

인간공학적 조종실 설계를 위한 계기 탐색 형태에 관한 연구

- Investigation of the visual search patterns of the cockpit
displays for the ergonomic cockpit design -

송 영 응 *

Song Young Woong

이 종 선 **

Lee Jong Seon

Abstract

There are many display panels in the flight cockpit and pilots get various flight information from those displays. The ergonomic layout of the displays must be determined based upon frequency of use and sequence of use. This study investigated the visual search patterns of the six display groups(one head-up-display: HUD, two multi function displays: MFDs, one engine group: EG, one flight display group: FD and others) in a fighting aircraft. Four expert pilots conducted Imaginary flight in the physical mock-up and the eye movements were collected using eye tracking system. Data of dwell time, frequency of use, and eye movement path were collected. Pilots spent most of time on HUD(55.2%), and others (21.6%), FD(14.2%), right MFD(4.7%), EG(3.2%), and left MFD(1.1%) in descending order. Similarly HUD(42.8%) and others(30.0%) were the most frequently visited displays. These data can be used in the layout of cockpit displays and the determination of optimal visual search pattern.

Keywords: eye movement, visual search pattern, cockpit displays

* 대구가톨릭대학교 산업보건학과 조교수

** 공군사관학교 산업공학과 부교수

2006년 2월접수 2006년 4월 수정본 접수 2006년 4월 게재확정

1. 서론

지난 1990년부터 2000년까지의 국내 항공기 사고를 살펴보면 총 27건의 사고가 발생하여 321명의 사망자와 246명의 부상자를 냈으며, 2,575억 원의 재산피해를 냈다. 총 27 건 사고의 주요원인을 분석해 보면, 조종사 과실로 인한 사고가 18건으로 66.7%, 정비불량이 3건으로 11.1%를 차지하고 있으며, 기타 원인으로 인한 사고가 4건으로 14.8%를 차지하고 있다. 조종사 과실과 정비불량은 인적요소에 의한 사고로서 인적요소에 의한 사고가 총 21건으로 77.8%를 차지하고 있어 이에 대한 대비가 무엇보다도 중요시되고 있다 (건설교통부, 2001).

조종사과실은 다음과 같이 두 가지 유형으로 분류 할 수 있다(공군본부, 1993; 황정선 등, 1998). 첫째, 조종사 원인으로 항공기에 대한 불충분한 교육, 혹은 교육을 받았어도 불확실하게 인지하고 있거나, 제반 규정과 절차를 지키지 않았거나, 조종사의 자질 부족으로 인한 인적과실이다. 둘째, 조종실 설계 원인으로 조종실내에서 조종사가 참조하고 조작하는 장치들의 배치나 설계가 잘못되어 발생하는 사고이며 이런 경우에는 사고 원인이 조종사 과실로 기록되나 실제로는 항공기 조종실 설계자의 책임이 더 크다고 할 수 있다(Hawkins, 1987).

항공기의 조종실에는 많은 표시계기(Displays)와 조종계기(Controls)로 이루어져 있으며, 이들 계기들의 설계와 배치는 항공기 비행 안전과 직결된다고 할 수 있다. 특히, 항공기 표시계기는 조종사가 비행과 관련된 다양한 외부 상황을 보는 창이라고 할 수 있다. 항공기가 복잡해지고 표시계기 관련 기술이 발달하면서 더 많은 정보가 조종사에게 주어지고 있으며, 조종사의 정보 인식 능력은 과부하 될 수 있다 (Stokes and Wickens, 1988). 따라서, 조종사의 인식 특성 및 표시 계기 탐색 특성에 맞도록 표시계기의 설계 및 배치가 이루어져야 한다.

조종사는 비행 정보의 대부분을 조종실 패널의 여러 표시계기로부터 획득하고, 이러한 표시 계기들의 배치를 할 때 고려할 요소로는 사용 빈도(frequency of use), 사용 순서(sequence of use), 중요도(importance)등이 있다 (Proctor and Van Zandt, 1994). 이 중에서 사용 빈도와 사용 순서 데이터를 얻는 방법으로는 비행 교범을 참조하는 방법이 사용되어져 왔고, 계측 기술의 발전으로 근래에는 안구 추적을 통하여 데이터를 획득하고 있다. 조종사의 계기 판독(cross-check)시의 안구 움직임은 비행정보를 습득하는데 지대한 영향을 미치므로 조종사가 범할 수 있는 과오를 파악하고 감소시키는 방안에 대한 연구가 필요하다. 즉, 비행 중 조종사 안구 움직임의 특성을 파악하고 분석하면 비행안전과 인적요소를 고려한 비행계기 설계나 비행교육에 기여할 수 있다.

기존의 조종사의 안구 움직임 연구를 살펴보면, 민간 항공기를 대상으로 한 연구가 많았으며(Fitts, et al., 1950; Itoh et al., 1990; Mumaw et al., 2001; Saeter et al., 2003), 전투기를 대상으로 안구 움직임을 분석하는 연구도 있었다(Wetzal et al., 1998; Brown, et al., 2002). 그러나, 기계식 표시계기에서 전자기계식, 근래에는 MFD(multi

function displays), IDP(integrated display panel)등 항공기가 진보함에 따라 사용되는 표시계기의 종류와 형태가 지속적으로 변하고 있다. 또한, 자동화 정도에 따라 비행 임무도 변하고 있으므로 새로운 기종의 항공기 설계에 기존 연구 데이터를 바로 적용하기에는 한계가 있다.

본 연구에서는 전자기계식 표시계기들과 두개의 CRT MFDs, HUD(head up display)를 채용하고 있는 전투기 조종석에서 계기 탐색을 수행하는 조종사의 안구 움직임을 측정 및 분석하여 인간공학적인 계기 배치 설계에 필요한 기본 데이터(계기별 탐색 횟수, 탐색 시간, 탐색 순서)를 추출하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 실험 방법

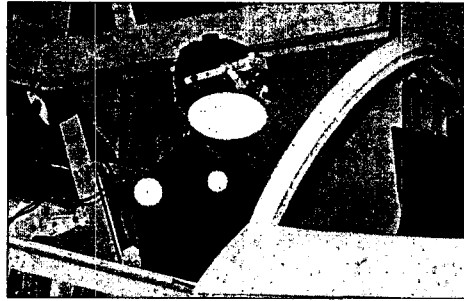
조종사의 운행 방법은 크게 시계비행(VF: visual flight)과 계기비행(IF: instrument flight)으로 구분할 수 있다. 시계비행은 항공기의 참조점(선)과 지구상의 어느 자연적인 수평점(선)과의 비교로서 항공기 자세를 조종하는 것이다. 반면, 계기비행은 항공기의 공간적 위치에 대한 조종을 외부의 시각적인 참조물에 의해서 실시하는 것이 아니고 항공계기에만 의존하고 수행하는 것을 말한다. 본 실험에서 사용된 조종사의 운행 방법은 시계 비행을 가정하였다. 계기 설계에 있어서 어떠한 비행형태를 고려하는가는 연구시작단계에 있어서도 중요한 의미를 갖게 된다. 그러나, 어떠한 비행운영형태를 갖든지 비행운영에 필요한 기본적인 정보는 동일한 것으로 볼 수 있다.

비행 구간은 4개 구간으로 나뉘서 실험하였다. 즉, 이륙-수평-선회-착륙 비행으로 구분하여 비행 시 계기를 판독하는 조종사의 눈 위치를 측정하고 안구 움직임의 특성을 파악하였다. 실험에 참가한 피실험자는 F-16 현역 조종사 4명이 참가하였다.

본 실험의 대상이 된 항공기는 시뮬레이터가 개발되지 않아서, Physical Mock-up을 이용하였다. Mock-up에 장착된 계기들은 모두 실제로 작동되지 않는 간단한 모형이기 때문에 실제 비행하는 것과 같은 시뮬레이션은 할 수 없고 머리 비행(imaginary flight)을 수행하였다. 항공기 조종 특히 전투기 조종의 경우 기본적인 이륙-수평-선회-착륙 등과 같은 비행은 정해진 절차가 있어서 절차에 따라 계기를 참조, 확인하고 조절기를 작동하므로 실제 비행과 유사한 계기 탐색을 하리라고 가정하였지만, 추후 검증이 요구된다.

안구 운동의 추적을 위해 사용된 장비는 Vision 2000 Video Eye-Tracking System(EL-MAR Corp, USA)이었다. Calibration과정을 거쳐서, 안구 움직임(eye mark camera)과 주시대상물(visual field camera)을 동시에 촬영하였다. 우선 피실험자는 본 실험에 앞서서 예비실험을 통하여 제반실험과정을 숙련시켰다. 즉, 장비로 인해서 평소 비행하는 것에 영향이 없도록 실험의 특성을 완전히 이해시키고 익숙해지도록 하였다. 앞 절의 장비사용 방법에서 설명한대로 교정절차를 거쳐, 본 실험을 수행

하였다. 본 실험에서는 조종사가 안구 추적 장비를 머리에 쓴 상태로 Mock-Up에서 비행 임무를 수행하도록 하며, 안구 움직임을 비디오로 녹화하였다 (<그림 1>).

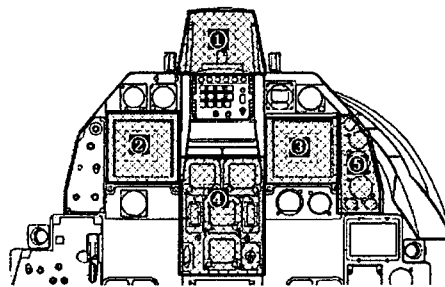


<그림 1> 안구추적 실험 장면

2.2 분석 방법

탐색형태(scanning pattern)를 크게 공간적 탐색형태(spatial scanning pattern)와 시간적 탐색형태(temporal scanning pattern)로 나누어 공간적인 탐색형태에 대해서는 관찰횟수와 탐색경로를, 시간적 탐색형태에 대해서는 계기에 머문 시간의 변화를 보았다. 관찰횟수와 계기에 머문 시간은 실험에서 비행임무의 시간이 모두 다르기 때문에 전체시간에서 차지하는 비율을 백분율(%)로 변환하여 분석하였다.

실험에서 분석대상이 된 계기는 기능별로 그룹화된 6가지였으며(① HUD (Head Up Display), ② LMFD (Left MFD), ③ RMFD (Right MFD), ④ FD (Flight Display : 속도계, 고도계, ADI, HSI를 포함하는 그룹), ⑤ ENGINE 계기, ⑥ Others), <그림 2>에 계기 모양과 배열이 제시되어있다.



① HUD, ② LMFD, ③ RMFD, ④ FD, ⑤ ENGINE

<그림 2> 안구추적실험의 분석 대상 계기 그룹

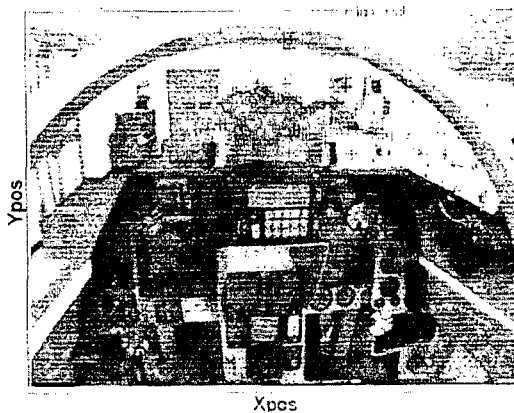
3. 결 과

3.1 각 계기에 머문 시간

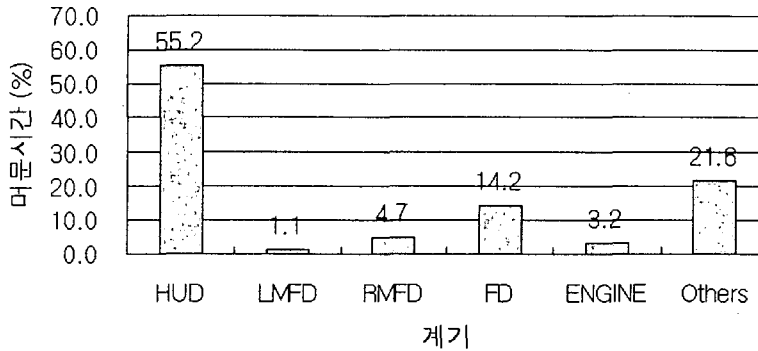
각 계기에 머문 시간은 조종사가 정보를 얻기 위해 표시계기를 주시하는 시간을 의미하며, <그림 3>에 비행 중 조종사의 주시점을 누적하여 표시한 그림이 제시되어 있다. <그림 3>에서 조종사의 주시점은 '+'로 표시되어 있으며, '+'는 일정 시간마다 하나씩 표시되었으므로, '+'가 많이 몰려 있는 계기일수록 그 계기에 머문 시간이 많다는 것을 의미한다.

각 계기에 머문 시간을 모두 산출하였으며, 그 시간을 합산하여 총 시간의 백분율로 변환하였으며, <그림 4>에 계기별 머문 시간이 제시되어 있다.

<그림 4>를 보면, 가장 많이 조종사가 참조한 계기는 HUD (55.2%)이고, 그 다음으로는 본 연구의 분석 대상이 아닌 다른 계기와 외부 시계를 포함하는 Others 그룹 (21.6%)임을 알 수 있다. 그 다음으로는 FD(14.2%), RMFD(4.7%), ENGINE(3.2%), LMFD(1.1%) 순이었다.



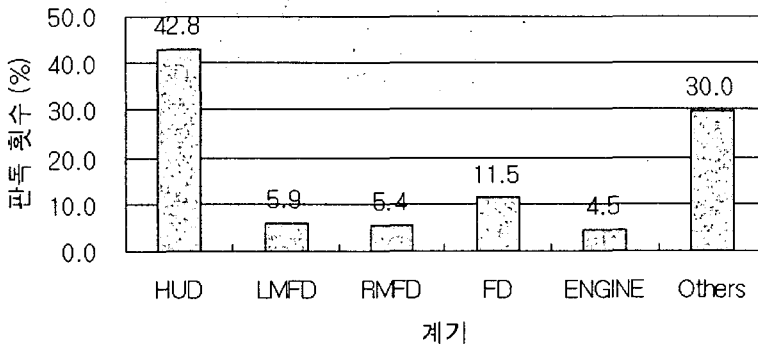
<그림 3> 계기 탐색시의 조종사의 주시점



<그림 4> 계기별 머문 시간

3.2 계기별 판독 횟수

계기별 판독횟수도 백분율로 변환하였으며, 다음 <그림 5>에 제시되어 있다. <그림 5>에 나타난 계기의 판독 횟수를 살펴보면, 계기에 머문시간과 같이 HUD의 판독횟수가 42.8%로 가장 많았으며, Others(30%), FD(11.5%), LMFD(5.9%), RMFD(5.4%), ENGINE(4.5%) 순이었다. 한가지 머문시간과 비교해서 특이한 점은 LMFD 계기의 머문시간은 ENGINE계기보다 적었으나, 판독 횟수는 더 큰 것으로 나타났다는 점이다. 이것은 ENGINE계기가 OIL PRESSURE, NOZZLE POSITION, RPM, EGT, HYD IND LH/RH 계기를 한 그룹으로 묶어 넓은 범위를 차지하였기 때문으로 판단되며, 이것은 다음에 기술되는 계기의 1회 주시시간 결과에서도 나타난다.

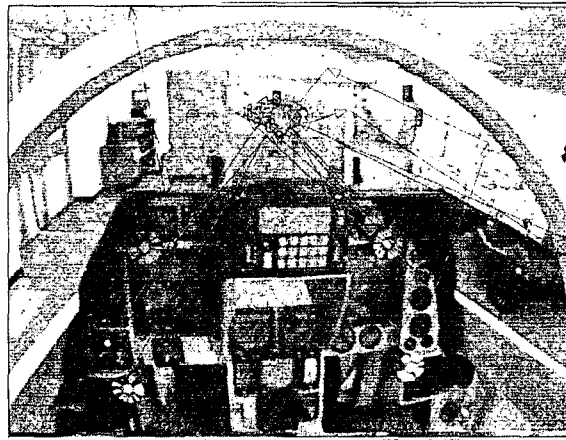


<그림 5> 계기별 판독 횟수 (frequency)

3.3 계기의 탐색경로(cross-check path)

계기의 탐색경로는 조종사가 비행 중에 계기를 탐색하는 순서를 의미하며, 각 단계

별로 탐색경로를 하나씩 추적해가며 경로를 찾았으며, 다음 <그림 6>에 탐색경로 추출과정이 제시되어 있다. <그림 6>에서 출발점은 S로 표시되어 있고, 탐색경로가 화살표로 계속 이어져 있으며, 끝나는 점은 E로 표시되어 있다. 이렇게 추출된 탐색경로의 예가 <표 1>에 제시되어 있다.



<그림 6> 계기 탐색 경로

<표 1> 계기 탐색 경로의 예

순서	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
계기																									
HUD	√			√			√		√				√		√						√			√	
LMFD			√																						
RMFD																	√								
FP						√					√					√			√		√				
ENGINE		√			√													√				√			√
Others								√		√		√		√											√

<표 1>을 살펴보면, 분석이 수행될 때 가장 처음 본 계기는 HUD였으며, 다음으로 ENGINE계기를 보고 LMFD로 옮겨 갔음을 알 수 있다. <표 1>에 제시된 탐색 순서는 장주 비행 중에서 착륙 단계에 해당하는 부분으로, 착륙을 위해서는 ENGINE 계기를 많이 보았음을 알 수 있었다.

<표 1>과 같은 피실험자별, 임부별 탐색순서 자료들을 모두 종합하여 From-To chart를 작성하였으며, 종합적인 From-To chart가 다음 <표 2>에 제시되어 있다. <표 2>을 보면, HUD에서는 FD(flight display 그룹)로 탐색이 이동하는 것이 가장 많았으며(16.67%), 그 다음으로는 Others (9.44%)였다. 그리고, 각 계기를 보고 난 후 다음으

로 가장 많이 보는 계기는 HUD로서 HUD가 이 항공기를 조종할 때 참조하는 가장 중심적인 계기임을 알 수 있다. HUD에는 다른 계기가 표시하는 정보가 종합적으로 내재해 있고, 그리고 HUD의 투명한 유리를 통해 외부 시계를 참조할 수 있는 이유라고 판단된다. 한편, HUD를 볼 때, HUD에 표시되는 비행 정보를 탐색하는지, 아니면 외부 시계를 보는 것인지는 본 분석에서는 구분할 수 없었다.

<표 2> 계기 탐색경로의 총괄 From-To chart (%)

From \ To	HUD	LMFD	RMFD	FD	ENGINE	Others
HUD		3.9	5.09	16.7	3.3	9.4
LMFD	2.2			0.6		3.3
RMFD	3.3			2.2	2.22	1.1
FD	14.4	0.6	3.3		1.67	2.2
ENGINE	5.6	0.6	0.6	1.7		0.6
Others	11.7	1.1		1.1	1.7	

이 From-To chart 자료는 조종실의 주요 계기 배열의 설계 및 평가에 사용될 수 있으므로, 추후에 시뮬레이터가 개발되면 더 정밀한 실험을 수행하여 보다 세밀하고 정확한 자료의 확보가 요구된다.

4. 토 의

항공기 조종실의 안전설계를 위한 인간공학적 고려요소로는 인체측정학적 고려(여유 공간 등), 뻗침 거리 제약 조건(foot reach, arm reach), 시각적 제약조건(visual field), 계기 및 조종간 배치(layout of displays and controls) 등이 있으며, 본 연구에서는 계기 배치를 위한 기본적인 조종사의 비행 중 계기 탐색 형태 분석을 수행하였다.

안구 추적 실험은 이륙 비행, 수평 비행, 선회 비행, 착륙 비행의 4개 비행 조건에서 수행되었으며, 기존 연구를 보면 하나의 비행 과정(예를 들어 착륙 과정)에서 안구추적을 수행한 경우가 많았으며 (Fitts, 1950, Liu, et al., 2002), 다양한 비행 과정에서의 안구 추적은 민항기를 대상으로 대부분 수행되었다 (Mumaw et al., 2001; Saeter et al., 2003). 따라서, 본 연구는 다양한 비행 과정에서 전투기 조종실의 계기 특성(예를 들어 HUD 채용)을 반영한 탐색 형태 분석으로서 의의를 가진다고 할 수 있다.

본 연구의 한계점으로는 1) 실제 항공기에서의 비행이나 시뮬레이터를 사용하지 않고 머리 비행을 수행하였다는 점, 2) 머리 비행을 수행하기 위해 숙련된 조종사만을 대상으로 하였다는 점, 3) 비행 계기(Flight Display)와 ENGINE 계기의 경우 세부 계기로 구분하지 않고 하나의 그룹으로 분석하였다는 점, 4) 전투 기동은 포함하지 않고

정상 비행만 대상으로 하였다는 점 등이다. 따라서, 앞으로 시뮬레이터가 개발되면 전투 비행을 포함하여 다양한 비행 조건에서, 그리고 숙련 조종사와 비숙련 조종사 그룹을 대상으로 계기 탐색 형태를 분석하는 연구가 요구된다.

조종실의 계기 배열은 각 계기의 중요도, 사용빈도, 기능적 연관성, 사용순서(탐색순서) 등을 고려하여 결정하여야 하며, 여기에서 제시한 사용빈도, 계기 탐색 순서의 From-To Chart는 실제 비행 임무를 수행할 때의 경험적 탐색순서 데이터로 유사한 형태의 전투기 조종실 설계 시에 계기배열의 실제 자료로 활용할 수 있고, 비행 교육 시 최적 탐색 형태 도출에 활용될 수 있을 것이라고 기대된다.

5. 결 론

본 연구에서는 HUD(head up display)와 두개의 MFDs(multi function displays), 그리고 전통적 전자기계식 표시계기로 구성된 전투기 계기판에서, 4개 정상 비행(이륙, 수평, 선회, 착륙)을 머리비행 할 때, 안구 추적을 통하여 계기 탐색 형태와 관련 데이터를 추출하였다. 본 연구 결과는 유사한 계기 형태를 채용하는 전투기 설계 시 기본 데이터로 사용할 수 있고, 비행 교육을 위한 최적 탐색 형태 도출 등에 활용 될 수 있을 것이다.

6. 참 고 문 헌

- [1] 건설교통부, "교통안전연차보고서, 2001", 건설교통부 (2001).
- [2] 공군본부, "유형별 항공기 사고 사례집", 공군본부 (1993).
- [3] 황정선, 김영준, 송영웅, 최정현, "KTX-1 조종실 설계 최적화 연구." 국방과학연구소(1998), ASCD-401-980586.
- [4] Fitts, P.M., Jones, R.E. and Milton, J.L., "Eye movements of aircraft pilots during instrument-landing approaches.", *Aeronautical Engineering Review*, 9(1950), 1-16.
- [5] Hawkins, F.H., "Human Factors in Flight.", Ashgate Publishing Company(1987), Vermont.
- [6] Proctor, R.W. and Van Zandt, T., "Human Factors in Simple and Complex Systems.", Allyn and Bacon(1994).
- [7] Stokes, A.F. and Wickens, C.D., "Aviation Displays.", In: Wiener, E.L., Nagel, D.C. (Eds.) *Human Factors in Aviation*, Academic Press(1988).
- [8] Mumaw, R.J., Sarter, N.B., Wickens, C.D., "Analysis of pilots' monitoring and performance on an automated flight deck.", *Proceedings of International Symposium on Aviation Psychology*(2001). Columbus, OH.
- [9] Sarter, N., Wickens, C., Mumaw, R., Kimball, S., Marsh, R., Nikolic, M., and

- Xu, W., "Modern flight deck automation: pilots' mental and monitoring patterns and performance.", Proceedings of International Symposium on Aviation Psychology (2003), Dayton, OH.
- [10] Itoh, Y., Hayashi, Y., Tsukui, I., and Saito, S., "The ergonomic evaluation of eye movement and mental workload in aircraft pilots.", Ergonomics, 33(1990), 719-133.
- [11] Brown, D.L., Anderson, G.M., Bautsch, H.S., Wetzel, P.A., "Instrument Scan Strategies of F-117A Pilots.", Aviation Space Environmental Medicine, 73(2002), 1007-1013.
- [12] Fitts, P.M., Jones, R.E., and Milton, J.L., "Eye movements of aircraft pilots during instrument-landing approaches.", Aeronautical Engineering Review, 9(1950), 24-29.
- [13] Liu, Z.Q., Yuan, X.G., Liu, W., Wang, R., "Characteristics of eye movement and cognition during simulated landing of aircraft.", Space Med Med Eng, 15(2002), 379-380.

저 자 소 개

송 영 웅 : 현재 대구가톨릭대학교 산업보건학과 조교수로 재직 중. 포항공과대학교 산업공학과 공학박사 취득. 주요 연구관심분야는 항공기 조종석의 인간공학적 설계, 근골격계 작업부하 평가 및 개선, 인체역학 모델링 등.

이 종 선 : 현재 공군사관학교 산업공학과 부교수로 재직 중. 공군사관학교/서울대학교 산업공학 학사, 포항공과대학교 인간공학 석사, Texas A&M 대학교 안전공학 박사 취득. 주요 관심분야는 작업역학, 안전공학 및 체계개발 등.