

DEA를 이용한 공대 학과별 효율성 비교 연구

최 흥, 손소영

연세대학교 기전공학부
(1999. 2. 1 접수)

Efficiency Comparison via DEA for Academic Departments in College of Engineering

Hong Choi, So Young Sohn

*Department of Computer Science and
Industrial Systems Engineering, Yonsei University.
(received February. 1. 1999)*

국문 요약

본 연구의 주목적은 현재 연세대학교 공과대학 내에 속해 있는 14개 학과를 대상으로 DEA를 이용한 다양한 각도의 효율성 평가를 실시하여 각 학과들의 운영상의 상태와 문제점을 규명하고 이에 대한 개선책을 제시하는데 있다. 더 나아가 학부제라는 대학 내의 조직적인 변화에 대해 제도 도입의 효율성을 극대화시키기 위해서, 여러 가지 가상 시나리오에 따른 각 학부 및 학과의 효율성의 추이를 살펴보고 이를 통해 최적의 학부 형태를 선택하는데 필요한 초석을 다지고자 한다.

Abstract

DEA(Data Envelopment Analysis) is applied to evaluate performance of 14 academic departments at the college of engineering in Yonsei University. Various input and output variables are used to identify operational inefficiency and to suggest some strategic improvement. Additionally, we analyze organizational changes of some existing departments to be merged under several scenarios. Our study results are expected to effectively provide constructive directions for reconfiguration of academic departments.

1. 서론

최근 국가 경쟁력 제고(提高)를 위해 교육의 질적인 향상이 중요한 문제로 등장하였다. 이러한 시대적 요구에 부응하기 위해, 각 단계의 교육 기

관들은 변화에 대한 필요성을 크게 인식하고 있다. 이 중 대학은 사회의 인적자원 양산에 직접적으로 관여한다고 볼 수 있으며, 학교나 정부차원 뿐만 아니라 학생들의 자발적인 요구에 의해서도 이미 그러한 노력은 이루어지고 있다. 이 중 공과

대학은 급속히 발달하는 고도의 과학기술에 대처하기 위해, 가장 변화가 시급한 부서로 꼽을 수 있다. 공과대학이 거쳐야 할 변화의 내용은, 지금까지 이루어진 분야별 전문지식을 토대로, 이들 분야들이 각자의 지식과 정보를 상호교환하고 협력할 수 있는 체계의 구축이라 할 수 있다. 이러한 노력을 통해 통합적이고 새로운 지식 및 기술의 및 기술의 창출을 모색함으로써, 교육서비스의 질적인 향상을 도모해야 할 것이다. 이렇듯 대학을 양질의 교육서비스를 제공하는 서비스기관의 관점으로 볼 때, 이에 대한 효율성(Efficiency) 개념의 도입은 문제의 본질적 해결에 접근하기 위한 좋은 방법이라고 할 수 있다.

본 연구의 목적은 현재 연세대학교 공과대학 내에 속해 있는 14개 학과를 대상으로 다양한 각도의 효율성 평가를 실시하여, 각 학과들의 운영상의 상태와 문제점을 규명하고 이에 대한 개선책을 제시하는데 있다. 또한 학부제라는 대학 내의 조직적인 변화에 대해, 제도 도입의 효율성을 극대화시키기 위해서, 몇 가지 가상 시나리오에 따른 각 학부의 효율성의 추이를 살펴보고, 이를 통해 최적의 학부 형태를 선택하는데 필요한 초석을 다지고자 한다.

본 연구에서는 이러한 분석을 위해 다수의 투입 및 산출 요소를 이용하여 여러 개 대안간의 상대적 효율성을 평가하는 DEA(Data Envelopment Analysis)를 적용한다. DEA는 경영진에게 이러한 목적을 달성하는데 있어 매우 강력한 분석 능력을 제공한다. 그 적용 분야는 학교, 행정부서, 은행, 편의점, 병원 및 운송 회사 등 다양한 서비스기관에 적용 가능하며(오동일, 1991)(Bessent et al., 1983)(Depree et al., 1995), 특정 제품들간의 비교 평가에 있어서도 그 유용성이 입증되고 있다(박준수·정호원, 1998)(장재동, 1996). DEA는 입력 및 출력 변수와 같은 평가속성에 대해 사전에 주어진 가중치나 혹은 특정한 함수 형태에 대한 가정 없이도, 각 평가 단위가 다투입·다산출 배경 하에서 입력 對 출력 비의 최대치를 얻기 위한 평가 속성의 가중치를 제시한다(Charnes, Cooper & Rhodes, 1978)(Charnes

et al., 1985). 이렇게 구한 가중치를 기준으로 파레토 최적화(Pareto Optimality)적인 의미에서 가장 효율적인 집단을 명시한다. 그리고 이에 비해 비효율적인 조직에 대해서는 효율성의 향상을 위한 수준점(Benchmark)을 제시한다는 것이 비효율분석법과 같은 여타 평가 도구에 비해 장점으로 부각된다(최문경, 1989).

2. DEA 모형

본 장에서는 분석에 활용하고자 하는 DEA 관련 모형 중 CCR모형, BCC모형, 추세분석, 기술 효율성(Technical Efficiency), 그리고 CCA/DEA(Canonical Correlation Analysis/Data Envelopment Analysis)에 관하여 살펴보고자 한다.

2.1 CCR 모형

다투입, 다산출을 대상으로 분석해 왔던 기존의 모수적 형태의 모형들, 예를 들어 자료 포락(包絡)분석이나 프론티어(Frontier) 생산함수 분석 등은 평가자체에 많은 어려움이 있었다. 그러나 Charnes, Copper & Rhodes(1978) 등이 다수 투입과 다수산출에 관한 비효율모형으로서 제시한 CCR모형은 단일의 효율성평점을 제공한다. 이를 목적함수와 제약조건으로 표현하면 식 (1)과 같은 비선형계획법(Non-Linear Programming)이 됨을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Max } h_o &= \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{ro}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{io}} \\ \text{s.t. } &\frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{ri}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij}} \leq 1 \\ &U_r, V_i \geq \epsilon > 0 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 s 는 효율성을 측정하고자 하는 대상

DMU(Decision Making Unit)의 산출요소의 수를, m 은 투입요소의 수를 나타내며, X_{ij} 와 Y_{rj} 는 j 번째 DMU의 투입물 i 와 산출물 r 의 실제 관찰치를 나타낸다. 또한 U_r , V_i 는 대상 DMU의 각 산출 요소와 투입요소의 가중치를 의미한다. 위 식을 쌍대형(Dual) 일반선형계획문제로 바꾸면 식 (2)와 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Min. } h_o &= \theta - \epsilon \left[\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right] \\ \text{s.t. } \theta X_{io} - S_i^- - \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j &= 0 \\ -S_r^+ + \sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j &= Y_{ro} \\ S_i^-, S_r^+, \lambda_j &\geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

이론적으로, DEA는 특정 의사결정단위(DMU)의 투입, 산출을 다른 DMU들과 함께 비교 분석하여 비효율적인 증거가 없을 때, 100%의 상대적 효율성이 달성된다. 기본적으로 비율모형이라는 점을 감안할 때, 효율적(Efficient)인 DMU들은 "1"의 효율성평점($h_o=1$)을, 비효율적(Inefficient)인 DMU들은 "1"보다 작은 효율성평점($h_o < 1$)을 갖게 된다. 이 때 $h_o=1$ 의 값을 얻는 DMU는 투입, 산출과 관련된 여유변수(Slack Variable) S_i^- , S_r^+ 값이 모두 "0(zero)"임을 의미한다. DEA에 의해서 평가된 개별 조직의 효율치는 모형 내에 도입된 변수를 종합하여 제시한 평점이므로, 당해 조직이 어느 정도 효율적으로 활동하고 있는지 쉽게 파악할 수 있다. 또한 DEA에 의한 평가결과는 상대적으로 비효율적인 DMU들에 대하여 효율성 개선을 위한 참조집합을 제공한다.

DEA는 다투입, 다산출의 가중합의 복합적인 비율로서 효율성을 산출하기 때문에, 각 변수에 대한 일련의 가중치가 요구된다. 하나의 DMU에서 입력변수와 출력변수의 가중치 벡터를 U_r , V_i 라 한다면, 이들은 모형의 결과물로서 각 DMU의 가중치 λ_j 와 함께 효율적인 참조 집합의 가중치 λ_j^* 가 결정되고, 이에 따라 비효율적인 DMU는 참조

집합이 제공하는 가중치의 결합($\sum \lambda_j^*$)을 통해서 비효율성의 원인을 개선할 수 있다.

2.2 BCC모형 및 기술효율성 (Technical Efficiency)

BCC모형(Banker, Charnes & Cooper, (1984))은 기본적으로 규모에 대한 보수가 일정하다는 가정 하에서 출발하는 CCR모형의 현실적인 한계를 극복하고자 하는 노력을 반영하는 평가방법이라 할 수 있다. 결합효율성을 구하는 CCR모형에 반해, BCC모형은 주로 규모효율성(Scale Efficiency)을 구하기 위해 사용된다. 이러한 BCC모형의 일반식을 나타내 보면 다음의 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Max } h_o &= \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{ro} - U_o}{\sum_{i=1}^m V_i X_{io}} \\ \text{s.t. } \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rj} - U_o}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij}} &\leq 1 \\ U_r, V_i &\geq \epsilon > 0, j = 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned} \quad (3)$$

이 모형의 목적함수에는 U_o 라는 인자가 나타나는데, 이는 "규모에 대한 보수지표(Indicator of Returns to Scale)"로서 규모에 대한 경제(Economy of Scale)를 파악하는 지표로 사용된다. U_o 는 부호의 제약을 받지 않으며, 동시에 U_o 의 부호에 따라 해당 DMU의 규모수익특성을 파악할 수 있다. 그러나 U_o 의 값은 측정단위에 따라서 그 크기가 변동하므로, 규모의 경제에 대한 절대 액수는 말할 수 없고 단지 규모의 경제(혹은 비경제)여부에 대해서만 언급할 수 있다. 일반적으로 비효율적인 DMU가 CCR모형에서 얻은 효율성평점은 BCC모형에서 얻은 효율성평정보다 작다. 식 (3)은 CCR모형에서와 같은 방법에 따라 쌍대형 일반선형계획문제로 바꾸어 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{Min. } h_o &= \theta - \epsilon \left[\sum_{i=1}^m S_i^- + \sum_{r=1}^s S_r^+ \right] \\
 \text{s.t. } \theta X_{io} - S_i^- - \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j &= 0 \\
 -S_r^+ - \sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j &= Y_{ro} \\
 \sum_{j=0}^n \lambda_j &= 1 \\
 S_i^-, S_r^+, \lambda_j &\geq 0
 \end{aligned} \tag{4}$$

식 (2)와 식 (4)를 비교해 보면 DEA기본모형(CCR모형)에 $\sum \lambda_j = 1$ 이라는 제약 조건을 추가시키면 BCC모형이 됨을 알 수 있다.

한편 CCR모형에서 얻은 효율성평점(결합효율성)을 BCC모형에서 얻은 효율성평점(규모효율성)으로 나누면, 주어진 생산활동 규모 하에서의 기술효율성(Technical Efficiency)을 알 수 있다. 이렇게 구한 기술효율성 값과 BCC모형을 통해 얻은 규모효율성 값을 상호 비교함으로써, 해당 DMU의 비효율성이 기술적 측면에서 발생하는지, 혹은 규모측면에서 발생하는지 파악할 수 있으며, 이에 따라 효율성 개선을 위한 방향을 제시할 수 있다.

2.3 CCA/DEA (Canonical Correlation Analysis/Data Envelopment Analysis)

다투입, 다산출 상황에서 각각의 평가단위들인 DMU들을 대상으로 하여 효율성 측면에서 순위를 정하고자 할 때 (Anderson, 1993), CCA/DEA를 적용할 수 있다. CCA/DEA (Friedman, 1996)는 정준상관분석(Canonical Correlation Analysis)을 통해 구한 가중치 벡터를 각각의 선형 결합(Linear Combination)에 이용한 입력변수와 출력변수의 비율 T를 새로운 척도로 사용한다. 이러한 CCA/DEA 모형을 수식

$$T_j = \frac{W_i}{Z_j} = \frac{\sum_{r=1}^s U_{ir} Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m V_{ij} X_{ij}} \quad j = 1, \dots, n \tag{5}$$

으로 표현하면 식 (5)과 같다.

CCA/DEA를 위해서는 먼저 정준상관분석을 통해, 해당 DMU의 입력변수의 선형결합 Z_j 와 출력변수의 선형결합 W_j 간의 상관계수(Correlation Coefficient)의 절대값($|\gamma_{zw}|$)을 최대로 하는 가중치벡터 $V' = (V_{11}, V_{12}, \dots, V_{1m})$ 및 $U' = (U_{11}, U_{12}, \dots, U_s)$ 을 결정한다. 이를 위한 정준상관분석은 식 (6)과 같으며, 이 때 S_{xx} , S_{yy} , S_{xy} 은 각 변수들의 제곱의 합과 변수들의 곱의 합을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 \max r_{zw} &= \frac{V' S_{xy} U}{\sqrt{(V' S_{xx} V)(U' S_{yy} U)}} \\
 \text{s.t. } V' S_{xx} V &= 1 \\
 U' S_{yy} U &= 1
 \end{aligned} \tag{6}$$

DEA에서의 효율성평점 h_o 는 1을 초과할 수 없는 반면, CCA/DEA에서의 T값은 1을 초과할 수 있으며, 본 연구에서는 T값의 절대적인 수치보다는 비율의 크기에 따른 순위 산정에 중점을 두고 있다. 각 입력 변수와 출력 변수에 관한 가중치가 주어지면, 자료를 표준화한 다음 이들을 선형 결합해야 한다. 변수들의 값을 표준화해야 하는 첫 번째 이유는 정준상관분석을 통해 주어지는 가중치가 표준화 작업을 거쳐서 계산된 값이기 때문이고, 두 번째 이유는 표준화된 변수들의 가중치를 이용하면 변수들간의 상대적인 중요성을 비교할 수 있기 때문이다. 각 DMU별로 표준화된 입·출력변수 Z'_j 및 W'_j 의 선형결합을 구하면 식 (7) 및 식 (8)에 의해 계산될 수 있다.

$$Z'_j = \sum_{i=1}^m X' = \sum_{i=1}^m \frac{V_i X_{ij}}{S_{x_i}} \tag{7}$$

$$W'_j = \sum_{r=1}^s Y' = \sum_{r=1}^s \frac{U_r Y_{rj}}{S_{y_r}} \tag{8}$$

위 식에 의해 Z'_j 와 W'_j 을 구했을 때, DMU간의 순위 산정에 사용되는 척도 $T_j = W'_j / Z'_j$ 과 같이 구하게 된다.

3. DEA 모형을 적용한 학과별 효율성 분석

98년 현재 연세대학교는 학과운영체제에서 입학한 4학년생과 학부영체제에서 입학한 1, 2, 3학년생들이 공존하고 있는 상태이다. 따라서 공과대학의 효율성 측정 및 비교를 위한 평가 단위인 DMU 집합은 크게 14개 학과로 이루어진 DMU 집합과 6개의 학부로 이루어진 DMU 집합으로 나눌 수 있다. 올바른 효율성 평가를 위해서는 모든 경우에 대해 DEA를 실행해야 하나, 본 연구에서는 우선 공과대학 14개 학과를 DEA분석의 기본대상인 의사결정단위(DMU)로 선정하였다. 분석을 위해 DMU의 효율성을 가장 잘 측정할 수 있는 입력변수와 출력변수에 해당하는 평가속성들을 결정하고, 각 DMU의 효율성을 다양한 각도에서의 효율성 검증을 통해 연구의 객관성을 확보하고자 하였다. 이를 위해 CCR모형, BCC모형, 추세분석, 기술효율성, 그리고 CCA/DEA 등의 여러 분석기법을 적용하였다.

일반적으로 학과평가 시, 크게 교수연구부문, 학생교육부문, 교육시설여건부문, 평판도 혹은 대외인지도 등 네 가지를 고려할 수 있다. 이 중 본 연구에서는 객관적 측정이 어렵다고 판단되는 대외인지도에 관한 평가를 제외하고, 나머지 세 부문에서 DEA를 위한 변수를 선정하였다. 투입변수로는 운용면적(X1)과 전임교수(X2)의 두 개로 정하였다. 또한 산출변수로는 연구논문(Y1), 수주연구비(Y2), 순수취업률(Y3), 대학원진학률(Y4)의 네 가지를 고려하였다. 분석을 위해 연세대학교 공과대학의 95년과 97년도 자료를 이용하였다. 이 중 95년도 자료는 연세대학교내에서 학부제가 시행되기 전인 학과운영제도하에서의 자료로서, 추세분석을 위해 이용하였다.

각 모형의 분석을 위해 통계용 패키지인 SAS의 PROC LP를 사용하였다. 또한 변수에 대한 비부(非負)의 조건으로 각 변수의 가중치가 양수이어

야 하는 조건을 만족시키기 위해 사용되는 Non-Archimedean 상수 ϵ 의 값은 10^{-7} 을 사용하였다.

3.1 효율성 측정분석

각 DMU에 대하여 1997년 각 학과의 자료를 CCR모형, BCC모형에 적용하여 효율성평점을 산출하고, 추세분석을 실시한 결과가 <표1>에 나타나 있다.

먼저 CCR모형을 적용한 결과, 97년의 경우 CCR 효율성평점이 1인 학과는 14개 학과중 9개로 나타나고 있어 대부분의 DMU가 효율적임을 알 수 있다. 또한 효율성평점이 1보다 낮게 나온 학과는 기계공학과, 전기공학과, 토목공학과, 기계설계공학과, 도시공학과 등 총 다섯 학과가 있었다. 이 중 기계공학과가 0.636으로 가장 낮게 나왔으며, 기계공학과가 이처럼 비효율적으로 나온 이유는 크게 두 가지 원인으로 볼 수 있다. 첫 번째는 전체적인 입력대비 출력변수들의 값이 비슷한 규모의 투입 수준을 유지하는 타 학과들에 비해 낮은 편이었다. 다른 한 가지는 입력변수 중 운용면적에 있어서 유달리 높은 수치를 기록하고 있었기 때문에, 이러한 원인이 전반적인 효율성 저하에 있어 영향을 미친 것으로 보인다.

CCR모형에서 효율성평점 외에 분석 가능한 것으로 효율성참조집합이 있다. 효율적인 DMU는 자기 자신이 효율성참조집합이 되는 반면, 비효율적인 DMU에는 자기 자신을 제외한 다른 DMU들이 해당 DMU의 비효율을 개선하기 위한 효율성참조집합이 된다. 각 비효율적인 DMU들에 대해 참조집합으로서의 출현 빈도를 살펴보면, 산업시스템공학과가 총 4회로 가장 많은 빈도수로 나타났다. 그 이후로 전자공학과(3), 화학공학과, 금속공학과 및 전파공학과(2), 그리고 세라믹공학과와 컴퓨터공학과(1)의 순서로 나타났다. 산업시스템공학과와 전기공학과 등과 마찬가지로 신생학과에 속하지만, 95년 당시에는 다른 신생학과와 비슷하였던 다수의 출력 변수들이 97년에는 높이 향상하였기 때문에, 이러한 점들이 상승요인으로 작용하여 높은 효율성 수준이 반영되었다.

다음으로 97년 자료를 BCC모형으로 분석한

결과에 관해 설명하고자 한다. <표 1>에 각 DMU의 규모효율성평점 및 규모에 대한 보수지수가 나와 있다. <표 1>에 나오는 U₀가 규모에 대한 보수지수로서, 각 DMU가 규모수익의 증가, 일정, 감소구간 중 어느 구간에 속해있는지를 보여준다. U₀가 0보다 크면 규모수익 감소구간에 있고, 0이면 규모수익 일정구간에 있으며, 0보다 작으면 규모수익 증가구간에 있음을 알 수 있다. 따라서 전기공학과, 토목공학과, 기계공학과, 기계설계공학과, 도시공학과 등은 규모수익 증가구간에 있으며, 나머지 9개 학과는 규모수익 일정구간 내에 있음을 알 수 있다. BCC모형의 적용 결과, 여전히 비효율적으로 평가된 DMU로는 전기공학과, 기계공학과 및 기계설계공학과 등이 있으며, 또한 토목공학과와 도시공학과는 CCR모형에서는 비효율적인 DMU로 평가되었으나, BCC모형에서는 오히려 효율적인 DMU로 평가되었다.

세 번째로는 95년도와 97년도의 2개 년도에 걸친 효율성 변화 추세를 파악하기 위해 추세분석을 실시하였다. 추세분석을 함에 있어서, 각 연도의 효율성평점을 따로따로 구하여 횡단적으로 비교하면, 당해 평가 DMU집합에 대하여 각 DMU가 가지고 있는 상대적 효율성 값을 나타낼 뿐, 그 자체로는 각 DMU에 대한 효율성 개선 여부를 파악할 수 없다. 그 이유는 DEA의 특성상 평가대상 DMU집합의 구성 혹은 입·출력 변수의 수치에 따라 상대적 효율성 값이 크게 변화할 수 있기 때문이다. 따라서 2개 년도의 자료를 하나의 DMU 집합으로 결합한 후, 이로 인해 생긴 총 28개의 DMU에 관하여 DEA를 적용하여 나온 효율성 값을 가지고 효율성 변이 추세를 관찰하여야 한다. 그 결과는 마찬가지로 <표 1>에 나와있는 바와 같다. 효율성 개선 여부는 크게 증가, 감소, 동일한 세 가지 범주로 나눌 수 있으며, 이에 따라 각 학과를 비교하면 다음과 같다. 우선 전과공학과와 기계설계공학과와 효율성이 95년도에 비해 오히려 감소하는 추세를 나타내는 것을 제외하면, 나머지 학과들의 효율성은 전반적으로 증가한 것으로 나타났다. 이를 학과별로 살펴보면, 먼저 전

기공학과와 토목공학과, 기계공학과와 생명공학과, 그리고 도시공학과 등은 효율성의 개선 여부가 뚜렷하게 나타나고 있으나 여전히 비효율적인 것으로 나타났다. 반면 화학공학과, 건축공학과, 금속공학과, 세라믹공학과, 전자공학과, 산업시스템공학과, 그리고 컴퓨터공학과 등은 95년도에는 비효율적인 DMU로 평가되었으나, 97년에는 효율적인 DMU로 평가되어 효율성이 크게 개선된 것으로 나타났다. 효율성의 변이 폭이 가장 크게 나타난 학과는 산업시스템공학과로서 이는 산업시스템공학과가 95년도에 신설된 학과이기 때문인 것으로 보인다. 공대 전반적으로 이와 같은 효율성이 개선된 이유는 다음과 같이 볼 수 있다. 우선 제 3공학관의 증축에 따라 각 학과의 설비적인 측면, 특히 신생학과들에 있어 강의실이나 실험실 및 연구실 등이 충분히 확보되었다. 동시에 많은 대학원생과 교수 등 인적 자원의 유치 또한 활발했기 때문에 연구논문이나 수주 연구비등이 크게 증가한 것이라 볼 수 있다. 실제로 97년 학위논문의 발표 수는 1055편에서 1823편으로 약 1.73배나 증가하였으며, 수주 연구비도 1.72배 증가한 약 200억 정도를 기록하였다. 참고로 추세분석의 결과를 보면 같은 해의 경우 단일 년도의 자료를 가지고 분석한 것보다 더 낮게 나타남을 알 수 있다. 이는 비교 대상의 DMU 수가 증가함에 따른 비효율적인 DMU들의 준거집합 형성에 기인한 것이다.

3.2 비효율성 원인규명분석

본 절에서는 각 학과들의 순수 기술효율성을 구하여, 비효율의 원인이 기술적인 측면에 기인한 것인지, 규모적인 측면에 기인한 것인지를 규명하는 분석을 시행하였다. CCR모형은 평가 DMU들간의 기술 및 규모가 결합된 결합효율성 값을 제시하므로, 비효율성의 원인을 규명하기에는 부족하다. 따라서 BCC모형의 효율성평점으로 CCR모형의 효율성평점을 나눔으로써 순수기술 효율성 값을 구하고, 이렇게 구한 기술효율성 값과 BCC모형을 적용하여 구한 규모효율성 값을 비교하여, 그 수치가 작은 것이 해당 DMU의 비

DEA를 이용한 공대 학과별 효율성 비교 연구

〈표 1〉 학과별 DEA 분석 결과

DMU명	분석기법 효율성평점 $h_0\text{-CCR}$	BCC 효율성평점		추세분석			기술 효율성	
		$h_0\text{-BCC}$	U_0	95년	97년	Efficiency Trend	Technical Efficiency	비효율원인 규모 기술
화 학 공 학	1	1	0	0.688	1	I	1	
전 기 공 학	0.962	0.963	-	0.938	0.960	I	0.999	O
건 축 공 학	1	1	0	0.751	1	I	1	
토 목 공 학	0.995	1	-	0.904	0.995	I	0.995	O
기 계 공 학	0.636	0.663	-	0.680	0.636	D	0.986	O
금 속 공 학	1	1	0	0.813		I	1	
세 라 믹 공 학	1	1	0	0.914	1	I	1	
전 자 공 학	1	1	0	0.995	1	I	1	
생 명 공 학	1	1	0	0.558	0.982	I	1	
전 파 공 학	1	1	0	1	0.940	D	1	
기계설계공학	0.913	0.994	-	1	0.8857	D	0.919	O
도 시 공 학	0.941	1	-	0.287	0.904	I	0.941	O
산업시스템공학	1	1	0	0.172	1	I	1	
컴 퓨 터 과 학	1	1	0	0.974	1	I	1	

D : 효율성 감소, I : 효율성 증가

효율의 원인이 된다. 〈표 1〉에 이와 같은 기술효율성과 규모효율성 값을 비교해 놓았다. 분석 결과에 의하면, 전기공학과와 기계공학과는 규모의 측면에서 비효율성이 존재하는 것으로 나타났으며, 토목공학과, 기계설계공학과, 도시공학과는 기술적인 측면에서 비효율성이 존재함을 알 수 있다. 이 때 규모효율성 및 기술효율성이 낮은 학과의 경우, 운용면적이나 전임교수의 수 등 투입변수의 수준을 낮춤으로써 규모의 감량화를 꾀하는 것은 학교의 현실적인 측면을 고려할 때 어렵거나 불가능하다. 따라서 그보다는 연구활동을 장려하여 논문의 수나 수주연구비 증가 등에 더욱 박차를 가하거나, 수용인원을 증대하고 연구시설을 확충함으로써 더 많은 학부생들을 대학원에 유치하는 등, 산출변수의 수준을 높임으로써 비효율성의 원인을 개선하는 것이 바람직하다 할 수 있을 것이다. 이렇듯 학교와 같이 자원의 이전이 별로 자유롭지 못한 조직의 경우, 전반적 차원에서의 자원 재 배분은 사실상 힘들며, 다만 개별단위 차원에서의 규모조정을 꾀한다거나, 투입량비 혹은 산출비쪽에 따른 비효율성 원인을

제거하는데 노력함으로써 전반적 효율성을 증가시킬 수 있을 것이다.

3.3 학과순위평가분석

위와 같은 DEA의 여러 가지 응용모델적용 외에, 본 연구에서는 공과대학 14개 학과에 대해 전체적인 순위를 산정하기 위해 CCA/DEA를 적용하였다. 모형의 적용을 위해 먼저 두 개의 입력변수와 네 개의 출력변수를 가지고 통계 패키지 SAS의 Proc Cancorr를 이용하여 정준상관분석을 실시하여 입력변수의 가중치 V1, V2와 출력변수의 가중치 U1, U2, U3, U4를 구하였다. 입력변수에서는 전임교수수의 가중치(V2)가 운용면적의 가중치(V1)에 비해 더 큰 것으로 나타났고, 출력변수에서는 수주연구비의 가중치(U2)가 0.6076으로 가장 큰 값을 가지는 것으로 나왔다. 또한 이 경우 최대 아이겐 값 λ_1 이 0.8671로서, 이는 F-Test결과 p-value가 0.0056으로 유일하게 유의한 값이므로, 한 종류의 가중치 벡터에 의해 학과별 효율성 순서만이 존재한다. 합성입력변수와 합성출력변수사이의 정준상관계수는 $\sqrt{\lambda_1}=0.9312$

이다. DMU간의 순위 산정에 필요한 학과별 Z_j 와 W_j 및 T_j 값이 <표 2>에 나와 있다.

4. Scenario별 학부제 효율성 분석

본 장에서는 학과별 효율성 분석 이외에 학부제 실행의 효율성 검증을 위해 6개의 학부들을 공과대학의 또 다른 DMU집합으로 선정하여 DEA를 적용하였다. 학부제에서의 효율적인 조직의 조합을 결정하기 위해 네 개의 가상 시나리오를 설정, 조직 변화(Organizational Change)에 따른 효율성평점을 비교분석하고, 동일 학과의 효율성 변화 취를 파악하기 위한 분석을 시행하였다. 각 시나리오별 자료 구성은 취업률은 결합하는 학과들 간의 취업률의 평균값을 사용하고, 나머지 변수들은 해당 자료들을 더함으로써 학부의 입·출력변수의 자료로 사용하였다.

1998년 7월 현재 연세대학교 공과대학은 3개의 학부와 3개의 학과로 형성된 학부 체계를 구성하고 있다. 학부제로 운영되고 있는 것으로는 기전공학부와 사회환경시스템공학부, 재료공학부가 있다. 이중 기전공학부는 전공별로 전기공학전공과

기계공학전공, 그리고 정보산업공학전공으로 분류되어 있다. 학과제로 운영되고 있는 것으로는 화학공학과, 건축공학과, 생명공학과가 있다.

우선 현재 학부구성에서의 각 학과 및 학부별 자료 현황과 그에 따른 CCR모형의 적용하였다. 그 결과, 사회환경시스템공학부의 효율성이 0.934로서 타 학과에 비해 비효율적인 것으로 나타났다. 이제 각 Scenario별 학부구성체제에 관한 설명 및 각 학부구성에 따른 CCR 효율성평점 결과를 보면 다음과 같다.

Scenario 1. 건축공학과를 사회환경시스템공학부에 포함시켜 공과대학이총 3개의 학부와 2개의 학과로 이루어진 체제를 구성한 경우이다. 이는 3개학과(토목공학과, 도시공학과, 건축공학과)간의 학문적 유사성을 고려하여 변화 후의 효율성 값을 비교하기 위해서이다. 전체적인 학부구성단위는 5개의 DMU로 나타낼 수 있다.

분석결과 사회환경시스템공학부와 건축공학과가 합친 DMU의 효율성평점은 0.862로 통합전의 두 학부의 효율성평점보다 떨어지는 결

<표 2> CCA/DEA 분석에 의한 학과간 순위 산정

DMU명	Z_i	W_i	$T_i=W_i/Z_i$	Rank
전 자 공 학 과	4.508	4.481	0.994	1*
전 기 공 학 과	3.382	3.024	0.894	2
토 목 공 학 과	2.536	2.162	0.852	3
생 명 공 학 과	2.019	1.718	0.851	4*
금 속 공 학 과	2.520	2.128	0.845	5*
화 학 공 학 과	2.803	2.230	0.796	6*
컴 퓨 터 과 학 과	2.705	2.148	0.794	7*
세 라 믹 공 학 과	2.298	1.799	0.783	8*
건 축 공 학 과	2.252	1.678	0.745	9*
산업시스템공학과	1.268	0.941	0.743	10*
전 파 공 학 과	1.552	1.055	0.680	11*
도 시 공 학 과	1.559	0.988	0.634	12
기 계 공 학 과	4.195	2.516	0.600	13
기계설계공학과	1.257	0.525	0.418	14

*표시는 CCR분석에서 효율적으로 평가된 DMU임

과가 나왔다.

Scenario 2. 화학공학과와 생명공학과를 하나의 학부를 구성하여 공과대학이 총 4개의 학부와 1개의 학과로 이루어진 체제를 구성한 경우로서, 마찬가지로 학문적 유사성을 고려하였다. 전체적인 학부구성단위는 5개의 DMU로 나타낼 수 있다. 분석결과 화학공학과와 생명공학과가 합쳐진 학부 역시 효율적인 것으로 나타났으며, 전체적으로는 모든 DMU의 효율성평점이 1로서 효율적인 것으로 나타났다.

Scenario 3. 기전공학부내의 전공별로 나누어져 있는 3개의 하위 학부를 각각의 독립적인 학부로 분리하여 운영하는 체제를 구성하는 경우이다. 이 분석은 3개의 전공분야를 하나의 단일 학부제열에 포함하는 것에 따른 교육적 문제 혹은 행정적 마찰을 피하고, 규모의 축소에 따른 운영상의 효과를 가져올 수 있는지를 검증하기 위한 것이다. 이 경우, 공과대학은 총 5개의 학부와 3개의 학과로 이루어지고, 전체적인 학부구성단위는 8개의 DMU로 나타낼 수 있다. 분석결과 기계공학전공학부와 사회환경시스템공학부의 효율성평점이 각각 0.683과 0.857로 비효율적인 DMU로 평가되었다. 특히 사회환경시스템공학부의 효율성 평점은 현재 구성체제에서보다 더 낮은 평점을 받은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 추세분석에서와 마찬가지로 DMU 숫자가 증가하면서 효율성이 낮은 DMU집합들이 준거집합을 형성하기 때문이다.

Scenario 4. 기전공학부 내의 정보산업공학전공에 속해 있는 산업시스템공학과 및 컴퓨터공학과 중 컴퓨터공학과를 제외하고 산업시스템공학과가 독립적인 학과 형태로 구성되는 경우이다. 이는 컴퓨터공학과가 95년 학부제 시행 이전에는 이과대학에 소속되어 있었기 때문에, 이를 제외한 효율성 측정을 통해 컴퓨터공학과와 기여도를 분석하는데 목적이 있다. 이 경우 공과대학은 총 3개의 학부와 4개의 학과로 이루어지고, 전체적인 학부구성단

위는 다음과 같이 7개의 DMU로 나타낼 수 있다. 이 경우 사회환경시스템공학부의 효율성평점이 0.902로 비효율적으로 나타났으며, 다른 학부 및 학과들은 효율적인 DMU로 평가되었다.

이상의 결과를 정리하면, 본 연구에서 고려되고 있는 4개의 Scenario 중 Scenario 2와 같은 학부편성이 전체적인 조직의 효율성을 위해 가장 바람직한 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구는 다투입, 다산출 구조하에 공과대학의 각 학과 및 학부제의 효율성을 측정하기 위해 DEA기법을 적용하였다. 학과별 효율성 분석에 있어서는 여러 가지 DEA기법 중 CCR, BCC, 추세분석, 기술효율성, CCA/DEA 등을 이용하여 다양한 정보를 제시하였다.

본 연구에서 얻은 결과를 바탕으로 향후 더욱 심도 있게 진행해야 할 연구과제로 다음과 같은 것들이 있다. 첫째, 변수 선정에 있어 학과의 효율성을 좀 더 객관적으로 측정할 수 있는 변수들을 선정하여 분석하는 것이 필요하다. 즉, DEA가 궁극적으로 학교의 관리적 측면에서 실질적인 도움을 제공하기 위해서는, 변수 선정에 있어 운영비와 같이 학과의 효율성을 좀 더 객관적으로 측정할 수 있는 변수들을 포함하여 분석하는 것이 필요하다. 둘째, DEA 기본 및 응용모델을 통해 비효율적으로 평가된 DMU들에 대하여 효율성차조집합을 통한 효율성 개선에 관한 정량적인 대책이 제시되어야 한다. 셋째, CCA/DEA의 적용에 있어서는 DEA와의 검증(Fitness Test)을 분석하는 연구가 진행되어야 할 것이다. 넷째, 이러한 학과별 분석을 통해 얻은 자료 및 결과를 토대로 하여 학부제 효율성을 측정하는 연구가 진행되어야 한다. 현재 학부제가 시행되고 있는 타 학교의 학부제 효율성 분석 및 예측을 위해 DEA를 적용하기 위해서는, 여러 가지 주변상황과 학부제의 학부구성상황 등에 의한 효율성의 상승효과

(Synergy Effect)를 고려한 분석이 이루어져야 할 것이다.

[참고문헌]

1. 박준수·정호원(1998). DEA를 이용한 ISDN RAS 비교 평가(ISDN RAS Comparison Utilizing DEA), 「대학산업공학회/한국경영과학회 '98춘계공동학술대회논문집」 24-25.
2. 오동일(1991). 사업부 조직의 성과 평가를 위한 DEA모형의 적용 가능성에 관한 연구: 증권회사 지점의 성과 평가를 중심으로, 서울대학교 경영학과 박사논문.
3. 장재동(1996). DEA를 이용한 제지업의 생산성 측정, 경북대학교 경영학 전공 석사논문.
4. 최문경(1989). 서비스산업의 효율성 측정에 관한 연구: DEA 모형을 이용한 시중 은행의 경영 효율 분석을 중심으로, 동국대학교 경영학 전공 박사논문.
5. Anderaon, P., Peterson, N.C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis, *Management Science*, 39(10) 1261-1264.
6. Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science*, 30 1078-1092.
7. Bessent, A.M., Bessent, E.W., Charnes, A., Cooper, W.W. and Thorogood, N.C. (1983). Evaluation of educational program proposals by means of DEA, *Educl. Admin. Q.*, 1982-107.
8. Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, 2(6) 429-444.
9. Charnes, A., Clark, T., Cooper, W.W., Golany, B. (1985). A development study of data envelopment analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the U.S. Air Forces, *Annals of Operational Research*, 2 95-112.
10. Depree, C.M., Jude, R.K., Turner, L.D. (1995). A tool to help insurance company management assess attorney efficiency and productivity, *CPCU Journal Media*, 48(3) 155-162.
11. Friedman, L., Sinuany-Stern, Z. (1996). Scaling units via canonical correlation analysis in the DEA context, *European Journal of Operational Research*, 100 629-637.
12. Sinuany-Stern, Z., Mehrez, A., Barboy, A. (1993). Academic departments efficiency via DEA, *Computers Operational Research*, 21(5) 543-556.