

# 다단계 DEA 모형을 활용한 공급망 품질경영 효율성 분석: 국내 방산업체를 대상으로

전계룡\* · 유한주\*\*†

\*방위사업청, 숭실대 대학원 경영학과

\*\* 숭실대학교 경영학부

## An Efficiency Analysis of Supply Chain Quality Management Using the Multi-stage DEA Model: Focused on the Domestic Defense Industry Companies

Jeon, Gyeryong\* · Yoo, Hanjoo\*\*†

\*Defense Aquisition Program Agency(Graduate School of Business Administration, Soongsil University)

\*\*Division of Business Administration, Soongsil University

### ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this study was to present a methodology for assessing the efficiency of supply chain quality management considering characteristics of defense industries to provide academic and policy implications for strengthening quality competitiveness of military supplies.

**Methods:** Using the defense industry's empirical data, conduct an efficiency evaluation by utilizing a multi-stage DEA/Entropy Model for defense industries subject to the quality level survey of military goods manufacturers in 2017.

**Results:** The results of this study are as follows; the first step of the multi-stage DEA model, Quality Management Performance Efficiency Analysis, shows that the CCR model and the BCC model are more efficient than the parent company. the second stage of the multi-stage DEA model showed that the CCR model was slightly more efficient than the parent company and the BCC model was more efficient than the parent.the overall efficiency value of the multistage DEA model, calculated by multipointing the efficiency value of the first stage by the second stage, was more efficient than the parent.

● Received 11 December 2018, 1st revised 30 December, accepted 31 December 2018

† Corresponding Author(hyoo@ssu.ac.kr)

© 2019, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and re-production in any medium, provided the original work is properly cited.

**Conclusion:** The results of this study show that the efficiency of supply chain quality management performance and profitability in the defense industry can be analyzed for the first time using the multistage DEA/Entropy model to identify specific inefficiencies and support objective decision making.

**Key Words** Supply Chain Quality Management, DEA(Data Envelopment Analysis), Shannon's Entropy

## 1. 서 론

오늘날의 기업 경영환경은 시장의 확대와 수요자 욕구가 다양화되어 시장의 불확실성이 커지고 있으며, 이러한 불확실성에 대응하기 위해서 공급망 내에 있는 구성원 전체가 시장변화에 대한 신속한 대응이 요구되고 있다. 또한, 최근 경영환경은 공급망 내 기업 간 경쟁이 아니라 기업군(群)간의 경쟁으로 바뀌고 있으므로, 이러한 경쟁에 대응하기 위해 공급망 내 기업들의 전체수익 최대화를 위한 노력이 요구되고 있다. 더불어, 최근 방위산업은 군수품의 첨단화, 다양화에 따른 품질 향상과 국방 비용절감을 통한 고객만족 달성을 위하여 품질경영활동이 수행되고 있으며 이를 위한 능동적 국방 품질정책 방향 설정의 필요성이 제기되고 있는 상황이다. 방위산업의 품질경영 성과 향상은 단순히 방산물자의 품질개선을 넘어 국방 품질경영 프로세스 전반에 대한 개선 노력이 필요하며, 이를 위해 국방 공급망 내 모든 구성원간 협업에 대한 중요성 인식이 무엇보다도 중요하다. 이러한 배경 하에 최근 방위산업 내 품질경영 개선을 위한 협력적 공급망 품질경영의 중요성이 부각되고 있는 상황에 맞춰 방산업체의 품질경영 공급망 구성원 전체의 협업 활동의 중요성 인식이 무엇보다도 필요하다 할 수 있다.

방산업체의 군수품의 품질 향상은 해당 공급망 구성 주체들의 우수한 품질경영 활동을 기반으로 하고 있으며, 공급망 품질경영 활동은 품질 개선을 촉진하여 제품 신뢰도 향상 및 방위산업 성장 장애요인 제거와 글로벌 수출 경쟁력 제고에 기여할 것으로 기대된다. 따라서 국제적인 경쟁력확보를 위한 공급망 품질경영 활동은 선택이 아닌 필수가 되고 있는 상황이다. 그러나 방산업체의 공급망 품질경영에 대한 연구는 여전히 미흡한 실정이며, 무엇보다도 공급망 품질경영 성과와 그 효율성에 대한 연구는 거의 전무한 상황이다. 그동안 방산업체의 효율성 평가연구는 종업원 수 및 자산을 투입요소로, 매출액을 산출요소로 선정하여 단순하게 효율성 평가하는 연구가 대부분이었으며, 방산업체의 품질 경쟁력 확보에 필요한 다양한 시사점을 제공하기에는 제한사항이 많았다.

이에 본 연구에서는 방산업체의 공급망 품질경영 효율성을 분석하여 공급망 품질경영의 중요성을 재인식하고, 품질경쟁력 강화를 위한 정책적 시사점을 제공하기 위해 2017년 군수품 생산업체 품질수준 조사 대상 중 30개 방산업체를 대상으로 국방 공급망 품질경영 효율성을 분석하였다. 특히 다수의 기업들이 포함된 국방 공급망 방산업체들을 고려하여 이들을 모기업과 협력기업으로 분류하여 그 효율성을 세부적으로 분석하였다. 효율성 분석에 있어 구체적인 비효율의 원인을 파악하고 방산업체로 하여금 정책적 시사점을 보다 효과적으로 제공하기 위해 다단계 DEA모형을 활용하였고, DEA모형별 상이하게 도출되는 결과값으로 인한 객관적 의사결정의 어려움을 극복하기 위하여 다단계 DEA와 Shannon's entropy 결합모형을 활용한 통합 효율성 값을 제시하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 한국의 방위산업의 개요 및 특징

방위산업이란 방위사업법 제34조에서 ‘방위산업 물자(이하, 방산물자)를 생산하거나 연구 개발하는 업’으로 정의하고 있다. 넓은 뜻으로는 무기·탄약 등 전투와 직접 관련된 것뿐만 아니라 피복·군량 등 비전투용 군수물자까지도 포함하여 해석된다. 하지만 통상적으로는 국방력 구성에 중요한 요소인 함정·항공기·총·포·탄약·미사일 등 무기장비의 개발 및 생산을 담당하는 산업의 총칭으로서 그 범위를 한정하고 있다. 제2차 세계대전까지는 군수산업(軍需産業)으로 해석했으나, 방위전으로 전쟁개념이 발전하면서 방위산업 즉 방산이라는 용어를 널리 사용하게 되었다. 또한, 미국에서는 “방위산업은 정부 및 민간 소유시설을 이용하여 육군·해군·공군이 필요로 하는 물자 및 시스템을 공급하는 계약업체, 협력업체, 부품 공급업체 등으로 구성되며 특히, 전시 및 비상시 급속한 확장능력이 요구되는 산업”이라고 정의하고 있다. 우리나라의 방위산업은 1970년대부터 2010년까지 40년간 크게 성장하였는데, 이 기간 동안 연구개발에 16조 원을 투자하여 약 12만 명의 고용을 창출하였고, 총 9조 5000억 원의 부가가치를 창출하였다. 갈수록 강화 및 보호되는 선진국의 기술장벽을 고려 시 첨단 기술 중심으로 집중적인 투자가 필요하다고 볼 수 있다. 방위산업은 민수산업과는 달리 초기에 막대한 설비투자비용이 요구되는 자본집약적 산업이며, 첨단 핵심기술이 집약된 산업으로 타 산업에 미치는 경제적, 기술적 파급효과가 매우 큰 산업이다. 또한, 우회 생산성이 높아 부가가치 효과 및 생산유발 효과가 매우 큰 산업이기도 하다.

### 2.2 공급망 품질경영 고찰

#### 2.2.1 공급망 품질경영의 개요

제품의 공급망에는 원재료 및 부품 제공업체, 제조 업체, 유통업체, 판매업체, 소비자 등이 존재하고, 최종 제품의 품질은 공급망에 관여하는 기업들의 역량에 의해 결정된다. 따라서 제품의 품질 향상을 위해서는 공급망에 참여하는 모든 기업들의 역량이 향상되어야 하고, 기업 간의 협업이 요구된다. 초기의 선행연구들은 공급망 품질경영(Supply Chain Quality Management, 이하 ,SCQM)이라는 용어를 사용하지 않고, 공급망관리(Supply Chain Management, 이하 SCM)와 전사적 품질경영(Total Quality Management, 이하 TQM)의 통합을 주장했다. TQM은 지속적인 품질 향상과 직원들 참여를 중요히 여기지만, SCM은 제품과 서비스의 적시 배달, 공급자와 관계 등을 강조한다. 다시말하면, 기업 내부와의 통합에 초점을 맞춘 TQM, 기업 외부와 동반자 관계에 초점을 맞춘 것이 SCM이다. 따라서 기업 조직의 경쟁력을 강화하고 고객 만족을 달성하기 위해서는 TQM과 SCM을 통합해야 한다.

그 후 SCQM이라는 용어가 사용되었는데, 그 정의와 의미는 다음과 같다. Robinson and Malhotra(2005)는 품질 관리의 중요성에도 불구하고 이를 공급망과 연계하여 살펴본 연구가 적다고 비판하였다. 그들은 SCQM이란 공급망 내 구성원인 모든 기업들과 연관된 비즈니스 프로세스의 통합이고, 모든 고객에게 가치와 만족을 주기 위하여 서비스와 제품에 대해 평가하고 지속적으로 향상시키는 과정이라고 정의하였다. Foster(2008)에 따르면, SCQM은 공급자와 고객을 연결함으로써 발생하는 기회를 이용하여 성과를 향상 시키는 시스템 기반의 접근법이다. 이는 Robinson과 Malhotra(2005)의 연구와 마찬가지로 프로세스 중심의 관점에 해당한다

## 2.2.2 국방 공급망 품질경영 모델

국방 공급망 품질경영 모델(Defense-Supply Chain Quality Management, 이하 D-SCQM)은 방위 산업 내 하나의 공급망에 속해 있는 모기업(방산업체)과 협력기업(방산업체의 협력업체) 간의 협력적 공급망 품질경영(Collaborative Supply Chain Quality Management Index, 이하 CSQI) 수준을 측정하고 분석하여 개선할 수 있는 공급망 경영 모델이다. D-SCQM을 활용하여 공급망 내 전반적인 협력수준과 실행 요소별로 실행 가능한 수준을 평가하고, 평가지표상 나타나지 않고 현장에서 체감하는 협력 저해 요소를 파악함으로써, 방위산업 공급망 내 협력수준을 정확히 진단→개선방안 도출→실제적 개선 활동을 수행하여 평가도구가 아닌 공급망 품질경영의 개선을 실질적으로 지원하고 유도할 수 있는 개선도구라 할 수 있다.

CSQI는 방위산업 내 공급망에 속해 있는 모든 기업 간(방산업체-협력업체)의 협력 수준을 측정 및 분석할 수 있는 협력적 공급망 품질경영 지수이며, 협력적 공급망 품질경영(Collaborative Supply Chain Quality Management, 이하 CSQ)의 4개 범주(CSQ 기반, CSQ 지원, CSQ 실행, CSQ 성과)를 대상으로 측정하여 측정값과 가중치 합에 의해 CSQI를 산출된다. CSQ 기반과 CSQ 지원 평가항목은 협력적 공급망 품질경영의 실행 및 성과 창출을 위한 기반적 요소들의 구축 정도와 지원 수준을 평가하고, CSQ 실행은 협력적 공급망 품질경영 활동의 실행 수준을 평가하고 CSQ성과는 협력적 공급망 품질경영 실행 활동을 통한 성과 수준을 평가한다.

## 2.2.3 군수품 생산업체 품질수준 조사

방위사업관리규정 제642조(품질정보 환류)와 제642조의2(군수품 품질보증 기본계획)에서는 군수품 생산업체 품질수준조사서를 통해 체계적·종합적으로 수집, 분석된 데이터를 관련 국방정책, 계획수립, 사업추진 등에 활용할 수 있도록 하기 위해 매년 주요 군수업체를 대상으로 군수품 품질관리 실태 및 경영수준을 조사하고 있다. 군수품 생산업체 품질수준 조사를 위한 모형은 Figure 1과 같으며 이는 가치사슬 모형을 기반으로 군수품 생산업체 수준에 따른 품질경영 정책 수립에 기초를 마련하고자 하였다. 즉, 기업이 부가가치를 창출해내는 과정을 사슬형태의 모형으로 도식화한 가치사슬 모형은 하버드대학의 마이클 포터 교수에 의해 고안되었다. 제품의 생산, 운송, 판매 등 현장업무 활동을 의미하는 본원적 활동(Primary Activities)과 리더십, 전략, 인사 등 현장 활동을 지원하는 지원활동(Support Activities)의 제반업무를 의미한다. 따라서 군수업체 수준평가 모형은 마이클 포터의 가치사슬 모형을 바탕으로 현장업무를 지원하는 경영품질(고객, 자원관리, 리더십, 전략, 등)부문과 실제로 가치를 창출해 내는 시스템품질(신뢰성, 안전품질, 현장 프로세스, 공급망 관리)로 구분하였다. 여기에 민간분야의 대표적 품질진단 모형인 MBNQA (Malcolm Baldrige National Quality Award), JQA(Japan Quality Award) 등의 핵심 가치 중 하나인 '결과중심의 가치창조', '사실에 기반한 관리'에 해당하는 개념으로 재무성과를 가장 상위 개념으로 올렸다. 또한 품질경영 성과를 별도로 분리하지 않고 부문별로 과정지표와 더불어 포함시킴으로써 성장과 과정의 인과관계를 강화하였다.

## 2.3 효율성 측정

### 2.2.1 효율성의 개념과 측정방법

일반적으로 투입물에 대한 산출물의 비율로 생산성(Productivity)을 정의한다. 기업에서 사용하는 생산성의 평가 기준은 1인당 매출액 및 생산량, 시간당 산출량 등 투입과 산출을 대비한 개념을 통해 생산성 평가의 기준으로 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 방법은 효율성을 평가하는 방법과도 유사하여 Hatry와 Fisk(1992)는 효율성

(Efficiency)과 생산성은 그개념의 차이가 별로 없다고 주장하였다. 이처럼 생산성과 효율성의 개념이 혼용되어 광범위하게 사용되고 있지만 엄밀히 말하며 그 차이점이 존재하므로, 연구목적 달성을 위해 이를 구분하는 것이 필요하다. Atkinson 와 Halvorsen(1980)은 효율성을 상대적 효율성(Relative Efficiency), 절대적 효율성(Absolute Efficiency)으로 구분하여 분석하는 것이 중요하다고 하였다. 절대적 효율성은 앞서 제시한 것처럼 생산성과 같은 개념으로 조직과 기업의 물리적 투입과 산출의 비율로서 효율성 측정 결과의 범위에 대해서는 제약을 받지 않는다. 이에 비하여, 상대적 효율성의 개념은 투입대비 산출의 단순한 비율을 평가하는 것이 아니라 동종 또는 유사 조직(업체)의 투입에 대비한 산출을 비교하여 결정하기 때문에 상대적 효율성을 의미하고, 효율성 수준의 판단과 결정은 비교되는 대상의 최고의 효율성 수준을 비교하여 '100%'나 '1'로 최고수준을 표준화하여 효율성을 평가하게 된다.

이러한 상대적 효율성을 측정하는 대표적인 모형인 DEA(Data Envelopment Analysis, 자료포락분석)기법은 Charnes 등(1978)의 연구에서 처음으로 제시된 모형으로 비교대상간의 상대적 성과 차이로 분석할 수 있는 효율성의 개념을 설명하였다.

2.2.2 DEA(Data Envelopment Analysis)모형

경제학적 관점에서 기업의 효율성을 평가하는 주요 방법들은 정량적 재무지표를 활용한 수익성, 안정성, 성장성 등이 있다. 하지만 이러한 지표들은 기업이 경영활동을 위해 운영과정에서 투여하는 경영요소들에 대해 정량적 효율성을 투입요소별 개량적으로 평가하지 못한다는 단점이 있다. 특히, 비효율성에 대한 경영개선 지표와 무엇을 어떻게 개선해야 하는지에 대한 객관적 지표를 제시하지 못한다는 단점이 있어 조직의 효율성과 생산성을 평가하는 방법으로 경영학에서는 널리 활용되고 있지 못하다. 따라서 경영학에서는 이러한 경제적 재무지표의 단점을 보완하고 투입요소와 산출요소를 고려하여 조직의 효율성을 평가함으로써 경영개선 지표를 정량적으로 제시하기 위한 시도가 이루어졌으며, 특히 Charnes, Cooper & Rhodes(1978) 등의 학자들은 Farrell (1957)의 정립한 효율성 특성을 고려한 자료포락분석 기법을 발표하였다.

Charnes, Cooper, & Rhodes(1978)는 산출물을 고정시킨 상태에서 투입요소를 변화시켜가며 산출물을 최대한 늘릴 수 있는가에 관해 연구하였으며, 그러한 고민 끝에 규모수익불변(Constant Return to Scale, CRS) 모형의 자료포락분석 기법(CCR 모형)을 발표하였다. Figure 1과 같이 Charnes, Cooper, & Rhodes(1978)가 발표한 자료포락분석은 규모의 효율성을 고려하지 못한다는 단점이 있어 Banker, Charnes, & Cooper(1984)는 Charnes, Cooper, & Rhodes(1978) 모형에 분석단위의 규모를 덧붙여 규모의 수익변화(Variable Return to Scale, VRS)모형을 발표(BCC 모형)하였다.

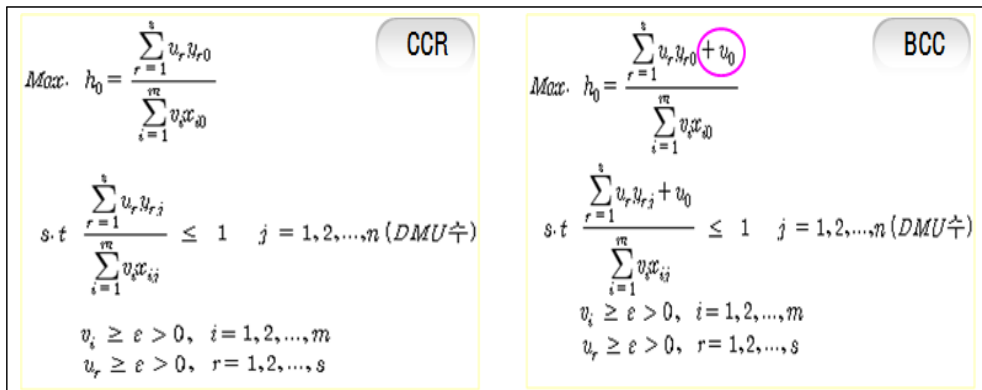


Figure 1. The difference of CCR and BCC Model

### 2.2.3 DEA 모형을 활용한 방산업체의 효율성 분석

DEA 모형의 활용가치가 증가되면서 국방분야에서도 방산업체에 대한 효율성 평가를 위해 DEA 모형이 다양하게 활용되고 있다. DEA를 활용한 방산업체 관련 기존 연구는 Table 1과 같다. 정구호(2005)는 유럽 방산업체를 대상으로 투입요소는 총자산, 종업원 수, 연구개발 투자비로 하고, 산출요소는 총 매출액으로 선정하여 DEA를 이용하여 효율성 분석을 하였다. 그 결과 기업합병으로 대기업이 된 업체들은 효율성이 높게 나타났으나, 일부 업체는 규모의 효율성이 낮게 나타났다. 또한, 일부 업체는 순수기술효율성이 낮게 나타났다. 이대식(2006)은 국내외 군용항공기 제작회사 19개업체에 대해 총자산 및 종업원 수를 투입요소로, 산출요소로 총매출액을 선정하여 상대적 효율성을 분석하였다. 장현규(2007)은 DEA 모형에 의해 방산업체의 경영 효율성과 연구개발의 투자 비율간의 관계를 연구하였는데, 투입요소로 총자산 및 종업원 수를, 산출요소로 매출액 및 당기 순이익을 선정하여 효율성 분석을 하였다. 분석결과 매출액 대비 연구개발 투자비율이 높을수록 경영 효율성이 높았으나, 일정 한계점을 지나면 연구개발투자가 효율성 증진에 기여하지 못하는 것으로 분석 되었다. 조경제(2015)는 DEA 모델에 의한 방위산업체의 효율성과 생산성에 관한 연구를 하였는데, 재료비, 인건비 및 투자자본을 투입요소로, 매출액을 산출요소로 하여 효율성을 분석하였다. 분석결과 일반 민수기업보다 방산업체의 상대적 효율성이 낮아 효율성을 향상시킬 수 있는 제도적인 장치 마련의 필요성을 제시하였다. 오현석(2018)은 DEA 및 Post-DEA(Tier분석, Tobit 분석) 분석 기법을 활용하여 조직의 상대적 효율성 정도, 비효율적 조직의 개선 가능치와 벤치마킹 방향 및 효율성 원인분석을 실증적으로 수행하였다.

Table 1. Input and output factors of DEA studies for defense industries

Researcher	Analysis target	Input	Output
G.H.Jung (2005)	European Defense Company	Total assets, Number of employees, R&D Investment Cost	Sales
D.S.Lee (2006)	19 Military Aircraft Companies (USA 4, Europe 5, Domestic 10)	Total assets, Number of employees	Sales
K.Y.Choi (2006)	Top 10 defense companies	Total assets, Number of employees	Sales
H.K.Jang (2007)	Top 10 defense companies	Total assets, Number of employees	Sales, Net profit
S.M.Jung (2010)	27 domestic defense companies	Number of employee, Total assets, material cost	Sales
Y.T.Kim (2012)	30 domestic defense companies	Total assets, Number of employee	Sales, Operating profit
K.J.Jo (2015)	31 domestic defense companies	Material cost, Personnel expense, Invested capital	Sales
H.S.Choi (2018)	95 domestic defense companies	Number of employee, Capital assets, Raw material cost	Sales

### 3. 연구설계

#### 3.1 표본 구성과 요소 선정

##### 3.1.1 표본 구성

방산업체의 공급망 품질경영 효율성을 분석하기 위해 본 연구에서는 2017년 군수품 생산업체 품질수준 조사 대상 284개 업체 중 방산업체를 대상으로 하였으며, 그중에서 공급망 품질경영 성과 효율성 평가를 위해 다수의 기업들이 포함된 공급망을 고려 모기업과 협력기업으로 분류하였다.

방산업체 특성상 대기업들이 모기업을, 중소기업이 협력기업으로 역할을 하고 있으므로 본 연구에서는 이 둘의 효율성을 동일선상에 놓고 분석하기에는 무리가 있어 모기업과 협력기업의 효율성을 각각 분석하고자 한다. 또한, 국내 방산업체는 매출액 규모와 방산분야에 종사하는 종업원 수가 업체별로 큰 차이가 나기 때문에 상대적 효율성을 절대 비교를 통한 평가 및 유의미한 결과 도출을 기대하기 곤란하다. 따라서 국내 방산업체 중에서 종업원 수 및 매출액 규모 등을 고려 대기업(모기업)과 중소기업(협력기업)으로 분류 선정하여 분석하였다. 이를 위해 2017년 방산업체의 경영분석 자료와 군수품 생산업체 품질수준 조사자료를 활용하였다.

##### 3.1.2 투입과 산출요소의 선정

본 연구에서는 국방 공급망 품질경영 공급망에 있는 모기업과 협력기업의 공급망 품질경영 성과 및 수익 효율성을 분석하기 위하여 연구목적, 방위산업 정책 수립 시 고려하는 사항, 관련 문헌연구, 데이터확보 가능성 등을 종합적으로 고려하여 투입 및 산출요소를 Table 2와 같이 선정하였다.

첫 단계에서는 자산 및 종업원 수를 투입요소로 선정하고, 공급사 납기달성율, 공급사 검사 양호율 및 사용자 만족비율을 산출요소로 선정 하였다. 그리고 두 번째 단계는 첫 단계의 산출요소인 공급사 납기달성율, 공급사 검사 양호율 및 사용자 만족비율을 투입요소로 선정하였고, 매출액, 영업이익을 산출요소로 선정하였다.

Table 2. Input and Output

	Input	Output
Fist Level	- Total assets, - Number of employees,	- Supplier delivery fulfillment rate - Supplier Inspection Goodness rate - User Satisfaction rate
Second Level	- Supplier delivery fulfillment rate - Supplier Inspection Goodness rate - User Satisfaction rate	- Sales - Operating profit

##### 1) 첫 단계 투입요소

첫 단계 투입요소는 일반 기업경영 효율성 분석 시 주로 사용되는 투입요소인 종업원 수 및 자산을 선정하였다. 종업원 수는 기업에 있어서 인력은 산출물을 생산하는 데 있어서 가장 중요한 요소 중의 하나이다.

##### 2) 첫 단계 산출요소, 두 번째 단계의 투입요소(매개변수)

두 번째 단계 분석 시에 활용되는 매개변수는 첫 단계에서 사용한 산출요소이면서 두 번째 단계에서는 투입요소

로의 기능을 하게 된다. 본 연구에서는 국방 공급망 품질경영의 공급망에 있는 방위산업체(모기업/협력기업)의 전체 효율성을 공급망 품질 경영 성과 효율성과 수익 효율성을 나누어 2단계로 분석 하고자 한다. 따라서 첫 단계에서는 산출요소이고 두 번째 단계에서는 투입요소인 매개변수는 국방 공급망 품질경영의 협력적 공급망 품질경영지수(CSQI)의 측정지표를 고려하여 2017년 군수품 품질수준 성과지표 중 공급망 품질경영 평가항목을 활용하고자 한다. 그러나 자료 확보의 제한 및 방위산업 특징, 중복지표 등을 고려하여 일부 지표는 사용이 제한되어 대상에서 제외하고 자료 확보가 가능하여 활용이 가능한 변수를 매개변수로 선정하였다.

국방 공급망 품질경영의 CSQ 측정지표(안) 중 모기업, 협력기업의 평가분야 CSQ성과 항목 ‘품질, 생산성’과 연계하여 군수품 생산업체 품질수준 진단모형의 실제 평가항목에서 매개변수를 선정하였다. 먼저, CSQ 측정지표 중 품질 관련 평가항목은 공급사 수입검사 불량률, 하자발생 복구비율, 사용자 불만비율 등이 있으나, 하자발생 복구비율은 공급사 수입검사 불량률과 중복됨으로 미적용 하였고, 기타 변수는 방산업체로부터 관련 자료 확보가 제한되어 변수선정에서 제외하였다. 따라서 본 연구에서는 CSQ 측정지표 중 품질 관련 평가항목인 공급사 수입검사 불량률, 사용자 불만비율 2개 지표와 생산성 관련 공급사 납기 달성율을 적용하였다. 단, DEA분석 특성을 고려 모든 변수가 동일한 방향성(+)이 되어 하므로, 공급사 수입검사 불량률을 공급사 수입검사 양호율로, 사용자 불만비율을 사용자 만족비율로 변경하여 자료를 활용하였다. 또한, CSQ 측정지표 중 생산성 관련 평가항목은 공급사 납기 달성률, 납기 준수율 등이 있으나, 납기준수율은 공급사 납기 달성률과 중복됨으로 미적용 하였고, 기타 방산업체에게 자료 확보의 제한이 예상되어 변수선정 과정에서 제외하였다. 따라서 본 연구에서는 CSQ 측정지표 중 생산성 관련 평가항목인 공급사 납기 달성율 1개 지표를 적용 하였다. 더불어, 매개변수로 선정한 공급사 수입검사 불량률과 공급사 납기 달성율은 군수품 생산업체 품질수준 진단 모형 중 공급망 품질경영 항목에 해당되는 항목으로서 실제 국방 공급망 품질경영 성과 효율성을 평가하기에 적절하다고 판단된다.

본 논문에서는 매개변수로서 3개 지표를 적용하였으며, 국방 공급망 품질경영 CSQ성과 측정지표(안)과 군수품 생산업체 품질수준 진단 모형항목 성과지표의 평가항목을 고려 적용한 매개지표로 구체적인 지표 선정 사유는 Table 3과 같다

Table 3. Reason for selecting parameters

Defense Supply Chain CSQ Measurement Indicators Subjected to Review (2015)	Items for assessment of quality level of munitions producers Quality (2017)
Quality (2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Application of two indexes, including user complaint rate and Supplier's import inspection defect rate</li> <li>- Failure recovery rate is not applied due to overlap or link to two indexes.</li> <li>- Supplier Inspection Failure Rate : Defense SCQM Evaluation Items</li> </ul>
Productivity (1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 1 Indicators of supplier delivery rate</li> <li>- Time-to-Delivery Compliance RatE overlaps with the above items</li> <li>- Supplier Inspection Failure Rate : Defense SCQM Evaluation Items</li> </ul>

3) 두 번째 단계 산출요소

두 번째 단계에서 분석시 활용되는 산출요소는 기업경영의 효율성 분석 시 주로 많이 사용하는 매출액 및 영업이익



을 산출요소로 선정하였다. 총 매출액은 방산업체들이 경쟁력 강화 및 경영혁신 등을 통해 매출액이 증가하게 되며, 이는 일반 기업들의 경영활동의 상태를 나타내는 대표적인 요소라 할 수 있기 때문에 대부분 매출액을 산출요소로 사용하고 있다. 영업이익은 매출액과 더불어 기업의 경영 효율성 분석 시 산출요소로 많이 활용되는 변수이다. 기업이 매출액이 많아도 이익이 없다면 해당 기업은 경쟁에서 생존할 수 없고 효율성도 상대적으로 좋다고 말할 수 없다.

### 3.2 연구절차

2017년 방위산업체에 대한 국방 공급망 품질경영 성과 및 수익 효율성 분석을 목적으로 30개 방산업체를 대상으로 다단계 DEA의 수행절차는 Figure 2와 같다.

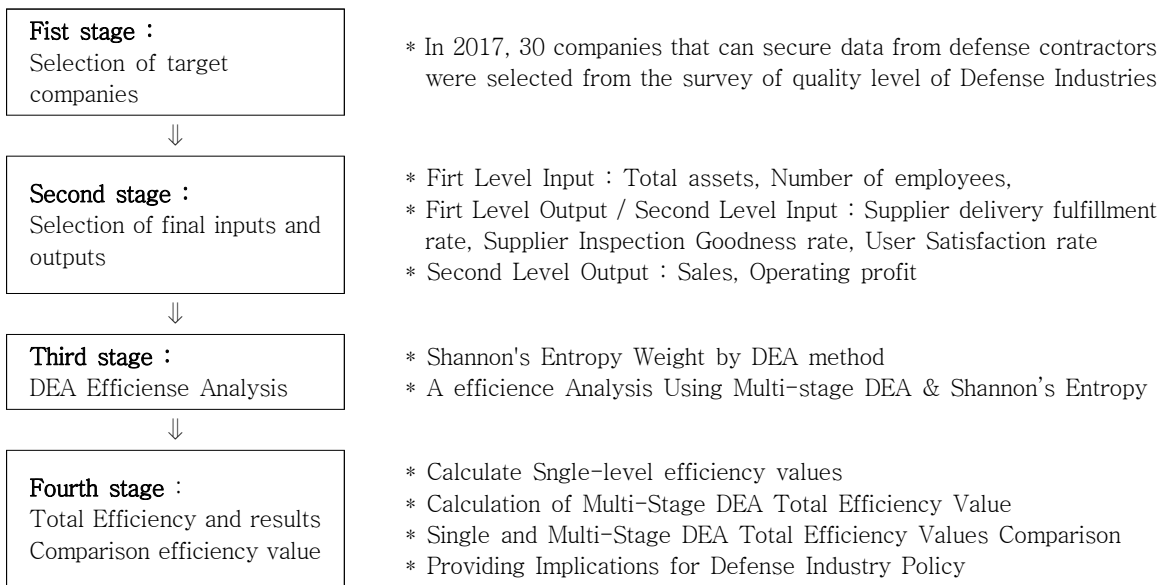


Figure 2. Research procedure

### 3.3 연구모형

#### 3.3.1 다단계 DEA 모형

다단계 DEA를 활용한 효율성 분석 과정을 그림으로 표현하면 Figure 3과 같다.

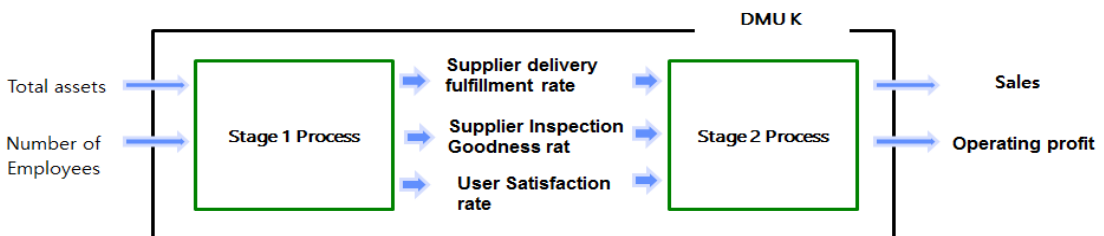


Figure 3. Multi-stage DEA process

첫 단계 효율성 분석 모형은 아래식과 같다.

$$E_k^1 = \max \frac{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}}$$

$$s.t \frac{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \leq 1, j = 1, \dots, n.$$

$$w_p, v_i \geq \epsilon, p = 1, \dots, q. i = 1, \dots, m.$$

두 번째 단계의 효율성 분석을 위한 모형은 아래식과 같다

$$E_k^2 = \max \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}}{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pk}}$$

$$s.t \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}}{\sum_{p=1}^q w_p Z_{pj}} \leq 1, j = 1, \dots, n.$$

$$u_r, w_p \geq \epsilon, r = 1, \dots, s. p = 1, \dots, q.$$

첫단계와 두 번째 단계의 효율성 결과를 고려한 전체 총 효율성을 구하는 식은 아래와 같다.

총 효율성 :  $E_k = E_1^k \times E_2^k$

여기서,  $E_k$  : 첫 단계와 두 번째 단계의 전체 효율성     $E_1^k$  : 첫 단계의 효율성(공급망 품질경영 성과 효율성)

$E_2^k$  : 두 번째 단계의 효율성(수익의 효율성)

### 3.3.2 DEA/Shannon's Entropy 결합모형

DEA와 Shannon's Entropy의 결합모형을 활용한 연구는 다음과 같은 순서로 수행한다. 가장 먼저 개별 DEA를 이용하여 상대적 효율성 결과값을 도출한다. 도출한 효율성 값을 토대로 Shannon's Entropy를 이용하여 가중치를 결정하고, 이 가중치에 각각의 개별 DEA 효율성 값의 곱으로 최종 효율성 값을 구한다. 개별 DEA별 효율성 결과값에 Shannon's Entropy를 활용하여 가중치를 구하는 계산과정은 아래와 같이 설명할 수 있다.

먼저, 분석대상인 방산업체별 개별 DEA모형의 상대적 효율성 결과값을 행렬로 정리한다. 아래 행렬상에  $D_n$ 은 분석에 활용된 개별 DEA들을 나타내고,  $P_m$ 은 분석대상을 나타내며, 본 연구에선 방산업체(모기업, 협력기업)이다. 그리고  $E_{mn}$ 은 개별 DEA에 의해 분석된 분석대상의 효율성을 나타낸다.

아래의 행렬에서 네 번의 계산 과정을 거친 후에 개별 DEA에 대한 가중치를 구하게 된다. Shannon's Entropy의 네번의 단계별 계산과정은 정규화, Entropy값( $e_i$ ) 도출, 불확실성 정도( $d_i$ ) 도출, 가중치( $w_i$ ) 도출 순으로 진행된다.

$$E_{ij} = \begin{matrix} & D_1 & D_2 & \dots & D_n \\ \begin{pmatrix} E_{11} & E_{12} & \dots & E_{1n} \\ E_{21} & E_{22} & \dots & E_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ E_{m1} & E_{m2} & \dots & E_{mn} \end{pmatrix} & P_1 \\ & & & & P_2 \\ & & & & P_m \end{matrix}$$

1단계 : 정규화(Normalization)과정

$$\overline{E}_{ij} = \frac{E_{ij}}{\sum_{i=1}^n E_{ij}} \quad (i= 1, 2, \dots, n, j=1,2 \dots m)$$

2단계: 정보의 확실성 정도인 Entropy값 ( $e_i$ ) 도출

$$e_i = -k \sum_{j=1}^m \overline{E}_{ji} \ln \overline{E}_{ji} \quad (i= 1,2 \dots n, j=1,2 \dots m, )$$

\*  $k = (\ln m)^{-1}$

3단계: 정보의 불확실성 정도인  $d_i$  도출

$$d_j = 1 - e_j \quad (j = 1, 2 \dots m)$$

4단계: 각각의 평가기준 가중치  $w_i$ 를 도출

$$w_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^m d_i} \quad (i = 1, 2 \dots n)$$

도출된 가중치에 DEA별 각 방위산업체에 대한 효율성 값을 곱한 후에 세 개의 DEA별 결과 값을 모두 더 하여 최종적으로 DEA결합모형에 따른 효율성 값을 구할 수 있다. DEA/Entropy의 결합모형은 다양한 DEA 모형들을 이용하여 DMU의 상대적인 효율성을 분석하고, 개별 DEA 모형에 따른 효율성 값에 Entropy 가중치의 가중평균을 계산하여

각 DMU별로 최종 효율성 값으로 확정한다. 따라서 어떤 DEA 모형들을 사용하는냐에 따라 Entropy 가중 최종 효율성 값이 달라진다. 본 연구에서는 본 연구에서 CCR 모형은 투입기준의 CCR-I 모형만을 고려하고, BCC 모형은 투입 기준과 산출기준이 서로 다른 효율성 값을 제시하고 있어서 두 가지 모형을 모두 고려하였다. 4. 실증분석

### 4.1 다단계 DEA 효율성 분석결과

우선 첫 단계에서는 일반적으로 기업 경영의 효율성 분석시 주로 사용되고 있는 총자산 및 종업원 수를 투입요소로, 그리고 국방 공급망 품질경영 성과 평가항목인 공급사 검사 양호율, 공급사 납기 달성을, 사용자 만족비율을 산출요소로 사용 하였다. 두 번째 단계 투입요소는 국방 공급망 품질경영 성과 평가항목인 공급사 검사 양호율, 공급사 납기 달성을, 사용자 만족비율을, 산출요소는 경영일반 산출요소로 주로 사용되는 매출액 및 영업이익을 사용하였다. 그리고 첫 단계와 두 번째 단계 효율성 결과값의 곱으로 표현되는 전체 총 효율성을 두 가지 방법으로 구하였다.

방산업체의 효율성을 분석하기 위해 전체의 효율성을 총 효율성으로 제시하는 CCR 모형과 순수기술효율성을 나타 내는 BCC 모형의 투입지향 모형을 활용하여 분석하고, Shannon’s Entropy결합모형을 활용하여 통합 효율성 값을 분석하였다. 그리고 방산업체의 규모의 차이로 인해 발생하는 특성을 고려 두 모형의 효율성 값을 비교하여 규모의 효율성을 분석하였다. 본 연구에서 효율성 측정을 위해 사용한 분석도구는 박만희(2008)의 EnPAS를 활용하였다.

#### 4.1.1 첫단계(공급망 품질경영 성과) DEA 효율성

##### 1) CCR/BCC 모형을 활용한 효율성 분석결과

CCR 모형 분석결과는 Table 4와 같이 총 30개 DMU 중에서 효율적으로 나타난 DMU가 8개(26%)이고, 0.9점대는 1개(3%), 0.8점대는 1개(3%), 0.7%대는 1개(3%), 0.6점대는 6개(20%), 0.5점대는 3개(10%), 0.4점대는 2개(6%), 0.3점대는 4개(13%), 0.2점대 이하는 4개(13%)를 나타내고 있다. 그리고 CCR 모형 분석결과를 살펴보면 효율적 기업은 모기업이 4개(26%), 협력기업도 4개(26%)만 효율적인 기업이며, 모기업의 평균 효율성 값은 0.6544이고 협력기업은 0.4752으로 그 차이는 0.1792를 나타냈다. BCC 모형 분석결과를 살펴보면 효율적 기업은 모기업이 8개(53%), 협력기업은 7개(47%)만 효율적인 기업이며, 모기업의 평균 효율성 값은 0.7855이고 협력기업은 0.5663으로 그 차이는 0.2192을 나타냈다.

Table 4. Summary of first-stage efficiency analysis results

	CCR			BCC			Efficiency of scale		
	Total	Parent Company	Cooperative Company	Total	Parent Company	Cooperative Company	Total	Parent Company	Cooperative Company
1	8 (26%)	4	4	15 (50%)	8	7	4 (13%)	2	2
0.9	1 (3%)	1	0	0 (0%)	0	0	8 (26%)	3	5
0.8	1 (3%)	0	1	2 (6%)	1	1	5 (16%)	4	1
0.7	1 (3%)	0	1	1 (3%)	0	1	3 (10%)	2	1
0.6	6 (20%)	3	3	4 (13%)	3	1	6 (20%)	2	4
0.5	3 (10%)	3	0	3 (10%)	1	2	0 (0%)	0	0
0.4	2 (6%)	1	1	0 (0%)	0	0	0 (0%)	0	0
0.3	4 (13%)	1	3	3 (10%)	1	2	1 (3%)	0	1
0.2 less than	4 (13%)	2	2	2 (7%)	1	1	3 (10%)	2	1
Ave.		0.6544	0.4756		0.7855	0.5663		0.7709	0.7833

2) 비효율성에 대한 원인분석

DEA모형을 활용한 효율성 분석 시 분석 대상들간에 규모 차이가 클 경우에는 대상들간의 규모 효율성을 고려하여 상대적인 비효율성의 문제가 운영상 문제인지 아니면 규모의 문제인지를 파악할 필요가 있다.

규모의 효율성(SE)과 순수기 술적효율성(PTE)을 비교하여 Table 5와 같이 비효율성의 원인을 판단할 수 있다. 즉, 순수기술적효율성(PTE)과 규모의효율성(SE)결과값 중 적은 쪽이 비효율의 원인이 된다. 방산업체의 규모의 효율성(SE)이 비효율성 원인인 경우에는 방산업체의 시설 부족 등이 생산성 저하를 초래하는 것으로 분석할 수 있다. 이 경우에는 방산업체의 규모와 장비를 증가시키는 등의 하드웨어적인 투자를 집중할 필요성이 있다. 반면에 순수 기술적 효율성(PTE)이 비효율의 원인인 경우에는 작업자 교육, IT시스템, 마케팅 등 소프트웨어적인 부분에 집중된 투자가 필요할 것으로 판단할 수 있다.

Table 5. Causes of first-stage inefficiency

DMU		CCR	BCC(PTE)	Efficiency of scale	Causes of inefficiency
Parent Company	A01	0.1479	0.1778	0.8318	PTE
	A02	1	1	1.0000	
	A03	0.6869	0.8067	0.8515	PTE
	A04	0.543	0.6269	0.8662	PTE
	A05	0.5121	0.5178	0.9890	PTE
	A06	0.6579	1	0.6579	SE
	A07	0.478	0.6175	0.7741	PTE
	A08	0.5542	0.6615	0.8378	PTE
	A09	1	1	1	
	A10	0.3497	0.3749	0.9328	PTE
	A11	0.9017	1	0.9017	SE
	A12	0.6981	1	0.6981	SE
	A13	1	1	1	
	A14	1	1	1	
	A15	0.2878	1	0.2878	SE
Cooperative Company	B01	1	1	1	
	B02	0.1973	0.2422	0.8146	PTE
	B03	0.6857	1	0.6857	SE
	B04	0.6876	1	0.6876	SE
	B05	0.3701	0.3704	0.9992	PTE
	B06	0.6463	0.6501	0.9942	PTE
	B07	0.3396	0.3416	0.9941	PTE
	B08	0.4321	0.5867	0.7365	PTE
	B09	1	1	1	
	B10	1	1	1	
	B11	0.7779	0.7999	0.9725	PTE
	B12	0.3381	0.5085	0.6649	PTE
	B13	1	1	1	
	B14	0.8247	0.8274	0.9967	PTE
	B15	0.2128	1	0.2128	SE

3) 결합모형을 활용한 통합 효율성 결과

3가지 DEA 모형의 결과값에 한 Shannon's Entropy의 가중치는 Table 6과 같이 BCC-O, CCR, BCC-I의 순으로 나타났다. 이형석 등(2006)은 자동차, 항만 등 대규모의 자산이 소요되는 고정자산의 성격이 강한 산업의 평가에서 BCC-O 모형이 적합하다고 제시하는데, 본 연구대상인 방산업체도 이에 해당되는 것으로 판단되므로 3가지 DEA 모형의 결과에 대해 Shannon's Entropy를 적용했을 때 BCC-O 모형이 가장 높은 가치를 나타내어 유사한 결과를 보인다.

**Table 6.** First stage Shannon's Entropy results

구분		CCR		BCC-I		BCC-O	
		Parent Company	Cooperative Company	Parent Company	Cooperative Company	Parent Company	Cooperative Company
Fist stage	$e_j$	0.9765	0.9622	0.9921	0.9901	0.9725	0.9831
	$d_j$	0.0235	0.0378	0.0079	0.0099	0.0275	0.0169
	$w_j$	0.3108	0.3911	0.1511	0.1780	0.5381	0.4309

**Table 7.** First stage Comprehensive Efficiency Score results

DMU		CCR	BCC		Integrated efficiency	Rank
			Input Standard	Output Standard		
Parent Company	A01	0.1479	0.1778	1	0.6109	15
	A02	1	1	1	1	1
	A03	0.6869	0.8067	0.9963	0.8715	8
	A04	0.543	0.6269	1	0.8016	10
	A05	0.5121	0.5178	0.97	0.7594	13
	A06	0.6579	1	1	0.8937	7
	A07	0.478	0.6175	1	0.7800	11
	A08	0.5542	0.6615	1	0.8103	9
	A09	1	1	1	1	1
	A10	0.3497	0.3749	0.9929	0.6996	14
	A11	0.9017	1	1	0.9694	5
	A12	0.6981	1	1	0.9062	6
	A13	1	1	1	1	1
	A14	1	1	1	1	1
	A15	0.2878	1	1	0.7786	12
Cooperative Company	B01	1	1	1	1	1
	B02	0.1973	0.2422	1	0.5512	15
	B03	0.6857	1	0.9963	0.8755	8
	B04	0.6876	1	1	0.8778	6
	B05	0.3701	0.3704	0.97	0.6287	13
	B06	0.6463	0.6501	1	0.7994	9
	B07	0.3396	0.3416	1	0.6245	14
	B08	0.4321	0.5867	1	0.7043	10
	B09	1	1	1	1	1
	B10	1	1	1	1	1
	B11	0.7779	0.7999	1	0.8775	7
	B12	0.3381	0.5085	1	0.6536	12
	B13	1	1	1	1	1
	B14	0.8247	0.8274	1	0.9007	5
	B15	0.2128	1	1	0.6921	11

Table 7은 DEA모형과 Shannon's Entropy 모형의 결합모형을 활용한 효율성 비교를 나타낸 것이다. CCR, BCC-I, BCC-O의 모형에서 1의 효율성을 나타낸 방산업체들이 Shannon's Entropy를 적용하였을 때, A02, A09, A13, A14, B01, B09, B10, B13 등 8개 기업이 가장 효율적으로 기업으로 나타났다. 3가지 DEA방법으로 효율성 분석시 다수의 업체가 효율적으로 도출된 것과 달리 결합모형을 통한 통합효율성 적용시 효율의 순위가 좀 더 구체적으로 도출됨을 알 수 있다. 이러한 점은 다수의 DEA 모형 중에서 선택의 어려움이 있는 방산업체의 특성 등을 고려시 결합모형으로 다수의 DEA모형을 고려한 종합적인 효율성 제시가 가능함을 보여준다.

#### 4.1.2 두 번째 단계(수익) DEA 효율성

##### 1) CCR/BBC 모형을 활용한 효율성 분석결과

CCR 모형의 경우 Table 8과 같이 전체 30개 DMU 중에서 효율적으로 나타난 DMU가 6개(20%)이고, 0.9점대는 0개(0%), 0.8점대는 1개(3%), 0.7점대는 0개(0%), 0.6점대는 3개(10%), 0.5점대는 4개(14%), 0.4점대는 3개(10%), 0.3점대는 3개(10%), 0.2점대 이하는 10개(33%)를 나타내고 있다. 그리고 CCR 모형 분석결과를 살펴보면 효율적 기업은 모기업이 3개(20%), 협력기업도 3개(20%)만 효율적인 기업이며, 모기업의 평균 효율성 값은 0.5021이고 협력기업은 0.5282으로 그 차이는 0.0261를 나타냈다. BCC 모형 분석결과를 살펴보면 효율적 기업은 모기업이 5개(53%), 협력기업은 7개(47%)만 효율적인 기업이며, 모기업의 평균 효율성 값은 0.9829이고 협력기업은 0.6749로 그 차이는 0.3080을 나타냈다. 그리고 규모의 효율성 값은 모기업이 2개(13%), 협력기업도 2개(13%)만 효율적인 기업이며, 모기업의 평균 효율성 값은 0.5007이고 협력기업은 0.5112로 그 차이는 미미한 것으로 나타났으나. 협력기업 보다는 모기업이 효율성이 높는데 그 이유는 규모에 따른 비효율이 주원인이라고 분석할 수 있다.

Table 8. Summary of second-stage efficiency analysis results

	CCR			BCC			Causes of inefficiency		
	Total	Parent Company	Cooprative Company	Total	Parent Company	Cooprative Company	Total	Parent Company	Cooprative Company
1	6 (20%)	3	3	12 (40%)	5	7	4 (13%)	2	2
0.9	0 (0%)	0	0	10 (34%)	10	0	0 (0%)	0	0
0.8	1 (3%)	0	1	0 (0%)	0	0	2 (7%)	1	1
0.7	0 (0%)	0	0	0 (0%)	0	0	1 (3%)	1	0
0.6	3 (10%)	2	1	1 (3%)	0	1	4 (14%)	1	3
0.5	4 (14%)	2	2	2 (7%)	0	2	4 (14%)	2	2
0.4	3 (10%)	1	2	1 (3%)	0	1	3 (10%)	2	1
0.3	3 (10%)	2	1	1 (3%)	0	1	2 (7%)	1	1
0.2 less than	10 (33%)	5	5	3 (10%)	0	3	10 (34%)	5	5
Ave.		0.5021	0.5282		0.9829	0.6749		0.5007	0.5112

##### 2) 비효율성에 대한 원인분석

방산업체의 규모의 효율성(SE)이 비효율성 원인인 경우에는 방산업체의 시설 부족 등이 생산성 저하를 초래하는 것으로 판단할 수 있다. 이 경우에는 방산업체의 규모와 장비를 증가시키는 등의 하드웨어적인 투자를 집중할 필요가 있다. 반면에 순수기술효율성(PTE)이 비효율의 원인인 경우에는 작업자 교육, IT시스템, 마케팅 등 소프트웨어적인 분야에 집중 투자가 필요한 것으로 생각할 수 있다. Table 9와 같이 두 번째 단계에서 비효율적인 업체 중에

B02, B03, B04, B08, B09, B12, B13, B14, B15 등 비효율성의 원인이 순수 기술적 효율성이 부족한 것이므로 IT 시스템, 작업자 교육, 마케팅 등 소프트웨어적인 투자 등을 통해 업체의 효율성을 향상시킬 필요가 있으며, A03, A04, A05, A06, A07, A08, A10, A11, A12, A13, A14, A15, B05, B06, B11 등은 비효율성의 원인이 규모의 효율성이 부족한 것이므로 규모와 장비를 늘리는 등 하드웨어적인 투자를 할 필요성이 있다고 분석된다.

**Table 9.** Causes of second-stage inefficiency

DMU	CCR	BCC(PTE)	Efficiency of scale	Causes of inefficiency	
Parent Company	A01	1	1	1	
	A02	1	1	1	
	A03	0.5036	0.9736	0.5173	SE
	A04	0.6966	0.9822	0.7092	SE
	A05	0.232	1	0.2320	SE
	A06	0.1469	0.9728	0.1510	SE
	A07	0.3976	0.9737	0.4083	SE
	A08	0.187	0.966	0.1936	SE
	A09	1	1	1	
	A10	0.583	0.9865	0.5910	SE
	A11	0.1951	0.9554	0.2042	SE
	A12	0.1414	0.9728	0.1454	SE
	A13	0.4487	0.98	0.4579	SE
	A14	0.3803	0.9818	0.3873	SE
	A15	0.6206	1	0.6206	SE
Cooperative Company	B01	1	1	1	
	B02	0.872	1	0.8720	PTE
	B03	0.1832	0.1835	0.9984	PTE
	B04	0.2237	0.2237	1	PTE
	B05	0.212	1	0.2120	SE
	B06	0.2675	1	0.2675	SE
	B07	1	1	1	
	B08	0.4129	0.4551	0.9073	PTE
	B09	0.1685	0.1686	0.9994	PTE
	B10	1	1	1	
	B11	0.5504	1	0.5504	SE
	B12	0.5908	0.5913	0.9992	PTE
	B13	0.6353	0.6358	0.9992	PTE
	B14	0.4871	0.5273	0.9238	PTE
	B15	0.3207	0.339	0.9460	PTE

3) 결합모형을 활용한 통합 효율성 결과

3가지 DEA 모형의 결과값에 한 Shannon's Entropy의 가중치는 Table 10과 같이 BCC-O, CCR, BCC-I의 순으로 나타났다.



**Table 10.** Second stage Shannon's Entropy result

		CCR		BCC-I		BCC-O	
		Parent Company	Cooperative Company	Parent Company	Cooperative Company	Parent Company	Cooperative Company
Second stage	$e_j$	0.8961	0.9011	0.9932	0.9939	0.9291	0.9312
	$d_j$	0.1039	0.0989	0.0068	0.0061	0.0709	0.0688
	$w_j$	0.2321	0.2323	0.1875	0.1950	0.5804	0.5727

Table 11은 DEA모형과 Shannon's Entropy 결합모형의 결합모형을 활용한 효율성 비교를 나타낸 것이다. CCR, BCC-I, BCC-O의 모형에서 1의 효율성을 나타낸 방산업체들이 Shannon's Entropy를 적용하였을 때, A01, A02, A05, A09, A15, B01, B07, B10, 등 8개 기업이 가장 효율적으로 기업으로 나타났다. 3가지 DEA방법으로 효율성 분석시 다수의 업체가 효율적으로 도출된 것과 달리 결합모형을 통한 통합효율성 적용시 효율의 순위가 좀 더 구체적으로 도출됨을 알 수 있다.

**Table 11.** Second stage Comprehensive Efficiency Score results

DMU		CCR	BCC		Integrated efficiency	Rank
			Input Standard	Output Standard		
Parent Company	A01	1	1	1	1	1
	A02	1	1	1	1	1
	A03	0.5036	0.9736	0.5935	0.5935	9
	A04	0.6966	0.9822	0.7446	0.7446	6
	A05	0.232	1	1	1	1
	A06	0.1469	0.9728	0.1717	0.1717	14
	A07	0.3976	0.9737	0.4461	0.4461	11
	A08	0.187	0.966	0.2193	0.2193	12
	A09	1	1	1	1	1
	A10	0.583	0.9865	0.7239	0.7239	7
	A11	0.1951	0.9554	0.1951	0.1951	13
	A12	0.1414	0.9728	0.1686	0.1686	15
	A13	0.4487	0.98	0.6116	0.6116	8
	A14	0.3803	0.9818	0.4947	0.4947	10
	A15	0.6206	1	1	1	1
Cooperative Company	B01	1	1	1	1	1
	B02	0.872	1	1	0.9703	4
	B03	0.1832	0.1835	0.9406	0.6170	14
	B04	0.2237	0.2237	0.9366	0.6320	13
	B05	0.212	1	1	0.8169	7
	B06	0.2675	1	1	0.8298	6
	B07	1	1	1	1	1
	B08	0.4129	0.4551	0.9526	0.7302	11
	B09	0.1685	0.1686	0.9424	0.6117	15
	B10	1	1	1	1	1
	B11	0.5504	1	1	0.8956	5
	B12	0.5908	0.5913	0.9481	0.7955	9
	B13	0.6353	0.6358	0.9499	0.8156	8
	B14	0.4871	0.5273	0.9562	0.7636	10
	B15	0.3207	0.339	0.9603	0.6906	12

## 4.2 전체 효율성 분석결과

전체 효율성을 산정하기 위해 먼저 Hwang and Kao(2006)가 제안했던 단일 단계로 DEA를 결과값을 도출하고, 두 번째는 Kao와 Hwang(2008)이 제안한 다단계 DEA 분석에서 첫 단계와 두 번째 단계의 각각 효율성 값의 곱으로 전체 효율성을 구한다. 그리고 단일단계 및 다단계 효율성 값을 비교 하였다. 단일단계 DEA 효율성 분석을 위해 투입요소로는 다단계 DEA의 첫 단계는 자산 및 종업원 수를 투입요소로, 두 번째 단계에 산출요소로 활용한 매출액 및 영업이익을 산출요소로 사용하였다. 다단계 DEA 모형(Relational Two-stage DEA model)은 ‘첫 단계 (공급망 품질경영 성과 효율성 값)’ 및 ‘두번째 단계 효율성 값(수익 효율성 값)을 곱’으로 전체 효율성을 구하였다. Table 12는 단일단계의 shannons’s entropy 가중치 산정결과이다.

**Table 12.** Single stage Shannon's Entropy result

	CCR		BCC-I		BCC-O	
	Parent Company	Cooperative Company	Parent Company	Coopreative Company	Parent Company	Cooperative Company
$e_j$	0.8957	0.8978	0.9228	0.9188	0.9285	0.9199
$d_j$	0.1043	0.1022	0.0772	0.0812	0.0715	0.0801
$w_j$	0.2329	0.2122	0.1735	0.1911	0.5936	0.5967

### 4.2.1 CCR 모형의 단일 및 다단계 전체 효율성 분석결과 비교

CCR모형에 의한 단일단계 DEA 결과 효율적인 기업은 Table 13과 같다.

**Table 13.** Summary of the total efficiency analysis results of the CCR model

		Efficiency Analysis of Single stage			Efficiency Analysis of Multi-stag (Multiplication offirst/Second stage's Efficiency Analysis)		
		Total	Parent Company	Coopreative Company	Total	Parent Company	Coopreative Company
1	CCR	8 (27%)	4	4	4 (13%)	2	2
0.9	CCR	3 (10%)	1	2	0 (0%)	0	0
0.8	CCR	1 (3%)	1	0	0 (0%)	0	0
0.7	CCR	4 (13%)	1	3	0 (0%)	0	0
0.6	CCR	4 (13%)	1	3	1 (3%)	0	1
0.5	CCR	0 (0%)	0	0	0 (0%)	0	0
0.4	CCR	3 (10%)	1	2	3 (10%)	1	2
0.3	CCR	4 (13%)	4	0	4 (13%)	3	1
0.2 less than	CCR	2 (7%)	1	1	17 (57%)	8	9
Ave.	CCR	0.7068	0.6646	0.7490	0.3330	0.3245	0.3415

8개 업체(27%), 0.9점대가 3개(10%), 0.8점대가 1개(3%), 0.7점대가 4개(13%), 0.6점대가 4개(13%), 0.5점대가 0개(0%), 0.4점대가 3개(10%), 0.3점대가 4개(13%), 0.2점대가 2개(7%) 이다. 그리고 효율적인 기업은 총 8개 업체인데, 그 중 모기업이 4개 업체, 협력기업이 4개 업체이다. 전체 효율성 값의 평균은 모기업이 0.6646이고, 협력기업이 0.7490로 그 차이가 0.084로 미미하다.. 그리고 첫 단계와 두 번째 단계의 각각의 효율성 값들의 곱으로 산출한 다단계 DEA 결과에 따른 전체 효율성을 살펴보면, 상대적으로 효율적인 기업은 4개 업체(13%), 0.9점대가 0개 업체(00%), 0.8점대가 0개 업체(0%), 0.7점대가 0개 업체(0%), 0.6점대가 1개 업체(3%), 0.5점대가 0개 업체(0%), 0.4점대가 3개 업체(10%), 0.3점대가 4개 업체(13%), 0.2점대가 17개 업체(57%) 이다.

#### 4.2.2 BCC 모형의 단일 및 다단계 전체 효율성 분석결과 비교

BCC모형에 의한 단일단계 DEA 결과 효율적인 기업은 Table 14와 같이 14개 업체(47%), 0.9점대가 0개(0%), 0.8점대가 4개(13%), 0.7점대가 4개(13%), 0.6점대가 3개(10%), 0.5점대가 2개(70%), 0.4점대가 2개(7%), 0.3점대가 0개(0%), 0.2점대가 1개(2%) 이다. 그리고 효율적인 기업은 총 8개 업체인데, 그 중 모기업이 8개 업체, 협력기업이 6개 업체이다. 전체 효율성 값의 평균은 모기업이 0.8512이고, 협력기업이 0.7962로 그 차이가 0.550으로 미미하다. 그리고 첫 단계와 두 번째 단계 효율성 값의 곱으로 산출한 다단계 DEA 결과에 따른 전체 효율성을 살펴보면, 효율적인 기업이 9개 업체(30%), 0.9점대가 14개 업체(47%), 0.8점대가 0개 업체(0%), 0.7점대가 1개 업체(3%), 0.6점대가 3개 업체(10%), 0.5점대가 1개 업체(3%), 0.4점대가 0개 업체(0%), 0.3점대가 1개 업체(3%), 0.2점대가 1개 업체(3%) 이다.

**Table 14.** Summary of the total efficiency analysis results of the BCC model

		Efficiency Analysis of Single stage			Efficiency Analysis of Multi-stage (Multiplication of first/Second stage's Efficiency Analysis)		
		Total	Parent Company	Cooperative Company	Total	Parent Company	Cooperative Company
1	BCC	14 (47%)	8	6	9 (30%)	3	6
0.9	BCC	0 (0%)	0	0	14 (47%)	5	9
0.8	BCC	4 (13%)	1	3	0 (0%)	0	0
0.7	BCC	4 (13%)	1	3	1 (3%)	1	0
0.6	BCC	3 (10%)	3	0	3 (10%)	3	0
0.5	BCC	2 (7%)	2	0	1 (3%)	1	0
0.4	BCC	2 (7%)	0	2	0 (0%)	0	0
0.3	BCC	0 (0%)	0	0	1 (3%)	1	0
0.2 less than	BCC	1 (3%)	0	1	1 (3%)	1	0
Ave.	BCC		0.8512	0.7962		0.7713	0.9702

4.2.3 결합모형의 전체 효율성(통합 효율성) 분석결과 비교

결합모형에 의한 단일단계 DEA 결과 효율적인 기업은 Table 15와 같이 8개 업체(27%), 0.9점대가 5개(17%), 0.8점대가 3개(310%), 0.7점대가 5개(16%), 0.6점대가 1개(3%) 등으로 나타났다. 그리고 총 8개의 효율적 기업중 모기업이 4개 업체, 협력기업이 4개 업체이다. 전체 효율성 값의 평균은 모기업이 0.7537이고, 협력기업이 0.7934로 그 차이가 0.397로 미미하다. 그리고 첫 단계와 두 번째 단계 상대적 효율성 값의 곱으로 산출한 다단계 DEA와 shannon's entropy 결합모형을 활용한 전체 효율성을 살펴보면, 효율적인 기업이 4개 업체(14%), 0.9점대가 0개 업체(0%), 0.8점대가 1개 업체(3%), 0.7점대가 3개 업체(10%), 0.6점대가 6개 업체(20%), 0.5점대가 9개 업체(30%), 0.4점대가 2개 업체(7%), 0.3점대가 1개 업체(3%), 0.2점대가 4개 업체(13%)이며, 다단계 전체효율성에서 효율적인 기업은 4개 업체인데 모기업, 협력기업 각각 2개 업체이다. 전체 효율성 값의 평균은 0.5950이고, 15개 모기업의 평균 효율성 값은 0.5254 이며, 15개 협력기업의 평균 효율성 값은 0.6645 이다. 그리고 협력기업의 평균 효율성 값이 모기업에 비해 다소 높다. 즉, 전체 효율성 값은 단일단계 DEA 모형의 효율성값이 다단계 DEA 모형의 효율성 값보다 높게 나오고, 구간별 비율도 상이하하다. 그러나 다단계 전체 효율성 값은 효율적인 기업이 4개 업체로 단일단계 분석결과인 8개 업체 보다 적다. 따라서 단일단계 DEA에서는 효율적인 기업 내에서 순위를 부여하기 어려운 점이 있지만, 다단계 DEA는 효율적인 기업이 4개 업체로 업체 간 순위를 부여하기가 용이하다. 또한, 단일단계 분석으로는 단순하게 투입과 산출요소가 과다 투입인지 아니면 산출부족인지만을 알 수 있으나, 다단계 DEA에서는 기업별로 공급망 품질경영 성과 측면에서 비효율성이 나타나는지 수익 측면에서도 비효율이 발생하는지 등을 세부적으로 알 수 있고, 좀 더 구체적인 비효율의 원인을 파악할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

Table 15. Summary of the total efficiency analysis results of the combined model

	Efficiency Analysis of Single stage				Efficiency Analysis of Multi-stage (Multiplication of first/Second stage's Efficiency Analysis)			
	Total	Rate	Parent Company	Cooperative Company	Total	Rate	Parent Company	Cooperative Company
1	8	27%	4	4	4	14%	2	2
0.9	5	17%	3	2	0	0%	0	0
0.8	3	10%	1	2	1	3%	0	1
0.7	5	16%	1	4	3	10%	2	1
0.6	1	3%	1	0	6	20%	2	4
0.5	2	7%	0	2	9	30%	3	6
0.4	3	10%	3	0	2	7%	1	1
0.3	2	7%	2	0	1	3%	1	0
0.2 less than	1	3%	0	1	4	13%	4	0
Ave.			0.7537	0.7934			0.5254	0.6645

## 5. 결 론

본 연구는 방산업체의 국방 공급망 품질경영 효율성을 분석함으로써 정책을 수립하는 정부부처 및 방산업체에게 전략적으로 유용한 정책적 시사점을 제시하고자 하였다. 본 연구의 주요결과는 다음과 같다.

첫째, 다단계 DEA 모형 중에서 첫 단계의 공급망 품질경영 성과 효율성 분석결과 CCR 모형, BCC 모형은 모기업이 협력기업보다 효율성이 높게 나타났다. 협력기업은 규모수의 불변과 규모수의 체증 업체들이 많아 기업간 합병, 시설투자 등을 통한 기업 규모 조정으로 효율성 개선이 필요함을 알았으며, 모기업은 규모수입 체감이 많이 나타난 것으로 볼 때 인력구조의 조정, 기업 설비감축 등으로 효율성을 향상 시킬 수 있음을 알 수 있었다.

둘째, 다단계 DEA 모형 중에서 두 번째 단계의 수익 효율성 분석결과 CCR 모형에서는 협력기업이 모기업 보다 미세하게 효율성이 높았으며, BCC모형에서는 모기업이 협력기업보다 효율성이 높음을 알 수 있었다. 이는 규모가 클수록 매출액이 더 늘어나는 것이 그 원인임을 알 수 있다. .

셋째, 첫 단계와 두 번째 단계의 상대적 효율성 결과값의 곱으로 산정한 다단계 DEA 모형의 전체 효율성 값은 전반적으로 협력기업이 모기업 보다 효율적이었다. 또한, 기존의 단일단계 분석결과로는 업체의 효율성 값과 제한된 일부 업체 정보만을 알 수 있지만, 본 논문을 통해 제시된 다단계 분석결과로는 개별 기업들의 보다 구체적인 비효율 원인 등을 알 수 있었고, 효율성 향상을 위해 개선해야 할 구체적 전략을 수립할 수 있었다. 또한, 공급망 품질경영 성과 효율성 값과 수익 효율성의 평균값들을 고려하여, 4가지 효율성 형태를 구분하고 각각 4가지 형태로 비효율의 원인과 업체가 추구할 수 있는 적합한 가용전략을 제시하였다.

넷째, 다단계 DEA 모형은 단일단계 DEA모형 보다 효율적인 업체인 DMU 수가 적게 산정되었다. 따라서 단일단계 DEA모형에서 효율적인 DMU 가 많은 경우에는 다시 순위를 산정하여야 하나, 다단계 DEA모형은 효율적인 DMU가 적어져 보다 효과적으로 효율성을 분석 할 수 있는 장점이 있었다. 또한, DEA모형별 상이하게 도출되는 결과값으로 인한 객관적 의사결정의 어려움을 극복하기 위하여 다단계 DEA와 Shannon's entropy 결합모형을 활용하여 통합 효율성 값을 제시함으로써 향후 정책적 의사결정 지원에 객관적 평가방법을 제공하였다.

본 연구에서 제시된 국방 공급망 품질경영 효율성 평가방법은 방산업체의 공급망 품질경영 능력을 평가하여 방산 진흥을 위한 각종 정책수립에 직접적인 도움을 줄 것으로 판단되어 기존 연구들과는 차별화 되는 가치가 있다고 볼 수 있다. 즉, 현재 실시하고 있는 “군수업체 품질수준 조사” 중 공급망 품질경영 관련 조사는 본 연구에서 제시한 방법을 활용하여 평가하고, 향후 그 결과에 따라 방산업체별 정부 지원 확대규모 판단, 품질시스템 구축 및 활용에 필요한 투자의 방향성을 제시하는 등 군수품 품질경영 활동에 대한 기본방향 및 정책 수립에 활용 가치가 높고, 나아가 국방분야 공급망 품질경영 정책 및 중장기 로드맵 작성시 활용할 수도 있을 것이다. 이러한 자료가 지속적으로 축적되어 활용된다면 국방분야 공급망 품질경영 효율성 분석결과로 인하여 가치창출 기반의 글로벌 품질경영을 구축하게 되어 국내 방산분야의 글로벌 품질경쟁력을 제고시킬 수 있을 것으로 기대된다. 하지만, 현 방산업체에서는 공급망 품질경영 성과 시스템이 별도 구축되어 있지 않고, 매년 실시되는 군수품 품질수준조사 시 일부 성과측정에서 제한적으로 활용되어 다각적이고 직접적인 공급망 품질경영 성과의 자료확보가 제한되었으며, 관련된 실증연구도 미흡한 실정이었다. 따라서 향후 방산업체의 공급망 품질경영 시스템이 좀 더 구체적으로 구축되고 관련된 실증연구가 활성화 된다면 다양한 자료를 확보하여 분석함으로써 그 결과의 신뢰성을 높일 수 있을 뿐만 아니라 방산업체에게 공급망 품질경영 효율성 향상을 위한 다각적인 방향의 가용전략을 제시할 수 있을 것으로 보인다.

## REFERENCES

- Aigner, D. J., and Chu, S. F. 1968. "On Estimating the Industry Production Function." *The American Economic Review* 58(4):826–839.
- Anderson, M. and A.S. Sohal. 1999. "A Study of the Relationship between Quality Management Practices and Performance in Small Businesses." *International Journal of Quality and Reliability Management* 16(9):859–877.
- Atkinson, S. E., and Halvorsen, R.(1980), "A Test of Relative and Absolute Price Efficiency in Regulated Utilities." *The Review of Economics and Statistics* 62(1):81–88.
- B. Srdjevic, Y. D. P. Medeiros, and A. S. Faria. 2004. "An Objective Multi-Criteria Evaluation of Water Management Scenarios." *Water Resources Management* 18(1):35–54.
- Banker, R. D. 1984. "Estimating Most Productive Scale Size Using Data Envelopment Analysis." *European Journal of Operational Research* 17(1):35–44.
- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. 1984. "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis." *Management Science* 30(9):1078–1092.
- Bian, Y., and Yang, F. 2010. "Resource and environment efficiency analysis of provinces in china: A DEA Approach based on Shannon's Entropy." *Energy Policy* 38(4):1909–1917.
- Chang, D. S., and L. K. Lo. 2005. "Measuring the Relative Efficiency of a Firm's Ability to Achieve Organizational Benefits after ISO Certification." *Total Quality Management and Business Excellence* 16(1):57–69.
- Chang, S. C. 2011. "Returns to Scale in DEA Models for Performance Evaluations." *Technological Forecasting and Social Change* 78(8):1389–1396.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. 1978. "Measuring the Efficiency of Decision Making Units." *European Journal of Operational Research* 2:429–444.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Golany, B., Seiford, L. M., and Stutz, J. 1985. "Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopman's Efficient Empirical Production Functions." *Journal of Econometrics* 30:1–7.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. 1981. "Data Envelopment Analysis: Approach for Evaluating Program and Managerial Efficiency with an Application to the Program Follow Through Experiment in US Public School Education." *Management Science* 27(6):668–697.
- Chen, Y. 2004. "Ranking Efficient Units in DEA." *OMEGA* 32:213–219.
- Chen, Y., and Zhu, J. 2004. "Measuring Information Technology's Indirect Impact on Firm Performance." *Information Technology and Management* 5(1-2):9–22.
- Chung-Hsing Yeh. 2002. "A problem-based selection of multi-attribute decision-making methods." *International Transactional in Operational Research* 9(2):169–181. Farrell.
- Cook, W. D., and Seiford, L. M. 2009. "Data Envelopment Analysis (DEA)—Thirty Years On." *European Journal of Operational Research* 192(1):1–17.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., and Tone, K. 2000. *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic Publishers.
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., and Zhang, Z. 1994. "Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries." *The American Economic Review*:66–83.
- Forker, L. B. 1997. "Factors Affecting Supplier Quality Performance." *Journal of Operations Management* 15(4):243–269.
- Foster Jr, S. T. 2008. "Towards an Understanding of Supply Chain Quality Management." *Journal of Operations Management* 26(4):461–467.

- García-Sánchez, I. M. 2007. "Efficiency and Effectiveness of Spanish Football Teams: a Three-stage DEA Approach." *Central European Journal of Operations Research* 15(1):21-45.
- Hwang, S. N. and Kao, T. L. 2006. "Measuring Managerial Efficiency in Non-Life Insurance Companies : An Application of Two-stage Data Envelopment Analysis." *International Journal of Management* 15(1):41-65.
- Kao, T. L. and Hwang, S. N. 2008. "Efficiency Decomposition in two-stage Data Envelopment Analysis : An Application to Non-life Insurance Companies in Taiwan." *European Journal of Operational Research* 195(1):201-235.
- Lewis, H. F., and T. R. Sexton. 2004. "Network DEA : Efficiency Analysis of Organizations with Complex Internal Structure." *Computers and Operations Research* 31(9):1365-1410.
- Li, S., Ragu-Nathan, B., Ragu-Nathan, T. S., and Rao, S. S. 2006. "The Impact of Supply Chain Management Practices on Competitive Advantage and Organizational Performance." *Omega* 34(2):107-124.
- Liang, L., Cook, W. D., and Zhu, J. 2008. "DEA Models for Two-stage Processes: Game Approach and Efficiency Decomposition." *Naval Research Logistics (NRL)* 55(7):643-653.
- Liang, L., F. Yang, W. D. Cook, and J. Zhu. 2006. "DEA Models for Supply Chain Efficiency Evaluation." *Annals of Operations Research* 145(1):35-49.
- Lin, C., W. S. Chow, C. N. Madu, C. Kuei, and P. P. Yu. 2005. "A Structural Equation Model of Supply Chain Quality Management and Organizational Performance." *International Journal of Production Economics* 96(3):355-365.
- Liu, J. S., and Lu, W. M. 2012. "Network-based Method for Ranking of Efficient Units in Two-stage DEA Models." *Journal of the Operational Research Society* 63(8):1153-1164.
- M. Soleimani-damaneh, M. Zarepisheh. 2009. "Shannon's Entropy for combining the efficiency results of different DEA models: Method and application." *Expert System with Applications* 36(1):5146-5150.
- Morteza Shafiee, Mohsen Ahmadi. 2012. "Performance Evaluation with DEA and Shannon's Entropy." *American Journal of Scientific Research*, Issue 52:73-77.
- Park, S., J. L. Hartley, and D. Wilson. 2001. "Quality Management Practices and Their Relationship to Buyer's Supplier Ratings : A Study in the Korean Automotive Industry." *Journal of Operations Management* 19(6):695-712.
- Robinson, C. J., and M.K. Malhotra. 2005. "Defining the Concept of Supply Chain Quality Management and Its Relevance to Academic and Industrial Practice." *International Journal of Production Economics* 96(3):315-337.
- Seiford, L. M. & Zhu, J. 1999. "Infeasibility of Super-Efficiency Data Envelopment Analysis Models." *INFOR* 37(2):174-187.
- Seiford, L. M., and Zhu, J. 1998. "Sensitivity Analysis of DEA Models for Simultaneous Changes in All the Data." *Journal of the Operational Research Society* 49(10):1060-1071.
- Sexton, T. R., and Lewis, H. F. 2003. "Two-stage DEA : An application to major League baseball." *Journal of Productivity Analysis* 19.
- Thomas, F. S. 2008. "Towards an Understanding of Supply Chain Quality Management." *Journal of Operations Management* 26(4):461-467.
- Tien-Chin Wang, Hsien-Da Lee. 2009. "Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights." *Expert Systems with Applications* 36(5):8980-8985.
- Wang, J., and Y. F. Shu. 2007. "A Possibilistic Decision Model for New Product Supply Chain Design." *European Journal of Operational Research* 177(2):1044-1061.
- Yang, Z. 2006. "A Two-stage DEA Model to Evaluate the Overall Performance of Canadian Life and Health Insurance Companies." *Mathematical and Computer Modelling* 43(7):910-919.
- Yoo, H. 2003. "A Study on the Efficiency Evaluation of Total Quality Management Activities in Korean Companies." *Total Quality Management and Business Excellence* 14(1):119-128.

- Zhu, J. 1996. "Data Envelopment Analysis with Preference Structure." *Journal of the Operational Research Society*:136-150.
- Zhu, J. 1996. "Robustness of the Efficient DMUs in Data Envelopment Analysis." *European Journal of Operational Research* 90(3):451-460.
- Zhu, J. 2000. "Multi-factor Performance Measure Model with an Application to Fortune 500 Companies." *European Journal of Operational Research* 123(1):105-124.
- Zhu, J. 2001. "Super-Efficiency and DEA Sensitivity Analysis." *European Journal of Operational Research* 129:443-455.
- Zhu, J., and Shen, Z. H. 1995. "A Discussion of Testing DMUs' Returns to Scale." *European Journal of Operational Research* 81(3):590-596.