연구개발 투자의 産業生産性 增大效果

張 眞 圭[1], 金 基 國[2]

앞의 글에서는 연구개발 투자의 산업 성장 기여도를 살펴보았다. 이번 글에서는 산업의 생산성 증대 효과에 초점을 맞추기로 한다. 보다 구체적으로는 개별 산업별로 연구개발 투자의 생산성 증대 효과가 어떻게 파급되고 있는가와 연구개발 투자의 사적 수익률 및 사회적 수익률은 산업별로 어떻게 나타나는가 하는 두가지 문제를 다룰 것이다.

1. 머리말

연구개발 활동(R&D activity)은 기본적으로 공공재(pubic goods)와 같은 속성을 지니고 있기 때문에, 연구개발 투자를 직접 수행하고 있는 기업들이라고 하더라도 자신의 연구개발 성과로부터 발생하는 편익(benefits)을 독점적으로 專有하는 것은 불가능하다고 알려져 있다. 이에 관하여 Schumpeter(1950), Schmockler(1966), Griliches(1979) 등의 연구자들은 이 같은 전유성의 정도가 연구개발 투자의 시행과 그 결과의 산출에 큰 영향을 미치게 된다는 점을 공통적으로 지적하고 있다.

이 같은 관점에서 연구개발 투자의 편익은 그 연구개발 투자를 실제 수행한 기업에 영향을 미치는 직접 효과와, 그 기업과 동일 경제권 내에 존재하는 다른 기업들 모두에게 파급되어 영향을 주게 되는 간접 효과의 두가지로 나누어 볼 수 있을 것이다. 특히 간접 효과를 「파급효과(spillover effect)」라고도 부르고 있는데, 파급효과는 두 가지 경로를 통해서 다른 기업에 영향을 미친다고 이해된다. 즉 어느 한 기업이 연구개발 투자를 수행하게 되면, 이는 먼저 다른 기업들의 생산 비용을 감소시키며 이와 동시에 이들이 보유하고 있는 생산 요소의 수요 구조 또한 변화시키게 된다는 것이다.(Bernstein and Nadiri, 1989).

어느 한 기업이 연구개발 투자를 하는 경우 그 효과가 당연히 해당 기업의 생산비를 낮춰 주면서, 동시에 여타 기업들에게로 파급되어 그 기업들의 생산비를 하락시켜 주기도 한다는 사실은 그 동안 수행된 여러 실증 연구들에 의해 뒷받침되고 있다. 예를 들어 Levin and Reiss(1984)의 연구에 의하면 R&D 파급 변수가 1% 증가하는 경우에 생산 비용은 평균적으로 0.05% 감소하게 된다고 한다. 또한 Jaffe(1986)의 연구에서도 파급 변수가 1% 증가함에 따라서 평균 생산 비용이 0.2% 정도 감소하는 것으로 추정하고 있다.

그런데 이들 실증 연구들의 경우 그 대부분이 R&D 파급 변수를 하나의 변수로서 취급한다는 한계를 가지고 있다. 이 경우 생산 비용 및 요소 수요와 관련하여 어느 산업 부문에서 어느 산업 부문으로 과연 얼마만한 R&D 파급이 이루어지고 있는지 그 효과를 정확하게 구별하기는 실제로 불가능하게 된다. 즉 비용 함수를 이용하여 산업 차원에서 본 연구개발 투자의 직접효과와 간접 효과를 분석할 때 기존의 모형으로는 여타 산업들로부터 흘러 들어오는 파급효과의 합계만을 추정할 수 있을 뿐이고, 여타 산업으로 흘러 나가는 파급 효과는 포착할 수 없다는 한계가 존재한다는 것이다.

이와 같은 문제를 극복하기 위해 이 글에서는 산업들 사이에 R&D 파급이 실제로 어떻게 이루어지고 있는지, 그 크기까지 개별 산업별로 모두 포착하여 보여 주는 「R&D 네트워크(Network)」 모형을 개발하기로 한다. 이러한 모형을 이용함으로써 산업들을 R&D 파급 효과를 미치는 '원천-Source-산업'과 R&D 파급 효과를 받는 '수혜-Receiving-산업'으로 구분, 각각의 파급 효과의 크기를 측정할 것이다.

특히 이러한 방법론을 사용하게 되면 연구개발 투자의 사적 수익률과 사회적 수익률을 실제로 계산하는 것이 가능하진다는 장점이 있다. 이 경우 연구개발 투자의 사적 수익률이란 '한 산업의 자체 연구개발 투자가 증가함에 따라 그 산업의 자체 생산비는 얼마만큼 하락하였는가'로 측정할 수 있으며, 상대적으로 연구개발 투자의 사회적 수익률이란 '한 산업의 연구개발 투자의 사적 수익률 및 그 산업의 연구개발 투자가 타 산업들로 파급되어 타 산업들의 생산비를 하락시킨 정도의 합'으로 측정된다.

2. 분석 모형

앞서 지적된 것처럼 어느 한 산업의 생산 비용과 요소 수요는 그 산업의 자체 연구개발 투자와 다른 산업들의 연구개발 투자 두 가지에 의해 영향을 받게 되는데, 이들의 효과는 각 산업에 대해 다음과 같은 비용 함수를 추정함으로써 측정할 수 있다.(<식 1> 참조).

<식 1>

$$\begin{aligned}\ln C = {} & \beta_0 + \beta_w \cdot \ln w + \beta_c \cdot \ln c + \beta_y \cdot \ln y + \beta_k \cdot \ln K \\ & + \beta_{wc} \cdot \ln w \cdot \ln c + \beta_{wy} \cdot \ln W \cdot \ln y + \beta_{wr} \cdot \ln w \cdot \ln R \\ & + \beta_{ck} \cdot \ln c \cdot \ln k + \beta_{yr} \cdot \ln y \cdot \ln R + \left(\ln R + \beta_{ws} \cdot \ln w\right) \\ & \sum_{i=1, j=1}^{N} \beta_{ij} \cdot \ln RS_j + \beta_{cs} \cdot \ln c \\ & \sum_{i=1, j=1}^{N} \beta_{ij} \cdot \ln RS_j + U_c\end{aligned}$$

· · · · 〈식 1〉

<식 1>에서 C는 생산 비용을 나타내고, w는 임금률이며, c는 자본의 가격, y는 산출량, K는 물적 자본, R은 R&D 자본, RS는 R&D 파급 변수를 의미하며, Uc는 오차항을 나타낸다.

이제 비용 함수의 특성 가운데 중요한 한 가지인 개별 요소 가격에 관한 '제1차동차성(homogeneous of degree one)'으로부터 <식 1>의 모수(parameter)들에 대해 다음과 같은 제약 조건들을 유도할 수 있다.

<식 2>

$$\begin{aligned}&\beta_w + \beta_c = 1, \\ &\beta_{wc} = 1, \\ &\beta_{wy} + \beta_{cy} = 0 \\ &\beta_{wR} + \beta_{cR} = 0 \\ &\beta_{cs} + \beta_{ws} = 0\end{aligned}$$

· · · · · 〈식 2〉

제약 조건인 <식 2>를 적용하여 <식 1>을 수정하면 다음과 같이 표현된다.

<식 3>

$$\ln C = \beta_0 + \beta_w \cdot \ln(w/c) + \beta_y \cdot \ln y + \beta_R \cdot \ln R + \beta_{wy} \cdot \ln(w/c) \cdot \ln y + \beta_{wR} \cdot \ln(w/c) \cdot \ln R + \left(\ln R + \beta_{ws} \cdot \ln(w/c)\right) \sum_{i=1,j=1}^{N} \beta_{ij} \cdot \ln RS_j + U_c$$

. . . . . 〈식 3〉

여기서 Shephard`s Lemma를 이용하여 위의 비용 함수를 노동의 요소 가격으로 편미분하면 다음과 같은 노동 비용 배분을 함수를 도출할 수 있다.

<식 4>

$$S_1 = \beta_w + \beta_{wy} \cdot \ln y + \beta_{wR} \cdot \ln R + \beta_{ws} \cdot \sum_{i=1,j=1}^{N} \beta_{ij} \cdot \ln RS_j + U_c$$

. . . . . 〈식 4〉

<식 4>에서 S_1은 노동 비용 배분율이며 U_c는 오차항이다. 모수 B_{ws}의 존재는 모형의 비선형성(non-linearity)을 0기하며, 파급 효과와 관계있는 모수 B_{ij}와 더불어 요소 수요에 편기(bias)를 가져온다.

가. R&D 파급 효과

이제 <식 3>으로부터 R&D 파급 효과를 미치는 '원천 산업'의 효과를 도출하면 다음 <식 5>와 같다.

<식 5>

$$\frac{\partial \ln(C/c)}{\partial \ln RS_i} = \beta_{ij}\left(\ln RS + \beta_{ws} \cdot \ln(w/s)\right)$$

. . . . . 〈식 5〉

<식 5>로부터 R&D 파급 효과는 '수혜 산업'의 임금률과 그 산업의 자체 연구개발 투자에 의존하는 것으로 모형이 설정되어 있음을 알 수 있다.

다음으로 <식 3>으로부터 다른 산업들에서의 R&D 파급 효과가 특정 산업의 노동 수요에 미치는 효과는 다음 <식 6>와 같이 표현된다.

<식 6>

$$\frac{\partial S_i}{\partial \ln RS_j} = \beta_{ij} \cdot \beta_{ns} \quad \cdots\cdots \langle 식\ 6 \rangle$$

나. 사적 수익률과 사회적 수익률

앞서 정의했던 것처럼 한 산업의 자체 연구 개발 투자에 의해 그 산업의 생산비가 하락하는 정도를 연구개발 투자의 사적 수익률이라고 한다면, 이러한 사적 수익률은 다음 <식 7>과 같이 표현된다.

<식 7>

$$\rho^i = -\left(\partial C^i / \partial R^i\right) \quad \cdots\cdots \langle 식\ 7 \rangle$$

상대적으로 한 산업의 연구개발 투자의 사회적 수익률은 그 산업의 연구개발 투자의 사적 수익률과 그 산업의 연구개발 투자가 타 산업들로 파급되어 타 산업들의 생산비를 하락시킨 정도의 합으로 측정되는 바, 이는 다음 <식 8>과 같이 표현된다.

<식 8>

$$\gamma^i = \rho^i - \sum_{j=1, j\neq i}^{N} \left(\partial C^j / \partial RS^i\right) \cdot \quad \cdots \langle 식\ 8 \rangle$$

3. 자료

앞에서 개발된 모형들을 추정하기 위해 이 글에서는 원래 한국 제조업을 18개 분야별로 분류하여 각 산업에 대한 분석을 시도하고자 하였다. 그러나 앞의 글에서 이미 지적된 것처럼 실제로 분석에 사용할 수 있는 산업별 통계 자료의 시계열이 1982년부터 1990년까지의 9년간으로 한정되었기 때문에, 네트워크 모형에서 추정하고자 하는 모수들의 수에 비해 자료가 부족하다는 문제점이 발생하였다. 그래서 실제 분야에서는 부득이 18개 산업 분야를 두 개 내지 세 개 산업씩 묶어 8개 산업군으로 재분류한 다음 각 산업군에 대해 pooling하는 방법을 이용하게 되었다. 8개 산업군과 그에 포함된 대상 산업들의 내용은 <표 1>에 제시되었다.

한편 앞의 글에서 사용한 통계와 중복되는 자료-산출, 노동투입, 자본스톡과 R&D 스톡-등을 그대로 활용하였다[3] 그 밖에 이 글에서 새로 사용된 자료인 노동 가격은 산업별 월 평균 임금(불변 가격)을 채택하였으며, 자본 가격은 산업별 차입금 평균 이자율을 이용하였다. 실제 사용된 통계 자료들은 <부표 1>~<부표 2>에 제시되어 있다.

4. 분석 결과

이제 지금까지 논의한 모형 및 자료를 이용하여 연구개발 투자의 R&D 파급 효과와 사적 및 사회적 수익률을 실제로 추정해 보기로 하자. 우선 각 산업군에 대해 Zellner의 Seemingly Unrelated Regression(SUR) 방법을 이용하여 <식 3>과 <식 4>를 추정하기로 한다. 추정된 결과는 각 산업군별로 <표 2>~<표 9>에 제시되어 있는데, 이들 추정 결과 중에서 통계적으로 유의성이 있는 산업군들만을 가려 R&D 파급 효과의 '원천 산업군'으로서 모형에 포함시켰다.

<표 1> 분석 대상 산업군의 분류

산업군	대상 산업
1	음식료 목재 · 제지 종이 · 인쇄 출판
2	섬유 기타 제조업
3	비금속 광물 제1차 금속
4	산업용 화학 기타 화학
5	고무 제품 플라스틱 제품
6	석유 정제 석유 · 석탄 제품
7	조립 금속 일반 기계 수송 기기
8	전기 · 전자 정밀 기기

<표 2> 1산업군의 추정 결과

모수 (parameter)	추정치 (estimate)	모수 (parameter)	추정치 (estimate)
β_{13}	-0.088986	β_{R}	1.683056
	(0.03405)		(0.39316)
β_{14}	-0.123634	β_{wy}	-0.254188
	(0.03770)		(0.03835)
β_{17}	-0.054462	β_{wR}	-0.592093
	(0.01777)		(0.38134)
β_{0}	-3.621295	β_{yR}	-0.155023
	(2.35257)		(0.04112)
β_{w}	10.328910	β_{ws}	9.860442
	(3.74193)		(4.59344)
β_{y}	1.620221		
	(0.29981)		

주: 괄호 안의 숫자는 표준 오차(standard error)이다.

<표 3> 2산업군의 추정 결과

모수 (parameter)	추정치 (estimate)	모수 (parameter)	추정치 (estimate)
β_{13}	-0.060012	β_{wy}	-0.076709
	(0.0079299)		(0.03258)
β_{0}	8.784541	β_{wR}	0.012539
	(2.52371)		(0.03427)
β_{w}	1.129887	β_{yR}	-0.091097
	(0.25527)		(0.02781)
β_{y}	-0.042135	β_{ws}	-0.540219
	(0.20907)		(0.31504)
β_{R}	-0.021548		
	(0.46353)		

주: <표 2>와 동일

<표 4> 3산업군의 추정 결과

모수 (parameter)	추정치 (estimate)	모수 (parameter)	추정치 (estimate)
β_{14}	-0.216600	β_{R}	1.546065
	(0.07768)		(0.71041)
β_{17}	-0.086022	β_{wy}	0.166996
	(0.12526)		(0.12526)
β_{0}	-0.760360	β_{wR}	-0.089433
	(7.13378)		(0.07696)
β_{w}	-0.439933	β_{yR}	-0.119884
	(0.73250)		(0.08432)
β_{y}	1.251391	β_{ws}	1.204687
	(0.93570)		(0.38294)

주: 〈표 2〉와 동일

<표 5> 4산업군의 추정 결과

모수 (parameter)	추정치 (estimate)	모수 (parameter)	추정치 (estimate)
β_{14}	-0.150162	β_{R}	3.722660
	(0.06486)		(2.07650)
β_{17}	-0.174258	β_{wy}	0.024522
	(0.05731)		(0.05250)
β_{0}	-38.507429	β_{wR}	0.010210
	(13.28750)		(0.02310)
β_{w}	-0.047479	β_{yR}	-0.372060
	(0.33648)		(0.20108)
β_{y}	5.444248	β_{ws}	0.289685
	(1.36179)		(0.36417)

주: (표 2)와 동일

<표 6> 5산업군의 추정 결과

모수 (parameter)	추정치 (estimate)	모수 (parameter)	추정치 (estimate)
β_{15}	-0.015898	β_{wy}	0.174400
	(0.01388)		(0.16719)
β_{0}	36.024063	β_{wR}	0.083808
	(12.30848)		(0.05742)
β_{w}	-1.209305	β_{yR}	0.370518
	(1.36227)		(0.14978)
β_{y}	-2.561218	β_{ws}	7.111657
	(1.14741)		(5.73673)
β_{R}	-3.478796		
	(1.58772)		

주: (표 2)와 동일

<표 7> 6산업군의 추정 결과

모수 (parameter)	추정치 (estimate)	모수 (parameter)	추정치 (estimate)
β_{16}	-0.159407	β_{R}	-3.443168
	(0.09719)		(0.67031)
β_{17}	-0.068985	β_{wy}	-0.374737
	(0.03815)		(0.02456)
β_{0}	8.779969	β_{wR}	0.124549
	(1.36021)		(0.03776)
β_{w}	5.019287	β_{yR}	0.087728
	(1.56075)		(0.01872)
β_{y}	0.351471	β_{ws}	-0.593549
	(0.12247)		(0.66350)

주: <표 2>와 동일

<표 8> 7산업군의 추정 결과

모수 (parameter)	추정치 (estimate)	모수 (parameter)	추정치 (estimate)
β_{14}	-0.166473	β_{R}	3.572629
	(0.09425)		(1.00722)
β_{15}	-0.153259	β_{wy}	-0.572949
	(0.06017)		(0.06829)
β_{17}	-0.089288	β_{wR}	0.229847
	(0.03858)		(0.05558)
β_{0}	11.253121	β_{yR}	-0.022357
	(2.80957)		(0.02584)
β_{w}	0.018325	β_{ws}	-2.231872
	(3.13070)		(1.01713)
β_{y}	-0.619225		
	(0.25102)		

주: <표 2>와 동일

<표 9> 8산업군의 추정 결과

모수 (parameter)	추정치 (estimate)	모수 (parameter)	추정치 (estimate)
β_{17}	-0.143957	β_{wy}	-0.121535
	(0.06341)		(0.06147)
β_0	8.888869	β_{wR}	0.00032929
	(1.40259)		(0.04059)
β_w	5.426557	β_{yR}	0.068395
	(2.16365)		(0.007123)
β_y	0.098202	β_{ws}	-2.184349
	(0.51892)		(0.51892)
β_R	-2.145605		
	(0.94596)		

주: <표 2>와 동일

가. R&D 파급 효과

이제 R&D 파급 효과를 측정하기 위해 <식 5> 및 <식 6>을 이용하기로 하자. <식 5>와 <식 6>을 이용하여 계산된 R&D 파급 효과가 생산비 절감 효과와 노동 수요 편기 효과로 나뉘어 <표 10>에 제시되어 있다.

<표 10>에 의하면 먼저 '수혜 산업'으로서의 1산업군(음식료, 목재 · 제지, 종이 · 인쇄 출판)은 4산업군(산업용 화학, 기타 화학)과 5산업군(고무 제품, 플라스틱 제품) 및 8산업군(전기 · 전자, 정밀기기)들이 수행한 연구개발 투자로부터 R&D 파급 효과를 받는 것으로 나타났다. 이들 3개 '원천 산업'군들이 1산업군에 미치는 R&D 파급 효과를 구분해 보면, 먼저 파급 변수에 의한 생산비 탄력도가 -2.27로 나타났는 바 이는 '원천 산업'군들로부터 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 경우에 1산업군의 생산 비용이 약 2.27% 감소함을 의미한다. 다음으로 파급 변수가 노동 비율 배분율에 미치는 효과를 보면 '원천 산업'군들로부터의 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 때마다 1산업군의 노동 비용 배분율이 2.63% 감소하는 것으로 나타나는데, 이는 '원천 산업'군들로부터

<표 10> R&D 파급 효과

	수혜 산업군	R&D 파급 효과		원천 산업군
1	음식료, 목재 · 제지, 종이 · 인쇄 출판	생산비 노동 비용 배분율	-2.2745 -2.6326	4, 5, 8
2	섬유, 기타 제조업	생산비 노동 비용 배분율	-0.4124 0.0270	4
3	비금속 광물 제1차 금속	생산비 노동 비용 배분율	-0.9337 -0.3651	5, 8
4	산업용 화학, 기타 화학	생산비 노동 비용 배분율	-2.0279 -0.0940	5, 8
5	고무 제품, 플라스틱 제품	생산비 노동 비용 배분율	-0.1335 -0.1138	6
6	석유 정제, 석유 · 석탄 제품	생산비 노동 비용 배분율	-1.3382 0.1354	7, 8
7	수송 기기, 일반 기계, 조립 금속	생산비 노동 비용 배분율	-3.1612 0.9107	4, 5, 8
8	전기 · 전자 정밀기기	생산비 노동 비용 배분율	-1.1995 0.3145	7

의 R&D 파급이 '수혜 산업'인 1산업군의 노동 수요와 상호 대체 관계에 있음을 의미한다고 해석된다.

다음 '수혜 산업'으로서의 2산업군(섬유, 기타 제조업)은 유일하게 4산업군(산업용 화학, 기타 화학)이 수행한 연구개발 투자로부터만 R&D 파급 효과를 받는 것으로 나타났다. '원천 산업'군으로서의 4산업군이 1산업군에 미치는 R&D 파급 효과를 구분해 보면, 먼저 파급 변수에 의한 생산비 탄력도가 -0.41로 나타났는데 이와 같은 결과는 '원천 산업'군으로부터의 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 경우에 2산업군의 생산 비용은 약 0.41% 감소함을 의미한다. 다음으로 파급 변수가 노동 비용 배분율에 미치는 효과의 경우에는 '원천 산업'군으로부터의 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 때마다 2산업군의 노동 비용 배분율은 약 0.03% 증가하는 것으로 나타나는데, 이는 4산업군으로부터의 R&D 파급이 2산업군의 노동 수요와 상호 보완 관계에 있음을 의미한다.

다음 '수혜 산업'으로서의 3산업군(비금속 광물, 제1차 금속)은 5산업군(고무 제품, 플라스틱 제품)과 8산업군(전기 · 전자, 정밀기기)의 두 산업군이 수행한 연구개발 투자로부터 R&D 파급 효과를 받는 것으로 나타났다. 이들 '원천 산업'군들이 '수혜 산업'인 3산업군에 미치는 R&D 파급 효과를 살펴보면 먼저 파급 변수에 의한 생산비 탄력도가 -0.93으로 나타났는데, 이는 '원천 산업군'들로부터의 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 경우 3산업군의 생산 바용이 약 0.93% 감소함을 의미한다. 다음 R&D 파급 변수가 노동 비용 배분율에 미치는 효과를 보면, '원천 산업'군들로부터의

R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 때마다 3산업군의 노동 비용 배분율은 약 0.36% 감소하는 것으로 나타난다. 이는 '원천 산업군'들로부터의 R&D 파급이 3산업군의 노동 수요와 상호 대체관계에 있음을 의미한다.

그 다음으로 '수혜 산업'으로서의 4산업군(산업용 화학, 기타 화학)은 5산업군(고무 제품, 플라스틱 제품)과 8산업군(전기·전자, 정밀기기)이 수행한 연구개발 투자로부터 R&D 파급 효과를 받는 것으로 나타났다. 이들 '원천 산업'군들이 3산업군에 미치는 R&D 파급 효과를 살펴보면, 먼저 파급 변수에 의한 생산비 탄력도가 -2.03로 나타났는데 이는 '원천 산업'군들으로부터의 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 경우에 4산업군의 생산 비용이 약 2.03% 감소함을 의미한다. 또한 파급 변수가 노동 비용 배분율에 미치는 효과를 보면 '원천 산업'군들로부터의 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 때마다 4산업군의 노동 비용 배분율은 약 0.09% 감소하는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 '원천 산업'군들로부터의 R&D 파급이 4산업군의 노동수요와 상호 대체 관계에 있음을 의미하는 것으로 해석된다.

한편 5산업군(고무 제품, 플라스틱 제품)의 경우에는 6산업군(석유정제, 석유·석탄 제품)이 수행한 연구개발 투자만으로부터 R&D 파급 효과를 받는 것으로 나타났다. '원천산업'군으로서의 6산업군이 5산업군에 미치는 R&D 파급 효과를 살펴보면 먼저 파급 변수에 의한 생산비 탄력도가 -0.13인 것으로 나타났다. 이는 '원천 산업'군으로부터의 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 경우에 5산업군의 생산 비용은 약 0.13% 정도 감소한다는 사실을 의미한다. 그 다음 파급 변수가 노동 비용 배분율에 미치는 효과를 보면 6산업군으로부터의 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 때마다 5산업군의 노동 비용 배분율이 약 0.11% 가량 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 6산업군으로부터의 R&D 파급이 5산업군의 노동 수요와 상호 대체 관계에 있음을 의미한다.

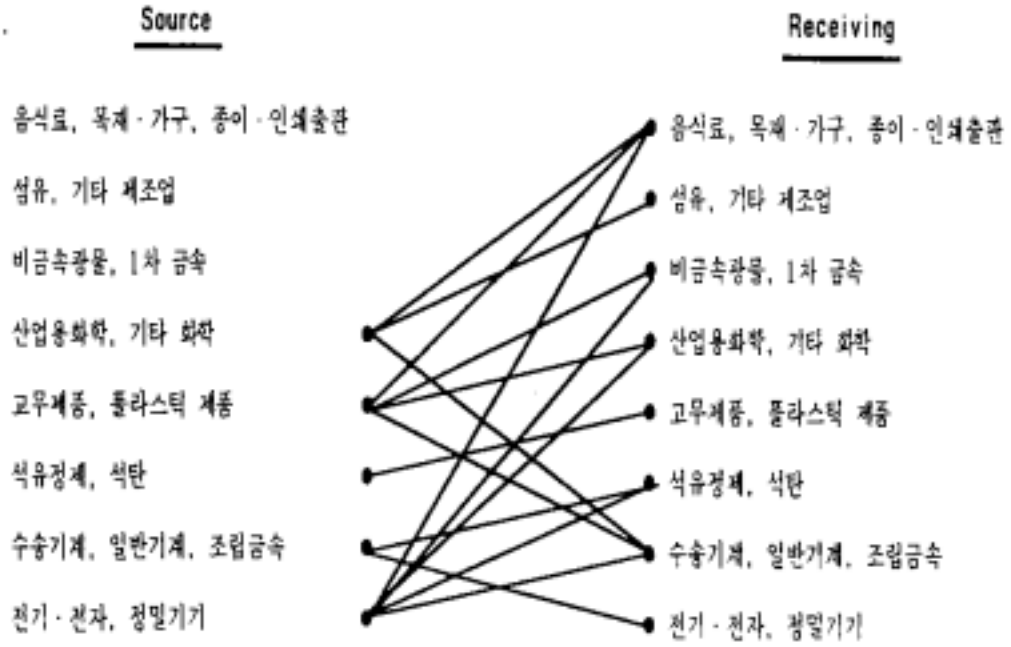
다음 '수혜 산업'으로서 6산업군(석유정제, 석유·석탄 제품)은 7산업군(수송 기기, 일반기계, 조립 금속)과 8산업군(전기·전자, 정밀기기)이 수행한 연구개발 투자로부터 R&D 파급 효과를 받는 것으로 나타났다. 이들 '원천 산업'군들이 6산업군에 미치는 R&D 파급 효과를 분류해 보면, 먼저 파급 변수에 의한 생산비 탄력도가 -1.33으로 나타났는데 이는 '원천 산업'군들로부터의 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 경우에 6산업군의 생산 비용이 약 1.33% 감소함을 의미한다. 또한 파급 변수가 노동 비용 배분율에 미치는 효과를 보면, 이들 '원천 산업'군들로부터의 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 때마다 6산업군의 노동 비용 배분율이 약 0.13% 증가하는 것으로 나타난다. 이는 '원천 산업'군들로부터의 R&D 파급이 6산업군의 노동 수요와 상호 보완 관계에 있음을 의미한다.

그 다음으로 7산업군(수송 기기, 일반기계, 조립 금속)의 경우에는 4산업군(산업용 화학, 기타 화학), 5산업군(고무 제품, 플라스틱 제품), 8산업군(전기·전자, 정밀기기)들이 수행한 연구개발 투자로부터 모두 R&D 파급 효과를 받는 것으로 나타났다. 이들 3개 '원천 산업'군들이 7산업군에 미치는 R&D 파급 효과를 살펴보면 먼저 파급 변수에 의한 생산비 탄력도가 -3.16으로 나타났다. 이는 '원천 산업'군들로부터의 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 경우에 7산업군의 생산 비용은 약 3.16% 감소함을 의미한다. 다음으로 파급 변수가 노동 비용 배분율에 미치는 효과를 보면, '원천 산업'군들로부터의 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 때마다 7산업군의 노동 비용 배분율이 약 0.91% 정도 증가하는 것으로 나타난다. 이는 '원천 산업'군들로부터의 R&D 파급과 7산업군의 노동 수요간에 상호 보완 관계에 있음을 의미한다고 해석된다.

마지막으로 '수혜 산업'으로서의 8산업군(전기·전자, 정밀기기)의 경우에는 7산업군(수송 기기, 일반기계, 조립 금속)이 수행한 연구개발 투자로부터만 R&D 파급 효과를 받는 것으로 나타났다. '원천 산업'군으로서의 7산업군이 '수혜 산업'군인 8산업군에 미치는 R&D 파급 효과를 구분해 보면, 먼저 파급 변수에 의한 생산비 탄력도가 -1.20으로 나타났는데, 이는 7산업군으로부터 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 경우 8산업군의 생산 비용이 약 1.20% 감소함을 의미한다. 다음 파급 변수가 노동 비용 배분율에 미치는 효과를 보면 '원천 산업'군로부터의 R&D 파급 변수가 1%씩 증가할 때마다 8산업군의 노동 비용 배분율이 약 0.31% 증가하는 것으로 나타나고 있으며, 이는 7산업군로부터의 R&D 파급이 8산업군의 노동 수요와 상호 보완 관계에 있음을 의미한다.

한편 이상의 결과를 종합해보면 다음 <그림 1>과 같은「R&D Network」를 구성할 수 있다. <그림 1>에서도 분명하게 나타나는 것처럼 1, 2, 3 산업군들은 여타 산업군들에게 R&D 파급 효과를 거의 주지 않는 것으로 나타나며,

<그림 1> R&D Network



상대적으로 8산업군이 다른 산업군들에게 가장 많은 효과를 미치고 있는 것으로 나타난다. 또한 여타 산업군들로부터의 파급 효과를 많이 받는 산업군들은 1, 4, 7 산업군들임을 알 수 있다.

나. 사적 수익률과 사회적 수익률

이번에는 <식 7>과 <식 8>을 사용하여 연구개발 투자의 사적 수익률과 사회적 수익률을 구해 보기로 하자. 추정된 결과는 <표 11>과 <표 12>에 각각 제시되어 있다.

<표 11>에 의하면, 1982년부터 1990년까지의 9년 동안 연구개발 투자의 사적 수익률은 4산업군(산업용 화학, 기타 화학)에서 가장 크게-0.44-나타났으며, 그 다음으로 8산업군(전

<표 11> 연구개발 투자의 사적 수익률

산업군	사적 수익률
1 음식료, 목재 · 제지, 종이 · 인쇄 출판	0.0223
2 섬유, 기타 제조업	0.0477
3 비금속 광물, 제1차 금속	0.0587
4 산업용 화학, 기타 화학	0.4365
5 고무 제품, 플라스틱 제품	0.0394
6 석유 정제, 석유 · 석탄 제품	0.2298
7 수송 기기, 일반 기계, 조립 금속	0.2939
8 전기 · 전자, 정밀 기기	0.2960

<표 12> 연구개발 투자의 사회적 수익률

산업군	사회적 수익률
1 음식료, 목재 · 제지, 종이 · 인쇄 출판	0.0223
2 섬유, 기타 제조업	0.0477
3 비금속 광물, 제1차 금속	0.0587
4 산업용 화학, 기타 화학	0.9429
5 고무 제품, 플라스틱 제품	0.7096
6 석유 정제, 석유 · 석탄 제품	0.2399
7 수송 기기, 일반 기계, 조립 금속	2.0388
8 전기 · 전자, 정밀 기기	2.8042

기, 전자, 정밀기기)과 7산업군(수송 기기, 일반기계, 조립 금속)에서 각각 0.29, 그리고 6산업군(석유정제, 석유 · 석탄 제품)에서 0.23의 순서로 나타나고 있다.

그런데 <표 12>를 통해서 연구개발 투자의 사회적 수익률을 살펴보면 사적 수익률의 경우와는 산업별 순서가 다소 다르게 나타남을 알 수 있다. 즉 8산업군(전기·전자, 정밀기기)과 7산업군(수송 기기, 일반기계, 조립 금속) 두 산업군의 사회적 수익률이 여타 산업군들에 비해서 월등히 크게 나타나는 반면에 -두 산업 모두 수익률이 2를 초과하고 있음. 상대적으로 사적 수 익률이 제일 컸던 4산업군(산업용 화학, 기타 화학)의 사회적 수익률은 1에도 못미치는 정도에 그치고 있는 것으로 나타나고 있다.

특히 가장 눈길을 끄는 사실은 8산업군(전기·전자, 정밀기기)의 경우, 사회적 수익률이 사적 수익률과 비교할 때 무려 10배 가량 대폭 늘어났다는 점이다. 이는 8산업군이 여타 산업군에 미치는 R&D 파급효과가 다른 산업군들에 비해 압도적으로 크다는 사실을 의미하는 것이다. 이에 비해 4산업군(산업용 화학, 기타 화학)은 사적 수익률과 사회적 수익률 두가지 모두가 높은 수준을 유지하고 있음에도 불구하고 양자간의 절대 규모의 격차는 두 배 가량에 불과한 것으로 나타나고 있다.

이 밖에 7산업군(수송 기기, 일반기계, 조립 금속)의 경우에도 8산업군에 필적할 만큼 높은 사회적 수익률(2.03)을 보여 주고 있으나, <표 10>에서 확인할 수 있는 것과 같이 7산업군으로부터 R&D 파급 효과를 받는 '수혜산업'군이 겨우 두 개 산업군에 그치고 있기 때문에 경제 전체에 미치는 효과는 -8산업군에 비해-그다지 두드러지지 않는다고 평가된다. 상대적으로 8산업군의 경우에는 사회적 수익률의 절대크기도 크지만, 파급 효과가 거의 전산업에 걸쳐 골고루 퍼져 나가고 있다는 점에서 한층 두드러진 모습을 보여 주고 있다.

5. 맺음말

이 글은 산업별 생산성 증가에 대한 연구개발 투자의 직·간접 효과 분석에 기본적인 초점을 맞추고 있다. 즉 산업군별로 연구개발 투자 및 생산성 간에 과연 어떤 관계가 존재하고 있는가를 규명하는 것이 중심 과제이다. 특히 여타 산업군들의 연구개발 투자가 어느 특정 산업군의 생산성에 영향을 주게 되는, 이른바 연구개발 투자의 파급 효과(spillover effect)는 어느 정도인가를 각 산업군별로 실증 분석하였고, 동시에 연구개발 투자의 사적 수익률과 사회적 수익률을 실제로 추정하였다.

이제 앞의 글에서 다룬 산업 성장 기여도 및 이 글에서 다룬 산업 생산성 증대 효과를 분석한 결과를 종합하면 다음과 같이 정리된다.

첫째, '80년대에 한국의 연구개발 투자가 급증하고 연구개발 활동이 활발해짐에 따라서, 전산업을 대상으로 한 연구개발 투자의 효율성 역시 그 이전-주로 '70년대-에 비해 약 두 배 가량 높아졌다고 평가된다. 단 이글에서 사용된 모형의 성격상 추정된 기술요인의 기여도에는 「규모의 경제」효과가 포함되어 있을 가능성을 배제할 수 없기 때문에 그 점에 주의해서 해석해야 한다.

둘째, 연구개발 투자의 자체 R&D 효과 및 R&D 파급 효과는 산업별로 다양하게 나타나고 있다.[4)]특히 자체 R&D 효과와 R&D 파급 효과의 양쪽 효과가 두 가지 모두 크게 나타나고 있는 산업으로는 전기·전자, 일반기계, 수송 기기 등 3개 산업을 지적할 수 있다.

셋째, 연구개발 투자의 사적 수익률과 사회적 수익률을 추정한 결과, 사적 수익률은 산업용 화학과 기타 화학 산업이, 사회적 수익률은 전기·전자, 정밀 기기와 수송 기기, 일반기계, 조립 금속 산업이 각각 높은 수준을 보여 주고 있다. 특히 전기·전자, 정밀 기기 산업의 사회적 수익률은 사적 수익률의 10배에 이르고 있으며, 파급 효과 또한 전산업에 걸쳐 골고루 분포되어 있어 국가 경제에 미치는 효과가 매우 큼을 알 수 있다.

그런데 이 글과 같이 계량 모형을 사용하여 연구개발 투자에 대한 경제 효과를 분석하기 위해서는 먼저 다음과 같은 두 가지 문제가 해결되어야 할 것이라는 점이 지적될 수 있다. 첫째, 외국에서 개발된 모형을 그대로 사용하는데 그치지 말고 한국의 제반 경제·사회 환경을 반영한 분석 모형이 개발되어야 한다는 것이다. 이를 위해서는 연구개발 투자를 중심으로 한 경제와 사회 환경 요인에 대한 구체적인 고찰이 시도되어야 할 것이다. 둘째, 이 같은 모형의 연구개발을 위해서라도 연구개발 투자와 관련된 통계 자료의 부족을 극복할 수 있는 적절한 대안이 강구되어야 한다는 점이다(박병무, 1988).

이 같은 관점에서 본다면 앞 글과 이 글은 새로운 형태의 모형을 다양하게 도입한 분석을 시도함으로써, 과거의 유사한 연구들-장진규(1992a) 등-에 비하면 모형의 개량이라는 측면에서 어느 정도 성과를 거둔 것으로 평가할 수 있다. 단 이와 같은 결과가 일반화되기 위해서는 앞으로 더욱 많은 연구의 모색과 축적이 필요할 것이라고 판단된다. 아직까지 어느나라에서도-이쪽 분야의 연구방법론과 결과가 가장 많이 축적되어 있다고 평가받는 미국과 일본을 포함해서-기업이나 국가 차원의 기술개발 계획에 직접 이용할 수 있을 만큼의 지식이 축적된 겨우는 없을 것으로 생각되기 때문이다.

【참고 문헌】

- 경제기획원, 광공업센서스, 각년도
- 경제기획원, 광공업통계조사보고서, 각년도
- 경제기획원(1980), 국부통계조사보고 1977
- 경제기획원(1989), 국부통계조사보고 1987
- 경제기획원, 산업센서스, 각년도
- 경제기획원, 주요경제지표, 각년도
- 과학기술처, 과학기술연감, 각년도
- 과학기술처, 과학기술 연구개발 활동 조사 보고, 각년도
- 노동부, 노동통계연감, 각년도
- 박명무(1988), 과학기술 개발 투자의 경제적 효과 분석 모형 개발에 관한 기초 연구, 과학기술정책연구평가센터
- 장진규(1992a), "국내 제조업 연구개발 투자의 파급(spillover) 효과 분석", 기술경영경제학회 창기학술대회 발표 논문
- 장진규(1992b), 기술 개발 투자 및 상업화 촉진 제도의 효과 분석 모형 개발에 관한 탐색적 연구, 한국과학기술연구원 정책·기획본부
- 장진규·안두현(1992), "국내 제조업의 연구개발 투자와 생산성", 과학기술정책 4권 2호, 한국과학기술연구원 정책·기획본부, pp.34-43
- 장진규·김기국(1993), "연구개발 투자의 직·간접 생산성 증대 효과 분석", 과학기술정책 5권 1호, 과학기술정책관리연구소, pp.117-129
- 장진규·정성철·박동현·김기국(1993), 연구개발 투자의 경제 효과 분석, 과학기술정책관리연구소, 근간 예정
- 정성철·장진규(1993), 기술 개발 투자의 경제 효과 분석, 정책연구 93-04, 한국과학기술연구원 정책·기획본부
- 조세통람사(1991), 한국표준산업분류
- 한국산업은행(1990), 우리 나라 제조업의 연도별 자본 스톡 추계
- 한국은행, 국민계정, 각년도
- 한국은행, 기업경영분석, 각년도
- 홍순기·홍사균·안두현(1991), 연구개발 투자의 산업 부문간 효동과 직·간접 생산성 증대 효과 분석에 관한 연구, 정책연구 91-14, 과학기술정책연구소
- Bernstein, J. I. and M. I. Nadiri(1988), "Interindustry R&D spillovers, rates of return, and production in high-tech industries", American Economic Review, Papers and proceedings, pp.429-434
- Bernstein, J. I. and M. I. Nadiri(1989), "Research and development and intra-industry spillovers: an empirical application of dynamic duality", Review of Economics and Statistics, Vol.71, No.2, pp.249-269
- Griliches, Z.(1979), "Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth", Bell Journal of Economics, Vol.10, No.1, pp.92-116
- Griliches, Z.(ed.)(1984), Research and Development, Patents and Productivity, Chicago University Press, Chicago
- Jaffe, A.(1986), "Technological opportunity

and spillovers of R&D: evidence from firms' patents, profits and market value", American Economic Review, Vol.76, No.5, pp.984~1001

- Levin, R. C. and P. C. Reiss(1984), "Tests of a Schumpeterian model of R&D and market structure", in Z. Griliches(ed.) (1984), pp.175~208
- Schmookler, J.(1966), Invention and Economic Growth, Harvard University Press
- Schumpeter, J.(1934), The Theory of Economic Development, Harvard University Press

<부표 1> 산업별 월평균 임금(단위: 천 원, 1985년 기준 불변 가격)

분 류	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90
음식료	265.9	284.7	294.0	293.6	312.0	350.9	376.2	421.2	468.0
섬유	166.8	180.6	189.1	201.2	214.9	238.2	263.5	304.8	333.3
목재·제지	209.0	226.3	231.8	242.0	265.8	294.9	335.1	383.6	420.4
종이·인쇄 출판	279.9	301.2	311.2	331.2	354.8	376.3	413.5	477.4	536.2
산업용 화학	345.5	357.7	399.9	433.4	464.6	485.3	542.9	645.2	687.6
기타 화학	290.9	316.6	339.9	346.8	365.7	387.1	427.1	482.4	515.2
석유 정제	589.2	618.7	619.1	665.5	702.1	770.2	762.8	776.7	886.2
석유·석탄 제품	297.2	299.7	273.0	307.0	329.4	352.0	372.2	421.9	434.3
고무 제품	167.2	179.1	198.9	212.3	226.2	245.6	303.4	337.4	364.6
플라스틱 제품	225.1	247.8	247.2	263.1	281.3	313.9	340.9	396.1	425.2
비금속 광물	246.1	271.0	299.6	318.3	326.6	368.6	393.2	467.2	514.6
제1차 금속	293.7	282.0	361.3	386.6	400.9	461.1	511.0	611.5	659.1
조립 금속	207.6	284.5	247.9	264.4	285.2	314.8	338.3	403.7	449.4
일반 기계	272.2	294.8	305.9	327.5	344.7	363.0	403.7	484.6	523.2
전기·전자	212.3	234.6	248.6	266.1	290.2	302.6	329.7	397.7	428.9
수송 기기	321.8	343.1	362.1	390.5	394.6	413.1	476.5	571.4	652.1
정밀 기기	172.7	188.2	220.8	235.8	257.7	280.1	323.6	373.5	424.8
기타 제조업	165.8	186.8	186.2	194.5	212.0	228.2	263.3	296.4	331.8

주: 소비자 물가 지수를 이용하여 1985년 기준으로 불변 가격화하였다.
자료: 노동부, 노동통계연감, 각년도.

<부표 2> 산업별 차입금 월평균 이자율(단위: %)

분 류	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90
음식료	18.9	16.9	17.0	17.0	14.9	15.0	15.8	15.9	14.1
섬유	15.9	14.6	14.1	14.0	12.7	12.6	12.4	12.7	11.8
목재 · 제지	15.2	13.3	12.9	14.5	13.5	9.9	10.9	14.5	14.5
종이 · 인쇄 출판	19.2	13.9	12.2	13.6	13.6	12.6	12.8	13.1	14.5
산업용 화학	16.2	12.5	14.4	14.2	14.4	13.0	13.5	13.4	11.0
기타 화학	18.4	14.1	14.8	15.3	13.5	15.9	15.3	15.1	14.6
석유 정제	21.3	16.5	51.8	12.8	10.1	9.9	8.3	8.9	9.2
석유 · 석탄 제품	20.5	13.9	12.9	13.5	13.4	12.5	13.9	11.9	10.9
고무 제품	15.5	18.7	15.3	14.1	16.3	13.8	13.5	12.6	12.8
플라스틱 제품	16.4	9.4	13.6	12.6	13.9	15.1	16.3	15.1	16.2
비금속 광물	16.1	14.7	13.6	13.8	13.1	13.3	13.6	14.2	12.8
제1차 금속	11.7	11.4	12.3	10.4	9.0	10.0	9.8	10.8	10.6
조립 금속	16.4	13.1	15.2	14.1	15.3	14.0	15.5	16.9	15.3
일반 기계	16.4	14.2	13.7	13.1	13.4	12.5	13.4	14.3	15.0
전기 · 전자	18.4	14.5	13.9	14.1	12.6	13.5	14.9	14.9	13.9
수송 기기	13.2	11.5	14.2	12.8	12.1	11.8	12.6	14.4	12.8
정밀 기기	15.5	13.9	10.7	9.6	11.7	15.6	16.3	15.5	15.4
기타 제조업	15.4	13.0	14.5	15.5	13.6	13.3	13.9	15.5	13.6

자료: 한국은행, 기업경영분석, 각년도

주석 1) 동향분석연구실, 선임연구원

주석 2) 동향분석연구실, 연구원

주석 3) 앞의 글 말미에 수록된 <부표 1>~<부표 4>를 참조하라.

주석 4) 연구개발 투자의 R&D 효과와 R&D 파급효과를 비교해 보면, R&D 파급 효과의 크기가 훨씬 더 큰 것으로 나타난다. 또한 이들 양자 간에는 상화 대체 관계가 존재하는 것으로 나타난다. 이때 R&D 파급 효과는 여타 산업의 생산비를 하락시키거나, 요소 수요상 편기를 유발하는 두 가지의 형태를 띤다. 이에 관해서는 장진규 · 김기국(1993)을 참조하라.