



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](#)

경영학석사학위논문

DEA Malmquist 모형을 이용한
항만 효율성 분석



2009년 2월

부경대학교 대학원

국제통상물류학과

배 민 영

경영학석사학위논문

DEA Malmquist 모형을 이용한
항만 효율성 분석

지도교수 하 명 신

이 논문을 경영학석사 학위논문으로 제출함.



2009년 2월

부경대학교 대학원

국제통상물류학과

배 민 영

배민영의 경영학석사 학위논문을 인준함

2009년 2월



주 심 경제학박사 김 기 수 (인)

위 원 공 학 박 사 이 강 우 (인)

위 원 경 제 학 박 사 하 명 신 (인)

< 목 차 >

표목차	iv
ABSTRACT	vi
제 I 장 서론	1
제1절 연구의 목적	1
제2절 연구의 방법 및 구성	4
제 II 장 항만물류 환경 변화 및 전망	5
제1절 세계 컨테이너 물동량의 변화	5
제2절 컨테이너선의 대형화와 고속화	6
제3절 운송네트워크의 변화	8
제4절 글로벌 항만운영업체의 등장	9
제 III 장 효율성 및 DEA 모형에 대한 이론적 접근	11
제1절 효율성의 개념	11
1. 효율성의 정의	11
2. 항만 효율성의 정의	12
제2절 효율성의 측정방법	13
1. 함수적 접근법	13
2. 비율분석법	15
3. 생산성지수법	16
4. 확률적 접근방법	17

제3절 DEA 모형의 개념	18
1. DEA 모형의 정의	18
2. DEA 모형의 특성	19
제4절 DEA 모형의 유형	20
1. DEA-CCR 모형	20
2. DEA-BCC 모형	24
3. 규모의 효율성	26
제5절 Malmquist 모형	28
제IV장 DEA 모형을 이용한 항만 효율성 분석	33
제1절 DEA 분석을 위한 기초자료	33
1. 변수 선정	33
2. 분석 대상	37
제2절 DEA 모형을 이용한 항만 효율성 분석	45
1. DEA-CCR 모형에 의한 항만 효율성 분석	45
2. DEA-BCC 모형에 의한 항만 효율성 분석	51
3. 규모의 효율성 분석	57
4. Malmquist 모형에 의한 항만 효율성 분석	60
제V장 항만 특성에 따른 효율성 분석	64
제1절 세계 지역별 항만 효율성 분석	64
1. 동북아시아 항만 효율성 분석	66
2. 유럽 항만 효율성 분석	71
3. 북아메리카 항만 효율성 분석	74

제2절 규모별 항만 효율성 분석	76
1. 대형 항만	78
2. 중형 항만	83
3. 소형 항만	87
제VI장 결론	89
제1절 요약 및 결론	89
제2절 연구의 한계점 및 향후 연구방향	92
참고문헌	93



< 표 목 차 >

<표 1-1> 세계 주요 항만별 물동량 현황	3
<표 2-1> 세계 컨테이너 물동량의 지역별 증가율	5
<표 2-2> 세계 지역별 컨테이너 처리물동량 예측	6
<표 2-3> 세계 컨테이너선대의 선박량 변화	7
<표 2-4> 세계 주요 선사의 전략적 제휴 관계 유형	10
<표 4-1> 항만효율성에 대한 기존연구	34
<표 4-2> 분석에 사용된 항만	38
<표 4-3> 2003년 투입·산출 자료	40
<표 4-4> 2003년 항만 자료 기초통계	40
<표 4-5> 2004년 투입·산출 자료	41
<표 4-6> 2004년 항만 자료 기초통계	41
<표 4-7> 2005년 투입·산출 자료	42
<표 4-8> 2005년 항만 자료 기초통계	42
<표 4-9> 2006년 투입·산출 자료	43
<표 4-10> 2006년 항만 자료 기초통계	43
<표 4-11> 2007년 투입·산출 자료	44
<표 4-12> 2007년 항만 자료 기초통계	44
<표 4-13> DEA-CCR 모형을 이용한 항만 효율성 분석 결과	46
<표 4-14> 2007년 DEA-CCR 모형의 효율성 개선을 위한 투사	48
<표 4-15> DEA-BCC 모형을 이용한 항만 효율성 분석 결과	52
<표 4-16> 2007년 DEA-BCC 모형의 효율성 개선을 위한 투사	54
<표 4-17> 규모의 효율성	60
<표 4-18> Malmquist 지수를 이용한 항만 효율성 분석 결과	61
<표 5-1> 세계 지역 구분 및 구성 항만	65
<표 5-2> 2007년 동북아시아 항만 자료 기초통계	66
<표 5-3> 2007년 유럽 항만 자료 기초통계	66
<표 5-4> 2007년 북아메리카 항만 자료 기초통계	66

<표 5-5> DEA 모형을 이용한 동북아시아 항만 효율성 분석 결과	67
<표 5-6> 2007년 DEA-CCR 모형의 효율성 개선을 위한 투사 (동북아시아)	68
<표 5-7> 2007년 DEA-BCC 모형의 효율성 개선을 위한 투사 (동북아시아)	68
<표 5-8> Malmquist 지수를 이용한 동북아시아 항만 효율성 분석 결과	70
<표 5-9> DEA 모형을 이용한 유럽 항만 효율성 분석 결과	71
<표 5-10> Malmquist 지수를 이용한 유럽 항만 효율성 분석 결과	73
<표 5-11> DEA 모형을 이용한 북아메리카 항만 효율성 분석 결과	74
<표 5-12> Malmquist 지수를 이용한 북아메리카 항만 효율성 분석 결과	75
<표 5-13> 규모별 구분 및 구성 항만	76
<표 5-14> 2007년 대형 항만 자료 기초통계	77
<표 5-15> 2007년 중형 항만 자료 기초통계	77
<표 5-16> 2007년 소형 항만 자료 기초통계	77
<표 5-17> DEA 모형을 이용한 대형 항만 효율성 분석 결과	79
<표 5-18> 2007년 DEA-CCR 모형의 효율성 개선을 위한 투사 (대형항만)	80
<표 5-19> 2007년 DEA-BCC 모형의 효율성 개선을 위한 투사 (대형항만)	80
<표 5-20> Malmquist 지수를 이용한 대형 항만 효율성 분석 결과	82
<표 5-21> DEA 모형을 이용한 중형 항만 효율성 분석 결과	84
<표 5-22> 2007년 DEA-CCR 모형의 효율성 개선을 위한 투사 (중형항만)	85
<표 5-23> 2007년 DEA-CCR 모형의 효율성 개선을 위한 투사 (중형항만)	85
<표 5-24> Malmquist 지수를 이용한 중형 항만 효율성 분석 결과	86
<표 5-25> DEA 모형을 이용한 소형 항만 효율성 분석 결과	87
<표 5-26> Malmquist 지수를 이용한 소형 항만 효율성 분석 결과	88

<그림 목 차>

<그림 2-1> 세계 컨테이너선대의 선복량 예측	7
----------------------------	---

The Efficiency Analysis of Ports

- Based on DEA Malmquist Models -

Bae, Min-Young

Department of International Commerce and Logistics,
Graduate School, Pukyong National University

ABSTRACT

The purpose of this paper is to investigate the efficiency of the 90 ports in the world by using DEA-CCR, DEA-BCC, and Malmquist models which come from DEA(Data Envelopment Analysis) model, and to suggest an effective strategy which can operate these ports more well.

DEA model is a methodology of computing the relative efficiency of each decision making unit(DMU) by comparing it with other DMUs having similar input and output structure, and is specially very useful when a form of the production function of each DMU like a port is not known. DEA provides the extent of inefficiency of inefficient DMUs, which is practically useful information (like the efficiency scores and reference sets) required to improve efficiency.

Malmquist model is efficiency measurement techniques for the productivity change. The DEA-based Malmquist productivity index has several advantages when compared with other methodologies. The

DEA-based Malmquist index in non-parametric, and thus it does not suffer the problem of an inappropriate functional form, and it easily tackles multiple outputs and inputs.

This paper analyzed the relative efficiency of 90 ports in the world for the consecutive 5 years from 2003 to 2007 through DEA-CCR, DEA-BCC models. At also, analyzed the change in productivity employing Malmquist model as changing years for 5 years.



제 I 장 서 론

제1절 연구의 목적

급변하는 세계해운환경의 변화와 세계경제의 불안에도 불구하고, 2007년 전 세계 컨테이너 처리물동량은 491,795천TEU를 기록하며 꾸준히 증가하고 있다. 그 중 한국, 중국, 일본을 포함한 동북아시아의 처리물동량은 175,807천TEU로 세계의 물동량 중 35% 이상을 차지하고 있다. 이는 2000년 이후 중국의 고속성장을 비롯하여 아시아 각국 간 급속한 교역규모 증대에 따른 것으로 기인되고 있다. 2007년 대부분의 중국항만은 20% 이상의 성장세를 보여 세계 컨테이너 처리물동량의 약 20%인 112,000천TEU를 처리하였으며, 세계 30대 항만 중 중국이 9개 항만을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 우리나라는 2007년 1,748천TEU를 처리하여 세계 컨테이너 물동량 처리대비 3.6%의 점유율을 차지하고 있다. <표 1-1>을 살펴보면 우리나라 항만 중 세계 컨테이너 처리물동량 기준 5위 항만인 Busan항의 2003년~2007년 연평균 성장률¹⁾은 5%인 것에 반해, Hong Kong항을 제외한 중국항만들의 연평균 성장률은 10~20%를 넘는 것으로 나타났다.

이러한 중국의 경제성장에 따른 동아시아권의 물동량 급증으로 세계적인 해운항만 환경이 변화하고 있다. 과거 중국의 피더항만에 컨테이너 모선이 직기항함으로써 허브항만 체제에서 다극중심항만 체제로 변화함에 따라 우리나라도 항만물류 기능의 선점과 쟁취에서 항만간 기능분담을 중시하고, 항만운영의 효율성을 제고시키는 방향으로 변모하고 있다. 따라서 과거 대규모 시설투자를 통한 항만 간 경쟁중심에서 항만 간 협력과 항만운영의 효율성이 중시되고 있다.

1) 연평균 성장률 산출방식

$$b = a(1+r)^n \text{에서 } r = \sqrt[n]{\frac{b}{a}} - 1$$

(a : 초기년도, b : 기말년도, n : 년수, r : 연평균 성장률)

항만을 둘러싼 환경이 급격히 변화함에 따라 물동량 확보를 위한 항만 간 경쟁이 갈수록 치열해 지고 있다. 이에 따라 각국 항만들은 대대적인 항만 시설투자를 통한 중심항 개발전략을 추구함과 동시에 항만운영의 효율성 증대를 통한 경쟁력 강화에 노력하고 있다. 이러한 항만의 경쟁우위를 좌우하는 가장 중요한 결정요인 중 하나가 바로 항만의 효율성이다. 항만 효율성은 비단 개별항만의 경쟁력에만 국한되는 문제가 아니며, 해상운송비용 절감을 통해 한 나라의 수출경쟁력을 제고하는데 중요한 역할을 한다. 따라서 경쟁 항만들 간의 상대적 효율성을 분석함으로써, 우리나라 항만의 현재 효율성 수준을 정확히 파악하여 이를 개선시킬 수 있는 방안을 제시하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

따라서 본 논문의 연구목적은 크게 세 가지로 나누어서 제시하고자 한다. 첫째, 항만 효율성을 실증적으로 측정하는 부분에 대한 연구를 체계적으로 정리하고자 한다. 따라서 항만의 효율성과 관련된 기존연구들을 체계적으로 정리하고 다양한 DEA(Data Envelope Analysis : 자료포괄분석, 이하 DEA라 칭함)모형을 소개함으로써 이 분야의 연구를 촉진시키고자 한다. 둘째, 항만환경변화에 능동적으로 대처하는 한편 항만의 효율성을 증대시킬 수 있는 이론적, 실증적 근거를 제시함으로써 국내에서의 기존연구의 한계를 극복하고자 한다. 즉, 기존의 연구들이 심도있게 다루지 못했던 처리물동량 기준 세계 100위 항만들의 효율성을 5년에 걸쳐서 다양한 DEA 모형 중 CCR 모형(Charnes, Cooper and Rhodes, 1978), BCC 모형(Banker, Charnes and Cooper, 1984), Malmquist 모형을 통해서 측정함으로써 세계 항만들을 효율적인 항만과 비효율적인 항만으로 구분하고자 한다. 셋째, 항만들의 규모의 효율성을 살펴보고 항만들의 비효율적인 문제를 해결하기 위한 방안을 제시함으로써 무한경쟁시대에 직면에 있는 우리나라 항만들의 효율성 증진에 이론적 기초를 제공하고자 한다.

<표 1-1> 세계 주요 항만별 물동량 현황

(단위: TEU, %)

순위	항만	국가	2007	2006	2005	2004	2003	연평균 증가율
1	Singapore	Singapore	27,932,000	24,792,400	23,192,200	21,329,100	18,100,000	9.1
2	Shanghai	China	26,150,000	21,710,000	18,084,000	14,557,200	11,280,000	18.3
3	Hong Kong	China	23,881,000	23,538,580	22,427,000	21,984,000	20,449,000	3.2
4	Shenzhen	China	21,099,000	18,468,900	16,197,173	13,655,500	10,614,900	14.7
5	Busan	Korea	13,270,000	12,030,000	11,843,151	11,491,968	10,407,809	5.0
6	Rotterdam	Netherlands	10,790,604	9,654,508	9,300,000	8,280,786	7,106,779	8.7
7	Dubai	UAE	10,653,026	8,923,465	7,619,222	6,428,883	5,151,958	15.6
8	Kaohsiung	Taiwan	10,256,829	9,774,670	9,471,056	9,714,115	8,840,000	3.0
9	Hamburg	Germany	9,900,000	8,861,545	8,087,545	7,003,479	6,138,000	10.0
10	Qingdao	China	9,462,000	7,702,000	6,307,000	5,139,700	4,239,000	17.4
11	Ningbo	China	9,360,000	7,068,000	5,208,000	4,005,500	2,772,000	27.6
12	Guangzhou	China	9,200,000	6,600,000	4,685,000	3,304,000	2,761,700	27.2
13	Los Angeles	USA	8,355,039	8,469,853	7,484,624	7,321,440	7,178,940	3.1
14	Antwerp	Belgium	8,176,614	7,018,899	6,482,061	6,050,442	5,445,436	8.5
15	Long Beach	USA	7,312,465	7,290,365	6,709,818	5,779,852	4,658,124	9.4
16	Port Klang	Malaysia	7,120,000	6,326,294	5,543,527	5,243,593	4,840,000	8.0
17	Tianjin	China	7,103,000	5,950,000	4,801,000	3,814,000	3,015,000	18.7
18	Tanjung Pelepas	Malaysia	5,500,000	4,770,000	4,177,121	4,020,421	3,487,320	9.5
19	New York /New Jersey	USA	5,400,000	5,092,806	4,792,922	4,478,480	4,097,812	5.7
20	Bremen /Bremerhaven	Germany	4,892,239	4,428,203	3,735,574	3,469,253	3,189,853	8.9
21	Laem Chabang	Thailand	4,641,914	4,123,124	3,765,967	3,529,000	3,181,050	7.9
22	Xiamen	China	4,627,000	4,018,700	3,342,300	2,871,700	2,331,000	14.7
23	Dalian	China	4,574,200	3,212,000	2,655,000	2,211,200	1,670,000	22.3
24	Tanjung Priok	Indonesia	3,900,000	3,600,000	3,281,580	3,170,000	2,757,513	7.2
25	Tokyo	Japan	3,818,000	3,969,015	3,593,071	3,358,257	3,313,647	2.9
26	Gioia Tauro	Italy	3,445,337	2,900,000	3,160,981	3,261,034	3,148,662	1.8
27	Algeciras	Spain	3,414,345	3,256,776	3,179,614	2,937,381	2,515,908	6.3
28	Yokohama	Japan	3,400,000	3,199,883	2,873,277	2,717,631	2,504,628	6.3
29	Colombo	Sri Lanka	3,380,000	3,079,132	2,455,297	2,220,525	1,959,354	11.5
30	Felixstowe	UK	3,300,000	3,000,000	2,700,000	2,700,000	2,500,000	5.7

자료 : CI-Online, 한국해양수산개발원

제2절 연구의 방법 및 구성

본 연구에서는 이론적 접근방법과 실증적 접근방법을 동시에 수행하였다. 이론적 접근에 있어서는 항만의 효율성 또는 생산성과 관련된 국내외 학자들의 기존연구들을 비평적으로 검토하였다. 그리고 이론적인 내용을 항만의 경우에 적용해 보기 위한 실증분석은 3가지 DEA 모형을 이용하였다. 즉, 효율성을 측정하기 위해서, 기존의 함수적 측정법, 비율분석 측정법, 생산성 지수법에 의거한 방식보다도 우월한 것으로 인정되고 있는 DEA 모형 중에서 기본적인 DEA-CCR 모형, DEA-BCC 모형, 그리고 다년간의 효율성 추세를 분석할 수 있는 Malmquist 모형을 이용하여 실시하였다.

본 연구는 2007년 처리물동량 기준 세계 100위 내에 있는 주요 항만을 대상으로 분석을 실시하여 다음과 같은 방향으로 연구를 진행하고자 한다.

제 I 장 서론에서는 연구의 배경과 목적을 설명하고 앞으로 진행하게 될 연구의 방향을 제시한다. 제 II 장에서는 세계 항만의 현황과 환경 변화에 대해 살펴보도록 한다. 제 III 장에서는 효율성의 개념과 측정방법에 대해 알아보고 본 연구에 사용된 DEA 모형에 대해 고찰한다. 제 IV 장에서는 투입요소, 산출요소의 변수를 선정한 다음 수집된 자료에 의한 DEA 분석결과를 제시, 해석하고 제 V 장에서는 항만 특성에 따른 효율성 및 효율성 변화를 제시한다. 제 VI 장에서는 본 연구의 결과를 요약하며, 연구의 한계점을 제시한다.

제II장 항만물류 환경 변화 및 전망

제1절 세계 컨테이너 물동량의 변화

2003년 이후 세계 컨테이너 물동량은 연간 10%에 가까운 증가세를 보이고 있다. 이러한 증가세는 2007년 기준 세계 컨테이너 물동량의 40% 이상을 차지하는 동아시아의 꾸준한 증가세가 그 이유로 분석된다.

<표 2-1> 세계 컨테이너 물동량의 지역별 증가율

(단위 : %)

	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년 *
North America	9.5	8.9	9.0	5.4	1.9	1.7
West Europe	9.4	12.4	6.6	7.7	12.0	6.7
Far East	16.5	17.8	12.2	14.2	14.9	11.0
South East Asia	11.1	13.1	5.8	9.0	12.9	8.3
Middle East	18.2	21.4	11.6	9.4	15.4	12.4
Latin America	10.8	17.3	10.9	12.7	11.4	7.9
Oceania	8.4	12.1	2.7	5.8	7.7	5.6
South Asia	10.6	17.8	13.7	17.9	18.0	13.2
Africa	21.3	12.8	14.4	12.8	12.2	10.5
Eastern Europe	25.3	31.6	38.6	25.4	32.5	18.1
World	13.0	15.0	9.9	10.9	12.6	8.9

주 : 2008년 * 는 2008년 예측치

자료 : Drewry, 「Annual Container Market Review and Forecast 2008/09」

지역별 처리물동량 중 아시아 지역의 물동량은 1980년에 전 세계 물동량의 25%를 차지했고 1990년에는 39.2%로 급증하였다. 2001년에는 세계 물동량의 47.6%에 달했고 2006년에는 세계 물동량의 절반 이상이 아시아 지역에서 처리된 것으로 나타났다. 이를 통해 과거 유럽과 북미 지역이 전 세계 컨테이너 처리물동량의 중심에 있었으나 그 중심이 점차 아시아 지역으로 이동하는 것을 알 수 있다.

<표 2-2> 세계 지역별 컨테이너 처리물동량 예측

(단위 : 천TEU)

	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
North America	46,885	47,789	48,607	49,672	52,164	55,004	58,219	61,567
West Europe	81,378	91,131	97,198	102,580	107,642	113,534	120,506	127,799
Far East	156,714	180,020	199,878	221,305	244,450	271,407	300,650	332,367
South East Asia	59,744	67,472	73,046	78,825	85,239	92,654	98,361	103,574
Middle East	24,487	28,252	31,747	35,510	39,515	43,870	48,606	53,756
Latin America	31,435	35,020	37,774	40,522	43,639	46,845	50,321	54,062
Oceania	7,931	8,538	9,013	9,476	9,997	10,541	11,090	11,646
South Asia	11,532	13,612	15,407	17,430	19,660	22,316	25,377	28,835
Africa	15,721	17,634	19,488	21,538	23,790	26,150	28,854	31,626
Eastern Europe	5,404	7,159	8,452	10,068	11,820	13,862	16,211	19,069
World	441,231	496,625	540,611	586,926	637,917	696,182	758,197	824,300

자료 : Drewry, 「Annual Container Market Review and Forecast 2008/09」

<표 2-2>에 따르면, 2013년 기준 전 세계 총 물동량은 824,300천TEU로 연평균 9~10% 대의 고성장을 달성할 것으로 예측되고 있다. 지역별로는 아시아 지역이 가장 높은 성장을 보일 것으로 전망되며 특히 우리나라가 속한 극동아시아 지역의 성장이 두드러질 것으로 전망된다.

향후 세계 컨테이너 물동량의 꾸준한 증가세가 예상됨에 따라 이를 둘러싼 선사와 항만운영사의 운영전략, 항만시설 등의 개발방향에도 상당한 영향을 미치게 될 것으로 판단된다.

제2절 컨테이너선의 대형화 및 고속화

컨테이너선은 1960년대 등장한 이후, 규모의 경제를 통한 운항 합리화를 달성하려는 선사들에 의해 점차적으로 대형화되고 있는 추세이다. 10,000TEU급은 6,000TEU급과 4,000TEU급에 비해 각각 슬롯당 약 36%, 59.7%의 비용 절감효과를 보이는 것으로 알려져 있다. 우선 선박의 대형화에 대한 변화추세를 살펴보면 다음과 같다.

<표 2-3> 세계 컨테이너선대의 선복량 변화

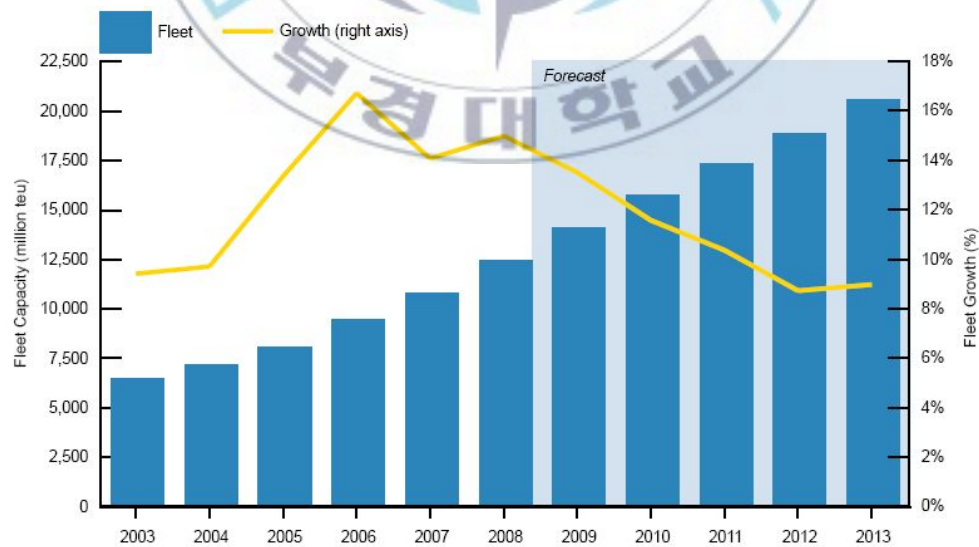
(단위 : TEU, %)

	Newbuilds	Scrap	Fleet	Growth
1993년	189	4	2,101	9.7
1994년	271	1	2,371	12.9
1995년	326	13	2,684	13.2
1996년	381	17	3,048	13.6
1997년	521	16	3,553	16.6
1998년	541	62	4,032	13.5
1999년	364	61	4,335	7.5
2000년	481	18	4,799	10.7
2001년	545	33	5,311	10.7
2002년	732	75	5,968	12.4
2003년	593	32	6,529	9.4
2004년	637	4	7,162	9.7
2005년	955	0	8,117	13.3
2006년	1,384	29	9,472	16.7
2007년	1,366	33	10,805	14.1
2008년 *	1,692	73	12,424	15.0

주 : 2008년 * 는 2008년 예측치

자료 : Drewry, 「Annual Container Market Review and Forecast 2008/09」

<그림 2-1> 세계 컨테이너선대의 선복량 예측



자료 : Drewry, 「Annual Container Market Review and Forecast 2008/09」

선사들의 총 선복량은 매년 9~10% 이상의 성장을 보이고 있고, 2005년에는 13.3%, 2006년에 16.7%, 2007년에 14.1%의 증가율을 나타냈다. 선복량의 증가율은 1997년 16.6%를 정점으로 1999년 7.5%까지 점차 둔화되었으나 2005년 이후 다시 급등하는 추세를 보이고 있다.

주력선종도 5,000TEU급에서 8,000~10,000TEU급 선박으로 이동할 것으로 예상되며 Maersk 라인의 13,500TEU급 Emma Maersk호가 2006년 9월부터 극동아시아-유럽간의 정기항로에 투입되어 운항되고 있어 선박 대형화 추세는 당분간 계속될 전망이다.

제3절 운송네트워크의 변화

세계 경제의 대통합과 지역 간 이익증대를 위한 각국의 노력은 경제 글로벌화를 촉진하는 촉매제가 되고 있으며, 무역환경은 자국 이익에 근거하여 개방화와 무한경쟁을 통한 생존만이 국가의 경제를 이끌 것이라는 위기감이 고조되고 있다. 세계 항만물류 환경은 항만의 민영화, 세계적 항만운영업체의 등장 및 부두운영 주체의 사업 다각화, 항만기능의 다양화, 항만의 대형화, 국제경쟁의 심화 등으로 급변하고 있다. 특히 동북아 경제권의 대외교역의 활성화로 교역이 활발해지고 경쟁이 심화됨에 따라 낙후지역의 개발효과가 가시화되고 있고, 경제의 중심권이 미국과 유럽 지역에서 동북아시아 및 중국 중심권역으로 이동되고 있는 실정이다.

아시아 지역 처리물동량의 급증은 선사의 운송네트워크를 변화시키고 있다. 특히 중국의 위상이 급속히 커지고 있어 주요 선사들이 중국 항만으로의 직기항 체제로 변화하는 등 항로의 변화가 나타나고 있다.

세계적 선사인 Maersk, Evergreen, P&O Nedlloyd 등이 중국 항만에 직기항하기 시작한 것은 선사들이 중국 물동량의 증가에 따라 중국 항만의 중요성을 인정한 것으로 중국항만의 대대적 확충과 주요 선사 및 터미널 운영사들의 대중국 항만투자가 가속화되고 있다.

제4절 글로벌 항만운영업체의 등장

해운시장의 글로벌화, 항만개발 및 운영의 민영화 추진, 해운·항만 관련 분야의 규제완화 등에 따라 일부 대형 항만운영업체들이 해외로 진출함으로써 글로벌 항만운영업체들이 등장하게 되었다. 또한 신흥공업국과 개발도상국의 해상운송 수요가 증가함에 따라 신규 부두의 수요가 크게 증대하고 있지만, 이들 국가는 국가재정이 충분치 못한 한계로 인하여 항만의 개발수요를 감당하기 어려워 민영화를 추진하고 있다. 이 과정에서 항만운영의 전통과 노하우가 축적된 대형 항만운영업체들이 개도국의 항만개발에 대규모 자본과 전문적 노하우를 투입하여 항만민영화 수요에 부응하고 있다.

전 세계 항만들이 중심항만 경쟁에서 우위를 점하기 위해 신규항만건설 및 물류신기술 개발과 투자를 지속하는 한편, 항만운영업체들은 신규투자나 기존 터미널에 대한 인수합병(M&A), 조인트벤처(joint venture) 등의 수평적 통합(horizontal combination)을 통해 시너지 효과를 창출하고자 노력하고 있다. 기존의 터미널운영업체 뿐만 아니라 대형선사 역시 통합 추세가 진행 중에 있다. 선사들은 자사의 전용터미널 확보와 내륙운송업체 인수 등의 방법으로 수직적 통합(vertical combination)을 통해 보다 높은 운영효율을 위해 노력하고 있다.

이러한 제휴체제는 해운분야에서 1996년 이후 강화되기 시작하였으며, 전략적 제휴 관계 유형은 <표 2-4>와 같이 현대상선과 APL, 일본의 MOL 등이 참여한 New World Alliance, Hapag-Lloyd, 일본의 NYK, 홍콩의 OOCL 등이 참여한 Grand Alliance, 덴마크의 Maersk-Sealand (P&O Nedlloyd) Alliance, 중국의 COSCO, 대만의 YMI, K-Line, 한진해운이 참여한 CKYH-Group, 그 외에 선복사용협정(Slots Agreement), 독자노선 그룹으로 나누어진다.

<표 2-4> 세계 주요 선사의 전략적 제휴 관계 유형

전략적 제휴 유형	참여회사	선복량(TEU)
New World Alliance	APL/NOL	339,036
	Mitsui OSK Line	281,807
	현대상선	164,700
Grand Alliance	Hapag-Lloyd	456,424
	NYK Line	329,324
	MISC	58,013
	OOCL	281,113
CKYH-Group	COSCO	387,196
	K-Line	275,364
	Yang-Ming	245,228
	한진해운(Senator 포함)	348,235
선복사용협정 (Slots Agreement)	Evergreen	547,576
	China Shipping	399,821
	APL/NOL	339,036
	CMA-CGM	685,054
	ZIM	238,073
	Norasia	n.a.
독자노선	UASC	86,608
	Maersk Lines	1,760,047
	MSC	1,030,129

주 : n.a.는 세계상위 30대 선사에 들지 않는 관계로 누락

자료 : Notteboom, Theo, et al,(2006), "Challenges in the Maritime-Land Interface: Maritime Freight and Logistics"

이와 함께 선사들은 인수합병(M&A)에 의해 거대선사로 통합하면서 비용 절감, 경영의 효율성 추구, 자본집중을 통한 규모의 경제 추구, 대형선박의 투입, 항만에 대한 교섭력 강화 등을 통해 시장지배력을 강화하였다.²⁾

대표적으로 2005년 Maersk-Sealand가 P&O Nedlloyd를 인수하였으며, Hapag-Lloyd의 모회사인 TUIAG가 CP Ships를 인수 합병하였다.

2) 한철환 (2002), "아시아 항만의 경쟁 입지 변화와 중국·일본의 항만전략", 현안분석, 해양수산개발원.

제Ⅲ장 효율성 및 DEA 모형에 대한 이론적 접근

제1절 효율성의 개념

1. 효율성의 정의

효율성(efficiency)의 정의는 다양하지만, 경영학적 측면에서의 효율성은 다분히 기술적 의미를 내포하고 있다. 따라서 효율성은 '투입요소에 대한 산출요소의 비율'로 정의된다.³⁾ 즉, 투입요소의 가변성과 대체 가능성을 전제로 투입요소의 여러 가지 조합을 통하여 산출요소를 최대화하는 것을 의미한다. 또한 이와 유사한 개념인 효과성(effectiveness)이란 '목표와 관련하여 기대한 성과를 어느 정도 적은 비용으로 달성하였는가'를 의미하는 개념으로 정의된다. 이러한 관점에서 효율적인 조직은 특정 과업을 수행하는데 있어 최소 자원의 투입으로 경영 목표를 달성하는 조직을 의미한다. 따라서 효율성 측정은 목표를 달성하기 위한 수행과정에 초점을 둔다.

이런 맥락에서 다수의 투입요소를 이용하여 다수의 서비스를 생산하는 다 투입·다산출 항만의 효율성은 대개 투입요소 간 적절한 결합과 사용에 의해 결정된다.⁴⁾

한편, 경제학 분야에서 효율성은 특정한 조직단위 내에서 투입요소의 활용을 통해 산출요소를 어떻게 창출하고 있는지를 표현할 때 사용된다. 결국 효율성 측정의 목적은 투입·산출분석을 바탕으로 최대의 효율성을 달성하는데 있다.

3) Rober N. Anthony and John Dearden (1980), *Management Control System*, Richard D. Irwin Inc., p.8.

4) A. Charnes, W. W. Cooper, B. Golany, L. Seiford and J. Stutz (1985), "Foundations of Data Envelope Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions", *Journal of Econometrics*, Vol. 30., pp.132-138.

따라서 본 연구에서는 첫째, 효율성의 개념을 경영학 및 경제학에서 통용되는 “투입요소와 산출요소 간의 비율”로 정의하고, 둘째, 효율성의 정도는 주어진 투입요소를 이용하여 산출요소를 최대화하는 산출지향적(output-oriented) 효율성 분석을 실시한다. 셋째, 투입 및 산출 간 비율을 결정하는데 있어, 투입요소는 다양한 인적·물적 자원의 투입을 의미하고, 산출요소는 항만의 특성상 다양한 목표를 추구하는 점을 감안하여 투입요소와 산출요소가 다수인 다투입·다산출 모형을 설정한다.

2. 항만 효율성의 정의

항만 효율성은 터미널의 효율성이 가지는 성격과는 달리 그 항만에 소속되어진 터미널 각각의 실적에 따라서 항만의 평가가 내려진다. 즉, 각 터미널의 장단점을 잘 살려서 개발하면 시설과 장비의 수 또는 노후화와 관련 없이 충분한 경쟁력을 지닐 수 있다는 것이다.

따라서 항만 효율성은 이미 주어진 항만시설 하에서 얼마나 많은 물동량을 처리할 수 있는가에 따른 투입요소 대비 산출요소의 비율로써 효율·비효율을 판단하게 된다.

항만 효율성에 관한 사항은 항만과 해운산업 전체에서 경영전략 수립 시 매우 중요한 평가 자료가 된다. 이 연구에서 다루어질 자료는 투입요소가 될 수 있는 선석길이, 수심, C/C장비 수 및 부두 총면적 등의 항만시설과 산출요소가 될 수 있는 항만의 처리물동량과 성장률이다.

제2절 효율성의 측정방법

효율성 측정방법은 크게 함수적 접근법, 비율분석법, 생산성지수법으로 구분할 수 있다. 함수적 접근법 중 회귀분석법과 비용함수 접근법, 비율분석법 중 재무비율분석법, 생산성지수법 중 총생산성지수법을 중심으로 효율성 측정방법에 대해 알아보고, 다음 절에서는 비모수적 방법을 통해 경험적 프론티어를 발견하고 프론티어와 DMU와의 거리를 이용하여 상대적 효율성을 측정하는 DEA 모형에 대해 설명하기로 한다.

1. 함수적 접근법(function approach)

1) 회귀분석법(regression analysis approach)

회귀분석은 회귀모형에 의한 평균적 효율성을 추정하고 실제값과 비교하는 방법으로 생산에 관련된 총비용을 추정하고 실제비용과 비교하여 총비용이 실제비용보다 작으면 효율적이고 그렇지 않으면 비효율적인 조직으로 평가하는 방법이다. 회귀분석은 측정목적에 따라 투입측면과 산출측면에서 각각 수행될 수 있으며 일반적인 회귀식은 다음과 같다.

$$\text{투입측면} : I = a_I + \sum_{i=1}^s b_{iI} O_i + \epsilon_I$$

$$\text{산출측면} : O = a_O + \sum_{j=1}^{sn} b_{jO} I_j + \epsilon_O$$

I = 투입, O = 산출, a_I, a_O, b_{iI}, b_{jO} = 회귀계수, ϵ_I, ϵ_O = 잔차항

투입에 초점을 두는 경우 회귀모형이 추정한 투입량과 실제 투입량의 차이를 통해 효율성을 측정하는데 양의 잔차를 갖는 조직은 상대적으로 비효율적인 조직이며 음의 잔차를 갖는 조직은 상대적으로 효율적인 조직으로

평가할 수 있으며 산출에 초점을 두는 경우는 이와 반대로 해석할 수 있다. 그러나 회귀분석의 추정치가 평균 또는 중심성향에 관한 정보를 제공하기 때문에 벤치마킹 대상이 최적운영조직이 아니라는 단점이 있으며 DMU 조직들의 실제 생산함수를 명확하게 알지 못하는 상태에서 투입·산출요소의 관계에 대해 일정한 함수형태를 가정하게 된다는 단점이 있다.

2) 비용함수 접근법(cost function approach)

트랜스로그비용함수를 이용하여 다품목의 서비스를 제공하는 조직의 효율성을 측정하는 방법이다. 즉, Cobb-Douglas 생산함수나 규모의 대체탄력성 생산함수가 규모에 대한 수확불변을 사전적으로 가정하고 있으나 단일품목 생산구조에만 적용될 수 있음에 반하여 트랜스로그비용함수는 일반적인 함수형태이고 2차 미분이 가능한 모든 형태의 함수의 테일러 변형이라 할 수 있기 때문에 다품목 생산구조에 적합한 형태의 함수를 폭넓게 표현할 수 있다.⁵⁾

비용함수 접근법에 의한 연구는 통계적 회귀분석법을 사용함에 따른 일반적인 문제뿐만 아니라 모델에 사용된 함수형태에 따라 연구결과에 상당한 차이를 가져오고 있다. 또, 이러한 연구는 거시적이고 통계적인 분석방법을 통하여 해당 업종의 규모 및 범위의 경제성을 개관할 수 있는 장점은 있으나 사전적인 비용함수의 형태를 가정하고 있다는 문제 외에도 분석대상의 표본수가 한정되어 있는 경우 신뢰성 있는 비용함수를 추정하기가 어려울 뿐만 아니라 최소자승법에 따른 평균값을 사용하여 효율성 차이를 측정하기 때문에 특정한 값의 영향을 크게 받게 된다는 단점이 있다.

5) W. J. Baumol, J. C. Panzar and R. D. willig (1982), *Contestable Markets and the Theory of Industry Structure*, Harcourt Brace Jovanovich Inc., New York.

2. 비율분석법(ratio analysis approach)

비율분석법은 조직의 경영성과를 평가하는 데 널리 이용되는 분석방법으로 비율이나 지수로 표시되는 척도를 이용한다. 일반적으로 회계자료를 이용하여 영업 또는 재무성과를 평가하는 재무비율 분석법이 대표적이며 재무제표를 이용하여 조직의 경제적 실태를 설명해 줄 수 있는 재무비율을 계산한 후, 이를 산업표준비율과 비교하거나 특정조직의 재무비율 추이를 관찰하여 조직의 수익성, 유동성, 안정성, 성장성 등을 분석한다. 이러한 비율분석을 통한 효율성 평가는 부실예측, 신용등급의 분류, 채권등급평가, 포트폴리오 결정 등 경영자의 의사결정에 그 이용도가 높아지고 있다.⁶⁾

비율분석법은 계산이 간단하고 단순하기 때문에 이해하기 쉬워 실무에 많이 적용되고 있으나 비율분석은 성과에 대한 부분적인 측정을 이용하여 평가하기 때문에 전반적인 투입과 산출 간의 인과관계를 설명할 수 없다. 뿐만 아니라 몇 개의 중요한 요소에 대한 상호비교를 통해 부정확하고 객관성이 결여된 평가결과를 제시하기 쉽다.⁷⁾ 또한 각종 비율 지표들 간의 가중치가 평가자의 자의적 판단에 따라 결정되거나, 관계비율 분석결과가 다르게 나타날 경우 객관적 기준에 의한 종합평가가 어렵고, 경영성과에 대한 부분적인 비율 분석치만을 가지고 조직 전체의 효율성 제고를 위한 종합적인 단일지표를 제공할 수 없다는 점, 단기적 성과에 치중하여 장기적 성장에 기여하는 경영자의 활동이나 투자의사결정의 가치를 평가할 수 없다는 단점이 있다.

6) 한국생산성본부, “전략적 계획 및 관리 통제시스템을 위한 생산성 관리시스템의 활용방안 - 은행산업을 중심으로”, 1990.12, p.96.

7) Sherman, H. K. and F. Gold (1985), “Bank branch operating efficiency : Evaluation with data envelopment analysis”, *Journal of Banking and Finance*, Vol.9, No.2, pp.297-315.

3. 생산성지수법(productivity index approach)

생산성지수는 일반적으로 총생산성(total productivity), 부분생산성(partial productivity), 중요소생산성(total factor productivity) 등이 있으며 조직 전반적인 효율성의 측정에는 총생산성지수가 유용하다.⁸⁾

총생산성지수법은 투입요소와 산출요소의 구성요소와 측정방법, 산출의 산정기준(판매액 또는 생산액)에 따라 여러 가지 형태의 모형이 있으나 일반적인 형태는 다음과 같다.

$$\text{총생산성지수}(TP) = \frac{TO}{(L+K+R+OC)}$$

$$TO = \text{총생산량}, \quad L = \text{노동투입량}, \quad K = \text{자본투입량}$$
$$R = \text{원재료투입량}, \quad OC = \text{기타경비투입량}$$

총생산성지수법은 노동, 자본, 원재료 및 기타 경비 등의 투입요소가 총산출로 변화되는 과정의 효율성을 나타내는 척도가 되기 때문에 항만 경영자의 관점에서 볼 때 전략적 차원에서 자원의 투입량에 대한 합리적 의사결정에 기여한다. 그러나 지수에 의한 총생산성의 개념은 투입 및 산출을 금액으로 환산하여 측정하기 때문에 가격효과로 인해 실질적 생산성이 왜곡되어 나타날 수 있다. 또 규모에 대한 보수가 불변인 상태를 가정하고 있어 규모의 경제나 범위의 경제를 측정할 수 없고, 다수의 산출요소와 다수의 투입요소를 동시에 고려할 수 없다는 단점이 있다.

8) 부분생산성은 노동생산성(산출량/노동), 자본생산성(산출량/자본)이 있으며, 산출량을 각각의 투입요소로 나눈 값으로 계산되며 중요소생산성은 (산출량-중간재투입량)/(가중노동투입시간+총자본)으로 계산된다.

4. 확률적 접근방법(stochastic approach)

경제학에서 효율성을 측정함에 있어서 관찰된 자료(observed data)를 토대로 경험적 생산함수 혹은 프론티어를 추정하는 방법에 따라 두 가지의 접근방법으로 분류할 수 있다. 흔히 이들은 모두 모수적 접근법(parametric approach)과 비모수적 접근법(non-parametric approach)으로 불린다.

또한, 이들은 확률적 접근방법(stochastic approach), 비확률적 접근방법(non-stochastic approach)이라고도 하는데, 모수적 접근방법은 주로 계량경제학적인 기법으로서 프론티어를 추정하며 비모수적 접근방법은 주로 수리계획법에 의해 프론티어를 추정한다.⁹⁾

이 방법은 전통적인 비용함수를 변형시켜 그 변형된 함수의 예측치가 비용프론티어를 형성하게 되고 비효율성은 잔차항에 포함된다. 따라서 비효율성을 측정하기 위해서는 잔차항에 포함되어 있는 비효율성과 잔차변동(random fluctuation)을 구분하여 비용함수의 프론티어로부터 각 조직의 이탈(deviation) 정도로써 기술적 비효율성이 측정될 수 있고 배분적 비효율성도 자료의 평균으로부터 구할 수 있다. 그러나 이 방법은 비효율성의 구성원소들이 일반적으로 비대칭적인 반정규분포(half normal distribution)를 따르고 잔차변동은 대칭적인 정규분포를 따른다는 가정이 필요하다. 이러한 가정 하에서 잔차항을 비효율성과 잔차변동으로 구분하기 때문에 비효율성의 결과는 결정적으로 자료의 왜곡도에 의존하게 된다. 즉, 다소 대칭적인 비효율성은 잔차변동으로 간주되고 비대칭적인 잔차변동은 비효율성으로 간주됨으로써 비효율성을 정확하게 측정할 수 없게 된다.

9) Ferrier and Lovell(1990)은 모수적 접근방법을 계량경제학적인 접근방법(econometric approach), 비모수적 접근방법을 선형계획법에 의한 접근방법(linear programming approach)으로 분류하였다.

제3절 DEA 모형의 개념

1. DEA 모형의 정의

비모수적(non-parametric) 효율성 측정방법인 DEA는 다른 효율성 측정방법과는 다르게 사전에 구체적인 함수형태를 가정하고 모수를 추정하는 것이 아니라 선형계획법(Linear Programming Technique)에 근거하여 DMU의 경험적인 투입요소와 산출요소를 이용하여 효율적 프론티어를 도출한 후 DMU들이 효율적 프론티어로부터 얼마나 떨어져 있는지의 여부로써 비효율성을 측정한다.

Charnes, Cooper and Rhodes(1978)는 Farrell(1957)의 상대적인 효율성 개념을 새로이 해석하고 이를 다투입요소(multi-input)와 다산출요소(multi-output)의 비율모형(CCR Ratio)으로 나타낸 DEA 모형을 제시하였다.

이후 Banker, Charnes and Cooper(1984)가 의사결정단위(Decision Making Unit : DMU)에 대한 효율성을 투입지향(input-oriented)과 산출지향(output-oriented)의 두 가지 관점에서 기술효율성과 규모의 효율성으로 나누어 평가하였고 나아가 최적생산규모를 추정하였다.

DEA는 다양한 산출요소와 다수의 투입요소를 동시에 고려한 상대적 효율성 수치를 제공하며 계산과정에서 각각의 투입 및 산출요소에 대해 가중치를 미리 결정할 필요가 없으며 비효율성이 투입 및 산출구조의 어느 부분에서 발생하는지에 대한 정보를 제공할 뿐만 아니라 그 크기에 대한 정보를 제공해 주는 상대적인 평가방법이다.

이러한 DEA를 이용한 효율성 측정은 다음과 같은 절차에 따라 실시한다. 첫째, DEA 모형을 이용하여 상대적 효율성을 측정하기 위해서는 우선 각 항만의 관련 투입요소와 산출요소 가운데 평가의 목적과 부합되는 변수를 결정한다. 둘째, 동일 투입요소로 다른 항만보다 더 많은 산출요소를 획득하

는 항만, 동일 산출결과를 획득하는데 있어서 다른 항만보다 더 적은 투입 요소를 필요로 하는 항만, 즉 효율성의 향상을 위한 참조집합을 나타낸다. 셋째, 참조집합으로 선정되는 항만의 투입·산출 관계가 바로 효율적 프론티어이다. 넷째, 평가하고자 하는 항만의 투입·산출 관계를 효율적 프론티어와 비교하여 그 상대적으로 미달되는 거리가 바로 해당 항만의 효율성 지수가 된다. 다섯째, 상대적 비교의 특성상 효율성 지수가 1인 경우 효율적인 항만으로 평가되며, 1보다 작은 경우 비효율적인 항만으로 평가된다.

2. DEA 모형의 특성

DEA 모형은 비율분석, 회귀분석, 생산함수분석과 같은 모수적 방법과 달리 다투입요소와 다산출요소를 모형 내에 직접 포함할 수 있다는 장점과 함께 다음과 같은 특징을 가지고 있다.¹⁰⁾

첫째, DEA 모형은 자료분석을 위하여 투입·산출요소들을 하나의 지수로 나타내기 힘든 경우에 유용하게 사용될 수 있다. 투입요소의 가격과 산출요소가 가지는 정확한 가치에 대한 동의가 없더라도 분석이 가능하다. 특히, 투입·산출요소들의 측정단위가 각각 다른 경우에도 적용가능하고 화폐단위로 표시 불가능하거나 매매의 대상이 될 수 없는 요소의 경우에도 적용이 가능하다.

둘째, 상대적 효율성에 대한 지표를 제공한다. 다수의 생산요소를 사용하여 다수의 산출요소가 창출되는 복잡한 생산구조 하에서 생산함수의 구체적인 형태가 알려져 있지 않거나 그들 간의 투입·산출모형을 적절히 기술하기 힘든 경우에 특정 조직의 효율성을 그와 유사한 조직과 비교하여 상대적 효율성의 정도를 나타내 준다. 이에 따라 비효율적인 조직의 경우에는 실현가능한 목표치의 설정이 가능하게 되고 비효율성의 원인이 기술적인 것

10) H. D. Sherman (1984), "Improving the Productivity of Service Business", *Sloan Management Review*, spring 1984, p.12.

인지, 아니면 규모에 의한 것인지를 밝힐 수 있으며 각 DMU의 규모 수익에 대한 특성을 알 수 있다.

셋째, 임의의 가중치 부여를 배제한다. DEA 모형은 다수의 투입요소와 다수의 산출요소가 존재하는 상황 하에서 기존의 성과 평가방법들이 효율성을 평가하기 위해서 단일의 이익지표나 투자수익률(ROI) 등을 사용하거나 다수의 지표를 사용한다고 하더라도 각 지표에 대한 가중치가 임의적인 방법으로 할당되고 있는 것과는 달리 모형 내에서 내생적으로 결정된다.

넷째, 연구결과의 상호 비교가 가능하다. DEA와 전통적인 기법, 그리고 프론티어 생산함수분석과 같은 방법을 상호 비교함으로써 각 방법의 장점과 단점을 확인할 수 있으며 성과 평가를 위한 추가적인 연구가 가능하다. 또한 통제 불가능한 요소가 존재하는 경우의 평가모형 변형이나 생산함수가 특이한 경우의 분석 등에 대한 추가적인 시사점을 얻을 수 있다.

제4절 DEA 모형의 유형

1. DEA-CCR 모형

CCR 모형은 DEA 모형의 가장 기본적인 모형으로 표현되는 형태에 따라 비율모형(ratio model), 승수모형(multiplier model), 포락모형(envelopment model) 등으로 구별된다. CCR 비율모형은 매우 직관적인 해석이 가능하고 이해하기 쉬우며 CCR 비율모형에 변수변환을 취하면 CCR 승수모형이 된다. 이때 변환에 사용되는 변수에 따라 투입지향 모형과 산출지향 모형으로 구별된다.

투입지향 CCR 모형은 평가대상이 되는 DMU들의 투입요소의 가중합에 대한 산출요소의 가중합의 비율이 1을 초과해서는 안 되며, 각, 투입요소와 산출요소의 가중치는 0보다 크다는 단순한 제약조건 하에서 DMU의 투입요소의 가중합에 대한 산출요소의 가중합의 비율을 최대화시키고자 하는 선형 분수계획법이다. 따라서 CCR 모형은 투입요소 가중치와 산출요소 가중치의 비율을 사용하여 총요소생산성 비율을 구한다.

효율성은 평가대상이 되는 각각의 DMU에 대하여 다른 DMU의 실적을 반영하는 제약조건 하에서 가중산출과 가중투입 비율의 극대치로서 측정할 수 있다. 개별 DMU가 최소한 하나 이상의 투입요소를 사용하여 하나 이상의 산출요소를 생산하는 경우, h_0 를 구하기 위한 수리계획모형은 식(1)과 같은 분수형 계획 형태로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } h_0 &= \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} & (1) \\
 \text{s.t.} & \\
 \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1, \quad j=1, \dots, n \\
 u_r &\geq 0, \quad r=1, \dots, s \\
 v_i &\geq 0, \quad i=1, \dots, m
 \end{aligned}$$

h_0 = DMU₀의 효율성

u_r = r번째 산출요소에 대한 가중치, v_i = i번째 투입요소에 대한 가중치

y_{rj} = DMU_j의 r번째 산출요소의 양, x_{ij} = DMU_j의 i번째 투입요소의 양

y_{r0} = DMU₀의 r번째 산출요소의 양, x_{i0} = DMU₀의 i번째 투입요소의 양

n = DMU의 수, m = 투입요소의 수, s = 산출요소의 수

식(1)의 목적함수가 비선형(Nonlinear), 제약조건이 비볼록(Nonconvex)이므로 목적함수의 투입요소의 가중합을 1로 고정한 후 선형계획법 형태로 변형하면 다음과 같다.

$$Max \ h_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (2)$$

s. t.

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

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

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, \dots, s$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m$$

위 식을 쌍대문제로 변형하면 다음의 식(3)과 같은 선형계획법 형태로 나타낼 수 있다.

$$Min \ h_0 = \theta \quad (3)$$

s. t.

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

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0}, \quad r = 1, \dots, s$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, \quad \forall j, i, r$$

λ_j = 참조집합들의 선형결합비율을 나타내는 밀도변수(intensity variables)

θ = DMU_0 의 효율성

s_i^- = 투입요소의 여유변수(slack variables), s_r^+ = 산출요소의 여유변수

산출지향 CCR 모형은 산출요소는 통제 가능한 데 반하여 투입요소가 통제 불가능한 경우에 적용할 수 있는 모형으로 산출요소의 가중합을 1로 고정하고 투입요소의 가중합을 최소화하는 분수형 계획 형태로 표현할 수 있다.

$$\text{Min } h_0 = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}} \quad (4)$$

s. t.

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \geq 1, \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, \dots, s$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m$$

식(4)를 선형계획법 형태로 변형하면 다음과 같다.

$$\text{Min } h_0 = \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} \quad (5)$$

s. t.

$$-\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \geq 0, \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m u_r y_{r0} = 1$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, \dots, s$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m$$

식(5)를 쌍대문제로 변형하면 다음과 같은 선형계획법 형태로 나타낼 수 있다.

$$Max \ h_0 = \theta \tag{6}$$

s. t.

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

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

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0, \quad \forall j, r, i$$

투입지향 CCR 모형과 마찬가지로 위의 선형계획법을 풀면 DMU들의 효율성 지수를 얻을 수 있다. 이 때, 효율성 지수가 1로 나타나면 효율적인 DMU로, 효율성 지수가 1보다 작게 나타나면 비효율적인 DMU로 평가된다.

2. DEA-BCC 모형

CCR 모형은 각 DMU가 최적의 규모에서 운영되고 있다고 가정하는 규모 수익불변의 상황을 고려하고 효율성을 평가하지만 실제로 많은 제약으로 인해 최적 규모에서 운영되고 있다고 보기 어렵다.

Banker, Charnes and Cooper(1984)는 앞의 식(6)에 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 이라는 볼록성(convexity) 제약조건을 추가하여 규모수익가변을 가정한 후 DMU의 효율성을 분석하였다. 이러한 모형을 BCC 모형이라 하며, CCR 모형의 기술 효율성을 순수기술효율성과 규모의 효율성으로 구분한다. 산출지향 BCC 모형을 선형계획법 형태로 나타내면 식(7)과 같다.

$$Max \ h_0 = \theta \tag{7}$$

s. t.

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

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

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

$$\lambda_j, s_r^+, s_i^- \geq 0, \quad \forall i, r, j$$

DEA에 의한 평가결과는 상대적으로 비효율적인 DMU에 대해서 효율성 개선을 위한 참조집합(Reference Set)을 제공한다. 비효율적($\theta < 1$)인 DMU의 경우 $\lambda_j > 0$ 인 DMU가 참조집합이 된다. 이에 따라 비효율적인 DMU는 투입·산출과 관련된 여유변수 및 참조집합이 제공하는 가중치의 결함을 통해서 비효율성의 정도를 투영할 수 있다.¹¹⁾

11) 박만희 (2008), 「효율성과 생산성 분석」, 한국학술정보(주), pp.52-70.

3. 규모의 효율성

생산함수에서 모든 투입요소가 k 배 증가할 때 생산량도 k 배 증가하는 생산함수를 규모에 대한 수익불변이라 한다. 만약 생산량이 투입요소의 증가배수인 k 보다 더 큰 비율로 증가하는 경우 규모에 대한 수익체증이라고 하며, 반대로 생산량이 투입요소의 증가배수인 k 보다 작은 비율로 증가하는 경우는 규모에 대한 수익체감이라고 한다.¹²⁾

경제분석시 자주 사용되는 Cobb-Douglas 생산함수¹³⁾는 일반적으로 다음과 같이 표현된다.

$$Q = AK^\alpha L^\beta \quad (A > 0; \alpha < 1; \beta < 1) \quad (8)$$

Q = 생산량, A = 기술수준을 반영하는 효율성 파라미터
 K = 자본투입량, L = 노동투입량
 α = 자본의 산출탄력성¹⁴⁾, β = 노동의 산출탄력성¹⁵⁾

α 와 β 는 1보다 작은 양의 분수값을 갖는다. 어떠한 경우에서든 동차성 (homogeneity) 정도와 규모에 대한 수익은 지수를 합한 결과를 통해 쉽게 알 수 있다.¹⁶⁾ 즉, Cobb-Douglas 생산함수에서

12) W. W. Cooper, L. M. Seiford, and K. Tone (2000), Data Envelopment Analysis, *Kluwer Academic Publishers*, pp.136-138.

13) Cobb-Douglas 생산함수는 매개변수 α 와 β 의 값에 따라 규모수익의 어떤 경우도 포괄할 수 있다는 장점 때문에 폭넓게 사용되고 있다.

14) 자본의 산출탄력성은 노동 L 을 고정시켜 놓은 상태에서 자본 K 만의 1% 변화시켰을 때 생산량이 몇 % 변화하는가를 나타낸다.

15) 노동의 산출탄력성은 자본 K 를 고정시켜 놓은 상태에서 노동 L 만을 1% 변화시켰을 때 생산량이 몇 % 변화하는가를 나타낸다.

16) 다음 식은 식 (8)을 k 차 동차함수로 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} f(kK, kL) &= A(kK)^\alpha (kL)^\beta = Ak^\alpha K^\alpha k^\beta L^\beta \\ &= k^{\alpha+\beta} (AK^\alpha L^\beta) = k^{\alpha+\beta} (Q) \end{aligned}$$

$\alpha + \beta = 1$ 이면, 규모에 대한 수익불변(constant returns to scale)을 나타낸다.
 $\alpha + \beta > 1$ 이면, 규모에 대한 수익체증(increasing returns to scale)을 나타낸다.
 $\alpha + \beta < 1$ 이면, 규모에 대한 수익체감(decreasing returns to scale)을 나타낸다.

따라서 규모에 대한 수익정도에서 규모는 요소의 투입규모를 의미한다. 규모에 대한 수익불변은 투입요소의 수준과 동일하게 산출요소가 증가하는 경우를, 규모에 대한 수익체증은 투입요소의 수준을 초과하여 산출요소가 증가하는 경우를 의미한다. 그리고 규모에 대한 수익체감은 투입요소의 수준을 하회하여 산출요소가 증가하는 경우를 나타낸다.

규모의 효율성(SE : Scale Efficiency)은 식(9)와 같이 표시된다.

$$\text{규모의 효율성} = \frac{\text{기술효율성}(CCR)}{\text{순수기술효율성}(BCC)} \quad (9)$$

CCR 효율성 지수는 전체적인 기술효율성(TE : Technical Efficiency)이라 불린다. 그 이유는 규모효과를 전혀 고려하지 않기 때문이다. 반면, BCC 효율성 지수는 규모수익가변 가정 하에서 부분적(local)인 순수기술효율성(PTE : Pure Technical Efficiency)을 나타낸다. 따라서 효율성 식(10)과 같이 표시된다.

$$\text{기술효율성}(TE) = \text{순수기술효율성}(PTE) \times \text{규모의 효율성}(SE) \quad (10)$$

이러한 분해는 비효율성의 근원이 비효율적인 경영활동으로 인한 것인지 규모 비효율성에 의해 야기되는 것인지를 보여준다. 예를 들어, 특정 DMU의 규모수익체증(IRS) 하에서 BCC 효율성 지수가 1이지만 CCR 효율성 지수가 1보다 작을 경우, 규모의 효율성 < 1이므로 전체적인 비효율성이 규모의 비효율성에 의해서 발생된다. 이는 DMU가 부분적으로 효율적이지만 전체적으로는 비효율적임을 의미한다. 반면, 어떤 DMU의 규모의 효율성이 1이라면, 이는 매우 생산적인 규모의 크기로 운영되고 있음을 의미한다.

제5절 Malmquist 모형

DEA는 기본적으로 횡단면적 분석에 적용된다. 그러나 DEA를 이용한 종·횡단면적 분석으로 기간별 변화를 추정하고자 한다면 Malmquist 생산성 지수(Malmquist productivity index) 모형을 사용하는 것이 적절하다. Malmquist 생산성 지수는 DEA의 변형으로서 기간별 효율적 프론티어와 DMU의 이동을 지수형태로 측정한다. 주로 생산성 변화를 측정할 경우에 이용되는데, 이 모형은 가격 정보가 부족하거나 정확하게 추정하기 어려운 경우 또는 생산자의 형태(비용극소화 또는 이익극대화)에 대한 가정을 부여하기가 용이하지 않은 경우에 투입 및 산출요소에 관한 정량적인 정보를 지수로 계산할 수 있다는 이점을 가진 모형이다.

생산성 증가에 대한 Malmquist 생산성 지수는 거리함수(distance function) 개념에 근거하며, 생산성 함수와 쌍대로 동일한 정보를 갖는다. Lovell(1993)은 거리함수의 역수가 단순히 Farrell(1957)의 생산효율성 척도의 역수임을 보여주었고, Fare, Grosskopf, Lindgren and Roos(1995)는 산출지향적 Malmquist 생산성 지수를 다음과 같이 정의 하였다. 분석대상이 되는 데이터의 시계열이 $t=1, 2, \dots, T$ 라고 할 때, 생산기술 S^t 를 식(11)과 같이 정의하였으며 생산기술은 모든 가능한 투입요소와 산출요소의 벡터집합으로 구성된다.

$$S^t = \{(x^t, y^t) : x^t \text{는 } y^t \text{를 생산할 수 있다}\} \quad (11)$$

$$x^t = (x_1, x_2, \dots, x_m), \quad y^t = (y_1, y_2, \dots, y_s)$$

$x^t = t$ 시점의 투입요소, $y^t = t$ 시점의 산출요소

$S^t = t$ 시점에 대하여 투입요소 x^t 를 사용하여

산출요소 y^t 를 생산하는 생산기술

시점 t 에 대한 산출거리함수는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} D_o^t(x^t, y^t) &= \inf \left\{ \theta : \left(x^t, \frac{y^t}{\theta} \right) \in S^t \right\} \\ &= \left[\sup \left\{ \theta : \left(x^t, \theta y^t \right) \in S^t \right\} \right]^{-1} \end{aligned} \quad (12)$$

식(12)와 같이 정의된 산출거리함수는 주어진 투입요소 x^t 를 이용하여 산출요소 y^t 를 최대로 확장할 수 있는 값의 역수로 주어진다. 특히, $(x^t, y^t) \in S^t$ 이면 $D_o^t(x^t, y^t) \leq 1$ 이고 (x^t, y^t) 가 기술변경상에 존재하면 $D_o^t(x^t, y^t) = 1$ 이다. 이는 $\theta = 1$ 을 의미하고 기술적으로 효율적인 생산이 일어날 때 발생한다.

Malmquist 생산성 지수를 정의하기 위하여 단일 투입요소를 이용하여 단일 산출요소를 생산하는 경우를 고려하면 시점 t 에서와 마찬가지로 시점 $t+1$ 에서의 산출거리함수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1}) &= \inf \left\{ \theta : \left(x^{t+1}, \frac{y^{t+1}}{\theta} \right) \in S^{t+1} \right\} \\ &= \left[\sup \left\{ \theta : \left(x^{t+1}, \theta y^{t+1} \right) \in S^{t+1} \right\} \right]^{-1} \end{aligned} \quad (13)$$

위 식은 t 시점의 생산기술을 이용하여 (x^{t+1}, y^{t+1}) 이 실행 가능한 범위 내에서 최대로 생산할 수 있는 산출요소의 정도를 측정하는 거리함수이다. 동일한 개념으로 $t+1$ 시점의 생산기술을 이용하여 (x^t, y^t) 가 실행 가능한 범위 내에서 최대로 생산할 수 있는 산출요소의 정도를 측정하는 거리함수를 $D_o^{t+1}(x^t, y^t)$ 로 표기할 수 있다.

Malmquist 생산성 지수(MPI)는 시점 t 에서의 생산기술을 가정한 상태에서 서로 다른 두 시점 $t, t+1$ 의 투입·산출요소의 조합을 통해 식(14)와 같이 정의할 수 있다.

$$M^t = \frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)} \quad (14)$$

마찬가지로 $t+1$ 시점의 생산기술을 가정한 상태에서 서로 다른 두 시점 $t, t+1$ 의 투입·산출요소의 조합을 통해 식(15)와 같이 정의할 수 있다.

$$M^{t+1} = \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^t, y^t)} \quad (15)$$

위의 두 식에서 얻은 Malmquist 생산성 지수(MPI)를 이용하여 산출지향 Malmquist 생산성 변화 지수를 정의하면 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} M_o(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) &= \left[\frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)} \cdot \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16) \\ &= \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)} \cdot \left[\frac{D_o^t(x^t, y^t)}{D_o^{t+1}(x^t, y^t)} \cdot \frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= TECI \cdot TCI \end{aligned}$$

$M_o(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) > 1$ 이면 t 기에 비해서 $t+1$ 기에 효율성이 증가하였다는 것을 의미하고, $M_o(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) < 1$ 이면 감소하였다는 것을 의미하며 $M_o(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = 1$ 이면 효율성 변화가 없다는 것을 나타낸다.

식(16)의 두 번째 줄에서 괄호 밖의 수식은 두 시점 t 와 $t+1$ 의 거리함수 비율로 기술효율성 변화 지수(TECI : Technical Efficiency Change Index)라 하고, 두 번째 항을 기술진보 변화 지수(TCI : Technological Change Index)라고 부른다. 괄호 안의 부분은 생산변경의 이동, 즉 기술변화를 측정한다.

기술효율성 변화 지수(TECI)는 다시 순수효율성 변화 지수(PECI : Pure Efficiency Change Index)와 규모의 효율성 변화 지수(SECI : Scale Efficiency Change Index)로 구분되며, 식(17)과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)} = \left[\frac{D_v^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_v^t(x^t, y^t)} \right] \times \left[\frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})/D_v^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)/D_v^t(x^t, y^t)} \right] \quad (17)$$

따라서 Malmquist 생산성 지수(MPI)는 식(18)과 같이 쓸 수 있다.

$$M_o(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \left[\frac{D_v^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_v^t(x^t, y^t)} \right] \times \left[\frac{D_v^t(x^t, y^t)}{D_o^t(x^t, y^t)} \cdot \frac{D_v^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right] \times \left[\frac{D_o^t(x^t, y^t)}{D_o^{t+1}(x^t, y^t)} \cdot \frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} = PECE \cdot SECE \cdot TCE \quad (18)$$

식(18)에서 $D_v^t(x^t, y^t)$ 는 시점 t 의 규모수익가변 하에서의 산출거리함수를 나타내고, $\frac{D_v^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_v^t(x^t, y^t)}$ 는 t 시점에 대한 $t+1$ 시점의 순수효율성 변화를 평가하는 척도이다. $\frac{D_v^t(x^t, y^t)}{D_o^t(x^t, y^t)}$ 는 시점 t 에서의 규모수익불변 기술에 대한 규모수익가변 기술의 산출거리함수의 비율을 나타내고 이는 규모의 효율성 변화를 의미한다.

따라서 Malmquist 생산성 지수(MPI)는 순수효율성 변화 지수(PECI), 규모의 효율성 변화 지수(SECI), 기술진보 변화 지수(TCI)로 나누어 측정할 수 있다. 그 가운데 순수효율성 변화(PECI)는 기간 t 와 $t+1$ 간에 DMU가 효율적 프론티어에 얼마나 접근했는지를 측정하며 규모수익가변 기술수준에서 효율성의 상대적 변화를 의미한다. 규모의 효율성 변화(SECI)는 두 기간 사이에 DMU가 규모의 경제에 얼마나 접근했는가를 측정함으로써 규모수익가변 기술수준에 대응하는 규모수익불변 기술수준에서의 최대 산출량의 비율로 정의된다. 순수효율성 변화(PECI),와 규모의 효율성 변화(SECI)의 곱은 기술효율성 변화(TECI)이며, 이것은 생산과정에서 DMU가 투입요소를 얼마나 효율적으로 산출요소로 전환시켰나를 측정한다. 기술효율성 변화(TECI)는 catching-up effect에 해당되며, 학습 및 지식파급효과, 시장 경쟁력, 비용구조 및 설비 가동률 개선 등의 영향을 반영한다. 그리고 기술진보 변화(TCI)는 frontier-shift effect 혹은 innovation에 해당되며, 기술혁신으로 인한 두 기간 사이에 효율적 프론티어의 변화를 측정한다. 이는 신제품 및 생산공정혁신, 새로운 경영기법, 외부충격 등 생산가능곡선을 이동시키는 요인으로부터 영향을 받는다.

제Ⅳ장 DEA 모형을 이용한 항만 효율성 분석

제1절 DEA 분석을 위한 기초자료

항만의 효율성 분석을 위해 사용된 투입·산출변수에 대한 기초통계를 제시하고 DEA-CCR 모형과 DEA-BCC 모형을 이용하여 항만 효율성 분석을 실시하였다.

1. 변수 선정

항만과 같은 사회간접자본형태를 갖는 대규모 공공사업은 투입변수와 산출변수의 구체적인 형태가 모호하다는 특징을 가지고 있다. 따라서 항만의 효율성을 측정할 때 투입·산출변수를 결정하는데 상당한 어려움을 갖게 된다. Dowd & Leschine(1990)는 투입변수를 포괄적으로 노동, 장비, 토지로 범주화하고 컨테이너 터미널의 생산성은 이들 투입변수의 효율적인 이용에 달려 있으므로 이 세 변수의 효율적 이용을 계량화함으로써 측정할 수 있다고 하였다.¹⁷⁾ 일반적으로, 컨테이너 터미널의 효율성을 결정하는 요인으로는 항만시설 및 장비보유 현황, 컨테이너부두의 생산성, 가격경쟁력 및 서비스측면 등이 주요 요인으로 제시되고 있다.

이러한 투입 및 산출변수 결정에 대한 모호성은 연구자에 따라 다양하게 투입·산출변수를 결정하게 하였다. <표 4-1>은 기존연구자들이 항만의 효율성을 분석할 때 사용한 투입변수와 산출변수를 정리한 것이다.

17) 생산성이나 효율성과 또 다른 개념인 경쟁력이 있다. 일반적으로 컨테이너 터미널의 경쟁력의 결정요인은 컨테이너 터미널의 경쟁력을 결정하는 요인으로 항만시설 및 장비의 보유현황, 컨테이너 부두의 생산성, 가격경쟁력 및 서비스측면 등을 주요 요인으로 제시하고 있다.

<표 4-1> 항만효율성에 대한 기존연구

연구자	연구방법	변수		DMU
		투입	산출	
Hayuth & Roll (1993)	DEA	-노동비 -자본비 -화물특성	-총물동량 -서비스수준 -이용자만족도 -선박기항수	이스라엘의 20개 항만
Martinez-Budria et al (1999)	DEA	-노동비 -감가상각비 -기타비용	-총물동량 -임대수익	스페인 26개 터미널
Notteboom et al (2000)	Stochastic Frontier Model	-안벽길이 -터미널면적 -G/C의 수	-컨테이너 처리량(TEU)	유럽항만의 26개 터미널
송재영 (2000)	DEA/AHP	-CY면적 -하역장비수 -전산화 -야드계획	-컨테이너 처리량(TEU) -선석점유율	국내 8개 터미널
Tongzon, J. (2001)	DEA	-선석수 -크레인수 -예인선 수 -CY면적 -대기시간 -인원 수	-컨테이너 처리량(TEU) -선박작업률	세계 주요 16개 항만
Cullinane K. et al (2002)	Stochastic Frontier Model	-안벽길이 -터미널면적 -하역장비 수	-컨테이너 처리량(TEU)	아시아지역항만 및 터미널 15개
Valentine & Gray (2002)	DEA	-터미널 총면적 -선석길이 -C/C의 수	-컨테이너 처리량(TEU)	유럽과 동북아 12개 항만
박노경 (2002)	DEA	-안벽길이 -G/C 수 -CY면적 -CFS면적	-컨테이너 처리량(TEU) -항만사용량	전 세계 20개 항만

연구자	연구방법	변수		DMU
		투입	산출	
김운수 (2004)	Stochastic Frontier Model	-터미널 총면적 -안벽길이 -G/C의 수 -T/C의 수 -매출규모 -Dummy변수	-컨테이너 처리량(TEU)	전세계 주요 32개 터미널
송재영 (2004)	DEA / Malmquist Index	-선석길이 -총면적 -G/C 수 -야드장비 -CFS면적 -평균작업시간	-컨테이너 처리량(TEU)	세계 60위 항만 중 53개 항만
Tongzon & Heng (2005)	Stochastic Frontier Model	-선석길이 -총면적 -G/C 수	-컨테이너 처리량(TEU)	전세계 주요 25개 항만
차용우 (2005)	DEA / Malmquist Index	-접안능력 -하역능력	-수출물량 -수입물량 -입출항척수	국내 26개 무역항만
Cullinane K. et al (2006)	DEA / Stochastic Frontier Model	-선석길이 -총면적 -G/C 수	-컨테이너 처리량(TEU)	전세계 주요 28개 항만
Ahmed Salem Al-Eraqi et al (2007)	DEA	-선석길이 -총면적 -운항거리	-컨테이너 처리량(TEU) -입출항수	전세계 주요 18개 항만
권신혜 (2007)	DEA	-선석수 -선석길이 -수심 -부두 총면적 -C/C 대수	-컨테이너 처리량(TEU)	동북아시아 22개 항만

산출변수는 컨테이너 처리량(TEU)을 거의 모든 연구에서 선정하였으며, 그 외 서비스 수준(Hayuth and Roll, 1993), 임대료에 따른 수익(Martinez-Budria et al., 1999), 선석점유율(송재영, 2002) 등을 선정하였다. 그러나 투입변수는 상당히 다양하게 사용되고 있다. 선석수, 크레인수, CY 면적, 부두면적, 안벽길이, 노동인력, 대기시간 등 컨테이너 처리에 직·간접적으로 영향을 미칠 수 있는 요소들은 투입변수로 간주하고 있다. 투입변수를 정할 때 다수의 항만을 대상으로 공통적으로 자료를 수집할 수 있는 변수들이어야 한다는 제약이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존연구에서 많이 사용되고 항만에서 가장 중요한 것으로 판단되는 선석길이, 수심, 부두 총면적, C/C장비 수를 투입변수로 결정하였다. C/C장비는 각 항만에서 상이한 종류의 Crane을 사용하고 있으므로, 아래와 같이 여러 종류의 Crane을 통합하여 사용하였다.

DEA 분석에 사용된 변수의 정의

- Input Data

x_1 : Berth Length(m) - 선석길이

x_2 : Depth(m) - 수심

x_3 : Total Area(m²) - 부두 총면적

x_4 : Container Gantries, Quay Cranes,

Mobile Cranes, Floating Cranes - C/C장비 수

- Output Data

y_1 : 총 처리물동량(TEU)

y_2 : 처리물동량 기준 성장률(%)

DEA 모형은 투입·산출변수의 수가 증가하게 되면 효율적으로 평가되는 DMU의 수가 증가하는 특징을 갖고 있기 때문에 비효율적인 단위들의 판별이 어렵다는 단점이 있다. 따라서 DMU의 수에 따라 투입·산출변수의 수를 제한함으로써 DMU의 효율성을 적절하게 차별화시킬 필요가 있다.

DMU의 수와 투입·산출변수의 수와 관련된 선행연구를 살펴보면, Boussofiane et al.(1991)은 DEA 모형을 이용하여 DMU들을 효율적인 단위와 비효율적인 단위로 구분할 수 있는 최소한의 지표(평가 대상 DMU 수)는 투입변수의 수와 산출변수의 수를 곱한 값보다 많아야 한다는 경험적인 규칙을 제안하였고, Banker et al.(1984)은 DMU의 수가 투입변수와 산출변수의 합보다 최소한 3배 이상이 되어야 적절한 판별이 가능하다는 연구 결과를 제시하였다.

기존 연구를 기준으로 했을 때, 본 연구에서 요구되는 최소한의 DMU 수는 $8(\text{투입변수}(4) \times \text{산출변수}(2))=8$ 또는 $18((\text{투입변수}(4) + \text{산출변수}(2)) \times 3=18)$ 이다. 본 연구에 사용된 평가 대상인 항만은 90개로서 기존 이론에 비추어 무리가 없는 것으로 판단된다.

2. 분석 대상

DEA 모형을 이용한 효율성 평가는 다수의 투입·산출변수를 모두 사용하여 객관적으로 상대적 효율성을 구할 수 있다. 본 연구에서는 부산항을 포함한 세계 주요항만을 평가 대상으로 하였으며, 각 항만의 주요 변수들 중 공통된 변수를 분석에 사용하였다. 본 연구에서는 2007년 처리물동량 기준 세계 100위 항만을 평가 대상으로 선정하였으며, 이 중 자료를 구할 수 없는 10개 항만을 제외하고 <표 4-2>와 같이 총 90개의 항만이 분석에 사용되었다. 분석에 사용된 자료는 2차 자료로 각 항만의 홍보자료 및 인터넷 사이트를 통해 수집하였으며, 주로 Containerization International Yearbook (2004~2008)을 이용하여 5년 동안의 자료를 수집하였다.

<표 4-2> 분석에 사용된 항만 (2007년 처리물동량 기준)

항 만	총처리물동량(TEU)	국 가	지 역
Singapore	27,932,000	Singapore	FAR EAST & ASIA
Shanghai	26,150,000	China	FAR EAST & ASIA
Hong Kong	23,881,000	China	FAR EAST & ASIA
Shenzhen	21,099,000	China	FAR EAST & ASIA
Busan	13,270,000	Korea	FAR EAST & ASIA
Rotterdam	10,790,604	Netherlands	EUROPE
Dubai	10,653,026	UAE	MID-EAST & ASIA
Kaohsiung	10,256,829	Taiwan	FAR EAST & ASIA
Hamburg	9,900,000	Germany	EUROPE
Qingdao	9,462,000	China	FAR EAST & ASIA
Ningbo	9,360,000	China	FAR EAST & ASIA
Guangzhou	9,200,000	China	FAR EAST & ASIA
Los Angeles	8,355,039	USA	NORTH AMERICA
Antwerp	8,176,614	Belgium	EUROPE
Long Beach	7,312,465	USA	NORTH AMERICA
Port Klang	7,120,000	China	FAR EAST & ASIA
Tianjin	7,103,000	China	FAR EAST & ASIA
Tanjung Pelepas	5,500,000	Malaysia	FAR EAST & ASIA
New York/New Jersey	5,400,000	USA	NORTH AMERICA
Bremen/Bremerhaven	4,892,239	Germany	EUROPE
Laem Chabang	4,641,914	Thailand	FAR EAST & ASIA
Xiamen	4,627,000	China	FAR EAST & ASIA
Dalian	4,574,200	China	FAR EAST & ASIA
Jawaharlal Nehru	4,060,000	India	FAR EAST & ASIA
Tanjung Priok	3,900,000	Indonesia	FAR EAST & ASIA
Tokyo	3,818,000	Japan	FAR EAST & ASIA
Gioia Tauro	3,445,337	Italy	EUROPE
Algeciras	3,414,345	Spain	EUROPE
Yokohama	3,400,000	Japan	FAR EAST & ASIA
Colombo	3,380,000	Sri Lanka	FAR EAST & ASIA
Felixstowe	3,300,000	UK	EUROPE
Ho Chi Minh	3,200,000	Vietnam	FAR EAST & ASIA
Jeddah	3,067,563	Saudi Arabia	MID-EAST & ASIA
Valencia	3,042,665	Spain	EUROPE
Nagoya	2,896,221	Japan	FAR EAST & ASIA
Port Said	2,820,271	Egypt	AFRICA
Manila	2,800,000	Philippines	FAR EAST & ASIA
Salalah	2,639,000	Oman	MID-EAST & ASIA
Le Havre	2,638,000	France	EUROPE
Barcelona	2,610,099	Spain	EUROPE
Savannah	2,604,310	USA	NORTH AMERICA
Santos	2,532,900	Brazil	SOUTH AMERICA
Kobe	2,472,808	Japan	FAR EAST & ASIA
Oakland	2,387,911	USA	NORTH AMERICA
Durban	2,338,914	South Africa	AFRICA

항 만	총처리물동량(TEU)	국 가	지 역
Osaka	2,309,820	Japan	FAR EAST & ASIA
Vancouver	2,307,748	Canada	NORTH AMERICA
Keelung	2,215,482	Taiwan	FAR EAST & ASIA
Melbourne	2,188,610	Australia	AUSTRALASIA
Virginia	2,128,388	USA	NORTH AMERICA
Tanjung Perak	2,109,677	Indonesia	FAR EAST & ASIA
Zeebrugge	2,020,723	Belgium	EUROPE
Kingston	2,016,792	Jamaica	CARIBBEAN
Lianyungang	2,003,000	China	FAR EAST & ASIA
Seattle	1,973,504	USA	NORTH AMERICA
Tacoma	1,924,929	USA	NORTH AMERICA
Marsaxlokk	1,901,180	Malta	EUROPE
Southampton	1,900,000	UK	EUROPE
Genoa	1,855,026	Italy	EUROPE
Houston	1,768,627	USA	NORTH AMERICA
Charleston	1,754,376	USA	NORTH AMERICA
Gwangyang	1,723,000	Korea	FAR EAST & ASIA
Shahid Rajaei	1,723,000	Iran	MID-EAST & ASIA
Buenos Aires	1,713,800	Argentina	SOUTH AMERICA
St Petersburg	1,697,720	Russia	EUROPE
Sydney	1,696,282	Australia	AUSTRALASIA
San Juan	1,695,134	Puerto Rico	CARIBBEAN
Incheon	1,663,800	Korea	FAR EAST & ASIA
Freeport	1,636,000	Bahamas	CARIBBEAN
Bangkok	1,558,511	Thailand	FAR EAST & ASIA
Las Palmas	1,453,286	Canary Is	EUROPE
Manzanillo	1,411,146	Mexico	CENTRAL AMERICA
Piraeus	1,373,138	Greece	EUROPE
Montreal	1,363,021	Canada	NORTH AMERICA
Yantai	1,250,000	China	FAR EAST & ASIA
Taichung	1,247,750	Taiwan	FAR EAST & ASIA
Fuzhou	1,202,000	China	FAR EAST & ASIA
La Spezia	1,187,040	Italy	EUROPE
Haifa	1,148,628	Israel	MID-EAST & ASIA
Karachi	1,137,360	Pakistan	FAR EAST & ASIA
Dammam	1,087,395	Saudi Arabia	MID-EAST & ASIA
Marseilles	1,002,200	France	EUROPE
Pasir Gudang	1,000,000	Malaysia	FAR EAST & ASIA
Damietta	978,374	Egypt	AFRICA
Port Everglades	948,680	USA	NORTH AMERICA
Penang	927,288	Malaysia	FAR EAST & ASIA
Miami	908,000	USA	NORTH AMERICA
Göteborg	841,000	Sweden	EUROPE
Veracruz	792,717	Mexico	CENTRAL AMERICA
Taranto	755,934	Italy	EUROPE

자료 : CI-Online, Cargo Systems

2007년 처리물동량 기준 15위 내에 있는 항만의 2003년부터 2007년까지 투입·산출 자료와 분석에 사용된 90개 항만의 기초통계는 다음의 <표 4-3>~<표 4-12>에 제시하였다.

<표 4-3> 2003년 투입·산출 자료

PORT	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Singapore	5,265	13.43	3,390,000	131	18,100,000	7.74
Shanghai	2,281	10.8	824,926	20	11,280,000	31.01
Hong Kong	7,259	14.28	2,494,500	89	20,449,000	6.82
Shenzhen	4,270	14.46	1,823,000	31	10,614,900	39.42
Busan	5,973	13.73	2,922,839	52	10,407,809	10.10
Rotterdam	9,670	13.55	4,542,000	74	7,106,779	9.23
Dubai	3,786	12.63	1,898,860	30	5,151,958	22.83
Kaohsiung	5,122	12.89	1,421,374	25	8,840,000	4.09
Hamburg	8,223	13.91	4,067,000	64	6,138,000	14.22
Qingdao	3,367	13.49	1,136,000	22	4,239,000	24.31
Ningbo	2,138	13.88	757,000	16	2,772,000	49.03
Guangzhou	1,299	12.00	225,000	13	2,761,700	26.68
Los Angeles	7,388	13.96	3,263,800	54	7,178,940	17.57
Antwerp	10,014	14.26	4,938,070	86	5,445,436	13.99
Long Beach	7,606	14.08	3,961,580	56	4,658,124	2.91

<표 4-4> 2003년 항만 자료 기초통계

	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Max	10,014	20.3	5,230,100	131	20,449,000	200
Min	486	7.6	37,000	1	152,934	-38.3
Average	3,226.8	12.8	1,362,244	23.7	2,725,318	16.2
SD	2,256.9	1.7	1,191,476	20.5	3,347,629	23.7

<표 4-5> 2004년 투입·산출 자료

PORT	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Singapore	5,265	13.43	3,390,000	131	21,329,100	17.84
Shanghai	5,282	11.8	4,009,926	51	14,557,200	29.05
Hong Kong	7,259	14.28	2,503,100	89	21,984,000	7.51
Shenzhen	4,270	14.46	1,823,000	31	13,655,500	28.64
Busan	5,973	13.91	2,923,069	52	11,491,968	10.42
Rotterdam	9,670	13.55	4,542,000	66	8,280,786	16.52
Dubai	1,350	13.25	1,898,860	30	6,428,883	24.79
Kaohsiung	6,711	13.42	1,421,374	21	9,714,115	9.89
Hamburg	9,163	13.79	5,055,000	66	7,003,479	14.10
Qingdao	5,100	15.23	1,136,000	43	5,139,700	21.25
Ningbo	2,138	13.88	757,000	16	4,005,500	44.50
Guangzhou	1,299	12.00	225,000	13	3,304,000	19.64
Los Angeles	9,002	13.84	6,161,200	60	7,321,440	1.98
Antwerp	12,120	15.62	5,068,070	104	6,050,442	11.11
Long Beach	6,736	14.24	4,835,780	46	5,779,852	24.08

<표 4-6> 2004년 항만 자료 기초통계

	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Max	12,120	20.3	6,161,200	131	21,984,000	92.7
Min	510	7.6	144,560	1	290,000	-21.4
Average	3,531.1	12.8	1,569,427	26.1	3,112,578	15.2
SD	2,467.2	1.8	1,331,914	21.7	3,858,325	16.3

<표 4-7> 2005년 투입·산출 자료

PORT	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Singapore	5,265	13.43	3,390,000	131	23,192,200	8.74
Shanghai	5,892	12.4	4,342,858	63	18,084,000	24.23
Hong Kong	7,999	14.39	2,788,500	97	22,427,000	2.02
Shenzhen	4,270	14.46	1,823,000	31	16,197,173	18.61
Busan	7,023	14.18	3,733,069	61	11,843,151	3.06
Rotterdam	9,670	13.66	4,552,000	68	9,300,000	12.31
Dubai	1,350	13.25	1,621,050	51	7,619,222	18.52
Kaohsiung	6,711	13.42	1,421,374	21	9,471,056	-2.50
Hamburg	9,248	13.98	5,414,000	73	8,087,545	15.48
Qingdao	5,100	15.23	1,136,000	43	6,307,000	22.71
Ningbo	2,138	13.88	757,000	16	5,208,000	30.02
Guangzhou	3,319	12.63	226,080	32	4,685,000	41.80
Los Angeles	7,490	13.91	5,331,700	52	7,484,624	2.23
Antwerp	13,289	13.35	6,330,875	107	6,482,061	7.13
Long Beach	6,736	14.09	4,835,780	46	6,709,818	16.09

<표 4-8> 2005년 항만 자료 기초통계

	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Max	13,289	19.5	6,330,875	131	23,192,200	100.5
Min	510	7.6	144,560	1	551,000	-13.5
Average	3,732.7	12.9	1,661,290	27.7	3,442,503	13.0
SD	2,504.6	1.7	1,411,814	22.5	4,222,490	20.3

<표 4-9> 2006년 투입·산출 자료

PORT	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Singapore	5,265	13.43	3,390,000	131	24,792,400	6.90
Shanghai	7,542	12.2	6,205,837	79	21,710,000	20.05
Hong Kong	10,999	14.60	3,438,820	131	23,538,580	4.96
Shenzhen	4,270	14.46	1,823,000	31	18,468,900	14.03
Busan	7,473	14.63	3,708,220	66	12,030,000	1.58
Rotterdam	9,670	13.66	4,552,000	68	9,654,508	3.81
Dubai	1,350	13.25	1,621,050	51	8,923,465	17.12
Kaohsiung	6,714	13.61	1,421,374	21	9,774,670	3.21
Hamburg	9,248	13.98	5,414,000	73	8,861,545	9.57
Qingdao	5,100	15.23	1,136,000	45	7,702,000	22.12
Ningbo	2,138	13.88	757,000	16	7,068,000	35.71
Guangzhou	5,219	13.00	4,650,000	35	6,600,000	40.88
Los Angeles	9,278	11.79	6,477,336	67	8,469,853	13.16
Antwerp	14,355	14.48	7,222,875	101	7,018,899	8.28
Long Beach	7,498	14.52	4,889,227	56	7,290,365	8.65

<표 4-10> 2006년 항만 자료 기초통계

	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Max	14,355	21.2	7,222,875	131	24,792,400	90.5
Min	510	7.6	162,000	1	820,000	-24.7
Average	3,853.2	12.9	1,773,093	29.0	3,839,610	13.0
SD	2,650.2	1.8	1,558,274	24.2	4,641,442	15.7

<표 4-11> 2007년 투입·산출 자료

PORT	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Singapore	6,565	15.03	4,360,000	159	27,932,000	12.66
Shanghai	9,142	12.3	8,605,837	113	26,150,000	20.45
Hong Kong	10,999	14.60	3,438,820	133	23,881,000	1.45
Shenzhen	4,270	14.46	1,823,000	31	21,099,000	14.24
Busan	7,473	14.78	4,198,254	76	13,270,000	10.31
Rotterdam	9,740	12.79	5,120,000	85	10,790,604	11.77
Dubai	1,350	13.25	1,621,050	51	10,653,026	19.38
Kaohsiung	6,714	13.61	1,421,374	21	10,256,829	4.93
Hamburg	9,248	13.98	5,384,000	81	9,900,000	11.72
Qingdao	5,100	15.23	1,136,000	45	9,462,000	22.85
Ningbo	2,138	13.88	757,000	16	9,360,000	32.43
Guangzhou	5,219	13.00	4,650,000	37	9,200,000	39.39
Los Angeles	9,278	11.79	6,477,336	67	8,355,039	-1.36
Antwerp	11,950	14.73	6,695,401	81	8,176,614	16.49
Long Beach	7,902	14.62	4,889,227	60	7,312,465	0.30

<표 4-12> 2007년 항만 자료 기초통계

	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Max	11,950	19.9	8,605,837	159	27,932,000	54.0
Min	510	7.5	162,000	6	755,934	-15.2
Average	4,015.9	12.9	1,902,567	31.9	4,288,060	10.3
SD	2,594.6	1.8	1,659,245	26.8	5,226,579	10.9

제2절 DEA 모형을 이용한 항만 효율성 분석

본 논문에서는 항만의 효율성 분석을 위해 'DEA-SOLVER Professional Version'을 이용하였다. DEA 모형은 투입지향형과 산출지향형으로 나누어 볼 수 있는데 본 연구에서는 현재의 투입량을 유지하면서 산출요소 수준을 극대화하는 것에 초점을 둔 산출지향형으로 DEA-CCR 모형과 DEA-BCC 모형을 살펴보고자 한다.

1. DEA-CCR 모형에 의한 항만 효율성 분석

앞에서 선정된 각 투입·산출변수에 대한 항만별 자료를 이용하여 DEA-CCR 모형에 의한 효율성 평가를 실시하였다. DEA-CCR 모형을 이용한 항만 효율성 분석 결과는 <표 4-13>과 같다.

분석결과, 2003년 효율적으로 측정된 항만은 Singapore항과 Shanghai항을 비롯한 7개 항만이며, 2004년은 11개 항만, 2005년 9개 항만, 2006년 9개 항만, 2007년 7개 항만인 것으로 나타났다. 각 년도의 효율성 지수 평균은 2003년 0.3216, 2004년 0.4354, 2005년 0.3905, 2006년 0.4296, 2007년 0.3652로 나타났다. 5년 동안 효율성 지수 1을 유지하고 있는 항만은 Singapore항, Shanghai항, Lianyungang항 3개 항만인 것으로 분석되었다.

Busan항의 효율성 지수는 2003년 0.6230, 2004년 0.7023, 2005년 0.6135, 2006년 0.5462, 2007년 0.5481로 5년 연속 비효율적인 항만으로 나타났다. 부산항의 참조집합으로는 2003년 Shanghai항과 Hong Kong항, 2004년 Hong Kong항과 Shenzhen항, 2005년 Shanghai항과 Hong Kong항, Shenzhen항, 2006년 Singapore항과 Shanghai항, Shenzhen항, 2007년 Singapore항, Shanghai항, Shenzhen항이 선정되었다.

<표 4-13> DEA-CCR 모형을 이용한 항만 효율성 분석 결과

PORT	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
Singapore	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Shanghai	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Hong Kong	1.0000	1.0000	1.0000	0.9107	0.9477
Shenzhen	0.7274	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Busan	0.6230	0.7023	0.6135	0.5462	0.5481
Rotterdam	0.3991	0.4894	0.4724	0.4466	0.5051
Dubai	0.4147	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Kaohsiung	0.6503	1.0000	0.8421	0.7653	0.7176
Hamburg	0.3672	0.4082	0.4261	0.4018	0.4389
Qingdao	0.3542	0.5073	0.5549	0.6960	0.6983
Ningbo	0.3637	0.7591	0.7647	1.0000	1.0000
Guangzhou	0.8411	1.0000	1.0000	0.6969	0.8186
Los Angeles	0.4438	0.4188	0.4123	0.4700	0.3947
Antwerp	0.3127	0.2938	0.3161	0.2899	0.3966
Long Beach	0.2681	0.4481	0.4183	0.3582	0.3040
Port Klang	0.3045	0.3999	0.3966	0.4132	0.4090
Tianjin	0.3683	0.6309	0.6429	0.8212	0.4649
Tanjung Pelepas	0.3504	0.5597	0.4574	0.4917	0.4713
New York/New Jersey	0.2696	0.2744	0.2529	0.2492	0.2544
Bremen/Bremerhaven	0.2187	0.2788	0.2615	0.3942	0.3083
Laem Chabang	0.3396	0.2230	0.1982	0.2326	0.2618
Xiamen	0.4827	0.8184	1.0000	1.0000	1.0000
Dalian	0.4176	0.4067	0.3769	0.3693	0.6472
Jawaharlal Nehru	0.3798	0.4360	0.4370	0.5965	0.4970
Tanjung Priok	0.2136	0.3561	0.2897	0.3129	0.3025
Tokyo	0.3480	0.4210	0.3803	0.3978	0.1976
Gioia Tauro	0.2632	0.3488	0.2856	0.2301	0.3718
Algeciras	0.3509	0.6830	0.5881	0.5312	0.3545
Yokohama	0.1721	0.2215	0.1930	0.2644	0.2121
Colombo	0.3308	0.4550	0.4158	0.7334	0.5788
Felixstowe	0.2004	0.3112	0.2418	0.2876	0.2662
Ho Chi Minh	1.0000	0.2465	0.3056	0.5096	0.4938
Jeddah	0.1881	0.4358	0.2766	0.2326	0.2088
Valencia	0.1741	0.2205	0.2534	0.2466	0.3565
Nagoya	0.1753	0.2153	0.2643	0.2565	0.1958
Port Said	0.1060	0.4031	0.5433	0.7653	0.2069
Manila	0.2693	0.3041	0.2598	0.2339	0.3015
Salalah	0.4432	0.5637	0.5336	0.4375	0.3566
Le Havre	0.1801	0.1909	0.1408	0.1254	0.3871
Barcelona	0.1873	0.2904	0.2179	0.2789	0.3059
Savannah	0.1912	0.2641	0.3002	0.2938	0.3803
Santos	0.3131	0.4510	0.4151	0.3585	0.2983
Kobe	0.1308	0.1684	0.1520	0.1882	0.1388
Oakland	0.1601	0.1628	0.1886	0.1626	0.1195
Durban	0.2365	0.3441	0.3077	0.3522	0.2384

PORT	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
Osaka	0.2162	0.2303	0.1759	0.1941	0.1528
Vancouver	0.1660	0.2292	0.1852	0.3233	0.1782
Keelung	0.4072	0.4900	0.4321	0.6204	0.5286
Melbourne	0.1776	0.2900	0.2206	0.1932	0.2425
Virginia	0.1843	0.2574	0.2361	0.2039	0.1927
Tanjung Perak	0.2907	0.3825	0.1825	0.2409	0.3155
Zeebrugge	0.0968	0.2315	0.2207	0.2506	0.3337
Kingston	0.1164	0.2983	0.2697	0.3356	0.1609
Lianyungang	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Seattle	0.1050	0.2552	0.2179	0.1352	0.1164
Tacoma	0.1865	0.2529	0.1999	0.1555	0.1266
Marsaxlokk	0.1915	0.3019	0.2396	0.2810	0.3969
Southampton	0.2224	0.3318	0.2598	0.2949	0.4238
Genoa	0.1249	0.2197	0.1490	0.1680	0.1535
Houston	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.2191
Charleston	0.1296	0.2082	0.1679	0.1409	0.1078
Shahid Rajae	0.2744	0.5449	0.1571	0.1649	0.3586
Gwangyang	0.4592	0.2185	0.1898	0.2914	0.1582
Buenos Aires	0.1835	1.0000	0.1218	0.8383	0.1820
St Petersburg	0.1558	0.3246	0.4607	0.5196	0.3302
Sydney	0.1314	0.2238	0.1687	0.1910	0.2087
San Juan	0.4968	0.7009	0.6399	0.5870	0.4714
Incheon	0.1939	0.2960	0.3033	0.3972	0.3621
Freeport	1.0000	0.4205	0.2693	0.6019	0.3057
Bangkok	0.1380	0.2759	0.1619	0.2250	0.2287
Las Palmas	0.2340	0.1833	0.7529	0.3471	0.1847
Manzanillo	0.1826	0.3969	0.2918	0.7932	0.3589
Piraeus	0.1979	0.2246	0.1730	0.1539	0.1302
Montreal	0.1406	0.2357	0.1771	0.1664	0.1611
Yantai	0.2411	1.0000	0.6710	1.0000	0.2716
Taichung	0.1634	0.2172	0.1807	0.1546	0.1556
Fuzhou	0.2083	0.3736	0.2793	0.5427	0.3567
La Spezia	0.1869	0.2800	0.2592	0.3173	0.2222
Haifa	0.1380	0.2003	0.2129	0.2112	0.1898
Karachi	0.1995	0.8342	0.6001	0.3303	0.2493
Dammam	0.1596	0.2679	0.2170	0.1968	0.2493
Marseilles	0.0890	0.1801	0.1327	0.1419	0.1292
Pasir Gudang	0.3477	0.5755	0.5538	0.3931	0.3236
Damietta	0.2275	0.5216	0.2581	0.1664	0.1589
Port Everglades	0.1478	0.3312	0.3263	0.2867	0.3208
Penang	0.1690	0.2860	0.1945	0.2313	0.1854
Miami	0.1434	0.1872	0.1678	0.1298	0.1053
Gothenburg	0.1390	0.2429	0.2018	0.1864	0.1689
Veracruz	0.2394	0.3263	0.3487	0.8711	0.2417
Taranto	0.2168	0.2341	0.1255	0.3502	0.1016

DEA 모형은 비효율적으로 분석된 항만의 비효율성 원인이 어느 변수에 의한 것인지 정보를 제공하고, 효율성을 높이기 위해서 개선해야 하는 값을 제시하는 장점이 있다. <표 4-14>는 2007년 처리물동량 기준 15위 내에 있는 항만과 Gwangyang항, Incheon항의 효율성 개선을 위한 2007년 DEA-CCR 모형에 의한 분석결과이다. Busan항의 경우 효율성 개선을 위해 투입요소인 선석길이를 1,332m 줄이고 산출요소인 처리물동량을 10,940,227TEU, 성장률을 8.5% 개선시켜야 효율적인 항만이 될 수 있는 것으로 나타났다.

<표 4-14> 2007년 DEA-CCR 모형의 효율성 개선을 위한 투사

PORT	Input/Output	Data	Projection	Difference	%
1 Singapore	Length	6,565.0	6,565.0	0.0	0.00%
	Depth	15.0	15.0	0.0	0.00%
	Total Area	4,360,000.0	4,360,000.0	0.0	0.00%
	C/C	159.0	159.0	0.0	0.00%
	Total TEU	27,932,000.0	27,932,000.0	0.0	0.00%
	variation	12.7	12.7	0.0	0.00%
2 Shanghai	Length	9,142.0	9,142.0	0.0	0.00%
	Depth	12.3	12.3	0.0	0.00%
	Total Area	8,605,837.0	8,605,837.0	0.0	0.00%
	C/C	113.0	113.0	0.0	0.00%
	Total TEU	26,150,000.0	26,150,000.0	0.0	0.00%
	variation	20.5	20.5	0.0	0.00%
3 Hong Kong	Length	10,999.0	5,690.9	-5,308.1	-48.26%
	Depth	14.6	14.6	0.0	0.00%
	Total Area	3,438,820.0	3,438,820.0	0.0	0.00%
	C/C	133.0	113.5	-19.5	-14.68%
	Total TEU	23,881,000.0	25,198,769.0	1,317,769.0	5.52%
	variation	1.5	13.0	11.5	793.42%
4 Shenzhen	Length	4,270.0	4,270.0	0.0	0.00%
	Depth	14.5	14.5	0.0	0.00%
	Total Area	1,823,000.0	1,823,000.0	0.0	0.00%
	C/C	31.0	31.0	0.0	0.00%
	Total TEU	21,099,000.0	21,099,000.0	0.0	0.00%
	variation	14.2	14.2	0.0	0.00%

PORT	Input/Output	Data	Projection	Difference	%
5 Busan	Length	7,473.0	6,140.8	-1,332.2	-17.83%
	Depth	14.8	14.8	0.0	0.00%
	Total Area	4,198,254.0	4,198,254.0	0.0	0.00%
	C/C	76.0	76.0	0.0	0.00%
	Total TEU	13,270,000.0	24,210,227.7	10,940,227.7	82.44%
	variation	10.3	18.8	8.5	82.44%
6 Rotterdam	Length	9,740.0	6,291.4	-3,448.6	-35.41%
	Depth	12.8	12.8	0.0	0.00%
	Total Area	5,120,000.0	5,120,000.0	0.0	0.00%
	C/C	85.0	85.0	0.0	0.00%
	Total TEU	10,790,604.0	21,365,220.0	10,574,616.0	98.00%
	variation	11.8	23.3	11.5	98.00%
7 Dubai	Length	1,350.0	1,350.0	0.0	0.00%
	Depth	13.3	13.3	0.0	0.00%
	Total Area	1,621,050.0	1,621,050.0	0.0	0.00%
	C/C	51.0	51.0	0.0	0.00%
	Total TEU	10,653,026.0	10,653,026.0	0.0	0.00%
	variation	19.4	19.4	0.0	0.00%
8 Kaohsiung	Length	6,714.0	2,892.6	-3,821.4	-56.92%
	Depth	13.6	9.8	-3.8	-28.05%
	Total Area	1,421,374.0	1,234,935.5	-186,438.5	-13.12%
	C/C	21.0	21.0	0.0	0.00%
	Total TEU	10,256,829.0	14,292,871.0	4,036,042.0	39.35%
	variation	4.9	9.6	4.7	95.57%
9 Hamburg	Length	9,248.0	6,657.2	-2,590.8	-28.01%
	Depth	14.0	14.0	0.0	0.00%
	Total Area	5,384,000.0	5,384,000.0	0.0	0.00%
	C/C	81.0	81.0	0.0	0.00%
	Total TEU	9,900,000.0	22,555,366.0	12,655,366.0	127.83%
	variation	11.7	26.7	15.0	127.83%
10 Qingdao	Length	5,100.0	2,917.1	-2,182.9	-42.80%
	Depth	15.2	15.2	0.0	0.00%
	Total Area	1,136,000.0	1,136,000.0	0.0	0.00%
	C/C	45.0	21.8	-23.2	-51.66%
	Total TEU	9,462,000.0	13,550,947.3	4,088,947.3	43.21%
	variation	22.9	32.7	9.9	43.21%

PORT	Input/Output	Data	Projection	Difference	%
11 Ningbo	Length	2,138.0	2,138.0	0.0	0.00%
	Depth	13.9	13.9	0.0	0.00%
	Total Area	757,000.0	757,000.0	0.0	0.00%
	C/C	16.0	16.0	0.0	0.00%
	Total TEU	9,360,000.0	9,360,000.0	0.0	0.00%
	variation	32.4	32.4	0.0	0.00%
12 Guangzhou	Length	5,219.0	3,314.5	-1,904.5	-36.49%
	Depth	13.0	13.0	0.0	0.00%
	Total Area	4,650,000.0	2,509,448.4	-2,140,551.6	-46.03%
	C/C	37.0	37.0	0.0	0.00%
	Total TEU	9,200,000.0	11,238,747.5	2,038,747.5	22.16%
	variation	39.4	48.1	8.7	22.16%
13 Los Angeles	Length	9,278.0	6,137.0	-3,141.0	-33.85%
	Depth	11.8	11.8	0.0	0.00%
	Total Area	6,477,336.0	4,883,851.6	-1,593,484.4	-24.60%
	C/C	67.0	67.0	0.0	0.00%
	Total TEU	8,355,039.0	21,167,252.0	12,812,213.0	153.35%
	variation	-1.4	15.6	17.0	999.90%
14 Antwerp	Length	11,950.0	6,778.6	-5,171.4	-43.28%
	Depth	14.7	14.7	0.0	0.00%
	Total Area	6,695,401.0	5,963,653.4	-731,747.6	-10.93%
	C/C	81.0	81.0	0.0	0.00%
	Total TEU	8,176,614.0	20,616,262.3	12,439,648.3	152.14%
	variation	16.5	41.6	25.1	152.14%
15 Long Beach	Length	7,902.0	6,140.9	-1,761.1	-22.29%
	Depth	14.6	14.6	0.0	0.00%
	Total Area	4,889,227.0	4,176,658.2	-712,568.8	-14.57%
	C/C	60.0	60.0	0.0	0.00%
	Total TEU	7,312,465.0	24,054,183.1	16,741,718.1	228.95%
	variation	0.3	17.2	16.9	999.90%
63 Gwangyang	Length	3,700.0	2,203.8	-1,496.1	-40.44%
	Depth	15.8	7.4	-8.3	-52.76%
	Total Area	1,373,000.0	940,903.2	-432,096.7	-31.47%
	C/C	16.0	16.0	0.0	0.00%
	Total TEU	1,723,000.0	10,889,806.5	9,166,806.4	532.03%
	variation	-1.8	7.3	9.1	503.10%
68 Incheon	Length	2,335.0	1,073.7	-1,261.2	-54.02%
	Depth	12.2	12.2	0.0	0.00%
	Total Area	500,000.0	393,641.5	-106,358.4	-21.27%
	C/C	10.0	10.0	0.0	0.00%
	Total TEU	1,663,800.0	4,594,848.0	2,931,048.0	176.17%
	variation	20.8	57.5	36.6	176.17%

2. DEA-BCC 모형에 의한 항만 효율성 분석

DEA-BCC 모형을 이용하여 세계 주요 항만 효율성을 분석한 결과는 다음의 <표 4-15>에 제시하였다. DEA-BCC 모형은 DEA-CCR 모형과 달리 각 DMU의 규모수익에 대한 증가 또는 감소, 불변 등의 정보를 추가적으로 제시해준다.

DEA-BCC 모형에 의한 효율성 분석 결과를 살펴보면, 연도별 효율성 지수 평균은 2003년 0.3551, 2004년 0.4909, 2005년 0.4460, 2006년 0.4857, 2007년 0.4217로 2004년에 가장 높은 효율성 지수 평균을 나타냈다.

효율적 항만의 수는 2003년 9개 항만, 2004년 16개 항만, 2005년 12개 항만, 2006년 13개 항만, 2007년 9개 항만으로 DEA-CCR 모형에서보다 증가했음을 알 수 있다. 이는 DEA-CCR 모형의 효율성 프론티어가 DEA-BCC 효율성 프론티어를 포함하고 있어 DMU에 유리하게 작용하기 때문이다. 그 이유는 규모수익불변(CRS)을 가정하는 DEA-CCR과 비교할 때, 규모수익가변(VRS)을 가정한 DEA-BCC가 규모의 효율로 인한 영향을 효율성에 반영하여 기술 효율성을 구하였기 때문이다. 즉 규모수익가변의 효율성 값은 규모로 인한 영향을 기술 효율성에 포함시켰기 때문에 효율성 값이 규모수익불변의 효율성보다 크다.

분석 결과, 5년 모두 효율적으로 평가된 항만은 Singapore항, Shanghai항, Manila항, Lianyungang항, San Juan항 5개 항만인 것으로 나타났다. Hong Kong항은 2003년부터 2005년까지, 3년 동안 효율적인 항만으로 나타났으며, Shenzhen항, Dubai항은 2003년을 제외한 2004년부터 2007년까지 효율적인 항만으로 나타났다.

Busan항의 효율성 지수는 2003년 0.6701, 2004년 0.7048, 2005년 0.6268, 2006년 0.5795, 2007년 0.5808로 DEA-CCR 모형에서와 마찬가지로 5년 연속 비효율적인 항만으로 나타났다.

<표 4-15> DEA-BCC 모형을 이용한 항만 효율성 분석 결과

PORT	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
Singapore	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Shanghai	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Hong Kong	1.0000	1.0000	1.0000	0.9494	0.9605
Shenzhen	0.8979	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Busan	0.6701	0.7048	0.6268	0.5795	0.5808
Rotterdam	0.3999	0.5251	0.5097	0.4613	0.5065
Dubai	0.4537	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Kaohsiung	0.7401	1.0000	0.8503	0.7735	0.7620
Hamburg	0.3847	0.4452	0.4819	0.4309	0.4739
Qingdao	0.4219	0.5365	0.5898	0.7053	0.7295
Ningbo	0.4361	0.7924	0.7888	1.0000	1.0000
Guangzhou	0.8814	1.0000	1.0000	0.7152	0.9321
Los Angeles	0.4834	0.4204	0.4184	0.4867	0.4451
Antwerp	0.3263	0.3496	0.3266	0.3424	0.4903
Long Beach	0.2900	0.5105	0.4529	0.3824	0.3195
Port Klang	0.3546	0.4033	0.4011	0.4242	0.4513
Tianjin	0.3786	0.6324	0.6474	0.8309	0.4715
Tanjung Pelepas	0.3955	0.5628	0.4606	0.5025	0.4891
New York/New Jersey	0.2792	0.2881	0.2683	0.2566	0.2622
Bremen/Bremerhaven	0.2452	0.2858	0.2682	0.4056	0.3301
Laem Chabang	0.3453	0.2648	0.2275	0.2591	0.3349
Xiamen	0.5106	0.8675	1.0000	1.0000	1.0000
Dalian	0.4604	0.4452	0.3794	0.3785	0.8578
Jawaharlal Nehru	0.3998	0.4990	0.4573	0.6944	0.5239
Tanjung Priok	0.2237	0.3832	0.3372	0.3968	0.3724
Tokyo	0.3562	0.4224	0.3878	0.3981	0.2119
Gioia Tauro	0.2759	0.3601	0.2954	0.2385	0.4342
Algeciras	0.3634	0.6871	0.6270	0.5577	0.3565
Yokohama	0.1855	0.2215	0.1953	0.2717	0.2199
Colombo	0.3341	0.4606	0.4303	0.7345	0.5788
Felixstowe	0.2126	0.3260	0.2534	0.3008	0.2825
Ho Chi Minh	1.0000	0.3045	0.3476	0.6458	0.5111
Jeddah	0.2368	0.4928	0.3036	0.2347	0.2108
Valencia	0.1869	0.2486	0.2848	0.3129	0.3722
Nagoya	0.1851	0.2242	0.2656	0.2831	0.2066
Port Said	0.1120	0.5256	0.8280	0.8669	0.2113
Manila	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Salalah	0.4628	0.6003	0.5628	0.4697	0.3566
Le Havre	0.2035	0.1924	0.1549	0.1396	0.4840
Barcelona	0.1981	0.3792	0.2602	0.3541	0.3152
Savannah	0.1946	0.2740	0.3030	0.3129	0.4397
Santos	0.3187	0.4626	0.4361	0.3605	0.3095
Kobe	0.1318	0.1709	0.1650	0.1998	0.1519
Oakland	0.1740	0.1651	0.2059	0.1703	0.1308
Durban	0.2419	0.3487	0.3101	0.3749	0.2450

PORT	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
Osaka	0.2328	0.2366	0.1923	0.2213	0.1693
Vancouver	0.1699	0.2378	0.1905	0.3564	0.1818
Keelung	0.4210	0.4982	0.4528	0.6802	0.5286
Melbourne	0.1785	0.3228	0.2510	0.2427	0.2496
Virginia	0.1932	0.2772	0.2512	0.2272	0.2062
Tanjung Perak	0.2977	0.5968	0.2749	0.3794	0.3722
Zeebrugge	0.1026	0.2520	0.2370	0.2528	0.4446
Kingston	0.1186	0.3021	0.2727	0.4319	0.2128
Lianyungang	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Seattle	0.1244	0.2921	0.2619	0.1356	0.1195
Tacoma	0.2107	0.2772	0.2384	0.1559	0.1269
Marsaxlokk	0.1930	0.3164	0.2586	0.2863	0.5402
Southampton	0.2248	0.4417	0.3009	0.3078	0.5182
Genoa	0.1418	0.2389	0.1584	0.2444	0.2642
Houston	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.2343
Charleston	0.1460	0.2096	0.1731	0.1519	0.1212
Shahid Rajae	0.2780	0.6599	0.1575	0.1747	0.4326
Gwangyang	0.4619	0.2254	0.1963	0.3092	0.1787
Buenos Aires	0.2317	1.0000	0.2140	1.0000	0.2669
St Petersburg	0.1599	0.3288	0.4734	0.7195	0.3434
Sydney	0.1402	0.2244	0.1807	0.1948	0.2446
San Juan	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Incheon	0.2003	0.3086	0.3082	0.4222	0.4149
Freeport	1.0000	0.5468	0.2929	0.6261	0.3124
Bangkok	0.3350	0.5826	0.4371	0.6776	0.5450
Las Palmas	0.2452	0.2125	0.8795	0.3538	0.1873
Manzanillo	0.1836	0.4356	0.3611	0.8079	0.3997
Piraeus	0.2032	0.2373	0.1861	0.1659	0.1424
Montreal	0.1433	0.3338	0.2647	0.2854	0.1991
Yantai	0.2685	1.0000	0.8947	1.0000	0.3656
Taichung	0.1659	0.2671	0.2046	0.1741	0.1698
Fuzhou	0.2293	0.5224	0.4071	0.8341	0.3602
La Spezia	0.1905	0.3229	0.2944	0.3188	0.2281
Haifa	0.1380	0.2346	0.2505	0.2251	0.1978
Karachi	0.2238	1.0000	0.6970	0.3343	0.2493
Dammam	0.1716	0.2730	0.2341	0.1973	0.2997
Marseilles	0.0891	0.1853	0.1394	0.1425	0.1432
Pasir Gudang	0.3479	1.0000	1.0000	0.9999	0.3614
Damietta	0.2318	0.5328	0.2645	0.1701	0.1640
Port Everglades	0.1500	0.3353	0.3346	0.3135	0.4736
Penang	0.1840	0.3628	0.2811	0.2442	0.1900
Miami	0.1480	0.2226	0.1679	0.1329	0.1071
Gothenburg	0.1401	0.3042	0.2543	0.2606	0.2411
Veracruz	0.3569	1.0000	0.9999	1.0000	0.9998
Taranto	0.2415	0.2407	0.1483	0.3546	0.1298

<표 4-16>은 2007년 처리물동량 기준 15위 내에 있는 항만과 Gwangyang항, Incheon항의 효율성 개선을 위한 2007년 DEA-BCC 모형에 의한 분석결과이다. Busan항의 경우 효율성 개선을 위해 투입요소인 선석길이를 1,538m, 수심을 1.1m 줄이고 산출요소인 처리물동량을 9,576,521TEU, 성장률을 7.4% 개선시켜야 효율적인 항만이 될 수 있는 것으로 나타났다.

<표 4-16> 2007년 DEA-BCC 모형의 효율성 개선을 위한 투자

PORT	Input/Output	Data	Projection	Difference	%
1 Singapore	Length	6,565.0	6,565.0	0.0	0.00%
	Depth	15.0	15.0	0.0	0.00%
	Total Area	4,360,000.0	4,360,000.0	0.0	0.00%
	C/C	159.0	159.0	0.0	0.00%
	Total TEU	27,932,000.0	27,932,000.0	0.0	0.00%
	variation	12.7	12.7	0.0	0.00%
2 Shanghai	Length	9,142.0	9,142.0	0.0	0.00%
	Depth	12.3	12.3	0.0	0.00%
	Total Area	8,605,837.0	8,605,837.0	0.0	0.00%
	C/C	113.0	113.0	0.0	0.00%
	Total TEU	26,150,000.0	26,150,000.0	0.0	0.00%
	variation	20.5	20.5	0.0	0.00%
3 Hong Kong	Length	10,999.0	5,820.3	-5,178.7	-47.08%
	Depth	14.6	14.6	0.0	0.00%
	Total Area	3,438,820.0	3,438,820.0	0.0	0.00%
	C/C	133.0	112.3	-20.7	-15.58%
	Total TEU	23,881,000.0	24,862,746.5	981,746.5	4.11%
	variation	1.5	13.0	11.5	792.61%
4 Shenzhen	Length	4,270.0	4,270.0	0.0	0.00%
	Depth	14.5	14.5	0.0	0.00%
	Total Area	1,823,000.0	1,823,000.0	0.0	0.00%
	C/C	31.0	31.0	0.0	0.00%
	Total TEU	21,099,000.0	21,099,000.0	0.0	0.00%
	variation	14.2	14.2	0.0	0.00%

PORT	Input/Output	Data	Projection	Difference	%
5 Busan	Length	7,473.0	5,934.1	-1,538.9	-20.59%
	Depth	14.8	13.7	-1.1	-7.30%
	Total Area	4,198,254.0	4,198,254.0	0.0	0.00%
	C/C	76.0	76.0	0.0	0.00%
	Total TEU	13,270,000.0	22,846,521.1	9,576,521.1	72.17%
	variation	10.3	17.7	7.4	72.17%
6 Rotterdam	Length	9,740.0	6,325.9	-3,414.1	-35.05%
	Depth	12.8	12.8	0.0	0.00%
	Total Area	5,120,000.0	5,120,000.0	0.0	0.00%
	C/C	85.0	85.0	0.0	0.00%
	Total TEU	10,790,604.0	21,303,651.6	10,513,047.6	97.43%
	variation	11.8	23.2	11.5	97.43%
7 Dubai	Length	1,350.0	1,350.0	0.0	0.00%
	Depth	13.3	13.3	0.0	0.00%
	Total Area	1,621,050.0	1,621,050.0	0.0	0.00%
	C/C	51.0	51.0	0.0	0.00%
	Total TEU	10,653,026.0	10,653,026.0	0.0	0.00%
	variation	19.4	19.4	0.0	0.00%
8 Kaohsiung	Length	6,714.0	2,778.0	-3,936.0	-58.62%
	Depth	13.6	12.8	-0.9	-6.30%
	Total Area	1,421,374.0	1,158,602.4	-262,771.6	-18.49%
	C/C	21.0	21.0	0.0	0.00%
	Total TEU	10,256,829.0	13,460,625.8	3,203,796.8	31.24%
	variation	4.9	30.2	25.2	511.72%
9 Hamburg	Length	9,248.0	6,403.2	-2,844.8	-30.76%
	Depth	14.0	12.6	-1.4	-10.23%
	Total Area	5,384,000.0	5,384,000.0	0.0	0.00%
	C/C	81.0	81.0	0.0	0.00%
	Total TEU	9,900,000.0	20,892,053.2	10,992,053.2	111.03%
	variation	11.7	24.7	13.0	111.03%
10 Qingdao	Length	5,100.0	2,692.3	-2,407.7	-47.21%
	Depth	15.2	12.6	-2.6	-17.03%
	Total Area	1,136,000.0	1,136,000.0	0.0	0.00%
	C/C	45.0	21.6	-23.4	-52.04%
	Total TEU	9,462,000.0	12,971,265.9	3,509,265.9	37.09%
	variation	22.9	31.3	8.5	37.09%

PORT	Input/Output	Data	Projection	Difference	%
11 Ningbo	Length	2,138.0	2,138.0	0.0	0.00%
	Depth	13.9	13.9	0.0	0.00%
	Total Area	757,000.0	757,000.0	0.0	0.00%
	C/C	16.0	16.0	0.0	0.00%
	Total TEU	9,360,000.0	9,360,000.0	0.0	0.00%
	variation	32.4	32.4	0.0	0.00%
12 Guangzhou	Length	5,219.0	3,143.6	-2,075.4	-39.77%
	Depth	13.0	11.0	-2.0	-15.02%
	Total Area	4,650,000.0	2,588,147.8	-2,061,852.2	-44.34%
	C/C	37.0	37.0	0.0	0.00%
	Total TEU	9,200,000.0	9,870,218.5	670,218.5	7.28%
	variation	39.4	42.3	2.9	7.28%
13 Los Angeles	Length	9,278.0	7,132.5	-2,145.5	-23.12%
	Depth	11.8	11.8	0.0	0.00%
	Total Area	6,477,336.0	4,822,903.8	-1,654,432.2	-25.54%
	C/C	67.0	67.0	0.0	0.00%
	Total TEU	8,355,039.0	18,770,392.8	10,415,353.8	124.66%
	variation	-1.4	14.9	16.3	999.90%
14 Antwerp	Length	11,950.0	5,767.5	-6,182.5	-51.74%
	Depth	14.7	11.5	-3.3	-22.17%
	Total Area	6,695,401.0	5,293,401.2	-1,401,999.8	-20.94%
	C/C	81.0	71.0	-10.0	-12.31%
	Total TEU	8,176,614.0	16,677,364.8	8,500,750.8	103.96%
	variation	16.5	33.6	17.1	103.96%
15 Long Beach	Length	7,902.0	5,993.0	-1,909.0	-24.16%
	Depth	14.6	13.7	-0.9	-6.37%
	Total Area	4,889,227.0	4,221,808.2	-667,418.8	-13.65%
	C/C	60.0	60.0	0.0	0.00%
	Total TEU	7,312,465.0	22,885,329.3	15,572,864.3	212.96%
	variation	0.3	16.4	16.1	999.90%
63 Gwangyang	Length	3,700.0	2,032.0	-1,667.9	-45.08%
	Depth	15.8	11.9	-3.8	-24.66%
	Total Area	1,373,000.0	826,402.3	-546,597.6	-39.81%
	C/C	16.0	16.0	0.0	0.00%
	Total TEU	1,723,000.0	9,641,425.8	7,918,425.8	459.57%
	variation	-1.8	38.1	39.9	999.90%
68 Incheon	Length	2,335.0	1,002.8	-1,332.1	-57.05%
	Depth	12.2	10.5	-1.6	-13.57%
	Total Area	500,000.0	452,048.8	-47,951.1	-9.59%
	C/C	10.0	10.0	0.0	0.00%
	Total TEU	1,663,800.0	4,010,493.8	2,346,693.8	141.04%
	variation	20.8	50.1	29.3	141.04%

3. 규모의 효율성 분석

규모의 효율성은 $\frac{CCR \text{ 효율성}}{BCC \text{ 효율성}}$ 을 통하여 측정된다. <표 4-13>과 <표 4-15>로부터 <표 4-17>의 항만별 규모의 효율성을 구할 수 있다.

<표 4-17>을 살펴보면 DEA-CCR, DEA-BCC 모형 모두에서 효율적인 항만으로 나타났던 Singapore항, Shanghai항, Lianyungang항 3개 항만이 2003년부터 2007년까지 규모의 효율성을 갖는 것으로 나타났다. 한편, Manila항과 San Juan항은 DEA-BCC 모형에서는 5년 모두 효율적인 항만으로 나타났음에도 불구하고 규모의 효율성 분석 결과 Manila항은 0.2693, 0.3041, 0.2598, 0.2339, 0.3015, San Juan항은 0.4968, 0.7009, 0.6399, 0.5870, 0.4714로 나타나 규모의 비효율성이 존재하는 것으로 해석된다.

반면, Hamburg항과 Los Angeles항, Antwerp항 등을 비롯한 많은 항만들이 DEA-CCR, DEA-BCC 모형에서 0.5 이하의 낮은 효율성을 보였으나 규모의 효율성에서는 0.9에 가까운 효율성을 보이는 것으로 미루어보아 이들 항만은 비효율적인 운영을 하고 있지만 비교적 최적 규모로 운영되고 있는 것으로 해석할 수 있다.

Busan항 역시 규모의 효율성은 각각 0.9297, 0.9965, 0.9787, 0.9425, 0.9436으로 DEA-BCC 결과인 2003년 0.6701, 2004년 0.7048, 2005년 0.6268, 2006년 0.5795, 2007년 0.5481과 DEA-CCR 결과인 2003년 0.6230, 2004년 0.7023, 2005년 0.6135, 2006년 0.5462, 2007년 0.5808을 비교하였을 때, 순수기술 비효율성이 규모의 비효율성보다 전체적인 항만의 비효율성에 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

<표 4-17> 규모의 효율성

PORT	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
Singapore	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Shanghai	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Hong Kong	1.0000	1.0000	1.0000	0.9592	0.9867
Shenzhen	0.8101	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Busan	0.9297	0.9965	0.9787	0.9425	0.9436
Rotterdam	0.9979	0.9320	0.9268	0.9682	0.9972
Dubai	0.9141	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Kaohsiung	0.8787	1.0000	0.9904	0.9894	0.9417
Hamburg	0.9544	0.9168	0.8842	0.9324	0.9262
Qingdao	0.8395	0.9455	0.9408	0.9868	0.9573
Ningbo	0.8340	0.9579	0.9695	1.0000	1.0000
Guangzhou	0.9543	1.0000	1.0000	0.9745	0.8782
Los Angeles	0.9180	0.9963	0.9855	0.9656	0.8867
Antwerp	0.9583	0.8403	0.9679	0.8466	0.8089
Long Beach	0.9246	0.8778	0.9235	0.9368	0.9514
Port Klang	0.8586	0.9916	0.9887	0.9741	0.9063
Tianjin	0.9727	0.9976	0.9930	0.9884	0.9859
Tanjung Pelepas	0.8860	0.9946	0.9930	0.9785	0.9636
New York/New Jersey	0.9656	0.9525	0.9427	0.9713	0.9701
Bremen/Bremerhaven	0.8918	0.9756	0.9749	0.9719	0.9340
Laem Chabang	0.9835	0.8420	0.8711	0.8978	0.7816
Xiamen	0.9453	0.9434	1.0000	1.0000	1.0000
Dalian	0.9071	0.9134	0.9933	0.9756	0.7545
Jawaharlal Nehru	0.9499	0.8738	0.9555	0.8590	0.9487
Tanjung Priok	0.9549	0.9292	0.8592	0.7886	0.8123
Tokyo	0.9771	0.9966	0.9807	0.9993	0.9324
Gioia Tauro	0.9540	0.9687	0.9669	0.9647	0.8563
Algeciras	0.9655	0.9940	0.9380	0.9525	0.9943
Yokohama	0.9277	1.0000	0.9881	0.9731	0.9644
Colombo	0.9901	0.9878	0.9663	0.9985	1.0000
Felixstowe	0.9424	0.9547	0.9541	0.9560	0.9423
Ho Chi Minh	1.0000	0.8095	0.8792	0.7892	0.9662
Jeddah	0.7942	0.8843	0.9111	0.9911	0.9904
Valencia	0.9316	0.8870	0.8897	0.7881	0.9578
Nagoya	0.9471	0.9603	0.9950	0.9061	0.9476
Port Said	0.9468	0.7669	0.6561	0.8828	0.9794
Manila	0.2693	0.3041	0.2598	0.2339	0.3015
Salalah	0.9577	0.9391	0.9482	0.9314	0.9999
Le Havre	0.8850	0.9920	0.9089	0.8982	0.7998
Barcelona	0.9457	0.7659	0.8375	0.7876	0.9705
Savannah	0.9827	0.9637	0.9909	0.9388	0.8649
Santos	0.9825	0.9749	0.9518	0.9944	0.9638
Kobe	0.9921	0.9853	0.9211	0.9419	0.9140
Oakland	0.9200	0.9859	0.9160	0.9547	0.9135
Durban	0.9778	0.9869	0.9923	0.9394	0.9732

PORT	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
Osaka	0.9287	0.9733	0.9146	0.8772	0.9026
Vancouver	0.9771	0.9640	0.9720	0.9071	0.9804
Keelung	0.9672	0.9836	0.9544	0.9120	1.0001
Melbourne	0.9947	0.8984	0.8789	0.7961	0.9715
Virginia	0.9540	0.9286	0.9398	0.8975	0.9345
Tanjung Perak	0.9765	0.6409	0.6638	0.6350	0.8476
Zeebrugge	0.9433	0.9185	0.9312	0.9913	0.7506
Kingston	0.9813	0.9875	0.9891	0.7770	0.7561
Lianyungang	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Seattle	0.8437	0.8738	0.8321	0.9968	0.9741
Tacoma	0.8850	0.9122	0.8385	0.9977	0.9975
Marsaxlokk	0.9923	0.9542	0.9266	0.9815	0.7347
Southampton	0.9893	0.7511	0.8634	0.9580	0.8178
Genoa	0.8805	0.9197	0.9408	0.6875	0.5810
Houston	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9352
Charleston	0.8875	0.9932	0.9702	0.9276	0.8891
Shahid Rajae	0.9871	0.8257	0.9974	0.9440	0.8290
Gwangyang	0.9941	0.9695	0.9670	0.9424	0.8852
Buenos Aires	0.7919	1.0000	0.5692	0.8383	0.6820
St Petersburg	0.9742	0.9872	0.9732	0.7221	0.9614
Sydney	0.9374	0.9975	0.9337	0.9806	0.8532
San Juan	0.4968	0.7009	0.6399	0.5870	0.4714
Incheon	0.9678	0.9592	0.9840	0.9408	0.8728
Freeport	1.0000	0.7690	0.9193	0.9613	0.9785
Bangkok	0.4119	0.4736	0.3704	0.3321	0.4196
Las Palmas	0.9544	0.8626	0.8560	0.9811	0.9861
Manzanillo	0.9947	0.9111	0.8082	0.9818	0.8980
Piraeus	0.9740	0.9466	0.9298	0.9275	0.9142
Montreal	0.9813	0.7060	0.6690	0.5831	0.8093
Yantai	0.8980	1.0000	0.7500	1.0000	0.7430
Taichung	0.9849	0.8131	0.8830	0.8880	0.9166
Fuzhou	0.9083	0.7151	0.6860	0.6507	0.9903
La Spezia	0.9810	0.8671	0.8804	0.9952	0.9743
Haifa	1.0002	0.8539	0.8498	0.9381	0.9595
Karachi	0.8915	0.8342	0.8610	0.9880	1.0001
Dammam	0.9303	0.9813	0.9270	0.9973	0.8317
Marseilles	0.9992	0.9718	0.9520	0.9960	0.9021
Pasir Gudang	0.9993	0.5755	0.5538	0.3931	0.8954
Damietta	0.9816	0.9789	0.9760	0.9784	0.9688
Port Everglades	0.9851	0.9879	0.9751	0.9146	0.6773
Penang	0.9182	0.7884	0.6920	0.9471	0.9757
Miami	0.9691	0.8411	0.9997	0.9767	0.9828
Gothenburg	0.9921	0.7985	0.7935	0.7153	0.7005
Veracruz	0.6708	0.3263	0.3487	0.8711	0.2418
Taranto	0.8977	0.9726	0.8464	0.9877	0.7825

4. Malmquist 모형에 의한 항만 효율성 변화 분석

본 논문에서는 시간의 흐름에 따른 효율성을 보다 종합적으로 분석, 효율성 변화의 원인을 규명하고자 Malmquist 생산성 지수를 이용하여 효율성 변화를 살펴보았다. Malmquist 생산성 지수는 시간의 흐름에 따른 효율성 변화를 기술효율성 변화와 기술진보 변화로 나누어 살펴볼 수 있다. 본 논문에서는 2003년부터 2007년까지의 효율성 분석 결과를 토대로 2003/2004, 2004/2005, 2005/2006, 2006/2007 기간에 대한 총 4기의 효율성 변화를 살펴보았다. 각 기간별 결과 요약은 <표 4-18>과 같다.

각 연도별 효율성 변화를 살펴보면, 2003/2004년, 2004/2005년, 2005/2006년, 2006/2007년 각각의 기간별 효율성 변화 지수의 평균이 1.50, 1.43, 1.29, 3.86으로 시간의 흐름에 따라 효율성이 개선되었음을 나타내고 있다.

2003/2004년의 경우 기술효율성 변화 지수의 평균은 3.05로 2003년에 비해 2004년의 기술효율성이 평균적으로 개선되었음을 살펴볼 수 있고, 기술진보 변화 지수의 평균은 0.57로 평균적으로 기술이 쇠퇴하였음을 알 수 있다. 2004/2005년의 효율성 변화 분석 결과는 기술효율성 변화 지수의 평균이 1.17로 2004년에 비해 개선되었음을 살펴볼 수 있고, 기술진보 변화 지수의 평균은 1.26으로 평균적으로 기술이 개선되었음을 알 수 있다.

2005/2006년의 경우 기술효율성 변화 지수의 평균은 2.42로 2005년에 비해 2006년의 기술효율성이 평균적으로 개선되었음을 살펴볼 수 있고, 기술진보 변화 지수의 평균은 0.83으로 평균적으로 기술이 쇠퇴하였음을 알 수 있다. 2006/2007년의 경우 기술효율성 변화 지수의 평균은 4.43, 기술진보 변화 지수의 평균은 1.04로 평균적으로 효율성이 개선되었음을 알 수 있다. 2007년 90개 항만 중 2006년에 비해 기술효율성 변화 지수가 증가한 항만의 수는 39개, 기술진보가 발생한 항만은 51, 전체적으로 효율성이 개선된 항만은 49개로 나타났다.

<표 4-18> Malmquist 지수를 이용한 항만 효율성 분석 결과

PORT	2003/2004			2004/2005			2005/2006			2006/2007		
	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI
Singapore	1.10	1.56	1.71	1.00	1.02	1.02	1.00	1.13	1.12	0.96	1.02	0.98
Shanghai	0.82	0.96	0.79	1.00	1.04	1.03	1.04	1.02	1.06	1.05	1.01	1.06
Hong Kong	0.99	1.28	1.27	0.93	1.03	0.95	0.58	1.32	0.76	0.26	1.51	0.39
Shenzhen	1.59	0.83	1.33	1.05	1.07	1.12	1.02	1.11	1.13	1.01	1.14	1.15
Busan	1.98	0.57	1.13	0.30	1.11	0.33	0.55	0.98	0.53	7.33	0.79	5.81
Rotterdam	3.11	0.57	1.78	0.78	1.05	0.82	0.37	0.95	0.36	3.74	0.77	2.88
Dubai	4.75	0.67	3.20	0.89	1.13	1.01	1.01	1.14	1.15	1.05	1.20	1.26
Kaohsiung	11.16	0.40	4.47	0.91	1.88	1.70	0.15	0.95	0.14	1.73	0.90	1.55
Hamburg	1.84	0.56	1.04	1.08	1.05	1.14	0.73	0.95	0.69	1.64	0.75	1.23
Qingdao	1.73	0.54	0.93	1.00	1.12	1.11	1.14	0.92	1.05	1.40	0.81	1.14
Ningbo	1.81	0.61	1.10	0.70	1.28	0.90	1.85	0.94	1.74	1.01	1.15	1.16
Guangzhou	2.45	0.67	1.64	1.04	1.05	1.10	0.48	0.94	0.45	1.27	0.89	1.14
Los Angeles	0.24	0.55	0.13	1.06	1.07	1.14	7.02	0.85	5.95	1.50	0.96	1.44
Antwerp	1.53	0.55	0.84	0.65	1.06	0.69	1.26	0.92	1.16	2.28	0.77	1.74
Long Beach	13.44	0.54	7.32	0.71	1.07	0.76	0.64	0.94	0.60	0.06	0.69	0.04
Port Klang	2.39	0.51	1.23	0.66	1.09	0.72	2.50	0.93	2.32	1.30	0.73	0.95
Tianjin	2.01	0.56	1.13	0.94	1.13	1.06	1.34	0.95	1.27	0.65	0.78	0.51
Tanjung Pelepas	1.07	0.55	0.59	0.26	1.13	0.29	3.73	0.91	3.38	1.45	0.78	1.13
New York /New Jersey	1.93	0.53	1.02	0.74	1.07	0.79	1.04	0.87	0.91	1.37	0.70	0.96
Bremen /Bremerhaven	3.26	0.51	1.65	0.83	1.09	0.90	2.38	0.90	2.15	0.86	0.85	0.74
Laem Chabang	1.12	0.51	0.57	0.61	1.07	0.65	1.51	0.92	1.39	1.48	0.82	1.21
Xiamen	2.03	0.43	0.88	2.04	1.34	2.73	0.99	1.17	1.16	0.94	1.17	1.10
Dalian	1.67	0.55	0.92	0.86	1.15	0.99	1.15	0.83	0.96	1.70	0.93	1.58
Jawaharlal Nehru	0.62	0.44	0.27	2.15	1.22	2.63	2.89	0.60	1.73	0.70	1.30	0.92
Tanjung Priok	9.48	0.50	4.75	0.24	1.11	0.27	4.29	0.63	2.71	0.84	1.08	0.91
Tokyo	0.15	0.49	0.07	4.32	1.14	4.91	1.76	0.83	1.47	1.37	0.93	1.28
Gioia Tauro	1.17	0.48	0.56	5.34	1.13	6.06	0.84	1.11	0.93	0.94	1.07	1.01
Algeciras	3.02	0.44	1.32	0.41	1.34	0.54	0.49	0.65	0.32	2.09	0.80	1.67
Yokohama	2.78	0.51	1.42	0.65	1.07	0.70	2.10	0.88	1.86	0.85	0.81	0.68
Colombo	2.81	0.42	1.19	0.63	1.33	0.84	3.23	0.65	2.11	0.48	1.13	0.54
Felixstowe	0.50	0.61	0.31	2.31	1.13	2.60	0.64	0.96	0.62	1.08	0.89	0.97
Ho Chi Minh	0.28	0.80	0.22	1.25	1.10	1.37	1.56	0.77	1.20	0.92	1.16	1.07
Jeddah	1.90	0.75	1.43	0.67	1.14	0.77	0.24	0.93	0.23	1.64	0.64	1.05

PORT	2003/2004			2004/2005			2005/2006			2006/2007		
	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI
Valencia	1.65	0.50	0.82	1.40	1.10	1.55	1.03	0.70	0.72	1.49	1.07	1.59
Nagoya	1.09	0.49	0.53	3.00	1.11	3.35	0.96	0.79	0.76	0.68	0.86	0.59
Port Said	3.75	0.62	2.31	2.12	1.32	2.79	1.47	0.82	1.20	0.26	0.60	0.16
Manila	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Salalah	0.60	0.47	0.28	0.81	1.32	1.07	2.89	0.86	2.49	0.46	0.96	0.44
Le Havre	1.00	0.56	0.56	1.74	1.10	1.92	0.13	0.96	0.13	7.86	0.89	7.02
Barcelona	2.04	0.57	1.16	0.61	1.14	0.69	1.75	0.67	1.17	0.95	1.14	1.08
Savannah	1.34	0.52	0.70	1.27	1.14	1.46	1.26	0.78	0.99	1.21	1.10	1.33
Santos	1.53	0.52	0.80	0.85	1.24	1.05	0.65	0.70	0.45	0.62	0.93	0.57
Kobe	4.72	0.50	2.36	0.59	1.07	0.63	2.02	0.80	1.62	0.56	0.77	0.43
Oakland	1.02	0.55	0.56	1.57	1.08	1.69	0.61	0.91	0.55	1.86	0.92	1.71
Durban	1.61	0.53	0.85	0.73	1.15	0.84	1.91	0.74	1.41	0.53	1.09	0.58
Osaka	0.77	0.58	0.45	0.52	1.09	0.56	1.95	0.78	1.51	0.74	0.81	0.60
Vancouver	3.02	0.48	1.45	0.69	1.12	0.77	2.62	0.96	2.52	0.49	0.83	0.40
Keelung	2.25	0.37	0.83	0.20	1.50	0.31	3.47	0.50	1.73	1.91	1.16	2.22
Melbourne	4.04	0.48	1.95	0.06	1.15	0.07	8.93	0.60	5.40	1.93	1.05	2.03
Virginia	1.43	0.51	0.72	0.87	1.13	0.99	0.56	0.66	0.37	1.36	0.90	1.22
Tanjung Perak	1.47	0.49	0.72	0.03	1.34	0.04	64.89	0.44	28.48	0.92	1.42	1.31
Zeebrugge	3.62	0.62	2.25	1.14	1.15	1.31	0.94	0.94	0.88	0.96	1.13	1.09
Kingston	4.25	0.55	2.35	0.92	1.24	1.14	1.47	0.72	1.06	0.33	1.12	0.37
Lianyungang	0.57	1.33	0.76	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.85	1.00	1.69	1.69
Seattle	7.16	0.60	4.33	0.99	1.11	1.09	0.98	1.09	1.06	0.89	1.12	1.00
Tacoma	0.43	0.53	0.23	3.02	1.11	3.35	0.00	0.96	0.00	281.2	0.84	234.9
Marsaxlokk	5.64	0.45	2.56	1.58	1.11	1.76	0.57	0.95	0.54	1.61	1.08	1.73
Southampton	1.25	0.47	0.59	4.54	1.21	5.51	0.48	0.92	0.44	1.77	1.11	1.97
Genoa	0.64	0.48	0.30	8.46	1.14	9.63	0.68	1.09	0.75	0.92	1.10	1.00
Houston	1.00	1.58	1.58	1.00	0.93	0.93	1.00	0.76	0.76	0.22	1.09	0.24
Charleston	3.17	0.50	1.59	0.60	1.11	0.67	2.18	0.95	2.08	0.82	1.09	0.90
Shahid Rajaei	2.03	0.47	0.95	0.28	1.26	0.36	1.24	0.83	1.03	1.25	1.17	1.47
Gwangyang	1.28	0.30	0.38	0.79	1.13	0.89	1.79	0.97	1.73	1.05	1.00	1.06
Buenos Aires	6.64	0.47	3.14	0.29	1.09	0.32	3.48	0.65	2.26	0.16	1.11	0.18
St Petersburg	2.86	0.50	1.42	1.19	1.26	1.49	1.43	0.50	0.71	0.55	1.35	0.74
Sydney	1.80	0.51	0.92	0.28	1.12	0.32	3.75	0.86	3.23	1.22	1.00	1.22

PORT	2003/2004			2004/2005			2005/2006			2006/2007		
	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI
San Juan	1.00	0.71	0.71	1.00	5.41	5.41	1.00	0.83	0.83	1.00	0.69	0.69
Incheon	4.02	0.45	1.83	1.10	1.33	1.47	1.40	0.73	1.02	0.91	1.21	1.11
Freeport	0.26	0.68	0.17	1.77	1.29	2.29	1.18	0.92	1.09	0.54	1.25	0.67
Bangkok	4.25	0.64	2.72	0.20	1.23	0.25	6.64	0.38	2.54	0.59	1.72	1.01
Las Palmas	1.46	0.59	0.86	1.57	1.44	2.26	0.51	0.55	0.28	0.04	0.93	0.03
Manzanillo	3.44	0.44	1.50	0.26	1.39	0.37	7.90	0.65	5.15	0.42	1.34	0.56
Piraeus	2.71	0.64	1.75	0.82	1.13	0.92	0.05	0.99	0.05	17.30	0.83	14.43
Montreal	3.95	0.55	2.17	0.20	1.21	0.25	3.00	0.39	1.18	1.10	1.38	1.51
Yantai	11.50	0.23	2.62	0.31	3.08	0.95	3.67	0.37	1.37	0.16	1.19	0.19
Taichung	9.38	0.56	5.28	0.81	1.23	0.99	0.87	1.12	0.98	0.41	0.87	0.36
Fuzhou	1.84	0.57	1.04	0.53	1.45	0.77	3.02	0.53	1.61	0.50	1.42	0.70
La Spezia	2.55	0.41	1.04	5.41	1.23	6.64	0.69	0.80	0.55	0.44	1.30	0.57
Haifa	2.78	0.64	1.79	0.39	1.18	0.46	2.46	0.72	1.78	0.48	1.31	0.63
Karachi	2.73	0.39	1.06	0.54	1.30	0.70	0.52	0.54	0.28	0.14	1.10	0.15
Dammam	2.44	0.49	1.18	0.84	1.41	1.18	0.60	0.73	0.44	1.74	1.14	1.99
Marseilles	6.73	0.50	3.34	1.33	1.14	1.52	0.39	0.86	0.34	1.28	1.07	1.36
Pasir Gudang	7.99	0.11	0.85	1.00	0.88	0.88	1.00	0.39	0.39	0.30	1.22	0.37
Damietta	2.38	0.52	1.23	0.82	1.37	1.13	0.69	1.14	0.79	0.51	1.14	0.58
Port Everglades	11.58	0.45	5.17	0.97	1.24	1.21	0.83	0.67	0.56	0.99	1.16	1.15
Penang	2.97	0.45	1.34	0.22	1.37	0.30	4.06	0.47	1.92	0.81	1.42	1.15
Miami	5.85	0.58	3.37	0.23	1.22	0.28	2.77	0.96	2.64	0.82	1.14	0.94
Gothenburg	5.67	0.50	2.83	0.59	1.44	0.85	1.47	0.41	0.61	0.42	1.62	0.68
Veracruz	12.94	0.07	0.87	1.00	2.19	2.19	1.00	1.42	1.42	1.00	0.68	0.68
Taranto	1.01	0.63	0.63	1.13	1.25	1.41	1.15	0.98	1.13	0.77	1.14	0.88
Average	3.05	0.57	1.50	1.17	1.26	1.43	2.42	0.83	1.59	4.43	1.04	3.86
Max	13.44	1.58	7.32	8.46	5.41	9.63	64.89	1.42	28.48	281.2	1.72	234.9
Min	0.15	0.07	0.07	0.03	0.70	0.04	0.00	0.37	0.00	0.04	0.60	0.03
SD	2.95	0.23	1.28	1.27	0.52	1.54	6.86	0.21	3.06	29.58	0.23	24.69

제 V 장 항만 특성에 따른 효율성 분석

본 장에서는 항만별 특성을 토대로 항만들을 그룹화하고 DEA-CCR 모형 효율성 분석 결과와 DEA-BCC 모형 효율성 분석 결과를 비교 검토하였으며, Malmquist 모형을 토대로 확장분석을 실시함으로써 각 그룹별 효율성 변화의 특성을 살펴보고자 한다.

제1절 세계 지역별 항만 효율성 분석

세계 각 지역별로 항만 효율성의 특성을 분석하고자 90개 항만을 분류한 결과는 다음의 <표 5-1>과 같다. 세계 지역별 구분은 동북아시아, 유럽, 북아메리카, 기타(동남아시아, 중앙아시아, 중앙아프리카, 오세아니아, 남아메리카, 아프리카) 4그룹으로 나누었으며, 동북아시아는 Hong Kong항, Shanghai항, Busan항을 포함한 23개 항만으로 구성되었다. 유럽은 Rotterdam항, Hamburg항, Antwerp항을 포함한 21개 항만, 북아메리카는 14개 항만, 기타 32개 항만으로 구성되었다.

앞에서 밝힌 바와 같이 본 연구에서 요구되는 최소한의 평가 대상 수는 $8(\text{투입변수}(4) \times \text{산출변수}(2))=8$ 또는 $18((\text{투입변수}(4) + \text{산출변수}(2)) \times 3=18)$ 이다. 지역별 효율성 분석을 위해 사용된 항만은 각각 동북아시아 23개 항만, 유럽 21개 항만으로 기존 이론에 비추어 분석에 적합한 것으로 판단된다. 한편, 북아메리카 14개 항만은 다른 지역별 항만의 수보다는 적으나 기존 이론에 제시된 최소한의 평가 대상 수 8보다 많으므로 효율성 평가에 있어서 무리가 없는 것으로 판단하고 분석하였다.

<표 5-1> 세계 지역 구분 및 구성 항만

지역별 구분	구성 항만
동북아시아 : 23개 항만	Hong Kong, Shanghai, Shenzhen, Busan, Kaohsiung, Qingdao, Ningbo, Guangzhou, Tianjin, Xiamen, Tokyo, Dalian, Yokohama, Nagoya, Kobe, Osaka, Keelung, Gwangyang, Incheon, Lianyungang, Taichung, Yantai, Fuzhou
유럽 : 21개 항만	Rotterdam, Hamburg, Antwerp, Bremen/Bremerhaven, Algeciras, Felixstowe, Gioia Tauro, Valencia, Barcelona, Le Havre, Genoa, Zeebrugge, Southampto, Marsaxlokk, St Petersburg, Piraeus, La Spezia, Marseilles, Taranto, Gothenburg, Las Palmas de Gran Canaria
북아메리카 : 14개 항만	Los Angeles, Long Beach, New York/New Jersey, Oakland, Vancouver, Savannah, Tacoma, Virginia, Seattle, Charleston, Houston, Montreal, Miami, Port Everglades
기타 : 32개 항만	Singapore, Port Klang, Tanjung Pelepas, Laem Chabang, Tanjung Priok, Jawaharlal Nehru, Colombo, Manila, Karachi, Ho Chi Minh, Bangkok, Tanjung Perak, Dubai, Jeddah, Salalah, Shahid Rajae, Haifa, Dammam, Pasir Gudang, Penang, Port Said, Durban, Damietta, Melbourne, Sydney, Kingston, San Juan, Freeport, Manzanillo, Veracruz, Santos, Buenos Aires

다음에 제시된 <표 5-2>~<표 5-4>는 2007년 기준 지역별 항만 자료에 대한 기초통계 결과이다. 동북아시아, 유럽, 북아메리카 모두 투입요소인 선석길이, 수심, 부두 총면적, C/C장비 수의 평균에서는 큰 차이를 보이고 있지 않으나 산출요소 측면에서는 동북아시아가 비교적 높은 평균을 나타내었다. 특히 성장률 평균은 동북아시아가 약 15.1%로 유럽 11.4%, 북아메리카 2.4%에 비해 높은 성장률을 나타냄을 알 수 있다.

<표 5-2> 2007년 동북아시아 항만 자료 기초통계

	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Max	10,999	15.8	8,605,837	133	26,150,000	54.0
Min	540	10.2	162,000	6	1,202,000	-3.8
Average	4,318.9	13.3	1,888,993	37.6	7,181,953	15.1
SD	2,581.3	1.3	1,814,374	31.4	7,265,160	14.7

<표 5-3> 2007년 유럽 항만 자료 기초통계

	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Max	11,950	19.9	6,695,401	85	10,790,604	28.0
Min	1,500	10.3	432,000	8	755,934	-15.2
Average	4,742.3	13.2	2,106,679	30.7	3,247,483	11.4
SD	3,029.4	1.9	1,772,988	22.6	2,816,089	10.0

<표 5-4> 2007년 북아메리카 항만 자료 기초통계

	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Max	9,278	15.5	6,477,336	67	8,355,039	20.5
Min	1,525	10.5	993,100	6	908,000	-10.9
Average	4,520.3	13.1	3,065,694	29.9	2,938,357	2.4
SD	2,280.3	1.4	1,735,412	19.3	2,256,612	7.8

1. 동북아시아 항만 효율성 분석

<표 5-5>를 살펴보면 Hong Kong항, Shanghai항, Lianyungang항 3개 항만이 DEA-CCR, DEA-BCC 모형 모두에서 효율적인 항만으로 나타났다. 한편, Guangzhou항과 Gwangyang항 Fuzhou항은 2003년 DEA-BCC 모형에서는 효율적인 항만으로 나타났으나 DEA-CCR 모형에서 비효율적인 항만으로 나타나 규모의 비효율성이 존재하는 것으로 분석되었다. 2004년 Xiamen항 역시 DEA-BCC 모형에서 효율적으로 나타났으나 DEA-CCR 모형에서 0.92의 효율성 값을 보여 비효율성의 원인이 규모의 비효율성에 있을 나타내고 있다.

Busan항의 DEA-CCR 효율성은 각각 0.62, 0.70, 0.61, 0.56, 0.59로 DEA-BCC 효율성인 0.67, 0.70, 0.63, 0.59, 0.59와 비교했을 때 전체적으로 항만의 비효율성이 존재한다고 볼 수 있으나 규모의 효율성은 높은 것으로 보여 규모를 적절히 사용하고 있는 것으로 분석된다.

우리나라 항만 중 처리물동량 기준 100위 내의 항만에 속하는 Busan항과 Gwangyang항, Incheon항의 효율성 개선을 위한 DEA-CCR, DEA-BCC 모형의 2007년 분석 결과는 <표 5-6>, <표 5-7>과 같이 나타났다.

<표 5-5> DEA 모형을 이용한 동북아시아 항만 효율성 분석 결과

No.	DMU	2003		2004		2005		2006		2007	
		CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC
1	Shanghai	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	Hong Kong	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	Shenzhen	0.73	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	Busan	0.62	0.67	0.70	0.70	0.61	0.63	0.56	0.59	0.55	0.59
5	Kaohsiung	0.65	0.74	1.00	1.00	0.86	0.94	0.78	0.84	0.72	0.76
6	Qingdao	0.35	0.42	0.51	0.54	0.55	0.59	0.70	0.71	0.70	0.73
7	Ningbo	0.37	0.44	0.76	0.79	0.76	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00
8	Guangzhou	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.72	0.82	0.93
9	Tianjin	0.38	0.39	0.65	0.71	0.67	0.74	0.83	0.88	0.46	0.47
10	Xiamen	0.48	0.60	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
11	Dalian	0.42	0.62	0.41	0.45	0.40	0.41	0.38	0.39	0.65	0.86
12	Yokohama	0.17	0.19	0.22	0.22	0.19	0.20	0.27	0.28	0.21	0.22
13	Tokyo	0.35	0.36	0.42	0.42	0.38	0.39	0.40	0.40	0.20	0.22
14	Nagoya	0.18	0.19	0.22	0.23	0.26	0.27	0.26	0.30	0.20	0.22
15	Kobe	0.13	0.13	0.17	0.17	0.15	0.17	0.19	0.21	0.14	0.16
16	Osaka	0.22	0.23	0.23	0.25	0.18	0.21	0.20	0.23	0.15	0.18
17	Keelung	0.43	0.46	0.49	0.50	0.43	0.47	0.62	0.68	0.53	0.53
18	Lianyungang	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
19	Gwangyang	0.56	1.00	0.23	0.23	0.20	0.22	0.29	0.31	0.16	0.18
20	Incheon	0.22	0.36	0.30	0.33	0.31	0.33	0.40	0.42	0.36	0.41
21	Yantai	0.24	0.27	1.00	1.00	0.67	0.89	1.00	1.00	0.27	0.37
22	Taichung	0.17	0.18	0.22	0.30	0.18	0.23	0.15	0.20	0.16	0.17
23	Fuzhou	0.22	1.00	0.39	0.68	0.29	0.60	0.54	0.87	0.36	0.36

<표 5-6> 2007년 DEA-CCR 모형의 효율성 개선을 위한 투자 (동북아시아)

PORT	Input/Output	Data	Projection	Difference	%
4 Busan	Length	7,473.0	6,144.0	-1,329.0	-17.78%
	Depth	14.8	14.8	0.0	0.00%
	Total Area	4,198,254.0	4,198,254.0	0.0	0.00%
	C/C	76.0	60.3	-15.7	-20.66%
	Total TEU	13,270,000.0	23,960,198.3	10,690,198.3	80.56%
	variation	10.3	18.6	8.3	80.56%
19 Gwangyang	Length	3,700.0	2,203.9	-1,496.1	-40.44%
	Depth	15.8	7.5	-8.3	-52.76%
	Total Area	1,373,000.0	940,903.2	-432,096.8	-31.47%
	C/C	16.0	16.0	0.0	0.00%
	Total TEU	1,723,000.0	10,889,806.5	9,166,806.5	532.03%
	variation	-1.8	7.4	9.2	503.10%
20 Incheon	Length	2,335.0	1,073.7	-1,261.3	-54.02%
	Depth	12.3	12.3	0.0	0.00%
	Total Area	500,000.0	393,641.5	-106,358.5	-21.27%
	C/C	10.0	10.0	0.0	0.00%
	Total TEU	1,663,800.0	4,594,848.1	2,931,048.1	176.17%
	variation	20.8	57.5	36.7	176.17%

<표 5-7> 2007년 DEA-BCC 모형의 효율성 개선을 위한 투자 (동북아시아)

PORT	Input/Output	Data	Projection	Difference	%
4 Busan	Length	7,473.0	5,914.2	-1,558.8	-20.86%
	Depth	14.8	13.6	-1.2	-8.12%
	Total Area	4,198,254.0	4,198,254.0	0.0	0.00%
	C/C	76.0	59.6	-16.4	-21.59%
	Total TEU	13,270,000.0	22,432,182.5	9,162,182.5	69.04%
	variation	10.3	17.4	7.1	69.04%
19 Gwangyang	Length	3,700.0	2,032.0	-1,668.0	-45.08%
	Depth	15.8	11.9	-3.9	-24.66%
	Total Area	1,373,000.0	826,402.4	-546,597.6	-39.81%
	C/C	16.0	16.0	0.0	0.00%
	Total TEU	1,723,000.0	9,641,425.8	7,918,425.8	459.57%
	variation	-1.8	38.1	40.0	999.90%
20 Incheon	Length	2,335.0	1,002.8	-1,332.2	-57.05%
	Depth	12.3	10.6	-1.7	-13.57%
	Total Area	500,000.0	452,048.9	-47,951.1	-9.59%
	C/C	10.0	10.0	0.0	0.00%
	Total TEU	1,663,800.0	4,010,493.9	2,346,693.9	141.04%
	variation	20.8	50.2	29.4	141.04%

각 연도별 효율성 변화를 살펴보면, 2003/2004년, 2004/2005년, 2005/2006년 각각의 기간별 효율성 변화 지수의 평균이 시간의 흐름에 따라 1.34, 1.24, 1.17, 1.23으로 나타났다. 2003/2004년의 경우 기술효율성 변화 지수의 평균은 2.77로 2003년에 비해 2004년의 기술효율성이 평균적으로 개선되었음을 살펴볼 수 있고, 기술진보 변화 지수의 평균은 0.62로 평균적으로 기술이 쇠퇴하였음을 알 수 있다. 2004/2005년의 효율성 변화 분석 결과는 기술효율성 변화 지수의 평균이 1.02로 2004년에 비해 개선되었음을 살펴볼 수 있고, 기술진보 변화 지수의 평균은 1.26으로 평균적으로 기술이 개선되었음을 알 수 있다.

2005/2006년의 경우 기술효율성 변화 지수의 평균은 1.55로 2005년에 비해 2006년의 기술효율성이 평균적으로 개선되었음을 알 수 있고, 기술진보 변화 지수의 평균은 0.86으로 평균적으로 기술이 쇠퇴하였음을 알 수 있다. 2006/2007년의 경우 기술효율성 변화 지수의 평균은 1.26, 기술진보 변화 지수의 평균은 1.04로 2006년에 비해 2007년의 효율성이 평균적으로 개선되었음을 알 수 있다. 23개 항만 중 기술효율성이 개선된 항만의 수는 10개, 기술진보가 발생한 항만은 11개, 전체적으로 효율성이 개선된 항만은 14개로 나타났다.

Busan항은 2003/2004년, 2004/2005년, 2005/2006년, 2006/2007년 각각의 기간별 효율성이 1.12, 0.34, 0.54, 5.81로 나타나 2005년, 2006년은 전년도에 비해 효율성이 감소했음을 알 수 있고 기술효율성 변화 지수가 2004/2005년 0.31, 2005/2006년 0.52로 기술진보 변화 지수인 1.12, 1.03에 비해 낮게 나타나 효율성 감소의 원인이 기술효율성의 감소에 있음을 알 수 있다.

<표 5-8> Malmquist 지수를 이용한 동북아시아 항만 효율성 분석 결과

No.	PORT	2003/2004			2004/2005			2005/2006			2006/2007		
		TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI
1	Shanghai	0.75	0.98	0.73	0.98	1.02	1.00	1.12	1.00	1.11	1.02	1.02	1.04
2	Hong Kong	0.95	0.00	0.00	0.93	1.02	0.95	0.96	1.02	0.98	0.95	1.03	0.98
3	Shenzhen	1.59	0.83	1.33	1.05	1.07	1.12	1.02	1.10	1.13	1.00	1.14	1.15
4	Busan	2.03	0.55	1.12	0.31	1.12	0.34	0.52	1.03	0.54	7.33	0.79	5.81
5	Kaohsiung	11.80	0.38	4.51	0.90	1.88	1.69	0.14	0.95	0.13	1.73	0.90	1.55
6	Qingdao	1.75	0.54	0.94	1.00	1.11	1.11	1.14	0.93	1.06	1.40	0.81	1.14
7	Ningbo	1.81	0.61	1.10	0.70	1.28	0.90	1.85	0.94	1.74	1.01	1.15	1.16
8	Guangzhou	1.12	1.02	1.15	0.99	1.08	1.07	0.48	0.94	0.45	1.27	0.90	1.14
9	Tianjin	2.01	0.56	1.13	0.94	1.13	1.06	1.34	0.95	1.27	0.66	0.79	0.52
10	Xiamen	3.54	0.29	1.04	1.26	1.41	1.77	0.99	1.17	1.16	0.93	1.15	1.07
11	Dalian	1.71	0.39	0.67	0.86	1.16	1.00	1.15	0.82	0.95	1.73	0.95	1.64
12	Yokohama	2.98	0.48	1.42	0.61	1.14	0.70	2.12	0.86	1.83	0.84	0.82	0.69
13	Tokyo	0.15	0.48	0.07	4.29	1.15	4.92	1.87	0.79	1.47	1.33	0.97	1.29
14	Nagoya	1.15	0.45	0.52	2.85	1.15	3.27	1.04	0.74	0.77	0.63	0.94	0.59
15	Kobe	5.08	0.47	2.36	0.55	1.15	0.63	2.13	0.73	1.56	0.53	0.83	0.44
16	Osaka	0.81	0.56	0.46	0.49	1.15	0.56	2.16	0.69	1.49	0.67	0.91	0.61
17	Keelung	2.25	0.37	0.83	0.20	1.49	0.31	3.45	0.50	1.73	1.92	1.16	2.22
18	Lianyungang	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.85	1.00	1.69	1.69
19	Gwangyang	0.20	0.74	0.15	0.79	1.13	0.89	1.79	0.97	1.73	1.05	1.09	1.15
20	Incheon	4.02	0.45	1.83	1.10	1.33	1.47	1.40	0.72	1.02	0.91	1.21	1.11
21	Yantai	6.34	0.29	1.83	0.39	2.44	0.96	3.80	0.37	1.41	0.15	1.23	0.18
22	Taichung	10.20	0.56	5.68	0.83	1.20	0.99	0.87	1.13	0.98	0.37	0.91	0.34
23	Fuzhou	0.42	2.35	0.99	0.53	1.45	0.77	3.27	0.50	1.63	0.47	1.51	0.71
Average		2.77	0.62	1.34	1.02	1.26	1.24	1.55	0.86	1.17	1.26	1.04	1.23
Max		11.80	2.35	5.68	4.29	2.44	4.92	3.80	1.17	1.83	7.33	1.69	5.81
Min		0.15	0.00	0.00	0.20	1.00	0.31	0.14	0.37	0.13	0.15	0.79	0.18
SD		3.03	0.45	1.32	0.87	0.32	1.00	0.95	0.21	0.45	1.40	0.23	1.11

2. 유럽 항만 효율성 분석

<표 5-9>를 살펴보면 Rotterdam항, Algeciras항 2개 항만이 DEA-CCR, DEA-BCC 모형 모두에서 효율적인 항만으로 나타났다. 한편, La Spezia항과 Gothenburg항은 5년 모두 DEA-BCC 모형에서 효율적인 항만으로 나타났음에도 불구하고 DEA-CCR 모형에서 비효율적인 항만으로 나타나 규모의 비효율성이 존재하는 것으로 분석되었다.

<표 5-9> DEA 모형을 이용한 유럽 항만 효율성 분석 결과

No.	PORT	2003		2004		2005		2006		2007	
		CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC
1	Rotterdam	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	Hamburg	1.00	1.00	0.88	0.88	0.91	0.92	1.00	1.00	0.95	0.96
3	Antwerp	0.87	0.92	0.65	0.73	0.71	0.76	0.78	0.81	0.88	1.00
4	Bremen /Bremerhaven	0.82	0.82	0.74	0.75	0.79	0.79	1.00	1.00	0.89	0.89
5	Gioia Tauro	1.00	1.00	0.95	0.97	0.99	0.99	0.89	0.89	1.00	1.00
6	Algeciras	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
7	Felixstowe	0.80	0.81	0.74	0.75	0.66	0.66	0.81	0.82	0.88	0.91
8	Valencia	0.70	0.77	0.59	0.66	0.72	0.87	0.78	0.86	0.81	0.95
9	Le Havre	0.66	0.67	0.49	0.49	0.48	0.48	0.47	0.48	0.93	0.94
10	Barcelona	0.78	1.00	0.86	1.00	0.58	0.90	0.73	0.83	0.85	1.00
11	Zeebrugge	0.38	0.39	0.91	0.99	0.63	0.65	0.69	0.71	0.81	0.84
12	Marsaxlokk	0.58	0.67	0.77	0.82	0.55	0.57	0.65	0.68	1.00	1.00
13	Southampton	0.86	1.00	0.76	1.00	0.83	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00
14	Genoa	0.49	0.52	0.67	0.74	0.58	0.60	0.54	0.66	0.41	0.51
15	St Petersburg	0.63	1.00	1.00	1.00	0.72	1.00	1.00	1.00	0.79	1.00
16	Las Palmas	1.00	1.00	0.41	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.57	0.68
17	Piraeus	0.77	0.78	0.56	0.57	0.58	0.60	0.57	0.58	0.53	0.55
18	La Spezia	0.57	1.00	0.50	1.00	0.48	1.00	0.90	1.00	0.68	1.00
19	Marseilles	0.33	0.35	0.56	0.57	0.30	0.31	0.35	0.35	0.37	0.41
20	Gothenburg	0.56	1.00	0.93	1.00	0.66	1.00	0.69	1.00	0.64	1.00
21	Taranto	1.00	1.00	1.00	1.00	0.43	0.51	1.00	1.00	0.43	1.00

각 연도별 효율성 변화를 살펴보면, 2003/2004년, 2004/2005년, 2005/2006년, 2006/2007년 각각의 기간별 효율성 변화 지수의 평균이 시간의 흐름에 따라 1.16, 1.69, 0.97, 2.12로 나타났다. 2003/2004년의 경우 기술효율성 변화 지수의 평균은 1.26으로 2003년에 비해 2004년의 기술효율성이 평균적으로 개선되었음을 살펴볼 수 있고, 기술진보 변화 지수의 평균 역시 1.02로 평균적으로 기술이 개선되었음을 알 수 있다. 2004/2005년의 효율성 변화 분석 결과는 기술효율성 변화 지수의 평균이 1.15, 기술진보 변화 지수의 평균은 1.52로 2004년에 비해 효율성이 개선되었음을 살펴볼 수 있다.

2005/2006년의 경우 기술효율성 변화 지수의 평균은 1.28로 2005년에 비해 2006년의 기술효율성이 평균적으로 개선되었음을 살펴볼 수 있고, 기술진보 변화 지수의 평균은 0.79로 평균적으로 기술이 쇠퇴하였음을 알 수 있다. 2006/2007년의 효율성 변화 분석 결과, 기술효율성 변화 지수 평균은 2.09, 기술진보 변화 지수 평균은 1.01로 2006년에 비해 효율성이 개선되었음을 알 수 있다. 유럽 21개 항만 중 2007년 기술효율성 변화 지수가 증가한 항만의 수는 10개, 기술진보가 발생한 항만은 14개, 전체적으로 효율성이 증가한 항만은 15개로 나타났다.

<표 5-10> Malmquist 지수를 이용한 유럽 항만 효율성 분석 결과

No.	PORT	2003/2004			2004/2005			2005/2006			2006/2007		
		TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI
1	Rotterdam	1.08	1.28	1.38	0.94	1.14	1.07	0.98	0.98	0.96	1.11	1.02	1.13
2	Hamburg	0.86	1.21	1.04	0.91	1.37	1.25	1.34	0.71	0.95	0.88	1.28	1.12
3	Antwerp	0.79	1.22	0.96	0.45	1.75	0.78	2.33	0.52	1.22	1.37	1.16	1.59
4	Bremen /Bremerhaven	1.66	0.94	1.56	0.37	2.60	0.97	4.77	0.59	2.83	0.59	1.13	0.66
5	Gioia Tauro	0.33	2.35	0.78	2.85	0.58	1.65	0.94	1.01	0.96	1.13	1.06	1.19
6	Algeciras	1.20	1.12	1.35	0.81	1.07	0.87	0.98	0.96	0.94	0.91	1.05	0.95
7	Felixstowe	0.65	1.07	0.70	1.36	1.54	2.10	0.86	0.73	0.63	0.89	1.14	1.01
8	Valencia	1.05	0.84	0.88	0.77	2.43	1.86	1.35	0.60	0.81	1.62	0.92	1.49
9	Le Havre	0.76	0.89	0.67	1.40	1.65	2.30	0.15	0.61	0.09	8.42	1.02	8.63
10	Barcelona	1.00	1.00	1.00	0.35	1.41	0.50	1.71	1.06	1.82	1.84	0.63	1.16
11	Zeebrugge	3.29	0.74	2.42	0.39	2.89	1.13	2.09	0.43	0.91	1.01	1.15	1.15
12	Marsaxlokk	2.48	0.74	1.84	1.08	1.56	1.68	0.83	0.66	0.55	2.49	0.91	2.27
13	Southampton	1.00	0.90	0.90	1.00	0.68	0.68	1.00	1.00	1.00	1.00	1.26	1.26
14	Genoa	0.64	0.65	0.42	4.79	2.08	9.97	0.83	0.74	0.62	0.81	1.11	0.89
15	St Petersburg	1.00	1.17	1.17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02	1.02
16	Las Palmas	1.00	0.59	0.59	1.00	2.31	2.31	1.00	0.76	0.76	0.03	0.87	0.03
17	Piraeus	1.12	0.96	1.08	1.03	0.91	0.94	0.07	0.56	0.04	14.50	1.05	15.26
18	La Spezia	1.00	1.03	1.03	1.00	1.00	1.00	1.00	1.53	1.53	1.00	1.01	1.01
19	Marseilles	3.04	0.81	2.45	1.14	1.43	1.63	0.45	0.62	0.28	1.72	0.77	1.33
20	Gothenburg	1.00	1.27	1.27	1.00	0.97	0.97	1.00	0.88	0.88	1.00	0.91	0.91
21	Taranto	1.50	0.61	0.92	0.45	1.62	0.73	2.17	0.73	1.59	0.68	0.64	0.44
Average		1.26	1.02	1.16	1.15	1.52	1.69	1.28	0.79	0.97	2.09	1.01	2.12
Max		3.29	2.35	2.45	4.79	2.89	9.97	4.77	1.53	2.83	14.50	1.28	15.26
Min		0.33	0.59	0.42	0.35	0.58	0.50	0.07	0.43	0.04	0.03	0.63	0.03
SD		0.77	0.37	0.54	0.99	0.64	1.97	0.99	0.25	0.61	3.30	0.17	3.46

3. 북아메리카 항만 효율성 분석

<표 5-11>을 살펴보면 Los Angeles항, Houston항 2개 항만이 2003~2007년 DEA-CCR, DEA-BCC 모형 모두에서 효율적인 항만으로 나타났다. Long Beach항과 Port Everglades항은 2003년을 제외한 4년 동안 모두 효율적인 항만으로 나타났다. 한편, Montreal항은 DEA-BCC 모형에서는 효율적인 항만으로 나타났음에도 불구하고 DEA-CCR 모형 분석 결과 비효율적인 항만으로 나타나 규모의 비효율성이 존재하는 것으로 분석되었다.

<표 5-11> DEA 모형을 이용한 북아메리카 항만 효율성 분석 결과

No.	PORT	2003		2004		2005		2006		2007	
		CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC
1	Los Angeles	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	Long Beach	0.64	0.65	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	New York /New Jersey	0.63	0.75	0.75	0.81	0.73	0.82	0.74	0.75	0.87	0.89
4	Savannah	1.00	1.00	0.79	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	Oakland	0.77	0.78	0.50	0.50	0.62	0.62	0.52	0.53	0.52	0.53
6	Vancouver	0.51	0.53	0.67	0.72	0.64	0.67	1.00	1.00	0.97	0.99
7	Virginia	1.00	1.00	0.67	0.85	0.73	0.96	0.69	0.80	0.81	1.00
8	Seattle	0.39	0.39	0.95	1.00	0.88	0.93	0.60	0.60	0.65	0.93
9	Tacoma	1.00	1.00	0.93	0.96	0.82	0.86	0.69	0.70	0.70	1.00
10	Houston	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
11	Charleston	0.57	0.60	0.72	0.72	0.67	0.67	0.64	0.64	0.64	1.00
12	Montreal	0.83	1.00	0.91	1.00	0.84	1.00	0.87	1.00	0.89	1.00
13	Port Everglades	0.34	0.34	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
14	Miami	0.75	0.85	0.70	0.70	0.67	0.67	0.61	0.61	0.64	1.00

2003/2004년, 2004/2005년, 2005/2006년, 2006/2007년 각각의 기간별 효율성 변화 지수의 평균이 시간의 흐름에 따라 1.76, 1.07, 1.03, 1.83으로 나타나 효율성이 개선되고 있는 것을 알 수 있다. 2003/2004년, 2004/2005년의

경우 기술효율성 변화 지수의 평균은 1.54, 1.17로 전년에 비해 기술효율성이 평균적으로 개선되었음을 살펴볼 수 있다. 2003/2004년의 기술진보 변화 지수 평균은 1.25로 평균적으로 기술이 개선되었음을 알 수 있으나, 2004/2005년에는 0.93으로 기술이 쇠퇴하였음을 알 수 있다. 2005/2006년, 2006/2007년의 경우 기술효율성 변화 지수의 평균은 각각 1.13, 1.17로 전년에 비해 기술효율성은 평균적으로 개선되었으나, 기술진보 변화 지수의 평균은 0.93, 0.81로 평균적으로 기술이 쇠퇴하였음을 알 수 있다.

<표 5-12> Malmquist 지수를 이용한 북아메리카 항만 효율성 분석 결과

No.	PORT	2003/2004			2004/2005			2005/2006			2006/2007		
		TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI
1	Los Angeles	0.69	1.08	0.74	0.93	1.19	1.11	1.95	0.89	1.73	0.69	0.96	0.66
2	Long Beach	6.10	0.91	5.54	0.90	1.01	0.91	0.73	1.15	0.83	1.01	0.93	0.94
3	New York /New Jersey	0.88	1.12	0.99	1.04	0.84	0.87	0.80	1.19	0.95	1.45	0.68	0.99
4	Savannah	0.61	1.30	0.80	1.63	0.85	1.39	1.22	0.80	0.98	1.62	0.95	1.54
5	Oakland	0.74	1.01	0.74	1.56	0.93	1.44	0.69	0.99	0.69	1.67	0.88	1.47
6	Vancouver	1.10	1.18	1.30	0.90	0.94	0.85	3.17	1.01	3.19	0.40	0.79	0.32
7	Virginia	0.62	1.33	0.82	1.28	0.80	1.03	0.59	0.90	0.53	1.78	0.66	1.18
8	Seattle	3.55	1.06	3.76	0.90	0.97	0.87	0.81	1.06	0.86	1.28	0.76	0.98
9	Tacoma	0.25	1.94	0.49	2.42	0.83	2.01	0.01	0.96	0.01	211.7	0.06	12.45
10	Houston	1.00	1.58	1.58	1.00	0.93	0.93	1.00	0.76	0.76	1.32	0.87	1.15
11	Charleston	1.12	1.24	1.38	0.84	0.89	0.75	1.45	0.88	1.28	1.28	0.73	0.94
12	Montreal	1.00	1.00	1.00	1.00	0.78	0.78	1.00	1.10	1.10	1.00	1.03	1.03
13	Port Everglades	2.97	1.40	4.15	1.30	1.10	1.42	0.95	0.65	0.62	0.80	1.25	1.00
14	Miami	0.98	1.34	1.30	0.65	0.90	0.58	1.42	0.60	0.85	1.32	0.73	0.96
Average		1.54	1.25	1.76	1.17	0.93	1.07	1.13	0.93	1.03	16.24	0.81	1.83
Max		6.10	1.94	5.54	2.42	1.19	2.01	3.17	1.19	3.19	211.7	1.25	12.45
Min		0.25	0.91	0.49	0.65	0.78	0.58	0.01	0.60	0.01	0.40	0.06	0.32
SD		1.60	0.27	1.55	0.45	0.11	0.38	0.74	0.18	0.73	56.27	0.27	3.07

제2절 규모별 효율성 분석

규모별 효율성을 살펴보기 위해 항만의 투입요소 중 선석길이를 기준으로 90개 항만을 다음과 같이 세 그룹으로 구분하였다.

첫 번째 그룹은 선석길이가 4,000m 이상인 대형 항만으로 구성되었으며, Singapore항, Hong Kong항, Shanghai항, Busan항 등 35개 항만이 포함되었다. 두 번째 그룹은 선석길이 2,000m~4,000m인 비교적 중형 항만들로 구성되었으며, Ningbo항, Tianjin항, Tanjung Pelepas항 등 35개 항만이 포함되었다. 세 번째 그룹은 선석길이 2,000m 이하인 소형 항만으로 Xiamen항을 포함한 20개 항만으로 구성되었다.

<표 5-13> 규모별 구분 및 구성 항만

선석길이	구성 항만
4,000m 이상 : 35개 항만	Singapore, Shanghai, Hong Kong, Shenzhen, Busan, Rotterdam, Kaohsiung, Hamburg, Qingdao, Guangzhou, Los Angeles, Antwerp, Long Beach, Port Klang, New York/New Jersey, Bremen/Bremerhaven, Laem Chabang, Tokyo, Yokohama, Ho Chi Minh, Valencia, Manila, Le Havre, Barcelona, Kobe, Oakland, Osaka, Vancouver, Zeebrugge, Kingston, Genoa, Shahid Rajaei, Buenos Aires, Bangkok, Montreal
2,000m~4,000m : 35개 항만	Ningbo, Tianjin, Tanjung Pelepas, Dalian, Jawaharlal Nehru, Tanjung Priok, Gioia Tauro, Algeciras, Colombo, Felixstowe, Jeddah, Nagoya, Port Said, Savannah, Santos, Keelung, Melbourne, Virginia, Tanjung Perak, Seattle, Tacoma, Marsaxlokk, Houston, Charleston, Gwangyang, St Petersburg, Sydney, Incheon, Las Palmas, Manzanillo, Piraeus, Haifa, Marseilles, Port Everglades, Gothenburg
2,000m 이하 : 20개 항만	Dubai, Xiamen, Salalah, Durban, Lianyungang, Southampton, San Juan, Freeport, Yantai, Taichung, Fuzhou, La Spezia, Karachi, Dammam, Pasir Gudang, Damietta, Penang, Miami, Veracruz, Taranto

다음에 제시된 <표 5-14> ~ <표 5-16>은 2007년 기준 규모별 항만 자료에 대한 기초통계 결과이다. 대형·중형·소형 항만 모두 투입요소인 선석길이, 부두 총면적, C/C장비 수, 산출요소인 총 처리물동량의 평균에서는 큰 차이를 보이고 있으나 수심과 성장률에서는 차이가 없음을 알 수 있다.

<표 5-14> 2007년 대형 항만 자료 기초통계

	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Max	11,950	19.9	8,605,837	159	27,932,000	39.3
Min	4,019	7.5	927,810	17	1,363,021	-3.8
Average	6,634.3	13.1	3,076,925	50.5	7,173,647	10.8
SD	2,189.8	2.1	1,909,440	33.1	7,121,877	8.9

<표 5-15> 2007년 중형 항만 자료 기초통계

	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Max	3,980	15.8	4,856,000	59	9,360,000	42.4
Min	2,138	10.3	318,000	6	841,000	-10.9
Average	2,926.0	12.9	1,361,580	22.9	2,710,909	9.9
SD	520.5	1.4	919,258.6	10.8	1,740,458	10.6

<표 5-16> 2007년 소형 항만 자료 기초통계

	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)
Max	1,900	16	2,954,380	51	10,653,026	54.0
Min	510	9.05	162,000	6	755,934	-15.2
Average	1,341.0	12.7	794,169	15.0	1,998,297	10.2
SD	443.0	1.7	612,792.8	9.7	2,167,138	14.2

1. 대형 항만

<표 5-17>을 살펴보면 Singapore항, Shanghai항이 DEA-CCR 모형과 DEA-BCC 모형 분석 결과 5년 모두 효율적인 항만으로 나타났다. 한편, Hong Kong항은 2006년과 2007년을 제외한 3년 동안 효율적인 항만으로 나타났으나 2006년, 2007년에도 비교적 높은 효율성을 지닌 항만으로 평가되었다. 2007년 효율성 분석 결과, Kaohsiung항과 Manila항, Vancouver항, Zeebrugge항 등 7개 항만이 DEA-BCC 모형에서는 효율적인 항만으로 나타났음에도 불구하고 DEA-CCR 모형에서 낮은 효율성 값을 보여 규모의 비효율성이 존재하는 것으로 분석되었다.

Busan항의 DEA-CCR 효율성은 각각 0.62, 0.70, 0.61, 0.55, 0.56으로 DEA-BCC 효율성인 0.67, 0.70, 0.63, 0.58, 0.59와 비교했을 때 전체적으로 항만의 비효율성이 존재한다고 볼 수 있으나 규모의 효율성은 높은 것으로 보여 규모를 적절히 사용하고 있는 것으로 분석된다.

2007년 효율성 분석 결과 Busan항의 참조집합으로 Singapore항과 Shanghai항, Shenzhen항, Guangzhou항이 선정되었으며, 효율성 개선을 위한 DEA-CCR, DEA-BCC 모형의 2007년 분석 결과는 <표 5-18>, <표 5-19>와 같이 나타났다. <표 5-18>과 <표 5-19>에 따르면, Busan항이 효율적인 항만이 되기 위해서는 투입요소인 선석길이를 줄이고 산출요소인 처리물동량과 성장률을 개선시켜야 하는 것으로 나타났다.

<표 5-17> DEA 모형을 이용한 대형 항만 효율성 분석 결과

No.	PORT	2003		2004		2005		2006		2007	
		CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC
1	Singapore	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	Shanghai	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	Hong Kong	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91	0.95	0.95	0.96
4	Shenzhen	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	Busan	0.62	0.67	0.70	0.70	0.61	0.63	0.55	0.58	0.56	0.59
6	Rotterdam	0.42	0.45	0.49	0.53	0.47	0.51	0.45	0.46	0.54	0.56
7	Kaohsiung	0.65	0.74	1.00	1.00	0.86	1.00	0.78	1.00	0.72	1.00
8	Hamburg	0.40	0.47	0.41	0.45	0.48	0.54	0.41	0.44	0.47	0.49
9	Qingdao	0.64	0.71	0.58	0.63	0.59	0.67	0.99	1.00	1.00	1.00
10	Guangzhou	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
11	Los Angeles	0.47	0.56	0.42	0.42	0.41	0.42	0.49	0.49	0.39	0.45
12	Antwerp	0.36	0.43	0.29	0.35	0.32	0.34	0.29	0.36	0.46	0.52
13	Long Beach	0.27	0.29	0.45	0.51	0.50	0.53	0.37	0.40	0.30	0.32
14	Port Klang	0.30	0.35	0.40	0.41	0.40	0.40	0.48	0.51	0.56	0.56
15	New York /New Jersey	0.29	0.32	0.27	0.29	0.26	0.28	0.26	0.27	0.26	0.27
16	Bremen /Bremerhaven	0.22	0.25	0.29	0.30	0.30	0.33	0.70	0.88	0.41	0.52
17	Laem Chabang	0.51	0.64	0.22	0.26	0.21	0.24	0.25	0.31	0.34	0.37
18	Tokyo	0.60	0.72	0.42	0.43	0.38	0.50	0.55	0.87	0.20	0.22
19	Yokohama	0.18	0.20	0.23	0.23	0.21	0.21	0.31	0.33	0.28	0.29
20	Ho Chi Minh	1.00	1.00	0.27	0.43	0.62	1.00	0.72	0.90	1.00	1.00
21	Valencia	0.27	0.29	0.23	0.28	0.46	0.58	0.32	0.38	0.72	0.79
22	Manila	0.27	1.00	0.30	1.00	0.26	1.00	0.23	1.00	0.37	1.00
23	Le Havre	0.41	0.42	0.19	0.20	0.14	0.16	0.13	0.14	1.00	1.00
24	Barcelona	0.43	0.44	0.35	0.69	0.32	0.42	0.40	0.52	0.74	0.90
25	Kobe	0.13	0.13	0.17	0.18	0.17	0.18	0.21	0.22	0.15	0.17
26	Oakland	0.33	0.35	0.16	0.17	0.29	0.30	0.18	0.18	0.12	0.13
27	Osaka	0.65	0.68	0.25	0.27	0.20	0.23	0.25	0.30	0.24	0.27
28	Vancouver	0.17	0.18	0.31	0.31	0.33	0.51	0.82	1.00	0.31	1.00
29	Zeebrugge	0.15	0.17	0.31	0.31	0.90	1.00	0.49	0.56	0.87	1.00
30	Kingston	0.21	0.22	0.37	0.37	0.84	1.00	0.69	1.00	0.29	1.00
31	Genoa	0.13	0.15	0.25	0.32	0.17	0.39	0.42	0.43	0.42	0.49
32	Shahid Rajae	0.81	1.00	1.00	1.00	0.38	0.56	0.21	0.22	0.94	1.00
33	Buenos Aires	0.78	0.90	1.00	1.00	0.12	0.27	1.00	1.00	0.31	0.46
34	Bangkok	0.14	1.00	0.31	1.00	0.18	1.00	0.34	1.00	0.62	1.00
35	Montreal	0.18	0.18	0.29	0.55	0.21	1.00	0.22	1.00	0.46	0.69

<표 5-18> 2007년 DEA-CCR 모형의 효율성 개선을 위한 투자 (대형항만)

PORT	Input/Output	Data	Projection	Difference	%
5 Busan	Length	7,473.0	6,140.7	-1,332.3	-17.83%
	Depth	14.8	14.8	0.0	0.00%
	Total Area	4,198,254.0	4,198,254.0	0.0	0.00%
	C/C	76.0	76.0	0.0	0.00%
	Total TEU	13,270,000.0	23,700,523.0	10,430,523.0	78.60%
	variation	10.3	18.4	8.1	78.60%

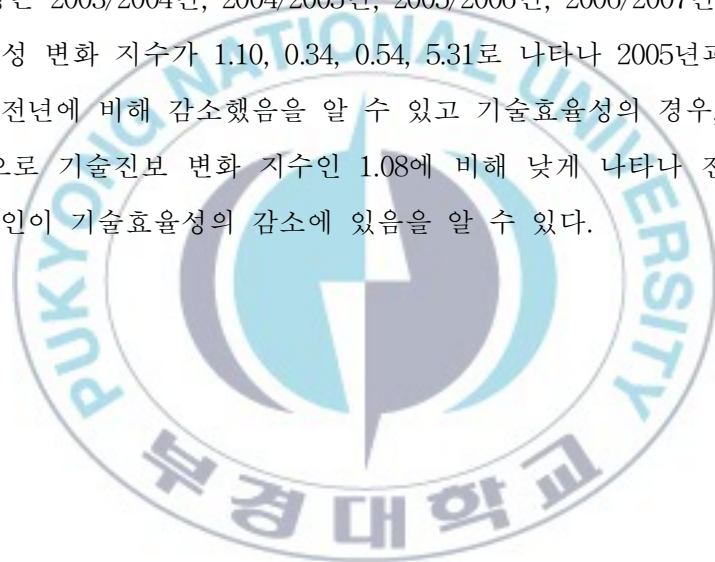
<표 5-19> 2007년 DEA-BCC 모형의 효율성 개선을 위한 투자 (대형항만)

PORT	Input/Output	Data	Projection	Difference	%
5 Busan	Length	7,473.0	5,975.2	-1,497.8	-20.04%
	Depth	14.8	13.9	-0.9	-5.85%
	Total Area	4,198,254.0	4,198,254.0	0.0	0.00%
	C/C	76.0	76.0	0.0	0.00%
	Total TEU	13,270,000.0	22,630,272.9	9,360,272.9	70.54%
	variation	10.3	17.6	7.3	70.54%

대형 항만의 각 연도별 효율성 변화를 살펴보면, 2003/2004년, 2004/2005년, 2005/2006년, 2006/2007년 각각의 기간별 효율성 평균이 시간의 흐름에 따라 1.38, 1.06, 1.23, 1.32로 나타났다. 2003/2004년의 경우 기술효율성 변화 지수의 평균은 1.46, 기술진보 변화 지수의 평균은 1.09로 2003년에 비해 2004년의 효율성이 평균적으로 개선되었음을 알 수 있다. 2004/2005년의 효율성 변화 분석 결과는 기술효율성 변화 지수의 평균이 1.90로 2004년에 비해 개선되었음을 살펴볼 수 있고, 기술진보 변화 지수의 평균은 0.69로 평균적으로 기술이 쇠퇴하였음을 알 수 있다.

2005/2006년의 경우 기술효율성 변화 지수의 평균은 1.23, 기술진보 변화 지수의 평균은 1.04로 2005년에 비해 2006년의 효율성이 평균적으로 개선되었음을 살펴볼 수 있다. 2006/2007년의 기술효율성 변화 지수의 평균은 1.82로 2007년의 기술효율성이 전년에 비해 평균적으로 개선되었음을 알 수 있고, 기술진보 변화 지수의 평균은 0.90으로 평균적으로 기술이 쇠퇴하였음을 알 수 있다. 35개 항만 중 2007년 기술효율성이 개선된 항만의 수는 19개 항만이며, 기술진보가 발생한 항만은 7개 항만, 전체적으로 효율성이 개선된 항만은 17개 항만으로 나타났다.

Busan항은 2003/2004년, 2004/2005년, 2005/2006년, 2006/2007년 각각의 기간별 효율성 변화 지수가 1.10, 0.34, 0.54, 5.31로 나타나 2005년과 2006년의 효율성이 전년에 비해 감소했음을 알 수 있고 기술효율성의 경우, 2005/2006년 0.50으로 기술진보 변화 지수인 1.08에 비해 낮게 나타나 전체 효율성 감소의 원인이 기술효율성의 감소에 있음을 알 수 있다.



<표 5-20> Malmquist 지수를 이용한 대형 항만 효율성 분석 결과

No.	PORT	2003/2004			2004/2005			2005/2006			2006/2007		
		TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI
1	Singapore	1.11	1.57	1.74	0.99	1.00	0.99	1.00	1.05	1.05	0.95	1.02	0.97
2	Shanghai	0.68	0.97	0.66	1.07	0.91	0.98	0.94	1.06	0.99	1.11	0.98	1.08
3	Hong Kong	0.99	1.28	1.27	0.93	1.03	0.95	0.65	1.25	0.81	0.26	1.51	0.39
4	Shenzhen	1.10	0.99	1.08	1.15	0.93	1.06	1.06	0.97	1.03	1.34	0.93	1.24
5	Busan	0.84	1.31	1.10	0.49	0.70	0.34	0.50	1.08	0.54	5.55	0.96	5.31
6	Rotterdam	1.11	1.48	1.64	1.28	0.69	0.88	0.35	1.08	0.38	2.70	1.00	2.69
7	Kaohsiung	5.32	0.65	3.45	1.04	0.92	0.95	0.96	1.05	1.01	1.09	1.15	1.26
8	Hamburg	0.73	1.42	1.04	1.59	0.71	1.13	0.74	1.05	0.77	1.20	1.00	1.20
9	Qingdao	1.09	0.89	0.97	1.20	0.98	1.17	1.97	0.63	1.24	1.49	0.92	1.38
10	Guangzhou	1.00	0.96	0.96	1.00	1.30	1.30	1.03	1.00	1.03	1.28	0.88	1.13
11	Los Angeles	0.10	1.54	0.16	2.00	0.57	1.13	4.43	1.13	4.99	1.26	0.96	1.21
12	Antwerp	0.62	1.41	0.87	1.18	0.62	0.74	1.06	1.09	1.15	1.52	1.02	1.55
13	Long Beach	3.77	1.45	5.49	1.07	0.80	0.86	0.66	1.04	0.69	0.04	0.96	0.04
14	Port Klang	0.83	1.41	1.16	1.10	0.63	0.70	2.04	0.98	2.00	1.00	1.00	1.00
15	New York /New Jersey	0.68	1.51	1.02	1.34	0.64	0.85	0.87	1.07	0.93	1.01	0.98	0.98
16	Bremen /Bremerhaven	1.20	1.27	1.52	1.28	0.72	0.92	2.58	0.75	1.94	0.52	0.89	0.46
17	Laem Chabang	0.52	0.99	0.51	1.06	0.70	0.74	1.25	1.00	1.25	1.03	1.09	1.12
18	Tokyo	0.10	1.07	0.11	8.05	0.56	4.50	2.20	0.46	1.02	0.43	0.96	0.41
19	Yokohama	0.93	1.43	1.33	1.19	0.64	0.76	1.41	1.03	1.46	0.88	0.95	0.84
20	Ho Chi Minh	0.37	0.83	0.31	2.97	0.39	1.16	0.73	1.21	0.88	1.42	0.69	0.98
21	Valencia	0.87	1.02	0.88	2.63	0.54	1.42	0.75	1.16	0.88	1.24	0.98	1.21
22	Manila	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
23	Le Havre	0.62	1.13	0.70	1.78	0.85	1.51	0.20	1.17	0.24	18.95	0.40	7.64
24	Barcelona	2.58	0.54	1.40	0.65	0.59	0.39	1.26	0.91	1.15	1.18	0.95	1.12
25	Kobe	1.25	1.63	2.03	1.12	0.62	0.69	1.41	1.04	1.47	0.77	0.73	0.56
26	Oakland	0.59	1.20	0.71	1.89	0.78	1.47	0.74	1.06	0.79	1.28	1.03	1.31
27	Osaka	0.73	0.88	0.64	1.12	0.52	0.58	1.36	1.02	1.38	0.88	0.82	0.72
28	Vancouver	1.47	0.91	1.33	1.92	0.33	0.64	2.34	1.02	2.40	0.85	0.59	0.50
29	Zeebrugge	1.89	0.81	1.53	6.42	0.45	2.89	0.25	0.99	0.24	2.69	0.35	0.93
30	Kingston	2.49	0.65	1.62	2.69	0.42	1.13	1.00	1.01	1.01	0.56	0.72	0.40
31	Genoa	0.40	1.31	0.52	9.55	0.18	1.74	0.43	1.02	0.44	0.81	0.93	0.75
32	Shahid Rajae	0.97	0.63	0.61	0.51	0.66	0.34	0.37	1.02	0.38	5.74	0.56	3.21
33	Buenos Aires	9.20	0.68	6.22	0.25	0.99	0.25	3.60	1.02	3.66	0.26	0.69	0.18
34	Bangkok	1.00	0.87	0.87	1.00	0.78	0.78	1.00	1.85	1.85	1.00	1.01	1.01
35	Montreal	3.02	0.62	1.87	2.09	0.22	0.47	1.00	1.10	1.10	0.56	0.89	0.50
Average		1.46	1.09	1.38	1.90	0.69	1.06	1.23	1.04	1.23	1.82	0.90	1.32
Max		9.20	1.63	6.22	9.55	1.30	4.50	4.43	1.85	4.99	18.95	1.51	7.64
Min		0.10	0.54	0.11	0.25	0.18	0.25	0.20	0.46	0.24	0.04	0.35	0.04
SD		1.71	0.32	1.28	2.03	0.24	0.77	0.91	0.20	0.93	3.22	0.21	1.45

2. 중형 항만

중형 항만 효율성 분석 결과인 <표 5-21>을 살펴보면 Ningbo항이 DEA-CCR, DEA-BCC 모형에서 5년 모두 효율적인 항만으로 나타났다. 한편, 2007년 DEA-BCC 모형에서 Jawaharlal Nehru항, Keelung항, Tanjung Perak항, St Petersburg항, Manzanillo항, Haifa항, Port Everglades항, Gothenburg항은 효율적인 항만으로 나타났음에도 불구하고 DEA-CCR 모형에서 효율성 값이 각각 0.73, 0.53, 0.48, 0.63, 0.92, 0.33, 0.79, 0.18로 낮게 나타나 규모의 비효율성이 존재하는 것으로 분석되었다.

한편, Incheon항의 경우 2007년 DEA-CCR, DEA-BCC 모형 분석 결과 효율적인 항만으로 나타나 2003년~2006년 비효율성의 원인으로 분석되었던 규모의 비효율성을 개선시켰음을 알 수 있다. Gwangyang항과 Incheon항의 효율성 개선을 위한 DEA-CCR, DEA-BCC 모형의 2007년 분석 결과는 <표 5-22>, <표 5-23>과 같이 나타났다.

<표 5-24>의 각 연도별 효율성 변화를 살펴보면, 2003/2004년, 2004/2005년, 2005/2006년, 2006/2007년 각각의 기간별 효율성 변화 지수의 평균이 시간의 흐름에 따라 1.21, 1.43, 1.47, 8.84로 나타났다. 2007년의 기술진보 변화 지수 평균이 0.95로 2006년에 비해 기술이 쇠퇴한 것을 제외하고는 각 기간별 기술효율성 변화 지수와 기술진보 변화 지수의 평균은 1 이상으로 나타나 평균적으로 기술효율성이 개선되고 기술이 진보하였음을 알 수 있다.

Incheon항은 2003/2004년, 2004/2005년, 2005/2006년, 2006/2007년 각각의 기간별 효율성이 0.65, 1.49, 1.05, 1.01로 나타나 2003/2004년 이후의 Incheon항 효율성은 개선되었음을 알 수 있다.

<표 5-21> DEA 모형을 이용한 중형 항만 효율성 분석 결과

No.	PORT	2003		2004		2005		2006		2007	
		CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC
1	Ningbo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	Tianjin	1.00	1.00	0.99	0.99	0.96	0.97	0.94	0.95	0.71	0.76
3	Tanjung Pelepas	1.00	1.00	0.98	1.00	0.79	0.80	0.67	0.67	0.58	0.59
4	Dalian	1.00	1.00	0.74	0.75	0.67	0.74	0.53	0.55	1.00	1.00
5	Jawaharlal Nehru	1.00	1.00	0.73	0.96	0.63	1.00	0.70	1.00	0.73	1.00
6	Tanjung Priok	0.98	1.00	0.92	1.00	0.73	1.00	0.62	1.00	0.51	0.94
7	Gioia Tauro	1.00	1.00	0.84	0.86	0.63	0.67	0.43	0.45	0.57	0.60
8	Algeciras	1.00	1.00	1.00	1.00	0.88	1.00	0.66	1.00	0.37	0.40
9	Colombo	0.91	0.92	0.83	0.89	0.76	0.92	0.80	1.00	0.58	0.91
10	Felixstowe	0.82	0.85	0.72	0.74	0.55	0.62	0.45	0.51	0.38	0.44
11	Jeddah	0.56	0.63	0.80	0.82	0.52	0.57	0.38	0.42	0.30	0.33
12	Nagoya	0.76	0.87	0.61	0.68	0.55	0.70	0.43	0.52	0.34	0.43
13	Port Said	0.27	0.28	0.91	1.00	0.76	0.97	1.00	1.00	0.27	0.30
14	Savannah	0.55	0.60	0.45	0.51	0.45	0.52	0.38	0.43	0.69	0.79
15	Santos	0.88	1.00	0.60	0.70	0.61	0.85	0.39	0.58	0.31	0.71
16	Keelung	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.67	1.00	0.53	1.00
17	Melbourne	0.65	0.80	0.58	0.79	0.45	0.79	0.34	0.57	0.34	0.55
18	Virginia	0.62	0.76	0.53	0.68	0.45	0.69	0.34	0.52	0.27	0.46
19	Tanjung Perak	0.91	1.00	0.62	1.00	0.44	1.00	0.35	1.00	0.48	1.00
20	Seattle	0.44	0.44	0.42	0.44	0.42	0.45	0.26	0.28	0.20	0.21
21	Tacoma	0.55	0.56	0.45	0.46	0.40	0.43	0.26	0.29	0.19	0.21
22	Marsaxlokk	0.58	0.60	0.49	0.51	0.35	0.39	0.30	0.31	1.00	1.00
23	Houston	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.35	0.44
24	Charleston	0.56	0.57	0.50	0.52	0.41	0.47	0.30	0.35	0.20	0.24
25	Gwangyang	1.00	1.00	0.33	0.34	0.29	0.29	0.43	0.46	0.18	0.18
26	St Petersburg	0.54	1.00	0.96	1.00	0.67	1.00	0.76	1.00	0.63	1.00
27	Sydney	0.44	0.48	0.36	0.38	0.28	0.30	0.23	0.25	0.35	0.37
28	Incheon	0.62	1.00	0.49	0.81	0.47	1.00	0.51	0.89	1.00	1.00
29	Las Palmas	1.00	1.00	0.29	0.55	1.00	1.00	0.37	1.00	0.18	0.26
30	Manzanillo	0.59	1.00	0.93	1.00	0.40	1.00	1.00	1.00	0.92	1.00
31	Piraeus	0.56	0.56	0.39	0.39	0.27	0.27	0.20	0.20	0.15	0.15
32	Haifa	0.53	0.93	0.40	0.76	0.36	1.00	0.23	0.59	0.33	1.00
33	Marseilles	0.32	0.34	0.26	0.35	0.20	0.27	0.15	0.21	0.21	0.26
34	Port Everglades	0.31	0.34	0.67	0.78	0.45	0.46	0.37	0.43	0.79	1.00
35	Gothenburg	0.35	1.00	0.37	1.00	0.29	1.00	0.22	1.00	0.18	1.00

<표 5-22> 2007년 DEA-CCR 모형의 효율성 개선을 위한 투자 (중형항만)

PORT	Input/Output	Data	Projection	Difference	%
25 Gwangyang	Length	3,700.0	2,138.0	-1,562.0	-42.22%
	Depth	15.8	13.9	-1.9	-12.18%
	Total Area	1,373,000.0	757,000.0	-616,000.0	-44.87%
	C/C	16.0	16.0	0.0	0.00%
	Total TEU	1,723,000.0	9,360,000.0	7,637,000.0	443.24%
	variation	-1.8	32.4	34.3	999.90%
28 Incheon	Length	2,335.0	2,335.0	0.0	0.00%
	Depth	12.3	12.3	0.0	0.00%
	Total Area	500,000.0	500,000.0	0.0	0.00%
	C/C	10.0	10.0	0.0	0.00%
	Total TEU	1,663,800.0	1,663,800.0	0.0	0.00%
	variation	20.8	20.8	0.0	0.00%

<표 5-23> 2007년 DEA-BCC 모형의 효율성 개선을 위한 투자 (중형항만)

PORT	Input/Output	Data	Projection	Difference	%
25 Gwangyang	Length	3,700.0	2,138.0	-1,562.0	-42.22%
	Depth	15.8	13.9	-1.9	-12.18%
	Total Area	1,373,000.0	757,000.0	-616,000.0	-44.87%
	C/C	16.0	16.0	0.0	0.00%
	Total TEU	1,723,000.0	9,360,000.0	7,637,000.0	443.24%
	variation	-1.8	32.4	34.3	999.90%
28 Incheon	Length	2,335.0	2,335.0	0.0	0.00%
	Depth	12.3	12.3	0.0	0.00%
	Total Area	500,000.0	500,000.0	0.0	0.00%
	C/C	10.0	10.0	0.0	0.00%
	Total TEU	1,663,800.0	1,663,800.0	0.0	0.00%
	variation	20.8	20.8	0.0	0.00%

<표 5-24> Malmquist 지수를 이용한 중형 항만 효율성 분석 결과

No.	PORT	2003/2004			2004/2005			2005/2006			2006/2007		
		TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI
1	Ningbo	1.07	1.03	1.10	0.78	1.22	0.96	1.11	1.17	1.30	0.76	1.20	0.91
2	Tianjin	0.72	1.52	1.10	1.15	1.19	1.36	1.06	1.21	1.28	0.54	1.35	0.73
3	Tanjung Pelepas	0.91	1.23	1.12	0.16	3.62	0.58	2.93	1.14	3.34	1.12	0.99	1.11
4	Dalian	0.65	1.07	0.70	0.92	1.16	1.07	0.89	0.88	0.78	2.11	0.95	2.01
5	Jawaharlal Nehru	0.33	1.78	0.58	2.75	0.86	2.37	1.00	1.25	1.25	0.99	0.97	0.96
6	Tanjung Priok	1.01	2.19	2.20	0.92	1.09	1.01	1.03	2.39	2.47	0.58	1.67	0.97
7	Gioia Tauro	0.16	4.83	0.76	4.95	1.26	6.25	0.78	1.21	0.95	0.80	1.15	0.92
8	Algeciras	0.96	1.19	1.14	1.00	1.03	1.03	1.00	0.81	0.81	0.23	0.91	0.21
9	Colombo	0.90	1.19	1.07	0.69	1.59	1.10	1.97	1.12	2.21	0.84	0.97	0.82
10	Felixstowe	0.38	1.16	0.44	2.20	1.34	2.96	0.52	0.96	0.50	0.99	0.98	0.97
11	Jeddah	1.11	1.16	1.29	0.64	1.10	0.71	0.20	1.06	0.22	1.66	0.63	1.05
12	Nagoya	0.46	1.00	0.46	1.84	1.88	3.47	1.01	0.74	0.75	0.65	0.90	0.59
13	Port Said	4.43	0.32	1.43	0.93	1.99	1.85	1.35	0.86	1.16	0.15	0.78	0.12
14	Savannah	0.74	1.03	0.77	0.86	1.73	1.48	1.37	0.72	0.99	1.23	1.07	1.32
15	Santos	0.65	1.03	0.67	0.77	1.67	1.28	0.62	0.72	0.44	0.93	0.46	0.43
16	Keelung	1.03	1.00	1.03	0.73	0.94	0.69	1.00	1.33	1.33	1.00	1.54	1.54
17	Melbourne	1.82	0.95	1.73	0.05	1.64	0.09	5.79	0.89	5.14	2.57	0.75	1.94
18	Virginia	0.82	1.00	0.82	0.55	1.91	1.04	0.56	0.72	0.40	1.71	0.70	1.20
19	Tanjung Perak	1.00	1.02	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	6.06	6.06	1.00	1.27	1.27
20	Seattle	3.67	1.04	3.81	0.86	1.16	0.99	1.16	1.13	1.32	0.79	1.25	0.99
21	Tacoma	0.29	1.00	0.29	2.33	1.46	3.39	0.00	0.94	0.00	331.7	0.80	266.5
22	Marsaxlokk	1.92	0.97	1.85	1.20	1.43	1.71	0.54	1.02	0.55	3.40	0.69	2.36
23	Houston	1.00	1.58	1.58	1.00	0.93	0.93	1.00	0.76	0.76	0.39	0.98	0.38
24	Charleston	1.56	0.98	1.53	0.38	1.78	0.67	3.45	0.89	3.07	0.75	1.21	0.91
25	Gwangyang	0.30	1.05	0.31	0.64	1.35	0.86	1.85	0.99	1.84	0.88	1.23	1.08
26	St Petersburg	1.00	1.17	1.17	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.85
27	Sydney	0.77	1.03	0.80	0.20	1.71	0.34	4.52	0.68	3.07	1.10	1.09	1.20
28	Incheon	0.75	0.87	0.65	1.34	1.11	1.49	0.79	1.34	1.05	1.51	0.67	1.01
29	Las Palmas	0.57	0.88	0.50	1.40	1.34	1.87	1.00	0.76	0.76	0.02	0.74	0.02
30	Manzanillo	1.00	1.13	1.13	1.00	0.81	0.81	1.00	3.51	3.51	1.00	0.83	0.83
31	Piraeus	1.37	1.16	1.60	0.76	1.22	0.93	0.05	0.91	0.05	11.36	0.91	10.30
32	Haifa	1.41	0.84	1.18	1.16	0.76	0.87	0.74	1.76	1.31	1.34	0.52	0.70
33	Marseilles	2.73	0.97	2.64	1.24	1.38	1.71	0.35	0.83	0.29	1.30	0.93	1.21
34	Port Everglades	2.41	1.14	2.75	0.96	1.26	1.20	0.92	0.69	0.63	2.41	0.47	1.14
35	Gothenburg	1.00	1.22	1.22	1.00	0.97	0.97	1.00	0.88	0.88	1.00	0.91	0.91
Average		1.17	1.22	1.21	1.12	1.37	1.43	1.27	1.24	1.47	10.85	0.95	8.84
Max		4.43	4.83	3.81	4.95	3.62	6.25	5.79	6.06	6.06	331.7	1.67	266.5
Min		0.16	0.32	0.29	0.05	0.76	0.09	0.00	0.68	0.00	0.02	0.46	0.02
SD		0.92	0.70	0.74	0.87	0.51	1.13	1.19	1.00	1.38	55.87	0.28	44.88

3. 소형 항만

소형 항만 효율성 분석 결과인 <표 5-25>를 살펴보면 Dubai항, Xiamen항, Lianyungang항이 DEA-CCR, DEA-BCC 모형 결과 5년 모두 효율적인 항만으로 나타났다. 한편, 2007년 DEA-BCC 모형에서 San Juan항, Veracruz항은 효율적인 항만으로 나타났음에도 불구하고 DEA-CCR 모형에서 효율성 값이 각각 0.67, 0.27로 나타나 규모의 비효율성이 존재하는 것으로 분석되었다.

<표 5-25> DEA 모형을 이용한 소형 항만 효율성 분석 결과

No.	PORT	2003		2004		2005		2006		2007	
		CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC	CCR	BCC
1	Dubai	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	Xiamen	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3	Salalah	0.97	1.00	0.95	0.95	0.66	0.70	0.53	0.56	0.47	0.51
4	Durban	0.59	0.61	0.63	0.65	0.57	0.58	0.51	0.55	0.42	0.44
5	Lianyungang	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	Southampton	0.68	0.68	0.56	0.58	0.41	0.41	0.39	0.40	0.52	0.58
7	San Juan	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	1.00	0.80	1.00	0.67	1.00
8	Freeport	1.00	1.00	0.63	0.68	0.33	0.33	0.60	0.63	0.34	0.40
9	Yantai	0.27	0.28	1.00	1.00	0.67	0.89	1.00	1.00	0.30	0.39
10	Taichung	0.50	0.51	0.40	0.41	0.33	0.35	0.27	0.28	0.25	0.26
11	Fuzhou	0.45	0.52	0.56	0.61	0.42	0.46	0.58	0.87	0.39	0.42
12	La Spezia	0.56	0.57	0.57	0.57	0.35	0.38	0.38	0.39	0.29	0.32
13	Karachi	0.54	1.00	0.99	1.00	0.63	0.72	0.38	0.39	0.31	0.32
14	Dammam	0.36	0.43	0.38	0.39	0.31	0.32	0.24	0.25	0.27	0.32
15	Pasir Gudang	0.77	1.00	1.00	1.00	0.83	1.00	0.49	1.00	0.38	0.40
16	Damietta	0.47	0.48	0.58	0.61	0.32	0.32	0.20	0.20	0.19	0.20
17	Penang	0.48	0.58	0.47	0.49	0.33	0.34	0.28	0.34	0.26	0.26
18	Miami	0.39	0.40	0.28	0.28	0.27	0.27	0.21	0.21	0.17	0.17
19	Veracruz	0.53	1.00	0.40	1.00	0.36	1.00	0.87	1.00	0.27	1.00
20	Taranto	0.40	0.41	0.36	0.37	0.21	0.21	0.37	0.38	0.16	0.16

<표 5-26>의 각 연도별 효율성 변화를 살펴보면, 2003/2004년, 2004/2005년, 2005/2006년, 2006/2007년 각각의 기간별 효율성 변화 지수의 평균이 시간의 흐름에 따라 1.60, 1.95, 1.25, 0.86으로 나타났다. 2006/2007년을 제외한 각 기간별 기술효율성 변화 지수의 평균은 1 이상으로 기술효율성이 평균적으로 개선되었음을 알 수 있다.

<표 5-26> Malmquist 지수를 이용한 소형 항만 효율성 분석 결과

No.	PORT	2003/2004			2004/2005			2005/2006			2006/2007		
		TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI	TECI	TCI	MPI
1	Dubai	1.01	1.33	1.34	1.00	1.02	1.02	0.99	1.15	1.14	1.03	1.17	1.20
2	Xiamen	0.85	1.31	1.12	1.26	1.43	1.80	0.99	1.17	1.16	0.94	1.17	1.09
3	Salalah	0.57	1.28	0.73	0.42	3.21	1.36	2.85	0.93	2.64	0.47	0.95	0.45
4	Durban	1.56	0.56	0.87	0.69	1.23	0.84	2.15	0.72	1.55	0.47	1.06	0.50
5	Lianyungang	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.85	1.00	1.69	1.69
6	Southampton	1.17	0.51	0.60	5.21	1.22	6.36	0.39	0.94	0.37	2.49	0.92	2.30
7	San Juan	1.00	0.71	0.71	1.00	5.41	5.41	1.00	0.83	0.83	1.00	0.69	0.69
8	Freeport	0.30	0.72	0.21	1.67	1.38	2.32	1.15	0.99	1.13	0.58	1.07	0.61
9	Yantai	4.55	0.51	2.33	0.45	2.35	1.05	2.73	0.50	1.38	0.24	1.05	0.25
10	Taichung	11.21	0.76	8.50	0.89	1.12	0.99	0.85	1.15	0.98	0.31	0.86	0.26
11	Fuzhou	1.69	0.57	0.96	0.50	1.52	0.76	3.41	0.48	1.64	0.52	1.59	0.82
12	La Spezia	2.46	0.43	1.06	5.75	1.38	7.91	0.65	0.78	0.50	0.43	1.27	0.54
13	Karachi	1.00	1.08	1.08	0.68	1.25	0.86	0.43	0.62	0.26	0.13	1.07	0.14
14	Dammam	2.91	0.48	1.39	0.82	1.44	1.18	0.48	0.74	0.36	2.15	1.02	2.18
15	Pasir Gudang	1.00	0.97	0.97	1.00	0.88	0.88	1.00	1.00	1.00	0.33	1.18	0.38
16	Damietta	2.23	0.56	1.25	0.82	1.38	1.13	0.69	1.15	0.80	0.48	1.08	0.52
17	Penang	3.02	0.46	1.40	0.20	1.42	0.28	4.55	0.45	2.03	0.88	1.33	1.17
18	Miami	6.28	0.79	4.97	0.20	1.13	0.22	4.09	0.96	3.93	0.83	1.13	0.94
19	Veracruz	1.00	0.96	0.96	1.00	2.19	2.19	1.00	1.42	1.42	1.00	0.68	0.68
20	Taranto	0.87	0.58	0.51	1.21	1.20	1.45	1.07	1.05	1.11	0.75	1.10	0.82
Average		2.28	0.78	1.60	1.29	1.66	1.95	1.57	0.89	1.25	0.80	1.10	0.86
Max		11.21	1.33	8.50	5.75	5.41	7.91	4.55	1.42	3.93	2.49	1.69	2.30
Min		0.30	0.43	0.21	0.20	0.88	0.22	0.39	0.45	0.26	0.13	0.68	0.14
SD		2.56	0.30	1.90	1.48	1.04	2.09	1.26	0.26	0.85	0.59	0.25	0.60

제VI장 결론

제1절 요약 및 결론

본 연구는 전 세계 처리물동량 100위 내의 90개 항만을 대상으로 DEA-CCR 모형, DEA-BCC 모형, Malmquist 모형을 이용하여 효율성 분석을 실시하였다. Malmquist 모형을 이용함으로써 2003년부터 2007년까지 5년 동안의 효율성 변화를 기술효율성 변화와 기술진보 변화로 구분하여 시간의 흐름에 따른 효율성 변화를 분석하였다. 또한 항만의 효율성은 그 항만이 속한 지역적 특성과 규모에 따라 차이를 나타낼 수 있으므로 항만을 특성별로 구분하여 효율성의 차이를 분석하였다.

연구 결과, 항만의 효율성 개선을 위해 과다하게 투입된 투입요소와 부족한 산출요소를 제시하였으며 연간 효율성 변화를 나타내었다. Busan항을 기준으로 효율성 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

전 세계 90개 항만을 대상으로 DEA-CCR, DEA-BCC 모형을 이용한 효율성 분석 결과 Busan항의 효율성 지수는 2003년 0.62, 0.67, 2004년 0.70, 0.70, 2005년 0.61, 0.62, 2006년 0.54, 0.57, 2007년 0.54, 0.58로 5년 연속 비효율적인 항만으로 나타났다. 2007년 DEA-CCR 모형 분석 결과, Busan항의 효율성 순위는 14위로 2006년 효율성 순위인 24위에 비해서 상승한 것으로 나타났으나 DEA-BCC 모형 분석 결과에서는 전년도와 같이 16위로 효율성 순위의 변화가 없는 것으로 나타났다. Busan항의 참조집합으로는 Singapore 항, Shanghai항, Hong Kong항, Shenzhen항이 선정되었다. Busan항의 규모의 효율성은 각각 0.92, 0.99, 0.97, 0.94, 0.94로 기술 비효율성이 규모의 비효율성보다 전체적인 항만의 비효율성에 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. Malmquist 모형을 이용한 효율성 변화 분석 결과 Busan항의

2003/2004년, 2004/2005년, 2005/2006년, 2006/2007년 각 기간별 효율성 변화 지수는 1.13, 0.33, 0.53, 5.81로 나타나 2006년과 비교했을 때, 2007년의 효율성이 크게 개선되었음을 알 수 있다.

항만의 특성별 구분을 통해 Busan항은 지역별로 동북아시아, 규모별로는 대형 항만에 해당하는 것으로 나타났다. 동북아시아 23개 항만을 대상으로 한 DEA-CCR, DEA-BCC 모형에서 Busan항의 효율성은 각각 2003년 0.62, 0.67, 2004년 0.70, 0.70, 2005년 0.61, 0.63, 2006년 0.56, 0.59, 2007년 0.59, 0.59로 전체적으로 항만의 비효율성이 존재한다고 볼 수 있으나 규모의 효율성은 높은 것으로 보여 규모를 적절히 사용하고 있는 것으로 나타났다. 2007년 Busan항의 효율성 순위는 23개 동북아시아 항만 중 11위로 전년도의 13위와 14위에 비해서 상승한 것으로 나타났다. Busan항의 참조집합으로는 Hong Kong항과 Shanghai항, Shenzhen항이 선정되었으며 효율적인 항만이 되기 위해서는 투입요소인 선석길이와 C/C장비 수를 줄이고 산출요소인 처리물동량과 성장률을 개선시켜야 하는 것으로 나타났다. Malmquist 모형을 이용한 효율성 변화 분석 결과 Busan항은 2003/2004년, 2004/2005년, 2005/2006년, 2006/2007년 각각의 기간별 효율성이 1.12, 0.34, 0.54, 5.81로 나타나 2005년, 2006년의 효율성이 전년도에 비해 감소했음을 알 수 있고 기술효율성의 경우, 2004/2005년 0.31, 2005/2006년 0.52로 기술진보 변화 지수인 1.12, 1.03에 비해 낮게 나타나 효율성 감소의 원인이 기술효율성의 감소에 있음을 알 수 있다.

32개 대형 항만을 대상으로 한 DEA-CCR, DEA-BCC 모형에서 Busan항의 효율성은 각각 2003년 0.62, 0.67, 2004년 0.70, 0.70, 2005년 0.61, 0.63, 2006년 0.55, 0.58, 2007년 0.56, 0.59로 전체적으로 항만의 비효율성이 존재한다고 볼 수 있으나 규모의 효율성은 높은 것으로 나타나 규모를 적절히 사용하고 있는 것으로 분석되었다. 2007년 Busan항의 효율성 순위는 32개 대형 항만 중 16위, 19위로 2006년의 14위, 17위에 비해 하락한 것으로 나타났다. Busan항의 참조집합으로는 Singapore항과 Hong Kong항, Shanghai

항, Shenzhen항이 선정되었으며 효율적인 항만이 되기 위해서는 투입요소인 선석길이를 줄이고 산출요소인 처리물동량과 성장률을 개선시켜야 하는 것으로 나타났다. Malmquist 모형을 이용한 효율성 변화 분석 결과 Busan항은 2003/2004년, 2004/2005년, 2005/2006년, 2006/2007년 각각의 기간별 효율성 변화가 1.10, 0.34, 0.54, 5.31로 나타나 2004/2005년, 2005/2006년의 효율성이 감소했음을 알 수 있고 기술효율성의 경우, 2005/2006년 0.50으로 기술진보 변화 지수인 1.08에 비해 낮게 나타나 전체 효율성 감소의 원인이 기술 효율성의 감소에 있음을 알 수 있다.

본 연구의 분석 결과, Busan항은 세계 컨테이너 처리물동량 기준 5위 항만임에도 불구하고 효율성 지수 및 효율성 순위가 매우 낮게 나타났다. 이는 Busan항이 비효율적인 항만임을 나타냄과 동시에 상대적인 효율성을 높이기 위한 노력이 필요함을 의미한다. 이를 위해 첫째, 2007년 Busan항의 효율성 개선을 위한 분석 결과에서 선석길이가 과다 투입된 것으로 공통되게 나타났으므로 효율적인 항만으로 거듭나기 위해서 무분별한 선석길이의 확장을 지양해야 할 것으로 사료된다.

2007년 Busan항의 효율성 개선을 위한 투자

PORT	투입요소				산출요소		
	선석길이(m)	수심(m)	총면적(m ²)	C/C(대)	총처리량(TEU)	성장률(%)	
Busan	7,473	14.8	4,198,254	76.0	13,270,000.0	10.3	
CCR	전체(90)	6,140	14.8	4,198,254	76.0	24,210,227.7	18.8
	동북아시아(23)	6,144	14.8	4,198,254	60.3	23,960,198.3	18.6
	대형항만(35)	6,140	14.8	4,198,254	76.0	23,700,523.0	18.4
BCC	전체(90)	5,934	13.7	4,198,254	76.0	22,846,521.1	17.7
	동북아시아(23)	5,914	13.6	4,198,254	59.6	22,432,182.5	17.4
	대형항만(35)	5,975	13.9	4,198,254	76.0	22,630,272.9	17.6

둘째, 처리물동량을 증가시키기 위해, 현재 Busan항의 경쟁력 약화 요인으로 지적되고 있는 철도, 도로 등 육상 수송 인프라 부족의 해결이 시급한 것으로 생각된다. Singapore항이 Hong Kong항을 제치고 세계 1위 항만의 자리를 유지하고 있는 것은 훌륭한 기반 시설과 높은 효율성, 생산성 때문이다. 이에 반해, 우리나라의 국토면적 대비 도로면적은 세계 25위, 철도는 27위로 나타났으며, 2006년 스위스 국제경영원이 평가한 국내 수송 인프라 효율성은 세계 35위에 그쳤다. 또한 2006년 3개 선석으로 시작하여 2011년 30개 선석으로 확대될 것으로 예상되는 부산 신항(Busan New Port) 부두의 잇따른 개장으로 Busan항의 물동량 처리 능력은 꾸준히 향상될 것인바 그에 따른 항만 배후단지 등의 주변시설과 수송 인프라 구축 역시 필요할 것으로 사료된다.

제2절 연구의 한계점 및 향후 연구방향

본 연구의 한계점 및 향후 연구방향은 다음과 같다.

첫째, 항만 효율성 분석에 사용된 투입·산출변수에 대한 자료를 확보함에 있어서 2차 자료인 Containerization International Yearbook에 전적으로 의존함으로써, 자료의 검증 절차가 미비하였다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 향후 보다 다양하고 정확한 자료 확보를 위한 노력이 필요하다.

둘째, 투입·산출변수의 선정에 있어서 정량적인 변수만을 선정하였다는 한계점을 지니고 있다. 설문조사를 통해 얻을 수 있는 항만의 서비스 만족도와 같은 다양한 변수를 선정함으로써 정성적 변수에 대한 추가적인 분석이 필요하다.

※ 참고문헌

- 강상관 (2001), “DEA모형을 이용한 컨테이너항만 및 터미널의 효율성 평가에 관한 실증연구”, 한국해양대학교, 석사학위논문.
- 권신혜 (2007), “동북아시아 항만의 효율성 분석에 관한 연구 : DEA모형을 중심으로”, 부경대학교, 석사학위논문.
- 김운수 (2004), “컨테이너터미널의 효율성 분석”, 한국해양대학교, 박사학위논문.
- 박노경 (2000), “생산효율성에 의한 컨테이너항만의 지배-피지배 관계 분석 : FDH모형 접근”, 한국해운학회, 제35호.
- 송재영 (2004), “컨테이너항만의 효율성 분석에 관한 연구”, 한국해양대학교, 박사학위논문.
- 이정호 (1998), “국내 수출입항만의 효율성측정에 관한 실증적 연구”, 전북대학교, 박사학위논문.
- 오성동·박노경 (2001), “컨테이너항만의 국제경쟁력 분석방법 : DEA접근”, 한국항만경제학회, 제17권 1호.
- 전국경제인연합회 (1997), “항만의 경쟁력 제고과제”, 전국경제인연합회조사연구자료, 산업정책 97-3.
- 전일수·김학소·김범중 (1993), “우리나라 컨테이너항만의 국제경쟁력 제고방안에 관한 연구”, 해운산업연구원, 정책자료 090.
- 정 준 (2006), “국내 은행산업의 구조조정에 따른 효율성 연구 : DEA와 Malmquist기법을 중심으로”, 조선대학교, 박사학위논문.
- 차용우 (2005), “DEA모형에 의한 국내 무역항만의 효율성 측정에 관한 실증적 연구”, 조선대학교, 박사학위논문.
- 하동우 (1996), “동북아 주요 컨테이너항만간 경쟁여건 분석”, 해운산업연구원, 정책자료 137.
- 하명신 (2001), “동북아시아지역 주요 컨테이너 항만들의 서비스 질 평가와 항만간의 상호협력방안”, 한국국제상학회, Vol. 16.

- 한철환 (2003), “항만의 성과와 효율성 결정요인에 관한 실증연구”, 월간해양수산, 제221호, 해양수산개발원.
- Ahmed Salem Al-Eraqi & Carlos Pestana Barros & Adli Mustaffa & Ahamad Tajudin Khader (2007), “Evaluating the Location Efficiency of Arabian and African Seaports Using Data Envelopment Analysis (DEA)”, *Department of Economics at the School of Economics and Management (ISEG), Technical University of Lisbon, Working Papers 2007/19.*
- Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper (1984), “Some Models For Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis”, *Management Science*, Vol. 30.
- Baumol, W. J., J. C. Panzar and R. D. Willing (1982), *Contestable Markets and the Theory of Industry Structure*, Harcourt Brace Jovanovich Inc., New York.
- Charnes, A., W. W. Cooper, and E. Rhodes (1978), “Measuring the efficiency of decision making units”, *European Journal of operational Research*.
- Charnes, A., W. W. Cooper, and E. Rhodes (1981), “Evaluating Program and Managerial Efficiency : An application of DEA to Program Follow Through”, *Management Science*, Vol. 27.
- Cooper, W. W., L. M. Seiford and K. Tone (2000), *Data Envelopment Analysis : A Comprehensive Text with models, Applications, References and DEA-Solver software*, Kluwer Academic Publisher.
- Cullinane, K., D. W. Song, and R. Gray (2002), “A Stochastic Frontier Model of the Efficiency of Major Container Terminals in Asia : Assessing the influence of Administrative and Ownership Structures”, *Transportation Research Part A : Policy and Practice*, Vol. 36, No. 8.

- David Bain (1982), *The Productivity Prescription : The Manager's Guide to Improving Productivity and profit*, Mc Graw-Hill Co.
- David Sherman, H. and Joe Zhu (2006) , *Service Productivity Management*, Springer.
- Davis M. Miller (1984), "Profitability = Productivity + Price Recovery" , *Harvard Business Review*, May-June 1984.
- Dowd, T. J. and Leschine (1990), "Container Terminal Productivity : A Perspective" , *Maritime Policy and Management*, Vol. 17, No. 2.
- Fecher, F., D. Kessler, S. Perelman and P. Pestieau (1993), "Productive Performance of the French Insurance Industry" , *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 2, No. 2.
- Ferrier, G. D. and K. Lovell (1990), "Measuring Cost Efficiency in Banking : Econometrics and Linear Programming Evidence" , *Journal of Econometrics*, Vol. 24, No 46.
- Fleming, D. K. (1997), "World Container Port Rankings" , *Maritime Policy and management*, Vol. 24, No. 2.
- Frankel, E. G. (1991), "Port Performance and Productivity Measurement" , *Ports and Harbors*, Vol. 36, No. 7.
- Han, Chul-Hwan (2006), "An Empirical Study on the Determinants of Port performance and Efficiency" , Proceeding of the 2nd International Gwangyang Port Forum and International Conference for the 20th Anniversary of Korean Association of Shipping Studies, *Korean Association of Shipping Studies*, April 24-26.
- Hayuth Y. and Y. Roll (1993), "Port Rerformance Comparison Applying Data Envelopment Analysis(DEA)" , *Maritime policy and Management*, No. 20.
- Martinez E., Diaz R., M. Navavro and T. Ravelo (1999), "A Study of the Efficiency of Spanish port Authorities using Data Envelopment Analysis" , *International Journal of Transport Economic*, Vol. 2.

- Monie, G. De (1987), “Measuring and Evaluating Port performance and productivity” , UNCTAD MONOGRAPHS on PORT MANAGEMENT, *International Association of Ports and Harbors*, No. 6.
- Notteboom T., C. Coeck and J. Van den Broeck (2000), “Measuring and Explaining the relative Efficiency of Container Terminals by means of Bayesian Stochastic Frontier Models” , *Journal of Maritime Economic & Logistics*, Vol. 2.
- Ray, S. C. (2004), *Data Envelopment Analysis : Theory and Techniques for Economics and Operations Research*, Cambridge University Press.
- Sachish, A. (1996), “Productivity Functions as A Managerial Toll in Israel Ports” , *Maritime Policy and Management*, Vol. 23, No. 4.
- Schaffnit, C., D. Rosen, J. C. Parai (1997), “Best Practice Analysis of Bank Branches : An Application of DEA in a Large Canadian Bank” , *European Journal of operational Research*.
- Talley, W K. and P. Anderson (1981), “Effectiveness and Efficiency in Transit Performance : A Rheoretical perspective” , *Transportation Research Part A*, Vol. 15.
- Tongzon, J. (2001), “Efficiency Measurement of Selected Australian and other International Ports Using Data Envelopment Analysis” , *Transportation Research Part A*, Vol. 35.
- Valantive, V. C. and R. Gray (2002), “Competition of Hub ports : A Comparison between Europe and the Far East” , Proceedings of the 2nd International Gwangyang Port Forum and International Conference for the 20th Anniversary of Korean Association of Shipping Studies, *Korean Association of Shipping Studies*, April 24-26.