

순위결정 퍼지DEA법을 이용한 수색구조구역의 운영효율성 평가

장운재* · 김종수**

*목포해양대학교대학원, **목포해양대학교 해상운송시스템학부

Evaluation of Operation Efficiency in the Korean SRRs using Ranking of DMUs with Fuzzy Data

Woon-Jae Jang* · Jong-Soo Keum**

*Graduate school of Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

**Division of Maritime transportation system, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

요 약 : 본 연구는 우리나라 RCC/RSC의 효율성을 2개의 입력변수와 5개의 출력변수로 한 토대로 퍼지 DEA를 이용하여 측정 평가하였다. 특히, 본 연구에서는 해양사고 발생자료 뿐만 아니라 환경스트레스치에 의한 잠재적 해양사고 발생가능 자료도 고려하여 운영효율성을 분석하였다. 한편, 현실자료에는 수많은 애매성이 존재하기 때문에 본 연구에서는 DEA법에 퍼지이론을 이용한 퍼지 DEA법을 이용하였다. 이 퍼지 DEA법은 α -cut을 기반으로 한 크리스프 선형계획문제로 변환된 것으로 입/출력 변수를 삼각형 퍼지수로 하여 해를 산출하는 방법을 제안하였고, 제안된 퍼지 DEA를 이용하여 퍼지 RCC/RSC의 순위를 결정하였다. α -cut을 0.5로 하여 효율성을 산출한 결과 YS, BS, MP, TY, JJ, PH, US, IC, SC, DH, GS, TA, WD RCC/RSC 순으로 효율성이 높게 나타났다. 따라서 효율성이 비교적 낮게 평가된 TA, WD RCC/RSC는 효율성이 높은 준거집단을 참조하여 벤치마킹을 해야 할 필요가 있다.

핵심용어 : 기술적 효율성, DEA, 선형계획문제, α -cut, 순위결정, 퍼지 DEA, 구조조정본부, 구조지부, 구조대

ABSTRACT : This paper aims to measure and evaluate the technical efficiency with two inputs and four outputs with the use of fuzzy DEA in Korean RCC/RSC. Especially, this paper included not only the marine accident data which occurred for the analysis in particular but also the possibility data of a potential marine accident by an Environmental Stress value and analyzed the technical efficiency. And in this paper, asymmetrical triangular fuzzy number is presented about inputs/ outputs data and a procedure is suggested for it's solution. The basic idea is to transform the fuzzy CCR model into a crisp linear programming problem by applying an alternative α -cut approach. Also this paper propose a ranking method for fuzzy RCC/RSC using presented fuzzy DEA approach. The result, when α -cut is 0.5, efficiency priority is found in the order of YS, BS, MP, TY, JJ, PH, US, IC, SC, DH, GS, TA, WD RCC/RSC. Finally, Inefficiency TA, WD RCC/RSC have to benchmarking with reference sets.

KEY WORDS : technical efficiency, Data Envelopment Analysis, linear programming problem, α -cut, ranking, fuzzy DEA, Environmental Stress value, Rescue Co-ordination Centres, Rescue Sub-Centres, Rescue Units

1. 서 론

최근 우리나라에서도 해상에서 안전성의 향상을 위해 질적인 측면에서 수색구조선의 운영 효율성에 대해서 평가가 행해지고 있다. 수색구조관련 평가문제는 구조구역의 안전성 또는 위험성을 평가하여 수색구조와 관련한 장비와 물자를 확보할 수 있는 하드웨어적인 부분과 본 연구와 같이 운영효율성을 평가하여 효율성을 증대시키고자 하는 소프트웨어적인 방법으로 대별할 수 있다. 운영효율성을 평가하는 방법은 비용-편익분석법(김병욱, 2003), 평점평가법(김과 박, 2003)등 여러 가지가 있으나 DEA법을 이용한 평가가 다양한 분야에서 널리 사용되고

있다(Thanassoulis, 1995; Drakes & Simpe, 2003).

해상분야에 있어서도 DEA법을 이용하여 운영효율성의 평가가 선행연구(김과 장, 2005)에서 시도되었다. 선행연구에서는 2개의 투입변수와 4개의 산출변수 자료를 바탕으로 DEA(Data Envelopment Analysis)법을 이용하여 우리나라 RCC/RSC의 운영효율성을 분석하였다. 투입변수에는 경비함정, 특수함정의 척수, 산출변수로는 해양사고 척수, 해상범죄사고 건수, 해양오염사고 유출량, RCC/RSC의 면적을 고려하였다. 한편, 구조선은 발생한 해난사고에 대한 구조업무 뿐만 아니라 해난사고의 예방업무도 수행하고 있다. 따라서 이러한 자료를 포함하기 위해서는 해난사고의 발생 가능성에 대한 고려가 필요하다. 해난사고의 발생 가능성을 정량적 수치로 나타내기 위해 본 연구에서는 井上가 제안한 환경 스트레스 모델에 의한 평가 자료를 이용하였다(井上의 2, 1998).

*대표저자 : 종신회원, jwj98@mmu.ac.kr 061)240-7151

**종신회원, jskeum@mmu.ac.kr 061)240-7075

DEA법을 이용한 효율성 평가에 있어서는 입출력 변수의 자료를 바탕으로 평가하기 때문에 자료의 선택에 따라 효율성의 차이가 다르게 나타날 수 있다. 따라서 어떠한 자료를 선택하는가가 중요한데 현실적인 자료에 있어서는 자료의 수집에 따른 애매성 등 수많은 애매성이 존재하기 때문에 퍼지적 사고로 분석할 필요가 있다. 퍼지적 사고에 바탕을 둔 DEA법은 입/출력자료에 대해 삼각형의 퍼지수로 보는 것이 일반적이다. 또한 입/출력자료의 퍼지수에 대한 퍼지문제로의 정식화는 가능성선형계획법에 기반을 둔 구간선형계획법으로 변환하는 것이 일반적으로 널리 알려져 있으므로 본 연구에서도 삼각형의 퍼지수와 퍼지문제로의 정식화는 구간선형계획법으로 변환하였다. 한편 구간선형계획문제에 있어서 해를 구할 때에는 α -cut를 이용하므로 본 연구에서도 α -cut를 이용하여 해를 구한다. 그러나 구간선형계획법을 이용하여 효율성을 산출시 효율성의 값이 구간 값으로 산출되게 되고, 효율성이 높은 RCC/RSC가 다수 존재할 가능성이 있어 RCC/RSC의 효율성에 대한 순위를 결정하고자 할 경우에는 상당한 어려움이 있게 된다. 따라서 본 연구에서는 순위결정법(Satti 외 2, 2002)을 이용하여 우리나라 RCC/RSC의 운영효율성을 분석하였다.

이를 위해 본 연구는 선행연구에서 RCC/RSC의 운영 효율성 평가를 위해 Brainstorming법에 의해 추출한 7개의 평가요소를 이용한다. 또한 평가요소는 해양경찰청의 최근 5년간의 자료를 분석하여 자료를 삼각형 퍼지수화하여, 우리나라 13개 RCC/RSC를 개별적인 평가단위로 설정하여 상대적 효율성을 측정하고, 효율성의 순위를 결정하였으며, 비효율적인 RCC/RSC는 벤치마킹해야할 RCC/RSC를 제시하였다.

2. 이론적배경

2.1 조선환경스트레스

조선 곤란성을 평가하는 지표치에는 선박의 마주침의 빈도, 피항조선의 횡수, 항로의 이용율 등 객관적인 조선 곤란도를 나타내는 지표치가 있다. 또한, 주관적인 조선 곤란도를 나타내는 지표치는 SJ(Subjective Judgement)치, BC(Blocking Coefficient)치, ES(Environmental Stress)치 등이 있는데 경험자의 주관적인 조선 곤란성을 정량적으로 표현한 ES치가 평가에 유효한 것으로 알려져 있다(井上欣三·増田憲司·世良亘,1998). 조선환경 스트레스는 자연조건, 지형조건, 시설조건 등 조선자 주변의 환경이 지리적, 물리적으로 조선수역을 제한하거나 조선상의 행동을 제약하는 등, 조선 자유를 제약할 경우 조선자에게 가해지는 스트레스의 크기를 의미한다.

조선환경스트레스치의 계산방법은 다음과 같다.

- 1) 자선의 현침로를 중심으로 좌우90°의 조선수역을 가정한다.
- 2) 현 침로를 중심으로 1°마다 침로별 위험의 현재화까지의 시간여유를 계산한다.
- 3) 각 침로마다 구한 위험 현재화까지의 시간여유에 대하여 조선자가 어느 정도 위험감을 느끼는지 설문조사와 선박조종시물레이타 실험에 의해 식(1)을 산출한다.

$$SJ_L = a(R/V) + \beta \quad (1)$$

$$a = 0.00092 \times \log_{10}(GT) + 0.0099, GT \leq 10,000$$

$$a = 0.006671 \times \exp\{-7 \times 10^{-6}(GT)\}, GT \geq 10,000$$

$$\beta = -3.82$$

SJ_L : 장애물에 대한 위험의 현재화 까지 시간여유에 대해 조선자가 느끼는 위험감(실수)

R : 장애물까지의 거리(m)

V : 자선의 속력(Kts)

SJ_L 값과 조선자가 느끼는 위험관계는 0 부터 ± 3 까지 0 인 경우 "안전과 위험 중 어느 쪽이라고 할 수 없다"라고 하고 +3 인 경우는 매우 안전하고 -3인 경우는 매우 위험하다고 하였다.

4) 방향에 따라 느끼는 위험감을 고려한 방향가중합수를 정면에선 1, 좌우 110° 방향에서는 0 이 되는 cos함수를 이용한다.

5) 식(2)와 같이 각 침로별 SJ_L 값을 (0, 6)으로 척도 변환하고 각 1°마다의 위험감을 $\pm 90^\circ$ 범위에서 합산하여 그 순간의 조선환경 스트레스치로 한다. 이러한 조선환경 스트레치는 최소치 $0 * 180^\circ = 0$, 최대치 $6 * 180^\circ \approx 1000$ 로 정의되어 진다.

$$ES_L = \sum(SJ_L) \quad (2)$$

단, ES_L : 조선환경 스트레스(실수)

본 연구에서는 연안선의 평균 전장(115m), 평균 속력(15Kts), 통항 항로폭, 항로의 만곡도 등을 고려해 조선환경 스트레스치를 산출했다. 한편 산출된 수치는 산출변수 G1, G2, G3의 입력자료로 반복적인 계산을 통해 가장 스트레스가 높을 때의 값을 G1으로 가장 낮을 때의 값을 G3로 하고 평균치는 G2로 하였다.

2.2 퍼지 DEA법

DEA법에 의한 효율성을 측정하기 위해 입력자료는 자료의 산출시 반영되는 애매성 뿐만 아니라 입력한 자료를 분석모형에 적용시에 따르는 애매성 등 많은 애매성이 존재한다. 따라서 이러한 자료에 의한 효율성을 산출시에는 퍼지적인 접근이 타당할 것이다.

어떤 애매성이 포함된 자료를 CCR 모델로 분석하기 위한 퍼지성은 다음의 식(3)과 같이 표현할 수 있다(Guo, tanaka, 2001; Satti etal, 2002; Leon etal, 2003).

$$\begin{aligned} & MAX \sum_{r=1}^s u_r \tilde{y}_{r0} & (3) \\ \text{s. t :} & \\ & \sum_{r=1}^s u_r \tilde{y}_{ri} - \sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{ij} \leq 0 \\ & \sum_{i=1}^m v_i \tilde{x}_{io} = \tilde{1} \\ & u_r, v_i \geq 0 \\ & (j = 1, 2, \dots, n, r = 1, 2, \dots, s, i = 1, 2, \dots, m) \end{aligned}$$

입/출력변수에 사용되는 퍼지수에는 삼각형, 평행사변형 등 다양한 형태가 있으나 삼각형의 퍼지수가 일반적이므로 본 연구에서는 삼각형 퍼지수를 고려하고자 한다.

어떤 하나의 DMU(의사결정단위, Decision Making Unit: DMU)의 효율성을 측정하기 위한 퍼지 입력변수 $\tilde{x} = (x^m, x^l, x^u)$ 에 대한 퍼지 출력변수 $\tilde{y} = (y^m, y^l, y^u)$ 를 정의하고 식(3)의 퍼지 CCR 모델에 적용하면 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & MAX \sum_{r=1}^s u_r (y_{ro}^m, y_{ro}^l, y_{ro}^u) & (4) \\ \text{s. t :} & \\ & \sum_{r=1}^s u_r (y_{ri}^m, y_{ri}^l, y_{ri}^u) - \sum_{i=1}^m v_i (x_{ij}^m, x_{ij}^l, x_{ij}^u) \leq 0 \\ & \sum_{i=1}^m v_i (x_{io}^m, x_{io}^l, x_{io}^u) = (1, 1^l, 1^u) \\ & u_r, v_i \geq 0 \\ & (j = 1, 2, \dots, n, r = 1, 2, \dots, s, i = 1, 2, \dots, m) \end{aligned}$$

여기에서 $1^l \leq 1$ 과 $1^u \geq 1$ 은 실수이다. 식(4)는 가능성 선형계획법이므로 다양한 방법으로 효율성을 산출할 수 있다. 그러나 가능성선형계획법에 기반을 둔 퍼지수를 구간으로 보고 α -cut을 이용한 구간선형계획문제법으로 변환하여 해를 산출하는 것이 일반적이다. 따라서 식(4)를 α -cut를 이용한 구간 선형계획문제로 변환하여 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & MAX \sum_{r=1}^s u_r [\alpha y_{ro}^m + (1-\alpha)y_{ro}^l, \alpha y_{ro}^m + (1-\alpha)y_{ro}^u] & (5) \\ \text{s. t :} & \\ & \sum_{r=1}^s u_r [\alpha y_{ri}^m + (1-\alpha)y_{ri}^l, \alpha y_{ri}^m + (1-\alpha)y_{ri}^u] \\ & \quad - \sum_{i=1}^m v_i [\alpha x_{ij}^m + (1-\alpha)x_{ij}^l, \alpha x_{ij}^m + (1-\alpha)x_{ij}^u] \leq 0 \\ & \sum_{i=1}^m v_i [\alpha x_{io}^m + (1-\alpha)x_{io}^l, \alpha x_{io}^m + (1-\alpha)x_{io}^u] \\ & \quad = (\alpha + (1-\alpha)1^l, \alpha + (1-\alpha)1^u) \\ & u_r, v_i \geq 0 \\ & (j = 1, 2, \dots, n, r = 1, 2, \dots, s, i = 1, 2, \dots, m) \end{aligned}$$

한편 식(5)로 문제의 해를 구하면 효율성은 구간 값으로 나오게 된다. 따라서 해가 구간 값으로 나온 경우에는 의사결정자가 효율성의 순위를 판단하고자 할 때에는 어떠한 DMU를 선택해야 할지 상당히 곤란한 문제가 발생할 수 있다. 따라서 효율성의 순위를 판단할 수 있는 새로운 방법이 제안될 필요가 있다.

식(5)는 제약조건을 만족하면서 목적함수를 최대로 만족하는 해를 산출하는 문제이기 때문에 본 연구에서는 구간선형계획법의 순위를 결정할 수 있는 Satti가 제안한 방법을 이용하였다.

2.3 순위결정 퍼지 DEA법

표준 DEA 모델은 효율성을 1로 제안하기 때문에 비효율적인 DMU의 효율치가 좀 더 적게 할당이 될 수 있다. 또한 애매성이 포함된 구간선형계획법에 의한 DMU의 효율성은 구간 값이 산출됨으로 인해 의사결정자가 최종적으로 산출된 효율성치에 대해 다시 한번 순위를 결정해야 하는 번거로움이 발생한다.

따라서 DMU의 순위를 결정하기 위한 순위결정 퍼지 DEA법은 식(6)과 같이 정식화할 수 있다.

$$\begin{aligned} & MIN \beta_0 & (6) \\ \text{s. t :} & \\ & \sum_{j=1}^n \phi_j \tilde{y}_{rj} \geq \tilde{y}_{r0} \quad (r = 1, 2, \dots, s) \\ & \beta_0 \tilde{x}_{io} - \sum_{j=1}^n \phi_j \tilde{x}_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, m; \phi_j \geq 0; \beta_0 \text{free}) \end{aligned}$$

퍼지 입력변수 $\tilde{x} = (x^m, x^l, x^u)$ 에 대한 퍼지 출력변수 $\tilde{y} = (y^m, y^l, y^u)$ 를 식(6)에 대입하면 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & MIN \beta_0 & (7) \\ \text{s. t :} & \\ & \left(\sum_{j=1}^n \phi_j y_{rj}^m, \sum_{j=1}^n \phi_j y_{rj}^l, \sum_{j=1}^n \phi_j y_{rj}^u \right) \geq (y_{ro}^m, y_{ro}^l, y_{ro}^u) \quad (r = 1, 2, \dots, s) \\ & (\beta_0 x_{io}^m, \beta_0 x_{io}^l, \beta_0 x_{io}^u) - \left(\sum_{j=1}^n \phi_j x_{ij}^m, \sum_{j=1}^n \phi_j x_{ij}^l, \sum_{j=1}^n \phi_j x_{ij}^u \right) \geq 0 \\ & (i = 1, 2, \dots, m; \phi_j \geq 0; \beta_0 \text{free}) \end{aligned}$$

이 문제는 α -cut의 개념을 적용하여 해를 구할 수 있다. 식(7)의 삼각형 퍼지수에 대해 α -cut의 개념을 부가하면 식(8)과 같다.

$$\begin{aligned} & MIN \beta_0 & (8) \\ \text{s. t :} & \\ & \left[\sum_{j=1}^n \phi_j (\alpha y_{rj}^m + (1-\alpha)y_{rj}^l), \sum_{j=1}^n \phi_i (\alpha y_{ij}^m + (1-\alpha)y_{ij}^u) \right] \\ & \quad \geq [\alpha y_{ro}^m + (1-\alpha)y_{ro}^l, \alpha y_{ro}^m + (1-\alpha)y_{ro}^u] \quad (r = 1, 2, \dots, s) \end{aligned}$$

$$[\beta_o(\alpha x_{io}^m + (1-\alpha)x_{io}^l), \beta_o(\alpha x_{io}^m + (1-\alpha)x_{io}^u)]$$

$$-[\sum_{j=1}^n \phi_j(\alpha x_{ij}^m + (1-\alpha)x_{ij}^l), \sum_{j=1}^n \phi_j(\alpha x_{ij}^m + (1-\alpha)x_{ij}^u) \geq 0$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; \phi_j \geq 0; \beta_o \text{ free})$$

한편 DMU의 순위결정을 위해 입력변수의 가장 작은 레벨과 출력변수의 가장 큰 레벨을 비교하여 효율치를 산출한다. 즉, 가장 최소의 입력으로 가장 큰 출력의 효율을 산출한다는 개념이다. 따라서 이러한 개념을 바탕으로 위의 식(8)은 식(9)로 나타 낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{MIN } \beta_o \\ & \text{s. t. :} \\ & \sum_{j=1}^n \phi_j(\alpha y_{rj}^m + (1-\alpha)y_{rj}^l) \geq \alpha y_{ro}^m + (1-\alpha)y_{ro}^u \quad (r = 1, 2, \dots, s) \\ & \beta_o(\alpha x_{io}^m + (1-\alpha)x_{io}^l) - [\sum_{j=1}^n \phi_j(\alpha x_{ij}^m + (1-\alpha)x_{ij}^u)] \geq 0 \\ & (i = 1, 2, \dots, m; \phi_j \geq 0; \beta_o \text{ free}) \end{aligned} \tag{9}$$

식(9)는 파라메타 $\alpha \in (0, 1]$ 로 하는 파라메타 계획문제와 같고 결국 퍼지 선형계획문제는 식(4)에 의해 크리슘 파라메타 선형계획문제로 된다. 따라서 α 를 결정하면 최적의 해를 구할 수 있게 된다.

3. RCC/RSC 운영효율성 모델

3.1 해상 SAR 조직의 기본구조와 조직

우리나라의 해상 SAR 조직은 수난구호업무의 상설 총괄조정기관인 중앙구조조정본부(해양경찰청)와 상설집행기관인 구조조정본부(RCC), 구조지부(RSC), 구조대(RU)로 구성되며, 협력기관 및 단체인 중앙 및 지역수난구호대책위원회가 있다. 중앙구조조정본부는 해양경찰청장을 본부장으로 하고 부분부장인 경비구난국장과 구난조정관인 구난통신과장으로 구성되어 있고, 구조조정본부와 구조지부에는 해양경찰청장을 본부장으로 하고 경비과장 또는 경비통신과장을 구난조정관으로 하고 있다. 현재 우리나라 수색·구조 관할해역은 13개 RCC/RSC 부산(BS), 인천(IC), 속초(SC), 동해(DH), 포항(PH), 울산(US), 태안(TA), 군산(GS), 목포(MP), 완도(WD), 여수(YS), 통영(TY), 제주(JJ)가 각각 나누어 담당하고 있으며, 구체적인 범위는 Fig. 1과 같다.

평가요소는 RCC/RSC별 운영효율성을 분석한 선행연구(장과 금, 2006)에서 추출한 투입/산출 요소를 이용하였다. 투입요소는 대형, 중형, 소형 등 RCC/RSC별 전체 경비함정 척수와 형사 기동정, 소방정, 방제정, 예인정 등 특수함정의 척수를 이용하였다. 산출요소는 해양사고 발생척수, 해양오염사고 발생 건수, 해상범죄 발생건수, 관할면적 등을 이용하였다.

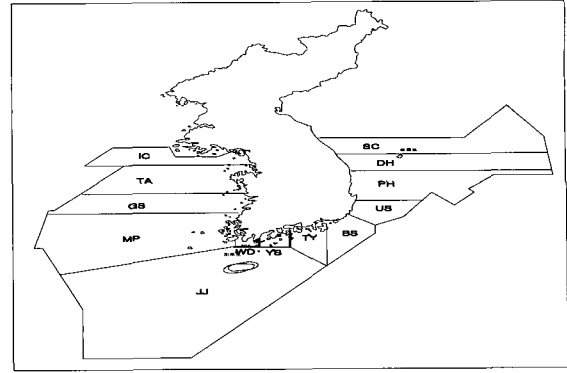


Fig.1. The area for efficiency analysis.

3.2 평가 대상 RCC/RSC 관할해역 및 평가요소

최근 5년간(2001~2005년) 해양경찰청 통계자료를 이용하여 우리나라 RCC/RSC의 투입 및 산출변수에 대한 퍼지 자료는 Table 1과 같이 나타 낼 수 있다. 투입 및 산출변수의 왼쪽(A1, B1, C1, D1, E1, F1)은 가장 높은 해의 데이터이고 변수의 오른쪽(A3, B3, C3, D3, E3, F3)은 가장 낮은 해의 데이터를 나타낸다. 또한 평균치는 삼각형 퍼지수의 꼭지점(A2, B2, C2, D2, E2, F2)이다. 이때 각 변수의 평균값을 살펴보면 경비함정은 10.35척, 특수함정 5.77척, 해양사고 발생척수 52.39척, 해상범죄 발생건수 2,535.9건, 해양오염사고 발생건수 29.2건, 관할면적 43,363km², 환경 스트레스치 621인 것으로 나타났다.

Table 1. Statistics and efficiency of RCC/RSC

	투입변수						산출변수		
	경비함정(척)			특수함정(척)			해난사고(척)		
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
IC	19	13	7	6	5.5	5	48	43.5	39
TA	11	11	11	8	8	8	56	38.5	21
GS	12	11.5	11	7	5	3	44	43.5	43
MP	13	12.5	12	5	4	3	93	86	79
WD	9	8.5	8	8	6.5	5	46	33	20
JJ	13	10.5	8	5	4.5	4	112	101	90
YS	12	7.5	3	9	5.5	2	74	66.5	59
TY	15	11.5	8	13	12.5	12	123	96.5	70
BS	12	11.5	11	10	7.5	5	60	54.5	49
US	10	7.5	5	9	6.5	4	39	34	29
PH	11	11	11	3	3	3	48	35.5	23
DH	8	7	6	3	3	3	21	20.5	20
SC	12	11.5	11	4	3.5	3	31	28	25
AV	8.62	10.35	12.1	4.62	5.77	6.92	43.62	52.39	61.15

	산출변수					
	해상범죄(건)			해양오염사고(건)		
	D1	D2	D3	E1	E2	E3
IC	3027	2834	2640	34	28.5	23
TA	2839	2739	2638	29	21.5	14
GS	2070	2031	1992	19	17.5	16
MP	4703	4253	3802	33	28.5	24
WD	816	758	700	8	7	6
JJ	1257	1011	764	40	33.5	27
YS	4987	4251	3515	36	32	28
TY	4832	4597	4362	41	38.5	36
BS	6019	5530	5041	100	77	54
US	1808	1606	1403	35	30	25
PH	1451	1415	1378	36	28.5	21
DH	810	779	748	29	19	9
SC	1536	1166	796	23	17.5	12
AV	2290.7	2535.9	2290.7	22.7	29.2	35.62

	산출변수					
	관함면적			환경스트레스치		
	F1	F2	F3	G1	G2	G3
IC	23672	18972	14272	635	620	605
TA	26000	25692	25384	624	606	588
GS	30577	24963	19349	670	654	638
MP	91462	65413.5	39365	700	685	670
WD	4601	4601	4601	660	645	630
JJ	247437	181194	114951	612	600	588
YS	89791	49596.5	9402	660	654	648
TY	23438	16336	9234	648	643	638
BS	5018	4328	3638	600	590	580
US	5998	5979	5960	605	590	575
PH	48905	48882	48859	610	590	570
DH	46400	45351	44302	606	596	586
SC	80000	72408.5	64817	602	596	590
AV	31087	43363	55638	633	621	608

4. 운영 효율성 평가

4.1 RCC/RSC별 효율성 측정

우리나라 RCC/RSC 전체에 대하여 식(9)를 사용하여 α 에 변화에 따른 효율치를 Table 2와 같이 산출하였다. 우리나라 RCC/RSC의 평균 효율치는 각 RCC/RSC의 효율치를 단순 산술평균하여 산출한 결과 $\alpha = 1$ 일때 90.43%, $\alpha = 0$ 일때 239.68%, $\alpha = 0.5$ 일때는 143.22%로 나타났다. 이때 $\alpha = 1$ 일때는 통상의 CCR 모델에서 구한 해와 본 연구에서 제안한 방법과 같게 된다.

$\alpha = 1$ 인 경우의 효율성을 보면 MP, JJ, YS, BS, PH 등의 RCC/RSC의 효율성이 100%로 나타나 다른 RCC/RSC에 비해 상대적으로 효율적인 것으로 나타났다. 그러나 어느 RCC/RSC의 효율성이 가장 높은지 판단하기가 어렵다는 것을 알 수 있다.

Table 2. Efficiency of RCC/RSC

구분	$\alpha=1.0$	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.0$	구분	$\alpha=1.0$	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.0$
IC	71.82	100.60	163.60	TY	92.40	161.80	249.20
TA	63.21	80.60	104.50	BS	100.00	185.40	330.70
GS	75.17	93.30	133.60	US	91.70	146.60	213.60
MP	100.00	158.83	255.40	PH	100.00	132.50	176.80
WD	87.02	108.00	132.70	DH	100.00	135.40	185.60
JJ	100.00	183.86	349.80	SC	93.86	109.60	143.80
YS	100.00	265.32	676.50	Average	90.40	143.22	239.68

한편, Table 2에서 보이는 바와 같이 $\alpha = 0.5, 0.0$ 일때는 $\alpha = 1$ 일 때 효율성이 100%로 나타난 RCC/RSC가 각각 효율성에 차이가 나타나 RCC/RSC의 효율성에 관한 순위를 결정할 수 있게 되었다. $\alpha = 0.0$ 인 경우에는 YS

RCC/RSC가 676.50%로 가장 효율성이 높은 것으로 나타나고 있으며 그다음으로는 JJ RCC/RSC가 349.80%, BS, MP, TY, PH, US, DH, SC, IC, GS, TA, YD RCC/RSC 순으로 효율성이 높은 것으로 나타났다.

특히 $\alpha = 1$ 과 $\alpha = 0.0$ 일 때의 RCC/RSC의 효율성의 순위를 보면 상당한 순위변동이 있음을 알 수 있다.

4.2 α 의 변화에 따른 RCC/RSC별 효율성 변화

α 의 누적상대도수분포를 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있는데 α 가 0.0에서 0.5로 변할 때 0.5에서 1로 변할 때 보다 상대적으로 효율치의 변화가 큰 것을 알 수 있다. 이것은 입/출력 변수에 대한 자료가 $\alpha < 0.5$ 의 변동폭이 $\alpha > 0.5$ 의 변동폭보다 더 크기 때문이다.

또한 $\alpha = 0.0$ 으로 변할 때 YS, JJ RCC/RSC 등의 효율치의 변화폭이 다른 RCC/RSC에 비해 상대적으로 큰 것을 알 수 있는데 이것도 α 의 변화에 따라 입/출력 변수의 변화폭이 크기 때문에 발생하는 것이라 할 수 있다.

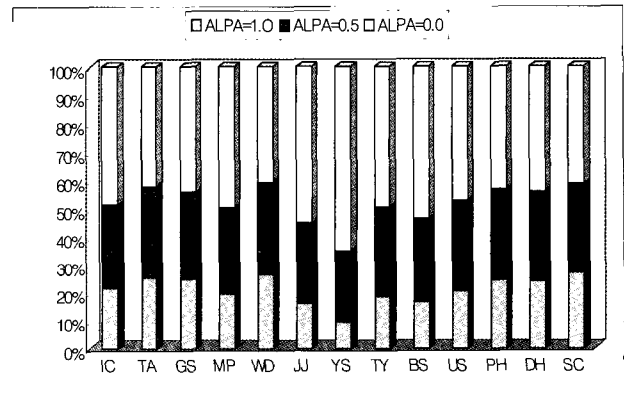


Fig. 2. Efficiency of RCC/RSC by α change.

한편, 운영효율성의 순위결정 및 준거집단을 산출하기 위해서는 α 의 값을 일의적으로 정할 필요가 있다. 본 연구에서는 설문에 의한 방법으로 α 의 값을 0.5로 선택하였다. 그 결과 효율성이 높은 RCC/RSC 순으로 나열하면 YS, BS, MP, TY, JJ, PH, US, IC, SC, DH, GS, TA, WD RCC/RSC로 평가 되었다.

4.3 준거집단

각 의사결정단위의 효율성과 비효율성의 정도와 비효율적 부분은 준거집단을 통해서 상대적으로 측정할 수 있다. 또한, 준거집단은 비효율적인 조직이 참조할 수 있는 모델이 된다는 점에서 의의를 갖는다. 이러한 준거집단과 참조정도는 식(9)를 이용하여 산출할 수 있다. Table 3은 비효율적인 RCC/RSC에 대해 준거집단과 참

조정도를 나타내고 있다.

Table 3. Reference sets for inefficient RCC/RSC

비효율적 RCC/RSC	준거집단	참조정도
IC	MP, YS, BS, DH	MP(0.21), YS(0.12), BS(0.24), DH(0.45)
TA	YS, BS, DH	YS(0.62), BS(0.03), DH(0.33)
GS	MP, PH, DH	MP(0.34), PH(0.18), DH(0.55)
WD	YS, DH	YS(0.42), YS(0.64)
TY	JJ	JJ(0.41)
US	MP, JJ	MP(0.03), JJ(0.26)
SC	JJ, BS, PH, DH	JJ(0.06), BS(0.16), PH(0.07), DH(0.74)

예를 들어 IC RCC의 경우 MP, JJ, BS, DH RCC/RSC와 비교할 때 상대적으로 비효율적인 것으로 측정되었으며, 이들 RCC/RSC중 가장 중요한 준거집단은 BS RCC/RSC이며 이때 참조정도는 MP(0.27), JJ(0.05), BS(0.32), PH(0.06) RCC/RSC이다. 따라서 IC RCC/RSC는 주로 BS RCC/RSC를 참조하여 효율성 향상에 도움을 받을 수 있다.

5. 결 론

최근 해상에서 안전성을 증대시키기 위한 소프트웨어적인 한 방안으로 DEA법을 이용하여 RCC/RSC의 운영 효율성을 분석하는 하는 연구가 활발하게 진행될 것으로 기대된다. 한편 선행 연구에서는 사고의 결과 자료만을 이용해 운영 효율성을 분석했다. 그러나 운영 효율성의 분석시에는 사고의 결과 자료뿐만 아니라 발생 가능한 자료도 분석에 포함될 필요가 있다. 이러한 발생 가능성에 대한 자료로 환경 스트레스치가 유용하기 때문에 본 연구에서도 이 자료를 이용한다.

또한 DEA법에 의해 효율성을 측정시에는 애매성이 포함된 자료를 분석하는 데에는 한계가 있고, 효율성에 대한 DMU의 순위를 결정하고자 할 때에는 효율성이 높은 DMU가 다수 존재하게 되어 순위를 결정하는데 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 순위결정 퍼지 DEA법을 이용하여 선행연구에서의 고려한 투입/산출변수를 고려하여 우리나라 13개 RCC/RSC의 운영 효율성을 측정하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) $\alpha = 0.5$ 를 하여 RCC/RSC의 효율성은 YS RCC/RSC가 가장 높은 것으로 나타났고, 그다음으로는 BS, MP, TY, JJ, PH, US, IC, SC, DH, GS, TA, WD RCC/RSC 순으로 효율성이 높은 것으로 평가 되었다.

2) 비효율적인 곳으로 평가된 7개의 RCC/RSC는 준거집단을 참조하여 벤치마킹해야 할 필요가 있다.

본 연구는 우리나라 RCC/RSC에 대해 순위결정 퍼지DEA

법을 이용하여 운영 효율성을 측정함으로써 보다 현실적인 모형의 구축 및 효율성에 대한 우선순위를 측정하였다는데 의의가 있다.

참고문헌

- [1] 금중수 · 장운재(2005), RCC/RSC별 운영 효율성 분석, 한국해양학회지, 제29권 3호, pp. 215-220.
- [2] 김병욱(2003), 비용-편익분석을 통한 신용보증기금 운영 효율성 평가, 보증월보, 제272호, pp. 3-26.
- [3] 김현구 · 박희정(2003), 광역자치단체 합동평가체제의 실증분석, 정책분석학회보, 제13권 2호, pp. 125-148.
- [4] 장운재 · 금중수(2006), 퍼지로직과 DEA를 이용한 RCC/RSC별 운영 효율성 평가, 해양환경안전학회지, 1229-3431, 제12권4호, pp.233-239.
- [5] Drakes L. and R. Simper(2003), The measurement of English and Welsh police force efficiency: a comparison of distance function model, *European journal of operational Research*, 147, pp.165-186
- [6] Guo P. and H. Tanaka(2001), Fuzzy DEA: a perceptual evaluation method, *Fuzzy Sets and System* 119, pp. 149-160.
- [7] Leon T., V. Liem, j. L. Ruiz and I. sirvent(2003), A fuzzy mathematical programming approach to fuzzy assessment of efficiency with DEA models, *Fuzzy Sets and System* 139, pp. 407-419.
- [8] Saati S. M., A. Memariani and G. R. Jahanshahloo(2002), Efficiency Analysis and Ranking of DMUs with Fuzzy Data, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 1, pp. 255-267.
- [9] Sun S.(2002), Measuring the relative efficiency of police precincts using data envelopment analysis, *Socio-Economic Planning sciences*, 36, pp. 51-71.
- [10] Stern Z. S., A. Mehrez and Y.hadad(2000), An AHP/DEA methodology for ranking decision making units, *International Transactions in operational research*, 7, pp. 109-124.
- [11] Thanassoulis E.(1995) and Assessing police forces in England and Wales using Data Envelopment Analysis, *European journal of operational Research*, 87, pp. 641-657.
- [12] 井上欣三 · 増田憲司 · 世良亘(1998), 海上交通安全評価のための技術的ガイドライン策定に関する研究- I - 環境負荷の概念に基づく操船の困難性評価-日本航海學會第98, pp. 225-234.

원고접수일 : 2007년 01월 29일

원고채택일 : 2007년 09월 10일