韓國IT서비스學會誌
第16卷 第4號
2017年 12月, pp.1-13

Journal of Information Technology Services
https://doi.org/10.9716/KITS.2017.16.4.001

비모수 프런티어 접근을 통한 ICT 효율성 분석 연구*

김창희** · 양홍석*** · 김수욱****

An Efficiency Analysis of Information and Communications Technologies (ICT) using Nonparametric Frontier Analysis*

Changhee Kim** · Hongsuk Yang*** · Soo Wook Kim****

■ Abstract ■

This study examines how specific technology from Information and Communications Technology (ICT)-which plays a critical role in increasing productivity by promoting a spread of technology across the society though the use of big data, mobile or wearable devices-impacts of the productivity of society and productivity of added values, respectively. The impact of technology was studied from the perspective of efficiency levels of input. In order to provide an analysis, we have categorized ICT into 16 specific technologies and have set the number of companies and number of employees each as an input factor while setting the respective output and the output of added values as an output factor. Afterwards, we have applied data envelopment analysis (DEA) which is a form of nonparametric frontier analysis and measured the productivity and efficiency of added values for each technology. According to the analysis results, there were 2 technologies by the CRS standards, and 3 technologies by the VRS standards that showed relative efficiency levels. We have also presented some efficiency improvement strategies for specific technologies that revealed relative inefficiency and offered a reference set and projection point. In addition, we provide an analysis on scale efficiencies (SE), diminishing returns to scale (DRS), and increasing returns to scale (IRS) of each ICT.

Keyword : Information and Communications Technology(ICT), Data Envelopment Analysis(DEA), Nonparametric Frontier Analysis, Efficiency of Technology

Submitted : July 26, 2017 1st Revision : September 11, 2017 Accepted : September 23, 2017

* 본 논문은 서울대학교 경영연구소의 지원에 의하여 연구되었음.

** 서울대학교 경영대학 강사
*** 서울대학교 경영대학 부교수, 교신저자
**** 서울대학교 경영대학 교수

1. 서 론

본 연구에서 다루고자 하는 ICT(Information and Communication Technology)는 OECD에 의하면 '자료와 정보를 전자적으로 확보하고, 전달하고, 표현하는 기술'로 정의된다. Bosworth and Triplett (2007)에 의하면 정보통신 기술은 사회 전반으로의 기술 파급을 촉진시켜 생산성을 향상시키는 데 중요한 역할을 하고 있다. 최근에는 빅데이터, 모바일, 웨어러블 기기 등을 기반으로 한 사물 인터넷으로의 발전이 일어나며 ICT에 대한 관심이 더욱 높아지고 있는 추세이다.

OECD에서 2010년에 발표한 자료에 따르면 세계의 ICT 산업은 약 4% 정도의 성장률을 보이고 있고, 앞으로도 계속 성장할 것으로 예상된다. 이로 인해 ICT 관련 업종의 고용이 꾸준히 늘어나 OECD 국가 총 고용의 20%를 차지하고 이와 관련되어 ICT 인재를 구하는 수요도 증가하고 있다. 또한 ICT 제품의 전 세계 무역량 중 50%가 OECD 국가를 제외한 국가들에게서 일어나며 주요 글로벌 투자자로 변모하고 있다.

또한, Fukugawa(2006)에 따르면 ICT는 부가가치를 창출한다. 이와 관련하여 OECD에서 발표한 ICT 산업의 부가가치와 관련된 국가들의 사례를 살펴보면, 미국의 경우 2002년부터 2009년까지의 ICT 연평균 성장률이 8.7%, 일본은 10.4%, 한국은 10.0%, 독일 7.7%로 매우 빠르게 산업이 성장하고 있는 것을 볼 수 있다. 하지만 각 국가별로 세부 통계를 살펴보면 각 ICT 세부 기술에 대한 비중이 다르며, 성장률도 다른 현상을 보인다. 이는 각 국가별로 ICT 세부 기술에 대한 투자 및 부가가치 유발액, 생산성이 다름을 시사한다.

이처럼 빠른 ICT 산업의 성장과 더불어 ICT의 활용이 국가 경쟁력의 근간인 생산성, 부가가치 유발에 미치는 영향에 대한 연구 역시 활발하며 다양해지고 있다. Jorgenson and Stiroh(2000)과 Oliner and Sichel(2000)은 ICT의 혁신이 생산성을 증가시키고 이를 통해 부가가치를 창출하여 더 빠른 경제 성장으로 연결된다는 점을 강조하였다. 이와 같은 ICT 산업의 중요성과 파급 효과로 인해 ICT 산업은 곧 국가 경쟁력을 평가하는 데 있어 지표로 사용되고 있다. 이에 본 연구에서는 한국 내의 ICT 산업을 이루는 세부 기술들을 살펴보고, 각 기술들이 사회에 미치는 영향인 생산성과 부가가치를 향상시키는 데 있어서 투입대비 효율성을 비교한다.

2. 이론적 배경

2.1 ICT와 글로벌 사회

기술은 사회에 많은 영향을 미친다. Tanebaum (2003)에 따르면 컴퓨터를 활용한 통신 기술의 발달로 중앙 집중식 유형에서 분할되고 능동적인 네트워크를 가능하게 하였다고 언급하였으며, Kelly (1994)와 Lucas(1975)는 정보 기술의 발달로 인해 기업의 경쟁력과 생산성이 높아진다는 사실을 증명하였다. 이러한 정보 기술의 발달로 인해 글로벌화된 현재의 사회에서 각 기업은 해외 지사와의 활동을 연계시킬 수 있게 되었으며(Carlyle, 1988), 글로벌 정보 시스템으로 발전하게 되었다(Konsynski and Karimi, 1993).

이러한 정보통신 기술의 투자가 가져오는 사회적 효용에 대한 기존 학자들의 견해는 대치된다. Loveman(1994)에서는 제조 기업을 대상으로 한 연구에서 정보화 기술에 대한 투자가 생산성 향상에 기여를 하지 못한다고 밝혔으며, 이 외에도 여러 학자들의 정보통신 기술이 사회 전체의 생산성에 음의 영향을 주고 있다는 연구가 있다(Allen, 1997; Jorgenson and Stiroh, 1999). 이에 비해 Brynjolfsson and Hitt(1996)에서는 정보화 기술에 대한 투자가 생산성에 긍정적인 영향을 끼친다는 연구 결과를 발표하였으며, Nordhaus(2002)에서도 정보통신 기술의 이용 확대가 사회 전체에 부가가치를 창출한다고 언급하고 있으며 Wang (1999)에서는 타이완의 경제 발전을 ICT로 설명하였다.

이처럼 대한 기존 학자들의 견해가 상반되는 이유에 대한 규명을 위하여 ICT 기술에 포함되는 통신 서비스, 방송 서비스, 방송통신융합서비스, 정보통신방송기기, 소프트웨어 등 세부 기술에 대한 효율성 측정을 시도한 연구는 전무한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 ICT 기술을 세부 기술들로 나누어 각 기술들 간의 투입 변수와 산출 변수를 수집하고 이를 통해 각 기술들 간의 부가가치 창출 효율성 및 생산 효율성을 분석하여 사회에 미치는 영향을 분석하는 데 그 목적이 있다.

2.2 ICT의 효율성 분석 연구

일반적으로 기술적 효율성과 생산성은 Charnes et al.(1978)에 의해 개발된 Data Envelopment Analysis(DEA)를 통해 측정되거나 통계 분석을 통해서 측정되어 왔다. Chen and Ali(2004)는 컴퓨터 산업 부문의 생산성을 측정하였고, Aristovnik (2012)에서는 교육 성과에서의 ICT의 효과를 EU와 OECD 국가들을 대상으로 측정하였다. Scholochow et al.(2010)에서는 호텔에서 ICT의 효과와 효율성에 대하여 three stage DEA approach를 통해 검증하였으며, Paganetto et al.(2003)은 ICT의 투자, 생산성과 효율성에 대하여 연구하였고, Milana and Zeli(2002)는 ICT가 생산성에 미치는 효율성 정도에 대하여 연구하였다. 또한 Susiluoto(2003)에서는 ICT가 지역 경제의 효율성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

이와 같이 다양한 분야에서 ICT가 미치는 영향에 대한 연구가 진행되었지만, ICT의 세부 기술이 사회 전반의 생산성에 미치는 영향이나 부가가치를 창출하는 영향에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 기존 연구에서 공통적으로 사용된 투입 요소로써 ICT의 각 세부 서비스 별 업체수와 종사자 수를 설정하고, 생산액과 부가가치 유발액을 산출 요소로 설정하여 Data Envelopment Analysis를 통해 각 기술별 사회 전반에 미치는 영향의 효율성에 대해 분석한다.

2.3 한국의 ICT 특성 및 선행 연구

Korea Communication Commission에서 2011년에 발표한 자료에 따르면 한국의 ICT 산업은 2000년대 초반의 빠른 성장세가 점차 둔화되고 있는 추세이며, GDP 성장률에 20% 이상의 기여를 하고 있다. 하지만 이와 동시에 전체 설비 투자 대비 31.8%의 높은 수준을 유지하고 있으며, 전체 R&D 산업 투자액의 50%가 넘는 투자가 이루어지고 있다. 이를 통해 한국에서 ICT 기술은 사회 발전의 중추를 담당하며 가장 기대 받는 기술이라고 할 수 있다.

현재 한국의 ICT 국제 경쟁력 평가 현황을 살펴보면 2011년 기준으로 정보통신 발전 지수와 전자 정부 발전 지수에서 세계 1위를 차지하고 있다. 하지만 네트워크 준비 지수, 디지털 경제 지수, IT 산업 경쟁력 지수 등에서는 모두 10위권 밖에 위치하고 있다. 이는 한국의 ICT에 대한 평가가 엇갈리고 있는 것이며, 원인으로는 각 지수 평가 기관들의 개별 지표들이 다르기 때문일 것으로 추정된다. 이에 따라 본 연구에서는 한국 정보통신 진흥협회(Korea Association for ICT Promotion)가 제시한 한국 ICT 분류 기준으로 19가지의 기술들 중, 결측값을 가지는 유무선 통합서비스(FMC), 디지털콘텐츠 개발 제작 등의 두 가지 기술과 소규모로 분류되어 데이터 수집 기준이 명확하지 않은 기타 방송 서비스 기술을 제외한 16가지의 기술을 대상으로 사회 전반에 미치는 부가가치 창출 효과와 생산성 향상 효과의 투입대비 효율성을 분석한다.

또한, 최근 한국 ICT 산업의 효율성을 분석한 연구로는 Hong et al.(2012)의 산업 부문 간 비교 연구와 Kim et al.(2016)의 IT 기업의 R&D 투자 및 운영 효율성에 관한 연구 및 Park and Kim (2007)의 IT 중소, 벤처기업에 대한 정부의 자금 지원 정책에 대한 연구와, 산업연관분석을 통해 경제적 파급 효과를 분석한 Kim(2007)의 연구가 존재한다. 하지만, ICT 산업의 각 세부 서비스 별

효율성의 비교 연구는 부족한 실정이며, 이에 본 연구에서는 세부 서비스 별 효율성을 비교함으로써 정책 수립에 기여하고자 하는 목적이 있다.

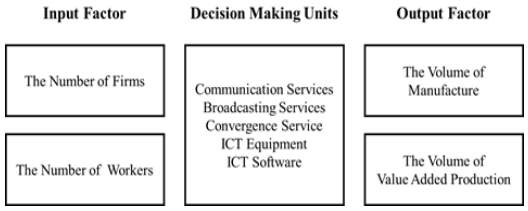
〈Table 1〉 ICT Types in Korea(DMUs)

DMU	Classification	Technology
Type 1	Communication Service	Wire Communication Service
Type 2	Communication Service	Wireless Communication Service
Type 3	Communication Service	Mediation Service
Type 4	Communication Service	Value Added Communication Service
Type 5	Broadcasting Service	Terrestrial Broadcasting Service
Type 6	Broadcasting Service	Pay Broadcasting Service
Type 7	Broadcasting Service	Program Production and Supply
Type 8	Convergence Service	IPTV(Internet Protocol Television) Service
Type 9	Convergence Service	Wire-wireless Contents Service
Type 10	ICT Equipment	Communication Equipment
Type 11	ICT Equipment	Broadcasting Equipment
Type 12	ICT Equipment	Information Equipment
Type 13	ICT Equipment	ICT Component
Type 14	ICT Equipment	ICT Application
Type 15	ICT Software	Package Software
Type 16	ICT Software	IT Service

3. 연구 모형

본 연구에서는 아래 <Figure 1>과 같이 투입 요소로써 ICT의 각 세부 서비스 별 업체 수(x1)와 종사자 수(x2)를 설정하고, 생산액(y1)과 부가가치 생산액(y2 : value added production)을 산출 요소로 설정하여 Data Envelopment Analysis를 시행한다. 한국에서는 정부에서 각 기술을 개발하는 기업 단위로 R&D 투자액을 분배하므로, 투입 요소인 기업체의 수는 투자비용 및 개발 비용을 반영하며, 종업원 수는 인적 자원의 투입을 반영한다. 이는 기업 단위로 투자액을 분배하는 한국의 실정에 맞추어 분석하는 것으로, 정부의 정책의 투입을 나타내는 투입 요소인 기업체의 수와 해당 기술을 생산하는 각 기업의 투입에 해당하는 종사자 수를 투입 요소로 함으로써 연구의 타당성과 자료 사용의 적절성을 확보할 수 있다.

본 연구에서는 2013년 기준 각 기술을 개발하여 사업 수단으로 사용하는 기업의 수와 종업원의 수를 합산하여 투입 요소로 사용하였다. DEA 분석 후, 각 기술들의 투입 대비 상대적 효율성을 비교하고, 이를 기술별, 분류별로 나누어 비효율적인 ICT 기술이 효율성을 높이기 위한 투영점(Projection Point) 및 투입 초과분에 대한 분석을 실시한다.



〈Figure 1〉 Research Model

Nyhan and Martin(1999)에 의하면, DEA에서는 투입요소와 산출 요소의 적정 수는 DMU에 의해서 제한된다. 이는 DEA에서 투입 요소와 산출 요소의 수가 증가할수록 효율적인 DMU가 증가하는 특징을 가지고 있어 비효율적인 DMU의 판별이 어려워지기 때문이다. 이와 관련하여 Banker et al.(1984), Nunamaker(1985)에서는 DMU의 수가 투입 요소와 산출 요소의 수를 합한 것 보다 3배 이상이 되어야 한다고 주장하였으며, Boussofiane et al.(1991)에서는 DMU의 수가 투입요소의 수와 산출 요소의 수를 곱한 것보다 커야 한다고 주장하였다. 또한 Fitzsimmons and Fitzsimmons(1994)에서는 투입 요소와 산출 요소의 수를 합한 것의 2배 이상이 되어야 한다고 언급했다. 본 연구에서 사용할 DMU의 개수와 투입 및 산출 요소의 개수는 각각

16개, 2개, 2개로 Banker et al.(1984), Nunamaker (1985)의 기준으로 12개 이상의 DMU와 Boussofiane et al.(1991) 기준의 4개 이상의 DMU 기준 및 Fitzsimmons and Fitzsimmons(1994)의 기준인 8개의 DMU 기준을 모두 충족시키므로 본 연구의 DMU 및 Input factor와 Output factor의 개수 설정은 적절하다고 할 수 있다.

또한 본 연구에서 사용할 선형계획법을 이용한 DEA(Data Envelopment Analysis)는 Koopmans (1951)의 선형계획법(LP; Linear Programming)을 활용한 활동 분석(activity analysis)의 개념을 활용하여 Charnes et al.(1978)에 의해 창안된 이후 여러 분야의 효율성을 측정하는 일에 광범위하게 적용되고 있다. Charnes et al.(1978)에서는 평가 대상이 되는 각 DMU(Decision Making Unit)들의 투입물의 가중합계에 대한 산출물의 가중 합계의 비율이 1을 초과해서는 안되며, 각 투입 요소와 산출요소의 가중치가 0보다 크다는 제약 조건 하에 투입물 가중합계에 대한 산출물 가중 합계의 비율을 최대화 시키고자 하는 선형계획법으로 DEA를 정의하고 있다. 본 연구는 DEA 분석을 통해서 DMU간의 상대적인 효율성 순위뿐만이 아니라 투입 및 산출 요소의 비효율성 정도와 Benchmarking 대상을 식별함으로써 각 ICT 세부 기술의 분류에 따른 효율성을 비교하고, 개선을 위한 정보를 도출하는 데 그 목적이 있다. 이와 같은 순위 분석에 의한 투입 산출 요소의 비효율성의 정도는 일반적으로 CCR(Charnes-Cooper-Rhodes) 모형이나 BCC (Banker-Charnes-Cooper) 모형을 사용하여 구한다. Banker et al.(1984)에서는 규모에 대한 수익을 파악할 수 있다는 점에서 CCR 모형과 BCC 모형의 차이점에 대해 설명하고 있다. 본 연구에서 사용할 CRS(Constant Return to Scale)을 가정하는 Input-Oriented CCR Model은 <Figure 2>와 같으며 VRS(Variable Return to Scale)을 가정하는 Input-Oriented BCC Model은 <Figure 3>과 같이 도출된다(Park, 2008).

본 연구에서는 앞서 제시된 <Table 1>로 분류

$$\text{Max } h_0(\text{Efficiency of } DMU_0) = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0}}$$

$$s.t.\ \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{sm} v_i x_{ij}} \le 1, \quad j = 1,2,3,\cdots,n$$

$$u_r \ge \varepsilon > 0, \quad r = 1,2,3,\cdots,s$$

$$v_i \ge \varepsilon > 0, \quad i = 1,2,3,\cdots,m$$

u_r = The weight assigned to the r th output ,

v_i = The weight assigned to the i th input

y_{rj} = The amount of r th output of DMU_j ,

x_{ij} = The amount of i th input of DMU_j

ε = non − Archimedean Number ,

n = The number of DMU

m = The number of input variables ,

s = The number of output variables

〈Figure 2〉 CCR Model(Charnes et al., 1978)

$$\text{Max } h_0(\text{Efficiency of } DMU_0) = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0} + u_0}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0}}$$

$$s.t.\ \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} + u_0}{\sum_{i=1}^{sm} v_i x_{ij}} \le 1, \quad j = 1,2,3,\cdots,n$$

$$u_r \ge \varepsilon > 0, \quad r = 1,2,3,\cdots,s$$

$$v_i \ge \varepsilon > 0, \quad i = 1,2,3,\cdots,m$$

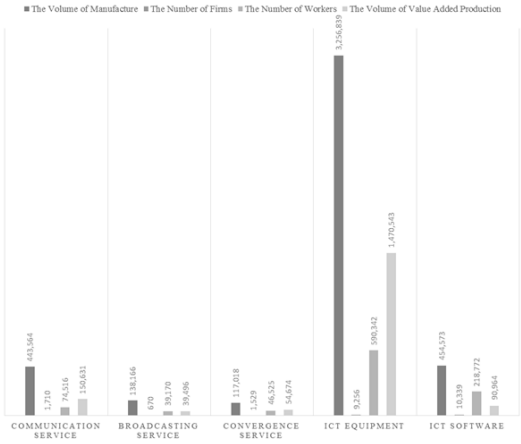
u_0 = Scale indicator

〈Figure 3〉 BCC Model(Banker et al., 1984)

〈Table 2〉 Descriptive Statistics

	Max	Min	Mean	Median	SD
X1	5,161	3	1,330	526	1,541
X2	291,145	589	57,071	27,300	74,536
Y1	1,853,163	11,251	269,373	103,523	460,332
Y2	1,047,068	3,283	112,882	40,938	254,675

된 16가지 Type의 ICT 기술을 Decision Making Unit(DMU)로 하여 분석을 진행한다. DEA 분석을 위해 정해진 Input 요소와 Output 요소의 Data는 <Table 2>와 같으며, 이는 Korea Association for ICT Promotion과 Korea Electronics Association에서 2013년도 기준으로 작성된 ICT 산업 통계에서 수집되었다. 본 연구에서 사용된 Data들은 동일한 기준으로 전수 조사의 방법으로 수집되었으며, ICT 부문의 동향 분석 및 업계와 정부의 경영



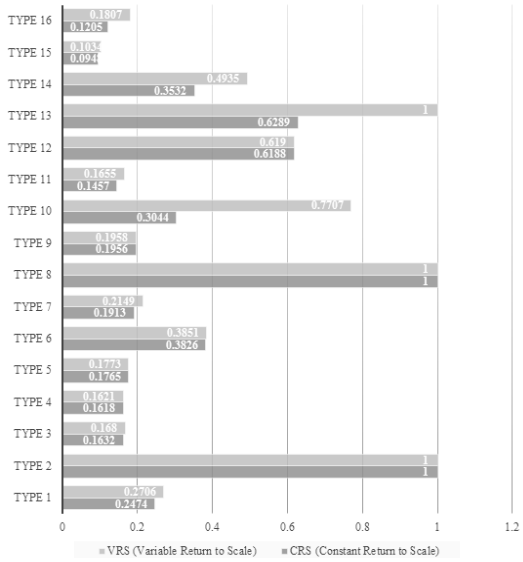
〈Figure 4〉 Sectoral Data of ICT in Korea

및 정책 입안 기초 자료로 활용되기 위하여 조사되었다. 각 통계는 ICT 통계 분류 체계에 해당되는 품목을 기반으로 한국 내에서 서비스되거나 제조되고 있는 값만을 포함하였다. 수집된 데이터에 대한 기초 통계량은 <Table 2>와 같다.

수집된 데이터를 바탕으로 각 ICT 세부 기술 분야별 데이터를 정리한 결과는 <Figure 4>에 나와 있다. 이를 살펴보면, 전체적으로 한국에서는 ICT Equipment의 생산량과 종사자 수, 부가가치 생산량이 가장 많았다. 생산량 기준으로는 ICT Software, Communication Service, Broadcasting Service 순이며, Convergence Service의 생산량이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이에 반해 부가가치 생산량과 종사자의 수는 Broadcasting Service가 가장 낮은 것으로 나타났다. 이를 살펴보았을 때, 산업의 전반적인 투입 면에서는 제조업이 서비스업에 비해 많이 투자되고 있으며 생산량과 부가가치 생산량의 산출 측면에서도 제조업이 서비스업에 비해 많은 양을 산출하는 것으로 나타나 한국 ICT 산업이 제조업 중심임을 알 수 있다.

4. 분석 결과

앞서 수집한 Input 및 Output Factor의 Data를 이용하여 CRS 및 VRS를 가정한 각 ICT 분야별 세부 기술의 상대적 효율성인 값을 구한 각 타입별 효율성 값은 아래 <Figure 5>와 같다. 먼저 CRS를 가정한 CCR 모델 분석 결과, 가장 효율적인 ICT 분야별 세부 기술은 Communication Service의 Wireless Communication Service와 Convertgence Service의 IPTV(Internet Protocol Television) Service로 나타났다. VRS 기준으로는 앞서 언급한 CRS 기준으로 상대적 효율성을 지니는 기술 외에 ICT Equipment의 ICT Component가 추가되었다. 가장 낮은 효율성을 보인 ICT 기술은 ICT Software의 Package Software였으며, 이 외에도 CRS와 VRS 기준으로 모두 0.2 이하의 효율성을 보인 ICT 기술은 ICT Software의 IT Service, ICT Equipment의 Broadcasting Equipment, Convergence Service의 Wire-wireless Contents Service, Communication Service의 Mediation Service와 Value Added Communication Service, Broadcasting Service의 Terrestrial Broadcasting Service로 나타나 해당 기술들은 상대적으로 효율적인 ICT 기술들에 비하여 산출 요소를 늘리지 않고도 투입 요소를 80퍼센트 이상 감소할 수 있는 정도의 높은 비효율성을 띠는 것으로 나타났다.



〈Figure 5〉 Efficiency Score

위와 같은 분석 결과를 바탕으로 투입대비 비효율성을 띠는 ICT 기술의 경우 효율적으로 하고 있는 Reference Set이 되기 위해 감소시켜야 할 투입물의 초과분(Excess quantity of Input)과 투영점(Projection Point)은 Park(2008)에 따라 아래 <Figure 6>의 수식을 이용하여 구할 수 있으며 이를 이용하여 구한 값은 <Table 3>과 <Table 4>와 같으며 이를 통해 비효율성의 원인과 개선 방안을 도출한 값은 <Table 5>와 같다.

$$\left(\widehat{x_{i0}}, \widehat{y_{r0}}\right) = Projection\ Point\ of\ \left(x_{i0}, y_{r0}\right)$$

$$1) Excess\ Quantity\ of\ Input = x_{i0} - \widehat{x_{i0}}$$

$$2) Shortage\ of\ Output = y_{r0} - \widehat{y_{r0}}$$

$$* \widehat{x_{i0}} = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^* x_{ij} = \theta^* x_{i0} - s_i^{-*}, \quad \forall i$$

$$\widehat{y_{r0}} = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^* y_{rj} = y_{r0} - s_r^{+*}, \quad \forall i$$

〈Figure 6〉 Projection Point Analysis

〈Table 3〉 Excess Quantity of Input(CRS)

	Excess Quantity of Input		Projection Point	
	X1	X2	X1	X2
Type 1	172.32	20,566.84	26.68	6,761.16
Type 2	0.00	0.00	16.00	14,410.00
Type 3	256.97	4,608.41	4.03	898.59
Type 4	1,229.10	22,860.10	4.90	4,410.90
Type 5	88.15	11,975.58	2.85	2,566.42
Type 6	159.70	3,343.84	2.30	2,072.16
Type 7	368.53	15,322.59	18.47	3,625.41
Type 8	0.00	0.00	3.00	589.00
Type 9	1,516.02	36,949.92	9.98	8,986.08
Type 10	1,661.90	82,594.31	184.10	36,145.69
Type 11	621.05	47,150.03	40.95	8,038.97
Type 12	376.73	6,810.65	12.28	11,055.35
Type 13	3,029.70	108,050.10	203.30	183,094.90
Type 14	3,083.88	69,467.68	42.12	37,934.33
Type 15	2,969.35	33,299.41	14.65	3,486.59
Type 16	5,083.62	110,869.22	77.38	15,191.78

〈Table 4〉 Excess Quantity of Input(VRS)

	Excess Quantity of Input		Projection Point	
	X1	X2	X1	X2
Type 1	189.60	19,933.54	9.40	7,394.46
Type 2	0.00	0.00	16.00	14,410.00
Type 3	257.68	4,582.15	3.32	924.85
Type 4	1,227.40	22,849.44	6.61	4,421.56
Type 5	86.13	11,962.78	4.87	2,579.22
Type 6	157.59	3,330.19	4.41	2,085.81
Type 7	380.72	14,876.11	6.28	4,071.89
Type 8	0.00	0.00	3.00	589.00
Type 9	1,515.10	36,943.83	10.90	8,992.17
Type 10	933.74	27,231.63	912.26	91,508.37
Type 11	650.96	46,054.48	11.04	9,134.52
Type 12	376.15	6,807.59	12.85	11,058.41
Type 13	0.00	0.00	3,233.00	291,145.00
Type 14	2,661.23	54,387.47	464.77	53,014.53
Type 15	2,977.98	32,983.62	6.02	3,802.38
Type 16	5,047.53	103,265.93	113.48	22,795.07

〈Table 5〉 Efficiency Improvement Plan

	CRS		VRS	
	X1	X2	X1	X2
Type 1	-86.59%	-75.26%	-95.28%	-72.94%
Type 2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Type 3	-98.46%	-83.68%	-98.73%	-83.21%
Type 4	-99.60%	-83.83%	-99.46%	-83.79%
Type 5	-96.87%	-82.35%	-94.65%	-82.26%
Type 6	-98.58%	-61.74%	-97.28%	-61.49%
Type 7	-95.23%	-80.87%	-98.38%	-78.51%
Type 8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Type 9	-99.35%	-80.44%	-99.29%	-80.42%
Type 10	-90.03%	-69.56%	-50.58%	-22.93%
Type 11	-93.81%	-85.43%	-98.33%	-83.45%
Type 12	-96.84%	-38.12%	-96.70%	-38.10%
Type 13	-93.71%	-37.11%	0.00%	0.00%
Type 14	-98.65%	-64.68%	-85.13%	-50.64%
Type 15	-99.51%	-90.52%	-99.80%	-89.66%
Type 16	-98.50%	-87.95%	-97.80%	-81.92%

<Table 5>는 projection point에서 산출된 값에서 실제 값을 뺀 값을 다시 실제 값으로 나누어 계산하였다. 이와 관련된 Reference Set과 Reference Count은 <Table 6>과 같으며 이를 살펴보면, 효율성을 띠는 ICT 기술들은 자기 자신이 projection point이며 동시에 reference set이기 때문에 효율성을 개선해야 할 필요성이 0퍼센트로 나타나는 것을 볼 수 있다. 전반적으로 결과를 살펴보면 Wireless Communication Service, IPTV service, ICT Component를 제외하면 모두 높은 수준의 비효율성을 가지고 있었다. 비효율성의 원인이 되는 투입 변수로는 The number of firms가 대부분의 ICT에서 CRS와 VRS 기준으로 90% 이상을 감축해야 하는 것으로 나타나 한국의 ICT 비효율성이 기업의 수에 의한 것으로 나타났다. 이는 Hong et al.(2012)에서 언급하고 있는 매출액이 작은 기업들이 밀집되어 있는 산업군이 있다는 점과 이를 통해 구조조정과 육성 정책이 필요하다는 의견과 일치한다. 실제로 한국의 전자정부에서는 각 기업별로 ICT에 대한 투자를 하고 있는 바, 이러한 비효율성을 줄이기 위하여 각 ICT 기술을 도입하고 있는 기업들을 평가하여 적절히 투자 분배를 해야 할 것으로 보인다.

높은 효율성을 띠고 있는 ICT 기술의 경우 Wireless Communication Service의 reference count가 10회로 가장 많았다. 참조 횟수가 높다고 해서 가장 효율성이 높은 ICT 기술이라는 평가를 내리기는 어렵지만, 비효율적인 기술들이 벤치마킹의 대상으로 삼아야 할 기술이라는 점에서 중요하다고 평가할 수 있다.

또한 본 연구에서 분석대상으로 삼은 ICT의 각 세부 기술간에 규모 수익이 존재하는 지에 대한 분석을 <Table 7>과 같이 실시하였다. Banker et al.(1984)에서는 CCR 모형을 사용하여 규모수익을 파악할 수 있는 방법으로 규모 효율성(SE : Scale Efficiency)을 이용하여 이를 규모 지수로 다른 최적해에서 이 값이 1이면 규모 수익 불변(CRS), 1보다 큰 값을 가지면 규모 수익 체감(DRS), 1보다 작은 값을 가지면 규모 수익 체증(IRS)로 파악하였다.

〈Table 6〉 Benchmarking

	CRS		VRS	
	Reference Set	Reference Count	Reference Set	Reference Count
Type 1	Type 2,8	0	Type 2, 8	0
Type 2	Type 2	10	Type 2	13
Type 3	Type 2, 8	0	Type 2, 8	0
Type 4	Type 2	0	Type 2, 8	0
Type 5	Type 2	0	Type 2, 8	0
Type 6	Type 2	0	Type 2, 8	0
Type 7	Type 8	0	Type 2, 8	0
Type 8	Type 8	7	Type 8	10
Type 9	Type 2	0	Type 2, 8	0
Type 10	Type 8	0	Type 2, 13	0
Type 11	Type 8	0	Type 2, 8	0
Type 12	Type 2	0	Type 2, 8	0
Type 13	Type 2	0	Type 13	3
Type 14	Type 2	0	Type 2, 13	0
Type 15	Type 2, 8	0	Type 2, 8	0
Type 16	Type 8	0	Type 2, 13	0

〈Table 7〉 Return to Scale

	CRS	VRS	SE	RTS
Type 1	0.2474	0.2706	0.9143	DRS
Type 2	1	1	1	CRS
Type 3	0.1632	0.168	0.9714	DRS
Type 4	0.1618	0.1621	0.9981	IRS
Type 5	0.1765	0.1773	0.9955	IRS
Type 6	0.3826	0.3851	0.9935	IRS
Type 7	0.1913	0.2149	0.8902	DRS
Type 8	1	1	1	CRS
Type 9	0.1956	0.1958	0.999	IRS
Type 10	0.3044	0.7707	0.395	DRS
Type 11	0.1457	0.1655	0.8804	DRS
Type 12	0.6188	0.619	0.9997	IRS
Type 13	0.6289	1	0.6289	DRS
Type 14	0.3532	0.4935	0.7157	DRS
Type 15	0.0948	0.1034	0.9168	DRS
Type 16	0.1205	0.1807	0.6669	DRS

<Table 7>의 결과를 살펴보면, 규모 효율성이 VRS Efficiency보다 작은 ICT 기술은 ICT Equipment의 Communication Equipment로 이 기술은 비효율의 원인이 규모에 있다는 것을 알 수 있었으며, 이를 제외한 비효율적인 ICT 기술은 모두 VRS Efficiency보다 규모 효율성이 크므로 이는 투입 요소가 비효율의 원인임을 알 수 있다.

또한 CRS 기준으로 비효율성을 보이는 14개의 ICT 기술들 중 9개는 규모 수익 체감(DRS)이 나타났으며, 5개는 규모 수익 체증(IRS)인 것으로 분석되었다. 이 중 ICT Software의 분류에 속하는 Package Software와 IT Service의 경우, 모두 규모 수익 체감으로 나타나 운영상의 효율성 향상 방안을 수립하여 효율성을 제고하는 것이 바람직하며, Type 4, 5, 6, 9, 12와 같이 규모 수익 체증(IRS)로 나타난 5개의 ICT 기술들은 규모 확대를 통한 효율성 제고 방안을 수립하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

이러한 결과는 Hong et al.(2012)의 연구 결과와 상반되는 부분이 있다. 특히, Hong et al.(2012)에서는 유선 통신 서비스와 무선 통신 서비스가 모두 효율성이 매우 높게 나타났는데, 본 연구에서는 유선 통신 서비스의 효율성만이 높게 나타났다. 이는 Hong et al.(2012)의 연구에서 2005년부터 3개년의 자료를 사용했다는 점에서 미루어 보아 최근 유선 통신 서비스의 효율성이 떨어졌다는 것으로 해석할 수 있다. IT 산업의 경우, 그 변화 속도가 기타 산업에 비해 매우 빠르기 때문에 기존 연구에 비해 비교적 최신의 자료를 사용하여 효율성의 측정을 시도한 본 연구가 그 의의를 가진다고 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 Linear Programming을 기반으로 한 nonparametric frontier analysis인 Data Envelopment Analysis를 이용하여 세계에서 높은 성장률을 보이고 있는 Information and communications technologies의 투입 대비 생산량 및 부가가치 창출의 효율성을 살펴봄으로써 ICT의 각 세부 기술이 사회에 미치는 영향의 투자대비 효율성을 분석하려 하였다. 이를 위해 한국에서 분류되고 있는 19가지 Type의 ICT 세부 기술 중, 데이터 수집 기준이 명확하지 않거나 결측치가 있는 3가지의 ICT를 제외한 16가지의 ICT를 DMU로 선정하고 Korea Association for ICT Promotion와 Korea Electronics Association에서 2013년도 기준으로 작성된 ICT 산업 통계에서 자료를 수집하였다. 수집된 데이터 중, 해당 세부 기술에 종사하는 종사자 수와 기업의 수를 Input factor로, 생산량과 부가가치 생산량을 output factor로 하여 DEA 분석을 실시하였다.

분석 결과, 가장 효율적인 ICT 분야별 세부 기술은 CRS 기준으로 Communication Service의 Wireless Communication Service와 Convertgence Service의 IPTV(Internet Protocol Television) Service로 나타났으며, VRS 기준으로는 ICT Equipment의 ICT Component가 추가되었다. 이 세 가지의 ICT 기술을 제외하면 대부분의 ICT 기술들이 낮은 효율성을 보였으며 특히 본문에서 언급된 6개의 기술들은 효율성이 0.2로 나타나 ICT 분야별 효율성의 차이가 크다는 점을 밝혀내었다.

이러한 ICT 분야별 비효율성 원인으로는 종사자 수 보다는 기업의 수가 주된 원인으로 분석되었으며, 비효율적인 기술들은 기업의 수를 90%이상 감소시켜야 하는 것으로 나타났다. 또한 규모 효율성의 측면에서 Communication Equipment 기술만이 규모 비효율이 있으며, 타 ICT 기술은 투입 요소가 비효율의 원인임이 나타났다. 또한 운영상의 효율성 향상 방안의 수립이 필요한 규모 수익 체감(DRS)을 보이는 9개의 ICT 기술들과 규모 확대를 통한 효율성 제고 방안을 수립해야 할 규모 수익 체증(IRS)을 보이는 5개의 ICT 기술이 분류되었다.

분석 결과로 살펴본 본 연구의 의의는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 한국의 ICT 기술을 16가지의 세부 분류로 나누어 이를 각각 DMU로 설정하여 분석을 진행하였다. ICT 세부 기준별 분류에 따른 기술의 투입 대비 효율성에 대한 선행 연구가 부족하므로 본 연구는 각 ICT 기술들을 세부 기준별로 관리하는 기준에 있어서 초석이 될 연구가 될 수 있을 것으로 기대한다.

둘째, 각 DMU들의 Excess Quantity of Input 및 Projection point를 분석하여 각 ICT 세부 기술의 타입별 효율성 관리 기준을 제시하였다. 또한 비효율성의 원인에 대한 규모 효율성(SE), 규모 수익 체감(DRS), 규모 수익 체증(IRS)에 대해서도 분석함으로써, 효율성을 제고 전략 수립의 발판을 마련하였다.

셋째, 상반된 기존 문헌들의 연구 결과에 대해 ICT 기술의 효율성을 분석하였고, 분석 결과 모든 ICT 기술이 효율적이지는 않으며, 한국 내에서 효율성이 높은 ICT 기술을 구별하였다. 이를 통해 향후 효율성 있는 정책 수립에 기여하였다는 데 본 연구의 의의가 있다.

마지막으로, 본 연구에서는 DMU를 설정하고 Data를 수집함에 있어 전수 조사의 방식을 선택하였다. 이는 동일한 기준을 통해 본 연구의 자료가 수집되었음을 의미하며, 이를 통해 분석 결과의 신빙성을 높일 수 있었다.

본 연구에서는 이와 같은 여러 장점에도 불구하고 몇 가지 한계점이 존재한다.

먼저, 본 연구에서는 한국에서 분류되는 기준을 참조하여 ICT의 세부 분류를 정하였다. 각 국가별로 분류되는 기준이 다를 수 있으며, 투입 및 산출 요소도 다를 수 있기 때문에, 후속 연구에서는 다양한 국적의 ICT 기술 분류 기준을 토대로 DMU로 선정하고 다양한 Input Factor 및 output factor를 고려하기를 기대한다. 또한 본 연구에서 사용한 데이터에는 각 기술별 정부 투자 금액에 대한 정보가 없어, 한국에서는 기업별로 정부 투자가 이루어진다는 점을 감안하여, 각 기술들을 중심으로 운영되는 기업의 수를 Input factor로 두어 이를 투자로 가정하여 분석을 진행하였다. 이와 같은 연구의 한계점을 극복하기 위해, 각 ICT 기술별 국가 간의 기준의 통합이나, 투입 요소와 산출 요소의 가중치 설정 및 정부와 민간 투자 등을 고려한 연구가 뒷받침되어야 할 것이다. 이를 위해 현재 정부에서 운영 중인 기술 인증 제도나 연구소의 운영 형태, 벤처 인증 획득 등의 정보를 수집하여 추가 분석을 시도하는 방안을 고려해 볼 수 있을 것이다. 또한, 본 연구에서는 2013년의 데이터를 사용하여 분석을 진행하였는데, 모바일 산업은 폭발적인 성장을 거듭하고 있으므로 최신의 자료를 사용한 연구와, Korea Communication Commission 및 국제 경쟁력 평가 자료를 활용할 것이 요구된다. 마지막으로, ICT 투자와 관련된 변수들이 조직의 성과나 산출에 유의미한 영향을 미치는지에 대해 DEA 방법론이 아닌 Econometrics 등의 기법을 사용하여 분석하는 연구가 진행된다면, 국내 ICT 관련 정책 수립에 충분한 판단 근거로써 기여할 수 있을 것이라 기대한다.

References

Allen, D.S., “Where’s the Productivity Growth (from the Information Technology Revolution)?”, 1997.

Aristovnik, A., “The Impact of Ict on Educational Performance and Its Efficiency in Selected Eu and Oecd Countries : A Non-Parametric Analysis”, 2012.

Banker, R.D., A. Charnes, and W.W. Cooper, “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis”, *Management Science*, Vol.30, No.9, 1984, 1078-1092.

Bosworth, B.P. and J.E. Triplett, “The Early 21st Century Us Productivity Expansion Is Still in Services”, *International Productivity Monitor*, Vol.14, 2007.

Boussofiane, A., R.G. Dyson, and E. Thanassoulis, "Applied Data Envelopment Analysis", *European Journal of Operational Research*, Vol.52, No.1, 1991, 1-15.

Brynjolfsson, E. and L. Hitt, "Paradox Lost? Firm-Level Evidence on the Returns to Information Systems Spending", *Management Science*, Vol.42, No.4, 1996, 541-558.

Carlyle, R.E., "Managing Is at Multinationals", *Datamation*, Vol.34, No.5, 1988, 54-69.

Charnes, A., W.W. Cooper, and E. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, Vol.2, No.6, 1978, 429-444.

Chen, Y. and A.I. Ali, "Dea Malmquist Productivity Measure : New Insights with an Application to Computer Industry", *European Journal of Operational Research*, Vol.159, No.1, 2004, 239-249.

Fitzsimmons, J.A. and M.J. Fitzsimmons, *Service Management for Competitive Advantage,* New York, NY : McGraw-Hill, 1994.

Fukugawa, N., "Science Parks in Japan and Their Value-Added Contributions to New Technology-Based Firms", *International Journal of Industrial Organization*, Vol.24, No.2, 2006, 381-400.

Hong, J.S., C.J. Yang, and H.Y. Lee, "Comparative Evaluation of Efficiency of the Korean IT Sectors : A Data Envelopment Analysis Approach", *Journal of the Korea Management Engineers Society*, Vol.17, No.1, 2012, 147-160.

(홍정식, 양창준, 이학연, "국내 IT 산업 부문 간 효율성 비교 평가 : 자료포락분석(DEA) 기법을 중심으로", *한국경영공학회지*, 제17권, 제1호, 2012, 147-160.)

Jorgenson, D.W. and K.J. Stiroh, "Information Technology and Growth", *The American Economic Review*, Vol.89, No.2, 1999, 109-115.

Jorgenson, D.W. and K.J. Stiroh, "Raising the Speed Limit : Us Economic Growth in the Information Age", *Brookings Papers on Economic Activity*, Vol.2000, No.1, 2000, 125-210.

Kelley, M.R., "Productivity and Information Technology : The Elusive Connection", *Management Science*, Vol.40, No.11, 1994, 1406-1425.

Kim, C.H., G.S. Lee, and S.W. Kim, "R&D Investment and Operational Efficiency Analysis of IT Firms : Comparative Analysis of Service and Manufacturing Sectors", *Journal of Information Technology Services*, Vol.15, No.2, 2016, 51-63.

(김창희, 이규석, 김수욱, "IT 기업의 R&D 투자 및 운영 효율성 분석 : 서비스업 및 제조업의 비교를 중심으로", *한국IT서비스학회지*, 제15권, 제3호, 2016, 51-63.)

Kim, D.H., "Economic Impacts of Information and Communications Technology Industry In Korea Using Input-Output Tables", *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, Vol.32, No.3, 2007, 81-96.

(김도환, "산업연관분석에 의한 정보통신산업의 경제적 파급효과", *한국경영과학회지*, 제32권, 제3호, 2007, 81-96.)

Konsynski, B.R. and J. Karimi, "On the Design of Global Information Systems", *Globalization, Technology and Competition*, 1993.

Koopmans, T.C., "Activity Analysis of Production and Allocation", Wiley New York, Vol. 13, 1951.

Loveman, G.W., "An Assessment of the Productivity Impact of Information Technologies",

Information Technology and the Corporation of the 1990s : Research Studies, 1994, 84-110.

Lucas Jr, H.C., "Performance and the Use of an Information System", *Management Science*, Vol.21, No.8, 1975, 908-919.

Milana, C. and A. Zeli, "The Contribution of Ict to Production Efficiency in Italy : Firm-Level Evidence Using Data Envelopment Analysis and Econometric Estimations", Oecd Publishing, 2002.

Nordhaus, W.D., "The Health of Nations : The Contribution of Improved Health to Living Standards", *National Bureau of Economic Research*, 2002.

Nunamaker, T.R., "Using Data Envelopment Analysis to Measure the Efficiency of Non-Profit Organizations : A Critical Evaluation", *Managerial and Decision Economics*, Vol.6, No.1, 1985, 50-58.

Nyhan, R.C. and L.L. Martin, "Comparative Performance Measurement : A Primer on Data Envelopment Analysis", *Public Productivity & Management Review*, Vol.22, No.3, 1999, 348-364.

Oliner, S.D. and D.E. Sichel, "The Resurgence of Growth in the Late 1990s : Is Information Technology the Story?", 2000.

Paganetto, L., L. Becchetti, and D.A. Londono Bedoya, "ICT Investment, Productivity and Efficiency : Evidence at Firm Level Using a Stochastic Frontier Approach", *Journal of Productivity Analysis*, Vol.20, No.2, 2003, 143-167.

Park, M.H., *Efficiency and Productivity Analysis,* KSI, 2008.

Park, S.M. and H. Kim, "A Performance Evaluation of Governmental Funding Projects for IT Small and Medium-Sized Enterprises and Venture Business Using DEA/AR-I", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 32, No.11, 2007, 815-825.

(박성민, 김 헌, "DEA/AR-I 을 활용한 IT 중소·벤처기업 정부자금지원정책 성과평가", *한국통신학회논문지*, 제32권, 제1호, 2007, 815-825.)

Scholochow, C., M. Fuchs, and W. Höpken, "ICT Efficiency and Effectiveness in the Hotel Sector-a Three-Stage Dea Approach", *Information and Communication Technologies in Tourism 2010*, 2010, 13-24.

Susiluoto, I., "Effects of Ict on Regional Economic Efficiency", *Helsinki City Urban Facts Office Web Publications*, No.2003, 2003, 16.

Tanenbaum, A.S., *Computer Networks, 4-Th Edition*, Ed : Prentice Hall, 2003.

Wang, E.H., "ICT and Economic Development in Taiwan : Analysis of the Evidence", *Telecommunications Policy*, Vol.23, No.3, 1999, 235-243.

About the Authors

Changhee Kim (heeslife@snu.ac.kr)

Changhee Kim is currently a Lecturer of Operations Management at College of Business Administration, Seoul National University. He received the PhD degree in Operations Management from Seoul National University. He received a best paper award from 18th QMOD conference for his research about franchise in Korea. His current research interests include IT service, DEA(data envelopment analysis), efficiency and productivity and supply chain management.

Hongsuk Yang (hongsuk@snu.ac.kr)

Hongsuk Yang is Associate Professor of Operations Management at Seoul National University. He has a BBA degree from Seoul National University, an MS in industrial engineering from Stanford University and received his PhD from the Graduate School of Business, University of Chicago. His research focuses on inventory management, supply chain management, service operations, and simulation.

Soo Wook Kim (kimsoo2@snu.ac.kr)

Professor Soo Wook Kim graduated from Seoul National University with BA and MBA in business administration and the Michigan State University (MSU) with a PhD in operations and supply chain management. He was a Visiting Professor at Columbia University. His current research interests include big data solution, finance supply chain management (FSCM) and system dynamics analysis.