

# 시간지연 효과를 고려한 기간 통합 DEA 모형의 개발\*

장연상\*\* · 정병호\*\*†

## Development of A Multi-Period Integration DEA Model Considering Time Lag Effect

Yanshuang Zhang\*\* · Byung Ho Jeong\*\*

### ■ Abstract ■

The existing DEA models have been devoted to evaluate relative efficiency of DMUs based on multiple input and output factors of a same period. However, a certain kind of lead time can be required to produce outputs using inputs in an organization. R&D evaluation is a typical area with this kinds of time lag. Thus, the purpose of this paper is to develop a new DEA model to deal with time lag effect in performance evaluation. The proposed model is to find relative efficiency of each DMU for each period considering the time lag effect. A case example using a real data set is also given to show the usage or implication of the suggested model. The results are compared with the ones of the CCR model and the multi-periods input model.

Keyword : DEA, Time Lag, Multi-Period Output Model

## 1. 서 론

DEA 모형은 복수의 입력요소와 산출요소를 갖는

조직단위 및 의사결정 단위(Decision making unit : DMU)의 효율성 평가 방법론으로 Charnes et al.[9]에 의해 CCR 모형이 발표된 이래 Banker et al.[8]

논문접수일 : 2012년 04월 24일    논문게재확정일 : 2012년 09월 10일

논문수정일(1차 : 2012년 07월 11일, 2차 : 2012년 08월 22일)

\* 이 논문은 2011년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(2011-0005239)에 의해 이루어졌음.

\*\* 전북대학교 산업공학과

† 교신저자

은 변동규모수익(Variable return-to scale) 모형인 BCC 모형을 발표하였다. 이러한 DEA 모형은 입력/출력 요소 가중치(weight)가 '0'에 근접한 극소값 또는 '1'에 가까운 극대값을 취함으로써, 비효율적 DMU가 효율적 DMU로 평가될 수 있다는 효율성 왜곡으로 인해 효율성 지수의 변별력이 저하될 수 있는 문제가 지적되어 왔다. 이러한 가중치의 지나친 유연성으로 인한 변별력 문제를 해결하기 위하여 Thompson et al.[20]의 AR(Assurance region) 모형을 비롯하여 다양한 형태의 가중치를 제한하는 모형들이 발표되었다[6, 17, 21]. 모든 효율적 DMU들이 같은 효율성 지수 값으로 '1'을 갖는 문제를 해소하는 super-efficiency 모형과 이의 변형된 모형들이 효율적 DMU들을 차별화하기 위한 방안으로 제안되었다[7, 19].

이 외에도 효율적인 집단과 비효율적인 집단으로 분류하는데 그치지 않고 DMU들을 서열화(Ranking)하기 위한 연구들도 이루어져 왔다[5, 10, 11, 13, 14]. 그러나 생산자원의 투입과 산출 사이의 시간 지연 문제를 다루는 연구는 비교적 최근에 들어서야 시작되었다. 시간 지연 효과를 반영하기 위한 DEA 모형은 Özpeynirci and Köksalan[16]에 의해 처음으로 발표된 다기간투입(Multi-period input : MPI) 모형이 있으며 이는 Post and Spronk[18]에 의해 개발된 통합모형을 근간으로 하고 있다.

이론적인 발전과 더불어 DEA 모형은 그동안 다양한 분야의 성과평가를 위한 효율성 분석에 응용되어왔다. 특히, 시간 지연이 필수적으로 발생하는 R&D 활동의 효율성 분석에 DEA 모형을 응용한 사례들이 많이 보고되고 있으나 시간 지연 문제가 정식으로 다루어지지 않고 있다. Feng et al.[12]는 대학의 연구 생산성을 비교하기 위하여 DEA 모형을 이용하고 있다. 손소영, 주용규[3]는 BK21 사업단의 효율성 분석을 위해 DEA 모형을 이용하였으나 이들은 존재할 것으로 예상되는 시간 지연 효과를 고려하지 않고 있다. 정부출연연구기관의 상대적 효율성 분석에 관한 남인석 등[1], NRL 사업의 분야별 예산 배분 기준 마련을 위한 DEA/AHP 모

형[2]과 연구개발 사업의 선정을 위한 DEA/AHP 모형[4] 역시 시간 지연문제를 정식으로 다루기보다는 다년간의 투입, 산출 자료를 합산하여 입력 자료로 사용하고 있다. Lee and Park[15]는 국가간 R&D 효율성 비교를 위해 1994~1998동안 투입된 국가별 연구개발비와 연구자들을 합산한 입력과 1999년 한 해 동안의 논문, 특허 등을 산출로 이용하여 지연 효과를 처리하였으나 이 역시 투입, 산출 사이의 관계가 명시적으로 다루어지지 않고 있다.

그러나 자원의 투입 시점과 산출 시점 사이에 시간 지연이 있는 경우 이를 반영하는 모형을 이용하여 생산 활동의 효율성을 더 정확하게 구할 필요가 있다. 특히, 연구개발 활동, 교육 활동, 마케팅 활동 등의 경우 자원 투입의 효과가 투입시기에 모두 나타나다고 보기 보다는 일정정도 후까지 이어진다고 보는 것이 타당하다. 학술 논문, 특허 등과 같은 연구 성과물, 교육 행위로 인한 졸업생의 취업, 진학 등과 같은 교육 성과, 광고 효과로 나타나는 매출 증가 등이 이에 해당한다고 볼 수 있다. 따라서 투입, 산출 시점간의 시간 지연이 있는 경우 이를 반영하여 상대적 효율성을 구할 수 있는 DEA 모형의 개발이 필요하다.

본 논문은 투입과 산출 사이에 일정 정도의 시간 지연이 존재하는 경우 이를 반영한 효율성을 구하기 위한 방법으로 Özpeynirci and Köksalan[16]에 의해 발표된 MPI 모형의 수정 모형을 제시한다. MPI 모형은 복수의 기간 동안에 투입된 자원이 미래의 특정 기간의 산출에 기여한다는 관점에서 효율성을 구하는 모형이다. 그러나 지연 효과를 다른 각도에서 바라볼 수 있다. 즉, 특정 기간에 투입된 자원이 미래의 복수의 기간 동안 산출에 기여한다는 관점에서 바라볼 수 있다. 본 논문에서는 이러한 관점에서 접근한 다기간산출(Multi-period output model : MPO) 모형을 제안하고 MPI 모형과 비교 분석한다. 제 2장에서는 시간 지연 모형 개발의 근간이 되는 기본 모형들을 간략하게 살펴본다. 제 3장에서는 본 논문에서 제안된 수정 모형을 다루고 제 4장에서는 국가 장기 연구개발 프로그램인 21세기

프론티어 사업의 데이터를 이용하여 제안된 모형의 적용 사례를 설명하고 MPI 모형과 MPO 모형에 대하여 지연기간에 대한 민감도 분석이 이루어진다.

## 2. 기본 모형

시간 지연 문제를 다루기 위하여 본 논문에서 제시된 모형은 Post and Spronk[18]에 의해 개발된 통합 DEA 모형을 근간으로 하고 있다. 이 통합 DEA 모형은 복수의 기간에 대하여 모든 DMU의 효율성을 하나의 LP 모형으로 구하기 위하여 제안된 DEA 모형으로 원래의 모형을 그대로 옮기면 다음과 같다. 제약식의 형태는 기본적인 CCR 모형과 같으나 모든 DMU들의 산출 가중합을 합하여 목적식으로 함으로써 하나의 LP 모형으로 모든 DMU들의 효율성을 구할 수 있음을 알 수 있다. 여기서  $x_{ik}$ 와  $y_{rk}$ 는 각각 DMU  $k$ 의  $j$  번째 투입요소와  $r$  번째 산출요소를 나타내고  $v_{ik}$ 와  $u_{rk}$ 는 이들에 대한 가중치를 나타낸다.

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{k=1}^n h_k = \sum_{k=1}^n \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk} \\ \text{s.t.} \quad & \\ & \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik} = 1, \quad k=1, \dots, n, \\ & \sum_{r=1}^s u_{ro} Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{io} X_{ij} \leq 0, \\ & \quad k=1, \dots, n, j=1, \dots, n, \\ & u_{rk}, v_{ik} \geq 0, \quad k=1, \dots, n, \\ & \quad r=1, \dots, n, i=1, \dots, m; \end{aligned}$$

Özpeynirci and Köksalan[16]에 의해 개발된 다기간 투입 모형(Multi-period input model : MPI model)은 터키 과학기술위원회의 R&D 기관에 대한 성과 평가에서 투입, 산출 사이의 시간 지연을 반영한 효율성을 구하기 위하여 이용되었다. 이 모형은 모든 DMU들에 대하여 대상 기간의 시간 지연 효과를 반영한 효율성을 동시에 구하기 위한 모형이다. 이 모형은 Post and Spronk[18]에 의해 개발된 통합 모형을 근간으로 하고 있으며 아래와 같다. 이

모형에서 모든 변수는 제 3장에서 제안되는 MPO 모형의 변수와 같고  $v_{ijt}^p$ 는  $t$ 기간으로부터  $p$ 기간 전에 투입된 DMU  $j$ 의  $i$ 번째 투입요소의 투입량에 대한 가중치를 나타낸다.

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{t=(PM+1)}^T \sum_{j=1}^n h_{jt} = \sum_{t=(PM+1)}^T \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^s u_{rjt} Y_{rjt} \\ \text{s.t.} \quad & \\ & \sum_{p=0}^{PM} \sum_{i=1}^m v_{ijt}^p X_{ij(t-p)} = 1, \quad j=1, \dots, n, \\ & \quad t=PM+1, \dots, T \\ & \sum_{r=1}^s u_{rjt} Y_{rkt} - \sum_{p=0}^{PM} \sum_{i=1}^m v_{ijt}^p X_{ik(t-p)} \leq 0, \\ & \quad j=1, \dots, n, k=1, \dots, n, t=PM+1, \dots, T \\ & v_{ijt}^p, u_{rjt} \geq \varepsilon, \quad r=1, \dots, s, i=1, \dots, m, j=1, \dots, n, \\ & \quad t=PM+1, \dots, T, p=0, \dots, PM \end{aligned}$$

위 모형에서 첫 번째 제약식 그룹은 각 DMU의 특정 산출 시기( $t = PM+1, \dots, T$ )를 기준으로 이 시기로부터 PM 기간 전까지 복수 기간의 투입의 가중합을 '1'로 제한하는 제약식이다. 두 번째 제약식 그룹은 모든 DMU의 모든 기간의 효율성이 '1'보다 크지 않도록 제한하는 제약식이다. 이 모형은 특정 시기의 효율성을 구하는데 있어서 특정 시기의 산출물을 이 시기의 PM 기간 전부터 이 시기까지 투입된 복수 기간의 투입물들의 가중합과 대비시킴으로써 효율성을 구하는 모형이다. 다음 절에서는 산출기간 기준이 아닌 투입기간 기준으로 시간 지연 효과를 고려한 효율성을 구하기 위한 수정된 모형을 설명한다.

## 3. 다기간 산출(Multi-period Output : MPO) 모형

### 3.1 지연 효과 반영을 위한 효율성 기준 기간

DEA 모형들은 기본적으로 특정 DMU의 투입 요소들의 가중합에 대한 산출 요소들의 가중합의 비율을 효율성으로 표현하고 이 효율성을 최대화하는 가중치들을 구함으로써 효율성을 얻게 된다. MPI

모형은 시간 지연 효과를 반영하기 위하여 특정 시기의 산출 요소들의 가중합을 이 시기로부터 PM 기간 전부터 이 시기까지 복수의 기간 동안 투입한 자원들의 가중합으로 나눔으로써 효율성을 산출하는 모형이다.

<표 1>에서 특정 DMU의 효율성을 정의하는 기간별 입출력 요소들 사이의 관계를 요약하고 있다. 전통적인 CCR 모형은 특정 시기의 투입량에 대한 동시기의 산출량의 비율로 효율성을 나타냄으로써 지연효과는 반영하지 않는다. 그러나 지연기간을 나타내는 PM이 2라 가정할 때, MPI 모형은 기간 1~3의 투입 자원들이 기간 3의 산출에 기여한다고 가정함으로써 시간 지연 효과를 반영하고 있다. 즉, 특정 DMU의 MPI 모형에 의한 기간 3의 효율성은 기간 1~3의 투입 요소들의 가중합에 대한 기간 3의 산출 요소들의 가중합의 비로 표현된다. 마찬가지로 기간 8의 효율성은 기간 6~8의 투입 자원들의 가중합에 대한 기간 8의 산출요소들의 가중합의 비로 표현되는 것이다.

이에 비해 본 논문에서 제안한 MPO 모형은 특정기간의 투입물이 지연 정도에 따라 투입 시기부

터 복수의 기간 동안 산출에 영향을 미친다는 관점에서 시작되었다. 즉, 지연 기간 PM을 2로 가정할 때, 기간 1에 투입된 자원은 기간 1~3의 각 기간의 산출에 부분적으로 기여한다고 볼 수 있다. 마찬가지로 기간 6에 투입된 자원은 기간 6~8의 각 기간의 산출에 부분적으로 기여한다. 물론 각 기간의 산출에 미치는 기여 정도는 다르며 이는 모형에 의해 가중치 형태로 반영된다. 따라서 MPO 모형에서는 기간 1의 투입요소들의 가중합에 대한 기간 1~3의 산출요소들의 가중합의 비율로 기간 1에 투입된 자원의 효율성을 표현한다. 마찬가지로 기간 6에 투입된 자원의 효율성은 기간 6의 투입요소들의 가중합에 대한 기간 6~8의 산출요소들의 가중합의 비로 표현된다.

MPI 모형이 특정 시기의 산출을 기준으로 효율성을 구하는데 반해 MPO 모형은 특정 시기의 투입물을 기준으로 효율성을 구하게 된다. 기본적으로 평가 대상 DMU들의 상대적 효율성을 구하는 DEA 모형의 특성상 두 지연 모형, 즉 MPI 모형과 MPO 모형의 우열을 검증하는 데는 한계가 있다. 그러나 <표 1>에서 보는 바와 같이 복수 기간의 투입이

<표 1> 효율성 평가의 기준이 되는 기간 비교

Model	Factor	T	1	2	3	4	5
		CCR	Input	↓			
	Output						
MPI	Input				↓		
	Output						
MPO	Input						
	Output	↓					

Model	Factor	T	1	2	3	4	5
		CCR	Input				
	Output						
MPI	Input						
	Output						
MPO	Input						
	Output						

특정 단일 기간의 산출에 기여한다는 가정과 특정 단일 기간의 투입이 그 후로부터 복수의 기간의 산출에 기여한다는 가정에는 근본적인 차이가 있다. 두 가지 지연 효과 반영 방식의 우열을 명확하게 설명하는 데는 무리가 있다. 그러나 일반적으로 투입된 자원에 대한 효율성에 관심이 있다는 점에서, 특정 단일기간의 산출을 기준으로 효율성을 구하는 MPI 모형보다는 특정 단일 기간의 투입물에 대한 효율성을 구하는 MPO 모형이 더 적절하다고 볼 수 있다.

### 3.2 MPO 모형

특정 기간에 투입된 자원이 시간지연 정도에 따라 이 기간부터 이어지는 복수 기간의 산출에 부분적으로 기여한다는 가정하에 MPO 모형을 수립하였다. <표 1>에서 볼 수 있듯이 특정 기간에 투입된 자원이 투입된 기간부터 시간지연 정도를 나타내는 PM 기간 후까지 복수 기간의 산출에 기여하는 것으로 보고 효율성을 정의할 수 있다. 이를 위해 기간별, DMU별 투입 및 산출요소에 대한 가중치를 나타내는 변수들을 아래와 같이 정의하고 DMU 0의 기간  $t$ 에 투입된 자원의 효율성은 아래와 같이 표현될 수 있다. 즉, 최대 지연기간을 <표 1>에서와 같이  $PM = 2$ 라 가정하면  $t, t+1, t+2$ 기간에 발생한 DMU 0의 산출물의 가중합을 기간  $t$ 의 투입물의 가중합으로 나눔으로써 나타낼 수 있다.

$$h_{0t} = \frac{\sum_{p=0}^{PM} \sum_{r=1}^s u_{r0t}^p Y_{r0(t+p)}}{\sum_{i=1}^m v_{i0t} X_{i0t}}$$

여기서 각 변수의 정의는 아래와 같다.

$h_{jt}$  =  $j$ 번째 DMU의  $t$ 기간에 투입된 자원의 효율성

$x_{ijt}$  = DMU  $j$ 의  $i$ 번째 투입요소의  $t$ 기간 투입량

$v_{ijt}$  = DMU  $j$ 의  $i$ 번째 투입요소의  $t$ 기간 투입량에 대한 가중치

$y_{rjt}$  = DMU  $j$ 의  $r$ 번째 산출요소의  $t$ 기간 산출량

$u_{rit}^p$  =  $t$ 기간으로부터  $p$ 기간 후의 DMU  $j$ 의  $r$ 번째 산출요소의 산출량에 대한 가중치

기본적인 DEA 모형에서와 같이 효율성  $h_{0t}$  를 최대화하도록 모든 I/O 가중치들이 정해지게 된다. 따라서 DMU 0의 각 기간별 효율성의 합을 최대화하기 위한 수식은 아래와 같이 표현된다.

$$\text{Max} \sum_{t=1}^{T-PM} h_{0t} = \sum_{p=0}^{PM} \sum_{t=1}^{T-PM} \sum_{r=1}^s \frac{u_{r0t}^p Y_{r0(t+p)}}{\sum_{i=1}^m v_{i0t} X_{i0t}}$$

s.t.

$$\sum_{p=0}^{PM} \sum_{r=1}^s u_{r0t}^p Y_{rk(t+p)} - \sum_{i=1}^m v_{r0t} X_{ikt} \leq 0 \quad k=1, \dots, n; \\ t=1, \dots, T-PM;$$

$$u_{r0t}^p, v_{i0t} \geq \varepsilon \quad \forall r, i, t;$$

그러나 위 모형은 전형적인 비선형 모형이 된다. 따라서 이를 LP 모형으로 변환하기 위하여 목적식의 분모, 즉, DMU 0의 각 기간별 투입량의 가중합을 '1'로 놓는 제약식을 추가하면 아래와 같은 LP 모형이 된다.

$$\text{Max} \sum_{t=1}^{T-PM} h_{0t} = \sum_{p=0}^{PM} \sum_{t=1}^{T-PM} \sum_{r=1}^s u_{r0t}^p Y_{r0(t+p)}$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^m v_{i0t} X_{i0t} = 1 \quad t=1, \dots, T-PM$$

$$\sum_{p=0}^{PM} \sum_{r=1}^s u_{r0t}^p Y_{rk(t+p)} - \sum_{i=1}^m v_{r0t} X_{ikt} \leq 0 \quad k=1, \dots, n; \\ t=1, \dots, T-PM;$$

$$u_{r0t}^p, v_{i0t} \geq \varepsilon \quad \forall r, i, t;$$

위 모형은 DMU 0의 기간별 효율성을 구하는 기간 통합 모형이다. 즉, 특정 DMU 0의  $t$ 기간의 투입 자원의 효율성  $h_{0t}$ 를 분석 대상 기간에 대한 효율성의 합을 최대화함으로써 구하는 통합모형이다. 이 모형의 첫 번째 제약식은 기본적인 DEA 모형들과 같이 효율성 모형을 LP 모형으로 변환하기 위한 것

이다. 효율성 평가 대상인 각 기간  $t(1, \dots, T-PM)$ 에 대하여 특정 DMU 0의 투입물들의 가중합인 목적식의 분모를 '1'로 제한하는 제약식이다. 두 번째 제약식 그룹은 각 기간별 모든 DMU의 효율성 값이 '1'을 넘지 않도록 하는 것이다. 목적식은 특정 DMU 0의 기간별 효율성을 최대화 하기 위하여 모든 기간에 대하여 산출물들의 가중합을 최대화하기 위한 것이다. 이 모형을 통해 DMU 0의 각 기간별 효율성을 시간 지연 효과를 고려하여 구하게 된다. 목적식 및 두 번째 제약식에서 특정 투입 시점으로부터 일정 기간 동안의 산출물들의 가중합을 표현함으로써 시간 지연 효과를 반영하게 된다.

#### 4. 적용 사례

효율성 평가시 시간지연 효과를 반영하기 위해 본 논문에서 제안된 MPO 모형이 MPI 모형에 비하여 좋은 결과를 낸다는 것을 검증하는 데는 한계가 있다. DEA 모형이 기본적으로 평가 대상 DMU들의 상대적 효율성을 구하는 것이기 때문에 절대적인 기준이 존재하지 않는다. 또한 각 모형에서 사용하는 효율성의 정의에 따라 효율성들이 달라지기 때문에 어느 모형에 의한 효율성이 더 정확한지 논의할 기준이 존재하지 않는다. 따라서 본 논문에서 장기적인 연구개발 사업인 21세기 프론티어 사업의 데이터를 이용하여 CCR 모형, MPI 모형 그리고 본 논문에서 제안된 MPO 모형의 실행 결과를 비교 분석함으로써 두 지연 모형의 차이점을 찾아보고자 한다.

21세기 프론티어 사업은 미래 국가 경쟁력 확보라는 정부의 장기 전략에 따라 시작된 장기적인 국가 R&D 사업이다. 이 사업은 1999년도를 시작으로 2010년까지 이어지고 있다. 1999년도에 두 개의 프론티어 사업단이 시작된 이래 현재 24개의 사업단이 구성되어 운영되고 있다. 2000년도에 3개의 사업단이 창설 되었으며, 2001년에 5개의 사업단, 2002년에 9개의 사업단, 2003년에 4개의 사업단이 그리고 마지막으로 한 사업단이 2004년도에 시작되었다.

이러한 24개의 사업단들은 출범 당시 정부의 3개 부처에서 설립하였다. 18개의 사업단은 교육과학기술부, 5개의 사업단은 지식경제부, 1개의 센터가 과거 정보통신부에서 각각 설립하였다. 각 센터에는 연간 약 100억 원 규모의 연구개발비가 투입되며, 이 사업단들의 운영기간은 시작 시점을 기준으로 10년을 목표로 출범하였다. 각 연구 사업단들은 각 부처에서 임명한 관리자에 의해 운영되고 관리되어진다. 이 관리자는 세부과제 선정, 연구개발팀 구성 등 연구 사업단의 전반적인 운영에 대한 권한과 책임을 가지며 자체 평가 시스템을 통하여 세부과제의 연구비를 할당한다. 이와 같이 연구기관과 관리자들은 각각의 세부과제들의 성과에 많은 영향을 줄 뿐만 아니라 이에 대한 책임이 부여되어 있다.

본 논문에서는 24개의 전체 프론티어사업단 중

〈표 2〉 프론티어 사업단 및 장기 지원 과제 요약

	사업단	과제 수	지원 기간
SG01	나노메카트로닉스 기술 개발 사업단	5	8
SG02	나노소재 기술 개발 사업단	11	8
SG03	미생물 유전체 활용기술 개발 사업단	19	8
SG04	생체 기능 조절물질 개발 사업단	9	6
SG05	세포융용 연구 사업단	12	8
SG06	수자원의 지속적 확보 기술 개발 사업단	15	9
SG07	이산화탄소 저감 및 처리 기술 개발 사업단	9	8
SG08	인간 유전체 기능 연구 사업단	15	9
SG09	자생 식물 이용 기술 개발 사업단	18	10
SG10	자원 재활용 기술 개발 사업단	11	10
SG11	작물 유전체 기능 연구 사업단	24	9
SG12	테라급나노소자 개발 사업단	10	10
SG13	프로테오믹스 이용 기술 개발 사업단	7	8
SG14	고효율 수소 에너지 제조 저장 이용기술 개발 사업단	12	7
SG15	뇌기능 활용 및 뇌질환 치료 기술 개발 사업단	16	7

〈표 3〉 SG09 사업단의 세부과제 A의 데이터

	연차	연구비(백만원)	연구원			논문		특허	
			박사	석사	학사	SCI급	비SCI	출원	등록
A	1	300	0	10	13	0	0	2	0
	2	300	0	9	12	0	1	3	2
	3	300	4	12	6	3	3	4	0
	4	150	5	5	2	3	0	2	0
	5	180	5	5	2	2	2	5	3
	6	180	5	5	2	8	7	8	0
	7	180	3	0	6	1	0	6	4
	8	180	3	0	3	5	0	3	6
	9	180	0	3	5	2	0	9	2
	10	180	0	2	4	9	0	5	2

교육과학기술부에 의해 지원되고 있는 15개 사업단의 데이터를 이용하였다. 분석에 사용된 데이터는 각 사업단에서 지원된 세부과제의 연도별 연구비와 SCI 학술지 논문 건수, SCI를 제외한 학술지 논문 건수, 특허 출원 건수, 특허 등록 건수 등이다. 15개 사업단의 1,516개의 전체 세부과제들에 대하여 연구책임자, 소속기관, 과제명을 등을 기준으로 연속적으로 지원된 다년 과제들을 정리한 결과가 <표 2>에 요약되어 있다. 시간지연 효과를 반영하는 모형의 특성상 6년 이상 연속 지원된 193개의 세부과제들을 대상으로 분석을 실시하였다. 각 사업단에서 분석에 이용할 수 있을 정도의 과제수로 가장 장기간인 세부과제들을 선별해냈다.

예시를 위해 <표 3>에서 SG09 사업단의 세부과제 A에 대한 입력 자료들을 보여주고 있다. 이 사업단의 경우 18개의 세부과제가 10년 동안 계속 지원되었으며 이중 한 과제의 데이터를 보여주고 있다. 연구비와, 박사급, 석사급, 학사급 투입 인력을 입력 요소로 하고 SCI급 논문, 비 SCI급 논문, 특허 출원, 특허등록 등의 산출요소를 이용하였다.

• 모형의 실행 결과 및 해석

사업단별로 연구분야의 특성이 달라 지연되는 정도도 다를 것으로 기대되기 때문에 <표 2>의 15개

프론티어 사업단별로 세부과제들의 기간별 효율성을 구하기 위해 본 연구에서 개발된 MPO 모형을 적용하였다. MPO 모형의 실행은 LINGO를 이용하였으며 예시를 위하여 사업단 SG09의 실행 결과를 먼저 요약하기로 한다. <표 4>에서 MPO 모형에 의한 사업단 SG09의 18개 세부과제들에 대한 기간별 효율성을 보여주고 있다. 초기로 갈수록 상대적 효율성이 1인 세부과제들이 많은 이유는 지연 현상으로 인해 초기에는 산출 실적이 많지 않아 상대적으로 우열을 가리지 못하기 때문인 것으로 보인다. 뒤로 갈수록 상대적 우열이 드러나 비효율적인 세부과제들이 늘어나고 있음을 알 수 있다. MPO 모형의 특성상 연구개발 자원의 투입 시점으로부터 세 기간 동안 산출물들에 대한 가중치가 각 DMU의 효율성을 최대화하도록 정해지기 때문에 다른 두 모형과 비교하여 효율성이 높게 나오는 경향이 있다. DMU들간의 상대적 효율성을 구하는 것이기 때문에 이러한 경향이 모형들 간의 우열을 시사하는 것은 아니다.

시간지연을 반영하지 않는 기본적인 CCR 모형, 시간지연을 반영하는 MPI 모형(Özpeynirci and Köksalan[16])과 비교하기 위하여 전체 15개 사업단에 대하여 이 세 가지 모형을 실행하여 기간별 효율성을 구하였다. 예시를 위하여 <표 5>에서 세부과제

〈표 4〉 MPO 모형에 의한 사업단 SG09의 18개 세부과제의 기간별 효율성

세부과제	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
B	0.0000	0.0000	0.3205	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
C	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.6723
D	1.0000	1.0000	1.0000	0.8887	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
E	1.0000	1.0000	1.0000	0.5515	0.6380	1.0000	1.0000	0.8062
F	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
G	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
H	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.7997
I	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
J	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
K	0.5125	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
L	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9213	0.8181
M	1.0000	1.0000	1.0000	0.7368	0.7368	0.8363	0.9458	0.9458
N	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.7545	1.0000
O	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
P	1.0000	1.0000	0.9441	0.7221	0.6007	1.0000	0.5280	0.2877
Q	0.8338	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.5576	0.7336	0.7029
R	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

〈표 5〉 사업단 SG09의 세부과제 E의 기간별 효율성 비교

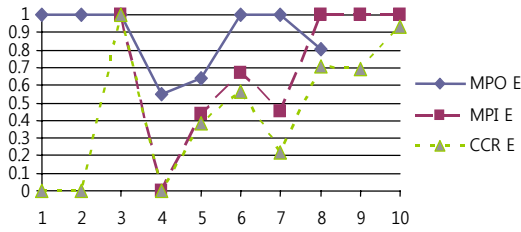
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CCR	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.3839	0.5677	0.2179	0.7082	0.6922	0.9353
MPI	NA	NA	1.0000	0.0000	0.4342	0.6712	0.4514	1.0000	1.0000	1.0000
MPO	1.0000	1.0000	1.0000	0.5515	0.6380	1.0000	1.0000	0.8062	NA	NA

의 수가 제일 많고 가장 장기적으로 지원된 사업단인 SG09의 세부 과제들 중 세부과제 E에 대한 세 모델의 실행 결과를 기간별로 보여주고 있다. 모델들의 특성에 따라 일부 기간은 효율성이 나타나 있지 않다.

이는 모델의 특성에 따라 효율성을 구할 수 없는 구간이다. 이는 <표 1>에서 설명되었듯이 각 시간 지연 모형의 효율성이 정의된 차이에 따라 나타나는 현상이다. 예를 들어서 MPI 모형의 경우 기간 1, 2는 각 기간으로부터 해당기간을 포함하여 과거의 3기간의 투입물이 존재하지 않기 때문이다. 마찬가지로 MPO 모형의 경우 연구 자원의 투입 시점을

기준으로 투입기간을 포함한 2기간 후까지 산출물이 존재하지 않기 때문에 기간 9, 10에 대해서는 효율성을 구할 수가 없다. <표 5>에서 MPI 모형에 의한 기간 5의 효율성은 0.4342로 이는 세부과제 E의 기간 3~5에 투입된 자원에 의해 생산된 기간 5의 산출량에 대한 효율성을 의미한다. 반면에, MPO 모형에 의한 기간 5의 효율성 0.6380은 기간 5의 투입 자원에 의해 얻어진 기간 5~7의 산출에 대한 효율성을 의미한다. 이와 같이 특정 기간의 산출을 기준으로 하는 MPI 모형과 투입을 기준으로 하는 MPO 모형의 특성에 의해 같은 기간의 효율성이 다르게 해석되어야 하기 때문에 단순 비교는 곤란하다.

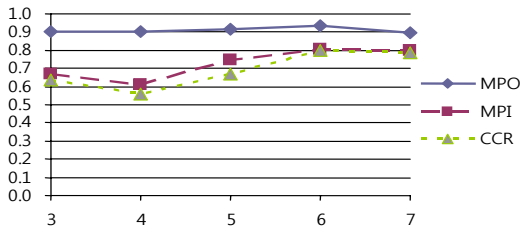




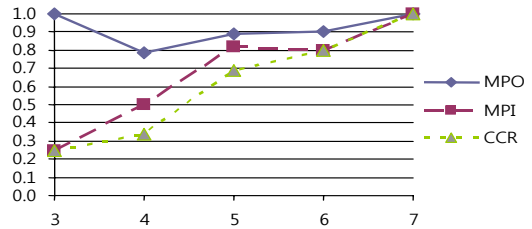
[그림 1] 사업단 SG09의 세부과제 E의 기간별 효율성 비교

[그림 1]에서는 사업단 SG09의 세부과제 E의 기간별 효율성 변화를 그래프로 보여주고 있다. 투입 자원과 산출량의 변화에 따라 기간별 효율성의 변화 패턴은 각 모형에서 유사성을 보여주고 있다. 이는 각 모형의 목적식에서 사용하는 효율성의 정의에 따라 변화는 있지만 전반적으로는 DMU E의 상

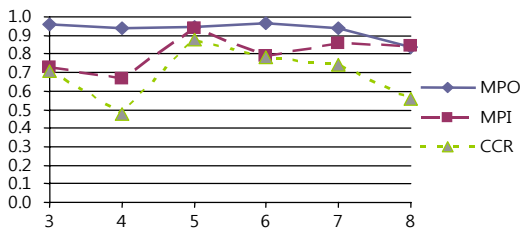
대적 효율성이 잘 반영되고 있다고 볼 수 있다. 동일 기간의 투입, 산출만을 고려하는 CCR 모형의 효율성이 전반적으로 가장 낮게 나타났다. 특정 기간의 산출물을 해당 기간에 앞선 복수의 기간 동안 투입된 자원의 가중합과 비교하여 효율성을 산출하는 기존의 MPI 모형은 CCR 모형보다는 전반적으로 높은 효율성을 보여주고 있지만 본 연구에서 개발된 MPO 모형에 의한 효율성 보다는 대체적으로 낮게 나타나고 있다. 이는 특정 기간의 투입 자원이 이 기간을 포함한 복수의 후행 기간들의 산출물의 가중합과 비교함으로써 효율성을 구하는 MPO 모형의 특성 때문인 것으로 보인다. [그림 2]에서 [그림 7]까지는 세부과제들의 지원기간이 9년, 10년인 사업단들의 세 가지 모형에 의한 기간별 효율성의 평균을 비교하여 보여주고 있다. 여기서도 전반적으



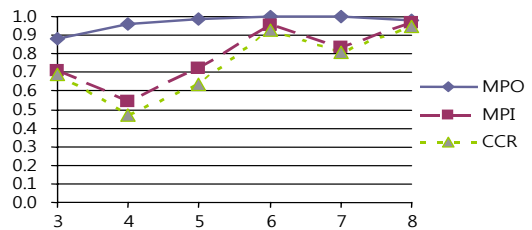
[그림 2] SG06 사업단의 모형별 효율성 평균 비교



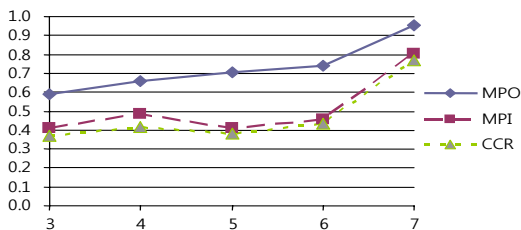
[그림 3] SG08 사업단의 모형별 효율성 평균 비교



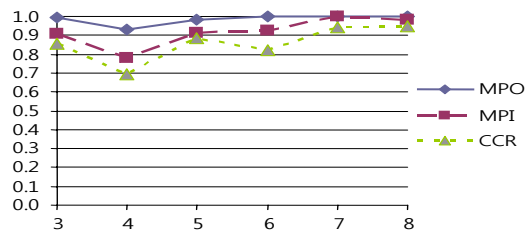
[그림 4] SG09 사업단의 모형별 효율성 평균 비교



[그림 5] SG10 사업단의 모형별 효율성 평균 비교



[그림 6] SG11 사업단의 모형별 효율성 평균 비교



[그림 7] SG12 사업단의 모형별 효율성 평균 비교

로 CCR 모형에 의한 기간별 효율성 평균이 가장 낮게 나타나고 있다는 것을 볼 수 있다. 마찬가지로 MPO 모형에 의한 효율성 평균이 MPI 모형의 효율성 평균에 비해 대체적으로 높게 나타나고 있다는 것을

볼 수 있다. 특히, SG09 사업단을 제외하면 CCR 모형의 효율성 평균은 후반부로 갈수록 증가하는 추세에 있다는 것을 알 수 있다. 이는 CCR 모형이 동일 기간의 투입 대비 산출에 의해 효율성을 계산하기

〈표 6〉 PM 값의 변화에 따른 MPI와 MPO 모형 실행 결과의 통계적 요약

		PM = 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SG09	MPO	AVG	0.85	0.94	0.96	0.94	0.94	0.97	0.94	0.84	NA	NA
		SD	0.33	0.24	0.16	0.13	0.13	0.11	0.13	0.28	NA	NA
	MPI	AVG	NA	NA	0.73	0.66	0.94	0.79	0.86	0.84	0.82	0.74
		SD	NA	NA	0.37	0.46	0.17	0.30	0.25	0.26	0.29	0.34
SG10	MPO	AVG	0.77	0.89	0.88	0.96	0.99	1.00	1.00	0.98	NA	NA
		SD	0.35	0.21	0.19	0.14	0.04	0.00	0.00	0.06	NA	NA
	MPI	AVG	NA	NA	0.71	0.54	0.72	0.95	0.83	0.97	0.88	0.96
		SD	NA	NA	0.37	0.52	0.28	0.12	0.32	0.08	0.22	0.12
SG12	MPO	AVG	0.97	0.98	0.99	0.93	0.98	1.00	1.00	1.00	NA	NA
		SD	0.07	0.08	0.02	0.22	0.05	0.00	0.00	0.00	NA	NA
	MPI	AVG	NA	NA	0.91	0.78	0.91	0.93	1.00	0.98	0.99	0.93
		SD	NA	NA	0.22	0.42	0.19	0.23	0.00	0.06	0.05	0.15
		PM = 3										
SG09	MPO	AVG	0.94	0.96	1.00	0.95	0.96	0.98	0.94	NA	NA	NA
		SD	0.24	0.16	0.00	0.12	0.11	0.09	0.12	NA	NA	NA
	MPI	AVG	NA	NA	NA	0.66	0.94	0.88	0.86	0.84	0.85	0.74
		SD	NA	NA	NA	0.46	0.17	0.24	0.25	0.26	0.28	0.34
SG10	MPO	AVG	0.87	0.92	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	NA	NA	NA
		SD	0.24	0.18	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	NA	NA	NA
	MPI	AVG	NA	NA	NA	0.54	0.76	0.97	0.91	0.97	0.91	0.97
		SD	NA	NA	NA	0.52	0.29	0.10	0.30	0.08	0.15	0.10
SG12	MPO	AVG	0.98	1.00	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	NA	NA	NA
		SD	0.07	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	NA	NA	NA
	MPI	AVG	NA	NA	NA	0.78	0.91	0.93	1.00	1.00	0.99	0.94
		SD	NA	NA	NA	0.42	0.19	0.23	0.00	0.00	0.05	0.13
		PM = 4										
SG09	MPO	AVG	0.96	1.00	1.00	0.97	0.98	0.98	NA	NA	NA	NA
		SD	0.16	0.00	0.00	0.09	0.06	0.09	NA	NA	NA	NA
	MPI	AVG	NA	NA	NA	NA	0.94	0.88	0.90	0.85	0.85	0.84
		SD	NA	NA	NA	NA	0.17	0.24	0.18	0.26	0.28	0.31
SG10	MPO	AVG	0.88	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	NA	NA	NA	NA
		SD	0.22	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	NA	NA	NA	NA
	MPI	AVG	NA	NA	NA	NA	0.77	0.97	0.91	0.97	0.91	0.97
		SD	NA	NA	NA	NA	0.30	0.10	0.30	0.08	0.15	0.10
SG12	MPO	AVG	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00	1.00	NA	NA	NA	NA
		SD	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	NA	NA	NA	NA
	MPI	AVG	NA	NA	NA	NA	0.91	0.93	1.00	1.00	1.00	0.94
		SD	NA	NA	NA	NA	0.19	0.23	0.00	0.00	0.00	0.13

때문에 연구 개시 후 일정 정도 시간이 흐른 후에 연구 결과물들이 나타나기 시작한다는 점에서 당연한 결과라 할 수 있다.

MPI 모형의 경우도 효율성 평균의 변화 추세가 전반적으로 CCR 모형과 비슷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 특정 기간의 산출물을 이 기간을 포함한 복수의 이전 기간에 대한 비율로 효율성을 정의하는 모형의 특성상 CCR 모형과 유사한 패턴을 보인다는 점을 이해할 수 있다. 다만 효율성을 최대화하는 목적식으로 인해 산출 시기로부터 복수의 이전 기간 투입물 중 이에 유리한 기간의 투입물의 가중치가 높게 나타남으로써 CCR 모형 보다는 전반적으로 높게 나타나는 현상을 이해할 수 있다.

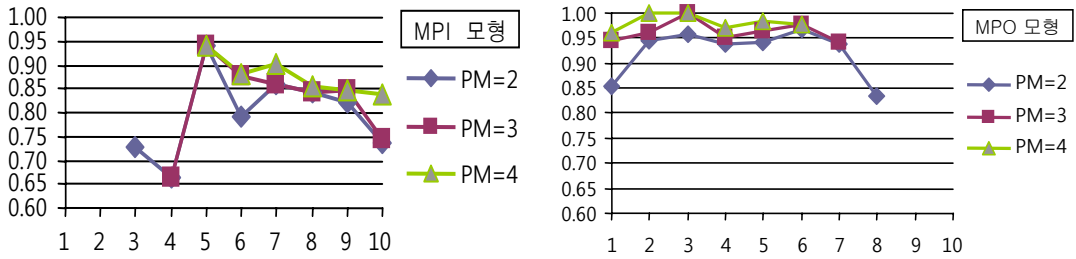
지연기간을 나타내는 PM의 변화에 따른 효율성 변화를 보기 위하여 PM을 2, 3, 4로 변화시키면서 MPI 모형과 MPO 모형을 실행하였다. PM이 커짐에 따라 효율성을 구할 수 있는 기간의 수가 줄어들기 때문에 연구지원 기간이 10년인 SG09, SG10, SG12 등 세 센터에 소속된 세부과제들에 대하여 PM 값을 변화시키면서 두 모형을 실행하였다. <표 6>에서 실행 모형과 기간별로 각 센터에 소속된 세부과제 즉, DMU들의 효율성의 평균과 표준편차를 정리하고있다. 두 모형의 특성에 의해 PM이 4인 경우는 데이터의 기간과 PM의 크기로 인해 기간 5와 6에서만 두 모형의 비교가 가능함을 알 수 있다. 두 모형의 비교가 용이한 PM이 2인 경우를 보면 소속 DMU들의 평균 효율성은 MPO 모형이 MPI 모형보다 전반적으로 높게 나타나고 있다. 센터의 세부과제들의 효율성의 산포를 나타내는 표준편차는 오히려 MPI 모형이 더 크게 나타나고 있으며 이는 MPO 모형에 비해서 MPI 모형이 효율성의 변별력이 크다고 볼 수 있다. 투입은 기간별로 별 차이가 없고 산출은 기간에 따라 큰 차이가 나는 데이터의 특성 때문으로 보인다. 복수 기간의 투입 가중합으로 지연 효과를 반영하는 MPI 모형에 비해 복수 기간의 산출 가중합으로 지연 효과를 반영하는 MPO 모형의 특성을 주지할 필요가 있다. 다만 복수 기간 동안의 산출들이 부분적으로 효율성에 기여하는 정도

를 나타내는 가중치에 대한 제약식을 도입하면 MPO 모형의 변별력은 개선될 것으로 보인다.

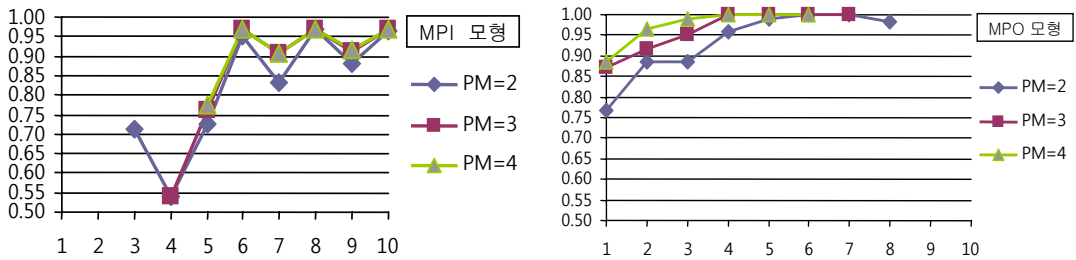
각 모형이 지연기간 PM의 변화에 얼마나 민감한지를 보기 위하여 [그림 8]~[그림 10]에서 PM의 변화에 따른 평균 효율성의 변화 추세를 보여주고 있다. MPI 모형의 경우 세 센터 모두에서 PM의 크기 즉, 지연 효과 반영 기간의 크기에 따른 효율성 평균의 변화에 뚜렷한 규칙성이 발견되지 않는다. 이에 비하여 MPO 모형의 경우 세 센터 모두 PM이 커질수록 효율성의 평균이 높게 나타나고 있다. 이는 MPO 모형의 특성상 예상한 결과이다. 특정 시기의 투입에 대한 PM 기간 동안의 산출물의 가중합을 구하는데 있어서 가중치가 효율성을 최대화하도록 정해지기 때문이다. 즉, PM이 클수록 지연 효과를 반영하는 가중치  $u_{mt}^p$ 의 비제약으로 인한 가중치 유연성 효과가 크게 나타나기 때문이다. 이에 비하여 MPI 모형의 경우 특정 산출 시점을 기준으로 PM 기간 전까지의 투입물의 가중합을 구하는 가중치  $v_{jt}^p$ 의 비제약으로 인한 가중치 유연성 효과가 그리 크지 않다는 것을 알 수 있다. 본 논문에서 사용한 장기 연구개발 과제의 경우 일반적으로 매년 투입되는 연구비는 동일하고 연구 인력 역시 시기별로 큰 차이를 보이지 않기 때문으로 보인다.

MPO 모형에 있어서 또 하나의 특이한 현상은 [그림 10]의 센터 SG12에 비해 [그림 8]과 [그림 9]의 센터 SG09와 SG10의 경우 초기에 PM이 2일 때와 PM이 3과 4일 때의 차이가 크게 나타나고 있다. 이러한 현상은 <표 2>에서 알 수 있듯이 센터에 따라 연구 분야가 달라지고 연구 분야에 따라 연구 산출물(예를 들어서 학술 논문)이 현실화될 때까지의 기간이 다른 현상이 반영된 결과로 볼 수 있다. 즉, SG12의 경우는 최대 지연기간을 2로 해도 지연 효과가 충분히 반영되는 결과를 얻을 수 있지만 SG09와 SG10의 경우는 PM을 3 이상으로 하는 것이 해당 연구 분야의 특성으로 인한 지연 효과를 제대로 반영한다고 볼 수 있다.

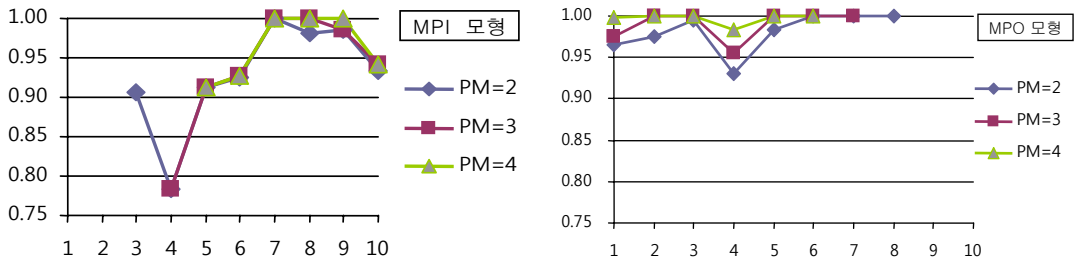
PM 크기에 따른 평균 효율성의 변화에 대한 두 가지 해석 결과를 종합하면 지연 정도를 모델에 반



[그림 8] PM의 변화에 따른 SG09의 효율성 평균 변화



[그림 9] PM의 변화에 따른 SG10의 효율성 평균 변화



[그림 10] PM의 변화에 따른 SG12의 효율성 평균 변화

영하는 가중치인  $u_{rit}^p$ 를 센터 또는 연구 분야의 지연 특성을 고려하여 제한하는 제약식이 필요하다는 것을 알 수 있다. 다만 가중치  $u_{rit}^p$ 에 대한 제약은 단순히 비제약으로 인한 가중치 유연성을 줄이기 위한 것이 아니라 효율성 평가 대상 시스템의 시간 지연 특성을 반영하기 위한 것이라는 점이 다르다.

또한 MPO 모형과는 달리 MPI 모형의 경우 PM의 변화에 따른 효율성 평균의 변화에서 의미 있는 규칙성을 찾을 수 없다는 사실로부터 MPO 모형이 MPI 모형보다 지연 효과를 잘 반영하고 있다고 볼 수 있다. MPI 모형의 경우 지연 기간인 PM의 변화에 효율성이 덜 민감하기 때문이다. 특히, 본 논문에서 이용한 사례와 같이 DMU의 투입 자원이 일

정하거나(예, 연간 연구비) 기간에 따라 크게 변하지 않는 경우에는 두 모형의 차이가 더 명확해진다 고 볼 수 있다. 다만 이러한 현상이 MPO 모형이 MPI 모형보다 항상 우월하다는 것을 시사한다고 볼 수는 없다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 시간 지연 효과를 반영하여 각 기간별 효율성을 구하기 위한 통합 모형을 제시하였다. 특히, 연구자원인 투입물이 특정 기간에 투입된 후에 지연 정도에 따라 복수 기간의 산출에 부분적으로 기여한다는 사실에 기초한 효율성을 구하기

위해 MPO 모형을 제안하였다. 제안된 모형은 장기적인 국가 연구개발 사업인 21세기 프론티어 사업의 15개 사업단의 장기 지원 과제들을 대상으로 분석을 실시하였다. PM의 변화에 따른 MPI 모형과 MPO 모형의 효율성 평균에 대한 민감도 분석에서는 MPO 모형이 상대적으로 더 민감한 것으로 나타나 지연 정도를 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다. 다만 효율성에 있어서의 변별력은 MPI 모형에 비해 낮게 나타났지만 연구 분야에 따라 달라지게 될 지연의 정도를 제약식의 형태로 추가한다면 개선될 수 있을 것으로 보이며 이러한 지연가중치 제약의 반영은 계속 연구되어야 할 과제이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 남인석, 송윤영, 정병호, “DEA 모형을 이용한 정부출연연구기관의 상대적 효율성 분석”, 『산업경영시스템학회지』, 제31권(2008), pp.1-10.
- [2] 남인석, 유태우, 하재원, 정병호, “NRL 사업의 예산 배분을 위한 DEA/AHP 모형”, 『IE Interfaces』, 제23권(2010), pp.157-164.
- [3] 손소영, 주용규, “분류모형과 DEA를 이용한 두뇌한국(BK) 21 사업단 효율성 분석”, 『IE Interfaces』, 제17권(2004), pp.249-260.
- [4] 임호순, 유석천, 김연성, “연구개발 사업의 평가 및 선정을 위한 DEA/AHP 통합 모형에 관한 연구”, 『한국경영과학회지』, 제24권(1999), pp1-22.
- [5] Adler, N., L. Friedman, and Z. Sinuany-Stern, “Review of ranking methods in the data envelopment analysis context,” *European J. of Operations Research*, Vol.140(2002), pp.249-265.
- [6] Allen, R., A. Athanassopoulos, R.G. Dyson, and E. Thanassoulis, “Weights restrictions and value judgements in data envelopment analysis,” *Annals of Operations Research*, Vol.73 (1997), pp.13-34.
- [7] Anderson, P. and N.C. Peterson, “A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis,” *Management Science*, Vol.39(1993), pp.1261-1264.
- [8] Banker, R.D., A. Charnes, and W.W. Cooper, “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis,” *Management Science*, Vol.30(1984), pp. 1078-1092.
- [9] Charnes, A., W.W. Cooper, and E. Rhodes, “Measuring the efficiency of decision making units,” *European J. of Operations Research*, Vol.2(1978), pp.429-444.
- [10] Charnes, A., C.T. Clark, W.W. Cooper, and B. Golany, “A developmental study of data envelopment analysis in measuring the efficiency of maintenance units in the US air forces,” *Annals of Operations Research*, Vol.2 (1985), pp.95-112.
- [11] Doyle, J. and R. Green, “Efficiency and cross-efficiency in DEA : Derivation, Meanings and Uses,” *J. Operational Research Society*, Vol.45 (1994), pp.567-578.
- [12] Feng, Y.J., H. Lu, and K. Bi, “An AHP/DEA method for measurement of the efficiency of R&D management activities in universities,” *Int. Trans. in Operations Research*, Vol.11 (2004), pp.181-191.
- [13] Green, R.H., J.R. Doyle, and W.D. Cook, “Preference voting and project ranking using DEA and cross-evaluation,” *European J. of Operations Research*, Vol.90(1996), pp.461-472.
- [14] Jeong, B.H. and C.S. Ok, “A New Ranking Method in the DEA context using super and cross efficiency,” *Asia Pacific J. of Operational Research*, Accepted for publication.
- [15] Lee, H.Y. and Y.T. Park, “An International Comparison of R&D Efficiency : DEA approach,” *Asian J. of Technology Innovation*, Vol.

- 13(2005), pp.207-222.
- [16] Özgür, Ö. and M. Köksalan, "Performance evaluation using data envelopment analysis in the presence of time lags," *J. of Productivity Analysis*, Vol.27(2007), pp.221-229
- [17] Pedraja-Chaparro, F., J. Salinas-Jimenez, and P. Smith, "On the role of weight restrictions in data envelopment analysis," *J. of Productivity Analysis*, Vol.8(1997), pp.215-230.
- [18] Post, T. and J. Spronk "Performance benchmarking using interactive data envelopment analysis," *European J. of Operations Research*, Vol.115(1999), pp.472-487.
- [19] Sueyoshi, T., "Data envelopment analysis non-parametric ranking test and index measurement : Slack-adjusted DEA and an application to Japanese agriculture cooperatives," *Omega Int. J. of Management Science*, Vol.27(1999), pp.315-326.
- [20] Thompson, R.G., L.N. Langemeier, C.T. Lee, E. Lee, and R. M. Thrall, "The Role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming," *J. of Econometrics*, Vol.46(1990), pp.93-108.
- [21] Wong, Y.H.B. and J.E. Beasley, "Restricting weight flexibility in data envelopment analysis," *J. of Operational Research Society*, Vol. 41(1990), pp.829-835.