

연구개발투자의 수익률 추정 연구

(Measurement of the Returns to R&D)

인하대학교 산학협력단

오 동 현

한국과학기술기획평가원

제 출 문

한국과학기술기획평가원 원장 귀하

본 보고서를 “연구개발투자의 수익률 추정 연구”의 최종보고서로 제출합니다.

2020 . 11. 30.

연구기관명 : 인하대학교 산학협력단

연구책임자 : 오 동 현

연 구 원 : 이 신 우

연 구 원 : 이 준 민

연 구 원 : 샤모하마디 메디

요 약 문

I. 연구의 배경

- 최근 정부 R&D 예산이 24조원을 돌파함에 따라 지속적인 국가 R&D 투자 확대에 대한 성과와 당위성을 재확인할 필요성 대두
 - 2020년 정부 R&D 예산은 24조 874억 원으로 편성되었으며 혁신적 기초연구, 혁신성장 확산·가속화, 소재·부품·장비 분야 국가 경쟁력 강화 등에 중점 투자
 - 『2021년도 정부연구개발(R&D) 투자방향 및 기준(안)』에 따르면 과학기술 혁신, 경제발전 기여, 삶의 질 개선의 기본 투자기조를 유지하면서, ‘혁신성장 성과 가속화’를 위한 투자에 주력
- 경쟁력 확보와 혁신 성장을 위해 국내뿐만 아니라 많은 나라에서 연구개발투자 장려 정책 추진
 - 최근 많은 나라에서는 공공부문의 지출 건전성과 관련하여 R&D 지원정책의 근거 및 범위를 명확히 할 필요성 제기
 - 점차 규모가 커지는 다양한 연구개발 관련 지원정책에도 불구하고 미국을 비롯한 EU 국가들의 GDP 대비 연구개발비 비중은 매우 미미하게 증가하였으며, 이를 토대로 R&D 지원 정책의 실효성에 대해 의문 제기
- 국내 GDP 대비 연구개발투자 비율은 4.81%로 세계 1위 수준(2018년 기준)이며 경제성장률은 2.9%(2018년 기준)를 기록
 - 주요 선진국에 비해서는 높은 편이나 신흥 개발도상국에 비해서는 낮은 편
 - 기업의 적극적인 연구개발 투자가 국내 연구개발비 상승을 견인하였으며, 정부의 중소기업 연구개발비 직접지원도 지속적으로 확대
 - 주요국의 중소기업 연구개발 직접지원금과 비교하면 미국 다음으로 큰 규모이며 국정과제로 ‘중소기업 전용 R&D 2배 확대’가 진행되고 있는 바, R&D 지원 대상이나 전략적 투자방향 마련이 시급

○ 국내 R&D는 제조업을 중심으로 소재·부품·장비 경쟁력 강화, 혁신성장 가속화를 위한 R&D 활동을 장려

- 『2021년 정부연구개발 투자방향 및 기준(안)』에 따르면, 정부 R&D 투자의 연속성 유지, 주요 정책과의 연계 및 투자 여건 변화를 반영한 중점투자방향 제시, R&D 예산 24조원 시대의 성과창출 강화 등을 강조
- R&D 투자의 효율성 제고를 위해 혁신성장 핵심분야를 중심으로 R&D 투자를 확대하고, 특히 빠르게 신기술이 등장하는 4차 산업혁명에 대응하기 위해 국내외 이미 개발된 기술을 최대한 활용
- 주력산업 경쟁력 제고 및 신산업 혁신성장을 통해 경제성장 기반 확충하고 다양한 수요를 고려한 연구개발로 국민의 삶의 질 제고하며, R&D 성과 창출 가속화를 위한 지속적인 투자시스템 혁신

○ R&D 투자는 수익성 향상 및 기업 가치의 증대, 더 나아가 경제성장까지 도모

- 경제성장은 단순히 자본과 노동 등의 본원적 투입요소를 증가시킬 경우만이 아니라, 교육을 통한 인적자본의 증대, R&D를 통한 무형자산 증대, 공공인프라 건설을 통한 생산효율성의 증대 등 통해 이루어짐
- R&D 투자를 통해 국가산업 전체의 기술 수준을 높일 수 있고 숙련된 고급인력을 배출할 수 있으며, 생산성 증대, 경제성장까지 도모 가능
 - 황석원 외 (2019)에서는 경제성장을 위한 가장 실질적인 방법으로 R&D 투자라고 언급하였으며, R&D 투자는 경제시스템의 생산성을 개선하는 일이라고 정의

○ R&D 투자에 대한 관심이 고조됨에 따라 R&D 효율성 및 그 파급효과에 대한 연구는 다양하지만, R&D 수익률에 대한 연구는 해외에 비해 국내는 다소 부족

- Hall et al.(2010) : R&D의 파급효과와 수익률을 추정하는 기존 실증 연구들을 정리하였으며, 전통적인 생산함수와 비용함수를 이용한 R&D 수익률 추정
- Bloom et al.(2013)은 1980년부터 2001년 사이의 미국 기업을 대상으로 R&D의 사회적 수익률을 추정하였으며, 이때 기업가치함수를 이용하여 연구개발의 부정적인 외부효과 또한 고려
- 서중해(2005)는 국내 제조업에 종사하는 기업 자료를 이용하여 R&D의 사적 수익률을 추정하였지만, R&D의 사회적 수익률을 추정하지 않음

- 정부 재정은 한정적이기 때문에 적은 비용으로 더 많은 R&D 및 파급효과를 유발할 수 있는 동기 마련이 필요
 - R&D는 자원 배분이 가장 큰 문제이며, R&D로 발생하는 부정적인 효과를 제거하여 R&D 투자 관련 정책 수립의 적절한 방향 설정이 요구됨
 - R&D 정책에 따라 주력 산업을 선정하고 그에 따른 R&D 투자의 집중 및 확대가 필요
 - R&D 투자의 우선순위를 설정하는데 참고할 수 있는 자료 생성 및 투자 효율성 제고에 기여할 수 있는 방안 모색이 필요
 - R&D의 파급효과는 기업, 시대, 국가, 연구개발의 대상이 되는 기술에 따라 다르지만 R&D 수익률을 통해 그 파급효과가 더 크게 나타나는 분야를 확인할 수 있다면 정부의 정책대상 선정시 좋은 지표로 활용 가능

II. 연구의 목표 및 내용

1. 연구의 목표

- 산업 수준 데이터를 활용하여 R&D 투자 수익률을 추정하고, 이를 통해 R&D 예산 편성과정에서의 정책수립 근거를 제시
 - 국내 R&D 수익률과 관련된 기존 연구는 비교적 오래된 데이터를 바탕으로 하고 있어 데이터 갱신이 필요
 - R&D투자 수익률이 산업별로도 정교하게 산출된다면, 중점 산업 선정 및 세부 예산안 수립 과정에서도 R&D 예산투입의 근거자료로 활용 가능
- 국내외 R&D 투자의 수익률 관련 선행연구를 바탕으로 R&D 수익률 계측
 - 기존 R&D 파급효과와 투자 관련 수익률 분석 선행 연구를 위주로 국내외 최신 연구의 동향 및 실증분석 결과 정리
 - 선행 연구의 R&D 수익률 추정 결과값을 본 연구의 결과와 비교하고 그 차이점 또한 심층 분석하며, R&D 투자 관련 정책수립 근거에 있어 R&D 수익률의 필요성 및 중요성 강조

- 산업 단위 데이터를 중심으로 연구개발 투자 수익률 및 파급효과 도출하고 경제성장 제고를 위한 정책적 시사점 제시
 - 산업 단위에서 연구개발 투자의 수익률을 도출하고 이를 바탕으로 국민경제의 성장에 미친 영향을 추정
 - R&D 투자 수익률 산정의 의의, 한계, 활용방안 등 제시
 - 공공·민간의 R&D 투자 정책 수립에 참고할 수 있는 시사점 제시

2. 연구의 내용 및 범위

- R&D 투자에 대한 중요성을 “경제성장” 과 “수익률” 이라는 Keyword 중심으로 강조
 - R&D 투자는 생산성 증대와 경제성장으로 이어지는 선순환의 출발점이며, 수익성 향상 및 가치 증대에 있어 중요한 역할을 함
 - 거시경제학에서는 내생적 성장이론 및 신성장이론 등이 등장하면서 경제성장에 대한 기술진보와 R&D의 중요성을 강조하며, R&D가 기업 간의 전략적 관계 및 장기 성장성에 미치는 영향, R&D 파급효과를 추정하기 위한 실증연구가 많아짐
- 전통적인 생산함수를 이용한 R&D 수익률 추정 방법론을 중심으로 우리나라 산업별 R&D 수익률 계측
 - R&D 파급효과와 수익률을 추정한 실증 연구들은 생산함수나 비용함수에 R&D 스톡을 포함시켜 R&D의 산출탄력성을 도출하는 연구가 대다수
 - 전통적인 생산함수를 통해 최신 R&D 수익률 계측을 다룬 선행연구를 바탕으로 우리나라 산업에 적용할 수 있는 방법론 제시 및 실증 분석 수행(Griliches, (1979, 1981) ; Hall et al., (2010))
- 생산함수를 통한 R&D 수익률 계측 방법은 국내 R&D 특성을 제대로 반영하지 못하기 때문에, 확률적 변경 추정법(Stochastic Frontier Analysis; SFA) 등 최신

방법론을 적용하여 산업별 R&D 수익률 분석 수행

- R&D 수익률 분석은 R&D의 탄력성(elasticity)를 다루게 되는데, 이는 표본의 크기, 대상 산업, 국가, 시기 등에 따라 변동성이 발생
 - 선행연구 방법론의 경우 OLS 등 기초적인 회귀식을 이용하고 있으나, 이는 프론티어 산업과 그렇지 않은 산업 간의 기술적 효율성을 고려하고 있지 못하기 때문에 본 연구는 SFA 등 최신 방법론을 적용하여 R&D 수익률을 보다 정교하게 계측
- 전통적인 생산함수를 이용한 R&D 수익률 분석방법의 문제점을 개선하여 우리나라 산업별 R&D 수익률 도출
- 산업 수준 데이터를 활용하여 우리나라 전체 R&D 수익률, 각 산업의 R&D 수익률 추정
 - 산업별/시기별 R&D 수익률을 바탕으로 우리나라의 R&D 수익률의 변모상을 파악하여 R&D 투자 정책도구에 필요한 시사점 도출

III. 연구결과

- R&D 수익률 분석은 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 생산함수를 이용하여 분석을 수행하였으며, 분석 대상 산업은 제조업 분야 17개 산업을 대상으로 2006년부터 2017년까지의 R&D 수익률 추정
- 17개 산업을 기술 수준에 따라, 저위 · 중저위 · 중고위 · 고위기술산업군으로 구분
 - SFA, OLS를 이용하여 R&D 수익률 계측하였으며, 산업별 R&D 수익률을 살펴 보기 위해, i) 산업 더미를 적용하여 산업별 연구개발자본스톡의 산출탄력성을 도출하였으며, ii) 산업 더미를 고려하지 않은 경우와 고려한 경우를 비교 분석
- SFA를 통해 추정된 R&D 수익률은 OLS를 통해 추정된 R&D 수익률보다 크게 나타남
- OLS와 SFA로 추정된 R&D 수익률 중에 어느 것이 맞는지 명확하게 판단하기

어렵기 때문에, R&D 수익률을 범위로 표현

- 2006년부터 2017년까지 국내 제조업의 R&D 수익률을 연평균 11.5% ~ 31.9%로 추정되었으며, 분석기간 동안 제조업 R&D 수익률은 전반적으로 감소 (<요약표-1> 참조)
- R&D 수익률이 가장 높은 산업은 저위기술산업군인 목재·종이·인쇄 및 복제 산업이었고, 반면에 고위기술산업군인 전자부품·컴퓨터·영상 음향 및 통신장비 제조업은 분석기간 동안 가장 낮음
- 저위산업군의 R&D 수익률은 24.1% ~ 68.3%로 나타났으며, 분석기간 동안 R&D 수익률이 전체적으로 감소 추세를 보임
- 중저위산업군의 R&D 수익률은 10.6% ~ 29.2%로 추정되었으며, 2006년부터 2008년까지 소폭 상승하였으나, 이후에는 감소
- 중고위산업군의 R&D 수익률은 6.8% ~ 18.1%로 추정되었으며, 2006년에 비해 2017년 R&D 수익률이 감소
- 고위산업군의 R&D 수익률은 4.2% ~ 10.9%로 타 산업군이 비해 낮게 추정되었으며, 2016년까지 수익률이 감소하였지만, 타 산업군과 달리 2017년 수익률은 소폭 상승

〈요약 표〉 산업별 R&D 수익률의 범위 (단위: %)

산업군	사업	R&D 수익률 범위
저위기술산업군	기타 제조업	8.6 ~ 23.5
	목재, 종이, 인쇄 및 복제	54.7 ~ 161.3
	섬유 및 가죽	10.5 ~ 27.4
	음식료품 및 담배	22.5 ~ 61.0
	평균	24.1 ~ 68.3
중저위기술산업군	1차금속	19.6 ~ 56.3
	고무제품 및 플라스틱	7.7 ~ 19.8
	금속제품	15.8 ~ 43.0
	비금속 광물	5.8 ~ 15.6
	석탄 및 석유	4.0 ~ 11.1
	평균	10.6 ~ 29.2
중고위기술산업군	기계장비	3.7 ~ 9.2
	기타 운송장비	2.8 ~ 7.1
	자동차	4.7 ~ 12.0
	전기장비	10.6 ~ 28.3
	화학물질 및 화학	12.2 ~ 34.0
	평균	6.8 ~ 18.1
고위기술산업군	의약품 및 의료물질	6.9 ~ 18.6
	전자부품, 컴퓨터, 영상 음향 및 통신장비 제조업	2.4 ~ 6.0
	정밀기기	3.2 ~ 8.2
	평균	4.2 ~ 10.9
전체 평균		11.5 ~ 31.9

- 우리나라 제조업의 R&D 수익률은 정(+)의 값을 가지고 있는 것으로 분석되었으며 R&D 투자로 인해 유발되는 수익 효과는 긍정적
- 추정 방법에 차이는 있지만 연구개발자본스톡의 계수가 모두 정(+)의 값을 가지는 것을 볼 수 있으며, 이에 따라 R&D 수익률도 정(+)의 값으로 나타남
- 추정 방법에 따라 R&D 수익률 값은 다르지만 분석기간 동안 산업별 R&D 수익률은 모든 추정방법에서 유사한 흐름을 보임

IV. 연구의 시사점 및 한계

- 산업별 R&D 수익률 추정 결과를 통해 더 많은 부가가치를 창출하기 위해서는 R&D 수익률이 높은 산업을 대상으로 R&D 투자 지원 또는 집중 필요
 - 이때, R&D 수익률의 절대적인 평균 지표가 아닌 R&D 수익률이 시간에 따라 증가하는 산업을 눈여겨 볼 필요가 있음
 - 기타 제조업, 석탄 및 석유, 기계장비, 화학물질 및 화학, 전자부품·컴퓨터·영상음향 및 통신장비 제조업, 정밀기기 산업 등과 같이 과거에 비해 R&D 수익률이 높아진 산업을 중심으로 R&D 투자와 관련된 지원 및 장려 정책 필요
 - 과거에 비해 R&D 수익률이 낮아진 산업을 대상으로 산업 마다의 연구개발 성격, 시장구조 및 특성을 고려한 정책 수립이 필요
- 본 연구는 전통적인 생산함수를 통해 R&D 수익률을 계측하여 정책도구 개발의 방향성을 제시
 - 실증분석 결과는 R&D 투자의 성과를 파악하고, 예비타당성 조사 등 R&D 예산 정책 수립시 판단 기준으로 활용 가능
 - R&D 예산 배분 및 경제성장 기여도에 대한 새로운 판단 기준을 제시 가능
 - 정부 부처 등에서 동 연구를 통해 파생되는 여러 정책적 시사점에 관심을 가질 경우, 본 연구가 갖는 정책적 활용도가 높아질 것으로 예상
- 본 연구는 투입요소의 산출탄력성을 추정하여 R&D 수익률을 추정하였으며, 각 산업들이 가지는 고유한 특성을 고려하지 못함
 - R&D 투자의 산출탄력성 추정치는 국가, 시기, 표본의 크기, 대상 산업 등에 따라 매우 변동성이 크기 때문에 이러한 부분을 고려할 수 있는 방안 모색 필요
 - 각 산업들이 갖고 있는 고유한 특성을 생산함수에 반영하지 못하였으며, 추후 연구를 통해 산업의 특성을 고려할 수 있는 방안 모색 필요

S U M M A R Y

The main objectives of this study are to measure the returns to R&D and to provide the direction of policymaking for efficient usage of governmental R&D expenditure. In order to estimate the returns to R&D, we use and modified conventional models by employing several econometrics methods. For the empirical investigation, we use Korean industry-level data during the period between 2006 and 2017. The main reason for using such industry-level data is that the social rate of returns to R&D can be measured. For the elaboration of the measurement process, we also provide the framework for measuring the intra-industry social rate of returns to R&D. The main results are as follows. The average rate of returns to R&D ranges between 11.5% and 31.9%. Several low-tech industries showed a high average rate of returns to R&D with a decreasing trend over time, while certain of high-tech industries showed a quite different pattern.

C O N T E N T S

Chapter 1 Introduction	1
Chapter 2 Literature Review	6
Chapter 3 Methodology and Data	14
Chapter 4 Empirical Results	21
Chapter 5 Conclusion	38
References	43
Appendix	47

목 차

제 1 장 서론	1
제 2 장 선행연구 분석	6
제1절 산업 자료를 이용한 R&D 수익률 측정에 관한 선행 연구	6
제2절 기업 자료를 이용한 R&D 수익률 측정에 관한 선행 연구	8
제3절 국내의 R&D 수익률 측정에 관한 선행 연구	11
제 3 장 R&D 수익률 추정법과 분석 자료	14
제1절 콥-더글라스 생산함수를 활용한 R&D 수익률 추정 모형	14
제2절 확률변경분석법을 이용한 계수 추정	16
제3절 분석 자료	18
제 4 장 분석 결과	21
제1절 추정방법에 따른 계수 추정 결과	22
제2절 연구개발자본 수익률 추정 결과	25
제 5 장 결론	38
참고문헌	43
부록	47

〈 표 차 례 〉

〈요약 표〉 산업별 R&D 수익률의 범위 (단위: %)	VIII
〈표 2-1〉 산업 단위의 R&D 수익률	7
〈표 2-2〉 기업 단위의 사회적 직접 수익률	9
〈표 2-3〉 기업 단위의 사회적 간접수익률	10
〈표 2-4〉 우리나라 민간기업 연구개발투자 수익률 및 지식스톡 진부화율	12
〈표 3-1〉 자료의 기초 통계량($n = 204$)	19
〈표 3-2〉 산업별 투입 및 산출 요소들의 평균 ($n = 204$)	20
〈표 4-1〉 산업 더미를 고려하지 않은 OLS, SFA 모형의 계수	23
〈표 4-2〉 산업 더미를 고려한 OLS, SFA 모형의 계수	24
〈표 4-3〉 각 추정방법에 따른 평균 R&D 수익률 ($\delta = 0\%$; 단위: %)	28
〈표 4-4〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 저위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - OLS ($\delta = 0\%$; 단위: %)	29
〈표 4-5〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 중저위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - OLS ($\delta = 0\%$; 단위: %)	30
〈표 4-6〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 중고위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - OLS ($\delta = 0\%$; 단위: %)	30
〈표 4-7〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 고위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - OLS ($\delta = 0\%$; 단위: %)	31
〈표 4-8〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 저위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)	32
〈표 4-9〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 중저위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)	32
〈표 4-10〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 중고위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)	33
〈표 4-11〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 고위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)	33
〈표 4-12〉 산업더미를 고려하지 않은 연구개발자본 계수를 통한 산업별 연평균 R&D 수익률 ($\delta = 0\%$; 단위: %)	34
〈표 4-13〉 산업더미를 고려한 모형의 저위기술산업군 R&D 수익률 - SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)	35
〈표 4-14〉 산업더미를 고려한 모형의 중저위기술산업군 R&D 수익률 - SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)	35

〈표 4-15〉 산업더미를 고려한 모형의 중고위기술산업군 R&D 수익률 - SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)	36
〈표 4-16〉 산업더미를 고려한 모형의 고위기술산업군 R&D 수익률 - SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)	36
〈표 4-17〉 산업더미를 고려한 모형의 연구개발자본 계수를 통한 연평균 산업별 R&D 수익률 (단위: %)	37
〈표 5-1〉 산업별 R&D 수익률의 범위 (단위: %)	40
〈표 5-2〉 각 추정방법에 따른 2006년 대비 2017년 R&D 수익률 변화 (단위 : %p)	41
〈부표-1〉 산업 더미를 고려하지 않은 OLS, SFA 모형의 제조업 분야 전체에 대한 계수 - 식 (3)	47
〈부표-2〉 산업 더미를 고려하지 않은 OLS, SFA 모형의 제조업 분야 전체에 대한 계수 - 식 (5)	48
〈부표-3〉 생산함수 형태에 따른 모델	49
〈부표-4〉 가중치 행렬(W_{inter}, W_{intra})	54
〈부표-5〉 산업 간 R&D 수익률 추정을 위한 생산함수 모델	55
〈부표-6〉 가중치 행렬을 적용한 모델별 추정치 - OLS	56
〈부표-7〉 우세성 검정 결과 - OLS	57
〈부표-8〉 가중치 행렬을 적용한 항목별 계수 추정치 - SFA	58
〈부표-9〉 우세성 검정 결과 - SFA	59

〈 그림 차례 〉

[그림 4-1] 추정 모형별 제조업 전체 연도별 평균 R&D 수익률($\delta = 0\%$)	25
[그림 4-2] 추정 모형별 저위산업군 연도별 평균 R&D 수익률($\delta = 0\%$)	26
[그림 4-3] 추정 모형별 연도별 중저위산업군 연도별 평균 R&D 수익률($\delta = 0\%$)	26
[그림 4-4] 추정 모형별 중고위산업군 연도별 평균 R&D 수익률($\delta = 0\%$)	27
[그림 4-5] 추정 모형별 고위산업군 연도별 평균 R&D 수익률($\delta = 0\%$)	27

제 1 장 서론

우리나라 2020년 R&D 예산은 24조원을 돌파하였으며, 전년대비 약 18% 증가하였다(한웅용·김주일, 2020). 국가 R&D 예산은 경기 상황에 영향을 받지 않고 매년 꾸준히 증가하고 있으며, 이는 R&D 사업이 범국가 차원에서 차세대 성장 동력을 육성하고 경제성장의 원동력 역할을 수행하기 때문이다(황석원 외, 2010). R&D 사업을 통해 기술의 경쟁력을 확보할 수 있으며, 이를 통해 R&D 활동을 수행한 주체들은 수익성 향상 또는 가치의 증대 효과를 거둘 수 있다(한재필, 2018). 이러한 R&D 투자 확대 추세에 따라 R&D 투자 대비 효율성 확보가 요구되고 있으며, 이에 우리나라는 R&D 투자의 연속성을 유지하고 R&D 투자를 통한 혁신 성과 창출을 위해 다양한 지원책을 마련하고 있다. 뿐만 아니라 전 세계적으로 R&D와 관련된 활동을 지원하고 국가적 차원에서 관련 정책을 적극적으로 마련하고 있다. 특히 R&D 활동은 제품개발 및 기술전파 과정에서 부가적인 경제적 가치를 창출하기 때문에, R&D 활동에 대한 성과 및 그 효과에 대해 많은 연구가 이루어지고 있다.

R&D 활동을 통해 창출되는 성과는 정책 입안자, 기업의 의사결정자 및 경제학자들에게 있어, 매우 중요한 주제이다(Hall et al., 2010). R&D와 혁신에 대한 투자는 비용이 많이 들기 때문에 의사결정권자들은 R&D 투자가 긍정적일지 혹은 부정적일지 그 효과에 대해 항상 의문을 품는다. 또한 R&D 투자의 결과가 미래에 어떤 효과로 발현될지 알 수 없기 때문에 R&D 투자의 효과에 대해 점차 관심이 고조되고 있다. R&D 투자를 통해 창출될 수 있는 이익 중 정책 입안자는 사회적 또는 경제적 이익에 대해 관심을 갖고 경제학자나 기업의 의사결정자는 사적 이익에 대해 많은 관심을 갖는다(Hall et al., 2010).

R&D 투자는 기업뿐만 아니라 국가 차원에서 과학기술 분야를 비롯하여 다양한 분야에서 직·간접적으로 이루어지고 있다. 이러한 R&D 투자는 경제성장을 위해 가장 실질적인 방법이기도 하며, R&D 투자를 통해 경제 체제의 생산성을 개선할 수 있다(장필성 외, 2019). R&D 투자는 자본과 노동 등과 같은 본원적 투입요소 또한 증가시키며, 인적자본 증대, 특허와 같은 무형자산 증대, 공공인프라 건설을 통한 생산 효율성 증대 등 다양한 형태로 효과를 연결할 수 있다. 따라서 사회적으로 다양한 분야의 선순환 구조를 만들 수 있고, 그 분야의 수익성 향상과 가치를 상승시켜 국가 경제성장까지 도모할 수 있는 것이다.

또한 R&D 활동은 혁신 성과의 창출과 기술의 발전을 야기한다. 혁신은 새로운 시장에 진입하고 현재의 시장 점유율을 확대시키며 경쟁 우위를 확보할 수 있는 기본적인 성장전략이다(양울민 외, 2017). 기술이 발전하고 글로벌 경쟁이 치열해지면서 이러한 혁신활동이 더욱 강조되고 있으며, 지속적 경쟁 우위를 구축하기 위해 기업과 정부는 R&D 활동을 장려한다. R&D 활동을 통해 나타난 혁신 성과는 R&D를 수행한 주체만 경제적 혜택을 얻는 것이 아니라, 그 주체와 기술적·경제적 관계를 맺고 있는 다른 주체의 활동에도 여러 긍정적인 영향을 미친다. 새롭게 개발된 혁신적인 제품 및 기술은 품질 제고 및 제품가격의 하락 등을 통해 소비자 후생을 향상시킬 수 있으며, 공정 혁신과 같은 활동을 통해 생산성 또한 향상 가능하다(한재필, 2018). 이와 같은 R&D 활동을 통해 나타나는 혁신의 직·간접적인 영향으로 인해 R&D 파급효과(spillover)에 대한 논의가 대두되고 사회적 요구 또한 증대되고 있다.

전통적인 경제이론에서는 기술을 경제성장의 중요한 요인으로 간주하기는 하였으나, 일반적으로 경제 외부에서 외생적으로 주어진다고 본다(정우진 외, 2019). 초기 경제이론에서는 기술의 발전, 즉 기술혁신이 경제성장의 주요 요인으로 작용한다고 여겼지만, 80년대 중반 이후 미국에서 발전한 내생적 성장이론(endogenous growth theory)을 바탕으로 기술의 축적과 활용이 경제성장의 주요한 동인으로 다시 부각되었다(조운애, 2004). 여기서 내생적 성장 이론(endogenous growth theory)은 지식의 창출과 그 파급과정에서 발생하는 외부효과(externality)가 지속적인 경제성장의 원천이라 주장한다. 이때 외부효과는 경제주체가 자신의 활동으로 인한 결과물을 독점적으로 소유하지 못하고, 제3자 또는 사회로 편익이나 비용을 발생시키는 현상을 말한다. 이러한 외부효과는 R&D를 통해 나타나기도 한다. R&D의 외부효과 또는 파급효과는 R&D 결과가 기본적으로 공공재적 특성과 누적성을 가지고 있기 때문에 직접 R&D 활동을 하고 있는 주체라 하더라도 자신의 결과로부터 발생하는 이익을 독점적으로 전유하는 것이 불가능하여 발생한다. 즉, R&D를 통해 창출되는 성과는 체화된 제품을 통하여 타 국가 또는 산업으로 유출되기도 하며, 과거로부터 누적된 사회 전체의 지식이나 연구 결과물(특허, 논문 등), 연구개발자의 이동 등에 의해 유출된다¹⁾. 이 과정에서 R&D 통한 결과물(기술적 진보, 지식 등)은

1) R&D 투자의 파급효과에는 체화파급과 비체화파급으로 구분된다(Griliches, 1979; 1992). 체화파급은 특정 산업에서 개발된 기술이 체화된 생산요소의 거래를 통해 타 산업으로 파급되는 것을 의미한다. 이는 기술개발자가 품질 향상을 위해 사용한 가격을 완전하게 설정할 수 없기 때문에 발생한다.

공유(sharing), 이전(transfer), 파급(spillover), 확산(diffusion) 등의 다양한 형태로 다른 국가, 산업, 기업 등에 성과에 영향을 줄 수 있다(정우진 외, 2019). 따라서 R&D 투자에 대한 효과를 분석할 시에는 단순히 사적(private) 수익뿐만 아니라 R&D의 간접 효과가 포함된 사회적(social) 수익까지 고려해야 하는 것이다.

경제적 측면에서 R&D 투자가 산업별로 평균적으로 갖는 경제적 수익효과에 대한 추정치는 R&D 투자가 시장접근법에 의해서 추정하기 어려운 경우 매우 중요한 지표가 될 수 있다(황석원 외, 2010). R&D 투자의 경우 사업이나 과제의 시장이 세분화될수록 해당 시장에 대한 자료를 얻기 힘들기 때문에, 시장접근법을 통한 경제성 분석은 한계가 있다. 따라서 시장이 속한 해당 산업 분야에서 R&D 투자의 경제적 수익 효과를 추정하기 위해서는 어느 정도의 평균적인 기준이 필요한 것이다(황석원 외, 2010).

한편 지난 수년간 많은 경제학자들은 R&D 투자 수익률을 추정하는 다양한 방법을 개발해왔다. 대부분의 경우, 미시적 수준(level)에서 거시적 수준에 이르기까지 다양한 수준에서 R&D 투자 또는 자본을 측정하여 성장회계(growth accounting)의 분석틀 속에서 수익률 추정을 해왔다. 이러한 방식은 경제성장에 대한 자본과 노동의 기여분을 제외한 나머지 부분(residual)으로 총요소생산성(total factor productivity; TFP)을 계산하여 연구개발이 총요소생산성의 증가에 기여하는 것으로 파악하는 방식이다. 또 다른 방식으로 연구개발에 대한 총투자 수익률 개념으로 설명될 수 있는 연구개발투자의 한계생산물(marginal product)을 측정하는 것이다(이우성 외, 2011).

이러한 추정방법을 바탕으로 R&D 투자에 대한 수익률 연구는 주로 R&D 투자의 사회적 수익률 효과에 대한 연구와 사적 수익률 효과에 대한 연구로 진행되었다. 그러나 R&D 투자에 대한 수익률은 산업 또는 기업 단위에서 R&D 투자나 특허 활동 등과 관련된 자료가 부정확하고 부족하기 때문에 정확하게 R&D 투자 수익률 효과에 대한 추정은 매우 어렵다(한재필, 2018). 해외에서는 R&D 투자의 수익률과 관련된 실증 연구가 활발하지만 국내의 경우 R&D 투자의 수익률 연구가 미흡하고, 기존에 연구에서는 대부분 전체 제조업이나 고기술 산업군 등 산업군별 R&D 투자

비체화파급은 R&D 활동으로 축적되는 지식이나 노하우가 타 산업으로 파급되어 생산 활동에 사용되는 것으로 연구개발의 공공재적 특징에 기인한다. 이것은 체화파급처럼 생산요소의 거래를 수반하는 것이 아니라, 기술개발자가 연구개발로 얻게 되는 이득을 완벽하게 전유할 수 없을 때 나타난다. 대부분의 연구에서는 파급효과의 경로를 명확히 구분하지는 않는다.

의 수익률 효과에 대해서만 연구를 진행해 왔다. 이중 서중해 (2005), 이우성 외 (2009), 한재필 (2018)의 경우 세부 산업별로 수익률 연구를 진행하였다. 서중해 (2005)와 이우성 외 (2009)는 우리나라 산업을 대상으로 각각 사적, 사회적 수익률을 추정하였으며, 한재필 (2018)은 제조업 중분류 12개 산업에 대해 사적, 사회적 수익률을 모두 추정하였다.

본 연구는 산업 수준의 데이터를 활용하여 각 산업별 R&D 투자 수익률을 계측하고, 이를 통해 연구개발 예산 편성과정의 정책수립 근거를 제시하고자 한다. R&D 투자의 수익률이 산업별로 정교하게 산출된다면 중점 산업 선정 및 세부 예산안 수립과정에서 R&D 예산 투입의 근거자료로 활용할 수 있고, 각 산업의 R&D 투자가 경제성장에 기여한 정도까지 분석이 가능해진다. 또한 정부의 재원은 한정적이기 때문에, 적은 비용으로 더 많은 R&D 및 그 파급효과를 유발시킬 수 있는 적절한 지원 전략이 요구된다. R&D 투자는 자원 배분이 가장 큰 문제이기 때문에, R&D로 발생하는 부정적인 효과를 제거하여 R&D 투자에 관련 정책 수립의 적절한 방향 설정이 이루어져야 한다. 따라서 R&D 투자 관련 정책 수립시 주력 산업을 선정하고 그에 따른 투자의 집중과 확대의 기준 설정이 필요하며, 장기적인 관점에서 국가 경쟁력을 제고하고 양적·질적 측면까지 고려할 수 있는 방안이 필요한 것이다. 이를 위해 본 연구는 전통적인 생산함수를 이용하여 산업별 R&D 수익률을 추정하고자 하여 연구 결과를 토대로 정책적 함의점을 도출하고자 한다.

주요 연구결과는 다음과 같다. 우리나라 17개 산업의 전체 R&D 수익률 평균은 11.5 ~ 31.9%로 나타났다. R&D 수익률이 가장 높은 산업은 저위기술산업군인 목재·종이·인쇄 및 복제 산업이었고, 반면에 고위기술산업군인 전자부품·컴퓨터·영상 음향 및 통신장비 제조업은 분석기간 동안 가장 낮은 R&D 수익률을 보였다. 또한 기술수준은 낮은 산업의 경우 분석기간 동안 수익률이 감소하는 경향이 나타났으나, 기술수준이 높은 산업의 경우 분석기간 동안 수익률이 증가하거나 유지하는 경향이 나타났다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 연구개발투자의 수익률과 관련된 선행연구를 정리한다. 제3장에서는 실증분석에 쓰여진 방법론과 분석에 사용된 자료를 소개한다. 구체적으로 Hall et al. (2010)에서 다룬 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 생산함수를 이용한 수익률 방법론을 논하며, 실제로 어떻게 적용하였는지에 대해 논한다. 제4장에서는 추정된 결과를 바탕으로 연구개발의 수익률을 분석하였다. 마치

막으로 제5장에서는 실증분석의 결과가 우리나라 R&D 투자와 관련된 정책에 주는 시사점을 도출하고 결론을 맺는다.

제 2 장 선행연구 분석

제1절 산업 자료를 이용한 R&D 수익률 측정에 관한 선행 연구

R&D 투자의 중요성과 투자를 통해 창출되는 성과의 중요성이 강조되면서, R&D 효율성, 파급효과, 수익률 등 R&D 활동에 대한 다양한 연구가 진행 중이다. 그 중 R&D 수익률과 관련된 연구는 초기에 기업 수준의 자료를 바탕으로 진행되었다. 하지만 기업뿐만 아니라 국가 주도의 R&D 사업 또는 정책의 필요성이 대두되면서 산업 규모의 R&D 수익률에 관한 연구 수요가 증가하였다. R&D 수익률을 산업 수준에서 추정함으로써, 정부가 제한된 규모의 투자 예산이나 자원에 대해 효율적으로 배분할 수 있는 근거를 마련할 수 있다. 또한 산업 간 R&D 수익률을 추정함으로써 R&D를 수행한 산업이 타 산업에 미치는 영향에 대해 파악이 가능하였으며, R&D를 수행한 산업에 대한 역할에 대해 논의가 가능해졌다. 이에 따라 성장하는 산업에는 성장 가속화를 위한 지원, 쇠퇴하는 산업은 다시 성장할 수 있는 정책 혹은 지원 사업의 근거를 마련할 수 있는 계기가 되었다. <표 2-1>은 산업 자료를 바탕으로 R&D 수익률 추정한 선행연구들을 정리하였다. 선행 연구들은 산업 수준에서의 R&D 수익률이 0.2(20%) ~ 0.8(80%)까지 추정되었다. 또한 이들 연구는 각각의 분석 대상을 바탕으로 콥-더글라스와 초월대수 생산함수 뿐만 아니라, 비용함수와 같은 다양한 방법론을 통해 R&D 수익률을 추정하였다. 산업자료를 바탕으로 R&D 수익률을 추정한 주요 선행 연구들의 내용은 다음과 같다.

〈표 2-1〉 산업 단위의 R&D 수익률

연구	분석 대상	분석 기간	수익률
Bernstein and Nadiri (1991)	6 미국 제조업	1957~1986	0.21~0.86
Griliches (1994)	142 미국 제조업	1958~1989	0.12~0.46
Jones and Williams (1998)	12 미국 제조업	1961~1989	0.35
Cororaton (1999)	필리핀 (1,2,3차 산업)	1980~1996	54%~60% (1차 산업) 10%~12% (2차 산업) 60%~62% (3차 산업)
Kwon (2003)	한국 제조업	1987~1996	0.26~0.33 (산업 R&D)
Ejermo (2004)	264 스웨덴 기업	1996~1997	0.12 (산업 R&D) 0.23 (기업 R&D)
Lang (2009)	독일 제조업	1960~2005	Max: 0.25 Min: 0.07
Corderi and Lin (2011)	OECD 13개 국가 석탄, 석유, 핵 제조업	1987~2002	8.66%
Inglesi (2017)	G7 국가 에너지 산업	1985~2012	1.29%
Van (2019)	OECD 국가 과학 기술	1963~2011(Max)	-0.159~0.039

* 출처: Congressional Budget Office based on Mairesse and Sassenou(1991), Mohnen(1992), Australian Industry Commission(1995)을 재구성.

Lang (2009)은 독일의 제조업 분야를 중심으로 비용함수를 사용하여 사회적 수익률을 계측하였으며, 이때 총 R&D 비율과 R&D 스톡의 생산성을 구하여 수익률을 계측했다. 분석 결과, R&D가 생산성에 긍정적이고 중요한 영향을 미치지만 추정된 R&D 수익률은 일정하지 않았다. 또한 그는 R&D에 대한 생산 비용의 탄력성을 수익률의 지표로 사용하였으며 60년대에 수익률이 -0.07이었으나, 최근에는 -0.25로 크게 감소하였다고 추정하였다. 하지만, 수익률이 낮게 추정되는 것은 R&D 투자량 큰 연관은 없다고 주장하였다.

Corderi and Lin (2011)은 OECD 국가의 에너지 산업을 대상으로 하여, 총요소생산성(Total factor productivity; TFP)의 성장률을 통한 사회적 수익률을 추정하였다. 콥-더글라스 생산함수를 바탕으로 총요소생산성의 성장률을 통해 OECD 국가의 석탄, 석유제품, 핵연료 등 에너지 분야 제조업의 R&D 수익률을 구하였다. 분석결과,

미국과 영국은 해당 기술과 관련해 선두주자임에도 불구하고, R&D 수익률이 낮게 추정되었다. 또한 일본과 한국, 독일과 이탈리아와 같이 지리적으로 밀접하거나 비슷한 경향의 국가들의 사회적 수익률은 비슷하였고, 사회적 수익률은 국가뿐만 아니라 기간마다 다르다는 것을 확인하였다.

Inglesi-Lotz (2017)은 Corderi and Lin (2011)와 유사하게 콥-더글라스 함수를 바탕으로 한 총요소생산성 성장률을 통해 OECD 7개 국가의 에너지 산업의 사회적 수익률을 구하였다. 연구 결과, 에너지 효율 및 핵에 관한 산업의 수익률이 7개 국가 모두 높았으며, 반대로 화석연료 산업은 가장 낮았다. 또한 그는 단순히 사회적 수익률을 구하는 데 그치지 않고 R&D 수익률을 기반으로 R&D 자금 배분의 기준을 제안하였다.

van Elk et al. (2019)는 콥-더글라스 함수와 함께 초월대수(Translog) 함수를 이용하여 R&D 투자에 따른 수익률에 대해 분석했다. 1963년부터 2011년까지 OECD에 속한 22개 국가를 대상으로 분석하였으며, R&D 투자가 경제성장이나 생산성과 어떤 관계가 있는지 분석하였다. 그들은 R&D 지출에 대한 사회적 이익이 GDP나 총요소생산성의 성장을 통해 살펴볼 수 있는 경제성장 및 생산성과는 자동으로 연결되지 않음을 확인하였다. 또한 사회적 수익률은 국가가 처한 상황이나 사업의 특징에 따라 바뀔 수 있다는 점을 지적하였다.

Cincera and Veugelers (2014)는 콥-더글라스 생산함수를 이용하여 EU와 미국의 최첨단 산업의 R&D 수익률을 분석하였다. 분석 결과, 미국은 혁신적이고 기술 트렌드를 선도하고 있으며, 많은 R&D 투자를 통해 인재를 등용하고 기술개발을 수행하기 때문에 EU와 비교해 미국의 R&D 수익률이 높다고 평가하였다. 미국과 EU의 격차를 해소하기 위해서는 EU의 스타트업에 관한 정책 재수립, 및 지원 방향 검토가 필요하다고 주장했다. 또한 같은 산업군의 다른 국가의 수익률을 비교분석함으로써 해당 국가의 R&D 정책을 수립하는데 근거를 제시할 수 있다고 언급하였다.

제2절 기업 자료를 이용한 R&D 수익률 측정에 관한 선행 연구

기업 자료를 활용하여 R&D 수익률을 추정한 연구들은 대부분 연구개발 투자의 성공 또는 만족하는 결과를 보이는 특정 R&D 사업이나 새로운 발명품에 관한 내용으로 치우쳐 있고 또한 정량적 분석이 아닌 정성적 분석을 다루고 있어, 결과에 대

해 과대해석할 여지가 있다. 하지만 Griliches (1957), Mansfield et al. (1977) 등의 연구에서는 R&D 사업이나 분야의 영향력을 정량적으로 파악하는 연구를 수행하였으며, 이때부터 기업 자료를 이용한 생산함수 접근법을 사용하여 정량 분석이 수행되었다. 특히, 기업의 R&D 투자를 통해 기업 내 연구지식 축적과 관련 있는 특허 수와 해당 기업의 생산성과 수익률을 주제로 한 연구가 많이 진행되었다.

Nadiri (1993)은 기업 수준의 데이터를 이용하여 R&D 수익률을 추정한 선행연구들을 정리하였다. <표 2-2>와 <표 2-3>은 기업 수준의 직접 수익률과 간접 수익률을 정리한 것이다. 대부분의 연구는 콥-더글라스 생산함수를 비롯하여 총요소생산성을 활용한 방법과 같이 직접적으로 수익률을 계측하였다. 기업 수준의 데이터를 이용하여 추정된 사회적 수익률은 최소 6% ~ 최대 73%이다.

<표 2-2> 기업 단위의 사회적 직접 수익률

국가	연구명	수익률(단위:%)
미국	Griliches-Mairesse(1986)	30
	Griliches(1986)	33-39
	Griliches-Mairesse(1986)	25-41
	Jaffe (1986)	25
	Schankerman-Nadiri(1986)	10-15
	Bernstein-Nadiri(1989a)	9-20
	Bernstein-Nadiri(1989b)	7
	Griliches-Mairesse(1990)	27-41
	Lichtenberg-siegel(1991)	13
	Griliches-Mairesse(1993)	19
캐나다	Longo(1984)	24
	Bernstein(1988)	12
일본	Odagiri(1983)	26
	Odagiri-Iwata(1985)	17-20
	Griliches-Mairesse(1986)	20-56
	Sassenou(1988)	14-16
	Griliches-Mairesse(1990)	30-56
프랑스	Griliches-Mairesse(1990)	31
	Cuneo-Mairesse(1985)	55
	Mairesse-Cueno(1985)	6-26

* 출처: Nadiri(1993)을 바탕으로 재구성.

또한 Nadiri (1993)은 직접적 수익률과 반대로 기업의 투입·산출 데이터

(Input-output; IO), 특히 데이터를 기반으로 한 기술 행렬(technology matrix), 기술간 연결 행렬과 같은 기술적 흐름 접근법(technology flow approach)을 통해 간접적 수익률을 추정한 선행연구들을 정리하였다. 대체로 간접수익률은 직접수익률에 비해 낮았으며, 최소 0.5%에서 최대 26%까지 추정되었다.

〈표 2-3〉 기업 단위의 사회적 간접수익률

국가	연구명	수익률(단위:%)
미국	Longo(1984)	10-14
	Bernstein-Nadiri(1988b)	9-14
캐나다	Bernstein(1988)	20-26
일본	Sassenou(1988)	10
벨기에	Fecher(1989)	0.5

* 출처: Nadiri (1993)을 바탕으로 재구성.

한편, Hirschey and Weygandt (1985), Bublitz and Ettredge (1989), Aboody and Leb (1998)의 연구들은 기업의 R&D 투자가 늘어날수록 기업의 가치가 상승하는 양의 상관관계를 나타낸다고 주장하였고, 이때 기업의 내부적 요인과 더불어 기업의 외부적 영향인 파급효과의 중요성이 강조했다. 또한 Romer (1990), Grossman and Helpman (1991), Aghion and Howitt (1992)의 연구는 기업이 R&D의 외부성이나 파급효과와 같은 외부효과가 없다면 성장이 어렵다고 주장하였으며, 이를 토대로 이후에는 기업과 R&D 관계에 관한 연구에 있어 기업 성장의 내적·외적 요인까지 고려한 R&D 파급효과의 영향을 다루어야 한다고 주장했다. 기업의 연구개발에서 발생하는 수익은 소수의 투입자원으로 발생하는 것이 아닌 여러 가지 기업 내의 여러 자원이 서로 상호보완적 기능을 하여 수익을 발생시킨다(황석원 외, 2010). 예를 들면, 신기술을 효과적으로 공정과정에 접목하려면 신제품 제조에 해당하는 것뿐만 아니라, 새로운 공정관리 기술, 운영 및 판매 인원 등 다양한 자원들이 서로 상호보완적으로 작용하여 수익을 창출하는 것이다(황석원 외, 2010). 그러므로 기업의 연구개발에 의한 수익이 증가하기 위해서는 내부자원의 영향뿐만 아닌 외부자원의 효과도 연구되어야 한다.

외부효과를 적용한 대표적인 근래의 연구인 Bloom et al. (2013)은 1980년부터 2001년까지 20년의 미국 기업의 패널 데이터를 이용하여 사적·사회적 수익률을 추정하였다. 기업의 R&D 활동이 같은 상품시장에서 경쟁하는 기업의 가치에 미치는

긍정적·부정적 영향을 추정하여 R&D의 파급효과를 고려했다. 그들은 R&D 사회적 수익률이 사적 수익률보다 높다고 분석했다. 또한, 대기업과 중소기업의 사회적 R&D 수익률을 비교했을 때 중소기업이 높았다. 이는 중소기업이 더 적은 기술 연관도를 보이며, 대기업보다 적은 양의 파급효과가 발생하는 것을 알 수 있었다. 효과적인 기술의 파급효과가 발생하기 위해서는 중소기업을 중심으로 한 연구개발 정책이 이루어져야 한다고 주장하였다.

Chen et al. (2013)은 확률변경분석법(Stochastic Frontier Analysis; SFA)을 적용하여 New York Stock Exchange(NYSE), American Stock Exchange(AMEX) 또는 National Association of Securities Dealers Automated Quotation(NASDAQ)에 속한 기업의 R&D 파급효과를 계측하였다. 분석 결과, R&D 파급효과가 큰 기업들은 다른 기업의 인재를 영입하여 그 기업의 역량을 흡수하려는 경향이 있었다. 하지만 R&D 파급효과가 큰 기업들은 R&D에 직접적인 투자는 줄이고 있었다. 또한 장기적인 관점에서 R&D 투자가 기업에 어떤 영향을 미치는지에 대해 살펴본 결과, 외부에서 R&D 투자를 많이 받는 기업일수록 기업의 수익은 증가하고 장기적인 성과에도 긍정적인 영향을 받았다.

제3절 국내의 R&D 수익률 측정에 관한 선행 연구

제1절과 제2절의 내용처럼 해외에서는 R&D 수익률에 대해 다양한 자료를 이용하여 실증 연구가 진행되었으나, 국내에서는 실증 연구가 활발하지 못했다. 이러한 이유는 제1장에서 언급하였듯이 국내의 경우, 연구개발 활동과 관련된 자료가 부정확하거나 없는 경우가 많고 분석 범위에 따라 자료가 달라지는 등의 어려움이 있기 때문이다(한재필, 2018). R&D의 수익률에 대한 국내 연구는 간단히 살펴보면 다음과 같다.

조운애 (2004)는 1979년부터 2002년까지 외부감사를 받는 제조업체들의 기업 데이터를 바탕으로 콥-더글라스 생산함수를 사용하여 제조업별 산출 탄력성을 추정하였다. 또한, 국내에서 생산된 중간재의 산업 간 흐름을 나타내는 산업연관표를 사용하여 외부 연구개발자본을 측정하였다. 이를 통해, 국내의 정부출연연구소와 대학들을 통해 기술지식을 측정하고 기업에 영향을 끼치는 것을 알 수 있었다. 또한, 제조업 분야는 해외의 제조업과 관계가 깊으며, 해외의 자본재, 중간재, 부품을 통한 파

급효과가 컸다.

서중해 (2005)는 국내의 산업별 사적 수익률 추정 연구의 최초라 할 수 있다. 산업별 그룹의 기업 미시데이터를 통해서 지식자본의 진부화율(Depreciation rate)와 R&D 사적 수익률을 함께 추정하였다. 서중해(2005)에서 활용한 데이터는 기업의 자료이나 Pavitt(1984)의 기술변화 및 기술혁신의 패턴이 산업별 특성에 따라 구별된다는 사실에 근거하여 모집단을 상정하여 분석하였다. 실증분석을 위해 1차적으로 산업을 19개로 구분하였고, 이를 다시 8개 부문으로 통합하였다²⁾. <표 2-4>는 서중해(2005)의 결과를 정리한 것이다.

〈표 2-4〉 우리나라 민간기업 연구개발투자 수익률 및 지식스톡 진부화율

연구	연구개발투자 수익률		지식스톡 진부화율
	평균값	중간값	
(1) 식품·섬유·목재	-0.0362	0.0755	0.2495
(2) 화학	0.2341	0.1062	0.4302
(3) 제약	0.0360	0.1876	0.4478
(4) 금속·철강	0.2051	0.2071	0.1160
(5) 기계	0.0881	0.1096	0.3135
(6) 자동차	-0.0224	0.3316	0.3115
(7) 전기·전자	0.2221	0.1464	0.2674
(8) 서비스	-0.1093	0.1470	0.4949
전체*	0.0772 (0.1038)	0.1639 (0.1663)	0.3289 (0.3051)

* 주 : 8개 산업 추정결과의 단순 평균. () 안은 서비스를 제외한 제조업만을 대상으로 한 경우.

* 출처 : 서중해(2005)

배용호 외 (2008)는 제조업 분야에서 연구개발 투자의 정부와 민간, 해외자본에 의한 R&D 수익률을 추정하였다. 분석 결과 제조업 전체 R&D 사회적 수익률은 33.1%, 고기술산업군은 37%, 저기술산업군은 29.9%였다. 하지만 사회적 수익률을 추정할 때 실질 GDP 성장률과 부정적 외부효과의 크기를 실제 자료가 아닌 시나리오에 따랐다는 점에서 한계가 있다.

이우성 외 (2009)와 황석원 외 (2010)는 산업 수준의 집계자료를 이용해 산업 단

2) 8개 부문은 다음과 같다. (1) 경공업: 식품, 섬유, 목재, (2) 화학, (3) 제약, (4) 금속·철강: 비금속광물, 일차금속, 금속제품, (5) 기계: 일반기계, 정밀기계, (6) 자동차, (7) 전기·전자: 전기기계, 컴퓨터 및사무용기기, 반도체 및 전자부품, (8) 서비스: 전기·가스·수도, 건설, 통신, 전문서비스, 기타서비스

위의 R&D 수익률을 추정한 대표적인 연구이다. 특히, 이들 연구는 해외의 선행연구들이 의존하고 있는 기업 단위의 자료를 바탕으로 직접 파급효과를 추정하는 방식과 차별된다. 이우성 외 (2009)는 R&D 투자의 사회적 수익률은 최소 42.1%에서 최대 214% 추정되며, 황석원 외 (2010)은 산업별 사적 수익률을 최소 17.2%에서 최대 389.8%까지 매우 높은 수익률을 보인다고 제시하였다.

한재필 (2018)은 2007년부터 2016년까지 국내 제조업 기업의 R&D 투자 수익률 및 파급효과의 크기를 엄밀히 추정하였다. 분석 대상은 국내 제조업 중분류 산업 중 외부 감사 대상이 되는 기업을 대상으로 R&D 투자의 사적·사회적 수익률 및 경제적 파급효과를 추정하였다. 이때, R&D의 긍정적인 파급효과뿐 아니라 기업 간 경쟁적 요소로 인해 발생하는 부정적 파급효과도 반영하였으며, 이는 R&D의 파급효과가 과대평가되는 것을 방지하기 위함이다. 연구결과, 사회적 수익률과 사적 수익률의 평균은 각각 14.24%, 11.77%로 추정되었고, R&D 투자의 파급효과는 약 2.47%p로 나타났다.

제 3 장 R & D 수익률 추정법과 분석 자료

제1절 콥-더글라스 생산함수를 활용한 R&D 수익률 추정 모형³⁾

R&D 수익률을 계측하는데 가장 많이 쓰이는 방법은 생산함수를 이용한 접근법이다(Griliches, 1979; Hall et al., 2010; 한재필, 2018). 연구개발자본을 생산요소로 포함하는 확장된 콥-더글라스 생산함수를 이용하며, 이는 식 (1)과 같이 표현한다.

$$Y = AL^{\alpha}K^{\beta}G^{\gamma}e^{\varepsilon}, \quad (1)$$

여기서 Y 는 부가가치(생산), L 은 노동, K 는 자본, G 는 연구개발자본(R&D 스톡), ε 는 무작위 오차(random error)를 의미한다. 이때 A 는 상수, α, β, γ 는 각각 노동, 자본, 연구개발자본의 산출탄력성이다. 이때, Y 를 매출액으로 사용할 경우, 산식 (1)에 중간재투입요소를 도입하여 생산함수를 구성해야 한다.

식 (1)를 양변에 로그를 취함으로써 식 (2)와 같이 선형 모델로 바꿀 수 있으며, 이를 통해 각 항목의 탄력성을 쉽게 도출할 수 있다.

$$y_{it} = \eta_i + \lambda_t + \alpha l_{it} + \beta k_{it} + \gamma g_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

여기서 i 는 산업, t 는 시간을 나타내는 첨자이다. 기술 진보(technical progress)를 의미하는 로그 A 는 산업이나 기업 특유의 효과 η_i 와 시간효과 λ_t 의 합으로 나타낼 수 있다 (Hall et al., 2010).

식 (2)를 다시 각 변수의 증가율 간 관계식으로 표현이 가능하며, 그것은 식 (3)과 같다.

$$\Delta y_{i,t} = \lambda_t + \alpha \Delta l_{i,t} + \beta \Delta k_{i,t} + \gamma \Delta g_{i,t} + \Delta \varepsilon_{i,t}, \quad (3)$$

이때, 연구개발자본의 산출탄력성(γ)은 연구개발자본의 한계생산(ρ)과 산출 대비 연

3) Hall et al. (2010)의 방법론을 재구성.

구개발자본 비중(G/Y)의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$\gamma = \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln G} = \frac{G}{Y} \frac{\partial Y}{\partial G} = \rho \frac{G}{Y}. \quad (4)$$

식 (4)를 이용하면 식 (3)을 식 (5)와 같이 표현가능하다.

$$\Delta y_{i,t} = \lambda_t + \alpha \Delta l_{i,t} + \beta \Delta k_{i,t} + \rho \frac{(R_{i,t} - \delta G_{i,t-1})}{Y_{i,t}} + \Delta \varepsilon_{i,t}, \quad (5)$$

여기서 R 은 연구개발비를 의미하고, δ 는 연구개발 자본스톡의 진부화율 혹은 감가상각률(depreciation rate)을 의미한다. 많은 연구에서 통상적으로 감가상각률을 0%로 가정하나, 본 연구에서는 0%, 10%, 15%로 가정하여 분석한다.

한계생산이 일정하고 할인율이 불변이라는 가정 하에 연구개발자본의 한계생산인 ρ 는 R&D 수익률로 해석이 가능하며, 식 (5)의 ρ 값을 실증적으로 추정함으로써 수익률을 얻을 수 있게 된다(한재필, 2018). R&D 수익률 ρ 는 직접 추정하는 대신 식 (2) 또는 (3)에서 추정된 연구개발자본의 산출탄력성(γ) 추정치와 Y/G 을 곱한 값으로도 구할 수 있다.

$$\rho = \gamma \frac{Y}{G}. \quad (6)$$

또한 식 (5)는 완전경쟁시장과 규모수익불변 등의 가정을 통해 총요소생산성 증가율(ΔTFP)과 R&D 집약도(Intensity) 간의 관계를 통해 식 (7), (8)과 같이 R&D 수익률을 계측하기도 한다⁴⁾.

$$\Delta TFP_{i,t} = \lambda_t + \gamma \Delta g_{i,t} + \Delta \varepsilon_{i,t}, \quad (7)$$

4) 노동과 자본을 생산요소로 하는 콥-더글라스 생산함수를 이용한 총요소생산성 증가율은 $\Delta TFP_{i,t} = \Delta y_{i,t} - \alpha \Delta l_{i,t} - \beta \Delta k_{i,t}$ 로 표현 가능하며, 이때 α, β 는 각각 완전경쟁시장을 가정한 이윤극대화 모형의 해인 노동소득분배율과 자본소득분배율로 대체된다(한재필, 2018).

$$\Delta TFP_{i,t} = \lambda_t + \rho \frac{(R_{i,t} - \delta G_{i,t-1})}{Y_{i,t}} + \Delta \varepsilon_{i,t}. \quad (8)$$

식 (8)에서 $\delta=0$ 인 경우 $R_{i,t}/Y_{i,t}$ 로 나타낼 수 있으며, 이것은 R&D 집약도로 해석 가능하다.

생산함수 접근법은 오랫동안 많은 연구에서 광범위하게 사용되나, 몇 가지 한계 점이 존재한다. 산출 및 투입 변수 측정시 발생하는 오차로 인해서 외부성이 과대 추정될 우려가 있으며(Griliches, 1979; Hall et al., 2010; 한재필, 2018), 표본선택 편이가 발생할 경우 수익률이 과대 추정될 수 있다(서중해, 2005; ; 한재필 (2018) 재인용). 또한 R&D와 관련된 여러 실패 요인을 고려하기 힘들며, 연구개발자본의 진부화율 등 여러 요소들을 비현실적인 가정에 의존하고 있어 자료의 특성에 따라 R&D 수익률이 매우 다르게 추정된다(한재필, 2018).

제2절 확률변경분석법(Stochastic Frontier Analysis; SFA)을 이용한 계수 추정

본 연구는 우리나라 제조업 분야 산업의 생산과정을 함수화하여 모수를 추정하기 위해 확률변경분석법(SFA)과 최소자승법(method of least squares; OLS)을 사용하였으며, 이를 통해 정량적으로 각 투입 요소의 계수를 계측하여 수익률을 구한다. 확률변경분석법에 대한 내용은 다음과 같다.

N 가지의 투입 요소를 이용하여 한 가지의 산출 요소를 생산한다고 가정하여 식 (9)와 같은 생산함수로 표현가능하다.

$$Y = f(\mathbf{x}_{it}; \beta) e^{-u_{it}}, \quad (9)$$

여기서 i 는 산업, t 는 시간을 나타내는 첨자이고 Y 는 산출요소, $\mathbf{x}$ 는 투입요소이며, β 는 추정해야 하는 모수이다. u 는 비효율성을 나타내며, 어떤 산업이 최대로 생산해낼 수 있는 산출량에 비해 실제로 생산해 낸 산출량의 비율이다.

산식 (9)에서 본 연구가 관심을 갖는 항은 β 이다. β 는 투입요소의 산출탄력성이므로, 수익률 계측하는데 필수적인 요소이다. 제1절과 마찬가지로, 생산함수를 콥-

더글러스 형태를 갖고 있다고 가정하였다. 따라서 식 (9)의 양변에 로그를 취하면 다음과 같은 산식을 얻는다.

$$y_{i,t} = \beta_0 + \beta_L l_{i,t} + \beta_K k_{i,t} + \beta_G g_{i,t} - u_{i,t}, \quad (10)$$

여기서 y , l , k , g 는 각각 $\ln(Y)$, $\ln(L)$, $\ln(K)$, $\ln(G)$ 를 의미한다. 식 (10)과 같이 선형화된 생산함수를 추정하기 위하여 오차항 u_{it} 를 도입하여 다음과 같은 산식을 추정한다.

$$y_{i,t} = \beta_0 + \beta_L l_{i,t} + \beta_K k_{i,t} + \beta_G g_{i,t} - u_{i,t} + v_{i,t}. \quad (11)$$

SFA 모형은 무작위 오차 v_{it} 와 비효율성을 나타내는 확률변수 u_{it} 의 확률분포를 어떻게 가정하는지에 따라 달라진다. 본 연구에서는 식 (11)를 추정하기 위해서 u 와 v 를 각각 i.i.d.이며 평균이 0인 절반 정규분포(half-normal distribution)와 정규분포를 따른다고 가정한다. 즉, $u \sim N^+(0, \sigma_u^2)$ 이고 $v \sim N(0, \sigma_v^2)$ 이다(Battese and Coelli, 1992).

최대우도추정법을 이용하여 산식 (11)의 β 들과 σ_u , σ_v 를 추정하게 된다. 이 산식을 추정할 때 $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ 와 $\lambda = \sigma_u / \sigma_v$ 로 놓으면 최대우도함수를 보다 간명하게 표현할 수 있다. 산식 (11)의 최대우도추정법의 최대우도함수 및 모수의 변형에 대해서는 Kumbhakar and Lovell (2000)을 참고하길 바란다.

본 연구에서는 콥-더글라스 생산함수를 활용하여 최소자승법(OLS)과 확률변경분석법(SFA)를 이용하여 각 투입요소의 산출탄력성을 도출하고자 한다. 최소자승법과 같이 일반적인 회귀모형의 경우 무작위 오차만 고려하고, 확률변경분석법은 관찰된 생산수준과 생산변경 위의 생산수준의 차이를 비효율성과 무작위 오차의 합으로 구성되었다고 가정한다. 즉 최소자승법을 이용한 회귀분석과 확률변경분석법의 가장 큰 차이는 오차항에 있으며, 만약 분석대상이 되는 산업들이 모두 확률변경선상에 위치한다면(즉, $u_{i,t} = 0$), 최대의 효율성을 지닌 것으로 볼 수 있다. 따라서 이 경우, SFA 추정치와 OLS 추정치가 일치하게 될 것이다. 하지만 우리는 생산함수가 오차가 없는 확정적인 것으로 간주하지 않고 일정한 오차가 있는 것으로 가정하였으며, SFA 추정치와 OLS 추정치를 모두 추정하여 비교 분석하고자 하였다. 따라서 산식

(2)와 산식 (11)의 계수를 추정하여 각각에서 추정된 계수를 산식 (6)에 대입하고, 이를 이용하여 R&D 수익률인 ρ 를 계측하였다. 또한 이 과정에서 추정된 ρ 는 산업이 생산한 R&D 수익률이라고 볼 수 있으며, Jones and Williams (1998)이 언급하였듯이 산업자료를 이용하였기 때문에 각 산업에서의 사회적 수익률로 해석할 수 있다.⁵⁾

제3절 분석 자료

본 연구는 통계청의 국가통계포털(KOSIS)에서 수집한 기업활동조사 자료를 이용하여 분석했다. 기업활동조사 자료에는 농림어업, 제조업, 서비스업 등 다양한 산업이 포함되어 있지만 이 중 우리는 제조업 분야인 17개 산업에 대해 분석하였다. 분석기간은 2006년부터 2017년까지이고 총 관측치 수는 204개이다. 산출요소 Y 는 부가가치로 선정하였고, 투입요소인 L 은 종업원 수, K 는 유형자산으로 선정하였다. 이때 유형자산의 경우 자본스톡의 대리변수(proxy)로 사용하였다. 마지막 투입요소인 연구개발자본스톡(G)의 경우, 자료원의 연구개발비 변수를 활용하여 다음과 같은 과정을 통해 연구개발자본스톡을 추계하였다.

연구개발자본스톡 추계를 위해 영구재고법(PIM ; Perpetual Inventory Method)을 이용했다. 영구재고법을 이용하면 연구개발투자가 연구개발자본으로 축적되는 과정을 식 (12)와 같이 표현가능하다.

$$G_t = R_{t-\theta} + (1-\delta)G_{t-1} \quad (12)$$

식 (12)에서 G_t 는 t 기의 연구개발자본스톡, $R_{t-\theta}$ 는 $(t-\theta)$ 기의 연구개발투자액, δ 는 진부화율 또는 감가상각률(depreciation rate)을 의미한다. 본 연구에서는 감가상각률에 대해 0%, 10%, 15%로 총 3가지로 설정하여 연구개발자본을 계산하였다. 또한 초기 시점인 $t=1$ 의 연구개발자본을 구하기 위해 식 (13)을 적용하였다.

5) 본 연구는 특정 산업 내에서의(intra) R&D 수익률을 추정하였다. 산업 간(inter) 수익률도 고려하려 하였지만, 물리적 여건상 시범적으로 수행하였다. 그 결과는 <부록> 2, 3절에 수록하였다.

$$\begin{aligned}
G_0 &= R_0 + (1-\delta)R_{-1} + (1-\delta)^2R_{-2} + \dots \\
&= R_0 + [1-\delta-r]R_0 + [1-\delta-r]^2R_0 + \dots \\
&= R_0 \sum_{s=0}^{\infty} [1-\delta-r]^s = \left[\frac{1}{r+\delta} \right] R_0
\end{aligned} \tag{13}$$

여기서 r 는 각각의 산업에 대한 연구개발비의 연평균 성장률(Compounded Annual Growth Rate; CAGR)이다.⁶⁾ 산업별로 r 을 계산하여 연구개발자본스톡을 산업별로 산출하였으며, 만약 r 이 음수일 경우 전체 제조업 연구개발비의 연평균 성장률을 대치하여 사용하였다.

금액 단위로 표기되는 부가가치, 유형자산, 연구개발비 항목에 대해서는 가격 변동분의 효과를 차감하기 위해 산업연구원의 ISTANS에서 발표하는 GDP 디플레이터를 통해 디플레이션하였다⁷⁾. 연구에 활용된 데이터의 기초 통계량은 <표 3-1>, 산업별 투입 및 산출 자료의 평균은 <표 3-2>에 수록했다. 분석 대상 17개 산업의 평균 부가가치는 약 13조 원이고, 유형고정자산은 약 25조 원, 종업원 수는 약 10만 명이며, 연구개발비는 약 1조 8천억 원 정도가 소요되었다. 또한 분석에 사용된 변수 모두 평균값이 중간값 보다 크다. 이는 각 변수별로 분포가 오른쪽으로 치우쳐진 형태를 갖는다는 것을 알 수 있다. 즉, 대부분이 상당히 적은 양의 투입요소와 산출요소를 생산하는데 반하여 소수가 많은 양의 투입요소와 산출요소를 생산하고 있음을 시사한다.

<표 3-1> 자료의 기초 통계량(n = 204)

	평균	표준편차	중간값	최소값	최대값
부가가치 (백억 원)	1,357.27	1,643.90	742.86	77.63	10,957.50
종업원 수 (명)	104,024.30	96,388.23	48,039.5	12,714	425,398
유형자산 (백억 원)	2,545.10	2,634.15	1,559.62	99.13	15,066.19
연구개발비 (백억 원)	180.70	446.32	43.57	2.95	2,529.68

6) $r = \left[\frac{\text{마지막년도 실질 연구개발비}}{\text{초기년도 실질 연구개발비}} \right]^{\frac{1}{\text{마지막년도} - \text{초기년도}}} - 1$

7) 본 연구에서 사용한 GDP 디플레이터의 기준년도는 2015년이다.

〈표 3-2〉 산업별 투입 및 산출 요소들의 평균 (n = 204)

산업	부가가치 (백억 원)	종업원 수 (명)	유형자산 (백억 원)	연구개발비 (백억 원)
1차금속	1,978.16	95,971.83	5,891.77	66.12
고무제품 및 플라스틱	698.05	78,044.58	1,206.58	49.57
금속제품	529.73	60,395.08	1,020.84	19.30
기계 및 장비	1,182.88	130,253.58	1,690.89	102.29
기타 운송장비	1,150.77	94,172.83	2,810.92	62.25
기타 제조업	144.14	18,464.75	169.12	6.12
목재, 종이, 인쇄 및 복제	345.89	35,381.42	1,058.87	4.99
비금속광물	651.76	40,852.75	1,534.50	15.54
석탄 및 석유	717.50	14,863.83	2,573.73	17.26
섬유 및 가죽	659.21	87,458.25	1,080.16	28.56
음식료품 및 담배	1,389.42	153,901.75	2,426.92	32.11
의약품 및 의료물질	522.23	53,317.17	747.51	99.00
자동차	3,450.23	293,823.42	5,381.30	512.40
전기장비	655.60	79,656.58	969.04	60.28
전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	6,548.13	386,277.42	9,919.26	1,819.34
정밀기기	254.20	33,763.58	290.74	40.05
화학물질 및 화학	2,195.76	111,814.25	4,494.46	136.70
전체	1,357.27	104,024.30	2,545.09	180.70

제 4 장 분석 결과

R&D 수익률을 살펴보기 위해 콥-더글라스 생산함수 뿐만 아니라, 초월대수(translog) 생산함수를 이용해 본 자료를 잘 설명할 수 있는 모형을 찾고자 노력하였다. 또한 추정 모형을 변수에 따른 교호항을 달리 적용하여 계수 추정 및 수익률 계측을 시도하였다.⁸⁾ 또한, 상기에서 수익률 추정방법 중 산식 (2), (3), (5)을 모두를 이용하여 R&D 수익률을 비교 분석하였다. 분석결과, 산식 (2)로 추정하였을 시 통계적으로 유의한 결과를 얻을 수 있었으나, 산식 (3)과 (5)는 통계적으로 유의미한 결과가 도출되지 않았다. 따라서, 본 연구 결과는 산식 (2)에 대한 결과를 중심으로 논의해보자 하며, 산식 (3)과 (5)에 대한 결과는 <부록>을 통해 간단히 설명하고자 한다.

또한 추정법은 최소자승법과 확률변경추정법을 통해서 R&D 수익률을 계측하였다. 이때, 산업별로 R&D 수익률을 살펴보기 위해서 Inglesi-Lotz (2017)와 Corderi and Lin (2011)의 아이디어에 착안하여, i) 산업 더미를 적용하여 산업 별 연구개발 자본스톡의 산출탄력성을 도출하였으며, ii) 산업 더미를 고려하지 않은 경우와 고려한 경우를 비교 분석하였다.

분석 대상이 되는 제조업 산업은 총 17개 산업으로 이루어져있기 때문에, 이를 다시 기술 수준에 따라 4가지 산업군으로 묶어 살펴보았다. 4가지 산업군은 저위·중저위·중고위·고위기술산업군이며, 저위기술산업군에는 기타제조업, 목재·종이·인쇄 및 복제, 섬유 및 가죽, 음식료품 및 담배, 중저위기술산업군에는 1차 금속, 고무 제품 및 플라스틱, 금속제품, 비금속광물, 석탄 및 석유, 중고위기술산업군에는 기계 및 장비, 기타 운송장비, 전기장비, 자동차, 화학물질 및 화학, 고위기술산업군에는 의약품 및 의료물질, 전자부품·컴퓨터·영상·음향 및 통신장비 제조업, 정밀기기가 각각 포함된다.

8) 교호항을 달리 적용한 추정 모형들은 부록-〈부표-3〉에 수록하였다. 교호항을 달리 적용한 추정 결과, 모형마다의 계수가 통계적으로 유의미한 결과를 얻지 못하였으며, 따라서 본고에는 수록하지 못하였다.

제1절 추정방법에 따른 계수 추정 결과

1. 산업 더미를 고려하지 않은 모형의 제조업 분야 전체에 대한 계수

연구개발자본에 대한 감가상각률을 각각 0%, 10%, 15%로 설정하여 연구개발자본 G 를 총 3가지로 놓고 분석모형에 적용하였다. 추정에 사용된 산식은 다음과 같다.

$$\text{OLS} : y_{it} = \beta_0 + \beta_{L_{ols}} l_{it} + \beta_{K_{ols}} k_{it} + \beta_{G_{ols}} g_{it} + \varepsilon_{it}$$

$$\text{SFA} : y_{i,t} = \beta_0 + \beta_{L_{sfa}} l_{i,t} + \beta_{K_{sfa}} k_{i,t} + \beta_{G_{sfa}} g_{i,t} - u_{i,t} + v_{i,t}$$

분석모형에 대해 최소자승법과 확률변경분석법을 적용하여 추정된 계수는 <표 4-1>와 같다. 분석 자료가 패널 자료이므로, 패널 분석을 위한 모형 선택은 하우스만 테스트(Hausman test) 결과를 기준으로 모형을 선택하였다. OLS의 경우 Hausman test를 통해 각각의 효과를 살펴본 결과, 감가상각률이 0%인 연구개발자본을 쓴 모형만 확률효과가 우세했으며, 10%, 15%의 경우에는 고정효과가 우세했다.

<표 4-1>에서 보는 것처럼, OLS는 감가상각률을 0%로 가정하였을 때 통계적으로 유의한 계수를 얻을 수 있었으며, SFA는 감가상각률을 달리 적용하더라도 모든 경우에서 통계적으로 유의한 계수를 얻을 수 있었다. 또한 연구개발자본스톡의 산출탄력성은 OLS 추정 결과에 비해 SFA 추정 결과에서 큰 것을 확인할 수 있었다. 생산함수 추정 결과를 바탕으로 표본에 포함된 산업들은 감가상각률을 0%로 가정하였을 경우 OLS, SFA 추정법 모두에서 산업들이 수익체증(increasing returns to scale)을 보이고 있었으며(노동, 자본, 연구개발자본의 계수 추정치 합이 각각 1.007, 1.014), 감가상각률 10%, 15%인 경우에는 수익체감(decreasing returns to scale)을 보이고 있다는 것을 확인할 수 있다.

<표 4-1> 산업 더미를 고려하지 않은 OLS, SFA 모형의 계수

추정법	OLS			SFA		
감가 상각률	0%	10%	15%	0%	10%	15%
(절편)	1.466*** (0.43)	-	-	1.144*** (0.25)	1.438*** (0.24)	1.498*** (0.24)
β_L	0.399*** (0.05)	0.623*** (0.17)	0.619*** (0.17)	0.345*** (0.04)	0.258*** (0.04)	0.257*** (0.04)
β_K	0.501*** (0.04)	0.362* (0.15)	0.386* (0.15)	0.545*** (0.03)	0.576*** (0.02)	0.577*** (0.02)
β_G	0.107*** (0.02)	0.003 (0.11)	-0.022 (0.11)	0.124*** (0.02)	0.145*** (0.02)	0.143*** (0.02)

비고 : * - 유의수준 0.1%, ** - 유의수준 1%, * - 유의수준 5%, · - 유의수준 10%,

2. 산업 더미를 고려한 모형의 제조업 분야의 산업별 계수

Inglesi-Lotz (2017)와 Corderi and Lin (2011)의 아이디어에 착안하여, 산업별 연구개발자본 계수를 추정하기 위해 산업 더미 변수를 이용한 교호항을 만들었다. 마찬가지로 연구개발자본에 대한 감가상각률을 각각 0%, 10%, 15%로 설정하여 연구개발자본을 모형에 적용하였다. 추정식은 다음과 같다.

$$\text{OLS} : y_{it} = \beta_0 + \beta_{L_{ols}} l_{it} + \beta_{K_{ols}} k_{it} + \beta_{G_{ols}} g_{it} D_i + \varepsilon_{it}$$

$$\text{SFA} : y_{it} = \beta_0 + \beta_{L_{sfa}} l_{it} + \beta_{K_{sfa}} k_{it} + \beta_{G_{sfa}} g_{it} D_i - u_{i,t} + v_{i,t}$$

여기서 D_i 는 분석대상이 되는 17개 제조업의 산업더미를 의미한다.

산업별로 모형의 추정 계수는 <표 4-2>와 같다. OLS 추정법을 통해 추정된 계수는 대부분 산업에서 감가상각률에 상관없이 통계적으로 유의한 값을 도출하지 못하였으나, SFA 추정법의 경우 감가상각률이 0%인 경우에는 모든 산업에서 통계적으로 유의한 값을 얻을 수 있었다. 또한 감가상각률 0%인 경우 SFA 추정법을 통해 추정된 계수에 대하여 규모의 경제 효과를 살펴보면, 모든 산업에서 수익체증(increasing returns to scale)을 보이고 있다는 것을 확인할 수 있다.

〈표 4-2〉 산업 더미를 고려한 OLS, SFA 모형의 계수

추정법	OLS			SFA		
감가상각률($\delta = 0\%$)	0%	10%	15%	0%	10%	15%
(절편)	-	-	-	0.236** (1.45)	3.154*** (0.035)	3.271*** (0.699)
β_L	0.257 (0.188)	0.274 (0.174)	0.322 (0.174)	0.546* (0.167)	0.561*** (0.125)	0.538*** (0.159)
β_K	0.610 (0.160)	0.769*** (0.153)	0.738*** (0.152)	0.303* (0.126)	0.419** (0.137)	0.453** (0.139)
β_{GD} (1차금속)	-0.616* (0.249)	-0.665** (0.210)	-0.641** (0.210)	0.308* (0.122)	-0.015 (0.106)	-0.047 (0.109)
β_{GD} (고무제품 및 플라스틱)	0.123 (0.290)	0.013 (0.272)	0.017 (0.325)	0.278* (0.115)	-0.033 (0.098)	-0.063 (0.106)
β_{GD} (금속제품)	-0.109 (0.350)	-0.389 (0.330)	-0.361 (0.485)	0.291* (0.123)	-0.040 (0.103)	-0.072 (0.097)
β_{GD} (기계 및 장비)	-0.198 (0.528)	-0.496 (0.491)	-0.487 (0.510)	0.267* (0.108)	-0.025 (0.094)	-0.053 (0.103)
β_{GD} (기타 운송장비)	-5.897*** (1.016)	-3.089*** (0.544)	-2.630*** (0.289)	0.269* (0.110)	-0.033 (0.100)	-0.064 (0.101)
β_{GD} (기타 제조업)	1.112* (0.432)	0.660* (0.315)	0.594* (0.194)	0.294* (0.120)	-0.037 (0.100)	-0.069 (0.119)
β_{GD} (목재, 종이, 인쇄 및 복제)	0.030 (0.198)	-0.007 (0.191)	-0.002 (0.386)	0.317* (0.138)	-0.055 (0.117)	-0.093 (0.110)
β_{GD} (비금속광물)	-0.625 (1.040)	-0.252 (0.427)	-0.168 (0.651)	0.288* (0.115)	-0.022 (0.107)	-0.056 (0.110)
β_{GD} (석탄 및 석유)	-4.496** (1.622)	-1.921*** (0.376)	-1.648*** (0.333)	0.304** (0.115)	0.005 (0.111)	-0.031 (0.115)
β_{GD} (섬유 및 가죽)	0.388 (0.347)	0.875 (0.552)	0.956 (0.156)	0.279* (0.118)	-0.038 (0.099)	-0.069 (0.101)
β_{GD} (음식료품 및 담배)	0.061 (0.307)	-0.077 (0.322)	-0.075 (0.230)	0.292* (0.121)	-0.033 (0.105)	-0.064 (0.108)
β_{GD} (의약품 및 의료물질)	-0.210 (0.159)	-0.334* (0.152)	-0.325* (0.204)	0.289* (0.117)	-0.023 (0.105)	-0.052 (0.094)
β_{GD} (자동차)	0.118 (0.236)	0.001 (0.227)	0.020 (0.205)	0.270* (0.118)	-0.016 (0.092)	-0.043 (0.095)
β_{GD} (전기장비)	-0.011 (0.187)	-0.134 (0.198)	-0.132 (0.368)	0.286* (0.118)	-0.032 (0.097)	-0.061 (0.0999)
β_{GD} (전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업)	0.481* (0.235)	0.330 (0.208)	0.336 (0.205)	0.266** (0.102)	-0.004 (0.089)	-0.029 (0.092)
β_{GD} (정밀기기)	0.072 (0.377)	-0.136 (0.389)	-0.111 (0.368)	0.274* (0.111)	-0.030 (0.091)	-0.058 (0.092)
β_{GD} (화학물질 및 화학)	0.221 (0.224)	0.075 (0.212)	0.068 (0.212)	0.300** (0.116)	-0.008 (0.100)	-0.038 (0.102)

* 비고 : *** - 유의수준 0.1%, ** - 유의수준 1%, * - 유의수준 5%, · - 유의수준 10%

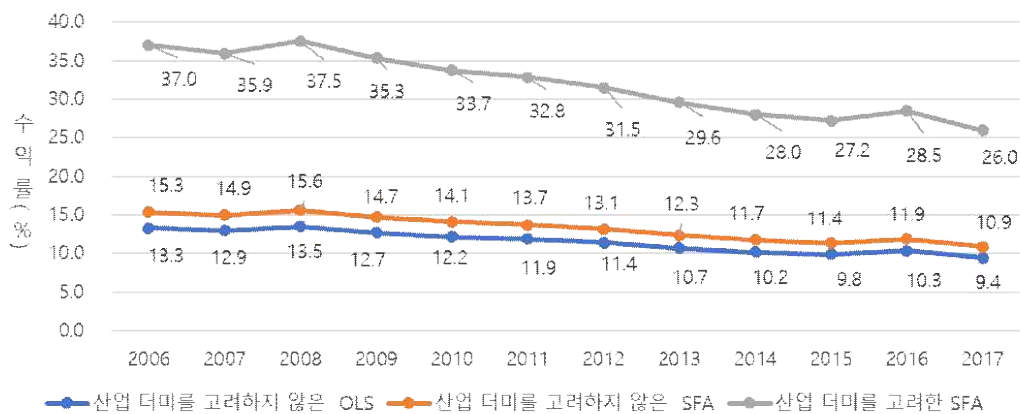
위 결과를 바탕으로 본 연구에서 살펴볼 R&D 수익률은 다음과 같은 방법으로 추정한다. 각각의 추정법에 대해 비교분석을 하기 위해서 감가상각률을 0%로 가정한 연구개발자본을 변수로 한 모형을 사용한다. 그리고 추정된 연구개발자본의 산출탄력성 γ 를 산식 (6)에 적용하여 R&D 수익률을 계측하였다. 즉, 〈표 5-1〉의 연구개발자본 계수 (β_G)에 산업별 부가가치/산업별 연구개발자본(Y/G)을 곱하고 % 단위로 표현하기 위해 100(%)을 곱한다. 예를 들어, OLS 기준 β_G 값이 0.107이므로

$0.107 \times \frac{\text{산업별 부가가치}}{\text{산업별 연구개발자본}} \times 100(\%)$ 이라는 식을 통해 산업별 R&D 수익률을 추정하며, 산업 더미를 활용한 모형의 경우에는 해당 산업에 연구개발자본의 산출탄력성 계수를 이용하여 R&D 수익률을 도출하였다.

제2절 연구개발자본 수익률 추정 결과

1. 연도별 제조업 전체 수익률

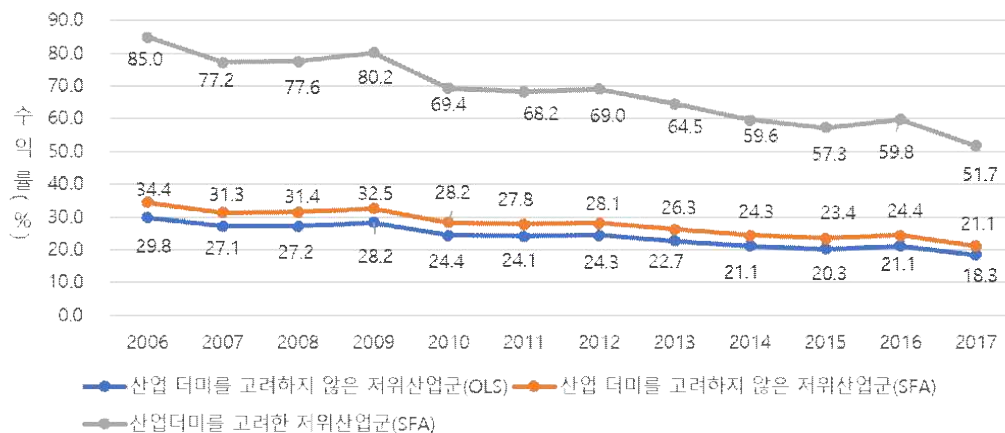
추정된 계수를 바탕으로 연도별 제조업 전체의 평균 R&D 수익률을 도출하였으며, 결과는 [그림 4-1]에 수록하였다. 각 추정방법 별로 R&D 수익률의 수준은 차이가 있지만 전체적인 추세는 유사하게 나타났다. 국내 제조업의 R&D 수익률은 분석기간 동안 감소하는 추세가 나타났으며, 2008년도에 최고 R&D 수익률을 기록하였다. 또한 2006년부터 2017년까지 국내 제조업의 R&D 수익률은 연평균 11.5% ~ 31.9%로 계측되었다.



[그림 4-1] 추정 모형별 제조업 전체 연도별 평균 R&D 수익률($\delta = 0\%$)

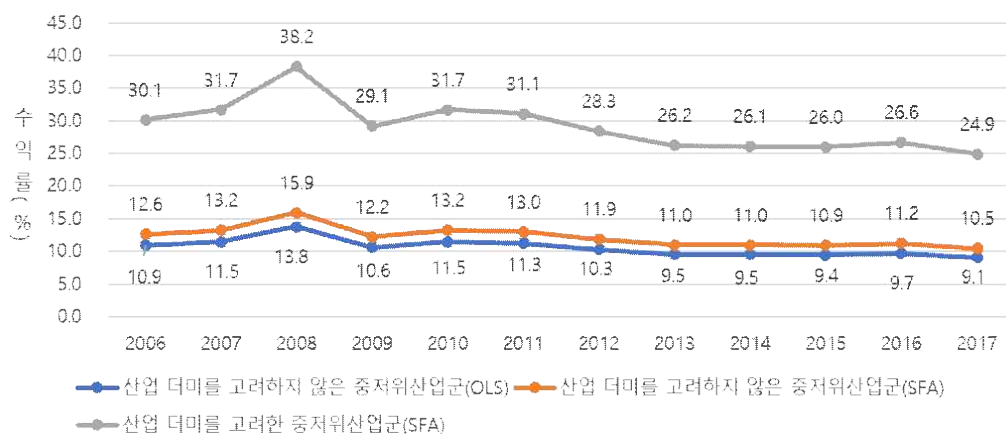
2. 연도별 기술산업군별 수익률

4가지 산업군별 R&D 수익률 비교 분석한 결과는 다음과 같다. 먼저, 저위산업군의 연도별 R&D 수익률은 24.1% ~ 68.3%로 나타났다. 2009년에 최고 수익률을 보였으며, 2017년에는 최저 수익률을 기록하였다([그림 4-2] 참조). 또한 분석기간 동안 R&D 수익률은 전체적으로 감소하는 추세이다.



[그림 4-2] 추정 모형별 저위산업군 연도별 평균 R&D 수익률($\delta = 0\%$)

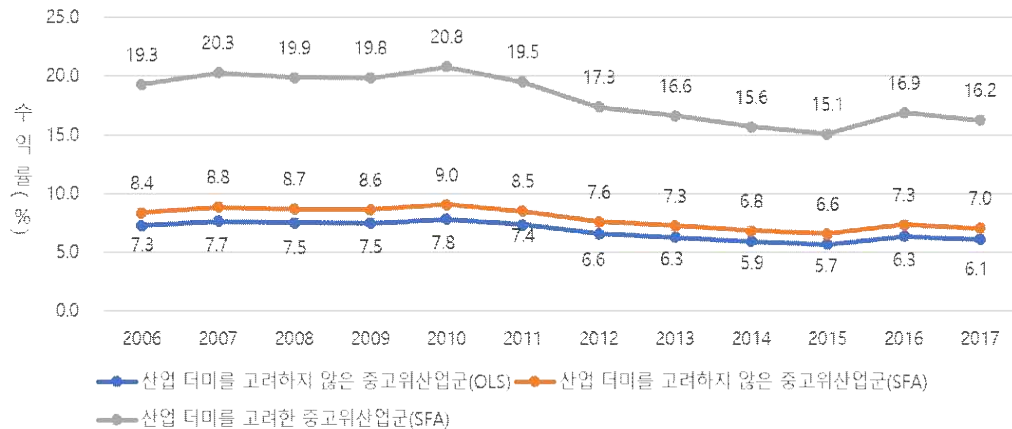
[그림 4-3]은 중저위산업군의 연도별 수익률을 나타냈다. 중저위산업군의 평균 R&D 수익률은 10.6% ~ 29.2%로 추정되었다. 2006년부터 2008년까지 증가하여 최고 수익률을 기록했으나 2011년과 2016년 전년도 대비 소폭 상승한 것을 제외하고는 수익률이 꾸준히 감소하였다. 또한 추정법에 따른 변화 추세는 산업 더미를 고려하지 않은 OLS와 SFA 경우 매우 유사하게 변화 추세가 나타났으며, 산업 더미를 고려한 SFA 추정값은 전자와 추세는 비슷하지만 변화폭은 크다.



[그림 4-3] 추정 모형별 연도별 중저위산업군 연도별 평균 R&D 수익률($\delta = 0\%$)

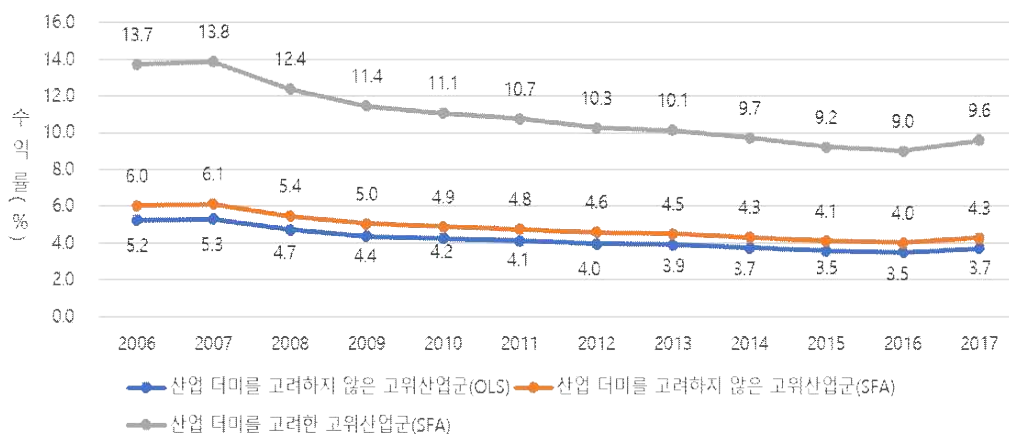
중고위산업군의 연도별 결과는 [그림 4-4]에 수록하였다. 중고위산업군은 6.8% ~ 18.1%로 연평균 R&D 수익률이 추정되었다. 2006년부터 소폭 상승한 후 2008년, 2009년 수익률이 유지되다가 2010년 최고 수익률을 기록했다. 하지만, 그 이후에는

수익률은 전체적으로 감소했다. 마찬가지로, 중저위산업군 또한 산업 더미를 고려하지 않은 OLS, SFA 추정값은 매우 유사하게 변화하였으며, 산업 더미를 고려한 SFA 추정값 또한 변화 추세는 전자와 유사하게 변화하였다.



[그림 4-4] 추정 모형별 중고위산업군 연도별 평균 R&D 수익률($\delta = 0\%$)

[그림 4-5]는 고위산업군의 연도별 R&D 수익률을 나타내었다. 고위산업군의 연평균 R&D 수익률은 4.2% ~ 10.9%로 타 산업군에 비해 낮게 추정되었다. 2007년 최고 수익률을 기록한 후, 2016년까지 수익률이 감소하였지만 다른 산업군과 달리 2017년 수익률은 소폭 상승했다.



[그림 4-5] 추정 모형별 고위산업군 연도별 평균 R&D 수익률($\delta = 0\%$)

종합하면, 기술이 높은 산업군일수록 R&D 수익률이 낮았으며, 기술이 낮은 산업

일수록 R&D 수익률이 높았다. 또한 우리나라 제조업은 분석기간 동안 전체적으로 감소하는 추세를 보였다. 또한 R&D 수익률은 분석기간 동안 3가지 결과 모두 추세가 유사하게 나타났는데, 이는 추정 계수의 크기 차이에 때문에 모형간 R&D 수익률의 절대적인 차이만 존재할 뿐 추세 변화는 크지 않는 것으로 파악된다.

3. 연도별 산업별 수익률

1) 각 추정방법에 따른 평균 R&D 수익률

<표 4-3>은 제조업 분야의 17개 산업별로 평균 R&D 수익률을 나타냈다. OLS, SFA 추정법과 산업 더미 사용 여부와 관계없이 R&D 수익률의 수준 차이만 있을 뿐 산업별 R&D 수익률의 순위 차이는 없었다. 수익률이 가장 높은 것은 목재·종이·인쇄 및 복제 산업이며, 뒤를 이어 음식료품 및 담배 산업, 1차 금속 산업이 수익률이 높은 상위 3개의 산업이다. 반대로 전자부품, 컴퓨터, 영상 음향 및 통신장비 제조업의 수익률이 가장 낮았으며, 이어서 기타 운송장비, 정밀기기 산업이 수익률이 낮은 하위 3개 산업이었다.

<표 4-3> 각 추정방법에 따른 평균 R&D 수익률 ($\delta = 0\%$; 단위 : %)

산업군	사업	산업더미를 고려하지 않은 평균 수익률 - OLS	산업더미를 고려하지 않은 평균 수익률 - SFA	산업더미를 고려한 평균 수익률 - SFA
저위기술산업군	기타 제조업	8.6	9.9	23.5
	목재, 종이, 인쇄 및 복제	54.7	63.1	161.3
	섬유 및 가죽	10.5	11.9	27.4
	음식료품 및 담배	22.5	25.9	61.0
중저위기술산업군	1차 금속	19.6	22.7	56.4
	고무제품 및 플라스틱	7.7	8.8	19.8
	금속제품	15.8	18.3	43.0
	비금속 광물	5.8	6.7	15.6
	석탄 및 석유	3.9	4.5	11.1
중고위기술산업군	기계장비	3.7	4.3	9.2
	기타 운송장비	2.8	3.3	7.1
	자동차	4.8	5.5	12.0
	전기장비	10.6	12.3	28.3
	화학물질 및 화학	12.2	14.1	34.0
고위기술산업군	의약품 및 의료물질	6.9	8.0	18.6
	전자부품, 컴퓨터, 영상 음향 및 통신장비 제조업	2.4	2.8	6.0
	정밀기기	3.2	3.7	8.2
	제조업 평균	11.5	13.3	31.9

2) 산업더미를 고려하지 않은 최소자승법(OLS)을 통한 산업별 연도별 R&D 수익률

〈표 4-4〉는 OLS 추정법을 통해 산업 더미를 고려하지 않은 모형에서 저위기술산업군의 연도별 R&D 수익률을 나타낸다. 저위기술산업군에 속한 기타 제조업, 목재·종이·인쇄 및 복제, 섬유 및 가죽, 음식료품 및 담배 중 목재·종이·인쇄 및 복제 산업이 연평균 54.7%로 R&D 수익률이 가장 높았으며, 기타 제조업 산업이 연평균 8.6% 가장 낮았다. 하지만 목재·종이·인쇄 및 복제 산업의 경우 2006년에 비해 2017년 R&D 수익률이 가장 많이 떨어졌으나, 기타 제조업 산업의 경우 2006년에 비해 2017년 R&D 수익률이 증가한 것을 알 수 있다.

〈표 4-4〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 저위기술산업군 연도별 R&D 수익률 -
OLS ($\delta = 0\%$; 단위: %)

산업	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균
기타 제조업	6.6	6.3	8.4	7.5	6.5	8.9	8.9	9.0	9.7	9.8	11.1	10.1	8.6
목재 종이 인쇄 및 복제	75.5	64.7	66.1	68.4	56.0	53.0	54.9	50.3	44.5	41.7	44.1	36.7	54.7
섬유 및 가죽	13.4	13.1	10.6	12.0	12.5	11.8	11.0	9.9	8.8	8.3	8.1	7.1	10.5
음식료품 및 담배	23.6	24.5	23.9	24.8	22.8	22.6	22.5	21.8	21.3	21.3	21.3	19.3	22.5
평균	29.8	27.1	27.2	28.2	24.4	24.1	24.3	22.7	21.1	20.3	21.1	18.3	24.1

〈표 4-5〉는 중저위기술산업군의 결과이다. 중저위기술산업군에 속한 산업 중 1차 금속 산업의 평균 수익률이 19.7%로 가장 높았으며, 석탄 및 석유 산업이 3.9%로 가장 낮았다. 하지만 1차금속 산업의 경우 2010년 이후 수익률이 감소하는 것으로 나타났으며, 석탄 및 석유 산업은 2014년 이후로 성장세를 보이고 있다. 이와 반대로 금속제품 산업은 2014년 이후 감소세를 보이고 있으며, 고무제품 및 플라스틱 산업은 분석기간 동안 큰 변화가 없었다.

〈표 4-5〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 중저위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - OLS ($\delta = 0\%$; 단위: %)

산업	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균 (%)
1차 금속	22.6	23.8	31.9	19.7	23.6	21.7	18.6	16.7	15.3	14.1	14.2	13.6	19.7
고무제품 및 플라스틱	8.3	8.7	8.3	8.0	7.4	7.7	7.4	7.8	7.5	6.9	7.4	6.5	7.7
금속제품	15.0	14.8	17.5	14.2	14.3	14.7	15.7	15.0	19.5	17.8	16.6	15.1	15.9
비금속 광물	5.1	5.3	6.5	7.6	7.7	6.6	6.0	5.2	4.5	4.8	5.3	5.1	5.8
석탄 및 석유	3.5	4.6	4.8	3.4	4.3	5.5	3.7	2.8	0.8	3.7	5.0	5.0	3.9
평균	10.9	11.5	13.8	10.6	11.5	11.3	10.3	9.5	9.5	9.4	9.7	9.1	10.6

중고위기술산업군의 경우 화학물질 및 화학 산업이 연평균 수익률이 12.2%로 가장 높았으며, 기타 운송장비 산업이 2.8%로 가장 낮게 측정되었다(〈표 4-6 참조〉). 또한 중고위기술산업군에 속한 산업들은 전반적으로 수익률이 감소하는 추세를 보였다.

〈표 4-6〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 중고위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - OLS ($\delta = 0\%$; 단위: %)

산업	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균
기계장비	3.3	3.5	3.5	3.2	3.8	4.2	4.0	3.9	4.1	3.8	3.3	3.8	3.7
기타 운송장비	2.2	3.4	4.4	3.9	4.3	3.9	3.2	2.4	1.7	1.0	2.1	1.6	2.8
자동차	4.3	5.5	5.1	4.8	5.0	5.3	5.2	5.2	4.8	4.6	4.1	3.4	4.8
전기장비	14.4	13.6	12.8	12.2	11.1	9.2	9.5	8.7	8.5	7.6	10.4	9.6	10.6
화학물질 및 화학	12.0	12.3	11.8	13.3	15.0	14.2	11.0	11.3	10.4	11.4	11.8	12.1	12.2
평균	7.3	7.7	7.5	7.5	7.8	7.4	6.6	6.3	5.9	5.7	6.3	6.1	6.8

고위기술산업군의 결과는 〈표 4-7〉에 나타내었다. 타 산업군에 비해 기술 수준이 높은 고위기술산업군의 경우 의약품 및 의료물질의 수익률이 6.9%로 가장 높았으며 전자부품·컴퓨터·영상·음향·통신장비 제조업의 수익률이 2.4%로 가장 낮았다. 하지만 의약품 및 의료물질 산업의 경우 분석기간 동안 계속해서 감소하였으며, 정밀기기는 2006년 대비 2017년 수익률이 0.4%p 증가하였다.

〈표 4-7〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 고위기술산업군 연도별 R&D 수익률 -
OLS ($\delta = 0\%$; 단위: %)

산업	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균
의약품 및 의료물질	9.9	9.8	9.1	8.2	7.2	7.0	6.0	5.6	5.5	5.4	4.6	4.6	6.90
전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	2.4	2.4	2.2	2.2	2.7	2.3	2.8	2.9	2.5	2.1	1.9	2.7	2.43
정밀기기	3.4	3.7	2.8	2.7	2.9	3.1	3.1	3.2	3.2	3.1	3.9	3.8	3.23
평균	5.2	5.3	4.7	4.4	4.2	4.1	4.0	3.9	3.7	3.5	3.5	3.7	4.2

3) 산업더미를 고려하지 않은 확률변경분석법(SFA)을 통한 산업별 연도별 R&D 수익률

산업 더미를 고려하지 않은 모형을 SFA 추정법을 통해 추정한 연구개발자본 계수를 바탕으로 산업군별 R&D 수익률 추정한 결과는 〈표 4-8〉부터 〈표 4-11〉에 나타났다. SFA 추정법을 통한 수익률 결과는 OLS 추정결과와 유사하게 나타났으며, 상세한 내용은 다음과 같다.

먼저 저위기술산업군을 보면, OLS 추정결과와 마찬가지로 목재·종이·인쇄 및 복제 산업이 가장 높았으며, 연도별 추세 또한 감소하는 추세를 나타내는 것을 알 수 있다(〈표 4-8〉 참조). 연평균 R&D 수익률은 기타 제조업이 9.9%로 가장 낮았지만 2017년 기준으로 볼 때, 섬유 및 가죽 산업이 가장 낮은 수익률을 기록한 것을 알 수 있다.

〈표 4-8〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 저위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)

산업	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균
기타 제조업	7.6	7.3	9.6	8.7	7.5	10.3	10.2	10.4	11.2	11.4	12.8	11.7	9.9
목재 종이 인쇄 및 복제	87.2	74.7	76.3	79.0	64.7	61.2	63.4	58.0	51.3	48.1	50.9	42.4	63.1
섬유 및 가죽	15.4	15.1	12.3	13.8	14.4	13.6	12.7	11.5	10.2	9.5	9.3	8.2	11.9
음식료품 및 담배	27.3	28.3	27.6	28.6	26.3	26.1	25.9	25.1	24.5	24.6	24.6	22.2	25.9
평균	34.4	31.3	31.4	32.5	28.2	27.8	28.1	26.3	24.3	23.4	24.4	21.1	27.8

중저위기술산업군 중 1차금속 산업의 연평균 수익률이 22.7%로 가장 높았으며, 석탄 및 석유 산업이 가장 낮게 계측되었다(〈표 4-9〉 참조). OLS 결과값과 유사하게 연도별 추세가 나타났으며, 1차금속 산업과 고무제품 및 플라스틱 산업을 제외한 다른 산업들은 2006년 대비 2017년에 R&D 수익률이 증가하였거나 유지되고 있음을 알 수 있다.

〈표 4-9〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 중저위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)

산업	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균
1차 금속	26.1	27.5	36.8	22.7	27.2	25.0	21.5	19.3	17.7	16.2	16.4	15.7	22.7
고무제품 및 플라스틱	9.6	10.1	9.5	9.2	8.5	8.9	8.5	9.0	8.6	7.9	8.5	7.5	8.8
금속제품	17.3	17.1	20.2	16.4	16.5	16.9	18.1	17.4	22.5	20.6	19.1	17.4	18.3
비금속 광물	5.9	6.1	7.5	8.8	8.9	7.7	6.9	6.0	5.2	5.5	6.1	5.9	6.7
석탄 및 석유	4.1	5.4	5.5	3.9	4.9	6.4	4.3	3.2	0.9	4.3	5.8	5.8	4.5
평균	12.6	13.2	15.9	12.2	13.2	13.0	11.9	11.0	11.0	10.9	11.2	10.5	12.2

중고위기술산업군에서는 화학물질 및 화학 산업의 평균 수익률이 14.1%로 가장 높았고, 기타 운송장비 산업의 수익률이 3.3%로 가장 낮았다(〈표 5-10〉 참조). 중고위기술산업에 속해있는 산업들은 전반적으로 수익률이 감소하는 추세를 보인다.

〈표 4-10〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 중고위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)

산업	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균
기계장비	3.8	4.1	4.1	3.6	4.3	4.9	4.7	4.5	4.7	4.3	3.8	4.4	4.3
기타 운송장비	2.6	3.9	5.1	4.5	4.9	4.5	3.7	2.7	1.9	1.1	2.5	1.8	3.3
자동차	5.0	6.3	5.9	5.6	5.8	6.1	6.0	6.0	5.6	5.3	4.7	3.9	5.5
전기장비	16.7	15.7	14.8	14.1	12.8	10.6	11.0	10.1	9.8	8.7	12.0	11.1	12.3
화학물질 및 화학	13.9	14.2	13.6	15.3	17.3	16.4	12.7	13.0	12.1	13.2	13.7	14.0	14.1
평균	8.4	8.8	8.7	8.6	9.0	8.5	7.6	7.3	6.8	6.6	7.3	7.0	7.9

고위기술산업의 의약품 및 의료물질, 전자부품·컴퓨터·영상·음향·통신장비 제조업, 정밀기기 중 의약품 및 의료물질의 수익률이 8.0%로 가장 높았으며 전자부품·컴퓨터·영상·음향·통신장비 제조업의 수익률이 2.8%로 가장 낮았다(〈표 4-11〉 참조). 높은 평균 수익률과 반대로 의약품 및 의료물질의 수익률은 2006년 이후 꾸준히 감소하였으며, 타 산업들에 비해 큰 폭으로 감소하였다. 하지만 전자부품·컴퓨터·영상·음향·통신장비 제조업과 정밀기기 산업은 꾸준히 증가하는 추세를 보인다.

〈표 4-11〉 산업더미를 고려하지 않은 모형의 고위기술산업군 연도별 R&D 수익률 - SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)

산업	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균
의약품 및 의료물질	11.5	11.3	10.5	9.5	8.3	8.0	6.9	6.4	6.4	6.2	5.4	5.3	8.0
전자부품·컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	2.8	2.8	2.6	2.6	3.1	2.7	3.2	3.4	2.9	2.5	2.2	3.1	2.8
정밀기기	3.9	4.2	3.2	3.1	3.3	3.6	3.6	3.7	3.7	3.6	4.5	4.4	3.7
평균	6.0	6.1	5.4	5.0	4.9	4.8	4.6	4.5	4.3	4.1	4.0	4.3	7.8

17개의 산업을 OLS 추정 방법과 SFA 추정 방법을 통해 구한 산업별 수익률을 비교하면 〈표 4-12〉과 같다. 전체적으로 봤을 때 OLS 추정방법을 통한 R&D 수익률은 SFA 추정방법을 통한 R&D 수익률에 비해 낮았다. 산업더미를 고려하지 않았을

때, 제조업 전체 평균 R&D 수익률은 약 11.5 ~ 13.3%로 계측되었으며, 17개 산업 중 목재·종이·인쇄 및 복제 산업의 R&D 수익률이 가장 높고 전자부품·컴퓨터·영상 음향 및 통신장비 제조업 산업이 가장 수익률이 낮게 측정되었다. 하지만, 낮은 수익률이라 하더라도 전자부품·컴퓨터·영상 음향 및 통신장비 제조업, 정밀기기 산업과 같이 꾸준히 R&D 수익률이 증가하는 산업에는 관심을 둘 필요가 있다.

〈표 4-12〉 산업더미를 고려하지 않은 연구개발자본 계수를 통한
산업별 연평균 R&D 수익률 ($\delta = 0\%$; 단위: %)

산업	OLS 평균	SFA 평균
기타 제조업	8.6	9.9
목재·종이·인쇄 및 복제	54.7	63.1
섬유 및 가죽	10.5	11.9
음식료품 및 담배	22.5	25.9
1차금속	19.6	22.7
고무제품 및 플라스틱	7.7	8.8
금속제품	15.8	18.3
비금속 광물	5.8	6.7
석탄 및 석유	3.9	4.5
기계장비	3.7	4.3
기타 운송장비	2.8	3.3
자동차	4.8	5.5
전기장비	10.6	12.3
화학물질 및 화학	12.2	14.1
의약품 및 의료물질	6.9	8.0
전자부품, 컴퓨터, 영상 음향 및 통신장비 제조업	2.4	2.8
정밀기기	3.2	3.7
제조업 전체	11.5	13.3

4) 산업더미를 고려한 확률변경분석법(SFA)을 통한 산업별 R&D 수익률

SFA 추정법을 산업더미를 고려한 모형에 적용하여 도출된 산업군 및 산업별로 분석한 결과는 〈표 4-13〉부터 〈표 4-16〉에 수록하였다. 저위기술산업군에 속한 산업 중 목재·종이·인쇄 및 복제 산업의 연평균 R&D 수익률이 161.3%로 가장 높았으며, 분석기간 동안 계속 감소하는 결과를 보였다. 섬유 및 가죽 산업 또한 분석기간 동안 계속 감소하는 추세를 보였으며, 기타 제조업의 경우 2006년 수익률과 비교해

보면 2017년 수익률은 증가한 것으로 나타났다.

〈표 4-13〉 산업더미를 고려한 모형의 저위기술산업군 R&D 수익률 -
SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)

산업군	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균
기타 제조업	18.0	17.2	22.9	20.6	17.8	24.5	24.2	24.8	26.6	26.9	30.3	27.7	23.5
목재 종이 인쇄 및 복제	222.9	190.9	194.9	201.8	165.4	156.4	162.0	148.3	131.2	122.9	130.0	108.4	161.3
섬유 및 가죽	34.7	34.0	27.6	31.1	32.4	30.7	28.7	25.8	23.0	21.5	21.0	18.5	27.4
음식료품 및 담배	64.2	66.6	64.9	67.4	61.8	61.5	61.1	59.2	57.8	57.8	58.0	52.3	61.1
평균	85.0	77.2	77.6	80.2	69.4	68.2	69.0	64.5	59.6	57.3	59.8	51.7	68.3

중저위기술산업군에서 가장 높은 수익률 보인 산업은 1차금속 산업이었으며 (56.4%), 석탄 및 석유산업이 가장 낮은 수익률을 보였다(〈표 4-14〉 참조). 1차 금속 산업은 2008년 수익률이 증가했으나 이후 감소하였으며, 금속 제품 산업의 수익률은 증가와 감소를 반복하였고, 고무제품 및 플라스틱 산업의 경우 2006년 대비 2017년 수익률이 감소하였다.

〈표 4-14〉 산업더미를 고려한 모형의 중저위기술산업군 R&D 수익률 -
SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)

산업군	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균
1차 금속	64.9	68.4	91.4	56.4	67.6	62.2	53.5	48.0	43.9	40.3	40.6	39.1	56.4
고무제품 및 플라스틱	21.5	22.6	21.4	20.6	19.2	20.0	19.1	20.2	19.4	17.8	19.2	16.8	19.8
금속제품	40.7	40.1	47.5	38.6	38.9	39.7	42.6	40.8	52.8	48.3	45.0	40.9	43.0
비금속 광물	13.6	14.3	17.5	20.4	20.7	17.8	16.0	14.0	12.0	12.8	14.2	13.7	15.6
석탄 및 석유	10.0	13.1	13.5	9.5	12.0	15.7	10.5	7.9	2.3	10.5	14.2	14.2	11.1
평균	30.1	31.7	38.2	29.1	31.7	31.1	28.3	26.2	26.1	26.0	26.6	24.9	29.2

중고위기술산업군인 기계장비, 기타 운송장비, 자동차, 전기장비, 화학물질 및 화학 산업 중 화학물질 및 화학 산업의 평균 수익률이 34.0%로 가장 높았으며, 기타 운송장비 산업의 수익률이 7.1%로 가장 낮았다(〈표 4-15〉 참조). 중고위기술산업에

속해있는 산업들은 전반적으로 2006년 대비 2017년 수익률이 낮게 계측되었다.

〈표 4-15〉 산업더미를 고려한 모형의 중고위기술산업군 R&D 수익률 -
SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)

산업군	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균
기계장비	8.2	8.8	8.8	7.8	9.3	10.5	10.0	9.7	10.2	9.3	8.2	9.5	9.2
기타 운송장비	5.6	8.4	11.0	9.8	10.6	9.8	7.9	5.9	4.2	2.5	5.3	3.9	7.1
자동차	10.8	13.7	12.8	12.2	12.7	13.3	13.0	13.0	12.2	11.6	10.3	8.5	12.0
전기장비	38.4	36.1	34.1	32.4	29.5	24.4	25.2	23.1	22.6	20.1	27.6	25.5	28.3
화학물질 및 화학	33.5	34.2	32.8	37.0	41.8	39.5	30.6	31.4	29.1	31.8	32.9	33.7	34.0
평균	19.3	20.3	19.9	19.8	20.8	19.5	17.3	16.6	15.6	15.1	16.9	16.2	18.1

고위기술산업군 중 의약품 및 의료물질 산업의 수익률이 18.6%로 가장 높았으며 전자부품·컴퓨터·영상·음향·통신장비 제조업의 수익률이 6.0%로 가장 낮았다. 높은 평균 수익률과 반대로 의약품 및 의료물질의 수익률은 2006년을 고점으로 기록하고 계속해서 감소하고 있으나 전자부품·컴퓨터·영상·음향·통신장비 제조업과 정밀기기 산업의 수익률은 꾸준히 증가하였다.

〈표 4-16〉 산업더미를 고려한 모형의 고위기술산업군 R&D 수익률 -
SFA ($\delta = 0\%$; 단위: %)

산업군	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균
의약품 및 의료물질	26.7	26.3	24.6	22.0	19.3	18.7	16.1	15.0	14.9	14.4	12.5	12.4	18.6
전자부품·컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	5.9	6.0	5.5	5.5	6.6	5.7	6.8	7.3	6.2	5.3	4.7	6.6	6.0
정밀기기	8.6	9.3	7.2	6.8	7.3	7.8	7.9	8.1	8.0	8.0	9.9	9.7	8.2
평균	13.7	13.8	12.4	11.4	11.1	10.7	10.3	10.1	9.7	9.2	9.0	9.6	10.9

종합하면, 산업더미를 고려한 모형을 통해 추정된 각 산업별 연구개발자본의 계수를 이용하면 제조업의 R&D 수익률은 연평균 31.9%로 나타났다(〈표 4-17〉 참조).

또한 상대적으로 매우 높은 수익률인 목재·종이·인쇄 및 복제 산업을 제외한 16개 산업의 제조업 평균은 25.8%로 계측되었다. 17개의 산업 중 수익률이 높은 상위 3개 산업은 목재·종이·인쇄 및 복제, 음식료품 및 담배, 1차금속 산업이었으며, 반대로 수익률이 낮은 하위 3개 산업은 전자부품·컴퓨터·영상 음향 및 통신장비 제조업, 기타 운송장비, 정밀기기 산업이다. 하지만, 낮은 수익률이라 하더라도 전자부품·컴퓨터·영상 음향 및 통신장비 제조업, 정밀기기 산업과 같이 꾸준히 R&D 수익률이 증가하는 산업에는 관심을 둘 필요가 있다.

〈표 4-17〉 산업더미를 고려한 모형의 연구개발자본 계수를 통한
연평균 산업별 R&D 수익률 (단위: %)

산업	수익률 평균
기타 제조업	23.5
목재, 종이, 인쇄 및 복제	161.3
섬유 및 가죽	27.4
음식료품 및 담배	61.0
1차금속	56.4
고무제품 및 플라스틱	19.8
금속제품	43.0
비금속 광물	15.6
석탄 및 석유	11.1
기계장비	9.2
기타 운송장비	7.1
자동차	12.0
전기장비	28.3
화학물질 및 화학	34.0
의약품 및 의료물질	18.6
전자부품, 컴퓨터, 영상 음향 및 통신장비 제조업	6.0
정밀기기	8.2
제조업 전체	31.9

제 5 장 결 론

본 연구는 산업 수준의 데이터를 활용하여 R&D 투자 수익률을 추정하고, 이를 통해 연구개발 예산 편성과정에서의 정책수립 근거로 제시하고자 하였다. 이를 위해 2006년부터 2017년까지 통계청 KOSIS에서 제공하는 기업활동조사 자료를 이용하여 전통적인 생산함수 접근법을 통해 R&D 수익률을 추정하였다. 추정을 위해 최소자승법과 확률변경분석법으로 연구개발자본의 계수를 추정하였으며, 추정된 계수를 이용하여 R&D 수익률을 계측하였다. 또한 분석시 산업 더미를 활용하여 각 산업별 연구개발자본의 산출탄력성을 계측하였다. 따라서 산업 더미를 적용한 모형과 적용하지 모형에 따른 계수를 추정하여 우리나라 제조업 분야에 속한 산업에 대한 R&D 수익률을 계측하였다.

콥-더글라스 생산함수 형태를 통해 수익률을 계측하기 위해서는 연구개발자본에 대한 계수가 필요했다. 이러한 계수를 계측하기 위해서 Hall et al. (2010)의 3개의 형태로 구하고자 했다. 산식 (2)와 같이 콥-더글라스 형태를 시작으로, 각 요소들의 변화율을 적용한 산식 (3), 마지막으로 TFP와 R&D 집약도(R&D intensity)을 통한 산식 (5)까지를 이용하여 각 요소에 대한 산출탄력성을 구하고자 하였다. 또한 각각에 모형에 대해 OLS와 SFA 추정법을 통해 모수를 추정하였으며, 산업더미 적용여부를 바탕으로 각 산업별로 R&D 수익률을 계측하였다. 추정 결과, 산식 (3)과 산식 (5)를 활용하여 구한 계수들은 통계적으로 유의하지 못한 값을 갖지 못하거나 매우 큰 음(-)의 계수로 추정되었다⁹⁾. 하지만 산식 (2)을 이용하여 구한 계수들은 추정법 또는 산업더미 적용 여부와 관계없이 감가상각률 0%인 연구개발자본에 한해서 통계적으로 유의한 결과를 가졌다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 이유로 감가상각률 0%인 연구개발자본을 이용하여 각 요소의 산출탄력성을 추정하고 그에 따른 R&D 수익률을 추정하였다.

주요 결과는 다음과 같다. 분석기간 동안 우리나라 제조업 전체의 R&D 수익률은 전반적으로 감소하고 있다. 4개의 산업군으로 나누어 수익률을 비교했을 때도 산업군 전반적인 R&D 수익률은 감소하고 있다. 또한 산업군에 있어, 기술이 고도화될수록 수익률이 낮은 경향을 보였다.

9) <부록> 참조

한편, OLS을 통해 추정된 R&D 수익률은 SFA를 통해 추정된 R&D 수익률보다 낮았다. 이들 중 어느 것이 맞는지를 명확하게 판단할 수 없기 때문에 본 연구는 <표 5-1>과 같이 수익률을 범위로 표현하였다. <표 5-1>에서 보는 것처럼, 우리나라 제조업의 평균 R&D 수익률 범위는 11.5 ~ 31.9%로 나타났다. R&D 수익률이 가장 높은 산업은 저위기술산업군인 목재·종이·인쇄 및 복제 산업이었고, 반면에 고위기술 산업군인 전자부품·컴퓨터·영상 음향 및 통신장비 제조업은 분석기간 동안 가장 낮은 R&D 수익률을 보였다.

또한 본 연구의 수익률과 선행연구의 수익률을 비교하기 위해, 최신 연구인 한재필 (2018)의 수익률과 비교하였다. 결과는 <표 5-1>에 수록하였다. 한재필 (2018)과 본 연구의 R&D 수익률 추정방법은 차이가 있으며, 또한 분석 대상이 본 연구는 17개 제조업에 대해 분석한 것과 달리 한재필 (2018)¹⁰⁾은 12개의 제조업을 대상으로 분석하였다. 분석 결과, 한재필 (2018)의 전체 제조업 R&D 수익률은 본 연구에서 추정한 R&D 수익률 범위에 속한 것을 알 수 있었다. 또한 산업별로 볼 때, 기타 제조업과 고무제품 및 플라스틱, 전기장비, 화학물질 및 화학 산업의 경우 본 연구의 수익률 범위에 속하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 상기의 산업을 제외한 타 산업에서는 차이가 보였는데, 이는 분석 데이터의 기준이 본 연구는 산업데이터를 활용하였고, 한재필 (2018)의 경우에는 기업데이터를 활용하여 추정하였기 때문에 달라질 수 있는 것으로 판단된다.

10) 한재필 (2018)은 사적·사회적 수익률을 구별하여 구하였다. 본 연구는 산업 단위 데이터를 활용하였기 때문에 사회적 수익률이라고 간주하여(Jones and Williams, 1998), 한재필 (2018)의 연구결과에서 사회적 수익률과 비교하였다.

〈표 5-1〉 산업별 R&D 수익률의 범위 (단위: %)

산업군	사업	R&D 수익률 범위	한재필 (2018)
저위기술산업군	기타 제조업	8.6 ~ 23.5	9.7
	목재·종이·인쇄 및 복제	54.7 ~ 161.3	-
	섬유 및 가죽	10.5 ~ 27.4	-
	음식료품 및 담배	22.5 ~ 61.0	14.4
	평균	24.1 ~ 68.3	-
중저위기술산업군	1차금속	19.6 ~ 56.3	12.5
	고무제품 및 플라스틱	7.7 ~ 19.8	14.0
	금속제품	15.8 ~ 43.0	11.4
	비금속 광물	5.8 ~ 15.6	-
	석탄 및 석유	4.0 ~ 11.1	-
	평균	10.6 ~ 29.2	-
중고위기술산업군	기계장비	3.7 ~ 9.2	12.7
	기타 운송장비	2.8 ~ 7.1	-
	자동차	4.7 ~ 12.0	16.3
	전기장비	10.6 ~ 28.3	17.2
	화학물질 및 화학	12.2 ~ 34.0	12.2
	평균	6.8 ~ 18.1	-
고위기술산업군	의약품 및 의료물질	6.9 ~ 18.6	20.7
	전자부품, 컴퓨터, 영상 음향 및 통신장비 제조업	2.4 ~ 6.0	14.7
	정밀기기	3.2 ~ 8.2	17.4
	평균	4.2 ~ 10.9	-
전체 평균		11.5 ~ 31.9	14.2

한편 2006년 대비 2017년의 R&D 수익률 차이를 각 산업별로 보게 되면, 수익률이 가장 높은 산업인 목재·종이·인쇄 및 복제 산업의 차이가 매우 큰 것으로 나타났다(〈표 5-2〉 참조). 또한 목재·종이·인쇄 및 복제 산업은 수익률은 가장 컸지만 분석기간 동안 계속해서 수익률이 감소하였으며, 이와 같은 산업은 중저위기술산업군의 1차금속, 고위기술산업군의 의약품 및 의료물질 산업이 유사한 결과를 보인다. 하지만 중고위기술산업군의 화학물질 및 화학 산업의 경우, 중고위기술산업군에서 가장 큰 연평균 수익률을 달성하면서 동시에 2006년 대비 2017년 R&D 수익률이 더 큰 것으로 분석되었다.

〈표 5-2〉 각 추정방법에 따른 2006년 대비 2017년 R&D 수익률 변화 (단위 : %p)

산업군	사업	OLS without Dummy 수익률	SFA without Dummy 수익률	SFA with Dummy 수익률
저위기술산업군	기타 제조업	3.5	4.1	9.7
	목재,종이,인쇄 및 복제	-38.8	-44.8	-114.5
	섬유 및 가죽	-6.2	-7.2	-16.2
	음식료품 및 담배	-4.4	-5.1	-11.9
	평균	-8.6	-13.2	-33.2
중저위기술산업군	1차금속	-9.0	-10.4	-25.9
	고무제품 및 플라스틱	-1.8	-2.1	-4.7
	금속제품	0.1	0.1	0.2
	비금속 광물	0.0	0.0	0.0
	석탄 및 석유	1.5	1.7	4.2
	평균	-1.9	-2.1	-5.2
중고위기술산업군	기계장비	0.5	0.6	1.3
	기타 운송장비	-0.7	-0.8	-1.7
	자동차	-0.9	-1.0	-2.3
	전기장비	-4.8	-5.6	-12.8
	화학물질 및 화학	0.1	0.1	0.2
	평균	-1.2	-1.3	-3.1
고위기술산업군	의약품 및 의료물질	-5.3	-6.1	-14.3
	전자부품, 컴퓨터, 영상 음향 및 통신장비 제조업	0.3	0.3	0.7
	정밀기기	0.4	0.5	1.1
	평균	-1.5	-1.8	-4.2

우리나라 제조업의 R&D 수익률은 전반적으로 정(+)의 값을 가지고 가지는 것으로 분석되었으며, 이를 통해 R&D 투자로 인해 유발되는 수익 효과는 긍정적이라고 해석할 수 있다. 분석방법에 차이는 있지만 연구개발자본의 계수가 모두 정(+)의 값을 가지는 것을 볼 수 있었으며, 이에 따라 R&D 수익률도 정(+)의 값으로 나타났다. 또한 분석방법에 따라 그 수익률 값은 다르지만 분석기간 동안 산업별 R&D 수익률은 모든 분석방법에서 유사한 흐름을 보였다.

〈표 5-1〉에 나타난 것처럼 산업별 R&D 수익률을 보았을 때 더 많은 부가가치를 창출하기 위해서는 R&D 수익률이 높은 산업을 대상으로 R&D 투자를 집중시켜야 할 것이다. 하지만 이를 〈표 5-2〉의 결과와 함께 보면 높은 R&D 수익률을 가진 산업보다 초기 R&D 수익률에 비해 최근 R&D 수익률이 증가한 산업을 눈여겨 볼 필요가 있다. 다시 말해, 기타 제조업, 석탄 및 석유, 기계장비, 화학물질 및 화학, 전

자부품·컴퓨터·영상 음향 및 통신장비 제조업, 정밀기기 산업 등과 같이 과거에 비해 R&D 수익률이 높아졌으므로, 이러한 산업들을 중심으로 R&D 투자와 관련된 정책을 수립해야 할 것이다. 과거에 비해 낮아진 산업을 대상으로 그 원인이 무엇인지를 찾고 각 산업마다의 연구개발 성격, 시장구조 및 특성을 고려한 정책 수립이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구는 전통적인 생산함수를 통해 R&D 수익률을 계측하여 정책 도구 개발의 방향성을 제시했다는 점에서 기존의 연구와 차별점을 갖는다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 다음과 같은 한계점을 갖는다. 첫 번째로, 투입요소의 산출탄력성을 추정하여 R&D 수익률을 단순하게 추정하였다는 점에서 한계가 있다. Hall et al. (2010)에서 언급한 것처럼 R&D의 산출 탄력성 추정치는 국가, 시기, 표본의 크기, 대상 산업 등에 따라 매우 변동성이 크기 때문에, 본 연구에서 추정한 R&D 수익률이 절대적으로 정확하다고 할 수는 없을 것이다. 국내 연구에서도 각 연구마다 산출 탄력성 추정치는 연구에 따라 매우 다르게 추정된다. 하지만 이러한 연구들과 함께 본 연구가 확인할 수 있는 점은 R&D의 산출탄력성이 통계적으로 유의미한 정(+)의 값을 갖는다는 것이다. 또한 R&D 투자에 관련된 자료의 경우 기업마다 나누는 기준이 상이하고 정확한 연구개발자본을 추정하기 힘들기 때문에 본 연구의 R&D 수익률이 정확하지 않을 가능성 또한 존재할 것이다. 하지만 본 연구를 통해 확인할 수 있는 부분은 우리나라 제조업의 R&D 수익률에 대한 흐름 혹은 추세(trend)를 파악할 수 있다는 점이다. 어떤 산업의 R&D 수익률이 시간에 흐름에 따라 어떻게 변화하는지를 확인하면서 산업에서의 R&D 투자에 대한 방향을 설정할 수 있으며, 경제성장에 대한 기여도 또한 추론이 가능할 것이다. 둘째, 각 산업들이 갖고 있는 고유한 특성을 생산함수에 반영하지 못하였다. 기업을 대상으로 수행할 경우 기업의 특성을 표현할 수 있는 여러 설명 변수들을 생산함수에 포함시켜 특성을 고려할 수 있지만 산업 데이터로 하게 될 경우에는 어려운 부분이 있기 때문이다. 셋째, 본 연구에서는 특정 산업 내(intra)에서의 R&D 수익률을 계측하고 산업 간(inter)에서 발생할 수 있는 R&D 수익률은 계측하지 않았다. Badinger and Egger (2008) 등과 같은 연구에서처럼 산업별 가중치를 적용한다면, 산업 간(inter) R&D 수익률을 도출할 수 있을 것이다. 상기 세가지 한계점은 추후 연구에서 극복할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- Aboody, D., Lev, B. (1998). The value relevance of intangibles: The case of software capitalization. *Journal of Accounting research* 36, 161-191.
- Aghion, P., Howitt, P. (1992). A model of growth: Through creative destruction. *Econometrica* 60(2), 323-351.
- Badinger H, Egger P. (2008). Intra- and inter-industry productivity spillovers in OECD manufacturing: a spatial econometric perspective. CESifo working paper No. 281.
- Battese, G. E., Coelli, T. J. (1992). A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical economics* 20(2), 325-332.
- Bloom, N., Schankerman, M., & van Reenen, J. (2013). Identifying technology spillovers and product market rivalry. *Econometrica* 81(4), 1347-1393.
- Bublitz, B., Ettredge, M. (1989). The information in discretionary outlays: Advertising, research, and development. *Accounting Review* 64(1), 108-124.
- Corderi, D., Lin, C. Y. C. (2011). Measuring the social rate of return to R&D in coal, petroleum and nuclear manufacturing: A study of the OECD countries. *Energy Policy* 39(5), 2780-2785.
- Chen, S. S., Chen, Y. S., Liang, W. L., Wang, Y. (2013). R&D spillover effects and firm performance following R&D increases. *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 48(5), 1607-1634.
- Cincera, M., Veugelers, R. (2014). Differences in the rates of return to R&D for European and US young leading R&D firms. *Research policy* 43(8), 1413-1421.
- Griliches, Z. (1957). Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. *Econometrica, Journal of the Econometric Society* 25(4), 501-522.
- Griliches, Z., (1979). Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth. *Bell Journal of Economics* 10(1), 92~116.

- Griliches, Z. (1992). The Search for R&D Spillovers. *Scandinavian Journal of Economics* 94, S29-547.
- Grossman, G. M., Helpman, E. (1990). Trade, innovation, and growth. *The American economic review* 80(2), 86-91.
- Hall, B. H., Mairesse, J., Mohnen, P. (2010). Measuring the Returns to R&D. In *Handbook of the Economics of Innovation* (Vol. 2, pp. 1033-1082). North-Holland.
- Hirschey, M., Weygandt, J. J. (1985). Amortization policy for advertising and research and development expenditures. *Journal of Accounting Research* 23(1), 326-335.
- Inglesi-Lotz, R. (2017). Social rate of return to R&D on various energy technologies: Where should we invest more? A study of G7 countries. *Energy Policy* 101, 521-525.
- Jones, C. I., & Williams, J. C. (1998). Measuring the social return to R&D. *The Quarterly Journal of Economics* 113(4), 1119-1135.
- Kumbhakar, S. C., Lovell C. A. K. (2000). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press, New York.
- Lang, G. (2009). Measuring the returns of R&D—An empirical study of the German manufacturing sector over 45 years. *Research Policy* 38(9), 1438-1445.
- Mahmut, Y. and Morrison Paul, C. J. (2007). International linkages and productivity at the plant: foreign direct investment, exports, imports and licensing. *Journal of International Economics* 71, 373-388.
- Mansfield, E., Rapoport, J., Romeo, A., Wagner, S., Beardsley, G. (1977). Social and private rates of return from industrial innovations. *The quarterly Journal of economics* 91(2), 221-240.
- Nadiri, I. (1993), *Innovations and Technological Spillovers*. Working Paper 423, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.

- Romer, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of political Economy* 98(5), S71-S102.
- van Elk, R., ter Weel, B., van der Wiel, K., Wouterse, B. (2019). Estimating the returns to public R&D investments: Evidence from production function models. *De Economist* 167(1), 45-87.
- 배용호, 황석원, 김종선, 황정태, 배영임. (2008), “국가연구개발사업의 연계구조 분석 - 기업 참여 국가연구개발사업의 특성 분석을 중심으로“, STEPI 정책연구 2008-1.
- 서중해 (2005). 우리나라 민간기업연구개발투자의 특성 및 경제적 효과. *한국개발연구* 27(1).
- 양울민, 장군, 김성훈 (2017). R&D활동과 기술혁신이 경영성과에 미치는 영향. *대한경영학회지* 30(7), 1139-1157.
- 이우성, 변인수, 박종혜, 김보현 (2009). “R&D 투자 GDP 대비 5% 달성을 위한 민간 R&D 투자 촉진 방안” . STEPI 정책연구, 1-220.
- 이우성, 현성재, 김보현. (2011). “정부 R&D 사업 효율성 지표개발 및 적용방안 연구” . 과학기술정책연구원.
- 장필성, 오승환, 황석원, 황원식, 유재연, 김지훈, 김태양 (2019). “R&D 투자영향평가 체계 구축(3차년도)“, STEPI 정책연구, 1-210.
- 정우진, 김현석, 조신 (2019). ICT 산업의 R&D 투자가 타 산업에 미치는 파급효과 측정. *지식경영연구* 20(1), 27-43.
- 조윤애 (2004). 기업의 연구개발 파급효과 분석: 한국 제조업을 중심으로. *응용경제* 6(1), 209-232.
- 한응용, 김주일 (2020). “2020년도 정부연구개발예산 현황분석” , 조사자료 2020-002, 한국과학기술기획평가원.
- 한재필 (2018), “연구개발의 사회적 수익 추정과 상쇄효과에 대한 연구“, KDI 정책연구 시리즈, 2018-18.

황석원, 이우성, 박종혜 (2010). 국가 R&D 사업 경제적 타당성평가 방법론 개선 방안.
정책연구, 1-179

부 록

1. 산업별 연구개발투자 수익률 분석모형 추정 결과

산식 (3)과 산식 (5)를 통한 계수 추정치는 <부표-1>과 <부표-2>과 같다. 제3장에서 소개한 산식 (3)과 산식 (5)는 다음과 같다.

$$\Delta y_{i,t} = \lambda_t + \alpha \Delta l_{i,t} + \beta \Delta k_{i,t} + \gamma \Delta g_{i,t} + \Delta u_{i,t} \quad (3)$$

$$\Delta y_{i,t} = \lambda_t + \alpha \Delta l_{i,t} + \beta \Delta k_{i,t} + \rho \frac{(R_{i,t} - \delta G_{i,t-1})}{Y_{i,t}} + \Delta u_{i,t} \quad (5)$$

<부표-1>, <부표-2>에서 나타났듯이, 연구개발자본스톡에 대한 계수 추정값이 통계적으로 유의하지 못하였으며 부(-)의 값으로 나타났다. 또한 <부표-2>에서 보는 것처럼 OLS 추정법을 통해 R&D 수익률 ρ 를 추정한 결과가 통계적으로 유의하였지만 그 값이 293.4%로 매우 크게 나타나, R&D 수익률이 과대평가될 수가 있다. 따라서, 본 연구에서는 산식 (3)과 산식 (5)으로 추정한 결과는 제시하지 않았다.

<부표-1> 산업 더미를 고려하지 않은 OLS, SFA 모형의 제조업 분야 전체에 대한 계수
- 식 (3)

추정법 감가 상각률	OLS			SFA		
	0%	10%	15%	0%	10%	15%
(절편)	0.016 (0.031)	0.029 (0.026)	0.026 (0.023)	0.019 (0.036)	0.033 (0.033)	0.030 (0.030)
β_{grL}	0.671** (0.221)	0.710** (0.225)	0.713** (0.226)	0.674** (0.218)	0.714** (0.222)	0.718** (0.224)
β_{grK}	0.334· (0.183)	0.348· (0.183)	0.350· (0.184)	0.331· (0.182)	0.344· (0.182)	0.346· (0.182)
β_{grR}	-0.062 (0.517)	-0.316 (0.402)	-0.265 (0.336)	-0.063 (0.512)	-0.323 (0.401)	-0.272 (0.334)

* 비고 : *** - 유의수준 0.1%, ** - 유의수준 1%, * - 유의수준 5%, · - 유의수준 10%

〈부표-2〉 산업 더미를 고려하지 않은 OLS, SFA 모형의 제조업 분야 전체에 대한 계수
- 식 (5)

추정법	OLS			SFA		
감가 상각률	0%	10%	15%	0%	10%	15%
(절편)		0.011 (0.019)	0.014 (0.019)	-0.005 (0.027)	0.014 (0.027)	0.017 (0.026)
β_{grL}	0.500* (0.227)	0.663** (0.220)	0.671** (0.222)	0.649** (0.215)	0.665** (0.222)	0.674** (0.228)
β_{grK}	0.330· (0.187)	0.330· (0.183)	0.334· (0.183)	0.311· (0.180)	0.327· (0.188)	0.331· (0.184)
$\beta_{grR} \text{ intenR}$	2.934*** (0.745)	0.055 (0.377)	-0.047 (0.452)	0.262 (0.184)	0.056 (0.377)	-0.047 (0.445)

* 비교 : *** - 유의수준 0.1%, ** - 유의수준 1%, * - 유의수준 5%, · - 유의수준 10%

한편, R&D 수익률 분석을 위해 그에 알맞은 생산함수를 고려하고자 하였다. 초기 과정에서 생산함수를 콥-더글라스 생산함수로 출발하여 초월대수(translog) 생산함수까지 여러 모형을 이용해 본 자료를 잘 설명할 수 있는 모형을 찾고자 노력하였다. 〈부표-3〉은 콥-더글라스 및 초월대수 생산함수를 교호항 등을 추가하여 여러 기준에 따라 모형을 구축한 결과이며, 이들 중에 어느 모형이 우세한지에 대해 검정하였다.

〈부표-3〉 생산함수 형태에 따른 모델

생산함수 형태	모형	
콥-더글라스	Model 1	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_G \ln G + \beta_t t$
	Model 2	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_G \ln G$
초월대수	Model 3	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_{KL} \ln K \ln L + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln K)^2 + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln L)^2$
	Model 4	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_{KL} \ln K \ln L + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln K)^2 + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln L)^2 + \beta_G \ln G + \frac{1}{2} \beta_{GG} (\ln G)^2$
	Model 5	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_{KL} \ln K \ln L + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln K)^2 + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln L)^2 + \beta_G \ln G + \frac{1}{2} \beta_{GG} (\ln G)^2 + \beta_t t + \frac{1}{2} \beta_{tt} t^2$
	Model 6	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_{KL} \ln K \ln L + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln K)^2 + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln L)^2 + \beta_G \ln G + \frac{1}{2} \beta_{GG} (\ln G)^2 + \beta_{KG} \ln K \ln G + \beta_{LG} \ln L \ln G$
	Model 7	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_{KL} \ln K \ln L + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln K)^2 + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln L)^2 + \beta_G \ln G + \frac{1}{2} \beta_{GG} (\ln G)^2 + \beta_{KG} \ln K \ln G + \beta_{LG} \ln L \ln G + \beta_t t + \frac{1}{2} \beta_{tt} t^2$
	Model 8	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_{KL} \ln K \ln L + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln K)^2 + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln L)^2 + \beta_G \ln G + \frac{1}{2} \beta_{GG} (\ln G)^2 + \beta_{KG} \ln K \ln G + \beta_{LG} \ln L \ln G + \beta_t t + \frac{1}{2} \beta_{tt} t^2 + \beta_{Kt} \ln K t + \beta_{Lt} \ln L t$
	Model 9	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_{KL} \ln K \ln L + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln K)^2 + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln L)^2 + \beta_G \ln G + \frac{1}{2} \beta_{GG} (\ln G)^2 + \beta_{KG} \ln K \ln G + \beta_{LG} \ln L \ln G + \beta_t t + \frac{1}{2} \beta_{tt} t^2 + \beta_{Kt} \ln K t + \beta_{Lt} \ln L t + \beta_{gt} \ln G t$

* Y = 부가가치, L = 종업원 수, K = 유형고정자산, G= 연구개발 스톡, t= 시간의 흐름 의미

우세성 판단 결과, 콥-더글라스 생산함수에 비해 초월대수 생산함수가 우세하였다. 하지만 그 모수들이 통계적으로 유의하지 않아서 사용하지 않았다. 그러므로 물리적인 상황을 고려하여 콥-더글라스 형태로만 가정하고 그 결과를 분석하고자 했다.

2. 가중치 모델을 통한 산업 간(inter) R&D 파급효과 추정 방법

본 연구는 산업별 R&D 수익률을 사회적 수익률로 보고 분석하였다. 또한 본 연구는 산업 간(inter) 발생할 수 있는 R&D 수익률 추정을 하고자 하였지만 적절한 결과값을 얻지 못하였다. 본 절에서는 산업 간(inter) R&D 수익률을 추정하기 위해 적용하려 했던 절차 및 방법론에 대해 논의해보고자 한다.

산업 간(inter) R&D 수익률 분석을 위해 Badinger and Egger (2008)의 방법론을 착안하여 본 연구에 맞게 수정 및 보완하였다. Badinger and Egger (2008)는 R&D 산업 내(intra)에서의 R&D 수익률과 산업 간(inter)에서의 R&D 수익률은 계측하였다. 또한 Badinger and Egger (2008)는 산업별 가중치 도출하여, 산업 내(intra)와 산업 간(inter)의 수익률을 동시에 추정하였다.

Badinger and Egger(2008)는 초월대수 생산함수(translog)를 기반으로 한 분석모형을 구축했다. 초월대수 생산함수는 콥더글라스 생산함수보다 높은 유연성을 가지고 있기 때문에 보다 정교하게 생산함수 추정이 가능하며, 생산함수에서 발생하는 내재성 문제를 해결할 수 있다(Mahmut and Morrison Paul, 2007).

$$\ln Y_{ik} = \ln A_{ik} + \beta_l \ln L_{ik} + \beta_k \ln K_{ik} + \beta_{ll} (\ln L_{ik})^2 + \beta_{kk} (\ln K_{ik})^2 + \beta_{lk} \ln L_{ik} \ln K_{ik}. \quad (A1)$$

식 (A1)에서 Y 는 실제 부가가치, L 은 투입 노동, K 는 자본스톡(capital stock), A 는 총요소생산성(total factor productivity;TFP)이다. Badinger and Egger(2008)는 OECD 국가의 산업을 기준으로 분석하였으며, 패널 자료가 아닌 횡단 자료를 이용하여 분석하였다. 따라서 식 (A1)의 아래첨자 i 는 OECD 국가를 의미하며 아래첨자 k 는 각 국가의 산업들을 의미한다.

총요소생산성 A 는 식 (A2)과 같이 표현할 수 있다.

$$\ln A_{ik} = \alpha_i + \delta_1 \ln RD_{ik} + \delta_2 \ln RD_{ik}^* + \mu_{ik}, \quad (A2)$$

여기서 α_i 는 경제 전반에 걸친 국가별 발전수준의 차이를 포착하는 국가별 고정효과이며, RD_{ik} 는 해당 국가 i 의 해당 산업 k 에서의 R&D를 의미하고, RD_{ik}^* 는 서로 다른 산업 사이에서 연구개발비로 i 국가의 k 산업의 생산 기여도를 의미한다. 산

식 (A2)을 산식 (A1)에 대입하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\ln Y_{ik} = \alpha_i + \beta_l \ln L_{ik} + \beta_k \ln K_{ik} + 0.5\beta_{ll} (\ln L_{ik})^2 + 0.5\beta_{kk} (\ln K_{ik})^2 + \beta_{lk} \ln L_{ik} \ln K_{ik} + \delta_1 \ln RD_{ik} + \delta_2 \ln RD_{ik}^* + \mu_{ik} \quad (A3)$$

식 (A3)의 RD_{ik}^* 을 통해 직접적인 R&D 파급효과를 추정할 수 있지만 간접적인 R&D 파급효과는 추정할 수 없다. 즉, RD_{ik}^* 에서는 민간 또는 기업이 R&D 투자를 통해 창출한 직접적인 파급효과를 알 수 있지만, 이것이 다른 산업이나 기업으로 흘러가는 R&D 파급효과는 추정할 수 없다는 것이다. 따라서 이러한 부분을 고려하여 R&D 파급효과를 계측하기 위해 공간 상관관계(spatial correlation)를 이용한다. 이것은 $1 \times n$ 의 오차항 벡터 $\mu = [\mu_{ik}]$ 를 사용하며, 이때 n 은 관측치 수이다.

$$y = Z_\alpha \alpha + X\beta + RD\delta + \mu = Z_\gamma + \mu, \quad (A4)$$

여기서 y 는 $[\ln y_{ik}]$, Z_α 는 $n \times i$ 형태의 더미 변수, α 는 $i \times 1$ 의 각 국가의 특정효과를 포함한 파라미터벡터, RD 는 총요소생산성의 R&D와 연관된 부분으로 구성되며 $RD \equiv [rd \ rd^*]$ 를 의미한다.¹¹⁾ 나머지 X 는 투입요소의 행렬(Matrix)를 의미하며 $X \equiv [l \ k \ l^2 \ k^2 \ lk]$ 이다.

Badinger and Eger(2008)은 생산성 유출이 산업들 사이에서 진행된다고 가정하였고 이러한 유출은 산업 사이의 중간재(intermediate goods)를 통해 이루어진다고 주장했다. 이때 투입-산출표(Input-output Table)를 이용하면 산업 내 및 산업 간 상호작용의 범위와 강도를 측정할 수 있다. 이를 위해 공간 가중치 행렬, 또는 상호의존성 행렬을 제안하였으며, 이때 가중치 행렬($W^0 \equiv [W_{ik,jl}^0]$)을 구하는 산식으로 식 (A5)과 같이 정의하였다.

$$w_{ik}^0 = \frac{IO_{ik,jl}}{PROD_{ik}}, \quad (A5)$$

11) $rd = [\ln RD_{ik}]$, $rd^* = [\ln RD_{ik}^*]$

여기서 $IO_{ik,jl}$ 는 i 국가의 산업 k 와 j 국가의 산업 l 사이의 중간재를 의미한다. 또한 Badinger and Eger(2008)는 투입-산출의 흐름을 이용(use), 전달(delivery), 이용·전달(use-plus-delivery) 3가지 관점으로 w 를 추정하였다. $PROD_{ik}$ 는 i 국가에서 산업 k 의 총생산량을 의미한다. 따라서, 가중치 행렬은 각 산업의 규모 측면에서 중간재의 이용 또는 전달의 강도에 따른 두 산업 사이의 상호작용 크기로 모델링한다. 또한 기술적 이유와 발생할 수 있는 특이점을 방지하기 위해, 가중치 행렬의 구성요소를 대부분 정규화시켰다. 최대 정규화 아래에서 W^0 의 각 요소를 W^0 의 최대 열 또는 최대 열 합으로 나누어 가중치 행렬 $W^{nn} \equiv [W_{ik,jl}^{nn}]$ 을 구한다.¹²⁾

$$W^{nn} = [W_{ik,jl}^{nn}] = \left[\frac{W_{ik,jl}^0}{\min[\max_{ik} \sum_{jl} |W_{ik,jl}^0|, \max_{jl} \sum_{ik} |W_{ik,jl}^0|]} \right] \quad (A6)$$

개별적인 열-정규화된 가중치 매트릭스 W^{in} 는 W^0 의 각 요소를 해당 열의 합으로 나누어 구한다.¹³⁾

$$W^{in} = [W_{ik,jl}^{in}] = \left[\frac{W_{ik,jl}^0}{\sum_{jl} W_{ik,jl}^0} \right] \quad (A7)$$

하지만 일반적으로 최대 정규화 모델을 사용할 경우, 공간 퇴행적 오류(spatial regressive error)가 발생하게 되는데, 이는 최대 정규화된 가중치 행렬을 사용하면 허용되는 모수의 범위를 벗어난 추정치가 발생하는 것이다(Kelejian and Prucha, 2007). 따라서 본 연구는 열 정규화된 가중치 행렬을 사용함으로써, 최대 정규화의 오류를 보완하였다.

Badinger and Eger(2008)은 가중치 행렬 W^0 를 다시 W_{intra}^0 와 W_{inter}^0 로 나누었다. 산업내(intra) 관계는 $W_{ik,jl,intra}^0 = W_{ik,jl}^0$ ($k=l$)로, 산업 간(inter) 관계는 $W_{ik,jl,inter}^0 = W_{ik,jl}^0$ ($k \neq l$)로 가중치 행렬을 각각 표현하였으며, 이 둘의 합은 다시

12) 최대 행의 합이 W 의 구성요소와 동일하기 때문에, 스칼라(Scalar)에 의한 정규화이다.

13) W 의 행의 합이 행마다 다르므로, 벡터(Vector)에 의한 정규화이다.

$W_{intra}^0 + W_{inter}^0 = W^0$ 로 표현된다.

위 가중치를 이용하여, R&D 파급효과(rd^*)을 rd 의 공간적 지연(spatial lag)으로 보고, 생산재 사용에 기반한 비정규화된 가중치 매트릭스 사용한다. 즉, $rd^* = W^{U,0}rd$ 로 본다.

$$A = \alpha + \delta_1 rd + \delta_2 W^{U,0}rd + \mu \quad (A8)$$

이것은 모든 산업의 연구개발이 1퍼센트씩 동시에 증가함에 따른 파급효과는 $W^{U,0}$ 의 (평균)열 총액의 δ_2 배와 같다고 해석 가능하다.

연구개발 파급효과를 나타내는 rd^* 는 국내·외 산업 내에서의 유출과 산업 간의 유출을 모두 반영한다. $W^{U,0}$ 는 $W_{intra}^{U,0}$ 와 $W_{inter}^{U,0}$ 으로 나눌 수 있으며 이때, $W_{intra}^{U,0}$ 는 산업내의 관계만, $W_{inter}^{U,0}$ 는 산업 간의 관계를 반영한다. 따라서, rd^* 는 $rd_{intra}^* + rd_{inter}^* = rd^*$ 와 같이 산업 내, 산업 간의 합으로 나타낼 수 있으며, 이때 $rd_{intra}^* = W_{intra}^{U,0}rd$, $rd_{inter}^* = W_{inter}^{U,0}rd$ 을 의미한다. 최종 산식은 다음과 같다.

$$A = \alpha + \delta_1 rd + \delta_{2,intra} W_{intra}^{U,0}rd + \delta_{2,inter} W_{inter}^{U,0}rd + \mu \quad (A9)$$

본 연구에서는 산업 간(inter) 수익률을 추정하기 위해서 Badinger and Eger(2008)가 제시한 가중치 행렬을 이용하였으며, 이때 투입-산출표를 이용하였다.¹⁴⁾ 또한 Badinger and Eger(2008)는 OECD 국가간 산업을 중심으로 수행하였지만 본 연구는 우리나라의 제조업을 분석하였다. 따라서 위의 식에서 i 값은 고정되며, k, l 값 즉, 산업만 달리 적용하여 산업 간의 R&D 수익률을 추정하였다. 또한 Badinger and Eger(2008)는 횡단 자료로 이용해 분석하였지만, 본 연구의 자료는 패널 자료이기 때문에 시간 변수를 추가한 모형을 이용하여 산업 간 R&D 수익률을 분석하였다. 식 (A10)은 산업 간 R&D 수익률을 구하기 위해 사용된 식이다.

14) 한국은행에서 제공하는 2015년 산업연관표(실측치) - 생산자가격 기준 자료를 이용하였으며, 본 연구의 제조업 분야와 매칭하기 위해 중분류 산업 기준 자료를 사용하였다.

$$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_R \ln R + \beta_{KK} \frac{1}{2} (\ln K)^2 + \beta_{LL} \frac{1}{2} (\ln L)^2 + \beta_{LK} \ln L \ln K \quad (A10)$$

$$+ \beta_{Lt} \ln L t + \beta_{Kt} \ln K t + \beta_{Rt} \ln R t + \beta_{W_{intra}} \ln W_{intra} R + \beta_{W_{inter}} \ln W_{inter} R$$

$$+ \beta_{tt} t^2 + \beta_t t + \beta_{W_{intra}t} \ln W_{intra} R \cdot t + \beta_{W_{inter}t} \ln W_{inter} R \cdot t$$

본 연구에서 식 (A10)을 통해 구한 산업 내(intra) 계수와 산업 간(inter) 계수를 추정하여 R&D 수익률을 추정하고자 했으나 본 연구결과에는 수록하지 않았다. 이유는 추정치가 통계적으로 유의미하지 않았고, R&D 산출탄력성 계수(coefficient)가 음(-)의 값을 가지게 되어 산업 간 R&D 수익률이 모두 부의 영향을 미치는 것으로 나왔기 때문이다. 이것은 본 연구진이 판단하였을 때 잘못된 결과로 판단하였으며, 이를 수정하기 위해 많은 시도를 하였지만 사전적으로 예상하는 바에 부합하는 결과를 도출하지 못하였다. 따라서 후속 연구를 통해 산업 간(inter) 수익률을 재분석할 필요가 있다.

시범 분석 결과는 <부표-4>부터 <부표-7>에 나타내었다. <부표-4>는 Badinger and Eger(2008)의 방법론을 참고하여 가중치 행렬을 구한 것이다.

<부표-4> 가중치 행렬(W_{inter} , W_{intra})

산업	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0.190	0.007	0.001	0.001	0.008	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
2	0.002	0.290	0.006	0.001	0.001	0.000	0.020	0.002	0.003	0.006	0.004	0.001	0.003	0.003	0.014	0.001	0.015
3	0.056	0.021	0.322	0.003	0.019	0.008	0.013	0.011	0.007	0.020	0.013	0.003	0.018	0.010	0.006	0.001	0.041
4	0.003	0.003	0.002	0.039	0.234	0.001	0.005	0.014	0.014	0.006	0.002	0.000	0.003	0.004	0.005	0.003	0.001
5	0.005	0.038	0.016	0.013	0.324	0.022	0.142	0.009	0.008	0.023	0.069	0.005	0.019	0.009	0.016	0.008	0.006
6	0.006	0.000	0.000	0.000	0.001	0.082	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.030	0.019	0.007	0.002	0.017	0.003	0.105	0.005	0.004	0.023	0.123	0.015	0.060	0.043	0.170	0.013	0.018
8	0.015	0.001	0.001	0.002	0.013	0.007	0.005	0.171	0.055	0.020	0.129	0.006	0.031	0.011	0.034	0.008	0.005
9	0.000	0.000	0.000	0.002	0.009	0.001	0.006	0.005	0.368	0.163	0.042	0.004	0.079	0.067	0.094	0.065	0.011
10	0.016	0.003	0.003	0.011	0.009	0.001	0.007	0.005	0.010	0.151	0.023	0.011	0.040	0.148	0.114	0.094	0.010
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.133	0.000	0.001	0.001	0.349	0.015	0.022	0.009	0.015	0.001	0.005
12	0.001	0.000	0.001	0.006	0.005	0.000	0.003	0.001	0.004	0.011	0.055	0.165	0.032	0.068	0.054	0.061	0.001
13	0.000	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	0.003	0.007	0.065	0.013	0.189	0.051	0.105	0.027	0.002
14	0.001	0.001	0.001	0.007	0.003	0.000	0.021	0.003	0.007	0.025	0.014	0.002	0.015	0.209	0.034	0.049	0.001
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.210	0.000	0.000	0.000	0.004	0.330	0.001	0.000
16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.084	0.000
17	0.011	0.018	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	2.547	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.003	0.054

* 1- 음식료품 및 담배, 2- 섬유 및 가죽, 3- 목재, 종이, 인쇄 및 복제, 4- 석탄 및 석유, 5- 화학물질 및 화학, 6- 의약품 및 의료물질, 7- 고무제품 및 플라스틱, 8 비금속광물, 9- 1차금속, 10- 금속제품, 11- 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업, 12- 정밀기기, 13- 전자장비, 14- 기계 및 장비, 15- 자동차, 16- 기타 운송장비, 17- 기타 제조업

〈부표-4〉의 노란색으로 처리된 항목은 산업 내(intra) 가중치 행렬이며, 나머지 부분은 산업 간(inter) 가중치 행렬을 의미한다. 〈부표-4〉의 가중치 행렬과 콥더글라스 및 초월대수 생산함수를 사용하여 각 요소별 계수(coefficient)를 추정하였다. 추정에 사용된 모형은 〈부표-5〉와 같다.

〈부표-5〉 산업 간 R&D 수익률 추정을 위한 생산함수 모델

생산함수 형태	모형	
콥-더글라스	Model 1	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_R \ln R$
	Model 2	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_R \ln R + \beta_t t$
	Model 3	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_R \ln R + \beta_{W_{inter}} \ln W_{inter} R : factor(ID) + \beta_{W_{intra}} \ln W_{intra} R : factor(ID)$
초월대수	Model 4	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_R \ln R + \beta_{KK} \frac{1}{2} (\ln K)^2 + \beta_{LL} \frac{1}{2} (\ln L)^2 + \beta_{LK} \ln L \ln K + \beta_{Lt} \ln L t + \beta_{Kt} \ln K t + \beta_{Rt} \ln R t + \beta_{tt} t^2 + \beta_t t$
	Model 5	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_R \ln R + \beta_{KK} \frac{1}{2} (\ln K)^2 + \beta_{LL} \frac{1}{2} (\ln L)^2 + \beta_{LK} \ln L \ln K + \beta_{Lt} \ln L t + \beta_{Kt} \ln K t + \beta_{Rt} \ln R t + \beta_{W_{intra}} \ln W_{intra} R + \beta_{W_{inter}} \ln W_{inter} R + \beta_{tt} t^2 + \beta_t t$
	Model 6	$\ln Y = \beta_K \ln K + \beta_L \ln L + \beta_R \ln R + \beta_{KK} \frac{1}{2} (\ln K)^2 + \beta_{LL} \frac{1}{2} (\ln L)^2 + \beta_{LK} \ln L \ln K + \beta_{Lt} \ln L t + \beta_{Kt} \ln K t + \beta_{Rt} \ln R t + \beta_{W_{intra}} \ln W_{intra} R + \beta_{W_{inter}} \ln W_{inter} R + \beta_{tt} t^2 + \beta_t t + \beta_{W_{intra}t} \ln W_{intra} R \cdot t + \beta_{W_{inter}t} \ln W_{inter} R \cdot t$

* Y = 부가가치, L = 종업원 수, K = 유형고정자산, R = 연구개발비, t = 시간(2006년 = 1)

6개의 모형 중 어떠한 모형이 자료를 잘 설명할 수 있는 생산함수 형태를 결정하기 위해 우세성에 대해 검정을 했다. 이때, OLS, SFA 통해 계수를 추정하였다. 검정결과, 두 추정법 모두 모델 6이 가장 우세하였으며, 모델 6을 이용하여 계수를 추정하였다. 〈부표-6〉, 〈부표-8〉은 각각 OLS, SFA추정법에 따른 모델별 계수를 나타내었고, 〈부표-7〉, 〈부표-9〉는 각 모형별 우세성 검정한 결과이다. 결과에서 보는 것처럼 각 모델별로 살펴 볼 때, 통계적으로 유의미한 결과를 도출한 계수는 없었으며, 또한 산업별로 추정된 계수를 살펴봐도 통계적으로 유의미한 결과를 얻을 수

없었다.

<부표-6> 가중치 행렬을 적용한 모델별 추정치 - OLS

추정법	OLS 감가상각률 ($\delta = 0\%$)						
계수	Model 1	Model 2	Model 4	Model 5	Model 6	Model 3	
						계수	추정치
(절편)		1.995*** (0.366)	7.705 (4.709)	3.798 (7.752)		β_L	0.259 (0.252)
β_L	0.380* (0.182)	0.238*** (0.049)	0.380 (1.091)	0.816 (1.411)	-1.324 (2.289)	β_K	0.272 (0.183)
β_K	0.242* (0.108)	0.555*** (0.030)	-0.263 (0.921)	-0.110 (1.006)	0.175 (2.032)	β_R	0.328** (0.109)
β_R	0.259*** (0.076)	0.165*** (0.027)	0.150** (0.046)	0.147** (0.050)	0.303** (0.095)	$\beta_{W_{lab},RID\ 1}$	3.235 (3.535)
β_{KK}			0.097 (0.101)	0.086 (0.110)	-0.040 (0.176)	$\beta_{W_{lab},RID\ 2}$	1.016 (1.137)
β_{LL}			0.073 (0.087)	0.029 (0.109)	0.022 (0.266)	$\beta_{W_{lab},RID\ 3}$	0.116 (7.739)
β_{LK}			-0.061 (0.083)	-0.061 (0.094)	0.083 (0.179)	$\beta_{W_{lab},RID\ 4}$	2.300 (2.233)
β_{Lt}			0.018 (0.009)	0.018 (0.010)	0.007 (0.014)	$\beta_{W_{lab},RID\ 5}$	-0.121 (0.849)
β_{Kt}			-0.016** (0.006)	-0.0158* (0.006)	-0.017 (0.010)	$\beta_{W_{lab},RID\ 6}$	0.691 (1.118)
β_{Gt}			-0.001 (0.005)	-0.001 (0.005)	-0.015* (0.006)	$\beta_{W_{lab},RID\ 7}$	0.035 (1.097)
$\beta_{W_{lab},R}$				-0.0157 (0.0397)	-0.144 (0.206)	$\beta_{W_{lab},RID\ 8}$	-0.315 (0.772)
$\beta_{W_{lab},R}$				0.0641 (0.096)	-0.505* (0.247)	$\beta_{W_{lab},RID\ 9}$	-0.460 (0.557)
$\beta_{W_{lab},Rt}$					0.014** (0.005)	$\beta_{W_{lab},RID\ 10}$	1.407 (2.463)
$\beta_{W_{lab},Rt}$					0.049*** (0.010)	$\beta_{W_{lab},RID\ 11}$	0.258 (0.391)
β_{tt}			0.003 (0.003)	0.002 (0.003)	-0.005 (0.003)	$\beta_{W_{lab},RID\ 12}$	0.056 (0.968)
β_t		-0.009* (0.004)	0.066 (0.075)	0.052 (0.079)	-0.413* (0.200)	$\beta_{W_{lab},RID\ 13}$	-0.033 (0.619)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 14}$	0.157 (1.071)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 15}$	-0.258 (0.480)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 16}$	0.803 (1.883)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 17}$	0.420 (0.936)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 1}$	-3.316 (3.511)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 2}$	-1.041 (1.354)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 3}$	-0.284 (7.727)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 4}$	-2.726 (2.211)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 5}$	0.205 (0.758)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 6}$	-0.986 (1.068)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 7}$	0.003 (1.153)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 8}$	0.172 (0.816)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 9}$	0.073 (0.642)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 10}$	-1.337 (2.375)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 11}$	0.159 (0.320)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 12}$	-0.012 (0.981)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 13}$	-0.088 (0.585)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 14}$	-0.092 (1.204)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 15}$	0.319 (0.468)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 16}$	-1.488 (2.055)
						$\beta_{W_{lab},RID\ 17}$	-0.010 (0.853)
Logik	44.973	47.440	53.034	53.387	68.719	Logik	72.765

*비고 : *** - 유의수준 0.1%, ** - 유의수준 1%, * - 유의수준 5%, · - 유의수준 10%

〈부표-7〉 우세성 검정 결과 - OLS

	Model 1	Model 2	Model 4	Model 5
Model 2	4.93 (6.63, 1)**			
Model 3		50.65 (6.63, 1)		
Model 5			0.71 (9.21, 2)**	
Model 6		42.56 (24.72, 11)***		30.67 (9.21, 2)***

* 비교 : *** - 유의수준 0.1%, ** - 유의수준 1%, * - 유의수준 5%, · - 유의수준 10%

〈부표-8〉 가중치 행렬을 적용한 항목별 계수 추정치 - SFA

추정법	SFA ($\delta = 0\%$)						추정치
	Model 1	Model 2	Model 4	Model 5	Model 6	Model 3	
계수						계수	
(절편)	1.994* (0.999)	1.879*** 0.238	2.322 (3.711)	-2.237 (6.039)	11.371 (6.597)	(절편)	4.116** (1.551)
β_L	0.254 (0.877)	0.239*** (0.035)	0.765 (0.837)	0.432 (1.021)	-0.980 (1.164)	β_L	0.236 (0.201)
β_K	0.563 (0.708)	0.572*** 0.021	0.131 (0.761)	1.109 (0.838)	0.707 (0.856)	β_K	0.380** (0.134)
β_R	0.142 (0.796)	0.153*** (0.020)	0.165*** (0.036)	0.207*** (0.042)	0.271*** (0.043)	β_R	0.319*** (0.080)
β_{KK}			0.047 (0.084)	-0.010 (0.098)	-0.063 (0.104)	$\beta_{W_{idv},RID1}$	1.632 (2.678)
β_{LL}			-0.022 (0.065)	-0.200* (0.097)	-0.041 (0.094)	$\beta_{W_{idv},RID2}$	1.268 (1.006)
β_{LK}			-0.023 (0.066)	0.108 (0.082)	0.093 (0.086)	$\beta_{W_{idv},RID3}$	0.397 (0.947)
β_{Lt}			0.018* (0.009)	0.007 (0.011)	0.0128 (0.011)	$\beta_{W_{idv},RID4}$	2.097* (0.877)
β_{Kt}			-0.056* (0.006)	-0.012 (0.006)	-0.014* (0.006)	$\beta_{W_{idv},RID5}$	-0.327 (0.505)
β_{Gt}			-0.001 (0.006)	0.003 (0.006)	-0.016* (0.006)	$\beta_{W_{idv},RID6}$	1.087 (0.590)
$\beta_{W_{idv},R}$				-0.103** (0.034)	-0.105** (0.038)	$\beta_{W_{idv},RID7}$	-0.288 (0.731)
$\beta_{W_{idv},R}$				0.018 (0.076)	-0.311** (0.116)	$\beta_{W_{idv},RID8}$	-0.108 (0.588)
$\beta_{W_{idv},Rt}$					0.001 (0.005)	$\beta_{W_{idv},RID9}$	-0.381 (0.498)
$\beta_{W_{idv},Rt}$					0.004*** (0.010)	$\beta_{W_{idv},RID10}$	-0.019 (0.804)
β_{tt}			0.007* (0.003)	0.007** (0.003)	0.000 (0.002)	$\beta_{W_{idv},RID11}$	-0.188 (0.307)
β_t		0.006 (0.006)	0.044 (0.074)	0.057 (0.075)	-0.355** (0.147)	$\beta_{W_{idv},RID12}$	-0.195 (0.701)
						$\beta_{W_{idv},RID13}$	0.080 (0.427)
						$\beta_{W_{idv},RID14}$	0.0204 (0.919)
						$\beta_{W_{idv},RID15}$	-0.294 (0.414)
						$\beta_{W_{idv},RID16}$	-0.061 (1.645)
						$\beta_{W_{idv},RID17}$	-0.678 (0.517)
						$\beta_{W_{idv},RID1}$	-1.631 (2.563)
						$\beta_{W_{idv},RID2}$	-1.563 (1.178)
						$\beta_{W_{idv},RID3}$	-0.572 (1.131)
						$\beta_{W_{idv},RID4}$	-2.570* (1.015)
						$\beta_{W_{idv},RID5}$	0.287 (0.566)
						$\beta_{W_{idv},RID6}$	-1.401* (0.705)
						$\beta_{W_{idv},RID7}$	0.251 (0.888)
						$\beta_{W_{idv},RID8}$	0.053 (0.706)
						$\beta_{W_{idv},RID9}$	0.341 (0.557)
						$\beta_{W_{idv},RID10}$	-0.073 (0.972)
						$\beta_{W_{idv},RID11}$	0.0786 (0.286)
						$\beta_{W_{idv},RID12}$	0.106 (0.814)
						$\beta_{W_{idv},RID13}$	-0.202 (0.489)
						$\beta_{W_{idv},RID14}$	-0.124 (1.038)
						$\beta_{W_{idv},RID15}$	0.188 (0.414)
						$\beta_{W_{idv},RID16}$	-0.044 (1.736)
						$\beta_{W_{idv},RID17}$	0.736 (0.613)
Logik	49.315	55.279	61.679	66.736	73.679	Logik	72.76974

* 비고 : *** - 유의수준 0.1%, ** - 유의수준 1%, * - 유의수준 5%, · - 유의수준 10%

〈부표-9〉 우세성 검정 결과 - SFA

	Model 1	Model 2	Model 4
Model 2	11.93 (6.63, 1)***		
Model 3		34.98 (6.63, 1)***	
Model 5			10.11 (6.63, 1)***
Model 6		36.8 (6.63, 1)***	24 (6.63, 1)***

* 비고 : *** - 유의수준 0.1%, ** - 유의수준 1%, * - 유의수준 5%, · - 유의수준 10%

주 의

1. 이 보고서는 한국과학기술기획평가원에서 위탁받아 수행한 연구 보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국과학기술기획평가원의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.