

R&D 투자의 농업부문 스펠오버 효과 연구

김기환* · 서병선**

Study on Spillover Effect of R&D Investment in Agricultural Sector

Kim, Gi-Hwan · Seo, Byeong-Seon

The purpose of this study is to analyze the spillover effect of R & D investment focusing on agriculture sector. Therefore, the Korean industry is divided into 18 industries and the data period including 1970 ~ 2014 is analyzed. In addition, the method is based on the analysis of the production function, the growth contribution of the production factor, and the spillover effect of other industries that affect the agricultural output. The results of this study are summarized as follows. First, R & D investment has a positive effect on the production of Korean agriculture. Second, the impact of high tech industry R & D investment on Korean agriculture is positive. Third, the R & D investment in the public sector is relatively higher than the R & D investment in the private sector. In the R & D stage, the R & D investment of the first level technology has a great influence on the production of agriculture. As a result of this study, governments should consider the above mentioned research results to determine resource priorities based on limited resources in relation to R & D investments that contribute to production and economic growth.

Key words : *R&D, spillover effect, agricultural, production funtion, lasso*

I. 서 론

본 연구는 R&D 투자의 스펠오버 효과에 대해 농업부문을 중심으로 분석하고자 한다. 세계 각국은 수년간 지속된 저성장의 흐름 속에서 신 성장 동력인 4차 산업혁명에 주목하고

* 숭의여자대학교 비서인재과 겸임교수

** Corresponding author, 고려대학교 식품자원경제학과 교수(seomatteo@korea.ac.kr)

있다. 2016년 다보스 세계경제포럼에서 Klaus Schwab 회장이 ‘4차 산업혁명의 이해’라는 주제로 처음 논의를 시작했고 현재는 세계 각국에서 다양한 분야에 걸쳐서 이에 대한 연구와 분석이 이루어지고 있다. Aghion과 Benjamin (2017)은 미국의 NBER 보고서를 통해 인공지능과 경제성장에 관한 연구를 발표하였으며 한국의 경우에도 정부 차원과 민간 차원의 연구와 분석이 이루어지고 있다. 또한 정부차원에서는 4차 산업혁명 관련 정책들을 심의 조정하는 대통령 직속 ‘4차 산업혁명위원회’가 생겨나 한국의 혁신성장에 대한 노력을 하고 있다. 이러한 국가혁신성장의 핵심은 산업과 기술 간 융합이다. 또한 산업과 기술의 융합은 특정 산업만이 앞장서 나간다고 이루어지는 것은 아니다. 예를 들어 아무리 좋은 기술 있다고 해도 이를 접목할 산업이 없다면 혹은 받아들일 준비가 되어 있지 않다면 기술을 통한 융합은 그 힘을 극대화 할 수 없을 것이다. 이는 4차 산업혁명 시대에는 산업 간 균형성장이 되어 있는 국가가 상대적으로 경제성장에 있어 우위에 있을 수 있다는 것을 의미한다. 하지만 지금까지 한국은 수출주도형 경제성장정책으로 상대적으로 부가가치가 높다고 판단되는 전기전자산업, 자동차를 비롯한 운송장비산업 등을 주력산업으로 편중된 연구개발 및 성장에 정책을 펼쳐왔다. 그러나 앞서 언급했듯이 4차 산업혁명 시대에서의 경제성장은 기본적으로 산업 간 균형 성장이 전제되어야만 할 것이다. 이와 관련하여 최근 Lucas (2017)는 앞선 연구자들의 이론을 바탕으로 농업으로 대표되는 전통적인 산업은 향후 기술의 축적을 통해 지속가능한 산업이 될 수 있음과 동시에 모든 경제가 기술 축적을 통해 지속가능한 성장을 하였을 때, 4차 산업혁명이 완료될 것으로 판단하였다. 이것이 한국에서 상대적으로 성장보다는 안정 위주의 정책을 펼쳐왔던 농업을 발전시켜야하는 이유이다. 또한 농업에 있어 4차 산업혁명에서 기초 기술로 불리우는 인공지능(AI) 등이 도입될 경우, 기존 농업 생산요소에 있어 큰 부분을 차지하고 있던 노동이 인공지능(AI)과 결합되어 자본화가 될 것으로 판단된다. 이는 과거 농업 생산요소에 있어 노동이 소모적 특성을 보인데 반해 인공지능(AI)과 같은 기술이 포함되면 축적이 가능한 생산요소로의 변환을 의미한다. 또한 기존의 노동은 경기에 따라 변동의 진폭이 컸다면 인공지능(AI) 즉, 신기술이 들어오게 되면 전통적 생산요소인 노동도 스톡(Stock)으로 다룰 수 있게 된다는 것을 의미한다. 나아가 이러한 노동에서의 기술 도입은 산업의 효율성 측면에서 상대적으로 도태되고 있는 산업을 재생할 수 있는 기회를 제공할 수 있다고 판단된다.

이처럼 4차 산업 혁명시대에서 균형성장을 위해 한국의 농업 성장과 관련된 연구개발투자는 중요하다. 경제성장 관점에서 연구개발투자는 지식 스톡의 증가와 전통적 생산요소인 노동과 자본의 생산성을 향상시켜 지속 가능한 경제 성장을 할 수 있기 때문이다. 또한 저출산, 고령화에 의한 인구 구조의 변화, 4차 산업혁명과 같은 경제환경의 변화에 의해 연구개발투자는 그 중요성이 더 크다고 할 수 있겠다. 이에 국내외 많은 연구자들은 농업 부문의 연구개발투자(R&D)에 대해 중요성을 인식하고 이와 관련된 많은 연구들을 발표하고 있다.

국내 관련 연구 주제는 크게 농업부문 연구개발투자의 이해, 수요 및 정책과제 도출, 생

산성 증대를 중심으로 연구가 이루어져 왔다. Lee 등(2012)은 농업 연구개발투자의 이해와 성과 관리 개선을 위한 탐색적 연구를 실시하였으며 본 연구를 통해 한국 농업부문의 연구개발투자 현황을 진단하고 저평가되고 있는 해당 분야 연구개발투자 성과유형들과 이를 정량적으로 측정하기 위해 노력하였다. Lee 등(2015)은 농업 부문 연구개발투자의 효율성 및 성과를 극대화하기 위해 기술 수요자 중심의 네트워크형 농업기술혁신시스템으로의 전환이 필요함을 주장하였다. Lee 등(2016)은 국가별 농업혁신시스템을 비교 분석하고 우리나라의 농업부문 연구개발투자의 추진체계와 농업 분야 및 한국 농업 기업의 환경 등을 고려할 때 해당 분야에서는 아직까지 국가 주도의 연구개발투자 추진이 필요하다고 확인하였다. 또한 농업부문 연구개발투자의 효과를 측정하기 위한 연구도 수행되었는데 국내 연구자로는 Sa (1998), Roh 등(2004), Kwon (2010)이 있었고 국외의 대표적인 연구로는 Alson 등(2000)의 연구가 있었다.

이에 본 연구에서는 균형성장의 측면에서 중요한 농업부문을 중심으로 연구개발 투자의 경제성장 기여와 함께 타 산업의 연구개발 투자에 따른 농업부문 스피로버 현상에 대해 분석하고자 한다.

II. 한국 농업 및 국내의 농업분야 기술 활용 현황

4차 산업혁명 시대를 맞이하여 한국 농업은 대외적으로는 국제적인 시장 개방화, 대내적으로는 농업인구 감소 및 고령화, 곡물 자급률 하락 등 이러한 대내외적 상황을 극복하기 위해 ICT 기술을 접목한 시설 및 장비의 개발 및 보급 확대의 중요성이 커지고 있다. 미국과 일본의 예를 간략히 살펴보면 다음과 같다.

1. 미국

미국은 1990년대부터 지속 가능한 농업 및 환경 촉진을 주요 전략으로 설정하여 국가과학기술위원회를 중심으로 ICT 융복합의 기반이 되는 원천기술에 2002년 18억 달러에서 2012년 27억 달러까지 투자를 확대하였다. 또한 2014년부터는 오픈 데이터 정책을 통해 농업 관련 서비스 개발을 촉진하고 있다. 그리고 최근에는 IoT 기술뿐만 아니라 로봇기술, 나노기술 등의 접목을 시도하고 있으며, Google의 경우, 지능화 기술인 인공지능(AI)과 빅데이터 기술을 활용하여 작물 생산에 있어 수분 및 작물의 생육상태를 모니터링하고 이에 맞추어 비료 및 농약 살포에 의사결정에 도움을 주는 시스템을 개발 중에 있다.

2. 일본

일본의 경우, 기업들이 ICT 기술을 접목하여 다양한 서비스를 제공하고 있으며, 농산물 이력관리, 생육환경 감시, 농업관리 클라우드 시스템 서비스 제공 등 다양한 분야의 서비스를 제공하고자 노력하고 있다. 그 예로 시설원예분야에서는 클라우드 서버의 활용을, 노지 재배 분야에서는 채소에 대한 예측응용시스템과 감귤 생산시스템이 대표적이다.

이처럼 주요국은 ICT를 비롯한 연구개발 기술의 도입과 활용에 매우 적극적이며, 이를 통해 기존 농업이 안고 있던 노동력 문제를 비롯한 사회구조적 변화에 의한 문제들을 효과적으로 해결하고자 한다. 이에 미국과 일본의 예시에서 보았듯이 원천기술의 연구개발 및 투자는 무엇보다 중요하다. 또한 노동력 감소와 같은 사회 구조적인 문제를 해결하기 위해서도 연구개발 및 투자는 필요하다. 먼저 국가 및 민간의 연구개발 기관에서 해당 원천기술을 개발하면 이는 농업을 비롯한 제조업 및 기타 산업에 전파 될 수 있다. 또한 이것은 기술 파급을 통해 제조업 및 기타 산업은 드론 및 스마트폰, 인공지능센서, 통신장치 등의 개발단계 제품을 생산할 수 있으며, 이는 타 산업의 요구에 의해 산업적 특색에 맞게 추가 개발되어 전해질 수도 있다. 만일 이 산업이 농업이라고 하면 기존에 개발된 AI 기술을 바탕으로 타 산업에서 제품화된 드론을 도입하여 일부 용도에 맞게 최적화를 통해 생산성 및 효율성 향상을 기대하며 도입할 수 있는 것이다. 예를 들어 원천기술로 연구개발 기관에서 AI와 같은 이미지를 인식하고 처리하는 인공지능 기술이 개발되었다고 하면 일반 제조업에서는 이 기술을 도입하여 드론과 기술혁신 상품을 개발하게 되고 노동력 감소로 인해 농약 살포 등의 일부 작업을 무인화하고자 하는 농업의 경우, 이를 도입하여 GIS 기술을 추가적으로 탑재, 지형에 따라 농약의 무인살포가 가능한 상태로 도입 활용한다. 이렇듯 산업 간 기술 및 생산품의 이동 현상을 스피로버라 할 수 있다. 또한 이러한 스피로버 효과는 제조업 → 농업 아닌 농업 → 제조업으로도 이루어질 수 있으나 본 연구에서는 타 산업에서 농업으로 일어나는 스피로버 효과에 한정하여 확인하고자 한다.

Ⅲ. 분석 방법

본고는 분석에 대상인 농업을 포함한 전 산업에 Romer (1990), Seo (2016)의 R&D 기반 성장모형(R&D based growth model)을 기반으로 사용한다.

$$Y_t = A \cdot Z_t^\gamma \cdot K_t^\beta \cdot L_t^{1-\beta} \quad (1)$$

$$Y_t = A \cdot Z_t^\gamma \cdot K_t^{\beta_1} \cdot L_t^{\beta_2} \cdot T_t^{1-\beta_1-\beta_2} \quad (2)$$

상기 식 (1)은 규모의 효과에 있어서 전통적인 생산요소인 자본(K)과 노동(L)에 대해서는 규모의 보수불변 가정을 적용하고 연구개발스톡(Z)의 한계생산성은 0보다 큰 것으로 가정하여 생산함수 전체적으로는 규모에 대한 보수체증이 나타남을 보여주는 것이다.

식 (1)에서 Y_t 는 GDP를, Z_t 는 연구개발 스톡, K_t 는 자본 스톡, L_t 는 노동 투입이다. 노동투입의 경우, 총노동투입량(노동시간 \times 노동자수)을 사용하였다. β 의 경우, 자본의 산출탄력성이고 γ 는 연구개발 스톡의 산출탄력성을 나타낸다. 자본과 노동에 대해서는 규모에 대한 수익불변 가정(Constant return to scale : CRS)을 하고 있어 상기 식에서의 노동에 대한 산출탄력성은 $1 - \beta$ 로 나타낼 수 있다.

식 (2)은 농업의 생산함수를 추정함에 있어 기존 식 이외에 해당 산업 생산에 중요 요소인 토지를 고려하여 확장한 식이다. 농업의 경우, 타 산업에 비해 토지에 대한 중요성이 크기 때문에 이를 포함하여 식 (1)을 확장한 형태도 고려하였다. 그리고 이는 본 분석에 사용하고 있는 한국은행에서 배포한 자본스톡변수에 토지를 고려하지 않고 있기 때문에 이를 확장하는데 무리가 없을 것이라고 판단되었다. 국내 선행 연구 중 Lee (2013)의 연구가 토지를 고려하여 분석하였다. 하지만 선행연구에서는 연구개발을 반영하지 않았고, 자본의 경우에도 자본스톡 대신 트랙터 수를 사용하여 차이를 보이고 있다.

앞선 생산함수 식은 CRS 가정을 하고 있으므로 실제 추정은 식 (3)과 같은 계량경제 모형을 사용한다.

$$\log \frac{Y_t}{L_t} = \mu + \beta \log \frac{K_t}{L_t} + \gamma \log Z_t + u_t \quad (3)$$

다음 토지를 고려하여 농업의 생산함수를 추정할 경우, 상기 식 (3)에 토지 T 를 고려한 식 (4)을 사용한다.

$$\log \frac{Y_t}{L_t} = \mu + \beta_1 \log \frac{K_t}{L_t} + \beta_2 \log \frac{T_t}{L_t} + \gamma \log Z_t + u_t \quad (4)$$

경제성장에 대하여 요인별 기여를 살펴보기 위하여 생산함수 식 (3)에서 다음 성장 회계식을 얻을 수 있으며 이를 응용하여 사용한다.

$$g_Y = \gamma g_Z + \beta g_K + (1 - \beta) g_L \quad (5)$$

여기서 $g_Y = \frac{\Delta Y_t}{Y_t}$ 는 실질 GDP 증가율, $g_N = \frac{\Delta Z_t}{Z_t}$ 는 연구개발스톡 증가율, $g_K = \frac{\Delta K_t}{K_t}$

는 자본 증가율, $g_L = \frac{\Delta L_t}{L_t}$ 는 노동 증가율이다.

또한 스피로버 효과분석 시 고차원 선형모형에서의 모형선택방법인 LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator)를 사용한다.

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + x_1\hat{\beta}_1 + \dots + x_p\hat{\beta}_p \quad (6)$$

상기 식 (6)는 반응변수를 $y = (y_1, \dots, y_n)^t$, 설명변수를 x_1, \dots, x_p 으로 주어진 경우이다. 이러한 선형회귀모형에서 설명변수 개수인 p 가 반응변수 관측치수 n 보다 훨씬 클 때, 이것을 고차원(High Dimensional) 문제라고 한다. 이때, 일반적으로 행하는 OLS 방법을 사용하면 자유도가 부족하거나 추정이 제대로 이루어지지 못한다. 또한 다중공선성이 있는 경우 불안하게 나타난다. 고차원 문제는 고전적인 모형 선택방법들이 고차원 선형 모형에서 필요로 하는 변수들보다 많은 변수를 선택하는 과적합(Over-fit)문제를 일으키는 경향이 있다. 결국 이러한 과적합(Over-fit) 문제는 고차원 모형에서 심각한 편향을 발생시킬 수 있으며, 이 같은 단점을 보완할 수 있는 방법을 사용하여야 한다.

이에 본 분석에서는 Tibshirani (1996)에 의해 제안된 LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator)를 사용한다. $x_i^t = (x_{i1}, \dots, x_{ip})$ 가 설명변수이고 y_i 가 반응변수인 경우, 자료를 (x_i, y_i) 로 표기한다. 일반적으로 회귀설정에서는 관측치들이 독립이거나 x_i 가 주어진 상태에서 조건적으로 독립을 가정한다. 그리고 x_i 가 표준화되어 있어 $\sum_i x_i/N = 0$, $\sum_i x_i^2/N = 1$ 이 된다. $\hat{\beta}$ 를 벡터형태로 나타내면 $\hat{\beta} = (\hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_p)^t$ 과 같다. 이 때 LASSO 추정치 $\hat{\beta}$ 는 아래 식 (7)와 같이 정의된다.

$$(\hat{\beta}) = \arg \min_{\beta} \sum_{i=1}^n (y_i - \sum_j \beta_j x_{ij})^2 \quad (7)$$

$$\sum_j |\beta_j| \leq t \quad (8)$$

식 (8)의 $t(\geq 0)$ 는 조절모수이다. 이에 모수 t 를 LASSO 추정치에 적용시켜 응축(shrinkage)의 양을 조절한다. $\hat{\beta}_j^0$ 를 완전 최소제곱 추정치로 두고 $t_0 = \sum |\hat{\beta}_j^0|$ 로 둔다면 $t(\leq t_0)$ 의 값은 0으로 가며 응축(shrinkage)이 일어난다. 그리고 몇 개의 계수들이 정확하게 0의 값을 갖는다. 예를 들어 $t = t_0/2$ 라면, 효과는 사이즈 $p/2$ 의 최고의 부분집합(best subset)을 찾는 것과 유사하게 된다.

이에 본 분석에서는 상기 방법을 추가적으로 사용하여 농업에 영향을 미치는 타 산업의 스피로버 효과를 확인하고자 한다.

IV. 분석 자료

본 연구의 분석 자료는 1970~2014년의 자료기간과 18개의 산업을 기본으로 한다. 이에 Table 1에서는 분석에 사용되는 주요 자료에 대한 설명을 보여준다. 모든 자료는 통계청과 한국은행 DB에서 추출하였다.

Table 1. Data

| Codename | Subject matter | Source | Remark |
|----------|--------------------------------------|---------------|----------|
| id | Industry classification | Bank of Korea | 18 ind |
| n_gdp | GDP by industry(nominal) | Bank of Korea | billion |
| r_gdp | GDP by industry(real) | Bank of Korea | billion |
| n_rdst | R&D stock by ind(nominal) | Bank of Korea | billion |
| n_rdst_p | Production R&D stock by ind(nominal) | Bank of Korea | billion |
| n_cst | Capital stock by ind(nominal) | Bank of Korea | billion |
| r_rdst | R&D stock by ind(real) | Bank of Korea | billion |
| r_cst | Capital stock by ind(real) | Bank of Korea | billion |
| land | Land | Bank of Korea | 1,000 ha |
| L | Total labor | Bank of Korea | - |

Table 2. Industry classification

| ID | Industry | ID | Industry |
|----|-----------------------|----|--------------------------|
| 1 | Agriculture | 10 | Metal |
| 2 | Mine | 11 | Machinery equipment |
| 3 | Food & Etc | 12 | Electric |
| 4 | Textile, leather | 13 | Precision instrument |
| 5 | Wood, Paper, Printing | 14 | Transportation equipment |
| 6 | Coal, Oil | 15 | Other manufacturing |
| 7 | Chemical | 16 | Power, Gas, Water |
| 8 | Non-metal | 17 | Construction |
| 9 | 1 st. metal | 18 | Service |

본 연구에서 사용한 한국은행 자본스톡의 경우, 실제 토지가 포함되어 있지 않고, 농업의 경우, 건축물 및 시설에 있어서도 일부만 반영되어 있을 가능성이 있다. 왜냐하면 대부분의

대규모 시설을 제외한 개별 농가의 시설물은 무허가 혹은 가설 건축물로서 등재되어 있지 않고 있기 때문이다. 현재 국내에 상존하고 있는 온실, 축사 등의 농업 시설물의 경우, 국내 법상 건축물로 분류되지 않는 경우가 많으며 결국 자산 추계에 있어서도 고려되지 않는 경우 있다. 또한 최근 많은 시설비가 투입되는 현대식 온실 같은 경우에도 유리온실을 제외하고는 기둥이나 견고한 벽면이 없다는 국내법상 건축물 대장이 발급되지 않는다. 또한 상법상 주식회사를 제외하고는 자산의 신고에 있어서도 정확성이 낮을 가능성이 존재한다.

변수들은 ADF (Augmented Dickey-Fuller test) 검정 결과 단위근을 갖는 것으로 나타났으며, 이들 변수에 대한 1차 차분된 자료에서는 단위근이 발견되지 않았다.

Table 3. Results of unit root test

| Variable | Code name | Stat of ADF | Significance |
|-----------------------------|-------------|-------------|--------------|
| GDP (total) | Log(r_gdp) | 3.91791 | 0.9274 |
| GDP (Agriculture) | Log(r_gdp) | -1.09252 | 0.7105 |
| Labor (Total) | Log(l_L) | -0.86416 | 0.9511 |
| Labor (Agriculture) | Log(l_L) | -0.10852 | 0.9420 |
| R&D stock (total) | Log(r_rdst) | 2.24680 | 0.7838 |
| R&D stock (Agriculture) | Log(r_rdst) | -1.45047 | 0.5487 |
| Capital stock (total) | Log(r_cst) | -2.62415 | 0.2722 |
| Capital stock (Agriculture) | Log(r_cst) | -1.33997 | 0.6023 |
| Land | Log(land) | -2.07904 | 0.5424 |

V. 분석 결과

1. 생산함수 추정 및 연구개발 기반 성장기여 분석

연구개발 부문이 각 산업의 산출에 미치는 영향을 살펴보기 위해 생산함수 분석을 실시한다. 이에 생산함수 추정 결과는 다음 Table 4, Table 5와 같다.

추정 결과, 각 추정 방법에 대한 결과가 차이를 보였다. 오차항의 자기상관을 처리하기 위해 GLS 분석을 실시하였다. 또한 생산함수를 장기균형관계로 생각하여 공적분 관계를 확인한 후 FMOLS (Fully Modified OLS) 분석을 실시하였다. FMOLS의 경우, 생산함수라는 함수관계를 구성하는 변수들 간에 공적분 관계의 존재로 인해 발생하는 내생성 문제와 계열 상관 문제를 보정해 줌으로서 이런 문제를 안고 있을 경우, 최적의 추정치를 얻을 수 있

게 해준다. 또한 본 분석은 각 산업 분야에 전체 연구개발 스톡이 미치는 영향을 확인하기 위해 전체 연구개발 스톡 자료를 사용하였다.

Table 4. Results of production function estimation (1)

| | Variable | FMOLS | | GLS | |
|---------------------------------|------------------------------|-------------|---------|-------------|---------|
| | | Coefficient | Std.Err | Coefficient | Std.Err |
| Agri (1) (Not included land) | Constant | -2.276* | 1.183 | -0.534 | 1.141 |
| | Capital-Labor (K/L) | 0.235 | 0.237 | 0.576*** | 0.205 |
| | R&D stock (Z) | 0.295** | 0.141 | 0.076 | 0.137 |
| | AR | - | - | 0.882*** | 0.104 |
| | Coefficient of determination | 0.970 | - | 0.992 | - |
| Agri (2) (included land) | Constant | 0.022 | 0.016 | 0.026 | 0.019 |
| | Capital-Labor (K/L) | 0.070 | 0.160 | 0.055 | 0.200 |
| | Land-labor (T/L) | 0.877*** | 0.205 | 0.805** | 0.297 |
| | R&D stock (Z) | 0.038 | 0.142 | 0.021 | 0.151 |
| | AR | - | - | -0.358** | 0.142 |
| | Coefficient of determination | 0.933 | - | 0.942 | - |

Note : single, double, and triple asterisks (*) denote significance at 10%, 5%, and 1% level respectively.

먼저 Table 4의 농업생산함수 분석의 경우, 앞서 분석방법에서 제시한 일반적인 생산함수와 토지를 포함하여 확장한 생산함수를 모두 분석하였다. 이에 생산함수의 추정 결과 각 추정 방법에 대한 결과가 차이를 보였다. GLS 분석과 FMOLS 결과 모두에서 일부 통계적으로 유의한 결과를 얻었다. 세부적으로 살펴보면 토지를 제외한 생산함수 분석에 있어 GLS 분석에서는 자본집약도가 0.576으로 농업의 성장에 있어 자본이 정(+)의 관계를 나타냄을 보였고 또한 통계적으로 유의함을 보였으나 R&D 스톡의 경우 유의한 결과를 얻지 못했다. 반면 토지를 포함한 생산함수의 추정에서는 R&D 스톡에서 유의한 결과를 얻지 못하였다. 이에 농업의 경우, 토지를 포함했을 때와 제외했을 때의 결과에 큰 차이를 보이며, 농업의 생산함수 추정에 있어서는 기존의 생산함수와 같은 정형화된 추정식보다는 해당 산업의 특성을 반영한 생산함수의 개발이 필요하다고 판단된다. 실제 국내 농업의 특성을 반영하기 위한 새로운 생산함수를 개발하기 위한 선행연구들이 있었다. 그 중 Lee (2013)의 연구는 본고와 유사하게 토지를 고려하여 분석하였다. 하지만 선행연구에서는 연구개발을 반영하지 않았고, 자본의 경우에도 자본 스톡 변수 대신 트랙터 수를 사용하여 차이를 보이고 있다. 또한 Table 6의 장기균형검정에서는 토지를 포함한 형태와 제외한 형태 모두에서 1개 이상의 공적분을 갖는 것으로 분석결과 나타났다.

다음 Table 5의 제조업 분석결과를 살펴보면 자본집약도 및 연구개발 항목 모두 정(+)의 영향을 주는 것으로 나타났다. 세부적으로 살펴보면 FMOLS 분석결과, 자본집약도는 0.502를 나타내었고 R&D 스톡의 경우 0.218을 나타내었다. 또한 두 항목 모두 통계적으로 유의함을 보였다.

Table 5. Results of production function estimation (2)

| | Variable | FMOLS | | GLS | |
|----------------|------------------------------|-------------|---------|-------------|---------|
| | | Coefficient | Std.Err | Coefficient | Std.Err |
| Manufacturing | Constant | -3.111*** | 0.399 | -0.576 | 0.995 |
| | Capital-Labor (K/L) | 0.502*** | 0.131 | 0.644*** | 0.100 |
| | R&D stock (Z) | 0.218** | 0.085 | 0.191* | 0.097 |
| | AR | - | - | 0.973 | 0.047 |
| | Coefficient of determination | 0.989 | - | 0.997 | - |
| Total Industry | Constant | 0.081 | 0.308 | 0.229 | 0.445 |
| | Capital-Labor (K/L) | 0.420** | 0.210 | 0.466*** | 0.088 |
| | R&D stock (Z) | 0.191** | 0.090 | 0.086 | 0.070 |
| | AR | - | - | 0.960*** | 0.054 |
| | Coefficient of determination | 0.986 | - | 0.998 | - |

Note : single, double, and triple asterisks (*) denote significance at 10%, 5%, and 1% level respectively.

마지막으로 전체 산업의 분석에서는 자본의 산출탄력성은 GLS 분석에서 0.466을 FMOLS 분석에서는 0.420의 값을 얻었으며 이는 모두 정(+)의 영향을 주는 것으로 나타났고 통계적으로 유의함을 보였다. 반면 연구개발의 산출탄력성은 FMOLS 분석에서만 통계적으로 유의한 결과를 얻었고 결과는 0.191로 추정되었다. 또한 추가적으로 VECM 분석을 실시하였고 결과는 자본의 산출탄력성은 0.460을 연구개발의 산출탄력성은 0.240의 통계적으로 유의한 값을 얻었다. 또한 두 산업의 장기균형검정 결과는 Table 6에 나타나 있고 이를 살펴보면 제조업과 전체 산업은 모두 1개 이상의 공적분을 가지는 것으로 나타났다.

Table 6. Results of Johansen long-run equilibrium test

| | Hypothesis | Trace stat | 5% critical value | p-value |
|------------------------------------|------------|------------|-------------------|---------|
| Agri (1) (Not included land) | rank = 0 | 33.335 | 29.797 | 0.0188 |
| | rank ≤ 1 | 15.177 | 15.494 | 0.0668 |
| | rank ≤ 2 | 1.090 | 3.841 | 0.2964 |

| | Hypothesis | Trace stat | 5% critical value | p-value |
|-----------------------------|---------------|------------|-------------------|---------|
| Agri (2) (included land) | rank = 0 | 52.514 | 47.856 | 0.0171 |
| | rank \leq 1 | 23.504 | 29.797 | 0.2222 |
| | rank \leq 2 | 8.508 | 15.494 | 0.4127 |
| | rank \leq 3 | 1.663 | 3.841 | 0.1971 |
| Manufacturing | rank = 0 | 43.200 | 29.797 | 0.0008 |
| | rank \leq 1 | 9.725 | 15.494 | 0.3024 |
| | rank \leq 2 | 1.734 | 3.841 | 0.1878 |
| Total Industry | rank = 0 | 34.324 | 29.797 | 0.0141 |
| | rank \leq 1 | 14.988 | 15.494 | 0.0595 |
| | rank \leq 2 | 6.553 | 3.841 | 0.0105 |

다음은 Table 7는 생산요소에 대한 경제성장기여도이다.

본 분석의 경우, GDP 즉 산출과 자본스톡을 노동으로 나눈 값을 사용함으로 노동의 기여도는 고려하지 않고 자본 장비율이나 자본집약도에 있어서 노동 단위당 생산이 얼마나 설명되는지와 함께 연구개발에 대한 기여도를 확인하고자 한다.

Table 7. Results of contribution to economic growth

| | Economic growth (GDP/Labor) | Capital intensity (Capital stock/Labor) | Contribution to R&D |
|----------------|--------------------------------|--|---------------------|
| Agriculture | 4.75 | 2.30 | 2.44 |
| | 100% | 48.46% | 51.53% |
| Manufacture | 7.30 | 4.42 | 2.87 |
| | 100% | 60.55% | 39.44% |
| Total Industry | 4.95 | 2.85 | 2.09 |
| | 100% | 57.71% | 42.28% |

먼저 농업부문 생산요소 기여도 분석결과이다. 본 분석은 앞서 분석된 타 산업과의 비교를 위해 토지가 고려되지 않은 상태로 분석을 실시하였다. 또한 전체산업의 연구개발스톡을 포함하여 분석하였다. 결과를 살펴보면 농업부문 생산요소 기여도 분석결과, 본 분석에서 나타난 자본집약도는 48.46%를 보였고 연구개발기여율은 51.53%를 보였다. 이는 농업에 있어 타 산업의 연구개발투자가 해당산업의 성장에 미치는 영향이 큰 것을 의미하는 것으로 앞으로 산업 간 융합의 중요성이 커지게 되는 4차 산업혁명 시대에 연구개발투자 정

도가 농업의 발전에 큰 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 또한 농업에 있어서는 산업의 특징으로 보조금이 있는데 이는 해당산업 생산물에 대한 시장가격에 영향을 미칠 수 있다. 이에 본 결과는 연구개발 투자의 스피로버 효과에 한국 농업 정책의 현황에 비추어 보아 보조금의 효과가 일부 포함되어 있을 수 있다. 하지만 본고에 분석에서는 자료의 한계로 인해 이를 고려하지는 않았다.

다음은 제조업 부문 결과이다. 제조업 부문의 자본집약도는 앞선 전체산업의 결과에 비해 60.55%를 보임으로서 상대적으로 높음을 보였다. 반면 연구개발기여도는 39.44%로 차이를 보이며 상대적으로 낮음을 보였다.

마지막으로 전체 산업의 분석결과를 살펴보면 해당 기간 자본집약도는 57.71%을 나타냈고, 연구개발의 기여도는 42.28%로 나타났다. 이는 해당기간의 성장률에 있어 연구개발보다는 자본집약도에 의해 설명되는 부분이 더 크음을 의미한다. 하지만 연구개발 기여도 역시 높은 기여율을 보이고 있다. 이는 STEPI (2016)의 연구에서도 비슷한 결과를 나타냈는데 1970~2013년의 기간으로 분석하였을 때, 연구개발의 성장 기여율이 42.20%로 나타나 본고의 분석 결과와 유사함을 보였다.

다음 Table 8은 기술 난이도에 따른 산업 분류이다. 스피로버 분석에 있어서 기술 난이도별 산업 분류는 이를 바탕으로 사용한다.

Table 8. Industrial classification by technical difficulty

| Classification | | Category |
|----------------|----------|--|
| High tech | High | Electric and electronic equipment manufacturing, precision equipment manufacturing, information and communication, broadcasting, professional science and technology service. |
| | Mid-High | Chemical manufacturing, machinery and equipment manufacturing, transportation equipment manufacturing. |
| Low Tech | Mid-Low | Coal and petroleum product manufacturing industry, nonmetallic mineral product manufacturing, primary metal manufacturing, metal product manufacturing. |
| | Low | Agriculture, forestry and fishing, mining, food and tobacco, textile, leather, wood, paper, printing, other manufacturing, power and steam, water, waste and recycling services, construction, wholesale and retail, transportation, food and hospitality, Social support services, public administration and defense, education services, health and social services. |

Note : OECD (2011).

2. 농업을 중심으로 한 연구개발 투자 스페일오버 효과 분석

본 분석은 농업을 중심으로 타 산업의 연구개발 투자가 농업부문에 대하여 영향을 미치는 스페일오버 효과를 분석하기 위함이다.

Table 9. Results of spillover effect analysis (1)

| | Variable | FMOLS | | GLS | |
|------------|---------------|-------------|---------|-------------|---------|
| | | Coefficient | Std.Err | Coefficient | Std.Err |
| Tech-level | Constant | -0.476 | 1.257 | -0.210 | 0.616 |
| | Capital/Labor | 0.437 | 0.226 | 0.169 | 0.114 |
| | High | 0.744*** | 0.266 | 0.261** | 0.113 |
| | Mid-high | -0.828 | 0.746 | -0.560 | 0.358 |
| | Mid-low | -0.218 | 0.313 | 0.092 | 0.162 |
| | Low | 0.368 | 0.333 | 0.253 | 0.163 |
| | AR | - | - | 0.699*** | 0.115 |

Note : Single, double, and triple asterisks (*) denote significance at 10%, 5%, and 1% level respectively.

이를 위해 앞서 실시한 전 산업 R&D 스톡을 포함하여 실시한 생산함수 분석을 언급하면 타산업의 연구개발투자가 농업 산출에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, FMOLS 분석 방법을 통해 통계적으로 유의한 결과로 확인되었다. 이에 세부적으로 어떠한 산업의 연구개발 투자가 농업에 영향을 미치는지 파악하기 위해 OECD (2011)의 기술 난이도 구분에 따라 한국의 산업을 기술 난이도 수준별로 구분하여 농업 산출에 영향 미친 산업을 분석하고자 하였다. 이에 결과는 Table 9와 같다. 결과를 살펴보면 FMOLS와 GLS 분석 모두에서 첨단기술의 연구개발 투자가 농업 산출에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 해당산업에는 정밀기기산업과 전기전자산업이 포함되어 있다. 이를 통해 4차 산업혁명에 있어 해당 산업혁명의 핵심기술이 포함되어 있는 산업에 연구개발 투자를 하게 되면 농업의 산출에도 정(+)의 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

다음은 본 분석을 통해 농업 산출에 통계적으로 유의한 영향을 보인 첨단 산업의 연구개발 투자를 투자주체별로 나누어 분석하였다. 분석결과는 Table 10에 정리되어 있다.

분석결과, FMOLS 분석에서 농업의 산출에 영향을 미치는 투자주체별 연구개발 투자에 대한 결과가 확인되었으며, 투자 주체들 중 공공부문에서의 연구개발 투자가 농업의 산출에 있어 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 해당 산업의 특성이 반영된 것으로 농업의 경우, 단기간에 성과를 도출할 수 있기보다는 기본적으로 작물의 생육기간이 있으므로 작물과 관련된 연구가 주를 이루는 이상 장기에 걸쳐 성과의 확인

이 가능한 특성이 있다. 이에 공공보다는 상대적으로 단기적 이윤 추구를 목표로 하고 있는 민간 분야에서는 해당 산업의 연구개발 투자가 어려운 것이 사실이며, 이러한 특성이 반영되었다고 할 수 있다.

Table 10. Results of spillover effect analysis (2)

| | Variable | FMOLS | | GLS | |
|--|---------------|-------------|---------|-------------|---------|
| | | Coefficient | Std.Err | Coefficient | Std.Err |
| Public vs Private (High tech) | Constant | 3.020*** | 0.412 | -1.455 | 0.226 |
| | Capital/Labor | 0.284* | 0.142 | 0.115 | 0.083 |
| | R&D (Public) | 0.402*** | 0.111 | 0.019 | 0.049 |
| | R&D (Private) | 0.152 | 0.100 | 0.059 | 0.043 |
| | AR | - | - | 0.709*** | 0.135 |

Note : Single, double, and triple asterisks (*) denote significance at 10%, 5%, and 1% level respectively.

Table 11. Results of spillover effect analysis (3)

| R&D stage (High tech) | Constant | Capital /Labor | Stage1 (Basic) | Stage2 (App) | Stage3 (Develop) | AR |
|--------------------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------------|---------------------|----------|
| | Coeff. | Coeff. | Coeff. | Coeff. | Coeff. | Coeff. |
| | Std.Err | Std.Err | Std.Err | Std.Err | Std.Err | Std.Err |
| FMOLS | -1.453*** | 0.441*** | 0.247*** | - | - | - |
| | 0.306 | 0.059 | 0.051 | - | - | - |
| | -0.125*** | 0.276*** | - | 0.183*** | - | - |
| | 0.045 | 0.083 | - | 0.034 | - | - |
| | -0.287*** | 0.304*** | - | - | 0.195*** | - |
| | 0.065 | 0.078 | - | - | 0.036 | - |
| GLS | -1.278*** | 0.470*** | 0.219** | - | - | 0.733*** |
| | 0.466 | 0.111 | 0.085 | - | - | 0.105 |
| | -0.083 | 0.358** | - | 0.147** | - | 0.740*** |
| | 0.071 | 0.143 | - | 0.055 | - | 0.119 |
| | -0.224** | 0.364** | - | - | 0.164*** | 0.731*** |
| | 0.089 | 0.139 | - | - | 0.060 | 0.116 |

Note : Single, double, and triple asterisks (*) denote significance at 10%, 5%, and 1% level respectively.

다음은 농업의 산출에 있어 첨단기술 산업의 연구개발 투자의 단계를 구분하여 영향을 미치는 것을 분석한 결과이다. 결과는 상기 Table 11에 정리되어 있다. 분석결과, FMOLS, GLS 분석 모두 통계적으로 유의한 결과를 얻었고 농업의 산출에 영향을 미치는 첨단기술 산업의 연구개발 투자 단계는 1단계인 기초 연구개발 투자 단계가 가장 큰 것으로 나타났다. 다음으로는 3단계인 개발 투자단계로 확인되었다. 상기 Table 11의 경우에도 앞선 Table 10의 부문별 연구개발 투자 분석결과와 마찬가지로 해당 산업의 특성이 일부 반영된 결과라 할 수 있겠다. 투자의 성격에 있어 기초, 응용, 개발 부문에 있어 모두 산출에 정(+)의 관계를 보이고는 있으나 상대적인 차이를 보이고 있다. 이는 기초단계 즉, 공공부문의 비중이 높은 연구개발 투자 단계에서 성과가 나오고 있음을 보이고 있다.

다음은 LASSO를 이용하여 본 연구의 분석 자료에 포함된 전체 산업을 대상으로 어떠한 산업이 농업의 산출에 영향을 미치고 있는지를 분석결과이다. 결과는 Table 12에 정리되어 있다.

Table 12. Results of spillover effect analysis by LASSO

| Included 18 industry | | |
|---------------------------|-------------|--------------|
| Variable | Coefficient | Significance |
| Constant | -0.1924 | - |
| Capital/Labor | 0.0292 | <.0001 |
| Precision instrument R&D | 0.0801 | <.0001 |
| Chemistry R&D | 0.0158 | <.0001 |
| GDP/Labor ₍₋₁₎ | 0.6889 | <.0001 |

Note : single, double, and triple asterisks (*) denote significance at 10%, 5%, and 1% level respectively.

결과가 정리되어 있는 Table 12를 살펴보면 본 분석의 경우, 본 연구에서 구분한 Table 2에 나타나 있는 18개 산업을 모두 포함하였는데 LASSO 분석결과, 화학부문의 연구개발 투자와 정밀기기 산업의 연구개발 투자가 농업의 산출에 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 분석결과를 통해 도출된 두 산업은 기술 난이도 분류에 따르면 하이테크 산업으로 분류되는 산업으로 정밀기기 산업은 첨단기술 산업의 범주에 속하며 화학 산업의 경우, 다음 단계인 중위첨단 산업의 범주에 속한 산업이다. 결과적으로 하이테크 산업이 농업의 산출에 통계적으로 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났고 세부적으로는 첨단기술 산업 부문의 정밀기기 산업의 연구개발 투자가 상대적으로 농업의 산출에 더 큰 정(+)의 영향을 주는 것으로 확인되었다.

Ⅵ. 결 론

본 연구는 R&D 투자의 스피로버 효과에 대해 농업부문을 중심으로 분석하고자 하였다. 이에 한국의 산업을 총 18개의 산업으로 나누고 1970~2014년의 자료 기간을 포함하여 분석을 실시하였다. 또한 분석 방법으로는 생산함수에 대한 분석을 기초로 생산함수 추정 및 생산요소의 성장기여도, 농업 산출에 영향을 미치는 타 산업의 스피로버 효과를 분석하였다.

이에 본 연구를 통해 도출된 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 한국 농업의 산출에 있어 연구개발 투자는 긍정적인 영향을 미친다. 분석결과, 한국 농업의 경우, 타 산업의 연구개발 투자는 통계적으로 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다으며, 이는 융합이 강조되는 4차 산업혁명 시대에 있어 농업의 발전에 연구개발 투자가 기여할 수 있음을 기대하게 해준다. 또한 성장 기여도에 있어서도 농업은 타 산업의 연구개발 투자의 영향을 많이 받은 것으로 나타났다.

둘째, 한국 농업에 있어 하이테크 산업 연구개발 투자의 파급효과는 긍정적이다. 스피로버 효과 분석 결과, 하이테크 산업의 연구개발 투자는 한국 농업의 산출에 있어 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 보이는 것으로 나타났다. 세부 산업의 분석 결과, 첨단기술 산업으로 분류되는 정밀기기 산업과 바로 다음 단계인 중위첨단기술 산업으로 분류되는 화학 산업의 연구개발 투자가 기존 농업에 통계적으로 유의한 정(+)의 영향을 미친 것으로 나타났다.

셋째, 공공부문의 연구개발 투자는 민간부문의 연구개발 투자 보다 상대적으로 높은 효과를 보이고 연구개발 단계에 있어서는 1단계 기초 기술의 연구개발 투자가 농업의 산출에 큰 영향을 준다. 분석 결과, 농업에 스피로버 효과를 미치는 산업의 연구개발 투자는 공공부문의 영향이 통계적으로 유의하며 정(+)의 영향을 주는 것으로 나타나 공공부문 투자가 민간부문 연구개발 투자에 비해 상대적으로 농업 산출에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한 연구개발의 단계로 구분한 분석에서는 1단계인 기초 기술에 대한 투자가 기타 단계에 비해 농업 산출에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

지난 25년 간 한국의 생산성 증가 속도는 OECD 내 최고 수준을 보였다. 하지만 한국의 기본적인 성장 모델이었던 특정 산업 및 대기업 수출을 기반으로 성장하는 모델은 이제 성장에 있어 어려움을 보이고 있다. 이에 한국 정부는 신 성장 동력으로서 4차 산업혁명을 지목하였고 이를 통해 앞으로의 성장을 지속해 나아가려고 한다. 이에 각 국가별로 정의하는 바에 대한 차이는 있지만 산업 및 기술의 융합이라는 공통된 성장 동인은 4차 산업혁명의 핵심이며, 기존 생산 측면에서의 균형성장에서 한 국가 내 산업은 균형적인 성장을 하여야 한다. 하지만 본 연구의 분석기간 동안 한국은 사실상 산업 간 불균형적인 성장을 하였고 4차 산업혁명 시대를 맞이하여 이러한 불균형을 해소할 수 있는 정책 수정이 필요하다고 판단된다. 또한 이러한 연구개발 투자를 통한 균형성장은 소비자 효용을 극대화 할 수 있

는 균형소비 관점에도 중요하다. 소비자 즉, 한 국가의 국민들은 생활을 영위하기 위해 지속적인 먹거리가 필요할 것이며, 이는 타 산업의 성장하는 것만으로는 충족되지 않는다. 지금까지 누려왔던 식품소비의 효용을 제조업의 효용이 대체할 수 없을 것이다. 이것이 전통적 산업인 농업과 첨단산업을 포함하는 제조업 및 기타 제조, 서비스 산업이 균형적으로 발전해야 하는 이유이다. 그리고 나아가 연구개발 투자를 통해 산업의 노동 문제 및 사회적 실업 문제를 해소할 수 있을 것이다. 예를 들어 기존 노동인구의 이동에 의해 노동력이 절실히 필요한 산업인 농업의 경우, 타 산업의 축적된 기술 및 자체 기술력 축적을 통해 새로운 생산 장비의 개발과 이러한 산업의 발전에 비전을 가진 젊은 층의 귀농과 같은 전통적인 노동력의 새로운 이동을 통해 부족한 생산요소를 확충할 수 있을 것이다. 이로 인해 농업의 고용 문제와 청년 실업 문제도 일부 해소될 수 있다. 이는 연구개발을 통한 균형성장은 후생 효과 또한 개선시킬 수 있음을 의미한다. 이에 본 연구를 통해 도출된 결과에 따라 산출과 경제성장에 기여하는 바가 증가하고 있는 연구개발 투자와 관련하여 정부는 정책 수립 시 한정된 자원을 바탕으로 우선순위를 정함에 있어 앞서 서술된 연구결과를 고려하여야 하겠다.

이에 본 연구는 R&D 투자의 경제성장 기여와 스페일오버 효과를 농업을 중심으로 분석하여 결과를 얻었다. 하지만 분석에 있어 농업의 특성을 고려할 수 있는 변수들을 포함하지 못한 점과 이론적 배경을 모형에 모두 담지 못한 점은 연구의 한계로 지적된다. 이에 후속 연구가 절실히 필요하다.

[Submitted, October. 23, 2019 ; Revised, November. 20, 2019 ; Accepted, November. 22, 2019]

References

1. Aghion, P. and F. J. Benjamin. 2017. Artificial Intelligence and Economic Growth. NBER Paper. 1-56.
2. Hwang, S. W., S. H. Oh, C. W. Woo, P. S. Jang, S. K. Hong, H. J. Kang, C. T. Choi, G. H. Kim, J. J. Lee, and J. H. Kim. 2016. Impact Assessment of R&D Investment : framework building and a pilot analysis. STEPI.
3. Kwon, O. S. 2010. Agricultural R&D and Total Factor Productivity of Korean Agriculture. Korean Journal of Agricultural Economics. 51(2): 67-88.
4. Lee, J. R., C. S. Lee, Y. J. Jeong, S. K. Kim, M. J. Um, and H. J. Yang. 2012. Exploratory Study on the Understanding of Public Agricultural R&D and Enhancing the Management of

- R&D Performance. STEPI.
5. Lee, J. R., D. B. Park, Y. H. Im, S. J. Chu, E. J. Park, C. S. Lee, K. S. Kwon, B. M. Kim, and H. J. Yang. 2016. Evolution and Selection Agricultural Innovation System: Cross-National Comparative Study. STEPI.
 6. Lee, M. K., S. S. Kim, J. Y. Park, S. U. Yoon, and H. Y. Kim. 2015. Measures to Improve Agridulture R&D Governance Efficiency and Expand Private Investment (Year 2 of 2). R748. KREI.
 7. Lee, H. J. 2013. On the Effect of Economies of Scale for Agricultural Production Function in Korea, China, and Japan. *Korean Journal of Agricultural Management and Policy*. 40(1): 79-102.
 8. Lucas, Jr. 2017. What was the Industrial Revolution?. NBER Paper. 1-34.
 9. Roh, J. S., J. P. Hong, and O. S. Kwon. 2004. Rates of Return to Agricultural R&D Expenditure in Korea. *Korean Journal of Agricultural Management and Policy*. 31(2): 311-328.
 10. Romer, P. 1990. Endogenous Technological Change, *Journal of Political Economy*. 98(5): 71-102.
 11. Sa, K. Y. 1998. Nonparametric Measures of the Impacts of Research Expenditures on Korean Rice. *Korean Journal of Agricultural Economics*. 39(1): 1-18.
 12. Seo, B. S. 1994. Extent of Market, Technological Change, and Economic Growth: A Cross-Country Study 1971-1990.