 일부 변수의 경우 사업화 여부에 미치는 영향과 사업화 매출액에 미치는 영향이 반대의 경우를 나타내기도 하였다.

사업화 여부에 영향을 미치는 독립변수는 선정시점, 연구주체, 연구수행 건수, 연구개발단계, 소재지역, 환경분야가 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 사업화 매출액에 영향을 미치는 독립변수는 연구개발비, 연구주체가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

세부적으로 결과를 해석하자면 다음과 같다. 첫째, 정부의 연구개발비 투자액은 사업화 매출액 크기에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 종속변수와 독립변수가 로그 변환되어 있으므로 추정계수는 탄력성으로 해석되는데, 한계효과 분석 결과 연구개발비 1% 증가는 사업화 매출액의 1.45% 증가로 이어짐을 의미한다.⁹⁾

둘째, 선정시점은 사업화 여부에 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 한계효과 분석 결과 선정시점이 1개월 짧아질수록 사업화 매출액은 15.7% 증가하는 것으로 나타났다. 연구과제 선정 시점이 빠를수록 상대적으로 사업화 성과 창출을 위한 기간이 증가함에 따라 사업화가 잘 이루어졌지만, 사업화가 되고 난 후에는 선정시점이 사업화 매출액 크기에 영향을 미치지 않은 것으로 해석할 수 있다.

셋째, 모든 조건이 동일할 때 평균적으로 국공립 및 출연연구소, 대기업, 대학이 연구주체일 경우의 사업화 여부가 중소기업이 연구주체일 경

9) 평균 연구개발비 금액과 평균 사업화 매출액 금액을 활용하여 한계효과를 수준 값으로 환산하면 연구개발비가 1억 원 증가할 때 사업화 매출액은 8억 원 증가하는 것으로 나타낼 수 있으나, 이는 재변환 편의(retransformation bias)를 고려하지 않은 결과로 과대 또는 과소평가된 수치일 수 있다.

우에 비해 낮으며, -8.6배에서 -9.4배의 한계효과가 나타났다. 또한 대기업, 중견기업이 연구주체일 경우의 사업화 매출액은 중소기업이 연구주체일 경우에 비해 높은 것으로 나타났다. 중소기업의 경우 통상적으로 대기업이나 중견기업에 비해 상대적으로 적은 금액의 판매 또는 수주 계약을 체결하기 때문에 사업화 여부가 높게 나타나는 것으로 판단된다. 마찬가지로 대기업, 중견기업의 경우 높은 금액의 판매 또는 수주 계약을 체결하기 때문에 사업화 여부는 중소기업에 비해 낮게 나타날지라도 사업화 매출액의 크기는 높게 나타나는 것으로 풀이할 수 있다.

넷째, 연구수행 건수는 사업화 여부에 정(+의 영향을 미치는 것으로 나타났다)며, 한계효과 분석 결과 1건의 연구수행 건수가 증가할 때 사업화 매출액은 34.2% 증가하는 것으로 나타났다. 환경기술개발사업 수행 경험이 많을수록 사업화가 잘 이루어지지만, 사업화가 되고 난 후에는 연구수행 경험이 사업화 매출액 크기에는 영향을 미치지 않은 것으로 해석할 수 있다.

다섯째, 연구개발단계가 응용연구, 개발연구, 기타연구일 경우의 사업화 여부가 연구개발단계가 기초연구인 경우에 비해 낮으며, -2.2배에서 -3.5배의 한계효과가 나타났다.

이러한 결과는 통상적으로 개발연구에서 사업화 성과를 기대하는 측면을 고려하면 예상과 반대되는 결과라 할 수 있지만, 기초연구로 분류되어 개발된 연구과제가 기술실시계약 등을 통한 사업화 매출액 창출에 더 효과적이었던 것으로 해석할 수 있다.

여섯째, 주관연구기관의 소재지역이 충청 지역인 경우의 사업화 여부가 소재지역이 서울인 경우에 비해 높으며, 2.9배의 한계효과가 나타났다. 일반 소비자가 수요처인 제조업 제품과 달리 환경기술의 수요처는 지자체, 지역 유관기관 등의 비중이 높다. 충청지역은 국토의 중앙에 위치하고 있어 전국 지자체와 접근성이 좋으며, 접근성에 기인한 영업활동으로 인해 사업화 여부에서 서울에 비해 높게 나타나는 것으로 판단된다.

마지막으로, 환경분야가 상하수도, 자원순환 분야인 경우의 사업화 여부가 기후대기인 경우에 비해 높으며, 2.3배에서 4.5배의 한계효과가 나

타났다. 반면 토양지하수 분야인 경우의 사업화 여부는 기후대기인 경우에 비해 낮으며, -3.8배의 한계효과가 나타났다. 이러한 결과는 해당 환경 분야의 시장규모에서 기인하는 것으로 판단된다.¹⁰⁾

〈표 2〉 모형추정결과

| 변수 | 더미 | 사업화 여부 | | 사업화 매출액 크기 | | 한계효과 | |
|-----------------------|-------------|-----------|--------|------------|--------|-----------|-------|
| | | β | S.E | β | S.E | β | S.E |
| (Ln)연구개발비 | - | 0.187 | 0.114 | 0.937*** | 0.282 | 1.447** | 0.654 |
| 연구기간 | - | -0.006 | 0.008 | 0.009 | 0.017 | -0.030 | 0.047 |
| 선정시점 | - | -0.278*** | 0.004 | 0.002 | 0.013 | -0.157*** | 0.023 |
| 연구주체 (0=중소기업) | 국공립 및 출연연구소 | -1.717*** | 0.327 | -0.646 | 0.866 | -9.358*** | 1.157 |
| | 대기업 | -0.478** | 0.273 | 1.501*** | 0.506 | -2.297 | 1.768 |
| | 중견기업 | -0.394 | 0.370 | 2.598*** | 0.820 | -1.230 | 2.592 |
| | 대학 | -1.511*** | 0.215 | -0.415 | 0.651 | -8.563*** | 0.948 |
| | 기타 | -1.082** | 0.393 | -0.017 | 1.006 | -6.474*** | 2.074 |
| 참여기업 수 | - | -0.002 | 0.016 | -0.020 | 0.030 | -0.019 | 0.092 |
| 연구수행 건수 | - | 0.058* | 0.033 | 0.030 | 0.097 | 0.342* | 0.193 |
| 연구개발단계 (0=기초연구) | 응용연구 | -0.608*** | 0.198 | -0.258 | 0.522 | -3.480*** | 1.063 |
| | 개발연구 | -0.352** | 0.160 | -0.497 | 0.379 | -2.191** | 0.890 |
| | 기타연구 | -0.778*** | 0.253 | -0.527 | 0.628 | -4.438*** | 1.257 |
| 소재지역 (0=서울) | 인천/경기 | -0.015 | 0.174 | 0.175 | 0.386 | -0.188 | 0.975 |
| | 충청 | 0.533*** | 0.200 | -0.220 | 0.424 | 2.901*** | 1.123 |
| | 경상 | 0.124 | 0.255 | 0.610 | 0.596 | 0.940 | 1.481 |
| | 전라 | 0.510 | 0.321 | -0.950 | 0.689 | 2.401 | 1.767 |
| | 강원 | 0.068 | 0.582 | -0.492 | 1.281 | 0.183 | 3.223 |
| | 기타 | 0.051 | 0.263 | 0.243 | 0.621 | 0.379 | 1.499 |
| 환경분야 (0=기후대기) | 상하수도 | 0.718*** | 0.209 | 0.287 | 0.427 | 4.569*** | 1.305 |
| | 물환경 | -0.276 | 0.245 | -1.097* | 0.616 | -1.956 | 1.361 |
| | 자원순환 | 0.353* | 0.184 | 0.300 | 0.420 | 2.320** | 1.163 |
| | 자연보전 | 0.222 | 0.373 | -0.494 | 0.904 | 1.141 | 2.282 |
| | 토양지하수 | -0.681*** | 0.252 | -0.351 | 0.668 | -3.796*** | 1.248 |
| | 환경보건 | 0.024 | 0.591 | -1.664 | 2.114 | -0.509 | 3.413 |
| 기타 | -0.158 | 0.269 | -0.419 | 0.663 | -1.081 | 1.569 | |
| 상수항 | | -4.323** | 2.205 | -0.243 | 5.599 | - | |
| 모형전체의 검정통계량 | | 280.85*** | | | | | |
| Pseudo R ² | | 0.157 | | | | | |
| lnL | | -751.458 | | | | | |

주) a. 한계효과의 표준오차는 Delta-method에 의한 표준오차

b. *** p ≤ 0.01; ** p ≤ 0.05; * p ≤ 0.1

10) 환경부(2021)는 2019년 기준 국내 환경산업별 매출액으로 자원순환관리 분야 29조 4,928억 원, 물관리 분야 25조 9,325억 원, 기후대응 분야 3조 3,068억 원, 대기관리 분야 5조 6,732억 원, 환경복원 및 복구 분야 1조 54억 원 등을 공표하였다.

V. 결론 및 연구의 한계점

본 연구는 2011년부터 2018년까지의 기간 동안 선정되고 종료된 사업화 목적의 548개 환경기술개발사업 연구과제를 대상으로 허들모형을 이용하여 사업화 여부 및 사업화 매출액 크기에 영향을 미치는 요인을 도출하고 요인별 한계효과를 분석하였다. 분석 결과를 종합하고 그에 따른 정책적 시사점을 도출하면 다음과 같다.

첫째, 각 독립변수들이 사업화 여부에 미치는 영향과 사업화 매출액 크기에 미치는 영향의 방향이 서로 다른 경우가 나타났다. 즉, 사업화가 이루어지는 데 유리한 변수가 반드시 높은 사업화 매출액을 이루게 되는 것은 아니다. 대표적으로 대기업이 연구주체인 경우보다 중소기업이 연구주체인 경우에서 사업화 여부가 높게 나타나지만, 사업화 매출액 크기는 중소기업이 연구주체인 경우보다 대기업이 연구주체인 경우에서 높게 나타났다. 이러한 결과는 상대적으로 사업화 확률이 높은 중소기업과 상대적으로 사업화 매출액이 큰 대기업 중 어느 연구주체를 지원할지에 대한 선택 문제를 가지게 한다.

둘째, 연구개발비 규모가 클수록 사업화 가능성을 높여주고 사업화 매출액도 증가시켰다.¹¹⁾ 즉, 대형과제일수록 사업화 성과가 크게 나타난다는 의미인데, 정책적으로 중요한 환경분야 및 과제에 대해서는 성과 창출을 위하여 연구개발비를 집중 지원할 필요가 있다.

셋째, 시작된 지 오래된 과제일수록 사업화 가능성을 높이는 것으로 나타났다. 이는 연구과제가 사업화되기 위해서는 충분한 회임기간이 필요하다고 해석하는 것이 바람직하며, 회임기간을 줄이고 연구과제의 사업화 가능성을 높이기 위하여 정부는 판로개척, 수요처 연계 홍보, 기술이전, IP-R&D, 기술가치평가 등 다양한 기술 기반의 성과 확산 프로그램을 지원할 필요가 있다.

11) 연구개발비가 사업화 여부에 미치는 영향에 대한 유의확률(P-value)은 0.102로 0.1에 근접하다.

넷째, 대학이나 연구소, 대기업, 중견기업이 연구주체인 경우에 비해 중소기업이 연구주체인 경우 사업화 가능성이 높은 것으로 도출되었다. 따라서 특허, 논문, 공공활용 등 다른 연구개발 성과 외에 단순히 사업화 성과 창출만을 목적으로 할 경우에는 대학이나 연구소보다는 중소기업의 연구과제 참여를 확대할 필요가 있다. 또한 연구과제 종료 후 연구과제와 연계된 컨설팅, 사업화 자금, 투자유치, 융자금 등 기술사업화 촉진 프로그램을 중소기업에 적극 지원하여 연구개발 성과를 확산시킬 필요가 있다.

다섯째, 연구주체의 연구수행 경험이 많을수록 사업화 가능성을 높이는 것으로 나타났다. 이는 축적된 연구과제 사업화 노하우가 사업화 여부에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이러한 측면을 고려하여 매년 환경부와 한국환경산업기술원이 발간하는 환경기술개발사업 우수성과사례집에서 기술 개요, 기술의 특징, 차별성, 기대효과 등의 내용 외에 해당 기술의 사업화 노하우를 체계적으로 정리·기재하여 노하우를 공유할 필요가 있다.

마지막으로, 환경분야에 따라 사업화 여부의 차이가 나타났으나, 이는 환경분야별 시장규모에 따른 결과로 해석할 수 있다. 전술한 바와 같이, 사업화 성과 창출에 초점을 맞출 경우 사업화 가능성이 높은 환경분야의 연구개발사업 예산 확대를 고려할 수 있겠으나, 국가연구개발사업의 성과는 사업화 외에도 논문, 특허, 공공활용을 통한 정책지원 등 다양하고, 특히 환경기술개발사업의 목적은 사업화 외에도 공익적 부분이 크기 때문에 면밀한 검토가 필요하다고 할 수 있다.

정부는 한국판 뉴딜 종합계획(관계부처 합동, 2020)에서 녹색산업 혁신 생태계 구축을 위하여 온실가스 감축, 미세먼지 대응, 자원순환 촉진 등의 녹색혁신 기반 R&D를 추진하고, 청정 대기, 생물 소재, 수열 에너지, 미래 폐자원, 자원 순환 등 녹색산업 5대 선도 분야의 기업을 육성하겠다고 밝힌 바 있다. 본 연구의 결과는 그린뉴딜, 탄소중립 등 정부의 환경정책 추진과 관련한 환경기술개발사업의 지원방향을 정하고 사업화 지원 프로그램을 운영하는 데 있어 정책적 시사점을 제공한다.

그러나 본 연구에서 사용된 매출액 자료는 기여율 산정 방식에 따라 매

출액 수치가 달라질 수 있으므로 어느 정도의 내생성을 가진다고 할 수 있다. 또한 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)에서 제공하는 국가연구개발사업 조사·분석 자료는 사업기간 종료 후의 추적조사 결과를 반영하고 있지 않기 때문에 연구개발과제의 사업화 성과가 과소 측정될 여지가 높다. 마지막으로 본 연구는 공공활용, 기초지식, 연구기반의 축적, 연구인력의 육성, 논문, 특허 등 사업화 외에 다양한 연구과제 성과를 간과하고 있다. 따라서 본 연구의 결과는 이러한 한계 하에서 해석되어야 할 것이며, 향후 문제점들을 보완한 연구가 진행될 필요가 있다.

■ 참고문헌 ■

- 고은옥·장필성·김연배, 2014, “정부 연구개발사업의 성과창출요인에 관한 연구: IT와 CT산업을 중심으로,” 『기술혁신연구』, 22(3), pp.261-286, DOI: 10.14383/SIME.2014.22.3.261.
- 과학기술기본법 시행령, 2021, 대통령령 제31380호.
- 과학기술정보통신부, 2021, 『국가연구개발사업 전략계획서 작성 가이드라인』, 세종: 과학기술정보통신부.
- 관계부처 합동, 2020, 『한국판 뉴딜 종합계획』, 세종: 관계부처.
- 권오상·한귀택, 2006, “농림기술개발사업의 기술이전 성과 결정요인 분석,” 『농촌경제』, 29(3), pp.51-65.
- 기술의 이전 및 사업화 촉진에 관한 법률, 2020, 법률 제17524호.
- 김근령·김기홍, 2016, “계약기업 R&D투자의 시차효과에 관한 연구,” 『보건경제와 정책연구』, 22(1), pp.21-38.
- 김주경, 2013, “환경 R&D 투자성장에 영향을 미치는 요인 및 전략 연구 - 차세대핵심환경 기술개발사업을 중심으로,” 박사학위논문, 경희대학교, 서울.
- 심우중·김은실, 2010, “우리나라 국가연구개발사업 정부연구비의 투입 대비 성과의 다각적 분석,” 『기술혁신학회지』, 13(1), pp.1-27.
- 이수지·김태운, 2015, “국가R&D 사업화 영향요인에 관한 연구 - 부품·소재산업경쟁력 향상사업 사례를 중심으로,” 『기술혁신학회지』, 18(4), pp.590-620.
- 이현준, 2013, “기업 연구개발 성과의 시차효과 분석 연구 - Almon 모형을 중심으로,” 석사학위논문, 서울대학교, 서울.
- 정규영, 2019, “국가연구개발사업 사업화 성과에 영향을 미치는 요인 분석: 사업화연계

- 기술개발사업을 중심으로,” 석사학위논문, 고려대학교, 서울.
- 한대훈, 2019, “환경분야 R&D 사업 성과에 영향을 미치는 요인에 관한 연구,” 석사학위 논문, 서울대학교, 서울.
- 환경기술개발사업 운영규정, 2020, 환경부훈령 제1489호.
- 환경부, 2021, 『2019년 기준 환경산업 통계조사보고서』, 세종: 환경부.
- 환경부·과학기술정보통신부·산업통상자원부·고용노동부·해양수산부·농촌진흥청 등, 2018, 『제4차 환경기술·환경산업·환경기술인력 육성계획(18~22)』, 세종: 환경부.
- 환경부·한국환경산업기술원, 2021, 『환경기술개발사업 추진계획』, 세종: 환경부.
- Cameron, A. C. and P. K. Trivedi, 2010, *Microeconometrics using stata*, (Revised Edition), College Station, Tex.: Stata Press.
- Cragg, J. G., 1971, “Some statistical models for limited dependent variables with application to the demand for durable goods,” *Econometrica*, 39, pp.829-844.
- Wooldridge, J. M., 2002, *Econometric analysis of cross section and panel data*, Cambridge: The MIT Press.
- 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <http://www.ntis.go.kr>, [2021.5.29]

김정인: 미국 미네소타 대학에서 환경경제학 박사학위를 취득하고, 포항제철 경영연구소에서 수석 연구원 역임 후 2000년부터 중앙대학교 경제학부 교수로 재직 중이다. 주요 저서로는 『녹색성장 1.0』, 『물과 인권』, 『물과 사회적 가치』, 『기후변화와 인간복지』, 『그린 잡(Green Job)』 등 다수가 있다. 이외에 배출권거래제, 기후변화 관련 다수의 학술지를 집필했다(jeongin@cau.ac.kr).

신광근: 중앙대학교 대학원 경제학과에서 응용경제학 박사과정을 수료하였으며, 현재 한국환경산업기술원에서 선임연구원으로 재직 중이다. 관심분야는 환경기술개발사업 성과창출 및 환경기업 육성 관련 정책분석 등이다(high9sky@keiti.re.kr).

투 고 일: 2021년 06월 20일
 심 사 일: 2021년 06월 24일
 게재확정일: 2021년 07월 06일