

DEA기반 순위선정 절차를 활용한 주력전차의 기술예측방법 비교연구

(A Comparative Study of Technological Forecasting Methods with the
 Case of Main Battle Tank by Ranking Efficient Units in DEA)

김 재 오(Jae-Oh Kim)*, 김 재 희(Jaehee Kim)**, 김 승 권(Sheung-Kown Kim)*

초 록

본 연구의 목적은 미래 기술예측에 사용되는 TFDEA(Technological Forecasting with Data Envelopment Analysis)의 문제점을 살펴보고 이의 개선방향을 찾아 주력전차의 기술예측 문제에 적용해 보는 것이다. 기존의 TFDEA는 복수의 DMU(Decision Making Unit)를 효율적 DMU로 판정하는 DEA(Data Envelopment Analysis)의 특성상 실제로는 그다지 효율적이지 않은 DMU까지 포함해서 기술예측을 수행함으로써 예측 결과의 정확도가 저하될 수 있다. 본 연구에서는 DEA의 확장된 개념을 적용하여 평가 대상 DMU에 대한 순위를 산정한 후 이를 토대로 기술 예측을 시행하는 방법을 검토해 보았다. 이를 위해 일반적인 DEA기반의 순위선정 방법 중 대표적인 Super-efficiency, Cross-efficiency, CCCA(Constrained Canonical Correlation Analysis)을 TFDEA에 결합 적용하고 이들을 비교해 보았다. 제시된 방법을 주력 전차의 미래 기술 예측 문제에 적용한 결과 CCCA를 이용한 순위선정방법이 실제 실현된 기술 수준과 비교했을 때 통계적으로 가장 작은 오차율을 보였다.

ABSTRACT

We examined technological forecasting of extended TFDEA(Technological Forecasting with Data Envelopment Analysis) and thereby apply the extended method to the technological forecasting problem of main battle tank. The TFDEA has the possibility of using comparatively inefficient DMUs(Decision Making Units) because it is based on DEA(Data Envelopment Analysis), which usually leads to multiple efficient DMUs. Therefore, TFDEA may result in incorrect technological forecasting. Instead of using the simple DEA, we incorporated the concept of Super-efficiency, Cross-efficiency, and CCCA(Constrained Canonical Correlation Analysis) into the TFDEA respectively, and applied each method to the case study of main battle tank using verifiable practical data sets. The comparative analysis shows that the use of CCCA with TFDEA results in very comparable prediction accuracies with respect to MAE(Mean Absolute Error), MSE(Mean Squared Error), and RMSE(Root Mean Squared Error) than using the concept of Super-efficiency and Cross-efficiency.

Keywords : 기술예측, 주력전차, TFDEA, DEA, Super-efficiency, Cross-efficiency, CCCA

* 고려대학교 정보공학전문대학원

** 국립군산대학교 경영회계학부

* 이 논문은 2007년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었음.

1. 서론

세계 각국은 전략환경 및 전쟁수행 방식에 적합한 기술집약적인 첨단 무기체계를 경쟁적으로 개발하고 있다. 우리군도 세계적 흐름에 맞춰 자주 국방의 초석이라 할 수 있는 각종 무기체계를 자체 연구개발하는 과학강군이 되어 가고 있다. 이러한 상황에서 무기체계 개발초기 단계인 탐색개발 및 체계개발 단계를 통한 관련 기술예측은 향후 개발될 무기체계의 성패에 결정적인 영향을 미치는 중요한 단계이다.

기술예측의 방법은 1960년대 이후 다양하게 발전해왔다. 일반적으로 기술예측의 방법은 전문가의 지식과 직관을 이용하는 직관적 방법, 기술의 발전 경향을 시간을 축으로 미래로 연장하여 기술의 변화량을 예측하는 탐구적 방법, 미래 사회에서 요구하는 기술의 목표를 설정하고 현재의 실현 가능성을 분석하는 규범적 방법으로 분류한다. 기술예측의 구체적인 방법은 Bright[1]와 Martino[2] 등에 자세히 기술되어 있으므로 본 연구에서는 이를 생략한다.

최근의 기술예측은 여러 방법을 조합하여 사용하거나 새로운 개념의 방법을 이용한다. 그 중 새로운 개념의 대표적인 예는 2001년 PICMET (Portland International Center for Management of Engineering and Technology)에서 처음 제안된 TFDEA(Technological Forecasting with Data Envelopment Analysis)가 있다[3]. TFDEA는 기존에 수행하기 어려웠던 다입력, 다출력 요소의 기술예측문제를 DEA(Data Envelopment Analysis)를 통해 해결하였다[4, 5]. 그러나 DEA개념을 적용하는 TFDEA는 입출력 요소의 수가 많은 경우 지나치게 많은 수의 DMU(Decision Making Unit)가 상대적 '효율적 상태'로 선정될 수 있고, 결과적으로 기술예측의 오차가 커지는 문제가 있다[6]. 여기서 DMU란 의사결정단위를 의미하며 기술예측의 대상이 되는 객체이다.

이 문제에 대해 김재오 외 [6]에서는 일반적인 DEA대신 순위정렬이 가능한 CCCA(Constrained Canonical Correlation Analysis)를 DEA에 결합한 방법을 제안하였다. 그들의 연구를 통해 기술예측 과정에서 순위정렬 방법의 활용 가능성을 확인하였으나, DEA기반 순위선정 방법 중 어떤 방법이 보다 더 효과적인 지에 대한 비교분석은 시행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 DEA 순위선정 방법의 대표적인 3가지 방법인 Super-efficiency, Cross-efficiency, CCCA를 기술예측에 활용해서 비교함으로써 기술예측에 사용될 수 있는 바람직한 순위결정 방법을 찾고자 한다. 이를 위해 열거한 3가지 방법으로 "보다 효율적" DMU를 선별한 후 이를 활용하는 기술예측 절차를 제안하고, 이 방법을 실제 주력전차의 기술예측문제에 적용하고 그 결과를 비교하였다.

본 연구의 내용은 다음과 같다. 먼저 2절에서 DEA와 DEA를 기반으로 하는 순위선정 방법들에 대해 설명하고 3절에서는 기술예측에 적용하는 절차를 제안한다. 4절에서는 제안된 방법을 주력전차의 기술예측에 적용하여 그 결과를 비교하고 가장 효과적인 방법을 제시한다. 5절에서는 결론 및 추후 연구과제를 제시한다.

2. DEA기반 순위선정 방법

DEA는 1978년 Charnes, Cooper and Rhodes에 의해 개발된 효율성 측정 방법이다[7]. DEA는 생산합수를 가정하지 않고 다입력, 다출력 요소 가진 DMU의 상대적인 효율성을 측정할 수 있어 널리 이용되고 있다. 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. 이 중 DEA-BCC모형은 모형(1)로 나타낼 수 있다. 여기

서, 목적함수는 평가대상 DMU k의 효율성을 최대화하는 것이다. 제약식은 다른 DMU와 비교를 통해 DMU k의 효율성 수치가 "1"을 초과하지 않도록 하며, 가중치와 데이터 값의 곱들의 합을 "1"로 만드는 제약식으로 이를 통해 분수계획법 형태가 모형(1)과 같이 선형계획법 형태로 정리된다.

모형(1)

$$h_k = \text{Max } Z_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} + c_k$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - c_k \geq 0$$

for $j=1, \dots, n$

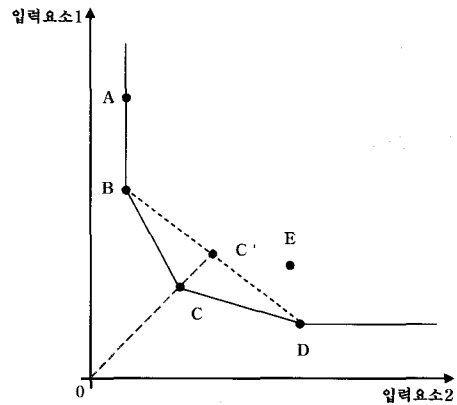
$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1$$

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

일반적인 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 참조집단(Reference Set)의 정보를 제공할 수 있다는 점에서 유용하게 이용된다[7]. 참조집단은 비효율적인 DMU를 효율적 DMU로 이끌기 위한 이상적 입력력 정보를 제공한다. 따라서 이 정보를 이용하여 비효율적 DMU의 원인을 분석할 수 있다.

그러나 최대 효율성의 상한을 "1"로 설정함으로써 동일 효율성을 갖는 DMU들이 다수 출현하고, DMU별로 서로 다른 가중치를 적용함으로써 비현실적 가중치가 적용된 DMU도 '상대적으로 효율적'이라고 평가될 수 있는 단점이 있다[8]. 이러한 단점은 효율적 DMU간 순위를 부여하는 방법으로 해결 될 수 있으며, 평가 대상 DMU에 대한 순위를 부여하는 방법에 대해 많은 연구가 발표되었다[9].

2.1 Super-efficiency 순위선정 방법



<그림 1> Super-efficiency에 의한 효율성 순위평가

Super-efficiency에 의한 순위선정 방법은 1993년 Andersen and Petersen에 의해 처음 연구되었다[10]. 이 방법은 측정하고자 하는 DMU를 제외한 나머지 DMU들로 효율 프런티어를 구성한 뒤 해당 DMU의 효율성을 각각 측정한 뒤 순위를 선정하는 방법이다. <그림 1>은 DMU-C를 제외한 나머지 DMU로 구성한 효율 프런티어, 선분AB와 선분BD,로부터 DMU-C의 효율성을 측정할 수 있다. 즉, DMU-C의 효율성은 OC/OC 로 나타나며 "1"이상의 값을 갖게 된다.

모형(2)

$$h_k = \text{Max } \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0$$

for $j=1, \dots, n, j \neq k$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1,$$

$$u_r \geq \epsilon \text{ for } r=1, \dots, s,$$

$$v_i \geq \epsilon \text{ for } i=1, \dots, m.$$

<그림 1>과 같이 설명한 것을 수식으로 나타내면 모형(2)와 같다. 모형(2)의 제약식에서는 $j \neq k$ 이므로 해당 DMU를 제외한 나머지 DMU로 구성된 효율 프런티어가 된다.

2.2 Cross-efficiency 순위선정 방법

Cross-efficiency 순위선정 방법은 1986년 Sexton 등 [11]에 의해 처음 제안된 이후, Doyle and Green [12]에 의해 발전되었다. Cross-efficiency 순위선정방법이란 어떤 DMU의 효율성을 측정함에 있어 다른 DMU들의 최적 가중치를 사용하여 n번 측정하는 방법이다. 이를 위해 식(1), 식(2)를 통해 효율성 점수를 측정할 수 있다.

$$h_{kj} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r k y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i k x_{ij}}, \quad k = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, n. \quad \text{식(1)}$$

$$\bar{h}_k = \frac{\sum_{j=1}^n h_{kj}}{n} \quad \text{식(2)}$$

식(1)와 (2)로부터 얻은 효율성 점수는 <표 1>과 같이 정리할 수 있고, 열의 평균값으로부터 DMU의 순위선정을 할 수 있다. 예컨대, <표 1>에서 볼 수 있는 h_{21} 의 의미는 DMU-2의 최적 가중치를 이용하여 DMU-1의 효율성을 나타낸 것이다.

<표 1> Cross-efficiency 순위선정을 위한 행렬

DMU	1	2	...	n
1	h_{11}	h_{12}	...	h_{1n}
2	h_{21}	h_{22}	...	h_{2n}
...
n	h_{n1}	h_{n2}	...	h_{nn}
열의평균값	\bar{h}_1	\bar{h}_2	...	\bar{h}_n

2.3 CCCA를 이용한 순위선정 방법

정준상관분석(Canonical Correlation Analysis)은 회귀분석의 확장형태로서 다입력, 다출력 요소에 대한 상관분석이 가능하다. 즉, 다 입출력 요소에 대해 공통의 가중치를 제시할 수 있는 점에서 회귀분석의 한계를 넘어서는 방법이다. 그러나 정준상관분석은 정준계수(canonical coefficient)가 음의 값을 갖게되는 경우가 종종 발생하여 해석상의 어려움이 있다[8, 13]. 이러한 단점을 보완한 방법이 Tofallis [14]가 제안한 CCCA이다. CCCA는 CCA의 정준계수를 음수 아닌 값으로 한정하는 방법이다. Tofallis가 제안한 방법과 DEA의 결합 적용은 이경원 외 [8]에서 선행 연구되었으며, 그 구체적인 방법은 아래와 같다.

우선, DEA를 통해 효율적인 DMU를 선별한다. 그리고 입력(x), 출력(y)자료 행렬로 선형결합 함수를 식(3), 식(4)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.

$$X = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_m x_m \quad \text{식(3)}$$

$$Y = b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_s y_s \quad \text{식(4)}$$

그리고 모형(3)을 이용하여 X, Y의 상관관계를 최대로 만드는 선형조합을 찾는다.

모형(3)

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

모형(3)에서 결정되는 $\text{Corr}(X, Y)$ 의 값이 1에 가까울수록 X, Y의 상관관계가 크다는 것을 의미한다. 모형(3)은 목적함수에 제곱형태가 나타

나는 비선형계획법이지만 Kuhn-Tucker Lagrangian 이론으로 최적해 존재가 증명된다[15].

다음은 정준계수의 벡터 $a=(a_i)$ 와 $b=(b_r)$ 를 식(5)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.

$$Y_e = \gamma_0 + \gamma_1 X \\ = \gamma_0 + \gamma_1 (a_1 x_1 + \dots + a_m x_m) \quad \text{식(5)}$$

다음은 식(6)와 같이 DEA에서 구한 효율값 Y_j 와 식(5)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 ‘효율적’인 DMU로 간주할 수 있다[8, 6].

$$EY = Y_e / Y_j \quad \text{식(6)}$$

2.4 각 방법의 특성 및 장단점

위에서 설명한 방법들은 국내외에서 많은 연구가 발표되었다. 특히, Adler 등 [9]은 그 동안의 연구를 체계적으로 정리하여 발표하였다.

Super-efficiency는 DEA모형의 제약식에서 평가대상이 되는 DMU를 제외함으로써 효율성 점수를 얻어 순위를 부여할 수 있다. 이 방법은 명확한 개념을 기반으로 하기 때문에 Super SBM(Slack based Model)[16], Assurance region의 DEA, Super-efficiency모형[17] 등으로 다양하게 발전되고 있다. 그러나 가능 영역을 벗어나거나, (infeasibility issue) [18], 특정 DMU에만 높은 순위가 부여되는 문제 [19] 등 여러 가지 문제점

들이 지적되고 있다.

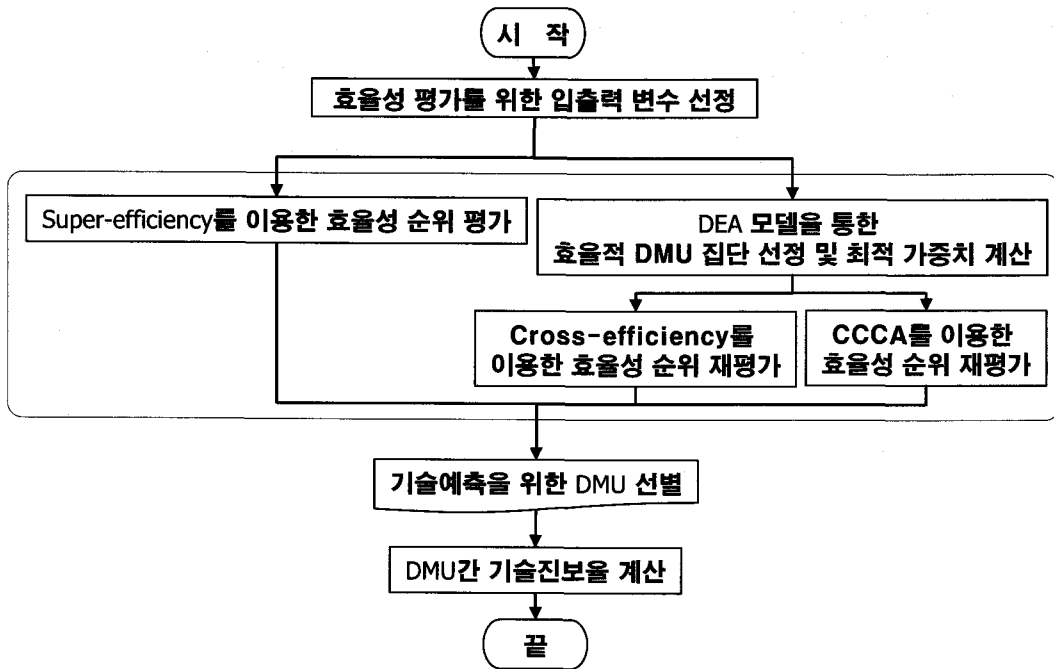
Cross-efficiency는 DEA모형에서 결정되는 최적 가중치 간의 큰 차이로부터 발생하는 단점을 극복하여 순위를 부여할 수 있다. 즉, 특정 DMU가 특정 입출력 요소에 매우 높은 가중치를 부여하거나 ‘0’에 가까운 가중치를 부여하여 높은 효율성 점수를 얻는 경우는 앞서 설명한 바와 같이 쌍대비교를 통해 보완한다[20]. 이 방법은 비현실적 가중치에 의한 효과를 최대한 줄일 수 있는 반면 각 DMU의 최적 가중치를 모두 사용하여 효율성 점수를 측정하므로 매우 보수적인 효율성 측정 방법으로 평가된다.

CCCA를 이용한 방법은 효율적 DMU의 입출력 요소간 최대 상관관계를 갖는 동일 가중치 (common weight)를 적용하여 DMU간 순위를 부여한다. 이 방법은 확장된 형태의 다중 회귀분석인 CCCA를 통하여 단일 형태의 효율 프런티어를 구성하고 효율적 DMU간 순위를 부여함으로써 서로 다른 가중치를 적용하여 효율적 DMU가 과다하게 도출되는 DEA의 단점을 보완한다. 또한 효율적 DMU만을 대상으로 효율 프런티어를 구성하기 때문에 기존 회귀분석의 단점도 극복된다 [8]. 그러나 이 방법은 효율적인 DMU간 순위만을 부여할 수 있고, 비효율적 DMU는 고려하지 않는 단점이 있다.

3. DEA기반 순위선정을 통한 기술예측방법

3.1 효율적 DMU를 이용한 기술예측의 절차

효율적 DMU를 이용한 기술예측의 절차는 “보다 효율적”인 DMU를 선별하고 이를 기반으로 “보다 정확한” 기술예측을 하고자 하는 것이다. DEA는 모형의 특성상 효율적 DMU가 다수 선정될 수 있다[6]. 특히 무기체계문제에 적용하는 경우 입출력 변수가 상대적으로 많고, 각 변수 내 편



〈그림 2〉 기술예측의 전체적인 진행절차

차가 작기 때문에 효율적인 DMU가 다수 출현하게 된다[6]. 따라서 DEA결과에서 도출된 ‘효율적’ DMU를 기술예측의 대상으로 할 경우에는 비교적 효율적이지 못한 DMU까지 포함해서 지나치게 많은 수의 DMU를 대상으로 기술예측을 하는 문제가 있으므로 Super-efficiency, Cross-efficiency, CCCA를 적용하여 “보다 효율적”인 DMU를 선별하고자 한다.

우선, 효율성 평가를 위한 적절한 입출력 요소를 선정한다.

두 번째 단계는 DMU에 대한 효율성 순위를 평가하여 “보다 효율적” DMU를 선별하는 단계이다. 이 때 효율성 순위를 평가하는 방법으로는 앞서 열거한 바와 같이 Super-efficiency, Cross-efficiency, CCCA를 이용한 방법을 적용한다. 이 중 Super-efficiency 순위선정은 모형(2)와 같이 각 DMU에 대해 선형계획법을 수행하여 기술예측을 위한 DMU를 선별한다. 한편, Cross-efficiency와 CCCA를 이용한 순위선정의 경우 <그림 2>에서

보는 바와 같이 DEA모형을 통해 효율적 DMU를 선정한 후 다시 Cross-efficiency, CCCA를 이용하여 “보다 효율적”인 DMU를 선별하는 절차를 거치게 된다. DEA 모형수행 시 기술예측 대상의 특성에 따라 CCR, BCC, 입력중심, 출력중심 등을 다르게 선정하고, 적절하게 시기를 구분하여야 한다. 또한 DEA 모형수행의 범위는 구분된 시기까지 개발된 모든 DMU를 대상으로 하여야 하는데, 이는 해당 시기까지 개발된 DMU의 특성이 반영된 기술진보율을 얻기 위해서이다.

세 번째 단계는 최종 선별된 DMU에 대해서 기술예측을 위한 각 요소별 기술진보율을 계산한다. 이 때 기준시점의 기술수준이 ϕ_0 이고 실질시간 이후의 기술수준이 ϕ 라 할 때, β 가 기술진보율을 의미한다[3]. 통상 ϕ_0 를 상수 ‘1’이라 가정하고 실질시간 t^{eff} 이후의 기술수준을 계산한다.

$$\Phi = \beta^{t^{eff}} \phi_0 \quad \text{식(7)}$$

〈표 2〉 주력전차의 분석을 위한 입출력 자료 (6)

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	2.7	5	12.8	25	250	75	1941	세계 전쟁 세대
2	M26	35	3.425	5	12.7	40	160	100	1941	
3	T-34	28	2.6	5	15.9	51	280	76.2	1942	
4	T34/86	32	2.743	5	15.6	55	300	85	1943	
5	M47	46.2	3.35	5	14	48	130	90	1952	1세대
6	M103	55.3	2.93	5	14	37	483	120	1952	
7	M48A1	47	3.13	4	18.7	42	160	90	1956	
8	T-54	35.4	2.4	4	14.1	43	400	100	1957	
9	T-55	36.5	2.22	4	15.3	45	400	100	1958	
10	Centurion	51	3	4	12.5	35	196	83.4	1959	
11	M48A3	46	3.124	4	16	48	387	90	1960	2세대
12	M60	40	3.27	4	16.2	48	400	105	1961	
13	PZ61	39.7	2.88	4	17	50	300	105	1961	
14	Chieftain	35	2.89	4	13.6	48	300	105	1962	
15	T-62	41	3.33	4	14.5	50	450	115	1962	
16	M60A1	49	3.21	4	15.3	48	400	105	1965	
17	Leopard1	40	2.76	4	19.7	64	600	105	1965	
18	AMX30	36	3.1	4	20	64	500	105	1966	
19	Strv103	39	2.43	3	18.7	50	390	105	1967	2.5세대
20	Merkava 1	60	2.75	4	16	46	400	105	1972	
21	Leopard1A4	40	2.76	4	19.7	64	600	105	1972	
22	T-72	41	2.19	3	19	80	480	125	1973	
23	M60A2	52.6	3.27	4	14.4	48.3	500	105	1974	
24	PZ68	39.7	2.88	4	18.9	55	300	105	1974	
25	AMX32	39	2.29	4	18	65	520	105	1975	
26	M60A3	52	3.27	4	15.3	48	500	105	1977	
27	T-80	42	2.22	3	23.5	75	500	125	1978	3세대
28	Leopard2	55.2	2.64	4	27	72	550	120	1980	
29	M1	54.5	2.44	4	27	72.4	498	105	1980	
30	Challenger2	62	2.95	4	19.4	56	400	120	1984	
31	AMX40	43.7	2.38	4	30	70	550	120	1985	
32	M1A1	57	2.88	4	26.2	66.8	465	120	1985	
33	M1A2	63	2.88	4	24	72	424	120	1986	
34	K1	51	2.24	4	23.5	65	500	105	1986	
35	Merkava 3	62	2.76	4	20	55	500	120	1989	
36	Leclerc	54	2.46	3	27	71	550	120	1992	
37	T-90	46.5	2.2	3	17	60	500	125	1993	
38	T-84	46	2.2	3	26	70	600	125	1994	

4. 주력전차의 기술예측

본 절에서 제시하는 주력전차의 기술예측 실험

은 김재오 외 [6]에서 연구된 것을 바탕으로 DEA 기반의 다양한 순위선정 방법을 비교하여 더 효과적인 방법을 찾고자 한다. 주력전차의 기술예측을

위한 분석을 하기 위해 구조적인 특성을 입력요소로, 성능적인 특성을 출력요소로 처리하였다. 입출력변수의 구체적인 선정은 전차 성능평가에 대한 연구를 기초로 하여 기갑부대 경험이 있는 현역장교 10명의 의견을 수렴하여 결정하였다[21]. 그 결과 입력요소로는 전투중량, 전고, 승무원 수를, 출력요소로는 톤당마력, 최고속도, 항속거리, 주포구경이 선정되었다. 경제적인 요소가 선정되지 않은 이유는 방위사업이 민수사업과 비교되는 특성과 실제 방위산업은 시장이 한정되어 있어 수요자와 공급자가 사전에 결정되기 때문에 경제적인 요소보다 성능, 구조적인 요소가 더 중요하기 때문이다[22]. 또한 기타 성능요소인 명중률, 표적제압능력, 화생방 방호능력, 장갑 방호능력 등은 수치화하여 모형에 적용 가능하지만 자료의 획득이 제한되어 제외하였다.

4.1 데이터의 수집 및 입출력 변수 선정

전차의 성능은 실험환경 등에 따라 다소 차이가 있으나 일관된 데이터 수집을 위하여 가장 권위있는 군사자료집[23, 24]에 수록된 데이터를 이용하였다. 또한 주력전차의 첫 출현 시기를 1919년으로 볼 수 있지만, 그 당시 주력전차의 경우 운용개념이나 전장 환경이 현재와는 현격히 다르므로 현재와 비슷하게 된 2차 세계대전 후반 이후의 전차로 본 연구의 실험범위를 한정하였다. <표 2>는 본 연구에서 사용한 주력전차의 입출력 요소를 정리한 것이다.

<표 3> DEA 모형으로 얻은 효율적인 DMU

세대	DMU No.	개수
세계전쟁세대	2, 3, 4	4개 중 3개
1세대까지	2, 3, 4, 6, 7 8, 9 11	11개 중 8개
2세대까지	3, 6, 8, 9, 14 15, 17, 18, 19	19개 중 9개
2.5세대까지	3, 9, 14, 17, 18 19, 21, 22, 25, 27	27개 중 10개
3세대까지	3, 9, 14, 17, 18 19, 21, 22, 25, 27 28, 31, 36, 37, 38	38개 중 15개

4.2 모형의 적용

본 연구에서 주력전차의 기술예측의 문제는 출력량의 증가율이 입력량의 증가율에 비례하는 경우가 아니므로 VRS기반의 DEA-BCC모형을 적용한다. DEA-BCC모형을 적용하여 효율성 평가를 수행한 결과 효율적으로 선정된 DMU는 <표 3>과 같다. <표 3>에서 볼 수 있듯이 지나치게 많은 수의 DMU가 효율적으로 선정되어 이를 토대로 기술예측을 하는 것은 부정확한 결과를 초래할 수 있다. 따라서 위에서 설명한 바와 같이 DMU의 효율성 순위를 명확하게 부여하여 “보다 효율적”인 DMU를 선별할 필요가 있다.

이를 위해 본 연구에서는 열거한 3가지 방법을 통해 제기된 문제를 해결하였다. 그 결과는 <표 4>에서와 같이 볼 수 있다. <표 4>는 3절에서 설명한 절차의 두 번째 단계를 수행한 결과로 Super-efficiency를 이용한 방법은 모형(2)를 이용하여 효율성 순위를 부여하여 얻은 결과이고,

<표 4> 각 방법별로 선별된 효율적 DMU

효율적 DMU	Super efficiency	Cross efficiency	CCCA
세계전쟁세대	DMU No. 3	DMU No. 3	DMU No. 2
1세대	DMU No. 4,9	DMU No. 8,9	DMU No. 6,7
2세대	DMU No. 6,19	DMU No. 18,19	DMU No. 15,17
2.5세대	DMU No. 22,27	DMU No. 22,27	DMU No. 22,27
3세대	DMU No. 31,36,38	DMU No. 36,37,38	DMU No. 18,31,38

<표 5> 각 방법별로 계산된 요소별 기술진보율

순위선정방법	출력요소	년간 기하평균
Super- efficiency	톤당마력	1.0058
	최고속도	1.0141
	항속거리	1.0151
	주포구경	1.0186
Cross-efficiency	톤당마력	1.0064
	최고속도	0.9866
	항속거리	0.9818
	주포구경	1.0102
CCCA를 이용한 방법	톤당마력	1.0236
	최고속도	1.0162
	항속거리	0.9916
	주포구경	0.9976

Cross-efficiency, CCCA를 이용한 방법은 DEA-BCC모형의 결과를 토대로 효율성을 재평가하여 얻은 결과이다. 본 연구에서는 열거한 3가지 방법을 통해 부여된 효율성 순위를 이용하여 상위 20%에 해당하는 DMU만을 선별하였다. 세 가지 방법이 모두 동일한

DMU를 선별한 경우는 DMU No. 22, 27, 38로 3회, 세 가지 방법 중 두 가지 방법이 동일하게 DMU를 선별한 경우는 총 7회이다. 또한 각 방법이 서로 다르게 DMU를 선별한 경우는 총 7회임을 알 수 있다.

<표 5>는 <표 4>에서 선별된 DMU로부터 각 요소별 기술진보율을 나타낸다. 기술진보율은 출력변수 간 상대적 중요도를 의미하는 것으로 기술진보율 1의 의미는 기술의 진보가 이루어지지 않

았다는 것을 의미하며, 기술진보율 1.0058의 의미는 해당 기술이 연간 0.58%씩 진보하고 있음을 의미한다. 또한 기술진보율이 1 이하의 값을 갖는 것은 해당 기술의 중요성이 당시 관점으로 중요하지 않거나, 다른 기술의 발전으로 인해 상대적 중요성이 축소된 경우를 의미한다[6].

4.3 결과 분석

<표 6>는 <표 5>에서 계산된 기술진보율을 바탕으로 각 출력요소별 추정 성능을 계산하여 1996년, 1998년에 개발된 주력전차의 실제성능과 비교한 것이다. 이는 <표 4>의 기술진보율이 각 방법별로 마지막 개발된 주력전차인 DMU No.38로 1994년을 기준으로 삼으므로, 이를 2제공한 2년간, 4제공한 4년간의 기술진보율을 계산하여 추정 성능 계산이 가능하다.

<표 7>은 <표 6>에서 얻은 추정 성능과 실제 성능을 비교하여 각 방법별로 오차율을 비교한 것으로 정규화된 값을 이용 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 6> 실제성능과 각 방법 결과값 비교

실제성능과 비교		톤당마력	최고속도 (km/h)	항속거리 (km)	주포구경 (mm)
Leopard2A5전차 (1996년 개발)	실제성능	25	75	500	120
	Super efficiency	26.3031	71.9924	556.4308	129.7052
	Cross efficiency	26.3331	68.1365	520.4938	127.5587
	CCCA를 이용한 방법	27.2437	72.2933	530.9633	124.4124
99식 전차 (1998년 개발)	실제성능	28.8	75	550	125
	Super efficiency	26.6097	74.0416	573.3615	134.5876
	Cross efficiency	26.6705	66.3227	501.6922	130.1698
	CCCA를 이용한 방법	28.5469	74.6616	522.0779	123.8275

〈표 7〉 각 방법별 오차율 비교

오차율		MAE(%)	MSE(%)	RMSE(%)
Leopard2A5전차 (1996년 개발)	Super-efficiency	6.6045	6.6045	25.6992
	Cross-efficiency	5.8890	0.3881	6.2294
	CCCA를 이용한 방법	5.1551	0.3031	5.5058
99식 전차 (1998년 개발)	Super-efficiency	5.0203	0.3171	5.6307
	Cross-efficiency	7.8077	0.6857	8.2806
	CCCA를 이용한 방법	1.7828	0.0642	2.5330

[6]. <표 7>을 보면 Super-efficiency, Cross-efficiency보다 CCCA를 적용한 것이 통계적으로 더 낮은 오차율을 보임을 알 수 있다.

5. 결론 및 추후연구

한국군의 무기체계 연구개발 수요가 급격히 늘어나고 있는 현실에서 보다 정량적인 기술예측을 통한 무기체계개발은 매우 중요하다고 할 수 있다. 이에 대하여 본 연구에서는 최근에 소개된 TFDEA를 개선하고자 DEA기반 순위선정 방법을 비교하여 기술예측에 적용하였다.

이는 김재오 외 [6]에서는 일반적인 DEA대신 순위정렬이 가능한 CCCA(Constrained Canonical Correlation Analysis)를 DEA에 결합한 방법을 제안한 반면, DEA기반 순위선정 방법 중 어떤 방법이 보다 더 효과적인 지에 대한 비교분석은 시행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 TFDEA가 DEA를 내부적으로 적용하여 발생하는 문제인 효율적 DMU가 필요 이상으로 많이 선정되는 문제를 극복하고자 DEA 순위선정 방법의 대표적인 3가지 방법인 Super-efficiency, Cross-efficiency, CCCA를 기술예측에 활용해서 비교함으로써 기술예측에 사용될 수 있는 바람직한 순위결정 방법을 찾고자 하였다. 이는 “보다 효율적”인 DMU를 기술예측의 대상으로 하고자 하는 TFDEA의 개념을 적절하게 확장한 것이다. 그 결과 세 가지 DEA의 순위선정 방법 중 통계적으로 가장 작은 오차율을 보

이는 방법인 CCCA를 적용하는 방법을 찾을 수 있었으며, 이는 무기체계 뿐만 아니라 다양한 연구개발 분야에 적용이 가능하다.

특히, 본 연구는 이미 공개된 자료를 통해 정확한 검증이 가능한 1996년과 1998년 개발된 주력전차에 대해 세 가지 방법을 비교하여 가장 효율적인 방법을 확인하였으므로 방법론에 대한 검증은 이루어졌다.

그러나 본 연구에서 적용한 방법을 통해 실험한 주력전차의 기술예측문제는 기본적인 입출력 요소만을 대상으로 하였으므로 실험결과의 적절성에 다소 제한이 있을 것으로 생각된다. 따라서 앞서 설명한 바와 같이 획득이 제한된 입출력 자료로 확대 적용한다면 좀 더 의미 있는 결과를 도출할 수 있을 것이다. 또한 방법론이 검증된 TFDEA를 개선한 본 연구의 방법은 무기체계의 탐색개발단계 시 기술예측의 정량적 방법 중 하나의 대안으로 고려할 수 있으며, 특히 한국군의 차기주력전차 ‘흑표’의 성능검증은 김재오 외 [6]의 연구를 통해 이루어졌다. 그러나 김재오 외 [6]의 연구는 ‘흑표’에 대해 기술수준 평가를 현재시점에서 완료하는 것은 다소 무리이며, 제원에 대한 상세 자료가 공개된 이후에야 현실적으로 가능할 것으로 보인다. 다만, 김재오 외 [6] 연구에서 수행한 ‘흑표’에 대한 검증은 전력화 시점까지 남은 몇 년 동안 ‘흑표’가 보완해야 할 부분에 대해 기술수준예측관점에서 도달 되어야 할 목표와 목표 설정을 위한 합리적 방법론을 제시했다는 점에서 의의가 있다.

또한 효율성 순위를 부여한 이후 어느 수준까지를 기술예측의 대상으로 삼을 것인가에 대한 방법도 추후 연구 과제가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Bright, James Rieser., *Technological Forecasting for Industry and Government*, Prentice-Hall, 1968.
- [2] Martino, J. P., *Technological Forecasting for Decision Making*, New York : McGraw-Hill, 1993.
- [3] Anderson, T. R., Hollingsworth, K., and Inman, L., "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, 2001.
- [4] Anderson, T. R., Fare, R., Grosskopf, S., Inman, L. and Song, X., "Further examination of Moore's law with data envelopment analysis", *Technological Forecasting & Social Change*, Vol. 69, No. 5, pp. 465-477, 2002.
- [5] Inman, O. L., Anderson, T. R., and Harmon, R. R., "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, 2005.
- [6] 김재오, 김재희, 김승권, "효율적 DMU 선별을 통한 개선된 기술진보 예측방법", 「기술혁신연구」, 게재심사 진행 중.
- [7] Cooper, W. W., Seiford, L. M., and Tone, K., *Data Envelopment Analysis - A Comprehensive text with Models, Applications, References and DEA-Solver software*, Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [8] 이경원, 박명섭, 박경삼, "범주형 환경변수를 고려한 공정한 효율성측정 : DEA와 제약정준상관분석의 결합사용", 「경영학연구」, 제35권, 제3호, pp. 805-824, 2006.
- [9] Adler, N., Friedman, L., and Sinuany-Stern, Z., "Review of Ranking Methods in the Data Envelopment Analysis context", *European Journal of Operational Research*, Vol. 140, No. 2, pp. 249-265, 2002
- [10] Andersen, P., and Peperisen, N.C., "A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis", *Management Science*, Vol. 39, No. 10, pp. 1261-1294, 1993.
- [11] Sexton, T.R., and Silkman, R.H., "*Data envelopment analysis: Critique and extensions, Measuring Efficiency: An assessment of Data Envelopment Analysis*", Jossey-Bass, San Francisco, CA, 1986.
- [12] Doyle, J., and Green, R., "Efficiency and Cross-efficiency in DEA: Derivations, Meanings, and Uses", *Journal of the Operational Research Society*, Vol.45, No.5, pp. 567-578, 1994.
- [13] Tabachnick, B. G., and Fidell, L. S., *Using Multivariate Analysis*, New York : Harper Collins, 1996.
- [14] Tofallis, C., "Combining Two Approaches to Efficiency Assessment", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 52, No. 11, pp. 1225-1231, 2001.
- [15] Tofallis, C., "Model Building with Multiple Dependent Variables and Constraints", *The Statistician*, Vol. 48, No. 3, pp. 371-378, 1999.

- [16] Tone, K., "A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis", *European Journal of Operational Research*, Vol. 143, No. 1, pp. 32-41, 2002.
- [17] Hashimoto, A., "A ranked voting system using a DEA/AR exclusion model: A note", *European Journal of Operational Research*, Vol. 97, No. 3, pp. 600-604, 1997
- [18] Seiford, L.M., and Zhu, J., "Infeasibility of Super-efficiency data envelopment analysis models", *INFOR*, Vol. 37, No. 2, pp. 174-187, 1999.
- [19] Sueyoshi, T., "Data envelopment analysis non-parametric ranking test and index measurement: Slack-adjusted DEA and an application to Japanese agriculture cooperatives", *Omega International Journal of Management Science*, Vol. 27, No. 3, pp. 315-326, 1999.
- [20] 김경구, "교차 평가 모형을 이용한 컨테이너 터미널의 효율성 평가 모형에 관한 연구", 부산외국어대학교 박사학위 논문, 2003.
- [21] Gupta, R., and Bhushan, N., "Performance Evaluation of Battle Tanks", *Defence Science Journal*, Vol. 46, No. 2, pp. 115-119, 1996.
- [22] 김진우, 이희각, 김희재, 서진석, 이상길, 정백기, 정동윤, 최진희, 김진인, 신용석, 이종우, "무기체계학", 서울 : 청문각, 2000.
- [23] Christopher, F. F., *Jane's armour and artillery*, London : Jans's Information Group, 1995.
- [24] Army-Technology. (2007), <http://www.army-technology.com>.

|| 저자소개 ||

- 김 재 오** (E-mail: c14180@hanmail.net)
- 2003년 육군사관학교 토목공학과 졸업(학사)
- 현재 고려대학교 정보경영공학전문대학원 석사과정
- 관심분야 다기준 의사결정 분석, 군사 OR/SA
-
- 김 재 희** (E-mail: jheekim@kunsan.ac.kr)
- 1996년 고려대학교 산업공학과 졸업(학사)
- 1998년 고려대학교 산업공학과 졸업(석사)
- 2004년 고려대학교 산업공학과 졸업(박사)
- 현재 군산대학교 경영회계학부 조교수
- 관심분야 다기준 의사결정 분석, 수자원/교통시스템분석
-
- 김 승 권** (E-mail: kimsk@korea.ac.kr)
- 1972년 서울대학교 기계공학과 졸업(학사)
- 1977년 Stanford University 산업공학과 졸업(석사)
- 1982년 U.C.L.A. 시스템공학과 졸업(박사)
- 1984년 System Analyst, Harza Engineering Co., Chicago, USA.
- 현재 고려대학교 정보경영공학부 교수
- 관심분야 다기준 의사결정 분석, SCM, 수자원시스템 분석