



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

物流學碩士 學位論文

유해산출물을 고려한 국내  
컨테이너터미널의 효율성 분석

Efficiency Analysis for the Domestic Container Terminals  
Considering Undesirable Output



2011年 12月

韓國海洋大學校 大學院

物流시스템學科

金 曉 秀

# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 방법 및 구성 .....	3
제 2 장 이론적 고찰 .....	4
2.1 DEA 항만 관련 연구 .....	4
2.2 DEA 환경 관련 연구 .....	7
제 3 장 방법론 .....	9
3.1 DEA 개념 및 모형 .....	9
3.2 방향성생산거리함수 .....	12
제 4 장 실증분석 .....	20
4.1 변수선정 .....	20
4.2 효율성 분석 .....	23
제 5 장 결론 및 향후 연구방향 .....	31
5.1 결론 .....	31
5.2 연구의 한계 및 향후 연구방향 .....	32
참고문헌 .....	33

# 표 목 차

<표 2-1> DEA 항만 관련 선행연구 .....	6
<표 2-2> DEA 환경 관련 선행연구 .....	8
<표 4-1> 투입 및 산출 변수 .....	20
<표 4-2> 컨테이너터미널 데이터 현황(2007) .....	21
<표 4-3> 연료별 소비에 따른 이산화탄소 배출계수 .....	21
<표 4-4> 투입 및 산출 요소의 기술통계량 .....	21
<표 4-5> 투입 및 산출 변수의 상관관계 .....	22
<표 4-6> 효율성 분석의 기술통계량 .....	23
<표 4-7> DMU별 관련 터미널 .....	23
<표 4-8> 유해산출물을 고려하지 않은 효율성 분석결과 .....	24
<표 4-9> 유해산출물을 고려한 효율성분석 결과 .....	25
<표 4-10> 참조집합 및 투입산출 목표치(DMU4, 2007) .....	26
<표 4-11> 참조집합 및 투입산출 목표치(DMU7, 2007) .....	27
<표 4-12> 참조집합 및 투입산출 목표치(DMU8, 2007) .....	27
<표 4-13> 참조집합 및 투입산출 목표치(DMU6, 2009) .....	28
<표 4-14> 참조집합 및 투입산출 목표치(DMU8, 2010) .....	28

## 그림 목 차

<그림 3-1> 거리함수 및 방향성생산거리함수 .....	15
<그림 4-1> 방향성생산거리함수 분석결과(2007) .....	29
<그림 4-2> 방향성생산거리함수 분석결과(2008) .....	29
<그림 4-3> 방향성생산거리함수 분석결과(2009) .....	30
<그림 4-4> 방향성생산거리함수 분석결과(2010) .....	30



# Efficiency Analysis for the Domestic Container Terminals Considering Undesirable Outputs

Hyo su, Kim

Department of Logistics Engineering Graduate School of  
Korea Maritime University

## Abstract

Recently according to increase of enlarged scale ports in conformity with increase in over size vessels and container handling service, pollutants generated from ports are increasing. In advanced countries, reduction in carbon dioxide emission assigned to them has been implemented according to the Climate Change Convention and Kyoto Protocol from 2008 to 2012 in order to lessen carbon dioxide emission. Henceforth increase in discussion on the measure of constructing Green Port and low-carbon port is expected in our nation's field of port as well, it is considered that the effort in reduction with regard to undesirable output which causes environmental problem of analysis target during measuring effectiveness. Therefore, in this study, effectiveness was estimated through directional technology distance function considering undesirable output differently from effectiveness analysis of existing container terminal, and then performed comparative analysis with the result analyzed with BCC output oriented model. As the result of

analysis, in 2007 DMU3 and DMU5, and in 2010 DMU2 and DMU4 appeared to be efficient terminals in BCC output oriented model, and in directional technology distance function model, DMU1, DMU2, DMU3 in 2007, DMU1, DMU2, DMU3, DMU5, DMU7 in 2008 and 2009, and DMU2, DMU4, DMU5, DMU7 in 2010 appeared to be efficient terminals.



# 제 1 장 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

동북아 지역의 급속한 경제성장과 컨테이너 물동량 증가로 인한 물류중심지역 역할을 수행 할 수 있는 항만의 중요성은 매우 크다고 볼 수 있다. 동북아 물류 허브항으로 도약하기 위해 동북아 지역의 항만들 간에 컨테이너 물동량 창출을 위한 노력과 경쟁이 치열해지고 있다.

운영 효율성 및 국제경쟁력 강화를 위해 항만운영사업 부문의 민영화가 실현되면서 영리적, 효율적 운영을 위해 많은 노력을 하고 있다. 항만의 경쟁력은 효율성 측정을 통해 비교 분석 할 수 있으므로 항만의 효율성 측정에 대한 관심과 중요성이 높아지고 있으며, 다양한 방법으로 컨테이너터미널의 효율성 분석에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 컨테이너터미널의 생산효율성을 측정하기 위해서 유해산출물(Undesirable output)을 고려한 연구는 국내외적으로 거의 전무한 상황이다.

최근 선박의 대형화 및 컨테이너 처리실적의 증가에 따른 항만의 대형화에 따라 항만에서 발생하는 오염물질이 증가하고 있다. 선진국에서는 이산화탄소 배출량을 줄이기 위해 2008년부터 2012년까지 기후변화협약<sup>1)</sup> 및 교토의정서<sup>2)</sup>에 따라 자국에 할당된 이산화탄소 배출량 감축을 시행하고 있다. 앞으로 우리나라 항만분야에서도 Green Port 및 저탄소 항만 구축방안에 대한 논의가 증가될 것으로 예상되기 때문에 효율성 측정시 분석대상의 환경적 문제를 유발하는 유해산출물(Undesirable output)에 대한 저감 노력이 반영되어야 할 것으로 사료된다.

- 
- 1) 기후변화협약 : 정식명칭은 “기후변화에 관한 국제연합 기본협약”, 지구온난화에 대처하기 위해 UN이 1992.5.9. 채택하여 1994.3.21.에 발효. 주요 목적은 1990년 배출량 수준으로 이산화탄소를 포함한 온실가스 배출량을 줄이는 것. 그 동안 온실가스를 배출해온 선진국(부속서 1국가, 38개국)에게 감축의무를 부과.
  - 2) 교토의정서 : 정식 명칭은 “기후변화에 관한 국제협약 기본협약에 대한 교토의정서”, 1997.12.11.에 채택하여 2005.2.6.에 발효. 기후변화협약을 실행하기 위해 부속서 1국가는 연간 배출량을 2008년부터 2012년 까지 1990년 대비 평균 5%를 감축하도록 하였음.



따라서 본 연구에서는 기존 컨테이너터미널의 효율성 분석과는 달리 유해산출물(Undesirable Output)을 고려하여 방향성생산거리함수(Directional Technology Distance Function) 통해 효율성을 추정 할 것이며, 시간의 흐름에 따른 효율성을 추정하기 위해 2007년에서 2010년까지 각 년도 별로 분석을 하고자 한다.



## 1.2 연구의 방법 및 구성

본 연구는 2007년에서 2010년까지 부산항(자성대, 신선대, 감만, 우암, 신감만), 광양항(동부, KIT, 대한통운)의 8개 컨테이너터미널을 대상으로 효율성을 추정하였다. 컨테이너터미널의 효율성을 추정하기 위한 방법론으로는 거리함수(Distance function)을 사용하였는데, 그 중에서 특히 항만에서 발생하는 CO<sub>2</sub>와 같이 유해산출물(Undesirable output)이 존재 할 경우의 분석에 적절한 방향성생산거리함수(Directional Technology Distance Function)를 사용하였다. 효율성 분석에 사용된 투입변수는 안벽길이, C/C의 수, CY 면적이고 유익산출물은 컨테이너처리실적이며 유해산출물은 CO<sub>2</sub> 배출량이다.

본 연구의 구성은 모두 4개의 장으로 구성된다.

제1장은 서론부분으로서 연구의 배경 및 목적, 연구의 방법 및 구성에 대해 서술하고 있으며, 제2장은 이론적 고찰 부분으로서 DEA 항만 관련 연구, DEA 환경 관련 연구를 살펴보고자 한다. 그리고 제3장은 방법론 부분으로서 DEA 개념 및 모형과 분석에 이용된 방향성생산거리함수에 대한 정의를 설명하고자 하며, 제4장은 실증분석 부분으로서 변수선정에 대한 논의와 방향성생산거리함수를 이용한 효율성 추정에 대한 결과를 해석한다. 마지막으로 제5장에서는 본 연구의 결과를 요약하고 연구의 한계 및 향후 연구방향을 제시한다.

## 제 2 장 이론적 고찰

### 2.1 DEA 항만 관련 연구

Roll 과 Hayuth(1993)의 연구에서는 항만성과에 영향을 미치는 요인들이 너무 많기 때문에 항만의 효율성을 분석하는데 있어 자료포락분석(DEA : Data Envelopment Analysis)이 가장 적합한 방법이라고 주장하였다. 이스라엘의 20개 항만을 대상으로 하여 투입변수는 노동비, 자본비, 화물특성으로, 산출변수는 총 처리량, 서비스 수준, 이용자 만족도, 선박 기항 수로 선정하여 항만들의 효율성을 추정하였다.

Cullinane et al.(2002)의 연구에서는 항만의 생산성과 효율성 분석방법으로 DEA기법과 Stochastic Frontier 모형을 자세히 소개하며, 각 방법을 활용한 논문들에 대하여 설명하였다. 그는 선행연구를 바탕으로 항만산업의 경우에는 상당한 규모의 경제가 존재하므로 DEA 모형 중 BCC나 Additive 모형을 이용하여 항만의 효율성을 측정하는 연구가 필요하고 강조 하였다.

류동근(2005)의 연구에서는 BCC 모형을 이용하여 부산항과 광양항 컨테이너 터미널 운영의 상대적 효율성을 평가하였다. 항만산업에는 상당한 규모의 경제가 존재한다는 것을 가정하고 항만의 특성을 고려하여 BCC 모형의 산출기준 효율성을 추정하였다. 터미널 운영업체의 경영전략, 기업문화, 경영자의 경영능력 등 정성적인 요소가 생산성 및 효율성에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구가 보완되어야 할 것이라도 말하고 있다. 이 논문에서는 시간의 흐름에 따른 효율성 변화를 제시하고 있지 못하고 있다.

그와 달리, 박병근 외(2007)의 연구에서는 각 년도의 효율성을 측정함은 물론 각 터미널의 시간의 흐름에 따른 효율성 변화와 신규터미널의 생성, 운영사의 변화, 터미널의 통합 운영 등에 따른 터미널 생산성의 변화 등을 제시하여 줌으로써 터미널 운영사의 향후 운영전략에 시사점을 제공하고 있다.

박노경, 이병화(2007)의 연구에서는 국내 컨테이너터미널의 생산효율성을 비방사적(non-radial)인 DEA(Data Envelopment Analysis) 방법으로 측정하고 그 결과를 방사적인 측정결과와 비교하고 분석하였다. 기존의 생산효율성 측정방법을 제시하는 한편, 새롭게 생산효율성 분석에 비방사적인 모형 도입의 필요성을 강조하였다. 비방사적인 측정방법은 최적의 투입물변화율을 개별 투입요소별로 보여줌으로써 투입요소들이 효율성수치에 미치는 영향력을 새롭게 증명하였다.

최봉환 외(2009)의 연구에서는 컨테이너 터미널의 효율적 운영을 위하여 정보화 수준을 고려한 효율성 분석의 중요성을 제시하고, DEA와 Bootstrap을 이용하여 정보화 수준과 관련된 상대적 효율성을 측정하였다. 그 결과 정보화수준을 고려하였을 경우가 투입변수로 시설만 보았을 경우보다 대부분 DMU의 효율성 점수가 높아진다는 것을 보여주고 있다.

모수원, 이광배(2010)의 연구에서는 폐널분석의 단점을 보완하기 위하여 효율성 척도를 종속변수로 하여 이분산 토빗모형을 적용하여 컨테이너 야드와 컨테이너 크레인이 효율성에 어떠한 영향을 미치는가와 두 변수의 차이점을 분석하였다. 그 결과 컨테이너 야드당 물동량과 컨테이너 크레인당 물동량의 증가가 효율성 향상에 기여하나, 컨테이너 야드의 계수가 컨테이너 크레인의 계수보다 더 커서 컨테이너 야드가 효율성에 더 큰 영향을 미친다는 것을 밝혔다.

박홍균(2010)의 연구에서는 항만의 컨테이너 터미널의 하역장비들은 고가이며 시설에 많은 투자가 요구되며 터미널의 운용방법은 매우 동일한 조건에서 하역 서비스가 제공되기 때문에 각 항만은 시설을 보다 체계적이며 효과적으로 활용하여 환적물동량처리의 효율성을 높여야 할 필요성이 있다고 강조하고 있다.

<표 2-1> DEA 항만 관련 선행연구

연구자	연구방법	투입요소	산출요소	평가대상
Roll and Hayuth (1993)	DEA	노동비 자본비 화물특성	총 처리량 서비스 수준 이용자 만족도 선박 기항 수	이스라엘 (20개 항만)
Cullinane et al. (2002)	Stochastic Frontier Model	안벽길이 터미널면적 하역장비 수	컨테이너 처리량	아시아 지역 항만 및 터미널 (15개)
류동근 (2005)	DEA	종업원 수 부두길이 부지면적 G/C의 수	컨테이너 처리량 연간 선석점유율 컨테이너 내장화물톤수	부산항·광양항 (8개 터미널)
박병근 외 (2007)	DEA	선석길이 C/C의 수 T/C, S/C, R/S의 수 터미널 총 면적 CY 면적	컨테이너 처리량	부산항·광양항 (15개 터미널)
박노경·이병화 (2007)	DEA	종업원 수 부두길이 부지면적 C/C의 수	컨테이너처리실적 연간 선석점유율 컨테이너내장화물톤수	부산항·광양항 (8개 터미널)
최봉환 (2009)	DEA Bootstrap	안벽길이, CY 면적, 크레인 수, 투자비, 운영비, 인건비	생산량, 물동량	우리나라 (8개 터미널)
모수원, 이광배 (2010)	DEA	CY 면적 C/C의 수	컨테이너 물동량	부산항·광양항 (13개 터미널)
박홍균 (2010)	DEA	CY 면적 C/C의 수 T/C의 수 Y/T의 수	환적화물량	부산항·광양항 (11개 터미널)

## 2.2 DEA 환경 관련 연구

Chung, Y., Fare, R.(1997)의 논문에서는 방향거리함수를 이용하여 스웨덴 종이·펄프 산업의 효율성을 추정 하였으며, 유해산출물 축소에 관한 설명과 방사적 속성을 가진 방향거리함수를 소개하고 있다. 방향거리함수가 Shephard의 산출거리 함수와 어떤 관련이 있는지 보여주고, Malmquist type 생산성 측정의 구성요소로 적용을 해야 한다고 말하고 있다. Malmquist-Luenberger 지수는 효율성 변화와 기술 변화 두 가지로 나눌 수 있으며, 유해산출물이 존재 할 경우에는 Malmquist-Luenberger 생산성 지수를 이용하는 것이 더 바람직하다고 주장하고 있다.

Boyd, G.A. et al.(2002)의 논문에서는 Malmquist 생산성 지수를 기반으로 방법론과 경험적 결과를 보여주고 있다. 유리생산에서 발생하는 주요 대기오염 물질인 질소 산화물의 배출과 용기 유리생산에서 생산성과의 관계를 조사하였다. 그리고 방향거리함수를 이용하여 환경성과를 포함한 생산성 증가, 생산과 환경을 동시에 향상 시킬 수 있는 가능성, 오염물질 감소로 인한 산출 손실, 한계저감비용 등을 계산 할 수 있다고 말하고 있다.

Kumar, S.(2006)의 연구에서는 방향거리함수를 추정하기 위해 비모수적 선형 계획법을 사용하였으며, 방향거리함수를 이용한 Malmquist-Luenberger 지수를 통해 측정된 41개 국가의 총요소생산성의 확장을 나타내주고 있다.

Hawdon D.(2003)의 연구에서는 가스 산업에서 자원 사용의 효율성에 영향을 미치는 정책에 대해 연구하고 있으며, DEA 방법인 Bootstrapping을 이용하여 개별 국가 수준에서 상대적인 성과를 측정하였다.

Hu, J.L., Wang, S.C(2006)의 연구에서는 새로 도입된 지수를 소개하고 1995년부터 2002년까지 중국의 29개 행정지역의 에너지 효율성을 분석하였다. TFEE(Total-factor energy efficiency)지수 순위에 따르면, 중국의 중심 지역은 매우 낮은 에너지 효율성을 가지고 있으며 총 에너지소비는 중국의 절반을 넘어선다고 말하고 있다. 연구기간 동안 서부지역을 제외하고 지역 총 요소 에너지 효율이 증가했으며 중국지역에서 TFEE(Total-factor energy efficiency)

와 인당 소득 사이에 U자형 관계를 찾을 수 있는데 결국 에너지 효율과 경제성장은 함께 향상된다고 말하고 있다. 이 논문에서 TFEE(총요소에너지효율)가 처음으로 구성되었고 DEA를 통해 사용되었다. TFEE 지수에 따라 중국의 지역 에너지 효율의 경험적 연구의 결과를 말해주고 있다.

<표 2-2> DEA 환경 관련 선행연구

연구자	연구방법	투입요소	산출요소	평가대상
Chung, Y., Fare, R. (1997)	DDF	노동 목질 섬유 에너지 자본	y : 펄프 b: 생물학적 산소 요구량 b: 화학적 산소 요구량 b: 부유 물질	종이, 펄프 산업 (스웨덴)
Boyd, G.A. et al. (2002)	DDF	에너지 비용 노동 재료비용 자본금	y : 선적가액 b : 질소 산화물 배출량	용기 유리산업 (미국)
Kumar (2006)	DDF	노동 자본 에너지 소비량	y : GDP b : CO <sub>2</sub>	41개 국가
Hawdon, D. (2003)	bootstrapping	고용 가스관 길이	고객 수 가스 소비량	33개 국가
Hu, J.L. et al (2006)	TFEE	노동 자본금 에너지소비량 농장지역	GDP	29개 행정지역 (중국)

y : 유익산출물, b : 유해산출물

따라서 본 연구에서는 기존의 항만 효율성 연구와는 달리 항만에서 발생하는 이산화탄소 배출량을 유해산출물로 선정하여 유해산출물을 고려한 효율성을 분석하였다. 유해산출물을 고려한 효율성을 추정하는 모형으로는 수정 BCC모형과 방향성생산거리함수를 이용하여 추정 할 수 있는데, 본 연구에서는 방향성생산거리함수를 이용하여 효율성을 추정하였다.

## 제 3 장 방 법 론

### 3.1 DEA 개념 및 모형

DEA(Data Envelopment Analysis) 방법은 비모수적 효율성 측정 방법으로써 선형계획법에 근거한 경험적 프론티어를 도출한 후 평가대상들의 효율적인 프론티어로 부터 떨어져 있는지의 여부로써 비효율성을 측정하는 방법이다.

DEA 방법은 사용 목적에 따라 여러 가지 모형이 있는데 그 중 대표적인 것은 Charnes, Cooper, and Rhodes(1978)가 제시한 CCR 모형과 Banker, Charnes, and Cooper(1984)가 제시한 BCC 모형이 있다. CCR 모형은 규모에 대한 수익 불변(Constant Return to Scale)가정 하에 효율성을 분석하기 때문에 규모의 효율성과 순수 기술적 효율성을 구분하지 못한다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 개선하기 위해 제시된 BCC 모형은 규모에 대한 수익 가변(Variable Return to Scale)가정 하에 효율성을 분석 한다.

효율성 분석은 투입지향(Input-Oriented)과 산출지향(Output-Oriented)으로 구분되는데, 투입지향이란 현재의 산출물을 유지하면서 투입요소의 사용량을 줄이고 있는지 여부를 파악 하고자 하는 경우에 이용되는 방법이고, 산출지향은 주어진 투입요소 수준에서 최대의 산출량을 발생 시키고 있는지 여부를 파악 하고자 하는 경우에 이용되는 방법이다.

항만의 경우에는 대규모의 시설에 따른 항만개발에 많은 투자가 요구되며, 항만건설에 소요되는 시간이 매우 길다. 그리고 C/C 등 항만 하역장비들은 고가의 장비이기 때문에 주어진 투입요소들을 효율적으로 운영하여 최대의 산출물을 생산하도록 노력해야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 항만산업에서는 규모의 경제가 존재한다는 것을 가정하여 BCC 산출지향 모형을 이용한 효율성을 분석 하였다.



BCC 산출지향 모형은 다음과 같은 분수계획법 형태로 주어진다.

$$\begin{aligned}
 n h &= \sum_{i=1}^m u_i x_{i0} + v_0 \\
 &\quad - \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \\
 \text{s.t.} \quad &\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + v_0 \geq 1, \quad j = 1, \dots, n \\
 &\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \\
 &u_r \geq \varepsilon > 0, \quad r = 1, \dots, s \\
 &v_i \geq \varepsilon > 0, \quad i = 1, \dots, m
 \end{aligned}$$

여기서,

$h_0$  :  $r$ 번째 산출물에 대한 가중치      $v_i$  :  $i$ 번째 투입물에 대한 가중치  
 $y_{rj}$  :  $DMU_j$ 의  $r$ 번째 산출물의 양      $x_{ij}$  :  $DMU_j$ 의  $i$ 번째 투입물의 양  
 $y_{r0}$  : 평가대상  $DMU_0$ 의  $r$ 번째 산출물의 양  
 $x_{i0}$  : 평가대상  $DMU_0$ 의  $i$ 번째 투입물의 양  
 $\varepsilon$  : non-imedean 상수  
 $n$  :  $DMU$  수      $m$  : 투입물의 수      $s$  : 산출물의 수

위 식에서 목적함수의 분모인 산출물의 가중합을 1로 고정시킨 후 정리하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } h_0 &= \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} + v_0 \\
 \text{s.t.} \quad &-\sum_{i=1}^s u_r y_{ri} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + v_0 \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \\
 &\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1 \\
 &u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad \forall r, i
 \end{aligned}$$

위 식을 쌍대문제로 변형하면 다음과 같은 선형계획법 문제로 주어진다.

$$x h = \theta + \epsilon \left[ \sum_{i=1}^m s_i + \sum_{r=1}^s s_r \right]$$

$$s.t. \quad - \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + \sum_{r=1}^s \theta y_{r0} + s_{r^+} = 0, \quad r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_{i^-} = x_{i0}, \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$s_{i^-}, s_{r^+}, \lambda_j \geq 0, \quad \forall i, r, j$$



### 3.2 방향성생산거리함수

DEA 방법의 대표적인 모형인 CCR 모형과 BCC 모형으로는 유해산출물을 고려한 효율성을 분석하는데 제약이 따른다. 따라서 본 연구에서는 방향성생산거리함수를 이용하여 효율성을 추정 하였다.

방향성생산거리함수(Directional Technology Distance Function)는 산출물 중에서 오염물질(SO<sub>2</sub> , CO<sub>2</sub> )과 같이 유해산출물(undesirable Output)이 존재하는 경우에 적절한 거리함수이며 기존의 모든 거리함수(distance function)를 포괄하는 새로운 개념의 거리함수이다(Fare et al, 1996).

생산함수는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 &(x,y,b) : x \text{ can produce } y \text{ and } b \\
 &x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^N, \quad y = (y_1, y_2, \dots, y_M) \in R^M \\
 &b = (b_1, b_2, \dots, b_J) \in R^J
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

즉, T는 생산함수이며 x는 n개의 투입요소이고 y와 b는 각각 m개와 j개의 산출물을 의미한다. 산출물중에서 y는 컨테이너처리실적이나 부가가치와 같은 유익산출물(desirable output)이며 b는 아황산가스나 이산화탄소와 같은 오염물질로서 유해산출물(undesirable output)을 의미한다. 따라서 위의 생산함수(T)는 n개의 투입요소를 사용하여 각각 m개와 j개의 유익산출물과 유해산출물을 생산할 수 있는 기술적인 관계를 표현한 것이다.

생산함수는 다음과 같은 몇 가지의 제약조건을 갖게 된다.

첫째, 유익산출물은 강처분(strong disposability)의 특성을 지니고 있다. 즉, 현재의 투입요소와 산출물(유익산출물과 유해 산출물 포함)이 생산함수의 범위에 포함된 경우 유익산출물은 비용을 지불하지 않고서도 그 산출 규모를 언제든지 축소될 수 있다는 것이다. 유익산출물의 생산 규모가 감소된다 할지라도 현재의 투입요소와 유해산출물로 이루어진 생산기술에서는 항상 축소된

유익산출물이 생산함수의 범위에 포함된다는 것이다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$x, y, b) \in T \text{ and } y' \leq y \text{ then } (x, y', b) \in T \quad (2.2)$$

둘째, 유해산출물은 약처분(weak disposability)의 특성을 지니고 있다. 즉, 현재의 생산기술과 투입요소라는 조건에서 유해산출물을 감소시키기 위해서는 유익산출물도 동시에 감소해야 한다는 것이다. 예를 들면, 전력생산의 경우 유해산출물인 이산화탄소의 배출을 감소시키기 위해서는 화석연료의 투입량을 감소시킬 수밖에 없다는 것이다. 투입 에너지의 감소는 유익산출물인 전력생산의 감소로 이어질 것이며 유해산출물 감소는 결국 유익산출물 감소를 동반할 수밖에 없다는 점을 말해주고 있다. 따라서 유해산출물 감소에는 유익산출물 감소라는 비용이 수반될 수밖에 없으며 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$(x, y, b) \in T \text{ and } 0 \leq \theta \leq 1 \text{ imply } (x, \theta y, \theta b) \in T \quad (2.3)$$

셋째, 현재의 산출물을 생산하기 위해 투입된 규모보다 많은 양의 투입요소는 강처분(strong disposability)의 조건을 부여하는 것이 타당할 것이다. 즉, 투입요소 중에서 일부 혹은 모든 투입요소의 투입량을 증대시킨다 할지라도 현재의 생산 기술의 범위를 벗어나지 않는다는 점을 말해주고 있다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$(x, y, b) \in T \text{ and } x \leq x' \text{ then } (x', y, b) \in T \quad (2.4)$$

넷째, 유익산출물은 유해산출물과 함께 항상 생산된다는 점에서 산출물의 동반 생산성(null jointness)의 가정을 부여하는 것이 타당하다. 이는 만약 유익산출물의 생산이 없으면 유해산출물의 생산도 없다는 것을 의미한다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{if } (x, y, b) \in T \text{ and } b = 0 \text{ then } y = 0 \quad (2.5)$$

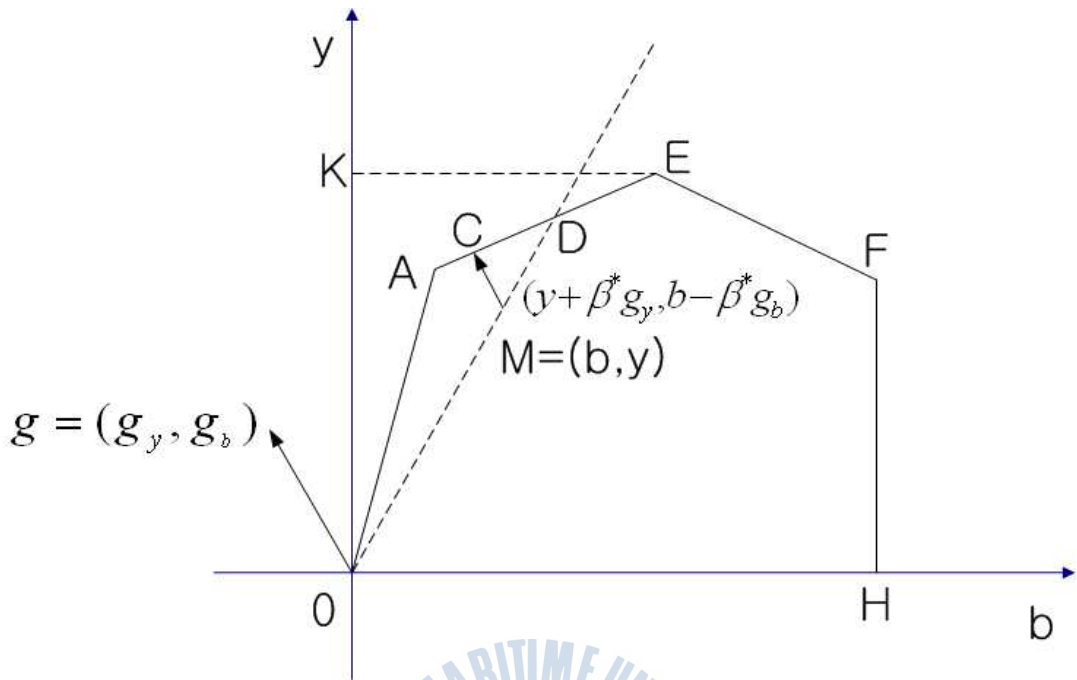
방향성생산거리함수(Directional Technology Distance Function)는 앞에서 정의한 생산함수에 입각해서 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$(x, y, b; -g_x, g_y, -g_b) = \sup \beta : (x - \beta g_x, y + \beta g_y, b - \beta g_b) \in T \quad (2.6)$$

여기에서  $(-g_x, g_y, -g_b)$ 는 영이 아닌 방향성 벡터(non-zero directional vector)이다. 방향성생산거리함수는 기준이 되는 생산함수(reference technology), 즉, 생산함수의 프론티어에 대해서 각 생산단위가 투입요소를 줄이고 산출물을 동시에 증대시킬 수 있는 최대한의 정도를 방향성 벡터에 입각한 거리로 표현하게 된다. 이는 곧 생산함수 프론티어와 생산단위와의 거리를 방향성 벡터로 표현하는 것이다. 거리함수에서 구해진  $\beta$ 값, 즉  $\overrightarrow{D_T}$ 가 바로 생산효율성을 나타내는 지수(indicator)로 활용될 수 있는데 이 지수가 바로 Luenberger 생산성 지수이다.<sup>3)</sup>

식(2.6)에서 투입물(x)를 고정할 경우의 방향성생산거리함수를 보면 <Fig 3-1>과 같다. 그림에서 y는 정상산출물, b는 유해산출물을 나타낸다. 생산프론티어는 OAEFH이며, OAE 구간은 약처분성 특징을 가진 구간이라 할 수 있다. 즉, 생산점이 E점에서 선분 EK를 따라서 D'로 이동한다면 정상산출물은 OK로 일정하며, 유해산출물 b를 감소시킬 수 있다. 즉, 유해산출물의 감소를 위해 기회비용이 증가하지 않는다. 그러나 생산점이 E에서 D로 이동하면 유해산출물을 감소시키기 위해 정상산출물도 감소해야 한다. 즉, 기회비용이 발생하는 것이다.

3) Luenberger 생산성지수는 투입물과 산출물을 동시에 조절할 수 있는 방향성 생산거리함수으로써 방향투입물 거리함수(Direction input distance function)와 방향산출물 거리함수(direction output distance function)로 구분할 수 있다.



<그림 3-1> 거리함수 및 방향성생산거리함수

다음으로 방향성생산거리함수를 이용한 생산효율성을 보면 지금 에서 생산 이 이루어질 경우, 정상산출물( $y$ )과 유해산출물( $b$ )에 대한 방향성 벡터  $= (g_y, -g_b)$ 는 2사분면에 표시되어 있다. 이 경우 생산프론티어상의 효율적인 생산점 C에 도달하기 위해서는, 현재의 생산점  $M = (b, y)$ 에서 방향성 벡터  $(g_y, -g_b)$ 에 거리함수의 값( $\beta^*$ )을 곱한 만큼 정상산출물의 생산은 증가하고, 유해산출물의 생산은 감소해야 한다.

이 때  $\beta$ 값이 0이면, 현재 생산점  $M$ 이 프론티어상의 가장 효율적인 생산점 C와 일치하므로 효율성이 가장 높다.  $\beta$ 의 값이 0보다 클수록 효율성은 낮아진다. 여기서  $\beta$ 값을 효율성 지수라고 명명하고, 효율성 지수의 값이 적을수록 효율성은 높아진다.

방향거리함수에서 보듯이 유해산출물을 감소시킬 경우  $\beta$ 의 값은 적어진다. 즉, DMU의 효율성이 향상됨을 의미한다. 본 논문에서와 같이 항만의 효율성을 측정할 경우, 유해산출물을 CO<sub>2</sub> 배출량이라고 했을 때, CO<sub>2</sub> 배출량의 감소는 컨테이너터미널의 효율성을 향상시킬 수 있음을 의미하고 있는 것이다.

방향성생산거리함수(Directional Technology Distance Function)는 다음과 같은 몇 가지 성질(property)을 갖고 있다.(Fare et al, 2004)

첫째, 이행성(translation property)이라는 성질을 가지고 있다. 이는 방향성 벡터  $g, g_y, g_b$ 에 일정한 상수를 곱한 값을 원래의 투입요소와 유해산출물에서 차감하고 유익산출물에 대해서는 추가할 경우 생산 거리함수의 값은 원래의 투입요소와 산출물에서 구한 거리함수의 값에서 일정한 상수를 차감한 값과 동일하다는 것을 의미한다.

둘째, 방향성 벡터에 대해 -1의 동차성(homogeneous of degree -1 in directional vector)의 성질을 가지고 있다. 이는 방향성 벡터를 일정 상수비율로 증대 혹은 감소시킬 경우의 거리함수 값은 원래의 방향성 벡터에서 구한 거리함수의 값에 상수를 곱한 값과 동일하다는 것을 의미한다.

셋째, 생산 거리함수는 항상 0이나 양의 값을 가진다는 생산함수 대표성(representation property)을 가지고 있다. 즉, 생산 거리함수가 생산기술을 완벽하게 표현 해주는 함수로 정의될 경우 거리함수의 값은 항상 양의 값을 지닌다는 점이다.

넷째, 생산거리함수는 투입요소가 강처분의 특성을 지닐 경우 투입요소에 대한 비감소성(non-decreasing in x if inputs are freely disposable)의 성질을 가지게 된다. 즉, 산출물은 이전과 동일한 환경(동일한 생산기술 함수, 동일한 산출물 수준)에서 투입요소가 증가하게 되면 거리함수의 값은 이전의 거리함수의 값에 비해 감소하지 않는다는 것이다.

다섯째, 산출물의 강처분시 산출물에 대한 비증가성(non-increasing in y if outputs are freely disposable)의 속성도 가지고 있다. 이는 투입요소가 이전과 동일할 경우 산출물이 증가하면 생산 거리함수의 값은 이전의 거리함수 값에 비해 감소하지 않고 증대될 가능성이 높다는 점을 의미한다.

여섯째, 생산함수가 CRS일 경우 투입요소 및 산출물에 대한 1차 동차성 (homogeneous of degree +1 in inputs and outputs)의 성질을 가지게 된다. 투입요소와 산출물을 일정한 비율로 동시에 증대시키기 이전의 투입요소와 산출물의 거리함수의 값에 일정한 비율을 곱한 값과 동일하다는 것이다.

방향거리함수의 추정을 위해 우선 생산프론티어 추정을 위한 선형계획프로그램을 다음과 같이 설정한다. t기의 보수불변(CRS)을 가정한 약처분성의 생산프론티어 추정모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 RS \quad (x^t, y^t, b^t): \quad & \sum_k Z_k y_{k,m}^t \geq y_m^t, \quad m=1, 2, \dots, M \\
 & \sum_k Z_k b_{k,j}^t = b_j^t, \quad j=1, 2, \dots, J \\
 & \sum_k Z_k x_{k,n}^t \leq x_n^t, \quad n=1, 2, \dots, N \\
 & Z_k \geq 0, \quad k=1, 2, \dots, K
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

식(2.7)에서 정상산출물(y)과 투입요소(x)는 강처분성을 가정하여 부등호의 제약조건을 갖는다. 유해산출물(b)은 약처분성을 가정하여 등호의 제약조건을 갖는다. 보수불변의 가정은 활동원단위인  $Z_k$ 가 0보다 크다는 제약조건을 갖는다.

다음으로 0기의 생산함수에서 특정 DMU인  $K'$ 의 방향거리함수 값  $\beta$ 는 다음과 같은 선형계획 프로그램을 통해 추정한다. 여기서 방향성 벡터를  $(-g_x, g_y, -g_b)$ 와 같이 설정하고, CRS생산함수를 가정한다면 다음과 같이 모든 DMU에 대해 추정할 수 있다.



$$\begin{aligned}
& {}^t_{CRS}(x^{k't}, y^{k't}, b^{k't}, -g_x, g_y, -g_b) = \max \beta \\
& s.t. \quad Z_k y_{k,m}^t \geq y_{k,m}^t + \beta g_{y,m}, \quad m=1, 2, \dots, M \\
& \quad \sum_k Z_k b_{k,j}^t = b_{k,j}^t - \beta g_{b,j}, \quad j=1, 2, \dots, J \\
& \quad \sum_k Z_k x_{k,n}^t \leq x_{k,n}^t - \beta g_{x,n}, \quad n=1, 2, \dots, N \\
& \quad Z_k \geq 0, \quad k=1, 2, \dots, K
\end{aligned} \tag{2.8}$$

연구목적에 따라 방향성 벡터는 여러 가지로 설정할 수 있는데, 본 연구에서는 방향성 벡터를 각 DMU의 현재 투입물과 산출물로 선정하였다. 즉, 방향투입 물거리함수와 산출물거리함수를 동시에 고려한 Luenberger 생산성 지수를 이용하였다. 이의 추정을 위한 선형계획 프로그램은 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned}
& \overrightarrow{D_{T,CRS}^t}(x^{k't}, y^{k't}, b^{k't}, -g_x, g_y, -g_b) = \max \beta \\
& s.t. \quad \sum_k Z_k y_{k,m}^t \geq (1+\beta)y_{k,m}^t, \quad m=1, 2, \dots, M \\
& \quad \sum_k Z_k b_{k,j}^t = (1-\beta)b_{k,j}^t, \quad j=1, 2, \dots, J \\
& \quad \sum_k Z_k x_{k,n}^t \leq (1-\beta)x_{k,n}^t, \quad n=1, 2, \dots, N \\
& \quad Z_k \geq 0, \quad k=1, 2, \dots, K
\end{aligned} \tag{2.9}$$

위 식에서 추정된 효율성지수 값  $\beta$ 는 효율성에 도달하기 위한 거리 값, 즉 비효율성으로 해석의 편의를 위하여 각 DMU의 효율성 값을 다음과 같이 변형하였다.

$$\lambda = 1 - \beta \tag{2.10}$$

이러한 경우 효율성 값 은 1에 가까울수록 효율성이 높다고 할 수 있으며, 0에 가까울수록 효율성이 낮은 것으로 해석 할 수 있다. 본 연구에서는 식(2.9)와 (2.10)의 식을 이용하여 컨테이너 터미널의 효율성 값을 추정하였다. 효율성 값 추정을 위해 사용된 프로그램은 LINGO 12.0이다.



## 제 4 장 실증분석

### 4.1 변수선정

본 연구에서는 최근 4년간(2007년~2010년) 부산항, 광양항 8개 컨테이너터미널을 대상으로 효율성을 추정하였으며, DMU 단위는 부산항의 자성대, 신선대, 감만, 우암, 신감만과 광양항의 동부, KIT, 대한통운이다. 기존연구를 바탕으로 다수의 투입변수와 다수의 산출변수를 선정하여 분석하고자 한다. 앞서 이론적 고찰에서 항만의 효율성과 관련된 선정변수를 검토한 결과에 따르면 대부분의 연구에서 컨테이너처리량을 산출요소로 선정하고 있다. 투입요소는 연구자들마다 다소 상이하나, 대부분 선석 수, 선석 길이, 항만충면적 등과 같은 항만시설과 안벽 크레인 수, 야드 크레인 수 등과 같은 하역장비를 선정하고 있다.

따라서 본 연구에서는 안벽길이, C/C 수, CY 면적을 투입요소로 선정하였고, 컨테이너처리량을 유익산출물, CO<sub>2</sub> 배출량을 유해산출물로 선정하여 효율성을 추정하였다.

<표 4-1> 투입 및 산출 변수

구 분		변 수 명		측정단위
투입	x <sub>1</sub>	안벽길이		m <sup>2</sup>
	x <sub>2</sub>	C/C 수		기
	x <sub>3</sub>	CY 면적		m <sup>2</sup>
산출	y	유익산출물	컨테이너처리량	TEU
	b	유해산출물	CO <sub>2</sub> 배출량	tco <sub>2</sub>

본 연구에서 효율성 분석에 사용된 데이터 현황을 2007년을 예로 하여 나타내면 다음과 같다.

<표 4-2> 컨테이너터미널 데이터 현황(2007)

구 분	안벽길이	C/C 수	CY 면적	컨테이너처리량	CO <sub>2</sub> 배출량
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	y	b
자성대	1447	14	462,000	2,274,667	8,060
신선대	1500	14	672,000	2,400,869	14,682
감만	1400	15	336,000	2,842,747	12,063
우암	500	5	156,000	531,276	2,036
신감만	826	7	153,000	1,250,132	5,343
동부	1150	6	259,000	218,216	812
KIT	1150	6	321,000	373,471	1,440
대한통운	1400	9	529,000	543,826	2,363

전기 사용량에 따라 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하였는데, 각 연료별 소비에 따른 이산화탄소 배출계수를 살펴보면 다음과 같다.

<표 4-3> 연료별 소비에 따른 이산화탄소 배출계수

연료별 ( )	경유 (E <sub>1</sub> )	LPG (E <sub>2</sub> )	중유 (E <sub>3</sub> )	전기 (E <sub>4</sub> )
배출량[kgCO <sub>2</sub> ]	2.5933/[L]	3.6078/[L]	2.9998/[L]	0.424/[kWh]

E<sub>i</sub>는 각 연료별 CO<sub>2</sub>배출계수를 나타냄<sup>4)</sup>

투입 및 산출요소의 기술통계량을 살펴보면, 평균 안벽길이는 약 1,172m, 평균 컨테이너크레인 수는 약 10기, 평균 야드 면적은 약 361,000m<sup>2</sup>, 평균 컨테이너처리량은 약 1,239,783TEU, 평균 CO<sub>2</sub> 배출량은 약 6,266tco<sub>2</sub>인 것으로 나타났다.

<표 4-4> 투입 및 산출 요소의 기술통계량

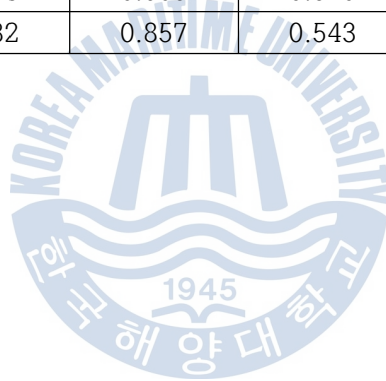
구 분	평균	최대값	최소값	표준편차	관측수
안벽길이	1,172	1,500	500	328	32
C/C 수	10	15	5	4	32
CY 면적	361,000	672,000	153,000	170,684	32
컨테이너처리량	1,239,783	2,842,747	137,801	884,048	32
CO <sub>2</sub> 배출량	6,266	15,259	812	4,528	32

4) 에너지 관리공단 자료(www.kemco.or.kr)

투입물과 산출물의 상관관계를 살펴보면, 크레인 수와 처리실적 간에는 90.5%의 상관관계를 보이고 있고, 크레인 수와 CO<sub>2</sub> 배출량 간에는 85.7%의 상관관계를 보이고 있으며, 처리실적과 CO<sub>2</sub> 배출량 간에는 94.7%의 아주 높은 상관관계를 보이고 있다. 이는 컨테이너 처리량이 증가하면 많은 하역장비(C/C)가 필요하며, 많은 하역장비들이 소비하는 전력량이 늘어남에 따라 CO<sub>2</sub> 배출량이 증가한다는 것을 나타낸다.

<표 4-5> 투입 및 산출 변수의 상관관계

	안벽길이	크레인수	야드면적	컨테이너 처리량	CO <sub>2</sub> 배출량
안벽길이	1				
C/C 수	0.771	1			
CY 면적	0.838	0.670	1		
컨테이너 처리량	0.533	0.905	0.510	1	
CO <sub>2</sub> 배출량	0.532	0.857	0.543	0.947	1



## 4.2 효율성 분석

본 연구에서는 방향성생산거리함수(Directional Technology Distance Function)를 이용하여 유해산출물을 고려한 분석 모형과 유해산출물을 고려하지 않은 분석 모형에 대한 분석결과를 제시하고자 한다.

분석결과 유해산출물을 고려한 모형의 효율성 추정치가 유해산출물을 고려하지 않은 모형에 비해 평균 효율성 점수가 높게 나타났으며, 유해산출물을 고려한 모형에서는 17개 터미널, 유해산출물을 고려하지 않은 모형에서는 7개 터미널이 효율적인 터미널로 나타났다.

<표 4-6> 효율성 분석의 기술통계량

구분	유해산출물 반영	유해산출물 미반영
최대값	1	1
최소값	0.289	0.148
평균	0.802	0.687
표준편차	0.258	0.289
효율적인 터미널 수	17(53%)	4(13%)

( )는 전체 DMU 대비 효율적인 터미널 수 비율임.

각 연도별 효율성 분석결과에서는 DMU로 표시하고 있으므로, 각 DMU별 관련되는 터미널은 다음과 같다.

<표 4-7> DMU별 관련 터미널

구분	터미널
DMU1	자성대
DMU2	신선대
DMU3	감만
DMU4	우암
DMU5	신감만
DMU6	동부
DMU7	KIT
DMU8	대한통운

유해산출물을 고려하지 않고 BCC 산출지향 모형을 이용한 효율성 분석 결과를 살펴보면, 2007년에는 DMU3, DMU5가 효율적인 터미널로 나타났으며, 2010년에는 DMU2, DMU4가 효율적인 터미널로 나타났다. 4년간 DMU6, DMU7, DMU8은 상대적으로 매우 낮은 효율성을 보이고 있는 것을 알 수 있다.

<표 4-8> 유해산출물을 고려하지 않은 효율성 분석결과

	2007	2008	2009	2010
DMU1	0.854	0.790	0.713	0.594
DMU2	0.893	0.849	0.988	1
DMU3	1	0.958	0.732	0.664
DMU4	0.867	0.922	0.901	1
DMU5	1	0.969	0.933	0.982
DMU6	0.234	0.193	0.176	0.148
DMU7	0.401	0.481	0.560	0.690
DMU8	0.327	0.393	0.332	0.425

유해산출물을 고려하여 방향성생산거리함수 모형을 이용한 효율성 분석 결과를 살펴보면, 2007년도에는 DMU1, DMU2, DMU3이 효율적인 터미널로 나타났으며, DMU5는 상대적으로 매우 낮은 효율성을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 2008년도에는 DMU1, DMU2, DMU3, DMU5, DMU7이 효율적인 터미널로 나타났으며, DMU6은 상대적으로 매우 낮은 효율성을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 2009년도에는 DMU1, DMU2, DMU3, DMU5, DMU7이 효율적인 터미널로 나타났으며, DMU6, DMU8은 상대적으로 매우 낮은 효율성을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 2010년도에는 DMU2, DMU4, DMU5, DMU7이 효율적인 터미널로 나타났으며, DMU1, DMU6은 상대적으로 매우 낮은 효율성을 보이고 있다는 것을 알 수 있다.

<표 4-9> 유해산출물을 고려한 효율성분석 결과

	2007	2008	2009	2010
DMU1	1	1	1	0.387
DMU2	1	1	1	1
DMU3	1	1	1	0.656
DMU4	0.608	0.618	0.765	1
DMU5	0.380	1	1	1
DMU6	0.755	0.416	0.321	0.298
DMU7	0.578	1	1	1
DMU8	0.898	0.883	0.289	0.830



일반적으로 DEA 분석에서 효율성을 높이는 방법은 투입요소를 감소하거나, 산출요소를 증가시켜 분석의 결과를 제시하고 있으나, 현실적으로 항만시설과 하역장비, CO<sub>2</sub> 배출량을 줄이는 것은 많은 제약이 따른다. 따라서 현재의 투입요소 수준에서 컨테이너 처리실적 만을 개선하여 효율성을 높여야 할 것이다.

2007년 DMU4의 효율성 값은 0.608이며, 효율적인 생산 프론티어 상에서의 최대 산출 컨테이너 처리실적은 552,062TEU이다. 효율적인 생산 프론티어에 도달하기 위해서는 2007년 기준에서 투입요소인 안벽길이 29.8%, C/C 수 40%, CY 면적 28.12%, 유해산출물인 CO<sub>2</sub> 배출량 3.92% 만큼 줄여야 한다는 것을 나타낸다.

<표 4-10> 참조집합 및 투입산출 목표치(DMU4, 2007)

DMU	효율성 값	투입 및 산출요소		효율성 투입산출목표 (projection)	목표대비 비율(%)	참조집합	
		투입	산출				
우암	0.608	투입	안벽길이	500	351	-29.8	2007년 DMU1
			C/C 수	5	3	-40	
			CY 면적	156,000	112,127	-28.12	
		산출	처리실적	531,276	552,062	3.91	
			CO <sub>2</sub> 배출량	2,036	1,956	-3.92	

2007년 DMU7의 효율성 값은 0.577이며, 효율적인 생산 프론티어 상에서의 최대 산출 컨테이너 처리실적은 389,196TEU이다. 효율적인 생산 프론티어에 도달하기 위해서는 2007년 기준에서 투입요소인 안벽길이 78.43%, C/C 수 66.66%, CY 면적 75.37%, 유해산출물인 CO<sub>2</sub> 배출량 4.23% 만큼 줄여야 한다는 것을 나타낸다.

<표 4-11> 참조집합 및 투입산출 목표치(DMU7, 2007)

DMU	효율성 값	투입 및 산출요소			효율성 투입산출목표 (projection)	목표대비 비율(%)	참조집합
		투입	안벽길이	1,150	248	-78.43	
K I T	0.577	투입	C/C 수	6	2	-66.66	2007년 DMU1
			CY 면적	321,000	79,048	-75.37	
			처리실적	373,471	389,196	4.21	
		산출	CO <sub>2</sub> 배출량	1,440	1,379	-4.23	

2007년 DMU8의 효율성 값은 0.898이며, 효율적인 생산 프론티어 상에서의 최대 산출 컨테이너 처리실적은 598,920TEU이다. 효율적인 생산 프론티어에 도달하기 위해서는 2007년 기준에서 투입요소인 안벽길이 72.78%, C/C 수 55.55%, CY 면적 77%, 유해산출물인 CO<sub>2</sub> 배출량 10.19% 만큼 줄여야 한다는 것을 나타낸다.

<표 4-12> 참조집합 및 투입산출 목표치(DMU8, 2007)

DMU	효율성 값	투입 및 산출요소			효율성 투입산출목표 (projection)	목표대비 비율(%)	참조집합
		투입	안벽길이	1,400	381	-72.78	
대 한 통 운	0.898	투입	C/C 수	9	4	-55.55	2007년 DMU1
			CY 면적	529,000	121,645	-77	
			처리실적	543,826	598,920	10.13	
		산출	CO <sub>2</sub> 배출량	2,363	2,122	-10.19	

2009년 DMU6의 효율성 값은 0.321이며, 효율적인 생산 프론티어 상에서의 최대 산출 컨테이너 처리실적은 706,605TEU이다. 효율적인 생산 프론티어에 도달하기 위해서는 2009년 기준에서 투입요소인 안벽길이 61.39%, C/C 수 33.33%, CY 면적 31.8%, 유해산출물인 CO<sub>2</sub> 배출량 7.86% 만큼 줄여야 한다는 것을 나타낸다.

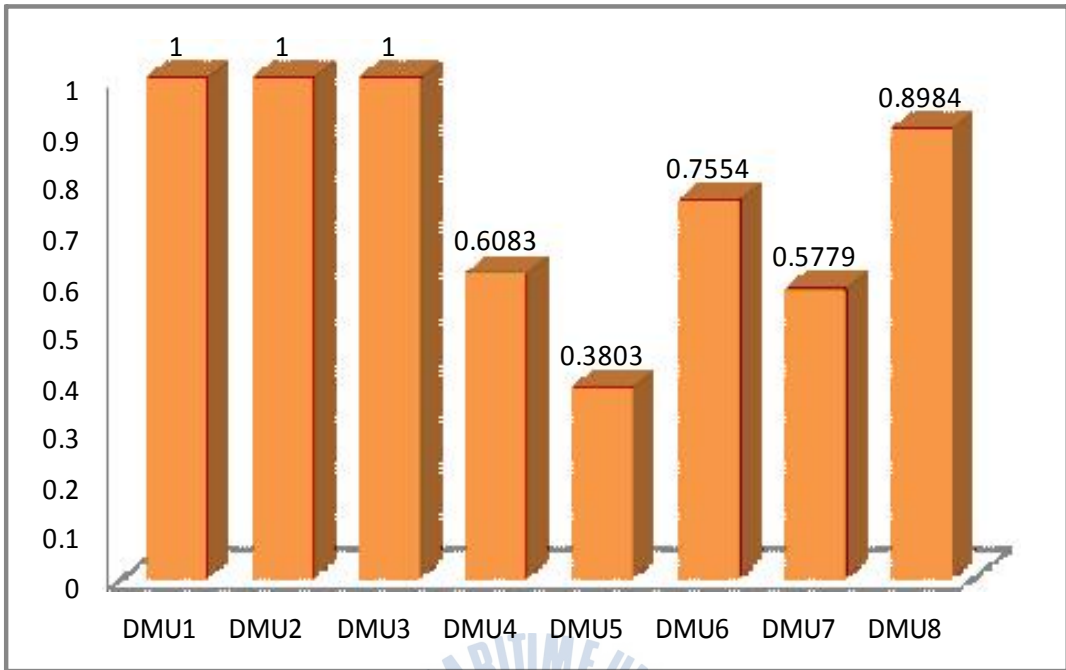
<표 4-13> 참조집합 및 투입산출 목표치(DMU6, 2009)

DMU	효율성 값	투입 및 산출요소			효율성 투입산출목표 (projection)	목표대비 비율(%)	참조집합
		투입	안벽길이	1,150	444	-61.39	
동부	0.321	투입	C/C 수	6	4	-33.33	2009 DMU1
			CY 면적	259,000	176,618	-31.8	
			처리실적	163,873	706,605	331.19	
		산출	CO <sub>2</sub> 배출량	4,033	3,716	-7.86	2009 DMU2

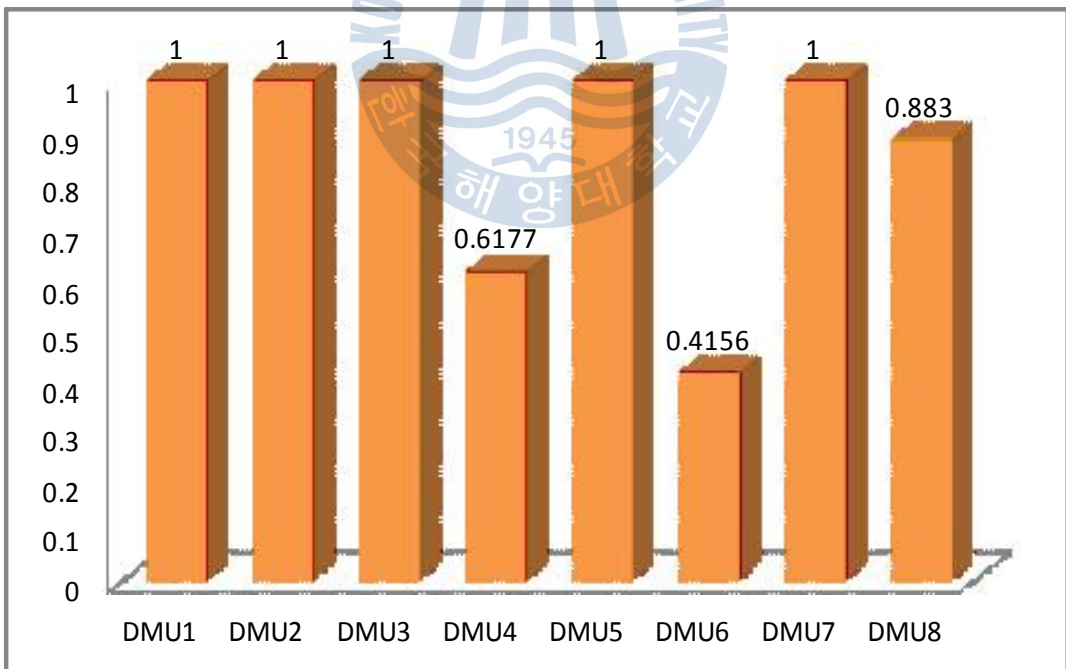
2010년 DMU8의 효율성 값은 0.829이며, 효율적인 생산 프론티어 상에서의 최대 산출 컨테이너 처리실적은 717,270TEU이다. 효율적인 생산 프론티어에 도달하기 위해서는 2010년 기준에서 투입요소인 안벽길이 8.35%, C/C 수 22.22%, CY 면적 32.28%, 유해산출물인 CO<sub>2</sub> 배출량 1% 만큼 줄여야 한다는 것을 나타낸다.

<표 4-14> 참조집합 및 투입산출 목표치(DMU8, 2010)

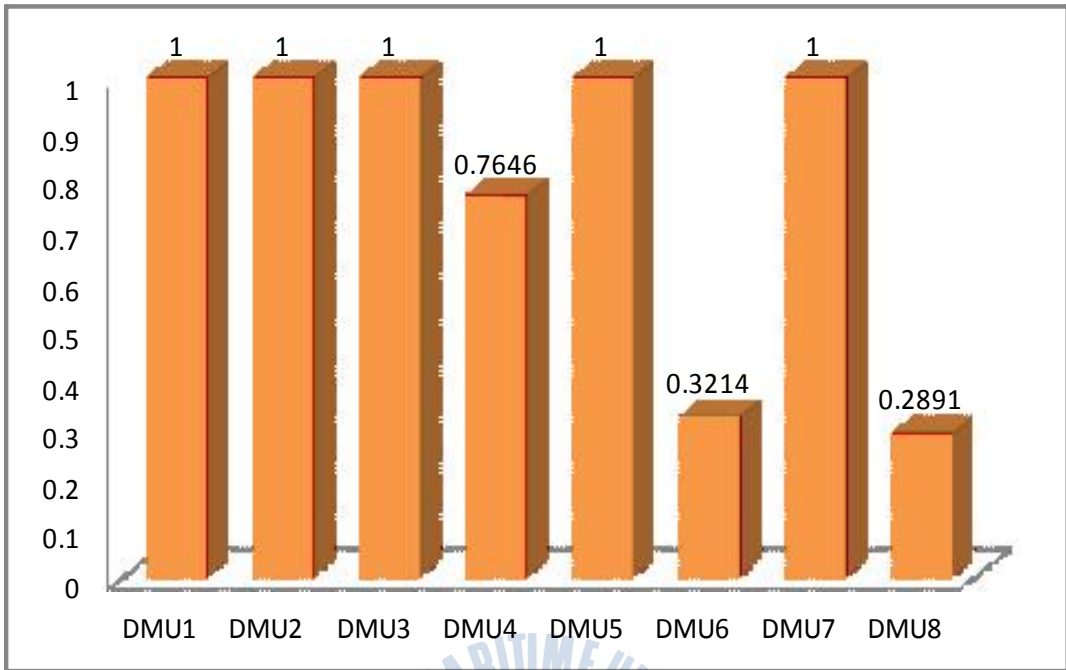
DMU	효율성 값	투입 및 산출요소			효율성 투입산출목표 (projection)	목표대비 비율(%)	참조집합
		투입	안벽길이	1,400	1,283	-8.35	
대한통운	0.829	투입	C/C 수	9	7	-22.22	2010 DMU7
			CY 면적	529,000	358,236	-32.28	
			처리실적	705,274	717,270	1.7	
		산출	CO <sub>2</sub> 배출량	2,651	2,606	-1.69	



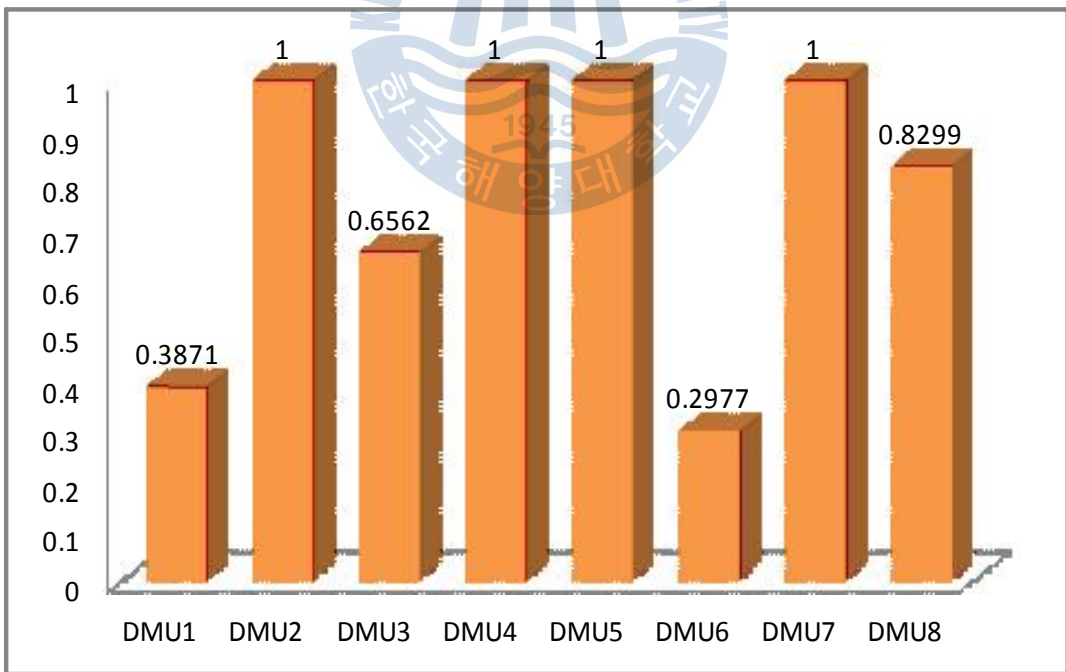
<그림 4-1> 방향성생산거리함수 분석결과(2007)



<그림 4-2> 방향성생산거리함수 분석결과(2008)



<그림 4-3> 방향성생산거리함수 분석결과(2009)



<그림 4-4> 방향성생산거리함수 분석결과(2010)

## 제 5 장 결론 및 향후 연구방향

### 5.1 결론

본 연구에서는 컨테이너터미널의 효율성을 분석함에 있어서 기존의 항만 효율성 연구와는 달리 DEA(Data Envelopment Analysis)기법인 방향성생산거리함수(Directional Technology Distance Function)를 이용하여 유해산출물을 고려한 생산 효율성을 분석 하였다.

유해산출물을 고려하여 방향성 생산거리함수로 효율성을 추정한 결과를 살펴 보면 DMU2(신선대)가 4년간 모두 효율성 값이 1로 나타났으며, DMU1(자성대), DMU3(감만)은 2007, 2008, 2009년 3년간, DMU5(신감만), DMU7(KIT)은 2008, 2009, 2010 3년간, DMU4(우암)는 2010년에 효율성 값이 1로 나타났다. 유해산출물을 고려하지 않고 BCC 산출지향 모형으로 효율성을 추정한 결과는 2007년 DMU3(감만), DMU5(신감만), 2010년 DMU2(신선대), DMU4(우암)가 효율성 값 1로 나타났다. 따라서 유해산출물을 고려한 효율성 점수가 유해산출물을 고려하지 않은 효율성 점수 보다 높게 나타난다는 것을 알 수 있다.

효율성을 추정한 결과 각 컨테이너 터미널의 효율성은 터미널 운영사에 따라 큰 차이를 보이고 있으며, 특히 광양항에 위치해 있는 컨테이너 터미널이 부산항에 위치해 있는 컨테이너 터미널에 비해 상대적으로 효율성이 낮다는 결론이 도출 되었다. 광양항의 경우 LCL 화물에 대한 서비스 부족, 냉동 등 특수컨테이너 부족, 창고 시설 미비, 수출입 화물의 불균형 등의 많은 문제점이 있는데, 이러한 문제점을 개선하여 컨테이너 처리실적을 증가 시켜야 할 것이다. 현재의 항만시설 규모에서 문제점을 개선하지 못하여 컨테이너 처리실적을 증가 시키지 못한다면 많은 경제적 손실을 입게 될 것이다.

## 5.2 연구의 한계 및 향후 연구방향

본 연구에서는 자료수집 등의 현실적인 문제로 선박에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량, 컨테이너 트럭 및 일반트럭에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량 등을 고려하지 않고 오직 컨테이너 터미널의 소비전력량에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량을 산출하여 상대적 효율성을 분석함으로써 보다 정확한 효율성 분석 결과를 제시하지 못하고 있다.

항만에 따라 상이하지만 발생하는 CO<sub>2</sub> 산출량은 60%는 전기, 40%는 유류 사용량에 따라 발생된다고 볼 수 있기 때문에 유류사용량에 따른 CO<sub>2</sub> 배출량도 포함하여 효율성을 분석 할 필요가 있다.



## 참고문헌

류동근(2005), “국내 컨테이너 전용터미널의 효율성 비교: DEA 접근”, 해운물류연구, 제47호, pp.21-38.

모수원, 이광배(2010), “부산항과 광양항의 컨테이너터미널의 효율성”, 한국항만경제학회지, 제26집, 제2호, pp.139-149.

박노경, 이병화(2007), “컨테이너터미널의 방사·비방사적 효율성 측정방법 비교”, 해운물류연구, 제53호, pp.17-41.

박병근, 최민승, 송재영, 류동근(2007), “우리나라 컨테이너터미널 효율성 분석에 관한 연구 -부산항, 광양항을 중심으로-”, 한국항해항만학회지, 제31권, 제1호, pp.89-97.

박홍균(2010), “환적화물의 컨테이너터미널 효율성 분석”, 한국항만경제학회지, 제26집, 제1호, pp.1-19.

최봉환, 신재영, 양윤옥, 신창훈(2009), “정보화 수준을 고려한 컨테이너터미널의 효율성 평가”, 한국항해항만학회지, 제33권, 제8호, pp.573-581.

Boyd, G.A., Tolley, G., Pang, J.(2002), “Plant level productivity, efficiency and environmental performance of the container glass industry”, Environmental and Resource Economics, Vol. 23, pp.29-43.

Chung, Y.H., Grosskopf, S.(1997), “Productivity and undesirable output: A directional distance function approach”, Journal of Environmental Management, Vol. 51, pp.229-240.



Cullinane, K., Song, D. W. and Gray, R.(2002), “A Stochastic Frontier Model of the Efficiency of Major Container Terminals in Asia : Assessing the Influence of Administrative and Owership Structure” , Transport Research Part A, pp.743-762.

Fare, R. and Grosskopf, s.(1996), “Intertemporal production frontiers : with dynamic DEA” , Boston Kluwer Academic Publishers.

Fare, R. and Grosskopf, s.(2004), “New Directions: Efficiency and Productivity” , Boston Kluwer Academic Publishers.

Hawdon, D.(2003), “Efficiency, performance and regulation of the international gas industry – a bootstrap DEA approach” , Energy Policy, Vol. 31, pp.1167-1178.

Hu, J.L., Wang, S.C.(2006), “Total-factor energy efficiency of regions in China” , Energy Policy, Vol. 34, pp.3206-3217.

Kumar, S.(2006), “Environmentally sensitive productivity growth: A global analysis using Malmquist-Luenberger index” , Eco-logical Economic, Vol. 56, pp.280-293.

Roll, Y. and Hayuth Y.(1993), “Port performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis(DEA)” , Maritime Policy and Management, Vol. 20, pp. 153-161.