

# DEA 모형을 이용한 음식물류 폐기물 자원화 시설의 효율성 분석

김대환\*·문중범\*\*†·유왕진\*\*·이동명\*\*\*

\* 건국대학교 대학원 벤처전문기술학과 박사과정

\*\* 건국대학교 대학원 벤처전문기술학과 교수

\*\*\* 건국대학교 대학원 벤처전문기술학과 겸임교수

## Measuring Efficiency of Recycling Food Wastes Facilities using DEA

Kim, Dae Hwan\*·Moon, Jong Beom\*\*†·Yoo, Wang Jin\*\*·Lee, Dong Myung\*\*\*

\* Ph.D. Candidate, Department of Venture Technology and Management, Konkuk University

\*\* Professor, Department of Venture Technology and Management, Konkuk University

\*\*\* Part-time Professor, Department of Venture Technology and Management, Konkuk University

Key Words : 자원재활용, 음식물류 폐기물 자원화, 효율성 분석

### Abstract

After the introduction of Volume-based Waste Fee System for municipal wastes, the disposal of food wastes became an issue in society. As this reason, recycling food wastes facilities play an important role such as converting of food waste into animal feed or composting of food waste. Therefore, there is need of efficiency measurement of the facilities to reduce the inefficiency of factors. The purpose of this paper is to make a reasonable suggestion for the improvement of inefficient recycling food wastes facilities. This paper assesses the relative efficiency of recycling food wastes facilities by examining the relationship between inputs and outputs in 41 facilities using data envelopment analysis(DEA). The result shows that 4 facilities whose values of CCR efficiency are 1, and 10 facilities whose values of BCC efficiency are 1, RTS indicates IRS of 17 facilities and CRS of 6 facilities.

## 1. 서 론

최근 환경관련 문제들이 전 세계적으로 주요한 이슈가 되고 있으며, 자원의 재활용을 통한 환경문제의 해결과 새로운 사업기회의 창출에 대한 관심이 높아지고 있다.

특히 음식물쓰레기의 재활용은 환경문제와 자원의 재활용이라는 두 가지 측면에서 주목받고 있는 분야이다(Rutgers, 2002). 우리나라에서는 1995년도 생활쓰레기 종량제 도입을 기점으로 음식물류 폐기물 처리문

제가 사회적으로 주목을 끌게 되면서 폐기물의 감량화나 재활용 확대에 박차를 가하기 시작하였다. 1998년 9월 환경부, 보건복지부, 농림부 등 관계부처 공동으로 음식물 쓰레기 5개년 자원화 기본계획('98~'02)을 수립하여 식량과 환경문제를 대비한 자원재활용 및 음식물 폐기물 관리체계를 확립함으로써 자원 재순환형 관리구조로 재편하게 되었다. 이에 따라 음식물류 폐기물 발생량은 감소하고 있으며, 음식물류 폐기물의 재활용은 비약적으로 증가하였다.

음식물류 폐기물 자원화 사업은 버려진 음식물 폐기물을 재가공하여 이를 자원으로 활용하는 사업으로 정

† 교신저자 jmoon@konkuk.ac.kr

부와 민간에서 이러한 사업의 활성화를 위하여 짧은 기간에 다수의 자원화 시설을 설치하여 운영하면서 음식물류 폐기물의 재활용률을 크게 끌어올리게 되었지만, 음식물류 폐기물 처리시설의 효율성과 운영상에는 많은 문제들이 여전히 존재하고 있다. 현재 전국에는 공공과 민간에서 운영하는 음식물류 폐기물 재처리 시설들이 많이 운영되고 있는 중이지만, 지역 및 운영 주체별로 시설들의 성과는 제각각이며 심지어 수익을 내지 못하여 효율적인 운영을 할 수 없는 시설들이 상당수 존재하고 있어 음식물류 폐기물 처리를 통한 자원재활용 산업의 문제로 나타나고 있다. 이에 이러한 처리시설들에 대한 효율성 분석을 통하여 음식물류 폐기물 자원화 사업의 활성화를 위한 자원화 시설물에 대한 효율적인 운영전략을 제시할 필요성이 대두되고 있다.

조직 및 시설의 효율성 측정에 DEA모형을 적용한 선행연구를 살펴보면, 이미 많은 연구자들에 의해 공공기관(윤경준, 2005; 최충익과 김미숙, 2008; 심광식과 김재윤, 2009; 조성한과 박동진, 2009)과 정부 및 연구기관(조임곤, 2001; 김선애, 2005; 박정희, 2010) 등을 실제 사례에 적용하는 형태의 연구들이 매우 다양하고 광범위한 분야에 적용되었으며 상대적 효율성을 측정하는 틀로서 많은 연구 결과를 도출하였다. 이는 DEA모형을 적용하여 상대적 효율성을 측정하는 최적의 방법론으로서 적합한 타당성이 있음을 입증해 주는 결과인 것이다. 그러나 현재 환경과 관련된 여러 가지 산업들이 많은 주목을 받고 있는 실정이지만, 자원재활용 산업에 대한 효율성 분석에 대한 연구들은 찾아보기가 힘들다. 따라서 본 연구에서는 DEA모형을 적용하여 음식물류 폐기물 자원화 시설의 효율성을 분석하고자 한다. 본 연구의 DEA모형을 이용한 음식물류 폐기물 자원화 시설의 효율성 분석은 객관적인 통계 신뢰성에 의한 효율성 분석 프로세스로 향후 관련 산업에 대한 효율성 분석의 기초자료를 제공할 수 있으며 아울러 실제 음식물류 폐기물 자원화 시설의 효율성 분석에 실무적으로 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 음식물류 폐기물 자원화 사업

### 2.1 음식물류 폐기물

일반적으로 폐기물관리법 체계 내에서 “음식물류 폐기물”로 정의하고 있는 음식물쓰레기는 발생지점, 자원화방법, 자원화용도에 따라 다양한 명칭이 사용되고 있

다. 요리 전에 발생하는 것을 생쓰레기(폐기물), 요리 후에 발생하는 것을 음식물찌꺼기, 사료화의 대상이 되는 것을 남은 음식물, 수분함유정도에 따라서는 젖은 쓰레기, 일반적이며 가장 광범위한 의미에서 사용되는 명칭은 음식물쓰레기, 음식물류 폐기물 등으로 불리워지고 있다(정영대, 2005). 2000년대 이전까지는 일반적인 명칭으로 음식물쓰레기라는 용어를 사용했으나, 폐기물관계법에 감사기준 및 규제기준을 설정하면서 법률 용어를 이용하여 “음식물류 폐기물”이라는 용어를 사용하게 되었다.

우리나라 음식물류 폐기물의 특성 중 가장 두드러진 특성을 든다면 첫째, 수분이 많다는 점이다. 대략 80-85% 정도가 평균치이며, 기계적으로 수분을 분리하는데도 한계가 있는 것으로 알려졌다. 따라서 보관이 어렵고 수분이 많기 때문에 이용할 수 있는 성분이 상대적으로 적어 일반 곡물사료와 비교하면 약 4배 정도 사료가치가 떨어지며 퇴비화, 사료화 할 경우 감소되는 수분으로 인해 생산효율이 낮아지는 중요한 요인이 된다. 둘째, 이물질들을 들 수 있다. 음식물류 폐기물에 함유된 이물질의 구성비를 보면 비닐봉투와 플라스틱이 많고 금속과 천류 등이 포함되어 있으며 중량적인 면에서 약 5% 정도 함유되어 있는 것을 알 수 있다. 이것은 음식물류 폐기물의 자원화를 위해서는 이물질 선별이 필요하다라는 것을 의미한다. 셋째, 음식물류 폐기물이 대부분 부패되어 있다는 것이다. 상한 음식물이 섞여 들어올 염려가 있으므로 신속하게 처리해야 하고 때로는 열처리 등을 거쳐 살균작업을 거쳐야 하는 경우도 많다. 특히 여름철에는 장마로 인하여 대기가 습하고 온도가 높아 부패속도가 빠르므로 이에 대한 대책을 세워야 한다. 넷째, 높은 염분함량으로 퇴비 품질 저하 및 토양오염의 악화를 초래할 수도 있으며, 음식물류 폐기물의 발생량과 종류가 계절적인 편차를 보여서 퇴비화를 하는데 어려움이 있다(최훈근, 2004).

음식물류 폐기물의 자원화처리는 크게 습식사료, 건식사료, 퇴비화, 혐기성소화, 하수병합 등으로 분류되며, 이들 초기에는 사료화로 진행이 되었으나, 광우병 및 구제역 등 질병문제로 인하여 퇴비화로 전환되었으며, 최근에는 에너지문제 등이 거론되면서 혐기성소화에 의한 메탄가스 회수에 대한 관심이 증가되고 있으며, 일부 자치단체에서 설치하거나, 검토 중에 있다. 자원화 단계를 거쳐서 얻어진 최종생성물은 퇴비 혹은 사료이며, 이들 제품을 유익하게 사용하는 것이 이용단계이다. 가정 부문 음식물류 폐기물의 자원화 경로를 배

출원별로 나타내었다. 음식물류 폐기물 자원화의 주요 처리방법은 퇴비화 및 사료화이고, 최근에는 지렁이 사육, 버섯재배, 탄화기술 등의 처리방법이 기술성을 인정받아 시험적으로 실시되고 있다.

## 2.2 음식물류 폐기물 자원화 시설

### 2.2.1 시설 일반 현황

전국에 설치운영중인 공공 및 민간 음식물류 폐기물 자원화 시설은 크게 사료화 시설, 퇴비화 시설, 기타 시설로 구분된다. 또한 사료화 시설은 건식, 습식으로 구분이 되며, 퇴비화 시설은 호기성, 혐기성, 지렁이 사육, 기타(버섯재배, 석회안정화)시설로 구분되고, 기타 시설은 그 밖에 하수구병합 및 혐기성소화 시설, 탈수, 건조, 파쇄 등의 전처리 개념의 시설을 포함하고 있다.

국내의 음식물 자원화 시설은 짧은 기간 안에 급속도로 증가하였으며, 이처럼 많은 자원화 시설의 설치에 자원절약 및 재활용 측면에서 각 지자체의 노력과 국가 차원의 노력이 합쳐 이루어진 것이며 이와 함께 1997년에 발표된 2005년 음식물류 폐기물의 직매립 금지 조치도 많은 영향을 주었다. 그러나 그 세부내용면에서는 상당한 질적 변화가 있었다. 2004년도 기준(2/4분기) 공공자원화 시설은 전체 243개 지자체 중 81개 시설만이 설치되었으나 2000년대 초 전 세계적으로 광우병 파동 및 구제역이 발생하면서 퇴비화 시설의 설치가 증가하고 있는 추세이다(환경부, 2005).

### 2.2.2 사료화 시설

현재 국내에서 사료화 시설은 크게 건식방법과 습식방법으로 2원화되어 설치·운영 중에 있다. 전체 사료화 시설은 총 113개 시설에 건식이 31개, 습식이 82개 시설로 주로 습식처리 방식에 의한 사료화가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이는 건식방법에 비해 습식사료화가 비용적 측면과 운영적 측면에서 용이하다는 이점을 갖고 있기 때문이다.

전체 113개의 사료화 시설에서의 처리용량은 규모는 4,763톤/일이며, 처리량은 3,230.2톤/일로서 1,221.3톤/일의 사료화 생성물이 생산되는 것으로 조사되었다. 처리량 대비 생성물의 생산비율은 37.81%로서 생산된 생성물 중 건식사료가 265.4톤/일이 생산되어 전체생산량 중 21.73%로 나타났다. 또한 습식 사료는 955.9톤/일로 78.27을 차지하는 것으로 조사되었다. 생산된 생성물 중 유상관매비율은 건식 5.31%, 습식 1.77%로

전체 생산량 대비 유상관매는 7.08%에 불과한 것으로 나타났다.

생산된 생성물의 주요 사용처에 대한 조사 결과를 보면, 농가가 31.86%, 중간원료가 11.50%, 기타 56.64% 순으로 나타났다. 기타는 자가사용 및 매립이 포함된 수치이다. 생산된 생성물의 활용도 측면에서는 습식사료에 비해 건식사료가 높은 것을 알 수 있다. 이는 사용처 통계에서 확연히 나타나는 것으로 시설수 대비 농가 이용률과 중간원료, 기타 이용 등을 보면 건식사료가 농가이용 및 중간원료 약 74%가 이용되는 반면, 습식사료는 농가 및 중간원료로 약 32%가량 이용되고 있는 것으로 조사되었다. 건식사료와 습식사료의 이용률과 관련하여 습식사료는 높은 수분함량과 자체의 높은 유기성분으로 인해 실제 처리단계에서 이들 유기물 분해에 의한 부패 발생으로 인해 운반·저장 과정에 있어 취급상 어려움을 초래하고 있다. 이 때문에 습식사료의 이용률이 건식에 비해 낮은 주요 원인이 되고 있다고 판단된다.

### 2.2.3 퇴비화 시설

일반적으로 퇴비화 시설의 범주에 속하는 시설이 흔히 말하는 호기성 퇴비화 시설과 혐기성 퇴비화 시설, 그리고 지렁이 사육시설 등이 있는데, 여기에 버섯재배와 석회안정화 방법이 포함된다. 버섯재배와 석회안정화의 경우는 최근에 소개된 기술로 아직까지는 소규모로 운영되고 있다. 현재 퇴비화 시설 중 호기성 퇴비화 시설이 전체 101개 시설 중 87.13%에 달하는 88개 시설이 설치 운영 중에 있으며, 혐기성 시설은 8개 시설, 지렁이 사육시설은 3개, 버섯재배 및 석회안정화 시설은 2개 시설인 것으로 나타났다. 시설용량은 총 3,587.7톤/일 규모에 호기성 시설이 3,324.5톤/일로 92.77%, 혐기성 123.2톤/일로 3.43%로 조사되었다. 지렁이 사육시설의 전체 시설용량은 105.0톤/일(2.93%), 버섯재배 및 석회안정화는 35.0톤/일(0.98%)인 것으로 나타났다. 퇴비화 시설별 평균 시설용량을 살펴보면, 호기성 시설이 37.8톤/일, 혐기성 시설 15.4톤/일, 지렁이 사육 35톤/일, 버섯재배 및 석회안정화가 17톤/일로 나타났다.

호기성 시설의 경우 시설용량 대비 처리량은 63.41%이며, 혐기성 시설은 86.28%, 지렁이 사육 47.81%, 기타 92.86%로 나타나 지렁이 사육시설의 설치용량 대비 처리량이 가장 낮은 것으로 나타났다. 처리량 대비 제품생산량은 호기성 시설이 46.73%, 혐기성 시설이 33.58%,

지렁이 사육시설 6.97%, 기타 84.62%로 나타났으며, 이 중 지렁이 사육시설의 경우 생산된 생성물은 지렁이가 포함된 분변토의 생산량이며, 기타는 재배된 버섯과 석회안정화 제품으로 버섯재배판매량이 2.5톤/일, 석회안정화 제품의 판매량은 25톤/일로 조사되었다.

생산된 생성물의 유상판매비율은 호기성 시설이 84.61%이며, 혐기성 시설이 5.13%, 지렁이 사육시설이 5.13% 기타시설은 5.13%인 것으로 나타났다. 생산된 생성물의 사용처 중 농가 또는 중간원료로 소비되는 현황을 살펴보면 호기성시설은 총 88개 시설 중 75%인 66개소, 혐기성시설은 8개 시설 모두가 이 분야에서 소비되고 있고 지렁이 사육은 총 3개 시설 중 2개시설이 농가에서, 기타시설(버섯재배 및 석회안정화)은 총 2개 시설 중 1개 시설이 버섯제품을 전량 식당에 판매되고 있는 것으로 조사되었다.

### 2.2.4 기타시설

기타 음식 자원화 시설은 하수병합 및 혐기성 소화시설, 탈수 건조, 탈수, 건조, 파쇄건조 시설로 구분된다. 하수병합 및 혐기성 소화시설을 제외한 탈수건조, 탈수, 건조, 파쇄건조시설은 단순처리 후 퇴비생산 업체에 원료로 무상 지원하는 것이 대부분이며, 1개 시설만이 유상판매를 하고 있는 것으로 나타났다. 또한 하수병합 및 혐기성 소화시설의 경우 단순처리로서 제품의 생산은 없는 것으로 나타났다.

현재 기타시설 중 하수병합 및 혐기성 소화시설은 전체 17개 시설 중 6개 시설이 설치되어 있으며, 탈수건조시설 1개소, 탈수시설 3개소, 건조시설 3개소, 파쇄건조시설 4개소가 설치 운영 중에 있다. 시설용량은 하수병합 및 혐기성 소화시설이 전체 1,001.1톤/일 중 31.77%인 318.0톤/일이고, 탈수건조 30톤/일, 탈수시설 145.0톤/일, 건조 90.1톤/일, 파쇄 건조시설이 418.0톤/일로 나타났다.

기타시설의 시설용량 대비 처리량을 살펴보면 하수병합 및 혐기성 소화시설이 64.28%, 탈수건조시설이 76.67%, 탈수시설이 78.90%, 건조시설이 104.66%로, 파쇄건조 시설이 20.19%로 파쇄건조시설이 가장 낮고, 건조시설은 4.2톤/일을 초과하는 등 가장 높은 것으로 나타났다. 제품 생산량은 전술한 것과 같이 하수병합 및 혐기성 소화시설에서는 없는 것으로 나타났으며, 탈수건조시설은 4.0톤/일, 탈수시설은 79.1톤/일로 전체 기타 시설에서 생산하는 생성물 중 가장 많은 것으로 나타났다. 또한 건조와 파쇄/건조를 통해 생산되는 생

성물은 각각 17.9톤/일과 31.2톤/일로 조사되었다.

판매여부에 있어서는 건조시설 중 1개 시설은 제외한 나머지 9개 시설은 생산되는 생성물 잔량을 농가에 무상으로 제공하고 있는 것으로 조사되어, 상기 기술하였던 사료화와 퇴비화와 비교하여 무상공급 비율이 매우 큰 것으로 나타났다.

## 3. DEA의 이론적 배경

### 3.1 효율성

일반적으로 효율성(efficiency)의 개념은 투입물(input)에 대한 산출물(output)의 비율로 정의된다. 그러나 투입과 산출요소의 종류가 각각 하나이면 간단하게 효율성을 계산할 수 있지만, 대부분의 생산조직에서는 다수의 투입과 산출요소를 생산하고 있으므로, 각 투입과 산출요소의 중요도에 따른 가중치를 부과하여 적용한다. 따라서 다수의 투입요소에 가중치를 적용한 총괄투입과 다수의 산출요소에 가중치를 적용한 총괄산출의 비율로 정의할 수 있다.

전통적인 효율성 측정방법은 회귀분석법 또는 함수접근법, 총생산성지수법 및 비율분석법으로 구분할 수 있으며 각각 그 유용성과 한계를 지니고 있다(박정희, 2010). 전통적인 효율성 측정방법의 한계를 극복할 수 있는 방법으로는 프론티어 분석이 있다. 프론티어 분석은 시스템모형에 의한 투입물(inputs)과 산출물(outputs)을 사용하여 동일하거나 매우 유사한 기능을 수행하는 의사결정단위(decision-making units: DMUs) 또는 조직단위의 상대적 효율성을 측정하고 평가하는데 사용할 수 있는 방법론으로서 프론티어를 추정하는 방법에 따라 두 가지의 접근방법으로 분류할 수 있다. 흔히 이들은 모수적 접근법인 SFA와 비모수적 접근법인 DEA로 불려진다. 또한 이들은 확률적 접근방법, 비확률적 접근방법이라고도 하는데, 모수적 접근방법은 주로 계량경제학인 기법으로서 프론티어를 추정하며 비모수적 접근방법은 주로 수리계획법에 위한 프론티어를 추정한다.

DEA모형에 있어서 효율성에 대한 정의는 Charnes et al.(1978)에 의하면 다음과 같다. 첫째, DMU의 산출물은 투입요소의 일부를 증가시키거나 또는 투입요소의 다른 일부를 감소시키지 않고서는 증가될 수 없다. 둘째, DMU의 투입물은 산출물의 일부를 감소시키거나 또는 투입요소의 다른 일부를 증가시키지 않고서는 감소될 수 없다.

일반적으로 비효율성은 투입물을 이용하여 산출물을 생산하는 과정에서 비효율적인 투입물간의 결합이나 사용 때문에 발생하는 것으로서, 투입물의 비효율성과 산출물의 비효율성으로 나눌 수 있다.

투입물의 비효율성은 주어진 산출물 수준을 생산하는데 있어 기업은 투입물을 최적으로 사용하지 않기 때문에 발생하는 비효율성으로서, 이렇게 준최적 수준에서 투입물을 부적절하게 사용함으로써 나타나는 투입물의 비효율성은 기술 비효율성과 배분 비효율성으로 나눌 수 있다.

기술비효율성은 주어진 산출수준을 생산하기 위해 요구되는 최소한의 투입요소보다 더 많은 양의 투입물을 사용했을 때 발생하며, 배분 비효율성은 투입물간의 결합이 준최적 배율에서 결합될 때 발생하는 것이다. 투입요소 측면과 비용극소화의 측면에서 볼 때 이 두 가지 비효율성의 합을 비용의 비효율성 합을 비용의 비효율성 또는 전체 비효율성이라 한다. 이러한 비효율성을 두 가지로 구분하는 것은 이처럼 비효율성이 서로 다른 경우에 의해서 야기되기 때문이다.

산출물의 비효율성은 생산과정에 있어서 최소한의 단위비용에 일치하는 산출물의 결합 및 수준을 생산하지 못하는 경우에 발생하는 비효율성인데 산출물의 비효율성은 투입요소를 비효율적으로 사용함으로 인해 발생하는 순수기술 비효율성과 현재의 산출수준이 규모수익불변에서 결정되지 않고 규모수익증가 혹은 감소에서 균형이 이루어질 때 발생하는 규모 비효율성의 두 가지로 나눌 수 있다.

### 3.2 DEA모형

DEA는 Charnes et al.(1978)에 의해 고안된 것으로, 일련의 선형계획법을 각 의사결정단위(DMU)의 투입·산출물에 적용하여 최선의 DMU들을 선별해내어 최선의 DMU들로부터 프런티어를 구성하고, 각 DMU들이 이러한 프런티어로부터 떨어져 있는 거리(distance function)를 계산하여 상대적 효율성을 측정하는 것이다.

DEA 모형은 실증분석을 지향하는 방법론을 가지고 있어 경영효율성 과정을 모형화하는데 탁월하다. 또한, 사전에 요구하는 가정이 아주 적다는 점에서 우수하여 투입과 산출의 인과관계가 명확하지 않은 비영리부문, 공공부문, 서비스부문 등의 효율성 측정에 주로 사용되어 진다.

DEA 모형은 비효율적인 의사결정단위의 비효율성

크기를 산출해 주고, 직접적으로 비교 가능한 효율적 의사결정단위들의 집합을 통하여 비효율적인 의사결정단위가 효율적으로 운영 될 수 있는 실행 가능한 방침을 제시 해 준다.

이러한 DEA 모형의 유용성은 첫째, DEA 모형은 다수투입과 다수산출 간에 특정한 함수형태를 필요로 하지 않아 이를 평가할 필요가 없다. 둘째, DEA 모형은 다수투입과 다수산출이 존재하는 경우, 이들을 적절한 방법으로 하나의 지수로 종합화하기 힘든 경우에 유용하게 사용될 수 있다. 셋째, 투입자료들 간에 동일한 척도의 크기를 가질 필요가 없다. 넷째, 지수법에 비해 사전적 가중치가 필요하지 않아 자의적 판단을 배제할 수 있다.

DEA 모형의 한계로는 첫째, DEA 모형을 통해 도출된 효율성은 유사하지만 다른 효율적인 참조집합의 관계 속에서 측정된 것이어서 절대적인 효율성 수준을 나타내는 것은 아니다. 둘째, DEA 모형에서 제시되는 효율성 향상을 위해 제공되는 초과투입량 정보는 투입요소의 범위에서 제시되며 단기적일 수도 있다. 셋째, DEA 모형에서 효율성을 평가하기 위해 투입과 산출요소를 적절히 측정하고 선정하는 것은 결과의 정확성을 결정하는데 있어 중요한 문제이다. 넷째, DEA 모형에서는 평가 대상 DMU 집합의 크기가 충분하지 않은 경우, 투입과 산출요소를 전부 포함시키기 어렵다.

DEA는 Charnes et al.(1978)이 제시한 규모수익불변(constant returns to scale ; CRS) 모형인 CCR모형과 Banker et al.(1984)이 제시한 규모수익가변(variable returns to scale ; VRS) 모형인 BCC모형 등 여러 모형으로 구분할 수 있다.

#### 3.2.1 CCR모형

CCR모형은 모든 의사결정 단위들의 각각의 투입물에 대한 산출물의 각각의 가중합계의 비율이 1을 초과하면 안 되고, 각 투입과 산출요소의 가중치들은 0보다 크다는 단순한 제약조건하에 평가대상 의사결정단위(DMU)의 투입물에 대한 산출물의 각각의 가중합계의 비율을 최대화시키고자 하는 선형분수계획모형으로 효율성에 관한 식은 식(1)과 같다.

$$\text{Maximize } \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (1)$$

subject to:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$u_r, v_i \geq 0 \text{ for all } r \text{ and } i$$

여기서,  $u_{rj}$ :  $j$  DMU의  $r$ 번째 산출요소 산출량

$x_{ij}$ :  $j$  DMU의  $i$ 번째 투입량

$u_r$ :  $r$ 번째 산출요소 가중치

$v_i$ :  $i$ 번째 투입요소 가중치

CCR모형은 규모에 대한 규모수익불변의 조건에서 도출되기 때문에 규모의 효율성과 순수 기술적 효율성을 구분하지 못하는 단점이 있다.

### 3.2.2 BCC모형

BCC모형은 CCR모형에서 가정하는 규모의 수익불변성을 완화하여 규모에 대한 규모수익가변이라는 가정을 적용한 것이다. BCC모형의 효율성에 관한 식은 다음 식(2)과 같다.

$$\text{Maximize } \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - u_0 \tag{2}$$

subject to:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - u_0 \leq 0 (j=1, 2, 3 \dots, n)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$u_r, v_i \geq 0 \text{ for all } r \text{ and } i, u_0 \text{ freesign}$$

여기서,  $u_0$ : 부호제약을 받지 않는 규모지수

BCC모형은 규모의 효과를 통제함으로서 기술효율성에서 규모의 효율성을 분리하여 측정할 수 있는 장점이 있다.

### 3.2.3 규모효율성과 규모수익

DEA 모형에서 평가대상 DMU의 비효율성은 비효율적 투입과 산출구조로 인해 나타날 수 있으나 각 DMU가 최적 규모보다 크거나 작게 운영되는 경우에도 비효율성이 발생할 수 있다.

규모의 효율성은 현재의 작업규모가 최적인지 아닌지를 판단할 수 있는 지표가 된다. 규모의 효율성은 변동규모수익과 불변규모수익 가정 하의 각 DMU별 투입

과 산출구조를 비교하기 위해 CCR 효율성과 BCC 효율성을 모두 계산하며 이들의 비율로 정의된다. 즉, 어떤 DMU의 CCR 모형 및 BCC 모형의 점수를 각각  $\theta^*_{CCR}$  및  $\theta^*_{BCC}$ 이라 하면, 규모의 효율성(SE)는 다음 식 (3)과 같이 정의 된다.

$$SE = \frac{\theta^*_{CCR}}{\theta^*_{BCC}} \tag{3}$$

이 비율이 1보다 작으면 규모의 비효율성이 존재하고 1이면 현재의 작업규모가 최적인 것으로 판단한다.

규모수익은 모든 투입요소를 비례적으로 증가시킬 때 나타나는 산출의 반응을 의미하며 불변규모수익(CRS)은  $f(\eta x) = \eta^r f(x)$   $r=1$ 인 경우로 투입요소의 비례적 증가분만큼 산출요소가 증가하는 경우를 의미한다. 또한  $r > 1$  이면 투입요소의 증가분보다 산출량의 증가분이 더 커지는 경우를 의미하기 때문에 체증규모수익(IRS)이 된다.

만약 DMU가 체증규모수익(IRS) 상태에 있다면 투입요소의 1단위 증가가 산출량을 1단위 이상 증가시킬 것이기 때문에 체증규모수익 하의 표본기업은 자원의 투입을 증가시킴으로써 산출량을 상대적으로 크게 개선할 수 있으며 체감규모수익(DRS) 상태에 있는 경우 투입요소의 증가분보다 산출량의 증가분이 적기 때문에 투입요소의 증가에 따라 경영활동의 비효율성이 점점 커지게 된다. 그러므로 효율성 평가시점에서 각 DMU가 어떤 규모수익 구간에 위치하고 있는지에 대한 정보를 제공할 필요가 있다.

## 4. 음식물류 자원화 사업의 효율성 분석

### 4.1 연구설계

#### 4.1.1 효율성 측정모형

DEA를 통한 효율성 측정모형은 산출지향 모형과 투입지향 모형으로 나눌 수 있다. 이 중 투입지향 모형이란 현재의 산출물수준을 유지하면서 투입량을 가능한 감소시켜 나가는 모형을 말하며, 산출지향 모형은 그 반대이다. 자원화 시설의 경우, 투입물 수준은 각 운영주체별로 임의적으로 조정할 수 있으나 산출량 조정에는 제약성을 갖고 있기 때문에 투입지향 모형의 적용이 보다 합리적이다. 이에 본 논문에서는 투입요소의 통제가 가능한 투입지향 모형을 적용하였다. 이를 위

해 본 연구에서는 우선 CCR 모형을 통해 운영주체별 자원화 시설의 기술적 효율성을 측정하였다. 이 과정을 통해 선형계획선상 각 DMU의 효율성 수준, 준거집단, 준거집단의 참조횟수 등을 파악할 수 있다. 또한 BCC 모형을 통해서 자원화 시설의 순수 기술적 효율성과 규모효율성 수준 등을 측정하고 규모의 수준을 파악하였다. 그리고 CCR 모형과 BCC 모형의 분석내용을 종합해 자원화 시설의 효율성을 종합적으로 분석하였다.

4.1.2 투입·산출변수의 선정

DEA모형을 이용하여 음식물류 폐기물 자원화 시설의 효율성을 평가하기 위해서는 투입물과 산출물을 결정하는 것이 가장 중요하며 선행되어야 할 작업이다. 변수선정에서 가장 중요하게 고려되어야 할 요소는 폐기물 자원화 시설의 기능과 역할과 가장 밀접한 관련성을 갖는 투입물과 산출물을 선정하는 것이다. 음식물류 폐기물 자원화 시설의 주요기능은 인적 자원 및 자본금 등을 투입하여 음식물류 폐기물을 처리하여 사료, 퇴비, 연료 등으로 재활용하는 것이다. 시스템이론에서 제시하는 평가방법은 일반적으로 투입, 과정, 산출에 대한 지표로 구성된다. 투입(input)은 자원을 나타내며 예산, 에너지, 시설 및 설비 등이 포함되며, 과정(process)은 시설의 업무활동으로 자원화로 변환되는 과정을 의미하며, 산출(output)은 과정의 결과로 발생하는 생산량을 의미한다. 이러한 시스템 이론을 기반으로 음식물류 폐기물 자원화 시설 평가는 투입 대 과정, 투입 대 산출 등과 같은 다양한 형태로 진행될 수 있으며, 각각의 형태에 따라 투입물과 산출물의 선정 또한 당연히 달라진다. 가장 이상적인 평가는 음식물류 폐기물 자원화 시설의 모든 활동을 포괄할 수 있는 다면적 평가라고 할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 다양한 유형의 음식물류 폐기물 자원화 시설의 효율성평가 중에서 음식물류 폐기물 자원화 시설물의 이용측면에 초점을 두고 평가를 실시하고자 한다. 따라서 본 연구에서 사용될 투입물과 산출물은 실질적으로 음식물류 폐기물 자원화 시

설의 이용에 영향을 미칠 수 있는 변수들을 중심으로 접근 가능한 투입물 및 산출물을 최대한 변수로 적용하였다. 최초 조사 과정에서 고려된 투입물과 산출물 중에서 조사결과 수집된 데이터의 신뢰성이 떨어지거나, 0값이 너무 많아 사용할 수 없는 변수들은 소거하여 다음 <표 1>과 같이 음식물류 폐기물 자원화 시설의 효율성 평가를 위해서 2개의 투입물과 2개의 산출물을 선정하였다.

<표 1> 투입물과 산출물

투입물	산출물
자본금 시설용량	매출액 처리량

2003년 말 231개 시설의 전체 가동률은 57%로서, 공공시설의 가동률은 82%와 민간시설의 가동률은 47%로 저조한 실정이다(김두환, 2005). 즉, 총 시설용량은 민간 시설이 공공시설보다 훨씬 큰 70%를 차지하고 있으나 가동률은 47%에 불과한 것으로 조사되었다. 이에 본 연구에서는 전체 231개의 자원재활용기업 중에서 공공 부분 81개를 제외한 민간 부분 150개 음식물류 폐기물 자원화 시설을 대상으로 관련 자료를 수집하였으며, 이 가운데 109개 시설물은 자료의 일부가 미비하여 분석대상에서 제외하여 최종적으로 전국 41개의 민간 시설물을 평가대상으로 선정하였다.

DEA모형에 필요한 산출물과 투입물에 대한 자료들은 환경부에서 발표한 폐기물 자원화 업체현황과 대한상공회의소 코참비즈 기업정보 및 한국기업데이터 주식회사 크레딧 등에서 수집하였으며, 본 연구에서의 민간 시설물의 효율성 분석을 위한 투입물과 산출물의 기술통계량은 다음 <표 2>와 같다. 민간 시설물의 효율성 평가에 사용된 투입요소와 산출물 값은 부록에 정리하였다.

<표 2> 투입물과 산출물의 기술통계량

투입물/산출물	평균	표준편차	최대값	최소값
자본금(천원)	566,507.44	646,859.94	4,000,000	50,000
시설용량(톤/일)	99.15	64.60	300	20
매출액(천원)	2,989,056.81	1,953,650.44	9,467,000	308,000
처리량(톤/일)	79.76	62.05	300	17

## 4.2 DEA 모형을 이용한 효율성 분석

### 4.2.1 효율성 분석결과

41개 음식물류 폐기물 자원화 민간 시설에 대하여 앞 절에서 언급한 투입물과 산출물을 자료로 CCR모형과 BCC모형을 사용하여 효율성을 측정한 결과는 <표 3>과 같다. 여기에서 효율성 지수가 1.00인 DMU는 효율적인 시설임을 나타내며, 또한 효율성 프런티어 내부에 놓이는 비효율적 DMU에 대하여 준거집단이 된다. 이러한 준거집단은 비효율적인 DMU의 평가에 이용되었을 뿐만 아니라 비효율적인 DMU가 벤치마킹할 수 있는 모델이 될 수 있기 때문에 DEA모형 평가에서는 중요한 의미를 지닌다. 그러나 준거집단으로 나타난 DMU들은 현재의 투입과 산출구조에서 다른 DMU들에 비교해 볼 때 어떠한 비효율성의 부분을 제시해 줄 수 없음을 의미할 뿐이며 절대적인 효율성의 지표는 될 수 없다는 점을 유의하여야 한다.

효율성 규모에 대한 CCR모형에서 볼 때, 41개 음식물류 폐기물 자원화 민간 시설의 평균적인 효율성 지수는 0.70으로 나타났으며, 이에 비효율의 정도는 30%이다. 효율적인 시설은 전체 41개 중 4개의 시설만이 상대적으로 효율적으로 나타났다. 즉 DMU #1, DMU #13, DMU #15, DMU #37 시설이 상대적으로 다른 시설에 비하여 효율적인 시설로 분석되었다. 가장 비효율적인 시설은 DMU #39로 0.28의 효율성 지수를 기록하였다.

그 다음으로 DMU #38, DMU #3, DMU #18 등의 순으로 그 뒤를 잇고 있다. 특히 효율성 지수가 평균 효율성인 0.70에 미달하는 19개의 시설은 그 원인을 제거하기 위해 노력을 해야 할 필요가 있다.

BCC모형에서는 DMU #1, DMU #2, DMU #10, DMU #13, DMU #15, DMU #21, DMU #22, DMU #23, DMU #29, DMU #37 시설이 효율적으로 판명되었는데 이는 CCR모형의 경우 보다 6개의 시설이 더 효율적으로 나타났다. 가장 비효율적인 시설은 DMU #39이며, DMU #38, DMU #3, DMU #18, DMU #36 등의 순으로 그 뒤를 잇고 있다.

규모의 효율성에 의할 경우 효율적인 시설은 DMU #1, DMU #3, DMU #13, DMU #15, DMU #16, DMU #20, DMU #34, DMU #36, DMU #37, DMU #38이 효율적인 시설로 나타났다. 가장 비효율적인 시설은 DMU #22이며, DMU #26, DMU #2, DMU #23 등의 순으로 그 뒤를 잇고 있다.

음식물류 폐기물 자원화 민간 시설인 DMU #1, DMU #13, DMU #15, DMU #37의 4개 시설은 CCR모형과 BCC모형에서 효율성이 1.00으로 이는 가장 생산적 규모의 크기로 운영된다고 할 수 있다. DMU #2, DMU #10, DMU #21, DMU #22, DMU #23, DMU #29의 6개의 시설은 BCC모형에서 효율성이 1.00이지만 규모의 효율성이 각각 0.83, 0.96, 0.96, 0.74, 0.83, 0.94로 규모의 효과를 고려한 상태에서는 효율적으로 운용되고 있게 보이지만, 규모의 효과가 일정한 상태에서는 비효율성이 나타나는 것으로 보아 규모로 인해 불리한 상황이라고 해석할 수 있다. 한편 시설 DMU #3, DMU #16, DMU #20, DMU #34, DMU #36, DMU #38은 BCC모형 효율성보다 상대적으로 높은 규모의 효율성 점수를 나타내는 것으로 보아, 전체적인 비효율성이 규모의 비효율성보다는 비효율적인 운영에 기인하기 때문이라고 할 수 있다.

규모수익성(RTS)면에서 살펴보면 불변규모수익(CRS)이 6개로 이들 시설들은 가장 생산적 규모라고 할 수 있다. 이에 반해 17개 시설은 체증규모수익(IRS)으로 나타났는데 이들은 투입량을 증대함으로써 효율성을 개선시킬 수 있는 가능성을 가지고 있다고 할 수 있다.

### 4.2.2 비효율의 원인 및 개선방안

평가를 통해 효율성 지수와 준거집단을 파악하더라도 구체적으로 어느 부분이 얼마나 비효율적인지를 알 수 없다면 실질적으로 효율성 향상을 위한 목표를 세우기가 쉽지 않을 것이다. DEA모형의 평가에서는 비효율적으로 평가된 각각의 시설들은 준거집단과 가중치를 이용하여 비효율의 원인과 정도를 파악할 수 있다. 예를 들어 CCR모형을 적용할 경우 DMU #36경우 효율성 지수는 0.43이며, 이 지수는 준거집단으로 나타난 DMU #15 그리고 DMU #37과의 비교에 의해서 결정되었으며, 각각의 가중치는 0.11, 0.32로 나타났다. 이 결과를 이용하여 DMU #36 비효율성의 원인과 정도는 <표 4>와 같이 구해될 수 있다.

준거집단과 비교했을 때 DMU #36의 비효율성은 전적으로 투입물의 과다사용에 있는 것으로 나타나고 있다. 즉 DMU #36은 이들 준거집단이 사용한 투입물과 생산한 산출물을 비교했을 때, 투입물의 사용에 비해서 산출물을 지나치게 과소하게 생산하고 있는 것이 비효율의 원인으로 분석되었다.

보다 세부적으로 투입물과 산출물을 기준으로 비효

<표 3> CCR 모형과 BCC모형의 상대적 효율성 평가결과

DMU # (시설)	CCR		BCC 지수	규모효율성 지수	RTS
	지수	준거집단(가중치)			
1	1.00	-	1.00	1.00	CRS
2	0.83	#15 (0.11) #37 (3.36)	1.00	0.83	DRS
3	0.37	#37 (0.37)	0.37	1.00	IRS
4	0.55	#15 (0.04) #37 (0.95)	0.59	0.93	IRS
5	0.63	#37 (2.52)	0.74	0.85	DRS
6	0.74	#37 (0.88)	0.76	0.97	IRS
7	0.72	#15 (0.38) #37 (0.98)	0.77	0.94	DRS
8	0.83	#15 (0.01) #37 (0.99)	0.86	0.97	CRS
9	0.63	#15 (0.08) #37 (0.42)	0.67	0.94	IRS
10	0.96	#1 (0.15) #15 (1.74)	1.00	0.96	DRS
11	0.61	#15 (0.07) #37 (1.77)	0.69	0.89	DRS
12	0.89	#15 (0.92) #37 (0.30)	0.91	0.98	DRS
13	1.00	-	1.00	1.00	CRS
14	0.58	#15 (0.01) #37 (1.12)	0.63	0.92	DRS
15	1.00	-	1.00	1.00	CRS
16	0.64	#13 (0.22) #15 (0.42)	0.64	1.00	IRS
17	0.83	#37 (2.50)	0.94	0.89	DRS
18	0.40	#13 (0.45)	0.43	0.92	IRS
19	0.56	#15 (0.45) #37 (0.45)	0.58	0.97	IRS
20	0.58	#13 (0.38) #15 (0.20)	0.58	1.00	IRS
21	0.96	#15 (0.19) #37 (0.19)	1.00	0.96	IRS
22	0.74	#15 (0.15) #37 (0.14)	1.00	0.74	IRS
23	0.83	#37 (5.00)	1.00	0.83	DRS
24	0.91	#15 (0.51) #37 (0.94)	0.96	0.95	DRS
25	0.84	#15 (0.04) #37 (1.13)	0.87	0.96	DRS
26	0.73	#15 (0.97) #37 (1.94)	0.89	0.82	DRS
27	0.45	#15 (0.30) #37 (1.06)	0.50	0.91	DRS
28	0.76	#37 (1.67)	0.83	0.91	DRS
29	0.94	#15 (1.88) #37 (0.94)	1.00	0.94	DRS
30	0.95	#13 (0.27) #15 (0.72)	0.98	0.97	IRS
31	0.50	#37 (1.00)	0.55	0.92	CRS
32	0.52	#37 (0.83)	0.56	0.94	IRS
33	0.56	#15 (1.49) #37 (0.19)	0.64	0.88	DRS
34	0.61	#37 (0.61)	0.61	1.00	IRS
35	0.91	#15 (0.87) #37 (0.77)	0.97	0.94	DRS
36	0.43	#15 (0.11) #37 (0.32)	0.43	1.00	IRS
37	1.00	-	1.00	1.00	CRS
38	0.33	#15 (0.11) #37 (0.22)	0.33	1.00	IRS
39	0.28	#15 (0.60) #37 (0.41)	0.32	0.88	DRS
40	0.56	#15 (0.11) #37 (0.57)	0.58	0.98	IRS
41	0.75	#15 (0.68) #37 (0.30)	0.77	0.97	IRS
평균	0.70	-	0.75	0.94	-

<표 4> DMU #36의 투입물/산출물에서의 비효율의 원인 및 정도

투입물/산출물	DMU #36 투입물/산출물 값(A)	준거집단에 의해 산출된 값(B)	준거집단과 비교하여 DMU #36의 투입 물/산출물에서의 비효율 (C=A-B/B-A)
자본금(천원)	440,000	69,500.0	370,500.0 (84.20%)
시설용량(톤/일)	50	21.5	28.5 (57.00%)
매출액(천원)	1,079,000	1,090,950.0	11,950.0 (1.11%)
처리량(톤/일)	25	25.3	0.3 (1.00%)

율성을 살펴보면, 자본금은 84.20%, 시설용량은 57.00%로 나타났고, 매출액은 1.11%, 처리량은 1.00%로 나타났다. 이는 DMU #36이 효율적인 DMU가 되기 위해서는 현재 자본금의 약 84%를 그리고 시설용량은 약 57%를 감축함과 동시에 현재보다 매출액과 처리량을 각각 약 1%를 증가시켜야 함을 의미한다. 즉 DMU #36은 현재의 자본금과 시설용량을 기준으로 할 때 산출물인 매출액, 처리량이 작다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 자본금을 줄이거나 시설용량을 줄여야 한다는 의미보다는 DMU #36에서 생산되는 음식물류 폐기물 자원을 더욱 더 늘이기 위해서 보다 적극적인 운영전략이 필요함을 시사한다고 할 수 있다.

<표 5>는 비효율적인 DMU들의 투입물·산출물별 비효율의 정도를 설명하고 있다. 전반적으로 비효율적인 DMU들의 비효율성은 산출물에 비해 투입물을 과다 사용한 것이 그 원인으로 나타났다. 효율적인 음식물류 폐기물 자원화 민간 시설을 기준으로 비교하면, 비효율적인 시설들은 현재 자본금의 약 56.88%, 시설용량은 약 32.77%, 매출액은 29.34%, 처리량은 0.72%를 조정해야 효율적인 시설로 전환을 모색할 수 있다. 그러나 본 연구에서 측정된 상대적 효율성 값에 의해 제시된 효율성 개선목표 및 조정비율은 민간 음식물류 폐기물 자원화 시설 경영자의 입장에서 볼 때 실행 가능한 경영전략으로 채택하기 위해서는 다음과 같은 제약을 고려해야 할 것이다. 우선 고려해야 할 사항으로 효율성 향상을 위한 경영전략에 따라 자본금과 시설용량과 같이 이미 투입되어서 사용 중인 투입물을 조절하는 것은 거의 불가능하다는 것이다. 반면에 산출물의 수준을 제고하는 것을 경영의 최우선 과제로 삼을 수 있다. 매출액이나 처리량 같은 산출물을 최대한으로 늘리는 것은 경영자 입장에서도 더욱 더 많은 수익을 올릴 수 있는 가장 현실적인 방안이라고 여겨진다. 그래서 본 연구에서 제안하고 있는 효율성 개선방안 가운데 투입물 보다

는 산출물을 조정하는 대안이 국내 음식물류 폐기물 자원화 시설의 활성화에 적합한 것이라고 판단된다. 다만 산출물 수준을 제고하기 위해서 음식물류 폐기물 자원화 시설 경영자가 자의적으로 활동하기에는 충분하지 않다는 한계점이 있다. 특히 환경과 관련된 시설의 경우 정부 정책에 많은 영향을 받으므로 정부에서는 적극적인 지원을 위한 정책을 제공하여야 한다고 사료된다.

## 5. 결 론

음식물류 자원화 사업은 국내에서 많은 관심과 정책적인 중요성을 나타내고 있으나, 아직까지 효율적인 운영이 이루어지지 않은 채 많은 문제점들을 나타내고 있다. 이에 본 연구는 자원재활용 산업의 효율성을 측정하고 이를 활성화하기 위한 방안을 제시하기 위하여, 자원재활용사업 중 41개 음식물류 폐기물 자원화시설을 대상으로 DEA모형을 이용하여 효율성을 평가하였다. 평가를 위한 투입물로는 자본금과 시설용량을 사용하였고, 산출물은 매출액과 처리량을 사용하였다. 41개 음식물류 폐기물 자원화시설의 평균효율성은 CCR모형에서 0.70, BCC모형에서 0.75로 결정되었으며 비효율성은 각각 30%, 25%로 나타났다. 41개의 시설의 효율성 지수는 CCR모형에서 0.28에서 1까지, BCC모형에서는 0.32에서 1까지 다양한 분포현상을 보였으며, 효율적으로 평가된 시설은 CCR모형에서 4개, BCC모형에서 10개로 전체의 약 10%와 약 24%에 불과하였다. 가장 낮은 효율성 지수인 0.28을 기록한 DMU #39는 준거집단(DMU #15, DMU #37)과 비교하여 투입물인 자본금과 시설용량은 각각 약 72%가 과다하게 사용되었지만, 산출물인 매출액은 147%, 처리량은 0.35%가 과소하게 생산하고 있는 것이 비효율의 원인으로 분석되었다.

그러나 DEA모형에서 투입물과 산출물의 정의에 따라

**<표 5> 비효율적인 DMU의 투입물과 산출물별 비효율의 정도**

DMU #	자본금	시설용량	매출액	처리량
2	32.25%	17.38%	0.24%	0.07%
3	85.20%	63.00%	130.29%	0.91%
4	45.14%	45.00%	3.30%	0.34%
5	58.00%	37.00%	31.34%	0.13%
6	70.67%	26.67%	19.90%	0.38%
7	28.33%	28.42%	2.21%	0.38%
8	77.94%	16.67%	0.06%	0.08%
9	53.68%	37.50%	1.59%	1.33%
10	4.00%	4.23%	201.57%	0.35%
11	64.25%	38.67%	0.19%	0.05%
12	11.67%	11.59%	22.75%	0.58%
14	58.43%	42.35%	0.84%	0.37%
16	36.27%	36.00%	0.14%	6.33%
17	58.33%	16.67%	35.96%	0.00%
18	66.99%	59.82%	0.71%	1.12%
19	43.75%	43.75%	231.70%	0.10%
20	68.80%	42.00%	0.18%	0.38%
21	93.35%	5.00%	0.33%	0.68%
22	86.02%	27.50%	2.28%	2.06%
23	75.00%	16.67%	1.25%	0.00%
24	64.42%	9.38%	0.13%	0.06%
25	83.71%	16.43%	0.05%	0.00%
26	27.25%	27.25%	33.72%	0.15%
27	54.60%	54.67%	32.84%	0.12%
28	44.33%	24.09%	46.58%	0.20%
29	6.00%	6.00%	41.92%	0.13%
30	4.60%	4.81%	0.18%	5.00%
31	50.00%	50.00%	2.24%	0.00%
32	72.33%	48.13%	3.86%	0.40%
33	43.75%	44.00%	76.32%	0.16%
34	79.67%	39.00%	9.08%	0.54%
35	80.25%	8.89%	0.18%	0.05%
36	84.20%	57.00%	1.11%	1.00%
38	75.25%	67.00%	2.30%	1.32%
39	72.00%	71.94%	146.59%	0.35%
40	60.17%	43.33%	0.91%	0.62%
41	83.79%	24.62%	0.66%	0.73%
평균	56.88%	32.77%	29.34%	0.72%

평가결과가 달라질 수 있기 때문에 본 연구의 결과가 절대적인 것은 아니다. 그리고 DEA평가에서는 주어진 표본 내에서 상대적 효율성을 측정하기 때문에 표본 수 또는 대상의 변동이 있을 경우 그 효율성 값 또한 달라질 수 있는 한계점이 있다. 또한 DEA모형은 DMU들의 상대적 효율성을 측정하기 때문에 투입요소에 대한 절대적 기준과는 상치되는 평가가 나타날 수 있는 한계가 있다. 예를 들면 본 평가에서 비효율적으로 나타난 음식물류 폐기물 자원화 민간 시설의 경우, 비효율적인 원인이 과다 사용으로 나타났다. 그러나 시설의 운영 특성상, 산출량의 정도에 따라 투입요소인 시설용량을 신축적으로 조정한다는 것은 불가능하다고 할 수 있다.

### 참고문헌

- [1] 김두환(2005), “음식물류 폐기물 관리정책 및 향후 개선과제”, 「유기물자원화」, 13권, 2호, pp. 11-16.
- [2] 김선애(2005), “DEA를 이용한 공공도서관의 효율성 평가: 정보서비스 활동을 중심으로.” 「한국문헌정보학회지」, 39권, 1호, pp. 221-239.
- [3] 박정희(2010), 「DEA를 이용한 지역산업기술개발 사업의 효율성 분석 및 개선방안에 관한 연구, 건국대학교 대학원, 박사학위논문.
- [4] 심광식, 김재윤(2009), “지하철 효율성 평가를 위한 DEA-AR/AHP 모형 설계,” 「한국경영과학회지」, 34권, 3호, pp 105-124.
- [5] 윤경준(2005), “DEA를 통한 공공조직 벤치마킹 정보의 단계적 도출,” 「한국행정학보」, 39권, 2호, pp. 233-262.
- [6] 정영대(2005), 「음식물쓰레기 수거 및 처리」, 국립환경연구원
- [7] 조성환, 박동진(2009), “DEA를 이용한 국립대학교 서관 경영효율성 분석,” 「한국도서관·정보학회 학술 발표논문집」, pp. 253-279.
- [8] 조임곤(2001), “자료포락분석(DEA)을 이용한 청소 조직의 효율성 분석,” 「도시행정학보」, 14권, 2호, pp. 117-141.
- [9] 최충익, 김미숙(2008), “DEA를 활용한 공공체육시설 효율성 분석,” 「국토계획국토계획」, 43권, 3호, pp. 275-288.
- [10] 최훈근(2004), “음식물류폐기물 발생원예의 감량 자원화”, 유기성학회, 유기성학회지 제12권 제4호, pp.14-30
- [11] 환경부(2005), 「음식물류 폐기물 통계정보시스템

개발을 위한 연구 중간보고서」

[12] Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W.(1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Science*, Vol. 30, No. 9, pp. 1078-1092.

[13] Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E.(1978),

"Measuring the Efficiency of Decision Making Unites," *European Journal of Operations Research*, Vol. 2, pp. 429-444.

[14] Rutgers(2002), "Food waste management", Food Policy Institute of the State University of New Jersey.

2010년 5월 7일 접수, 2010년 6월 7일 1차 수정, 2010년 6월 14일 2차 수정, 2010년 6월 16일 채택

## &lt; 부 록 &gt; DMU의 투입물과 산출물 값

DMU #	자본금 (천원)	시설용량 (톤/일)	매출액 (천원)	처리량 (톤/일)
1	60,000	250.0	5,013,000	219.0
2	1,000,000	210.0	6,902,000	207.5
3	500,000	50.0	308,000	22.0
4	350,000	90.0	1,931,000	59.0
5	1,200,000	200.0	3,678,000	151.0
6	600,000	60.0	1,407,000	53.0
7	300,000	95.0	3,452,000	80.0
8	900,000	60.0	1,940,000	60.0
9	190,000	40.0	1,171,000	30.0
10	100,000	130.0	2,754,000	129.0
11	1,000,000	150.0	3,704,000	110.0
12	120,000	69.0	3,722,000	69.0
13	220,000	50.0	4,440,000	40.0
14	540,000	98.0	2,209,000	68.0
15	50,000	50.0	4,341,000	55.0
16	108,892	50.0	2,796,000	30.0
17	1,200,000	150.0	3,525,000	150.0
18	299,913	56.0	1,984,000	17.8
19	200,000	80.0	849,000	51.7
20	300,000	50.0	2,560,000	26.3
21	714,000	20.0	1,193,000	22.0
22	254,000	20.0	941,000	17.0
23	4,000,000	300.0	9,467,000	300.0
24	600,000	80.0	4,021,000	84.5
25	1,400,000	70.0	2,341,000	70.0
26	600,000	200.0	5,930,000	170.0
27	500,000	150.0	2,510,000	80.0
28	600,000	110.0	2,184,000	100.0
29	300,000	150.0	7,020,000	160.0
30	100,000	52.0	4,332,000	48.0
31	400,000	100.0	1,875,000	60.0
32	600,000	80.0	1,532,000	50.0
33	200,000	150.0	3,875,000	93.2
34	600,000	50.0	1,072,000	36.8
35	1,000,000	90.0	5,262,329	94.0
36	440,000	50.0	1,079,000	25.0
37	200,000	50.0	1,917,000	60.0
38	200,000	50.0	879,000	19.0
39	400,000	180.0	1,375,000	57.4
40	300,000	60.0	1,556,000	40.0
41	580,000	65.0	3,504,000	55.0
평균	566,507	99.1	2,989,057	79.8