

기업 R&D 투자의 시차효과 분석

이헌준* · 백철우** · 이정동***

<목 차>

- I. 서 론
- II. 기존 연구의 검토
- III. 연구 방법론 및 연구 모형
- IV. 자료 및 변수
- V. R&D 시차효과 추정결과
- VI. 결 론

국문초록 : R&D 투자는 투입 시점과 산출 시점 사이에 시차(time lag)가 존재한다. 따라서 기업의 R&D 투자와 성과와의 관계를 분석할 때 R&D 투입의 시차효과를 정확히 반영하지 않을 경우 분석에 심각한 오류가 발생할 수 있기 때문에 본 연구는 기업 R&D 투자의 시차 효과의 추정을 목적으로 한다. 시차분포모형의 하나인 Almon 모형을 사용하여 기업의 R&D 투자의 투입 시점과 산출 시점 사이의 시차를 측정하였다. 이를 위해 2002년부터 2009년까지의 기업 패널 데이터를 구축하였다. R&D 투자는 기업의 R&D 투자 금액으로, R&D 성과는 특허 출원 건수로 정의하여 분석을 실시하였고 ‘투자-산출’ 프로세스에 소요되는 시차의 길이를 추정하였다.

분석 결과 전체 기술 영역에서 R&D 투자와 특허 출원 사이의 시차는 1~2년으로 분석되었다. 화학, 금속 및 금속 가공, 전기 및 전자, 정밀 과학, 기계 제조의 다섯 개 산업군에 대해

* 서울대학교 기술경영경제정책대학원과정 박사과정 (hunjunlee@snu.ac.kr)

** 덕성여자대학교 국제통상학과 조교수, 교신저자 (chulwoo100@duksung.ac.kr)

*** 서울대학교 기술경영경제정책대학원과정 교수 (leejd@snu.ac.kr)

각각 시차의 길이를 추정하였으며 산업군별로 추정된 시차의 길이에 차이가 존재하였다.

주제어 : R&D투자, 시차 효과, 시차분포모형, Almon 모형

Analysis on Time Lag Effect of Firm's R&D Investment

Hun-jun Lee · Chulwoo Baek · Jeong-dong Lee

Abstract : R&D investment also has a gestation period similar to other investments in economics. The gestation period originates from time lag effect of input and output. Thus it is necessary to consider time lag effects when analyzing the relationship between firms' R&D investment and R&D performance. The main objective of this research is to estimate the length of time lag effect of R&D investment. The Almon distribution lag model was applied to estimate the time lag effect. The firm level panel dataset was established from 2002 to 2009. The net value of R&D investment and the number of patent applications were used to measure R&D input and output, respectively.

This method found the estimated time lag to be 1~2 years across all datasets. The same analyses were applied to chemical, metal, electronic, exact science, and machinery industries' data. And we found there were differences among sectors in regard to the time lag effect.

Key Words : R&D investment, time lag effect, lag distributed model, Almon model

I. 서론

기업이 성장하기 위해서는 지속적인 R&D 투자를 통한 기술진보가 필수적이라는 데에는 이견이 없다. 그러나 실제 기업의 R&D 투자와 성과 사이의 관계를 분석한 실증 연구에서는 모호한 인과 관계가 나타나는 문제가 있다. 양방향성 인과 관계, 현시 효과(contemporaneous effect) 등은 인과 관계를 모호하게 만드는 요인들로 파악되고 있다. 그러나 R&D 투자는 다른 일반적인 투자와 마찬가지로 회임 기간(gestation period)을 갖고 있다. 특히 자본 투자와 같은 투자와 비교할 때 높은 불확실성을 갖는 등의 특징적인 성격을 갖고 있기 때문에 R&D 투자의 회임 기간에 대한 고려가 반드시 필요하다. 그러나 과거의 선행 연구들은 R&D 투자와 성과로부터 발생하는 경제적 효과 사이의 직접적인 인과관계 도출의 어려움을 지적하고 있다. 조영무(1998)는 R&D 투자가 기업의 회계 이익에 양의 영향을 미치고 있음을 주장하며, 조성표·정재용(2001)도 R&D 투자가 2~4년 동안 기업의 회계 이익에 유의한 양의 영향을 미치고 있음을 분석하였다. 반면, 최정호(1994)는 R&D 투자가 한정적인 경우에만 기업의 가치 증대에 영향을 미쳤다고 밝혔으며, 최종서 외(2007)는 R&D 투자와 기업 성과 사이의 관계를 연구한 논문에서 비금속광물제품제조업, 전자부품 산업 등의 일부 산업에서만 인과 관계를 확인하였으며, 인과 관계가 확인된 산업 중 일부는 양방향성 인과관계가 도출되었다. 이와 같이 R&D 투자와 기업의 성장과의 관계에 대해 이론 연구에서 논의하는 것과 다르게 실증 분석 연구에서 명확한 인과관계가 도출되지 않는다.

이에 대한 원인으로 R&D 투입의 충분한 성과를 견인하지 못한다는 R&D paradox를 고려할 수 있다(Edquist and Mckelvey, 1998; Ejeremo and Kander, 2009). 또 한편으로는 R&D의 수행 주체가 속해 있는 환경이 R&D 성과에 영향을 미치며 R&D 투자가 실제로 성과로 이어지는 과정에서 시차(time lag)를 그 원인으로 고려할 수 있다(최종서, 2009). 이는 R&D 투자 시점으로부터 일정 기간이 지난 후에 투자에 대한 성과를 기대할 수 있다는 것을 의미한다. 또한 R&D 수행 주체와 주변 환경에 따라 시차의 길이가 다를 수 있기 때문에 R&D 투자와 성과 사이의 일반적인 시차를 추정하는 것을 더욱 복잡하게 만든다. 이러한 시차 추정의 복잡성은 R&D 투자와 성과 사이의 직접적인 인과관계 도출을 어렵게 만드는 주요 원인 중 하나이다. 따라서 R&D 투자와 성과 사이의 관계를 분석하기 위해 R&D 투자가 성과로 나타나는 시차의 존재에 대해 고려할 필요가 있다.

R&D 투자와 기업 성과간의 관계에 대해 분석한 기존의 연구들 중 일부는 R&D 시차

의 존재를 인정하여 연구에 반영하기도 하였다. 그러나 일반적인 문헌조사에 의한 R&D 시차 길이를 연구에 적용하여 분석하였거나 통계적 추정 방법의 정밀성이 떨어진다는 등의 약점을 갖고 있다. 김의제(1999)는 한국 제조업의 성장요인을 분석한 연구에서 R&D 시차를 한국산업기술진흥협회가 수행한 설문조사를 통해 수집된 기업별 R&D 시차의 길이를 연구에 사용하였다. 김선구와 연룡모(2007)는 R&D 투자가 기업 가치와 수익성에 미친 영향을 분석한 연구에서 R&D 시차의 존재를 사후적으로 인정하고 있다. 당해 연도 R&D 투자액과 성과 변수 사이에는 유의한 수준의 상관관계가 존재하지 않고, 1년과 2년의 시차를 갖고 있는 R&D 투자액은 성과 변수와 유의한 관계를 갖고 있기 때문에 시차가 존재한다고 주장하였다. 김선구와 연룡모(2007)의 연구는 R&D 투자의 시차 존재 여부는 확인할 수 있으나 정확한 시차의 길이를 측정할 수 없다는 약점을 갖고 있다.

따라서 본 연구는 위에서 논의한 바와 같이 R&D 투자와 성과 사이의 시차 효과를 추정하기 위해 R&D 투자를 설명변수로, 투자의 성과 지표로 특허 출원 건수를 종속변수로 설정하여 R&D 투자 시차의 길이를 추정하고자 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 R&D 투자와 기업 성장, 시차 효과에 대한 이론적 배경을 검토하였다. 3장에서는 시차분포모형과 연구에서 사용한 Almon 시차분포모형에 대해 고찰하였다. 4장에는 연구에 사용된 변수 및 데이터에 대해 기술하였고, 5장에서는 Almon 시차분포모형을 통해 추정한 회귀 결과를 정리하였다. 마지막으로 6장에서는 연구의 결론과 시사점에 대해 기술하였다.

II. 기존 연구의 검토

1. R&D 투자의 특성과 기업 성과와의 관계

R&D 투자는 일반적인 투자와 구분될 수 있는 차별적 속성을 갖고 있다. Kay(1988)는 이러한 R&D 투자의 특성을 비특유성(non-specificity), 시차(time lag), 불확실성(uncertainty), 고비용(costliness)으로 구분하여 설명하였다. 각각의 특성을 <표 1>에 정리하였다.

<표 1> R&D 투자의 특성

특 성	내 용
비특유성 (non-specificity)	R&D 성과가 경제 전반에 공유
시차 (time lag)	R&D 성과가 제품, 서비스에 반영되기까지 일정 기간 소요
불확실성 (uncertainty)	R&D 투자에 대한 보상이 없거나 적을 수 있음
고비용 (costliness)	R&D 수행 중에 장시간과 많은 자원 소요

Romer(1990)의 연구 이후 R&D 투자는 생산과정에서 투입의 효율성을 증가시키고 직접적으로 경제 전체의 생산성을 향상시킬 수 있다는 견해에는 이견이 없다. 또한 R&D 투자는 기술 진보와 기술 혁신을 야기하여 기술 구조, 산업 구조를 변화시키고 경제 성장에 영향을 미친다. Griliches(1984)는 1967년부터 1972년까지 미국 제조업 종사 기업들을 대상으로 R&D 투자의 부가가치 기여도를 측정하여 기업의 R&D 투자가 정부 R&D 투자보다 부가가치 성장에 대한 기여도가 높다는 결론을 도출하였다. Verspagen(1994)은 1973년부터 1988년까지 9개 선진국 16개 제조업 종사 기업들을 대상으로 고급, 중급, 저급 기술 산업의 R&D 기여도를 분석하고 고급 기술 산업일수록 R&D 스톡의 기여도가 높음을 확인하였다.

오세홍 외(2002)의 연구는 R&D 투자와 경제 성장과의 인과 관계를 고찰한 연구에서 선행 연구 분석을 통해 R&D 투자와 경제 성장 사이에 강한 양의 상관관계가 존재한다고 정리하였다. 같은 연구에서 1970년부터 1998년까지의 국내 실질 GDP와 실질 R&D 투자 데이터를 이용하여 데이터를 R&D 투자를 정부와 민간으로 구분하여 경제 성장과의 인과 관계를 검정한 결과 민간 R&D 투자는 경제 성장 사이에는 단방향의 Granger 인과 관계가 존재하고, 총 R&D 투자와 경제 성장 사이에는 양방향의 인과 관계가 존재한다는 결론을 도출하였다. 최종서(2009)는 R&D 투자의 경제적 효과에 대해 분석한 연구에서 R&D 투자와 투자로부터 발생하는 경제적 효과 사이의 직접적인 인과 관계는 도출하기 어렵다는 점을 지적하였다. 그 까닭으로 R&D의 수행 주체가 속해 있는 환경이 R&D 성과에 영향을 미치며 R&D 투자가 실제로 성과로 이어지는 과정에서 시차(time lag)가 존재하기 때문이라고 강조하였다.

2. R&D 투자의 시차 효과(Time lag effect)

경제 현상은 일반적으로 그 변화가 순간적으로 일어나거나 사라지지 않고 일정 기간에 걸쳐서 그 변화가 나타나는 경우가 대부분이다. 따라서 많은 경제 모형과 실증적인 연구에 있어서 특정한 설명변수가 종속변수에 지속적인 영향을 주기 때문에 종속변수는 동일 시점의 독립변수뿐만 아니라 과거 시점의 독립변수의 영향도 함께 받는다고 가정하는 것이 보다 현실적이다. 이와 같이 경제 모형에서 동일 시점을 제외한 이전 시점의 독립변수 시차 변수(Lagged variable)라 한다. Sims(1974)는 경제 실증 연구의 모형 선택에서 시차 구조를 고려하지 않은 모형이 더 적합하다고 판단되지 않는 한 시차 구조를 고려한 모형이 더 바람직하다고 주장하였다.

Gujarati(2009)는 시차 효과의 원인을 심리적, 기술적, 제도적 원인으로 분류하였는데 특히 R&D 투자의 시차효과는 이들 중 기술적 원인이 시차효과를 발생시키는 주요 요인으로 파악할 수 있다. 특히 R&D 투자는 다른 투자에 비해 <표 1>에서 정리한 내용과 같은 특징들을 갖고 있으며, Gujarati(2009)의 분석 외에도 R&D 수행을 통해 새로운 지식이 형성되기까지 회임 기간(Gestation period)을 거치게 되며, 암묵지가 형식지로 전환되기까지에도 시간이 소요된다. 따라서 R&D 투자와 성과간의 관계에 대해 분석할 때에는 시차 효과를 고려하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

R&D 투자와 성과 사이의 시차 효과에 대한 연구는 다양한 방법의 연구가 진행되어왔다. Hall et al.(1986)은 미국 내 제조업 종사 기업들을 대상으로 R&D 투자와 특히 성과 사이의 시차를 연구하였다. 연구 결과 R&D 투자와 특히 사이에는 시차 효과보다는 동시 효과(contemporaneous effect)를 확인했으며, 과거 R&D 성과가 특허 제도를 통해 전유성을 확보하는 비율은 약 5%의 낮은 비율이었음을 밝혔다. Scherer(1965)는 미국 포춘지 선정 500대 기업의 448개 기업을 대상으로 시장 구조와 R&D 성과의 관계를 연구한 논문에서 R&D 종사자 수와 특허 등록 건수 사이의 시간차를 조사한 결과 R&D 투자로부터 약 4년의 시차가 존재하는 것을 밝혔다. Comanor and Scherer(1969)는 미국 제약 산업을 대상으로 특허 출원 건수와 연구자 수, 매출액과의 관계를 연구한 논문에서 특허건수 전체에 대한 출원에서 등록까지의 평균기간을 조사하였는데 약 3년의 시간차를 도출하였다. Griliches and Schmoolker(1963)은 미국 21개 산업을 대상으로 특허와 총투자 및 부가가치증가와와의 관계를 분석한 회귀 모형에서 3년의 시차를 가정한 회귀식의 설명력이 가장 우수한 것으로 요약하였다.

국내의 연구는 대부분 문헌조사방식을 택하고 있다(이재하, 1997). 진념(1987)의 연구에서는 통계적 분석 없이 문헌조사에 의해 2~3년의 시차를 설정하고 실증 분석을 실시했다. 홍순기 외(1991)의 연구에서도 통계적 분석을 거치지 않은 산업별 평균 시차를 문헌조사방식에 의존해 실증 연구에 적용하였다. 이재하(1997)는 R&D 투자와 특허 및 실용신안 건수와의 시차 관계를 통계적으로 분석하였고, 시차의 길이를 4년으로 결론지었다. 그러나 3장에서 다루게 될 다중공선성, 자기상관 등의 통계적 문제를 고려하지 않았기 때문에 통계적 정확성이 낮을 수 있다는 약점을 갖고 있다. R&D 투자의 시차 효과에 대한 실증 연구를 아래 <표 2>에 정리하였다.

<표 2> R&D 투자의 시차 효과 추정 길이 비교

선행연구	종속변수 (건수)	설명변수 (명, 달러, 엔)	시차 길이
Scherer (1965)	특허등록	연구자 수	4년
Comanor & Scherer (1969)	특허출원	연구자수, 매출액	제약 산업 3년
Pakes & Chankerman (1984)	특허출원	R&D 투자비	1.7 ~ 2.4년
이재하 (1997)	특허출원, SCI 논문	R&D 투자비	4년
Saito (1987)	설문 조사: 특허 등록까지 걸린 기간		산업 전체 4년

Ⅲ. 연구 방법론 및 연구 모형

1. 시차분포모형(Distributed Lag Model)과 추정 방법

회귀 분석 모형이 설명변수의 현재 관측치와 과거의 관측치를 포함하는 모형을 시차분포모형이라 한다. 시차분포모형의 예를 들면 식 (1)과 같다.

$$Y_t = \alpha + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \beta_3 X_{t-3} + u_t \quad \text{식 (1)}$$

시차분포모형은 원칙적으로 설명변수에만 시차가 나타나는 것으로 정의한 후 시차의 길이가 유한한 것과 무한한 것으로 구분할 수 있다(이종원, 2007). 시차의 길이가 유한한 것을 유한 시차분포모형, 시차의 길이가 무한한 것을 무한 시차분포모형이라 한다. 식 (1)의 예는 최대 시차길이를 $(t-3)$ 기까지로 제한한 유한 시차분포모형이다. 식 (1)과 같은 분석이 활용 될 수 있는 예로, 설명변수인 X_{t-n} 은 해당 시점 가계의 수입을 나타내며, 종속변수인 Y_t 는 t 시점의 가계 소비 지출을 나타낸다. 이러한 모형이 합리적일 수 있는 까닭은 일반적으로 소득 증가에 대해 사람들은 그 증가분을 한꺼번에 소비하지는 않기 때문이다(Gujarati, 2009). 즉 식 (1)과 같은 회귀 분석을 통해 설비 투자가 일어난 시점으로부터 생산성 향상까지의 시차를 추정할 수 있다. 현실에서 설비 투자의 효과가 유한한 것과 마찬가지로 과거 R&D 투자액이 무한한 시점까지 영향을 끼친다는 가정은 현실성이 떨어지기 때문에 시차의 길이가 유한한 유한 시차분포모형이 보다 적합하다.

시차분포모형의 계수 추정은 원칙적으로 최소자승법을 통한 계수의 추정이 가능한 것으로 알려져 있다(Gujarati, 2009). Alt(1942)와 Tinbergen(1949)은 최소자승법을 통해 회귀 계수를 추정하는 과정에서 축차적으로 시차 변수를 늘려가면서 추정하는 것을 제안했다. Alt와 Tinbergen이 제안한 축차적 최소자승법을 통한 회귀 절차는 다음과 같다.

$$Y_t = \alpha + \beta_0 X_t + u_t \quad \text{식 (2-1)}$$

$$Y_t = \alpha + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + u_t \quad \text{식 (2-2)}$$

$$Y_t = \alpha + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + u_t \quad \text{식 (2-3)}$$

$$Y_t = \alpha + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \beta_3 X_{t-3} + u_t \quad \text{식 (2-4)}$$

축차적 추정을 통해 회귀 계수를 추정하면 식 (2-1)을 먼저 추정한 후, 식 (2-2), 식 (2-3), 식 (2-4)를 차례로 추정해 나가게 된다. 이 축차 절차는 시차 변수의 회귀 계수들이 통계적으로 유의하지 않게 되거나, 마지막에 추가한 시차 변수의 계수의 부호가 바뀔 때 멈춘다. 그러나 축차적 최소자승법을 통한 회귀 계수의 추정은 다른 추정 방법에 비해 간단하다는 장점이 있으나 동시에 다음과 같은 단점을 갖고 있다(Gujarati, 2009). 첫째, 시차의 최대 길이에 대한 선행적 정보가 필요하다. 둘째, 순차적으로 시차 변수들을 추가하여 회귀 식을 추정하는 과정에서 자유도를 상실하게 되어 통계적 추론의 안정성을 잃게 된다. 셋째, 시계열 자료에서는 시차 변수들이 매우 높은 상관관계를 갖는 경향이 존재하기 때문에 시차 변수가 추가됨에 따라 다중공선성 문제가 발생할 가능성이 커

지는 단점을 갖고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 계량 경제학자들은 시차 변수의 회귀 계수에 여러 형태의 가정을 하여 문제를 해결하고자 하였다. 축차적 최소자승법과 비교하면 회귀 계수에 어떠한 형태든 가정을 통한 제약을 주었기 때문에 제약 시차분포모형(Restricted distributed lag model)이라하며, 계수에 어떠한 가정도 하지 않은 모형은 비제약 시차분포모형(Unrestricted distributed lag model)이라 한다.

2. Almon 시차분포모형과 직접추정법

축차적 최소자승법을 통한 계수 추정 과정에서 발생할 수 있는 문제점들을 해결한 모형 중 Almon 모형은 대표적인 제약 시차분포모형이며, 본 연구에서는 Almon 모형을 일부 변형하여 추정 과정을 간편화한 직접추정법을 사용하였다. Almon(1965)은 시차 변수의 회귀 계수를 라그랑주 보간 다항식(Lagrange interpolation polynomial)을 통해 추정하는 방법¹⁾을 제시하였다. Almon의 시차분포모형의 추정 방법이 갖는 장점은 다수의 시차 변수를 다항식의 형태로 변환시켜 다중공선성 문제를 최소화하고, 자유도의 상실을 줄인다는 장점을 갖고 있으며(손태환, 1988), 여기서 변환된 변수를 인공변수(artificial variable)라 한다.

직접 추정법은 Almon 시차분포모형의 일부를 변형시켜 시차 변수의 계수를 추정한다. 식 (2-4)의 예를 들면 $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ 등의 계수를 식 (3)과 같이 시차 분포의 계수를 k 의 연속 함수로 가정하고 추정한다.

$$\beta_k = f(k) \quad (\text{where } k \geq 0) \quad \text{식 (3)}$$

Weierstrass의 정리를 사용하면 일정한 범위 내에서 연속 함수는 적당한 차수(degree)의 다항식을 통해 근사화할 수 있다(Morton, 1964). 따라서 식 (3)의 β_k 는 r 차 다항식으로 근사화할 수 있다. 이는 Almon(1965)이 제시한 모형의 라그랑주 보간 다항식을 대체한 것이다.

1) 라그랑주 보간 다항식을 이용한 추정 방법은 Almon, Shirley. (1965). The Distributed Lag Between Capital Appropriations and Expenditures. *Econometrica*, 33(1), 179-181 참조

$$\beta_k = f(k) = a_0 + a_1k + a_2k^2 + \dots + a_rk^r \quad \text{식 (4)}$$

식 (4)를 식 (1)에 대입하면,

$$Y_t = a_0X_t + (a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_r)X_{t-1} + (a_0 + 2a_1 + 2^2a_2 + \dots + 2^r a_r)X_{t-2} \\ + (a_0 + 3a_1 + 3^2a_2 + \dots + 3^r a_r)X_{t-3} + \dots + (a_0 + ka_1 + k^2a_2 + \dots + k^r a_r)X_{t-k} \\ + u_t$$

이다. 이를 정리하면 식 (5)와 같다.

$$Y_t = a_0 W_0 + a_1 W_1 + a_2 W_2 + a_3 W_3 + \dots + a_r W_r + u_t \quad \text{식 (5)}$$

$$\text{where } W_0 = X_t + X_{t-1} + \dots + X_{t-k}, \\ W_1 = X_{t-1} + 2X_{t-2} + \dots + kX_{t-k}, \\ \vdots \\ W_r = X_{t-1} + 2^r X_{t-2} + \dots + k^r X_{t-k}$$

Almon 시차분포모형과 마찬가지로 식 (5)에 최소자승법을 적용하여 a_i 의 값을 추정 한 후, 식 (4)에 대입하여 시차 변수의 계수를 추정하게 된다.

Almon 시차분포모형은 다른 제약 시차분포모형에 비해 사용상의 제약이 적고, 시차 변수의 계수의 형태에 대한 제약이 다항식으로 표현할 수 있기 때문에 연구 목적에 따라 다양하게 변형시켜 사용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 계수 제약에 대한 다항식의 변형이 자유롭기 때문에 선형적으로 몇 차 다항식으로 Weierstrass의 정리를 사용할지 정할 필요가 있다. 또한 Almon 시차분포모형을 통한 시차 변수 계수 추정을 위해 생성 한 인공 변수들이 시차 변수 X_{t-a} 로부터 만들어졌기 때문에 경우에 따라 다중공선성이 발생할 수 있다. 특히 심각한 다중공선성이 발생할 경우 추정한 시차 변수들의 회귀 계 수가 계수 값에 비해 큰 표준오차를 갖게 될 가능성이 높아서 전형적인 t -검정을 실시했 을 때 하나 또는 그 이상의 계수들이 통계적으로 유의하지 않게 나타날 가능성이 있다. 그러나 이 같은 사실이 하나 또는 그 이상의 추정된 $\hat{\beta}_k$ 들이 통계적으로 유의하지 않다는 것을 의미하지 않는다(Gujarati, 2009). 일반적으로 Almon 모형은 시계열 자료에 활 용되는 경우가 대부분이지만 Hsiao(2003)는 필요에 따라 패널 자료를 분석할 때에도 Almon 모형 등을 변형시켜 사용할 수 있다고 언급하였으며 본 연구에서도 Almon 모형을 패널 분석에 활용하였다.

본 연구에서는 Almon 모형을 활용하기 전에 축차적 최소자승법을 활용하여 데이터를 분석하였다. 축차적 최소자승법을 활용한 분석을 실시한 까닭은 시차 변수의 최대 길이 설정에 대해 명확한 기준을 제시하고 있기 때문이다. 즉 회귀 계수가 유의성을 잃게 되거나 계수의 부호가 바뀔 때까지 식 (2-1)~식 (2-4)와 같이 축차적으로 시차 변수를 추가하여 시차 변수의 최대 길이를 선형적으로 설정한다. Almon 모형이 갖고 있는 두 번째 단점인 다항식의 차수 설정 문제는 정병호 외(2012)의 연구에서와 같이 2차 다항식을 사용하였다. 다수의 경제학 모형에서 2차 다항식을 가정하고 데이터를 분석하고 있는데 그 까닭은 일반적으로 시차 효과를 보이는 경제학 모형에서는 외부의 충격이 점진적으로 증가하다 감소하는 추세를 보이기 때문이다.

IV. 자료 및 변수

1. 자료

본 연구의 실증 분석을 위해 기업의 R&D 투자액은 한국과학기술기획평가원(KISTEP)이 OECD Frascati manual에 근거하여 매년 조사하는 「연구개발활동조사(2002-2009)」 자료를 활용하여, 특허출원 건수는 한국특허정보원의 특허DB를 활용하여 패널 데이터를 구축하였다. 자료를 정리하는 과정에서 적용한 첫 번째 기준은 특이값을 제거하기 위해 기업의 연구개발 투자액, 매출액의 두 가지 변수에 대해 평균으로부터 3 시그마 수준 이내에 있는 값으로 한정하여 특이값을 제거하였다. 또한 Almon 모형은 모형의 특성 상 전체 조사 기간 중 1개년이라도 결측치가 발생할 경우 해당 기업의 데이터를 모형에 대입하여 분석할 수 없는 한계점을 갖고 있다. 따라서 전체 데이터 셋에서 완전 균형 패널 데이터를 구축하기 위해 1개년도 이상 결측치가 있는 관측치를 제거하여 1,055개 기업에 대한 분석을 수행하였다.

대상 기업은 기업 규모, 기술영역을 기준으로 구분할 수 있다. 기업의 크기를 나누는 기준은 대기업, 중소기업, 벤처기업이고 「연구개발활동조사」 설문 응답 시 표기한 답변에 따라 구분하였다. 위의 기준에 따라 분류한 분석 대상의 수를 <표 3>에 제시하였다. <표 3>의 숫자는 2002년부터 2009년까지 집계된 패널데이터의 관측치를 정리한 것이다. 예를 들어 대기업 관측치 수 1,128개는 141개 대기업을 8년간 조사한 관측치를 의미한다.

<표 3> 분석 대상 기업의 기업 크기별, 연구 단계별 분포

기업 규모	관측치 수	비율(%)	R&D 단계	관측치 수	비율(%)
대기업	1,128	13.36	기초연구	192	2.27
중소기업	4,296	50.9	응용연구	816	9.67
벤처기업	3,016	35.73	개발연구	7,432	88.06
계	8,440	100	계	8,440	100

기술 영역은 한국표준산업분류코드(KSIC) 기준을 활용하여 산업의 기술적 성격이 유사하다고 판단할 수 있는 산업군으로 구분하였다. 분석 대상 기업군은 화학 산업군, 금속 및 금속 가공 산업군, 전기 및 전자 산업군, 정밀 과학 산업군, 기타 기계 제조 산업군의 5개 산업군으로 분류하여 분석하였다.

<표 4> 한국표준산업분류코드에 의한 산업군 분류

산업군	한국표준산업분류코드(2 digit)
화학 산업군	19, 20, 21, 22, 23
금속 및 금속 가공 산업군	24, 25
전기 및 전자 산업군	26, 28
정밀 과학 산업군	27
기타 기계 제조 산업군	29

2. 변수의 정의

본 연구에서는 R&D 투자와 특허 성과 사이의 시차 효과를 확인하기 위한 회귀식의 설명변수로 연도별 R&D 투자액에 자연로그를 취한 값을 사용하였다. 종속변수로는 연도별 특허 출원 건수를 사용하였다. 다수의 선행 연구에서 특허 건수를 R&D 투자의 산출 변수로 설정하여 분석하였는데, 특허 건수가 과연 R&D 투자의 산출을 정확하게 반영하는가에 대해 여러 연구자들의 논의가 있었다(Breschi et al.(2000); 정성철 외(2004); Mansfield(1986); Levin et al.(1987)). 본 연구에서는 특허가 R&D 수행성과의 보호 기능 뿐 아니라 R&D 수행 주체 내에서 축적된 기술과 지식을 형식지(explicit knowledge) 형태로 전환하는 기능을 수행한다는 점에 착안하였다. 홍순기와 홍사균(1994)의 연구는 특허 정보가 기술과 지식의 가치를 타당하게 반영하고 있다고 주장하였다. 또한 특허 등록과 특허 출원을 비교하면 특허 등록은 출원 이후 심사에 필요한 기간 등이 R&D 투자와

성과 사이의 시차 효과에 포함될 수 있기 때문에 R&D 투자로부터 특허 출원까지 걸린 기간을 측정하는 것이 R&D 시차를 더욱 정확하게 측정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 R&D 수행을 통해 축적된 지식을 측정하는 지표로 특허 출원 건수를 활용하였다.

연도별 R&D 투자액, 특허 출원 건수에 대한 기초 통계량을 <표 5>에 요약하였다. 특히 2006년을 기점으로 특허 출원 건수가 지속적으로 감소한 것을 확인할 수 있다. 이는 기업들의 R&D 산출이 지속적으로 감소한 것으로 해석하기 보다는 R&D 산출물의 보호를 위해 특허 제도에 의존하는 경향이 감소한 것에서 기인한 것으로 보는 것이 타당하다. Mansfield(1986)는 기업이 R&D 산출물의 보호를 위해 특허뿐만 아니라 리드타임, 기업비밀 등의 보완적 수단을 통한 R&D 산출물의 보호가 가능하며, 많은 수의 기업이 특허 제도에 기인하지 않은 다른 수단으로 전유성을 높이고 있다고 보고하였다.

<표 5> 기초 통계량

변수	연도	관측치 수	평균	표준편차	최소값	최대값
R&D투자액 단위: 백만원	2002	1055	4528.0	77930.1	10	2492200
	2003	1055	4722.9	90772.6	0	2934945
	2004	1055	5786.0	116056.5	0	3743808
	2005	1055	6238.9	128159.7	14.5	4141197
	2006	1055	6844.9	132644.9	9.0	4249051
	2007	1055	7178.1	137849.6	5.3	4418784
	2008	1055	7683.1	152634.2	0.8	4914674
	2009	1055	8410.8	177465.2	0.8	5736860
	전체기간		8440	6390.3	130142.6	0
특허출원건수 단위: 건	2002	1055	12.1	255.806	0	8007
	2003	1055	15	339.549	0	10926
	2004	1055	18.3	457.421	0	14814
	2005	1055	22.4	548.959	0	17744
	2006	1055	22.4	513.765	0	16568
	2007	1055	20	361.299	0	11428
	2008	1055	16.4	238.746	0	7306
	2009	1055	7.1	113.452	0	3570
	전체기간		8440	16.7	379.954	0
매출액 단위: 백만원	2002	1055	152617.4	1439661	0	40500000
	2003	1055	157960.4	1471809	0	42600000
	2004	1055	186584.7	1877775	14.7552	53100000
	2005	1055	194894.1	1905114	18.9672	51900000
	2006	1055	204759.6	1958057	16.1118	52800000
	2007	1055	200486.9	1972065	0.4414	55800000
	2008	1055	226322.4	2232466	0	59300000
	2009	1055	225547.9	2488781	0	73100000
	전체기간		8440	193646.7	1945361	0

V. R&D 시차효과 추정결과

1. 시차변수의 최대 길이 결정

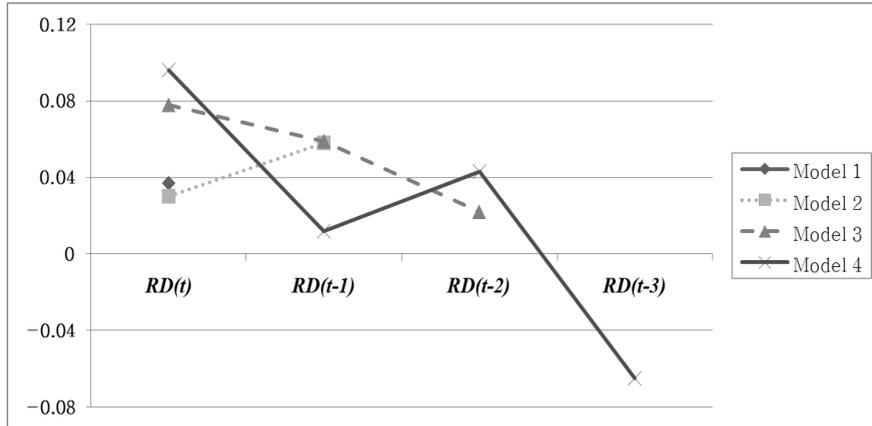
Almon 시차분포모형을 적용하기 전에 비제약 시차분포모형을 이용하여 시차 변수의 길이를 설정하였다. 종속변수로 사용한 연도별 특허 출원 건수가 갖는 값은 연속적이지 않고 제한된 값들을 갖는 제한 종속변수(limited dependent variable)이다. 따라서 최소자승법을 통한 일반적인 회귀 계수 추정 방식을 사용하는 것은 바람직하지 않다. Griliches(1984)는 R&D 투자와 특허 사이의 관계를 분석한 논문에서 시차 분포가 대체로 포아송 분포(Poisson distribution)와 일치하는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구는 종속변수를 특허 출원 건수로 설정한 회귀 모형에서는 포아송 회귀 추정 방법으로 시차 변수의 계수를 추정하였으며, 추정 결과를 <표 6>에 요약하였다.

<표 6> 축차적 회귀 분석 결과

	Model Seq.1 식 (2-1)	Model Seq.2 식 (2-2)	Model Seq.3 식 (2-3)	Model Seq.4 식 (2-4)
RD_{it}	0.037*** (0.003)	0.030*** (0.004)	0.078*** (0.007)	0.096*** (0.008)
$RD_{i(t-1)}$		0.058*** (0.004)	0.059** (0.004)	0.012** (0.008)
$RD_{i(t-2)}$			0.022** (0.004)	0.043 (0.004)
$RD_{i(t-3)}$				-0.065* (0.004)
Log Likelihood	-32511.694	-27879.648	-24295.880	-20872.094

(유의수준: 0.01(***),0.05(**),0.10(*), 괄호 안의 숫자는 표준오차를 나타냄)

축차적 회귀 분석은 순차적으로 회귀 모형에 시차 변수를 추가하면서 최초로 회귀 계수의 부호가 바뀌는 시차 변수가 발생할 때까지 시차 변수를 추가하면서 모형을 추정하였다. $(t-3)$ 기의 시차 변수를 추가하였을 때 최초로 회귀 계수가 음의 값으로 나타났다. 축차적 회귀 분석 결과는 최대 시차길이를 선형적으로 설정하는 용도로 활용하였다. 따라서 본 연구의 목적인 Almon 시차분포모형을 통한 시차 효과 추정에서는 최대 시차길이를 4년으로 설정하여 분석을 실시하였다. <그림 1>은 <표 6>의 회귀 계수 추정 결과를 그림으로 나타낸 것이다.



<그림 1> 추차적 회귀 계수 추정 결과

2. 시차효과 추정

Almon 시차분포모형을 사용하여 회귀 계수를 추정하는 과정도 추차적 회귀 분석과 동일한 까닭으로 포아송 회귀 추정을 하였다. 회귀 계수 추정 결과를 <표 7>에 나타내었다. 추정 결과에 대해 살펴보면 t 시점의 회귀 계수는 유의하게 추정되지 않았다. 그러나 3.2절에 기술한 것과 같이 Almon 모형을 사용하여 시차 변수의 회귀 계수를 추정할 때에는 하나 또는 그 이상의 계수들이 통계적으로 유의하지 않게 나타날 가능성이 있기 때문에 전체 모형의 추정 결과를 훼손시키지 않는다. $(t-1)$ 기로부터 $(t-2)$ 기로 시차 변수들의 회귀 계수 값이 작아지는 것을 확인 할 수 있다. 이는 최초의 R&D 투자가 이루어진 시점으로부터 일정 기간이 지난 후에 성과가 나타나며, 투자의 효과는 시간이 지남에 따라 점진적으로 작아지는 현실을 반영한 것으로 생각할 수 있다.

추가적으로 5개의 산업군을 선정하여 연구개발 투자와 특허 출원과의 시차 효과를 측정, 비교하였다. 분류된 산업군은 화학, 금속 및 금속 가공, 전기 및 전자, 정밀과학, 기타 기계 제조의 다섯 개이다. 각 산업군의 분류는 한국 표준 산업 분류코드를 활용하였으며, 이를 <표 4>에 정리하였다. 각 산업군별로 Almon 모형을 사용하여 분석한 결과를 <표 8>에 요약하였다. 추정 결과 산업군별로 상이한 시차의 길이가 추정되었다. 금속 및 금속 가공 산업군은 1년 이내, 화학 산업군과 정밀과학 산업군은 1~2년, 기타 기계 제조 산업군은 2~3년의 시차 효과를 갖고 있는 것으로 분석되었으며, 전기 및 전자 산업군은 어느 시차 변수의 계수도 유의하게 추정되지 않았다. 추정 결과를 그림으로 나타내면 <그림 2>와 같다.

<표 7> Almon 모형 직접추정 결과—특허출원

Model	Patent
Variable	Coefficient (S.E.)
RD_{it}	-0.002 (0.003)
$RD_{i(t-1)}$	0.049*** (0.005)
$RD_{i(t-2)}$	0.030*** (0.004)
$RD_{i(t-3)}$	-0.058*** (0.004)
Log Likelihood	-20971.012

(유의수준: 0.01(***),0.05(**),0.10(*), 괄호 안의 숫자는 표준 오차를 나타냄)

<표 8> 산업군별 Almon 모형 직접추정 결과—특허출원

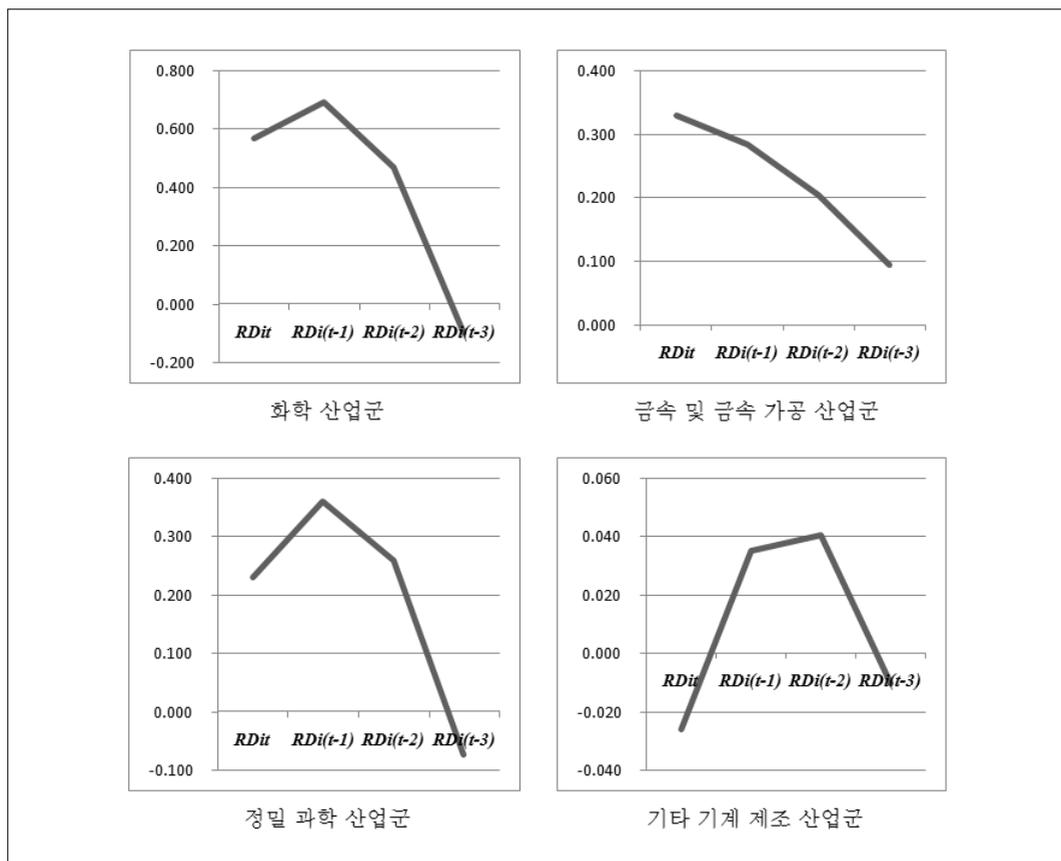
	화학	금속 및 금속 가공	전기 및 전자	정밀과학	기타 기계 제조
RD_{it}	0.566*** (0.060)	0.329*** (0.010)	-0.004 (0.036)	0.229*** (0.014)	-0.026* (0.014)
$RD_{i(t-1)}$	0.689*** (0.077)	0.283*** (0.011)	-0.030 (0.054)	0.359*** (0.020)	0.035** (0.018)
$RD_{i(t-2)}$	0.468*** (0.060)	0.204*** (0.007)	-0.032 (0.051)	0.258*** (0.015)	0.041*** (0.013)
$RD_{i(t-3)}$	-0.097*** (0.025)	0.094*** (0.012)	-0.011 (0.051)	-0.073*** (0.006)	-0.011 (0.007)
Log Likelihood	-123.519	-3422.573	-306.227	-548.729	-1892.278

(유의수준: 0.01(***),0.05(**),0.10(*), 괄호 안의 숫자는 표준 오차를 나타냄)

Almon 시차분포모형을 활용하여 R&D 투자가 특허 출원 성과로 이어지기까지의 시차를 추정하였다. 선행연구의 R&D 시차와 비교할 때 Scherer(1956)의 연구, 이재하(1997)의 연구 결과는 모두 4년의 R&D 시차를 제시하였으나 본 연구에서는 이보다 짧은 1~2년의 시차로 도출되었다.

추정된 시차 길이가 단축된 주요 원인을 다음과 같이 생각할 수 있다. 첫째, 본 연구에서 사용한 관측치가 R&D 투자가 기초 연구, 응용 연구보다는 개발 연구에 편중된 기업의 수가 많기 때문이다. 이는 대기업, 중소기업 및 벤처기업으로 분류한 분석 대상 수를 비교했을 때에도 마찬가지이다. 대기업이 중소기업이나 벤처기업에 비해 상대적으로 재무 조건이 유리하기 때문에 R&D 시차가 길 것으로 예상하는 기초 연구나 응용 연구에

투자를 할 수 있으며, 중소기업이나 벤처기업은 상대적으로 시차가 짧을 것으로 예상되는 개발 연구에 투자하기 때문이다. 둘째 원인은 과거에 비해 R&D 관리가 체계화되었기 때문이다. R&D 투자로부터 발생하는 R&D 성과가 기업의 수익에 매우 중요한 자원으로 인식되기 시작하면서 과거의 주먹구구식의 관리 기법으로부터 탈피하여 체계화 된 관리가 이루어졌기 때문으로 생각할 수 있다. 즉 R&D를 기획, 투자 결정, 연구 및 제품화 등의 모든 R&D 프로세스를 체계적으로 관리하기 시작하면서 R&D 투자 시점과 성과가 발현되는 시점까지의 시차가 줄어든 것으로 생각할 수 있다.



<그림 2> 산업군별 Almon 모형 직접추정 결과 - 특허 출원

VI. 결 론

본 연구의 목적은 R&D 투자의 시차 효과에 대해 확인하는 것이었다. Almon 시차분포모형을 활용하여 시차 변수들 사이에 발생할 수 있는 다중공선성 문제를 최소화하였다. 분석 결과 R&D 투자와 특허 출원 사이에는 1~2년의 시차 효과가 존재하는 것을 확인하였다. 5개의 산업군으로 분석 대상을 분류하여 같은 분석을 실시하였을 때에는 시차 효과가 서로 다르게 추정되었다. R&D 투자로부터 특허 출원까지 걸리는 기간은 각각 금속 및 금속 가공 산업군 1년 이내, 화학 산업군과 정밀과학 산업군 1~2년, 기타 기계 제조 산업군은 2~3년의 시차 효과를 갖고 있는 것으로 나타났다.

그러나 연구에 활용한 「연구개발활동조사」는 1년 단위로 집계되기 때문에 정밀하게 시차의 길이를 추정한다고 하더라도 추정된 시차의 최소 단위가 1년 단위로 추정될 수밖에 없는 한계점을 갖고 있다. 추후 분기별 재무제표를 통해 분기별 R&D 투자액이나 월별 특허 출원 건수 등의 데이터를 확보할 수 있다면 더욱 정교한 시차 효과의 추정이 가능할 것으로 기대한다.

또한 Almon 모형을 사용한 분석은 다중공선성이나 자기상관 문제에서 자유로울 수 있다는 장점을 갖고 있지만 동시에 산업의 특성을 고려하기 위해 일반적으로 사용하는 통제 변수를 사용하지 못하는 한계가 있다. 이는 Almon 모형을 사용하여 회귀 계수를 추정할 때 인공변수(artificial variable)를 만들게 되는 과정에서 X와 X의 시차 변수와 Y를 제외한 다른 통제 변수를 모형에 추가할 수 없기 때문이다. 본 연구에서는 기술 환경이 유사한 기업군으로 나누어 이러한 문제를 최소화하기는 하였으나 산업군 간 차이를 통제하는데 여전히 한계가 존재한다고 할 수 있다.

이론적인 관점에서 R&D 투자로 촉발되는 기술 진보와 생산성 향상이 기업의 생산성과 성과에 긍정적인 영향을 끼치는 것은 자명하다. 과거의 여러 실증 연구에서 R&D 투자와 기업의 성과 사이에 명확한 인과관계가 관찰되지 않았던 것은 R&D 투자의 시차 효과를 고려하지 않았거나 고려한 연구에서도 정확한 시차를 측정하고 인과관계에 대한 분석을 실시하지 않았기 때문으로 생각한다. 본 연구가 갖는 의의는 다중공선성 등 통계적 문제를 해결한 시차분포모형을 적용하여 정확한 시차 효과를 측정하고자 하였다는 점과 나아가 정확한 시차 효과를 고려한 R&D 투자에 대한 분석의 기초를 제공하였다는 점이다.

참고문헌

(1) 국내문헌

- 김의제 (1999). 『우리나라 제조업의 성장요인 분석 : 연구개발 투자의 생산성 분석을 중심으로』, 서울: 과학기술정책연구원.
- 이종원 (2007). 『계량경제학 전정판』, 서울: 박영사.
- 홍순기, 홍사균, 안두현 (1991). 『연구개발투자의 산업부문간 흐름과 직간접 생산성 증대효과 분석에 관한 연구』, 서울: 과학기술정책연구원.
- 김선구, 연룡모 (2007). “연구개발비 투자가 기업성과에 미친 다기간 효과 분석”, 『회계연구』, 제 12권 제 3호, pp. 1-31.
- 성태경 (2005). “고기술산업과 저기술산업에서 기업의 혁신활동 결정요인 비교분석” 『산업경제연구』, 제 18권 제 1호, pp. 339-360.
- 손태환 (1988). “다항식분포시차모형의 추정에 관한 연구 - 컴퓨터 패키지에 의한 추계를 중심으로”, 『국제 경제 연구』, 제 9호.
- 오세홍, 임수진, 손소영 (2002). “국내 연구개발투자와 경제성장간의 인과관계”, 『기술혁신연구』, 제 10호, pp. 65-82.
- 윤윤규, 고영우(2011). “정부 R&D지원이 기업의 성과에 미치는 효과 분석: 동남권 지역산업진흥 사업을 중심으로”, 『기술혁신연구』, Vol. 19, No. 1, pp.29-53
- 윤현덕, 서리빈 (2011). “기술혁신형 중소기업의 기술경영성과에 미치는 핵심요인에 관한 연구”, 『기술혁신연구』, Vol. 19, No. 1, pp.111-144
- 이재하 (1997). “R&D 투입과 성과간의 시간지연 분석”. 『기술경영경제학회 학술발표회』, 제 11호, pp. 160-171.
- 이현준 (2013). 기업 연구개발 성과의 시차효과 분석 연구 : Almon 모형을 중심으로, 서울대학교 석사학위논문.
- 정병호, 천강민, 양재경 (2012). “국가연구개발사업의 학술적 성과의 시차효과에 관한 실증적 연구”, 『Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering』, 제 35호, pp. 87-92.
- 정성철, 윤문섭, 장진규 (2004). “특허와 기술혁신 및 경제발전의 상관관계”, 『STEPI 정책연구』, 제 2004-15호
- 최중서 (2009). “연구개발투자의 경제적 시차효과에 대한 시계열분석”, 『회계학연구』, 제34권 제 1호, pp. 67-105.
- 홍순기, 홍사균 (1994). “산업간 기술흐름 구조와 연구개발투자의 파급효과 분석”, 『과학기술정책』, 제 6권 제 1호.

홍장표 (2010). “산업의 기술체제 특성이 지식전파와 기술혁신에 미치는 영향”, 『기술혁신연구』, Vol. 18, No. 2, pp.147-174

(2) 국외문헌

- Griliches, Z. (1984). *Research and Development, Patents and Productivity*. Chicago: Chicago University Press.
- Gujarati, Damodar N. (2009). *Basic econometrics*, Boston: McGraw-Hill.
- Hsiao, Cheng. (2003). *Analysis of panel data*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kay, N. (1988). *The R&D Function: corporate strategy and structure, in Technical Change and Economic Theory*, ed. by Dosi, G, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg and L. Soete, Pinter Publishers.
- Morton, B. R. (1964). Numerical Approximation. *Library of Mathematics*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Putnam, J. (1996). The Value of International Patent Protection. (Ph. D. Thesis), Yale University.
- Almon, Shirley. (1965). The Distributed Lag Between Capital Appropriations and Expenditures. *Econometrica*, Vol.33, No.1, pp. 178-196.
- Alt, F. F. (1942). "Distributed Lags,". *Econometrica*, Vol. 10, pp. 113-128.
- Bass, Frank M., & Clarke, Darral G. (1972). Testing Distributed Lag Models of Advertising Effect. *Journal of Marketing Research*, Vol. 9, No. 3, pp. 298-308.
- Breschi, S., F. Malerba, L.Orsennigo. (2000). Technological Regimes and Schumpeterian Patterns of Innovation. *Economic Journal*, Vol. 110, pp. 388-410.
- Griliches, Zvi, & Schmookler, Jacob. (1963). Inventing and Maximizing. *The American Economic Review*, Vol. 53, No. 4, pp. 725-729.
- Hall, Bronwyn H., Griliches, Zvi, & Hausman, Jerry A. (1986). Patents and R and D: Is There a Lag? *International Economic Review*, Vol. 27, No. 2, pp. 265-283.
- Levin, Richard C., Klevorick, Alvin K., Nelson, Richard R., Winter, Sidney G., Gilbert, Richard, & Griliches, Zvi. (1987). Appropriating the Returns from Industrial Research and Development. *Brookings Papers on Economic Activity*, Vol. 1987, No. 3, pp. 783-831.
- Malerba, F., & Orsenigo, L. (1996). Schumpeterian Patterns of Innovation are Technology-Specific. *Research Policy*, Vlo. 25, No. 3, pp. 451-478.
- Mansfield, Edwin. (1986). The R&D Tax Credit and Other Technology Policy Issues. *The American Economic Review*, Vol. 76, No. 2, pp. 190-194.
- Mohnen, P. (1996). R&D externalities and productivity growth. *STI Review*, Vol. 18, pp. 39-66.
- Patel, P., & Pavitt, K. (1997). The technological competencies of the world's largest firms:

- complex and path-dependent, but not much variety. *Research Policy*, Vol. 26, pp. 141-156.
- Romer, Paul M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, Vol. 98, pp. 71-102.
- Romer, Paul M. (1994). The Origins of Endogenous Growth. *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 8, No. 1, pp.3-22.
- Scherer, F. M. (1965). Firm Size, Market Structure, Opportunity, and the Output of Patented Inventions. *The American Economic Review*, Vol. 55, No. 5, pp. 1097-1125.
- Sims, C. A. (1974). "Distributed Lags," in M. D. Intriligator and D. A. Kendrick(eds.). *Frontiers of Quantitative Economics*, Vol. II
- Solow, Robert M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70, No. 1, pp. 65-94.
- Tinbergen, J. (1949), Long-Term Foreign Trade Elasticities, *Metroeconomica*, Vol. 1, pp. 174-185
- Verspagen, B. (1994). Technology and growth: the complex dynamics of convergence and divergence. in: Silverberg, G. and Soete, L. (eds.), *The Economics of Growth and Technical Change: Technologies, Nations, Agents*, Edwar Elgar, Aldershot, pp. 154-181

□ 투고일: 2013. 08. 05 / 수정일: 2014. 01. 24 / 게재확정일: 2014. 02. 11