

## 조선 성과 측정을 위한 다차원 생산성의 분석\*

김 연 민<sup>†</sup>

울산대학교 산업경영공학부

### An Analysis of Multidimensional Productivity for the Shipbuilding Performance

Yearnmin Kim<sup>†</sup>

Department of Industrial Engineering, University of Ulsan

#### ■ Abstract ■

The purpose of this study is to analyze the multidimensional productivity of the shipbuilding performance and to explain the role of different factors, such as man-hour, dock period, number of building block, launching process rate, automatic welding percent, and drawing fault rate which are important production-related variables in most shipbuilding companies.

The shipbuilding productivity is obtained using Data Envelopment Analysis (DEA) approach. Then, a Tobit model is considered to measure the influence of different factors on the measured productivity. The results reveal that this productivity measure can substitute a representative shipbuilding productivity index (CGT/man-hour) in shipbuilding industries. Also, this multidimensional productivity analysis using DEA and Tobit reveals complex relationships between production-related variables and CGT and sale.

Keywords : Shipbuilding Productivity, CGT, Man-Hour, DEA, Tobit Analysis

논문접수일 : 2017년 04월 12일    논문게재확정일 : 2017년 04월 26일

논문수정일 : 2017년 04월 17일

\* 본 연구는 울산대학교의 연구비의 지원을 받아 수행되었습니다.

† 교신저자, ymkim@ulsan.ac.kr

## 1. 서 론

조선 해양 산업은 노동집약적 산업으로 고용 창출 효과가 높고, 부품 공급을 위해 많은 협력업체를 필요로 하는 중공업으로, 국가의 흥망성쇠를 좌지우지할 수 있는 기간산업이다. 하지만 미국의 저렴한 세일가스의 영향으로 심해 유전의 개발이 주춤하게 되자, 세계적인 경쟁력을 갖춘 한국 조선 해양 산업에 커다란 위기가 닥쳤다. 지난 2015년 2월 OECD는 한국 조선 해양 산업이 “이제 심각한 시험에 처해 있다”고 평가했다. 한편 후발주자 중국은 국가주도의 조선산업 진흥책에 힘입어 2013년부터 수주량에서 한국을 제치고 세계 1위를 기록했다. 설상가상 일본 조선업이 다시 살아나고 있다.

그러나 여러 가지 어려운 상황에도 우리나라 조선소들이 아직도 세계 조선 해양 시장의 패권을 주도하고 있는 이유는 생산성과 기술력으로 분석되고 있다. 서비스업에 비해 제조업에서는 생산성 지표가 잘 개발되어 있으리라는 기대와는 달리, 또 한국 조선산업의 높은 생산성과 기술력에도 불구하고, 조선산업에서 생산성 지표에 대한 연구가 그다지 이루어져 있지 않았다. 조선산업에서 널리 쓰이는 대표적인 생산성 지표인 CGT(Compensated Gross Tonnage, 환산톤수)/공수는 중요소 생산성을 고려하지 못하고 단지 노동생산성이라는 한 요소만 고려하는데 머무르고 있다.

따라서 본 연구에서는 조선소의 생산성을 분석하기 위해 지난 5년간의 국내 한 조선업체의 생산성 향상과 관련된 요인들을 자료포락분석(DEA)과 Tobit 분석을 통해 알아보고자 한다. 그간 DEA 는 주로 은행, 교육, 건강, 의료, 공항, 연구개발 등의 서비스 분야의 효율성을 측정하는데 주로 사용되었다[3, 5, 7, 8, 15]. 본 연구는 DEA 분석을 통해 조선산업의 생산 관련 여러 요소를 고려한 중요소 생산성에 해당하는 조선생산성을 계산하고, 이후 Tobit 분석을 통해 조선생산성에 영향을 미치는 변수를 파악하였다. 추가 분석을 통해 이 다차원 생산성 지표와 조선산업의 대표적 노동 생산성 지표인 CGT/공수와의 관계를 분석하였다.

## 2. 조선 산업의 생산성

### 2.1 조선생산성 지표에 관한 기존 연구

조선산업의 생산성과는 비용측면, 노동생산성(총 부가가치/노동자수), 공정시간, 설비 이용율, 시스템 개선 등의 측면에서 고찰할 수 있다. 선박의 크기, 기술수준, 산출량, 수직통합 여부, 선종의 범위, 직접인원 대 간접인원의 비율 등을 이용하여 조선소의 생산성을 비교하기도 한다[12]. 생산성을 측정하기 위해서 작업자 수, 숙련수준, 작업태도, 경영, 생산계획 및 통제의 기술적 수준, 도크 수, 도크 크기, 크레인 용량 등을 이용할 수도 있으나 이들은 측정단위가 다르고 안정적이지 않다고 보아, 환산톤수(CGT : Compensated Gross Tonnage)가 선박의 선종과 선형에 대한 건조난이도를 고려한 지표이기에 공수(Man-hour)/표준 화물선 환산톤수(CGT)를 대표적인 생산성 측정 지표로 보기도 한다[16]. 여기서 환산톤수는 실질적인 작업량의 크기를 표시하는 것으로 선박의 가공공수, 설비능력, 작업공사량, 부가가치 등 총톤수로는 나타낼 수 없었던 것을 상대적인 지수 표시인 CGT 계수를 사용해 구한 것이다. 즉 CGT는 표준화물선으로 환산한 수정 총 톤으로, 기준선인 1.5만 DWT(Dead Weight Tonnage) 일반화물선의 1 GT당 건조에 소요되는 공수를 1.0으로 해 각 선종, 선형과의 상대적인 지수로서 CGT 계수를 설정하고 이를 선박의 GT에 곱한 것으로, 실질적 공사량을 나타낼 수 있는 하나의 척도이다. Kim[9]은 H사의 생산 탑재 톤당 공수(Man-hour)의 추이를 분석하고 생산성 향상 방안을 설계 및 영업분야, 공법 개발 및 생산기술, 생산관리 기술, 안전보건, 작업능력 교육 등의 분야별로 제시하였으나 생산성과 관련해서는 탑재 부문에 국한된 생산성만을 분석하였다. Lloyd[16]에서는 자본생산성의 하나인 ‘CGT/총 고정 설비의 면적’을 조선소의 생산성 비교를 위해 사용하기도 하였다. 또 조선소의 가장 중요한 설비인 도크의 수나 면적을 투입량으로 생산성을 측정하는 도크당(또는 면적) 건조척수와 도크당 건조량이 있

으나, 도크당 건조척수는 배의 크기나 선종과 선형이 반영되지 못하는 한계가 존재한다.

Park and Kim[20]은 직영 종업원 수(명)와 안벽길이 및 도크(Dock) 면적을 투입요소로 선정하고, 산출요소로는 건조량(CGT)을 선정하여 국내 대형조선소의 효율성을 DEA 기법으로 비교하였는데 일반적으로 대형 조선소의 아웃소싱(블록의 외주협력사 제작)이 50% 이상을 넘고, 조선소 마다 사내 블록 제작율이 모두 다르기 때문에 직영 종업원수를 투입요소로 하는 것은 적절하다고 볼 수 없다. Lee[14]는 노동력, 자본, 회사 설립 운영 연수를 입력변수로 하고 회전율과 순이익을 출력변수로 하여 중소조선소의 효율성을 DEA와 Malmquist 지수를 이용하여 산출하였다.

대형 조선소에서는 생산성 측정을 위해 공수(Man-hour)와 CGT의 비율을 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 조선사별로 공수를 측정하는 기준이 상이한 문제도 있다. 하지만 그 오차 범위가 크지 않기 때문에 조선소의 생산성을 비교하기에는 이 지표가 가장 적절하다고 알려져 있다.

DEA는 특정한 생산함수를 가정하지 않아도 된다는 장점으로 인해, 생산함수를 명확히 정의하기 어려운 서비스 산업에 널리 활용되어 왔으며, 조선 산업과 같이 오랜 데이터가 축적되어 투입/산출 구조가 명확한 제조업에서는 중요소 생산성 등 모수적 기법을 이용하여 생산성을 측정하는 것이 타당해 보이지만, 현실적으로는 조선산업의 생산성을 측정하는데 중요소생산성과 같은 지표는 이용되지 않고,

노동생산성의 일종인 CGT/공수(Man-hour) 라는 단일 요소 생산성 지표가 주로 이용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 DEA를 통해 조선산업의 생산성을 측정할 수 있는 중요소생산성 지표를 개발하고 이를 이용하여 생산관련 변수와 환산톤수, 매출 등과의 관계를 분석하고자 한다.

## 2.2 조선소의 생산성 관련 변수

조선소의 생산성에 관한 기존의 연구와 국내 조선소에서 사용되는 생산성과 관련된 변수를 수집한 결과, 대부분의 조선소의 생산, 설계 부문에서 <Table 1>과 같은 변수를 생산성 평가에 이용하고 있다[18]. 단 여기서 공수는 대표적인 생산성과 관련 변수로 별도의 설명을 생략했다.

### 2.2.1 도크 공기

조선소의 선박건조 능력은 다양한 생산관련 지표를 통해 관리되지만, 도크의 회전율은 이 중에서도 매우 중요한 자본생산성과 관련된 지표 중 하나이다.

### 2.2.2 탑재 블록 개수

도크의 회전율을 극대화하고 생산성을 획기적으로 향상할 수 있도록 많은 조선소에서는 탑재 블록 개수를 줄이고자 많은 노력을 하고 있다. 탑재 블록 개수를 줄인다는 것은 블록을 대형화 하여 도크 탑재 이전의 선행 공정에서 대부분의 블록을 용접하고, 후행 물량(JOINT 물량)을 줄여 공수를 절감할 수 있게 한다.

<Table 1> Productivity Related Variables in Shipbuilding

Index	Definition	Effect on Productivity
Man-hour	Man-hour for shipbuilding	-
Dock Duration	Dock period for building a ship	-
Block No.	Block number at the time of an erection using dock crane	-
Launching Rate	Cumulative man-hour before the ship launch/ total man-hour for shipbuilding	+
Automatic Welding Rate	Automatic welding rate for hull construction	+
Drawing Miss	Additional man-hour for fixing drawing mistakes	-

Note : +means positive effect and- means negative effect.

### 2.2.3 진수공정률

진수공정률이란 도크 진수시의 전체 공정률을 의미하며 총 건조 공수 대비 진수시의 공수 집행 실적을 가지고 측정하게 된다. 건조 선박이 늘어나면서 진수 이후 사후 작업을 하는 안벽은 조선소의 또 다른 중요한 제약 자원이다. 이 안벽 공기를 줄이기 위해서는 도크 진수시의 공정율을 높여야 한다.

### 2.2.4 용접자동화율

조선 산업은 공정의 대부분이 용접과 절단기술에 의존한다고 볼 수 있다. 따라서 용접과 절단기술의 고도화는 생산성 향상에 직결되어 조선 산업의 경쟁력 강화에 필수적인 요소이다. 용접자동화는 우선 아크 용접율이 생산성에 영향을 미치며, 아크 용접량 증가를 통해 비용절감과 숙련 노동자의 부족에 대응하며 용접 품질의 향상 및 안정화를 가져올 수 있다.

### 2.2.5 설계 오류율

설계오류율은 설계 오류나 변경으로 추가로 소요된 공수와 전체 생산 공수의 비율로 측정하게 된다. 설계에서는 대외 선주 선급의 신뢰도 향상 및 설계 품질향상을 위하여 설계오류율 감소에 주안점을 두고 시공기준서 정립과 설계지침서 제정, 검토 강화 등으로 개정을 감소에 노력한다.

## 3. DEA와 Tobit 분석을 이용한 조선생산성 분석

본 연구에서는 DMU (Decision Making Unit)의 성과분석과 이후 관련 변수의 성과에 대한 영향을 분석하는데 널리 사용되는 DEA/Tobit 접근법을 사용하였다[1, 2, 11, 13, 17, 19]. DEA는 선형계획법을 이용한 비모수적 방법으로 입력변수의 효율성 점수에 대한 영향력이 어느 정도 인지 알 수 없어, Tobit 분석을 이용하여 입력 변수의 효율성 점수에 대한 유의성을 검증하거나[1, 2, 13, 19], 입력변수가 아닌 환경변수의 효율성 점수에 대한 유의성을 검증하기도 한다[11, 17].

본 연구는 조선 생산성 분석을 위해 다음과 같은 절차를 따랐다.

첫째, 조선산업의 생산성에 대한 문헌 연구와 조선산업에서 널리 사용되고 있는 조선생산성 관련 변수를 수집하여 선박 건조성과 관련 변수를 추출하였다(제 2장 참조).

둘째, 위에서 추출한 생산성 관련 변수를 입력변수로 하여, DEA를 통해 조선생산성을 계산한다.

셋째, DEA 에서 얻은 생산성 점수와 생산성 관련 입력 변수에 대한 Tobit 분석을 통해 유의성을 분석한다.

넷째, 생산성 점수와 조선산업에서 널리 사용되는 노동생산성 변수인 'CGT/공수' 지표와의 관련성을 분석한다.

본 연구에서 DEA를 분석 방법으로 채택한 이유는 다음과 같다.

첫째, 추계적 생산 경계 분석(Stochastic Production Frontier Analysis)[4] 등과는 달리 선박의 건조 성과에 대한 중요소 생산성과 관련한 생산성 점수를 추출하기 위해서 여러 개의 산출변수를 이용할 수 있다.

둘째, DEA는 변수간의 함수 관계를 가정하거나 효율성 점수의 분포를 가정하지 않는다는 장점이 있다. 즉 조선소의 생산과 관련된 투입 및 산출변수의 상대적 중요성(가중치)에 대한 지식이나 규정이 불필요하다. 다만, 선형계획법을 이용하는 DEA는 선형계획법의 가정인 목적함수와 제약조건이 선형(1차)의 등식과 부등식을 가져야 하는 선형성(linearity)을 확인할 필요는 있다.

셋째, DEA는 DMU의 효율성과 다른 DMU의 효율성을 상대적으로 평가한다. 즉 DEA는 선박의 건조를 위한 조선소의 다양한 생산조건에 따른 조선생산성을 상대적으로 평가하기에 좋다.

DEA를 이용하여 효율성을 측정하는 데는 다양한 모형의 적용이 가능하다.CCR(Charnes, Cooper, Rhodes) 모형은 규모의 수익 불변(CRS-Constant Returns to

Scale)을 가정하며, BCC(Banker, Chames, Coper) 모형은 규모의 수익 가변(VRS-Variable Returns to Scale)을 가정한다. 또한 DEA 모형은 효율성 개선과 관련하여 투입지향(input-oriented)이나 산출지향(output-oriented) 모형으로 구분된다.

본 연구에서는 조선소의 선박 건조 활동이 규모의 수익이 불변이라고 파악되나, 엄밀한 분석을 위해 CCR 모형과 BCC 모형을 모두 활용하였으며, 선가와 CGT 등의 산출이 주어져 있으므로 산출을 최대화하기보다 투입을 최소화하기 위한 투입지향 모형을 이용하였다.

본 연구에서는 종속변수가 [0, 1]과 사이의 값만 가지므로 회귀분석이 아닌 일정한 영역에서만 관찰되는 변수를 종속변수로 하는 회귀모형의 일종인 Tobit 분석을 이용하여 생산성 관련변수를 독립변수로 하고 DEA 모형에서 얻은 효율성 값을 종속변수로 하여 생산성 관련변수가 효율성에 미치는 영향을 알아보았다.

Tobit 모델은 관측되지 않은 변수(혹은 잠재 변수)  $y^*$ 가 있다고 가정한다.  $y^*$ 는 모수가(혹은 벡터)  $\beta$ 인 독립변수  $x$ 와 다음과 같은 선형의 관계를 가진다.

$$y^* = x\beta + \varepsilon$$

관측 가능한 변수  $y$ 가 다음과 같으며

$$y = \begin{cases} y^* & \text{if } y_L \leq y^* \leq y_U \\ y_L & \text{if } y^* \leq y_L \\ y_U & \text{if } y^* \geq y_U \end{cases}$$

오차  $\varepsilon$ 이 평균 0이며 분산이  $\sigma^2$ 인 정규분포를 따르면  $\beta$ 를 추정하기 위해 Tobit 모형을 사용할 수 있다. 즉 종속변수인 다차원 생산성 점수는 [0, 1] 사이의 값만 가지므로 일반적인 회귀분석 모형이 아닌 종속변수의 값의 범위를 제한하는 Tobit 모형을 사용하였다.

## 4. 조선 생산성의 분석

### 4.1 분석 자료

본 연구에서 사용된 자료는 M조선소에서 2011~2015년 까지 건조한 총 123척의 중형 제품 운반선의 관련 자료를 이용하였다. DEA 분석에서 가장 중요한 선행조건은 비교대상 의사결정 단위인 DMU (Decision Making Unit)가 동질적이어야 한다는 것이다. 즉 DMU는 동일한 투입요소를 사용하여 동일한 목적의 생산물을 산출해야 한다. 이것은 DMU의 동질성여부가 연구결과의 신뢰성에 큰 영향을 미치기 때문이다. 본 연구에서는 이를 위해 M조선소의 중형 제품 운반선 123척의 각 호선을 DMU로 정하였다.

그러나 조선산업에서는 선종과 선형에 따라 생산조건이 다소 다르나, 선박 건조의 특성상 큰 차이가 없으므로 중형 제품 운반선의 생산성 분석 결과가 조선 생산성을 분석하는데 충분하다고 보며, M사의 데이터만 이용하였지만 본 연구의 목적이 조선산업을 상호 비교하기 보다는 조선소의 생산성을 분석하는 것이므로 결과의 일반화에도 문제가 없다고 본다.

일반적으로 조선기간 또는 국가 간 건조생산성의 비교를 할 때에는 건조척수, Dock수, 안벽길이, 건조량(CGT), 또는 재무적인 변수로는 자본금, 매출액, 당기순이익 등을 변수로 고려할 수 있으나, 본 연구는 조선소의 생산성을 파악하기 위해 조선소의 생산과 밀접한 관련 변수인 선가, CGT, 공수, 도크 공기, 탑재 블록수, 용접 자동화율, 설계오류율, 공정준수율 등을 변수로 사용하였다. 각 변수에 대한 기술통계량은 <Table 2>와 같고 각 변수의 상관관계는 <Table 3>과 같다. 상관관계가 다소 높은 변수가 있으므로 Tobit 분석시 다공선성(Multi-Collinearity)을 고려하여 분석에 유의하였다.

본 연구에서는 공수, 도크 공기, 탑재 블록수, 용접 자동화율, 설계오류율, 공정준수율을 DEA의 투입 변수로 선정하였다. DEA 분석에서는 산출변수인 선

〈Table 2〉 Descriptive Statistics of Variables

	N		Average	Standardized Deviation	Min.	Max.
	Valid	Missing				
SALE	123	0	41743.196	3070.6489	31221.0	53000.0
CGT	123	0	17174.085	514.7991	14811.6	18373.2
MH	123	0	184706.059	4715.978	176612.5	202601.0
DOCKDUR	123	0	37.582	2.9728	32.8	50.0
BLOCKNO	123	0	40.759	1.0187	37.0	44.0
DRAWMIS	123	0	.00105	.00138	.00018	.00766
WELDMR	123	0	59.848	1.369	58.155	65.696
LAUNCHNR	123	0	15.290	1.183	14.0080	23.500

〈Table 3〉 Correlation Coefficients of Variables

	SALE	CGT	MH	DOCKD	BLOCKN	DRAW MIS	WELDM
SALE	1						
CGT	.814**	1					
MH	.040	.024	1				
DOCKD	-.152	-.572**	.791**	1			
BLOCKN	-.087	-.144*	.592**	.465**	1		
DRAWMIS	-.428**	-.204	.598*	.229*	.388**	1	
WELDM	-.641**	-.852*	.359**	.653**	.214*	.361**	1
LAUNCH	-.162	-.180**	.663**	.557**	.361**	.537**	.511**

가와 건조량(CGT)이 고정적이므로 투입을 최소화할 수 있는 투입기준 모형을 이용하였다. 입력 지향의 분석을 위해 공정준수율은 공정 미준수율로, 진수공정율은 안벽잔여공정율로, 자동용접률은 수동용접률로 역으로 변환하였다.

산출변수로 사용된 선박의 수주가는 5년간 다소 바뀌었으나, 지표를 이용하여 이를 기준년도인 2011년으로 환산할 정도의 변동은 아니었으며, 선박의 수주가격은 조선사간의 비밀이기에 선가지표에 관한 국제적인 자료가 없으며, 선박의 수주가격에 큰 영향을 주는 운임료(Vessel Price) 기준의 Baltic Dry Index로 수주가의 변동을 조정하는 것도 무리가 있어 별도의 환산을 하지 않고 선박의 수주가격을 그대로 투입변수로 이용하였다.

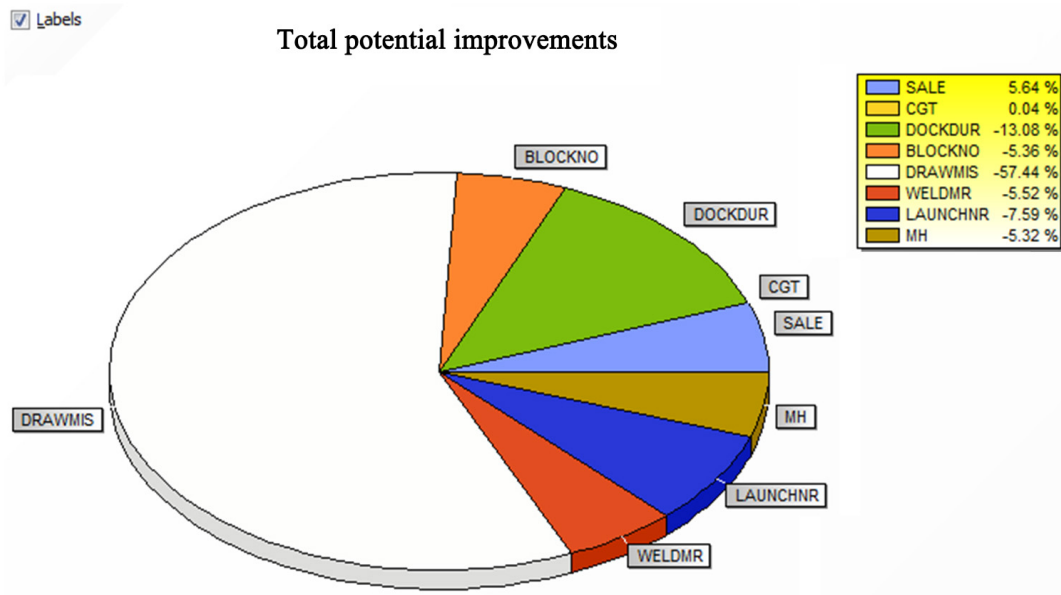
투입공수와 선박의 수주가 및 CGT의 상관관계는

〈Table 3〉에서는 유의하지 않았다. 그러나 일반적으로 선가나 CGT가 크면 투입공수는 많게 된다. 공수는 또 다른 입력변수인 도크공기, 블록수, 설계오류율, 수동용접율, 안벽잔여공정율과 유의한 양의 상관관계를 보였다.

#### 4.2 생산성에 대한 분석

조선생산성을 계산하기 위해 Frontier Analyst 4.0.10을 이용하였다.

〈Figure 1〉은 CRS로 효율성을 계산했을 때 입력변수에 대한 잠재적 개선 가능성을 보여 준다. 조선생산성을 높이기 위해서 설계오류율의 개선이 절실하며, 다음으로 도크 공기의 개선이 필요함을 보여 준다.



<Figure 1> Total Potential Improvements

<Table 4> Tobit Analysis for Input Variables

Variable	CRS(Revised R <sup>2</sup> = .911)			VRS(Revised R <sup>2</sup> = .507)		
	B	S.E.	β	B	S.E.	β
Constant	1.415	.185		1.388	.047	
WELDMR	-.018	.002	-.682	-.004	.001	-.424
MH	6.435E-6	.000	.833			
BLOCKNO	-.008	.001	-.215	-.004	.001	-.376
DRAWMIS	-10.296	1.656	-.390	-1.480	.632	-.170
DOCKDUR	-.006	.001	-.522			

\*진수공정율(LAUNCHR)은 유의하지 않아 표에서 제외함. 나머지 변수는 모두 유의수준이 95% 이상임.

입력변수의 조선 생산성에 미치는 영향을 알아보기 위한 Tobit 회귀분석 결과를 <Table 4>에 보았다. 이때 상관관계가 높은 변수로 생기는 다공선성을 피하기 위해 변수 투입시 단계적(Stepwise) 투입 방법을 이용하였다. CRS로 계산한 생산성 점수를 종속변수로 이용하면 수동용접율, 공수, 탑재 블록 수, 설계오류율, 도크공기가 생산성 점수의 분산을 91.1% 설명하였다. VRS로 계산한 생산성 점수를 종속변수로 이용하면 수동용접율, 탑재 블록수, 설계오류율이 생산성 점수의 분산을 50.7%를 설명하였다.

즉 조선생산성을 높이기 위해서는 자동용접율을 높이고, 탑재블록 개수, 설계오류율 및 도크공기를 낮추어야 함을 알 수 있다. <Table 4>의 CRS에 대한 Tobit 분석 결과 공수가 조선 생산성 점수에 양의 계수를 가지는 것은, 투입공수가 통계적으로 유의하지는 않지만 수주가 및 CGT에 양의 상관관계를 가지는 것과 관련이 있어 보이며(<Table 3> 참조), 2010년~2015년에 수주한 선박 가운데 투입공수가 큰 선박이 매우 높은 수주가를 실현한 결과를 반영하고 있다.

〈Table 5〉 Labor Productivity and its Related Variables

Variable	CGT/MH(Revised $R^2 = .950$ )			CGT/MH with t(Revised $R^2 = .954$ )		
	B	S.E.	$\beta$	B	S.E.	$\beta$
Constant	.233	.006		1.388	.047	
WELDMR	-.008	.000	-.659	-.002	.000	-.615
BLOCKNO	-.001	.000	-.183	-.001	.000	-.154
DRAWMIS	-.579	.069	-.220	-.495	.071	-.188
DOCKDUR	.000	.000	-.262	.000	.000	-.186
LAUNCHNR	.000	.000	.094	.000	.000	.105
t			.	.001	.000	.160

조선소의 노동생산성을 나타내는 대표적 지표인 공수당 CGT 즉 ‘CGT/공수’와 본 연구에서 계산한 생산성 점수를 비교 분석해 보기 위해, DEA에서 생산성을 계산하기 위해 입력한 변수를 독립 변수로 사용하고 CGT/공수를 종속 변수로 하여 단계적(Stepwise) 투입 방법으로 Tobit 분석을 한 결과는 <Table 5>와 같다. <Table 5>의 “CGT/MH with t”에서는 시간에 관한 변수인 t가 유의하여 노동생산성이 해마다 증가하는 경향을 가지며 이때 생산성에 영향을 주는 수동용접율, 탑재 블록 수, 설계오류율 등이 노동생산성에도 영향을 주는 것으로 나타났다.

<Table 4>, <Table 5>를 비교해 보면 DEA를 이용하여 계산한 생산성 지표를 이용한  $\beta$ 값이 CGT/공수로 계산한 노동생산성에서의  $\beta$ 값과 비슷한 경향을 보이나, 전반적으로 더 커, 수동용접율, 탑재 블록 수, 설계오류율, 도크공기가 노동생산성에 미치는 영향보다 본 연구에서 계산한 조선생산성에 더 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 특히 도크공기와 설계오류율은 DEA를 이용하여 계산한 생산성 지표에 큰 영향을 주고 있다.

## 5. 결론 및 시사점

지금까지 대다수 조선소에서는 생산성 측정을 공수와 CGT의 비율로 측정하고 여러 생산성 향상 지표들의 정보를 부가적으로 평가하여 생산성을 판단

하였지만 본 연구에서는 이들을 통합한 생산성 지표를 활용하여 조선소의 생산성을 분석할 수 있음을 보였다. 즉 DEA를 이용하여 계산한 생산성 지표는 노동생산성에서는 고려하기 어려운 도크공기와 같은 자본생산성과, 선박의 생산에서 매우 중요한 설계성과가 반영되며, 조선사의 매출과 직결되는 재무 변수인 선가를 산출변수로 고려하고 있어 향후 조선소의 생산성을 분석하기 위한 상당히 설득력 있는 방법이 될 수 있을 것으로 보인다.

한편 생산성과 관련 지표들에 대한 Tobit 회귀 분석 결과 여러 성과 변수 가운데 자동용접이 생산성에 미치는 영향이 가장 큼을 알 수 있었다. 앞으로도 용접관련 기술력의 축적과 숙련공의 확보가 조선소의 생산성을 끌어 올리는데 큰 역할을 할 것이라는 것을 알 수 있다. 아울러 생산에서 진수공기를 줄이고, 우수한 설계인력을 유지하여 설계의 오류를 줄여야 함을 알 수 있었다.

향후 연구 과제로는 공수가 조선소의 생산성에 미치는 영향을 보다 엄밀히 분석하는 것이 필요해 보인다. 공수를 줄이는 것이 조선소의 성과를 높일 것이라는 것이 상식적인 판단이나, 본 연구에서는 선가를 산출변수로 했을 때 고급선종의 수주는 곧 공수의 증가로 이어져 공수를 많이 투입하는 고급선종의 수주가 조선소의 경쟁력을 높일 수 있다는 것도 알 수 있었다. 즉 ‘비용우위 전략’만이 아닌 ‘차별화 전략’이 경쟁력을 높일 수 있는 다른 방안일 수 있음을 시사하고 있다.



본 연구에서는 시간 변수에 따른 생산성을 분석하는 하였지만 건조 척수의 증가에 따른 학습효과 등에 대한 엄밀한 분석도 필요해 보인다. 또 투입기준 CCR에서 투입변수에 대한 상, 하한을 고려하는 DEA-AR(Dea-Assurance Region) 모형이나 매출 등을 포함한 다단계 분석도 추후 요구된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Afonso, A. and M. St. Aubyn, "Assessing health efficiency across countries with a two-step and bootstrap analysis," *Applied Economics Letters*, Vol.18(2011), pp.1427-1430.
- [2] Afzal, M.N.I., "An empirical investigation of the National Innovation System(NIS) using Data Envelopment Analysis(DEA) and the TOBIT model," *International Review of Applied Economics*, Vol.28, No.4(2014), pp.507-523.
- [3] Bae, J.-H., "Efficiency Comparison and Performance Targets for Academic Departments in the Local Private College Using DEA," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.39, No.4(2013), pp.298-312.
- [4] Coelli, T.J., D.S.P. Rao, and G.E. Battese, *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, 2nd ed. Springer, 2005.
- [5] Emrouznejada, A., B.R. Parkerb, and G. Tavaresc, "Evaluation of research in efficiency and productivity : A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.42, No.3(2008), pp.151-157.
- [6] Jeon, I. and H. Lee, "Performance Evaluation of R&D Commercialization : A DEA-Based Three-Stage Model of R&BD Performance," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.41, No.5(2015), pp.425-438.
- [7] Jeon, S.J. and C.U. Lee, "Measure the Productivity of Airports in Korea Considering Environment Factor : An Application of DEA," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.37, No.4(2011), pp.350-357.
- [8] Kim, H.-H., D.-J. Lee, K.-T. Kim, and S.-J. Park, "Measuring the Efficiency of Investment in the Deployment and Technology Development of Renewable Energy in Korea Using the DEA," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.40, No.4(2014), pp.358-365.
- [9] Kim, I., "Productivity Measurement and Factors of Productivity Variance in Hull Part of Shipbuilding Industry," Univ. of Ulsan, Master Thesis, 2003.
- [10] Kim, J., "Productivity Analysis of Shipbuilding in Korea, China, and Japan," The Insight KPC, Korea Productivity, Center, 2014.
- [11] Kounetas, K., A. Anastasiou, P. Mitropoulos, and I. Mitropoulos, "Departmental efficiency differences within a Greek university : An application of a DEA and Tobit analysis," *International Transactions in Operational Research*, Vol.18, No.5(2011), pp.545-559.
- [12] Lamb, T. and A. Hellesoy, "A Shipbuilding Productivity Predictor," *Journal of Ship Production and Design*, Vol.18, No.2(2001), pp.13-15.
- [13] Laureti, T. and A. Vivianti, "Competiveness and productivity : a case study of Italian firms," *Applied Economics*, Vol.43(2011), 2615-2625.
- [14] Lee, J., "Directions for the Sustainable Development of Korean Small and Medium Sized Shipyards," *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, Vol.29, No.3(2013), pp.335-360.
- [15] Lee, M. and S. Lee, "Using DEA to Analyze the Degree of Global Technology Cooperation at the National Level," *The Korean Operations and Management Science Society Quarterly*,

- Vol.41, No.2(2016), pp.67-80.
- [16] Lloyds shipping Economist(June, 2006), Productive Shipyards, pp.35-36.
- [17] Mujasi, P.N., E.Z. Asbu, and J. Puig-Junoy, "How efficient are referral hospitals in Uganda? A data envelopment analysis and tobit regression approach," *BMC Health Services Research*, Vol.16, No.1(2016), pp.1-14.
- [18] Na, J., "An Efficiency analysis of the medium-sized P/C ship," Master Thesis, Univ. of Ulsan, 2016.
- [19] Otero, L.D., G. Centeno, and C.E. Otero, "A DEA-Tobit Analysis to understand the Role of Experience and Task Factors in the Efficiency of Software Engineers," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.59, No.3(2012), pp.391-399.
- [20] Park, S. and H. Kim, "The Change of Productivity and Efficiency of Korean Shipbuilding Industry and Its Determinants," *Journal of Korea Port Economic Association*, Vol.28, No.2(2012), pp.155-177.