Journal of Korean Institute of Intelligent Systems
Vol. 26, No. 3, June 2016, pp. 218-225
http://dx.doi.org/10.5391/JKIIS.2016.26.3.218

ISSN(Print) 1976-9172
ISSN(Online) 2288-2324

비행교육과정 단계별 분석을 통한 조종적성검사 항목 타당성 연구

A Study on Propriety of Pilot Aptitude Test Using Phased Analysis of Pilot Training

김희영 · 김수환† · 문호석
HeeYoung Kim, SuHwan Kim†, and HoSeok Moon

국방대학교 국방과학학과
Department of Military Science, Korea National Defense University(KNDU)

요 약

첨단과학기술의 집합체로서 비약적으로 발전한 항공기 성능과 나날이 고도화되어 가고 있는 군 작전 환경을 고려해 볼 때 이상적인 조종적성을 가지고 있는 인원을 선발하는 문제는 매우 중요하다. 또한 무위로 돌아갈 수밖에 없는 중도 탈락자의 손실비용과 항공사고의 대부분이 인적요인에 의해 발생하고 있다는 사실은 조종적성검사를 통한 인원선발이 왜 중요한지에 대한 좀 더 현실적인 이유가 될 것이다. 이에 본 연구에서는 한국 공군이 2004년 개선하여 조종사 선발에 사용하고 있는 조종적성검사 항목의 타당성을 다양한 분류모형을 통하여 분석하고 선택된 변수에 대한 의미와 향후 발전방향에 대하여 논의하였다. 그리고 광의의 적성검사 항목에 속하는 개인특성변수를 투입하여 분류모형을 구성함으로써 예측력을 높이는 연구를 수행하였다.

키워드 : 조종적성검사, 로지스틱 회귀분석, SCAD(Smoothly Clipped Absolute Deviation), 의사결정나무, Random Forest

Abstract

It is important to select the personnel with ideal pilot aptitude considering dramatically advancing aircraft performance and complexity of military operations as a consequence to the highly developed science and technology. The opportunity cost lost from dropouts and human error being the first cause of aviation accidents are the realistic reasons for the significance of personnel selection based on their aptitude. This study analyses the ROKAF pilot aptitude test that was improved in 2004, using various classification models. This study discusses the significance of the selected variables along with the direction of ROKAF pilot aptitude test for its development in the future. The accuracy of the classification models was improved by taking into account differing personnel characteristics of individuals on the test.

Key Words : Pilot Aptitude Test, Logistic Regression, SCAD, Decision Tree, Random Forest

Received: May. 3, 2016
Revised : Jun. 7, 2016
Accepted: Jun. 7, 2016
†Corresponding authors
ksuhwan@kndu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

조종적성검사는 제1차 세계대전 중 미 육군 조종사 선발에 최초로 사용된 이래 2차 세계대전 발발로 조종사에 대한 수요가 급증하고 항공기 사고로 인한 조종사 손실이 증가하자 일부 항공 선진국의 군 연구기관을 중심으로 연구가 활성화되었다. 조종적성검사는 초기의 지필검사에서부터 간단한 도구를 사용한 심리동작검사, 1960년대 좀 더 복잡한 장비를 사용한 기구검사 형태로 발전하였다. 1980년대 이후부터는 컴퓨터를 이용한 적성검사 방법이 시도되었고 최근에는 웹 기반 검사 및 모의비행장비를 활용한 형태로 발전하고 있다. 한국 공군도 1963년 미 공군 장교자질검사를 번역 수정한 예비용 책자를 발간한 것을 시작으로 현재는 2004년에 개선한 지필지각검사와 1995년에 도입한 모의비행장비(Pilot Aptitude Research Equipment)를 이용한 모의비행검사를 실시하고 있다[1].

조종적성검사는 조종사 양성과정에서 중도 탈락에 따른 무위로 돌아갈 수밖에 없는 엄청난 경제적, 시간적 손실비용과 1950년부터 2011년까지 한국 공군 전투기 사고의 64%가 인적오류에 의한 사고라는 점, 전 세계 항공기 사고의 인적오류 비율이 70% 이상이라는 점, 이상적인 조종적성

규명으로 능력계발에 활용할 수 있다는 점 등을 비추어 볼 때 연구의 가치가 충분하다. 그러나 국내 조종사양성 시스템을 볼 때 체계적인 양성과정 속에서 교육의 추이를 파악하면서 자료를 수집할 수 있는 여건을 갖춘 기관이 공군이 거의 유일하다는 특수성으로 인해 연구가 제한적으로 진행되어 왔다[1, 2].

한국 공군의 초기 조종적성검사는 심리기능검사와 비행자질검사로 구성되었는데 이를 통해 1994년부터 1996년까지 공군의 비행교육과정에 입과한 인원에 대한 검사가 최초로 실시되었다. Choi et al.[3] 및 Son et al.[4]은 위의 축적된 자료에 지능검사, 체력검사, 인성검사의 자료를 포함하여 분석하였는데 Choi et al.은 추적능력, 기계원리, 계기판독, 인간관, 산수추리를 주요 항목으로 선정하였다. 한편, Son et al.은 주의분배력, 속도추적능력, 기계원리, 계기판독을 가장 큰 영향을 미치는 항목으로, 수표해독, 추적능력, 100m 달리기, 인간관, 공구용도, 멀리뛰기를 중요도는 떨어지지만 결과에 영향을 미치는 항목으로 분석하였다. Lee et al.[5]은 한국 공군의 조종적성검사가 1차 개선으로 현재의 지필지각검사와 모의비행검사의 모습을 갖추게 된 2001년부터 2004년 사이의 자료를 분석하였는데 모의비행검사가 중요한 항목으로 작용한다는 결론에 도달하였다. Carretta[6]는 미 공군의 조종적성검사 결과 남성과 여성이 평균 점수에서는 차이가 있지만 주요 요인은 같게 측정된다고 하였다. Shub et al.[7]은 조종사 평가시스템(Pilot Evaluation System)을 적용하여 비행교육과정 입과 인원에 대한 사전검사를 통해 기종분류를 위한 판단기준으로 사용하고자 하였다.

공군의 조종적성검사에 대한 국내연구가 축적된 자료를 과학적인 방법으로 분석하였다는 측면에서는 의의가 있지만, 위에서 서술한 연구 이외의 거의 대부분의 연구가 3단계로 진행되는 공군의 비행교육과정 중 1단계(입문과정)에 초점이 맞추어져 있어 수료율이 가장 떨어지는 2단계(기본과정) 및 중도 탈락에 따른 손실비용이 상대적으로 가장 큰 3단계(고등과정)를 포함한 비행교육 전(全) 과정을 단계별로 분석할 필요가 있다. 단계별 분석은 각 단계별로 설정된 목표와 요구되는 능력이 상이한데 따른 단계별 비행훈련의 성패를 결정짓는 주요 요인이 어떤 차이를 보이는지 분석하기 위한 목적도 있다. 또한 2004년 2차 개선사업으로 현재까지 사용하고 있는 한국 공군의 조종적성검사에 대해서는 연구된 바가 없어, 끊임없이 변화하고 있는 항공무기체계의 발전에 발맞추어 공군의 비행교육과정도 진화하고 있는 만큼 조종적성검사의 주요 항목도 변화할 것이므로 이를 분석할 필요성이 제기된다.

본 연구에서는 2004년 8개 항목에서 6개 항목으로 개선되어 현재 한국 공군이 조종사 선발에 사용하고 있는 조종적성검사 항목에 대한 타당성을 다양한 분류모형의 변수선택 과정을 종합적으로 분석하여 각 단계 및 전체 비행교육과정에서의 주요 항목을 선정하였다. 그리고 개인특성변수를 추가로 투입하여 분류모형을 구성함으로써 예측력을 높이는 실험 및 주요 개인특성변수를 선정하여 조종사 선발에 정책적 조언을 시도하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 2004년 개선된 조종적성검사 내용을 포함한 분석 자료에 대해 언급하고 연구에 사용된 로지스틱 회귀분석 등 4가지 분류모형에 대해 알아본다. 3장에서는 한국 공군의 조종적성검사에 대하여 분석하고 선정된 주요 항목의 의미와 발전방향에 대하여 논의한다. 4장에서는 연구자가 추가 투입한 개인특성변수에 대하여 주요 항목을 선정하여 의미를 살펴보고 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

2. 연구 방법

2.1 분석 자료

본 연구에 사용된 데이터는 2012년부터 2014년까지 공군의 비행교육과정에 입과한 OO 출신 372명의 자료이다.

〈표 1〉은 한국 공군의 조종적성검사 항목을 보여주고 있다. X1부터 X5는 지필지각검사이고 X6는 모의비행검사이다. 2004년 이전의 지필지각검사는 총 7개 항목이었으나 한국적인 특성의 결여, 낮은 변별력, 문제에 사용된 그림이나 도형의 어려운 판독 등의 이유로 기계원리(X4)는 전면수정 되었고 계기판독(X5)은 일부수정 되었으며 공구용도(여러 가지 공구와 이들의 용도를 파악하는 능력을 묻는 항목)와 토막수세기(표 2의 X7)는 제외되었다. 그러나 토막수세기는 제외에 대한 확실한 판단을 할 수 없어 연구목적으로 지속 측정 되었고 본 연구에서는 4장 개인특성변수 연구에서 토막수세기의 타당성에 대하여 알아보았다. 조종적성검사 항목의 자료 유형은 모두 수치형(Numerical)이다.

표 1. 한국 공군의 조종적성검사 항목
Table 1. Items of ROKAF pilot aptitude test

Variables	Index	Explanation
Table Reading	X1	Ability to read tables quickly and accurately
Electrical Maze	X2	Ability to choose a correct path from among several choices
Scale Reading	X3	Ability to read scales, dials, and meters
Mechanical Principle	X4*	Ability to learn and reason with mechanical terms
Instrument Reading	X5*	Ability to determine the position of an airplane in flight from reading instruments
Simulated Flight	X6	Ability to conduct flight procedures and required operation

* : Revised in 2004

〈표 2〉는 연구자가 추가 투입한 개인특성변수로 2004년 제외된 토막수세기(X7)를 포함하고 있으며 에너지(X14)부터 생활양식(X17)까지는 MBTI(Myers-Briggs Type Indicator) 성격검사 유형이다. 개인특성변수의 자료 유형은 토막수세기(X7)~종합평점(X10)은 수치형, 성별(X11)~생활양식(X17)은 2개 범주형, 3Km 달리기(X18)~팔굽혀펴기(X20)는 3개 범주형이다. 〈표 1〉과 〈표 2〉의 항목은 분류모형에서 설명변수로 사용되었다.

표 2. 개인특성변수
Table 2. Personnel characteristic variables

Variables	Index	Explanation
Block Counting	X7	Ability to determine how many pieces are touched by certain numbered blocks
Education Rating	X8	Average rating of credit courses
Life/Training Rating	X9	Average rating of military training
Overall Rating	X10	Overall rating of X8 and X9
Gender	X11	Female or Male
Major Field	X12	Humanity or Natural
Aeronautical Engineering	X13	The others or Aeronautical Engineering
Energy	X14	Introversion or Extraversion
Information	X15	Intuition or Sensing
Decision	X16	Feeling or Thinking
Lifestyle	X17	Perception or Judging
3Km Running	X18	Divided into three categories due to physical abilities of men and women
Sit-up	X19	
Push-up	X20	

반응변수는 이전 단계를 성공적으로 수료해야 다음 단계의 입과 자격이 주어지는 공군의 단계별 비행교육과정을 고려하여 입문과정(Training Course), 기본과정(Basic Course), 고등과정(Advanced Course)의 수료여부와 입문과정에서 고등과정까지 모든 과정을 성공적으로 수료한 인원에게 조종사로서의 자격이 주어지는 만큼 전체과정(Overall Course)의 수료여부를 포함하여 총 4가지 단계의 2진형 변수이다. 각 과정의 수료율은 입문과정 90.6%, 기본과정 72.7%, 고등과정 89.0%, 전체과정 58.6%였다.

2.2 분석 방법

변수선택은 크게 두 가지 방법으로 실시하였는데 첫 번째로 모형의 구성없이 데이터의 통계적 특성을 이용하여 0에 가까운 분산 유무, 상관분석, t-검정, χ^2-검정을 실시하였다. 두 번째로 선택된 변수의 중요도를 직관적으로 파악할 수 있는 로지스틱 회귀분석, SCAD 모형, 의사결정나무, Random Forest를 이용하여 모형을 구성하였고 위의 두 가지 방법으로 선택된 변수를 종합적으로 판단하여 각 단계별 주요 항목을 선정하였다[8, 9, 10].

로지스틱 회귀분석은 AIC를 기준 통계치로 한 단계적 방법(Stepwise Selection)을 실시하였다. 한편, 로지스틱 회귀분석은 설명변수가 반응변수의 예측과 관련이 없음에도 불구하고 종종 선택되는데 이런 경우와 설명변수 사이에 다중공선성이 존재할 때 예측력이 현저히 떨어지는 단점을 보인다. 이를 극복하기 위해 예측과 관련이 없는 설명변수의 추정량을 쉽게 0으로 만들어 자연스럽게 변수선택 효과까지 노릴 수 있는 식(1)의 J_λ와 같은 벌점화 함수(Penalty Function)를 도입하였다.

$$\hat{\beta}_{PMLE} = \mathrm{argmin}_{\beta}\left\{L(\beta) + \sum_{j=1}^{p} J_\lambda(|\beta_j|)\right\} \quad (1)$$

*PMLE : Penalized Maximum Likelihood Estimator
*$L(\beta)$: Log Likelihood Function

$$J_{\lambda,\ LASSO} = \lambda \sum_{j=1}^{p} |\beta_j| \quad (2)$$

$$J_{\lambda,\ SCAD} = \begin{cases} \lambda|\beta_j| & , \quad |\beta_j| \le \lambda \\ -(|\beta_j|^2 - 2a\lambda|\beta_j| + \lambda^2)/2(a-1) & , \quad \lambda < |\beta_j| \le a\lambda \\ (a+1)\lambda^2/2 & , \quad |\beta_j| > a\lambda \end{cases} \quad (3)$$

벌점화 함수의 종류에 따라 여러 가지 모형이 있는데 그 중에서 가장 널리 쓰이고 있는 LASSO(Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) 모형은 식(2)와 같은 벌점화 함수를 사용한다. 그러나 LASSO 모형은 다른 벌점화 함수를 사용한 모형에 비해 필요 이상의 변수를 선택한다는 것이 알려져 있다. 이에 본 연구에서는 벌점화 추정량($\hat{\beta}_{PMLE}$)이 예측과 관련된 변수만으로 얻어진 이상적인 추정량(Oracle Estimator)과 점근적으로 일치한다는 신탁성질(Oracle Property)이 있는 것으로 알려진 SCAD 모형을 사용하였다. SCAD 모형의 벌점화 함수는 식(3)과 같다[11, 12].

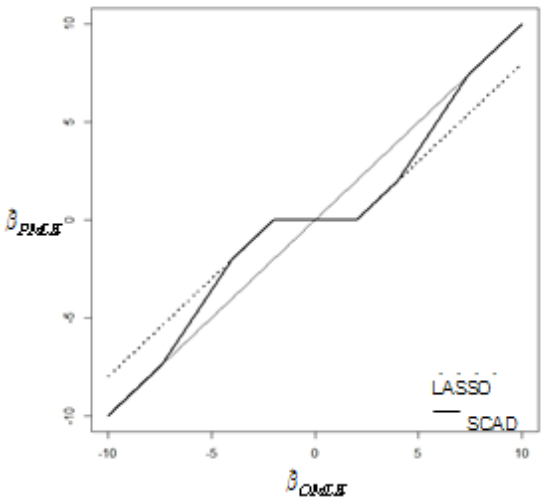

그림 1. LASSO 모형과 SCAD 모형 비교($\alpha = 3.7,\ \lambda = 2$)
Fig. 1. Comparison of LASSO and SCAD with $\alpha = 3.7,\ \lambda = 2$

위의 〈그림 1〉은 벌점화 함수를 사용하는 대표적인 LASSO

모형과 SCAD 모형을 비교한 것으로 Ordinary Maximum Likelihood Estimator(OMLE)가 벌점화 함수에 따라 Penalized Maximum Likelihood Estimator(PMLE) 로 추정될 때의 변화 양상을 보여준다. SCAD 모형의 경우 초기 LASSO 모형과 같이 0으로 수렴하였다가 λ 만큼 일정량이 축소되는 양상을 보이지만, OMLE 값이 커질수록 원래의 값으로 환원되는 것을 볼 수 있다. 반면 LASSO 모형은 λ만큼 지속적으로 편향이 발생한다. 이처럼 λ는 회귀계수 값의 축소정도를 조절하는 조절모수로 λ가 커질수록 회귀계수의 값은 0에 가까워진다.

위에서 보다시피 SCAD 모형의 경우 조절모수(Tuning Parameter)로 α와 λ가 있는데 본 연구에서 α는 3.7, λ는 BIC를 기준으로 설정하였다[12, 13]. 특히, λ설정과정에서 최소의 BIC만을 고집하게 되면 모형의 추정량이 모두 0이 되는 경우가 발생한다. 예를 들어 〈그림 2〉의 (a)와 같은 λ-BIC 그래프에서는 추정량이 적절하게 결정되지만 (b)와 같은 λ-BIC 그래프에서는 최소 BIC에 대응하는 λ에서의 추정량이 모두 0이 되어 그래프의 경향이 최대로 바뀌는 꼭지점(Vertex)에 해당하는 λ를 선택하는 것이 합리적이다.

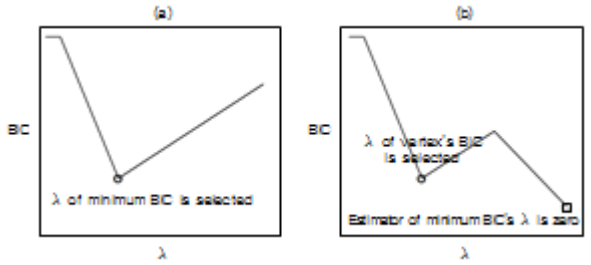

그림 2. SCAD 모형 조절모수(λ) 설정
Fig. 2. Set of SCAD tuning parameter(λ)

의사결정나무는 불순도 측정기준으로 지니지수를 사용하는 CART(Classification and Regression Model) 알고리즘을 적용하였다. Random Forest는 총 500개의 의사결정나무를 구성하였고 각 노드마다 4개의 변수를 사용하였다[14].

3. 기존 조종적성검사 연구

분산이 0에 가까운 항목은 분류모형의 유용한 변수로 작용하기 힘든데 조종적성검사에는 분산이 0에 가까운 항목이 없었다. 또한 〈표 3〉을 보면 조종적성검사 항목 간에 보통(Usual) 이하의 양의 상관관계(γ)를 보여주고 있는데 이는 조종적성검사 항목이 일관성 있는 평가도구로서 가치가 있다는 것을 보여준다. 조종적성검사 중 가장 높은 상관관계를 보인 항목은 전기미로(X2)와 기계원리(X4)로 0.41이었으나 조종적성검사 항목의 분산팽창요인(Variance Inflation Factor)은 모두 1.5 이하로 다중공선성이 의심되지 않아 로지스틱 회귀분석 시 설명변수로 사용하였다.

표 3. 수치형 변수 피어슨 상관분석 결과
Table 3. Result of Pearson correlation test for numerical variables

X1	.26 ***	.27 ***	.20 ***	.19 ***	.18 ***	.31 ***	.06	.06	.07
	X2	.27 ***	**.41** ***	.18 ***	.24 ***	.27 ***	.00	.09	.03
		X3	.29 ***	.19 ***	.12 *	.31 ***	.00	.03	.01
			X4	.25 ***	.30 ***	.35 ***	.00	.02	.01
				X5	.11 *	.15 **	.01	.07	.02
					X6	.16 **	.02	.11 *	.03
						X7	.05	.05	.06
							X8	.39 ***	**.95** ***
								x9	.65 ***
									x10

Shadow : Pilot Aptitude Test

$\gamma \le .2$	Very weak
$.2 < \gamma \le .4$	Weak
$.4 < \gamma \le .6$	Usual
$.6 < \gamma \le .8$	Strong
$\gamma > .8$	Very strong

[15]

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$ (이하 동일)

〈표 4〉의 중도 탈락집단(Fail)과 수료집단(Pass) 간의 t-검정 결과는 유의한 변수만 제시하였는데 현재 조종적성검사가 입문과정에 초점이 맞추어져 있다는 것이 확연하게 드러난다. 입문과정은 모든 항목이 유의한 반면 고등과정은 유의한 항목이 전혀 없다. 이는 조종적성검사의 연구범위를 비행교육과정 전 단계로 확장시켜 통합적인 접근이 요구된다는 것을 보여주고 있다.

표 4. 조종적성검사 t-검정 결과
Table 4. Result of t-test for pilot aptitude test

Group		Fail		Pass		t-value
Group		mean	sd	mean	sd	t-value
Training Course	X1	27.7	5.6	31.3	5.7	-3.57***
	X2	5.7	3.1	8.1	3.3	-4.31***
	X3	22.3	5.0	24.3	4.6	-2.25*
	X4	10.7	3.4	12.2	3.2	-2.58*
	X5	10.1	3.9	12.6	3.4	-3.64***
	X6	39.0	19.1	48.8	18.5	-2.90**
Basic Course	X1	30.2	5.8	31.7	5.6	-2.14*
	X5	12.0	3.5	12.9	3.4	-2.16*
	X6	45.2	18.3	50.1	18.4	-2.15*
Overall Course	X1	29.9	5.9	31.7	5.7	-3.04**
	X2	7.2	3.3	8.4	3.3	-3.41***
	X5	11.6	3.8	13.0	3.3	-3.88***
	X6	44.2	18.5	50.4	18.5	-3.16**

〈표 5〉는 조종적성검사 항목을 설명변수로 한 4가지 분류모형을 각 단계별로 제시한 것이다. 모형 평가 기준으로 정확도(Accuracy)

를 측정하였는데 10겹 교차검증을 10번 실시하여 총 100번의 실험을 통해 평균 및 분산을 제시하였다. 그리고 주요 선택변수(Selected Variables)는 전체데이터를 학습시켜 선정하였다.

표 5. 조종적성검사 분류모형 결과 비교
Table 5. Comparison of classification model's result for pilot aptitude test

Group		Accuracy(sd)	Selected Variables
Training Course	LOG	88.9(0.031)	**X1, X2, X5, X6**
	SCAD	**90.7(0.045)**	**X1, X2, X5, X6**
	DT	88.3(0.022)	**X1, X2,** X3, **X5, X6**
	RF	87.8(0.021)	**X6** 〉 X4
Basic Course	LOG	69.2(0.043)	**X1,** X4, **X5, X6**
	SCAD	**72.4(0.077)**	**X1, X5, X6**
	DT	67.6(0.055)	**X1,** X2, X3, **X5, X6**
	RF	69.0(0.045)	**X6** 〉 X4
Advanced Course	LOG	78.4(0.236)	X2
	SCAD	**88.4(0.057)**	X2, X5
	DT	85.9(0.045)	X1, X2, X3, X4, X6
	RF	87.9(0.009)	X6 〉 X2
Overall Course	LOG	60.8(0.069)	**X1, X2, X5, X6**
	SCAD	**66.2(0.070)**	**X1, X2, X5, X6**
	DT	58.2(0.061)	**X1, X2, X5, X6**
	RF	59.6(0.061)	**X6** 〉 X4

LOG(Logistic Regression), DT(Decision Tree), RF(Random Forest)

각 단계별로 SCAD 모형이 가장 높은 정확도를 보였으며 전체과정의 정확도는 66.2%였다. Random Forest 모형의 선택변수 부등호(〉) 왼쪽 항목은 노드불순도 개선에 기여도가 가장 높은 항목이고 오른쪽은 기여도가 가장 떨어지는 항목이다. 본 연구의 핵심인 조종적성검사 항목 타당성 분석을 위해 앞에서 실시한 변수선택 결과를 종합하면(〈표 5〉의 굵은 글씨체) 입문과정과 전체과정은 동일하게 수표해독(X1), 전기미로(X2), 계기판독(X5), 모의비행검사(X6)가 선정되었고 기본과정은 수표해독(X1), 계기판독(X5), 모의비행검사(X6)가 선정되었으며 고등과정은 어떠한 항목도 선정되지 않았다. 또한 척도판독(X3)과 기계원리(X4)는 모든 단계에서 제외되었는데 특히, 기계원리(X4)는 거의 모든 단계에서 중요도가 가장 떨어졌다. 이는 Choi et al.[3] 및 Son et al.[4]의 연구에서 기계원리를 주요 항목으로 제시한 것과 반대되는 결과이다. 그리고 고등과정을 제외한 모든 과정에서 모의비행검사(X6)가 가장 중요한 항목으로 선정되었는데 이는 Lee et al.[5]의 연구와도 일맥상통하는 결과이다.

위의 결과에 대한 해석은 다음과 같다. 척도판독(X3)은 오판독을 최소화하려는 항공기 설계개념과 맞지 않게 직관적이지 못한 고난도 문제로 구성되어 있어 판별력을 잃은 것으로 보인다. 현대 항공기의 디지털 표시방식이나 스트레스 상황 하에서의 척도판독 문제의 개발이 시급하다. 기계원리(X4)는 2004년 개선과정에서 모든 문제를 전면 교체하였는데 이 과정에 문제는 없었는지 재조명이 필요하다. 개선과정에 문제점이 없었다면 선행연구와 다른 결과를 보인 것은 항공무기체계와 비행교육과정의 변화에 따라 조종적성검사 항목도 끊임없이 진화하여야 한다는 증거가 될 것이다. 또한 간접적인 기계원리를 묻는 문제보다 직접적인 항공원리의 이해를 묻는 문제가 필요하다고 판단된다. 마지막으로 거의 모든 단계 및 모형에서 압도적으로 중요한 변수로 선택된 모의비행검사(X6)가 고등과정에서 제외된 이유는 모의비행검사에 사용되는 시뮬레이터의 항공기 종류와 실제 고등과정에서 훈련기로 사용하는 항공기 종류가 상이한데 따른 문제로 보인다.

4. 추가 개인특성변수 연구

〈표 3〉의 개인특성변수 항목 중 토막수세기(X7)는 2004년 조종적성검사에서 제외되었으나 연구목적으로 지속 측정되었는데 기존 조종적성검사 항목들과 약하거나(Weak) 매우 약한(Very weak) 양의 상관관계를 보이고 있어 전혀 다른 능력을 차별적으로 측정한다고 볼 수 없다. 이는 토막수세기(X7)가 조종적성검사로서의 의미를 가지고 있다는 것이다. 그밖에 흥미로운 사실은 학위교육평점(X8), 생활/훈련평점(X9), 종합평점(X10)은 토막수세기(X7)를 포함한 조종적성검사 항목과 상관관계가 매우 약하다는 것이다. 또한 종합평점(X10)은 학위교육평점(X8)과 생활/훈련평점(X9)의 선형결합이므로 양의 상관관계가 매우 강하였는데(Very Strong), 분산팽창요인 역시 모두 10 이상으로 매우 높았다. 이에 전체과정의 정확도, 모델의 단순화, 〈표 6〉의 t-검정 결과를 고려하여 로지스틱 회귀분석 시 학위교육평점(X8)과 생활/훈련평점(X9)을 제외하고 모형을 구성하였다.

〈표 6〉의 중도 탈락집단(Fail)과 수료집단(Pass) 간의 t-검정

표 6. 개인특성변수 t-검정 결과
Table 6. Result of t-test for personnel characteristic variables

Group Group		Fail		Pass		t-value t-value
		mean	sd	mean	sd	
Training Course	X7	13.5	3.0	14.7	3.3	-2.23*
	X9	2.9	0.3	3.0	0.3	-2.22*
	X10	2.9	0.3	3.0	0.3	-2.20*
Basic Course	X8	3.0	0.4	3.1	0.4	-2.29*
	X10	3.0	0.3	3.0	0.3	-2.39*
Advanced Course	X8	2.9	0.4	3.1	0.4	-2.59*
	X9	2.9	0.5	3.0	0.3	-2.29*
	X10	2.9	0.3	3.1	0.3	-2.84**
Overall Course	X7	14.1	3.2	15.0	3.2	-2.73**
	X8	2.9	0.4	3.1	0.4	-3.71***
	X9	2.9	0.3	3.0	0.3	-3.10**
	X10	2.9	0.3	3.1	0.3	-4.15***

결과는 유의한 변수만 제시하였는데 토막수세기(X7)는 입문과정과 전체과정에서 유의한 항목으로 선정되었다. 특히, 종합평점(X10)은 모든 단계에서 유의한 항목으로 매우 중요한 개인특성변수라고 할 수 있다.

〈표 7〉은 개인특성변수 중 10개의 범주형 변수에 대한 χ^2-검정 결과이다. 기본과정과 전체과정에서 3Km 달리기(X18)가 유의하였고 표에는 제시하지 않았지만 χ-값이 0.1에서 0.05사이의 항목으로는 항공공학(X13), 에너지(X14), 윗몸일으키기(X19)가 있었다. 또한 수료여부와 성별은 서로 독립인데 이는 여성이라고 해서 중도 탈락자가 많지 않다는 것으로 향후 공군의 여성조종사 선발정책에 지표가 될 수 있을 것이다.

표 7. 개인특성변수 χ^2-검정 결과
Table 7. Result of χ^2-test for personnel characteristic variables

Group		Category	Fail(%)	Pass(%)	χ^2
Basic Course	X18	1st	5.04	16.32	7.60*
		2nd	15.13	46.59	
		3rd	7.13	9.79	
Overall Course	X18	1st	8.60	13.17	7.09*
		2nd	23.12	37.90	
		3rd	9.68	7.53	

〈표 8〉은 개인특성변수를 추가로 투입하여 조종적성검사와 개인특성변수 모두를 설명변수로 한 4가지 분류모형을 각 단계별로 제시한 것이다. Random Forest는 의사결정나무의 특성상 다양한 값으로 분할 가능한 변수가 다른 변수에 비해 선호되는 문제를 반영하기 위해 수치형 자료(X1~X10)와 범주형 자료(X11~X20)를 구분하여 노드 불순도 개선에 기여한 정도에 따라 제시하였다. 기호(‖)의 왼쪽이 수치형 자료, 오른쪽이 범주형 자료의 변수 중요도이다.

모든 단계에서 SCAD 모형이 가장 우수한 정확도를 보였다. 예측모형 구성 시 기존의 입문과정에 초점이 맞추어져 있던 것에서 벗어나 조종사로서의 자격이 주어지는 전체과정을 중심으로 하는 것이 합리적이므로 전체과정의 정확도를 살펴보면 SCAD 모형이 71.9%로 가장 우수하였다. 또한 조종적성검사 항목만으로 모형 구성 시 정확도는 66.2%이고 개인특성변수를 추가 투입 시 정확도는 71.9 %로 5.7% 포인트 향상되었다. 개인특성변수 추가 투입 시 예측 정확도 향상에 대한 통계적 검증으로 t-검정을 실시한 결과 SCAD 모형뿐만 아니라 나머지 모형에서도 통계적으로 유의한 결론에 도달하였다.

전체과정에 대한 SCAD 모형은 식(4)와 같고 개인특성변수 투입 전후의 ROC 곡선은 〈그림 3〉과 같다. 개인특성변수 투입 전의 AUC(Area under the curve)는 0.663이고 투입 후의 AUC는 0.721로 예측 정확도 향상을 뒷받침한다.

표 8. 개인특성변수를 포함한 분류모형 결과 비교
Table 8. Comparison of classification model's result including personnel characteristic variables

Group		Accuracy(sd)	Selected Variables
Training Course	LOG	88.7(0.028)	**X10**, X14, X19
	SCAD	**91.7(0.042)**	**X9, X10**, X14, X19
	DT	88.6(0.025)	**X9**
	RF	89.3(0.009)	**X9**〉X7 ‖ X18〉X11
Basic Course	LOG	69.0(0.052)	X7, **X10**, X13, X14, X19
	SCAD	75.3(0.070)	X7, X8, **X10**, X13, X14, X18, X19
	DT	68.7(0.044)	X9, **X10**
	RF	70.5(0.038)	X9〉X4 ‖ X19〉X11
Advanced Course	LOG	85.4(0.036)	**X10**, X12, X13
	SCAD	**89.5(0.055)**	**X10**, X12
	DT	86.0(0.041)	**X10**, X20
	RF	88.0(0.000)	**X10**,〉X2 ‖ X19〉X11
Overall Course	LOG	63.4* (0.076)	**X7, X10**, X13, X14
	SCAD	**71.9*** (0.072)**	**X7, X10**, X13, X14, X18, X19
	DT	62.1*** (0.076)	X8, **X10**
	RF	64.6*** (0.071)	**X10**〉X4 ‖ X19〉X11

$$\ln\frac{P(Y=1|x_1,\cdots,x_p)}{P(Y=0|x_1,\cdots,x_p)} = \begin{array}{ll} - & 7.059855953 \\ + & 0.007499411\mathbf{X1} \\ + & 0.055459384\mathbf{X2} \\ + & 0.105727678\mathbf{X5} \\ + & 0.010044293\mathbf{X6} \\ + & 0.007892040\mathbf{X7} \\ + & 1.480741365\mathbf{X10} \\ + & 0.175475800\mathbf{X13} \\ + & 0.434729350\mathbf{X14} \\ + & 0.142411358\mathbf{X18}(2nd) \\ + & 0.189047804\mathbf{X19}(1st) \end{array} \quad (4)$$

$$Tuning\ prameter:\ \alpha(3.7),\ \lambda(0.0225)$$

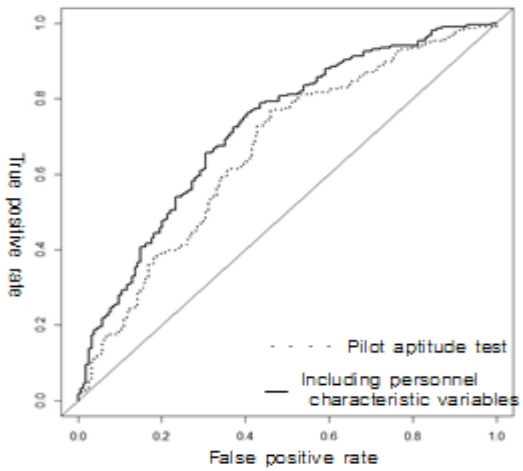

그림 3. 전체과정의 ROC 곡선
Fig. 3. ROC curve of overall course

〈표 6〉에서부터 〈표 8〉까지를 종합하여 주요 선택변수(〈표 8〉의 굵은 글씨체)에 대해 살펴보면 앞의 조종적성검사 항목에서와 같이 뚜렷한 경계를 그을 수는 없지만, t-검정과 분류모형의 결과를 근거로 입문과정에서는 생활/훈련평점(X9)과 종합평점(X10)을, 기본과정과 고등과정에서는 종합평점(X10)을, 전체과정에서는 토막수세기(X7)와 종합평점(X10)을 각각 선정할 수 있다. 생활/훈련평점(X9)과 종합평점(X10)이 선정된 것은 비행교육과정이 단순히 학업의 연장이 아닌 끊임없는 자기절제와 성실함으로 대변되는 인고의 과정이라는 것을 반영한 결과라 하겠다. 또한 토막수세기(X7)는 조종사에게 반드시 필요한 3차원 공간에서의 해석력을 측정하는 도구로서 의미가 있다는 것을 말한다.

Random Forest의 수치형 변수로는 생활/훈련평점(X9) 및 종합평점(X10)이 주요 변수로 선정되었는데 특히, 종합평점(X10)은 기존 조종적성검사의 그 어떤 항목보다 압도적으로 우세하게 중요한 변수로 제시되었다. 반면 기계원리(X4)는 중요도가 떨어지는 것으로 나타났고 범주형 변수로는 윗몸일으키기(X19)가 주요 변수로 제시되었다.

위의 변수선택 결과를 종합하면 대체로 종합평점(X10)은 모든 단계 및 모형에서 가장 중요한 개인특성변수이다. 따라서 종합평점(X10) 즉, 학업성취도는 조종사 선발과정에서 조종적성검사의 한개 항목으로 포함되거나 선발과정의 다른 절차에 포함되어 반드시 평가되어야 한다. 그 이외에도 입문과정의 생활/훈련평점(X9) 및 전체과정의 토막수세기(X7)를 주요 선택변수로 볼 수 있다.

가장 우수한 SCAD 모형은 벌점화 함수 도입에 따른 추정량의 왜곡이 있어 오즈(Odds) 분석에 부적합하여, 로지스틱 회귀분석으로 전체과정에 해당하는 자료를 유의수준 5% 이내 변수로 오즈를 분석해 보면 평균적으로 종합평점(X10)이 1단위 증가할 때마다 수료가능성은 무려 4.8배 증가하는 것으로 나타났고 에너지(X14)가 외향인 인원이 내향인 인원에 비해 평균적으로 수료가능성이 1.8배 높았다. 이는 비행교육이 교관과의 일대일 실습방식이라는 점에서 기인한 것으로 적극적인 성향의 에너지 방향이 외향형인 인원이 수료 가능성이 높다고 추론할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구의 핵심인 2004년 개선하여 현재 한국 공군이 조종사 선발에 사용하고 있는 조종적성검사 항목 타당성에 대한 연구 결과 수표해독(X1), 전기미로(X2), 계기판독(X5), 모의비행검사(X6)는 유의한 항목으로 지속 발전시켜 나가야 하며 척도판독(X3) 및 기계원리(X4)는 재고의 여지가 다분하다. 또한 개인특성변수로는 토막수세기(X7), 생활/훈련평점(X9), 종합평점(X10)이 주요 변수로 선정되었다.

위의 연구 결과들을 바탕으로 아래와 같은 정책적 제언을 한다. 첫째, 현재 한국 공군에서 사용하고 있는 조종적성검사는 항공무기체계의 발전 및 비행교육과정의 변화에 발맞추어 지속적으로 연구되고 새로운 옷으로 갈아입어야 한다. 둘째, 이와 같이 새롭게 개발된 조종적성검사 항목은 반드시 조종적성계발 프로그램에 반영되어 사전준비의 도구로 활용되어야 한다. 셋째, 모의비행검사(X6)의 중요성에 비추어 볼 때 신체협응능력을 평가할 수 있는 수행평가체계 및 고등과정의 훈련기(T-50) 성능을 구현할 수 있는 모의비행장비의 도입이 필요하다. 넷째, 종합평점(X10) 즉, 학업성취도는 선발과정에서 어떠한 형식으로든 평가가 이루어져야 한다. 다섯째, 성별에 따른 수료율의 차이가 존재하지 않는 것은 일부 출신 여성장교에게만 열려있는 조종사의 문을 넓히기 위한 초석이 될 수 있다.

향후 연구는 실제 단계별로 이루어지고 있는 비행교육 현장에서 훈련비행 탑승교관이 데이터베이스에 입력한 방대한 강평자료를 바탕으로 중도 탈락자집단과 수료자집단에 대하여 비정형데이터 분석을 실시하여 중도 탈락자집단과 수료자집단의 차이를 규명하는 것이다. 이는 조종적성검사 항목 개발 시 어떤 능력을 측정해야 하는지에 대한 판단 근거가 될 것이다. 또한 조종적성은 지각능력과 같은 비행자질 자체뿐만 아니라 동기부여와 같은 심리적 요인과 체력적 요인 등 여러 가지 요인이 종합적이고 총체적으로 작용하는 만큼 공동연구가 반드시 필요하다.

References

[1] The Republic of Korea Air Force Academy, *Pilot Aptitude Test White Paper*, Korea Armed Forces Printing & Publishing Depot, 2011

[2] Yeom, S. J., *(A) study on the prediction modeling of military aircraft accident occurrence*, Doctoral Thesis, Yonsei, 2014

[3] Choi, S. W. and Kim, J. H., "A Study of Correlation between Pilot Aptitude Test and Combat Flight Training", *Journal of Korea Air Force Academy*, vol. 47, no. 1, pp. 183-213, 2001

[4] Son, S. Y., Cho, Y. K., Choi, S. W. and Kim, Y. C., "Comparison of Classification Models for Sequential Flight Test Results", *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, vol. 21, no. 1, pp. 1-14, 2002

[5] Lee, S. H. and Lee, S. D., "Selection of Important Variables in the Classification Model for Successful Flight Training", *Journal of Korean institute of idustrial engineers*, vol. 20, no. 1, pp. 41-

48, 2007

[6] Carretta, T. R., "Male-Female Performance on U.S. Air Force Pilot Selection Tests", *Aviation Space and Environmental Medicine*, vol. 68, no. 9, pp. 818-823, 1997

[7] Shub, Y., Kushnir, A. and Frenkel, J., "Pilot Evaluation System", *Aerospace and Electronics Conference, Proceedings of the IEEE National*, vol. 2, pp. 734-741, 1994

[8] Kim, J. W. and Kim, H. J., "Factor Analysis for Improving Adults' Internet Addiction Diagnosis", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 21, no. 3, pp. 317-322, 2011

[9] Yoon, T. B. and Lee, J. H., "Design of Heuristic Decision Tree (HDT) Using Human Knowledge", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 19, no. 4, pp. 525-531, 2009

[10] Lee, K. H., Lee, D. I. and Lee S. G., "Majority Voting FCM with Implied Validity Measure", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 12, no. 6, pp. 543-548, 2002

[11] Zhao, P. and Yu, B., "On model selection consistency of lasso", *The Journal of Machine Learning Research*, vol. 7, pp. 2541-2563, 2006

[12] Fan, J. and Li, R., "Variable selection via nonconcave penalized likelihood and its oracle properties", *Journal of the American Statistical Association*, vol. 96, no. 456, pp. 1348-1360, 2001

[13] Zhanga, Y., Lia, R. and Tsaia, C., "Regularization parameter selections via generalized information criterion", *Journal of the American Statistical Association*, vol. 105, no. 489, pp. 312-323, 2010

[14] Kim, S. J., "A Study on the Node Split in Decision Tree with Multivariate Target Variables", *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 13, no. 4, pp. 386-390, 2003

[15] Ryu, C. S., *SPSS 14.0 for Windows*, Elite Publishing Co., 2010

저 자 소 개

김희영(HeeYoung Kim)

2004년 : 공군사관학교 항공우주공학과 공학사

2015년~현재 : 국방대학교 국방과학학과 석사과정

관심분야 : 데이터 마이닝, 텍스트 마이닝

Phone : +82-2-300-2174

E-mail : dnsdudqnstjr351@kndu.ac.kr

김수환(SuHwan Kim)

1996년 : 육군사관학교 화학과 이학사

2004년 : KAIST 산업공학과 공학석사

2013년 : Texas A&M University 산업공학과 공학박사

2013년~현재 : 국방대학교 국방과학학과 교수

관심분야 : 최적화, 데이터 마이닝, 스케쥴링

Phone : +82-2-300-2174

E-mail : ksuhwan@kndu.ac.kr

문호석(HoSeok Moon)

1994년 : 육군사관학교 화학과 이학사

2003년 : 고려대학교 전자공학과 공학석사

2006년 : 고려대학교 산업공학과 공학박사

2010년 : 고려대학교 통계학과 통계학박사

2015년~현재 : 국방대학교 국방과학학과 교수

관심분야 : 빅데이터 분석, 국방 M&S, 영상처리

Phone : +82-2-300-2189

E-mail : hsmoon0329@kndu.ac.kr