



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

DEA와 경로분석모형을 이용한 OECD 국가간 지식기반활동의 효율성 분석

2015년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

기술경영협동과정

최 동 진

공 학 석 사 학 위 논 문

DEA와 경로분석모형을 이용한 OECD 국가간 지식기반활동의 효율성 분석

지도교수 서원철

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2015년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

기술경영협동과정

최 동 진

최동진의 공학석사 학위논문을 인준함

2015년 2월 27일



주 심 공학박사 김 민 수 (인)

위 원 공학박사 옥 영 석 (인)

위 원 공학박사 서 원 철 (인)

< 목 차 >

1. 서론	1
2. 이론적 배경	4
2.1 DEA (Data Envelopment Analysis)	4
2.2 경로분석 (Path Analysis)	6
3. 관련 연구	14
4. 연구 방법	18
4.1 연구 프레임워크	18
4.2 DMU 설정 및 투입/산출요소 정의	19
4.3 분석 방법론	20
5. 분석 결과	22
5.1 DATA 수집	22
5.2 DEA 실행 결과 및 효율성 분석	23
5.3 경로분석모형 결과 분석	28
6. 결론	35

< 표 목 차 >

<표 1> 인과모형의 구성 요소	10
<표 2> 지식기반산업 효율성 관련 선행연구	16
<표 3> 지식기반활동 효율성 측정을 위한 투입 및 산출 요소	19
<표 4> ISIC Rev 4 산업분류 및 지식기반산업	22
<표 5> 산출기준 CCR-BCC 모형 분석 결과	25
<표 6> 2010년 기준 BCC 모형에 따른 벤치마킹 대상	26
<표 7> 벤치마킹 목표값 대비 한국의 투입, 산출요소별 증감율	27
<표 8> 각 영향 요인별 상관관계	28
<표 9> 모형의 직접효과, 간접효과, 총효과	31

< 그림 목 차 >

<그림 1> 경로분석 모형의 가정	9
<그림 2> 경로분석 모형의 구성	10
<그림 3> 경로분석 모형과 방정식	11
<그림 4> 연구 프레임워크	18
<그림 5> 경로분석 모형 설정.....	29

DEA와 경로분석모형을 이용한 OECD 국가간

지식 기반활동의 효율성 분석

최동진

부경대학교 대학원, 기술경영 협동과정

Abstract

지식기반경제로 이행하고 있는 21세기 세계경제 속에서 지식과 정보의 창출 및 활용과 확산 즉, 지식기반활동은 산업의 부가가치 창출과 경쟁력의 원천이 되어가고 있다. 이에 따라 한국은 여러 산업분야에 걸쳐 외형 성장을 꾸준히 해왔지만, 선진국의 같은 산업에 비해 부가가치율과 생산성이 낮고 그 이면에는 대부분 외국의 도입기술에 의존하고 있다는것에 기인한다. 최근 선진국 경제 모델의 핵심에는 지식기반산업이 자리잡고 있다는 점에서 보듯이 21세기 한국 경제 발전에 지식기반활동의 역할은 갈수록 커질 것으로 예상되며, 따라서 본 연구는 OECD 국가를 표본으로 하여 DEA와 경로분석 모형을 통해 각국의 지식기반활동에 의해 나타나는 결과들을 살펴본 후 이에 대한 효율성을 비교하여 지식기반 활동이 미치는 영향을 분석하고, 그 속에서 한국의 수준을 파악하여 비교 대상국들에 대한 효율성 제고 및 향상을 위한 방법을 도모하고자 한다. 본 연구는 지식기반활동의 효율성을 국가단위로 분석하여 보여줌으로써, 한국의 지식기반산업이 우리의 새로운 성장주도산업으로 자리잡기 위해서는 과거 산업화시대 때와는 전혀 다른 방식으로 기업의 대응과 정부정책이 수립되어야 한다는 방향성에 기여점을 지니고 있다.

1. 서론

지식과 정보를 포함하는 지적 능력 및 그 모든 활동이 중요시되어 경제 성장을 이루어내는 지식 기반 경제 사회에서의 지식기반 활동은 그 파급 효과의 중요성이 더욱 부각됨으로써 오늘날의 고성장을 이루어내는 개발도상국과 선진국에서는 공공 및 민간분야를 막론하고 기술력과 경쟁성을 증대시키기 위해 연구개발 및 투자를 적극적으로 강화해오고 있다. 또한 Schumpeter가 기술혁신이 경제 발전에 미치는 영향을 강조하고부터 기술 혁신을 통한 국가 경제발전에 국가와 민간의 관심이 날로 확대되고, 일반적으로 막대한 투자가 실행되는 만큼, 큰 불확실성에도 불구하고 미래 경쟁력 강화의 중요한 요소인 연구개발에 대한 투자와 연구개발 활동이 점점 커지고 있다[13][16].

지식기반 경제에서의 국가 경쟁력은 기초과학을 기반으로한 지식의 생산이 새로운 기술혁신을 창조할 수 있기 때문에 지식의 역할과 중요성이 더욱 강조되고 있고, 따라서 국가혁신 체제에서의 지식의 생산과 공급 및 활용은 그 혁신체제를 고도화함과 동시에 높은 수준의 국가 경쟁력 확보에 근간을 두고 있다. 이에 따라 한국은 외환위기 이후 주춤했던 연구개발 활동이 꾸준히 강화되고 있고 민간과 정부에서도 이를 지원하기 위한 여러 정책방안과 투자를 해오고 있으며, 고부가가치를 창출하는 지적재산을 확보하여 새로운 성장동력원을 찾기 위한 노력을 확대해왔다[4]. 하지만 이러한 연구개발 촉진활동에도 불구하고 여전히 한국은 지식기반 산업의 낮은 부가가치와 기술무역 수지의 지속적인 적자에서 보듯이 비효율적인 연구개발 투자 및 그 활동으로 인한 질적인 성장을 이루어내지 못하고 있는 것으로 인식되어 오고있다[3][5]. 따라서, 국가의 지적재산과 지식기반 산업의 경쟁력을 양적/질적 측면에서 진단 및 분석하여 경제의 고성장을 이루어내는 전략을 수립하는 것은 상당히 중요하다. 또한 무한 경쟁인 세계경제의 패러다임에서 경쟁력을 갖추기 위한 전략중의 하나로 무형자산인 지식재산의 권리를 선점하는것이 반드시 필요하며, 이를 위하여 지식재산 분야에 대한 한국의 국가경쟁력 현수준을

OECD 국가와 비교, 평가하기 위한 연구가 수행되었다[4][18]. 이 연구에서는 국가 지식재산 경쟁력을 구성하는 대분류별, 중분류별, 소분류별, 세부지표별 국가간 비교와 기초투입, 중간산출, 최종산출간의 단계적 인과관계에서 국가 지식재산 경쟁력 시스템의 효율성을 분석하여 보여준다. 또한 지식재산 경쟁력 시스템을 기초투입, 역량, 환경, 중간산출 및 최종산출과 같이 5개의 대분류로 구성하고 하위에 총 90개의 세부지표를 정의하여 지식재산 경쟁력 점수를 순차적으로 산출한다. 즉, 지식재산 분야에 대한 국가 경쟁력을 측정하고 평가하는 지표를 개발한 것이다. 하지만 이는 각 항목에서 국가들의 상대적 수준만을 순위로서 나타낼 뿐 투입요소가 역량 및 환경 등 과정요소를 거쳐 산출요소로서 나타나게 되는 관계에 대해서는 설명해주지 못한다. 경쟁력 수준의 진단과 함께 중요한 것은 그 수준을 향상시키기 위한 요인을 도출해내고 이를 실행하기 위한 정책적 대안을 수립하는 것이다. 따라서 각 국가에 대한 지식재산 경쟁력을 투입요소와 산출요소 간의 효율성 측면에서 정의하고 효율성의 수준을 높이기 위한 요소를 발굴하기 위한 연구가 필요하다.

본 연구는 지식기반활동의 효율성을 국가단위로 분석하고, 한국의 지식기반산업의 현 수준을 OECD 국가들과 비교하여 취약요인을 도출한 후 연구개발 경쟁력 강화를 위한 방안 마련에 도움을 주고자 함에 있다. 이를 위하여 OECD 국가들의 지식기반산업 관련 데이터를 수집하고 자료포락분석 (Data Envelopment Analysis : DEA) 및 경로분석 (Path Analysis)을 활용하여 국가간 효율성과 생산성을 비교/분석하며, 요소간 인과관계와 영향력을 설명한다[1][2][8][12]. DEA는 비교대상들 간의 투입과 산출 결과를 활용하여 상대적 성과를 비교, 분석할 수 있도록 정량화한 후 개선해야 할 요소들과 개선의 가능성 등을 수치화하여 보여주고 벤치마킹(Benchmarking) 대상을 제시하여 준다는 측면에서 장점을 지닌 분석 방법으로써, 투입과 산출의 명확한 인과관계를 밝혀 의사결정단위 (DMU: Decision Making Unit)들의 상대적 효율성 분석을 위해 다양한 분야에 적용되어 왔다[9][10]. 경로분석모형은 여러 개여 독립변수들과 영향을 받는 여러 개의 종속변수들로 구성된 다수의 연계된 회귀방정식들을 풀어서 변수들간의 인과관계 정도를 나타내는 경로계수를 추정하는 모형이다[2][17]. 따라서

경로분석 모형에 포함된 변수들간의 영향력 강도를 파악하여 DEA에서 보여준 투입, 산출 요소들간의 인과관계를 더욱 명확하게 정의할 수 있다.

본 연구는 먼저 제2장에서 이론적 배경인 DEA와 경로분석의 개념에 대하여 구체적으로 설명하고, 제3장에서는 지식기반 활동 및 지식기반산업에 대한 정의와 지식기반 산업의 효율성 분석과 관련된 선행연구들을 정리한다. 제4장에서는 한국을 포함한 OECD 국가내에서 의사결정단위 (DMU: Decision Making Unit)를 설정하고 투입/산출 요소를 정의, OECD 국가들의 지식기반산업 관련 데이터를 취합한다. 이를 바탕으로 제5장에서는 한국을 포함한 OECD 국가들의 지식기반산업의 경쟁력을 분석하여 한국의 지식기반산업의 효율성 및 생산성 향상을 위한 방안을 도출한다. 마지막 제6장에서는 논문을 요약 및 마무리하고 추가적으로 필요한 연구과제 및 방향을 제시한다.



2. 이론적 배경

2.1 DEA (Data Envelopment Analysis)

Charnes, Cooper & Rhodes[25]에 의해 최초로 제시된 DEA(Data Envelopment Analysis)는 다수의 투입 및 산출 요소의 가중치를 고려하여 주어진 DMU의 상대적 효율성 평가하기 위한 선형계획기법이다[26]. DEA는 최적 해를 구하는 수학적 방식에 따라 기본적으로 투입중심 (Input-oriented) 모형과 산출중심 (Output-oriented) 모형으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 DEA 모형의 분석결과를 통해 벤치마킹(Benchmarking)이 가능한 국가 대상들을 찾고, 국가간 지식기반활동의 효율성을 비교, 분석하기 위해 가장 널리 사용되는 CCR 모형과 BCC모형을 사용한다. 투입지향형 CCR 모형에서는 다수 투입대비 다수 산출을 최대화 하는 것을 목적 함수로 하며, 아래의 식(1)과 같이 구성된다[15].

$$Max = \frac{\sum_{r=1}^n (u_r)(y_r)}{\sum_{k=1}^m (v_k)(x_k)} \quad (1)$$

y_r = 산출물 r의 벡터

x_k = 투입물 k의 벡터

u_r = 산출물 r의 가중치

v_k = 투입물 k의 가중치

여기서 분모를 1로 고정 시키면 분자만 최대화하는 선형계획모형의 목적함수가 되므로 CCR 모형은 아래의 식과 같이 표현된다. 각 투입요소와 산출요소의 가중치들은 0보다 크다는 제약조건하에서 평가 대상 DMU의 측정치는 1을 초과해서는 안되기 때문에 가장 효율적인 DMU의 점수는 1이 된다.

$$Max\theta_A = \sum_{r=1}^n (u_0)(y_0) \quad (2)$$

$$s. t \sum_{k=1}^m (v_{k0})(x_{k0})$$

$$\sum_{r=1}^n (u_{rj})(y_{rj}) - \sum_{k=1}^m (v_{kj})(x_{kj}) \leq 0$$

$$u_r, v_k \geq \epsilon$$

$$\epsilon = \text{non - archimedean 상수}$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, z$$

$$r = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, m$$

다음으로, BCC 모형은 CCR 모형의 한계를 극복하기 위해 규모에 대한 수익가변(Variable Return to Scale, VRS)을 가정하여 순수 기술적 효율성을 찾을 수 있고 규모에 대한 불변이라는 전제조건을 완화함으로써 CCR보다 현실적인 분석을 가능하게 했다[26]. 결과적으로 BCC 모형은 규모의 효과를 배제한 순수한 기술효율성을 나타내며 아래의 식(3)과 같이 표현된다[15].

$$Max\theta_B = \sum_{j=1}^I (y_{kj})(u_j) + w \quad (3)$$

$$s. t \sum_{i=1}^I (x_{ki})(v_i) = 1$$

$$\sum_{j=1}^I (y_{kj})(v_j) - \sum_{i=1}^I (x_{ki})(v_i) + w \leq 0$$

$$u_r, v_k \geq \epsilon$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, K$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, I$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, J$$

$$w = \text{free}$$

BCC 모형은 CCR 모형에 제약식을 추가한 형태이므로 실행가능영역이 CCR 모형의 부분집합이 되어 CCR 모형에 비해 효율성 점수가 높은 DMU가 더 많이 나타나게 된다. DMU의 CCR 모형점수와 BCC 모형점수를 비교하여 비효율의 원인이 DMU 자체의 문제인지 혹은 DMU가 운영되는 조건이나 배경에 의한 것인지 조사하기 위해서는 DMU의 규모효율성 (Scale Efficiency)을 고려할 수 있다. 임의의 DMU가 CCR 모형점수 및 BCC 모형점수에서 완전히 효율적이라면 이것은 가장 생산적 규모의 크기로 운영되는 것을 의미한다. 그러나 어떤 DMU가 BCC 모형으로 완전히 효율적이나 CCR 모형점수가 낮다면 이는 부분적으로는 효율적으로 운영이 되나 DMU 규모의 크기 때문에 전체적으로는 비효율적으로 운영됨을 의미한다. 따라서 CCR 모형점수와 BCC 모형점수의 비율에 의하여 DMU의 규모효율성이 결정된다. 규모효율성은 아래의 식(4)와 같이 표현될 수 있으며, CCR 모형점수 (θ_{CCR}^*)는 BCC 모형점수 (θ_{BCC}^*)보다 작거나 같기 때문에 규모효율성 또한 1보다 작거나 같다[15].

$$Scale\ Efficiency\ (SE) = \frac{\theta_{CCR}^*}{\theta_{BCC}^*} \quad (4)$$

2.2 경로분석 (Path Analysis)

경로분석은 여러 학문분야에서 인과관계를 설명하는데 두루 쓰이고 있는 분석 방법 중의 하나로써, 통계학적으로 보면 경로분석은 다중회귀분석이 발전된 기법이다[2][17]. 회귀분석은 종속변수와 독립변수들 사이의 관계만을 분석할 수 있을 뿐, 이것이 인과관계인지 일반적인 상관관계인지를 분석결과만으로는 구분하여 설명하는 것은 쉽지 않다. 또한 여러 단계에 걸쳐서 발생하는 다중 단계의 인과관계를 분석하기가 용이하지 않다. 즉, 하나의 회귀식을 통하여 추정된 종속변수가 또 다른 종속변수의 원인변수가 되는 경우와 같은 다중 단계의 인과관계(multiple layer causal relationship)를

분석하는 데에 한계가 있다. 따라서 이를 극복하는 방법으로 제시된 것이 경로분석이다. 경로분석(Path Analysis)은 근본적인 원인으로 작용하는 여러 개의 독립변수들과 원인변수들 간의 인과관계 정도를 나타내는 경로계수를 추정하는 방법이다. 이때 경로분석에서 사용되는 다수의 회귀방정식 세트를 총칭해서 구조방정식(system of equations) 이라고 한다. 경로분석이라 함은 잠재변수를 포함하지 않은 경로분석모형을 의미하며, 반면에 통계분석에서 말하는 구조방정식은 확인적 요인 분석과 경로분석이 포함된 구조방정식 모형을 지칭하는 경우가 일반적이다[19]. 구조방정식모형 (structural equation model)과 경로분석모형 (path analytic model)은 모형에 사용되는 변수들의 특징에 있어서 제일 큰 차이가 있다. 구조방정식모형 내의 구조(이론) 모형 부분에서 사용되는 변수들은 모두 간접적으로 측정된 잠재변수들이 된다. 즉, 구조방정식모형에서는 확인적 요인분석을 통하여 간접적으로 측정된 잠재변수(latent variable)들만을 구조(이론)모형에서 사용한다. 반면에, 경로분석모형에서 사용되는 변수들은 대부분 직접적으로 측정된 관측변수(observed variable)들이다.

일반적으로 인과관계 분석을 위하여 사용되는 회귀분석에서는 원인변수를 독립 변수로, 결과변수를 종속변수로 하여 분석을 한다. 그러나 회귀분석 결과로 도출된 모형이 통계적으로 유의하다고 해서 두 변수간에 진정한 인과관계가 성립한다고 명확하게 단정짓는 것은 바람직하지 않다. 인과관계란, 결과변수에 영향을 주는 원인 변수들 이외의 나머지 변수들을 엄격하게 통제한 상태에서 원인변수가 결과변수에 미치는 영향의 방향과 그 크기를 의미하는데, 이것이 성립하기 위해서는 첫째, 인과관계가 성립되는 두 변수는 서로 공동변화 (concomitant variation) 해야 한다. 즉, 원인에 변화가 있으면 결과도 변해야 한다는 것이다. 변수들 간에 공동변화가 없다는 것은 원인이 변해도 결과에는 변화가 없거나, 원인에 변화가 없어도 결과가 독립적으로 다양하게 변할 수 있음을 의미한다. 그러나 인과관계가 성립되기 위해서는 원인과 결과가 같이 변해야 한다. 둘째, 시간적 선후 (time ordering)가 성립되어야 한다. 이것은 원인으로 제시되는 현상이 결과보다 시간적으로 항상 선행해야 한다는 것을 의미한다. 영향을 주는 사건이 영향을 받는 사건보다

시간적으로 먼저 일어나야 하는 것은 당연하다. 영향을 주는 사건이 영향을 받는 사건보다 시간적으로 먼저 일어나야 하는 것은 당연하다. 셋째, 원인변수와 결과변수는 서로 비허위적(nonspurious) 이어야 한다. 비허위적이란 두 변수 간에 본질적 인과관계가 존재함으로써 이들 간의 공동변화가 다른 주변변수들에 의해서가 아니라 오직 두 변수에 의해서만 발생되어야 함을 의미한다. 즉, 결과변수는 반드시 원인변수에 의해서 설명되어야 하며, 따라서 원인 외에 다른 변수들에 의해서 결과변수의 변화가 설명될 가능성은 최대한 배제되어야 한다는 것을 의미한다. 예를 들어, 두 변수 이외의 다른 변수들의 영향을 통제하는 경우 두 변수 간의 상관관계가 사라진다면 두 변수 간의 관계는 허위적(spurious) 이라는 것이다. 그러나 만일 두 변수 이외의 다른 모든 변수들을 통제한 상태에서도 두 변수 간의 상관관계가 그대로 유지된다면, 이 두 변수 간의 관계는 비허위적이라고 할 수 있다. 따라서 비허위적이란 두 변수 간의 관계가 이렇게 다른 변수들에 의하여 엮어진 허위적 관계가 되어서는 안 된다. 즉, 비허위적이어야 한다. 인과관계에 있는 두 변수가 비허위적이어야 한다는 조건은 인과관계를 논함에 있어서 가장 중요하면서 이를 만족시키기 또한 쉽지 않은 조건이라고 할 수 있다. 이 외에도 많은 조건들이 있으나, 여기 제시된 3가지 조건은 인과관계를 정의하는데 있어서 반드시 갖추어야 할 가장 전형적인 조건들이다[19].

이들을 다시 정리하면, 변수들 간의 인과관계를 규명하기 위해서는 (1) 원인과 결과의 공동변화, (2) 원인이 시간적 선행, 그리고 (3) 원인과 결과의 비허위적 관계이어야 한다는 조건들이 충족된 상태에서 인과관계분석이 이루어져야 한다. 만일 이러한 조건들이 충족되지 않은 상태에서 인과분석을 한다면 잘못된 결론을 도출할 위험이 크기 때문에 더욱 주의하여야 한다.

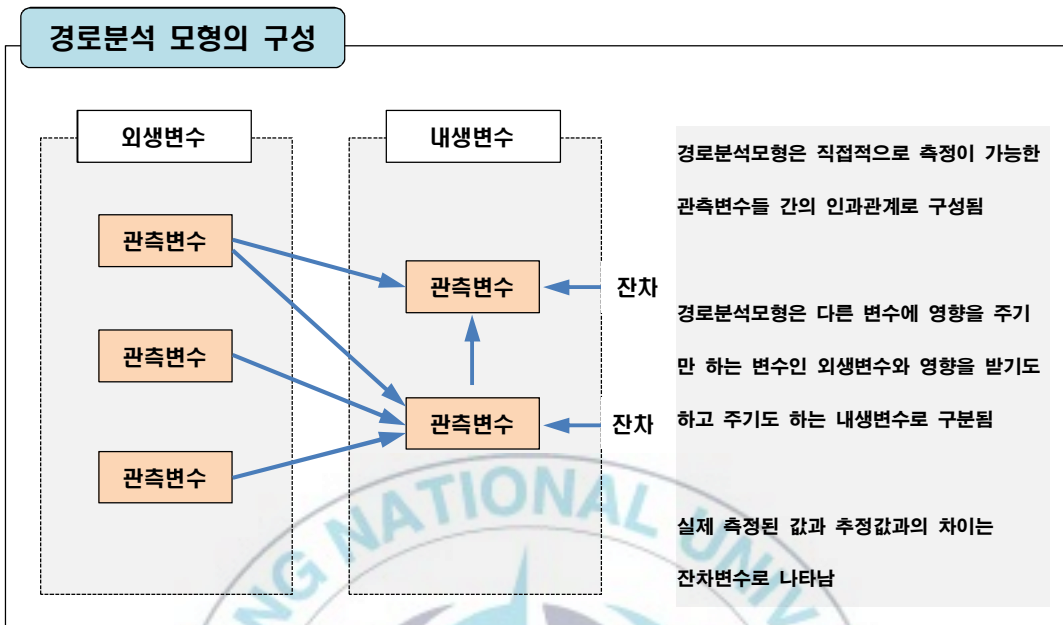
즉, 경로분석은 두 변수가 서로 인과관계에 있다는 조건하에서 이들 두 변수 간의 상관관계 정보를 이용하여 변수들 간의 영향 정도를 규명하는 대표적인 인과관계분석 방법이다.

- 1st ● 설정된 경로모형에 이론상의 오류가 없어야 함
- 2nd ● 경로분석에 사용되는 변수들은 측정오차가 없어야 함
- 3rd ● 모든 잔차들은 등분산성을 가지며, 서로 연관되어 있지 않고 독립적이어야 함
- 4th ● 모형에 포함된 변수들 간의 구조관계는 선형 (linear)이고 가법적 (additive)이어야 함
- 5th ● 모형에 포함되는 모든 변수들은 등간이나 비율적으로 측정된 변수이어야 함
- 6th ● 경로분석 모형에서는 순환적인 (recursive) 관계만 가정함

<그림 1> 경로분석 모형의 가정

또한, 복합적인 선형관계 (linear relationship)를 이루고 있는 다수의 독립변수와 다수의 종속변수들을 경로 다이어그램을 이용하여 수리적, 도식적으로 표현하고 그 연계관계를 분석할 수 있으며, 결국 경로분석은 이미 밝혀진 이론적 배경 및 실증분석을 통해 입증된 가설에 입각하여 변수들 간의 인과관계를 나타내는 경로모형을 설정한 후 회귀분석을 여러 번 수행하여 변수들간 인과관계 강도를 직접효과, 간접효과, 총효과로 구체적으로 밝혀내는 장점이 있다.

경로분석에 사용되는 변수는 외생변수, 내생변수, 명시변수 등이 있는데 경로 다이어그램을 사용하면 그 변수들과의 관계를 그림으로 잘 표현해 줄 수 있다[2][17]. 외생변수(exogenous variable)란 인과관계 모형 밖의 변수들에 의해서 그 변량이 결정되는 변수를 말한다. 즉 경로 다이어그램에 있는 다른 변수들로부터 영향을 받지 않는 변수를 말한다. 내생변수(endogenous variable)란 인과관계모형 에서 외생변수나 내생변수 등 다른 변수들에 의해서 그 변량이 설명되는 변수를 말한다[19]



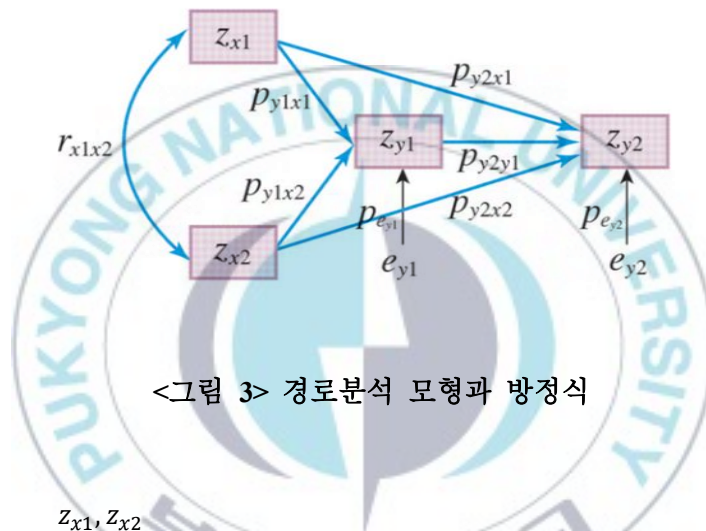
<그림 2> 경로분석 모형의 구성

명시변수(manifest variable)란 구체적인 수치로 측정될 수 있는 변수다. 변수값의 직접적인 측정가능 여부에 따라 관측변수와 잠재변수로도 나타내는데 변수가 비교적 명확하게 정의되어 직접적인 측정이 가능한 변수를 관측변수(observable variable)라 하고, 직접적으로 측정하기 어려운 이론적 개념을 나타내는 변수를 잠재변수(latent variable)라 한다. 구조방정식모형에서는 직접적인 측정이 불가능한 변수들을 사용하기 때문에 이들을 측정가능한 변수들과 구분하기 위한 분류이다[2].

<표 1> 인과모형의 구성요소

구 분	가능	불가능
관측 여부	관측변수 (observed variable)	잠재변수 (latent variable)
종속 여부	내생변수 (endogenous variable)	외생변수 (exogenous variable)

경로분석도 회귀분석의 일종이므로 회귀계수, 즉 경로계수를 가지며, 각 변수들이 다른 후속변수들에 미치는 영향력의 상대적인 크기를 나타내는데 보다 유리하고 분석결과의 해석이 편리한 표준화회귀계수 (standardized regression coefficient)를 경로계수로 사용한다. 경로모형에서는 각 경로의 화살표 위에 경로계수 (path coefficient)를 표시하게 된다. 설정한 경로다이어그램을 기반으로 경로 계수를 산출하기 위한 경로분석모형과 방정식은 아래와 식(5)와 같이 표현된다[2][17][19].



z_{x1}, z_{x2} (5)

$$z_{y1} = p_{y1x1}z_{x1} + p_{y1x2}z_{x2} + e_{y1}$$

$$z_{y2} = p_{y2y1}z_{y1} + p_{y2x1}z_{x1} + p_{y2x2}z_{x2} + e_{y2}$$

z_x : 변수 x를 표준화한 값

e : 모형에서 추정된 값과 실제값과의 차이를 나타내는,

즉 모형으로 설명되지 않는 오차(잔차)

p_{yx} : 변수 x가 변수 y에 미치는 영향을 나타내는 경로계수

변수 $z_{x1}, z_{x2}, z_{y1}, z_{y2}$ 는 표준화된 변수값이며, 변수 z_{x1}, z_{x2} 는 변수 z_{y1}, z_{y2} 에 영향을 주는 외생변수이다. 변수 z_{y1}, z_{y2} 는 변수 z_{x1}, z_{x2} 에 영향을 받는 내생변수이고, 표준화된 변수 $z_{x1}, z_{x2}, z_{y1}, z_{y2}$ 들 간의 인과관계를 선형의 식(6)으로 나타내면 경로분석모형이 된다.

$$r_{x1y1} = p_{y1x1} + p_{y1x2}r_{x1x2} \quad (6)$$

$$r_{x2y1} = p_{y1x2} + p_{y1x1}r_{x1x2}$$

$$r_{y1y2} = p_{y2y1} + p_{y2x1}r_{y1x1} + p_{y2x2}r_{y1x2}$$

$$r_{x1y2} = p_{y2x1} + p_{y2y1}r_{x1y1} + p_{y2x2}r_{x1x2}$$

$$r_{x2y2} = p_{y2x2} + p_{y2y1}r_{x2y1} + p_{y2x1}r_{x1x2}$$

$$r_{x1y1} = \underbrace{p_{y2x2}}_{\text{(직접효과)}} + \underbrace{p_{y1x2}r_{x1x2}}_{\text{(분석되지 않은 효과)}}$$

$$r_{x1y2} = p_{y2x1} + p_{y2y1}r_{x1y1} + p_{y2x2}r_{x1x2}$$

$$= p_{y2x1} + p_{y2y1}(p_{y1x1} + p_{y1x2}r_{x1x2}) + p_{y2x2}r_{x1x2}$$

$$= \underbrace{p_{y2x1}}_{\text{(직접효과)}} + \underbrace{p_{y2y1}p_{y1x1}}_{\text{(간접효과)}} + \underbrace{p_{y2y1}p_{y1x2}r_{x1x2} + p_{y2x2}r_{x1x2}}_{\text{(분석되지 않은 효과)}}$$

$$r_{y1y2} = p_{y2x1} + p_{y2y1}r_{x1y1} + p_{y2x2}r_{x2y1}$$

$$= p_{y2x1} + p_{y2x1}(p_{y1x1} + p_{y1x2}r_{x1x2}) + p_{y2x2}(p_{y1x2} + p_{y1x1}r_{x1x2})$$

$$= \underbrace{p_{y2x1}}_{\text{(직접효과)}} + \underbrace{p_{y2x1}p_{y1x1} + p_{y2x2}p_{y1x2} + p_{y2x1}p_{y1x2}r_{x1x2} + p_{y2x2}p_{y1x1}r_{x1x2}}_{\text{(의사효과)}}$$

직접 효과 (direct effect)는 원인 변수가 결과변수에 대해 직접적으로 미치는 효과를 말하고, 간접효과 (indirect effect)는 원인변수가 결과변수에 간접적으로 영향을 미치는 제3의 변수를 통하여 결과변수에 미치는 효과를 말한다. 분석되지 않는

효과 (unanalyzed effect)는 원인변수와 상관관계에 있는 외생변수가 결과변수에 대해 미치는 효과이며, 의사적 효과(spurious effect)는 인과관계에 있는 두 변수에 대해 동시에 영향을 주는 공통선행변수가 존재하는 경우 공통선행변수가 두 변수의 인과관계에 미치는 효과이다[2][17].



3. 관련연구

OECD의 경우 연구개발 (R&D) 활동, 정보통신기술 (ICT) 투입, 고급 인력의 투입 및 활용도가 높은 서비스업을 지식기반산업으로 분류하고 이와 관련한 지식의 창출, 확산, 활용이 지식기반활동이며 그 산업의 부가가치 창출과 경쟁력의 원천이 되어 발전함에 있어서 핵심적인 역할을 수행하는 산업으로 정의된다[13][14][20]. 따라서 따라서 국가 경쟁력을 높이기 위해서는 지식기반산업의 생산성과 효율성을 증진시키기 위한 노력이 필수적으로 수행되어야 한다.

본 연구에 앞서서 국가의 지식기반산업 또는 지식기반활동의 효율성을 분석하기 위한 많은 연구들이 선행되어왔는데, DEA를 활용하여 지식기반활동을 구성하는 다양한 요소들의 효율성을 분석하기 위한 연구들을 살펴보면 다음과 같다. 우선 Co and Chew [21]는 지식기반활동의 핵심적 요소인 R&D 활동의 효율성을 기업 관점에서 비교 분석하였다. R&D 투자규모를 중심으로 기업이 지니고 있는 총자산 및 종업원의 수를 투입변수로 하고, 기업의 종합적 경제활동을 통해 산출된 결과물인 판매량 및 순수익을 산출변수로 하여 DEA 분석을 시행하였으며, 이를 통해 R&D 투자와 기업의 경제적 성과 사이에 존재하는 상관성을 밝히고자 하였다. 고민수, 이덕주 [1]는 OECD 국가 간 효율성을 비교하기 위하여 R&D 인력의 수와 R&D 투자규모를 투입변수로, R&D 활동을 통한 산출물인 특허 및 논문수를 산출변수로 하여 DEA 기법을 적용한 국가 차원의 연구개발 효율성 분석을 시행하였다. 산출물의 특성 상 해당 연구는 OECD 국가 단위에서 R&D의 파급효과가 아닌 1차적 성과물에 대한 효율성 수준을 비교하는 목적이 강하다고 판단된다.

Kocher et al. [22]은 OECD 국가 간 R&D 투자규모에 따른 논문수의 생산성 변화를 분석하였으며, Wu et al. [23]은 R&D 투자 및 인력규모에 따른 IP 스톡의 변화를 분석하였다. 이들 역시 R&D 활동에 의해 산출되는 1차적 성과물에 집중하는 특징을 지니고 있다. 반면, 서용윤, 김문수[12]는 산업 단위에서 이루어지는 혁신활동의 효율성을 분석하기 위하여 R&D 인력의 수와 R&D 투자규모를 투입변수로, 특허수와

신제품 출시수를 산출변수로 활용한다. 앞선 연구들과 유사한 구조를 지니고 있지만 특허와 같은 R&D 활동의 1차적 성과물 외에도 시장 지향의 2차적 성과물인 제품 출시 수준까지 반영함으로써 산업에 미치는 혁신활동의 영향을 포괄적으로 고려하는 특징을 지니고 있다. 김영훈, 김선근[6] 또한 논문 및 특허수 등의 1차적 성과물과 함께 중요소생산성과 같은 2차적 성과물을 산출변수로 하여 OECD 국가간 R&D 활동의 생산성 및 효율성을 분석하며, 한국의 R&D 생산성 및 효율성 향상을 위해 R&D 투자 및 산출 증대의 노력이상으로 R&D 산출물의 활용 측면이 보다 강화되어야 하고 이를 위해 효과적인 기술 확산 체계 구축, 기술금융시장 환경 조성 및 사업화에 성공하기까지 실질적인 인큐베이팅 제공 등 전반적인 기술사업화 시스템의 혁신을 시사해주고 있다.

DEA를 활용하는 연구 외에도 지식기반활동 관련 영향요소를 발굴하기 위한 연구들은 다양한 범위에서 수행되었다. 한국지식재산연구원[18]은 OECD 국가간 IP 경쟁력 수준을 평가할 수 있는 모형을 제시하였다. 해당 모형은 지식기반산업의 기술수입액, R&D 투자규모 등 기초투입 요소와 지식기반산업의 부가가치, 노동생산성 등 최종산출 요소 외에도 IP의 관리 및 활용역량관련 요소, 물리적, 제도적 환경관련 요소, IP의 정량적 수치에 기반한 1차적 중간산출 요소 등 폭넓은 범위에서 국가별 IP 경쟁력을 평가한다. 다만, 각 요소에서의 개별적 점수를 통해 국가별 상대적 순위를 산출할 뿐, 투입요소가 중간과정을 거쳐 산출요소로서 나타나게 되는 영향관계에 대해서는 고려하지 못한다. Graves and Langowitz[24]는 R&D 투자규모 대비 특허수 비중으로 구성된 단순한 계량모형을 통해 기업간 R&D 투자 효율성을 분석한다. 한국개발연구원[16]은 GDP 대비 R&D 투자비중과 교육비지출을 투입지표로, 특허 및 논문수를 산출지표로 하여 한국과 선진국간 지적자본 성과를 비교한다. 하지만 이들 모두 지식기반산업에서 이루어지는 경제활동에 의한 결과물을 포괄하지 못하고 특허 및 논문수와 같은 R&D 활동의 직접적 결과물에만 초점을 맞춘다.

백은영, 문희철[11]은 산업별로 GDP 대비 R&D 투자비중 및 부가가치 노동생산성이 기술무역에 영향을 미치는 수준의 차이를 분석한다. 이와 같은 지식기반산업의

경쟁력 및 효율성과 관련한 선행연구들을 정리하면 <표 2>와 같다..

<표 2> 지식기반산업 효율성 관련 선행연구

연구자	목적	투입변수	산출변수
하준경, 이은석[3]	OECD국가간 R&D투자 효율성과 성장 잠재력	R&D투자규모, 연구원수 등	R&D 집약도, 성장잠재력 등
Co and Chew [21]	기업간 R&D 효율성 분석	R&D투자규모, 총자산, 종업원수	판매량, 순수익
Kocher et al. [22]	OECD국가간 R&D효율성 분석	R&D투자규모	논문수
고민수, 이덕주 [1]	OECD 국가간 R&D 효율성 분석	R&D투자규모, R&D인력규모	특허수, 논문수
조상섭, 정동진, 정해진 [4]	특허량과 지식 파급효과 분석	특허량의 생산성 기여도	노동 생산성
송세찬 [5]	R&D투자와 기업가치 연관성 분석	R&D투자규모	기업시장가치
홍형득 [7]	R&D투자/활동의 혁신기반 변화분석	특허수, R&D투자규모, 연구원수	과학분야 논문수 삼극특허수 연구생산성지수
박수동, 홍순기 [8]	국가별R&D 효율성,생산성 분석	R&D스톡 R&D인력수	SCI논문수 미국특허출원수
김영훈, 김선근 [6]	R&D생산성과 효율성분석	연구개발비 연구원수	SCI논문수 특허출원수 중요소생산성
백은영, 문희철 [11]	OECD 국가간 기술무역 특성분석	R&D 투자비중, 노동생산성	기술수입규모, 기술수출규모 중요소생산성

이들은 주로 R&D 및 혁신활동, 기술무역 등 개별적 활동을 중심으로 이루어지고 있다. 이는 지식기반산업이 근본적으로 지식의 집약적 창출, 활용, 확산 즉 지식기반활동에 기인하고 있기 때문이다. R&D를 통해 창출된 기술지식의 혁신활동을 바탕으로 새로운 제품 및 서비스로 연계하고 기술무역을 활용하여 사업화 수익을 다각화하는 것이다. 하지만 지식기반산업의 효율성을 분석하고 인과관계의 의미를 이끌어내기 위해서는 지식기반활동인 지식의 창출, 활용, 확산을 고려하여 분석 대상을 정하고, 투입/산출 요소들의 인과관계가 그 효율성을 뒷받침 하여 종합적으로 설명할 수 있는 분석 모형이 필요하다[3][7]. 따라서 본 연구에서는 지식기반산업을 대상으로 이들을 포괄할 수 있는 분석지표를 선정하여 효율성과 인과적 관점에서 의미를 끌어낼 수 있도록 DEA와 경로분석을 실행하고자 한다.



4. 연구 방법

4.1 연구 프레임워크

본 연구의 프레임워크는 크게 1) DMU 설정, 투입 및 산출요소 정의, 방법론 설정 2) DEA를 활용한 상대효율성 분석 3) 경로분석을 활용한 요소간 인과관계와 영향력 분석의 3단계로 구성된다. 우선, 한국을 포함하는 OECD 국가들을 중심으로 DMU를 설정하고 지식기반 활동의 효율성 분석을 위한 투입요소와 산출요소를 정의한다. 그리고 이를 기반으로 각 DMU에 대한 분석자료를 수집한다. 수집된 자료를 바탕으로 DEA를 활용하여 OECD 국가들의 지식기반활동에 대한 상대효율성 수준을 도출하고 한국의 효율성 수준 및 향상 방안에 대해 논의한다. 또한 경로분석을 활용하여 경로분석 모형에 포함된 변수들간의 인과관계는 경로계수 계산으로 나타나는 영향력 강도를 통해 파악한다.



<그림 4> 연구 프레임워크

4.2 DMU 설정 및 투입/산출요소 정의

본 연구의 목적은 한국을 포함하는 OECD 국가 간 지식기반활동의 효율성과 생산성을 비교 및 분석하는 것이다. 따라서 OECD 국가들을 중심으로 DMU를 설정한다. OECD 34개국 중 본 연구에서 활용하는 투입요소와 산출요소의 도출 가능성을 기준으로 하여 최종적으로 11개국(오스트리아, 벨기에, 체코, 덴마크, 핀란드, 독일, 헝가리, 이탈리아, 한국, 노르웨이, 미국)을 DMU로 선정하였다.

본 연구에서 활용하는 투입요소는 지식기반산업의 민간 및 정부 R&D 투자 금액, R&D 종사자수, 기술수입액이며, 산출요소는 지식기반산업의 생산액 및 기술 수출액 그리고 부가가치이다 (<표 3>). 지식기반활동은 IP를 포함하는 무형의 지식과 정보를 창출하고 활용하여 전파하는 특징을 지니고 있기 때문에 그 역할의 주체는 당연히 연구개발에 참여하는 인력이 되며 R&D종사자수는 본 연구의 분석 내용 중 중요한 투입요소로 판단할 수 있다.

<표 3> 지식기반활동 효율성 측정을 위한 투입 및 산출요소

구분	요소	자료원
투입요소	지식기반산업 기술수입액	OECD Technology Balance of Payment
	민간, 정부 R&D 투자액	OECD STAN
	R&D 종사자수	OECD STAN
산출요소	지식기반산업 생산액	OECD STAN
	지식기반산업 기술수출액	OECD Technology Balance of Payment
	부가가치	OECD STAN

그리고 핵심지식의 축적, 개발, 활용을 위한 R&D 투자도 중요한 경쟁 요인으로 인식되며, 기술을 수입하여 또 다른 기술을 개발하고 부가가치를 창출해내기 위한 기술수입액도 투입요소로써 빠질 수 없는 항목이다. 산업의 최종적인 산출은 그 산업의 영위를 통해 창출된 결과물의 가치로서 판단할 수 있다. 경제적 측면에서 가치를 평가하기 위한 대표적 요소로는 부가가치, 지식기반산업 생산액 등을 들 수 있으며, 지식기반산업의 핵심은 지식과 기술의 집약적 활용 및 창출을 통한 부가가치 증진이기 때문에 생산과 수출과 같은 본원적 생산활동의 산출물 외에도 기술 형태의 산출물도 중요한 평가요인이 된다. 따라서 기술에 대한 경제적 가치를 판단할 수 있는 기술수출액을 산출요소로 설정하였다.

4.3 분석 방법론

앞서 언급한바와 같이 본 연구는 OECD 국가간 지식기반활동의 효율성을 분석하기 위해 DEA(Data Envelopment Analysis : 자료포락분석) 및 경로분석(Path Analysis)를 이용하고자 한다. 본 연구의 DMU (Decision Making Unit)인 OECD 각 국가들은 불완전 경쟁이나 재정적 제한이 존재할 수도 있으며, 경제규모가 다르고, 국가의 주력산업 생산성 중에서 지식기반산업이 차지하는 비율의 차이가 나는 등 많은 이유로 인하여 최적규모 (Optimal size)에서 운영되지 않을 수도 있기 때문에 규모 효율을 고려하지 않는 CRS (Constant Returns to Scale : 규모수익불변) 가정하의 CCR 모형만으로는 본 연구가 나타내고자 하는 효율성과 그 효율성을 뒷받침하는 근거를 찾아내기가 쉽지 않다. 즉, 투입량을 k 배 증가 시킬 때, 산출량도 이에 따라서 k 배로 증가한다면 규모수익불변의 특성을 보이지만, 실제로는 산출량의 증가는 k 배보다 더 클 수도 있고 더 작을 수도 있는 규모수익가변의 특성을 갖는다. 따라서, VRS (Variable Returns to Scale : 규모수익가변) 가정 하의 BCC 모형도 같이 고려하여야 하며, 본 연구에서 얻고자 하는 효율성은 전체기술효율(CCR에 해당)을 순수기술효율(BCC에 해당)로 나눈 값으로 나타내어야 신뢰성을 얻을 수 있다. 이에 CCR과 BCC 두 모형을 전부

고려한 DEA 분석 방법을 실시하였고, 투입이 고정된 상태에서 산출을 확대시킬 수 있는 방법을 모색하기 위하여 산출기준 CCR, BCC 모형을 채택하였다. 아울러, 최대 효율성을 나타내는 DMU와 그렇지 않은 DMU간의 비교를 통해 벤치마킹을 할 수 있는 근거를 마련하였다.

DEA를 통하여 투입/산출 요소의 효율성을 얻을 수 있긴 하지만 그 요소들이 어떠한 경로로 얼마만큼의 영향력을 미치면서 그 효율성의 신뢰성을 뒷받침 할 수 있는지가 명확하지 않기 때문에 경로분석(Path analysis)을 추가적인 분석방법으로 이용하고자 한다. 즉, 효율성과 인과관계를 동시에 고려하여 신뢰성을 얻는 것이 본 연구의 핵심이자 DEA와 경로분석 방법론 채택의 가장 큰 이유이다. 대부분의 이론과 아이디어의 설명은 변수들 간의 인과관계를 규명하는 것에서부터 시작한다고 해도 과언이 아니기 때문에 인과관계를 명확히 하는 것은 아주 중요하다. 또한, 변수간의 인과관계를 수치화하여 그 영향도의 높고 낮음을 파악하더라도 수집한 데이터와 경로분석 모형이 적합한지의 여부를 가려내어야 측정 모형의 신뢰성과 타당성을 평가할 수 있기 때문에, 경로분석 후 연구자의 의도가 담긴 이론 모형 그 자체를 평가하는 적합도를 구하여 본 연구의 목적을 달성하고자 한다.

5. 실증 분석 결과

5.1 DATA 수집

OECD STAN (Structural ANalysis) 데이터베이스와 TBP (Technology Balance of Payment)를 활용하여 설정된 DMU를 중심으로 2010년도의 각 DMU에 해당하는 투입 및 산출요소 자료를 취합하였다.

본 연구는 각 국가의 산업 전체가 아닌 지식기반산업만을 분석 대상으로 한정하고 있다. 따라서 분석자료 역시 지식기반산업에 한정되어야 한다. OECD 데이터베이스는 기본적으로 국제표준산업분류 (International Standard Industrial Classification: ISIC)를 활용하기 때문에 ISIC rev.4를 기준으로 지식기반산업을 정의한 연계표 (<표 4>)를 이용하여 지식기반산업을 분류하였다. 본 연구는 OECD 국가중 11개의 국가를 DMU로 설정하고 <표 4>에서 구분된 지식기반산업 분류를 11개의 DMU에 동일하게 적용하여 본 연구에 사용될 지식기반산업에 해당하는 자료를 수집한다.

<표 4> ISIC Rev. 4 산업분류 및 지식기반산업 [18]

ISIC rev 4	Code	Sector (ISIC Revision 4)	지식기반산업
1	01-03	농업, 임업 및 어업	
2	05-09	광업	
3	10-33	제조업 전체 (4~22)	
4	10-12	식품, 음료, 담배 제조업	
5	13-15	섬유, 의복, 가죽 제조업	
6	16-18	목재, 종이제품, 인쇄 및 기록 매체 제조업	
7	19-22	석유, 화학, 고무 및 플라스틱 제조업 전체 (8~11)	
8	19	석탄 및 석유정제품 제조업	
9	20	화학 및 화학제품 제조업	○

10	21	의약품	○
11	22	고무 및 플라스틱 제조업	
12	23	기타 비금속 광물 제품 제조업	
13	24-25	기초 금속 및 조립 금속 제품(14~15) 제조업	
14	24	기초 금속 및 조립 금속 제품 제조업	
15	25	조립 금속 제품 제조업	
16	26	컴퓨터, 전자 및 광학 제품 제조업	○
17	27	전기 기기 제조업	○
18	28	기계 및 장비 기타	
19	29-30	수송 장비 제조업(20~21)	
20	29	자동차, 트레일러 제조업	○
21	30	기타 운송 장비 제조업	○
22	31-33	기타 제조, 수리, 기계 및 장비 설치 제조업	○
23	35-39	전기, 가스, 수도, 폐기물 서비스	
24	41-43	건설업	
25	45-96	총 서비스업(26~31)	
26	45-47	도소매업	
27	49-53	수송 및 창고 서비스업	
28	58-63	정보통신업	○
29	64-66	금융 및 보험업	○
30	69-75	전문, 과학, 기술 서비스업	○
31		기타 서비스	

5.2 DEA 실행 결과 및 효율성 분석

DEA의 가장 기본적인 모형인 CCR(Charnes, Cooper, and Rhodes) 모형[25]은 DMU가 일정하게 비례함을 가정하여 투입과 산출의 관계가 불변규모수익(Constant Returns to Scale: CRS)임을 기반으로 한다. 즉, 모든 투입을 1% 늘리면 그에 따라 산출도 1% 늘어남을 의미한다. CCR은 크게 투입기준과 산출기준으로 구분되는데, 투입기준

CCR은 CRS를 만족하는 생산가능집합에서 산출을 고정시켰을 때 최대한 줄일 수 있는 투입의 비율을 도출하는 반면, 산출기준 CCR은 투입을 고정하고 최대한 늘릴 수 있는 산출의 비율을 도출한다. 하지만 CCR 모형은 CRS를 가정함으로 인하여 규모의 효율성과 순수 기술적 효율성을 구분하지 못하는 한계를 지니고 있다. 이를 극복하기 위하여 규모에 대한 수익이 변할 수 있음을 인정하는 가변규모수익(Variable Returns to Scale: VRS) 기반의 BCC(Banker, Charnes, and Cooper)[26] 모형이 제시되었다.

본 연구에서의 투입요소들은 모두 지식기반산업의 운영을 위해 필수적인 요소들이기 때문에 투입요소를 줄이는 관점 보다는 산출요소를 증가시키는 관점에서 효율성을 분석할 필요가 있다[15]. 따라서 고정된 투입요소를 바탕으로 최대한 증진시킬 수 있는 산출요소의 수준을 통한 효율성을 분석하는 산출기준 CCR 및 BCC 분석을 시행한다. DEA 전용프로그램인 DEAP를 활용하여 도출한 2010년도 산출기준 CCR 및 BCC 결과는 <표 5>와 같다. 벨기에, 체코, 헝가리, 이탈리아, 노르웨이, 미국은 모든 모형에서 전구간 최대 효율성을 나타내었고, 덴마크는 두 모형 모두에서 효율성의 수준이 가장 낮았고 한국은 그 뒤를 이어 두 모형 모두에서 낮은 효율성을 보였다. 독일은 CCR모형에서는 상대적으로 낮은 효율성을 보였으나 BCC모형에서는 최대 효율성을 나타내었다. 이는 해당 국가가 지니는 규모의 크기 때문에 높은 기술적 효율성에도 불구하고 전체적인 효율성은 낮게 나타난 것으로 해석할 수 있다.

BCC모형은 각 DMU가 비효율적으로 나타날 경우, 그 원인이 규모에 의한 것인지 순수 기술적 요소에 의한 것인지를 분해하기 위한 목적으로 설계되었다. DMU가 CRS 가정 하에서는 효율적이거나 VRS 가정 하에서는 효율적이지 못할 경우, 이는 DMU가 지니는 규모의 크기 때문에 비효율적으로 운영되고 있음을 의미한다. 따라서 CCR 모형에 의한 효율성 수준과 BCC모형에 의한 효율성 수준의 비율을 통해 규모효율성(Scale Efficiency: SE)을 도출해낼 수 있으며, 이는 각 국가의 비효율 원인이 규모에 의한 것인지 순수 기술적 요소에 의한 것인지를 구분할 수 있도록 한다[9]. 독일은 상당히 낮은 규모 효율성을 보이는데 이는 내부적으로는 효율적으로 운영되고 있지만 규모의 크기로 인하여 문제가 생기고 있음을 의미한다.

<표 5> 산출기준 CCR-BCC 모형 분석결과

DMU	2010년			
	CCR	BCC	SCALE	RTS
Austria	0.827	0.861	0.960	DRS
Belgium	1.000	1.000	1.000	-
Czech Rep.	1.000	1.000	1.000	-
Denmark	0.598	0.693	0.863	DRS
Finland	0.916	0.927	0.988	DRS
Germany	0.628	1.000	0.628	DRS
Hungary	1.000	1.000	1.000	-
Italy	1.000	1.000	1.000	-
Korea	0.731	0.802	0.911	IRS
Norway	1.000	1.000	1.000	-
U.S.	1.000	1.000	1.000	-

규모 효율성은 규모수익성(Returns To Scale: RTS)의 관점에서 나타나는데 RTS는 규모 수익성 증가(Increasing Returns to Scale: IRS), 불변(CRS), 감소(Decreasing Returns to Scale: DRS) 3가지 상태로 구분된다[15]. 2010년 기준으로 볼 때, 한국은 IRS를 보였고 한국의 효율성을 향상시키기 위해서는 투입요소를 중심으로 전체적인 지식기반산업의 규모를 증가시키는 활동이 요구된다. 오스트리아, 덴마크, 핀란드, 독일은 DRS를 나타내는데, 이들은 충분한 규모를 지니고 있기 때문에 투입요소 그 자체보다는 투입요소 대비 산출요소에 대한 효율성을 증진시킬 수 있는 활동이 요구된다. 2010년 산출기준 BCC 모형에 따른 벤치마킹 대상 및 λ 값은 <표 6>과 같다. 노르웨이가 4회로 가장 많이 벤치마킹 대상으로 선정되었고, 미국과 벨기에, 독일이 각각 3회, 체코 2회, 헝가리와 이탈리아가 각 1회로 그 뒤를 따랐다. 그 외 한국을 포함하여 효율성이 낮은

국가인 오스트리아, 덴마크, 핀란드는 다른 국가들의 벤치마킹 대상으로 선정되지 못하였다. 체코, 미국은 한국의 벤치마킹 대상으로 선정되었는데, 벤치마킹 가중치를 나타내는 λ 값은 각각 88.5%, 11.5%로 나타났다. 이는 한국에 대한 최적의 투입 및 산출요소의 목표치를 산정하는데 활용될 수 있다. 벤치마킹 대상국가의 투입 및 산출요소를 λ 값의 비율로 합산하게 되면 최종적인 한국의 투입 및 산출요소의 목표수준을 설정할 수 있기 때문이다.

<표 6> 2010년 기준 BCC 모형에 따른 벤치마킹 대상

DMU	BCC	순위	벤치마킹 대상 (λ)
Austria	0.861	3	Norway(0.986), U.S(0.014)
Belgium	1	1	Belgium(1.000)
Czech Rep.	1	1	Czech Rep(1.000)
Denmark	0.698	5	Germany(0.030), Belgium(0.113), Norway(0.856)
Finland	0.927	2	Germany(0.002), Belgium(0.626), Norway(0.371)
Germany	1	1	Germany(1.000)
Hungary	1	1	Hungary(1.000)
Italy	1	1	Italy(1.000)
Korea	0.802	4	Czech Rep(0.885), U.S(0.115)
Norway	1	1	Norway(1.000)
U.S.	1	1	U.S(1.000)

체코, 미국의 투입과 산출 요소에 벤치마킹 λ값을 적용한 후 합산하여 얻어진 목표값에 한국의 투입, 산출요소를 비교하여 증감율을 구하여보니 투입요소인 R&D투자는 -22.6%, R&D종사자수는 -46.49%, 기술수입액은 -0.09%로 나타났다. 이는 벤치마킹 목표수준 대비 한국이 줄여야 될 정도를 의미하는데 이와 같은 결과값과는 다르게 현실적으로 R&D투자액과 R&D 종사자수를 각각 -22.6%, -46.49%씩 감축하기 위한 의사결정을 제안하는것은 당장 불가능한 제안이다. 따라서 본 연구의 경로분석 내용에서 볼 수 있었던 결과와 마찬가지로 R&D 투자를 효율적으로 사용하기 위해서는, 투입 만큼 산출결과를 바라는 기존의 방식과는 달리 지식기반활동의 주체인 R&D종사자에 대한 고급인력 육성방안에 힘을 써서 기술과급효과는 물론 그 효율성을 높일 수 있는 방안을 마련해야 한다. 아울러, 산출요소인 기술수출액은 295.24%, 지식기반산업 생산액은 314.19%, 부가가치는 24.49%로 나타났으며, 한국이 설정할 목표값을 명확하게 제시해주고 있다. <표 7>은 위에서 설명한 투입, 산출요소별 한국의 벤치마킹 대상국에 대한 목표값과 한국의 수준을 비교하여 그 증감율을 정리한 것이다.

<표 7> 벤치마킹 목표값 대비 한국의 투입, 산출요소별 증감율

구분 (투입)	R&D 투자	R&D종사자수	기술 수입액
증감율	-22.66%	-46.49%	-0.09%
구분 (산출)	기술수출액	지식기반산업 생산액	부가가치
증감율	295.24%	314.19%	24.49%

본 연구 에서는 더 나아가 경로분석 모형을 통해 투입과 산출요소들의 인과 관계 영향력을 밝히고 한국의 지식기반활동들의 효율성을 높이기 위해서 어떤 투입요소를 집중적으로 활성화 시켜야 되는지를 좀 더 알아보려고 한다.

5.3 경로분석 모형 결과 분석

변수들간의 상호 연관성을 나타내기 위해 상관관계 분석방법을 이용하였다. 상관관계는 두 변수간의 표준화된 변수값들을 서로 곱한 값들의 평균값으로 나타내어 지는데 식(7)을 이용하여 그 값을 구할 수 있다.

$$r_{xy} = \frac{cov(x,y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (7)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma_x} \cdot \frac{(y_i - \bar{y})}{\sigma_y}}{n-1} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n z_{x_i} z_{y_i}$$

z_{x_i} : 변수 x의 i번째 값을 표준화한 값

r_{xy} : 변수 x와 변수 y의 상관계수

σ_x : 변수 x의 표준편차, n : 표본의 크기

<표 8> 각 영향 요인별 상관관계

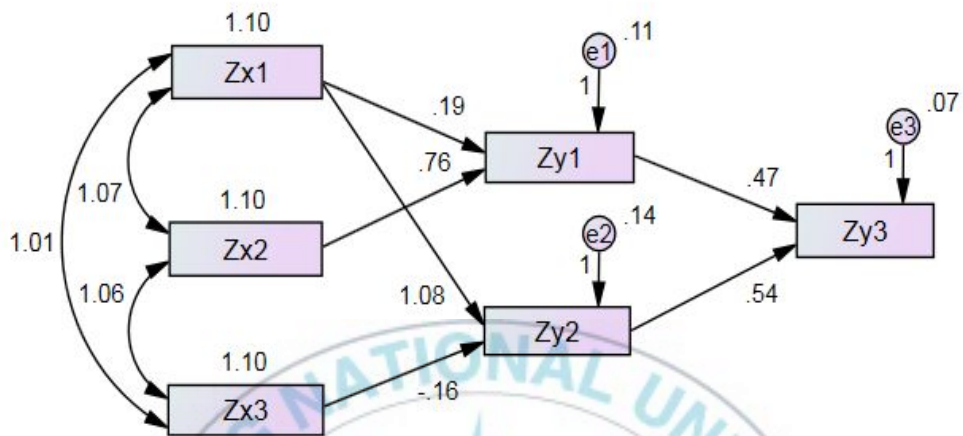
구분	z_{x1}	z_{x2}	z_{x3}	z_{y1}	z_{y2}	z_{y3}
z_{x1}	1					
z_{x2}	0.975	1				
z_{x3}	0.917	0.961	1			
z_{y1}	0.933	0.947	0.987	1		
z_{y2}	0.932	0.893	0.829	0.853	1	
z_{y3}	0.993	0.965	0.912	0.928	0.939	1

또한, 상관관계는 한 변수의 분산(변량) 중에서 다른 변수와 같이 변화하는 분산, 즉 공분산이 어느 정도 되는가에 따라 결정된다고 볼 수 있으며, 단, 상관계수값은 두 변수간의 연관성을 나타내는 척도이지 변수간의 인과관계는

아니므로 결과값 해석에 주의를 해야 한다. 상관계수는 0에 가까울수록 상관관계는 낮고 그 값이 1에 가까울수록 두 변수간의 상관관계는 높다고 본다. 이를 통해 본 연구에서 설정한 변수들간의 상관관계의 정도를 수치화 하고(<표 8>), 본 연구 에서 사용할 경로분석모형은 수치화된 상관관계를 기초로 설정하였다. 그 이유는 경로분석이 공분산이나 상관계수에 의하여 인과분석을 실시하는 방법이며, 특히, 본 연구에서 활용한 자료의 특성이 정성적인 측정값이 아닌 실측자료이기 때문이다.

<그림 5>는 본 연구에서 설정한 투입/산출 요소의 인과관계의 경로를 나타낸 것이다. 설정된 경로분석 모형은 3가지 외생변수와 3가지의 내생변수로 구성되어 있다. R&D 투자액, R&D 종사자수, 기술수입액은 모형내에서 영향을 받는 변수가 아니기 때문에 외생변수이다. 반면에 기술수출액, 지식기반산업 생산액, 부가가치는 모형내에서 다른 변수들로부터 영향을 받는 내생변수이다.

변수들간의 상관계수를 바탕으로한 경로모형의 설정 내용은 다음과 같다. 지식을 창출하거나 습득한 지식을 활용하여 혁신을 이룰 수 있는 요소가 최종 산출하는 것은 부가가치이기 때문에 경로분석에서 최종 산출물로 설정 하였고, 지식기반활동의 결과물은 그 활동이 미치는 산업의 생산액으로 나타나기 때문에 지식기반산업 생산액을 부가가치 창출의 원천으로 생각하였다. 또한, 모든 연구개발비의 지출은 단순한 비용이 아닌 미래의 이익에 영향을 미치는 무형의 자산이며 많은 연구결과에서 증명되었듯이 R&D 투자가 시장의 가치에 긍정적인 영향을 미친다는 것은 확연한 결과이다. 따라서 R&D 투자를 지식기반산업 생산액 증대의 요소로 보았고, R&D 투자로 인해 기술제휴, 기술합작 등 다양한 형태로 기술이 거래되고 있는 점을 토대로 기술수출액에 영향을 미치는 요소로 설정하였다. 아울러 R&D 종사자는 지식기반활동의 주체로서 그 인원이 많고 적음에 따라 기술개발로 인해 벌어들일 수 있는 가치의 양이 크게 달라질 수 있다. 따라서 R&D 종사자수는 기술 수출액에 영향을 미치고 결국 부가가치 창출에 기여로 이어지게 된다.



(SRMR = 0.0251, GFI = 0.857, NFI = 0.721, CFI = 0.732)

z_{x1} = R&D 투자액 z_{y1} = 기술수출액
 z_{x2} = R&D 종사자수 z_{y2} = 지식기반산업 생산액
 z_{x3} = 기술수입액 z_{y3} = 부가가치

<그림 5> 경로분석 모형 설정

자체 연구개발로 인해 기술개발이 이루어지는 경우도 많지만 해외 기술을 수입한 후 제품과 서비스에 접목시키거나 또 다른 새로운 기술을 창출해내어 결국 지식기반산업 생산액으로 이어져서 부가가치 창출에 영향을 줄 것이라고 설정한다.

<표 9> 모형의 직접효과, 간접효과, 총효과

구분		직접효과	간접효과	총효과
기술수출액 (z_{y1})	R&D 투자액 (z_{x1})	0.19	0	0.19
	R&D 종사자수 (z_{x2})	0.76	0	0.76
지식기반산업 생산액 (z_{y2})	R&D 투자액 (z_{x1})	1.08	0	1.08
	기술 수입액 (z_{x3})	-0.16	0	-0.16
부가가치 (z_{y3})	R&D 투자액 (z_{x1})	0	0.672	0.672
	R&D 종사자수 (z_{x2})	0	0.357	0.357
	기술 수입액 (z_{x3})	0	-0.086	-0.086
	기술 수출액 (z_{y1})	0.47	0	0.47
	지식기반산업 생산액 (z_{y2})	0.54	0	0.54

본 연구에서 설정한 경로분석 모형과 경로계수값에서 보여주듯이 R&D 투자액이 지식기반산업 생산액에 미치는 직접적인 영향이 (1.08) 가장 크게 나타나고, 부가가치에 주는 간접효과 (0.672) 또한 크게 나타났으며, 지식기반산업 생산액이 부가가치에 주는 직접효과 (0.54)도 적지 않게 나타났다. 모형 설정시 기술 수입액이 지식기반산업 생산액 증대와 부가가치 창출에 영향을 줄 것이라고 기대했지만 그 기여하는 바는 (-0.16) 부정적으로 나타났다. 이 부분에서 기술 수입액이 지식기반산업의 생산액뿐만 아닌 비지식기반산업의 생산액에도 영향을 주어 지식기반산업 생산액에 미치는 영향이 부정적으로 나온 것은 아닌지에 대한 의문점을 둘 수 있지만, 본 연구에서 사용된 기술 수입액은 OECD 국가들의

‘Science and Technology’ 분야에 대한 기술 수입액만 고려하였으므로 지식기반산업 생산액에 미치는 영향이 부정적으로 나왔더라도 이 결과의 원인이 기술 수입액의 비지식기반산업 생산액에 대한 영향 때문이라고 판단하기는 어렵고, 비록 그 영향이 있다 라고 할지라도 과학과 기술 분야의 기술 수입액이 비지식기반산업 생산액에 미치는 영향은 적을 수 밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 비지식기반산업 생산액에 대한 경로는 추가하지 않았다. 하지만, 현시대의 지식기반산업의 분야와 범주가 시간의 흐름에 따라 산업의 다양성, 연관성 등으로부터 더욱 더 심화되는 점을 고려해보았을 때, 비록 과학과 기술분야만 고려한 기술 수입액이라고 할지라도 지식기반산업의 생산액에 모두 영향을 준다고 단정 지을 수도 없기 때문에 기술 수입액의 활용성에 대한 인과관계 분석을 측정변수를 이용한 경로분석 모형 보다 확인적 요인분석을 통하여 간접적으로 측정된 잠재변수들 사이의 인과관계를 분석하는 모형인 구조방정식 모형을 통하여 그 활용성에 대해 추가로 연구해 볼 필요성은 있다.

또한, R&D 투자액이 기술수출액에 기여하는 영향은 (0.19) 기존 설정과는 다르게 작게 나타났지만, R&D 종사자수가 기술 수출액에 주는 직접효과 (0.76) 아주 크게 나타났고 이와 동시에 부가가치에 주는 간접효과 (0.357) 또한 적지않게 나타났다.

이러한 경로가 의미하는 바는, R&D인력에 대한 투자를 거치지 않은 R&D투자는 기술 수출액에 미치는 영향이 없거나, R&D 투자도 많고 연구개발 인력도 늘었지만 R&D투자가 적재적소에 쓰여지지 않아 그에 따른 투자 성과가 나쁘고 효율적으로 운영될 수 있는 제도적 장치가 뒷받침 되지 않았다는 것과, 기술 수입액을 늘려도 R&D인력이 그 기술을 제대로 활용하지 못하였다는 것을 추측해 볼 수 있다.

R&D투자와 R&D종사자수가 기술수출액에 미치는 영향의 경로를 통해 기술 수출액이 부가가치에 이르기까지의 경로를 보면 알 수 있는 사실은, 단순한 R&D

투자만으로 기술 수출액을 늘릴 수는 없고 기술 수출액이 부가가치에 주는 영향 (0.47)에 R&D 종사자수의 역할이 큰 것을 볼 수 있다.

경로분석모형의 적합성에 대한 평가는 경로분석을 통하여 계산한 경로계수 값들을 역으로 이용해서 재생산한 상관계수 행렬이 기존의 입력자료로 이용한 상관계수 행렬과 얼마나 유사한가에 따라 결정된다. 연구자가 설정한 경로모형 내의 경로계수값을 이용하여 계산한 상관계수 행렬이 입력자료의 상관계수 행렬과 정확히 일치하면 할수록 고안된 연구모형은 입력자료의 정보를 표현 하기에 적합하다고 판단할 수 있다[2][17][19].

본 연구에서 설정한 모형의 적합도는 SRMR(Standardized Root Mean-square Residual)과 GFI(Goodness of Fit Index), NFI(Normed Fit Index), CFI(Comparative Fit Index)를 통해 나타내었다. RMR은 평균 잔차 제곱합의 제곱근을 말하고 여기서 잔차(residual)란 데이터의 분산-공분산 행렬과 추정된 연구모형의 분산-공분산 행렬의 원소들 간의 차이를 말한다. RMR 값은 관측변수의 척도(scale)에 의존한다. 예를 들면, 측정단위가 m인 경우 km의 경우보다 RMR값이 커지기 때문에 표준화 RMR (=SRMR)을 일반적으로 사용한다. 두 행렬이 일치하면 RMR은 0이 되고 이 값은 작으면 작을수록 좋으며 대체로 0.08 이하이면 적합정도가 좋은 것으로 간주한다. 또한, GFI는 데이터의 분산-공분산 행렬과 추정된 연구모형의 분산-공분산 행렬과의 차이를 행렬의 트레이스(trace)를 가지고 나타낸 지수이다. 행렬에서 트레이스는 행렬의 대각성분의 합으로 나타내고 GFI는 0과 1사이의 값이며 1에 가까울수록 적합정도가 좋은 것으로 간주한다. 보통 0.9 이상이면 적합정도가 아주 좋다고 할 수 있다. NFI는 독립모형의 χ^2 과 연구모형의 χ^2 와의 상대적인 차이를 나타내는 지수로써 0~1 사이의 값중 1에 가까울수록 적합정도가 좋은 것으로 간주한다. CFI는 모형의 복잡성이 단점인 NFI를 보완한 지수로써 이 또한 0~1 사이 값중 1에 가까울수록 좋은 모형이다.

DEA를 통해서 본 한국의 지식기반활동과 그 효율성을 경로분석모형 및 경로계수 값에 비추어 볼 때, 한국은 R&D 투자는 많기 때문에 지식기반산업 생산액과 부가가치로 이어지는 경로에 부합하는 결과를 가지고 있으나, 부가가치 창출을 더욱 극대화 하기 위해서는 기술 수출액을 늘릴 수 있는 방안을 찾기 위해 노력해야 한다. 한국의 R&D 종사자수는 11개의 DMU중 3번째로 높고 경로분석 모형에서 보여지는 경로계수값에 부합하여 기술 수출액에 영향을 주고 있다. 하지만 부가가치로 이어지는 영향을 더욱 극대화 하기 위해서는 R&D 인력수만 늘릴것이 아니라 고급인력으로 육성해낼 수 있어야 한다. 선진 기술 벤치마킹 및 유망기술 및 특허 선점 등으로 기술혁신을 이루어내고 대기업위주의 고급 기술인력을 보유하고 있는 현 상황을 중견, 중소기업으로 기술력을 파급시킬 수 있도록하여 한국의 연구개발 인력이 하나의 유기체로 상생할 수 있는 대책을 세워야 한다. 현재 많은 대기업 및 공공기관에서 기술개발센터 운영 등을 통해 기술인력들을 위탁받아 교육 하고 있고 이를 통해 기술파급효과를 이루어 중,소기업과 대기업간의 유대를 강화하는 한편 동반 성장의 모티브로 삼고 있다. 국내 기업들간의 기술력에 대한 상생협력은 곧 해외의 큰 무대로 나갔을 때 경쟁력을 발휘할 수 있는 토대가 되고 기술수출액, 지식기반산업 생산액, 부가가치 창출에 직/간접적인 영향을 줄 수 있음을 기대한다.

6. 결론

지식과 정보의 창출 및 활용과 확산 즉, 지식기반활동을 중심으로 지식정보 산업이 창출해 내는 부가가치와 국가의 경제발전에 기여하는 역할이 점점 커짐에 따라 수 많은 국가들이 연구개발의 효율성을 향상 시키기 위해 노력을 하고 있다. 한국 역시 R&D 투자를 통한 지원과 기술인력 육성 등 다양한 시도를 하고 있지만 낮은 지식기반산업 생산액, 기술무역수지 적자, 낮은 부가가치 창출 등 실질적인 경쟁력은 미흡한 것으로 인식되고 있다. 따라서 본 연구는 OECD 국가를 표본으로 DEA와 경로분석을 통해 각국의 지식기반활동에 의해 나타나는 결과들을 살펴보고, 그 효율성을 비교한 후 지식기반 활동이 미치는 영향과 그속에서 한국의 수준을 파악하여 효율성 향상을 위한 방법을 제시하였다. DMU로 설정된 11개의 OECD국가(오스트리아, 벨기에, 체코, 덴마크, 핀란드, 독일, 헝가리, 이탈리아, 한국, 노르웨이, 미국) 중에서 한국은 CCR 및 BCC 모형 모두에서 낮은 효율성을 나타낸 국가로 분류되었고 규모수익성 면에서는 IRS(Increasing Returns to Scale : 규모수익성 증가) 로써 전체적인 지식기반산업의 규모를 증가시키는 활동이 요구되는 결과가 나타났다. 벤치마킹 대상국으로는 체코(가중치 $\lambda = 88.5\%$), 미국(가중치 $\lambda = 11.5\%$) 으로 선정되었다.

본 연구에서의 경로분석 결과로는 ‘R&D투자액→지식기반생산액→부가가치’의 경로와 ‘R&D종사자수→기술수출액→부가가치’로 이어지는 경로가 경로모형에서 한국이 가장 부합되는 결과를 가져왔다. 경로분석에서도 마찬가지로 한국은 R&D투자로 기술 수출액을 늘려 부가가치 창출을 높일 수 있는 경로에 대해, 정부/민간(대기업, 중견기업, 중소기업) 차원에서 상생하여 지식기반활동의 주체인 R&D고급 인력을 육성하는 방안과 정책을 제시할 수 있다면 지식 기반활동에 의한 지식기반산업의 효율성을 극대화 할 수 있을것이라 생각한다.

본 연구에 제시된 이슈사항 외에도 추가적인 요인들이 존재하고 지식 기반활동과 그 산업은 과거와는 다르게 더욱 광범위한 범위를 가지기 때문에 이를 고려하여 추후 연구 방향을 다음과 같이 제시하고자 한다.

우선, 첫째로 본 연구에서 활용한 투입, 산출 요소를 좀 더 풍부한 양의 데이터 확보를 해야 한다는 점이다. 이는 분석자료원인 OECD STAN과 TBP의 데이터 부재에 기인하며 OECD 34개 국가중 11개 국가만이 분석에 사용될 수 있었다. 따라서 더 광범위한 범위의 데이터 확보를 통해 편향되지 않는 정확한 결과를 얻을 수 있어야 한다.

둘째, 지식기반산업의 정의와 범주가 과거에는 제조업을 중심으로 이루어졌지만 현대 사회에서는 제조업은 물론 서비스업, 의료, 첨단기술산업, 정보, 금융, 커뮤니케이션 미디어 등 그 범주와 분류가 시간의 흐름에 따라 다양하게 늘어났으며 앞으로도 수없이 많은 산업들이 지식기반산업의 대열에 합류할 것이다. 따라서, 본 연구에서 다른 지식기반산업을 시간이 지남에 따라 좀 더 광범위하게 넓어진 분류의 내용으로 다시 분석해 보아야 할 필요성이 있다. 지식기반산업은 다음과 같이 정의된다. ‘지식(기술과 정보를 포함한 지적 능력과 아이디어를 총칭)을 이용하거나 고급인력의 투입 및 활용도가 높고 상품과 서비스의 부가가치를 크게 향상시키거나 고부가가치의 지식 서비스를 제공하는 산업이며, 이와 관련한 지식의 창출, 확산, 활용 등의 지식기반 활동이 그 산업의 부가가치 창출과 경쟁력의 원천이 되어 발전함에 있어서 핵심적인 역할을 수행하는 산업’. 본 연구에서는 지식기반산업의 정의에 최대한 부합할 수 있도록 투입/산출 요소들의 선정에 주의를 기울였으며, 지식을 이용한 산업의 궁극적 목적인 상품과 서비스의 부가가치 향상에 맞추어 경로분석시 최종 산출물은 부가가치로 설정하였다.

셋째, 본 연구에서는 시행하지 않았지만 MPI (Malmquist productivity growth Index, 맘퀴스트 생산성 지수) 분석도 함께 고려하여 시간적인 흐름에 따른 기술적 효율성 변화의 양상 분석을 보다 깊이 있게 시도하는 것이 필요하다.

따라서 DEA와 MPI를 통해 효율성과 그 변화의 추이를 도출해내고 경로분석 또는 구조방정식을 통해 투입, 산출요소간의 인과관계를 파악할 수 있는 분석을 시도하여 본 연구의 궁극적인 목표인 지식기반산업에 필요한 활동과 그 효율성을 높이기 위한 방안 도출에 기여하여야 한다.



참고문헌

- [1] 고민수, 이덕주, 2001. "DEA를 이용한 OECD 국가별 연구개발 효율성 비교 분석", *대한산업공학회 추계학술대회 논문집*, pp.703-706.
- [2] 변세일, 2008, "인과관계의 논리적 설명은 경로분석을 통해서", *국토연구원 국토정보다이제스트*, pp.59-67
- [3] 하준경, 이은석, 2013, "OECD 국가들의 연구개발 투자에 대한 거시적 분석", *한국은행 "중요소생산성과 성장잠재력"*, pp.25-57
- [4] 조상섭, 정동진, 정해식, 2003, "OECD 25개국 특허자료를 이용한 지식과급 효과 분석", *대한무역학회 2003년도 1차 정책토론회 및 학술발표대회 논문집*, pp.57-71
- [5] 송세찬, 2008, "R&D투자가 기업시장가치에 미치는 영향", *한국경영과학회 2008년 추계학술대회 논문집*, pp.152-156
- [6] 김영훈, 김선근, 2011. "우리나라의 R&D 생산성 및 효율성 분석: OECD 국가와의 비교를 중심으로", *기술혁신연구*, Vol.19, No.1, pp.1-27.
- [7] 홍형득, 2010, "국가 연구개발 투자와 과학기술지식기반의 환경변화에 관한 비교분석", *한국정책연구*, Vol.10, No.3, pp.505-526
- [8] 박수동, 홍순기, 2003, "비모수적 방법을 이용한 OECD 국가별 R&D 효율성과 생산적 분석", *기술경영경제학회 기술혁신연구*, Vol.11, No.2, pp.151-173
- [9] 김용선, 김종민, 윤장혁, 2012. "국내 대학의 지식재산 효율성 분석: DEA와 Malmquist 생산성 지수의 활용", *Entrue Journal of Information Technology*, Vol.11, No.3, pp.7-18.
- [10] 김지혜, 김해수, 임빛나, 윤장혁, 2012. "DEA와 맘퀴스트 생산성 지수를 활용한 OECD 국가간 의료서비스 효율성 분석", *한국경영과학회지*, Vol.37,

No.4, pp.125-138.

- [11] 백은영, 문희철, 2010. "우리나라 기술무역의 산업별 특성에 관한 연구", *통상정보연구*, Vol.12, No.4, pp.151-170.
- [12] 서용윤, 김문수, 2011. "DEA를 활용한 제조 및 서비스 산업의 기술혁신활동 효율성 비교 연구", *IE interfaces*, Vol.24, No.4, pp.330-340.
- [13] 송용중, 2006. "지식기반산업의 현황과 당면과제 분석에 관한 연구", *경영교육저널*, Vol.9, pp.33-51.
- [14] 송인방, 양영석, 2008. "지식기반산업시대 새로운 법적 기업유형의 창출 및 착근방안: 개정상법상 유한책임회사와 합자조합 고찰 중심으로", *산업경제연구*, Vol.21, No.2, pp.867-889.
- [15] 이정동, 오동현, 2012. *효율성 분석이론: DEA 자료포락분석법*. 서울: 지필미디어.
- [16] 한국개발연구원, 1999. *지식기반경제발전 종합계획을 위한 접근방향과 정책과제의 모색*.
- [17] 임동훈, "2014, AMOS를 이용한 구조방정식 모형", *자유아카데미* pp.84-131
- [18] 한국지식재산연구원, 2012. *지식재산 경쟁력 및 특성지표 개발: 국가 지식재산 경쟁력 모형개선과 적용*. 서울: 한국지식재산연구원
- [19] 이훈영, "연구조사방법론", *청람* pp.576-667
- [20] OECD, 1996. *Knowledge-based economy*.
- [21] Co, H.C. and Chew, K.S., 1997. "Performance and R&D expenditures in American and Japanese manufacturing firms", *International Journal of Production Research*, Vol.35, No.12, pp.3333-3348.
- [22] Kocher, M.G., Luptacik, M. and Sutter, M., 2006. "Measuring productivity of research in economics: A cross-country study using DEA", *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.40, No.4, pp.314-332.
- [23] Wu, W.Y., Tsai, H.J., Cheng, K.Y., Lai, M.K., 2006. "Assessment of intellectual

capital management in Taiwanese IC design companies: using DEA and the Malmquist productivity index", *R&D Management*, Vol.36, No.5, pp.531-545.

- [24] Graves, S.B. and Langowitz, N.S., 1996. "R&D productivity: a global multi-industry comparison", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.53, No.2, pp.125-137.
- [25] Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E., 1978. "Measuring the efficiency of decision making units", *European journal of operational research*, Vol.2, No.6, pp.429-444.
- [26] Banker, R.D., Charnes, A., and Cooper, W.W., 1984, "Some models for estimating technical And scale inefficiencies in data envelopment analysis," *Management science*, Vol30, No.9, pp1078-1092.

