

공군 고등훈련기(T-50계열) 성능개량 평가지표 분석 및 우선순위 도출*

정병호** · 황성인*** · 정윤교** · 임남규**†

공군사관학교, *국방과학연구소

Analysis of the Performance Improvement Evaluation Index of Air Force Advanced Trainers(T-50 Series) and Deriving Priorities

Byungho Jung** · Seong In Hwang*** · Yoonkyo Jung** · Namkyu Lim**†

Republic of Korea Air Force Academy, *Agency for Defense Development

The purpose of this paper is to set evaluation indicators for performance improvement of T-50 aircraft and to derive priorities for performance improvement items. To this end, this study first sets evaluation indicators based on case analysis and general business evaluation factors, and secondly, Delphi analysis confirms evaluation indicators through expert consensus and statistical verification. Finally, the priority of performance improvement items is derived through pairwise comparison between performance improvement items using evaluation indicators previously confirmed through Delphi analysis through AHP (Analytic Hierarchy Process). The results of this study are of great significance in that it is possible to select projects to be promoted first in future project evaluations and budget constraints. In this study, among the four types of T-50 aircraft (T-50, TA-50, T-50B, FA-50), it is limited to T-50 and TA-50 that are operated purely for higher flight training.

Keyword : T-50 Series, Evaluation Index, Priority of Performance Improvement, Delphi, AHP

* 이 논문은 국방과학연구소의 지원에 의해 수행한 연구임(UE232088AD, 공군 비행교육훈련체계를 연계한 T-50계열 성능개량 방안 연구).

† Corresponding Author : P.O.Box 335-2, 635 Danjae-ro, Namil-myeon, Sangdang-gu, Cheongju-si, Chungbuk, Korea, 28187, E-mail: nklim71@naver.com

Received: 14 September 2023, Accepted: 27 September 2023

1. 서론

현재 공군은 미래 전장에서 항공우주력을 이용한 공중우세를 점하기 위해 5세대 전투기인 F-35를 도입하여 운용하고 있으며, 4.5세대 국산 전투기인 KF-21 개발, 고고도 무인기 운용 및 유무인 협업 개념 연구 진행 등 빠르게 변화해 나가고 있다. 이러한 시대적인 요구와 항공우주력 운영개념에 맞추어 우리나라 주력 전투기인 F-16, KF-16의 성능개량, F-15K의 성능개량 사업 계획을 통해 4세대 전투기에서 4.5세대 전투기로 성능을 업그레이드해 나가고 있다. 이렇듯 전투기의 성능은 날로 향상되어 가고 있지만, 업그레이드된 전투기를 운용할 예비 전투조종사 교육에 활용되는 고등비행 훈련기(T-50계열)의 성능은 최초 개발 당시와 거의 유사한 수준이다. 최초의 국산 고등훈련기인 T-50계열 항공기는 2003년 양산계획이 승인된(Kim, 2003; Han & Kim, 2012) 이후, 현재까지 20여 년 동안 공군의 고등비행 훈련용으로 운영하고 있다. 현재 우리나라 주력 전투기인 F-16, KF-16, F-15K의 성능개량 사업이 완료되었거나 진행되고 있는 점을 고려했을 때, 고등비행 훈련기 또한 성능개량이 필요한 시기에 이르렀다고 할 수 있다. 선행연구에 따르면 T-50계열 항공기는 총 5~8가지(항공전자/비행제어, 조종실 성능개선, 내외장 훈련시스템, 기체수명연장, 생존성/안전성 향상 계통 등) 항목의 성능개량이 필요한 것으로 식별되었으며, 예산 등의 이유로 우선순위가 높은 계통부터 순차적인 진행이 필요한 실정이다.

본 논문은 T-50계열 항공기의 성능개량 우선순위를 평가하기 위한 평가지표를 설정하고, 이 평가지표를 활용하여 성능개량 항목의 우선순위 도출을 목적으로 한다. 본 연구에서는 사례분석, 일반 사업평가 요소를 기초로 평가지표를 설정하고, 델파이(Delphi) 분석을 통해 전문가들의 합의와 통계적 검증으로 평가지표를 확정한다. 성능개량 항목의 우선순위 도출은 AHP(Analytic Hierarchy Process)분석을 통해 진행하며 앞서 델파이 분석을 통해 확정된 평가지표를 활용하여 성능개량 항목들의 쌍대비교를 통해 우선순위를 도출한다. 본 연구의 결과는 향후 사업평가와 예산 제약시 우선 추진할 사업을 선별할 수 있다는 측면에서 큰 의미가 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서는 T-50계열 항공기 4종(T-50, TA-50, T-50B, FA-50) 중 순수하게 고등비행 훈련용으로 운영 중인 T-50과 TA-50으로 한정하여 진행한다.

2. 연구수행절차

〈Fig. 1〉은 본 연구의 수행 절차를 나타낸 그림이다. 본 연구는 〈Fig. 1〉에서와 같이 3단계의 절차를 적용하여 진행하였다.

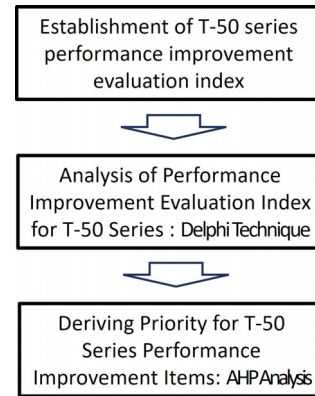


Fig. 1 Flow Chart

첫 번째 단계는 T-50계열 성능개량 평가지표를 설정하는 것이다. 항공 선진국 미군의 사례에서 평가지표를 식별하고, 참고문헌과 인터뷰를 통해 일반 사업 평가요소를 추가로 식별하게 된다. 이렇게 식별된 평가지표들의 항목간 유사성, 관련성을 기준으로 상위 평가지표-하위 평가지표의 계층적 평가지표 구조를 가진 초안을 작성한다.

두 번째 단계는 작성된 평가지표 계층도 초안을 기준으로 델파이 설문을 작성하여 설문조사를 진행하고, 결과를 분석하는 단계이다. 1차 설문은 항목 추가, 삭제, 병합에 중점을 두고 진행하고, 계속되는 2차 이후의 설문 조사와 분석은 평가지표의 타당도 및 안정도(내용타당도, 타당도, 안정도, 변이계수) 검증을 중점으로 진행한다. 본 연구에서는 이러한 평가지표의 타당도 및 안정도와 더불어 평균값을 통해 평가지표의 적절성을 확인한다. 리커트 5점 척도 중 4점(적합) 이상의 지표만 적합한 지표로 평가하여 보다 강화된 기준에서 평가지표를 확정하게 된다. 델파이 조사를 위한 전문가 패널은 총 30명으로 현재 T-50계열로 고등비행훈련 교육을 진행하고 있는 교관조종사 10명, 4~5세대인 KF-16, F-15K, F-35의 교관급 조종사 각 5명씩, 그리고 전술개발 조종사 5명으로 구성하게 된다.

세 번째 단계는 확정된 평가지표 계층도를 기준으로 AHP분석을 진행하는 단계이다. 성능개량 항목 간 쌍대비교가 가능하도록 AHP설문을 작성하여 설문을 진행하

고, 결과를 분석한다. AHP설문을 위한 전문가 패널은 T-50/TA-50 교관 조종사와 군수장교 등 총 54명으로 선정하며, 공군본부와 공군 군수사령부에서 근무하는 전문가 6명은 T-50과 TA-50 모두 지원하고 있어서 T-50, TA-50 성능개량 항목평가에 모두 참여하여 총 60부의 설문을 통해 결과를 확인한다.

3. T-50계열 성능개량 평가지표 설정

본 연구는 T-50계열 성능개량 평가지표의 설정에서부터 시작된다. 성능개량 항목을 평가하기 위한 지표 식별을 위해 우선 항공 선진국인 미국의 비행교육 체계를 분석하였고, 여기에서 항공기 성능개량 평가를 위한 지표를 일부 식별하였다. 또한, 성능개량은 사업의 영역이기 때문에 참고문헌, 전문가(교관 조종사, 사업관리자

등) 인터뷰를 통해 일반 사업 추진 시 평가하는 지표를 추가로 식별하였다. <Fig. 2>는 이렇게 식별된 평가지표를 유사성, 관련성을 기준으로 정리한 계층도 초안이다.

<Fig. 2>에서 보는 바와 같이 상위 평가지표는 '1. 현 비행교육 목표달성', '2. 전투기 적응능력 향상', '3. 현재/미래 전력운영 개념 이해도 증진', '4. 안전성 및 기술능력', '5. 경제성 및 정책요소'의 5가지로 구성된다. 첫 번째 상위 평가지표는 공군 비행교육계획서에 명시된 고등비행 교육목표에서 식별했고, 두 번째/세 번째 상위 평가지표는 미군 교육훈련체계 분석을 통해서, 네 번째와 다섯 번째 상위 평가지표는 일반적인 사업의 평가 요소에서 식별한 내용이다. <Fig. 2>에서 숫자로만 표시된 하위 평가지표 18항목은 <Table 1>에서 확인할 수 있다. 다음 절에서는 델파이 기법을 이용하여 상위 평가지표 5항목과 하위 평가지표 18항목에 대한 평가지표를 분석하게 된다.

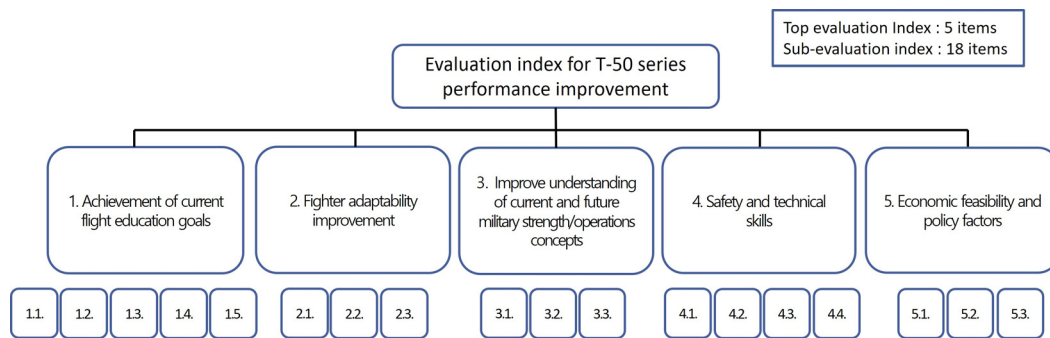


Fig. 2 Evaluation Index Classification Hierarchy Chart Draft

Table 1. Hierarchy of Evaluation Index(Draft)

Top Evaluation Index	Sub-evaluation Index
1. Achievement of current flight education goals	1.1. Ability to judge air situations
	1.2. Ability to operate aircraft systems
	1.3. All-weather instrument landing capability
	1.4. Mastery of night flight capabilities
	1.5. Cultivating emergency treatment capabilities
2. Fighter adaptability improvement	2.1. Fighter basic adaptabilities improvement
	2.2. 4/4.5th generation fighter adaptability improvement
	2.3. 5th generation fighter adaptability improvement
3. Improve understanding of current and future military strength/operations concepts	3.1. Combined/joint operation concepts
	3.2. Manned-unmanned teaming/Mosaic warfare
	3.3. Concept of LVC(Live, Virtual, Constructive) operation
4. Safety and technical skills	4.1. Improvement of maintenance convenience
	4.2. Increase system reliability
	4.3. Improvement of flight safety performance
	4.4. Industrial infrastructure and technology ripple effects
5. Economic feasibility and policy factors	5.1. Development and mass production costs
	5.2. Subsequent logistic/maintenance support
	5.3. Defense industry development and export growth

4. T-50계열 성능개량 평가지표 분석

4.1 델파이 기법

본 연구에서 사용한 델파이 기법은 예측하고자 하는 문제에 관해 전문가들의 견해를 종합하고 정리하는 일련의 절차이다. 델파이 기법은 전문가의 경험과 정통한 판단에 기초하기 때문에 설문 대상자는 연구 주제와 관련한 해당 분야 전문가로 구성하며 사회적 명성을 고려하기보다는 관련된 분야에서 전문적 지식과 노하우를 갖추었느냐를 고려해야 한다(Lee, 2001; Park, 2001; Noh, 2006; Park, 2008; Kang, 2008; Kim, 2015).

델파이 기법은 체계적으로 구성된 일련의 설문지를 동일한 사람에게 반복 설문을 실시하게 되는데, 각 회의 설문지를 이전 회의 설문조사 결과와 함께 제시함으로써, 설문의 횟수가 거듭될수록 응답 결과가 서로 접근하게 되므로 참가자들이 직접 모여 논쟁을 하지 않고도 합의를 유도해낼 수 있는 조사 방법이다(Lee, 2021). 특

히, Jung et. al.(2021; 2022)은 델파이 기법을 유무인 협업(MUMT), LVC(Live, Virtual, Constructive) 등 군사분야 연구에 다양하게 활용하고 있다.

4.2 1차 델파이 조사 및 분석

1차 델파이 조사는 <Fig. 2>의 계층도를 기준으로 설문을 작성하여 이미 선정된 30명의 전문가 패널에게 배포 후, 의견을 종합하여 결과를 분석하게 된다. 1차 델파이 조사는 식별된 평가지표의 추가/삭제/병합에 중점을 두고 진행하기 때문에 항목의 적합성을 판단하는 폐쇄형 설문(리커트 5점 척도) 뿐만 아니라 개방형 설문도 중요하게 다루었다. 즉, 폐쇄형 설문에서 적합하지 않다고 생각한 이유를 개방형 설문에서 확인하고 그에 따라 평가지표 조정을 진행할 수 있기 때문이다. 1차 델파이 설문을 분석한 적합성 검증 결과는 <Table 2>와 같다.

<Table 2>에서 음영으로 표시한 세 번째 상위 평가지표와 하위 평가지표 2.2/2.3/3.1/3.2/3.3은 평균(기준: 4.0

Table 2. Conformity Verification Results(1st Delphi Survey)

Evaluation Index	Average	Content Validity	Convergence	Agreement	Coefficient of Variation
1. Achievement of current flight education goals	4.30	1.24	0.50	0.75	0.16
1.1. Ability to judge air situations	4.07	1.00	0.38	0.81	0.18
1.2. Ability to operate aircraft systems	4.33	1.16	0.50	0.75	0.15
1.3. All-weather instrument landing capability	4.13	0.76	0.88	0.56	0.24
1.4. Mastery of night flight capabilities	4.10	0.76	0.88	0.56	0.22
1.5. Cultivating emergency treatment capabilities	4.10	1.00	0.50	0.75	0.19
2. Fighter adaptability improvement	4.07	1.16	0.00	1.00	0.18
2.1. Fighter basic adaptabilities improvement	4.13	1.00	0.50	0.75	0.19
2.2. 4/4.5th generation fighter adaptability improvement	3.87	0.60	1.00	0.50	0.29
2.3. 5th generation fighter adaptability improvement	3.50	0.20	0.50	0.71	0.28
3. Improve understanding of current and future military strength/operations concepts	3.93	0.68	0.88	0.56	0.21
3.1. Combined/joint operation concepts	3.30	0.12	0.50	0.67	0.31
3.2. Manned-unmanned teaming/Mosaic warfare	3.17	-0.12	0.50	0.67	0.28
3.3. Concept of LVC(Live, Virtual, Constructive) operation	3.63	0.44	0.50	0.75	0.29
4. Safety and technical skills	4.03	0.84	0.38	0.81	0.18
4.1. Improvement of maintenance convenience	4.10	0.84	0.50	0.75	0.19
4.2. Increase system reliability	4.23	1.24	0.50	0.75	0.13
4.3. Improvement of flight safety performance	4.10	1.08	0.00	1.00	0.15
4.4. Industrial infrastructure and technology ripple effects	4.13	1.00	0.50	0.75	0.21
5. Economic feasibility and policy factors	4.03	0.76	0.88	0.56	0.23
5.1. Development and mass production costs	4.07	0.76	0.88	0.56	0.21
5.2. Subsequent logistic/maintenance support	4.23	1.00	0.50	0.75	0.19
5.3. Defense industry development and export growth	4.50	1.24	0.50	0.80	0.16

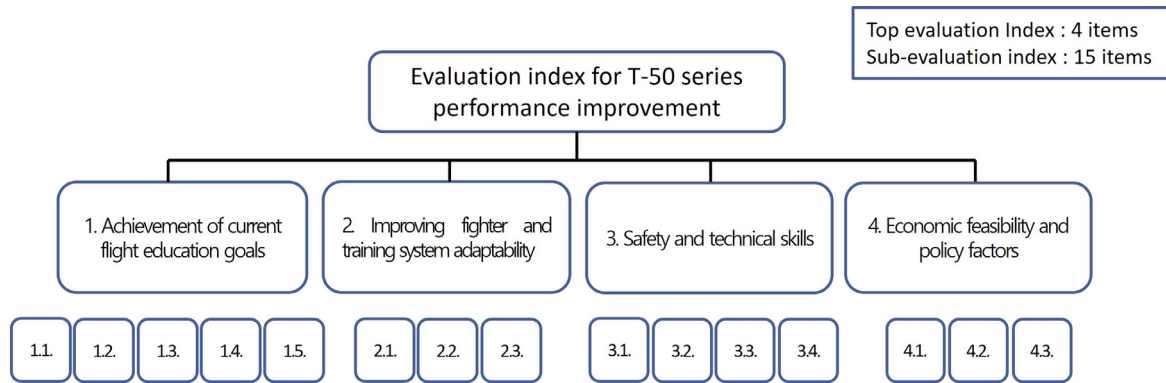


Fig. 3 Evaluation Index Classification Hierarchy Chart(after 1st Delphi Survey)

Table 3. Hierarchy of Evaluation Index(after 1st Delphi Survey)

Top Evaluation Index	Sub-evaluation Index
1. Achievement of current flight education goals	1.1. Ability to judge air situations
	1.2. Ability to operate aircraft systems
	1.3. All-weather instrument landing capability
	1.4. Mastery of night flight capabilities
	1.5. Cultivating emergency treatment capabilities
2. Improving fighter and training system adaptability	2.1. Fighter adaptability improvement
	2.2. Improving the operational capability of fighter-mounted sensor
	2.3. Improving the ability to adopt to advanced education such as AR/VR, LVC etc.
3. Safety and technical skills	3.1. Improvement of maintenance convenience
	3.2. Increase system reliability
	3.3. Improvement of flight safety performance
	3.4. Industrial infrastructure and technology ripple effects
4. Economic feasibility and policy factors	4.1. Development and mass production costs
	4.2. Subsequent logistic/maintenance support
	4.3. Defense industry development and export growth

이상)과 내용타당도(설문대상: 30명, 기준: 0.33 이상) 등이 기준에 도달하지 못해서 항목 조정이 필요한 것으로 식별되었다. 개방형 설문 분석과 연구진들의 토의를 통해 <Fig. 3>과 같은 평가 계층도를 도출하였다. <Fig. 3>을 토대로 2차 델파이 조사 및 분석을 진행하게 된다.

<Fig. 3>에서 숫자로만 표시된 하위 평가지표 15항목은 <Table 3>에서 확인할 수 있다. 최초 평가지표 계층도에서 적합성이 부족한 항목들 위주로 조정하였고, 나머지 적합성이 충분하다고 판단된 항목들은 그대로 계층도에 반영하였다.

4.3 2차 델파이 조사 및 분석

2차 델파이 조사는 <Fig. 3>의 계층도를 기준으로 설

문을 작성하여 기존 설문을 진행했던 30명의 전문가 패널에게 배포 후, 의견을 종합하여 결과를 분석하였다. 2차 델파이 조사는 평가지표의 타당성과 안정도 판단에 중점을 두고 진행하게 된다. 2차 델파이 설문을 분석한 적합성 검증 결과는 <Table 4>와 같다. 평균, 내용타당도 등 모든 항목이 적합성 기준을 충족한 것을 확인할 수 있으며, 설문지에 반영한 개방형 설문도 유효한 내용이 없었다. 이는 설문에 참여한 전문가 대부분이 <Fig. 3>의 평가지표 계층도에 반영한 항목들이 적합하다고 판단하고, 서로 간의 합의에 도달했음을 인정하는 결과로 볼 수 있다. 추가적으로 항목 조정 소요가 없음을 확인하여 델파이 조사는 2회로 종료하고, 이후는 AHP 분석을 통한 성능개량 항목 간의 우선순위 도출을 진행하게 된다.

Table 4. Conformity Verification Results(2nd Delphi Survey)

Evaluation Index	Average	Content Validity	Convergence	Agreement	Coefficient of Variation
1. Achievement of current flight education goals	4.47	1.40	0.50	0.75	0.11
1.1. Ability to judge air situations	4.40	1.32	0.50	0.75	0.13
1.2. Ability to operate aircraft systems	4.50	1.40	0.50	0.78	0.11
1.3. All-weather instrument landing capability	4.27	1.08	0.50	0.75	0.16
1.4. Mastery of night flight capabilities	4.03	0.84	0.38	0.81	0.18
1.5. Cultivating emergency treatment capabilities	4.17	1.08	0.50	0.75	0.16
2. Improving fighter and training system adaptability	4.30	1.24	0.50	0.75	0.19
2.1. Fighter adaptabilities improvement	4.17	1.16	0.38	0.81	0.14
2.2. Improving the operational capability of fighter-mounted sensor	4.03	0.84	0.38	0.81	0.18
2.3. Improving the ability to adopt to advanced education such as AR/VR, LVC etc.	4.00	1.00	0.00	1.00	0.15
3. Safety and technical skills	4.13	1.00	0.50	0.75	0.16
3.1. Improvement of maintenance convenience	4.07	1.00	0.00	1.00	0.16
3.2. Increase system reliability	4.27	1.08	0.50	0.75	0.16
3.3. Improvement of flight safety performance	4.23	1.08	0.50	0.75	0.16
3.4. Industrial infrastructure and technology ripple effects	4.40	1.32	0.50	0.75	0.13
4. Economic feasibility and policy factors	4.17	1.00	0.50	0.75	0.17
4.1. Development and mass production costs	4.00	1.00	0.00	1.00	0.15
4.2. Subsequent logistic/maintenance support	4.43	1.16	0.50	0.80	0.15
4.3. Defense industry development and export growth	4.63	1.40	0.50	0.80	0.11

5. T-50계열 성능개량 우선순위 도출

al., 2016).

5.1 AHP 분석

AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석은 의사결정문제가 다수의 기준으로 이루어져 있을 때 기준을 계층화한 후 계층에 따라 상대적 중요도를 정해가는 다기준 의사결정기법(Multi Criteria Analysis)으로 1970년대 미국무부 ‘무기통제 군비축소국’에서 개발된 후 복잡한 의사결정문제를 효율적으로 해결하는 데 많이 이용되고 있다(Saaty, 1980). AHP는 의사결정 프로세스를 체계적으로 분해하고 항목의 가중치를 쌍대비교에 의하여 단계적으로 도출함으로써 객관적 요인과 함께 주관적인 평가도 할 수 있어 활용도가 높은 의사결정 기법이다(Chen, 2006). AHP 분석은 적용방법이 간결하고 의사결정을 쉽게 표현할 수 있어 시간과 비용 효율성은 물론이고 의사결정의 질을 높일 수 있다는 장점이 있다. 특히, 서로 상충할 가능성이 있는 항목들에 대한 중요도를 결정하기 위해 관련 전문가들의 지식을 이용하여 경쟁하는 요소의 중요도를 구하는 데에 유용하게 응용될 수 있다(Lee et

5.2 T-50계열 성능개량 항목

성능개량 항목은 사전 연구자료(Kim, 2022)와 개발업체인 KAI 제공자료를 토대로 총 8개 항목으로 구성하였다. 8개 항목은 각각의 구성품들이 원활하게 기능할 수 있도록 연계된 구성품들을 묶어서 구성하며, 세부 항목은 <Table 5>와 같다. 군에서 복무하는 설문 대상자에게는 성능개량 항목의 비교/평가를 위해 가격, 세부 내용 등의 자료를 제공하였으나, <Table 5>에는 군사상의 이유로 구성품과 기능 정도만 간략하게 명시하였다. <Table 5>의 총 8가지의 성능개량 항목 중 교육 목적에 따라 T-50은 ① 항공전자/비행제어, ② 조종실 성능개선, ③ 내외장 훈련시스템, ④ 기체수명연장, ⑤ 생존성/안정성 향상의 다섯가지 항목을 대안으로 놓고 평가하고, TA-50은 T-50의 5가지 항목에 추가하여 ⑥ 임무반경 확장, ⑦ 자기보호장비, ⑧ 공중급유장치를 추가하여 총 8가지 항목을 대안으로 놓고 AHP 분석을 진행하였다. 평가를 위한 계층도는 <Fig. 4>와 같다.

Table 5. Performance Improvement Items

Performance improvement items	Overview
① Aeronautical electronics/flight control (IMDC, Digital HUD, FLCC, CSA)	IMDC(Integrated Mission Display Computer) / Provide input analysis/processing, system control and interface
	HUD(Head Up Display) / Demonstrate navigation/armament/target information
	FLCC(Flight Control Computer) / Increase availability and improve scalability
	CSA(Control Stick Assembly) / Aircraft flight control tool
② Improved cockpit performance (LAD, SFI)	LAD(Large Area Display) / Convergence/implementation of various sensor data to the operating environment
	SFI(Standby Flight Instrument) / Provide appropriate information to pilots despite flight information provision device errors
③ Internal and external training systems (ET, ACMI)	ET(Embedded Training) / Enable simulated training using virtual environment/simulation technology
④ Extended aircraft life	After T-50 major bone life evaluation, bone reinforcement and life extension
⑤ Improved viability/stability (GCAS, PARS)	GCAS(Ground Collision Avoidance System) / Avoiding and recovering aircraft prior to invasion within minimum distance of terrain/surface
	PARS(Pilot Activated Recovery System) / Automatic restoration of the pilot's position when recognizing loss of space
⑥ Expanding the mission radius (300GL EFT, fuselage fuel tank)	300GL EFT(External Fuel Tank) / T-50's short mission radius can be supplemented
⑦ Adding self-protective equipment (RWR, CMDS)	RWR(Radar Warning Receiver) / Receive radar waves from opposing fighter jets to inform pilots
	CMDS(Counter Measures Dispenser System) / Ensuring pilot and aircraft viability against enemy missile threats
⑧ Aerial refueling system(DART)	DART(Dorsal Air Refueling Tank) / 4th to 5th generation combat pilots require training fitments

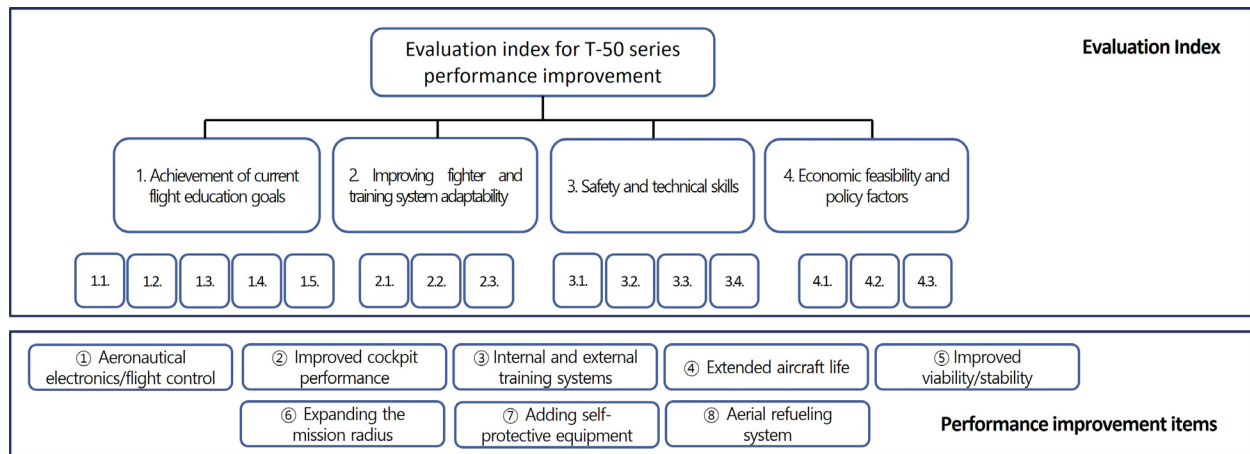


Fig 4. Evaluation Index Classification Hierarchy Chart(with Performance Improvement Items / Alternative)

5.3 T-50 성능개량 우선순위

T-50 성능개량 우선순위를 도출은 평가계층도를 토대로 총 30명(조종사 15명, 군수장교 15명)을 대상으로 설문문을 진행하였다. 결과분석은 수거한 설문 중 일관성 비율이 0.1에 못 미치는 설문 6부(조종사 4부, 군수장교 2부)를 제외하고, 24부의 유효설문으로 진행하였다. AHP

분석은 먼저 평가지표의 중요도(가중치)를 평가하는 단계에서부터 진행하게 되는데, 평가지표의 중요도(가중치) 평가는 성능개량 항목의 우선순위를 평가함에 있어서 어떤 지표가 더 중요한 지표인가를 판단하는 것이다. 결과는 <Table 6>과 같다.

종합적으로 상위 평가지표의 중요도(가중치)는 안전성 및 기술능력(0.33), 현 비행교육 목표 달성(0.28), 전투기

Table 6. Importance of Evaluation Index(T-50)

Top Evaluation Index				Sub-evaluation Index			
Index	P	L	T	Index	P	L	T
1. Achievement of current flight education goals	0.22	0.34	0.28	1.1. Ability to judge air situations	0.09	0.11	0.10
				1.2. Ability to operate aircraft systems	0.04	0.10	0.07
				1.3. All-weather instrument landing capability	0.04	0.03	0.04
				1.4. Mastery of night flight capabilities	0.01	0.03	0.02
				1.5. Cultivating emergency treatment capabilities	0.04	0.07	0.05
2. Improving fighter and training system adaptability	0.31	0.13	0.21	2.1. Fighter adaptability improvement	0.18	0.07	0.12
				2.2. Improving the operational capability of fighter-mounted sensor	0.08	0.04	0.06
				2.3. Improving the ability to adopt to advanced education such as AR/VR, LVC etc.	0.05	0.02	0.03
3. Safety and technical skills	0.41	0.26	0.33	3.1. Improvement of maintenance convenience	0.04	0.04	0.04
				3.2. Increase system reliability	0.11	0.09	0.10
				3.3. Improvement of flight safety performance	0.23	0.11	0.16
				3.4. Industrial infrastructure and technology ripple effects	0.03	0.02	0.03
4. Economic feasibility and policy factors	0.06	0.27	0.17	4.1. Development and mass production costs	0.02	0.06	0.04
				4.2. Subsequent logistic/maintenance support	0.03	0.18	0.10
				4.3. Defense industry development and export growth	0.01	0.03	0.03

* P: Pilot, L: Logistics/maintenance officer, T: Total.

및 교육체계 적응능력 향상(0.21), 경제성 및 정책요소(0.17) 순으로 평가하였다. 고등비행 훈련기 성능개선은 비행안전과 신뢰도를 바탕으로 비행교육 목표를 달성하도록 진행하는 것을 중요한 요인으로 인식한 결과로 해석할 수 있다. 설문 대상자별로 결과를 확인하면 조종사는 안전성 및 기술능력(0.41), 전투기 및 교육체계 적응능력 향상(0.31), 현 비행교육 목표 달성(0.22), 경제성 및 정책요소(0.06) 순으로 평가지표의 중요도(가중치)를 평가하였다. 조종사의 임무 특성상, 고등비행 훈련기 성능개선은 비행안전과 신뢰도를 바탕으로 향후 전투조종사로서 전투기에 적응하는 능력을 중요한 요인으로 인식한 결과로 해석할 수 있다. 반면, 군수장교는 현 비행교육목표 달성(0.34), 경제성 및 정책요소(0.27), 안전성 및 기술능력(0.26), 전투기 및 교육체계 적응능력 향상(0.13) 순으로 평가지표의 중요도(가중치)를 판단하였다. 군수장교의 임무 특성상, 고등비행 훈련기 성능개선은 비행교육 목표를 달성할 수 있는 기체를 제공하고, 후속 군수지원이 원활하게 이루어지는 것을 중요한 요인으로 인식한 결과로 해석할 수 있다.

하위 평가지표의 중요도(가중치)는 전체적으로 비행안전 성능 개선(0.16), 전투기 적응능력 향상(0.12), 공중상황 판단능력 구비(0.10), 시스템 신뢰도 향상(0.10), 후속 군수지원(0.10) 순으로 중요하다고 평가하였다. 이는 항공기 성능개량 사업에 있어서 안정성과 신뢰성을 중요한 지표로 인식한다고 판단할 수 있으며, 고등비행 훈련

기의 목적에 부합하도록 전투기 적응능력과 공중상황 판단능력 구비도 중요하다는 인식을 가지고 있다고 생각할 수 있다. 또한, 최근 대두되고 있는 부품 단종 등의 후속 군수지원의 문제가 발생하지 않도록 사업 시행 전 고려요소로서 충분히 고민해야 한다는 의미도 담겨 있다고 할 수 있다. 하위 평가지표 중요도(가중치)도 조종사와 군수장교의 생각이 일부 다른 부분이 식별되었다. 조종사는 비행안전 성능 개선(0.23), 전투기 적응능력 향상(0.18), 시스템 신뢰도 향상(0.11) 순으로 중요도(가중치)의 우선순위를 평가하였다. 반면 군수장교는 후속 군수지원(0.18), 공중상황 판단능력 구비(11%), 비행안전 성능 개선(0.11) 순으로 중요도를 평가하였다. 즉, 조종사는 비행안전에 군수장교는 후속 군수지원 등 항공기 운영 유지 측면을 더 중요하게 생각하는 결과로 생각할 수 있다. <Table 7>은 이러한 중요도(가중치)를 토대로 도출한 T-50 성능개량 항목 우선순위이다.

종합적인 성능개량 항목 우선순위는 항공전자/비행제어(0.41), 조종실 성능개선(0.18), 생존성/안정성 향상(0.16), 내·외장 훈련시스템(0.14), 기체 수명연장(0.11) 순으로 평가하였다. 고등비행 훈련기 성능개량 항목은 현재 운용하고 있는 4/5세대 항공기에 적용하고 있는 것과 유사한 형태의 항공전자/비행제어 계통에 적용하고, 인간공학적 관점에서 조종사의 판단 실수나 오류를 줄일 수 있는 조종실 성능을 개선하며, 추가로 안정적 비행

Table 7. Performance Improvement Priority(T-50)

Performance improvement items	P	L	T
① Aeronautical electronics/flight control (IMDC, Digital HUD, FLCC, CSA)	0.34	0.46	0.41
② Improved cockpit performance (LAD, SFI)	0.20	0.17	0.18
③ Internal and external training systems (ET, ACMI)	0.17	0.12	0.14
④ Extended aircraft life	0.11	0.10	0.11
⑤ Improved viability/stability (GCAS, PARS)	0.19	0.14	0.16

* P: Pilot, L: Logistics/maintenance officer, T: Total.

운영을 위해 생존성/안정성을 향상하는 방향으로 이루어져야 한다는 의미로 이해할 수 있다.

설문 대상자별로 결과를 확인하면 조종사는 항공전자/비행제어(0.34), 조종실 성능개선(0.20), 생존성/안정성 향상(0.19), 내외장 훈련시스템(0.17) 기체 수명연장(0.11) 순으로 성능개량 항목의 우선순위를 평가하였다. 교관으로서 향후 전투대대에서 운용할 전투기의 항공전자/비행제어 계통 개선을 통해 4/5세대 전투기를 운용할 수 있는 역량을 강화하고, 조종사의 임무 특성과 연관된 조종실 성능개선과 생존성/안정성 향상을 중요한 성능개선 요인으로 인식한 결과로 해석할 수 있다. 군수장교 또한 정도의 차이는 있지만 항공전자/비행제어(0.47), 조종실 성능개선(0.17), 생존성/안정성 향상(0.14), 내외장 훈련시스템(0.12) 기체 수명연장(0.10) 순으로 성능개량 항목의 우선순위를 평가하였다. 이는 군수장교로서 전투기의 항공전자/비행제어 계통 개량을 통해 4/5세대 전투기와 유사한 형태로

훈련기를 운용하고, 조종실 성능개선과 생존성/안정성 향상 및 안정적 군수지원을 성능개량의 중요 요인으로 인식한 결과로 해석할 수 있다.

5.4 TA-50 성능개량 우선순위

TA-50 성능개량 우선순위 도출은 평가계층도를 토대로 총 30명(조종사 15명, 군수장교 15명)을 대상으로 설문을 진행하였다. 결과분석은 수거한 설문 중 일관성 비율이 0.1에 못 미치는 설문 9부(조종사 5부, 군수장교 4부)를 제외하고, 21부의 유효설문으로 진행하였다. TA-50에 대한 AHP 분석 역시 먼저 평가지표의 중요도(가중치)를 평가하는 단계에서부터 진행하게 되는데, 평가지표의 중요도(가중치) 평가 결과는 <Table 8>과 같다.

상위 평가지표의 중요도(가중치)는 종합적으로 현 비행교육 목표 달성(0.38), 안전성 및 기술능력(0.28), 전투

Table 8. Importance of Evaluation Index(TA-50)

Top Evaluation Index				Sub-evaluation Index			
Index	P	L	T	Index	P	L	T
1. Achievement of current flight education goals	0.30	0.44	0.38	1.1. Ability to judge air situations	0.10	0.14	0.12
				1.2. Ability to operate aircraft systems	0.09	0.16	0.12
				1.3. All-weather instrument landing capability	0.03	0.04	0.04
				1.4. Mastery of night flight capabilities	0.02	0.03	0.03
				1.5. Cultivating emergency treatment capabilities	0.06	0.09	0.07
2. Improving fighter and training system adaptability	0.32	0.11	0.21	2.1. Fighter adaptability improvement	0.17	0.05	0.11
				2.2. Improving the operational capability of fighter-mounted sensor	0.10	0.04	0.08
				2.3. Improving the ability to adopt to advanced education such as AR/VR, LVC etc.	0.05	0.01	0.03
3. Safety and technical skills	0.28	0.28	0.28	3.1. Improvement of maintenance convenience	0.04	0.05	0.04
				3.2. Increase system reliability	0.11	0.10	0.10
				3.3. Improvement of flight safety performance	0.09	0.09	0.09
				3.4. Industrial infrastructure and technology ripple effects	0.04	0.04	0.04
4. Economic feasibility and policy factors	0.10	0.17	0.14	4.1. Development and mass production costs	0.03	0.05	0.04
				4.2. Subsequent logistic/maintenance support	0.05	0.11	0.08
				4.3. Defense industry development and export growth	0.02	0.02	0.02

* P: Pilot, L: Logistics/maintenance officer, T: Total.

기 및 교육체계 적응능력 향상(0.21), 경제성 및 정책요소(0.14) 순으로 평가하였다. 이는 T-50에서와 일부 상이한 결과이며, TA-50은 고등비행 훈련을 수료한 조종사들의 LIFT 과정 운영 기준으로 T-50의 고등비행 교육과정에서 어느 정도 전투기에 대한 적응성이 향상되어 안정성 보다는 현 비행교육 목표 달성을 더 중요한 요인으로 인식한 결과로 해석할 수 있다. 설문 대상자별로 결과를 확인하면 조종사는 전투기 및 교육체계 적응능력 향상(0.32), 현 비행교육 목표 달성(0.30), 안전성 및 기술능력(0.28), 경제성 및 정책요소(0.10) 순으로 평가지표의 중요도(가중치)를 판단하였다. 조종사의 임무 특성상, TA-50 항공기 성능개량은 향후 전투 조종사로서 전투기에 적응하는 능력과 그에 맞는 비행교육 목표달성을 중요한 요인으로 인식한 결과로 해석할 수 있다. 반면, 군수장교는 현 비행교육목표 달성(0.44), 안전성 및 기술능력(0.28), 경제성 및 정책요소(0.17), 전투기 및 교육체계 적응능력 향상(0.11) 순으로 평가지표의 중요도(가중치)를 판단하였다. 군수장교의 임무 특성상, TA-50 성능개량은 비행교육 목표를 달성할 수 있는 기체를 제공하고, 비행안전과 기술능력을 중요한 요인으로 인식한 결과로 해석할 수 있다.

하위 평가지표에 대한 전체적인 중요도(가중치)는 공중상황 판단능력 구비(0.12), 항공기 시스템 운영능력 구비(0.12), 전투기 적응능력 향상(0.10) 순으로 중요하다고 평가하였다. 이는 TA-50 항공기 성능개량 사업에 있어서는 공중상황 판단능력 구비, 항공기 시스템 운영능력 구비 등 교육목표 달성을 중요한 지표로 인식한다고 판단할 수 있으며, 고등비행 훈련기의 목적에 부합하도록 전투기 적응능력 향상도 중요하다는 인식을 가지고 있다고 생각할 수 있다. 설문 대상자별로 결과를 확인하면 조종사는 전투기 적응능력 향상(0.17), 시스템 신뢰도 향상(0.11), 공중상황 판단능력 구비(0.10), 전투기 탑재센

서 운용능력 향상(0.10) 순으로 중요도(가중치)의 우선순위를 평가하였다. 반면, 군수장교는 항공기 시스템 운용능력 구비(0.16), 공중상황 판단능력 구비(0.14), 후속 군수지원(0.11) 순으로 중요도를 평가하였다. 즉, 조종사는 전투기 적응능력과 시스템 신뢰도에 군수장교는 항공기 시스템 운용능력과 후속 군수지원 등 항공기 운용과 유지 측면을 더 중요하게 생각하는 결과로 생각할 수 있다. <Table 9>는 이러한 중요도(가중치)를 토대로 도출한 TA-50 성능개량 항목 우선순위이다.

TA-50의 성능개량 우선순위는 T-50과 유사하게 항공전자/비행제어(0.27), 조종실 성능개선(0.15), 생존성/안정성 향상(0.14), 내·외장 훈련시스템(0.13), 자기보호 장비(0.11), 기체 수명연장(0.08), 임무반경 확장(0.06), 공중급유장치(0.06) 순으로 평가하였다. TA-50 훈련기 성능개량 항목은 현재 운용하고 있는 4/5세대 항공기에 적용하고 있는 것과 유사한 형태의 항공전자/비행제어 계통에 적용하고, 인간공학적 관점에서 조종사의 판단 실수나 오류를 줄일 수 있는 조종실 성능을 개선하며, 추가로 안정적 비행 운영을 위해 생존성/안정성을 향상하는 방향으로 이루어져야 한다는 의미로 이해할 수 있다.

설문 대상자별로 살펴보면 조종사와 군수장교의 판단은 대략적으로 일치하나 일부 수치적인 차이가 있음을 알 수 있었는데, 먼저 조종사는 항공전자/비행제어(0.26), 조종실 성능개선(0.15), 생존성/안정성 향상(0.12), 내외장 훈련시스템(0.12), 자기보호장비(0.12), 기체 수명연장(0.09), 임무반경 확장(0.07), 공중급유장치(0.07) 순으로 성능개량 항목의 우선순위를 평가하였다. 이는 T-50과 유사한 결과로 해석할 수 있으며, 교관으로서 향후 전투대대에서 운용할 전투기의 항공전자/비행제어 계통 개선을 통해 4/5세대 전투기를 운용할 수 있는 역량을 강화하고, 조종사의 임무 특성과 연관된 조종실 성능개선과 생존성/안정성 향상, 자기보호장비 창착을 중요한 성능

Table 9. Performance Improvement Priority(TA-50)

Performance improvement items	P	L	T
① Aeronautical electronics/flight control (IMDC, Digital HUD, FLCC, CSA)	0.26	0.29	0.27
② Improved cockpit performance (LAD, SFI)	0.15	0.15	0.15
③ Internal and external training systems (ET, ACMI)	0.12	0.14	0.13
④ Extended aircraft life	0.09	0.07	0.08
⑤ Improved viability/stability (GCAS, PARS)	0.12	0.15	0.14
⑥ Expanding the mission radius (300GL EFT, fuselage fuel tank)	0.07	0.06	0.06
⑦ Adding self-protective equipment (RWR, CMDS)	0.12	0.09	0.11
⑧ Aerial refueling system (DART)	0.07	0.05	0.06

* P: Pilot, L: Logistics/maintenance officer, T: Total.

개선 요인으로 인식한 결과로 해석할 수 있다. 군수장교 또한 정도의 차이는 있지만 조종사와 유사하게 항공전자/비행제어(0.29), 조종실 성능개선(0.15), 생존성/안정성 향상(0.15), 내외장 훈련시스템(0.14), 자기보호장비(0.09), 기체 수명연장(0.07), 임무반경 확장(0.06), 공중급유장치(0.05) 순으로 성능개량 항목의 우선순위를 평가하였다. 이는 군수장교로서 전투기의 항공전자/비행제어 계통 개량을 통해 4/5세대 전투기와 유사한 형태로 훈련기를 운용하고, 조종실 성능개선과 생존성/안정성 향상을 안정적 군수지원의 중요 요인으로 인식한 결과로 해석할 수 있다.

6. 결론

본 연구는 공군이 고등비행 훈련기로 운용하고 있는 T-50계열 성능개량 평가지표 분석 및 우선순위를 도출하고자 하는 목적으로 진행되었다. 미군의 사례와 참고 문헌 및 인터뷰를 토대로 평가지표를 식별하고, 항목간 유사성, 관련성을 기준으로 계층적 평가지표 구조로 분류하였다. 또한 평가지표의 객관성과 타당성을 확보하기 위해 2차레에 걸친 델파이 조사와 분석을 진행하였다. 델파이 조사를 통해 전문가들의 의견을 반영하고, 통계적 검증을 통해 계층도를 확정하여 연구의 객관성 확보뿐만 아니라 신뢰성을 향상시켰다. 이후, 완성된 평가지표를 활용하여 AHP 분석을 통해 T-50과 TA-50 성능개량 우선순위를 도출하였다.

본 연구의 의의는 다음 두 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 전문가들을 대상으로 한 델파이 설문과 통계적 분석을 통해 T-50계열의 객관적인 성능개량 우선순위를 평가하기 위한 평가지표를 도출하였다는 것이다. 고등비행 훈련기 성능개량 평가지표는 연구하는 사람마다 견해가 다를 수 있으나, 본 연구에서는 총 30명의 고등비행훈련교관조종사, 4~5세대 항공기의 교관급 조종사, 전술개발 조종사들의 의견을 수렴하고, 종합된 반응의 공유와 보완으로 지표의 타당성과 객관성을 확보하였다. 둘째, 이러한 평가지표를 토대로 AHP 분석을 통해 성능개량 우선순위를 도출하였다. 도출된 우선순위는 향후 성능개량 사업이 확정되었을 때, 사업의 순서를 정하여 추진하는데에 유용하게 활용될 수 있다. 특히, 예산 제약 등으로 모든 항목의 성능개량 추진이 제한될 경우, 더욱 유용할 것이다. 또한, 성능개량 대상 항목(대안)이 일부 조정된다고 하여도 같은 절차로 진행하게 된다면 객관성 있는 자료를 확보할 수 있다.

최근 4차 산업혁명 기술의 눈부신 진화는 군사기술의 비약적인 발전을 이루어가고 있으며, 군사 선진국들은 새로운 전술, 무기체계를 잇따라 선보이고 있다. 우리나라도 이러한 추세에 동참하고 있으며, 기술적인 진보도 이루어나가고 있다. 공군 고등비행 훈련기(T-50 계열)의 성능개량은 전투조종사 교육생들이 새로운 전술을 경험하고, 무기체계에 대한 적응력을 높일 수 있는 환경적 요인으로 작용할 것이다.

REFERENCES

- [1] Chen, C. F.(2006). Applying the analytical hierarchy process (AHP) approach to convention site selection. *Journal of Travel Research*, 45(2), 167-174.
- [2] Han, Y. H. & Kim, H. S.(2012). Defense Acquisition Policy and successful R&D of T-50 Advanced Jet Trainer. *Innovation Studies*, 7(1), 115-135.
- [3] Jung, B., Oh, J., Seol, H., & Hwang, S. I.(2021). A Study on the Classification of Autonomous Functions of Unmanned Aircraft Using Delphi Method. *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 21(1), 55-67.
- [4] Jung, B., Oh, J., Seol, H., & Hwang, S. I.(2022). Deriving Priorities between Autonomous Functions of Unmanned Aircraft using AHP Analysis: Focused on MUM-T for Air to Air Combat. *Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering*, 45(1), 10-19.
- [5] Jung, B., Lim, N., & Lee, J.(2022). Derivation of the Utility Evaluation Indicators of the Air Force LVC Synthetic Battlefield Training System. *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 22(2), 23-36.
- [6] Kang, Y. J.(2008). Understanding and Application of Delphi Techniques. *Korea Employment Agency for the Disabled*, 1-17.
- [7] Kim, B. U.(2015). Delphi Analysis Method. *Kims Info*, pp. 15-21.
- [8] Kim, C. H.(2003). Cost Analysis and Cost Management of T-50 Aircraft. *Journal of National Defense Studies*, 46(1), 149-175.
- [9] Kim, Y.(2022). A Study on the Effectiveness of Performance Improvement of T-50 Series, KAI
- [10] Lee, J. S.(2001). Research Method 21: Delphi Method, Education science co, 2001.
- [11] Lee, K. K., Kim, Y. Y., Kim, B. N., & Huh, T. H.(2016).

- Structure Analytic Techniques. *Parkyoungsa*, 318-325.
- [12] Noh, S. Y.(2006). Delphi Technique : Predict the future with professional insights. *Planning and Policy*, 53-62.
- [13] Park, D. S.(2001). Educational research methodology. *Moonumsa*, 225-250.

- [14] Park, K. J.(2008). Real-time Delphi : Expert Predictions. *Planning and Policy*, 132-139.
- [15] Saaty, T. L.(1980). *The Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill.

**정 병 호**

한양대학교 교통공학 박사
 현재: 공군사관학교(공군 중령)
 관심 분야: 의사결정, 최적화, 무기체계

**황 성 인**

일본 방위대학교 전자공학 박사
 현재: 국방과학연구소(공군 중령)
 관심분야: 레이더 신호처리, 유무인
 협업, 전자전

**정 윤 교**

서울대학교 컴퓨터공학 석사
 현재: 공군사관학교 컴퓨터과학과
 조교수(공군 대위)
 관심 분야: 네트워크, 프라이버시

**임 남 규**

아주대학교 NCW공학 박사
 현재: 공군사관학교 컴퓨터과학과
 조교수(공군 중령)
 관심 분야: C4I, 사이버전