

# DEA를 활용한 국방연구개발사업의 효율성 분석

이형진(Hyungjin Lee)\* · 정선양(Sunyang Chung)\*\*

## I. 서론

정부예산의 지속적인 연구개발투자와 더불어 국가연구개발사업의 투자효율성 제고와 성과분석에 대한 중요성도 함께 증대되었다. 이러한 결과로 우리나라는 2006년에 국가연구개발사업등의 성과평가 및 성과관리에 관한 법률을 제정하여 연구개발사업의 효율성 제고 및 성과분석을 실시하고 있다. 하지만, 국방기술 연구개발 사업은 현존하는 위협을 대체하고, 자주국방을 추진하는 사업으로 인식되어 효율성 평가에 대해서는 많이 강조되지 않았다.

이러한 국방기술연구개발의 효율성(efficiency)을 분석하기 위해서, 본 연구에서는 자료포락분석(DEA : Data Envelopment Analysis) 모델을 활용하여 분석하였다. DEA는 비모수적인 접근방법으로 생산 함수의 형태에 대한 어떠한 가정도 필요 없으며, 입력과 출력의 중요한 사전정보를 필요로 하지 않기 때문이다.

본 연구는 2003년부터 2011년까지 시작하여 2006년부터 2013년 12월까지 종료된 국방핵심기술개발(응용 연구 및 시험개발) 143개 과제에 대하여 연구개발(R&D) 투자의 성과를 DEA 산출기반 규모수익불변(CRS: Constant Return to Scale)과 규모수익가변(VRS: Variable Return to Scale) 모델을 이용하여 분석하였다. 입력변수로는 연구개발(R&D)비용, 인력을 사용하였고, 산출변수로는 특허, 논문, 무기체계의 적용여부의 실용화 요소 3가지를 사용하였다.

## II. 연구개발사업의 효율성 검토

### 1. 연구개발 효율성

효율성은 특정 조직이 제한된 자원으로 최대한의 산출물을 창출해 내는 생산기술로, 생산요소의 가변성과 대체가능성을 전제로 투입생산요소의 조합을 통하여 최대의 생산량을 얻는 생산법을 가리킨다(박만희, 2008; 변상규외 2009). 회귀분석과 같은 전형적인 통계분석 방법론들이 자료의 ‘중심적 경향’(central tendency)을 탐색하는 것과는 달리, DEA는 자료의 ‘외곽적 표면’(external surface)을 탐색하는 것으로 이해될 수 있다(박성민, 2010). 또한 일반적인 경제분석에서는 투입과 산출의 관계에 대해 Cobb-Douglas 생산함수와 같은 특정한 형태의 생산함수를 가정하고 관측된 자료로 생산함수의 모수를 추정하지만, DEA는 사전에 구체적인 함수 형태에 대해 가정을 하지 않고 주어진 자료만으로 선형계획법(LP : Linear Programming)에 근거하여 투입과 산출 자료를 이용한다.

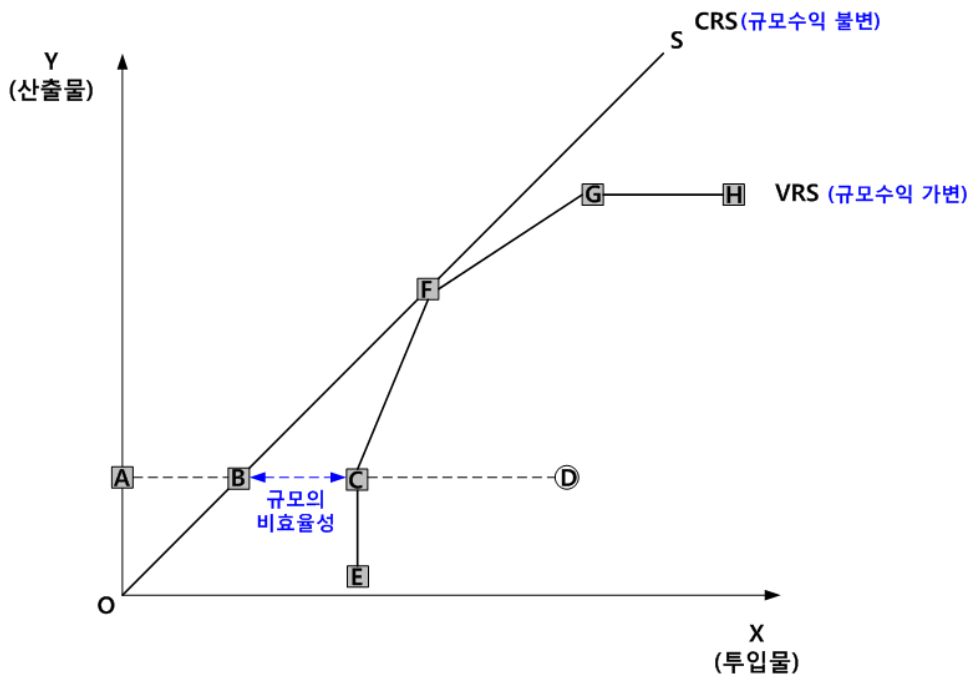
Farrel(1957)은 기업의 생산활동에 있어서 비효율성이 있음을 인지하고, 효율성을 실증적으로 측정하는 연구를 시도하였고, Charnes, Cooper & Rhodes(1978)는 Farrel의 상대적 효율성 개념을 새로이 해석하고, 이를

\* 이형진, 국방기술품질원 기술기획팀, 건국대학교 기술경영학과 박사과정, hj249@dtqa.re.kr, 02-2079-1045

\*\* 정선양, 건국대학교 기술경영학과 교수, sychung@konkuck.ac.kr, 02-450-3117, 교신저자

다수의 투입물과 다수의 산출물 사이의 비율모형(CRS ratio)으로 확장한 자료포락분석(DEA)이라는 비모수적 측정법을 제시하였고(박만희, 2008; 변상규 외 2009), 이를 이들의 이름을 따서 CCR 모델이라고 불려진다. 하지만, CCR 모형은 규모수익불변(CRS: Constant Return to Scale)이라는 가정 하에 모형이 도출되기 때문에 규모의 효율성과 순수 기술적 효율성을 구분하지 못한다는 단점을 지니고 있다. 이러한 단점을 보완하여 Banker, Charnes & Cooper(1984)는 다수의 투입요소를 사용하여 다수의 산출요소를 생산하는 DMU의 효율성을 기술적 효율성과 규모의 경제 효과를 모두 고려한 규모수익가변(VRS : Variable Return to Scale) 모형을 제시하였고, 이들 이름을 따서 BCC 모형 또는 VRS 모형이라고 불려진다.

효율성 측정을 위한 DEA 모형은 다수의 투입물로 다수의 산출물을 생산하는 의사결정단위(DMU : Decision Making Unit)의 상대적 효율성을 측정하는 방법으로 구체적인 함수를 추정하지 않는 비모수적 선형 계획법에 의한 추정방법이다. DEA는 비모수적인 접근방법으로 생산 함수의 형태의 함수 형태에 대한 어떠한 가정도 필요 없으며, 입력과 출력의 중요한 사전정보를 필요로 하지 않는다(Lee et al., 2009). DMU의 상대적 효율성은 가중된 출력과 가중된 입력의 비율로 측정되며, 다른 DMU와 비교한다. DEA는 각 의사결정단위(DMU)에서 입력과 출력의 효율성을 최대화하는 가중치를 선택한다. 100% 효율성을 얻기 위한 의사결정단위(DMU)는 다른 의사결정단위(DMU)가 100%이하로 간주되어야 한다.



<그림 1> 산출물 효율성(기술효율성, 순수기술효율성, 규모효율성)

\*자료 : 효율성과 생산성 분석(박만희, 2008.8)을 재구성

<그림 1>에서 선분  $\overline{os}$ 는 규모수익불변에서의 생산변경을 나타내며, 이 변경은 주어진 투입수준에서의 최적 산출수준을 의미하고  $\overline{ECFGH}$ 는 VRS에서의 생산변경<sup>1)</sup>(production frontier)을 나타낸다.

1) 생산변경 : 개별 투입물 수준으로부터 달성 가능한 최대 산출을 의미한다(박만희, 2008) p17.

## 2. DEA 모형

DEA 모형의 가장 기본적인 규모수익불변(CRS or CCR) 모형은 식(1)과 같다. 투입지향 CCR 모형은 규모 수익불변(CRS)을 만족하는 생산가능집합에서 산출의 수준을 고정시킨 채 투입을 최대한 줄일 수 있는가를 파악하는 것이다. 즉, 투입요소의 조합을 통해 생산하는 DMU의 산출물 수준이 주어졌을 때, 현재의 산출수준을 유지하면서 투입요소의 사용량을 얼마나 줄일 수 있는가를 파악하고자 하는 경우에 사용한다(박만희, 2008; 이정동·오동현, 2012).

$$\begin{aligned}
 \text{Max } h_0 &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} & (1) \\
 \text{s.t. } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\
 u_r &\geq \epsilon > 0, \quad r = 1, \dots, s \\
 v_i &\geq \epsilon > 0, \quad i = 1, \dots, m
 \end{aligned}$$

산출지향 규모수익불변(CRS) 모형은 식(2)와 같이 표현될 수 있다. 산출기준모형의 생산가능집합을 구성하는 방법은 투입지향모형과 동일하지만 효율성 측정의 과정이 다르다<sup>2)</sup>. 효율성을 측정할 때 관측치의 투입수준을 변화시키지 않은 채로 산출요소를 최대한 증가시켜 생산변경에 닿게 하는 것이 산출지향 모형이다(박만희, 2008; 이정동·오동현, 2012)

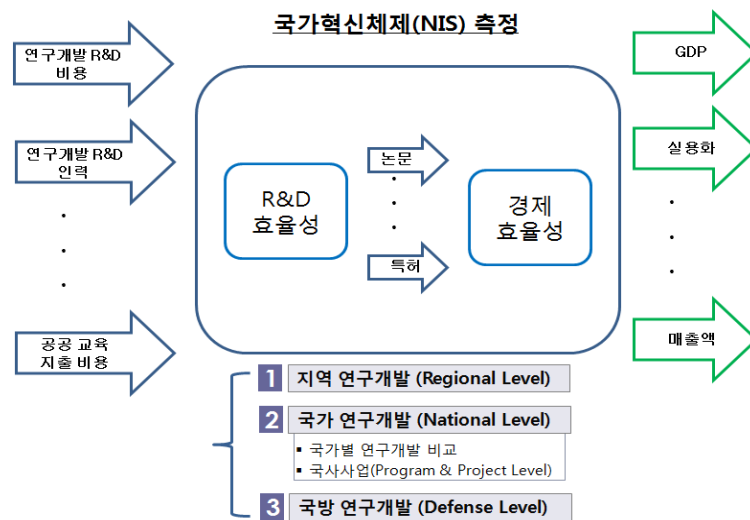
$$\begin{aligned}
 \text{Min } h_0 &= \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}} & (2) \\
 \text{s.t. } \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} &\geq 1, \quad j = 1, \dots, n \\
 u_r &\geq \epsilon > 0, \quad r = 1, \dots, s \\
 v_i &\geq \epsilon > 0, \quad i = 1, \dots, m
 \end{aligned}$$

## 3. 선행연구 검토

연구개발은 국가 경쟁력을 부각시키며, 국가혁신체제를 구성하는 주요한 수단으로 간주되어(Lu et al., 2014), 많은 국가들이 다양한 국가 연구개발 사업에 투자를 증가하고 있다. 한 국가 내에는 다양한 정부투자 사업들이 있으며, 각 사업간 및 사업내의 효율성 분석을 통해 투자방향과 정책적 시사점 도출을 위해서 많은

2) 출처 : 효율성분석이론, 이정동·오동현, 2012 p76

연구들이 진행되었다. 지역차원에서는 지역 격차가 생기는 원인은 무엇이며, 어떻게 지역의 연구개발 효율성을 개선할 것인지에 연구가 진행되었고(예를 들면 방민석 외, 2011; 이민희 외, 2012; Wang et al., 2013; Yanga et al., 2014), 국가차원에서는 국가간의 연구개발 효율성 차이는 무엇이고, 어떻게 벤치마킹을 할 것인지에 대한 연구들이 진행되었다(Lee et al., 2005; Kocher et al., 2006; Wang et al., 2007). 국가차원의 효율성 분석 연구는 OECD 회원국간의 국가별(National Level) 연구개발 비교를 통해 연구개발 투자방향(고민수 외, 2001; Lee et al., 2005; Kocher et al., 2006; Wang et al., 2007) 및 정책적 시사점을 도출하고자 진행되고 있으며, 국가내부의 다양한 국가사업 및 과제단위(Program & Project Level) 연구개발에 대한 효율성 분석에 대한 연구들도 진행되었다(김태희, 2012; 민현구 외 2012; 이철행 외, 2014). 연구개발 효율성 분석 모형을 종합해 보면 <그림 2>와 같이 도식화 할 수 있다.



<그림 2> 연구개발 효율성 측정

다른한편으로는 DEA를 활용한 부분 효율성에 관한 연구들이 진행되었다(Tofallis, 1996; 민재형·김진한, 1998). DEA의 효율성은 입력과 산출의 조합에 높게 의존하기 때문에(Jenkins and Anderson, 2003), 입력과 산출의 다른 조합으로 분석할 필요가 있다. 이렇게 다양한 모델(Serrano-Cinca et al., 2005)의 효율성간의 차이점을 분석하여 시사점을 도출 할 수 있기 때문이다. Lee et al.(2005)은 OECD 회원국을 포함한 27개국에 대한 국가수준을 산출기반 수익불변(CRS) DEA를 활용하여 연구개발(R&D) 생산성을 측정하였으며, 연구개발 효율성 측정을 위해 기본모형 이외에 5개의 추가 모형을 통해 효율성을 분석하였다. Jenkins & Anderson (2003)은 DEA의 입력과 산출의 다른 조합분석을 하였으며, Serrano-Cinca et al. (2005)은 인터넷 기업의 효율성을 분석하기 위해 기본모형이외에 추가모형을 고려하였다.

### III. 연구설계

#### 1. 분석요소 선정

본 연구를 위한 자료는 2003년부터 2011년까지 시작하여 2006년부터 2013년 12월까지 종료된 국방기술연구개발사업에 대한 「핵심기술개발 성과분석 결과」를 근거로 143개 응용 및 시험과제를 대상으로 하였다. 기

초연구는 국방과학기술분야의 원천기술 확보 및 신개념 무기체계개발에 활용 가능한 미래 원천기술을 확보하는 목적으로 직접적으로 무기체계개발 활용이 어렵기 때문에 경제적 성과를 도출하기가 쉽지 않다. 또한, DEA 연구시에는 각 DMU의 동질성 확보가 필요하다(황석원 외, 2009). 하지만, 기초연구는 응용연구나 시험개발과 연구개발의 목적이 상이하여 직접적으로 비교하기에는 무리가 있으며, 동질성이 확보되었다고 보기는 어렵다. 따라서 본 연구에서는 어느 정도 동질성이 확보되는 응용연구와 시험개발사업의 종료된 143개의 핵심기술 연구개발사업에 대하여 분석을 하였으며, 분석단위는 개별과제가 아닌 국방연구개발의 18대 분야)를 DMU로 고려하고 분석하였다.

## 2. 투입 및 산출변수의 선정

효율적인 DEA분석을 위해서는 대상 사업의 특성을 최대한 반영하여야 한다. 다시 말하면 사업의 목표와 상황에 부합하는 투입, 산출 요소들을 선정하는 것이 가장 중요하며, 이 자료들은 현실적으로 획득 가능한 자료여야 한다(변상규, 2009). 이러한 전제 하에서 본 연구에서는 국가연구개발(R&D) 사업의 효율성 분석에 필요한 투입과 산출변수를 선행연구 검토를 통하여 <표 1>과 같이 2개의 투입요소와 3개의 산출요소를 선정하였다.

<표 1> 투입과 산출변수의 정의

구분	변수명	단위	정의
투입요소	R&D비용	억 원	정부에서 출연한 연구비
	R&D인력	명	전체 투입연구원(M/Y)의 합산
산출요소	기술적성과	특허	국내외 특허 출원 및 등록 건수
	과학적성과	논문	국내외 학술지에 논문게재 건수
	경제적성과	실용화	무기체계에 활용하였거나 활용예정인 건수

투입 및 산출요소들의 기초통계량은 <표 2> 와 같다. 투입변수의 평균적인 투입금액은 57.29억 원이며, 투입인원은 24.62명이 투입되었다. 산출은 평균적으로 특허는 2.92건, 논문은 5.78건이었으며, 실용화는 2.49건이었다.

<표 2> 투입 및 산출요소들의 기초통계량

구분	투입요소		산출요소		
	R&D 비용 (억원)	R&D 인력 (M/Y)	특허 (건)	논문 (건)	실용화 (건)
최대값	440.88	160.30	33.00	30.00	17.00
최소값	2.91	2.00	0.00	0.00	0.00
평균	57.29	24.62	2.92	5.78	2.49
표준편차	60.46	24.21	4.01	6.34	2.87

## 3. 분석방법

본 연구에서는 2개의 투입과 3개의 산출변수를 고려하여 <표 3>과 같이 모형을 구성하였다. 즉, 산출기반

3) 국방핵심기술은 8대기술분야(센서, 정보통신, 제어전자, 탄약/에너지, 추진, 화생방, 소재, 플랫폼/구조)로 나누고 있지만, 본 연구는 보다 심층적 분석을 위해서 8대 기술분야를 18대 대분류 분야로 분석하였다. 18대 대분류는 전자광학, 레이더 센서, 항법센서, 소나센서, 정보통신, 전자전, 국방 M&S, 국방 S/W, 탄약, 에너지, 추진, 화생방, 소재, 기동, 함정, 항공, 레이저, 유도무기이다.

규모수익불변(CRS) 모형을 기본모형으로 DEA 효율성 분석을 실시하고, 각 투입 및 산출변수를 기반으로 부분효율성 분석을 실시하였다. 투입변수는 경제학 및 선행연구에서 많이 활용되는 Cobb-Douglas 생산함수 ( $Y = K^\alpha L^\beta$ )의 자본(K)과 노동(L)을 고려하였고, 산출변수는 3P 기반 모형이다. 특허(Patent), 논문(Paper), 실용화(Practical)를 기반을 둔 모형이다. 그리고 DEA 추가모형의 효율성분석결과를 기반으로 군집분석(cluster analysis)을 실시하고, 시사점을 도출하였다.

<표 3> 입력과 산출에 따른 DEA 추가모형

DEA 모델	투입		산출		
	R&D 비용	R&D 인력	기술수입	논문	특허
기본모형(CRS Basic Model)	√	√	√	√	√
자본(Capital) 효율성 모형	√		√	√	√
노동(Labor) 효율성 모형		√	√	√	√
특허기반(Patent) 효율성 모형	√	√	√		
논문기반(Paper) 효율성 모형	√	√		√	
실용화기반(Practical) 효율성 모형	√	√			√

#### IV. 분석결과

본 연구에서는 연구개발(R&D) 과제에 효율성 평가에 있어 산출지향(Output-oriented) 규모수익불변(CRS) 모형을 기반으로 각 투입 및 산출변수를 기반으로 부분효율성 분석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

<표 4> 기본모형 및 추가모형에 따른 효율성 점수

과제명_DMU	Basic Model	Capital Efficiency	Labor Efficiency	Patent Efficiency	Paper Efficiency	Practical Efficiency
A	0.393	0.237	0.393	0.157	0.179	0.391
B	0.466	0.281	0.466	0.225	0.377	0.461
C	0.349	0.349	0.193	0.299	0.110	0.232
D	0.920	0.920	0.604	0.399	0.885	0.917
E	0.779	0.775	0.750	0.400	0.271	0.753
F	1.000	1.000	1.000	1.000	0.402	0.773
G	1.000	0.935	1.000	0.181	0.538	1.000
H	1.000	1.000	0.808	0.556	0.555	0.911
I	1.000	0.789	1.000	0.842	1.000	0.983
J	0.503	0.444	0.439	0.390	0.399	0.158
K	0.651	0.586	0.644	0.606	0.422	0.301
L	0.724	0.592	0.664	0.546	0.700	0.531
M	0.770	0.720	0.563	0.499	0.622	0.551
N	0.877	0.802	0.877	0.870	0.376	0.128
O	1.000	1.000	0.991	0.430	1.000	1.000
P	0.670	0.370	0.670	0.281	0.670	0.563
Q	0.637	0.428	0.630	0.370	0.637	0.201
R	0.503	0.448	0.489	0.455	0.345	0.364
평균	0.736	0.649	0.677	0.473	0.527	0.568

연구개발 효율성은 기본모형과 5개의 특화된 효율성 모델(자본, 노동, 특허, 논문, 실용화)을 기반으로 측정하였다. 각 도출된 18대 기술분야의 효율성을 기반으로 피어슨 상관관계 분석을 해보면<표 5>와 같다.

<표 5> 추가모형의 상관관계 분석표

	전체 효율성	자본 효율성	노동 효율성	특허 효율성	논문 효율성	실용화 효율성
전체 효율성	1					
자본 효율성	.944**	1				
노동 효율성	.918**	.807**	1			
특허 효율성	.535*	.524*	.548*	1		
논문 효율성	.647**	.488*	.555*	.209	1	
실용화 효율성	.766**	.726**	.661**	.088	.604**	1

\*\*P<0.01, \*P<0.05

산출기반의 효율성으로 각 기술분야를 분류하는 것은 연구개발 산출관점에서 18대 기술분야의 강점과 약점을 나타낼 수 있다. 따라서, 3종류의 산출기반 효율성을 클러스터 변수로 선택하였다. 그 이유는 투입기반의 2개의 효율성은 CRS기반 전체효율성과 높은 상관관계를 보이기 때문이다. 최종 군집분석의 결과는 <표 6>과 같이 4개의 군집으로 분류될 수 있다.

<표 6> 각 모형의 기술통계량과 최종 군집결과

각 군집의 케이스 수			군집				
군집	1		2	3	4		
	2	5					
	3	5					
	4	6					
유효	18						
결측	.000						
			자본 효율성	.694	.577	.352	.941
			노동 효율성	.761	.655	.396	.901
			특허 효율성	.738	.419	.305	.568
			논문 효율성	.399	.580	.282	.730
			실용화 효율성	.215	.520	.321	.931

Ward's Method와 유클리드 거리(유클리드 거리의 제곱)를 이용한 계층적 군집 분석<sup>4)</sup>을 이용하여 <표 7>과 같이 4개의 그룹으로 분류하였다.

<표 7> 국방연구개발 18대기술별 연구개발 효율성 클러스터

클러스터	특허	논문	실용화	개수	분야
1	0.738	0.399	0.215	2	K, N
2	0.419	0.580	0.520	5	E, L, M, P, Q
3	0.305	0.282	0.321	5	A, B, C, J, R
4	0.568	0.730	0.931	6	D, F, G, H, I, O

4) 군집분석(cluster analysis)은 개인 또는 여러 개체 중에서 유사한 속성을 지닌 대상을 몇 개의 집단으로 그룹화한 다음, 각 집단의 성격을 파악함으로써 데이터 전체의 구조에 대해 이해하고자 하는 탐색적인 분석 방법이다. 군집분석에서는 고객 혹은 분석대상 간의 유사성을 유클리디안 거리(Euclidean distance)로 측정하고 있다. 계층적 군집분석은 기준이 되는 대상들로부터 시작하여 개별 대상 간의 거리를 기준으로 나무모양의 계층구조를 상향식(bottom-up)으로 형성해가는 방식이다.와드방식(유클리디안 제곱거리를 이용) (출처 : 연구조사방법론(이훈영, 2008) Chap 13. 군집분석)

## V. 결론

본 연구는 2003년부터 2011년까지 시작하여 2006년부터 2013년 12월까지 종료된 국방기술연구개발사업에 대한 「핵심기술개발 성과분석 결과」를 근거로 어느 정도 동질성이 확보되는 응용연구와 시험개발사업의 종료된 143개의 핵심기술 연구개발사업에 대하여 분석을 하였으며, 분석단위는 개별과제가 아닌 국방연구개발의 18대 분야를 DMU로 고려하고 분석하였다. DEA 기본모형과 입력과 투입의 부분효율성을 이용한 추가모형을 기반으로 효율성을 분석하고, 군집분석을 통해 국방연구개발 18대 분야를 4개의 군집으로 도출하였다. 향후 국방연구개발 추진전략 수립시 각 분야의 특징을 기반으로 각 분야에 맞는 정책 수립이 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 고민수·이덕주(2001), “DEA를 이용한 OECD 국가별 연구개발 효율성 비교분석”, 『대한산업공학회 추계학술대회 논문집』, 제11권, pp. 703-706.
- 김태희(2012), “국가연구개발사업을 통한 국제공동연구 성과 제고 방안에 대한 연구: 기초 및 원천분야를 중심으로”, 『기술혁신학회지』, 제15권, 제2호, pp. 400-420.
- 민현구김태영황승준(2012), “개방형 혁신에 의한 R&D 연구의 효율성 평가 분석: 과학기술적 성과 관점에서 AHP-DEA방법론 적용”, 『산업경영시스템학회지』, 제35권, 제4호, pp. 149-161.
- 박만희(2008), 『효율성과 생산성 분석』, 경기도: 한국학술정보(주).
- 박성민(2010), “R&D 프로젝트 효율성 상관분석 및 사업포지셔닝 조사를 위한 2단계 DEA/AR-I 성과평가모형”, 『대한경영학회지』, 제23권, 제6호, pp. 3285-3303.
- 방민석·정혜진(2011), “자료포락분석을 활용한 지방 R&D사업의 효율성 분석”, 『지방행정연구』, 제25권, pp. 285-308.
- 변상규한정희(2009), “국가 R&D 사업 효율성 연구: 신성장동력 핵심기술개발사업을 중심으로”, 『과학기술법연구』, 제15권, 제2호, pp. 179-206.
- 이민화이광배박홍균(2012), “지역 연구개발투자의 효율성 분석”, 『산업경제연구』, 제25권, 제5호, pp. 3365-3382.
- 이정동·오동현(2012), 『효율성 분석이론』, 서울: (주)서울문고.
- 이철행·조근태(2014), “DEA를 이용한 보건의료기술 R&D 사업의 효율성 분석과 전략적 포트폴리오 모형: 중개연구를 중심으로”, 『대한산업공학회지』, 제40권, 제2호, pp. 172-183.
- 황석원·안두현·최승현·권성훈·천동필·김아름·박종혜(2009), 『국가연구개발사업 R&D 효율성 분석 및 제고방안』, 서울: 과학기술정책연구원.
- Farrel, M.J. (1957), “The measurement of productive efficiency”, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A(General)*, Vol. 120, No. 3, pp. 253-290.
- Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. (1978), “Measuring the efficiency of decision making units”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, pp. 429-444.
- Banker, R.D., Charnes, A. and Cooper, W.W. (1984), “Some models for estimating technical and scale



- inefficiencies in data envelopment analysis”, *Management Science*, Vol. 30, No. 9, pp. 1078-1092.
- Jenkins, L. and Anderson, M. (2003), “A multivariate statistical approach to reducing the number”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 147, pp. 51-61.
- Kocher, M.G., Luptacik, M. and Sutter, M. (2006), “Measuring productivity of research in economics: a cross-country study using DEA”, *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 40, pp. 314-332.
- Lee, H.Y. and Park, Y.T. (2005), “An international comparison of R&D efficiency: DEA approach”, *Asian Journal of Technology Innovations*, Vol. 13, No. 2, pp. 207-222.
- Lu, W.M., Kweh, Q.L., Huang, C.L., Kweh, Q.L. and Huang, C.L. (2014), “Intellectual capital and national innovation systems performance”, *Knowledge-Based Systems*, Vol. 71, pp. 201-210.
- Serrano-Cinca, C., Fuertes-Calle'n, Y. and Mar-Molinero, C. (2005), “Measuring DEA efficiency in internet companies”, *Decision Support Systems*, Vol. 38, pp. 557-573.
- Tofallis, C. (1996), “Improving discernment in DEA using profiling”, *Omega*, Vol. 24, No. 3, pp. 361-364.
- Wang, E.C. and Huang, W. (2007), “Relative efficiency of R&D activities: a cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach”, *Research Policy*, Vol. 36, pp. 260-273.
- Wanga, K., Yu, S. and Zhang, W. (2013), “China’s regional energy and environmental efficiency: a DEA window analysis based dynamic evaluation”, *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 58, pp. 1117-1127.
- Yanga, W., Shaoa, Y., Qiao, H. and Wang, S. (2014), “An empirical analysis on regional technical efficiency of Chinese steel sector based on network DEA method”, *Procedia Computer Science*, Vol. 31, pp. 615-624.