

## 시설수박의 출하시기별 효율성 분석

이 상 호\*

An Analysis of the Efficiency of Watermelon Using the  
Bootstrapping DEA Model

Lee, Sang-Ho

The paper aims to estimate efficiency of watermelon by using a bootstrapping approach to generating efficiency estimates through Monte Carlo simulation resampling process. We use the input-output data for watermelon 107 farmers. The main results are as follows. The estimates of efficiency depends on the methodology. The estimates of general DEA is greater than the bootstrapping method. The technical efficiency and pure technical efficiency measure of watermelon is 0.72, 0.82 respectively. However the bias-corrected estimates are less than those of DEA. We know that the DEA estimator is an upward biased estimator. According to these results, the DEA bootstrapping model used here provides bias-corrected and confidence intervals for the point estimates, it is more preferable.

Key words : *data envelopment analysis, bootstrapping, confidence intervals*

## I. 서 론

한국 농업은 WTO와 FTA에 따른 농산물 시장개방의 외생적 요인과 농촌 고령화 등 내 부적 요인으로 인해 생산액 및 소득측면에서 정체현상을 보이고 있다. 특히 농산물 수입확 대로 인한 국내 농산물 가격의 지속적 하락은 농가소득 감소와 도농간 소득격차를 갈수록 악화시키고 있다.

지금까지 이러한 수입농산물과의 직접적인 경쟁을 피하기 위해, 즉 직접적인 수입 대체 관계에 있지 않은 시설과채류가 수익작목으로 부각되었다. 이로 인해 시설수박은 경쟁심화

---

\* Corresponding author, 영남대학교 식품경제외식학과 부교수(ecolee@yu.ac.kr)

와 수요측면의 대체가능 수입 농산물 증대로 인해 농업경영의 수익성이 갈수록 악화되고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 하나의 방안이 투입-산출의 효율성을 증대하는 것이다.

일반적으로 농가 단위의 효율성증대 연구는 확률적 프런티어 생산함수와 비모수적 방법을 이용하여 개별 농가의 비효율성을 파악하고 개선방안을 도출한다. 그러나 확률적 프런티어 생산함수는 사전적으로 특정 함수형태를 가정함으로써 추정모수의 정확성이 떨어질 수 있으며, 비모수적 접근방법은 확정모형이기 때문에 분석자료에 따라 효율성 값의 차이가 발생한다. 이 논문에서는 비모수적 접근방법을 사용하되, 부트스트래핑을 활용하여 확률적 특성을 반영한다.

비모수적 분석기법인 DEA를 활용하여 개별 농가의 효율성을 분석하기 위해서는 의사결정단위의 유사성이 중요하다. 즉 시설수박 농가가 하더라도 작형에 따라 효율성에 영향을 미치기 때문에, 이 논문에서는 반축성 시설수박 농가만을 분석한다. 또한 시설수박은 출하시기와 재배시기에 따라 조수입, 생산비 등이 달라질 수밖에 없기 때문에 출하시기에 따른 차이를 분석한다.

지금까지 효율성 분석에 관한 연구는 농업부문에서 다양하게 이루어져왔다. 주요 선행연구들을 살펴보면, Lee 등(2013)은 확률적 DEA모형을 이용하여 시설원예농가의 신재생에너지 난방연료 이용형태에 따른 효율성을 분석하였다. Lee (2011)는 확률적 DEA모형을 이용하여 확정적 DEA모형의 문제점을 개선하고 품목농협의 효율성 차이를 제시하였다. Kwon 등(2009)은 부트스트래핑 기법을 활용하여 산지유통조직의 효율성에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. Min 등(1999)은 부트스트래핑 기법을 이용하여 집단 간의 효율성 차이를 분석하였다. Lee 등(2001)은 비모수적 기법인 DEA 모형을 이용하여 경북지역 사과 환경농업의 효율성을 분석하고, 효율성에 영향을 미치는 요인을 도출하기 위하여 토빗모형을 적용하였다.

이 논문에서는 부트스트래핑 기법을 적용하여 분석자료의 확률적 요인을 반영한 시설수박 농가의 효율성을 분석하고자 한다. 또한 시설수박 농가의 효율성 분석결과에 대한 신뢰구간을 추정함으로써 통계적 유의성을 검증한다. 마지막으로 시설수박의 출하시기에 따른 효율성 차이를 살펴본다.

## II. 효율성 분석모형

### 1. 자료포락분석

자료포락분석은 투입과 산출자료를 통해 최선의 의사결정단위의 효율적 프론티어를 구

성한다. 각 의사결정단위들이 프론티어로부터의 차이만큼을 거리로 계산하여 상대적 효율성을 측정한다.

자료포락분석의 기본가정은 모든 투입과 산출은 비음(-)이고 하나 이상의 양(+)의 값을 갖는 투입과 산출을 가져야 한다는 것이다. 이 때 투입 대 산출의 비율이 바로 효율성을 측정하는 지수가 되며 이 비율은 극대화 문제의 목적함수가 된다. 그리고 제약식들을 각각의 시설수박 농가의 효율성 지수가 1이하가 되도록 목적함수를 제약한다.

선형계획법에 의해 기술적 효율성을 추정하는 계산식은 식 (1)과 같다. 식 (1)에서 얻은 최적값인  $\alpha_0^*$ 은 0보다 크고 1과 같거나 작은 값을 갖게 되며, 이는  $n$ 번째 농가의 비효율성을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \quad \alpha_0 && (1) \\
 & \text{S.T} \quad \sum_{n=1}^N \lambda_n Y_{nj} \geq Y_{0j} \quad j=1, 2, \dots, J, \\
 & \quad \sum_{n=1}^N \lambda_n X_{ni} \leq \alpha_{0i} X_{0i} \quad i=1, 2, \dots, I, \\
 & \quad \lambda_n \geq 0, \quad n=1, 2, \dots, N
 \end{aligned}$$

- 단,  $Y_{nj}$  :  $n$ 번째 시설수박 농가의  $j(j=1,2,\dots,J)$ 번째 산출물( $N \times J$  행렬)
- $X_{ni}$  :  $n$ 번째 시설수박 농가의  $i(i=1,2,\dots,I)$ 번째 투입물( $N \times I$  행렬)
- $\lambda_n$  : 가중치 변수(intensity variable)( $N \times 1$  벡터)

식 (2)에서는  $\sum \lambda_n = 1$ 의 제약 조건을 통해 규모의 보수증가·불변·감소상태(Variable Returns to Scale)를 모두 고려한다. 순수기술효율성은  $\beta_0^*$ 로 추정된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} \quad \beta_0 && (2) \\
 & \text{S.T} \quad \sum_{n=1}^N \lambda_n Y_{nj} \geq Y_{0j} \quad j=1, 2, \dots, J, \\
 & \quad \sum_{n=1}^N \lambda_n X_{ni} \leq \beta_{0i} X_{0i} \quad i=1, 2, \dots, I, \\
 & \quad \lambda_n \geq 0, \quad n=1, 2, \dots, N \\
 & \quad \sum_{n=1}^N \lambda_n = 1
 \end{aligned}$$

## 2. 부트스트래핑 분석모형

부트스트래핑의 효율성 추정치는 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째, 일반적 DEA모형을 통해 효율성 값( $\theta_i$ )을 계산한다. 둘째, 각각의 효율성 값( $\theta_i$ )들에 비모수적 커널 분포함수 등에 의해 L개의 무작위 표본( $\theta_{1b}^*, \dots, \theta_{Lb}^*$ )을 추출한다. 셋째, 준거 부트스트래핑 기술을 도출하기 위해 새로운 투입-산출 자료 ( $x_{kb}^*, y, k = 1, \dots, L$ )을 계산한다. 넷째, 이러한 자료를 효율성 값에 대입하여 새로운 효율성 값  $\theta_{kb}^*$ 를 계산한다. 다섯째, 부트스트래핑 효율성 추정치  $\hat{\theta}_{kb}^*$ 를 도출하기 위하여 두 번째에서 네 번째까지의 단계를 B회 반복한다. 부트스트래핑 효율성 추정치를 2,000회 반복하여 추정된 부트스트래핑 추정량은 다음과 같다

$$\bar{\theta}_k^* = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B \hat{\theta}_{kb}^*.$$

이러한 부트스트래핑 효율성 추정치의 장점은 일정한 유의수준에서 신뢰구간을 추정함으로써 통계적 추론이 가능하다는 것이다. Simar and Wilson (2000)에 의하면,  $b = 1, \dots, B$ 에 대해 ( $\hat{\theta}_{kb}^* - \theta_k$ ) 값들을 증가하는 순서로 분류하고, 양쪽 끝의  $(\alpha/2 \times 100)$  퍼센트를 제거하여  $(1 - \alpha)$  퍼센트 신뢰구간을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\hat{\theta}_k + \alpha_a^* \leq \theta_k \leq \hat{\theta}_k + \beta_a^* \quad (3)$$

## Ⅲ. 분석변수 및 자료

### 1. 분석변수

일반적으로 DEA 분석결과는 자료의 상대적 효율성을 의미하기 때문에 분석대상의 유사성이 중요하다. 이러한 점을 고려하여 이 논문에서는 시설수박 농가 중 동일한 작형방식으로 재배하는 반축성 농가 107호 농가를 분석대상으로 하였다.

분석에 이용된 107호 농가의 효율성을 분석하기 위해서는 투입변수와 산출변수를 설정해야 한다. 효율성 분석을 위해 시설수박 재배농가 107호를 대상으로 조수입, 종묘비, 비료비, 농약비, 영농광열비, 기타재료비, 감가상각비, 인건비, 용역비를 이용하였다. 본 연구에서는 효율성 추정을 위해 종묘비, 비료비, 농약비, 영농광열비, 기타재료비, 감가상각비, 인건비, 용역비를 투입 자료로 사용하였다. 산출 자료는 시설수박 농가의 조수입을 이용하였다.

## 2. 분석자료

분석에 이용된 자료를 정리하면 다음과 같다. 먼저 산출변수인 시설수박 재배농가의 조수입을 살펴보면 평균 금액은 5,809천 원이며, 최소 금액은 2,000천 원인 반면, 최대 금액은 15,228천 원으로 7.5배 정도차이가 있다는 것을 알 수 있다. 투입측면을 살펴보면 평균적으로 종묘비는 409천 원이며, 비료비는 312천 원, 인건비는 1,285천 원, 기타재료비는 505천 원이었다. 시설수박 농가의 투입비중이 높은 항목은 인건비, 감가상각비, 기타재료비, 종묘비의 순으로 나타났다.

Table 1. Total costs and returns for watermelon

(Unit : Won/1,000㎡)

		Average	Standard deviation	Minimum	Maximum
Output variable	Output value	5,808,759	1,929,129	2,000,000	15,228,426
Input variable	Seed cost	409,389	134,885	158,400	1,237,310
	Fertilizer cost	312,171	202,478	20,750	1,012,690
	Chemical pesticide cost	98,711	79,699	0	491,345
	Fuels cost	46,764	60,532	0	355,227
	Others	505,139	421,509	0	1,935,914
	Depreciation cost	544,495	479,031	0	4,175,127
	Labor wage	1,284,641	738,041	282,751	6,126,967
	Service cost	320,267	213,802	9,680	1,396,414

## IV. 분석결과

### 1. 기술효율성 추정치

시설수박 농가의 효율성 추정결과를 살펴보면 순수기술 효율성은 평균 0.82로 추정되었으며, 최소값은 0.17, 최대값은 1.00로 나타났다. 시설수박 농가의 효율성 값이 0.82라는 의미는 18%의 비효율성이 존재한다는 것으로, 기술적인 측면에서 개선의 여지가 있다는 것이다. 기술효율성의 평균은 0.72이며, 최소값은 0.06, 최대값은 1.00로 나타났다. 기술효율성 값의 범위가 순수기술효율성보다 상당히 크다는 것을 알 수 있다.

Table 2. Summary statistics of technical and pure technical efficiency of Watermelon

	Average	Standard deviation	Minimum	Maximum
Technical efficiency	0.72	0.25	0.06	1.00
Pure technical efficiency	0.82	0.19	0.17	1.00

자료포락분석의 효율성 값은 분석자료에 따라 변화되는 특성이 있다. 따라서 부트스트래핑 기법을 이용하여 효율성 값을 수정하였다. 시설수박 농가의 수정 효율성 추정결과를 살펴보면 순수기술 효율성은 평균 0.58로 추정되었으며, 최소값은 0.13, 최대값은 0.84로 나타났다. 부트스트래핑 추정결과 순수기술효율성 값이 0.82에서 0.58로 29.3% 감소하였다. 수정된 기술효율성의 평균은 0.40이며, 최소값은 0.02, 최대값은 0.80으로 나타났다. 부트스트래핑 추정결과 순수기술효율성 값이 0.72에서 0.40으로 44.4% 감소하였다.

Table 3. Summary statistics of technical and pure technical efficiency of Watermelon by bootstrapping

	Average	Standard deviation	Minimum	Maximum
Technical efficiency	0.40	0.16	0.02	0.80
Pure technical efficiency	0.58	0.12	0.13	0.84

Table 4. Distribution of pure technical efficiency of Watermelon

		DEA score		Bootstrap DEA score	
		Number	Percentage (%)	Number	Percentage (%)
Non-efficient	Less than 0.5	6	5.61	28	26.17
	0.5~0.6	14	13.08	37	34.58
	0.6~0.7	14	13.08	27	25.23
	0.7~0.8	13	12.15	14	13.08
	0.8~0.9	9	8.41	1	0.93
	0.9~1.0	8	7.48	0	0.00
Efficient	1	43	40.19	0	0.00
Total		107	100	107	100

시설수박 농가의 순수기술효율성 효율성 값의 분포를 살펴보면 다음과 같다. 분석대상 107호 시설수박 농가 중 효율성 값이 1인 효율적인 농가의 수는 43호(40.19%), 0.5 이하의

비효율적인 농가의 수는 6호(5.61%)로 나타났다. 그러나 부트스트래핑에 의한 수정된 순수 기술효율성에서는 효율적인 농가는 하나도 없는 것으로 나타났다. 반면에 0.5 이하의 비효율적인 농가의 수는 28호(26.17%)로 매우 높게 나타났다.

시설수박 농가의 기술효율성 효율성 값의 분포를 살펴보면 다음과 같다. 분석대상 107호 시설수박 농가 중 효율성 값이 1인 효율적인 농가의 수는 33호(30.84%), 0.5 이하의 비효율적인 농가의 수는 25호(23.36%)로 나타났다. 그러나 부트스트래핑에 의한 수정된 기술효율성에서는 효율적인 농가는 하나도 없는 것으로 나타났다. 반면에 0.5이하의 비효율적인 농가의 수는 80호(74.77%)로 매우 높게 나타났다.

Table 5. Distribution of technical efficiency of Watermelon

		DEA score		Bootstrap DEA score	
		Number	Percentage (%)	Number	Percentage (%)
Non-efficient	Less than 0.5	25	23.36	80	74.77
	0.5~0.6	17	15.89	15	14.02
	0.6~0.7	12	11.21	6	5.61
	0.7~0.8	5	4.67	5	4.67
	0.8~0.9	11	10.28	1	0.93
	0.9~1.0	4	3.74	0	0.00
Efficient	1	33	30.84	0	0.00
Total		107	100	107	100

시설수박의 효율성은 조수입과 생산비에 의해 중요한 영향을 받는다. 이러한 조수입과 생산비는 시설수박의 재배시기와 판매시기가 중요하다. 따라서 이 논문에서는 시설수박의 판매시기별로 효율성의 차이를 분석하였다. 분석결과 수정된 순수기술효율성은 6월 출하의 농가가 0.63로 가장 높게 나타났고, 95% 신뢰구간에서 하한 값은 0.43, 상한 값은 0.96으로 추정되었다. 수정된 기술효율성은 4월 출하의 농가가 0.47로 가장 높게 나타났고, 95% 신뢰구간에서 하한 값은 0.35, 상한 값은 0.65로 추정되었다.

Table 6. Distribution of technical and pure technical efficiency of Watermelon by marketing period

	pure technical efficiency			technical efficiency		
	Bootstrap DEA score	Lower confidence limit 95%	Upper confidence limit 95%	Bootstrap DEA score	Lower confidence limit 95%	Upper confidence limit 95%
Apr.	0.58	0.43	0.80	0.47	0.35	0.65
May	0.55	0.36	0.86	0.43	0.28	0.66
Jun.	0.63	0.43	0.96	0.40	0.27	0.61
Jul.-Aug.	0.55	0.42	0.72	0.37	0.28	0.48

## V. 요약 및 결론

시설수박은 동일한 재배양식임에도 불구하고 판매시기, 영농기술 등 다양한 요인에 의해 효율성의 차이가 발생하고 있다. 이러한 농가 간의 효율성 차이를 분석하고 개선방안을 도출하는 것은 경영개선을 위한 주요 방안이다. 이 논문에서는 일반 DEA모형의 확정성 문제를 해결하기 위하여 부트스트래핑 DEA 모형을 이용하여 효율성 분석 값의 통계적 신뢰구간을 추정하였다. 주요 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 일반적 DEA모형에 의한 기술효율성은 0.72로 추정된 반면, 부트스트래핑 기법을 적용하면 0.40으로 추정되었다. 이는 일반적 DEA모형의 추정치보다 0.32 낮은 값이다.

둘째, 일반적 DEA모형에서는 순수기술적 측면에서 효율적인 농가의 수가 43호(40.19%)로 나타났지만, 부트스트래핑 결과 효율적인 농가는 하나도 없는 것으로 나타났다. 반면에 0.5 이하의 비효율적인 농가의 수는 28호(26.17%)로 매우 높게 나타났다.

셋째, 시설수박의 판매시기별로 효율성의 차이를 분석하였다. 분석결과 수정된 순수기술 효율성은 6월 출하의 농가가 0.63로 가장 높게 나타났고, 95% 신뢰구간에서 하한 값은 0.43, 상한 값은 0.96으로 추정되었다.

이상의 분석결과를 바탕으로 다음과 같은 정책적 함의를 제시하고자 한다. 첫째, 분석모형 측면에서 확률적 DEA모형은 확률적 요인을 반영할 수 없기 때문에 부트스트래핑 기법을 통해 확률적 DEA모형의 적용이 필요하다. 둘째, 시설수박의 출하시기가 경영체의 효율성에 중요한 요인을 미치는 것으로 분석된 만큼 효율극대화를 위한 기술-경영적 지도방안이 마련되어야 한다.



## References

1. Kwon, O. S. and H. H. Kim. 2009. Measuring Marketing Organization's Performance and Identifying its Determinants using Stochastic DEA and FDH. *Korean Journal of Agricultural Economics*. 50(2): 69-95.
2. Min, J. H. and H. J. Kim. 1999. A Nonparametric Test on Mean Difference of DEA Efficiency Estimates - Bootstrapping Approach. *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*. 24(2): 53-68.
3. Lee, S. H. and J. H. Park. 2013, An Analysis of the Efficiency for the Horticultural Greenhouse by Heating System. *Korean Journal of Agricultural Economics*. 54(1): 39-53.
4. Lee, S. H. 2011. An Analysis of the Efficiency of Item-based Agricultural Cooperative Using the DEA Model. *Journal of Agriculture & Life Science*. 45(6): 279-289.
5. Lee, S. S., C. S. Kim, and S. H. Lee. 2001. An Analysis on the Efficiency of Apple Production in Environmental Agriculture Using DEA. *Korean Journal of Agricultural Economics*. 42(2): 51-65.
6. Simar, L. and P. W. Wilson. 2000. Statistical Inference in Nonparametric Frontier Models: the State of the Art. *Journal of Productivity Analysis*. 13: 49-78.