

TFDEA를 이용한 무인항공기 기술예측에 관한 연구

A Study on Technology Forecasting of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)
Using TFDEA

정병기(Byungki Jung)*, 김현철(H. C. Kim)**, 이춘주(Choonjoo Lee)***

목 차

- | | |
|------------|----------|
| I. 서 론 | IV. 실증분석 |
| II. 이론적 고찰 | V. 결 론 |
| III. 연구방법론 | |

국 문 요 약

무인항공기는 현대 전장 환경에서 감시정찰을 위한 필수요소이며, 전장의 복잡성과 불확실성이 증가함에 따라 그 중요성은 더욱 커지고 있다. 본 연구에서는 1982년부터 2014년까지 개발된 96대의 군용 무인항공기를 대상으로 비모수적이며 비통계적 기술예측 방법인 TFDEA를 이용한 기술예측을 실시하였다. 2001년에 최초로 소개된 이후 Inman 외(2006) 등은 TFDEA가 SOA 분석에서 회귀분석과 같은 전통적인 계량방법론보다 예측력이 우수함을 실증하였다. 본 연구에서는 무인항공기에 대한 기술예측 결과 연간 평균기술변화율이 4.06%로 향상되었으며, 개발된 대부분의 무인항공기는 첨단기술 프론티어(SOA) 보다 낮은 수준이었다. 이는 무인항공기를 개발하는 대부분의 국가가 기술적으로 중진국이고, 기술적 선진국인 북미와 유럽의 국가들이 세계 무인항공기 시장의 60% 이상을 장악하고 있다는 것에 기인한다고 볼 수 있다. 본 연구는 TFDEA의 적용분야를 미래체계로서 관심의 대상인 무인화 기술개발 분야로 확대하여 기술혁신의 특성을 분석함으로써 미래 무인항공기의 개발과 기술발전에 관한 기술예측의 기법으로서 적용가능성을 확인하였다. 특히 군의 작전요구성능과 연구개발관리에 필요한 정량적 지표를 설정하는데 활용할 수 있을 것으로 평가된다.

핵심어 : 기술예측, 자료포락분석, TFDEA, 무인체계, 무인항공기

※ 논문접수일: 2016.10.20, 1차수정일: 2016.12.14, 2차수정일: 2016.12.28, 게재확정일: 2016.12.30

* 국방대학교 박사과정, dkds58@gmail.com, 02-300-2137

** 아주대학교 박사과정, sopranos84@naver.com, 02-2079-5351

*** 국방대학교 교수, sarang90@kndu.ac.kr, 02-300-2137, 교신저자

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are essential systems for Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (ISR) operations in current battlespace. And its importance will be getting extended because of complexity and uncertainty of battlespace. In this study, we forecast the advancement of 96 UAVs during the period of 32 years from 1982 to 2014 using TFDEA. TFDEA is a quantitative technology forecasting method which is characterized as non-parametric and non-statistical mathematical programming. Inman et al. (2006) showed that TFDEA is more accurate in forecasting compared with classical econometrics (e.g. regression). This study got 4.06% point of annual technological rate of change (RoC) for UAVs by applying TFDEA. And most UAVs in the period are inefficient according to the global SOA frontiers. That is because the countries which develop UAVs are in the middle class of technological level, so more than 60% of world UAVs markets are shared by North America and Europe which are advanced countries in terms of technological maturity level. This study could give some insights for UAVs development and its advancement. And also can be used for evaluating the adequacy of Required Operational Capability (ROC) of suggested future systems and managing the progress of Research and Development (R&D).

Key Words : Technology Forecasting, DEA, TFDEA, Unmanned System, UAV

I. 서 론

현재 세계적으로 50개국 이상이 무인항공기 개발을 진행하고 있으며, 70개국 이상이 다양한 형태의 무인항공기를 획득하여 운용 중인 것으로 보고되고 있다(Davis 외, 2014). 무인항공기의 개발은 미국과 이스라엘이 선도적인 역할을 수행하여 최첨단의 기술을 보유하고 있으며, 2012년 기준으로 미국이 세계 무인항공기 시장의 70% 이상을 차지하고 있고, 이스라엘도 공격적인 마케팅으로 시장점유율을 확대해 나가고 있다(국방기술품질원, 2013; 중앙공무원교육원, 2014). 특히, 중국의 경우 최근 무인체계에 대한 집중적인 투자를 통해 중고도 장기체공(Medium-Altitude Long-Endurance; MALE) 정찰 무인항공기를 비롯한 다양한 형태의 무인항공기를 자체 개발하여 배치/운용 중이며, 우수한 기술력을 바탕으로 무인항공기 분야에서의 방산수출도 크게 증가하였다(Chase 외, 2015). 2013년 기준 세계 무인항공기 시장의 규모는 약 66억 달러로 2022년까지 114억 달러로 증대될 것으로 전망되고 있으며, 우리나라도 2022년까지 약 1,000여대의 수요가 예상되고 있다. 현재 무인항공기는 약 90% 이상이 군사용으로 개발되어 사용되고 있으나, 농업, 재난관리 등 민간분야의 활용성이 지속적으로 증가하여 시장 규모 확대가 예상된다(중앙공무원교육원, 2014).

우리나라는 1990년대에 군단급 무인항공기 RQ-101 ‘송골매’를 개발하여 획득한 이후, 현재는 사단급 무인항공기, 중고도무인기, 초소형 무인항공기 등 다양한 형태의 무인항공기에 대해 연구개발을 진행하고 있다(안보경영연구원, 2015). 무인항공기를 개발할 때 전장 우세의 달성과 수출경쟁력 확보라는 두 마리 토끼를 잡기 위해서는 기술적으로 상대적인 우위에 있으면서도 경제적인 무인항공기를 개발하는 것이 필요하다. 이는 세계적인 수준의 운용 능력을 갖추면서도 현재 기술수준 등을 고려하여 과도하지 않은 작전운용성능(Required Operational Capability; ROC)을 설정하는 것이 중요한 요소로 작용한다는 것이다. 동시대의 최첨단 기술을 의미하는 SOA(State of the Arts)를 활용한 기술예측은 이러한 작전운용성능 설정의 적절성을 확인하고, 연구개발의 진행사항을 관리하는데 기여할 수 있는 효과적인 방법이다(Inman, 2004).

본 연구에서는 무인항공기에 대한 기술예측을 실시하였다. 무인항공기와 관련된 자료는 국방기술품질원의 국방기술정보통합서비스에서 제공하고 있는 JDDS(Jane's Defence Data Service)의 ‘방산장비 및 기술정보’ 자료를 종합하여 정리하였다. 이는 모두 군사용으로 사용되는 무인항공기로 현재 민간분야에서 주로 활용되는 무인항공기의 경우 그 크기가 매우 작고 요구되는 기술적 수준이 높지 않으며, 상대적으로 매우 소량이기 때문에 본 연구에서는 포함하지 않았다.

기술예측을 위한 방법은 TFDEA(Technology Forecasting using Data Envelopment Analysis)를 사용하였다. TFDEA는 자료포락분석법(Data Envelopment Analysis; DEA)을 확장하여 기술예측에 적용될 수 있도록 개발된 기법으로 2001년 Anderson과 Hollingsworth (2001)가 처음 소개하였으며, 이후 전투기, K2 전차 등 무기체계는 물론 하이브리드 자동차, DSLR(Digital Single Lens Reflex) 카메라 등 다양한 산업분야의 기술예측에 사용되어 그 우수성을 증명하였다(Inman 외, 2006; 김재오 외, 2007; Yoon 외, 2013; Jahromi 외, 2013). 특히, TFDEA는 비통계적이고 비모수적인 방법으로 기술예측을 위해 가장 많이 사용되는 방법인 회귀분석이 기술의 혁신적 변화에 대한 예측의 한계와 단일 사양에 대해서만 분석이 가능하다는 한계점을 극복하였다고 평가되고 있다.

본 연구는 상대적으로 최근에 등장하였지만 미래 군사적 응용성과 시장성이 큰 무인기에 대한 기술예측을 통해 시사점과 TFDEA 기법의 활용성을 제시하였다는데 의의가 있겠다. 본문은 전체 5장으로 구성되어 있으며 2장에서는 전반적인 기술예측 방법론에 대한 이론적 고찰과 TFDEA에 대한 소개를 하고, 3장에서는 본 연구의 분석대상인 무인항공기에 대한 고찰과 분석에 사용되는 자료에 대한 소개, TFDEA의 연구방법론을 제시하였다. 4장에서는 TFDEA와 회귀분석을 사용하여 무인항공기에 대한 기술예측을 실시하고, 그 결과를 분석하였다. 5장에서는 연구결과와 시사점, 향후 연구방향에 대해 제시하였다.

II. 이론적 고찰

1. 기술예측 방법론

1) 기술예측의 정의

기술예측에 대한 정의를 살펴보기 전에 먼저 기술과 예측에 대한 정의를 살펴보면, 표준국어대사전에서는 기술(Technology)을 “① 과학 이론을 실제로 적용하여 자연의 사물을 인간 생활에 유용하도록 가공하는 수단 ② 사물을 잘 다룰 수 있는 방법이나 능력”으로 정의하고 있으며(국립국어원, 2015), The American Heritage Dictionary(2015)에서는 산업이나 상업적 목표를 달성하기 위한 과학적 방법이나 재료로 정의하고 있다. 여기에서 목표는 물질적인 재화를 비롯하여 S/W 등의 서비스까지 포함하는 개념이다(Martino, 1993a). 예측(Forecasting)은 표준국어대사전에서는 “미리 헤아려 짐작함”으로, The American Heritage Dictionary에서는 “To

estimate or predict in advance”로 정의하고 있다. 이를 종합해볼 때 기술예측(Technology Forecasting)은 미래의 산업에서 사용될 과학적 지식, 장비, 방법 등이 어떻게 변화할 것인지를 미리 살펴보는 것이라 할 수 있다. Martino(1993a)의 정의에서 알 수 있듯이 기술예측은 예측하고자하는 대상의 미래 특성을 보여줄 수 있어야한다. Inman(2004)에 따르면 기술예측에서 가장 빈번하게 예측되어지는 기술의 속성은 ‘① 기능적 요구능력 ② 시장 전망 ③ 다른 영역으로의 기술 확산 ④ 급격한 기술적 발전의 시기와 가능성’ 등이다.

2) 기술예측 기법의 분류

기술예측 기법은 Lenz(1959)에 의해 연구가 시작된 이래 국가수준에서 단위기술수준까지 다양한 수준의 기술예측 기법과 예측 모형이 개발되어 사용되고 있다(설성수, 1998; 윤윤중 외, 1998). 기술예측 기법의 분류는 전문가에 따라 차이가 있으며, 각각이 받아들여지고 있다. 본 연구에서는 우리나라에서 주로 사용되고 있는 신태영 외(1995)의 분류를 살펴보겠다. <표 1>은 주요 기술예측 기법의 분류이다.

<표 1> 주요 기술예측 기법의 분류

분류	예측기법	개념 및 방법
탐색적 기법	연관나무(Relevance Tree)	기술목적을 순차적으로 나열하고 목적달성이 가능한 수단을 찾아 세부기술과제를 확장하여 연구팀의 임무와 목표가 전체기술계획에 부합하도록 하고 이를 정량적으로 평가함
	형태학적(Morphology)	기술적 변수와 여러 대안으로 구성된 행렬 표를 작성하여 기술적으로 가능한 조합을 도출
	임무흐름도 (Mission Flow Diagram)	일부 수행에 있어서 여러 대안을 도식화하여 상호 비교함
규범적 기법	브레인스토밍(Brainstorming)	특정한 문제해결 창조적 아이디어 모색, 구성원들 간의 상호 의견교환
	델파이(Delphi)	전문가 패널 구성 설문조사, 중·장기 예측에 유용
	추세선(Extrapolation)	시계열 통계이용 추세선을 추정
	성장곡선(Growth Curves)	S곡선 이용, 과거시계열 자료이용
기법	상관관계(Correlation Analysis)	이론적 인과관계가 설명되지 않으나 변수간의 상관관계 분석
	인과관계(Causal model)	기술혁신 결정요인으로 하나의 시스템 설정 예측
	기술계량분석(Technometrics)	기술성능에 대한 모수를 종합하여 복합적 계량 지표
복합모형	교차영향분석 (Cross Impact Analysis)	델파이법의 발전된 형태, 예측 대상 기술의 상호영향을 미치는 요인 분석
	시나리오(Scenarios)	미래의 가상적 상황에 대한 주관적 묘사, 타 예측기법을 바탕으로 여러 가지 시나리오 구상 평가, D/B를 바탕으로 목적함수와 제약변수를 고려 시나리오 작성

기술예측은 탐색적(Exploratory) 기법, 규범적(Normative) 기법, 복합모형으로 구분할 수 있다. 탐색적 기법은 기술의 능력이 시계열 상에서 일관성이나 특정한 패턴에 따라 변화한다는 가정 하에서 접근하는 기술능력 지향적인 예측방법이다. 과거의 자료를 분석하여 기술 변화의 특성을 확인하고 이를 바탕으로 앞으로의 발전 방향을 예측하게 된다. 규범적 기법은 미래에 요구되는 능력이나 요구(needs)를 충족시키기 위해 기술이 어떻게 발전되어야 하는가를 예측하는 방법으로 목표지향적인 예측방법이다. 미래의 목표를 먼저 설정하고 이를 달성하기 위한 관련기술의 관계와 출현 시기 등을 예측하게 된다. 복합모형은 탐색적 기법과 규범적 기법이 혼합되어 복수의 예측 기법을 사용하는 방법이다. TFDEA는 규범적인 기법에 속하는 방법으로 신기술의 출현 시기를 예측하기 위해 비모수적인 방법으로 시계열 분석을 통해 SOA¹⁾를 추정하는 정량적 분석 방법이다.

3) TFDEA 기법

TFDEA는 DEA를 확장하여 기술예측이 가능하도록 개발되었다. DEA 기법은 Charnes·Cooper·Rhodes(1981)(CCR)가 주어진 관측 자료만을 이용하여 DMU(Decision Making Unit)의 효율성을 측정할 수 있도록 고안한 방법이다. DEA는 투입과 산출의 관측치를 바탕으로 생산가능집합(Production Possibility Set)을 구성하고, 생산가능집합 내에서 최외곽에 위치하는 관측치를 연결하여 생산변경(production frontier; PF)을 추정한다. 추정된 생산변경을 기준으로 Farrell (1957)의 효율성 측정 방법을 사용하여 DMU의 상대적 효율성을 추정한다. Banker·Charnes·Cooper(1984)(BCC)는 CCR 모형이 갖는 불변규모수익(Constant Returns to Scale; CRS)의 한계를 보완하기 위해 ‘규모의 경제(Economy of Scale)’를 고려한 가변규모수익(Variable Returns to Scale; VRS)의 DEA 모형을 제시하였으며, 이후 다양한 모형이 개발되어 다양한 산업분야와 공공기관의 효율성 분석을 위해 사용되고 있다(이정동 외, 2000; 김문수 외, 2008; 박석중 외, 2011). DEA에서 효율적인 DMU는 주어진 투입/산출 자료를 바탕으로 달성할 수 있는 가장 효율적인 상태 즉, 최고의 상태에 있음을 의미하는 것으로 앞서 살펴본 SOA의 개념과 일치한다. DEA는 별도의 생산함수를 가정하지 않고 주어진 관측 자료만으로 투입/산출의 관계를 추정하는 비모수적인 방법이고, 생산함수나 잔차에 대한 가정이 필요하지 않은 비통계적인 방법이다. 또한, 다수투입과 다수산출의 상황에서도 상대적인 효율성을 제시해주기 때문에 현실 세계를 분석하는데 더욱 효과적인 분석 방법이다(이정동·오동현, 2010).

TFDEA는 Anderson 외(2001)가 PICMET '01(Portland International Conference for

1) SOA는 장치, 기술, 과학적인 분야에서 특정 시기에 달성 가능한 최고수준의 기술적 성과라고 정의된다. 보통 각각의 특성이 하나 이상의 다른 특성과 절충되어 바뀔 수 있는 최외각 경계(trade-off surface)를 의미하며, SOA가 한번 그려지고 나면 시간의 흐름에 따른 변화를 분석할 수 있고, 이를 바탕으로 미래 SOA의 발전을 추정할 수 있게 된다(Dodson, 1970).

Management of Engineering and Technology '01)에서 최초로 소개하였다. TFDEA는 DEA를 확장한 개념으로 DEA를 기술예측 적용하기 위해서는 시간의 흐름에 따른 SOA의 변화를 계산하고 분석할 수 있어야 한다. TFDEA에서는 각 DMU의 출시시기에 따라 생산가능집합을 누적하여 구성하고 반복적으로 DEA 분석을 수행함으로써 이 문제를 해결하였다(Inman, 2004). 현재 TFDEA를 이용한 기술예측을 다양한 산업분야에 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 현황은 <표 2>와 같다. 현재까지의 연구는 대부분 TFDEA가 회귀분석에 비해 예측력이 뛰어난을 증명하거나, 다양한 산업분야에 적용될 수 있음을 확인하는데 중점을 두고 진행되었다. TFDEA는 DEA의 비모수적, 비통계적인 특성을 그대로 유지하고 있으며, 모든 관측치가 아닌 SOA만을 이용하여 예측을 실시하기 때문에 SOA가 중요한 고려요소가 되는 기술예측 분야에서 상대적으로 우수한 예측력을 보여주고 있다.

<표 2> TFDEA를 이용한 기술예측 선행연구

연구자	TFDEA를 이용한 예측 대상	연구 결과
Anderson 외(2001)	기업 데이터베이스 시스템	TFDEA 개념 및 방법론 제시
Iamratanakul 외(2005)	컴퓨터 디스플레이 프로젝트	
Inman 외(2006)	미국 전투기 성능에 대한 TFDEA 및 회귀분석 비교	국방분야 적용 가능성 확인 및 TFDEA의 우수성 증명
김재오 외(2007)	주력전차 성능	
Anderson 외(2008)	무선통신 기술	IT/자동차/전자분야 등 다양한 산업분야 적용 가능성 확인 및 TFDEA의 우수성 증명
Haiying과 Meng(2011)	핸드폰 터미널 기술	
Jahromi 외(2013)	하이브리드 자동차 성능	
Yoon 외(2013)	DSLR 성능	
Lim 외(2014)	전투기 및 상용 비행기 성능에 대한 TFDEA 및 회귀분석 비교	방법론 개선을 통한 예측력 향상 증명
김현철 외(2014)	미국, 소련/러시아의 전투기 성능	대상 확대를 통한 예측력 검증 및 국가간 기술발전 상황 비교

2. 군사용 무인항공기 현황

현재 무인항공기는 군사분야는 물론 민간분야에서도 활발하게 운용되기 시작하였다. 대표적으로 아마존(Amazon.com)(2015)의 경우 무인항공기를 이용한 배송 시스템을 구축하여 “Amazon Prime Air”라는 서비스를 제공하고 있으며, 구글(Google)과 월마트(Wal-mart) 등 다른 업체에서도 무인항공기를 이용한 배송 서비스를 준비 중에 있다(Weckler, 2015). 여기에 사용되는 무인항공기는 일반인이 취미용으로 많이 사용하는 4개의 로터(rotor)를 가진 ‘Quadcopter’로 대부분 크기가 크지 않고, 운용시간, 항속거리 등 비행능력 등에서 많은 제한사항이 있다.

현재 민간분야의 무인항공기 시장이 크게 성장하고 있는 추세이지만 세계 무인항공기 시장의 약 90%가 군사용에 집중되어 있어, 본 연구에서는 군사용 무인항공기(이하 ‘무인항공기’는 군사용 무인항공기를 의미함)를 대상으로 연구를 진행하였다.

국방과학기술조사서에서는 무인항공기를 임무 및 운용목적에 따라 다음의 5가지 형태로 분류하고 있다. ① 정찰용 무인항공기는 다양한 주/야간 감시 장비를 탑재하여 적 및 적진에 대한 감시, 표적 획득, 전투피해평가 등의 임무를 수행한다. ② 기만용 무인항공기는 적의 레이더나 방공망을 교란시킬 목적으로 사용된다. ③ 공격용 무인항공기는 적 지상표적, 탄도미사일 등의 표적을 파괴하는 임무를 수행한다. ④ 무인전투기(Unmanned Combat Aerial Vehicle;UCAV)는 다양한 무장을 탑재하여 공대공 또는 공대지 전투임무를 수행할 수 있는 능력을 갖도록 개발이 진행되고 있다. ⑤ 초소형 무인항공기는 소형화된 전자장비, 고밀도화된 동력전지 등을 장착한 무게 100g 이하, 크기 15cm 이내의 무인항공기를 의미한다. 2015년 기준 각 국가별

〈표 3〉 주요국 무인항공기 기술수준

구 분	현 황(%)
선진국	미국(100), 이스라엘(95), 프랑스(93), 독일(92), 영국(91)
중진국	러시아(87), 한국(84), 중국(84), 이탈리아(84), 일본(84), 스웨덴(80)
후진국	인도(75), 스페인(75), 터키(75), 남아프리카공화국(72), 캐나다(71), 브라질(64), 콜롬비아(56)

〈표 4〉 주요국 무인항공기 운용 현황

구 분	체 계	비 고	구 분	체 계	비 고	
미 국	정찰용 무인항공기	Global Hawk	프 랑 스	정찰용 무인항공기	Crecerelle	
		Global Observer			Sperwer	
		Predator-1			Eagle-1	
		Fire Scout		무인공격기	nEUROn	개발중
	무인공격기	Raven	독 일	정찰용 무인항공기	KZO	
		Shadow-200			CL-289	
		Reaper			LUNA	
		MQ-1C			개발중	EURO Hawk
		MQ-X			개발중	Aladin
		X-47			개발중	Orka 1200
이 스 라 엘	정찰용 무인항공기	Searcher II	영 국	정찰용 무인항공기	Barracuda	개발중
		Heron TP			Zephyr	개발중
		SkyLark I / II			Kestrel	
	무인공격기	Hermes 시리즈	무인공격기	Mantis		
		Harpy		HERTI	개발중	
		Harop		개발중	Taranis	개발중

무인항공기 기술수준과 운영현황은 <표 3>, <표 4>와 같다(국방기술품질원, 2013).

주요국의 기술수준은 2라운드 델파이 조사를 통해 전문가의 합의로 도출된 결과이다(국방기술품질원, 2012). 최고기술보유국의 기술수준을 100%로 하고 각 국의 상대적인 기술수준을 평가한 것이다. 여기에서 90% 이상은 선진국, 80~90%는 중진국, 80% 미만은 후진국으로 분류한다. 현재 미국과 일부 유럽국가가 선진국에 포함되며, 한국을 포함한 중국, 러시아 등이 중진국을 이루고 있다.

미국은 다양한 무인항공기를 개발, 운용하고 있으며, 핵심기술과 소요기술을 보유하고 있다. 고고도 장기체공(High-Altitude Long-Endurance; HALE) 정찰기인 RQ-4A Global Hawk, 감시정찰 및 공격임무를 함께 수행할 수 있는 MQ-9 Reaper와 초소형 정찰기인 RQ-11 Raven 등 다양한 형태의 무인항공기를 운용하고 있다. 또한, 공중전투가 가능한 X-45, X-47과 같은 무인전투기를 개발하는 등 무인항공기의 영역을 확장시키고 있고, 세계 무인항공기 개발을 선도하고 있다.

이스라엘은 높은 항공전자 기술력을 바탕으로 전술급 무인항공기 분야에서 세계 최고의 기술력을 보유하고 있다. 전 세계에 1,000대 이상의 무인항공기를 수출하였으며, 자국 내 사용보다는 수출을 목적으로 무인항공기를 개발, 생산하고 있다. 중고도 장기체공(MALE) 정찰기인 Searcher II, Heron 등과 저고도 감시용인 Skylark, 레이더 공격용인 Harpy 등의 무인항공기를 운용하고 있다.

독일은 유럽에서 가장 먼저 무인항공기를 개발하였는데 저고도 전술급 무인항공기인 KZO, LUNA 등과 수직이착륙(Vertical Take-Off and Landing; VTOL)이 가능한 Orka 1200, Global Hawk를 개조한 Euro Hawk 등을 개발하여 운용하고 있다. 프랑스는 유럽 내 항공전자 분야를 선도하는 기업을 보유하여 높은 임무장비 개발능력을 보유하고 있고 중고도 장기체공 정찰기인 Eagle-1, 유럽 공동의 무인전투기인 nEUROn의 개발을 주도하고 있다. 영국은 독자적인 무인항공기 개발 기술을 보유하고 있으며 최근 태양광을 이용하여 장기체공이 가능한 저고도 정찰기 Zephyr 개발에 성공하였고, 중고도 장기체공 정찰기 Mantis와 무인전투기 Taranis 등의 개발을 진행 중에 있다.

우리나라는 1980년대에 국방과학연구소 주도로 기만용 무인기인 솔개 개발을 시작으로 1990년대에 군단급 무인정찰기 RQ-101 송골매와 2011년 대대급 무인기를 개발하여 운용하고 있다. 사단급 무인정찰기는 2015년 개발이 완료되어 운용 준비 중이고, 중고도 정찰용 무인항공기를 2018년, 차기 군단급 정찰용 무인항공기를 2020년까지 각각 전력화하도록 체계개발을 진행하고 있다. 또한, 2016년 무인전투기에 대한 개념연구를 시작하여 향후 무인전투기 개발을 위한 노력을 시작하였다(김재한, 2016). 현재 개발 중인 무인항공기는 군사적 응용성과 함께 세계시장에서의 경쟁력 제고를 위해서는 최대속도, 최고비행고도, 운용시간 등 무인항공기의 운용성능이 적정 수준으로 설정되어야 하고, 이를 위한 기술예측이 필요하다.

III. 연구방법론

TFDEA를 이용한 기술예측은 2단계로 이루어진다. 1단계에서는 주어진 관측 자료를 바탕으로 기술변화율(Technological Rate of Change, RoC)을 분석하고, 2단계에서는 1단계의 기술변화율을 바탕으로 예측하고자하는 대상의 출시시기를 예측한다.

1. 1단계: 기술변화율의 측정

일반적으로 기술의 변화는 선형관계가 아닌 비선형관계를 갖기 때문에 TFDEA는 기술변화율을 비선형으로 가정하고 있다. (그림 1)은 Inman 외(2006)가 제시한 산출기준(output-oriented) DEA 모형을 이용한 TFDEA의 기술변화율 측정 절차를 정리하여 작성한 내용이다.

관측치를 시간에 따라 정렬하고, 출시시기(t_k)에 따라 최초시기($t_k = t_0$)부터 최종시기 ($t_k = T$)까지 시간을 단계식 증가시키면서 [1]-[4]의 과정을 반복적으로 수행한다.

[1] 주어진 관측치 중 최초 DMU 출시시기(t_0) 부터 측정시점(t_f)까지 출시된 DMU 만을 포함하는 생산가능집합을 구성한다.

[2] 산출(투입)기준 모형을 이용한 DEA 분석을 실시하여 생산변경을 추정하고, 효율적인($\theta_i^{t_f} = 1$), 즉 SOA인 DMU를 식별한다.

[3] 이전 반복의 SOA($\theta_i^{t_f} = 1$) 중 이번 반복에서는 더 이상 효율적이지 않은($\theta_i^{t_f} > 1$; non-SOA) DMU를 선별하고, 선별된 DMU들을 생산변경으로 투사(projection)하여 생산변경 상에 위치하게 되는 시간을 참조집합²⁾의 가중치(λ_j)와 출시시기를 가중평균³⁾하여 유효시간($t_{i, eff}$)을 구한다.

$$t_{i, eff} = \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_j t_j}{\sum_{j=1}^n \lambda_j} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (1)$$

[4] [3]에서 식별된 DMU를 대상으로 제품 출시(t_k) 이후 유효시간(t_{eff})까지 경과된 시간과 현재의 효율성 값을 이용하여 해당 DMU의 기술변화율($\gamma_i^{t_f}$)을 계산한다.

$$\gamma_i^{t_f} = (\theta_i^{t_f})^{1/(t_{i, eff} - t_k)} \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (2)$$

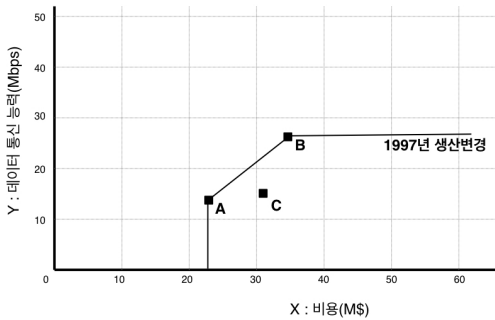
[5] 각 DMU들의 기술변화율($\gamma_i^{t_f}$)을 산술평균하여 연간 평균기술변화율($\bar{\gamma}$)을 계산한다.

(그림 1) TFDEA의 기술변화율 측정 절차

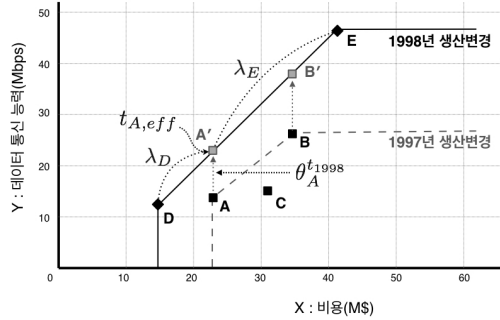
2) 참조집합(reference set)은 특정 DMU가 효율적이 되고자 할 때 어떤 DMU들을 참조해야 하는지를 보여주는 집합입니다. 참조집합은 대상 DMU와 유사한 투입(혹은 산출)의 조합을 가지고 있기 때문에 현재의 생산구조를 크게 변화시키지 않고 효율성을 증가시킬 수 있는 방향성을 제공한다(이정동·오동현, 2010).

3) 가변규모수익(VRS) 모형의 경우 가중치의 합이 1로 제한되지만($\sum \lambda_i = 1$), 불변규모수익(CRS) 모형의 경우는 동일한 비율로 확장 또는 축소하기 때문에 가중치의 합이 1보다 큰 경우($\sum \lambda_i > 0$)가 발생한다.

여기에서 t_k 는 특정 DMU의 출시시기이며, t_0 는 관측치 중 출시시기가 가장 빠른 DMU의 출시시기, T 는 가장 출시시기가 늦은 DMU의 출시시기, t_f 는 현재 반복이 이루어지는 측정시점, $t_{i, eff}$ 는 측정시점 기준 임의의 DMU I의 생산변경에서의 유효시간(effective time)이다. $\theta_i^{t_k}$ 는 임의의 DMU I가 최초 출시되었을 때의 효율성 값이고, $\theta_i^{t_f}$ 는 임의의 DMU I의 측정시점 기준 효율성 값이다. λ_j 는 참조집합에서의 가중치이며, $\gamma_i^{t_f}$ 는 측정시점 기준 임의의 DMU I의 기술변화율이고, $\bar{\gamma}$ 는 측정시점 기준 모든 DMU들의 기술변화율의 평균인 연간 평균기술변화율이다. 기술변화율 측정 절차는 (그림 2)를 통해 자세히 설명하도록 하겠다.



(가) 첫 번째 반복($t_f = 1997$)



(나) 두 번째 반복($t_f = 1998$)

(그림 2) 기술변화율 측정 예시

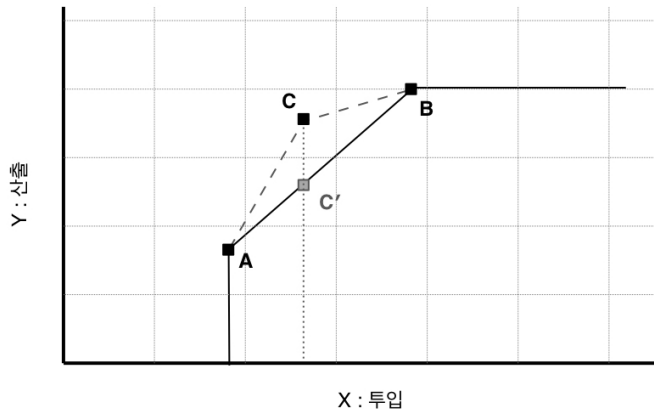
(그림 2)는 연구개발 비용에 따른 데이터통신 기술의 변화를 설명해주는 단일투입-단일산출의 TFDEA 분석 과정을 보여주고 있다(Anderson 외(2008) 연구를 재구성). 여기에서는 DMU A ~ E까지 5개의 관측치가 존재한다. A ~ C는 1997년에 출시되었고, D, E는 1998년에 출시되었다. (그림 2가)는 첫 번째 반복으로 1997년에 출시된 3개의 DMU만을 이용하여 생산가능집합을 구성하고(1), DEA 분석을 실시하였다(2). 그 결과 DMU A와 B가 SOA로 식별되었고, 이전 반복이 수행되지 않았기 때문에 [3]-[4]의 과정은 이루어지지 않는다. (그림 2나)는 두 번째 반복으로 1998년에 출시된 DMU D와 E를 추가하여 생산가능집합을 구성(1), DEA 분석을 실시하였다(2). [3]의 조건에 따라 SOA에서 non-SOA로 변한 DMU A, B($\theta_A^{t_{1998}}, \theta_B^{t_{1998}} > 1$)를 선별하여 1998년 생산변경으로 투사하였다(A'과 B'). DEA 계산 결과에 따라 A'의 위치는 참조집합 {D, E}와 그 가중치(λ_D, λ_E)에 의해 결정되며, DMU A의 유효시간($t_{A, eff}$)은 식 (1)에 따라 DMU D, E의 출시시기와 가중치에 의해 계산된다. [4]에서 DMU A의 기술변화율($\gamma_A^{t_{1998}}$)을 계산하기 위해 지수함수를 적용하였으며, 경과된 기간은 출시시기(t_k)와 유효시간($t_{A, eff}$)의 차

이로 정의하였다. 측정시점이 아닌 유효시간을 사용하는 이유는 참조집합 내 DMU의 출시시기가 측정시점과 다를 경우 기술변화율이 과소 추정되는 것을 피하기 위해서이다. 식 (2)에 따라 DMU A의 기술변화율은 $\theta_A^{t_{1998}}$ 과 $t_{A, eff}$ 를 적용하여 계산된다. 위의 [1]-[4] 과정을 연구자가 측정하고자하는 시기까지 반복하여 수행하면 SOA에서 non-SOA로 변한 DMU들의 기술변화율을 구할 수 있고, 마지막으로 이를 산술평균하여 연간 평균기술변화율($\bar{\gamma}$)을 얻을 수 있다.

2. 2단계: 기술예측

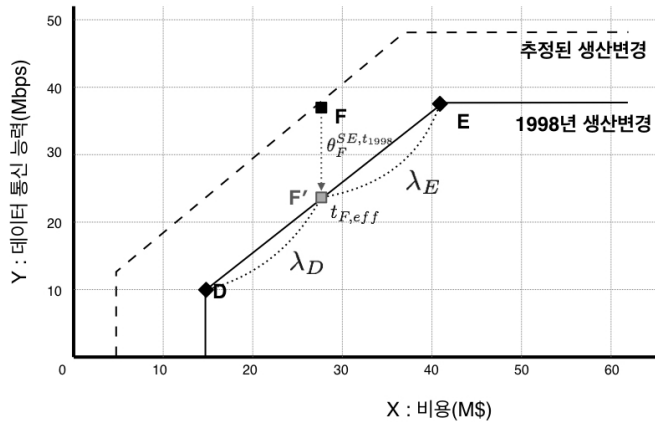
기술예측은 특정 DMU의 출시시기를 예측하는 것으로 DEA 초효율성(super-efficiency) 모형을 이용하여 초효율성 값을 측정하고, 연간 평균기술변화율에 따른 경과시간을 추정하는 방법으로 진행된다.

DEA 초효율성 모형은 Andersen and Petersen(1993)과 Rousseau and Semple(1995)이 제시한 개념으로 효율성 값이 1인 DMU가 다수 존재할 경우 이들 사이의 상대적 중요도에 따라 순위를 정하기 위해 고안된 방법이다. (그림 3)은 초효율성 모형을 보여주고 있다.



(그림 3) DEA 초효율성 모형

DMU A, B, C는 모두 생산변경(점선)에 위치하는 효율적인 DMU이다. DMU C의 초효율성을 측정하기 위해서는 C를 제외하고 생산변경을 구성하고(실선), 이를 기준으로 C의 효율성을 계산한다. 산출기준 모형의 경우 해당 DMU가 생산변경 외곽에 위치하면 상대 순위가 높으며 초효율성 값은 1보다 작고($\theta_k^{SE} < 1$), 내부에 위치하면 상대적 순위가 낮고 초효율성 값은 1보다 크다($\theta_k^{SE} > 1$).



(그림 4) TFDEA 기술예측 예시

(그림 4)는 초효율성 모형을 활용한 TFDEA의 기술예측 방법을 보여주고 있다. (그림 2)의 연장선에서 설명을 하면, DMU F는 출시가 예상되는 기술이다. DMU F의 출시시기를 예측하기 위해 먼저 초효율성 모형을 이용하여 1998년 생산변경을 기준으로 초효율성 값($\theta_F^{SE, t_{1998}}$)을 추정하고, 식 (1)을 이용하여 유효시간을 계산한다. 이 때 유효시간은 1단계에서와 같으며, 초효율성 모형의 참조집합을 이용한다. 그리고 아래의 식 (3)을 이용하여 출시시기를 예측한다(Inman 외, 2006).

$$t_{i, \text{expected}} = t_{i, \text{eff}} + \ln(1/\phi_k^{SE, t_f}) / \ln(\bar{\gamma}) \quad (3)$$

식 (3)은 식 (2)를 출시시기(t_k)에 대해 전개한 식으로 비선형적 기술변화를 추정하기 위해 사용된다. 여기에서 $t_{i, \text{expected}}$ 는 예측 대상 DMU I의 출시시기이고, $t_{i, \text{eff}}$ 는 DMU I의 유효시간, ϕ_k^{SE, t_f} 는 DMU I의 초효율성 값, $\bar{\gamma}$ 는 1단계에서 얻은 연간 평균기술변화율이다. 즉, 기술예측은 측정시점(t_f)의 SOA 생산변경이 연간 평균기술변화율($\bar{\gamma}$)로 변화할 때 예측 대상 DMU의 위치(ϕ_k^{SE, t_f})까지 이동하는데 소요되는 시간을 계산하여 제품의 출현 시기를 예측하는 것이다.

IV. 실증분석

1. 연구 자료 및 모형

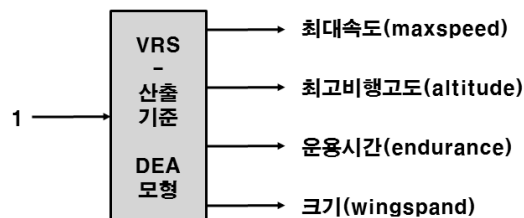
무인항공기와 관련된 분석 자료는 국방기술품질원의 DTiMS(Defense Technology Information

System)에서 제공하고 있는 JDDS 상의 자료를 종합하여 정리하였다. JDDS에 구축된 1982년부터 2014년까지의 무인항공기 관련 자료는 총 849건이다. 여기에서 2개 이상의 버전을 갖는 장비 76건, 수직이착륙 무인항공기, 무인전투기, 헬기 등 일반적인 감시정찰용 고정익 무인항공기와 구분되는 자료 202건, TFDEA 분석에 필요한 최초비행년도가 누락되거나 불분명한 자료 269건, 기타 성능관련 수치가 누락된 자료 206건을 제외한 96건이 분석에 사용 가능하였다.

유사체계인 유인전투기의 경우 오랜 기간 연구를 통해 적절한 변수가 식별되어 기술예측에 사용되고 있다. Martino(1993b)는 전투기의 주요 특성을 속도(speed), 기동성(manueverability), 이륙중량(payload), 레이더 등의 항공전자기술(avionics), 가시권외곽 교전을 위한 미사일(Beyond Visual Range Engagement; BVR)과 신뢰성을 대표하는 고장간 평균시간(Mean Time Between Failure; MTBF)으로 정의하였다. Bangers and Torres(2014)는 미국과 소련/러시아의 전투기에 대한 분석에서 최대속도(max Mach), 상승속도(rate of climb), 항공전자기술, 스텔스 기술을 전투기의 독립변수로 선정하였다.

TFDEA를 이용한 선행연구를 살펴보면, Inman 외(2006)은 Martino(1993b)의 연구를 바탕으로 투입변수는 '1', 산출변수는 최대속도, MTBF, 이륙중량, BVR 미사일 보유 여부로 선정하였다. 여기에서 투입변수인 상수 1은 전투기가 비행에 성공하였음을 의미한다. 김현철 외(2014)는 Inman 외(2006)와 Bangers and Torres(2014)의 연구를 바탕으로 투입변수는 '1', 산출변수는 최대속도, 상승속도, 항공전자기술 및 스텔스 성능을 포함한 개념으로 전투기 세대(generation)를 사용하였다.

본 연구에서는 SOA의 일반적 추세와 무인항공기의 기술성능에 연구의 관심을 두고 가변규모수익(VRS)-산출기준 DEA 모형을 사용하였다. 투입변수는 선행연구와 동일한 '1'을 사용하였는데, 이는 무인항공기가 정상적으로 비행할 수 있음을 의미한다. 산출변수는 기존 연구에서 사용된 최대속도와 분석 자료에서 가용한 제원 중 무인항공기의 특성을 나타낼 수 있는 최고비행고도, 운용시간, 크기를 변수로 사용하였다. 이것은 분석 자료에서 가용한 변수의 제한에 따른 것으로 향후 분석 자료 보완을 통해 적절한 변수에 대한 추가 연구가 필요하다. 연구모형과 각 변수의 기초통계량은 (그림 5) 및 <표 5>와 같다.



(그림 5) TFDEA 연구모형

〈표 5〉 분석 자료의 산출변수별 기초통계량

구 분	평균	표준편차	최소값	최대값
최대속도(km/h)	190.3333	112.9126	45	741
최고비행고도(ft)	1,5081.25	9,116,219	500	60,000
운용시간(hr)	9.251701	13.94045	0.5	120
크기(in)	221.4844	206.961	11.75	1,098.5

감시정찰용 무인항공기는 저고도, 중고도, 고고도 등 다양한 고도에서 운용 중이며, 고도에 따라 사용되는 추진방식이 프로펠러에서 제트엔진까지 다양하게 사용되고 있다. 크기 및 연료 탱크용량, 배터리 용량 등에 따라 운용시간의 차이가 발생한다. 감시정찰을 위해 사용되는 임무 장비는 성능의 차이는 있지만 기본적인 기능은 유사하며, 일부 지상공격 임무를 병행하는 무인 항공기도 있지만 본 연구에서는 이 차이를 고려하지 않았다.

2. 실증분석 결과

1) TFDEA 기술변화율 측정 결과

실증분석을 위해 총 96대의 무인항공기 중 1982년부터 2013년까지 출시된 93대 무인항공기를 대상으로 기술변화율을 측정하고, 2014년에 최초비행에 성공한 3대의 무인항공기에 대한 최초비행년도 예측을 실시하였다. 1단계 기술변화율 측정결과 총 93대 중 7대의 무인항공기가 SOA에서 non-SOA로 변화한 것으로 식별되어 기술변화율 측정에 사용되었고, 84대는 출시

〈표 6〉 무인항공기 기술변화율 측정 결과

구분	장비명	국 가	FFY(t_k)	$\phi^{t'}$	t_{eff}	$\gamma^{t'}$
1	Xian ASN-104B	중국	1982	3.02701	2009	1.04187
2	BAE Sysyems R4E-50 SkyEye	미국	1986	2.78814	2009	1.04559
3	RUAG Ranger	스위스	1988	3.32594	2009	1.05890
4	Elbit Systems Mini-V	이스라엘	1989	1.70509	2009	1.02704
5	Lockheed Martin Desert Hawk 1	미국	2001	1.24252	2009	1.02751
6	Airbus Harfang	미국	2005	1.14352	2009	1.03410
7	Elbit Systems Hermes Skylark 2	이스라엘	2005	1.21381	2009	1.04963
8	Yabhon-Smart Eye	UAE	2009	1	2009	-
9	Arcturus T-20	미국	2009	1	2009	-
평 균						1.04066

시점에서 비효율적(non-SOA)이어서 기술변화율 분석 대상에서 제외하고, 2대는 2013년까지 SOA로 남아있어서 기술변화율 측정이 제한되었다. 기술변화율이 측정된 7대와 2013년에 SOA에 해당하는 2대의 무인항공기 현황은 <표 6>과 같다.

여기에서 $FFY(t_k)$ 는 최초비행년도(First Flight Year)로 시제품을 포함하여 무인항공기가 최초 비행에 성공한 년도를 의미한다. ϕ^{t_i} 는 2013년 기준 각 무인항공기들의 효율성 값이고, t_{eff} 는 2013년 생산변경을 기준으로 추정된 유효시간, γ^{t_i} 는 각 무인항공기의 기술변화율을 의미한다. 분석 결과 무인항공기의 연간 평균기술변화율($\bar{\gamma}$)은 1.0406633 즉, 연간 약 4.06%로 측정되었다. 기술변화율 측정에 사용된 무인항공기 7대 중 5대가 미국과 이스라엘에서 개발된 것으로 이 두 나라가 무인항공기 기술을 선도하고 있음을 보여주고 있다. 우리나라는 총 5대의 무인항공기가 분석에 포함되었으나 한 번도 SOA에 도달하지 못하였다. 이를 통해 우리의 기술 경쟁력이 상대적으로 낮음을 확인할 수 있다.

2) 다중회귀분석 결과

다중회귀분석에서 종속변수는 최초비행년도를 사용하였고, 독립변수는 TFDEA에서 사용된 4개의 산출변수 중에서 다른 독립변수들과의 상관관계가 높은 ‘크기(wingspan)’ 변수를 제외한 3가지 변수로 분석하였다. 이는 다중공선성에 의한 문제를 예방하기 위한 것으로 각 변수 간 상관관계 분석결과는 <표 7>과 같다.

<표 7> 독립변수의 상관관계 분석 결과

	최대속도	최고비행고도	운용시간	크기
최대속도	1			
최고비행고도	0.719	1		
운용시간	0.246	0.445	1	
크기	0.571	0.789	0.647	1

3개의 독립변수를 이용한 다중회귀모형은 다음과 같다.

$$FFY_i = \beta_0 + \beta_1 Maxspeed_i + \beta_2 Altitude_i + \beta_3 Endurance_i$$

여기에서 종속변수인 FFY_i 는 최초비행년도를, 독립변수인 $Maxspeed_i$ 는 최고속도, $Altitude_i$ 는 최고비행고도, $Endurance_i$ 는 운용시간을 의미한다. 다중회귀분석 결과는 <표 8>과 같다.

〈표 8〉 다중회귀분석 결과

구 분	회귀계수	표준오차	t검정통계량	유의확률
최대속도	-0.0154	0.0092	-1.68	0.097
최고비행고도	0.0003	0.0001	2.14	0.035
운용시간	0.0081	0.0578	0.14	0.889
상수항	2002.771	1.4739	1358.79	0.000

다중회귀분석 결과 회귀모형의 F 검정통계량(F(3, 92))은 1.92, 유의확률은 0.1845였으며, 결정계수는 0.065였다. 회귀모형의 신뢰성이 낮은 이유는 TFDEA와 비교를 위해 사용된 변수가 회귀분석에 적절하지 않았기 때문으로 추정된다. 특히, 운용시간의 경우 매우 높은 유의확률을 가지고 있어 분석 결과에 많은 영향을 미친 것으로 분석된다. 이는 회귀분석이 갖는 한계점으로 다양한 통계적 가정사항을 만족하기 못할 경우 분석 자체가 제한되는 경우가 발생하게 된다. 반면 비모수적이고 비통계적인 TFDEA는 주어진 관측치만을 이용하기 때문에 지금과 같은 제한적인 상황에서도 분석이 가능하였다.

3. 기술예측 결과 분석

TFDEA와 다중회귀모형을 이용하여 2014년에 출시된 3대의 무인항공기에 대한 기술예측을 실시하였으며, 결과는 〈표 9〉와 같다.

〈표 9〉 TFDEA 기술예측 결과

장비명	국가	TFDEA				회귀분석
		FFY(t_k)	ϕ^{SE, t_f}	t_{eff}	예측 결과	예측 결과
VTÚL Sokol	체코	2014	2.27637	2009	1988.36	2003.74
Airbus Talarion	독일	2014	0.743475	2009	2016.44	2011.02
ALIT CH-92	중국	2014	5.7	2009	1965.33	2005.81

여기에서 TFDEA의 ϕ^{SE, t_f} 는 초효율성 값, t_{eff} 는 2013년 생산변경 기준 유효시간, 예측 결과는 연간 평균기술변화율($\bar{\gamma}$)를 이용하여 예측한 최초비행년도를 의미한다. 회귀분석 예측 결과는 분석된 회귀모형을 이용한 예측 결과이다. 3대의 무인항공기 중 체코의 Sokol과 중국의 CH-92의 예측 결과는 실제 최초비행년도와 비교적 크게 차이가 나고, 독일의 Talarion은 2~3년 정도의 차이를 보인다. 이는 독일이 중국과 체코보다 높은 기술수준을 보유하고 있음을

의미한다.

국방과학기술조사서에 따르면 무인항공기 관련 기술수준은 독일은 선진국, 중국과 체코의 각각 중진국과 후진국으로 분류된다(국방기술품질원, 2013). 이는 TFDEA 기술예측 결과의 초효율성 값에서도 확인할 수 있는데, 중국 CH-92의 초효율성 값은 5.7이고, 체코 Sokol의 초효율성 값은 2.27로 모두 2013년 기준 non-SOA로 SOA를 이루고 있는 선진국과의 기술격차가 큼을 의미한다. 두 무인항공기의 경우 최초 비행은 2014년에 성공하였지만 세계적인 기술수준으로 봤을 때는 이미 진부화된 기술이 적용되었다고 평가할 수 있다.

기술예측 결과를 살펴보면 SOA 상태에 있는 Talarion에 대한 예측 결과는 TFDEA(편차 2년)가 회귀분석(편차 3년)보다 예측력이 높으나 CH-92, Sokol과 같이 예측하고자하는 대상이 SOA가 아닐 경우에는 TFDEA의 예측력이 현저히 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 TFDEA가 SOA의 변화를 관찰하여 기술예측을 실시하는 방법이기 때문인데, non-SOA의 경우 관련 기술이 SOA였던 과거의 시점을 기술예측 결과로 제시한다. 하지만 회귀분석의 경우 DEA의 자료포락방법과 달리 모든 자료를 바탕으로 회귀선을 추정하여 예측을 하기 때문에 중급기술(non-SOA)에서는 상대적으로 우세한 결과를 보여주었다. 즉, SOA 기술의 경우에는 TFDEA가 상대적으로 우수한 예측력을 보여주지만 중급기술의 경우에는 TFDEA를 적용하는 것이 제한적이다.

무기체계의 특성상 기술적 우위에 있는 무기체계가 전장에서 우세를 확보할 수 있고, 세계 시장에서의 영향력도 크기 때문에 SOA를 고려한 연구개발은 필수적이다. TFDEA를 이용한 분석 결과에서 알 수 있듯이 우리나라가 고고도 무인항공기를 개발할 때 현재 SOA 상태에 있는 Talarion을, 중/저고도 무인항공기는 아랍 에미리트연합(UAE)의 Yabhon-Smart Eye이나 미국 Arcturus T-20의 기술적 특성을 참고하여 개발할 필요가 있겠다. 또한, 전력화 시기 등을 고려하여 과도한 성능이 설정되지 않도록 기술예측을 통한 관리가 필요하다.

V. 결 론

군사용 무기체계의 경우 전장에서 적을 압도할 수 있는 능력을 갖추는 것이 중요한 요소로 세계 시장에서 기술경쟁력을 갖기 위해서는 SOA 위치에 도달하는 것이 중요하다. 본 연구는 군사용 무인항공기에 대해 TFDEA를 이용하여 기술변화를 분석하고 기술예측을 실시하였다. 공개되어 있는 무인항공기 자료를 정리하여 96개의 분석 자료를 작성하였으며, 분석을 위한 변수를 선정하였다. TFDEA와 다중회귀분석을 이용하여 기술예측을 실시하였으며, SOA를

예측함에 있어서는 TFDEA가 회귀분석에 비해 상대적으로 우수한 예측력을 갖는 것을 확인하였다.

본 연구의 의의와 기여는 다음과 같다.

첫째, 무인항공기 분석을 위한 변수를 선정하였고, 정량적 기술예측을 실시하였다. 지금까지 무인항공기에 대한 정성적 기술예측이나 무인항공기에 사용되는 세부 기술에 관한 연구는 일부 있었지만 무인항공기의 발전 추세에 관한 정량적 연구는 미흡하였다. 본 연구는 TFDEA 기법을 이용하여 정량적인 기술예측 결과를 제시하여 국방기술 기획에 참고가 될 수 있을 것이다.

둘째, TFDEA가 무기체계의 기술예측과 목표성능 설정 등에 활용 가능한 방법임을 확인하였다. 기술적으로 상대적인 우위에 있는 SOA 무기체계를 획득하는 것이 전장에서의 상대적 우위 달성과 세계 시장에서의 경쟁력 확보에 유리하다. 따라서 연구개발 초기단계에서 적정 목표 수준을 설정하는데 SOA를 이용한 기술예측을 활용할 수 있을 것이다.

셋째, 무기체계 획득과정에서 기술예측을 통한 사업관리의 필요성을 확인하였다. 기술예측을 활용할 수 있는 분야는 전력화시기와 연계하여 적정 작전운용성능의 설정 여부를 확인하거나 방산수출을 위해 세계적 무인항공기 추세와 개발 중인 무인항공기 성능의 적절성 여부 등을 비교하는 등 다양한 분야에서 활용될 수 있다.

넷째, 다수투입-다수산출에 대한 기술예측이 요구될 때 적용이 가능하다. 회귀분석은 단일산출에 대한 분석이 가능하며, 다수산출에 대한 분석을 위해서는 지수화 등 추가적인 연구를 필요로 한다. 하지만 TFDEA는 DEA의 장점을 승계하여 다수투입-다수산출 상황에서 분석 결과를 바로 확인할 수 있다는 장점이 있다.

다섯째, 우리나라의 무인항공기 기술 수준을 재확인하였다. 국방과학기술조사서에서 전문가 의견을 통합하여 작성한 우리나라의 무인항공기 기술수준은 중진국 수준으로 TFDEA 분석을 통해 이를 재확인할 수 있었다.

본 연구의 한계는 다음과 같다.

첫째, TFDEA는 SOA를 활용한 기술예측 방법으로 SOA가 아닌 중급기술을 사용하는 제품에 대한 예측에는 한계가 있었다. 무기체계와 같이 SOA가 요구되는 분야에서는 TFDEA를 활용할 수 있으며, 상업성과 경제성 등을 고려하여 중급기술을 사용하는 분야에서는 회귀분석 등 다른 예측방법을 사용하는 것이 더 효과적이다.

둘째, 자료 구축의 한계에 따른 변수 선정과 분석이 제한되었다. 총 849건의 자료 중 분석에 사용할 수 있었던 자료는 96건으로 전체의 11% 정도에 불과하다. 이것은 군사용 무인항공기의 경우 자세한 제원이 비밀로 관리되며, 개발 중인 경우 정보에 대한 접근이 제한되기 때문이다. 그 결과 변수로 사용할 수 있는 제원 정보가 제한적이었고, 이는 분석결과에도 영향을 미쳤다.

향후 제조사와 각종 자료 등을 통해 분석 자료에 대한 보완이 필요하고, 이를 통해 더욱 다양한 변수를 활용한 분석을 통해 무인항공기 기술예측을 위한 최적의 변수를 식별하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 국방기술품질원 (2012), 「국가별 국방과학기술수준조사서」, 서울: 국방기술품질원.
- 국방기술품질원 (2013), 「국방과학기술조사서 제6권 항공우주(일반본)」, 서울: 국방기술품질원.
- 국방부 (2015), “합동연합작전 군사용어사전: 한글용어해설”, <http://new.mnd.go.kr/user/indexSub.action?codyMenuSeq=71157&siteId=jcs&menuUIType=sub> (2015.11.19.).
- 국립국어원 (2015), “표준국어대사전”, <http://stdweb2.korean.go.kr> (2015.11.19.).
- 김문수·이학연·최창우·이성룡·최경일·전진우 (2008), “국가연구개발 성과추적평가관리 시스템 모형 및 활용”, 「한국기술혁신학회지」, 11(4): 613-638.
- 김재오·김재희·김승권 (2007), “DEA 기반 순위선정 절차를 활용한 주력전차의 기술예측방법 비교연구”, 「한국국방경영분석학회지」, 33(2): 61-73.
- 김재한 (2016), “국내 군용무인기 개발 현주소는?”, 「월간항공」, (2016. 8. 3.).
- 김현철·정병기·이춘주 (2014), “TFDEA를 이용한 무기체계 기술예측에 관한 연구”, 한국경영학회 2014년 통합학술대회 발표논문집, 2024-2043.
- 박석중·김경화·정상기 (2011), “과학기술적 성과 관점에서 정부 R&D사업 효율성 분석에 관한 연구”, 「한국기술혁신학회지」, 14(2): 205-222.
- 설성수 (1998), “한국의 미래기술”, 「한국기술혁신학회지」, 1(2): 245-261.
- 신태영·박재혁·김형수 (1995), 「기술예측 방법론」, 서울: 과학기술정책관리연구소.
- 안보경영연구원 (2015), 「무인로봇의 군사적 활용방안과 운용개념 정립」, 대전: 안보경영연구원.
- 윤윤중·이종일 (1998), “델파이 방법을 이용한 기술예측의 신뢰도 분석”, 「한국기술혁신학회지」, 1(2): 275-284.
- 이정동·오경준 (2000), “네트워크 효과를 고려한 천연가스산업의 기술적 효율성 분석”, 「한국기술혁신학회지」, 3(3): 36-52.
- 이정동·오동현 (2010), 「효율성 분석이론: DEA 자료포락분석법」, 서울: IB Book.
- 중앙공무원교육원 (2014), 「2022년 세계 시장 10% 점유를 위한 무인항공기(드론)산업 활성화 방안」, 과천: 중앙공무원교육원.

- 합동참모본부 (2014), 「합동작전요구능력서: 합동무인전투」, 대전: 국군인쇄창.
- Amazon (2015), “Amazon Prime Air”, <http://www.amazon.com/b?node=8037720011> (2015.11.20.).
- Andersen, P. and Petersen, N. C. (1993), “A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis”, *Management science*, 39: 1261-1264.
- Anderson, T. R., Daim, T. U. and Kim, J. (2008), “Technology Forecasting for Wireless Communication”, *Technovation*, 28(9): 602-614.
- Anderson, T. R. and Hollingsworth, K. (2001), “Assessing the Rate of Change in the Enterprise Database System Market Over Time Using DEA, In: Kocaoglu, D. F. and Anderson, T. R. (eds.)”, *Technology Management in the Knowledge Era, PICMET*, Portland, 384-390.
- Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W. (1984), “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis”, *Management science*, 30(9): 1078-1092.
- Bongers, A. and Torres, J. L. (2014), “Measuring Technological Trends: A Comparison between US and USSR/Russian Jet Fighter Aircraft”, *Technological Forecasting and Social Change*, 87: 125-134.
- Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E. (1981), “Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow through”, *Management Science*, 27(6): 668-697.
- Chase, M. S., Gunness, K. A., Morris, L. J., Berkowitz, S. K., and Purser III, B. S. (2015), *Emerging Trends in China's Development of Unmanned Systems*, VA: RAND Corporation.
- Davis, L. E., McNerney, M. J., Chow, J., Hamilton, T., Harting, S. and Byman, D. (2014), *Armed and Dangerous?: UAVs and U.S. Security*, VA: RNAD Corporation.
- Dictionary.com (2015), <http://dictionary.reference.com> (2015.11.20.).
- Dodson, E. N. (1970), “A General Approach to Measurement of the State of the Art and Technological Advance”, *Technological Forecasting*, 1(4): 391-408.
- Durairajan, S., Prado, M. I., Rahimi, N. and Jahromi, S. R. (2013), “Forecasting Microprocessor Technology in the Multicore Era Using TFDEA”, *In Technology Management in the IT-Driven Services (PICMET), 2013 Proceedings of PICMET'13*, IEEE: 2108-2115.

- Farrell, M. J. (1957), "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*: 253-290.
- Haiying, R. and Meng, C. (2011), "Forecasting the Mobile Terminal Technology with TFDEA Method", *In Computer Science and Network Technology (ICCSNT), 2011 International Conference*, IEEE, 3: 1939-1942.
- Iamratanakul, S., Anderson, T. R. and Inman, L. (2005), "Measuring the Changing Capabilities of Computer Display Projectors Using TFDEA", *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*.
- Inman, O. L. (2004), "Technology Forecasting Using Data Envelopment Analysis", Portland State University Doctorial Dissertation.
- Inman, L. and Anderson, T. (2004), "TFDEA: A New Approach for Technology Forecasting of New Product Development Targets", *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET 04)*.
- Inman, O. L., Anderson, T. R. and Harmon, R. R. (2006), "Predicting US Jet Fighter Aircraft Introductions from 1944 to 1982: A Dogfight between Regression and TFDEA", *Technological Forecasting and Social Change*, 73(9): 1178-1187.
- Jahromi, S. R., Tudori, A. A. and Anderson, T. R. (2013), "Forecasting Hybrid Electric Vehicles Using TFDEA", *Technology Management in the IT-Driven Services (PICMET), 2013 Proceedings of PICMET'13*, IEEE: 2098-2107.
- Lenz, R. C. (1959), *Technological forecasting*, OH: Aeronautical Systems Div. Wright-Patterson AFB.
- Lim, D. J., Runde, N. and Anderson, T. R. (2013), "Applying Technology Forecasting to New Product Development Target Setting of LCD Panels", *Advances in Business and Management Forecasting*, 9: 137-152.
- Lim, D. J., Anderson, T. R. and Inman, O. L. (2014), "Choosing Effective Dates from Multiple Optima in Technology Forecasting Using Data Envelopment Analysis (TFDEA)", *Technological Forecasting and Social Change*, 88: 91-97.
- Martino, J. P. (1993a), *Technological Forecasting for Decision Making*, McGraw-Hill, Inc.
- Martino, J. P. (1993b), "A Comparison of Two Composite Measures of Technology", *Technological Forecasting and Social Change*, 44(2): 147-159.
- Rousseau, J. J. and Semple, J. H. (1995), "Radii of Classification Preservation in Data

Envelopment Analysis: A Case Study Of Program Follow-Through”, *Journal of the Operational Research Society*, 46(8): 943-957.

Spatar, D., Amini, M., Bahrini, S., Al Mallak, M. and Tamimi, S. (2012), “TFDEA Application for Solar Industry”, *In Technology Management for Emerging Technologies (PICMET), 2012 Proceedings of PICMET'12*, IEEE: 1254-1259.

The American Heritage Dictionary of the English Language (2015), <https://www.ahdictionary.com> (2015.11.19.).

Weckler, Adrian (2015), “Send in the Drones: Google and Wal-Mart to Battle Amazon in the Skies”, <http://www.independant.ie/business/technology/news/send-in-the-drones-google-and-walmart-to-battle-amazon-in-the-skies-34214579.html> (2015.11.20.).

정병기

국방대학교에서 무기체계전공 박사과정에 있다. 관심분야는 기술예측, DEA, TFDEA, 무인체계, 무기체계 효과분석 등이다.

김현철

아주대학교에서 시스템공학전공 박사과정에 있다. 관심분야는 SE, 기술예측, TFDEA, 무인체계, 운용요구서, 시험평가 등이다.

이춘주

서울대학교에서 기술정책 박사학위를 취득하였으며, 현재 국방대학교에서 무기체계전공 교수로 재직 중이다. 관심분야는 WMD, 국방핵심인프라방호, 무기체계 분석방법론 등이다.