

# 부트스트랩 맘퀴스트 생산성지수를 이용한 Single PPM 인증기업의 생산성 비교 연구

송광석\* · 유한주\*\*†

\* 서강대학교 경영전문대학원

\*\* 숭실대학교 경영학부

## A Comparative Study on Productivity of the Single PPM Quality Certification Company by using the Bootstrapped Malmquist Productivity Indices

Gwangsook Song\* · Hanjoo Yoo\*\*†

\* Graduate School of Business, Sogang University

\*\* Division of Business Administration, Soongsil University

Key Words : Single PPM, Malmquist Productivity Index(MPI), Bootstrapped MPI

### Abstract

The purpose of this study is to empirically analyze the productivity change of the 10 Single PPM Certification Company in the 3 Industry(Electronics, Motor-Parts, Machines). In this study, Productivity change over the time in Korean small and medium sized firms in the 3 industries by the bootstrapped Malmquist Productivity Index(MPI). The traditional Malmquist Productivity Index(MPI) and Data Envelopment Analysis(DEA) Models have not only bias but also lack statistical confidence intervals. they could lead to wrong evaluations of the efficiency and productivity scores. In this paper, DEA and a MPI are combined with a bootstrap method in order to provide statistical inferences that analyze the performance of the Single PPM Certification Company. The data cover the period between 2004 and 2007. The result of this paper reveals : 1) The Electronics Industry had productivity effect of 17%, but there was not direct effect for other Industries(Motor-Parts, Machines). 2) average productivity Progress of the 7DMU(Electronics), 1DMU(Motor-Parts) and none(Machines)

## 1. 서론

최근 세계 최고의 품질로 인정받던 글로벌 자동차 회사의 중요 부품결합에 대한 문제로 인해 2010년 새해 벽두부터 품질에 대한 관심이 새롭게 부각되고 있는 듯하다. 특히, 최근의 모든 산업에서는 공급망 관리를 통한 파트너십을 활용해 기업의 경쟁력을 확보하려고 노력하고 있는데 공급망 관리에 의한 부품 및 품질의 문

제는 비단 자동차산업 뿐만 아니라 모든 산업에 있어 기업이 경쟁우위를 확보하기 위한 유일한 방법처럼 인식되고 있다. 더욱이 부품의 품질 문제는 앞서 제시한 토요다 사례처럼 최종 제품에 심각한 영향을 미치기 때문에 공급망의 품질관리는 기업에 있어서는 매우 중요한 문제로 인식되고 있다. 이러한 문제들로 인해 국내에서도 대기업에 납품하는 중소기업의 품질수준을 높이고 경쟁력을 확보하기 위한 방법으로 1995년부터 100PPM품질혁신운동이 시작되었으며 식스시그마의 확산과 더불어 2000년부터는 기존의 100PPM품질혁신운동을 한 단계 발전시켜 싱글PPM품질혁신운동을 추진하고 있다. 100PPM품질혁신운동과 싱글PPM품질혁신

† 교신저자 hyoo@ssu.ac.kr

※ 본 연구는 서강대 경영전문대학원 BK사업단으로부터 지원받았음.

운동의 목적은 모기업과 연결된 중소기업의 품질 수준을 향상시키고 중소기업의 경쟁력을 극대화하기 위한 방법으로 대·중소기업의 협업적 품질 수준을 높이기 위한 혁신운동으로 시작되었지만 최근에는 참여 중소기업들의 수가 점차 감소하고 있으며 싱글PPM품질혁신운동의 인증효과 또한 현장 또는 제조공정 부분에 집중되고 있어 종합적인 기업 혁신기법으로서의 자리매김이 불확실한 상황이라 할 수 있다(신현재, 2007). 이러한 측면에서 본 연구의 목적을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 싱글PPM혁신운동의 효과 측정시 인증 전후를 비교하여 유효한 효과를 평가하던 접근방법과는 달리 인증받은 기업들만을 대상으로 전자, 자동차부품, 전자 3개 산업의 생산성 변화의 특성을 비교하고자 한다.

둘째, 싱글PPM혁신운동 인증기업의 생산성변화를 맘퀴스트 생산성 지수(Malmquist Productivity Index, 이하 MPI)로 분석하여 개별 의사결정단위(Decision Making Unit, 이하 DMU)의 생산성 변화를 기술적 효율성변화지수(Technical Efficiency Change Index, TECI), 기술적 변화지수(Technical Change Index, TCI), 순수한 효율성변화지수(Pure Efficiency Change Index, PECE), 규모의 효율성변화지수(Scale Efficiency Change Index, SECI)로 분석하고자 한다. 즉, 싱글PPM혁신운동의 도입으로 인한 생산성의 변화요인을 분석하여 산업별 특성을 비교하고자 한다. 또한 이를 기반으로 향후 싱글PPM혁신운동을 도입하려는 중소기업뿐만 아니라 주관기관에도 운영상의 가이드라인과 관리적 시사점을 제공하고자 한다.

셋째, 전통적 DEA 기법의 한계점으로 지금까지 끊임 없이 제기되던 효율성 점수에 대한 편의(bias)를 해결하기 위해 부트스트랩(bootstrap)방법을 사용하여 효율성 점수에 대한 통계적 신뢰구간을 제시하고자 한다. 이를 통해 산업별 관리도구인 생산성 관리 매트릭스를 제시하고자 한다.

본 연구에 이용된 표본은 전자, 자동차부품, 기계분야에서 싱글PPM품질혁신운동을 '04년에 인증 받고 '07년까지 지속적으로 추진해온 기업을 대상으로 생산성의 변화를 분석하였다. 산업별 생산성의 변화를 비교하기 위해 맘퀴스트 생산성 지수(MPI)를 여러 효율성지수로 분해하였으며 지수별 통계적 신뢰구간을 제시하기 위해 부트스트랩기법을 이용하고자 한다.

분석에 이용된 도구는 DEA Excel Solver, SPSS 17, R 소프트웨어를 이용하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 CCR/BCC 모델

DEA에 의한 효율성 분석은 Charnes, Cooper and Rhode(1978)(이하 CCR)의 연구에서 비롯되었는데 이 CCR모델은 Farrell(1957)의 단일 투입·산출모형의 상대적 효율성(Relative efficiency)을 측정하기 위해 다수의 투입·산출 모형을 최적화시킨 모델이다. 특히 다수의 산출물을 생산하기 위해 다수의 투입요소를 사용하여 성과를 평가할 수 있으며 투입·산출 변환(input-output transformation)이 알려져 있지 않는 경우에 효과적인 방법으로 알려져 있다.

DEA 분석모델은 생산과정에서의 규모에 따른 수익의 불변(Constant Returns to Scale ; CRS)을 가정하고 효율성을 측정하는 CCR모델과 규모에 따른 수익의 변화(Variable Returns to Scale ; VRS)를 가정하고 효율성을 측정하는 BCC모델(Banker, Charnes, Cooper Model, 1984)로 분류할 수 있다. 대표적인 DEA 분석모델인 CCR모형의 특징을 요약하면 다음과 같다.

분석표본 내에 K개의 기업이 있고, 각 기업마다 m종류의 산출과 n종류의 투입을 사용하고 있다고 하자. K번째 기업의 투입과 산출을 각각  $X_k = (x_k^1, x_k^2, \dots, x_k^n)$  와  $Y_k = (y_k^1, y_k^2, \dots, y_k^m)$  라 표현할 때 K기업의 효율성은 다음의 식 (1), (2)와 같은 선형계획법에 의하여 구해진다.

$$\text{Maximize } h_k = \frac{\mu^T Y_k}{v^T X_k} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } h_i = \frac{\mu^T Y_i}{v^T X_i} \leq 1, \quad i = 1, \dots, n$$

$$\mu^T \geq 0 \text{ and } v^T \geq 0$$

$$\text{Minimize } v^T X_k \quad (2)$$

$$\text{s.t. } \mu^T Y_k = 1$$

$$\mu^T Y_i - \mu^T X_i \leq 0, \quad i = 1, \dots, n$$

$$\mu^T \geq 0 \text{ and } v^T \geq 0$$

$\lambda_j$ 는 투입요소에 대한 가중치로 CCR 모델의 경우 가중치의 합은 항상 1보다 같거나 작은 특징을 갖게 되며 가중치가 '1'인 경우는 효율적인 DMU로 판정하게

된다. 즉, 투입모델의 경우 비효율적인 DMU는 항상 가중치의 합이 1보다 작은 특징이 있다. 반면에 BCC모델의 경우는 가중치의 합이 항상 1이라는 제약조건이 CCR 모델과 구분되는 특징이라 할 수 있다.

CCR모델이 기술적 효율성과 규모의 효율성(배분적 효율성)의 합인 총체적인 기술적 효율성(Overall Technical Efficiency, TE)을 나타내는 반면 BCC모델은 순수한 기술적 효율성(Pure Technical Efficiency, PTE)을 나타낸다. 특히 BCC모델은 규모의 효율성(Scale Efficiency, SE)은 산출하기 위해 CCR모델의 총효율(기술적 효율성+ 규모의 효율성)을 BCC모델의 기술적 효율성으로 나누어 줌으로써 순수한 규모의 효율성을 산출할 수 있다.

### 2.2 맘퀴스트 생산성 지수(Malmquist Productivity Index, MPI)

특정시점에서 DMU의 효율성이 낮거나 혹은 반대의 경우와 같이 효율성의 향상된 변화를 통해 개별기업의 효율성 수준이 악화되었거나 혹은 향상되었다고 판단할 수 없다. 만약 전체 분석 표본 중 분석표본 다수의 효율성 수준이 상승하였다고 하여도 선도 DMU의 생산 프론티어가 더 큰 폭으로 증가하였다면 평가대상인 DMU의 효율성 수준은 오히려 하락하게 된다. 즉, 효율성 분석에 의한 다년도의 효율성 수준을 판단할 경우 판단의 오류가 발생할 수 있다. 이러한 특징으로 인해 개별 DMU의 효율성변화를 통한 생산성 평가는 거리함수를 이용하는 맘퀴스트(Malmquist) 생산성 분석이 주로 이용되고 있다. 특히 맘퀴스트(Malmquist) 생산성 분석은 생산성 증감의 요인을 분석할 수 있는 장점이 있어 개별 기업에 중요한 정보를 제공할 수 있다.

맘퀴스트 생산성 지수(MPI)는 Malmquist(1953)에 의해 한 기업의 서로 다른 두 시점간의 투입되는 투입물의 변화를 거리함수를 이용하여 설명하면서 처음으로 제시되었다. 그 후 Caves et al(1982), Färe et al(1994)에 의해 더욱 발전된 모델로 개발되었으며 Färe et al(1994)은 기존의 맘퀴스트 생산성 지수를 DEA기반의 생산성함수로 발전시켰다. 이러한 생산성 함수를 통해 단일 DMU의 총요소생산성(Total Factor Productivity, TFP)을 분석할 수 있게 되었다(Cooper et al, 2004; Zhu, 2003).

Färe et al(1998)은 산출지향 맘퀴스트 생산성 지수(MPI)를 다음과 같이 정의하였다. 분석대상이 되는 데

이터의 시계열을  $t=1, 2, \dots, t$ 라고 할 때, 시점  $t$ 에 대하여 투입요소  $x^t \in R_t^m$ ,  $x^t = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ 을 사용하여 산출물  $y^t \in R_t^s$ ,  $y^t = (y_1, y_2, \dots, y_s)$ 을 생산하는 생산기술  $S^t$ 를 사용하고 생산기술은 모든 가능한 투입요소와 산출요소의 벡터집합으로 구성할 수 있다. 산출된 거리함수인  $D^t(x^t, y^t)$ 는 주어진 투입요소  $x^t$ 를 이용하여 산출물 벡터  $y^t$ 를 최대 확장할 수 있는 값의 역수로 산출할 수 있으며  $x^t$ 가 주어졌을 때 최대 생산 가능한 산출은  $y^t/\theta$ 로 측정할 수 있다.

맘퀴스트 생산성 지수(MPI)는 시점  $t$ 에서 생산기술을 가정한 상태로 두 시점간( $t, t+1$ )의 생산성의 변화를 측정할 수 있다. 따라서 두 시점에서의 맘퀴스트 생산성 지수(MPI)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$MPI_o^t = \frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)} \tag{3}$$

$$MPI_o^{t+1} = \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^t, y^t)} \tag{4}$$

$MPI_o(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) > 1$ 이면  $t$ 기에 비해  $t+1$ 기의 생산성이 증가하였다는 것을 의미하며,  $MPI_o(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) < 1$ 이면 감소를,  $MPI_o=1$ 이면 생산성 변화가 없다는 것을 의미한다. Färe et al(1994)은 두 시점간의 자의적인 선정 기준의 문제점을 해결하기 위해 두 시점간의 생산성 변화를 기하평균을 이용하여 특정 시점의 극단적인 산출량에 의한 생산성 평가의 왜곡문제를 해결하였다. Färe et al(1998)은 식(3), 식(4)에 의해 산출된 MPI를 다음과 같이 정의하였다.

$$MPI_o(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left( \frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)} \times \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^t, y^t)} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

식(5)를 변형하여 식(6)을 제시하였다.

$$MPI_o(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)} \times \left( \frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D_o^t(x^t, y^t)}{D_o^{t+1}(x^t, y^t)} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{6}$$

=  $\frac{TECI}{TCI}$

식(6)의 기술적 효율성변화지수(TECI)는 다시 순수한 효율성변화지수(PECI)와 규모효율성변화지수(SECI)로 구분할 수 있다. 이를 식으로 나타내면 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned}
 MPI_o(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) &= PEI \times SECI \times TCI \quad (7) \\
 &= \frac{BCC_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{BCC_o^t(x^t, y^t)} \\
 &\quad \times \left[ \frac{BCC_o^t(x^t, y^t)}{CCR_o^t(x^t, y^t)} \times \frac{BCC_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{CCR_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right] \\
 &\quad \times \left[ \frac{CCR_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{CCR_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{CCR_o^t(x^t, y^t)}{CCR_o^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}}
 \end{aligned}$$

### 2.3 부트스트랩 DEA모형

비모수 통계기법인 부트스트랩 기법은 Efron(1979)에 의해 처음으로 소개된 이후 표본크기의 한계를 극복하고 모수 통계기법의 비현실성을 극복하기 위한 대안으로 폭넓게 사용되고 있다.

Efron(1979, 1981), Efron and Tibshirani(1993)는 부트스트랩 기법을 통해 추출된 모수 추정치들의 시뮬레이션 분포가 실제 모수의 분포에 매우 유사한 근사치를 제공한다는 것을 제시하였다. 부연설명하자면, 부트스트랩 기법은 모집단에서 추출된 n개의 관측치를 가지고 있는 하나의 표본을 새로운 가상의 모집단으로 간주하고 반복적으로 복원추출에 의한 재표본추출(Resampling)을 통하여 모집단의 특성을 추론하는 기법이다. 반면 전통적 DEA모형은 통계적 가정없이 분석표본의 선형적 거리함수에 의해 효율성을 평가할 수 있다는 장점이 있지만 분석표본의 수인 DMU가 변화할 때 마다 효율성 값이 변화하는 상대적 효율성 값이라는 단점을 가지고 있다. 즉, 효율성 점수에 대한 통계적 검증은 하지 않아 효율성 점수는 편의(bias)를 가질 뿐만 아니라 효율성 점수에 대한 통계적 신뢰구간(confidence intervals)을 제시할 수 없다는 단점으로 잘못된 평가를 초래할 수 있다. 이러한 문제들에 대해 Simar and Wilson(1998, 1999, 2000, 2007)은 기존 DEA모델에 의한 효율성 평가에 부트스트랩 기법을 적용하여 신뢰구간과 표준오차를 계산하기 위한 방법을 이론적으로 제시하였다. 이러한 비모수적 모델의 부트스트랩 적용은 기존의 통계적 유의미성을 판단하지 못했던 프론티어모델에 있어 신뢰구간과 표준오차를 제시하여 통계적 유의미성을 제시할 수 있으며 효율적으로 판정된 DMU가 다수 존재할 경우 효율적 DMU간의 차이점을 설명할 수 있는 이점이 있다.

Simar and Wilson(2000)의 연구에서 사용된 방법을 요약하여 아래와 같은 5단계로 제시할 수 있다.

- 1) LP모델에 의한 효율성 점수  $\hat{\theta}_k$ 를 계산한다. ( $x_k, y$  |  $k=1, \dots, n$ )

2)  $(\hat{\theta}_k | k=1, \dots, n)$ 에서 관측치의 크기가 n인 무작위 표본을 생성하여  $\theta_{1b}^*, \dots, \theta_{nb}^*$ 를 제공하기 위해 커널 평활법(Kernel Smoothing Method)을 사용하여 새로운 가상의 데이터 셋을 만든다. 원자료로부터 직접 표본을 추출할 경우 초기의 부트스트랩(naive bootstrap)에서는 자료생성과정(data generating process; DGP)의 추정치가 편의를 갖게 되는데 이를 제거하기 위한 방법이 바로 커널평활법으로 원래 표본의 특성을 추정하게 된다.

3)  $\hat{\theta}_k$ 에서 추출한  $\theta_{nb}^*$ 에서 가상의 의사표본  $x_{ib}^*$ 를 추출한다.  $x_{ib}^* = \{(x_{ib}^*, y_i) \mid i=1, \dots, n\}, x_{ib}^* = (\theta_i / \theta_{nb}^*) x_i, i=1, \dots, n$ .

4) 선형계획법에 의해  $\hat{\theta}_k$ 로부터  $\hat{\theta}_{kb}^*$ 를 추정한다.

$$\hat{\theta}_{kb}^* = \min \left\{ \begin{aligned} &\theta | y_k \leq \sum_{i=1}^n r_i y_i, \theta x_k \geq \sum_{i=1}^n r_i x_{kb}^*; \theta > 0; \\ &\sum_{i=1}^n r_i = 1; r_i \geq 0, i=1, \dots, n \end{aligned} \right\}$$

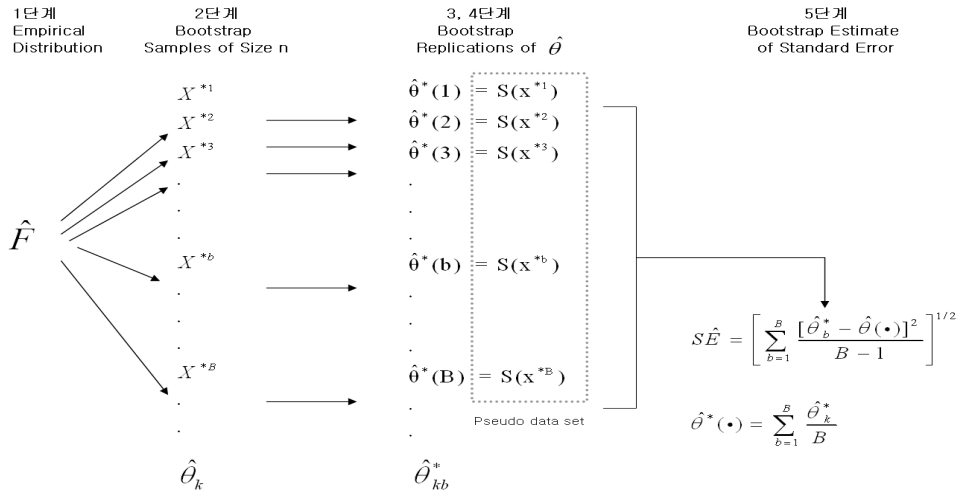
5)  $\{\hat{\theta}_{kb}^* \mid b=1, \dots, n\}$ 을 추정하기 위해 2)부터 4)까지 B번 반복한다. Hall(1986)은 적절한 신뢰구간을 추출하기 위해 B=1000을 제안하였으며 Simar and Wilson(2000)에서는 반복하는 횟수를 2000번으로 제안하였다. 본 연구에서는 반복횟수를 1000번으로 시행하여 신뢰구간을 추정하였다.

부트스트랩 효율성 추정치를 B번 반복하여 구한 편의가 제거된 부트스트랩 추정량은 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 bias_D(\hat{\theta}_k) &= B^{-1} \sum_{b=1}^B \hat{\theta}_{kb}^* - \hat{\theta}_k \text{이고 } bias_k(\hat{\theta}_k) = \hat{\theta}_k^* - \hat{\theta}_k \text{일 때} \\
 \text{편의가 제거된 추정량 } \theta_k &= \hat{\theta}_k - bias_k(\hat{\theta}_k) = 2\hat{\theta}_k - \hat{\theta}_k^* = \\
 &= 2\hat{\theta}_k - B^{-1} \sum_{b=1}^B \hat{\theta}_{kb}^* \text{로 나타낼 수 있다. 또한 추정된 } \theta_k \text{에 대}
 \end{aligned}$$

한 신뢰구간은  $b=1, \dots, B$ 번 반복하여  $\hat{\theta}_k^* - \hat{\theta}_k$  값들을 큰 순서대로 정렬하고 전체 데이터 셋의 한쪽 끝에  $(\alpha/2 \times 100)$ 퍼센트를 제거한다. 또한 종료점에 대해서는  $(1-\alpha/2)$ 퍼센트 신뢰구간을 설정할 수 있다. 이는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.  $Prob(-b_a \leq \hat{\theta}_k - \theta_k \leq -\alpha) = 1-\alpha$ 일 때,  $b=1, \dots, B$ 번 반복하여 표본의 신뢰구간을 추정하면  $Prob(-b_a^* \leq \hat{\theta}_k^* - \hat{\theta}_k \leq -a_a^*) = 1-\alpha$ 로 다시  $Prob(\hat{\theta}_k + a_a^* \leq \theta_k \leq \hat{\theta}_k + b_a^*)$ 로 나타낼 수 있다.

<그림1>은 Efron and Tibshirani(1993)가 제시한 부트스트랩 과정이다.



<그림 1> 부트스트랩 과정

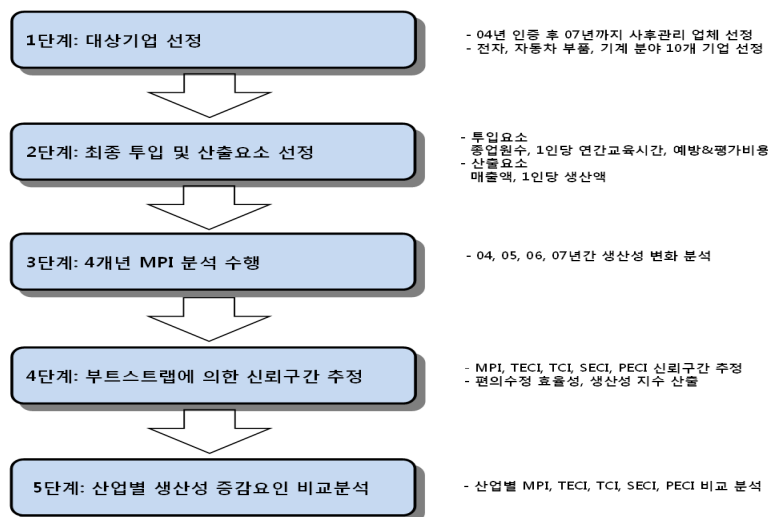
Efron and Tibshirani(1993), An Introduction to the Bootstrap, Chapman & Hall, p.48.

### 3. 연구설계

싱글PPM을 인증받은 국내 전자, 자동차부품, 기계 분야의 중소기업 10개사의 4년간 생산성 변화를 분석하기 위하여 다음과 같은 절차를 통해 연구를 수행하고자 한다.

1단계에서는 싱글PPM의 생산성 특징을 분석하기 위해 인증받은 기업만을 대상으로 4년간의 생산성 변화를 분석하기 위해 전자, 자동차부품, 기계분야의 10개 중소기업을 선정하여 분석 표본으로 이용하였다. 최종 투

입요소로 사용된 변수는 기업별 종업원 수, 연간 1인당 싱글PPM 관련 교육시간, 예방 및 평가비용으로 이용하였으며 산출요소는 매출액과 1인당 생산액으로 이용하였다. 3단계의 4개년 MPI분석은 싱글PPM인증기업의 첫해를 기준으로 인증 후 1년, 2년, 3년 후의 생산성 변화를 분석한 것으로 4개년 연도별 효율성 분석을 실시한 후 이를 기반으로 생산성의 변화를 제시하고자 한다. 즉, '04, '05, '06, '07년도의 효율성 분석을 수행하고 두 시점간의 효율성의 변화를 통해 산업별 생산성의 특징을 비교하고자 한다.



<그림 2> 연구절차

생산성 분석은 맘퀴스트 생산성 지수(MPI)를 분해하여 순수한 기술적 효율성변화지수(TECI), 기술변화지수(TCI), 순수한 효율성변화지수(PECI), 규모의 효율성 변화지수(SECI)로 분해하고자 한다. 이를 통해 산업별 특징을 분석하고자 한다.

4단계에서는 기존 DEA 모델에 의해 산출된 효율성 및 생산성 결과에 대한 통계적 추정을 위해 부트스트랩 기법을 이용하여 신뢰구간을 제시하고 편의(bias)가 수정된 효율성 및 생산성 지수를 통하여 산업별 생산성의 증감 요인을 비교하고자 한다. 부트스트래핑에는 몬테 카를로 시뮬레이션을 사용하여 복원추출을 실시하였다.

## 4. 분석결과

### 4.1 연도별 효율성 분석결과

특정 시점에서의 생산성 분석에 앞서 4개년의 연도별 효율성 평가를 실시하였다. 효율성 분석에는 순수한 기술적 효율성(PTE)을 나타내는 BCC 모델과 규모의 효율성을 나타내는 SE모델을 이용하였다. BCC와 SE모델에 의해 효율성을 분석한 이유는 CCR 모델의 경우 기술적 효율성과 규모의 효율성이 서로 구분되지 않고 합쳐져서 비효율성이 어느 부분에서 발생하는 지를 판단 할 수 없는 문제가 있다. 즉, 의사결정단위(DMU)의 효율성 평가 값이 투입을 산출로 변환하는 능력인 기술적 효율성에 의해 나타난 효율성 값인지 기업의 규모에 의해 나타난 효율성 값인지 알 수 없기 때문에 순수한 기술적 효율성을 나타내는 BCC모델을 활용하였으며(Odeck, 2009) 중소기업의 경우 기업의 규모나 투입 및 산출요소를 고려한 효율성이 매우 중요한 요소이기 때문에 규모에 의한 효율성을 이용하였다. 규모의 효율성은 총체적인 효율성인 CCR 모델을 BCC 모델로 나누어서 산출할 수 있다.

전자, 자동차부품, 기계분야의 연도별 효율성 분석결과는 <표 1>로 전자 산업 10개 기업의 연간 평균 효율성은 4개년 모두 '1' 이하로 나타나 비효율적인 것으로 나타났다. 규모의 효율성은 순수한 기술적 효율성 값보다 전반적으로 더 낮게 나타났다. 즉, 투입요소를 산출요소로 변환하는 능력에 비해 규모의 효율성은 04년을 제외하고 모두 BCC 모델에 의한 효율성 값보다 낮게 나타났다. 또한 부트스트래핑에 의한 신뢰구간 추정 결과 BCC\_04년에는 신뢰구간이 0.8311-0.9954인 반면 2차년인 BCC\_05년에는 0.6603-1로 나타나 10개 기업의 효율성값의 격차가 큰 것을 알 수 있다. 반면에 규모에 의한

효율성 값(SE)의 신뢰구간은 BCC 모델에 의한 신뢰구간과는 달리 1차년부터 4차년까지 안정적으로 나타나고 있다. 즉, BCC 모델의 효율성 값의 편차가 큰 반면 규모의 효율성이 편차가 안정적인 이유는 개별 DMU가 투입자원을 산출자원으로 변환하는 능력에 의해 효율성이 차이가 나더라도 기업의 규모를 고려한 효율성 측면에서는 큰 차이가 나타나지 않아 기업별로 비슷한 수준에서 운영되는 것을 알 수 있다. 이러한 특징들을 중심으로 전자, 자동차부품, 기계 산업들을 비교하면 자동차부품과 기계분야 중소기업의 경우 전자 산업의 중소기업들과는 기술적 효율성 값이 규모의 효율성 값보다 전반적으로 낮게 나타나고 있다.

즉, 투입자원을 산출자원으로 변환하는 능력이 기업의 규모를 고려한 효율적 능력에 비해 낮게 나타나고 있다. 하지만 이러한 연도별 단편적인 효율성 분석만 가지고는 효율성의 변화나 특성을 분석할 때 해석의 오류를 가져올 수 있어 반드시 효율성의 변화요인을 분석해야 한다.

DMU별 4년 평균 기술적 효율성을 분석한 결과에서는 전자산업의 경우 효율적인 기업은 산업의 평균 효율성보다 기술적 효율성에서는 8.7%, 규모의 효율성에서는 12.8% 높게 나타났으며(F5, F8) 자동차부품 산업에서는 기술적 효율성에서 5%, 규모의 효율성에서 2% 높게 나타났다.(F1, F5, F7, F10)

기계 산업에서는 F5, F9 기업이 기술적 효율성에서는 14.7%, 규모의 효율성에서는 6% 더 효율적인 것으로 나타났다.

전자산업의 효율성 값에 대한 신뢰구간을 보면 기술적 효율성과 규모의 효율성의 신뢰구간이 다른 산업에 비해 넓게 나타나고 있어 기업 간 격차가 큰 것을 알 수 있다.

자동차부품 산업의 경우 기술적 효율성 값과 규모의 효율성값의 신뢰구간이 매우 작게 나타나 각 DMU별 운영 수준의 차이가 크지 않은 것을 알 수 있으며 비효율적인 F4는 8%, F6은 7.8%, F8은 6.6%, F9는 6.9% 정도 산업의 평균보다 비효율적인 것으로 나타났다. 각 DMU별 4개년 평균 효율성 분석 결과는 <표 2>와 같다.

### 4.2 기간별 생산성 및 4개년 평균 생산성 분석

다음은 싱글PPM인증기업의 생산성을 분석한 결과로 T1: 04-05, T2: 05-06, T3: 06-07년간의 생산성을 맘퀴스트 생산성 지수(MPI)를 이용하여 분석하였으며 이를 다시 기술적 효율성 변화지수(TECI), 기술변화지수(TCI), 순수한 효율성변화지수(PECI), 규모효율성지수(SECI)로 분해하여 특성을 비교하였다. 산업별 분석결과는 <표 2>와 같다.

<표 1> 연도별 부트스트랩 효율성 분석결과(PTE, SE), 투입지향모델

구분	통계량	연도별 효율성 분석(PTE)				연도별 효율성 분석(SE)				
		BCC_04	BCC_05	BCC_06	BCC_07	SE_04	SE_05	SE_06	SE_07	
전자	최소	0.5825	0.3901	0.8580	0.7939	0.6160	0.5578	0.4424	0.3014	
	평균	0.9225	0.8311	0.9750	0.9731	0.9183	0.8672	0.8991	0.8400	
	SD	0.1540	0.2730	0.0534	0.0649	0.1498	0.1527	0.1869	0.2378	
	부트스트랩									
	편의수정 효율성	0.9232	0.8276	0.9743	0.9739	0.9167	0.8676	0.9008	0.8434	
	편의(bias)	-0.0007	0.0034	0.0006	-0.0008	0.0016	-0.0004	-0.0018	-0.0034	
	신뢰구간(5%)									
	하한	0.8311	0.6603	0.9465	0.9248	0.8060	0.7605	0.7646	0.6809	
	상한	0.9954	1.0000	1.0000	1.0000	0.9976	0.9558	0.9950	0.9563	
	자동차부품	최소	0.5691	0.8219	0.9116	0.7961	0.7756	0.9904	0.9620	0.9483
		평균	0.9164	0.9526	0.9845	0.9627	0.9394	0.9972	0.9952	0.9882
		SD	0.1552	0.0776	0.0331	0.0791	0.0765	0.0044	0.0118	0.0177
부트스트랩										
편의수정 효율성		0.9162	0.9513	0.9842	0.9621	0.9408	0.9972	0.9950	0.9880	
편의(bias)		0.0002	0.0013	0.0003	0.0006	-0.0014	0.0001	0.0002	0.0002	
신뢰구간(5%)										
하한		0.8107	0.8965	0.9639	0.9219	0.8909	0.9943	0.9848	0.9751	
상한		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9757	1.0000	1.0000	0.9981	
기계		최소	0.5507	0.2232	0.3004	0.3293	0.7351	0.7820	0.5701	0.8674
		평균	0.9196	0.8570	0.8286	0.8714	0.9542	0.9307	0.9225	0.9665
		SD	0.1710	0.2610	0.2362	0.2321	0.0902	0.0795	0.1325	0.0545
	부트스트랩									
	편의수정 효율성	0.9196	0.8578	0.8301	0.8728	0.9532	0.9298	0.9238	0.9671	
	편의(bias)	0.0000	-0.0009	-0.0015	-0.0014	0.0010	0.0009	-0.0014	-0.0006	
	신뢰구간(5%)									
	하한	0.8203	0.6532	0.6947	0.7427	0.9053	0.8822	0.8179	0.9203	
	상한	1.0000	0.9900	0.9376	0.9766	0.9956	0.9776	0.9876	0.9996	

<표 2>기업별 4년 평균효율성분석결과(PTE, SE)

4년간 평균 효율성분석(PTE, SE)						
기업	전자		자동차부품		기계	
	BCC(04-07)	SE(04-07)	BCC(04-07)	SE(04-07)	BCC(04-07)	SE(04-07)
F1	0.69016	0.83474	1.00000	1.00000	0.92903	0.99283
F2	0.71986	0.98506	1.00000	0.99019	0.86145	0.91312
F3	1.00000	0.93921	1.00000	0.95737	0.76051	0.94048
F4	0.76945	0.83061	0.86854	0.93193	0.84020	0.94073
F5	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
F6	0.99665	0.52223	0.87094	0.96476	0.38547	0.82555
F7	1.00000	0.88593	1.00000	1.00000	1.00000	0.94037
F8	1.00000	1.00000	0.88339	0.97157	0.85263	0.88342
F9	1.00000	0.97081	0.88014	0.97565	1.00000	1.00000
F10	0.96041	0.73764	1.00000	1.00000	0.88669	0.96152
통계량						
최소	0.69016	0.52223	0.86854	0.93193	0.38550	0.82550
평균	0.91365	0.87062	0.95030	0.97915	0.85159	0.93979
표준편차	0.13109	0.15037	0.06429	0.02319	0.18229	0.05526
부트스트랩						
편의수정 효율성	0.91270	0.87167	0.94969	0.97940	0.85276	0.93980
편의(bias)	0.00095	-0.00105	0.00062	-0.00026	-0.00117	-0.00001
신뢰구간(5%)						
하한	0.82916	0.76180	0.90446	0.96478	0.70376	0.90226
상한	0.99256	0.95154	0.98834	0.99095	0.94247	0.97124

세부적인 분석결과에 앞서 맘퀴스트 생산성 지수(MPI)를 구성하는 4개 지수(TECI, TCI, PECI, SECI)에 대해 설명하고자 한다.

맘퀴스트생산성지수(MPI)는 식(6), 식(7)에 제시한 것처럼 기술적 효율성변화지수(TECI- catchup effect)와 기술변화지수(TCI)의 곱에 의해 계산되며 기술적 효율성변화지수(TECI)는 순수한 효율성변화지수(PECI)와 규모효율성지수(SECI)의 곱에 의해 계산된다.

기술변화지수(TCI)는 DMU의 기술혁신에 의한 생산성 증대를 의미하며 조직의 혁신적 생산기술의 영향으로 생산성이 증대한 것을 의미한다. 부연설명하면 효율적 프론티어로의 이동이 생산성 향상에 어떻게 기여했는지를 평가하는 척도이다(frontier shift effect). 이러한 기술변화지수(TCI)의 변화는 주로 조직의 지식의 증

가나 기술수준이 향상되면서 발생하거나 정부정책과 같은 외생적 요인에 의해 발생하기도 한다. 다음은 규모의 경제에 의한 생산성 증대를 나타내는 규모효율성 변화지수(SECI)로 특정기간 동안의 DMU의 투입 및 산출자원 등 기업의 투입/산출 능력이나 특성을 고려한 효율성 변화지수이다. 또한 순수한 기술적 효율성 변화지수인 PECI는 투입을 산출로 변환하는 순수한 능력의 변화 수준을 평가하는 척도이다.

전자 산업의 경우 기간별 생산성의 변화를 보면 T1 기간에는 전체 생산성이 220% 증가한 것으로 나타났지만 T2 기간에는 전년기간에 비해 생산성이 둔화되는 것으로(0.8727)로 나타났다. 즉 초기의 비합리적 생산 방식이나 높은 불량률 등을 고치기 위한 노력이 바로 생산성 향상에 반영되어 인증 후 1차년에 생산성이 크



게 향상된 것으로 볼 수 있다 하지만 인증 2차년부터는 전체 생산성의 향상이 전년에 비해 크지 않아 도리어 생산성의 평가는 낮게 나타난 것으로 볼 수 있다. 그리고 인증 후 3년 후에는 다시 전년간에 비해 생산성이 소폭 상승하는 것으로 나타났다.

기간별 생산성 분석에 대한 좀 더 자세하게 설명하자면 전자 산업의 경우 T1기간은 투입자원을 산출자원으로 변화하는 기술적 효율성변화지수(TECI)와 기술변화지수(TCI)가 모두 '1' 이상으로 나타나 T1 기간의 생산성을 높이게 되었으며 다른 산업에 비해 투입자원을 산출자원으로 변환하는 지수인 TECI나 기술변화지수인 TCI가 높게 나타나고 있다. 특히, TCI가 높게 나타나는 것은 하이테크 산업의 경우 혁신적 기술능력이나 R&D 능력이 효율성 프론티어로의 이동에 많은 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다.

분석결과를 기준으로 개별 기업들을 특성을 분류하면 지속적으로 상승한 경우는 없는 것으로 나타났으며 T1기간 동안 F7(0.7124)을 제외한 대부분의 기업들의 생산성이 향상되었고 T2 감소 T3 소폭 상승하는 경향을 나타내고 있다. 특히 F4, F5 기업의 경우 T1기간 동안 500%, 400%가 넘게 생산성이 향상된 것으로 나타났다.

규모효율성지수(SECI)와 순수한 기술적 효율성지수(PECI)의 곱인 기술적 효율성변화지수(TECI)는 기업의 생산성의 특성을 설명하는 척도로 볼 수 있는데 F5, F8의 경우는 전년 대비 생산성의 변화가 없는 것으로 나타났지만 대부분의 기업들은 T1 상승, T2 감소, T3 소폭 상승하는 경향을 보이고 있다.

F3기업의 경우는 인증 첫해인 T1에는 생산성에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났으며 T2 기간에도 전년대비 큰 변화가 없어 '1'로 나타났지만 T3 기간에서는 생산성이 향상된 것으로 나타났다.

기술적 혁신성을 나타내는 기술변화지수(TCI)는 조직의 특징을 나타내는 지수로 F5기업의 경우 SECI와 PEGI의 수준을 나타내는 기술적 효율성변화지수(TECI)가 '1'인 반면에 기술변화지수(TCI)는 4.3271로 나타나 주로 조직의 기술적 혁신이나 지식의 습득이 전체 생산성을 만들어 내는 것으로 나타났다, 즉, T1 기간의 430%의 생산성 향상은 규모효율성지수(SECI)나 순수한 기술적 효율성지수(PECI)에 의해 증가된 것이 아니라 기술적 진보나 혁신에 의해 생산성이 향상된 것으로 나타났다. F2 기업의 경우는 싱글PPM인증 후 첫해인 T1기간의 규모효율성지수(SECI)나 순수한 기술적 효

율성지수(PECI) 곱에 의해 전체 생산성이 85% 향상되었지만 기술적 변화를 나타내는 기술변화지수가 '1'이하인 0.8471로 나타나 전체 생산성인 MPI는 57% 향상된 1.575로 나타났다. 이러한 기업의 경우 기술변화지수(TCI)에 대한 생산성을 높이는 것이 전체 생산성(MPI)을 높이는 방법이다.

자동차부품 산업의 경우도 T1기간에서 T2 기간에서는 소폭 상승하였지만 T2-T3 기간에서는 소폭 감소하는 경향을 보이고 있다. 특히, F3, F6, F10의 경우는 T1-T3기간 내내 생산성이 하락하는 것으로 나타났다. 이러한 기업들에 대해서는 철저한 관리와 인증 후 사후심사 제도를 강화해야 할 것이다.

자동차부품 산업의 경우 전체 생산성의 향상은 주로 기술혁신에 의해 이루어지고 있다. 이는 기술변화지수(TCI)의 기간별 평균값이 대체로 '1' 이상으로 나타나 생산성에 많은 영향을 미치지만 기술적 효율성변화지수(TECI)가 주로 '1' 이하로 나타나 전체 생산성 지수인 MPI를 낮추는 것으로 나타났다. 또한 10개 기업의 기간별 생산성지수의 표준편차가 작을수록 전체 DMU간 기술수준이나 혁신의 수준이 차이가 적은 것으로 볼 수 있다. 자동차부품 산업의 경우는 다른 산업과 달리 개별 기업들의 생산성 격차가 크지 않은 것으로 나타났다.

자동차부품 산업의 경우 기간별 MPI가 '1' 이하로 나타나 싱글PPM품질혁신운동이 기업의 생산성에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 나타났지만 맘퀴스트 생산성지수(MPI)를 기술효율성변화지수(TECI)와 기술변화지수(TCI)로 분해하면 그 효과를 좀 더 구체적으로 알 수 있다.

특히 자동차부품 산업의 경우 투입자원을 산출자원으로 변환하는 능력을 나타내는 TECI의 경우 T1, T2, T3 기간에서 지속적으로 생산성이 향상되고 있으며 T3기간에서는 1.0347로 나타나고 있다. 또한 기술변화지수인 TCI의 경우도 T1, T2에서 모두 '1' 이상인 것으로 나타났으며 T3 기간에서만 '1'이하로 나타나고 있다. 즉, 싱글PPM품질혁신운동 인증 후 기업의 생산능력은 점차 향상되고 기업 간 격차도 작아 자동차부품산업에서 싱글PPM품질혁신운동은 점차 정착화 되어가고 있다고 볼 수 있다. 이러한 특성은 상대적으로 가장 낮은 생산성 효과를 나타내고 있는 기계 산업에서도 같은 경향이 나타났다. 이러한 분석결과는 인증기업들의 사후 관리심사를 수행하는 주관기관에 있어서는 매우 유익한 정보라 할 수 있다.

<표 3> 기간별 생산성 분석-투입지향모델

산업/기업		기간별 생산성 분석(T1: 04-05, T2: 05-06, T3: 06-07)								
		MPL_T1	MPL_T2	MPL_T3	TECI_T1	TECI_T2	TECI_T3	TCL_T1	TCL_T2	TCL_T3
전자	F1	1.4207	0.4844	1.6646	1.4151	0.4471	1.4702	1.0039	1.0834	1.1323
	F2	1.5750	0.2525	1.0090	1.8592	0.3688	1.0000	0.8471	0.6846	1.0090
	F3	1.0162	0.7822	1.6418	0.9843	1.0000	1.2649	1.0325	0.7822	1.2979
	F4	5.0249	0.3914	0.8055	1.9962	0.3934	0.9062	2.5172	0.9947	0.8889
	F5	4.3271	0.9534	1.0924	1.0000	1.0000	1.0000	4.3271	0.9534	1.0924
	F6	2.5161	1.2496	1.3346	1.7927	1.2608	1.4877	1.4035	0.9911	0.8971
	F7	0.7124	0.8958	0.7835	0.6160	1.0000	1.0000	1.1564	0.8958	0.7835
	F8	1.2088	1.3196	0.5965	1.0000	1.0000	1.0000	1.2088	1.3196	0.5965
	F9	2.8097	1.1705	0.9961	1.1258	0.8883	1.0000	2.4957	1.3178	0.9961
	F10	1.5855	1.2555	0.9228	1.3020	1.1515	1.0614	1.2178	1.0903	0.8695
통계량	최소	0.7124	0.2525	0.5965	0.6160	0.3688	0.9062	0.8471	0.6846	0.5965
	최대	5.0249	1.3196	1.6646	1.9962	1.2608	1.4877	4.3271	1.3196	1.2979
	평균	2.2196	0.8755	1.0847	1.3091	0.8510	1.1190	1.7210	1.0113	0.9563
	SD	1.4508	0.3886	0.3584	0.4510	0.3255	0.2108	1.0910	0.2047	0.1959
부트스트랩										
편의수정 생산성		2.1976	0.8727	1.0830	1.3091	0.8476	1.1182	1.7023	1.0112	0.9552
편의(bias)		0.0220	0.0028	0.0017	0.0000	0.0034	0.0009	0.0187	0.0001	0.0011
신뢰구간 (5%)	하한	1.2682	0.6044	0.8916	1.0575	0.6543	1.0077	1.1120	0.8981	0.8202
	상한	3.4841	1.1192	1.2907	1.5725	1.0336	1.2463	2.6882	1.1380	1.0841
자동차 부품	F1	0.6897	1.1138	0.8134	1.0000	1.0000	1.0000	0.6897	1.1138	0.8134
	F2	1.0111	1.1820	0.7074	0.9613	1.0000	1.0000	1.0518	1.1820	0.7074
	F3	1.0503	0.7066	0.6341	0.8401	1.0000	1.0000	1.2502	0.7066	0.6341
	F4	0.6162	1.1986	1.1221	0.4414	1.0000	1.0283	1.3960	1.1986	1.0912
	F5	0.9150	1.0030	0.9643	1.0000	1.0000	1.0000	0.9150	1.0030	0.9643
	F6	0.8595	0.8283	0.7682	0.8245	0.8462	1.0145	1.0424	0.9789	0.7572
	F7	0.9698	0.9982	0.8324	1.0000	1.0000	1.0000	0.9698	0.9982	0.8324
	F8	0.9514	0.9760	0.8769	0.9445	0.9364	1.1375	1.0073	1.0423	0.7709
	F9	0.9440	0.9051	0.9107	1.1478	0.9035	1.1647	0.8225	1.0019	0.7819
	F10	1.3973	1.0544	0.7866	1.0000	1.0000	1.0000	1.3973	1.0544	0.7866
통계량	최소	0.6162	0.7066	0.6341	0.4414	0.8462	1.0000	0.6897	0.7066	0.6341
	최대	1.3973	1.1986	1.1221	1.1478	1.0000	1.1647	1.3973	1.1986	1.0912
	평균	0.9404	0.9966	0.8416	0.9160	0.9686	1.0345	1.0542	1.0280	0.8139
	SD	0.2113	0.1540	0.1375	0.1898	0.0549	0.0625	0.2330	0.1370	0.1293
부트스트랩										
편의수정 생산성		0.9426	0.9931	0.8394	0.9195	0.9683	1.0347	1.0514	1.0247	0.8116
편의(bias)		-0.0022	0.0035	0.0022	-0.0036	0.0003	-0.0002	0.0028	0.0033	0.0023
신뢰구간 (5%)	하한	0.8231	0.8901	0.7609	0.7919	0.9208	1.0057	0.9093	0.9334	0.7393
	상한	1.0658	1.1019	0.9369	1.0059	1.0000	1.0647	1.2173	1.1126	0.9037
기계	F1	0.0879	2.5649	0.7363	1.0140	1.3438	0.7339	0.0867	1.9087	1.0033
	F2	0.0594	1.0506	1.0355	0.5836	0.9693	1.0724	0.1017	1.0838	0.9655
	F3	0.1142	2.5466	1.0085	1.1769	1.5545	0.9700	0.0970	1.6382	1.0397
	F4	0.1606	0.7525	0.8104	1.4807	0.7218	0.7968	0.1085	1.0426	1.0170
	F5	0.0732	1.2061	1.0729	1.0000	1.0000	1.0000	0.0732	1.2061	1.0729
	F6	0.6674	1.0908	0.5685	4.8881	1.1947	0.5850	0.1365	0.9131	0.9718
	F7	0.1435	0.6024	1.1671	1.2788	0.7820	1.0000	0.1122	0.7703	1.1671
	F8	0.0757	1.2533	0.8231	0.6981	0.6790	1.0000	0.1085	1.8456	0.8231
	F9	0.0579	1.8141	1.1249	1.0000	1.0000	1.0000	0.0579	1.8141	1.1249
	F10	0.1135	4.1235	1.0154	1.0000	1.4463	0.9048	0.1135	2.8510	1.1223
통계량	최소	0.0579	0.6024	0.5685	0.5836	0.6790	0.5850	0.0579	0.7703	0.8231
	최대	0.6674	4.1235	1.1671	4.8881	1.5545	1.0724	0.1365	2.8510	1.1671
	평균	0.1553	1.7005	0.9363	1.4120	1.0691	0.9063	0.0996	1.5074	1.0308
	SD	0.1832	1.0899	0.1923	1.2483	0.3062	0.1534	0.0223	0.6302	0.0997
부트스트랩										
편의수정 생산성		0.1567	1.7042	0.9338	1.4227	1.0707	0.9035	0.0995	1.5081	1.0311
편의(bias)		-0.0014	-0.0037	0.0024	-0.0107	-0.0015	0.0028	0.0000	-0.0007	-0.0004
신뢰구간 (5%)	하한	0.0887	1.1581	0.7796	0.9612	0.8979	0.7809	0.0853	1.1828	0.9472
	상한	0.2369	2.3699	1.0821	1.9384	1.2459	1.0061	0.1120	1.8907	1.1049

<표 4> 4년 평균 생산성 분석(전자, 자동차부품)

기업	4개년 평균 생산성 분석(04-07)									
	전자					자동차부품				
	MPI	TECI	TCI	SECI	PECI	MPI	TECI	TCI	SECI	PECI
F1	1.0463	0.9762	1.0719	1.0823	0.9019	0.8549	1.0000	0.8549	1.0000	1.0000
F2	0.7376	0.8818	0.8364	0.9986	0.8830	0.9455	0.9869	0.9581	0.9869	1.0000
F3	1.0928	1.0758	1.0158	1.0758	1.0000	0.7778	0.9436	0.8243	0.9436	1.0000
F4	1.1657	0.8928	1.3056	0.8777	1.0172	0.9393	0.7685	1.2223	0.9274	0.8287
F5	1.6518	1.0000	1.6518	1.0000	1.0000	0.9601	1.0000	0.9601	1.0000	1.0000
F6	1.6129	1.4982	1.0766	1.4915	1.0045	0.8178	0.8912	0.9176	1.0037	0.8879
F7	0.7937	0.8509	0.9328	0.8509	1.0000	0.9306	1.0000	0.9306	1.0000	1.0000
F8	0.9835	1.0000	0.9835	1.0000	1.0000	0.9338	1.0020	0.9319	0.9774	1.0252
F9	1.4852	1.0000	1.4852	1.0000	1.0000	0.9198	1.0649	0.8637	0.9870	1.0790
F10	1.2247	1.1675	1.0490	1.1858	0.9845	1.0504	1.0000	1.0504	1.0000	1.0000
통계량										
최소	0.7376	0.8509	0.8364	0.8509	0.8830	0.7778	0.7685	0.8243	0.9274	0.8287
최대	1.6518	1.4982	1.6518	1.4915	1.0172	1.0504	1.0649	1.2223	1.0037	1.0790
평균	1.1794	1.0343	1.1409	1.0563	0.9791	0.9130	0.9657	0.9514	0.9826	0.9821
SD	0.3187	0.1881	0.2583	0.1808	0.0466	0.0777	0.0825	0.1147	0.0264	0.0712
부트스트랩										
편의수정 생산성	1.1730	1.0322	1.1366	1.0603	0.9790	0.9121	0.9673	0.9486	0.9828	0.9819
편의(bias)	0.0065	0.0021	0.0043	-0.004	0.0001	0.0009	-0.0015	0.0028	-0.0002	0.0002
신뢰구간(5%)										
하한	0.9594	0.9459	0.9745	0.9688	0.9441	0.8628	0.9145	0.8823	0.9637	0.9341
상한	1.4314	1.1418	1.3666	1.1543	1.0039	0.9697	1.0052	1.0567	0.9968	1.0237

<표 5> 4년 평균 생산성 분석(기계)

기업	4개년평균생산성분석(04-07)				
	기계				
	MPI	TECI	TCI	SECI	PECI
F1	0.5495	1.0000	0.5495	1.0000	1.0000
F2	0.4012	0.8465	0.4740	1.0327	0.8197
F3	0.6643	1.2107	0.5487	1.0317	1.1735
F4	0.4610	0.9479	0.4863	0.9479	1.0000
F5	0.4559	1.0000	0.4559	1.0000	1.0000
F6	0.7452	1.5061	0.4948	1.0401	1.4480
F7	0.4656	1.0000	0.4656	1.0000	1.0000
F8	0.4275	0.7797	0.5482	0.9025	0.8639
F9	0.4908	1.0000	0.4908	1.0000	1.0000
F10	0.7804	1.0938	0.7134	1.0006	1.0931
통계량					
최소	0.4012	0.7797	0.4559	0.9025	0.8197
최대	0.7804	1.5061	0.7134	1.0401	1.4480
평균	0.5441	1.0385	0.5227	0.9956	1.0398
SD	0.1368	0.2026	0.0757	0.0418	0.1747
부트스트랩					
편의수정 생산성	0.5449	1.0398	0.5228	0.9964	1.0418
편의(bias)	-0.0007	-0.0014	0.0000	-0.0009	-0.0020
신뢰구간(5%)					
하한	0.4776	0.9452	0.4880	0.9690	0.9676
상한	0.6144	1.1405	0.5689	1.0160	1.1201

기계 산업의 경우는 싱글PPM인증 후 1차년인 T1 기간 동안 생산성이 매우 낮게 나타나고 있다. 이러한 요인은 다른 산업에 비해 현저하게 낮은 기술변화지수(TCI)에 기인하는 것으로 T1기간의 기업별 기술적 효율성변화지수(TECI)의 평균이 1.4227인 반면 기술변화지수(TCI)는 0.0996으로 전체 생산성(MPI)을 낮추고 있다. 전체 분석결과는 <표 3>, <표 4>, <표 5>와 같다.

산업별 싱글PPM인증 후 생산성의 변화를 분석한 결과 전자 산업의 경우는 17.3% 생산성이 향상되었으며 자동차부품과 기계 산업에는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

전자 산업의 경우 전체 생산성(MPI)의 17.3% 상승은 기술적 효율성 변화지수(TECI), 기술변화지수(TCI), 규모효율성변화지수(SECI) 모두 '1' 이상으로 나타났다. 하지만 순수한 기술적 효율성변화지수(PECI)는 '1'보다 낮게 나타나 전체 생산성을 감소시키는 것으로 나타났다. T1, T2, T3 기간별 맘퀴스트 생산성 지수(MPI)의 표준편차가 점차 감소하고 있어 싱글 PPM인증 기업의 기업 간 차이가 작아지면서 점차 정착되어 가는 것으로 볼 수 있다. 이러한 경우 투입을 산출로 변환하는 순수한 능력(PECI)을 증가시키면 전체 생산성을 더욱 향상시킬 수 있다. 반면 자동차부품 산업과 기계 산업에서의 생산성 감소요인은 주로 기술변화지수(TCI)에 의해 발생하는 것으로 나타났다.

자동차부품, 기계 산업과 달리 전자 산업의 경우는 조직혁신이나 생산기술혁신이 전체 생산성의 동인으로 작용하고 있어 산업별 특성이 반영된 결과가 나타났다.

기계 산업에서는 기술변화지수(TCI)와 규모효율성지수(SECI)가 '1'보다 작게 나타나 전체 생산성지수(MPI)를 낮추는 것으로 나타났다. 즉, 기계 산업에서는 기업이 새로운 생산기술의 습득이나 공정기술, 자동화 기계 등으로의 교체를 통해 기술적 효율성변화지수(TECI)의 향상과 더불어 기술변화지수(TCI)를 높일 수 있다. 이를 통해 전체 생산성을 향상시킬 수 있다. 이러한 변화를 위해 중소기업의 생산성 향상을 위한 정책적인 지원이나 관리가 우선적으로 이루어져야 할 것이다.

이러한 분석결과를 기반으로 싱글PPM인증 기업의 운영측면의 가이드라인과 주관기관에 관리적 시사점을 제시하기 위해 생산성 관리메트릭스(MTT Matrix)를 제시하고자 한다.

생산성 관리메트릭스(MTT Matrix)는 기업의 투입 자원을 산출요소로 변환하는 능력인 기술적 효율성 변화지수(TECI)와 조직의 기술변화 또는 기술 혁신의 수

준이 효율성 프로티어로의 이동에 기여하는 정도를 나타낸 기술변화지수(TCI)를 이용하여 기업의 특성을 비교하고자 한다. Y축은 TCI와 TECI의 산업평균으로 선정하였으며 X축은 MPI의 산업평균을 이용하였다. MPI-TECI 분석은 개별 기업을 ●로 표시하였으며 MPI-TCI는 개별 기업을 ◆로 표기하였다. 동일한 사분면에 해당되는 기업의 경우는 ●, ◆ 짝을 이루게 된다. 전자 산업을 기준으로 MTT 매트릭스를 설명하고자 한다.

- Type 1: 산업의 평균 생산성보다 MPI, TECI, TCI가 높은 경우로 산업의 베스트 프랙티스에 해당되며 지속적인 모니터링을 통하여 현상을 유지하는 것이 중요하다. 전자 산업의 경우 1개의 기업도 나타나지 않았다.

- Type 2: MPI가 산업의 평균 생산성보다 낮지만 TCI, TECI는 산업의 평균선 보다 높은 경우로 TYPE 2는 매트릭스 상에서는 분류되었지만 실제로는 존재하지 않는 가상의 유형이다.

- Type 3: MPI는 낮지만 투입을 산출로 변환하는 TECI가 산업의 평균보다 높고 TCI는 산업 평균보다 낮은 경우로 MPI가 산업평균보다 낮은 이유는 산업평균보다 낮은 TCI의 영향으로 볼 수 있다.

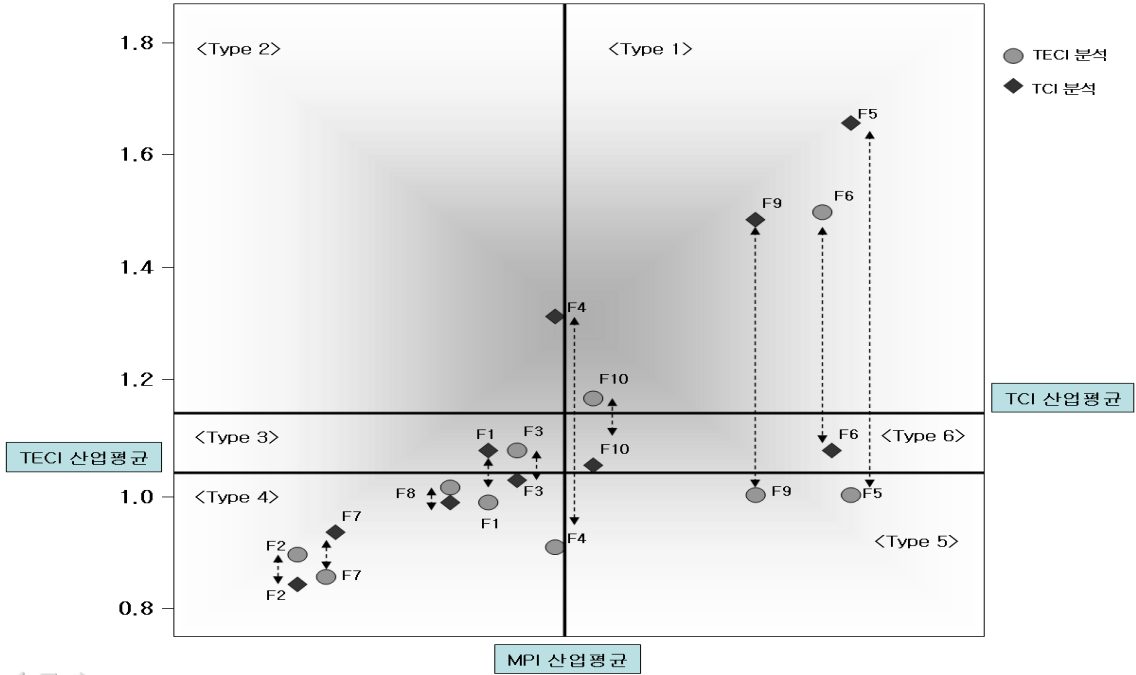
- Type 4: MPI, TECI, TCI 모두가 산업의 평균선보다 낮은 경우에 해당하며 E2, E7, E8 기업이 나타났다. 이러한 경우는 우선적으로 투입을 산출로 변환하는 TECI를 높여 Type 3이나 Type 5로 이동하기 위한 작업이 선행되어야 한다. 이러한 변화를 위해서는 주관기관의 적극적인 지원이 필요하다.

- Type 5: 산업의 평균선보다 생산성은 높지만 TECI, TCI가 모두 낮은 경우로 MTT 매트릭스에서 나타나는 가상의 유형이다.

- Type 6: 산업의 평균보다 생산성이 높고 생산성의 향상 효과는 주로 TECI에서 발생하며 TCI는 낮은 생산성 기여도로 인해 기업의 MPI를 낮추는 경우로, 우선적으로 TCI를 높이면 MPI의 생산성 향상효과를 극대화할 수 있다. MTT 매트릭스에 의한 주관기관과 운영기업측면의 관리방안을 제시하면 다음과 같다

## 5. 요약 및 결론

본 연구는 국내 한국형 품질 혁신운동인 싱글PPM품질운동을 인증받은 전자, 자동차부품, 기계 분야의 10개 중소기업을 대상으로 인증 후 3년간의 생산성의 변화를 분석하였다. 인증 후 3개년 동안의 생산성 분석을 통해 싱글PPM품질혁신운동의 효과를 제시하고 개별 기업에 있어 관리적 시사점을 제시하였다.



<그림 3> 생산성 관리매트릭스(MPI-TECI-TCI, MTT Matrix)

<표 6> 관리방안

유형	관리방안	
	주관기관	운영기업
TYPE 1	-산업의 베스트 프랙티스 선정, 보급 -지속적인 모니터링 제도 운영	-지속적 개선 활동을 통한 현상 유지 (공정 개선을 위한 분임조 활동 장려) -모기업과의 긴밀한 협업 관계 구축
TYPE 3, 6	-TCI를 높이기 위한 관리방안 제시 -싱글PPM관련 외부 전문가 교육 지원 -산업별 TCI를 높이기 위한 TF팀 운영	-지식공유 및 조직 생산성을 향상시키기 위한 분임조 활동 강화 -R&D팀 운영
TYPE 4	-공정개선을 위한 정책 자금 지원 -인적자원(전문가) 지원 -TECI를 높이기 위한 산업별 TF팀 구축	-공정의 생산성을 높이기 위한 관리 방안 제시 (생산설비 투자 증대, 프로세스 리모델링 등) -인당 생산성을 높이기 공정 개선 활동 -효율적인 인력관리 방안 제시 -업무 표준화 및 ISO 9001 인증

또한 생산성 변화 요인을 기술적 효율성 변화지수 (TECI), 기술변화지수(TCI), 순수한 기술적 효율성 변화지수(PECI), 규모효율성변화지수(SECI)로 분류하여 생산성 증감 요인을 제시하였다.

DEA모델에 의해 산출된 효율성 및 생산성 값에 대해 부트스트랩 기법을 적용하여 신뢰구간과 표준오차를 산출하여 통계적 유의미성을 제시하였다.

4개년의 동간의 평균생산성 분석결과를 기반으로

MTT 매트릭스를 제시하였으며 이를 통해 싱글PPM주관기관과 운영기업측면의 관리방안을 제시하였다. 앞서 제시한 본 연구의 분석결과를 토대로 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 연도별 효율성 분석결과 전자산업에서는 효율성 값에 의한 부트스트랩 신뢰구간이 넓게 나타난 반면 규모효율성의 신뢰구간은 좁게 나타났다. 즉, 투입자원을 산출자원으로 변환하는 능력에 의해 효율성이 차이

가 나더라도 기업의 규모를 고려한 효율성 측면에서는 큰 차이가 나타나지 않아 중소기업들의 운영수준에는 큰 차이가 나지 않고 비슷한 수준에서 운영되고 있는 것으로 나타났다.

자동차부품과 기계분야 중소기업의 경우에는 전자산업의 중소기업들과는 달리 기술적 효율성 값이 규모의 효율성 값보다 전반적으로 낮게 나타났다. 즉, 투입자원을 산출자원으로 변환하는 능력이 기업의 규모를 고려한 능력에 비해 낮게 나타나고 있다.

둘째, 각 DMU별 4년 평균 효율성 분석결과 전자산업에서 효율적인 기업은 산업 평균보다 기술적 효율성에서는 8.7%, 규모의 효율성에서는 12.8%가 더 효율적인 것으로 나타났다. 자동차부품 산업에서는 기술적 효율성에서 5%, 규모의 효율성에서는 2% 높게 나타났으며 기계 산업에서는 기술적 효율성에서 14.7%, 규모의 효율성에서 6% 더 효율적인 것으로 나타났다.

셋째, 산출된 연도별 효율성 값에 대해 부트스트래핑을 이용하여 각 효율성 값에 대한 신뢰구간을 산출하였으며 효율성 값에 대한 편의수정 효율성 값을 제시하였다. 전자산업과 기계 산업의 경우 4개년 평균 효율성 분석결과 자동차부품 산업에 비해 신뢰구간이 넓게 나타나고 있어 기업 간 효율성의 격차가 큰 것을 알 수 있다. 반면 자동차부품 산업의 경우 기술적 효율성 값과 규모의 효율성값의 신뢰구간이 매우 작게 나타나 각 DMU별 운영수준의 차이가 크지 않은 것을 알 수 있다.

넷째 기간별 생산성 분석결과 3개 산업에서 T1-T2 기간에서는 소폭 생산성이 상승하다 T2-T3 기간에서는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 전자산업에서는 4개년 평균 17%의 생산성 효과가 있었으며 자동차부품 및 기계 산업에서는 직접적인 생산성 변화는 나타나지 않았지만 기술적 효율성변화지수(TECI)와 기술변화지수(TCI)가 전반적으로 상승하고 있으며 기업별 생산성의 격차가 작아 장기적인 측면에서 볼 때 기업의 생산성 측면에서 유의한 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있다.

다섯째, 4개년 평균생산성 분석을 통해 싱글PPM인증 기업의 운영측면의 가이드라인과 주관기관의 관리적 시사점을 제시하기 위한 생산성 관리매트릭스(MTT Matrix)를 제시하였다. 고자 한다. 생산성 관리매트릭스는 기업의 투입자원을 산출요소로 변환하는 능력인 기술적 효율성 변화지수(TECI)와 조직의 기술변화 또는 기술 혁신의 수준이 효율성 프로티어에 기여하는 정도를 나타낸 기술변화지수(TCI)을 이용하여 기업의 특성을 비교하였다.

이상에서 설명한 결과를 토대로 본 연구의 의의를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 국내 3개 분야의 중소기업 중 싱글 PPM을 인증받은 10개 중소기업을 대상으로 생산성의 변화를 분석한 연구로 기존의 도입효과 내지 공정 개선 효과에 치중되었던 연구와는 달리 인증 효과의 상대적인 생산성 증감을 분석하여 산업의 특성을 제시하였다는 측면에서 기존 연구와 차별화되는 실무적 가치가 있다고 할 수 있다.

둘째, 기존의 DEA기법에 의한 효율성 및 생산성 분석과는 달리 부트스트래핑 기법을 이용하여 신뢰구간과 편의가 수정된 효율성 및 생산성 값을 제시하였다는 측면과 국내 3개 중소기업의 특성을 분석하여 생산성 감소 요인과 증감요인이 어느 부분에서 발생하는 지를 제시한 것은 기업의 실무적 가치뿐만 아니라 싱글PPM에 관한 연구의 다양성 측면에서도 의미가 있다고 할 수 있다. 특히, 싱글PPM의 인증효과를 생산성의 변화요인으로 분석한 것은 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다.

끝으로 본 연구의 한계점으로는 인증을 받고 지속적으로 재인증을 추진해온 중소기업만을 대상으로 분석을 실시하다보니 중소기업별 투입요소 및 산출요소의 기업별 상대적 차이가 일부 변수에서 발생하고 있는 점과 전체 표본의 수가 작아 투입/산출 변수의 선정에 있어 많은 변수를 사용하지 못한 점을 연구의 한계점으로 제시하고자 한다.

## 참고문헌

- [1] Caves, D. W., L. R. Christensen W. E. and E. Diewert(1982), The economic theory of index numbers and the malmquist of input and productivity, *Econometric*, Vol.50, no.6, pp.1939-1414.
- [2] Charnes, A, Cooper, W. W., Golany, B., Seiford, L. M., Stutz, J.(1985). "Foundations of data Envelopment analysis for Pareto-Koopman's efficient empirical production functions", *Journal of Econometrics*, Vol.30, pp.91-107.
- [3] Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes(1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol.2, no.6, pp. 429-444.
- [4] Cooper, W. W, Seiford, L. M, Zhu, J.(2004), *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publishers.

- [5] Efron, B and Tibshirani, R. J.(1993), *An Introduction to the Bootstrap*, Chapman & Hall.
- [6] Efron, B.(1979), Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife, *The Annals of Statistics*, Vol.7, pp.1-26.
- [7] Efron, B.(1981), "Nonparametric Estimates of standard error: The jackknife, the bootstrap and other methods", *Biometrika*, Vol.68, no.3, pp.589-599.
- [8] Färe, R., Grosskopf, S, and C.A.K. Lovell(1985), *Production Frontiers*. Cambridge University Press.
- [9] Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M. and Zang, Z.(1994), "Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries," *American Economic Review*, Vol.84, pp.66-83.
- [10] Färe. R., Grosskopf, S, R, Pontus(1998), *Malmquist productivity indexes: a survey of theory and practice*, In *Index Numbers: Essays in Honor of Sten Malmquist*, Kluwer Academic Publishers.
- [11] Hall, P,(1986), On the number of bootstrap simulations required to construct a confidence interval. *The Annals of Statistics*, Vol.14, pp.1453-1462.
- [12] Malmquist, S.(1953). Index Numbers and Indifference Surfaces, *Trabajos de Estadística*, Vol.4, pp.209-242.
- [13] Odeck, J.(2009), Statistical Precision of DEA and Malmquist indices: A bootstrap application to Norwegian grain producers, *Omega*, Vol.37, pp.1007-1017.
- [14] Simar, L., Wilson, P. W.(1998), Sensitivity analysis of Efficiency Scores: How to bootstrap in nonparametric Frontier Models, *Management Science*, Vol. 44, pp. 49-61.
- [15] Simar, L., Wilson, P. W.(1999), Estimating and bootstrapping Malmquist indices, *European Journal of Operational Research*, Vol.115, pp.459-471.
- [16] Simar, L., Wilson, P. W.(2000), A general methodology for bootstrapping in nonparametric frontier models, *Journal of Applied Statistics*, Vol.27, pp. 779-802.
- [17] Simar, L., Wilson, P. W.(2007), Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes, *Journal of Econometrics*, Vol.136, pp.31-64.
- [18] Zhu, J.(2003), *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking*, Kluwer Academic Publishers.

2010년 3월 15일 접수, 2010년 6월 17일 수정, 2010년 6월 21일 채택