

군용항공기 제작회사의 효율성 및 생산성 국제비교

< 목 차 >	
I. 서론	III. 실증분석
II. 연구의 방법	IV. 결론

I. 서론

미국과 영국을 주축으로 한 연합군과 이라크 간에 벌어진 이라크전쟁은 개전 43일 만에 미국이 종전을 선언함으로써 연합군 측의 일방적인 승리로 끝이 났다. 이번 전쟁을 통하여 현대전은 항공력이 전승에 주도적이고 결정적인 역할을 수행한다는 것을 재확인할 수 있었다. 이러한 인식 아래 우리나라는 2000년을 전후하여 KT-1 및 T-50의 개발 성공으로 자주적인 첨단 항공기 개발능력을 갖추는데 더욱 박차를 가하고 있다. 또한 2004년도 기준으로 세계 항공 산업의 규모는 부품 등을 제외한 완제기를 기준으로 약 95조원을 기록하고 있으며, 2015년이 되면 이 규모는 약 134조원까지 늘어날 것으로 전망되고 있다. 우리나라 역시 민항기 국제공동개발 사업과 KHP 사업을 지속적으로 추진하고 가운데 이를 위한 고급 기술 인력이 지속적으로 고용되어질 뿐 아니라, 항공 산업 시장 규모도 크게 확대되어 미래의 경제 성장을 위한 성장 동력으로 발전될 것으로 보인다.

이러한 군사적 경제적 중요성에도 불구하고 우리나라 항공 산업, 특히 제작회사에 대한 효율성과 생산성을 분석한 연구는 없었다. 물론 항공 산업의 현황과 구조, 그리고 타 산업에 미치는 파급효과(이기상, 2001)에 대한 분석은 있었지만 전체적인 항공 산업 연구와 더불어 이에 대한 발전 전략에 대해서만 언급하였다. 항공 산업 발전 방안 연구도 다수 있

었지만(박춘배(2002), 신보현(2003), 조태환(2004), 최동환(2001) 등) 대부분이 기술 또는 정책적인 측면에서 다루고 있다. 초기부터 현재까지 우리나라 항공기 제작 산업은 군용기 사업을 주축으로 이루어지고 있기 때문에 항공 산업 발전을 위해서 우리나라 항공기 제작회사의 효율성과 생산성 분석은 필요한 것이다. 그리고 정부에서는 2015년까지 세계 10위권의 항공우주산업국가 도약을 위해 세부 전략을 수립하여 추진 중에 있다. 따라서 추진 전략과 더불어 현재의 항공기 제작회사의 효율성과 생산성을 분석하여 그것을 극대화 하도록 하는 것이 병행되어야 하고 이를 위해서는 우리나라 항공 산업 발전의 선도적 역할을 하는 군용항공기 제작회사의 효율성과 생산성을 분석하는 것이 선행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 군용항공기 제작회사의 효율성 및 생산성을 국제간 비교 분석하기 위하여 DEA(data envelopment analysis, 이하 DEA) 모형을 사용하였다. DEA 모형은 기존의 생산함수를 이용한 모수적(parametric) 방법과는 달리 생산시스템의 비효율성을 고려한 비모수적(non-parametric) 방법을 이용하여 효율성 측정하는 것이다. 이 모형은 최초 비영리단체의 효율성을 측정하기 위하여 개발되었으나 최근 들어 산업체의 효율성과 생산성 측정에도 빠른 속도로 증가하고 있다. DEA 모형을 이용한 기존의 연구들을 살펴보면 Chanda et al.(1998)은 캐나다 섬유회사의 효율성을 비교 분석하였고, Sena(2001)는 이탈리아 제조업의 효율성과 생산성을 측정하였다. 또, 김강정(2004)은 한국-일본 섬유 산업의 효율성과 생산성을 분석하였고, 문승(2004)은 우리나라 자동차 산업 발전을 위하여 효율성과 생산성을 국제적으로 비교 분석하는 등 민간분야의 연구는 활발하게 진행되고 있다. 그러나 방위산업 분야에서는 그렇지가 못하다. 양의준(2005)과 정구호(2005), 이대순(2005)이 각각 미국 및 유럽 그리고 국내 방위산업체의 효율성과 생산성을 분석하였지만 방위산업체 전체에 대한 분석이 이루어진 것으로 조선이나 항공분야와 같은 특정 분야에 대한 연구는 아니었다. 따라서 본 연구의 의의는 방위산업체 중에서 군사적으로나 경제적으로 매우 중요한 군용항공기 제작회사의 효율성과 생산성을 국제적으로 비교 분석한 최초의 연구라 할 수 있다.

연구의 순서는 서론에 이어 제2절에서는 효율성과 생산성의 개념을 알아본 후, 분석에

사용하게 될 DEA(data envelopment analysis, 이하 DEA) 모형과 Malmquist 생산성지수에 대하여 알아본다. 제3절에서는 분석에 필요한 자료, 방법을 소개한 후 분석결과를 제시하고, 제4절에서는 결론과 연구의 발전 방향을 도출한다.

II. 연구의 방법

1. 효율성과 생산성의 개념

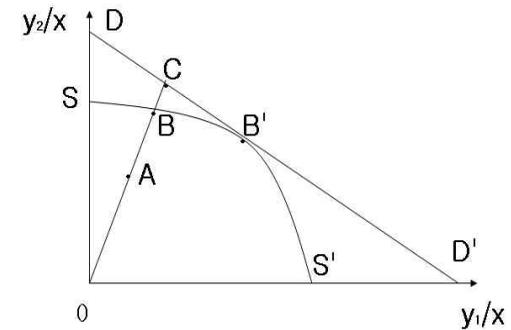
가. 효율성

일반적으로 효율성(efficiency)이란 기업이 보유하고 있는 기술을 활용하여 이용 가능한 투입물로 산출물이나 결과물을 어떻게 창출해 내는가를 표현하는데 주로 사용하였다. 즉, 효율성은 투입물에 대한 산출물의 비율로 정의된다. Lovell(1993)은 생산단위조직의 효율이란 그것의 최적산출에 대한 실제 산출의 비율을 의미하는데 이러한 비율은 주어진 투입으로 달성할 수 있는 최대잠재산출(maximum potential output)에 대한 실제 산출의 비율 또는 주어진 산출을 내는데 필요한 실제 투입에 대한 최소잠재투입(minimum potential input)의 비율로 정의하기도 하였다.

본 연구에서는 Farrell(1957)이 수행한 기술효율성(technical efficiency)에 관한 개념을 사용하기로 한다. Farrell은 기업의 효율성을 주어진 투입요소로부터 최대의 산출물을 생산해 내는 기술효율성(technical efficiency, 이하 TE)과 투입요소의 가격이 주어졌을 때 최적의 비율(optimal proportion)로 생산요소를 결합할 수 있는 가격 효율성 또는 배분 효율성(allocation efficiency, 이하 AE)으로 구분하였다.¹⁾ 또, 이 기술효율성을 바라보는 관점에 따라 투입지향(input oriented) 효율성과 산출지향 효율성(output oriented)으로 구분하였다.²⁾

- 1) 제품 가격보다는 품질(성능)을 중요시하는 방위산업 특성상 배분효율성에 대한 분석은 생략한다.
- 2) 일반적으로 투입지향 모형은 공공기관과 같이 비용최소화를 추구하는 경우에, 산출지향 모형 기업과 같이 이윤극대화를 목표로 하는 경우에 각각 사용한다.

산출지향 효율성은 투입물을 고정시킨 상태에서 산출물을 얼마만큼 증가시킬 수 있는가에 관한 문제이다. 산출지향 효율성을 설명하기 위해서 CRS(constant return to scale, 이하 CRS) 가정 하에서 한 가지 투입요소(x)를 사용하여 두 가지 산출물(y_1, y_2)을 생산하는 기업을 가정하자. <그림 1>에서 SS'는 생산가능곡선이고, DD'는 산출 y_1, y_2 가격이 외생적으로 주어 질 때 동일한 수익을 나타내는 산출물의 조합으로서 동수익선(isorevenue line) 이라고 한다.

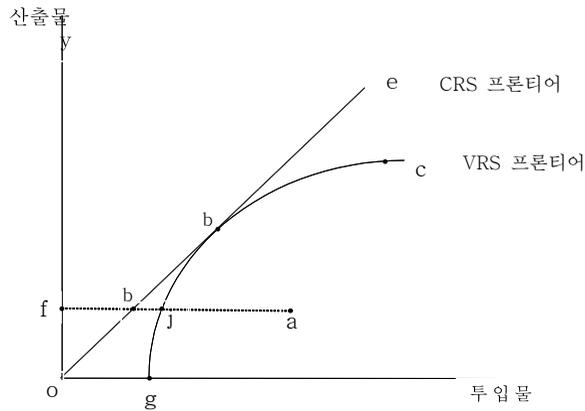


<그림 1> 산출지향 효율성의 개념

원점 o에서 시작하여 A를 통과하는 직선상에 놓인 기업들은 모두 산출물의 비율이 점 A와 동일하다. 이와 같은 상황에서 점 B는 점 A와 동일한 투입량으로 OB/OA 배의 산출물을 생산하고 있으며 기업 A는 비효율적인 기업에 속한다. 따라서 AB는 추가적인 투입물 없이 증가시킬 수 있는 기업 A의 산출량을 의미한다. 그러므로 기업 A의 산출지향 기술효율성은 식(1)과 같이 나타낼 수 있으며, 이 값은 $0 \leq OQ/OP \leq 1$ 의 특성을 갖는다.

$$TE_o = \frac{OA}{OB} = 1 - \frac{AB}{OB} \quad (1)$$

기술효율성은 다시 순수기술효율성(pure technical efficiency, 이하 PTE)과 규모효율성(scale efficiency, 이하 SE)으로 분리할 수 있다. 순수기술효율성은 생산과정에서 얼마나 효율적으로 투입물을 산출물로 전환하는 가를 측정하는 것이다. 규모의 비효율성은 각 기업이 최적의 규모보다 크거나 작게 운영되는 경우에 발생하게 되는데, 규모의 효율성은 IRS(increase return to scale, 이하 IRS), 또는 DRS(decrease return to scale, 이하 DRS)가 존재하는 산출물의 수준과 CRS에서의 최적 산출물 수준을 비교함으로써 구할 수 있다. 순수기술효율성과 규모효율성을 설명하기 위해 <그림 2>와 같이 하나의 투입물(x)을 사용하여 하나의 산출물(y)을 생산하는 기업이 있다고 가정하자. <그림 2>에서 선분 oe는 규모에 의하여 산출이 달라지지 않는 CRS 프론티어³⁾를, gbc는 규모에 따라 수익이 달라지는 VRS(variable return to scale, 이하 VRS) 프론티어를 각각 나타낸다.



<그림 2> 순수기술효율성, 규모의 효율성의 개념

3) 생산가능집합을 나타낸 그래프를 기술(technology) 또는 생산프론티어(production frontier), 프론티어라고 사용한다.

하나의 기업이 <그림 2>의 점 a에서 생산을 하고 있다면 이 기업은 최적의 기술을 이용하여 VRS 프론티어 상의 점 j로 이동하였을 때 효율적으로 될 수 있을 것이다. 따라서 VRS 프론티어와 점 a와의 차이가 발생하는데 이 차이를 순수기술효율성(PTE)이라 하고 식(2)와 같이 나타낸다. 그러나 VRS 프론티어는 프론티어를 구성하는 기업이 규모의 효율성에 있지 않다고 가정하기 때문에, 프론티어 상의 기업이 규모의 효율성에 있다고 가정하고 있는 CRS 프론티어와 규모효율성의 차이가 있으며 이 차이를 규모효율성(SE)라고 하고 식(3)과 같이 표현할 수 있다. 결국 점 a와 VRS 프론티어와는 순수기술효율성의 차이가, VRS 프론티어와 CRS 프론티어 사이에는 규모효율성의 차이가 발생한다.

$$PTE = \frac{fj}{fa}$$

(2)

$$SE = \frac{fk}{fj} \tag{3}$$

기술효율성은 식(4)와 같이 순수기술효율성과 규모효율성의 곱으로 구할 수 있다.

$$TE = PTE \times SE = \frac{fj}{fa} \times \frac{fk}{fj} = \frac{fk}{fa}$$

(4)

나. 생산성

생산성의 개념은 비교시점에 따라 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 동일 시점에서 생산성 비교가 이루어 질 경우를 '정태적 생산성 비교'라 하며 이는 앞에서 설명한 '효율성'으로 불린다. 그리고 서로 다른 시점간의 생산성을 측정하고 이 둘 간의 변화를 한 기업의 생산성 변화로 보는 것을 '동태적 생산성 비교'라 한다. 다시 말해 효율성이 특정 시점의 최적 산출과 실제 산출 또는 최적 투입과 실제 투입의 비율을 관찰하는 것이라면, 생산성은 특정 기간의 투입과 산출의 관계 변화를 관찰하는 것으로 생산성 변화에 초점을 둔다. 생산성의 변화는 효율성 변화 뿐 만 아니라, 비용(또는 생산) 변경선 상 또

는 비용(또는 생산) 변경선 자체의 이동으로 인해 산출 당 비용(또는 투입 당 산출량)이 감소 또는 증가하는 경우를 포함한다. 이러한 생산성은 생산 기술의 차이, 생산과정의 효율성 차이, 생산이 일어나는 환경의 차이에 따라 다르다. 따라서 생산성 분석에서의 핵심은 그것의 차이가 이러한 요인에 의한 것인지 아니면 그 외의 외부요인에 의한 것인지를 밝히는 것이다.

2. 분석모형

가. DEA

DEA 모형은 모든 의사결정단위(decision making unite, 이하 DMU)⁴⁾들이 생산프론티어(production frontier)나 그것의 아래에 놓이도록 하는 비모수적 포락경계를 찾아 이것으로부터 떨어진 정도를 이용하여 각 DMU의 상대적인 효율성을 평가하는 것이다. 즉 일련의 선형계획법을 이용하여 각 DMU의 투입, 산출에 적용하여 효율적 프론티어를 유도하여 상대적인 효율성을 측정한다. 여기서 상대적 효율성의 의미는 DMU를 평가할 때 경험적, 이론적 또는 실험적으로 최고에 달할 수 있는 수준 내지 경계를 정하여 놓고 그 최고점을 평가기준으로 하여 효율성의 정도를 측정하는 것이다. DMU 측정 값 (efficiency score : E)이 만일 E=1이라면 다른 DMU 집합과 비교하여 상대적으로 효율적임을 의미하고, E<1 이라면 상대적으로 비효율적임을 의미한다. 또한 E>1 이라면 비교집합내의 다른 DMU들보다는 더 효율적이라는 것을 의미한다. DEA의 모형은 CRS를 기초로 하는 Charnes, Cooper and Rhodes (1978)의 CCR모형과 VRS를 기초로 하는 Banker, Charnes and Cooper(1984)의 BCC모형이 있다. 또한 바라보는 관점에 따라 투입지향 모형과 산출지향 모형으로 구분할 수 있다.

CCR 모형은 DMU 각각의 투입물 가중 합계에 대한 산출물 가중합계의 비율이 1을

4) DEA에서는 투입을 산출로 변환하는 주체를 DMU라고 부르는데 일반적으로 기업, 병원, 은행 등과 같은 조직을 DMU라고 할 수 있다.

초과해서는 안 되며, 각 투입요소와 산출요소의 가중치들은 0보다 크다는 것을 가정하여 DMU 투입물 가중합계에 대한 산출물 가중합계의 비율을 최대화 시키고자하는 선형분수 계획모형(fractional linear programming model)이다. 이러한 조건하에서 산출지향 기술 효율성을 구하는 공식은 식(5)과 같다. 식(5)에서 h_o 는 평가대상 DMU의 효율성이며 u_r 과 v_i 는 각각 산출물과 투입물에 대한 가중치로 DEA 모형에서 그 값이 결정된다.

$$\begin{aligned} \text{Max}_{u_r, v_i} h_o = & \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{io}} & \text{s.t.} & \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{ri}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}} \\ u_r, v_i \geq 0 & & & \\ i = 1, \dots, m, r = 1, \dots, s, j = 1, \dots, n & & & \end{aligned} \quad (5)$$

그러나 식(5)과 같은 비율형태는 무수히 많은 해를 갖게 되므로 선형계획법을 이용하여 구하기 위해 목적함수에서 분모 값을 1로 하는 제약조건을 추가하여 식(6)과 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Max}_{u, v} & \sum_{r=1}^m v_r Y_{ro} \\ \text{s.t.} & \sum_{r=1}^s u_r Y_{ri} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0 : j=1, 2, \dots, n \\ & \sum_{i=1}^m u_r x_{io} = 1 \\ & u_r, v_i \geq 0 \end{aligned}$$

(6)

식(6)의 선형계획법을 이용하여 효율성을 구하기 위해서는 s+m개의 변수와 n+s+m+1 개의 제약조건을 갖게 되므로 계산 및 해석상 편의를 위해서 원형(primal) 모형인 식(6)을 쌍대(dual) 모형으로 전환하면 식(7)과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
& \text{Min } \alpha_j \\
& \text{s.t. } \sum_{j=1}^j \lambda_j Y_{jn} - Y_{jn} \geq 0 \quad n=1,2,\dots,N \\
& \quad \alpha_j X_{jm} - \sum_{j=1}^m \lambda_j X_{jm} \geq 0 \quad m=1,2,\dots,M \\
& \quad \lambda_j \geq 0 \quad j=1,2,\dots,J
\end{aligned}$$

(7)

식(7)에서 λ_j 는 DMU가 프론티어 구성에 얼마만큼 작용하였는지를 나타내는 가중치 변수이며 α 는 평가대상 DMU의 기술효율성(TE)이 된다.

CCR 모형은 CRS를 가정하고 있지만 실제로는 최적규모에서 생산되고 있지 않는 것이 사실이다. 따라서 VRS를 가정할 필요가 있는데 식(7)의 CCR 모형에 제약조건 $\sum_{j=1}^J \lambda_j = 1$ 을 추가하면 VRS를 가정한 BCC 모형이 되고 식(8)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
& \text{Min } \beta_j \\
& \text{s.t. } \sum_{j=1}^j \lambda_j Y_{jn} - Y_{jn} \geq 0 \quad n=1,2,\dots,N \\
& \quad \beta_j X_{jm} - \sum_{j=1}^m \lambda_j X_{jm} \geq 0 \quad m=1,2,\dots,M \\
& \quad \sum_{j=1}^J \lambda_j = 1 \\
& \quad \lambda_j \geq 0 \quad j=1,2,\dots,J
\end{aligned}$$

(8)

식(8)에서 구한 β 는 순수기술효율성(PTE)으로 CCR 모형에서 구한 기술효율성(TE)에는 규모에 대한 비효율이 포함되어 있기 때문에 기술효율성에서 규모의 비효율을 제거한 값이다. 식(7)과 식(8)의 기술효율성과 순수기술효율성을 이용하여 평가대상 DMU가 얼마나 규모의 경제에 접근하여 경제활동을 하고 있는가, 즉 규모효율성(SE)을 측정할 수 있으며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$SE = TE / PTE = \alpha / \beta$$

(9)

평가대상 DMU가 CRS의 상태에 있으면 SE=1로 규모의 비효율이 존재하지 않으며, SE < 1인 경우에는 IRS 혹은 DRS에서 생산 활동을 하고 있는 것으로 규모에 대한 비효율이 존재한다. CCR 모형에서 DMU를 평가할 경우에 $\sum \lambda > 1$ 이면 DRS, $\sum \lambda < 1$ 이면 IRS, $\sum \lambda = 1$ 이면 CRS 이다.

나. Malmquist 생산성지수

Malmquist 생산성지수는 두 기간(year by year)의 생산성 변화를 기술효율성 변화(technical efficiency change, 이하 TEC)와 기술변화(technical change, 이하 TC)로 구분하여 설명하는 방법이다. Malmquist 생산성지수 개념은 소비이론의 틀 안에서 거리함수의 비율로 투입지수를 계산하고자 했던 스웨덴의 경제학자인 Malmquist(1953)에 의하여 최초로 등장하였다. 이러한 거리함수를 이용하여 Caves, Christensen and Diewert(1982)(이하 CCD)에 의하여 생산이론 측면에서 경제적 해석을 할 수 있도록 생산성지수가 소개되었는데, 이 지수를 Malmquist 생산성지수(Malmquist Productivity Index)라고 정의하였다. 이 후 계산에 사용되는 거리함수를 비모수적 선형계획법인 DEA로 계산할 수 있도록 Färe et al.(1994)이 개발한 이후 생산성 변화 측정에 활발하게 이용되고 있다.

Malmquist 생산성지수는 가격에 관한 정보가 부족하거나 정확하게 추정하기 어려운 경우 또는 생산자의 형태(비용최소화 또는 이윤극대화)에 대한 가정을 부여하기 곤란할 때, 투입과 산출에 관한 정량적인 정보만으로 지수를 계산할 수 있는 모형이다. 또한 Malmquist 생산성지수는 문제를 바라보는 관점에 따라 투입지향 Malmquist 생산성지수와 산출지향 Malmquist 생산성지수로 구분할 수 있다.

생산성 변화에 대한 산출지향 Malmquist 생산성지수를 정의하기 위하여 1개의 투입물(x)로 1개의 산출물(y)을 생산하는 기업을 가정해보자. 이 때 $x^t \in R_+^M, y^t \in R_+^N$ 는 생산에서의 각각 투입물벡터와 산출물벡터이고, 기간 $t=1, 2, 3, \dots, T$ 라고 할 때 생산가능

S^t 집합은 다음과 같다.

$$S^t = \{(x^t, y^t) : x^t \text{는 } y^t \text{를 생산가능}\}, t = 1, 2, \dots, T \quad (10)$$

Färe et al.(1994)은 Shephard 거리함수를 이용하여 t 기의 기술을 이용한 (x^t, y^t) 의 산출물거리함수를 아래와 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned} D_o^t(x^t, y^t) &= \inf\{\theta : (x^t, y^t/\theta) \in S^t\} \\ &= [\sup\{\theta : (x^t, \theta y^t) \in S^t\}]^{-1} \end{aligned} \quad (11)$$

또, t 기의 기술을 이용한 (x^{t+1}, y^{t+1}) 의 산출물거리함수는 다음과 같다.

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

따라서 t 기 기준의 Malmquist 생산성지수를 CCD(1982)정의에 따라 구하면

$$M_o^t = \frac{D_{oc}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^t(x^t, y^t)} \quad (13)$$

이고, $t+1$ 기 기준의 Malmquist 생산성지수는 다음과 같다.

$$M_o^{t+1} = \frac{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^t, y^t)} \quad (14)$$

여기서 M_o^t 와 M_o^{t+1} 은 서로 다른 기술을 이용하여 서로 다른 기간의 생산성 변화를 측정하는 값이므로 식(13)과 식(14)의 기하평균을 이용하여 산출지향 Malmquist 생산성지수를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$M_o^t(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \left[\frac{D_{oc}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^t(x^t, y^t)} \frac{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

Ray와 Desli(1997)(이하 RD)는 기술변화, 순수기술효율성 변화 그리고 규모효율성 변화를 측정하기 위해서 RD Malmquist 생산성지수를 제시하였다. <그림 3>에서 생산시스템 A, B, C, D가 있고 점 A_0 에서부터 점 D_0 까지는 t 기의, 점 A_1 에서부터 점 D_1 까지는

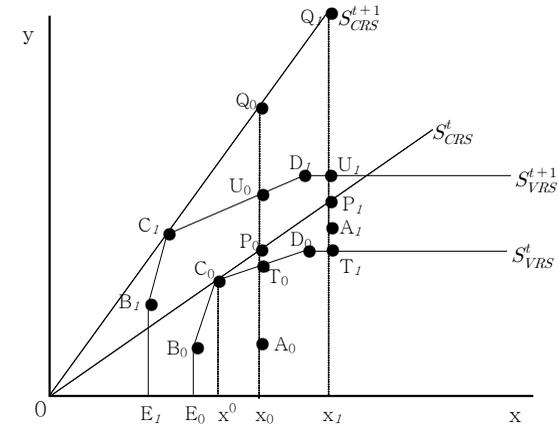
$t+1$ 기의 각 생산시스템의 산출물이라고 하자. 생산시스템 A를 관찰해보면 t 기에 투입물 ox_0 를 투입하여 산출물 A_0x_0 를 생산하였고, $t+1$ 기에는 ox_1 을 투입하여 A_1x_1 을 생산하였다. 이 때 CRS와 VRS에서의 산출물거리함수는 다음과 같다.

$$D_{oc}^t(x^t, y^t) = A_0x_0 / P_0x_0 \quad (16)$$

$$D_{oc}^t(x^{t+1}, y^{t+1}) = A_1x_1 / P_1x_1$$

$$D_{ov}^t(x^t, y^t) = A_0x_0 / T_0x_0 \quad (17)$$

$$D_{ov}^t(x^{t+1}, y^{t+1}) = A_1x_1 / T_1x_1$$



<그림 3> VRS, CRS 에서의 생산가능집합

따라서 식(16), 식(17)을 이용하여 생산 시스템 A의 CRS에서의 생산성지수는 아래와 같다.

$$M_o^t = \frac{D_{oc}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^t(x^t, y^t)} \quad (18)$$

$$M_o^{t+1} = \frac{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^t, y^t)} \quad (19)$$

이제 t기에서 CRS 프론티어와 VRS 프론티어를 비교해 보기로 하자. CRS에서는 생산성은 항상 일정하지만 VRS 경우는 그렇지 않다. T_0 와 T_1 는 모두가 VRS 생산가능집합에 포함되어 있기 때문에 기술적으로는 효율적이지만 생산성에 있어서는 T_0 가 T_1 보다 더 높다. 그리고 t기에서 생산성이 가장 높은 점은 점 C_0 가 되는데 이점을 최적 생산 규모(most productivity scale size, 이하 MPSS)라고 부른다. MPSS에서는 VRS의 생산성과 CRS에서의 생산성은 서로 동일하므로 생산가능집합 한 점에서의 규모효율성은 그 점과 MPSS와의 산출물의 비율로 정의할 수 있으며 아래와 같이 표현가능하다.

$$SE^t(x^t, y^t) = D_{oc}^t(x^t, y^t) / D_{ov}^t(x^t, y^t) \quad (20)$$

$$SE^t(x^{t+1}, y^{t+1}) = D_{oc}^t(x^{t+1}, y^{t+1}) / D_{ov}^t(x^{t+1}, y^{t+1}) \quad (21)$$

식(16)~(21)을 이용한 생산시스템 A의 Malmquist 생산성지수는 다음과 같다.

$$M_o^t(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{D_{ov}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{ov}^t(x^t, y^t)} \frac{SE^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{SE^t(x^t, y^t)} \quad (22)$$

$$M_o^{t+1}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{D_{ov}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{ov}^{t+1}(x^t, y^t)} \frac{SE^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{SE^{t+1}(x^t, y^t)} \quad (23)$$

식(22)와 식(23)의 기하평균을 이용한 RD Malmquist 생산성지수를 나타내면 아래와 같다.

$$M_o^t(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \left[\frac{D_{ov}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{ov}^t(x^t, y^t)} \frac{D_{ov}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{ov}^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

$$\left[\frac{SE^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{SE^t(x^t, y^t)} \frac{SE^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{SE^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

RD는 DEA를 이용하여 Malmquist 생산성지수를 측정하였는데 생산성 변화 요인을 기술효율성의 변화와 시간에 따른 생산기술의 변화(Shift), 즉 기술변화로 분리하였다. Malmquist 생산성지수가 분리된다는 중요한 의미는 기술효율성 변화요인이 분야별 또는 국가별 추격잠재력(catch up potential)을 반영하는 반면에, 기술변화 요인이 혁신잠재력(innovation potential)을 반영한다는 사실이다. 식(24)의 첫 번째 줄을 아래와 같이 분해할 수 있다.

$$\left[\frac{D_{ov}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{ov}^t(x^t, y^t)} \frac{D_{ov}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{ov}^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

$$= \left[\frac{D_{ov}^t(x^t, y^t)}{D_{ov}^{t+1}(x^t, y^t)} \frac{D_{ov}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{ov}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{D_{ov}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{ov}^t(x^t, y^t)} \right]$$

식(25)에서 아래 줄 첫 번째 대괄호([])는 t기와 t+1기의 기하평균으로 나타낸 기술변화를, 두 번째 대괄호는 순수기술효율성 변화를 나타낸다. 또 식(24)의 두 번째 줄에서는 규모효율성을 정의하였다. 결국 RD Malmquist 생산성지수는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Malmquist 생산성지수} &= \text{기술변화} \times \text{기술효율성변화} \\ &= \text{기술변화} \times \text{순수기술효율성변화} \times \text{규모효율성변화} \end{aligned}$$

$$M_o^t(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \left[\frac{D_{ov}^t(x^t, y^t)}{D_{ov}^{t+1}(x^t, y^t)} \frac{D_{ov}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{ov}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{D_{ov}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{ov}^t(x^t, y^t)} \right] \quad (26)$$

$$\left[\frac{SE^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{SE^t(x^t, y^t)} \frac{SE^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{SE^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

기술변화는 주어진 투입물에 대하여 생산이 얼마나 변화하였는지(shift)를 나타내므로 ‘Innovation’이라는 표현을 사용하며, 기술효율성 변화는 최대생산가능 기술에 대하여 실제 생산 기술이 얼마나 가깝게 접근하였느냐를 나타내기 때문에 ‘Catching-up’이라는 표현을 각각 사용한다.

Malmquist 생산성지수는 시간이 흐름에 따라 생산성이 증가하면 1보다 큰 값을 갖고, 생산성이 하락하면 1보다 작은 값을 갖게 되며 그 값이 1이면 생산성 변화가 없음을 의미한다. 효율성 변화지수와 기술변화지수 또한 동일한 방식으로 해석할 수 있다. 그러나 생산성이 증가했음에도 불구하고 기술이 퇴보하거나(효율성의 증가가 기술 퇴보를 압도하는 경우) 또는 효율성의 감소(기술진보가 효율성의 감소를 압도하는 경우)가 일어나는 경우가 있을 수 있다. 마찬가지로 생산성이 감소했다 하더라도 기술진보 또는 효율성 증가를 수반하는 경우도 발생한다. 따라서 비효율이 존재하는 실제 경제 상황에서 생산성의 변화 요인을 효율성과 기술로 분리할 수 있는 것이 Malmquist 생산성지수의 장점이다.

III. 실증분석

1. 분석자료 및 변수

본 연구의 분석대상은 한국 및 해외 방위산업체 중에서 완성된 군용항공기(고정의 및 회전익 항공기)를 생산하는 주요 군용항공기기 제작회사 10개를 선정하였다. 분석 대상

기업은 미국의 보잉(Boeing), 록히드마틴(Lockheed Martin), 노드롭그루먼(Northrop Grumman), 시콜스키(Skolosky), 유럽에서는 영국의 Bae, 프랑스의 다쏘(Dassault), EADS의 유로콥터(Eurocopter) 및 Military Transport Aircraft(MTAC), 스웨덴의 사브(Saab) 그리고 한국의 한국항공우주산업(KAI)이다. 각각의 군용항공기 제작회사를 DMU로 가정하고 2000년부터 2005년까지 각 년도 별 투입변수와 산출변수를 가지고 DEA를 이용하여 년도 별 정태적 효율성과 두 기간에 걸친 동태적 생산성을 분석하였다.

분석에 이용한 변수로는 투입변수로 총자산과 종업원 수를, 산출변수로는 총매출액으로 정하였다.⁵⁾ 기업은 자본(K)과 노동(L)을 투입하여 제품을 만들고 그것을 판매하여 매출액이 결정되기 때문에 자본은 회사의 총자산으로, 노동의 규모는 종업원 수로 결정할 수 있다. 산출변수로는 회사의 일차적인 목표가 이윤추구라는 점도 있지만 항공 산업이 장기적인 규모의 경제성을 추구해야 한다는 관점에서 총매출액을 선정하였다.

2. 분석결과

<표 1>은 CRS 가정하의 CCR 모형과 VRS 가정하의 BCC 모형을 이용하여 분석대상 기업의 효율성을 분석한 결과로 분석기간 동안 기술효율성(TE), 순수기술효율성(PTE) 그리고 규모효율성(SE)의 전체 평균값을 나타낸 것이다.

DMU	회사명	기술효율성 (TE)	순수기술효율성 (PTE)	규모효율성 (SE)
DMU 1	보잉	0.9077	0.9912	0.9151
DMU 2	록히드마틴	0.8699	0.8763	0.9916

5) 기업 전체 총자산, 종업원 수, 총매출액 중에서 군용항공기 제작 분야 내용만 추출하여 투입 및 산출 변수로 사용하였다.

DMU 3	노드럽그루먼	0.8290	0.8487	0.9767
DMU 4	시콜스키	0.7424	0.7866	0.9425
DMU 5	BAE	0.8720	0.9698	0.8956
DMU 6	다쏘	0.8344	0.8908	0.9361
DMU 7	사브	0.4379	0.6633	0.6799
DMU8	유로콥터	0.6275	0.6611	0.9528
DMU 9	EADS ⁶⁾	0.6419	0.9295	0.7057
DMU 10	한국항공 우주산업	0.6233	1.0000	0.6233
평 균		0.7386	0.8617	0.8619

<표 1> 효율성 분석 결과

분석대상 기업의 기술효율성 평균값은 73.86%로 약 26%의 비효율성이 존재함을 알 수 있다. 즉, 효율적으로 사업을 영위했다면 동일한 산출물을 생산하면서 약 26% 정도의 투입량을 절감할 수 있었을 것이다. 분석결과를 기업별로 살펴보면 미국기업의 경우에는 보잉, 록히드마틴, 노드럽그루먼 그리고 시콜스키가, 유럽기업은 BAE와 다쏘가 평균 이상으로 나타났고 한국항공우주산업은 약 38%의 비효율이 발생하고 있는 것으로 측정되었다.

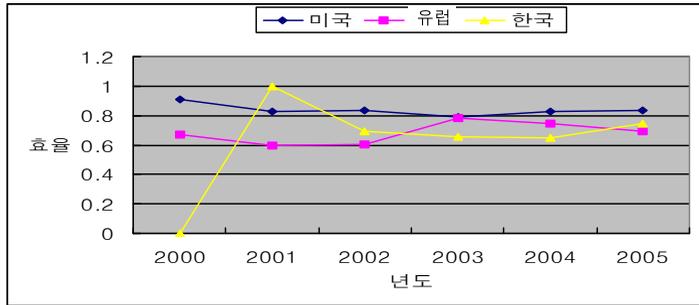
기술효율성은 순수기술효율성과 규모효율성으로 분해하여 비효율의 원인을 알아볼 수 있다. 순수기술효율성은 각 군용항공기 제작회사의 규모의 차이로 인하여 발생하는 비효율성이 없다는 전제하에, 오로지 주어진 투입으로 보다 많은 산출량을 얻어낼 수 있었는지의 여부만을 측정한다. 즉, 각 기업의 주어진 기술 여건 하에서 투입-산출 비율을 높게 할 수 있었는지가 측정 목적이 된다. 순수기술효율성의 경우 분석대상 전체적으로 평

6) EADS 그룹의 Military Transport Aircraft(MTAC)

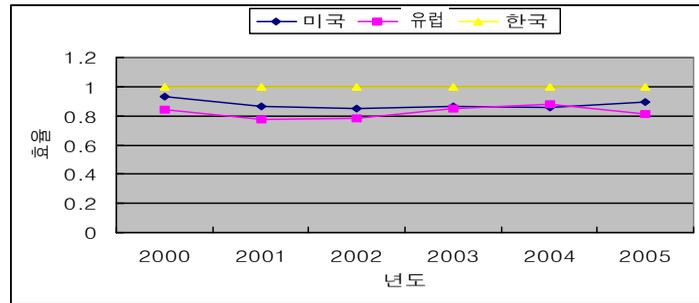
균 86.17%의 효율성을 보이고 있다. 이는 규모가 크고 작음에 따른 효율성 격차를 고려하지 않고서라도 순수 기술적 측면에서 약 14%의 투입감소여지가 있었음을 보여준다. 제작회사별 결과는 미국의 보잉과 록히드마틴, 유럽에서는 BAE, 다쏘 그리고 EADS, 한국의 한국항공우주산업이 평균이상으로 나타났다. 특히 한국항공우주산업의 경우, 분석대상 전체 평균보다 훨씬 높게 나타났을 뿐만 아니라, 주어진 기술여건으로 가장 높은 투입-산출 비율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 규모효율성은 기술에 상관없이 제작회사가 최적의 규모에 도달하지 못해서 나타나는 규모의 비효율을 구별하는 것으로, 전체 평균은 86.19%의 효율성을 나타내고 있다. 기업별로는 미국의 4개 회사와 유럽의 BAE, 다쏘, 유로콥터가 평균보다 높게 나타났으나, 유럽의 사브, EADS 그리고 한국의 한국항공우주산업은 평균보다 낮게 나타났다. 규모효율성이 순수기술효율성보다 높게 나타난 회사들의 비효율의 원인은 회사 내의 항공기 제작시스템의 비효율적인 운영에 기인했다고 볼 수 있다. 반면에 규모효율성이 순수기술효율성보다 낮게 나타난 국가들의 비효율의 원인은 항공기 제작시스템의 규모가 상대적으로 작기 때문이라고 볼 수 있다. 후자의 경우 시스템의 규모를 늘림으로써 효율을 증가시킬 수 있다. 즉, 규모의 경제효과를 활용해야 한다. 예를 들면 한국항공우주산업의 경우 군용항공기 제작시스템의 평균 순수기술효율성은 100% 으로 매우 높은 반면에, 규모효율성은 62.33% 으로 가장 작은 값을 나타내고 있다. 따라서 이 회사의 비효율의 원인은 그것의 비효율적인 운영에 기인했다고 보다는 규모가 작은 것에 기인했다고 볼 수 있으며, 대규모 투자 등을 통하여 규모를 확장함으로써 효율성의 개선여지가 있다고 볼 수 있다.

<그림 4>와 <그림 5>는 한국, 미국, 유럽의 기술효율성과 순수기술효율성의 각 국가별 기업 전체 평균값 변화 추이를 나타낸 것이다. 우선 기술효율성 변화 추세를 살펴보면 미국 기업들이 전반적인 안정세를 보이는 가운데 유럽과 한국보다는 우수한 효율성을 보이고 있다. 한국의 경우에는 한국항공우주산업이 최초로 설립되었던 2000년에는 효율성이 매우 낮았지만 다음해에는 급격한 상승을 나타내었다가 이후에는 일정한 값을 유지하지만 가장 낮은 값을 유지하고 있는 상황이다. 이는 한국항공우주산업이 몇 개 회사가

합병됨으로써 초기에는 효율성을 발휘하는데 어려움이 있었으나 차츰 합병의 효율성을 나타내고 있는 것으로 볼 수 있다.



<그림 4> 한국, 미국, 유럽의 기술효율성(TE) 변화



<그림 5> 한국, 미국, 유럽의 순수기술효율성(PTE) 추세

한편 순수기술효율성은 분석대상 회사가 전체적으로 안정세를 보이고 있는데, 이는 규

모에 관계없이 주어진 기술을 이용하여 효율성을 발휘하고 있는 것으로 평가된다. 한국의 한국항공우주산업이 각 년도 별로 미국과 유럽의 기업의 평균값 보다 높은 효율성을 나타내고 있는데, 이는 규모효율성을 배제한 값이므로 보유한 기술을 이용하여 다른 국가의 기업보다 상대적으로 높은 효율성을 보이고 있다고 할 수 있다.

여기에서 주목해야 할 점은 현재 기업 규모에서의 효율성만 고려한다면 순수기술효율성에 의한 측정 방법이 좋을 것이나, 장차 기업의 장기적인 효율성 측면을 고려한다면 규모효율성까지 포함한 기술효율성 결과에 더 큰 비중을 두어야 할 것이다. <표 2>는 각 기업의 년도 별 규모수익의 특성을 분석한 결과이다.

DMU \ 년도	2000	2001	2002	2003	2004	2005
보잉	DRS	CRS	CRS	DRS	DRS	DRS
록히드마틴	DRS	DRS	IRS	CRS	CRS	CRS
노드럽그룹	IRS	DRS	IRS	DRS	DRS	IRS
시콜스키	DRS	DRS	IRS	DRS	DRS	IRS
BAE	CRS	CRS	IRS	CRS	IRS	IRS
다소	CRS	DRS	IRS	DRS	DRS	IRS
사브	IRS	IRS	IRS	IRS	IRS	IRS
유로콥터	DRS	DRS	IRS	DRS	DRS	IRS
EADS	DRS	IRS	IRS	CRS	CRS	IRS

한국항공우주산업	IRS	CRS	IRS	IRS	IRS	IRS
----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

<표 2> 규모수익 분석결과

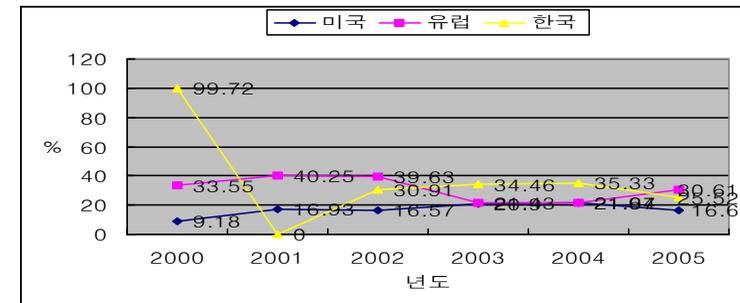
사브와 한국항공우주산업은 대체로 IRS의 특성을 보인 반면, 나머지 회사들은 대체로 DRS의 특성을 보였다. 특히, 규모효율성이 가장 높은 록히드마틴의 경우 규모수익의 특성이 매우 다양하게 나타나고 있는데 이것은 최적산출규모에 거의 도달한 록히드마틴의 규모수익 특성을 구분하는 기준 값 근처에서 아주 작은 차이로 변동하기 때문이다. 일반적으로 IRS 특성을 보인 기업들의 경우에는 기업의 규모를 확장함으로써 규모효율성의 개선할 여지가 있는 반면에, DRS 특성을 보인 기업의 경우에는 그 규모를 줄임으로써 효율성을 개선할 여지가 있다. 따라서 기업규모에서 산출의 부족분 또는 투입의 초과분을 구해 적정 산출 또는 투입의 목표를 설정하고, 이를 달성하도록 노력할 필요가 있다. <표 3>은 각 회사의 실제 산출량과 최적산출규모의 비율, 즉 기술효율성이 1이 되기 위해 필요한 최적 산출규모의 평균 부족율을 나타낸 것이다.

DMU	년도						평균
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
보잉	2.64	0	0	15.13	15.62	22.01	9.23
록히드마틴	21.07	26.71	30.28	0	0	0	13.01
노드럽그루먼	6.04	22.36	20.64	24.35	9.77	11.13	15.71
시콜스키	6.97	18.65	15.35	44.12	62.50	33.26	30.14
BAE	0	0	30.59	0	22.35	10.36	10.55

다쏘	0	28.55	13.84	19.16	10.34	23.14	15.84
사브	64.42	70.70	63.99	58.58	39.97	39.66	56.22
유로콥터	32.42	44.35	49.78	29.39	35.53	32.02	37.25
EADS	69.40	57.64	39.93	0	0	47.87	35.81
한국항공우주산업	99.72	0	30.91	34.46	35.33	25.52	37.66

<표 3> 평균 산출 부족율(단위 : %)

기술효율성이 높은 보잉, 록히드마틴, 노드럽그루먼, BAE, 다쏘의 평균 산출 부족율은 비교적 낮은 반면에 기술효율성이 낮은 시콜스키, 사브, 유로콥터, EADS 그리고 한국항공우주산업은 평균 산출 부족율이 매우 높게 나타났다. <그림 6>은 한국, 미국, 유럽 기업의 평균 산출 부족율을 년도별 변화 추세를 나타낸 것이다.



<그림 6> 한국, 미국, 유럽의 평균 산출부족율 추세

미국 기업의 평균 산출 부족율은 가장 낮은 값에서 거의 일정한 상태의 변화를 보이고 있으며, 유럽 기업의 경우에는 일정하지만 미국 기업보다 높은 값을 보이다가 2003년부터는 미국 기업과 거의 비슷한 수준을 나타내고 있다. 반면, 한국의 경우에는 한국항공우주산업의 초기 사업이 안정화 되는 시기를 제외하고는 다른 나라의 평균치 보다 매우 높게 나타나고 있는데, 이 결과는 총자산과 인원수를 투입하여 얻을 수 있는 산출 값과 실제 산출 값과의 비율이 크다는 이야기가 된다. 따라서 이러한 비효율이 발생하는 원인을 발견하고 효율성을 증가시킬 수 있는가에 대하여 면밀하게 검토해야 할 것이다.

<표 4>는 분석기간 동안 각 기업의 기간별 기술변화(TC), 기술효율성변화(TEC) 그리고 Malmquist 생산성지수(MPI) 변화의 분석기간 동안 평균값을 나타낸 것이다. 세 가지 지수 모두 변화 값이 1보다 크면 증가를 의미하고, 그 값이 1보다 작으면 감소를 의미한다. 예를 들어 기술효율성 변화지수가 0.9라면 효율이 10% 감소했다는 의미이고, 반대로 1.1이라면 효율이 10% 증가했다는 것을 의미한다.

다쏘	1.0749	0.9590	1.0301
사브	1.0108	0.9472	0.9318
유로콥터	1.0944	1.0262	1.1163
EADS	0.9475	1.0558	0.9760
한국항공우주산업	4.9654	0.8955	4.5335
평 균	1.4274	0.9816	1.3769

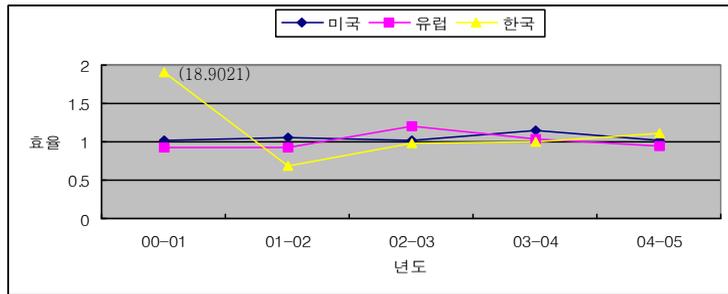
비교 DMU	기술변화 (TC)	기술효율성변화 (TEC)	MPI
보잉	0.9964	0.9767	0.9749
록히드마틴	1.0626	1.0588	1.1205
노드럽그루먼	1.0953	0.9939	1.0855
시콜스키	1.0797	0.9456	1.0205
BAE	0.9473	1.0234	0.9797

<표 6> 생산성 분석 결과

분석결과 분석 대상의 생산성이 평균적으로 증가(37.69%)한 것으로 나타났고, 그것의 원동력은 효율개선보다는 기술혁신인 것으로 나타났다. 즉, 분석대상 기업의 군용항공기 제작시스템의 기술진보가 주로 생산성 향상에 영향을 주었다는 것을 알 수 있다. 미국 기업은 록히드마틴, 노드럽그루먼, 시콜스키가, 유럽 기업의 경우에는 다쏘와 유로콥터가 한국의 한국항공우주산업이 평균생산성이 증가한 것으로 나타났다. 특히 한국의 한국항공우주산업의 경우는 생산성이 다른 나라의 기업보다 매우 높게 나타났는데(453.35%) 그 이유는 한국항공우주산업이 창립된 다음해(2001)에 기술혁신 매우 높게 이루어진 것으로 판단 된다. 그러나 기술효율성변화가 전체 평균보다 낮은 것으로 나타났는데 이는 기술변화는 계속해서 이루어져 온 반면 효율성은 그다지 크게 발전하지는 못하고 있다고

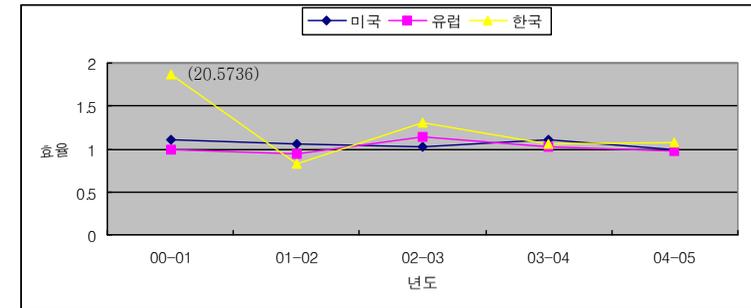
볼 수 있다.

<그림 7>~<그림 9>은 년도별 한국, 미국, 유럽의 Malmquist 생산성지수 변화, 기술 변화, 기술효율성 변화 추세를 나타낸 것이다.



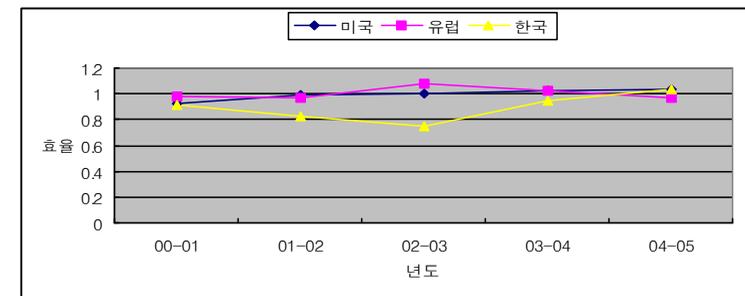
<그림 7> 한국, 미국, 유럽의 Malmquist 생산성 변화 추세

<그림 7>에서 Malmquist 생산성지수 변화 추세를 보면 상대적으로 효율성이 높은 미국 기업과 효율성이 그다지 높지는 않지만 꾸준한 안정된 상태를 보이고 있는 유럽 기업에 비하여 기술효율의 변화가 가장 큰 한국의 경우는 생산성변화지수가 초기에 급격히 변화하였다가 꾸준히 증가하고 있는 것으로 나타났다.



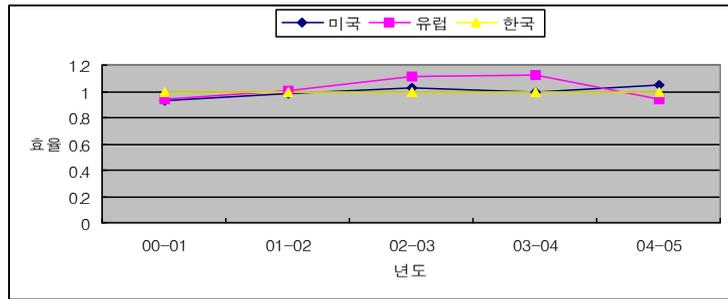
<그림 8> 한국, 미국, 유럽의 기술변화의 추세

<그림 8>과 <그림 9>를 보면 Malmquist 생산성지수 변화의 요인이 어디에서 기인한 것인지 판단할 수가 있다. 한국의 경우에는 Malmquist 생산성지수변화가 큰 폭으로 변한 이유는 기술효율성의 변화이기 보다는 기술변화, 즉, 기술진보를 통한 생산성 증대를 가져왔기 때문인 것으로 볼 수 있다.

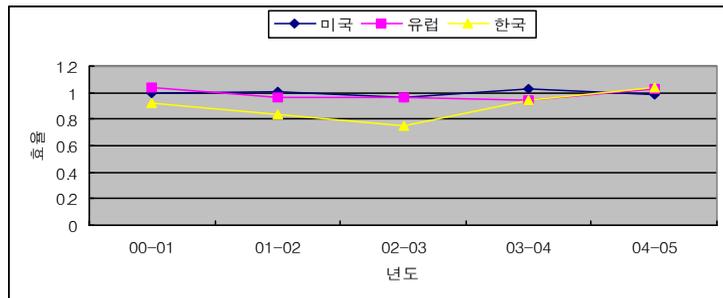


<그림 9> 한국, 미국, 유럽의 기술효율성변화의 추세

기술효율성 변화는 순수기술효율성 변화와 규모효율성 변화로 구분할 수가 있다. <그림 9-a>과 <그림 9-b>는 기술효율성 변화를 순수기술효율성 변화와 규모효율성 변화로 구분하여 나타낸 것이다.



<그림 9-a> 한국, 미국, 유럽의 순수기술효율성변화의 추세



<그림 9-b> 한국, 미국, 유럽의 규모효율성변화의 추세

<그림 9-a>에서 순수기술효율성 변화를 살펴보면 한국은 분석 기간 동안 효율성의 변화 없이 일정한 값을 보이고 있는 반면, 미국은 점진적으로 향상되고 있고 유럽의 경우에는 상대적으로 변화가 가장 크다. 또한 <그림 9-b>의 규모효율성은 미국과 유럽은 일정한 값을 갖는 반면에 한국의 경우에는 그 변화 값이 가장 낮지만, 점진적으로 향상되고 있는 것으로 나타났다. 따라서 한국의 경우 Malmquist 생산성지수를 향상시키기 위해서는 기술진보 보다는 기술효율성을 향상시켜야하고, 기술효율성을 향상시키기 위해서는 규모 효율성을 증가시켜야 할 것으로 판단된다. 즉, 생산성을 향상시키기 위해서는 최적규모의 생산이 이루어지기 위하여 생산 규모를 증가시켜야 할 것으로 본다

IV. 결론

항공 산업은 현대전에 있어 가장 중요한 항공 전력을 생산하는 기반이 되는 산업으로 국가안보에 필수적인 것이며, 세계적으로나 국내적으로 경제적 가치가 매우 높은 산업 분야 중 하나이다. 따라서 우리나라 항공 산업 발전의 밑거름이 되는 군용항공기 제작회사의 효율성과 생산성을 분석하여 항공선진국과 경쟁할 수 있는 전략을 세우는 것이 필요하다. 이러한 배경으로 본 연구는 한국 및 해외의 완성된 군용항공기(고정익 또는 회전익 항공기)를 제작하는 회사를 대상으로 2000년부터 2005년 사이 효율성과 생산성을 분석하였다. 비모수적 선형계획법인 DEA 모형을 이용하여 정태적인 효율성과 동태적인 생산성을 측정하였으며 생산성은 Malmquist 생산성지수로 표현하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 분석 기간 동안 분석 대상이 된 군용항공기 제작사의 기술효율성은 평균적으로 73.86%로 나타났다. 전반적으로 미국의 군용항공기 제작사가 유럽 및 한국의 그것보다 보다 효율적인 것으로 나타났다. 유럽의 경우는 2003년 이후로는 향상되어 미국보다 효율성이 높은 것으로 측정되었고 한국의 경우에는 한국항공우주산업이 설립된 이후 괄목한 만한 효율성을 성장을 이루었지만 전반적으로 미국이나 유럽보다 효율성은 떨어지는

것으로 나타났다.

둘째, 기술효율성이 떨어지는 이유를 살펴보기 위하여 순수기술효율성과 규모효율성으로 구분한 결과, 미국의 경우에는 순수기술효율성이 비효율적이기 때문에 유럽의 경우에도 순수기술효율성과 규모효율성의 비효율이 거의 비슷하나 순수기술효율성이 떨어지기 때문에 기술효율성이 떨어지는 것으로 평가되었다. 그러나 한국의 경우에는 순수기술효율성은 분석대상 기업 중에서 가장 높은 편이나 규모효율성이 가장 떨어지기 때문에 기술효율성이 떨어지는 것으로 평가되었고, 효율성을 향상시키기 위해서는 규모를 확장시킬 필요가 있다고 볼 수 있다.

셋째, 분석대상의 생산성 분석결과는 전체적으로 증가(37.69%) 한 것으로 측정되었는데 생산성 증가 원인은 효율개선 보다는 기술혁신인 것으로 나타났다. 미국과 유럽이 생산성에 안정세를 보이고 있는 가운데 미국의 생산성이 높은 것으로 측정되었으며 한국의 경우에는 초기에 급격한 변화를 보이다가 차츰 안정되어 가나 미국과 유럽에 비해서는 생산성이 낮게 나타났다.

넷째, 생산성 변화요인이 어느 것인지를 판단하기 위해서 기술효율성의 변화보다는 기술 변화, 즉 기술진보가 꾸준히 이루어진 결과라고 볼 수 있다. 한국의 경우에는 기술 변화는 꾸준히 이루어져 왔지만 기술효율성이 변화 때문에 생산성의 저하가 있었는데 기술효율성 중에서도 규모효율성 변화가 크게 나쁜 것으로 나타났다. 따라서 생산성을 향상시키기 위해서는 규모를 확장할 필요가 있다고 여겨진다.

마지막으로 본 연구의 대상기업은 미국과 유럽의 항공선진국의 기업들로 우리나라 기업과 비교해서 기술적으로나 시장규모가 매우 앞서 있다. 따라서 보다 정확한 비교 분석을 위해서는 관련 자료의 수집에 제약이 있더라도 기술력이나 규모가 우리나라 기업과 비슷한 해외 기업을 선정하여 분석하는 것이 필요하다고 본다.

<참 고 문 헌 >

가. 국 문

- 박수동 · 홍순기(2004), “비모수적 방법을 이용한 OECD 국가별 R&D 효율성과 생산성 분석”, 「기술혁신학회지」, 제11권 제2호, pp 151-174.
- 산업자원부(2005), 「2015 산업발전 비전과 전략」
- 최문경(2006), “외환위기 이후 은행산업의 생산성 변화”, 「생산성논집」, 제20권 제1호, pp 23-47.
- 한국항공우주산업진흥협회(2004), 「세계의 항공우주산업」

나. 영 문

- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis," *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Caves, D. W., L. R. Christensen and W. E. Diewert (1982), "The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity," *Econometrica* 50:6 (November), 1393-1414.
- Charnes, A., Clark, T., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). "Measuring the efficiency of decision-making units," *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Farrell, M. J(1957), "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society*, A CXX, Part 3.
- Färe, R., and S. Grosskopf (1992), "Malmquist Productivity Indexes and Fisher Ideal Indexes," *Economic Journal* 102:410 (January), 158-60.
- Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris and Z. Zhang (1994), "Productivity Growth,

Technical Progress and Efficiency Change in Industrialized Countries," *American Economic Review* 84:1 (March), 66-83.

Färe, R., S. Grosskopf and P. Roos (1998), "Malmquist Productivity Indexes: A Survey of Theory and Practice," in R. Färe, S. Grosskopf and R. R. Russell, eds., *Index Numbers: Essays in Honour of Sten Malmquist*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Grifell-Tatjé, E., and C. A. K. Lovell (1999), "A Generalized Malmquist Productivity Index," *Top* 7:1 (June), 81-101.

Grifell-Tatjé, E., and C. A. K. Lovell (2000), "Cost and Productivity," *Managerial and Decision Economics* 21:1 (January/February), 19-30.

Lovell, C. A. K. (1996), "Applying Efficiency Measurement Techniques to the Measurement of Productivity Change," *Journal of Productivity Analysis* 7, 329-340.

Lovell, C. A. K., S. Richardson, P. Travers, and L. L. Wood. (1994), "Resources and Functionings : A New View of Inequality in Australia, In W. Eichhorn (ed.), *Models and Measurement of Welfare and Inequality*. Berlin: Springer-Verlag, 787-807.

Malmquist, S. (1953), "Index Numbers and Indifference Surfaces," *Trabajos de Estadística* 4, 209-242.

Ray, S. C., and E. Desli (1997), "Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in Industrialized Countries: Comment," *American Economic Review* 87:5 (December), 1033-39.

Shephard, R. W. (1970), *The Theory of Cost and Production Functions*. Princeton: Princeton University Press.

Sipri year book(2005), "Armaments, Disarmament and International Security," Oxford university press.

<부 록 >

1. 각 DMU 별 투입 및 산출 변수

년도	회사명	DMU	총자산 (백만달러)	종업원수(명)	총매출 (백만달러)
2000년	보잉	T0 DMU 1	2,950	44,100	11,924
	록히드마틴	T0 DMU 2	3,173	22,200	4,885
	노드럽그루먼	T0 DMU 3	2,238	12,000	3,150
	시콜스키	T0 DMU 4	7,750	18,994	4,992
	BAE	T0 DMU 5	170	13,100	3,628
	다쏘	T0 DMU 6	5,868	11,419	3,243
	사브	T0 DMU 7	514	4,146	411
	유로콥터	T0 DMU 8	6,093	23,091	4,377
	EADS	T0 DMU 9	250	3,458	294
	한국항공우주산업	T0 DMU 10	628	1,259	1
2001년	보잉	T1 DMU 1	2,162	40,200	12,451
	록히드마틴	T1 DMU 2	3,017	23,000	5,355
	노드럽그루먼	T1 DMU 3	2,088	12,000	3,001
	시콜스키	T1 DMU 4	7,724	18,772	5,292
	BAE	T1 DMU 5	316	12,400	3,348
	다쏘	T1 DMU 6	6,051	12,022	3,058
	사브	T1 DMU 7	553	4,121	384
	유로콥터	T1 DMU 8	6,334	24,230	4,464
	EADS	T1 DMU 9	501	3,573	482
	한국항공우주산업	T1 DMU 10	930	1,477	545

2002년	보잉	T2 DMU 1	2,232	40,700	13,990
	록히드마틴	T2 DMU 2	2,835	27,000	6,471
	노드럽그루먼	T2 DMU 3	2,173	12,000	3,273
	시콜스키	T2 DMU 4	8,005	19,145	5,571
	BAE	T2 DMU 5	831	20,500	3,615
	다쏘	T2 DMU 6	6,995	12,169	3,604
	사브	T2 DMU 7	814	4,379	542
	유로콥터	T2 DMU 8	4,372	25,547	4,410
	EADS	T2 DMU 9	730	3,593	742
	한국항공우주산업	T2 DMU 10	1,029	2,557	607
2003년	보잉	T3 DMU 1	3,033	41,459	10,763
	록히드마틴	T3 DMU 2	2,503	28,600	10,206
	노드럽그루먼	T3 DMU 3	2,244	13,400	3,847
	시콜스키	T3 DMU 4	8,478	24,000	5,782
	BAE	T3 DMU 5	973	19,400	4,351
	다쏘	T3 DMU 6	7,942	11,950	4,165
	사브	T3 DMU 7	1,157	4,160	708
	유로콥터	T3 DMU 8	5,228	18,031	5,273
	EADS	T3 DMU 9	1,200	3,428	1,478
	한국항공우주산업	T3 DMU 10	1,108	2,654	750

2004년	보잉	T4 DMU 1	2,955	39,946	11,394
	록히드마틴	T4 DMU 2	2,579	27,800	11,785
	노드럽그루먼	T4 DMU 3	2,201	13,400	4,742
	시콜스키	T4 DMU 4	1,965	8,978	2,506
	BAE	T4 DMU 5	1,710	15,700	4,287
	다쏘	T4 DMU 6	8,818	12,040	4,712
	사브	T4 DMU 7	1,152	3,832	1,028
	유로콥터	T4 DMU 8	5,767	18,260	5,279
	EADS	T4 DMU 9	1,579	3,873	1,776
	한국항공우주산업	T4 DMU 10	1,264	2,340	694
2005년	보잉	T5 DMU 1	3,848	38,624	11,444
	록히드마틴	T5 DMU 2	3,061	26,800	11,672
	노드럽그루먼	T5 DMU 3	2,305	14,500	5,612
	시콜스키	T5 DMU 4	2,592	9,640	2,802
	BAE	T5 DMU 5	1,417	16,200	4,843
	다쏘	T5 DMU 6	9,239	12,082	4,044
	사브	T5 DMU 7	1,149	3,680	967
	유로콥터	T5 DMU 8	4,808	12,793	3,788
	EADS	T5 DMU 9	1,937	3,963	900
	한국항공우주산업	T5 DMU 10	1,274	1,641	532

출처 : 회사별 Annual Report 2000 ~ 2005

2. 년도 별 기술효율성, 순수기술효율성 및 규모효율성

년도	회사명	DMU	기술효율성 (TE)	순수기술효율성(PTE)	규모효율성 (SE)
2000년	보잉	T0 DMU 1	0.9736	1.0000	0.9736
	록히드마틴	T0 DMU 2	0.7893	0.8058	0.9796
	노드럽그루먼	T0 DMU 3	0.9396	0.9592	0.9795
	시콜스키	T0 DMU 4	0.9303	0.9499	0.9793
	BAE	T0 DMU 5	1.0000	1.0000	1.0000
	다쏘	T0 DMU 6	1.0000	1.0000	1.0000
	사브	T0 DMU 7	0.3559	0.4795	0.7423
	유로콥터	T0 DMU 8	0.6758	0.6900	0.9795
	EADS	T0 DMU 9	0.3061	1.0000	0.3061
	한국항공우주산업	T0 DMU 10	0.0028	1.0000	0.0028
2001년	보잉	T1 DMU 1	1.0000	1.0000	1.0000
	록히드마틴	T1 DMU 2	0.7329	0.7476	0.9803
	노드럽그루먼	T1 DMU 3	0.7764	0.7938	0.9780
	시콜스키	T1 DMU 4	0.8135	0.9027	0.9012
	BAE	T1 DMU 5	1.0000	1.0000	1.0000
	다쏘	T1 DMU 6	0.7145	0.8074	0.8850
	사브	T1 DMU 7	0.2930	0.4907	0.5971
	유로콥터	T1 DMU 8	0.5565	0.5920	0.9400
	EADS	T1 DMU 9	0.4234	1.0000	0.4234
	한국항공우주산업	T1 DMU 10	1.0000	1.0000	1.0000

2002년	보잉	T2 DMU 1	1.0000	1.0000	1.0000
	록히드마틴	T2 DMU 2	0.6973	0.7047	0.9895
	노드럽그루먼	T2 DMU 3	0.7935	0.8349	0.9503
	시콜스키	T2 DMU 4	0.8465	0.8668	0.9766
	BAE	T2 DMU 5	0.6941	1.0000	0.6941
	다쏘	T2 DMU 6	0.8616	0.9056	0.9514
	사브	T2 DMU 7	0.3601	0.5120	0.7033
	유로콥터	T2 DMU 8	0.5022	0.5085	0.9877
	EADS	T2 DMU 9	0.6008	1.0000	0.6008
	한국항공우주산업	T2 DMU 10	0.6906	1.0000	0.6906
2003년	보잉	T3 DMU 1	0.8438	1.0000	0.8487
	록히드마틴	T3 DMU 2	1.0000	1.0000	1.0000
	노드럽그루먼	T3 DMU 3	0.8196	0.7794	0.9706
	시콜스키	T3 DMU 4	0.6376	0.6715	0.8322
	BAE	T3 DMU 5	0.6414	1.0000	1.0000
	다쏘	T3 DMU 6	0.8535	0.9396	0.8604
	사브	T3 DMU 7	0.6005	0.4974	0.8329
	유로콥터	T3 DMU 8	0.6447	0.8061	0.8759
	EADS	T3 DMU 9	1.0000	1.0000	1.0000
	한국항공우주산업	T3 DMU 10	0.6467	1.0000	0.6554

2004년	보잉	T4 DMU 1	0.8438	0.9668	0.8728
	록히드마틴	T4 DMU 2	1.0000	1.0000	1.0000
	노드럽그루먼	T4 DMU 3	0.8196	0.8231	0.9957
	시콜스키	T4 DMU 4	0.6376	0.6407	0.9952
	BAE	T4 DMU 5	0.6414	0.8190	0.7832
	다쏘	T4 DMU 6	0.8535	0.9075	0.9404
	사브	T4 DMU 7	0.6005	1.0000	0.6005
	유로콥터	T4 DMU 8	0.6447	0.6773	0.9518
	EADS	T4 DMU 9	1.0000	1.0000	1.0000
	한국항공우주산업	T4 DMU 10	0.6467	1.0000	0.6467
2005년	보잉	T5 DMU 1	0.7799	0.9805	0.7954
	록히드마틴	T5 DMU 2	1.0000	1.0000	1.0000
	노드럽그루먼	T5 DMU 3	0.8887	0.9014	0.9859
	시콜스키	T5 DMU 4	0.6674	0.6878	0.9703
	BAE	T5 DMU 5	0.8963	1.0000	0.8963
	다쏘	T5 DMU 6	0.7685	0.7844	0.9797
	사브	T5 DMU 7	0.6034	1.0000	0.6034
	유로콥터	T5 DMU 8	0.6799	0.6925	0.9817
	EADS	T5 DMU 9	0.5214	0.5769	0.9039
	한국항공우주산업	T5 DMU 10	0.7444	1.0000	0.7444

3. 년도 별 Malmquist 생산성지수 분해 결과

년도	회사명	기술효율성 변화	순수기술효 율성 변화	규모효율성 변화	기술변화	M지수
2000 ~ 2001년	보잉	1.0135	1.0000	1.0135	1.0219	1.0356
	록히드마틴	0.9284	0.9278	1.0007	1.1410	1.0594
	노드럽그루먼	0.8311	0.8276	1.0043	1.1464	0.9528
	시콜스키	0.9116	0.9503	0.9593	1.1182	1.0193
	BAE	1.0027	1.0000	1.0027	0.9973	1.0000
	다쏘	0.7596	0.8074	0.9407	1.1117	0.8444
	사브	0.8127	1.0235	0.7941	0.9865	0.8017
	유로콥터	0.8405	0.8580	0.9796	1.1341	0.9532
	EADS	1.4790	1.0000	1.4790	0.6883	1.0180
	한국항공우주산업	0.9188	1.0000	0.9188	20.5736	18.9021
2001 ~ 2002년	보잉	1.0000	1.0000	1.0000	1.0402	1.0402
	록히드마틴	0.9453	0.9426	1.0029	1.0920	1.0324
	노드럽그루먼	1.0311	1.0518	0.9803	1.0427	1.0751
	시콜스키	0.9970	0.9602	1.0383	1.0775	1.0742
	BAE	0.8331	1.0000	0.8331	0.7836	0.6528
	다쏘	1.1566	1.1216	1.0312	1.0434	1.2069
	사브	0.7450	1.0434	0.7140	0.9546	0.7112
	유로콥터	0.8791	0.8589	1.0235	1.0919	0.9599
	EADS	1.2181	1.0000	1.2181	0.8728	1.0632
	한국항공우주산업	0.8310	1.0000	0.8310	0.8319	0.6913

2002 ~ 2003년	보잉	0.9212	1.0000	0.9212	0.8771	0.8080
	록히드마틴	1.4266	1.4191	1.0053	1.0252	1.4626
	노드럽그루먼	0.9478	0.9335	1.0153	1.1218	1.0633
	시콜스키	0.7162	0.7747	0.9245	1.0668	0.7640
	BAE	1.2221	1.0000	1.2221	0.9822	1.2003
	다쏘	0.9866	1.0375	0.9510	1.0981	1.0834
	사브	0.6583	0.9715	0.6776	1.2678	0.8346
	유로콥터	1.4972	1.5854	0.9444	1.0661	1.5961
	EADS	1.0332	1.0000	1.0332	1.2487	1.2902
	한국항공우주산업	0.7501	1.0000	0.7501	1.2988	0.9742
2003 ~ 2004년	보잉	0.9805	0.9668	1.0141	1.0642	1.0434
	록히드마틴	0.9936	1.0000	0.9936	1.0549	1.0481
	노드럽그루먼	1.0696	1.0561	1.0128	1.1673	1.2485
	시콜스키	1.0434	0.9541	1.0936	1.1667	1.2173
	BAE	0.7392	0.8190	0.9026	0.9639	0.7125
	다쏘	1.0098	0.9659	1.0455	1.1320	1.1431
	사브	1.4698	2.0104	0.7311	0.8905	1.3088
	유로콥터	0.8758	0.8402	1.0424	1.1771	1.0309
	EADS	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	한국항공우주산업	0.9429	1.0000	0.9429	1.0535	0.9933

2004 ~ 2005년	보잉	0.9682	1.0141	0.9547	0.9785	0.9474
	록히드마틴	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	노드럽그루먼	1.0897	1.0951	0.9950	0.9984	1.0879
	시콜스키	1.0601	1.0736	0.9874	0.9696	1.0278
	BAE	1.3198	1.2210	1.0809	1.0097	1.3326
	다쏘	0.8822	0.8644	1.0207	0.9894	0.8729
	사브	1.0501	1.0000	1.0501	0.9546	1.0024
	유로콥터	1.0384	1.0225	1.0156	1.0027	1.0412
	EADS	0.5484	0.5769	0.9507	0.9275	0.5087
	한국항공우주산업	1.0346	1.0000	1.0346	1.0693	1.1064