

## IDEA를 이용한 탄약중대의 효율성 평가

### Assessment of Ammunition Companies Using IDEA model

배영민\*, 김재희\*\*, 김승권\*\*\*

\* 고려대학교 산업시스템 정보공학과 (miso517@korea.ac.kr)

\*\* 군산대학교 경영회계학부 (jheekim@kunsan.ac.kr)

\*\*\* 고려대학교 산업시스템 정보공학과 (kimsk@korea.ac.kr)

#### Abstract

In order to enhance sustainable war fighting capabilities, it is important to maintain a good ammunition support system. In this paper, we evaluate the performance of Ammunition companies using Imprecise Data Envelopment Analysis (IDEA)-BCC and IDEA-Additive model, which can deal with imprecise data in DEA. In order to select a list of input and output variables, we used a multiple regression analysis. We could choose input variables that have significant effects on the output performance with stepwise regression model. From the regression analysis, the number of soldiers, officers, and ammunition warehouses were selected as the input variables. Seven out of sixteen Ammunition companies were found to be inefficient by the IDEA-BCC model. And using IDEA-Additive model, we could identify the input excess and the output shortfall in reaching at a point on the efficiency frontier.

#### 1. 서론

탄약은 전쟁비용의 3분의 2 이상을 차지하는 중요한 물자로, 전쟁을 승리로 이끌기 위해서는 탄약중대의 효율적인 운영이 매우 중요하다. 따라서 평시에 효과적이고 공정한 평가시스템을 통해 탄약중대의 효율성을 향상시킬 필요가 있다. 그러나 현재의 탄약중대 평가 시스템은 다수 평가항목에서 취득 점수 간 차이가 거의 없음에도 항목별 취득점수를 단순 가중 합계함으로써, 변별력이 있는 일부항목의 취득점수에 따라 평가결과가 좌우되는 문제가 있다. 즉, 어떤 평가 항목이 탄약중대 평가의 필수요소임에도 불구하고 중대 간 취득점수간의 차이가 작다면 그 항목은 상대평가 항목으로서 중요도가 절하 될 수 있다. 더불어 투입자원의 크기를 고려하지 않고 출력요소의 크기만을 고려함으로써 공정한 평가를 하지 못하는 문제를 들 수 있다. 이러한 문제점을 고려하여 탄약중대의 효율성 평가에 사용될 수 있는 방법을 살펴보면, 회귀분석, AHP, DEA, IDEA 등을 들 수 있다. 이 중에서 회귀분석은 입력과 출력간의 상관관계를 명확히 알 수 있으나 출력 요소의 정확한 함수형태를 정의하기 어려운 경우(주로 비영리 조직이 여기에 해당) 적용이 적합하지 않을 수 있다. AHP(Analytic Hierarchy

Process)는 평가자의 개인적인 선호도를 객관적인 방법으로 정량화할 수 있으나 잘못 적용하면 평가자의 주관에 지나치게 좌우 될 수 있다. 한편, DEA(Data Envelopment Analysis)는 비모수적(Non-parametric)방법으로 통계적 검증이 어렵고 각 의사결정 단위(Decision Making Unit, DMU)별로 각각의 선형계획(Linear Programming)모형을 풀어야 하는 번거로움이 따르지만 입출력 요소의 측정단위가 서로 상이하더라도 여러 요소들을 동시에 고려할 수 있고 비효율이 발생한 부분과 그 크기를 파악할 수 있다는 점에서 많이 활용된다. 특히 DEA의 확장 형태인 IDEA(Imprecise Data Envelopment Analysis)는 자료형태가 범위형(bounded)이나 서열형(ordinary)과 같이 특정값으로 정해지지 않은 자료(Imprecise data)에도 적용할 수 있다는 장점이 있다. 이에 본 연구에서는 IDEA기법을 적용해서 탄약 중대의 효율성을 평가하고자 한다. IDEA의 적용에 있어 입출력 변수선정 결과가 IDEA분석에 큰 영향을 줄 수 있음을 고려해, 정확한 입출력 변수 선정을 할 수 있도록 회귀분석을 적용했다. IDEA모형의 적용결과, 각 탄약중대의 상대적 효율성 수치를 산정할 수 있었으며 비효율적 탄약중대의 개선을 위한 방향과 벤치마킹 대상을 찾을 수 있었다. 다음의 제2절에서는 IDEA의 방법으로 IDEA-BCC모형과 IDEA-Additive 모형의 세부 개념을 소개하고 3절에서는 탄약중대 효율성평가 문제에 IDEA모형을 적용하는 절차를 제시한다. 그리고 4절에서는 IDEA를 이용해서 탄약중대 효율성을 측정된 결과를 제시하고, 5절에는 결론을 수록하였다.

#### 2. IDEA(Imprecise Data Envelopment Analysis)의 이론적 배경

조직의 효율성은 입력자원의 크기와 여기서 도출되는 출력물의 크기로 평가한다. 그러나 대부분의 비영리조직에서는 입출력요소를 결합할 수 있는 시장 가격이 존재하지 않는 것이 현실이다. DEA는 이러한 개념을 전제로 선형계획법을 활용하여 각 DMU의 상대적 효율성을 평가한다. 여기서 입출력 요소는 선형계획 모형의 입력상수가 되며, 결정변수는 입출력물에 부여되는 가중치가 된다. 한편, DEA에서는 RTS>Returns To Scale)개념을 활용하여 측정대상의 규모(Scale)에 따른 영향이 효율성에 미치는 정도를 반영할 수 있는데, 측정대상 출력량의

증가율이 입력량의 증가율에 비례하는 경우를 CRS(Constant Returns to Scale), 그렇지 않은 경우를 VRS(Variable Returns to Scale)로, 그리고 VRS는 다시 입력량의 증가율보다 산출량의 증가율이 작은 DRS (Decreasing Return to Scale)와 산출량의 증가율이 큰 IRS (Increasing Return to Scale)로 세분된다. 본 연구에서는 다루고자 하는 탄약중대 문제가 그 입력물의 증가에 따른 출력물의 증가비율이 일정하지 않은 점을 고려해서 VRS를 가정하며, 범위형 자료를 다루기 위해 DEA의 확장 형태인 IDEA를 적용한다. 다음 절에서는 VRS를 고려한 IDEA-BCC모형과 IDEA-Additive모형의 기본 개념을 소개한다.

**2.1 VRS를 고려한 IDEA - BCC (Banker, Charnes and Cooper)모형**

IDEA-BCC모형은 DEA-BCC모형을 기반으로 한다. DEA-BCC모형은 VRS를 가정한 것으로 모형 (1)과 그 쌍대형태인 모형 (2)로 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 입출력요소에 대한 가중치( $w_j, u_r$ )값을 확인할 수 있는 모형 (2)를 사용한다. 식(2.a)은 평가대상 DMU  $k$ 의 효율성을 최대화하는 목적식이며, 여기서  $u_k$ 는 원형(Primal)문제의 식(1.d)에 대응되며, 식(1.d)는 DMU  $k$  측정시 비교에 동원된  $j$ 번째 DMU의 영향도( $\lambda_j$ )값의 합을 1로 함으로써 효율적 DMU에 의해서 Efficient Frontier를 구성한다. 그러므로  $u_k$ 은 Efficient Frontier의 절편에 해당되며, 이 값이 0이면 CRS, 음(-)이면 IRS, 양(+)이면 DRS를 의미한다.

$$(P) \text{Min } \theta_k \tag{1.a}$$

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

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq y_{rk} \quad r=1,2,\dots,s \tag{1.c}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad \lambda_j \geq 0 \quad j=1,2,\dots,n \tag{1.d}$$

$\theta_k$  : 평가대상 DMU  $k$ 의 효율성 (free)

$y_{rj}$  : DMU  $j$ 의  $r$ 번째 출력요소 값(상수)

$x_{ij}$  : DMU  $j$ 의  $i$ 번째 입력요소 값(상수)

$\lambda_j$  :  $j$ 번째 DMU의 영향도(결정변수)

$$(D) \text{Max } Z_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} - u_k \tag{2.a}$$

$$s.t. \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m w_i x_{ij} - u_k \leq 0 \quad j=1,\dots,n \tag{2.b}$$

$$\sum_{i=1}^m w_i x_{ik} = 1 \tag{2.c}$$

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

$Z_k$  : 평가대상 DMU  $k$ 의 효율성

$u_r$  : 출력요소( $r$ )의 가중치 (dual 결정변수)

$y_{rj}$  : DMU  $j$ 의  $r$ 번째 출력요소 값(상수)

$u_k$  : Indicator of RTS (dual 결정변수)

$x_{ij}$  : DMU  $j$ 의  $i$ 번째 입력요소 값(상수)

$w_i$  : 입력요소( $i$ )의 가중치(dual 결정변수)

한편, 모형 (2)의 DEA-BCC모형에 범위형 자료를 적용하면 자료의 변동성 때문에 비선형모형이 된다. 이 경우는  $X_{ij} = w_i x_{ij}, Y_{rj} = u_r y_{rj}$ 의 변수 치환과정을 거쳐 선형화한 후 IDEA-BCC모형을 적용할 수 있다(Cooper et al, 1999). 다음의 모형 (3)은 <Table 1>의 예제에 대해 IDEA-BCC모형을 적용한 것으로서 DMU 1을 평가하기 위한 모형의 예를 보여준다. 이 모형은 각 DMU의 입출력 값을 해당요소의 입출력 값 중 가장 큰 수로 나누어 <Table 2>와 같이 변환시키고 기존 변수를  $X_{ij}, Y_{rj}$ 로 치환하는 과정을 거쳐 얻어진 것이다.

Table 1. Mixtures of Exact and Imprecise Data

DMU	Inputs		Outputs
	Cost(exact)	Judgement (bounded)	Revenue(exact)
1	100	0.6~0.7	2000
2	150	0.8~0.9	1000
3	150	1	1200
4	200	0.7~0.8	900
5	200	1	600

Table 2. Scale Transformed Data

DMU	Inputs		Outputs
	$X_{1j}$	$X_{2j}$	$Y_{1j}$
1	0.50	0.6~0.7	1
2	0.75	0.8~0.9	0.50
3	0.75	1	0.60
4	1	0.7~0.8	0.45
5	1	1	0.30

$$\text{Max } Z_1 = Y_{11} - U_1 \tag{3}$$

$$s.t. Y_{1j} - X_{1j} - X_{2j} - U_1 \leq 0 \quad j=1,2,3,4,5$$

$$X_{11} + X_{21} = 1$$

$$D_1^+ = \left\{ \begin{array}{l} Y_{11} = u_1; Y_{12} = 0.50 u_1; Y_{13} = 0.60 u_1 \\ ; Y_{14} = 0.45 u_1; Y_{15} = 0.30 u_1 \end{array} \right\}$$

$$D_1^- = \left\{ \begin{array}{l} X_{11} = 0.50 w_1; X_{12} = 0.75 w_1; X_{13} = 0.75 w_1 \\ X_{14} = w_1; X_{15} = w_1 \end{array} \right\}$$

$$D_2^- = \left\{ \begin{array}{l} 0.60 w_2 \leq X_{21} \leq 0.70 w_2 \\ ; 0.80 w_2 \leq X_{22} \leq 0.90 w_2; X_{23} = w_2 \\ ; 0.70 w_2 \leq X_{24} \leq 0.80 w_2; X_{25} = w_2 \end{array} \right\}$$

$$u_1, w_1, w_2 \geq 0, \quad U_1 = \text{free variable},$$

$$Y_{1j} \in D_1^+, \quad X_{ij} \in D_i^- \quad \forall i,$$

$$i=1,2, \quad j=1,2,3,4,5$$

**2.2 IDEA - Additive모형**

앞 절에서 소개한 IDEA-BCC모형(모형 3)을 통해서 각 DMU의 효율 여부를 알 수 있지만 입출력자원을 동시에 고려하여 어느 부분에서 어느 정도의 비효율이 발생하는지 상세한 내용을 파악하기 어렵다. 이 경우 IDEA-Additive모형을 적용하여 입력요소 초과값( $s_j^-$ )과 출력요소 부족값( $s_r^+$ )을 확인할 수 있다. 즉,  $s_j^-$ 와  $s_r^+$ 를 목적함수로 취해서 목적함수의 최적값이 0이면 해당 DMU는 Efficient frontier 상에 존재하는 효율적인 DMU이고, 0이 아니라면 비효율적으로 판단한다. IDEA-Additive모형은 모형 (4)와 같은 DEA-Additive모형을 기반으로 한다. 여기서 식(4.a)는 가산(Additive)형태로  $s_j^-$ 과  $s_r^+$ 의

합을 최대화하는 목적식이다. 식(4.b)는 평가대상 DMU **k**의 실제 출력 요소값( $y_{rk}$ )과 효율적 DMU  $j$ 의 출력 요소값( $y_{rj}$ )의 차이값( $s_r^+$ )을 계산하고, 식(4.c)는 입력 요소에 대한 차이값( $s_i^-$ )을 계산한다. 마지막으로 식(4.d)은 평가대상 DMU **k**의 효율성 평가에 동원된 DMU들의 영향도 총합이 1이어야 함을 의미한다. 이 모형의 수행결과  $s_r^+$ ,  $s_i^-$ 을 통해 각 요소들의 비효율적인 부분과 그 크기를 확인하고,  $\lambda_j$  값에 의해 벤치마킹 대상 DMU를 파악할 수 있다.

$$(P) \text{Max } Z_k = \sum_{r=1}^s s_r^+ + \sum_{i=1}^m s_i^- \quad (4.a)$$

$$s.t. \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{rk} \quad r=1, 2, \dots, s \quad (4.b)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{ik} \quad i=1, 2, \dots, m \quad (4.c)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad \lambda_j \geq 0, s_r^+ \geq 0, s_i^- \geq 0 \quad (4.d)$$

$Z_k$ : 평가대상 DMU **k**의 비효율 정도

$s_r^+$ : 출력요소(r)의 부족(shortfall)값 (결정변수)

$s_i^-$ : 입력요소(i)의 초과(excess)값 (결정변수)

$y_{rj}$ : DMU  $j$ 의  $r$ 번째 출력 요소값(상수)

$x_{ij}$ : DMU  $j$ 의  $i$ 번째 입력요소 값(상수)

$\lambda_j$ :  $j$ 번째 DMU의 영향도(결정변수)

$$(D) \text{Min } W_k = \sum_{i=1}^m w_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} + u_k \quad (5.a)$$

$$s.t. \sum_{i=1}^m w_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + u_k \geq 0, j=1, \dots, n \quad (5.b)$$

$$w_i, u_r \geq 1, u_k = \text{free variable}$$

$W_k$ : 평가대상 DMU **k**의 비효율 정도

$w_i$ : 입력요소(i)의 가중치(듀얼 결정변수)

$x_{ij}$ : DMU  $j$ 의  $i$ 번째 입력요소 값(상수)

$u_r$ : 출력요소(r)의 가중치 (듀얼 결정변수)

$y_{rj}$ : DMU  $j$ 의  $r$ 번째 출력요소 값(상수)

$u_k$ : Indicator of RTS(듀얼 결정변수)

IDEA-BCC모형과 마찬가지로, DEA-Additive모형에 특정값으로 정해지지 않은 한 자료를 입력하면 해당 자료값( $x_{ij}$ )과 각 DMU의 영향도( $\lambda_j$ )를 같이 계산하여야 하는 비선형 문제가 발생하는데, 이 경우는 IDEA-BCC모형에서와 같은 변수 치환으로 문제가 해결되지 않는다. 이 문제의 해결을 위해 본 연구에서는 범위형 자료를 평가 대상 DMU에 가장 불리한 상태로 입력함으로써 보수적 관점의 효율성 평가를 수행한다. 이렇게 하면 범위형 자료가 변수가 아닌 상수로 처리되어 계산상의 어려움을 피하면서, 모든 DMU에 일괄적으로 '보수적인 평가'가 적용되어 형평성을 유지할 수 있다는 장점이 있다. 이것은 평가대상 DMU의 가장 불리한 상황을 가정하더라도 모형 (4)의 목적값이 0일 경우 해당 DMU를 효율적으로 확신할 수 있고

목적값이 0이 아닐 경우 그에 해당되는  $s_i^-$ 과  $s_r^+$ 을 확인 할 수 있기 때문이다.

평가 대상 DMU에 불리한 입출력 자료를 반영하는 방법은 자료의 형태에 따라 다르다. 먼저 <Table 1>과 같이 범위형으로 주어질 경우는, 입력값을 반영함에 있어 평가 대상 DMU에는 최대값, 나머지 DMU에는 최소값을 입력하면 된다. 위와 같이 범위형 자료를 하나의 고정값으로 선택한 다음, 비효율적 부분( $s_i^-$ ,  $s_r^+$ )과 각 DMU의 영향도( $\lambda_j$ )를 확인할 수 있는 모형 (4)에 적용하면 범위형으로 주어지는 자료 형태의 경우 IDEA-Additive모형을 적용할 수 있다. 다음의 <Table 3>은 DMU 1을 평가하기 위해 직관적으로 확인한 입력값으로 모형 (6)은 이 자료를 모형 (4)에 반영한 IDEA-Additive모형이다.

Table 3. The exact data retrieved from model B when  $W_1$  is obtained

DMU	1	2	3	4	5
$x_{2j}$	0.7	0.8	1	0.7	1

$$\text{Max } Z_1 = s_1^+ + s_1^- + s_2^- \quad (6)$$

$$s.t. 2000\lambda_1 + 1000\lambda_2 + 1200\lambda_3 + 900\lambda_4 + 600\lambda_5 - s_1^+ = 2000$$

$$100\lambda_1 + 150\lambda_2 + 150\lambda_3 + 200\lambda_4 + 200\lambda_5 + s_1^- = 100$$

$$0.7\lambda_1 + 0.8\lambda_2 + \lambda_3 + 0.7\lambda_4 + \lambda_5 + s_2^- = 0.7$$

$$s_1^+, s_1^-, s_2^- \geq 0, \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 = 1$$

한편, 평가 대상 DMU에 가장 불리한 조건의 입력값을 직관적으로 파악할 수 없는, 즉 특정값으로 정해지지 않은 자료 형태 중에서 범위형으로 주어지지 않을 경우 쌍대 형태인 모형 (5)를 통해 모형 (4)에 사용될 범위형 자료의 고정값을 찾을 수 있다. 이것은 Lee et al (2002)에서 비효율적 부분( $s_i^-$ ,  $s_r^+$ )과 각 DMU의 영향도( $\lambda_j$ )를 확인할 수 있는 모형 (4)를 적용하려면 특정값으로 정해지지 않은 자료값( $x_{ij}$ )과 각 DMU의 영향도( $\lambda_j$ )를 같이 계산하여야 하는 비선형 문제가 발생하기 때문에 변수 치환으로 비선형문제를 해결 할 수 있는 모형 (5)를 풀어 특정값으로 정해지지 않은 자료의 고정값을 얻고, 이 고정값을 모형 (4)에 입력해서 푸는 것과 같은 절차이다.

<Table 1>의 예제를 모형 (5)에 적용해서 모형(7)과 같이 나타낼 수 있으며 범위형 자료의 고정값은 <Table 3>과 일치하였다. 위와 같이 특정값으로 정해지지 않은 자료값 중에서 하나의 고정값으로 선택한 다음, 비효율적 부분( $s_i^-$ ,  $s_r^+$ )과 각 DMU의 영향도( $\lambda_j$ )를 확인할 수 있는 모형 (4)에 적용하면 범위형으로 주어지지 않을 경우 IDEA-Additive모형을 적용할 수 있으며 모형 (6)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\text{Min } W_1 = X_{11} + X_{12} - Y_{11} + U_1 \quad (7)$$

$$s.t. X_{1j} + X_{2j} - Y_{1j} + U_1 \geq 0 \quad j=1, 2, 3, 4, 5$$

$$D_1^+ = \begin{cases} Y_{11} = u_1; Y_{12} = 0.50u_1; Y_{13} = 0.60u_1 \\ ; Y_{14} = 0.45u_1; Y_{15} = 0.30u_1 \end{cases}$$

$$D_1^- = \left\{ \begin{array}{l} X_{11}=0.50w_1; X_{12}=0.75w_1 \\ ; X_{13}=0.75w_1; X_{14}=w_1; X_{15}=w_1 \end{array} \right\}$$

$$D_2^- = \left\{ \begin{array}{l} 0.60w_2 \leq X_{21} \leq 0.70w_2 \\ ; 0.80w_2 \leq X_{22} \leq 0.90w_2; X_{23}=w_2 \\ ; 0.70w_2 \leq X_{24} \leq 0.80w_2; X_{25}=w_2 \end{array} \right\}$$

$$u_1, w_1, w_2 \geq 1, \quad U_1 = \text{free variable}$$

$$Y_{1r} \in D_r^+ \quad \forall r, \quad X_{ij} \in D_j^- \quad \forall i, j=1,2,3,4,5$$

### 3. 탄약중대 효율성 평가를 위한 IDEA모형

#### 3.1 탄약중대 효율성 평가를 위한 입출력변수

입출력변수 선정은 그 선정결과에 따라 효율성 평가 결과가 달라질 수 있는 매우 중요한 문제다. 본 연구에서는 탄약중대의 효율성 분석을 위한 변수선정을 위해 회귀분석을 중심으로 다음의 절차를 적용했다.

##### 3.1.1 출력변수 선정

현재의 탄약중대 평가방식에서는 탄약지원 능력과 전투력 수준을 관심대상으로 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 탄약저장, 보급, 정비, 처리, 불출, 적송, 이관 등의 입부수행 수준을 반영한 출력변수로 “탄약 처리건수”(Ammunition Disposal Numbers, ADN)를 선정하였다. 그리고 탄약 처리건수의 경우 교육용 탄약이나 B/L탄약의 교체가 불규칙적으로 발생함을 고려해서 6개월 동안의 탄약 처리건수 합계를 사용하였다. 그리고 2단계 상급지휘관에 의해 종합 평가 되고 중대 전투력을 객관적으로 확인할 수 있는 “전투력 측정 점수”(Company Fighting Power Grade, CFPG)를 출력변수로 선정하였으며 전투력 측정항목들의 득점합계를 사용하였다.

##### 3.1.2 입력변수 선정

입력변수 선정은 크게 3단계를 거친다. 먼저, 1단계에서는 탄약 중대의 운영유지 측면에서 비중이 있는 요소들을 입력변수 후보로 선정했다. 다음으로 2단계에서는 입력변수 후보 중 출력 변수에 큰 영향을 주는 변수를 찾아 포함시켰다. 이것은 합리적인 탄약중대의 경우 출력변수에 영향을 크게 주는 입력요소(비용, 시간 측면에서 더 많은 투자를 할 것으로 추정할 수 있기 때문이다. 이 과정에서 출력변수에 대한 입력변수의 영향도 분석을 위해 다중 회귀분석법을 활용했다. 한편, 입출력 변수 간 상관관계만을 근거로 입력변수를 선정할 경우 출력변수에 영향을 미치는 정도는 작지만 탄약중대의 운영

유지 측면에서 비중이 큰 입력요소가 누락될 수 있음을 고려해서, 마지막 3단계에서는 2단계에서 누락된 입력요소들 중 탄약중대를 운영 유지 차원에서 비중이 큰 입력요소들을 입력변수로 추가한다.

#### 1단계 : 입력변수 후보 선정

입력변수 후보로는 병사수, 간부수, 탄약 주특기 인원수, 탄약고수, 차량 장비수, 피지원 부대수를 고려했다. 먼저, 병사수는 6개월 동안 전입, 전역, 전출, 환자, 후송, 파견 근무 등으로 유동성이 큰 편이기 때문에 범위형 자료를 사용하였다. 간부수는 다소 인원 변화가 있지만 병사수에 비해 그 변동성이 작아 평균치로 고정값을 사용했다. 또한, 탄약 주특기 인원수는 주특기교육 수료인원수를 사용하였다. 탄약고수는 중대가 관리하는 탄약고수를 적용했고, 차량 장비수는 각 중대로 할당된 차량수를 적용하였다. 피지원부대는 각 탄약 중대에서 지원하고 있는 인근의 보급거래 부대수를 적용하였다.

#### 2단계 : 회귀분석을 이용한 입력변수 선정

앞서 선정한 입력 요소들은 상호 복합적으로 작용하여 출력변수에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 다중회귀분석을 적용해서 출력 변수에 영향을 주는 입력변수를 선정하였으며, 이에 앞서 다중공산성(Multi-collinearity)분석을 통해 입력변수들 간에 강한 상관 여부를 확인해 보았다. 이것은 다중공산성이 있을 경우, 출력변수를 설명하는 중요한 입력변수임에도 불구하고 다른 입력변수와의 상관관계가 높아서 주요 입력 변수로 선정되지 못할 가능성이 있기 때문이다. 다중공산성이란 어떤 입력변수의 값이 증가할 때 다른 입력변수의 값이 이와 관련하여 증가하거나 감소하려는 성질을 나타내는 것으로 입력변수들 간의 상관관계를 확인 할 수 있다. 다중공산성은 다음의 식 (8)과 같은 Variance Inflation Factor (VIF)값으로 계산될 수 있다.

$$VIF_k = \frac{1}{1 - R_k^2} \quad (8)$$

$R_k^2$ 는 k번째 입력변수를 종속변수로 하여 나머지 입력변수를 독립변수로 취하여 회귀분석을 수행 했을 때 얻어지는 결정계수 값이다. k번째 입력변수가 다른 입력변수들과 밀접한 관계에 있으면  $R_k^2$ 는 1에 가깝게 되고 따라서 VIF<sub>k</sub>값은 커지게 된다 <Table 6>은 다중공산성 확인 결과를 나타낸 것으로 VIF 값이 10보다 작아 우려할 만한 수준은 아니라고 판단된다(Hwang et al, 2004).

Table 5. Inputs and Outputs data

DMU	Outputs		Inputs					
	ADN	CFPG	Soldiers	Officers	Principal Accomplishment	Ammunition Warehouses	Vehicle equipments	Support Troops
1Co	55	92	84~93	7	24	81	21	23
2Co	33	87	63~74	6	15	56	21	23
3Co	27	89	54~63	6	19	52	21	23
4Co	65	95	89~96	8	27	97	21	23
5Co	69	97	80~86	8	20	106	20	20
6Co	40	90	57~65	6	19	76	20	20
7Co	49	93	68~76	7	20	82	20	20
8Co	60	96	83~89	8	23	87	20	20
9Co	53	91	71~76	7	22	83	21	16
10Co	33	88	53~62	6	19	47	21	16
11Co	65	98	83~93	8	25	89	21	16
12Co	59	91	78~86	7	27	83	21	16
13Co	47	91	68~72	7	25	72	20	28
14Co	45	97	62~78	8	24	71	20	28
15Co	46	89	63~73	6	22	70	20	28
16Co	50	95	78~86	8	21	74	20	28

Table 6. Results of Multicollinearity

	Soldiers	Officers	Principal Accomplishment	Ammunition Warehouses	Vehicle equipments	Support Troops
Variance inflation	8.1454	4.2778	1.8298	5.3801	3.1846	2.2577

Table 7. Results of Stepwise Multiple Regression for Outputs

Outputs	Step	Variable Entered	Partial R-square	Model R-square	F value	Pr > F
Ammunition Disposal Numbers	1	Ammunition Warehouses	0.8942	0.8942	118.28	<0.0001
	2	Soldiers	0.0534	0.9476	13.24	0.0030
Company Fighting Power's grades	1	Officers	0.9005	0.9005	126.65	<0.0001

**3단계 : 입력변수에 대한 정성적 판단**

2단계에서 탈락한 3개의 변수, 즉 탄약주특기인원, 차량 장비수, 피지원부대수 중 출력변수에 미치는 영향은 작지만 탄약중대 운영 유지측면에서 비중이 있는 변수는 입력요소로 고려할 필요가 있다. 따라서 탈락 변수를 대상으로 검토를 해보면, 먼저 주특기인원의 경우 주특기인원과 비주특기인원이 실제 업무상 구분이 없고 이미 병사수에 포함되므로 배제해도 무방할 것으로 판단된다. 두 번째, 차량 장비수의 경우 창급 통합관리가 시행되어 개별 중대의 노력이 불필요하고 각 중대가 요청할 경우 충분한 차량이 공급되므로 탄약 처리건수에 제한을 주는 요소로 볼 수 없다. 마지막으로, 피지원부대수는 외부 환경요인으로 일정하게 탄약 처리건수에 영향을 미치는는 하나 그 영향 정도가 미미해서 입력변수로 추가하지 않았다.

<Figure 1>은 이상의 결과를 종합한 것으로 탄약중대 입력요소들은 해당 중대의 리더십, 경험, 교육훈련, 사기단결 등의 요소를 통해서 중대전투력이나 탄약 처리건수로 나타나는 과정을 도시하고 있다.

**3.2. 범위형 자료의 특성을 이용한 IDEA의 적용**

IDEA-BCC모델은 평가 대상 DMU들을 목적값이 "1"인지 여부에 따라 효율적 DMU와 비효율적 DMU로 양분한다. 그러나 범위형 자료를 사용할 경우 특정값으로 정해지지 않은 자료의 입력 결과에 따라 효율여부가 달라질 수 있어 기존의 방식과 다른 평가를 할 필요가 있다.

본 연구에서는 범위형 자료의 특징을 이용하여 평가 대상 DMU에 가장 유리한 조건과 가장 불리한 조건을 각각 반영해 봄으로써 해당 DMU가 가질 수 있는 효율값의 범위를 파악해 보았다. 즉, 한번은 평가 대상 DMU 범위형 자료는 최대값, 다른 DMU 범위형 자료는 최소값을 입력하고, 두 번째는 평가 대상 DMU의 범위형 자료를 최소값, 다른 DMU 범위형 자료를 최대값으로 입력해서 효율값의 범위를 얻어낼 수 있다. 이들 효율값 범위의 상하한값이 모두 1일 경우는 완전 효율적인(perfect efficiency,  $E^{++}$ )상태, 상한값만 1, 하한값이 1이 아닌 경우는 잠재적 효율적(potential efficiency,  $E^*$ )상태, 그리고 효율값 상하한의 범위가 모두 1보다

작을 경우는 확실히 비효율적인(inefficiency,  $E^-$ )상태로 볼 수 있다. 이 방법은 각 DMU별로 단 1회 효율성을 평가하는 기존의 방법과 달리 DMU별로 2번씩의 효율성 평가를 수행해야 하는 번거로움이 있지만, 기존 방법보다 더 정확한 정보를 얻을 수 있다

는 점에서 장점이 있다. (Despotis and Smirls, 2002).

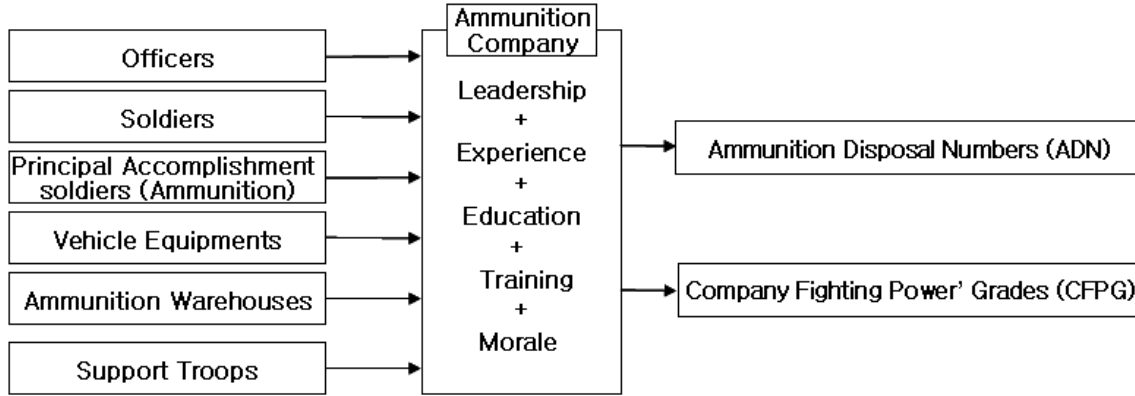


Figure 1. Ammunition Company System Flow Chart

Table 9. Efficiency Results of IDEA-BCC model

DMU	1Co	2Co	3Co	4Co	5Co	6Co	7Co	8Co	9Co	10Co	11Co	12Co	13Co	14Co	15Co	16Co
Efficiency (BCC)	0.975	0.980	1.000	0.967	1.000	1.000	1.000	0.960	0.983	1.000	1.000	1.000	0.987	1.000	1.000	0.962

Table 10. Efficiency Results of IDEA-BCC model (bounded)

DMU		1Co	2Co	3Co	4Co	5Co	6Co	7Co	8Co	9Co	10Co	11Co	12Co	13Co	14Co	15Co	16Co
Efficiency (BCC)	lower bound	0.974	0.979	1.000	0.966	1.000	1.000	0.962	0.939	0.953	1.000	1.000	1.000	0.954	1.000	1.000	0.961
	upper bound	0.975	0.980	1.000	0.967	1.000	1.000	1.000	0.960	0.983	1.000	1.000	1.000	0.987	1.000	1.000	0.962

#### 4. IDEA에 의한 탄약중대 효율성 평가결과

##### 4.1 IDEA-BCC모형의 결과

<Table 9>는 모형 3과 같은 방법으로 IDEA-BCC모형을 수행한 결과로, 산출된 효율성 값을 가지고 순위를 산정할 수는 없지만 16개의 탄약중대의 효율 여부를 확인할 수 있으며 전체 중대의 약 56%인 3,5,6,7,10,11,12,14,15중대가 효율적으로 운영되고 있음을 알 수 있다. <Table 9> 결과는 범위형 자료값(병사수) 중 평가대상 DMU의 효율성을 최대화 할 수 있는 하나의 고정값을 반영해서 IDEA를 적용한 결과이다. 또한 본 연구에서는 3.3.2절에서 소개한 범위형 자료의 특성을 이용한 효율성의 개념을 적용했다. <Table 10>은 그 결과로 각 중대가 나타낼 수 있는 효율값의 상하한 범위를 보여준다. 이 결과를 <Table 9>와 비교해보면 <Table 9>에서 효율적 중대로 분류되었던 7중대가 잠재적인 효율적(potential efficiency)상태에 있음을 확인할 수 있다.

##### 4.2 IDEA-Additive모형을 이용한 비효율성 분석 결과

IDEA-BCC모형에서 비효율적으로 평가된 DMU에 대

해 IDEA-Additive모형을 적용해서 어느 부분에서 어느 정도의 비효율이 존재하는지 파악해 보았다. <Table 11>은 모형 6과 같은 방법을 적용한 결과이다. 8중대의 경우 비교대상인 10중대와 11중대에 비교하여 탄약고수는 4.562개 그리고 간부수는 0.313명이 과다 투입되었고 전투력점수는 0.437점이 부족한 것으로 알 수 있다. 한편, 비교에 동원된 효율적 중대들이 참조된 횟수를 통해서 어느 중대를 벤치마킹 대상으로 부각시킬지 파악할 수 있다. 이것은 비교대상이 되었던 DMU에 대한 가중값( $\lambda_j$ )으로 확인할 수 있으며, <Table 11>을 보면 10중대가 7회에 걸쳐 참조 대상이 되어, 10중대를 비효율적인 중대의 벤치마킹 대상으로 선정할 수 있음을 알 수 있다. 또한 <Table 11>의 결과를 통해 출력변수부분에서 전체 16개 중대의 탄약 처리건수는 주어진 환경에서 효율적으로 운영되고 있지만 일부중대는 전투력측정점수부분에서 조금 더 노력해야 할 부분이 있음을 알 수 있다. 그리고 입력변수 부분에서 8, 16중대는 병사수, 간부수, 탄약고수 등의 전체적인 부분에서 비효율적인 부분이 존재하는 것을 확인할 수 있으며 이는 해당 중대장의 개선노력이 요구됨을 알 수 있다.

Table 11. Inefficiency result of Ammunition Company on the IDEA-Additive model

DMU	Result of IDEA-Additive model						Efficiency (BCC)
	Inputs			Outputs		Reference Set	
	Soldiers	Officers	Ammunition Warehouse	ADN	CFPG	Weight ( $\lambda$ )	
1Co	1.423	0	2.384	0	1.461	$\lambda_{10}=0.04, \lambda_{11}=0.5, \lambda_{15}=0.46$	0.975
2Co	1	0	9	0	1	$\lambda_{10}=1$	0.980
3Co	0	0	0	0	0	$\lambda_3=1$	1
4Co	0	0.091	3.678	0	2.172	$\lambda_5=0.37, \lambda_{10}=0.05, \lambda_{11}=0.58$	0.967
5Co	0	0	0	0	0	$\lambda_5=1$	1
6Co	0	0	0	0	0	$\lambda_6=1$	1
7Co	0	0	0	0	0	$\lambda_7=1$	1
8Co	0.843	0.313	4.562	0	0.437	$\lambda_{10}=0.14, \lambda_{11}=0.86$	0.960
9Co	0	0	3.255	0	1.692	$\lambda_5=0.47, \lambda_{10}=0.34, \lambda_{15}=0.19$	0.983
10Co	0	0	0	0	0	$\lambda_{10}=1$	1
11Co	0	0	0	0	0	$\lambda_{11}=1$	1
12Co	0	0	0	0	0	$\lambda_{12}=1$	1
13Co	0	0.206	2.775	0	0.637	$\lambda_5=0.33, \lambda_{10}=0.60, \lambda_{11}=0.07$	0.987
14Co	0	0	0	0	0	$\lambda_{14}=1$	1
15Co	0	0	0	0	0	$\lambda_{15}=1$	1
16Co	6.125	0.535	2.035	0	0	$\lambda_{10}=0.27, \lambda_{11}=0.41, \lambda_{14}=0.32$	0.962

### 5. 결론

본 연구의 목적은 기존의 탄약중대 평가 시스템이 일부 평가 항목의 평가결과에 크게 좌우되고, 출력요소의 크기만을 감안함으로써 규모에 따른 형평성을 고려하지 못하는 문제를 보완하고 효율적인 탄약중대 운영을 위한 개선방향을 제시하고자 함이다. 이를 위해 범위형 입력 자료를 갖는 탄약중대에 대해 IDEA-BCC모형과 IDEA-Additive모형을 적용해서 그 효율성과 개선의 여지를 파악해 보았고 범위형 자료의 특성을 이용한 효율성의 범위를 확인하여 기존의 효율적, 비효율적 집단의 구분 방법에서 잠재적 효율 집단(potential efficiency)을 구분하여 보았으며, 준거 집단에 대한 참조 횟수를 통해 벤치마킹 대상을 확인해 볼 수 있었다. 또한 IDEA의 적용에 있어 입출력 변수의 선정이 결과에 큰 영향을 줄 수 있음을 감안하여 회귀분석을 토대로 한 입출력 변수 선정절차를 거쳤다. IDEA는 평가기준에 대한 가중치 논란을 배제하고 특정값으로 정해지지 않은 자료(Imprecise data)까지 고려해서 효율성을 평가한다는 점에서 유용할 수 있다. IDEA를 이용한 평가방법은 평가대상 중대들의 수준, 비효율적 부분 그리고, 개선방향 등을 구체적으로 제시 할 수 있어 부대 지휘를 위한 참고자료가 될 수 있을 것이다. 그러나 IDEA는 상대적인 평가방법으로서, 모형 수행결과 효율적인 DMU로 판정되더라도 그것은 상대적인 것임을 유의해야 할 것이다. 즉, IDEA에서 효율적 중대로 분류되더라도 해당 중대를 개선의 여지가 전혀 없다고 단언할 수는 없으며, 더 노력하면 개선될 가능성을 배제할 수는 없다. 따라서 상대적 평가의 단점을 해소하기 위해서는 비교평가 하고자 하는 DMU의 수를 충분히 확보할 필요가 있다.

### 참고문헌

Banker, R.R., Charnes, A., Cooper, W.W. (1984), Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, 30(9), pp1078-1092.

Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E. (1978), Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, 2, pp429-444.

Cooper, W.W., Park, K.S., Gang, Y. (1999), IDEA and AR-IDEA : Models for Dealing Imprecise Data in DEA, *Management Science*, 45(4), pp567-607.

Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K. (2001), *Data Envelopment Analysis - A Comprehensive Text with Models Applications, References and DEA-Solver Software*.

Cubbin, J., Tzanidakis, G. (1998), Regression versus DEA for Efficiency Measurement ; an Application to the England and Wales Regulated Water Industry, *Utilities Policy* 7, pp75-85.

Despotis, D. K., Smirlis, Y. G. (2002), Data Envelopment Analysis with Imprecise Data, *European Journal of Operational Research* 140, pp24-36.

Frei, F. X., Harker, P. T. (1999), Measuring Aggregate Process Performance Using AHP, *European Journal of Operational Research*, 116, pp436-442.

Hwang, H-S., Jung, B-W., Park, J-S. (2004), *SAS 8.20 Programming*, Kyungmoonsa, Seoul, Korea.

Lee, Y.K., Park, K.S., Kim S.H. (2002), Identification of Inefficiencies in Additive Model Based IDEA, *Computer & Operations*

Research, 29, pp1661-1676.

Schaffnit, C., Rogen, D., Paradi, J. C. (1997), Best Practice Analysis Bank Branches: An Application of DEA In a Large Canadian Bank, European Journal of Operational Research, 98, pp269-289.

Zhu, J. (2004), Imprecise DEA via Standard Linear DEA Models with a Revisit to a Korean Mobile Telecommunication Company, Operational Research, 52(2), pp323-329.