



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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](#)

공학 석사학위 논문

제약산업 혁신 효율성 국가 비교 연구

A Cross-National Comparative Study on the Innovation  
Efficiency in Pharmaceutical Industry

2019년 2월

서울대학교 대학원  
협동과정 기술경영경제정책전공  
차민경

제약산업 혁신 효율성 국가 비교 연구

A Cross-National Comparative Study on the Innovation  
Efficiency in Pharmaceutical Industry

지도교수 박하영

이 논문을 공학석사학위 논문으로 제출함

2019 년 1 월

서울대학교 대학원  
협동과정 기술경영경제정책전공  
차 민 경

차민경의 공학석사학위 논문을 인준함

2019 년 1 월

위원장	<u>이 정 동</u>	(인)
부위원장	<u>박 하 영</u>	(인)
위원	<u>이 중 수</u>	(인)



## 초 록

많은 R&D 지출액, 높은 불확실성, 긴 기술 수명, 소수 국가의 시장주도라는 특징을 가지고 있는 제약산업에서 경쟁 우위를 점하고 상업적으로 성공하기 위해 필요한 가장 중요한 요인은 바로 혁신이며, 그렇기에 R&D로 대표되는 혁신활동을 효율적으로 운영하는 것은 중요하다. 기존의 연구는 주로 제약회사의 경영 성과나 자본, 기술력을 언급해 왔지만, 제약산업 혁신 효율성을 국가 단위에서 연구한 연구는 부재하다. 특히나 제약 산업의 혁신 효율성을 정량적으로, 그리고 다각도에서 분석한 연구는 매우 적다. 따라서 본 연구는 국가별 제약산업 혁신 시스템의 관점에서 혁신 효율성에 대해 논의해보고자 한다.

본 연구에서는 맘퀴스트 생산성 변화 지수 분석과 메타효율변경분석, 자료포락분석을 이용하여 국가별 제약산업 혁신 효율성 비교를 진행하였다. 본 연구의 연구 대상은 총 20개 국가이며, 분석 기간은 혁신 활동에서 투입물이 산출물로 전환되는데 시간이 소요되는 것을 고려하여 투입 요소의 경우 2001~2012년, 산출 요소의 경우 2004~2015년으로 선정하였다. 제약산업 투입 요소로는 R&D 지출액, R&D 연구인력, 협업 건수를 사용하였고, 산출 요소로는 특허 수, 논문 수, 승인된 의약품 수를 사용하였다.

분석 결과 국가간 기술 수준 변화와 효율성 변화를 알 수 있었다. 특히, 국가간 효율성 순위 변화는 크지 않았다. 즉, 저효율 그룹에 속한 국가는 고효율 그룹의 국가를 따라잡지 못함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 장기간의 기술 및 고유한 산업 특성으로 인해 후속 국가가 제약 산업에서 선두적인 국가를 따라잡기 어렵다는 기존의 연구와 일치한다. 또한, 한국을 포함한 많은 국가에서 특허와 논문 효율성은 높았지만 의약품 효율성은 현저히 낮은 것을 통해 많은 국가들이 상업화 역량을 증진시켜야 함을 알 수 있었다. 더 나아가 추후

효율성 개선을 위해 참고해야 할 벤치마킹 국가를 알 수 있었다.

본 연구는 제약산업 혁신 효율성에 대한 연구의 범위를 넓혀주며, 본 연구를 통해 국가별로 제약산업 혁신 효율성 개선을 위한 정책 고안 시 도움이 될 것으로 기대된다.

주요어 : 제약산업, 혁신 효율성, 메타효율변경분석, 맘퀴스트 생산성 변화  
지수 분석

학 번 : 2017-28951

# 목 차

초 록 .....	i
목 차 .....	iii
표 목차 .....	v
그림 목차.....	vi
1. 서론.....	1
1.1 연구배경.....	1
1.2 연구목적.....	3
2. 문헌 고찰.....	5
2.1 산업에서의 추격.....	5
2.2 국가별 혁신 시스템.....	8
2.3 혁신 효율성 연구 .....	11
2.4 제약산업 혁신에서 협업의 중요성 .....	14
3. 연구 방법 .....	16
3.1 분석의 틀 .....	16
3.2 자료.....	17
3.3 분석 모형 .....	19
3.3.1 변수 .....	19
3.3.2 분석 방법 .....	22
4. 연구 결과 .....	27
4.1 맘퀴스트 생산성 변화 지수 분석 .....	27
4.2 효율성 분석.....	32
5. 결론.....	47
참 고 문 헌 .....	51
부록 1 : 국가별 제약산업 혁신시스템.....	59
부록 2 : 제약산업 혁신 투입 요소(R&D 지출액) 국가별 기초 통계량.....	64

부록 3 : 제약산업 혁신 투입 요소(R&D 연구인력) 국가별 기초 통계량.....	65
부록 4 : 제약산업 혁신 투입 요소(협업 건수) 국가별 기초 통계량.....	66
부록 5 : 제약산업 혁신 산출 요소(특허 건수) 국가별 기초 통계량.....	67
부록 6 : 제약산업 혁신 산출 요소(논문 수) 국가별 기초 통계량.....	68
부록 7 : 제약산업 혁신 산출 요소(승인 의약품 수) 국가별 기초 통계량 ....	69
Abstract.....	70



## 표 목차

[표 1] 자료 수집 방법.....	18
[표 2] R&D 효율성, 생산성 분석에서 사용한 변수.....	20
[표 3] 변수의 기초통계량.....	20
[표 4] 효율성 분석 변수 조합.....	21
[표 5] 국가별 약어 표.....	22
[표 6] 국가별 효율성 변화(기하 평균).....	27
[표 7] 국가별 분석 기간 평균 효율성.....	32
[표 8] 비효율 국가와 참조 집합.....	44
[표 부록 1] 국가별 제약산업 혁신시스템.....	61
[표 부록 2] 제약산업 R&D 지출액 국가별 기초 통계량.....	66
[표 부록 3] 제약산업 R&D 연구인력 국가별 기초 통계량.....	67
[표 부록 4] 제약산업 협업 건수 국가별 기초 통계량.....	68
[표 부록 5] 제약산업 특허 건수 국가별 기초 통계량.....	79
[표 부록 6] 제약산업 논문 건수 국가별 기초 통계량.....	70
[표 부록 7] 제약산업 의약품 승인 건수 국가별 기초 통계량.....	71

## 그림 목차

[그림 1] 연구 분석의 틀.....	16
[그림 2] 미국의 효율성, 기술 수준 변화율 .....	29
[그림 3] 영국의 효율성, 기술 수준 변화.....	30
[그림 4] 아일랜드의 효율성, 기술 수준 변화.....	31
[그림 5] 한국의 효율성, 기술 수준 변화.....	31
[그림 6] 국가별 효율성(2004~2006 평균).....	34
[그림 7] 국가별 효율성(2013~2015 평균).....	35
[그림 8] 2015년도 효율성 대비 연평균 증가율(전반적 효율성).....	36
[그림 9] 국가별 효율성 추이(특허 효율성).....	37
[그림 10] 특허 수 대비 특허 효율성 증가율.....	38
[그림 11] 국가별 효율성 추이(논문 효율성).....	39
[그림 12] 논문 수 대비 논문 효율성 증가율.....	40
[그림 13] 국가별 효율성 추이(의약품 효율성).....	41
[그림 14] 승인 의약품 수 대비 의약품 효율성 증가율.....	42

# 1. 서론

## 1.1 연구배경

과학기술의 발전과 경영 혁신 등으로 제약산업은 꾸준히 발전해왔다. 전세계 제약산업은 2017년 기준으로 1.2조 달러 이상의 규모를 가진 시장이며 2014~2017년 연평균 5%의 지속적인 성장을 보였다 (한국공학한림원 바이오헬스 산업 정책위원회, 2018). 높은 성장률을 보이던 2000년대 초반 이후 블록버스터 의약품의 특허가 만료되고 저렴한 가격의 제네릭이 출시되어 성장이 둔화한 적도 있지만, 최근에는 차츰 성장률이 회복세를 보이며 증가하고 있다 (김수범 & 신유원, 2017). 앞으로 고령화, 소득 증대 등에 따라 제약산업이 더욱 확대될 것으로 보인다. 특히, 아시아, 중동, 라틴아메리카 등 파머징(pharmerging) 국가의 의료 접근성이 개선되고 의약품 수요가 증가함에 따라 신흥 국가의 성장이 기대된다.

제약산업의 성장에 영향을 끼친 요인은 다양하지만, 바이오기술의 급격한 발전은 특히나 제약산업에 있어 전환점을 제공하였다는 점에서 중요하다. 바이오기술 중 분자유전학(molecular genetics)과 재조합DNA(recombinant DNA, rDNA)기술의 발전은 바이오 혁명(biotech revolution)이라 불릴 만큼 제약산업에 다방면으로 큰 영향을 끼쳤다 (Galambos & Sturchio, 1998). 1976년 Genentech의 설립은 의약품 개발에 rDNA(recombinant DNA) 등의 바이오기술이 쓰이도록 기여하였으며, 기존의 제약회사와 새로운 바이오 회사 간 연구개발 협약(R&D agreement)를 통해 새로운 자금지원방식 및 신약개발프로세스의 장을 열었다 (Pisano, 2006). 바이오 혁명의 초기에는 작은 바이오기술 스타트업이 제약산업의 변화를 선도하였지만, 이후 대형 제약 회사들이 인수·합병(Merger and Acquisition, M&A)이나 제휴를 통해 바이오 회사들의 연구 역량을 가져오거나 이미 보유하고 있는 제조, 임상 실험 등의 역량을 자체적으로 키우는 등 새로운 전략을 통해 우위를 다시 선점하였다.

제약산업은 다른 산업과 차별화되는 특성을 많이 가지고 있는 산업이다. 우선 제약산업은 많은 자본과 연구 인력이 투입되어야 하는 연구 집약적 산업이다 (윤강재 등, 2012). 또한, 사람의 건강과 관련된 의약품을 다루는 산업이기에 신약 후보 물질에 대해 복잡한 개발과정과 정부의 강한 규제 특징을 가지고 있다. 연구 집약적 산업이기 때문에 물질 특허의 확보가 중요시되며, 무엇보다도 개발 완료까지 많은 자본과 긴 연구·개발(Research and Development, R&D) 활동을 거쳐야 하고, 신약 성공 확률도 매우 낮지만(평균적으로 1만 개의 물질 당 1~2개만이 성공), 성공 시에는 막대한 경제적 이익을 기대할 수 있는 고위험·고수익(high risk, high return)산업이다.

그렇기 때문에 다른 첨단기술 산업과 마찬가지로 제약산업에서 경쟁 우위를 점하고 상업적으로 성공하기 위해 필요한 가장 중요한 요인은 바로 혁신이다 (Burns, 2012). 또한, 혁신은 제약회사들이 계속해서 고민해야 할 문제이기도 하다. 성공적인 혁신은 신약 물질을 발견하는 운, 이전에 성공해온 경로, 현명한 투자 결정, 그리고 M&A나 전략적 제휴를 통한 신기술 습득, 그리고 전체 신약 개발 과정에 필요한 기술 및 회사 경영에 달려있다. 금융 시장은 제약회사들이 지속적인 혁신을 통하여 매출을 증가시키고 다른 산업보다도 높은 매출 순이익을 유지하기를 기대한다.

하지만 최근 많은 연구자들은 제약산업에서의 혁신 효율성 감소를 우려하고 있다. 유럽과 미국의 대형 제약회사 15 곳을 대상으로 1995년에서 2009년 사이 발표된 논문을 분석한 결과 대형 제약회사의 R&D 지출은 이 기간 동안 50~400% 증가한 반면, 논문 발표 수는 매년 약 0.8%씩 감소함을 관찰할 수 있었다 (Rafols et al., 2014). 특히, 그간 제약산업을 주도해 온 미국에서의 R&D 효율성 감소가 심각한 문제로 꼽히고 있다. 미국의 PhRMA(Pharmaceutical Research and Manufacturers of America)의 제약회사들을 대상으로 분석한 결과 1950년 이후 R&D 투자 금액(billion US dollars)대비 FDA(US Food and Drug Administration)가 승인한 신약의 수가 대략 매 9년마다 반절로 감소함을 관찰할 수 있었다 (Scannell,

Blanckley, Boldon, & Warrington, 2012).

## 1.2 연구목적

다른 산업과 달리 제약산업은 몇 개의 국가가 주도하고 있는 산업이다. 시장 자체의 규모만 보았을 때 북미 시장의 시장점유율이 전체 시장에서 1위를 차지하고 있으며(약 34%) 뒤이어 유럽(30%), 아시아/퍼시픽 지역 (26%) 순이다 (서건석 등, 2015). 이는 기업 수준에서도 알 수 있는데, 2014년 매출이 상위 20위 안에 드는 기업 중 유럽 기업은 총 10개, 미국 기업은 총 8 개, 일본 기업은 총 2개 순이었다.

여러 학자는 앞으로도 소수 국가가 전 세계 제약산업을 선도할 것으로 보고 있다. Prevezer (2001)는 바이오기술의 발전으로 인한 제약산업의 지각변동 후에도 미국이 계속해서 시장 우위를 이어나갈 수 있는 이유로 많은 양의 투자, 학계에서 스타트업을 세우기 쉬운 환경, 테라피나 농업 분야 집중으로 인해 기술상업화에 강한 연구 능력, 스타트업들이 쉽게 벤처 캐피탈에 후원을 받거나 경영 전문가를 도입할 수 있는 환경, 그리고 기존의 선도 기업과 스타트업 사이 제휴를 꼽았다. 또한, Niosi (2014)는 제약산업에 있어 신흥 국가나 Organisation for Economic Co-operation and Development(OECD)의 선진국이라고 할지라도 미국의 우위에 크게 기여한 제도적 혁신 프레임워크를 모방하는 것은 불가능하다고 주장하였다. 학문적 구축, 지속적이고 많은 투자, 공공 R&D 연구 역량을 가진 국가만이 추후 미국을 추격하는데 성공할 것이고, 신흥 국가 중 중국과 인도, 혹은 브라질, 러시아 만이 가능성이 있어 보인다고 언급하였다. 또한, 영국과 독일, 일본은 미국을 추격하지 못하고 현재의 위치를 유지할 것이라고 주장하였다.

제약산업의ダイナ믹을 설명하는데 있어 제약 선도국의 자본과 기술력을 언급하는 연구는 많지만, 제약산업 혁신 효율성을 국가 단위에서 연구한 연구는 부재하다. 특히나 제약 산업의 혁신 효율성을 정량적으로, 그리고 다각도에서

분석한 연구는 매우 적다. 따라서 본 연구는 국가별 제약산업 혁신 효율성에 대해 논의해보고자 한다. 본 연구에서는 연구 대상 20개 국가, 총 12개년의 분석 기간에 대해 제약산업 R&D 혁신 투입 요소와 산출 요소를 수집하였다. 수집한 자료를 바탕으로 맘퀴스트 생산성 변화 지수 분석과 메타효율변경분석, 자료포락분석을 이용하여 국가별 제약산업 혁신 효율성 비교를 진행하였다. 또한, 한국이 추후 효율성 개선을 위해 어떠한 국가를 참고할 수 있을지 알아보았다.

본 연구는 기존 연구에서 거의 다루지 않았던 제약산업 혁신 효율성에 대해 분석하는 것에 의의를 가진다. 본 연구의 분석 결과를 통해 한국을 비롯하여 국가별로 제약산업 혁신 효율성 개선을 위한 정책을 고안할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 문헌 고찰

### 2.1 산업에서의 추격

기술 수명 주기(Technology Life Cycle)란 R&D 기간을 거쳐 제품이 시장에 나와 경제적인 이익을 발생시키는 주기를 말한다 (Achilladelis, 1993). 기술 수명 주기는 기술을 개발하는 시간과 비용, 그리고 개발된 기술로 상응하는 이익을 산출하는 과정에 주목한다. 기술 수명 주기는 R&D 활동을 통해 새로운 기술이 탄생하는 도입 단계(introduction stage), 새로운 기술이 상용화되고 혁신은 감소하며 R&D 위험이 감소하는 성장 단계(growth stage), 경제적 이익 창출이 안정적이고 높은 성숙 단계(maturity stage), 그리고 기술로 인한 제품의 잠재적 혁신 가능성과 이익이 감소하는 감소 단계(decline stage)로 이루어져 있다 (Haupt, Kloyer, & Lange, 2007). 기술의 수명은 서로 인용된 특허의 출원 연도를 통해 평균 후방 인용 시차(backward citation lag)를 이용하여 구할 수 있다 (Narin, 1994; 이근, 2014).

제약산업은 대표적으로 기술 수명이 긴 장수 기술(long cycle time technology) 산업이다 (이근, 2014). 제약산업에서 의약품은 보통 신약 후보 발견, 후보 개발, 식품의약처의 승인, 제조 및 마케팅의 단계를 거쳐 시장에 나오게 된다 (Raghavendra, Raj, & Seetharaman, 2012). 미국의 경우 신약 후보 발견 및 전임상 시험에만 평균적으로 6.5년이 걸리며, 제 1임상, 2 임상, 3 임상 실험에만 대략 6~7년이 걸린다. 또한, FDA승인을 받는데 1.5~2.5년이 걸리며, 여기에 제 4임상 시험을 추가로 시행하는 약도 있다. 평균적으로 약 10억 달러의 비용이 투입되고 도합 15년이 걸려야 대략 만개의 후보 중 하나의 화합물이 의약품으로 가공되어 시장에 나오게 되는 것이다. 이렇듯 제약산업은 하나의 제품이 시장에 나오기까지 오랜 시간이 걸리는 장수 기술 산업이다.

후발 주자가 선발 주자를 추격(catch-up)하는 현상에 대해 다양한 이론이 있다. 신고전경제학에서는 후발 주자가 선발 주자의 제도를 모방하고, 동시에

주식 자본, 인적 자본 증가를 통해 기술이 후발 주자에게 유입되어 추격이 전 세계적으로 일어난다고 설명한다 (Niosi, 2014). Soete & Perez (1988)는 “기회의 창(Windows of Opportunity)” 이론에서 기술과 경제의 변화, 불황기와 같은 경기순환, 그리고 정부규제 및 개입이 후발 주자에게 추격 및 도약(leapfrogging)의 기회로 작용한다고 설명한다. 이근 (2005)은 세가지 종류의 추격에 대해 설명하는데, 먼저 경로 추종형 추격은 후발 주자가 선발 주자의 경로를 더 빠르게 거쳐 선발 주자를 따라잡는 것을 말한다. 두 번째 유형은 단계 생략형 추격으로 후발 주자가 선발 주자의 경로 중 일부분을 생략하여 빠른 시간 내에 선발 주자를 따라잡는 것이다. 마지막 유형은 경로 창출형 추격으로 후발 주자가 선발 주자의 경로를 따라가던 도중 혁신적인 기술을 개발하여 새로운 경로를 만들어가는 것이다.

하지만 기술 수명 주기가 긴 산업에서는 추격이 힘들 수밖에 없다. 산업에 뛰어들기 위해서는 기본 비용과 같은 고정 투자, 지식 격차를 좁히기 위한 비용, 경험과 기술의 격차를 좁히기 위한 비용, 그리고 외부 효과의 부족함을 보충하기 위한 비용 등의 진입 비용(entry cost)이 필요하다 (Soete & Perez, 1988). 기술 수명이 짧을 수록 산업을 선도하고 있는 선도국의 기존 기술의 우위가 단기간에 하락하고 새로운 기술의 등장이 잦아 후발 주자의 추격이 비교적 쉽다 (이근 등, 2014). 반대로 기술 수명이 길면 그만큼 기존 기술의 우위가 장기간 유지되고 후발주자가 치러야 할 진입 비용도 크기 때문에 후발 주자의 추격이 어렵다.

기술 수명 주기가 긴 산업의 특징과 더불어 제약산업만의 특징도 후발 주자들의 추격을 힘들게 한다. 제약산업은 R&D 집약적 산업으로 많은 비용과 시간이 소요되는 신약 개발이 진입 장벽으로 작용하여 시장에 있어 기업의 변동이 매우 적다 (김석관, 2004). 앞서서도 언급하였듯이 10년이 훌쩍 넘는 연구 기간과 막대한 비용, 그리고 임상시험, 마케팅 등 복잡한 신약 개발 과정을 넘을 수 있는 전문성이 새로운 기업의 진입을 막는 것이다. 이는 바이오 혁명으로 일컬어지는 시기에 ‘생명공학’이라는 기술력을 가진 기업들이 등장



하였음에도 역량 파괴적(competency-destroying) 혁신이 일어나지 않고 기존의 대형 제약회사들이 현재까지도 우위를 선점하고 있음에서 확인할 수 있다.

또한, 제약산업은 다양한 질환과 이에 상응하는 약품으로 인해 시장이 매우 세분화되어 있다 (김석관, 2004). 개별 질환마다 약품 개발에 필요한 기술력, 암묵지(tacit knowledge) 등이 다르기 때문에 한 회사가 여러 질환에 대한 제품을 가지고 있을 수 없고, 그렇기 때문에 제약회사들은 보통 M&A 등의 방식을 통해 새로운 질환으로 분야를 개척한다. 또한, 각 질환과 약품마다 요구되는 전문성이 다르기 때문에 한번 전문성을 습득하면 쉽게 시장에서 퇴출되지 않는다. 새로운 블록버스터가 시장에 출시된다고 하더라도 시장 점유율에 영향을 끼칠 뿐, 기존의 대형 제약회사들은 굳건히 시장 우위를 지킨다.

1995년 세계 무역 기구(World Trade Organization, WTO)의 설립과 지적 재산권(Intellectual Property Rights) 체제의 통일(homogenization)은 제약산업에서의 추격을 더욱 힘들게 만들었다 (Guennif & Ramani, 2010). WTO 소속국이 서명한 TRIPS(Trade Related Intellectual Property Rights)는 제품 특허를 제약산업을 비롯한 모든 산업에 도입하였고, TRIPS 하에서 상표가 있는 약(branded drugs)은 특별한 상황을 제외하고는 개량될 수 없었다. 이는 후발 주자들이 특허가 만료된 의약품에 한해서만 의약품 개량을 통한 추격 역량 축적을 시도할 수 있음을 뜻한다. 이외에도 바이오시밀러의 효과성과 안전성이 기존 약품과 동일해야 한다는 2009년 미국의 생물 제재 및 가격 경쟁법(Biologics and Price Competition Act), 바이오 기술로 만든 의약품의 연구 결과를 12년 독점할 수 있게 해준 미국 의회의 결정은 기존 대형 제약회사들이 제약산업에서 우위를 유지하는 것에 기여했다 (Niosi, 2014).

물론 제약산업의 역사에 있어 후발 주자의 추격이 아예 부재한 것은 아니다. 현재 전 세계 제약산업에서 1위를 굳건히 지키고 있는 미국 또한 유럽을 추격한 후 지금까지 1위를 수성(守城)하고 있다. 미국은 2차 세계대전 직후부터 1980년대 초반까지 당시 1위였던 유럽을 본격적으로 추격한 후 20세기 말

주도권을 완전히 탈환하였다 (이근 등, 2014). 이러한 미국 제약산업의 추격은 분자생물학의 발전을 비롯한 기술 패러다임의 변화, 전보다 매우 강해진 특허제도, 세계대전을 거치며 폭발적으로 증가한 의약품 수요와 정부의 신약 R&D에 대한 대대적인 지원 덕분에 가능하였다. 미국은 선두주자였던 유럽을 모방하기보다는 무작위 검색(random screening)을 통한 새로운 전략 창출에 힘썼는데, 이러한 방법을 통한 성공은 우연에 기댄 것으로 볼 수 있다. 따라서, 앞서 살펴보았듯이 제약산업에서의 추격은 앞으로도 매우 힘들 것으로 보인다.

## 2.2 국가별 혁신 시스템

지속적인 경제 성장의 가장 중요한 요인 중 하나인 혁신을 장려하기 위해 많은 국가들은 연구 개발(R&D)에 집중하고 지적재산권(Intellectual Property Rights) 등 혁신 환경을 조성하기 위해 힘쓴다 (Chen, Hu, & Yang, 2014). R&D가 산업에서의 경쟁 우위에 기여할 수 있는지는 효율적인 혁신 과정에 따라 달려있다 (Werner & Souder, 1997). 치열해진 경쟁에서 우위를 선점하기 위해 학자들은 기존 기술의 확산 및 신기술 창출을 통해 경제성장에 기여할 수 있는 기술력(technological capabilities)을 높이기 위한 방법에 주목하였고, 특히 1980년대 후반부터 여러 이해관계자들의 네트워크를 고려한 혁신 시스템에 관심을 가졌다 (성태경, 2005).

기술 혁신 시스템은 크게 기술 혁신에 있어 제도에 집중한 국가혁신시스템(National Innovation System, NIS), 산업간 상이한 혁신 과정을 강조한 부문(산업)혁신시스템(Sectoral Innovation System, SIS), 기술 혁신에 있어 지역적 특성에 주목한 지역혁신시스템(Regional Innovation System, RIS) 등의 프레임으로 분석할 수 있다. 각각의 프레임은 분석 단위, 시스템의 동태적 정태적 측면에서 차이를 보인다. 또한, 제품 그룹에 대해 혁신 시스템을 분석한다면, 전통적인 산업 분류를 분석 시스템의 범위로 지정할 수 있다 (Porter,

1990). 본 연구에서는 국가 혁신 시스템의 프레임워크 하에서 제약산업을 시스템으로 규정하고 국가별 제약산업 혁신시스템에 대해 고려해보고자 한다.

국가혁신시스템에 대해서는 학자 별로 다양한 정의가 있다. 국가혁신시스템은 기술혁신에 영향을 미치는 조직의 집합, 혹은 신기술을 도입·확산에 기여하는 다양한 제도 간 네트워크로 볼 수 있다 (Freeman, 1988; Nelson & Rosenberg, 1993). 국가혁신시스템에는 소속 기업의 R&D 능력, 지원기관, 공공 연구소, 대학, 교육 서비스 등이 포함된다 (성태경, 2005; 이근, 2005). 국가혁신시스템의 중요한 측면 중 하나는 해외에서 기술을 가져오는 정도, 국내에서 소화하기 위한 노력, 그리고 기술 인적 자본 수준이다 (Dahlman, 1994). 기술 투자는 시장 경제의 한 투입 요소로 고려될 수 있고 국가혁신시스템은 이러한 기술의 발전, 응용, 확산을 통한 생산성 향상을 위해 만들어진 것이다 (Nasierowski & Arcelus, 2003). 이 때 R&D 투입 요소를 R&D 산출 요소로 전환하는 국가혁신시스템의 역량은 효율성과 관련 있다.

국가혁신시스템을 케이스스터디 형식으로 국가간 비교한 연구는 많이 있지만, 정량적으로 지수를 만들어 측정 후 비교한 연구는 많지 않다. 국가혁신시스템을 대변하는 변수를 설정하는 것에도 학자들 사이 다양한 의견이 있다. OECD (1997)는 국가 혁신 체계에서 다양한 섹터 간의 상호작용을 통한 지식 흐름(knowledge flow)이 중요하게 작용한다고 주장하며 지식 흐름을 좌우하는 협동 산업 활동, 공/사간 상호작용, 기술 확산, 그리고 인적자원 유동성으로 국가혁신시스템을 평가할 수 있다고 설명하였다. 지식 흐름과 기업 성과 간에는 기술 협업, 기술 확산, 인적자원 유동성이 높을수록 상품, 특허, 그리고 생산성 측면의 혁신 역량이 높아진다는 양의 상관관계를 가진다. OECD는 공공 R&D지출과 같은 기술 기반, 경영 R&D와 혁신, 기업가정신, ICT인프라, 지식 흐름 및 상업화, 인적자원의 여섯 가지 카테고리의 변수들로 이루어진 국가혁신시스템 성과 비교(comparative performance of national innovation systems)를 국가별, 연도별 자료로

제공한다.

이근 (2014)은 지역화(localization), 독창성(Originality), 다각화(Diversification), 발명자 집중도(Concentration of assignee or inventor), 기술 수명(Technological Cycle Time)의 다섯 가지 지표로 각 국가의 국가혁신시스템을 비교하였고, 이러한 국가혁신시스템이 경제 성장에 미치는 영향을 알아보았다. 연구 결과 고소득 국가의 경우 지역화된 지식 창출과 확산, 분산된 발명자 간 혁신, 높은 독창성, 긴 기술 수명의 특징을 가지고 있었으며, 중간 소득 국가들 중에는 기술 수명이 긴 기술에 특화된 경우도 있었다. 또한, 추격에 성공한 국가들은 기술 수명이 짧은 기술에 특화되어 있었다.

앞서 언급하였듯이 본 연구는 국가별 제약산업 혁신시스템에 대해 고려한다. 현재 제약산업에서는 다양한 헬스케어 시스템, 의약품 승인 제도 등의 요인이 R&D 활동에 영향을 미치고, 이로 인해 제약바이오기술은 국가별로 큰 차이를 보인다 (OECD, 2006). 동시에 국제화, 교육 시스템, 공공 R&D 확대 등의 변화도 다양한 경로로 국가혁신시스템에 영향을 미친다. 따라서 제약산업에 있어 국가혁신시스템의ダイナ믹과 성과, 그리고 외부 요인의 영향력을 이해하기 위해서는 국가혁신시스템의 국제 비교가 필요하다.

국가혁신시스템과 마찬가지로 국가별 제약산업 혁신시스템에 대해 어떻게 평가할 것인지에 대해 합의는 없다. 각 국가별 제약산업 혁신 시스템을 자세히 비교하는 것은 본 연구의 범위를 넘어가는 것이기에 몇몇 국가별 제약산업 혁신시스템의 특징, 혁신 시스템 핵심 동인, 혁신 시스템 장애물을 간략히 정리해 보았다 (Niosi, 2014; OECD, 2006; 김석관, 2004; 김수범 & 신유원, 2017; 서건석 등, 2015). 정리한 표는 부록에 수록되어 있다.

제도의 관점에서 혁신 성과의 차이는 국가별 혁신시스템의 차이 때문에 발생하는 것으로 설명할 수 있다 (Lundvall, 1992; Nelson, 1993). 최적화되지 않은 혁신 시스템의 실패는 혁신 시스템 내의 주체들 간에 부조화로 인해 지식 흐름이 방해되고 따라서 시스템의 전반적 효율성이 저하되는 것을 의미하

며, 혁신 활동에 있어 장애물로 작용하거나 심각한 약점을 야기할 수 있다 (OECD, 1999). 이러한 시스템 실패는 혁신 기능의 부재, 혁신 주체의 부재, 제도의 부재, 그리고 적은 상호작용으로 인해 일어난다 (OECD, 2006).

## 2.3 혁신 효율성 연구

R&D는 생산성을 높이고 투자 수익률(Return on Investment)를 증대시키며 무엇보다 기술 발전을 통한 혁신에 기여하는 효과가 있어 많은 산업에서 중요하게 여겨져 왔다 (González & Gascón, 2004; Mansfield, 1988; Nelson, 1982; Solow, 1957; Timmer, 2003). R&D 활동에 있어 투자한 R&D 대비 성과를 높이기 위해서는 R&D 활동의 생산성, 효율성을 분석하는 것이 중요하다 (Karlsson, Trygg, & Elfström, 2004). 이는 R&D 자원을 비효율적으로 사용할 경우 기술진보를 늦추거나 다른 혁신 활동과의 보완 효과를 감소시킬 수 있다는 문제점이 있기 때문이다 (Chen et al., 2014). 따라서, R&D 정책을 세우기 이전에 R&D 효율성을 이해하고 효율성 결정요인을 분석해야 한다.

다양한 연구에서 국가별 R&D 효율성을 다루고 있으나, 여러 관점에서 정량적으로 분석한 연구는 많지 않다.

Lee & Park (2005)는 27개국을 대상으로 자료포락분석을 사용하여 1994~1998년 평균 R&D 지출과 평균 연구자 수를 투입 변수로, 1999년에 출원된 특허 수, 논문 수, 그리고 기술 수령액 수지(Technology balance of receipts, TBR)를 산출 변수로 하여 국가간 R&D 효율성을 비교하였다. 각 국가의 효율성을 구한 뒤 네 개의 군집(Inventors, Merchandisers, Academicians, Duds)로 나누어 각 군집 별 특징을 살펴보고, 특히 아시아 국가들의 경우 R&D 효율성이 낮음을 알 수 있었다.

Chen et al. (2014)는 24개 국가를 대상으로 1998~2005년 동안의 R&D 효율성을 비교하였다. R&D 지출과 연구인력을 투입 변수로, 특허, 라이선스비

용, 논문 수를 산출 변수로 하여 각 산출물에 대해 효율성 지수를 계산하였고, 효율성지수를 종속변수로, 국가혁신체계 요인인 지적재산권보호정도, ICT 인프라, 산업 R&D, 공공 R&D, 인적 자본, 인구당 GDP를 독립변수로 하여 토빗회귀추정(Tobit regression)을 하였다. 연구 결과 해외 자본으로 구성된 민간분야 R&D가 R&D 성과에 큰 영향을 끼치므로 거대한 다국적 기업들이 국내 기업들과 협업을 하거나 국내 R&D 연구에 투자할 수 있도록 정부 입장에서 지적재산권 강화, 인적자본함양 등 혁신에 더욱 힘써야 함을 알 수 있었다. 또한, 혁신에 있어 대학의 중요성이 다시금 강조되었다.

Wang & Huang (2007) 은 세단계 자료포락분석(three-stage Data Envelopment Analysis, three-stage DEA)을 이용하여 국가간 R&D 활동의 상대적인 효율성과 이에 영향을 끼치는 요인을 알아보려고 하였다. 우선 투입 변수로 R&D 주식자본과 인력을, 산출 변수로는 특허와 학술 논문을 사용하여 자료포락분석법을 통해 R&D 효율성을 도출하였고, 투입 변수에 대해 R&D 환경 변수인 3차 교육 비율, PC 비율, 영어 유창성 지수를 독립변수로 하는 토빗 회귀 분석을 하였으며, 마지막으로 회귀 분석을 통해 수정된 투입 변수로 다시금 자료포락분석을 하였다. 분석 결과 많은 국가들이 높은 R&D 효율을 보였으며, 3분의 2 이상의 국가는 규모의 확대에 따른 이익의 점증(Increasing Return to Scale, IRS) 상태임을 확인할 수 있었다. 또한, R&D 성과에 환경 변수를 이용하여 투입 변수를 조정하는 것은 R&D 효율성 도출에 영향을 끼침을 확인할 수 있었다.

이외에도 자료포락분석을 이용하여 국가 단위가 아닌, 산업이나 기업 단위의 R&D 혁신 효율성을 분석한 연구들이 존재한다. 국가 단위나 산업, 기업 단위에서 R&D 혁신 효율성을 분석한 연구에서는 투입 변수로 R&D 활동과 관련된 R&D 지출액이나 연구 인력을 주로 사용하였고, 산출 변수로 매출이나 특허, 논문 등을 사용하였다 (Diaz-Balteiro et al., 2006; Hashimoto & Haneda, 2008; Lee et al., 2010; Revilla, Sarkis, & Modrego, 2003; Zhong, et al., 2011).

제약산업에 대한 혁신, 성과 등의 연구에 있어서 각 회사의 케이스스터디 연구나 매출, 특허 비교 연구는 다수 있지만, 국가 단위에서 제약산업의 혁신 효율성을 비교한 연구는 많지 않다. 특히, 제약회사 별 효율성을 비교한 연구는 조금 있지만, 국가 단위에서 제약산업의 효율성을 비교한 연구는 전무하다.

Gascon, Lozano, Ponte, & de la Fuente (2017) 세계 시장의 80% 이상을 차지하는 37개의 큰 제약회사들에 대해서 R&D 활동으로 발생하는 혁신신약 개발 효율성을 알아보려고 하였다. 회사 크기, R&D 투자액, 총 수입 등의 투입 변수와 산출 변수에 시간 효과를 고려한 혁신 신약의 실효 기간 변수를 넣어 6가지 모델에 대해 자료포락분석을 시행하였다. 분석 결과 각 회사의 R&D 효율성에 대해 알 수 있었는데, 대부분의 회사의 효율성은 85% 이상으로 나타났다. 또한, 효율적인 회사들이 금융 거래가 많았고 크기도 큼을 확인할 수 있었고, R&D 관련 재산이 많을 수록 금융 거래 수가 증가함을 볼 수 있었다.

You, Chen, & Holder (2010)는 이단계 자료포락분석(two-stage DEA)을 통해 한국과 미국의 제약회사의 R&D 효율성을 측정하고 회사 소유 형태와의 연관성을 찾고자 하였다. 분석 결과 기관지분율이 높을 수록 R&D 효율성에 부정적인 영향을 끼침을 알 수 있었고, 이는 근시안적 기관투자자 가설(myopic institutional investor hypothesis)과 상응했다. 또한, 한국 제약회사의 경우 해외 소유 회사일 수록 효율성이 높았는데, 이는 R&D intensity가 높아지기 때문으로 보인다. 반면 미국 제약회사에서는 소유 구조와 R&D intensity간 유의미한 상관관계를 찾을 수 없었다.

Mazumdar & Rajeev (2009)는 메타효율변경분석과 맘퀴스트 생산성 변화지수 분석을 이용하여 인도 제약회사를 R&D 지출액, 시장 점유율, 국제 진출 여부, 생산품의 다양성을 기준으로 집단을 나누어 집단 간 기술 효율성, 기술 격차 비율, 그리고 생산성 변화를 알아보았다. 연구 결과 수출액의 증가가 높은 효율성으로 바로 이어지는 것은 아님을 알 수 있었다. 화합물과 의약품을 대량으로 생산하는 수직적으로 통합된 회사가 더 높은 기술 혁신과 효율성을

보였다. 또한, 자본 집약적 기술이나 수입된 기술이 생산 변경 상에 존재하는 회사의 기술 성장을 촉진하는 것을 확인하였다.

## 2.4 제약산업 혁신에서 협업의 중요성

혁신 성과에 대한 다양한 연구에서 제도적 요인이 다방면으로 혁신에 영향을 미친다고 알려져 있다 (Lundvall, 2010; Richard, 1993). 이러한 제도적 조건에 대한 연구에서는 규제 시스템, 금전적 지원 등을 다루지만, 이중 특히 협업의 용이성을 강조하는 연구가 많다 (Cockburn & Stern, 2010).

Prevezer (2001)은 미국 초기 바이오산업의 발달에 대한 논문에서 미국의 학계-산업 제도가 바이오 혁명을 일으켰다고 설명한다. 1980년대 Bayh-Dole Act 이후 기술 이전이 활성화 되었고, 또한 과학자들이 기업과 학계에 동시에 직함을 가질 수 있는 환경이 학계-산업간 지식 이전을 촉진했다는 것이다. Niosi (2014)는 국가간 바이오기술을 비교한 논문에서 이러한 제도적 조건이 후발 주자들의 추격에 있어 장애물이 된다고 주장한다.

Pisano (2006)는 제휴(alliances)가 매우 중요한 전략적 수단이라고 하였다. 대다수의 바이오회사는 연구 역량은 가지고 있을지 모르나 의약품의 성공을 위한 임상실험기술, 제조, 판매 등의 보완 자산을 가지고 있지 않다. 제약산업의 노하우 시장(market for know-how)은 이러한 제약회사와 바이오회사를 연결하여 필수 보완 자산과 역량을 모으는 역할을 한다. 더 나아가 제휴는 자금조달의 출처로 굉장히 큰 역할을 하는데, 제휴를 통해 투자자에게 입증 효과(validation effect)를 기대하게 하기 때문이다. 제약산업, 바이오산업, 그리고 학계 간 제휴는 중요하며, 제휴와 같은 공식적인 형태나 비공식적인 네트워크를 통해 기술 지식이 확산 및 공유된다 (OECD, 2006; Prevezer, 2001).



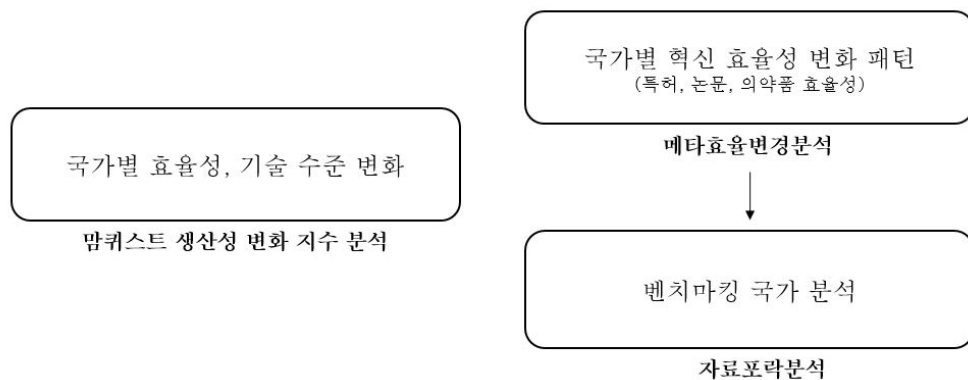
Burns (2012)는 다른 하이테크 산업과 마찬가지로 제약산업에서 경쟁 우위 선점과 상업적 성공을 위해 혁신은 중요한 요소라고 말하였으며, 특히 이러한 혁신 요소로 적절한 투자와 M&A, 전략적 제휴를 통한 새로운 기술의 습득을 들었다. 저자는 다양한 관점에서 제약산업의 혁신 요소에 대해 분석하는데, 특히 자원 기반 이론적 관점(Resource-based view)이나 가치 사슬의 관점(Value Chain perspective)에서 전략적 제휴를 통해 회사의 고유 능력을 넓힐 수 있고 장기적으로 전략적 우위를 점할 수 있다고 설명한다.

Hagedoorn, Link, & Vonortas (2000)은 다양한 분야의 연구에 산재되어 있는 연구 협력을 적어도 부분적으로는 R&D 에 주력하는 혁신 기반 관계로 정의하였다. 또한, 이러한 연구 협력의 장점으로는 R&D 비용을 공유하고 규모의 경제를 기대할 수 있으며 R&D 효율성이 증가하고 정보의 이동이 증가할 수 있다는 점을 들었다. 특히, Cockburn & Henderson (1997)의 연구를 언급하며 네트워크가 흡수 역량을 키워주기 때문에 혁신 제약회사들이 대학들과 네트워크를 유지하는 것은 중요하다고 주장하였다.

### 3. 연구 방법

#### 3.1 분석의 틀

본 연구에서는 Pakes & Griliches (1984)의 연구를 발전시켜 R&D 활동을 생산 과정, 각 국가를 R&D 활동의 의사결정단위(decision-making unit, DMU)로 간주하며, 여기에 협업을 혁신 활동의 투입 요인으로 고려한다. 여기서 의사결정단위는 투입과 산출이 있는 여러 종류의 대상에 적용할 수 있다 (최고봉 등, 2014). 의사결정단위는 동질성의 조건을 만족해야 하는데, 비슷한 산출 목표와 시장 상황을 가지고 모든 의사결정단위에서 선정한 투입 요소와 산출 요소가 있어야 한다 (Golany & Roll, 1989; 최고봉 등, 2014). 제약산업의 국가별 효율성을 다각도에서 바라보기 위해 다음과 같은 분석 모형을 세워보았다.



[그림 1] 연구 분석의 틀

우선 시간이 지남에 따라 국가별로 기술과 효율성 측면에서 어떠한 변화가 있었는지 알아보려고 한다. 맘퀴스트 생산성 변화 지수 분석을 이용하면 각 국가별로 시간이 지남에 따라 기술 수준 측면, 효율성 측면에서 어떻게 변화하였는지 알 수 있다. 그 후, 메타효율변경분석과 자료포락분석을 이용하여

혁신 성과 별 효율성 지표를 계산한 후, 시간의 흐름에 따른 국가별 효율성 변화 패턴을 알고 저효율 국가의 효율성 개선 방안에 대해 논의해보고자 한다.

본 연구에서 제약산업 혁신 투입 요소로는 R&D 지출액과 연구 인력, 그리고 협업 건수를 사용하였다. R&D 지출액은 자본 투입 지표로, R&D 연구 인력은 노동 투입 지표로 사용된다 (Serrano-Cinca, Fuertes-Callén, & Mar-Molinero, 2005). 또한, 협업 건수는 앞서 [2.4]절에서 살펴보았듯이 제약산업의 R&D 혁신활동에 있어 중요한 역할을 한다. 제약산업의 혁신을 다룬 기존 연구에서는 네트워크를 기업, 대학 및 연구소 등의 혁신 주체 간 협업으로 나타낸다 (OECD, 2006).

국가 단위의 R&D 효율성 분석 연구의 경우 하나의 산출 변수만 사용하는 것은 좁은 의미의 R&D 효율성만을 보여주기 때문에 다양한 산출 측면에서의 효율성 분석이 필요하다 (Chen et al., 2014). 본 연구에서의 제약산업 혁신 산출 요소는 R&D 효율성 분석 연구에서 많이 쓰인 변수인 논문 수, 특허 수, FDA 승인 의약품 수로 나누었다. 아이디어를 공유하고 신기술을 퍼트리는 역할을 하는 논문은 연구의 가장 주요한 산출물로 여겨지며 연구자의 성과를 측정할 때 널리 쓰인다 (OECD, 2001; Wang, 2007). 또한, 특허는 R&D 활동에서 잠재적으로 중요한 정보를 제공하는 역할을 하기에 연구 성과 평가에 있어 대표적인 요소 중 하나이며, 특히 제약산업은 R&D 성과로써 특허를 많이 의존하는 산업이다 (Levin et al., 1987; Wang, 2007). FDA 승인 의약품 수는 제약산업의 대표적인 생산물로 많은 연구에서 제약산업의 중요한 R&D 산출 요소로 사용된다 (Bunnage, 2011; Paul et al., 2010; Scannell et al., 2012).

### 3.2 자료

[그림 1]의 분석모형에서와 같이 국가별 제약산업 R&D 혁신 효율성을 비교하기 위해서는 각 국가별 혁신 투입 및 산출 요소 및 제약산업 성과에

대한 자료 수집이 필요하다. 본 연구에서는 각 변수 별로 자료 수집이 가능한 호주, 오스트리아, 벨기에, 캐나다, 체코, 덴마크, 프랑스, 독일, 헝가리, 아일랜드, 일본, 한국, 네덜란드, 노르웨이, 포르투갈, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국, 미국 총 20개 국가를 의사결정단위로 선정하였다. 또한, [표 1]에서 혁신 투입 요소인 R&D 지출액과 연구인력, 협업 건수는 2001년부터 2012년까지, 혁신 산출 요소인 특허, 논문, FDA 승인 의약품 수는 2004년부터 2015년까지 수집하였다. R&D 활동에서는 투입 요소가 산출 요소로 전환되는데 시간이 걸리기 때문에 많은 연구에서는 R&D 활동에서 투입과 산출 요소 사이 3에서 5년 정도의 시간적 차이를 고려하였다 (Acs & Audretsch, 2003; Lee & Park, 2005; Wang & Huang, 2007). 본 연구는 투입 요소와 산출 요소 사이 3년의 시간적 차이를 두었다.

본 연구의 자료 수집 방법은 다음과 같이 정리할 수 있다.

[표 1] 자료 수집 방법

구분	수집 자료	수집 방법	수집단위	자료 출처
혁신 투입 요소	R&D 지출액, R&D 연구 인력	국가별 제약산업 R&D 투자액 및 연구인력 (ISIC 4.0 분류)	million USD 천명	OECD 통계
	협업 건수	'Pharmaceuticals' 협업 건수	건수	MedTrack
혁신 산출 요소	특허 수	국가별 제약 분야 특허 수(IPC코드 분류, USPTO)	건수	OECD 통계
	논문 수	'Pharmaceuticals' 검색, 소속기관 국적 분류	개수	Scopus
	승인 의약품 수	FDA 승인 의약품 소속기관 국적 분류	개수	FDA

혁신 투입 요소 중 제약산업 R&D 지출액 및 연구인력은 OECD 통계자료를 통해 수집할 수 있었다. OECD는 국제 표준 산업 분류 체계(International Standard Industrial Classification of All Economic Activities, ISIC 4.0)에

따라 산업별 자료를 제공하는데, 이 중 제약산업 영역의 R&D 지출과 연구인력 자료를 국가별로 수집하였다. 혁신 투입 요인 중 협업 건수는 MedTrack 자료를 통해 제약산업에서의 기업, 연구소 간의 기술 협력 건수를 관련 정보에 기재되어 있는 국가별로 분류하여 수집하였다.<sup>1</sup>

혁신 산출 요소 중 특허 수의 경우 OECD 통계자료를 이용하였다. 미국 특허청(United States Patent and Trademark Office, USPTO)에 제출된 특허 중 국제특허분류(International Patent Classification, IPC) 중 제약산업에 해당하는 특허 수를 국가별로 수집하였다. 논문 수의 경우 마찬가지로 Scopus에서 ‘Pharmaceutical’ 혹은 ‘Pharmaceuticals’ 검색 후 범위를 과학논문분류(All Science Journal Classification, ASJC) 중 제약분야에 해당하는 분야로 제한하였고, 논문 저자의 소속 기관 국적에 따라 분류된 국가별 자료를 수집할 수 있었다 (OECD & Group(CSIC), 2016). FDA 승인 의약품 수의 경우 FDA 홈페이지에서 제공하는 승인 의약품을 모아둔 Orange Book에서 각 의약품 별 소속기관을 국적에 따라 분류하여 국가별 자료를 수집하였다.

본 연구에서 수집한 모든 금전적인 자료는 각 국가별 통화로 수집한 후, 환율을 적용하여 million USD로 변환하여 사용하였다.<sup>2</sup>

### 3.3 분석 모형

#### 3.3.1 변수

본 연구의 분석모형에서 생산성과 효율성을 분석하기 위해 사용한 투입 요소와 산출 요소는 다음과 같다.

---

<sup>1</sup> 본 연구의 MedTrack 자료는 충북대학교 의생명과학경영융합대학원에서 분류한 2차 자료를 사용하였다.

<sup>2</sup> 2018년 6월 27일 환율을 적용하였다.

[표 2] R&D 효율성, 생산성 분석에서 사용한 변수

구분	변수명	내용
투입 변수	RD	국가별 제약산업 R&D 지출액
	FTE	국가별 제약산업 R&D 연구 인력
	NET	국가별 제약산업 협업 건수
산출 변수	PT	국가별 제약산업 특허 수
	JNL	국가별 제약산업 논문 수
	FDA	국가별 FDA 승인 의약품 수

산출 변수와 투입 변수를 선정함에 있어서 변수의 개수는 제약을 받는다. 자료포락분석을 다루는 많은 연구에서 투입 변수와 산출 변수 개수의 총합은 분석 대상 의사결정단위 수의 3분의 1을 넘지 않는 것이 좋다는 경험 법칙(Rule of Thumb)이 존재하는데, 이는 변수의 수가 너무 많으면 도출한 상대효율성이 전반적으로 증가하여 의사결정단위 사이 효율성 비교가 힘들기 때문이다 (Boussofiane, Dyson, & Thanassoulis, 1991; Cooper et al., 2001). 본 연구의 의사결정단위는 총 20개이므로, 경험 법칙을 고려하여 산출 변수와 투입 변수는 각각 세 개씩 선정하게 되었다.

본 연구에서 사용한 변수의 기초통계량은 다음과 같다. 변수 별 국가 단위 기초통계량은 부록에 제시되어 있다.

[표 3] 변수의 기초통계량

변수명	N	평균	표준 편차	최소	최대
RD (million USD)	240	3093	8483	19	49415
FTE (천 명)	240	7208	19429	130	116522

NET (건수)	240	64	135	0	753
PT (건수)	240	476	695	27	3738
JNL (개수)	240	390	758	5	3977
FDA (개수)	240	40	149	0	906

본 연구에서 맘퀴스트 생산성 변화 지수 분석에서는 시간에 따라 국가별로 기술 수준과 효율성 변화가 어떻게 일어났는지에 초점에 맞추므로 모든 투입 요소와 산출 요소에 대해 분석을 진행하였다. 반면, 효율성 분석의 경우 다양한 종류의 효율성을 토대로 국가별 특징을 보기 위해 혁신 산출 요소 기준으로 조합을 고려하였다. 효율성 분석에서 사용하는 투입 변수와 산출 변수의 조합은 다음과 같이 총 4가지 이다.

[표 4] 효율성 분석 변수 조합

조합	투입 변수	산출 변수	효율성 종류
1	RD, FTE, NET	PT	특허 효율성
2		JNL	논문 효율성
3		FDA	의약품 효율성
4		PT, JNL, FDA	전반적 효율성

[표 4]에서 조합 1, 2, 3은 각각 특허 효율성, 논문 효율성, 의약품 효율성이라고 지칭할 수 있다. 또한, 모든 산출 요소를 포함한 전반적 효율성(조합 4)도 분석하였다.

본 연구의 표와 그림에서 20개 국가는 International Organization for Standardization(ISO)에서 정의한 ISO-3166-1 ALPHA-3를 따라 3글자 약어로 표기하였다. 국가별 약어 표는 다음과 같다.

[표 5] 국가별 약어 표

약어	국가	약어	국가
AUS	호주	JPN	일본
AUT	오스트리아	KOR	한국
BEL	벨기에	NLD	네덜란드
CAN	캐나다	NOR	노르웨이
CZE	체코	PRT	포르투갈
DNK	덴마크	ESP	스페인
FRA	프랑스	SWE	스웨덴
DEU	독일	CHE	스위스
HUN	헝가리	GBR	영국
IRL	아일랜드	USA	미국

### 3.3.2 분석 방법

본 연구에서는 효율성과 생산성 분석에서 가장 많이 사용하는 자료포락분석과 메타효율변경분석, 그리고 맘퀴스트 생산성 변화 지수 분석을 활용하였다.<sup>3</sup> 맘퀴스트 생산성 분석을 통해 국가별 기술 진보, 추격 효과에 대해 알아본 후, 메타효율변경분석과 자료포락분석을 통해 R&D 효율성 척도를 측정하여 국가별 효율성의 변화 패턴과 효율성 증가를 위해 참고할 수 있는 벤치마킹 국가에 대해 알아보하고자 한다.

<sup>3</sup> 본 연구에서는 (이정동 & 오동현, 2010)에서 배포한 프로그램을 사용하여 분석을 진행하였다.



맘퀴스트 생산성 변화 지수 분석(Malmquist productivity growth index)은 시간에 따라 투입 대비 산출의 비율이 어떻게 변화하였는지 알 수 있다 (이정동 & 오동현, 2010).

t기점에서의 맘퀴스트 생산성 변화 지수는 다음과 같이 나타낼 수 있다. t기의 맘퀴스트 생산성 지수를  $MI^t$ , 거리 함수를  $D^t$ , 투입 변수를  $x^t$ , 산출 변수를  $y^t$ 라고 하자.

$$MI^t(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \dots \dots \dots \text{식 (1)}$$

맘퀴스트 생산성 변화 지수를 기하평균형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} MI^{t,t+1}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) &= \left[ \frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \times \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \times \left[ \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \times \frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots \text{식 (2)} \end{aligned}$$

식 (2)에서  $\frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)}$ 는 효율성 변화율(rate of efficiency change, EC)으로 이 값이 1보다 크다면 생산 변경 상의 점들과 더욱 가까워졌다는 뜻으로 추격 효과(catching-up effect)를 알 수 있다.

마찬가지로  $\left[ \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \times \frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}}$ 는 기술 수준 변화율(rate of technical change, TC)로 이 값이 1보다 크다면 기술진보, 혁신이 일어남을 알 수 있다.

자료포락분석(Data Envelopment Analysis, DEA)은 선형 계획법(linear programming, LP)를 이용한 활동 분석(activity analysis)을 바탕으로 고안되었다 (이정동 & 오동현, 2010). 최초로 고안된 CCR(Charnes, Cooper and Rhodes)모형 이후 효율성 일반 이론과 함께 자료포락분석 모형이 발전하였으며, 이후 통계적인 검정과 결합한 SFA(Stochastic Frontier

Analysis)와 같이 통합적인 모형이 효율성 분석 연구에서 많이 사용되게 되었다.

자료포락분석에서 말하는 효율성은 상대효율성을 의미한다. 상대효율성은 생산가능집합이 최대로 산출 가능한 정도나 투입량을 최소로 줄일 수 있는 정도를 통해 측정할 수 있다. 여기서 생산가능집합(production possibility set)이란 특정한 투입량으로 만들어낼 수 있는 산출량에 대해 가능한 투입/산출 조합을 모아놓은 것이다 (이정동 & 오동현, 2010). 생산가능집합은 자유가처분성(free disposability), 볼록성(convexity)의 성질을 가지며 불변규모수익(Constant Returns to Scale, CRS) 혹은 가변규모수익(Variable Returns to Scale, VRS)를 따른다. 생산가능집합의 가장 바깥쪽 경계를 생산 변경(production frontier)라고 하며, 가장 효율적이라고 볼 수 있는 생산변경상의 점들은 파레토 효율(Pareto efficiency)를 만족하는 강효율점이나 약간의 개선 여지가 있는 약효율점들로 나눌 수 있다.

자료포락분석의 가장 기본적인 CCR 모형은 투입 기준과 산출 기준 모형으로 나눌 수 있다. 투입 기준 CCR 모형은 산출량을 고정시키고 투입을 줄일 수 있는 비율로 효율성을 측정하며, 산출 기준 CCR 모형은 반대로 투입량을 고정시키고 산출을 증가시킬 수 있는 비율로 효율성을 측정한다 (이정동 & 오동현, 2010). 이러한 CCR 모형의 불변규모수익조건을 완화하여 가변규모수익조건으로 확장시킨 것이 BCC(Banker, Charnes, Cooper) 모형이다. 제약산업에서 규모의 효과가 중요하게 작용하기 때문에 본 연구에서는 산출 기준 BCC 모형을 사용하였다 (Gascon et al., 2017).

가변규모수익 조건을 따르는 산출 기준 효율성 모형은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다. 투입 변수( $x$ )가  $A$  개, 산출 변수( $y$ )가  $B$  개, 의사결정단위가  $k$ 개 있고 있고 분석 후 계산된 효율성은  $\theta^{k*}$ 라고 하자.

$$\theta^{k*} = \max \theta^k$$

$$\begin{aligned} & \text{subject to } x_A^k \geq \sum x_A^j \varphi^j; \dots \dots \dots \text{식 (3)} \\ & \theta^k y_B^k \leq \sum y_B^j \varphi^j; \\ & \varphi^j \geq 0, \sum \varphi^j = 1 \end{aligned}$$

여기서  $\varphi^j$ 는 생산가능집합 내 점들은 선형내분조합을 통해 구성된다는 것을 설명한다. 위의 식을 통해서 구할 수 있는 효율성 척도  $\theta^{k*}$ 는 1에서 무한대의 값을 가지며, 1에 가까울 수록 효율적임을 나타낸다. 하지만 제시된 숫자가 클 수록 효율적이라는 직관적인 이해를 위해 흔히 역수값으로 결과를 나타낸다 (이정동 & 오동현, 2010). 따라서 본 연구에서도 효율성 척도 값의 역수를 제시하며, 이 경우 1에 가까울수록 효율적이고 0에 가까울수록 비효율적이라는 것을 알 수 있다.

자료포락분석은 투입, 산출 변수가 여러 개인 상황 분석에 용이하고 잔차나 함수에 대한 통계적인 가정을 할 필요가 없다는 장점을 가진다 (이정동 & 오동현, 2010). 하지만, 자료포락분석은 환경적 이질성을 고려하지 못하고, 또한 한 시점에 대해서만 분석할 수 있다는 단점을 가진다. 메타효율변경분석(Meta frontier Analysis)은 이러한 문제점을 해결하기 위해 고안되었다. Hayami (1969)의해 도입된 메타효율변경분석은 기술 변화가 없다는 가정 하에 모든 가능한 생산 변경을 포함하는 ‘메타효율변경’의 개념을 사용한다.

O'Donnell, Rao, & Battese (2008) 가 메타효율변경과 집단내 효율변경을 이용한 이질적인 집단 간 비교를 고안한 이후 메타효율변경분석은 집단간 비교에 많이 쓰이는데, 집단간 메타효율변경과 그룹효율변경을 구한 후 두 효율성의 비율을 통해 기술격차비율(Technology Gap Ratio, TGR)을 구할 수 있다 (고길곤, 2017). 패널데이터의 경우 같은 의사결정단위라고 할지라도 다른 시점에 있으면 다른 의사결정단위로 취급하고 모든 분석 대상이 하나의 생산 변경을 가진다고 가정하여 메타효율변경분석을 통해 각 의사결정단위가 어떤 효율성 변화를 보이는지 알 수 있다. 본 연구에서는 각 분석 기간,

의사결정단위를 각각의 의사결정단위로 보아 총 240 개의 의사결정단위에 대해 메타효율변경분석을 적용하였다. 그 후 벤치마킹 국가를 찾기 위해 분석 기간 마지막 연도에 대해서 자료포락분석을 추가로 진행하였다.

본 연구에서는 맘퀴스트 생산성 변화 지수 도출 후 한국이 참고할 수 있을 것이라고 생각되는 제약선도국 미국, 아일랜드, 영국을 선정하여 국가별 변화 추이를 알아 보았다. 또한 자료포락분석과 메타효율변경분석을 통해 각각의 산출 요소 별로 한국이 벤치마킹할 수 있는 국가를 알아보하고자 한다. 본 연구에서는 산출에 초점을 맞추었기 때문에 그림과 표에서 연도의 표기는 산출 요소의 분석기간(2004~2015 년)에 맞추었다.

## 4. 연구 결과

### 4.1 맘퀴스트 생산성 변화 지수 분석

제약산업 R&D 지출액, 연구 인력, 협업 건수를 투입 요소로, 특허 수, 논문 수, FDA 승인 의약품 수를 산출 요소로 하여 맘퀴스트 생산성 변화 지수를 분석하였다. 분석 결과 각 국가별 평균 효율성 변화와 기술 수준 변화는 다음과 같다.

[표 6] 국가별 효율성 변화(기하 평균) <sup>4</sup>

국가	생산성 지수	효율성 변화율	기술 수준 변화율
AUS	1.0047	1	1.0047
AUT	0.9050	0.9710	0.9771
BEL	1.0274	1.0617	0.9677
CAN	1.0831	1.0445	1.0369
CZE	NA	1	NA
DNK	0.9659	0.9952	0.9706
FRA	1.1102	1.0639	1.0435
DEU	0.9806	1.0157	0.9654
HUN	0.9167	0.9960	0.9204
IRL	0.9955	1	0.9955
JPN	0.9545	1.0506	0.9085
KOR	0.9767	1	0.9767
NLD	1.0442	1.0330	1.0109

<sup>4</sup> 도출한 값 중 0 혹은 무한대의 값을 가져 기하 평균과 표준편차(기하)값을 계산할 수 없는 값은 NA로 표기하였다.

NOR	0.9848	1	0.9848
PRT	1.0605	1.0280	1.0317
ESP	0.9978	0.9632	1.0359
SWE	1.0669	1.0382	1.0276
CHE	1.0533	1.0649	0.9890
GBR	1.0091	1	1.0091
USA	1.0034	1	1.0034

[표 6]에서 볼 수 있듯이 많은 국가들이 평균적으로 양의 효율성 변화가 있음을 알 수 있다. 벨기에, 캐나다, 프랑스, 독일, 일본, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴, 스위스에서 평균 효율성 변화가 1보다 큰 값을 가졌다. 즉, 기존 기술의 체화(embodied technology) 등으로 이 국가들은 추격 효과를 경험함을 알 수 있다. 호주와 체코, 영국, 아일랜드, 한국, 노르웨이, 영국, 미국은 평균 효율성 변화가 1로 변화가 크지 않음을 알 수 있다. 반면에 오스트리아, 덴마크, 헝가리, 스페인은 음의 평균 변화를 보였는데, 이는 분석 기간 동안 평균적으로 효율성의 감소가 일어난 것으로 해석된다. 비효율성을 보인 이 국가들은 기술을 습득할 시간이 충분하지 않았거나 새로운 기술의 전파가 힘든 것으로 보인다 (허광숙 & 김정렬, 2007).

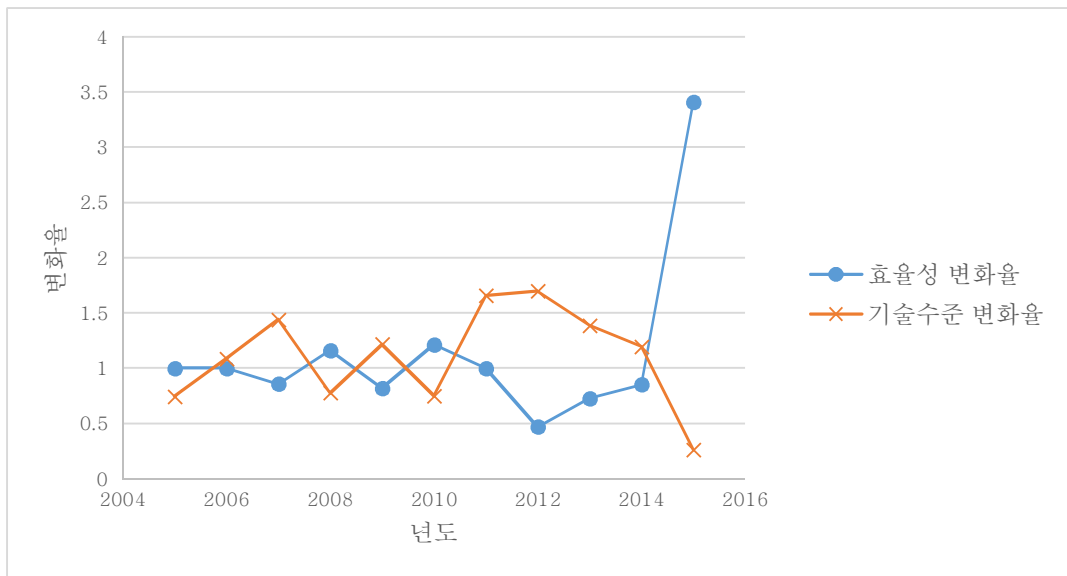
효율성 변화와 달리 평균 기술 수준 변화는 음의 변화를 가진 국가들이 많았다. 오스트리아, 벨기에, 덴마크, 독일, 헝가리, 아일랜드, 일본, 한국, 노르웨이, 스위스 모두 평균적으로 기술 수준이 상대적으로 퇴보하는 경향을 보였다. 반면 호주, 캐나다, 프랑스, 네덜란드, 포르투갈, 스페인, 스웨덴, 영국, 미국에서는 분석 구간 동안 평균적으로 기술 진보가 일어난 것을 볼 수 있다. 기술 수준 변화는 가장 성과가 좋은 생산 기술의 변화를 나타내고 효율성변화는 가장 좋은 성과의 채택을 말한다 (Mazumdar & Rajeev, 2009).

정리해보면 캐나다, 프랑스, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴의 경우 효율성과 기

술 수준 모두 평균적으로 향상된 반면, 오스트리아, 덴마크와 헝가리는 분석 기간 동안 평균적으로 효율성과 기술 수준 모두 퇴보함을 알 수 있다.

분석 기간 내 평균 변화는 국가별로 평균적으로 효율성과 기술 수준에 어떠한 변화가 있었는지 비교할 수 있었지만 시간의 흐름에 따른 비교는 불가능하다는 한계가 있었다.

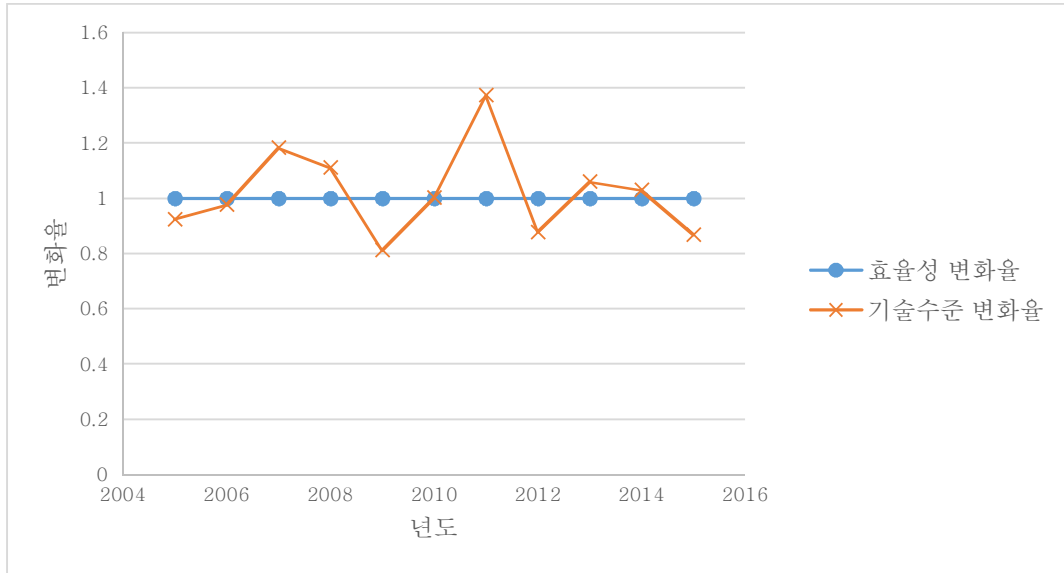
몇몇 국가의 시간의 흐름에 따른 패턴 변화는 다음과 같다. 우선 제약산업의 선두 주자 미국의 변화는 다음과 같다.



[그림 2] 미국의 효율성, 기술 수준 변화율

미국의 경우 평균적으로 효율성 변화보다 기술 수준 변화가 더 컸는데, [그림 2]에서 볼 수 있듯이 2015년도 효율성 변화율을 제외하면 효율성 변화보다는 기술 수준 변화가 미국 제약산업의 혁신 생산성을 이끈 것을 볼 수 있다. 즉, 분석 기간 동안 제약산업에 있어 기술 혁신이 많이 일어남을 알 수 있다. 2015년에는 효율성 변화율이 갑작스레 증가 것은 분석 기법의 한계로 보인다. 앞에서 언급하였듯이 맘퀴스트 생산성 변화 지수 분석의 경우 특정 기간과 바로 전 기간과의 변화율을 나타내기 때문에 자료에 있어 특정 이유가 없더라도

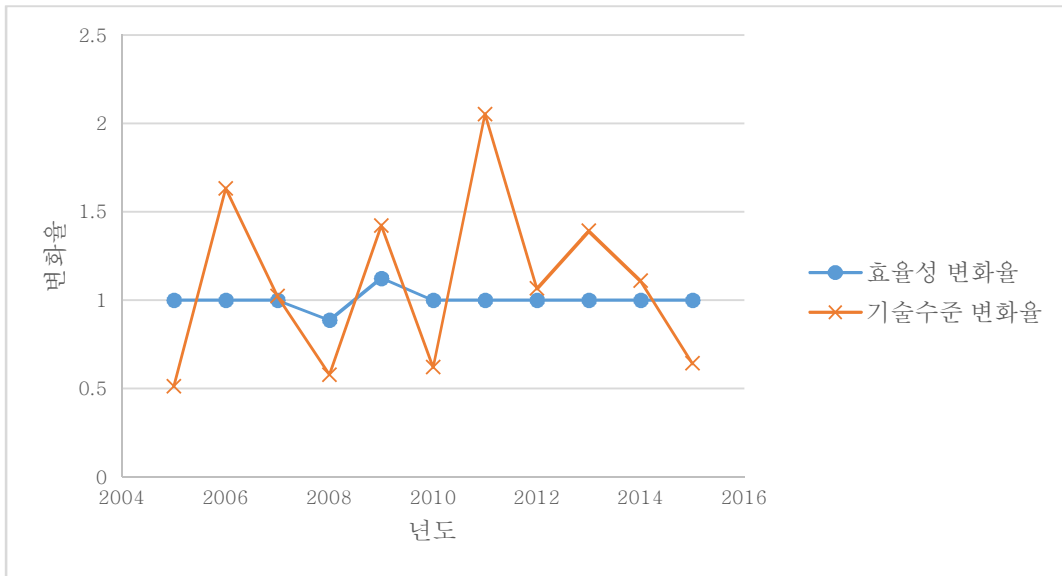
변화율이 크게 나타날 수 있다.



[그림 3] 영국의 효율성, 기술 수준 변화

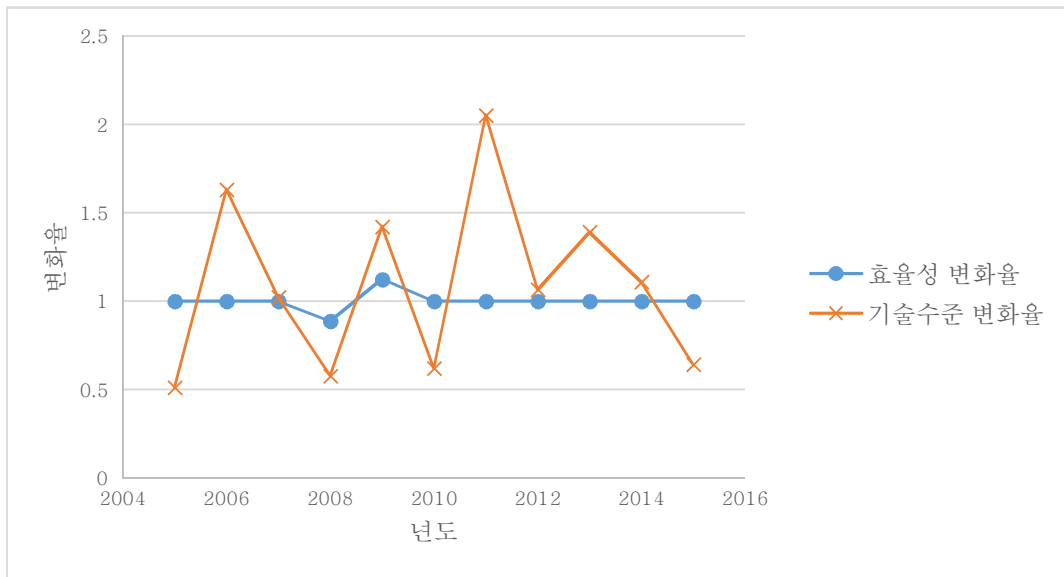
영국의 경우 효율성의 변화는 나타나지 않았지만, 기술 수준의 변화가 일어난 것을 알 수 있다. 평균 기술 수준 변화율이 1보다 큰 값을 가졌는데, 이를 통해 평균적으로 기술 진보가 일어난 것을 알 수 있다.





[그림 4] 아일랜드의 효율성, 기술 수준 변화

아일랜드 또한 영국과 마찬가지로 효율성은 변화가 거의 일어나지 않음을 볼 수 있었다. 반면, 기술 수준의 경우 연도별 변동 폭이 큰 것으로 나타났다.



[그림 5] 한국의 효율성, 기술 수준 변화

한국의 경우 효율성 변화는 거의 없는 것으로 드러났지만, 기술 수준 퇴보가 상당한 것으로 나타났다. 즉, 다른 의사결정단위의 기술 발전보다 더 늦은 발전 속도를 보인 것으로 보인다. 추후 R&D 활동에 있어 기술 혁신에 더욱 집중해야하는 것으로 보인다.

## 4.2 효율성 분석

맘퀴스트 생산성 변화 지수 분석을 통해 각 국가별 제약산업 혁신 활동에 대해 효율성, 기술 수준 변화를 통해 국가별 특징을 알 수 있었지만, 혁신 산출 요소 측면에서 다각도로 시간의 흐름에 따른 변화 패턴 및 특징은 알기 힘들었다. 따라서 추가적으로 메타효율변경분석과 자료포락분석을 통해 다양한 종류의 효율성에 대해 국가별 비교를 해보았다.

메타효율변경분석을 통해 20개 국가별로 연도별 특허, 논문, 의약품, 그리고 세 산출 요소를 모두 포함한 전반적 효율성을 도출하였다. 국가별 분석 기간 평균 효율성은 다음 [표 7]와 같다.

[표 7] 국가별 분석 기간 평균 효율성

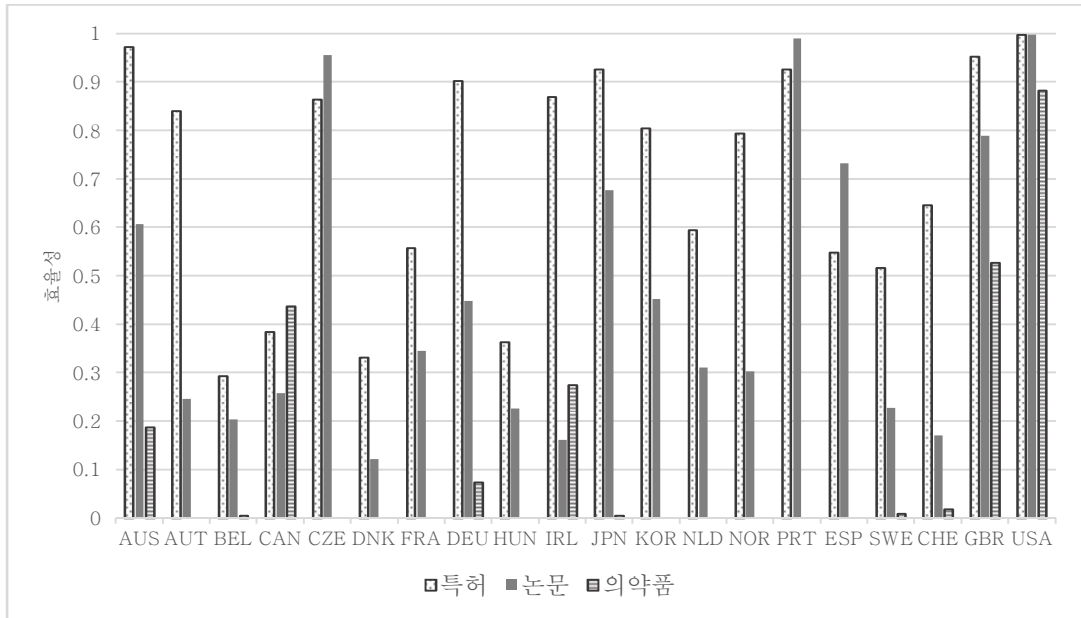
국가	특허	논문	의약품	전반적
AUS	0.8261	0.7859	0.1425	0.9470
AUT	0.5064	0.4136	0.0518	0.6139
BEL	0.2860	0.3379	0.0478	0.3933
CAN	0.4239	0.4356	0.5476	0.6672
CZE	0.7440	0.8865	0.1790	0.9044
DNK	0.2735	0.2088	0.0151	0.3180
FRA	0.7870	0.5038	0.0112	0.7977
DEU	0.8055	0.6892	0.0462	0.9003

HUN	0.3237	0.3194	0.0159	0.4039
IRL	0.5474	0.2151	0.3761	0.7516
JPN	0.8316	0.7312	0.0098	0.8759
KOR	0.8698	0.6138	0.0059	0.9162
NLD	0.6352	0.4794	0.0599	0.7007
NOR	0.7610	0.3540	0.0092	0.7679
PRT	0.4899	0.8279	0.1485	0.8532
ESP	0.4932	0.7914	0.0047	0.8353
SWE	0.4060	0.3475	0.0323	0.4951
CHE	0.8098	0.2686	0.1416	0.8132
GBR	0.8577	0.9153	0.6871	0.9711
USA	0.9306	0.9834	0.8863	0.9885

모든 산출 요소를 고려한 전반적 효율성의 경우 벨기에, 덴마크, 헝가리, 스웨덴을 제외한 대부분의 국가가 높은 효율성을 가짐을 볼 수 있었다. 평균 특히 효율성의 경우 호주, 독일, 일본, 한국, 스위스, 영국, 그리고 미국이 높은 값을 가졌다. 평균적으로 높은 논문 효율성을 보인 국가들은 체코, 포르투갈, 영국, 그리고 미국으로 나타났다. 반면 평균 의약품 효율성에서는 미국만이 높은 효율성을 보였다.

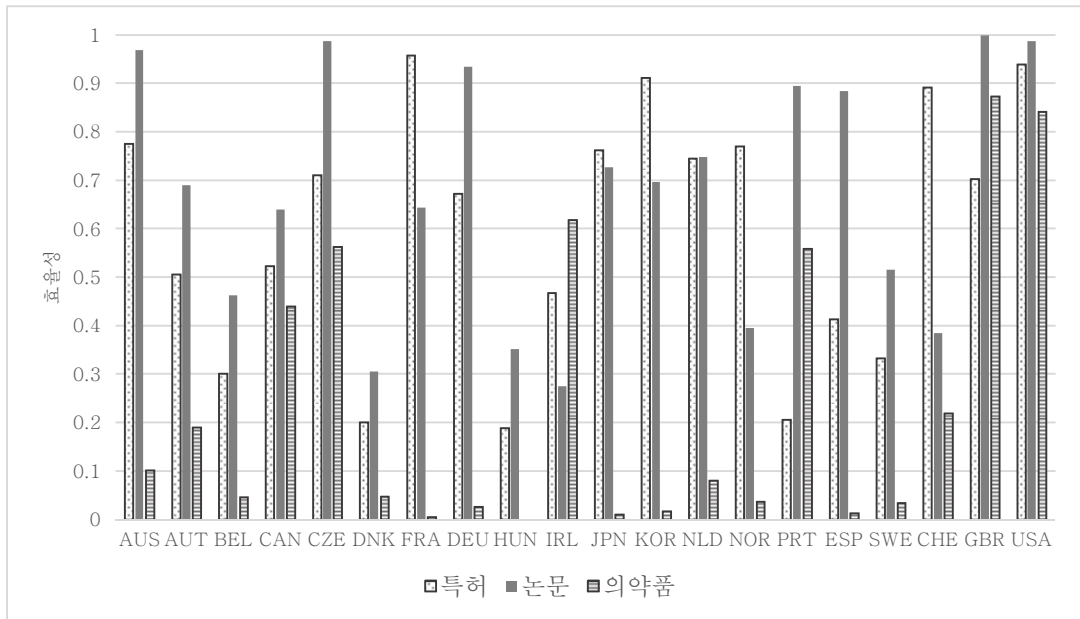
미국은 모든 산출 요소에 대해 높은 효율성을 가지는 것으로 분석되었다. 이는 미국이 다른 국가들이 비해 많은 R&D 자본과 기술을 효율적으로 활용하여 1위를 지키고 있는 것을 의미한다. 체코는 의약품을 제외한 모든 효율성에서 평균적으로 가장 효율적인 국가 중 하나인 것으로 드러났는데, 이는 체코가 특허, 논문, 수의 절대값은 작으나 투입한 R&D 지출, 연구인력, 협업의 수가 작아 상대적으로 높은 효율성을 보이는 것으로 짐작된다. 한국과 일본의

경우 평균적으로 의약품 효율성을 제외하고는 다소 높은 효율성을 가지는 것으로 나왔는데, 이를 통해 의약품 효율성 증가에 힘써야 함을 알 수 있다.



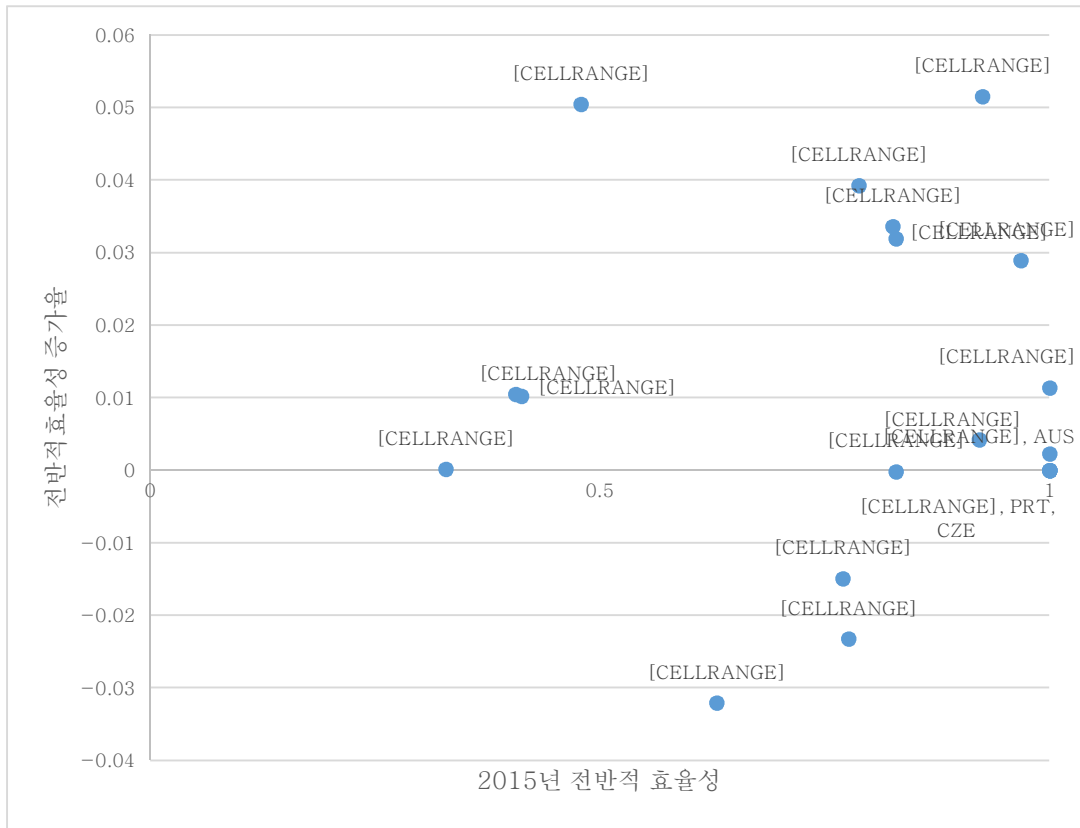
[그림 6] 국가별 효율성 (2004~2006 평균)

[그림 7]에서 산출 기준 2004~2006년 평균 특허, 논문, 의약품 효율성을 국가별로 비교해보았다. 몇몇 국가를 제외하곤 대부분의 국가에서 특허 효율성이 가장 높았으며 의약품 효율성이 제일 낮았다. 미국의 경우 세가지 효율성 모두 높은 것으로 나타났다.



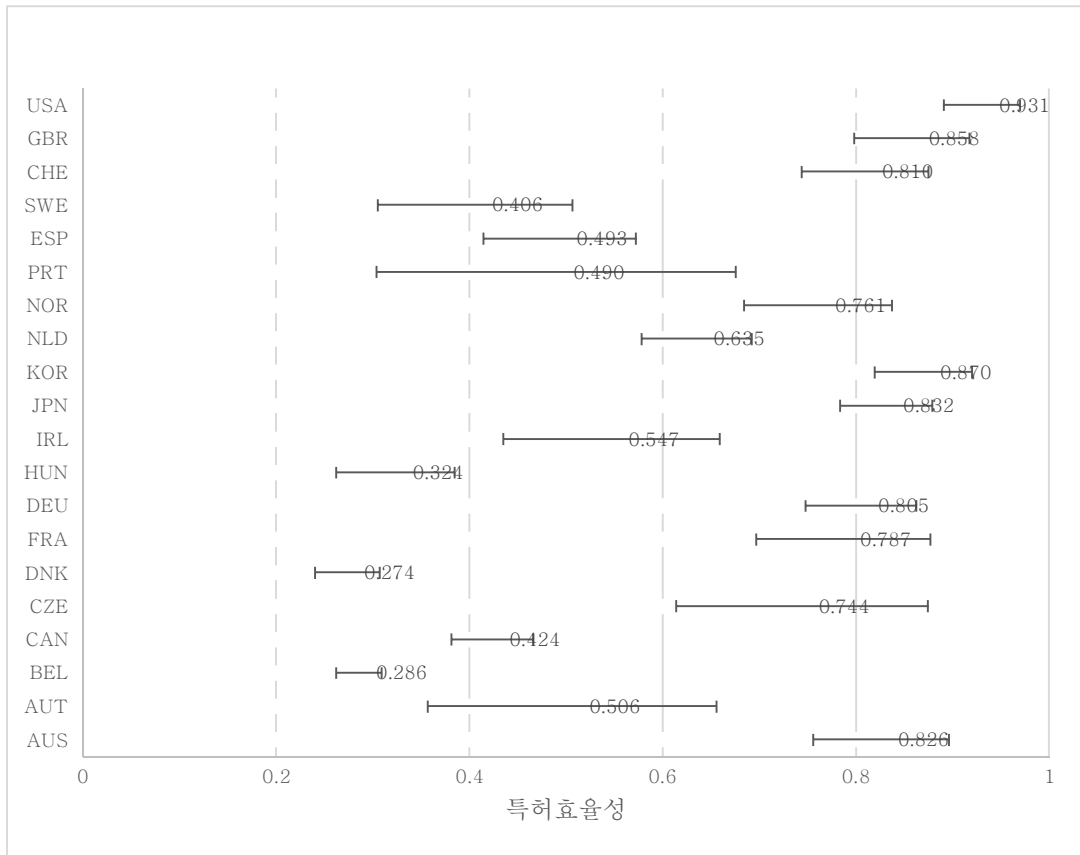
[그림 7] 국가별 효율성 (2013~2015 평균)

산출 기준 2013~2015년도 평균 효율성을 비교해보았을 때 이전보다 특허 효율성은 다소 감소하였지만 논문, 의약품 효율성이 증가한 국가가 많음을 볼 수 있었다. 미국은 여전히 가장 높은 효율성을 유지하는 것을 확인할 수 있었다.



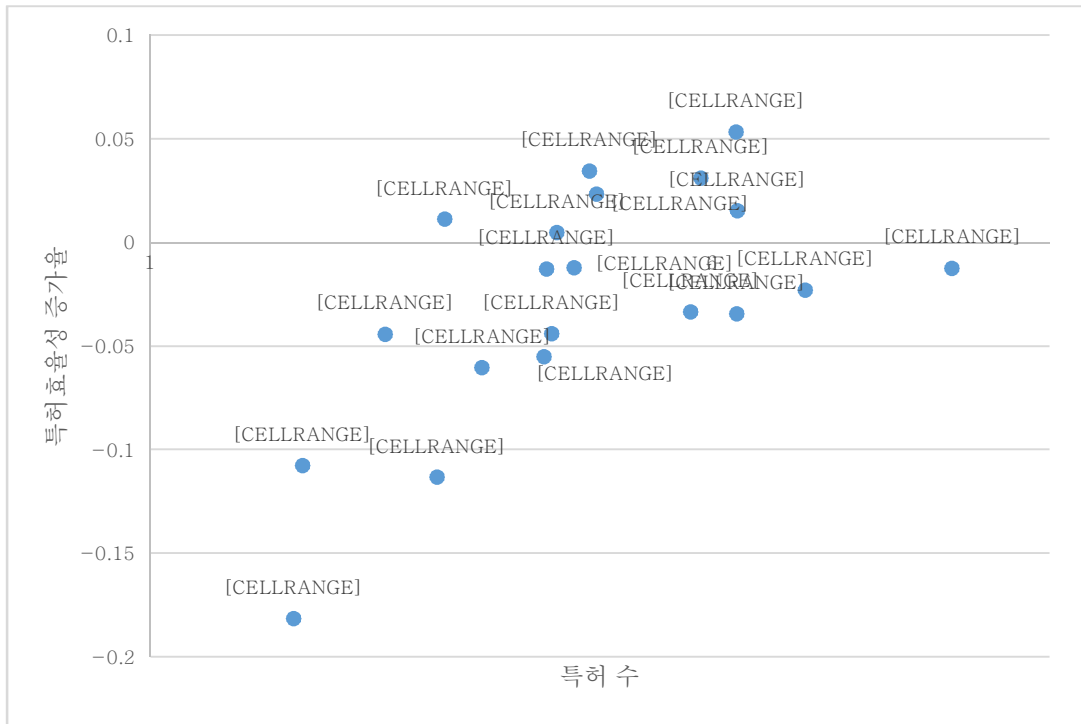
[그림 8] 2015년도 효율성 대비 연평균 증가율(전반적 효율성)

전반적 효율성의 경우 몇몇 국가를 제외하고는 대부분 효율성이 증가하거나 유지되어 고효율을 보임을 알 수 있다. 일본, 아일랜드, 오스트리아는 분석 기간 내 효율성이 감소하였다. 호주와 영국, 노르웨이는 효율성 증가로 2015년에는 생산 변경 상에 위치하게 됨을 볼 수 있다.



[그림 9] 국가별 효율성 추이(특허 효율성)

[그림 9]은 분석 기간 내 각 국가별 효율성의 평균 및 표준편차를 나타낸 것이다. 미국, 영국, 호주 등의 국가들이 평균적으로 높은 효율성을 유지하는 반면 스웨덴, 헝가리, 덴마크, 벨기에 등의 국가들은 낮은 효율성이 지속됨을 볼 수 있다. 또한, 벨기에, 덴마크 등의 국가는 분석 기간 동안 효율성 변화가 크지 않음을 볼 수 있다.

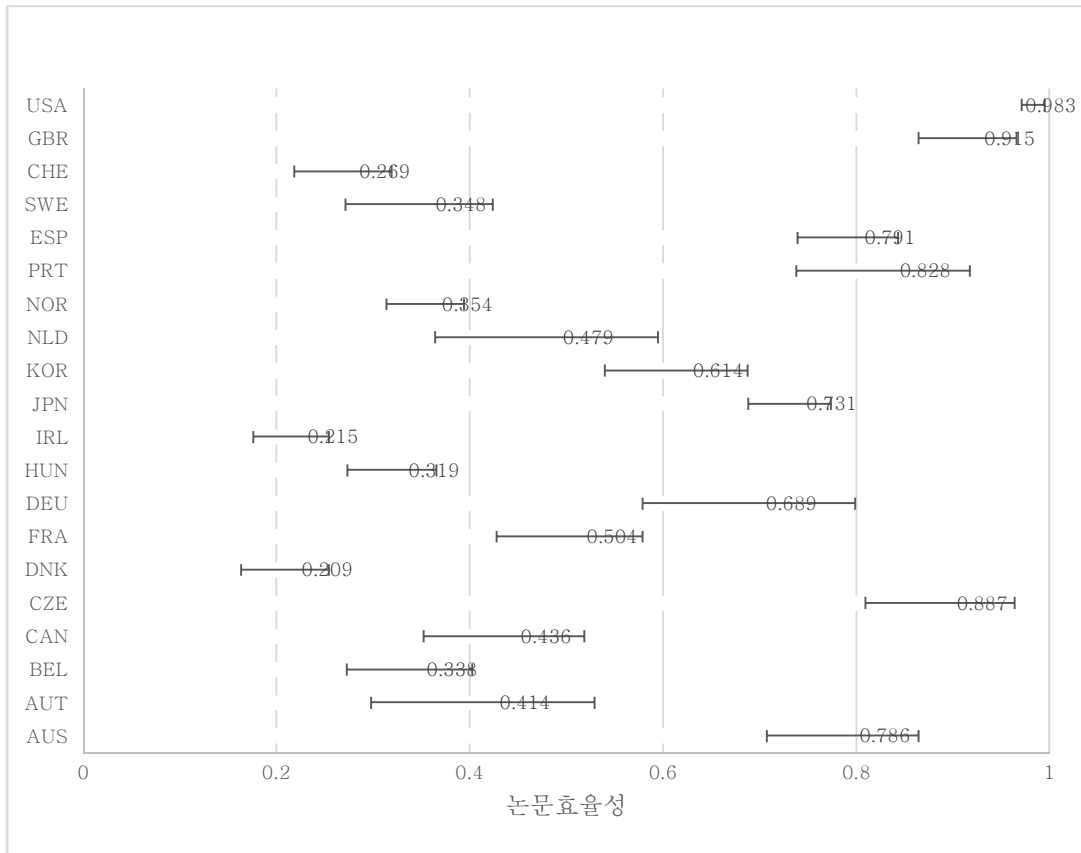


[그림 10] 특허 수 대비 특허 효율성 증가율<sup>5</sup>

특허 수 대비 효율성 증가율을 보면 평균 효율성이 높은 미국, 한국, 일본과 같은 국가들이 특허 수도 많음을 알 수 있다. 하지만 시간이 지남에 따라 많은 국가에 있어 특허 효율성 감소가 일어남을 볼 수 있다.

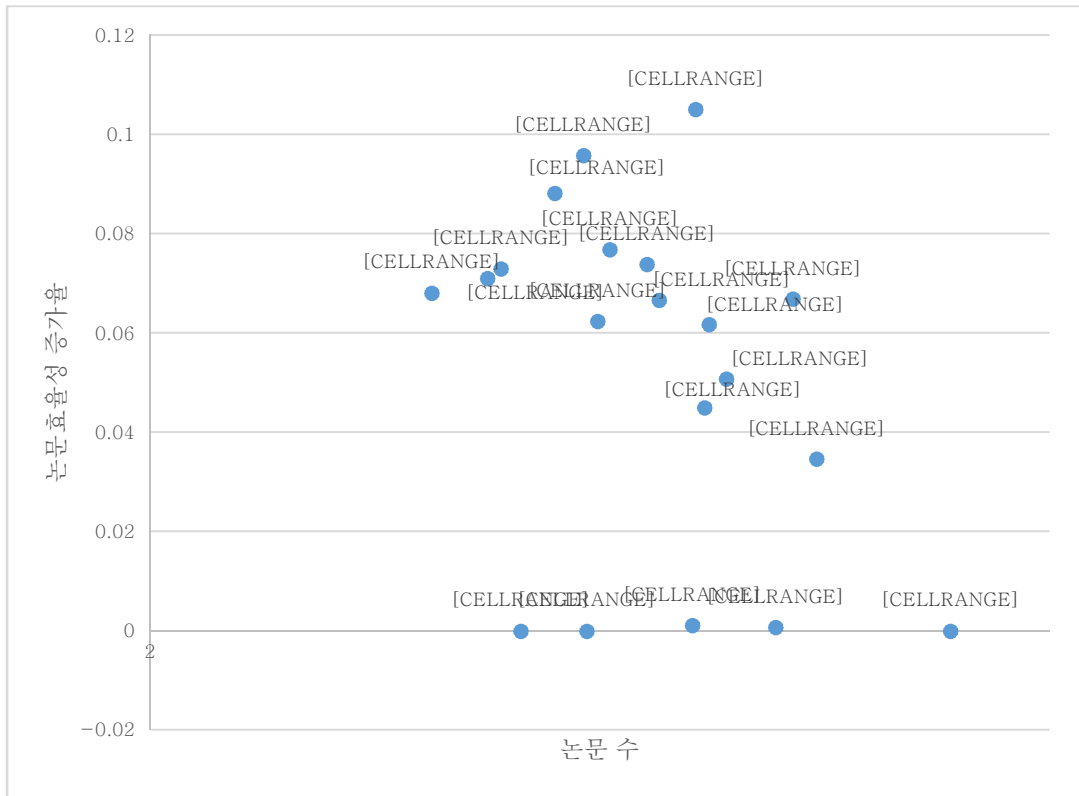
<sup>5</sup> 그림의 특허 수 데이터는 산출 기준 2015년도 각 국가의 특허 수의 ln을 취한 값이다.





[그림 11] 국가별 효율성 추이(논문 효율성)

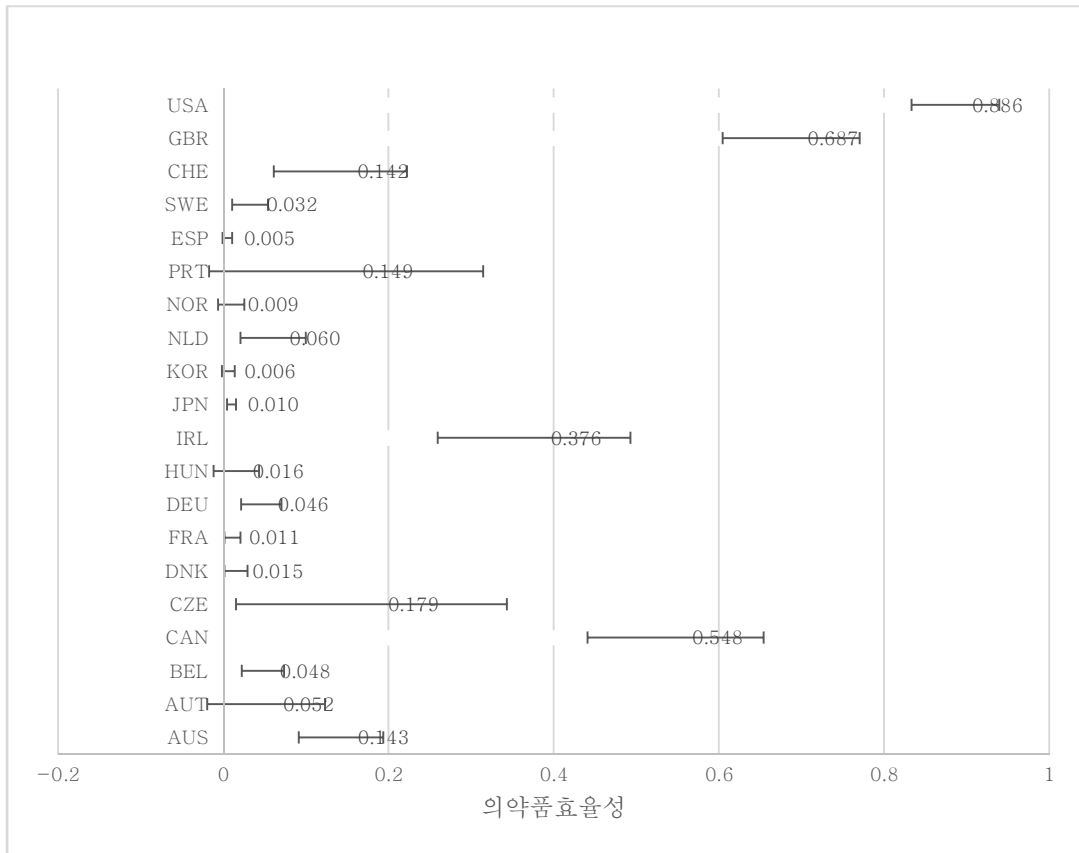
특허에 비해 논문 효율성은 많은 국가들이 비교적 낮은 효율을 갖고 있었으며 분석 기간 동안 효율성 변화도 크지 않음을 볼 수 있다. 미국과 영국, 포르투갈, 체코가 고효율을 유지하였으며 스위스, 아일랜드, 덴마크는 낮은 효율을 유지하였다. 한국의 경우 생산 변경 상의 국가에 비해 평균 약 39%의 비효율이 발생한 것으로 볼 수 있다.



[그림 12] 논문 수 대비 논문 효율성 증가율<sup>6</sup>

특히 효율성과는 달리 논문 효율성은 대부분의 국가에서 분석 기간 동안 효율성 개선이 일어났으며 효율성 감소가 일어난 국가를 찾을 수 없었다. 한국의 경우 양의 연평균증가율을 보였으며 생산 변경 상은 아니지만 다소 높은 효율성을 보임을 알 수 있다. 덴마크나 노르웨이의 경우 효율성 개선은 이루어졌지만 논문 수는 많지 않음을 알 수 있다.

<sup>6</sup> 그림의 논문 수 데이터는 산출 기준 2015년도 각 국가의 특허 수의 ln을 취한 값이다



[그림 13] 국가별 효율성 추이(의약품 효율성)

의약품 효율성의 경우 특히, 논문 효율성과는 매우 다른 양상을 띠었다. [그림 13]에서 볼 수 있듯이, 미국과 영국을 제외하고 대부분의 국가가 분석 기간 동안 매우 낮은 효율성을 보임을 알 수 있었다. 한국 또한 예외가 아니었는데, 한국은 분석 기간 동안 대부분 가장 낮은 효율을 보였다. 즉, 한국을 포함한 대부분의 국가가 특히 의약품 승인에 있어 매우 비효율적인 운영을 하고 있는 것을 알 수 있다.



마킹해야 하는지에 대한 정보는 쉽게 알 수 없었다. 이에 분석 기간 중 가장 최근에 가까운 산출 기준 2015년도에 대해 자료포락분석을 추가로 시행하였다. 자료포락분석을 통해 비효율이 발생하는 국가들은 생산 변경 상의 어떠한 국가를 참조하여 효율성을 개선시켜 나가야 하는지 참조 집합(벤치마킹)을 알 수 있다 (이정동 & 오동현, 2010). 비효율이 발생한 국가들에 대해 산출 기준 2015년 각 혁신 산출 별 참조 집합은 다음과 같다.

[표 8] 비효율 국가와 참조 집합<sup>8</sup>

국가	특허		논문		의약품	
	효율성	참조 집합	효율성	참조 집합	효율성	참조 집합
AUS	1		1		0.8582	IRL
AUT	0.6439	CZE	0.6515	PRT	0	
BEL	0.5344	CZE, KOR	0.5758	PRT, ESP	0.2874	CZE, IRL
CAN	0.7066	KOR, NOR	0.9306	AUS	1	
CZE	1		1		1	
DNK	0.3365	CZE, KOR	0.3904	ESP	0.0714	IRL
FRA	1		0.7878	ESP, GBR	0	AUT
DEU	0.8046	FRA, JPN	1		0.0258	CAN,
HUN	0.4795	CZE	0.4325	PRT	0	AUT, PRT
IRL	0.9513	CZE, NOR	0.4126	AUS, CZE, PRT	1	
JPN	1		0.7530	DEU	0.0256	PRT, USA
KOR	1		0.9664	ESP, GBR	0	AUT
NLD	0.8908	CZE, FRA, NOR	0.8796	AUS, PRT, ESP	0.4080	CAN, IRL
NOR	1		1		1	
PRT	1		1		0	X
ESP	0.5526	CZE, FRA, KOR	1		0	AUT
SWE	0.4365	CZE, FRA, KOR	0.4724	ESP	0.2529	IRL
CHE	1		0.5187	AUS, ESP, GBR	0.6983	CAN, IRL, GBR
GBR	0.9835	FRA	1		1	

<sup>8</sup> DEA 분석 후 람다( $\lambda$ )값이 0.1 이하인 참조 집합 국가는 표에 포함하지 않았다.

위의 표에서 알 수 있듯이 각 종류의 효율성마다 벤치마킹 국가들이 달라짐을 볼 수 있다. 특히 효율성의 경우 체코, 한국, 노르웨이, 프랑스, 일본이 대부분의 비효율 국가들의 벤치마킹 국가였으며, 논문 효율성의 경우 호주, 포르투갈, 스페인, 체코 등이 벤치마킹 국가로 선정되었다. 의약품 효율성에서는 체코, 아일랜드, 오스트리아 등이 벤치마킹 국가로 선정되었는데, 오스트리아의 경우 분석 기간 내 승인된 의약품이 부재함에도 동일하게 산출물이 부재한 국가에 비해 투입 요소가 적기 때문에 벤치마킹 대상으로 선정된 것으로 보인다.

흥미로운 점은, 거의 모든 산출요소에서 높은 효율을 보인 미국이나 영국의 경우 벤치마킹 국가에 대부분은 포함되지 않았다는 것이다. 이는 미국과 영국이 다른 국가들과는 다른 독특한 경로의 발전을 통해 지금의 높은 효율성을 유지하는 것으로 보인다. 오히려 체코 등 전세계 제약시장에서 큰 점유율을 차지 않는 국가들이 벤치마킹 국가로 여러 번 선정되었는데, 이는 이들 국가가 혁신 투입 요소를 산출 요소로 전환하는 효율성에 있어서 다른 국가들과 비슷한 발전 경로를 거쳤지만 자체적 역량을 통해 높은 효율성을 가지는 것으로 보인다. 따라서, 이들 국가가 자체적 역량을 증진시킨 정책을 분석하면 다른 국가들도 효율성을 개선할 수 있을 것으로 보인다.

한국은 특히 효율성의 경우 다른 국가들의 벤치마킹이 될 정도로 효율적이지만 의약품 효율성과 논문 효율성의 경우 스페인, 영국 등을 벤치마킹하여 효율성을 높이는 전략을 고안해야 함을 알 수 있다. 한국의 2013년 의약품 효율성에 대해서 벤치마킹 국가를 통해 목표치를 구해보면 다음과 같다.<sup>9</sup> 2013년 한국의 벤치마킹 국가로는 포르투갈 ( $\lambda = 0.619$ ), 영국 ( $\lambda = 0.374$ )로 선정되었다. 한국의 2013년 의약품 효율성 개선을 위한 산출 요소의 목표값은 다음과 같이 계산할 수 있다.

---

<sup>9</sup> 산출 기준 2015년에는 한국의 벤치마킹 국가로 오스트리아가 선정되었는데, 이는 오스트리아와 한국 모두 2015년 승인된 의약품 수가 0개지만 오스트리아가 투입 요소가 더 적기 때문인 것으로 보인다. 산출 목표치를 알기 위해 한국의 승인 의약품 수가 0보다 크고 가장 최근인 산출 기준 2013년 자료를 사용하였다.

$$\begin{aligned}
\text{목표값} &= 0.619 \times \text{PRT} + 0.374 \times \text{GBR} \\
&= 0.619 \times 23 + 0.374 \times 68 \\
&= 40 \dots \dots \dots \text{식 (4)}
\end{aligned}$$

한국의 산출 기준 2013년 FDA 승인 의약품 수는 3건이므로 투입한 혁신 요소 대비 의약품은 매우 적게 산출되고 있음을 알 수 있다. 마찬가지로 산출 기준 2015년 논문 수의 목표값은 약 676개임에 비해 실제 한국의 논문 수는 656개였다. 따라서, 효율적인 국가가 되기 위해 현재의 R&D 투자, 협업 투자 정도를 그대로 유지했을 때 논문과 승인 의약품 수를 어느 정도까지 증가시켜야 하는지 알 수 있다.



## 5. 결론

본 연구에서는 혁신 효율성 측면에서 제약산업의 역동적인 변화를 보고자 하였다. 연구 결과 생산 변경 상에 존재하는 효율적인 국가는 계속해서 높은 효율성을 유지하였으며 분석 기간 내에 추격이 일어나지 않음을 알 수 있었다. 어떠한 대상의 추격은 다른 선두 주자의 추락과 동시에 일어난다 (이근, 2014). 이러한 결과는 기술 수명 주기가 길고 독특한 특성을 가지고 있는 제약산업에서 후발 주자의 추격은 쉽지 않다는 기존 연구들과 상응한다. 제약산업 선두 주자들은 구축된 국가혁신시스템을 바탕으로 높은 효율성을 유지하고 있는 반면, 후발 주자들은 극적인 효율성 향상을 성공하지 못하였다.

가장 높은 효율성을 보인 국가는 전세계 제약산업의 매출 순위와 달랐다. 기존 연구에서 제약산업에서 대표적인 혁신 국가로 공공 및 사설 연구에 대한 정부의 지원 정책이 특징인 미국, 독일, 스위스, 유럽, 그리고 프랑스가 언급된다 (McKelvey & Orsenigo, 2001). 하지만 혁신 효율성 측면에서 가장 두드러지는 국가는 캐나다, 영국, 미국, 체코, 포르투갈 등으로 드러났다.

프랑스, 독일, 네덜란드, 일본을 포함한 다수의 국가들이 특허, 논문 효율성은 높았으나 의약품 효율성이 낮은 경우가 많았다. 이는 제약산업에 있어 연구 역량은 뛰어나나 그 역량이 상업화로 이어지는 혁신 시스템적 역량은 부족한 것으로 보인다. OECD (2006)에 따르면 프랑스, 독일, 일본, 네덜란드 등은 불완전한 혁신 시스템으로 인해 혁신 활동이 비효율적으로 운영되고 있는 것으로 보인다. 프랑스는 높은 세금으로 인해 신생 회사의 경쟁력이 저하되고 있으며 R&D 연구 문화 또한 산업 차원에서의 상업화에 많은 관심을 기울이지 않는다. 독일은 제약산업 주체간 상호작용이 많지 않고 제약바이오 분야의 경영, 경제, 그리고 엔지니어 연구 인력이 부족하다. 일본은 대형 제약회사가 내부에서 자체적으로 신약 개발 연구를 진행하며 산학 간 연구자 이동이 많지 않고, 네덜란드는 응용 연구는 활발하게 진행되고 있으나 기초 연구의 성장은 매우 더디고 대학과 같은 공공

연구로부터 결과 이용 및 상업화가 잘 이루어지지 않고 있다. 이는 모든 효율성이 낮았던 벨기에, 덴마크, 헝가리, 스웨덴, 스위스에도 마찬가지로 생각된다. 이러한 국가들이 효율성이 낮은 이유는 주로 기술 이전 전문가 부족, 연구자와 연구 기관 사이 지적재산권 분배 문제, 공시간 불충분한 연결 등 상업화 역량 부족으로 인한 시스템 전반에 걸친 불완전성 때문이며, 주체, 기능, 제도, 상호작용 등 여러 요인들로 인해 이러한 시스템 불완전성이 나타난 것으로 보인다 (OECD, 2006).

한국의 경우 혁신 산출 측면에서 특허, 논문 효율성은 높으나 의약품 효율성이 낮은 그룹에 속함을 알 수 있었다. 특히, 시간이 지남에 따라 의약품 효율성이 더욱 낮아졌는데 이는 혁신 자원 투입이 늘어나는 것에 비해 FDA에서 승인된 의약품 수는 늘지 않는 것을 의미한다. 실제로 한국의 R&D 지출액과 연구인력은 매해 증가함에 비해 FDA에서 승인을 받은 의약품은 몇몇을 제외하고는 매해 0건이었다. 한국은 앞서 살펴보았듯이 제약 산업 R&D 활동에 있어 의약품 승인까지의 단계 별로 산학 간 분업이 고착화되어 있으며 심한 기업간 양극화와 가격 경쟁에 집중하는 점이 혁신 시스템의 장애물로 작용한다 (윤강재 등, 2012). 추후 기술 혁신을 통해 다양한 역량을 키울 수 있도록 고착화된 분업을 없애고 보다 품질 경쟁에 힘쓸 수 있는 환경을 만들어 제약산업의 실질적인 생산물인 의약품 역량을 키우는 전략을 취해야 할 것으로 보인다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 우선 분석 방법의 한계가 있다. 맘퀴스트 생산성 변화 지수는 효율성 변화를 여러 각도에서 분석할 수 있다는 장점을 가지지만, 가장 큰 단점은 짧은 시점 안에 효율성과 기술 수준 변화가 발생하는지 알 수 없다는 것이다 (고길곤, 2017). 제약산업과 같이 맘퀴스트 생산성 변화 지수는 특정 시점과 그 직전 시점과의 변화를 나타낸 것이기 때문에 실제로 특정 두 시점 사이에 정책이나 환경적 변화가 없더라도 변화율이 크게 도출될 수 있다. 또한, 메타효율변경분석은 분석 기간 동안 동일한 생산 함수를 가진다고 가정하며, 자료포락분석은 측정된 효율성은 절대적 효율성이 아

닌, 생산 변경 상의 의사결정단위의 상대적 효율성이므로 의사결정단위가 변하면 그 값이 변할 수 있다는 단점을 가지고 있다. 본 연구 결과를 해석하는데 있어서 효율성 그 값보다는 시간에 따른 변화의 추이와 국가별 순위에 주안을 둔 것은 이러한 이유 때문이다. 산출 기준 자료포락분석 모형을 사용하였기에 혁신 투입 요소에 대한 정책적 시사점을 이끌어내지 못하였다는 단점도 있다.

본 연구에서는 수집의 한계로 20개 국가에 대해 12년간의 자료에 대해서 분석을 진행하였다. 새로운 신약을 개발하는데 있어 평균적으로 15년 이상의 시간이 소요되는 것을 고려할 때 본 연구의 분석 기간은 다소 짧다고 볼 수 있다. 추후 연구에서는 긴 시간에 대해 분석을 진행하여 기술 수명 이후 국가별 효율성 변동을 볼 수 있다. 또한, 분석 구간도 투입 요소의 경우 2012년까지, 산출 요소의 경우 2015년까지로 제한된 점이 매우 아쉽다. 분석 기간 이후의 자료에 대해 추가적으로 수집이 가능하다면 2010년 이후 블록버스터 신약의 특허 만료와 바이오시밀러 등 새로운 의약품의 등장이 제약산업에 있어 새로운 기회의 창을 제공할 수 있다 (이근 등, 2014). 또한 상업화 단계에 있어서도 임상 단계별로, 즉 파이프라인 별로 효율성을 다루지 못하였다는 한계도 있다.

인도와 중국과 같은 대표적인 과머징 국가를 분석 대상에 포함시키지 못한 것도 본 연구의 한계점을 꼽힌다. 중국은 급격한 기술 발전과 막대한 R&D 자본, 그리고 거대한 시장으로 전세계 제약산업에서 추후 선도 주자를 추격할 것으로 기대되는 신흥국가이다 (Niosi, 2014). 또한 인도는 재공학(re-engineering) 능력 강화, 바이오 기술과의 통합, 틈새 신약 개발 단계 집중의 방식을 통해 혁신 역량을 키우고 다양한 단계를 통해 마케팅 역량, 생산 역량을 향상시켜 선도 국가를 추격하는 방법을 사용하였으며 현재 인도 회사들은 대부분의 제너릭과 활성 원료(Active Pharmaceutical Ingredients, API)를 합성할 수 있는 역량을 가지고 있다 (Guennif & Ramani, 2010). 인도와 중국을 분석 대상에 포함시킬 경우 과머징 국가를 포함한 제약산업의 역동적인

변화를 알 수 있을 것이다.

본 연구에서 고려한 혁신 산출 요소 간 연관성을 추가로 분석해볼 수 있을 것이다. 국가마다 각 산출 요소에 있어서 효율성이 상이하지만 많은 국가에서 특허, 논문 효율성이 높은 반면에 의약품 효율성이 낮은 경향을 보였는데, 특허와 논문, 의약품 효율성 간 연관성을 네트워크 자료포락분석 등으로 알아볼 수 있을 것이다.

그럼에도 본 연구는 제약산업의 혁신을 효율성 측면에서, 그리고 국가 단위에서 분석해보았다는 것에 의의가 있다. 본 연구를 통해 국가별로 제약산업에 있어 어떠한 혁신 전략을 세워야 하는지 재고할 수 있다. 예를 들어 많은 국가에서 의약품 효율성이 낮기 때문에 상업화 역량을 키워야 함을 알 수 있다. 또한, 추격이 쉽지 않은 제약산업의 특징을 다시 확인할 수 있었다. 추격이 어렵다는 뜻은 반대로 선두 주자의 궤도에 오른다면 후발 주자로부터의 추격 걱정 없이 안정적인 시장을 얻을 수 있다는 것이다. 한국을 비롯하여 효율성이 낮은 국가들은 국가혁신시스템의 약점을 찾아 보완하여 다시금 추격을 시도해볼 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- Achilladelis, B. (1993). The dynamics of technological innovation: The sector of antibacterial medicines. *Research Policy*, 22(4), 279–308.
- Acs, Z. J., & Audretsch, D. B. (2003). Innovation and technological change. In *Handbook of Entrepreneurship Research* (pp. 55–79). Berlin: Springer Science&Business Media.
- Boussofiane, A., Dyson, R. G., & Thanassoulis, E. (1991). Applied data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 52(1), 1–15.
- Bunnage, M. E. (2011). Getting pharmaceutical R&D back on target. *Nat Chem Biol*, 7(6), 335–339.
- Burns, L. R. (2012). *The business of healthcare innovation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chen, C.-P., Hu, J.-L., & Yang, C.-H. (2014). An international comparison of R&D efficiency of multiple innovative outputs: The role of the national innovation system. *Innovation*, 13(3), 341–360.
- Cockburn, I., & Henderson, R. (1997). *Public–private interaction and the productivity of pharmaceutical research*. Cambridge: National Bureau of Economic Research.
- Cockburn, I., & Stern, S. (2010). Finding the endless frontier: lessons from the life sciences innovation system for technology policy. *Capitalism and Society*, 5(1).
- Cooper, W. W., Li, S., Seiford, L. M., Tone, K., Thrall, R. M., & Zhu, J. (2001). Sensitivity and stability analysis in DEA: some recent

- developments. *Journal of productivity Analysis*, 15(3), 217–246.
- Dahlman, C. J. (1994). Technology strategy in East Asian developing countries. *Journal of Asian Economics*, 5, 541–572.
- Díaz–Balteiro, L., Herruzo, A. C., Martínez, M., & González–Pachón, J. (2006). An analysis of productive efficiency and innovation activity using DEA: An application to Spain's wood–based industry. *Forest Policy and Economics*, 8(7), 762–773.
- Freeman, C. (1988). Japan: a new national system of innovation? In G. Dosi (Ed.), *Technical change economic theory*. London and New York: Pinter.
- Galambos, L., & Sturchio, J. L. (1998). Pharmaceutical firms and the transition to biotechnology: A study in strategic innovation. *Business History Review*, 72(2), 250–278.
- Gascon, F., Lozano, J., Ponte, B., & de la Fuente, D. (2017). Measuring the efficiency of large pharmaceutical companies: an industry analysis. *Eur J Health Econ*, 18(5), 587–608.
- Golany, B., & Roll, Y. (1989). An application procedure for DEA. *Omega*, 17(3), 237–250.
- González, E., & Gascón, F. (2004). Sources of productivity growth in the Spanish pharmaceutical industry (1994–2000). *Research Policy*, 33(5), 735–745.
- Guennif, S., & Ramani, S. (2010). *Catching up in pharmaceuticals: a comparative study of India and Brazil* (Working Paper Series #2010–019). UNU–MERIT
- Hagedoorn, J., Link, A. N., & Vonortas, N. S. (2000). Research partnerships1. *Research Policy*, 29(4–5), 567–586.
- Hashimoto, A., & Haneda, S. (2008). Measuring the change in R&D

- efficiency of the Japanese pharmaceutical industry. *Research Policy*, 37(10), 1829–1836.
- Haupt, R., Kloyer, M., & Lange, M. (2007). Patent indicators for the technology life cycle development. *Research Policy*, 36(3), 387–398.
- Hayami, Y. (1969). Sources of agricultural productivity gap among selected countries. *American Journal of Agricultural Economics*, 51(3), 564–575.
- Karlsson, M., Trygg, L., & Elfström, B.-O. (2004). Measuring R&D productivity: complementing the picture by focusing on research activities. *Technovation*, 24(3), 179–186.
- Lee, H. Y., & Park, Y. T. (2005). An international comparison of R&D efficiency: DEA approach. *Asian Journal of Technology Innovation*, 13(2), 207–222.
- Lee, S. K., Mogi, G., Lee, S. K., Hui, K., & Kim, J. W. (2010). Econometric analysis of the R&D performance in the national hydrogen energy technology development for measuring relative efficiency: The fuzzy AHP/DEA integrated model approach. *International journal of hydrogen energy*, 35(6), 2236–2246.
- Levin, R. C., Klevorick, A. K., Nelson, R. R., Winter, S. G., Gilbert, R., & Griliches, Z. (1987). Appropriating the returns from industrial research and development. *Brookings papers on economic activity*, 1987(3), 783–831.
- Lundvall, B.-Å. (1992). *National systems of innovation: An analytical framework*. London: Pinter.
- Lundvall, B.-Å. (2010). *National systems of innovation: Toward a theory of innovation and interactive learning* (Vol. 2). London: Anthem

press.

- Mansfield, E. (1988). Industrial R&D in Japan and the United States: A comparative study. *The American Economic Review*, 78(2), 223–228.
- Mazumdar, M., & Rajeev, M. (2009). *A comparative analysis of efficiency and productivity of the Indian pharmaceutical firms: a malmquist–meta–frontier approach*. Bangalore, India: Institute for Social and Economic Change.
- McKelvey, M., & Orsenigo, L. (2001). *Pharmaceuticals as a sectoral innovation system* (the ESSY Project and within the Epris Project). Retrieved from: <http://plg-group.com/wp-content/uploads/2014/03/Pharmaceuticals-as-a-Sectoral-Innovation-System-McKelvey-M.pdf>
- Narin, F. (1994). Patent bibliometrics. *Scientometrics*, 30(1), 147–155.
- Nasierowski, W., & Arcelus, F. (2003). On the efficiency of national innovation systems. *Socio–Economic Planning Sciences*, 37(3), 215–234.
- Nelson, R. R. (1982). The role of knowledge in R&D efficiency. *The quarterly journal of economics*, 97(3), 453–470.
- Nelson, R. R. (1993). National systems of innovation: a comparative study. In. Oxford: Oxford university press.
- Nelson, R. R., & Rosenberg, N. (1993). Technical innovation and national systems. In R. R. Nelson (Ed.), *National innovation systems: A comparative analysis*. Oxford: Oxford University Press.
- Niosi, J. (2014). Biotechnology: a case of delayed international convergence? *International Journal of Biotechnology*, 13(1/2/3).
- O’ Donnell, C. J., Rao, D. P., & Battese, G. E. (2008). Metafrontier



- frameworks for the study of firm–level efficiencies and technology ratios. *Empirical economics*, 34(2), 231–255.
- OECD. (1997). *National Innovation Systems*. Paris: OECD Publishing.
- OECD. (1999). *Managing national innovation systems*. Paris: OECD Publishing.
- OECD. (2001). *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard*. Paris: OECD Publishing.
- OECD. (2006). *Innovation in pharmaceutical biotechnology: comparing national innovation systems at the sectoral level*. Paris: OECD Publishing.
- OECD, & Group (CSIC), S. R. (2016). *Compendium of Bibliometric Science Indicators*. Paris: OECD Publishing.
- Pakes, A., & Griliches, Z. (1984). Patents and R&D at the firm level: a first look. In *R&D, patents, and productivity* (pp. 55–72): University of Chicago Press.
- Paul, S. M., Mytelka, D. S., Dunwiddie, C. T., Persinger, C. C., Munos, B. H., Lindborg, S. R., & Schacht, A. L. J. N. r. D. d. (2010). How to improve R&D productivity: the pharmaceutical industry's grand challenge. *Nature reviews Drug discovery*, 9(3), 203.
- Pisano, G. P. (2006). *Science business: The promise, the reality, and the future of biotech*. Boston: Harvard Business Press.
- Porter, M. E. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. New York: Free Press.
- Prevezer, M. (2001). Ingredients in the early development of the US biotechnology industry. *Small Business Economics*, 17(1–2), 17–29.
- Rafols, I., Hopkins, M. M., Hoekman, J., Siepel, J., O'Hare, A., Perianes–

- Rodríguez, A., & Nightingale, P. (2014). Big Pharma, little science? *Technological Forecasting and Social Change*, *81*, 22–38.
- Raghavendra, M., Raj, J. R., & Seetharaman, A. (2012). A study of decrease in R&D spending in the pharmaceutical industry during post-recession. *International Journal of Academic Research*, *4*(5).
- Revilla, E., Sarkis, J., & Modrego, A. (2003). Evaluating performance of public-private research collaborations: a DEA analysis. *Journal of the Operational Research Society*, *54*(2), 165–174.
- Richard, N. (1993). National innovation systems: a comparative analysis. Oxford: Oxford University Press.
- Scannell, J. W., Blanckley, A., Boldon, H., & Warrington, B. (2012). Diagnosing the decline in pharmaceutical R&D efficiency. *Nature reviews Drug discovery*, *11*(3), 191–200.
- Serrano-Cinca, C., Fuertes-Callén, Y., & Mar-Molinero, C. (2005). Measuring DEA efficiency in Internet companies. *Decision Support Systems*, *38*(4), 557–573.
- Soete, L., & Perez, C. (1988). Catching up in technology: entry barriers and windows of opportunity. In *Technical Change and Economic Theory*: London: Pinter Publishers.
- Solow, R. M. (1957). Technical change and the aggregate production function. *The review of Economics Statistics*, *39*(3), 312–320.
- Timmer, M. P. (2003). Technological development and rates of return to investment in a catching-up economy: the case of South Korea. *Structural Change and Economic Dynamics*, *14*(4), 405–425.
- Wang, E. C. (2007). R&D efficiency and economic performance: A cross-country analysis using the stochastic frontier approach. *Journal of Policy Modeling*, *29*(2), 345–360.

- Wang, E. C., & Huang, W. (2007). Relative efficiency of R&D activities: A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach. *Research Policy*, 36(2), 260–273.
- Werner, B. M., & Souder, W. E. (1997). Measuring R&D performance—state of the art. *Research–Technology Management*, 40(2), 34–42.
- You, T., Chen, X., & Holder, M. E. (2010). Efficiency and its determinants in pharmaceutical industries: ownership, R&D and scale economy. *Applied Economics*, 42(17), 2217–2241.
- Zhong, W., Yuan, W., Li, S. X., & Huang, Z. (2011). The performance evaluation of regional R&D investments in China: An application of DEA based on the first official China economic census data. *Omega*, 39(4), 447–455.
- 고길곤. (2017). *효율성 분석 이론 : 자료포락분석과 확률변경분석*. 고양: 문우사.
- 김석관. (2004). *제약산업의 기술혁신 패턴과 발전 전략* (정책연구 2004-12). 서울: 과학기술정책연구원.
- 김수범, & 신유원. (2017). *2017 제약산업 분석 보고서*. 청주: 한국보건산업진흥원.
- 서건석, 신유원, 정윤택, & 이가은. (2015). *2015년 제약산업 분석 보고서*. 청주: 한국보건산업진흥원.
- 성태경. (2005). *혁신시스템 이론의 비교분석과 정책적 시사점* (정책자료 2005-12). 서울: 과학기술정책연구원.
- 윤강재 등. (2012). *제약산업 구조 분석과 발전방향*. 서울: 한국보건사회연구원.
- 이근. (2005). *기술경제학의 다양한 접근을 종합한 기술추적론의 재구성* (정책자료 2005-17). 서울: 과학기술정책연구원.

- 이근. (2014). *경제추격론의 재창조*. 서울: 오래.
- 이근 등. (2014). *산업의 추격, 추월, 추락: 산업주도권과 추격사이클*. 파주: 21세기북스.
- 이정동, & 오동현. (2010). *효율성 분석이론: DEA 자료포락분석법*. 서울: IB Book.
- 최고봉, 김문정, 조인경, 김은성, & 허은녕. (2014). DEA기법을 활용한 국내 에너지기술개발사업 효율성 분석. *한국혁신학회지*, 9(2), 77-98.
- 한국공학한림원 바이오헬스 산업 정책위원회. (2018). *코리아 바이오헬스의 도전과 과제* (한국공학한림원 연구보고서 2018-01). 서울: 한국공학한림원.
- 허광숙, & 김정렬. (2007). 세계 철강기업의 기술적 효율성 요인 분석. *산업경제연구*, 20(5), 1785-1801.

## 부록 1 : 국가별 제약산업 혁신시스템

[표 부록 1] 국가별 제약산업 혁신시스템

국가	특징	핵심 동인(key driver)	장애물(key barrier)
벨기에	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국제적 S&amp;T 협업과 R&amp;D 협조금융 증가</li> <li>• 긴밀히 연결된 연구 기관 및 대학</li> <li>• 1980년대 벤처캐피탈 설립: The Investment Company of Flanders(GIMV)</li> <li>• 다소 짧은 바이오기술 산업</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전통이 깊은 과학기술, 유럽의 중심부 위치, 인적 자원을 통한 바이오 지역 클러스터 존재</li> <li>• 바이오기술에 이른 시기부터 투자</li> <li>• 지역, 연방 정부의 지원</li> <li>• 연구 공원과 혁신 센터</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 복잡한 혁신 지원 메커니즘</li> <li>• 연구 기반 기업에 대한 지속적인 지원이 없고 부족한 세금 체제로 인한 새로운 혁신 회사의 경쟁력 저하</li> <li>• 사업화 단계까지 부족한 지원</li> <li>• 대형 제약회사가 의학 바이오기술에 집중하지 않아 클러스터 효과가 낮음</li> </ul>
프랑스	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 두가지 전략: 제너릭 시장, 바이오 기술을 통한 신시장 개척</li> <li>• 스타트업들이 많이 생겼지만 여전히 기존 제약회사에 비해 작은 바이오 회사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인적자원: 연구직에 대한 관심은 높지만 고임금 등으로 인한 공급 주도 현상</li> <li>• 바이오 회사: 벤처캐피탈이나 회사 등을 통해 자원 조달</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시장 진입, 매출 성장에 대해 엄격한 규제</li> <li>• 높은 세금으로 인해 신생 회사의 경쟁력 저하</li> </ul>

독일	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 제약산업의 역사가 깊.</li> <li>• 1990년대 미국, 영국, 네덜란드에 비해 산업에서 입지가 약해졌지만 90년대 중반부터 다시 강화</li> <li>• 다른 국가들과 비교해서 R&amp;D 투자가 적은 편</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전통적인 대형 제약회사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 벤처캐피탈의 슬럼프와 구조 변화로 인한 타격</li> <li>• 관료주의적 시스템으로 인한 혁신 및 협업 저하</li> <li>• 추후 인력 부족이 문제가 될 것으로 보임</li> </ul>
일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>• R&amp;D 투자의 증가로 인해 바이오기술의 기초 지식 확장</li> <li>• 대학과 같은 공공 연구소 연구 결과의 상업화에 대한 정부 지원</li> <li>• 과학기술기본계획(the Science and Technology Basic Plans)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 외부 기관과의 R&amp;D 파트너십 장려</li> <li>• 공동 연구 프로젝트가 가장 많고 라이선싱(licensing), 아웃소싱(outsourcing)이 그 다음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대학 연구 인력의 경영 감각 부족</li> <li>• 외국 벤처 회사와 협업이 특정 분야로만 제한됨</li> <li>• 기업가정신의 부족</li> </ul>

<p>한국</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 내수 완제 의약품 생산이 대부분</li> <li>• 초고령화 사회로의 빠른 진입</li> <li>• 제네릭 중심의 생산</li> <li>• 약가가 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M&amp;A 증가</li> <li>• 신약 개발과 같은 투자 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 많은 중소 제조업체로 인한 과당 경쟁 및 기업 간 양극화</li> <li>• 상대적으로 강력한 사회적 규제</li> <li>• 품질보다는 가격 경쟁에 집중</li> <li>• R&amp;D 활동의 고착화된 분업</li> </ul>
<p>네덜란드</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1980년대부터 바이오기술 R&amp;D에 집중</li> <li>• 바이오기술 상업화에 대한 정부의 지지</li> <li>• 학계와 기업간 활발한 네트워크</li> <li>• R&amp;D 협업은 활발하지만 M&amp;A는 산업에 큰 영향을 끼치지 않음</li> <li>• 제약산업 지출의 높은 성장률</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사모펀드(private equity)의 종류가 다양</li> <li>• 산업과 학계 간 활발한 연구협력</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공공 R&amp;D 시스템과 산업 간 기술 이전이 제한됨</li> <li>• 상업, 법, 바이오 이슈에 대한 전문가 부족</li> <li>• 작은 기술 회사들의 소비자인 대형 제약회사 부족</li> <li>• 전문 인력의 부족</li> <li>• 바이오기술에서 지적재산권을 부여하지 않음</li> <li>• 기업가정신 부족</li> </ul>

<p>노르웨이</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적은 인구수로 인해 제약시장의 내수시장이 작음</li> <li>• 의약품 지출 비율이 낮음</li> <li>• 유전자변형식품과 같은 바이오기술에는 회의적이지만 의학 관련 바이오 기술에는 긍정적</li> <li>• ICT, 바이오기술, 재료기술, 수경재배, 해양 공학에 집중 투자</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유럽시장에의 높은 접근성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전문인력부족</li> <li>• 매우 적은 벤처 캐피탈</li> </ul>
<p>스페인</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 세가지 종류의 바이오 회사: 바이오회사에 전념한 회사, 부분적으로 의존하는 회사, 바이오 기술을 사용하는 회사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전문 인력이 충분함</li> <li>• 혁신 활동을 지원하는 다양한 정책</li> <li>• 공/사 간 협업 증진</li> <li>• 바이오인큐베이터 (bioincubator) 의 발전</li> <li>• 효율적 기술 이전</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 의사결정자들 사이 연구 문화의 결여</li> <li>• R&amp;D 활동을 지원할 공공자금의 부족</li> <li>• 낮은 특허율</li> <li>• 기술이전 비용 증가</li> <li>• 작은 바이오 회사에 대한 규제 및 규범 결여</li> </ul>



미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대형 제약회사들이 의약품 이외에도 보건, 동물 건강 등 넓은 경영 영역을 보유</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 활발한 공공 연구</li> <li>• 학계-산업간 긴밀한 상호작용</li> <li>• 다수의 다국적 제약기업</li> <li>• 세계 1 위 제약시장</li> <li>• 정부의 적극적인 제약산업 지원</li> <li>• 엄격한 규제 시스템</li> </ul>	
----	---	---	--

출처: (Niosi, 2014; OECD, 2006; 김석관, 2004; 김수범 & 신유원, 2017; 서건석 등, 2015)를 저자가 재구성

## 부록 2 : 제약산업 혁신 투입 요소(R&D 지출액) 국가별 기초 통계량

[표 부록 2] 제약산업 R&D 지출액 국가별 기초 통계량

국가	평균	표준편차	최소	최대
호주	231.08	67.71	145.41	337.98
오스트리아	231.05	60.76	163.08	324.94
벨기에	1182.09	432.37	715.07	2169.47
캐나다	646.63	188.88	339.75	870
체코	40.36	11.53	19.32	53.53
덴마크	753.37	151.95	540.47	1059.49
프랑스	1094.97	98.47	952.00	1230.87
독일	3922.78	662.53	2646.13	4746.72
헝가리	150.94	52.34	79.35	223.14
아일랜드	191.27	64.43	71.25	279.54
일본	10118.74	1630.58	7379.51	11885.82
한국	478.93	235.2159	216.92	929.66
네덜란드	489.45	92.02	316.24	634.68
노르웨이	57.49	10.43	46.13	86.46
포르투갈	91.36	38.62	45.24	151.59
스페인	639.21	125.84	375.22	770.64
스웨덴	987.89	254.33	708.57	1409.05
스위스	4046.198	915.40	2304.67	5049.22
영국	677.95	63.75	546.68	803.85
미국	35819.13	14667.28	10137	49415

(단위: million USD)

### 부록 3 : 제약산업 혁신 투입 요소(R&D 연구인력) 국가별 기초 통계량

[표 부록 3] 제약산업 R&D 연구인력 국가별 기초 통계량

국가	평균	표준편차	최소	최대
호주	561.37	138.54	344.80	698.10
오스트리아	572.93	160.67	406.55	951.10
벨기에	2159.58	467.31	1477.81	2863.12
캐나다	2618.33	622.41	1696	3526
체코	210.61	42.09	153	265.33
덴마크	2656.02	361.44	2181.97	3403.20
프랑스	6069.79	3482.70	2471.40	10126.90
독일	6440.76	740.30	5842	8120
헝가리	1236.17	291.36	848	1655
아일랜드	368.86	68.50	286.50	480.27
일본	21248.58	760.20	19611	22651
한국	3864.76	946.57	2655.50	5673.49
네덜란드	1128.63	232.07	733.47	1518
노르웨이	284.58	32.33	209	334
포르투갈	253.23	109.99	129.72	413.30
스페인	1975.40	218.18	1625.60	2255.25
스웨덴	3032.16	616.82	2006	3997.22
스위스	2104.19	835.95	1172	3126.25
영국	1420.56	154.14	1204.50	1638.70
미국	85948	24914.07	39600	116521.90

(단위: 천 명)

## 부록 4 : 제약산업 혁신 투입 요소(협업 건수) 국가별 기초 통계량

[표 부록 4] 제약산업 협업 건수 국가별 기초 통계량

국가	평균	표준편차	최소	최대
호주	34.92	14.71	15	59
오스트리아	5.58	3.15	0	11
벨기에	23.33	8.56	10	39
캐나다	66.83	23.42	40	98
체코	1.08	1.00	0	3
덴마크	25.50	8.11	14	39
프랑스	41.58	10.00	27	53
독일	75.67	27.12	30	106
헝가리	2.42	1.31	1	5
아일랜드	13.08	5.12	5	21
일본	84.75	19.09	43	109
한국	24.05	9.12	11	46
네덜란드	24.17	9.50	11	38
노르웨이	5.83	3.95	1	15
포르투갈	3.25	1.48	1	6
스페인	13.58	4.60	6	21
스웨덴	19	6.81	4	30
스위스	70.58	21.14	40	98
영국	114.08	38.22	54	152
미국	622.42	120.24	398	753

(단위: 건)

## 부록 5 : 제약산업 혁신 산출 요소(특허 건수) 국가별 기초 통계량

[표 부록 5] 제약산업 특허 건수 국가별 기초 통계량

국가	평균	표준편차	최소	최대
호주	115.77	18.21	92	141.3
오스트리아	46.85	18.52	29.3	80.1
벨기에	111.53	20.97	79.9	151.8
캐나다	181.62	30.41	134.7	235.2
체코	14.76	4.11	8.3	22
덴마크	107.95	23.64	68.4	151
프랑스	452.02	78.09	323.3	544.5
독일	619.18	90.60	485.4	743.9
헝가리	20.32	5.06	10.5	28.7
아일랜드	55.50	16.80	37.1	103.4
일본	970.96	120.24	816.7	1201.1
한국	343.90	134.188	147.9	503.8
네덜란드	166.43	19.08	143.6	213.9
노르웨이	32.81	6.34	20	45.3
포르투갈	10.65	4.01	4.9	16.4
스페인	131.20	29.56	68.4	180
스웨덴	141.97	62.53	58.1	235.7
스위스	397.61	37.52	344.4	471
영국	377.60	68.71	274.1	465.8
미국	3505.25	269.15	3176.9	3977.3

(단위: 건)

## 부록 6 : 제약산업 혁신 산출 요소(논문 수) 국가별 기초 통계량

[표 부록 6] 제약산업 논문 수 국가별 기초 통계량

국가	평균	표준편차	최소	최대
호주	342.25	112.96	189	553
오스트리아	105.42	40.84	53	172
벨기에	204.83	50.77	130	275
캐나다	418.92	83.66	258	547
체코	81.58	27.93	51	132
덴마크	135.08	50.04	58	215
프랑스	441.50	40.00	284	571
독일	802.50	184.72	545	1099
헝가리	64.25	19.90	31	102
아일랜드	64.75	25.87	27	113
일본	952.50	68.46	838	1080
한국	373.58	153.01	141	656
네덜란드	255.33	70.15	173	372
노르웨이	50.33	9.35	33	66
포르투갈	109.67	61.00	35	221
스페인	392.17	88.75	232	503
스웨덴	192.25	43.33	129	268
스위스	280.42	67.23	201	387
영국	1078	129.70	823	1319
미국	3180.75	391.85	2445	3738

(단위: 개)

## 부록 7 : 제약산업 혁신 산출 요소(승인 의약품 수) 국가별 기초 통계량

[표 부록 7] 제약산업 승인 의약품 수 국가별 기초 통계량

국가	평균	표준편차	최소	최대
호주	5.83	4.02	0	12
오스트리아	0.50	0.90	0	3
벨기에	2.92	3.34	0	11
캐나다	39.75	15.91	19	68
체코	0.92	1.56	0	4
덴마크	0.92	1.73	0	6
프랑스	0.75	1.29	0	4
독일	4.83	4.97	0	14
헝가리	0.33	1.15	0	4
아일랜드	12	8.58	0	31
일본	1.83	2.12	0	6
한국	0.33	0.89	0	3
네덜란드	3.08	3.90	0	13
노르웨이	0.08	0.29	0	1
포르투갈	5.5	12.70	0	40
스페인	0.25	0.62	0	2
스웨덴	1.92	2.61	0	7
스위스	8.83	9.31	0	28
영국	43.75	12.13	25	68
미국	674.58	140.59	473	906

(단위: 개)

## Abstract

Innovation efficiency is important factor in pharmaceutical industry, which is characterized as long research period, high R&D expenditure, high uncertainty, and long cycle time technology. Previous studies on innovation in pharmaceutical industry have mainly focused on management performance of firms in specific countries. In this research, however, innovation in the aspects of efficiency in several countries was analyzed quantitatively and in diversion.

In order to analyze efficiency of pharmaceutical industry of 20 countries, the Malmquist productivity index, Meta frontier analysis and Data Envelopment Analysis were used. The Malmquist productivity index can be divided and investigated into the efficiency change and the technical change. Also, Meta-frontier analysis with Data Envelopment Analysis shows relative efficiency of Decision Making Units within period. Analysis period is from 2001 to 2012 for input variables and from 2004 to 2015 for output variables, considering time lag in innovation activity. R&D investment, number of researchers, and network capacity (the number of collaborations) in pharmaceutical industry were considered as input variables, and the number of FDA approved drugs, publications, and patents were considered as output variables.

In this study, change of efficiency and technology level of each country were found. In addition, there was no significant change in efficiencies – countries which belong to low efficiency group could not catch-up countries in high efficiency group. The results correspond with several researches; it is difficult for following countries to catch-up



leading countries in pharmaceutical industry because of long cycle time technology and unique industrial features. In addition, in many countries including South Korea, the patent and publication efficiency were high while approved drug efficiency was remarkably low. It is clear that many countries need to enhance their commercialization capabilities. Furthermore, benchmarking countries that could be referred to improve efficiency in inefficient countries were found.

This study expands the scope of research on the innovation efficiency in the pharmaceutical industry and is expected to contribute to policies for improving innovation activity in inefficient countries including South Korea.

Keywords: Pharmaceutical industry, Innovation efficiency, Meta frontier analysis, Malmquist productivity index

Student Number: 2017-28951