
효율적 DMU 선별을 통한 개선된 기술수준예측 방법

: 주력전차 적용을 중심으로*

(A Hybrid Technological Forecasting Model

by Identifying the Efficient DMUs

: An Application to the Main Battle Tank)

김재오** · 김재희*** · 김승권****

< 목 차 >

- I. 서론
- II. 기술수준예측을 위한 이론적 배경
- III. 효율적 DMU 선별을 통한 기술수준예측 : TFEU
- IV. 차세대 주력전차의 기술수준예측
- V. 결론 및 추후연구

Summary : This study extends the existing method of Technology Forecasting with Data Envelopment Analysis (TFDEA) by incorporating a ranking method into the model so that we can reduce the required number of DMUs (Decision Making Units). TFDEA estimates technological rate of change with the set of observations identified by DEA(Data Envelopment Analysis) model. It uses an excessive number of efficient DMUs(Decision Making Units), when the number of inputs and outputs is large compare to the number of observations. Hence, we investigated the possibility of incorporating CCCA(Constrained Canonical Correlation Analysis) into TFDEA so that the ranking of

* 본 연구는 2007년도 두뇌한국21사업 지원에 의해 수행되었음.

** 고려대학교 정보경영공학전문대학원 석사 (e-mail : c14180@hanmail.net)

*** 군산대학교 경영회계학부 조교수 (e-mail : jheekim@kunsan.ac.kr)

**** 고려대학교 정보경영공학부 교수 (e-mail : kimsk@korea.ac.kr)

DMUs can be made. Using the ranks developed by CCCA(Constrained Canonical Correlation Analysis), we could limit the number of efficient DMUs that are to be used in the technology forecasting process. The proposed hybrid model could establish technology frontiers with the efficient DMUs for each generation of technology with the help of CCCA that uses the common weights. We applied our hybrid model to forecast the technological progress of main battle tank in order to demonstrate its forecasting capability with practical application. It was found that our hybrid model generated statistically more reliable forecasting results than both TFDEA and the regression model.

Key Words : Technological forecasting, DEA, CCCA, Main battle tank

I. 서론

무기체계는 현대전의 승패를 결정짓는 중요한 요소로서 자주국방을 지향하는 한국군에게 있어 신 무기체계의 개발은 매우 중요한 의미를 가진다. 대부분의 무기체계 개발은 장기 프로젝트로서 개발 당시의 기술수준과 개발이 완료된 시점의 기술수준 간의 격차가 발생한다. 따라서 무기체계 개발 프로젝트 시 기술수준예측은 중요한 과정으로 지목되고 있다. 최근 주목을 받고 있는 한국의 차세대 주력전차의 경우 개발 프로젝트가 진행 중인 현재시점에서는 그 기술 수준이 세계적인 것으로 인정받고 있다. 그러나 그 주력전차가 전력화되는 시점인 2011년 이후부터 기술수명동안에도 세계적인 기술 경쟁력을 유지할 수 있을 것인가에 대해서는 의문이 있을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 그 기술이 어느 정도 수준이 될지에 대해 가능해 보고, 동시에 효과적인 기술 진보 예측 방법을 제시하고자 한다.

1960년대 이후 기술수준예측을 위한 다양한 방법이 개발되었다(Ayres, 1969; Wheelright and Makridakis, 1978; Martino, 1993). 일반적으로 기술수준예측의 전통적인 방법은 직관적 방법, 탐구적 방법, 규범적 방법으로 구분할 수 있다. 직관적 방법은 전문가의 지식을 활용하여 기술수준을 예측하는 방법으로 델파이 기법(delphi), 브레인스토밍(Brain-storming), 교차영향분석(Cross-Impact Analysis) 등이 대표적이다(Delbecq *et al.*, 1975; Beasley *et al.*, 1983; Woundenberg, 1991). 탐구적 방법은 과거부터 현재까지 경향을 미래로 연장하여 연속적 변화를 예측하는 방법으로 경향외삽법(Trend Extrapolation), 성장 곡선법(Growth Curves model), 대체곡선법 (Substitution Curve model), 상관관계 분석법(Correlation

Method) 등이 있다(Porter *et al.*, 1991). 규범적 방법은 미래사회의 요구, 목표, 가치 등을 설정하고 현재의 실현 가능성을 분석하는 방법으로 연관나무기법(Relevance Tree), 형태학적 분석(Morphology Analysis), 임무흐름도(Mission Flow Diagram) 등이 있다(Martin *et al.*, 1973; Yoon *et al.*, 2005). 이 중 기술수준예측의 대가인 Martino(1993)는 기술수준예측을 위해 점수모형(Scoring Model)을 제안하였다. 이 모형은 복수의 요인들을 복합측정치로 결합하여 기술수준측정치를 계산하는 모형이다.

그러나 이러한 고전적인 모형들은 개체의 효율성을 판단하지 않고 전체를 망라하여 기술수준분석을 수행하므로 다소 부정확한 결과를 가져올 가능성이 있다. 이러한 단점의 극복을 위해 최근에는 보다 분석적인 이론을 활용한 새로운 개념들이 제안되고 있다. 대표적인 예로 2001년 PICMET(Portland International Center for Management of Engineering and Technology)에서 처음 제안된 TFDEA가 있다(Anderson *et al.*, 2001). TFDEA는 기술진보율 계산 시 DEA를 통해 선별된 효율적 DMU만을 대상으로 한 방법으로 기존에는 수행할 수 없었던 다입력, 다출력 요소에 대한 기술수준예측을 실현하였다. 이후 Anderson *et al.*(2002)은 Moore의 법칙을 TFDEA와 비교하였고, Inman *et al.*(2005)은 미국 전투기의 기술수준예측 등에 TFDEA를 적용하여 우수성을 확인한 바 있다. 그러나 TFDEA는 내부적으로 DEA개념을 적용하기 때문에 입출력 요소의 수가 많은 경우 지나치게 많은 수의 DMU가 상대적 '효율적 상태'로 선정될 수 있고, 결과적으로 기술진보율 예측과정에서 오차가 커지는 문제가 있다.

따라서 본 연구에서는 TFDEA의 단점을 개선하고자 기술진보율 계산에 앞서 효율적 DMU를 선별하는 과정에 CCCA개념을 적용하여 정확한 효율성 순위를 파악한 후, 선별된 효율적 DMU를 활용하여 미래기술을 예측하는 절차를 제안한다. 이 방법은 입출력 요소의 수나 분석대상 DMU의 수에 관계없이 일정한 수의 효율적인 DMU만을 선별함으로써 이후의 기술수준예측 과정에서 정확성을 높이는 데 목적이 있다. 본 연구에서는 제안된 방법을 TFEU(Technological Forecasting using Efficient Unit)라고 명명하였으며, 실제 실험 적용 결과 TFDEA와 회귀분석의 결과보다 통계적으로 더 정확한 예측을 할 수 있음을 확인하였다.

본 연구의 내용은 다음과 같다. 먼저 2절에서 TFDEA와 CCCA에 대한 이론적 배경과 이를 결합하는 방법에 대해 설명하고 3절에서는 TFEU의 절차를 제안한다. 다음 4절에서는 TFEU를 한국의 차세대 주력전차 기술수준예측에 적용한 사례를 설명하고 그 결과를 TFDEA와 회귀분석의 결과와 비교한다. 5절에서는 결론 및 추후 연구 과제를 제시한다.

II. 기술수준예측을 위한 이론적 배경

1. DEA를 이용한 기술수준예측

DEA는 다수의 입출력 요소를 가진 DMU의 효율성을 평가하기 위한 모형으로 1978년 처음 소개되었다(Cooper *et al.*, 2000). DEA는 출력량의 증가율이 입력량의 증가율에 비례하는 경우인 CRS(Constant Returns to Scale)기반의 DEA-CCR모형과 그렇지 않은 경우인 VRS(Variable Returns to Scale)기반의 DEA-BCC모형으로 구분된다. DEA의 다양한 모형에 관한 설명은 Cooper *et al.*(2000)을 통해 자세히 알 수 있으므로 본 연구에서는 DEA-BCC모형인 <모형 A>와 그 쌍대인 <모형 B>를 설명한다. 여기서, 식(5)는 평가대상 DMU k의 효율성을 최대화하는 목적식이며, u_k 는 원 문제의 식(4)에 대응된다. 그리고 식(4)는 DMU k의 효율성 측정 시 비교에 동원된 j번째 DMU의 가중치(λ_j)의 합을 1로 함으로써 효율적 DMU에 의해 효율 프런티어(efficient frontier)를 구성하도록 한다. 그러므로 u_k 는 효율 프런티어의 절편에 해당되며 이 값이 0이면 CRS를 의미한다. 식(6)은 다른 DMU와 비교를 통해 DMU k의 효율성 수치가 1을 초과하지 않도록 하는 제약식이다.

<모형 A>

$$\text{Min } \theta_k \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \theta_k x_{ik} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq y_{rk} \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

상수 x_{ij} : DMU j의 i번째 입력요소의 값, y_{rj} : DMU j의 r번째 출력요소의 값

결정변수 λ_j : DMU j의 가중치

<모형 B>

$$\text{Max } Z_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - u_k \quad (5)$$

$$\text{s.t. } \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m w_i x_{ij} - u_k \leq 0 \quad j=1, \dots, n \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m w_i x_{ik} = 1 \quad (7)$$

$$u_r, w_i \geq 0 \quad u_k = \text{free variable}$$

상대결정변수 w_i : i번째 입력요소의 가중치

u_r : r번째 출력요소의 가중치

u_k : Indicator of RTS(Returns to Scale)

일반적으로 DEA의 장점은 다기준 의사결정에서 가정하는 주관적 선호 함수결정의 문제점을 피할 수 있고, 다차원의 입력과 출력을 1차원의 효율성 점수로 제시하는 것이다. 또한 비효율적인 DMU에게 효율성 향상을 위한 참조집단의 정보를 제공할 수 있다는 점에서 유용하게 이용된다. 특히 추정(estimation)문제에도 좋은 성능을 보이는데, Charnes and Cooper(1985)과 Thanassoulis(1993)는 추정 문제에 대한 DEA의 적용결과 회귀분석보다 더 우수한 결과가 도출될 수 있음이 입증하였다. 이는 회귀분석이 비효율적인 DMU까지 포함한 전체 데이터를 대상으로 하는 반면, DEA는 효율 프런티어를 찾아 결과적으로 기술발전 과정에서 참고할 만한 가치가 있는 효율적 DMU만을 활용하여 추정을 하기 때문이다(Charnes and Cooper, 1985). TFDEA는 DEA의 이러한 특성을 기술수준예측에 활용한 방법이다. 즉, 기술수준예측 시 다차원 요소를 고려하고, 효율적 DMU만을 활용함으로써 미래기술수준에 대한 예측의 정확도를 향상시킬 수 있다.

2. DMU의 효율성 순위 정렬 기법

DEA모형은 앞서 설명한 장점에도 불구하고 최대 효율성의 상한을 1로 설정함으로써 동일 효율성을 갖는 DMU들이 다수 출현하고, DMU별로 서로 다른 가중치를 적용함으로써 비현실적 가중치를 적용한 DMU도 '상대적으로 효율적'이라고 평가될 수 있는 단점이 있다. 이

러한 단점은 효율적 DMU간 순위를 부여하는 방법으로 해결 될 수 있으며, 평가 대상 DMU에 대한 순위를 부여하는 방법에 대해 많은 연구가 발표되었다(Adler *et al.*, 2002). 이 중 CCA(Canonical Correlation Analysis)와 CCCA를 이용한 순위선정 방법(Tofallis, 2001)은 모든 DMU에 공용될 수 있는 공통 가중치를 찾아 일률적으로 적용함으로써 전체 DMU에 대한 순위를 쉽게 판정할 수 있는 방법으로 유용하다.

2.1 CCA와 CCCA

CCA는 두 개 이상의 종속변수와 두 개 이상의 독립변수 사이의 상호관계에 대한 다변량 분석기법이다(Thompson, 1951). CCA는 다중회귀분석과 그 개념이 비슷한데, 다중회귀분석이 하나의 종속변수만을 취급하는 것과 달리 CCA에서는 여러개의 종속변수를 허용할 수 있다는 점에서 차이가 있다. 즉, CCA는 다수의 입력요소와 다수의 출력요소간의 상관관계를 가장 잘 설명할 수 있는 정준계수, 즉 공통의 가중치를 구할 수 있어 회귀분석의 한계를 넘어설 수 있다. 그러나 CCA는 정준계수(canonical coefficient)가 음의 값을 가질 수 있어 해석상의 어려움을 유발하는 문제가 있다(Tabachnick *et al.*, 1996). 이러한 어려움을 해결하기 위한 방법으로 CCCA가 제시되었다(Tofallis, 2001). CCCA는 CCA의 정준계수를 음수 아닌 값으로 한정하는 방법으로, 그 구체적인 방법은 아래와 같다.

우선 m 개의 입력변수 x_i ($i = 1, \dots, m$)와 s 개의 출력변수 y_r ($r = 1, \dots, s$)이 있다고 가정한다. 그리고 임의의 벡터 \vec{a} , \vec{b} 를 x_i , y_r 에 곱하여 식(8), 식(9)와 같은 선형결합함수 X , Y 를 만든다.

$$X = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_mx_m \quad (8)$$

$$Y = b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_sy_s \quad (9)$$

그리고 식(10)을 이용하여 X , Y 의 상관관계를 최대로 만드는 선형조합을 찾는다. 식(10)에서 결정되는 $Corr(X, Y)$ 의 값이 1에 가까울수록 X , Y 의 상관관계가 크다는 것을 의미한다. 식(10)은 목적함수에 제약형태가 나타나는 비선형모형이지만 Kuhn-Tucker Lagrangian 이론으로 최적해 존재가 증명된다(Tofallis, 1999).

$$\begin{aligned} \underset{a, b \geq 0}{\text{Max}} \text{Corr}(X, Y) &= \underset{a, b \geq 0}{\text{Max}} \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}(X)\text{Var}(Y)}} \\ \text{Subject to} \quad &\text{Var}(X) = \text{Var}(Y) = 1 \end{aligned} \quad (10)$$

2.2 DEA와 CCCA의 결합

효율성 평가의 대표적인 방법인 DEA와 회귀분석에 대한 선호는 엇갈릴 수 있지만, 일반적으로 경영과학에서는 DEA를, 그리고 계량경제학에서는 회귀분석을 선호하는 경향이 있다 (Cubbin *et al.*, 1999). 그러나 최근에는 각 방법을 결합함으로써 각각의 단점을 보완하는 시도가 있다. 특히 회귀분석의 확장형태인 CCA를 DEA에 결합하는 연구가 활발히 이루어지고 있으며(Sengupta, 1990; Friedman *et al.*, 1997), 최근 Tofallis(2001)는 CCA의 개선된 모형인 CCCA를 DEA와 결합한 형태를 제안하였다. 이에 대한 자세한 절차는 아래와 같다.

우선, DEA를 통해 효율적인 DMU를 선별한다. 그리고 이들의 입력(x), 출력(y)자료 행렬로 선형결합함수를 식(8), 식(9)와 같은 형태로 만들고, 식(10)을 이용하여 정준계수의 벡터 $a=(a_i)$ 와 $b=(b_r)$ 를 구한다. 이는 DEA를 통해 선별된 효율적인 DMU의 입, 출력 변수의 상관관계를 반영하는 새로운 공통 가중치를 의미한다.

다음은 정준계수의 벡터 $a=(a_i)$ 와 $b=(b_r)$ 를 식(11)에 적용하여 기대 효율 프런티어 Y_e 를 구한다. 여기서 γ_0, γ_1 은 X, Y 의 관계를 설명하는 선형회귀식 계수이며, 이 수치는 DEA에서 효율적으로 선정된 다수의 DMU에 대해 순위를 재산정하는 기준이 된다.

$$\begin{aligned} Y_e &= \gamma_0 + \gamma_1 X \\ &= \gamma_0 + \gamma_1 (a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_m x_m) \end{aligned} \quad (11)$$

다음은 식(12)와 같이 DEA에서 구한 효율값 Y_j 와 식(11)에서 구한 기대 효율 프런티어 Y_e 를 이용해서 기대효율값 EY 를 계산한다. 이 값이 1보다 크면 기대 효율 프런티어 위에 있는 것으로 일반적으로 기대할 수 있는 수준을 넘는 매우 '효율적'인 DMU로 간주할 수 있다.

$$EY = Y_e / Y_j \quad (12)$$

이상의 절차는 DEA와 달리 각 DMU에 대한 정확한 순위를 파악할 수 있게 한다. 이에 본 연구에서는 TFDEA에 CCCA의 과정을 결합하여 각 세대별로 우수한 DMU를 선별함으로써 이들을 토대로 기술수준예측의 정확성을 높이고자 하였다.

III. 효율적 DMU 선별을 통한 기술수준예측 : TFEU

본 절에서는 선별된 '효율적' DMU를 활용한 기술수준예측 기법으로 TFEU를 소개한다. TFEU는 TFDEA가 갖는 단점을 보완한 것으로서 DEA에서 효율적으로 선정된 DMU에 대해 CCCA를 적용함으로써 "보다 효율적"인 DMU를 선별하고 이를 토대로 기술수준예측을 하는 방법이다.

1. TFEU의 절차

[그림 1]은 TFEU의 전체적인 진행절차이다. 첫 번째 단계에서는 DEA 모형을 통해 효율성 평가를 수행하기 위한 입출력요소를 선정한다. 입출력요소 선정은 그 선정결과에 따라 효율성 평가결과가 달라질 수 있는 매우 중요한 문제다. 또한 DEA의 특성상 너무 많은 입출력요소를 선택 시 공정하지 못한 효율성 평가가 이루어질 수 있다. 이에 대해 Cooper(2000)는 식(13)과 같이 입출력요소의 바람직한 개수를 제시한다.

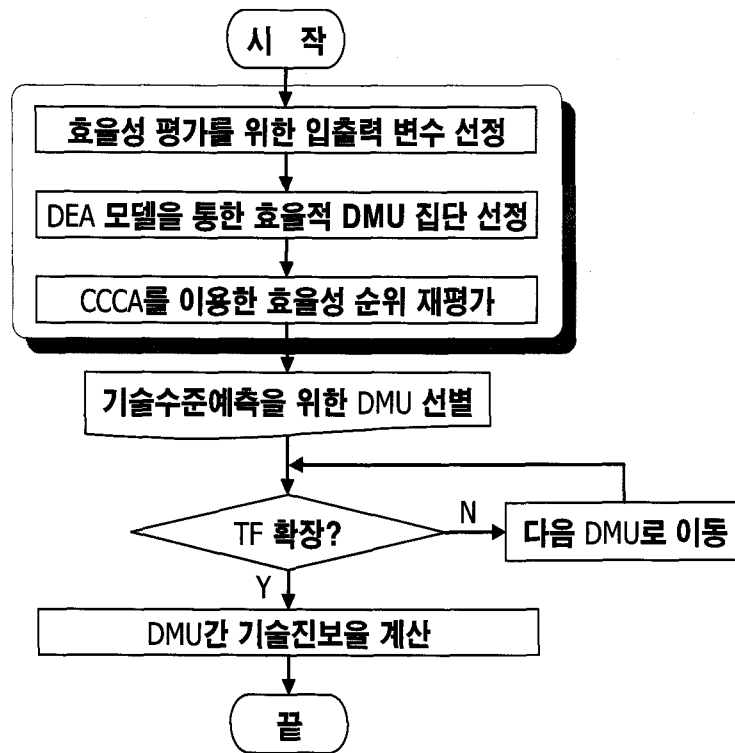
$$n \geq \max\{m \times s, 3(m + s)\} \quad (13)$$

이 때, n =DMU의 개수, m =입력요소의 개수, s =출력요소의 개수

두 번째 단계에서는 DEA 모형을 활용하여 시기별로 출현된 자료 중 효율적으로 평가된 DMU를 선별한다. DEA 모형은 기술수준예측 대상의 특성에 따라 CCR, BCC, 입력중심, 출력중심 등을 다르게 선정하고, 적절한 시기를 구분할 수 있다. 이 때 분석의 범위는 실시하는 시기까지 개발된 모든 DMU를 대상으로 한다. 이는 각 세대까지 개발된 모든 DMU를 대상으로 해서 효율적 DMU의 특성이 반영된 기술진보율을 계산하기 위해서이다.

한편, 2절에서 언급한 바와 같이 DEA모형의 특성상 효율적 DMU가 다수 배출될 수 있다. 특히 무기체계문제에 적용하는 경우 입출력 변수가 상대적으로 많고, 각 변수 내 편차가 작기 때문에 효율적인 DMU가 다수 출현하게 된다. 따라서 DEA결과에서 도출된 '효율적' DMU를 기술수준예측의 대상으로 할 경우에는 그다지 효율적이지 못한 DMU까지 포함해서 지나치게 많은 수의 DMU를 대상으로 기술수준예측을 하는 문제가 있다. 따라서 세 번째 단계에서는 앞서 선별한 효율적인 DMU에 대해 CCCA를 수행하여 효율성을 평가한다. CCCA는 입력과 출력변수 사이에 상관관계를 최대로 하는 공통 가중치를 제공하므로 이를 활용해서 DMU에 대한 순위선정을 할 수 있다.

네 번째 단계에서는 기준시점의 DMU와 기준시점 이후 최초 개발된 DMU를 비교하여 기술 프런티어(technology frontier)의 확장여부를 판별한다. 기술 프런티어는 DEA의 효율 프런티어에 해당하고 기술이 발전하게 되면 이 프런티어는 전 세대보다 확장된 형태가 된다. 대부분의 기술은 시간의 흐름에 따라 지속적으로 발전하므로 기술 프런티어의 확장이 매 세대별로 발생한다고 볼 수 있다. 그러나 기술의 세대 변화가 급속히 이루어지거나 단 기간의 기술수준예측일 경우에는 기술 프런티어의 확장 여부를 본 단계에서 판별해야 한다.



[그림 1] TFEU의 전체적인 진행절차

다섯 번째 단계에서는 기술 프런티어의 확장이 발생한 경우 식(14)를 이용하여 기술진보율을 계산한다. 이 때 기준시점의 기술수준이 ϕ_0 이고 실질시간 이후의 기술수준이 Φ 라 할 때, β 가 기술진보율을 의미한다(Anderson *et al.*, 2001). 통상 ϕ_0 를 상수 '1'이라 가정하고 실질시간 t^{eff} 이후의 기술수준을 계산한다.

$$\Phi = \beta^{t^{eff}} \phi_0 \quad (14)$$

기술진보율은 출력변수 간 상대적 중요도를 의미한다. 즉, 기술진보율 1의 의미는 기술의 진보가 이루어지지 않았다는 것을 의미하며 1 이하의 값은 해당 기술의 중요성이 당시 관점으로 중요하지 않거나, 다른 기술의 발전으로 인해 상대적 중요성이 축소된 경우를 의미한다.

IV. 차세대 주력전차의 기술수준예측

1. 데이터의 수집 및 입출력 변수 선정

입출력요소의 선정은 그 선정결과에 따라 효율성 평가결과가 달라 질 수 있는 매우 중요한 절차이다. 이에 대해 본 연구에서는 다음과 같은 절차를 적용하였다. 먼저 주력전차 성능평가에 대한 연구(Gupta et al., 1996)로부터 주력전차의 성능평가 요소를 정리하였다. 정리된 성능평가 요소를 구조적, 성능적 특성으로 분류하여 기갑부대 지휘관 경험이 있는 현역장교 10명의 의견을 수렴하여 입출력요소를 선정하였다. 그 결과 입력요소로는 전투중량, 전고, 승무원 수를, 출력요소로는 톤당마력, 최고속도, 항속거리, 주포구경가 선정되었다. 통상적인 DEA모형의 입력요소로 선정되는 경제적인 요소가 선정되지 않은 이유는 방위산업은 시장이 한정되어 있어 수요자와 공급자가 사전에 결정되기 때문에 경제적인 요소보다 성능, 구조적인 요소가 더 중요하기 때문이다(김진우 외, 2000). 또한 기타 성능요소 중 군사 대외비로 분류된 일부 항목, 예를 들어 명중률, 화생방 방호능력, 장갑 방호능력 등은 제외하였다.

<표 1> 차세대 주력전차의 분석을 위한 입출력 자료

No.	DMU	입력요소			출력요소				개발 년도 (년)	세대 구분
		전투 중량 (톤)	전고(m)	승무원수 (명)	톤당 마력	최고 속도 (km/h)	항속 거리 (km)	주포 구경 (mm)		
1	M4	35.00	2.70	5.00	12.80	25.00	250.00	75.00	1941	세계전쟁 세대
2	M26	35.00	3.43	5.00	12.70	40.00	160.00	100.00	1941	
3	T-34	28.00	2.60	5.00	15.90	51.00	280.00	76.20	1942	
4	T34/86	32.00	2.74	5.00	15.60	55.00	300.00	85.00	1943	
5	M47	46.20	3.35	5.00	14.00	48.00	130.00	90.00	1952	1세대
6	M103	55.30	2.93	5.00	14.00	37.00	483.00	120.00	1952	
7	M48A1	47.00	3.13	4.00	18.70	42.00	160.00	90.00	1956	
8	T-54	35.40	2.40	4.00	14.10	43.00	400.00	100.00	1957	
9	T-55	36.50	2.22	4.00	15.30	45.00	400.00	100.00	1958	
10	Centurion	51.00	3.00	4.00	12.50	35.00	196.00	83.40	1959	
11	M48A3	46.00	3.12	4.00	16.00	48.00	387.00	90.00	1960	
12	M60	40.00	3.27	4.00	16.20	48.00	400.00	105.00	1961	2세대
13	PZ61	39.70	2.88	4.00	17.00	50.00	300.00	105.00	1961	
14	Chieftain	35.00	2.89	4.00	13.60	48.00	300.00	105.00	1962	
15	T-62	41.00	3.33	4.00	14.50	50.00	450.00	115.00	1962	
16	M60A1	49.00	3.21	4.00	15.30	48.00	400.00	105.00	1965	
17	Leopard1	40.00	2.76	4.00	19.70	64.00	600.00	105.00	1965	
18	AMX30	36.00	3.10	4.00	20.00	64.00	500.00	105.00	1966	
19	Strv103	39.00	2.43	3.00	18.70	50.00	390.00	105.00	1967	2.5세대
20	Merkava 1	60.00	2.75	4.00	16.00	46.00	400.00	105.00	1972	
21	Leopard1A4	40.00	2.76	4.00	19.70	64.00	600.00	105.00	1972	
22	T-72	41.00	2.19	3.00	19.00	80.00	480.00	125.00	1973	
23	M60A2	52.60	3.27	4.00	14.40	48.30	500.00	105.00	1974	
24	PZ68	39.70	2.88	4.00	18.90	55.00	300.00	105.00	1974	
25	AMX32	39.00	2.29	4.00	18.00	65.00	520.00	105.00	1975	
26	M60A3	52.00	3.27	4.00	15.30	48.00	500.00	105.00	1977	3세대
27	T-80	42.00	2.22	3.00	23.50	75.00	500.00	125.00	1978	
28	Leopard2	55.20	2.64	4.00	27.00	72.00	550.00	120.00	1980	
29	M1	54.50	2.44	4.00	27.00	72.40	498.00	105.00	1980	
30	Challenger2	62.00	2.95	4.00	19.40	56.00	400.00	120.00	1984	
31	AMX40	43.70	2.38	4.00	30.00	70.00	550.00	120.00	1985	
32	M1A1	57.00	2.88	4.00	26.20	66.80	465.00	120.00	1985	
33	M1A2	63.00	2.88	4.00	24.00	72.00	424.00	120.00	1986	3세대
34	K1	51.00	2.24	4.00	23.50	65.00	500.00	105.00	1986	
35	Merkava 3	62.00	2.76	4.00	20.00	55.00	500.00	120.00	1989	
36	Leclerc	54.00	2.46	3.00	27.00	71.00	550.00	120.00	1992	
37	T-90	46.50	2.20	3.00	17.00	60.00	500.00	125.00	1993	
38	T-84	46.00	2.20	3.00	26.00	70.00	600.00	125.00	1994	

주력전차의 성능은 실험환경 등에 따라 다소 차이가 있으나 일관된 데이터 수집을 위하여 가장 권위있는 군사자료집(Christopher, 1995; Army-Technology, 2007)에 수록된 데이터를 이용하였다. 또한 주력전차의 첫 출시 시기가 1919년으로 거슬러 올라가긴 하지만, 초창기 전차의 경우 운용개념이나 전장 환경이 현재와 크게 다른 점을 고려해서 현재와 비슷한 형태를 갖기 시작한 2차 세계대전 후반 이후의 주력전차로 기술수준예측의 범위를 한정하였다. <표 1>은 본 연구에서 사용한 주력전차의 입출력 요소를 정리한 것이다.

2. 모형의 적용

2.1 DEA를 통한 효율적 DMU 선별

본 연구에서 다루고자 하는 주력전차의 효율성 평가 문제는 입력물의 증가에 따른 출력물의 증가비율이 일정하지 않으므로 VRS 기반의 DEA-BCC모형을 사용한다. DEA모형을 통한 효율성 평가는 구분된 세대를 중심으로 총 5회 수행한다. 세대별로 선정된 효율적인 DMU 결과는 <표 2>와 같다. DEA모형의 수행결과 효율적인 DMU의 수는 세계전쟁세대까지 4개 중 3개, 1세대까지 11개 중 8개, 2세대까지 19개 중 9개, 2.5세대까지 27개 중 10개, 3세대까지 38개 중 15개이다. 이처럼 효율적인 DMU가 다수 선정되는 이유는 2절에서 설명한 바와 같이 최대 효율성 점수를 1로 고정하는 것과 비현실적인 가중치의 선정 때문이다. 예를 들어 2세대까지 개발된 주력전차를 대상으로 DEA를 통해 효율성 평가를 한 결과 1942년에 개발된 T-34(DMU No.3)가 효율적으로 평가된다. 그러나 T-34의 가중치는 입력요소 중 전투중량에 0.036, 출력요소 중 톤당마력에만 0.063의 가중치를 부여하고 나머지 요소에는 거의 '0'에 가까운 가중치를 부여한다. 이러한 가중치는 비현실적인 가중치라고 할 수 있으므로 2세대의 특성이 합리적으로 반영된 새로운 가중치로 T-34를 재평가할 필요가 있다.

2.2 CCCA를 통한 효율성 평가

<표 3>은 CCCA를 적용해서 얻은 최대상관계수와 선형회귀식 계수이다. 여기서 최대 상관계수는 선형 결합된 입력과 출력의 상관관계를 최대로 하는 것이며, 선형 회귀식의 계수 (y_0, x_1)는 식(11)과 같이 기대 효율 프런티어를 만든다. <표 4>는 식(11), 식(12)에 <표 3>에서 얻은 선형 3계수를 적용하여 얻은 효율성 평가 결과이다. 효율 점수범위는 양의 실수가 되므로 효율적인 DMU간 순위부여의 기준을 제공하여 더 효율적인 DMU를 선별할 수 있다. 본 연구에서는 이전 세대에서 선정된 DMU를 제외한 나머지 DMU 중 효율성 점수가 상위

20%인 DMU를 기술수준예측을 위한 최종 DMU로 선별한다. <표 4>에서 CCCA를 통해 효율적 상태로 판명된 DMU는 '★'로 표시하고, DEA모형에서 효율적으로 선정되었지만 CCCA에서 비효율적으로 판명된 DMU는 '♣'로 표시한다. 또한 음영으로 표시된 부분은 해당 세대의 DEA모형에서 비효율적으로 판정된 DMU를 나타낸다. <표 4>의 2, 2.5, 3세대를 살펴보면 해당 세대를 기준으로 오래된 과거 주력전차의 경우 DEA모형에서는 효율적 DMU로 분류되었지만 CCCA를 통해서는 대부분 상대적으로 낮은 점수가 부여되고, 결과적으로 효율적 DMU로 선정되지 못하고 도태됨을 알 수 있다.

<표 2> DEA 모형으로 얻은 효율적인 DMU

세대	DMU No.	세대	DMU No.
세계전쟁세대	2, 3, 4	2.5세대	3, 9, 14, 17, 18 19, 21, 22, 25, 27
1세대	2, 3, 4, 6, 7 8, 9 11		3세대
2세대	3, 6, 8, 9, 14 15, 17, 18, 19		

<표 3> CCCA 수행 시 얻은 최대상관계수와 선형 회귀식 계수

구 분	세계전쟁세대	1세대	2세대	2.5세대	3세대
최대상관계수	0.99	0.89	0.85	0.96	0.85
y_0	1.13	4.73	0.05	-1.7×10^7	1.53
y_1	5.73	1.50	2014.88	5.5×10^9	4.37

<표 4> CCCA 수행결과 효율성 수치와 최종 선정된 DMU

DMU No.	세계전쟁세대	1세대	2세대	2.5세대	3세대
2	★ 4.49	1.27			
3 (♠)	3.84	1.21	2.65	0.70	2.21
4 (♠)	4.21	1.27			
6		★ 1.47	4.19		
7		★ 1.42			
8 (♠)		1.32	3.49		
9 (♠)		1.37	3.49	0.94	0.96
11 (♠)		1.32			
14 (♠)			3.60	0.89	75.28
15			★ 4.01		
17			★ 3.75	1.14	75.95
18 (♠)			3.70	1.05	★ 83.10
19 (♠)			3.65	0.96	73.81
21 (♠)				1.14	75.95
22				★ 1.16	80.82
25 (♠)				1.07	75.07
27				★ 1.17	83.20
28 (♠)					64.53
31					★ 84.10
36 (♠)					65.97
37 (♠)					69.89
38					★ 79.27

★ : 최종 선정된 DMU

■ : DEA 모형에서 비효율적으로 선정된 DMU

♠ : DEA 모형에서 효율적으로 선정되고 CCCA에서 비효율적으로 선정된 DMU

<표 5> TFEU로 출력요소별 기술진보율 계산 결과

기술진보	년간 기술진보율				실질시간 (년)
	톤당마력	최고속도	항속거리	주포구경	
DMU No.2 → 6	1.01	0.99	1.11	1.02	11
DMU No.6 → 7	1.08	1.03	0.76	0.93	4
DMU No.7 → 15	0.96	1.03	1.19	1.04	6
DMU No.15 → 17	1.12	1.09	1.10	0.97	3
DMU No.17 → 18	1.02	1.00	0.83	1.00	1
DMU No.18 → 22	0.99	1.03	0.99	1.03	7
DMU No.22 → 27	1.04	0.99	1.01	1.00	5
DMU No.27 → 31	1.04	0.99	1.01	0.99	7
DMU No.31 → 38	0.98	1.00	0.10	1.00	9
기하평균	1.02	1.02	0.99	1.00	
2년간 예측 기술진보율	1.05	1.03	0.98	1.00	
4년간 예측 기술진보율	1.10	1.07	0.97	1.00	

기술진보율의 계산에 앞서 매 세대별로 기술이 진보했는지 여부, 즉 기술 프런티어의 확장 여부를 판정해야한다. 그러나 차세대 주력전차의 기술수준예측과 같이 매 세대별로 기술진보가 발생한 것이 자명할 경우 기술 프런티어의 확장여부를 별도로 판정할 필요는 없다. 따라서 <표 4>에서 선별된 DMU를 기술진보율 계산의 최종 대상으로 한다.

2.3 기술진보율 계산 및 기술수준예측

<표 4>에서 선별된 주력전차에 대해 식(14)를 이용하여 기술진보율을 계산한다. <표 5>는 <표 4>에서 제시한 가장 최신 전차인 T-84(DMU No. 38)가 개발된 1994년을 현재시점으로 가정하여 2년 뒤인 1996년, 4년 뒤인 1998년까지의 예상 기술 진보율을 나타낸다.

3. 모형 검증

모형의 검증을 위해 1996년에 개발된 독일의 Leopard2A5와 1998년에 개발된 중국의 99식 전차의 실제 성능을 TFEU, TFDEA와 회귀분석의 결과를 비교하였다. Leopard2A5와 99식 전차를 선정한 이유는 이 전차들이 현재 알려진 전차에서 가장 최신 기종 중의 하나이며, 기존 전차에서 부분적인 성능향상이 이루어진 것이 아니라 차세대 주력전차를 개발 목적으로 했기 때문이다. <표 6>은 Leopard2A5, 99식 전차의 실제 성능과 현재시점으로 가정하는 1994년을 기준으로 각각 2년과 4년 후인 1996년과 1998년의 주력전차를 TFEU, TFDEA와 회귀분석으로 각각 예측한 결과를 나타낸다. 이 값은 효율적 DMU 중 가장 최근에 개발된 T-84(DMU No. 38)가 <표 5>에 나타난 2년간 및 4년간의 예상 진보율로 기술진보 시 예상되는 출력요소 값이다.

<표 6> 실제성능과 TFEU, TFDEA, 회귀분석을 적용한 예측결과

구분		톤당마력	최고속도 (km/h)	항속거리 (km)	주포구경 (mm)
Leopard2A5 (1996년 개발)	실제 성능	25.00	75.00	500.00	120.00
	TFEU 결과	27.24	72.29	530.96	124.41
	TFDEA 결과	26.34	73.01	654.37	125.87
	회귀분석 결과	24.92	71.56	577.15	125.29
99식 전차 (1998년 개발)	실제 성능	28.80	75.00	550.00	125.00
	TFEU 결과	28.55	74.66	522.08	123.83
	TFDEA 결과	26.69	76.15	713.68	126.74
	회귀분석 결과	25.38	72.76	589.03	126.70

<표 7> 예측 방법별 실제 기술수준과의 오차

구분		MSE의 평균(%)	MAE의 평균(%)	RMSE
Leopard2A5 (1996년 개발)	TFEU	0.28	4.98	5.34
	TFDEA	1.52	8.96	12.34
	회귀분석	5.22	5.22	22.84
99식 전차 (1998년 개발)	TFEU	0.04	1.55	2.08
	TFDEA	1.46	8.29	12.08
	회귀분석	0.45	5.40	6.73

한편, 실제 성능을 TFEU, TFDEA와 회귀분석의 결과에 대해 합리적 비교를 위해 각 출력요소의 단위를 제거하여 정규화하였다. 즉, 각 출력요소별 가장 큰 값을 기준으로 나머지 값을 나누어 모든 출력요소의 기준값이 1이 되도록 하였다. <표 7>은 정규화된 값을 이용하여 MSE(Mean Squared Error), MAE(Mean Absolute Error)의 평균값과 RMSE(Root Mean Squared Error)값을 나타낸 결과이다. 이들 통계량은 집단의 변동량(variation)과 불편성(unbiasedness)에 기초한 분산과 비슷한 개념에 기초하며, 계산과정에서 오차의 절대값을 사용한 것이 MAE, 제곱값을 사용한 것이 MSE, 그리고 MSE의 제곱근을 취한 것이 RMSE이다. <표 7>을 보면 이들 세 방법으로 오차율을 계산한 결과 TFDEA와 회귀분석보다 TFEU가 통계적으로 더 낮은 오차율을 보임을 알 수 있다. 그러나 통상적으로 회귀분석보다 낮은 오차율을 보이는 TFDEA가 99식 전차의 경우 더 높은 오차율을 보이고 있다. 이는 4.2절에서 설명한 바와 같이 DEA가 경우에 따라 비현실적 가중치로 인해 효율적으로 선정된 DMU가 다수 발생하기 때문이다.

4. 한국형 차세대 주력전차의 성능검증

한국은 최근 차세대 주력전차로 '흑표'를 개발했다. 이 전차는 미래의 특수한 전장 환경을 고려한 새롭고 다양한 기능을 갖추으로써 세계적인 기술 경쟁력을 갖고 있는 것으로 평가받고 있다. 본 연구에서는 아직 '흑표'가 시제품이고 전력화되기까지 몇 년의 시간이 있는 것이 사실이지만, 우리 군의 현안 사업임을 고려하여 앞선 분석에서 사용한 4개의 평가 요소를 기준으로 '흑표'의 전력화 시점인 2011년 이후 '흑표'의 기술 경쟁력을 평가해 보았다. 이를 위해 <표 1>의 데이터에 Leopard2A5(1996년), K1A1(1997년), 99식 전차(1998년)의 데이터를 추가하여 TFEU를 적용한 결과를 '흑표'의 알려진 시제품 성능(Agency for Defense Development., 2007)과 비교하였다.

<표 8>은 ‘흑표’의 시제품과 TFEU로 예측한 성능의 차이를 정리한 것이다. 그 결과 ‘흑표’의 시제품 성능이 현재로서는 최첨단 이라 할 수 있지만, 향후 전력화 시점에 도래할 세계적 최첨단 예측 기술수준에는 다소 미치지 못함을 알 수 있다. 따라서 향후 추가적인 연구개발을 통해 미흡한 부분에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다. 그러나 이상의 결과는 앞서 사용한 4개의 평가요소 외 전략, 기술적으로 더 중요한 다른 평가항목에서 흑표가 나름의 장점을 갖고 있음에도 불구하고 해당 요소가 군 대외비로 지정되어 실제 분석에 활용하지 못한 부분이 있으므로 총체적 평가는 유보한다. 예컨대 C4I 연동 전장정보관리, GPS 항법에 의한 항법 기동, 잠수도하능력, 전천후 표적탐색능력, 다중표적 자동추적, 화생방 상황에서의 방호능력 등과 같은 미래의 특수한 전장 환경을 고려한 입출력변수는 ‘흑표’가 타 전차와 비교할 수 없을 정도로 우수한 것으로 알려져 있다. 특히, ‘흑표’는 네트워크 기반 전장 정보관리 시스템에 의한 통합 전투효율을 극대화하여 적과 아군의 위치를 포함하는 전장상황을 공유하고, 적이 발사한 미사일이 도달하기 전에 무력화시키는 능동방호장치를 통한 향상된 생존성, 심한 요철노면을 기동할 수 있는 야지주행능력, 공격헬기와 우수한 교전능력 등을 갖춘 최첨단기술이 적용된 주력전차로(ADD, 2007), 이러한 새로운 전투 수행 능력 때문에 많은 각광을 받고 있다. 무엇보다 현재 발표된 제원은 앞서 언급한 바와 같이 ‘시제품’을 기준으로 한 것으로 향후 연구개발 과정을 통해 추가적인 성능향상이 가능할 것으로 기대된다. 따라서 ‘흑표’에 대해 기술수준 평가를 현재시점에서 완료하는 것은 다소 무리이며, 제원에 대한 상세 자료가 공개된 이후에야 현실적으로 가능할 것으로 보인다. 다만, 본 연구에서 수행한 ‘흑표’에 대한 검증은 전력화 시점까지 남은 몇 년 동안 ‘흑표’가 보완해야 할 부분에 대해 기술수준예측관점에서 도달 되어야 할 목표와 목표설정을 위한 합리적 방법론을 제시했다는 점에서 의의가 있다.

<표 8> 차세대 한국 주력전차 ‘흑표’의 시제품 성능과 TFEU 적용결과의 비교

구분	톤당마력	최고속도	항속거리	주포구경
‘흑표’ 시제품의 성능	27.27	70km이상	알려져 있지않음	120.00
TFEU 결과값 (2011년)	31.65	80.03 km/h	534.52 km	123.94 mm

V. 결론 및 추후연구

서론에서 제기한 바와 같이 무기체계 등의 장기 개발 프로젝트는 개발 당시의 기술수준과 개발 이후의 기술수준 간 차이가 발생한다. 이러한 기술격차의 문제는 개발 프로젝트 시작 시 정확한 기술진보 예측을 통해 해결할 수 있다. 이에 대하여 본 연구에서는 최근의 기술수

준예측 방법으로 소개된 TFDEA의 개선을 목적으로 하였으며, TFEU로 명명된 방법을 제안하였다. TFEU는 TFDEA가 DEA를 활용해서 효율적 DMU를 선별하는 과정에서 자칫 지나치게 많은 수의 DMU를 '효율적'으로 판정하고 이로 인해 기술수준예측의 정확도가 저하되는 문제를 극복하고자 하였다. 이를 위해 DEA에 CCA를 보완적으로 활용한 개념을 TFDEA에 결합함으로써 보다 효율적인 DMU를 선별하고자 하였으며, 선별된 DMU정보를 토대로 기술 진보율과 미래 기술 수준을 예측하였다. 제안된 방법을 차세대 주력전차의 기술 진보 예측문제에 적용한 결과 새로운 방법인 TFDEA와 전통적인 정량적 기술수준예측 방법인 회귀분석보다 통계적으로 더 작은 오차 이내로 원하는 결과를 구할 수 있었으며, 방위사업 뿐만 아니라 다른 분야의 기술수준예측 문제에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 제시한 TFEU는 이미 공개된 자료를 통해 정확한 검증이 가능한 1996년과 1998년 개발 주력전차에 대한 기술수준예측을 통해 TFDEA와 회귀분석에 대한 상대적 우위를 확인했다는 점에서 의의가 있다. 그러나 주력전차의 기술수준예측의 경우 군사대외비 중 중요한 입출력요소를 활용하지 못한 점은 본 연구의 근본적인 한계점이다. 이는 본 연구를 통해 TFEU의 방법론이 검증되었으므로 향후 TFEU를 군사대외비 입출력요소까지 확대 적용한다면 보다 의미있는 결과가 도출될 것이다. 또한 '흑표'전차에 대한 검증사례의 경우 제한된 입력, 출력요소와 시제품 성능을 대상으로 하여 정확한 결과를 도출하는데 한계가 있었다. 따라서 추후 관련 자료가 공개된 이후 추가 분석을 통해 발전시킬 필요가 있을 것으로 판단된다. 아울러, 본 연구에서 적용한 '효율성'의 개념은 어디까지나 상대적인 것임을 유의해야 할 것이다. 따라서 상대적 평가의 단점을 해소하기 위해서는 비교평가 하고자 하는 DMU의 개수를 충분히 확보하는 것도 좋은 대비책이 될 수 있다. 마지막으로 TFEU가 다른 방법에 비해 높은 정확도를 보인다는 것이 더욱 확실하게 입증되려면 향후 다양한 사례연구 및 후속연구가 뒷받침되어야 할 것이다.

참고문헌

- 김진우 · 이희각 · 김희재 · 서진석 · 이상길 · 정백기 · 정동윤 · 최진희 · 김건인 · 신용석 · 이종우 (2000), 「무기체계학」, 서울 : 청문각.
- 이경원 · 박명섭 · 박경삼 (2006), “범주형 환경변수를 고려한 공정한 효율성측정 : DEA와 제약준상관분석의 결합사용”, 「경영학연구」, 제35권 제3호, pp. 805-824.
- 이영준 (2002), 「정준상관분석」, 서울 : 석정.

- Adler, N., Friedman, L., and Sinuany-Stern, Z.(2002), "Review of Ranking Methods in the Data Envelopment Analysis context", *European Journal of Operational Research*, Vol. 140, No. 2, pp. 249-265.
- ADD(Agency for Defense Development). (2007), <http://www.add.re.kr>.
- Anderson, T. R., Hollingsworth, K., and Inman, L.(2001), "Assessing the Rate of change in the Enterprise Database System Market Over Time Using DEA", *Management of Engineering and Technology, 2001. PICMET '01. Portland International Conference*, pp. 384-390.
- Anderson, T. R., Fare, R., Grosskopf, S., Inman, L. and Song, X.(2002), "Further examination of Moore's law with data envelopment analysis", *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 69, No. 5, pp. 465-477.
- Army-Technology. (2007), <http://www.army-technology.com>.
- Ayres, R. U.(1969), *Technological Forecasting and Long-Range Planning*, New York : McGraw-Hill.
- Beasley, J. E., and Johnson, R.(1983), "Some cross impact refinements", *Futures*, Vol. 15, No. 3, pp. 226-228.
- Charnes, A., and Cooper, W. W.(1985), "Preface to Topics in Data Envelopment Analysis", *Annals of Operations Research*. Vol. 2, No. 1, pp. 59-94.
- Christopher, F. F.(1995), *Jane's armour and artillery*, London : Jans's Information Group.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., and Tone, K.(2000), *Data Envelopment Analysis - A Comprehensive text with Models, Applications, References and DEA-Solver software*, Boston : Kluwer Academic Publishers.
- Cubbin, J., and Tzanidakis, G.(1999), "Regression Versus Data Envelopment Analysis for Efficiency Measurement : An Application to the England and Wales Regulated Water Industry", *Utilities policy*, Vol. 7, No. 2, pp. 75-85.
- Delbecq, A. L., Van de Ven, A. H., and Gustafson, D. H.(1975), *Group Techniques for Programme Planning : A Guide to Nominal Group and Delphi Processes*, Chicago : Glenview, IL: The Scott, Foresman and Company.
- Friedman, L., and Sinuany-Stern, Z.(1997), "Scaling Units via the Canonical Correlation Analysis in the DEA", *European Journal of Operational Research*, Vol. 100, No. 3, pp. 629-637.
- Gupta, R., and Bhushan, N.(1996), "Performance Evaluation of Battle Tanks", *Defence Science Journal*, Vol. 46, No. 2, pp. 115-119.

- Inman, O. L., Anderson, T. R., and Harmon, R. R.(2005), "Predicting U.S. jet Fighter Aircraft Introductions from 1944 to 1982 : A Dogfight between Regression and TFDEA", *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 73, No. 9, pp. 1178-1187.
- Martin, W. T., and Sharp, J. M.(1973), "Reverse factor analysis: A modification of relevance tree techniques", *Technological forecasting & social change*, Vol. 4, No. 4, pp. 355-373.
- Martino, J. P.(1993), *Technological Forecasting for Decision Making*, New York : McGraw-Hill.
- Porter, A. L., Mason, T. W., Rossini, F. A., and Banks, J.(1991), *Forecasting and Management of Technology*, New York : Wiley.
- Sengupta, J. K.(1990), "Tests of Efficiency in Data Envelopment Analysis", *Computers & Operations Research*, Vol. 17, No. 2, pp. 123-132.
- Tabachnick, B. G., and Fidell, L. S.(1996), *Using Multivariate Analysis*, New York : Harper Collins.
- Thanassoulis, E.(1993), "A Comparison of Regression Analysis and Data Envelopment Analysis as Alternative Methods for Performance Assessments", *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 44, No. 11, pp. 1129-1144.
- Thompson, B.(1951), *Canonical correlation analysis : uses and interpretation*, Beverly Hills : Sage Publications.
- Tofallis, C.(1999), "Model Building with Multiple Dependent Variables and Constraints", *The Statistician*, Vol. 48, No. 3, pp. 371-378.
- Tofallis, C.(2001), "Combining Two Approaches to Efficiency Assessment", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 52, No. 11, pp. 1225-1231.
- Wheelwright, S. C., and Makridakis, S.(1978), *Forecasting Methods for Management*, New York : Wiley.
- Woundenberg, F.(1991), "An evaluation of Delphi", *Technological forecasting & social change*, Vol. 40, No. 2, pp. 131-150.
- Yoon, B., and Park, Y.(2005), "A systematic approach for identifying technology opportunities: Keyword-based morphology analysis", *Technological forecasting & social change*, Vol. 72, No. 2, pp. 145-160.

□ 논문 접수: 2007년 4월 18일/ 최종 수정본 접수: 2007년 8월 30일