

인간공학적인 조종실 공간 설계에 관한 연구

(A Study on the Ergonomic Design of the Cockpit Interior Space)

이창민*, 김영준*, 이종선*, 박세권*, 유희천**

요 약

조종실은 항공기-조종사 시스템에서 항공기와 조종사간의 긴밀한 상호작용이 이루어지는 유일한 공유영역으로서, 조종사의 인간성능 특성과 조종업무 특성의 체계적 반영이 요구되어 진다. 인간공학적으로 설계된 조종실은 조종 편이성, 운용성 및 비행 안정성의 향상을 가져올 수 있다.

항공산업 육성의 초기 단계에 있는 국내에서는 항공기 장비성능 개발 연구가 활발히 진행되고 있으나, 조종실에 대한 인간공학적 분석 연구는 미흡한 실정이다.

조종사의 인간요소특성에 적합한 조종실 공간을 체계적으로 설계하기 위하여,

- 조종실 공간 설계요소의 체계적 추출 및 계층적 구조 설정,
- 공간 설계에 적용될 인체측정요소의 정의 및 계층적 구조 설정,
- 설계요소의 특성 파악을 위한 설계요소간 연관관계 분석,
- 설계요소와 인간요소간의 연관관계 분석,
- 기존 전투기, 훈련기의 설계 자원 현황 및 설계지침 파악,
- 한국인 인체측정자료의 Data Base화,
- 인간공학적인 조종실 공간 설계자원 분석

을 수행하였다.

조종실 공간 설계요소로는 143 항목이 정의되었으며, 설계요소들 간의 연관관계 Matrix 분석을 통하여 선행/병행/후행 설계요소 및 설계요소의 중요도가 파악되었다.

조종실 공간 설계에 적용될 인간측정요소로는 133개 항목이 정의되었으며, 설계요소와 인간요소간의 연관관계 분석을 통하여 설계요소별로 고려되어질 인간요소를 분석하였다.

또한 설계요소와 관련된 다른 설계요소, 인간요소 및 인체측정치, 설계지침을 종합적으로 적용함으로써 인간공학적인 조종실 공간 설계자원을 제시하였다.

* 공군사관학교 산업공학과 ** 공군사관학교 조종사적성연구소

1. 조종실 최적화 연구 배경

Wright 형제에 의해 1903년 최초로 이루어진 동력 비행의 성공은 관련된 산업 기술 분야는 물론 인류의 생활형태에 수많은 영향을 끼쳐왔다. 이제까지 인간이 생활해 오던 지상과는 전혀 다른, “공중”이라는 새로운 환경에대한 인간의 생리 및 심리적인 기능과 능력의 한계성에 관심의 초점이 모아져 의학, 생리학 및 심리학 관련 학자들이 공중 특히, 비행환경이 항공기 승무원들에게 미치는 영향에 관한 많은 연구를 해왔다. 현대에 들어서는 관련 분야 환경의 변화로 이와 같은 전통적인 분야에 공학의 개념이 추가되어 조종장치 및 항공기 조종에 관련된 인간의 지각 및 인식과정 연구와 조종사 및 지원요원의 선발, 적성개발 및 훈련에 관한 연구, 인체에 적합한 항공기 조종실 설계, 항공기 운용과 검사절차, 그리고 정비와 지상관제 절차에 관한 연구도 병행되고 있다.

특히, 항공기의 조종실은 인간-기계 시스템의 일환으로 생각할 수 있으며 항공기와 조종사간의 상호작용이 이루어 지는 유일한 공유영역(Interface Space)으로서, 인간요소(human factors)의 중요성이 더욱 강조된다. 현대의 항공기는 과학의 급속한 발달로 그 구조나 기능이 매우 복잡해졌으며, 그 중에서도 전투기의 경우는 무기체계, 항법체계등이 고도로 전자화되어 있어 조종사는 과거의 항공기를 조종할때 처럼 단순한 조종기술만 요구되는 것이 아니라 시스템의 각 요소로부터 입력되는 수많은 정보를 인식, 판단해야 하는 의사결정자로서의 역할이 중요시 된다. 즉 정보를 빠르고 정확하게 처리하고 입력된 자료에 의거하여 순간마다 중대한 의사결정을 해야한다. 이러한 항공기 운용환경의 역동적인 변화는 항공기 조종시에 과거의 지각/정신운동의 신속한 반응력에 더하여 다양하며 순간적인 정보를 효과적으로 그리고 정확하게 처리할 수 있는 능력이 요구되기 때문에 아무리 훈련된 조종사라 할지라도 조종하는데 어려움을 느끼며 많은 계기와 제한된 작업공간, 높은 작업 부하등은 종종 인간의 인식 및 지각, 수행 능력의 한계를 지나쳐 조종사의 실수를 유발하기도 한다. 이로 인한 순간적인 판단착오나 조종실수는 막대한 인적 물적 손실을 초래할 수 있으며 실제로 많은 경우에 있어 사고의 원인이 인적요소에 있다는 것이 보고되어지고 있다.

따라서 항공기 자체의 신뢰성 향상 못지 않게 조종사가 판단착오나 조종실수를 범하지 않고 의도하는 대로 항공기의 성능을 최대한으로 발휘하려면, 조종사가 각종 계기들의 표시장치(display)에 따른 해당 정보입력이 용이한 조작기기, 조종사의 실수가 없고 판단이 용이한 계기판, 그 판단의 결과로 조종이 용이한 조종장치 - 조종간(control stick), 동력제어기(throttle), 러더페달(rudder pedal) - 가 설계되어야 한다. 즉 항공기-조종사 시스템에서 두 요소가 접촉되는 계면(interface)으로 표시장치, 계기판, 조종장치 등이 조종사의 인체특

성을 고려하여 인간공학적으로 설계(design)되고 배치(layout)되어야만 한다.

항공관련 산업의 육성 초기 단계에 서있는 국내에서는 항공기의 hardware적인 장비성능 개발 연구가 한창 진행중에 있으나 software적인 문제점들에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 조종실내의 제반 인간공학적인 요소들에 대한 심층적인 연구가 이루어져 항공기-조종사 시스템에서 시스템의 성능 및 안전성, 신뢰성, 조작성, 편의성등이 보장될 수 있도록 인간요소적 측면을 고려하고, 조종사와 항공기간의 시스템을 구성하고 있는 요소들간의 상관관계로 부터 최적화를 도모하는 것이 요구된다.

본 논문은 인체특성에 적합한 조종실의 최적설계를 위해 조종실 공간 설계요소의 계층적 구조를 분석하고, 공간설계에 관련된 인체측정자료를 체계적으로 적용하여 인간공학적인 조종실 공간 설계제원을 추출함을 목적으로 하고 있으며 구성은 다음과 같다. 1절은 서론 부분으로 조종실 최적화 연구 배경에 대해서, 2절은 조종실 설계 부문별 세부 설계를 위한 사전 단계로서 전반적인 설계부문의 상대적 위치 및 공간 영역을 분석한 조종실 공간설계 연구의 목적 및 접근 방법을, 3절은 제안된 조종실 공간 범위내에서 조종 계기판, 조종계통 및 조종석 부문에 대한 조종실 설계부문별 세부 설계, 설계 원칙, 설계 제원을 바탕으로 종합적인 설계도를 작성하는 인간공학적인 조종실 설계, 그리고 4절은 결론으로 이루어져 있다.

2. 조종실 공간설계 연구

2.1 연구의 개요

인간이 활동하는 공간은 운용자(Operator)가 주어진 System을 효율적으로 운용할 수 있도록 설계되어졌을 때 System의 성능, 안정성등을 증대시킬 수 있다. 일반적인 인간-기계 시스템에 있어서 인간의 활동공간 설정은 System의 시간성, 공간성과 관련하여 대체적으로 여유를 확보할 수 있으나, 항공기 특히 음속을 초과하는 군용 전투기 또는 훈련기의 조종석 공간 설계는 최소한 공간내에서 최대의 효과를 창출해야 하는 가장 복잡하고, 난해한 문제이다.

특히, 조종사의 순간적인 오류는 항공기의 속도와 병행하여 엄청난 오류효과로 증폭되는 상황으로 직결되기 때문에 인적오류(Human Error)를 최소화 시킬 수 있도록 설계하고, 동시에 인간성능(Human Performance)을 극대화시켜야 하는 과제를 내포하고 있다.

항공기의 조종장치들을 체계적으로 조종실 공간에 배치하기 위해서는 설계요소를 정의하고, 이들 간의 관련성을 분석하며, 서로의 상대적 중요도가 분석, 평가되어야 한다.

(1) 조종실 공간설계요소의 정의

조종실 공간 설계와 관련한 요소를 크게 구분하면 표시장치 (Display System), 조종장치 (Control System), 조종실 구조 (Seat and Canopy System)로 정의할 수 있다.

표시장치는 크게 Instrument Panel, Auxiliary Panel, Pedestal Panel, Side Console로 구분하고 각각의 Height, Width, Length, Angle 그리고 Clearance 등을 정의하며 이들 요소의 Upper, Middle, Lower, Outer, Inner, Vertical, Lateral 등의 요소가 분석되어야 한다. 또한, 조종장치는 항공기 운용시 핵심인 Stick, Throttle, Rudder Pedal 등의 Height, Length, Width, Angle, Travel Distance, Resistance, Clearance가 정의되어야 한다. 조종실 구조와 관련하여 조종실 공간설계에 있어서 기준점을 제공하는 의자(Seat)와 조종사가 조종실 내에 위치했을때의 상하좌우의 폭, 높이등을 정의하여야 한다.

본 연구에서는 위와 같은 요소들을 계층적으로 분석한 결과 크게 3개의 수준별로 구분하여 3번째 수준에서 총 143개 요소로 정의 되었다.

(2) 조종실 공간설계요소간 연관관계 분석

앞에서 정의한 143개 항목간의 연관관계를 우선 분석, 평가함으로써 필수적으로 고려해야 할 요소를 도출하였다. 즉, Instrument Panel의 Upper, Lower, Width, Height가 조종실내의 다른 요소들에게 어느 정도의 관련도를 갖는지에 대한 분석이 되어지고, 관련도의 수준에 따라 분류된 후에 우선 고려대상으로의 정의 여부를 결정하였다. 이와 같은 절차를 수행하기 위해서 Matrix(143*143)를 구성하여 분석, 평가 하였다.

(3) 설계요소의 상대적 중요도 분석

분석된 총 143개 항목을 중요도별로 구분하기 위해서 다른 설계요소에 직접적인 영향을 미치지 않는 요소로써 중요 고려대상에서 제외시킬 수 있는 단순설계자원 요소, 다른 설계재원에 많은 영향을 주는 요소, 다른 설계 재원으로 부터 많은 영향을 받는 요소, 상호 복잡한 연관관계를 갖는 설계요소 등 4가지 범주로 구분하였다.

2.2 조종실 공간설계의 접근방법

본 연구에서는 구조적 분석(Structural Analysis)을 통해 효율적 문제 해결(Optimal Problem Shooting)과 논리적인 설계(Logical Design)를 얻고자 한다. 구조적 분석은 분석 대상 요소의 추출, 요소의 계층적 구조 설정 및 요소 간의 연관관계 분석을 통한 요소 간의 상대적 중요도 분석에 의해 이루어진다. 요소의 상대적 중요도에 따라 파급효과가 큰 설계요소를 집중 설계함으로써 효율적인 문제 해결을 기할 수 있다. 또한 연관관계 분석에 의해 연관 인체측정자료와 설계지침을 체계적으로 설계에 반영함으로써, 설계자원 설정에 기초가 되는 자료 및 지침의 변동에 설계결과가 유연하게 적응될 수 있다. 이러한 연구 개념하에서 본 연구에서는 그림 1과 같은 Work-Flow를 설정하였다.

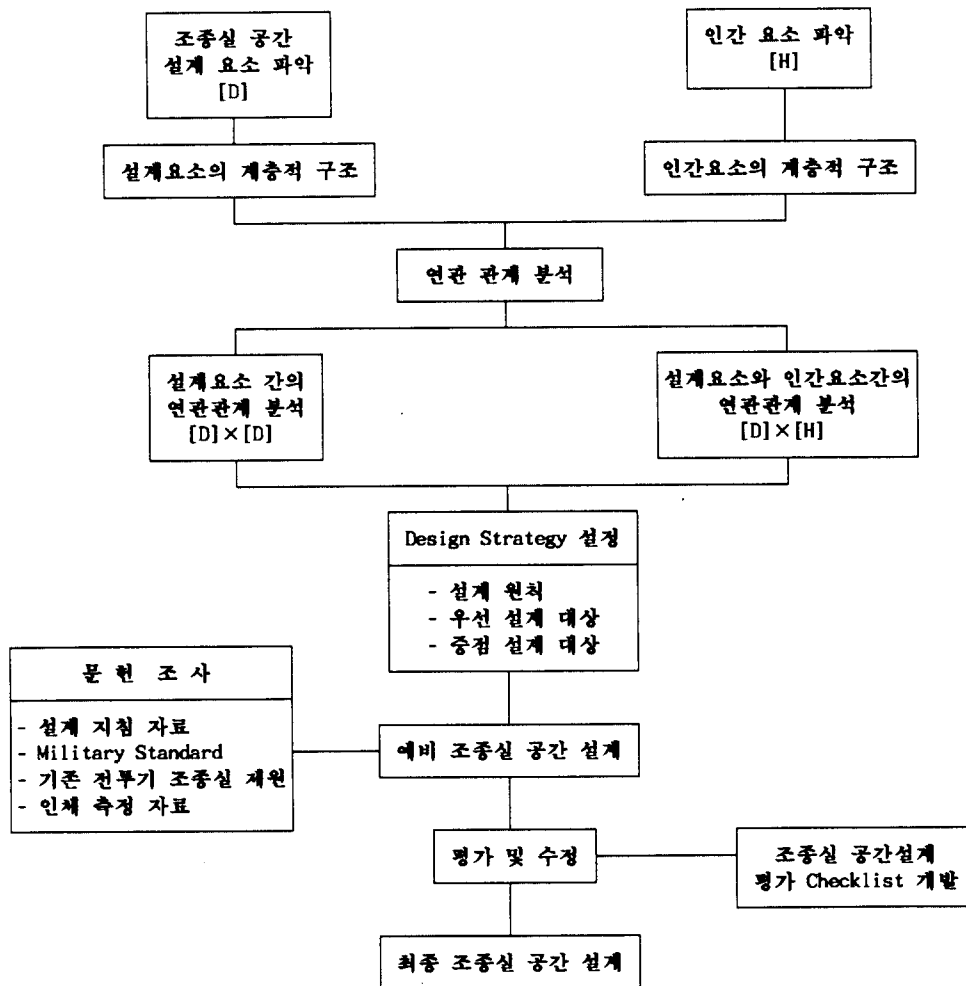


그림 1. 조종실 공간설계 연구의 Work-Flow

3. 인간공학적인 조종실 공간 설계

3.1 조종실 공간 설계요소의 계층적 구조

조종실 공간을 체계적으로 설계하기 위하여 조종실 공간을 구성하고 있는 설계요소에 대해 계층적 구조를 설정하였다. 본 연구에서는 조종실 공간을 구성하는 부문을 크게 조종계기판(Instrument Panel/Vertical Panel/ Pedestal Panel/Side Console), 좌석(Seat), 조종기기(Stick/Throttle/ Rudder Pedal), Canopy 및 Cockpit Structure로 구분하였으며, 세부 설계요소로 143개 항목의 조종실 공간 설계요소를 정의하였다.

조종실 공간 설계요소는 조종실 관련 설계지침서, 설계규격서 및 인간공학 문헌을 통해 추출하였고, 일부는 계층적 구조 분석을 통해 정의하였다. 표 1은 각 조종실 공간 설계부문에 대해 정의된 설계요소의 분포를 나타내고 있다.

표 1. 조종실 공간 설계부문별 설계요소 분포

조종실 공간 설계 부문		설계요소 수
조종계기판	Instrument Panel	13
	Vertical Panel	16
	Pedestal Panel	13
	Side Console	12
Seat		24
조종기기	Stick	15
	Throttle	12
	Rudder Pedal	19
Canopy		5
Cockpit Structure		14
총 계		143

조종실 공간 설계요소의 계층적 구조는 설계요소의 특성에 따라 3가지 수준으로 설정하였다. 첫번째 계층적 수준은 물리적 설계부문에 따라 계기판, Seat, 조종기기, Canopy, Cockpit Structure로 구분하였으며, 두번째 계층적 수준은 설계제원의 속성에 따라 높이(Height), 길이(Length), 각도(Angle), 저항력(Resistance) 등으로 구분하였다. 또한, 세번째 계층적 수준에서는 실제적인 설계요소를 정의하였다. 표 2는 체계적인 분석을 통하여 설정된 조종실 공간 설계요소의 계층적 구조의 예를 나타내며, 설계요소간의 연관관계 분석, 설계요소의 상대적 중요도 분석, 설계요소와 인간요소간의 연관관계 분석, 설계요소별 제원현황 및 설계지침 비교 분석시 활용되어 진다.

표 2. 조종실 공간 설계요소의 계층적 구조(예:주계기판)

1st Level	2nd Level	No.	3rd Level
Instrument Panel	Height	1	Upper Side Height from Cockpit Floor Line
		2	Middle Side Height from Cockpit Floor Line
		3	Lower Side Height from Cockpit Floor Line
	Length	4	Outer Side Length
		5	Inner Side Length
	Width	6	Upper Side Width
		7	Middle Side Width
		8	Lower Side Width
	Angle	9	Vertical Angle
		10	Lateral Angle
	Visual Location	11	Viewing Distance(Instrument Panel RP to DEP)
		12	Downward Viewing Angle from DEP
		13	Lower Side to NSRP Horizontal Distance

3.2 인간요소의 계층적 구조

인간공학적인 조종실 공간 설계를 위하여, 설계에 고려될 인간요소에 대해 계층적 구조를 설정하였다. 일반적으로 인체의 부위는 크게 머리(Head), 목(Neck), 상완(Upper Arm), 하완(Lower Arm), 손(Hand), 몸통(Trunk), 엉덩이(Hip), 윗다리(Upper Leg), 아랫다리(Lower Leg), 발(Foot)로 구분된다. 본 연구에서는 10개 부위에 대해 133개 항목의 인체 측정요소를 정의하였다. 표 3은 각 부위별로 정의된 인체측정요소의 분포를 나타내고 있다.

표 3. 인체 부위별 인체측정요소 분포

인 체 부 위	인간요소 수
Head	19
Neck	10
Upper Arm	5
Lower Arm	13
Hand	30
Trunk	23
Hip	4
Lower Leg	8
Upper Leg	9
Foot	12
총 계	133

인체측정요소의 계층적 구조는 특성에 따라 3가지 수준으로 설정되었다. 첫번째 계층적 수준은 인체 부위로 구성하였으며, 두번째 수준은 인체 치수의 속성에 따라 높이(Height), 길이(Length), 둘레(Circumference), 각도(Angle) 등으로, 세번째 계층적 수준은 실제적인 인체측정요소를 정의하였다. 본 연구에서는 인체측정요소의 계층적 구조를 조종실 공간 설계요소의 계층적 구조와 동일한 특성 구조로 구성함으로써, 인체측정요소와 설계요소 간의 연관관계 분석과 설계제원 설정시 인체측정자료 적용이 용이하도록 하였다.

표 4는 분석을 통하여 설정된 인체측정요소의 계층적 구조중 일부를 나타내며, 이는 조종실 공간 설계요소와 인간요소간의 연관관계 분석, 인체측정 자료의 Data Base 구축, 인간공학적인 조종실 공간 설계제원 설정, 조종실 공간 설계제원의 타당성 평가등의 단계에서 적용된다.

표 4. 인체 측정 요소의 계층적 구조(예:Head)

인 체 측 정 요 소			순번	CODE	설계 고려 요소
1st	2nd Level	3rd Level			
Head	Breadth	Head Breadth	1	HDBD01	*
		Biauricular Breadth	2	HDBD02	
		Interpupillary Breadth	3	HDBD03	
	Length	Head Length	4	HDLN01	*
		Sellion-Menton Length	5	HDLN02	*
		Sellion to Top of Head	6	HDLN03	*
		Eye to Wall	7	HDLN04	***
	Circumference	Head Circumference	8	HDCF01	
	Radius	Head Radius, Horizontal	9	HDRD01	
		Head Radius, Vertical	10	HDRD02	
	Height	Head Height	11	HDHG01	***
		Eye Height, Sitting, Erect	12	HDHG02	***
		Eye Height, Sitting, Relaxed	13	HDHG03	***
		Sitting Height, Erect	14	HDHG04	***
		Sitting Height, Relaxed	15	HDHG05	*
	Binocular Field (Head Fixed)	Visual Field Angle, Up	16	HDFD01	***
		Visual Field Angle, Down	17	HDFD02	***
		Visual Field Angle, Right	18	HDFD03	***
		Visual Field Angle, Left	19	HDFD04	***

3.3 조종실 설계요소간의 연관관계 분석

조종실 공간 설계요소들 간에는 서로 복잡한 관계가 형성되어 있어, 한 설계요소에 대한 재원을 독립적으로 설정할 수 없다. 또한 한 설계요소의 재원의 변화는 관련 설계요소의 재원을 변하시키며, 어느 설계요소는 다른 설계요소에 비해 선행 혹은 후행되어 설계되어야 하는 경우가 있다. 따라서 이들 설계요소 간의 복잡한 상호 관계를 조종실 설계에 체계적으로 반영하는 분석이 필요하다.

본 연구에서는 조종실 공간 설계요소 간의 상호 연관관계를 정량화 시키기 위하여, 표 5와 같이 연관관계 여부와 설계재원 변화에 대한 민감도를 평가하는 척도를 설정하여 143×143 Matrix에 대해 From-To Chart를 작성하였다. 연관관계 척도 “0”은 상호 연관성이 없는 경우이며, “1”은 연관성은 있으나 설계재원 변화가 다른 설계재원에 미치는 파급정도가 약한 경우이며, “2”는 연관성이 있고 설계재원 변화가 다른 설계재원에 큰 파급효과를 나타내는 경우이다.

표 5. 조종실 공간 설계요소간 연관관계 평가 척도

평가척도	연관관계평가내용
0(Blank)	i 설계요소의 변화가 j 설계요소에 영향을 주지 않아 독립적으로 설계할 수 있는 경우
1	i 설계요소가 j 설계요소보다 선행 혹은 병행되어 설계되어야 하며, i 설계재원의 변화가 j 설계재원 설정에 간접적으로 상당한 영향을 미치는 경우
2	i 설계요소가 j 설계요소보다 선행되어 설계되어야 하며, i 설계재원의 변화가 j 설계재원 설정에 직접적으로 중요한 영향을 미치는 경우

작성된 From-To Chart 평가 결과를 종합하면 그림 2와 같이 도식적으로 설계요소를 분류할 수 있다. 그림 2에서 X축은 한 설계요소의 재원 변화가 다른 설계요소들의 재원에 영향을 미치는 정도의 총합(Sum of From)을 나타내고, Y축은 한 설계요소가 다른 설계요소의 재원 변화로부터 영향을 받는 총합(Sum of To)을 나타낸다.

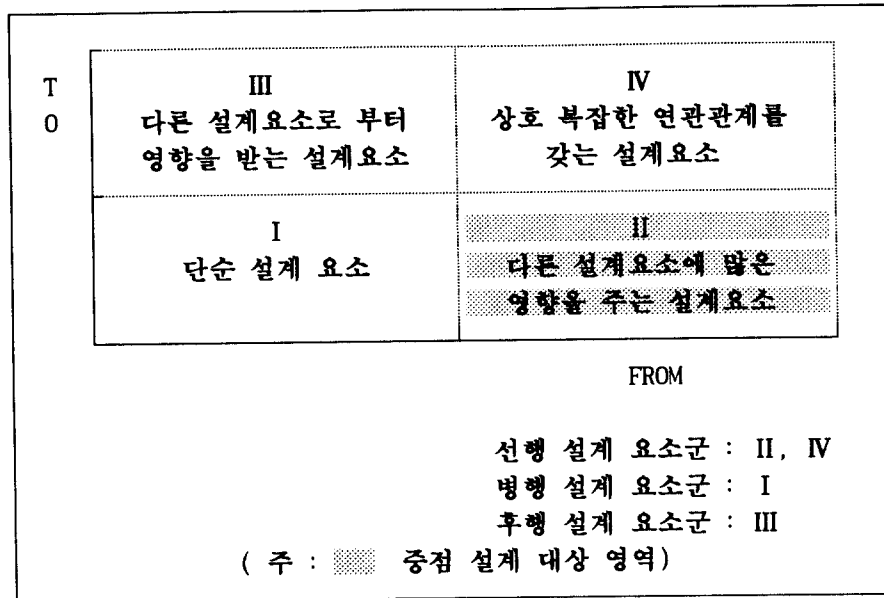


그림 2. 조종실 공간 설계요소의 분류 기준

그림 2에서 I 영역에 속하는 설계요소는 다른 설계요소에 영향을 주거나 다른 설계요소로 부터 영향을 받는 정도가 미약하여, 독립적으로 설계제원을 설정하여도 전체적인 조종실 최적 설계에 큰 영향을 미치지 않는 단순 설계요소이다. II 영역에 속하는 설계요소는 다른 설계요소로 부터 영향을 적게 받는 반면 다른 설계요소에 커다란 영향을 주므로, 이러한 설계요소는 설계시 다른 설계요소 보다 선행하여 중점적으로 설계되어야 하는 요소이다. III 영역에 속하는 설계요소는 다른 설계요소로 부터 영향을 많이 받는 반면 다른 설계요소에 영향을 적게 주므로, 이러한 설계요소는 다른 설계요소가 먼저 체계적으로 설계된 후 단순한 분석을 통하여 설계되어야 하는 후행 단순 설계요소이다. IV 영역에 속하는 설계요소는 다른 설계요소에 영향을 많이 주는 동시에 다른 설계요소로 부터 영향을 많이 받아 상호 복잡한 연관관계를 맺는 설계요소이다. 이러한 설계요소는 체계적인 분석을 통한 최적 설계를 하기 위해서는 많은 노력이 소요되므로, 설계지침 및 기존 전투기의 설계현황을 고려하여 설계제원을 설정하는 것이 효율적이다.

그림 2의 분류 기준에 의해 143개 공간 설계요소를 분류한 결과 단순 설계요소는 64개, 다른 요소에 많은 영향을 주는 설계요소는 42개, 다른 설계요소로 부터 많은 영향을 받는 설계요소는 30개, 상호 복잡한 연관관계를 맺는 설계요소는 7개 항목이 각각 파악되었다.

본 연구에서는 설계의 효율성을 제고하기 위해 II 영역에 속하는 설계요소를 중점적으로 설계해야 할 설계대상으로 선정하여 집중적인 분석을 수행하였다.

3.4 조종실 설계요소와 인간요소간의 연관관계 분석

조종실 공간을 인간공학적으로 설계하기 위해서는 조종실 공간 설계요소와 연관된 인간요소를 체계적으로 파악하고, 이에 관한 인체측정자료 및 인간공학적인 설계지침을 종합적으로 적용해야 한다.

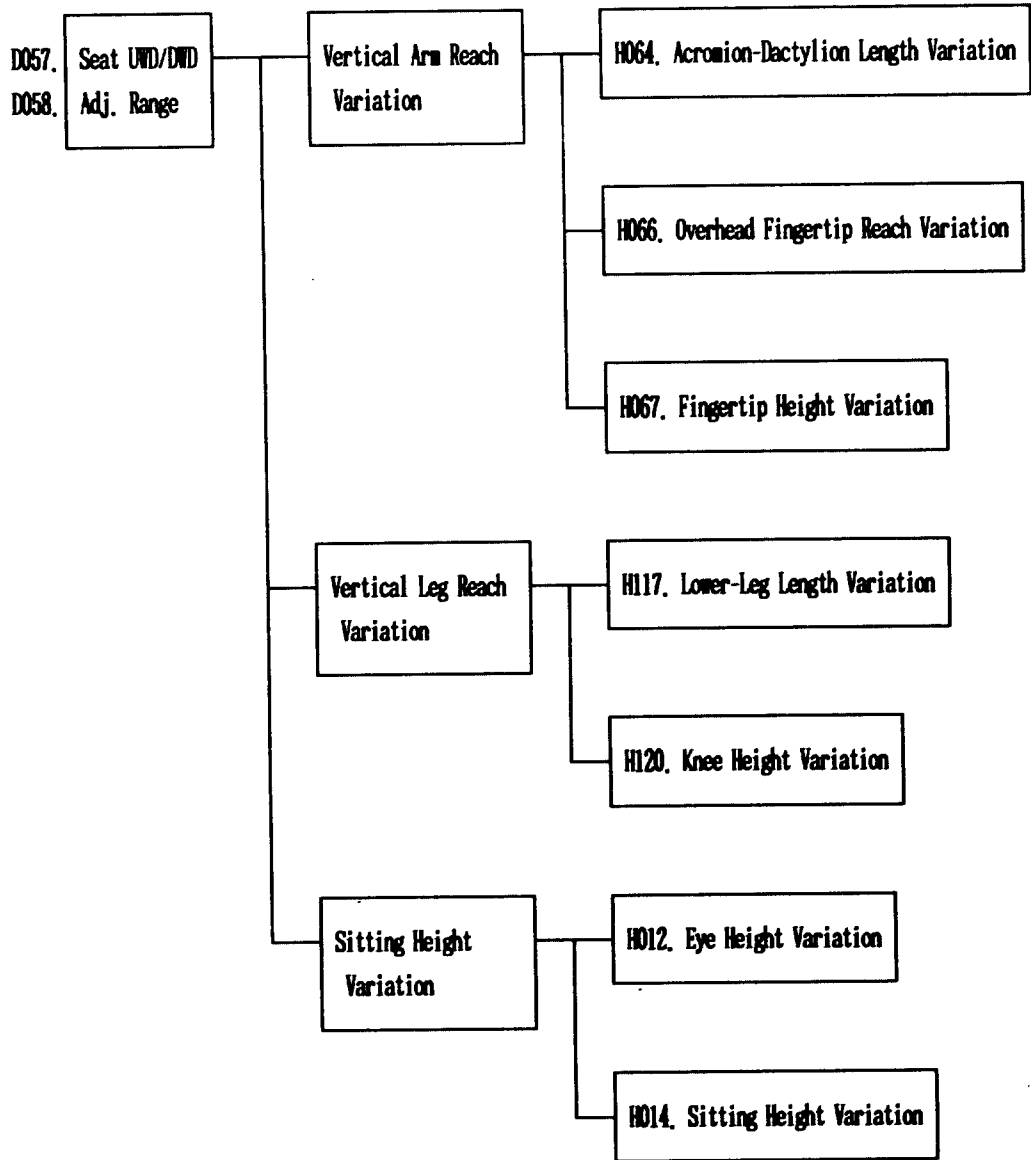
그런데, 좌판의 크기(Seat Pan Size)와 같은 설계요소는 인간요소를 고려하여 설계해야 하는 반면, Instrument Panel의 크기와 같은 설계요소는 인간요소와 무관하게 조종실 계기판에 장착되는 계기들의 특성에 의해 결정된다. 즉 설계요소들은 인간공학적으로 설계되어야 할 요소와 인간요소와 무관하게 기계적 특성만 고려하여 설계해야 할 요소로 구분된다.

또한 인간공학적으로 설계되어야 할 설계대상들은 하나의 인간요소만을 고려해서 설계할 수 있는 요소와 여러 인간요소를 동시에 종합적으로 고려해서 설계해야 하는 요소로 구분된다. 예를 들면, Instrument Panel의 높이는 인간의 시야(Visual Field) 특성만을 고려해서 설계될 수 있으나, 좌석의 전방·후방 조절 범위(Seat Forward/Backward Adjustment Range)는 팔과 발이 움직일 수 있는 범위의 변동분(Arm/Leg Reach Variation)을 종합적으로 고려하여 설계하여야 한다.

위와 같이 조종실 공간 설계시 고려해야 할 인간요소를 체계적으로 파악하기 위하여, 조종실 공간 설계요소 143개 항목과 인간요소 133개 항목간의 연관관계 분석을 수행하였다.

표 6은 조종실 공간 설계요소와 인체측정요소간의 연관관계 분석에 의한 설계요소와 인체측정요소간의 연관관계 Diagram중 일부를 나타내며 이표에 의하면 조종석 위·아래 조절 범위(D057 & D058 : Seat UWD/DWD Adjustment Range)는 팔의 수직 방향 뻗침 길이의 변동분(Vertical Arm Reach Variation)과 발의 수직 방향 뻗침 길이의 변동분(Vertical Leg Reach Variation) 및 앉은 키의 변동분(Sitting Height Variation)을 종합적으로 고려하여 설계해야 함을 알 수 있다. 팔의 수직 방향 뻗침 길이의 변동분은 어깨 끝에서 손 끝 까지 길이의 변동분(H064 : Acromion- Dactylion Length Variation)과 머리 위로 뻗은 손끝 높이의 변동분(H066 : Overhead Fingertip Reach Variation) 및 착석 시 손 끝 높이의 변동분(H067 : Fingertip Height Variation)에 의해 결정된다. 발의 수직 방향 뻗침 길이의 변동분은 아랫 다리 길이의 변동분(H117 : Lower-Leg Length Variation)과 앉은 무릎 높이의 변동분(H120 : Knee Height Variation, Sitting)에 의해 결정된다. 또한 앉은 키의 변동분은 앉은 눈 높이 변동분(H012 : Eye Height Variation, Sitting)과 앉은 키 높이의 변동분(H014 : Sitting Height Variation)에 의해 결정된다.

표 6. 조종실 공간설계요소와 인체측정요소간의 연관관계 Diagram



3.5 인체측정자료의 Data Base

조종실 공간 설계제원 설정시 필요한 인체측정자료를 인체측정요소의 계층적 구조에 따라 표 7과 같이 정리하였다. 정리된 인체측정자료는 기 연구되었던 조종사 인체측정자료와 92년도 국민표준체위조사 성인 남자 자료이다. 인체측정자료는 인간공학적인 조종실 공간 설계제원 설정과 조종실 공간 설계제원의 타당성 평가시 활용된다.

표 7. 인체측정자료 Data Base(예)

No.	인 체 측 정 변 수	CODE	N	Mean	S. D	5th	50th	95th	범위	직 업	Sex	출생년도
1	Head Breadth	HDBD01	749	16.1	0.6	15.2	16.1	17.1	1.9	GEN	M	'67-'73
			1074	16.3	0.6	15.3	16.3	17.3	2.0	GEN	M	'41-'66
2	Biauricular Breadth	HDBD02										
3	Interpupillary Breadth	HDBD03	749	6.3	0.3	5.7	6.3	6.9	1.2	GEN	M	'67-'73
			1074	6.3	0.3	5.8	6.3	6.9	1.1	GEN	M	'41-'66
4	Head Length	HDLN01	749	18.3	0.7	17.2	18.3	19.5	2.3	GEN	M	'67-'73
			1074	18.6	0.7	17.4	18.6	19.7	2.3	GEN	M	'41-'66
5	Sellion-Menton Length	HDLN02	749	11.6	0.8	10.2	11.6	12.8	2.6	GEN	M	'67-'73
			1074	11.6	0.8	10.3	11.6	12.9	2.6	GEN	M	'41-'66
6	Sellion to Top of Head	HDLN03										
7	Eye to Wall	HDLN04	643	23.4	0.7	22.5	23.5	24.5	2.0	PLT	M	'60-'71
8	Head Circumference	HDCF01	749	56.4	1.6	53.8	56.3	59.2	5.4	GEN	M	'67-'73
			1074	56.8	1.5	54.3	56.8	59.1	4.8	GEN	M	'41-'66
9	Head Radius, Horizontal	HDRD01										
10	Head Radius, Vertical	HDRD02										
11	Head Height	HDHG01	749	23.2	1.1	21.4	23.3	25.0	3.6	GEN	M	'67-'73
			1074	23.1	1.1	21.3	23.2	24.9	3.6	GEN	M	'41-'66

3.6 인간공학적 조종실 공간 설계제원 분석

한국인의 인체 치수에 적합한 인간공학적 조종실 공간설계를 위해 조종실 공간 설계요소를 추출하고, 정의된 설계요소에 대해 설계 중점 대상, 설계 우선 순위(선행/병행/후행), 설계요소간의 연관성, 기존 항공기의 설계 현황 및 인간공학적 설계지침을 파악하였다. 또한 조종실 공간 설계에 고려해야 할 인간요소를 추출하여 관련 인체측정자료를 수집 정리하였다.

인간공학적 조종실 공간 설계제원 설정은 인간요소와 관련된 설계요소에 대해서는 인체측정자료 및 인간공학적 설계지침을 근거로 이루어 졌고, 인간요소와 관련되지 않은 설계요소에 대해서는 기존 전투기의 설계 현황을 참고하여 이루어 졌다.

또한 본 분석 단계에서 각 설계요소에 대한 설계제원 설정 근거를 명시함으로써 인체측정자료와 설계지침 및 설계방침의 변화에 대한 설계 결과의 유연성을 재고시켰다. 즉 변화된 관련 자료 및 지침을 명시된 설계 절차를 따라 적용시키면 새로운 설계제원을 산출할 수 있다.

인간공학적 조종실 공간 설계요소별 제원은 표 8에서와 같이 연관 인간요소, 고려된 여유요소(Allowance) 및 설계제원 설정 근거를 명시하여 산출되었다.

Instrument Panel의 상부면 높이(Upper Side Height)에 대한 설계요소에 대해 예를 들면, Instrument Panel의 상부면 높이는 DEP(Design Eye Position)로 부터의 하방 시야에 의해 결정되어진다. 전방 조종석의 하방 각도로 13° , 시거리(Viewing Distance)로 22inch를 유지하는 상부면 높이는 DEP Height에서 시거리에 대한 시각(Viewing Angle)의 정현치(Sine Value)를 곱하여 주면 34.8inch 값이 산출된다.

표 8. 인간공학적 조종실 공간 설계제한

(단위 : Inch)

조종실 공간 요소	연관 인간 요소	설계 제한 설정 근거	설계 제한
50. S/C Horizontal Angle		1. 기존 전투기 설계 현황 적용	100°
51. S/C Lateral Angle		1. 기존 전투기 설계 현황 적용	7°
52. Clear. between L & R S/C		1. D052 = D065 + 2 × D078 혹은 = D077(Lateral Ejection Clearance)	24
53. S/C Viewing Distance		1. 설계 지침 적용	[27-30]
54. S/C Viewing Angle			U.D.
55. Seat Forward Adj. Range	1. H057(Shoulder-Grip Length Variation) [4.79] 2. H059(Thumb-Tip Reach Variation) [6.30]	1. Forward Arm Reach Variation과 Forward Leg Reach Variation이 약 5inch 정도	Min 2.5
56. Seat Backward Adj. Range	3. H061 & H063(Forward Arm Reach Variation) [4.65-5.12] 4. H126(Buttock-Heel Variation) [5.28] 5. H127(Functional Leg Length Variation) [5.6-5.59]		
57. Seat Upward Adj. Range	1. H064(Acromion-Dactylion Length Variation) [N.A.] 2. H066(Overhead Fingertip Reach Variation) [6.02-6.69]	1. Vertical Arm Reach Variation, Vertical Leg Reach Variation, Sitting Height Variation이 약 4 inch 정도	Min 2.0
58. Seat Downward Adj. Range	3. H067(Fingertip Height Variation) [3.31-3.62] 4. H117(Lower-Leg Length Variation) [2.76] 5. H120(Knee Height Variation) [2.24-2.76] 6. H012(Eye Height Variation) [3.78-3.98] 7. H014(Sitting Height Variation)	2. Overhead Fingertip Height의 변동이 상대적으로 크나, 이는 Canopy 착탈을 수동으로 할 경우 고려되며 Canopy 착탈시 자세 변화가 허용되므로 설계제한 설정시 단순 참고 3. 좌석 상하 조절 범위를 4inch로 설정하면 5th Percentile에서 95th Percentile의 DEP(Design Eye Position) 변동을 포용	

(주 : N.A. - Not Available U.D. - Undetermined)

4. 결 언

현대 기계문명의 급속 성장은 인간의 제한된 한계점과 상충되는 문제점들을 시급히 극복해야 할 과제를 안고 있다. 특히, 조종사-항공기 시스템의 접합점에서 야기되는 운용의 어려움은 항공기 설계 과정에서 부터 철저한 분석, 평가가 적극적으로 수렴되었을 때 최소화될 수 있다.

훌륭하게 설계된 항공기관 기계적 비행요구 성능이 우수해야 함은 물론이고 이 시스템을 운용하는 조종사에게 보다 적합한 조종실 설계가 이루어져야 함은 매우 중요한 사실이다.

본 논문에서는 항공기 운용자인 조종사(Man)의 특성을 분석 평가하고, 조종실 설계와 관련된 요소를 모두 분석하여 이 두가지의 연관관계를 평가 분석함으로써 조종사에게 보다 최적한 조종실 공간 설계를 제시하고 있다. 1, 2절에서 조종실 최적화 연구와 관련된 배경과 연구 목적을 정의하고, 연구 접근방법을 제시하였다. 3절에서는 핵심 내용인 인체측정 요소와 조종실 설계요소를 구분하여 각각의 연관관계 분석을 계층적 구조분석 기법(AHP)을 활용하여 수행하였다. 이를 근거로 인간요소와 설계요소간의 연관관계를 4가지 범주로 구분하고, 그중 가장 중요한 항목을 선정하였다. 선정된 항목을 중점설계요소로 삼아 항목별 설계지침을 제시함으로써 실제 조종실 제작에 관련된 공간설계 지침을 결정하였다.

항공기 성능의 급속한 발전과 더불어 조종장치 및 계기의 설계와 평가는 인간공학의 적극적인 활용이 요구되고있다. 증가되고있는 항공기의 속도에 부응할 수 있도록 조종실의 계기가 배열되어야 함은 물론, 비행상황을 조종사가 적시에 적절하게 처치할 수 있도록 설계되어야 한다.

예를들면, 물리적 배열에 관한 문제도 계기의 중요성이나 사용빈도, 사용순서, 기능별 우선순위등을 고려하여 인간의 특성에 부합 하도록 설계되어야 한다. 현대의 조종실 계기는 MFD(Multi Function Display)개념의 설계로 발전하고 있으며 이와 관련하여 화면구성의 내용 및 색상, 대비(Contrast) 등등의 세부적인 연구가 활발히 진행되고있다.

현재 항공기의 조종실은 소위 "glass-cockpit"으로 추진되고 있으며 이는 전통적인 계기배열의 개념에서 조종사의 인지-판단-반응을 고려하여 보다 면밀한 분석, 평가를 통하여 연구 되어져야 할 것이다.

본 논문에서 제시된 조종실 공간설계 지침을 근거로 보다 세부 사항인 각종 조종실의 계기 배열 문제는 향후 추가 연구되어야 할 사항이다.

참 고 문 헌

1. 유희천, Human Function의 계층적 연관관계 분석 방안, 공학석사 학위 논문, 서울대학교, 1989.
2. 이달호, 조종사 선발용 검사기구의 개발에 관한 연구, 공학박사 학위 논문, 서울대학교, 1992.
3. 이종선, 인간-기계 상호작용의 인간공학적 분석 및 평가를 위한 계면 모형의 개발, 공학석사 학위논문, 포항공과대학, 1992.
4. 조종사적성연구소, 조종실 최적설계 연구, 국방과학연구소, 1990.
5. 조종사적성연구소, 조종실 최적화 연구, 국방과학연구소, 1992.
6. 한국과학기술연구소, 산업의 표준치 설정을 위한 국민 표준 채워 조사 보고서, 공업진흥청, 1992.
7. 한국표준과학연구원, 한국군 장병의 신체변수 분석 연구, 국방과학연구소, 1988.
8. Flight Manual(T.O. F-4C-1), 1988.
9. Flight Manual(T.O. 1F-5A/B-1), 1976.
10. Flight Manual(T.O. 1F-5E/F-1), 1985.
11. Flight Manual(T.O. 1F-16C/D-1), 1987.
12. Healy, M.J., Cockpit Geometry Evaluation, Vol. IV, National Technical Information Service, 1971.
13. Jan Roskam, Airplane Design, Roskam Aviation and Engineering, Co., 1985.
14. MIL-H-46855, Human Engineering Requirements for Military System Equipment and Facilities, U. S. Department of Defense, 1968.
15. MIL-HDBK-759A, Human Factors Engineering Design for Army Material, U. S. Department of Defense, 1987.
16. MIL-STD-1472C, Human Engineering Design Criteria Military System, Equipment and Facilities, U. S. Department of Defense, 1981.
17. MIL-STD-203F, Aircrew Station Controls and Displays : Assignment, Location and Actuation of, for Fixed Wing Aircraft, 1973.
18. MIL-STD-850B, Aircrew Station Geometry for Military Aircraft, 1987.
19. MIL-STD-850B, Aircrew Station Vision Requirements for Military Aircraft, 1970.
20. NRC Series, Human Factors - Ergonomic Models for Anthropometry Interface, National Academy Press, 1984.
21. Ryan, D. W., Cockpit Geometry Evaluation, Phase II. Vol. II, Joint Army-Navy Aircraft Instrument Research Rep. 700202, Seattle, Wash. : The Boeing Co., 1971.
22. Webb Associates, Anthropometric Source Book, Vol. I, NASA 1024, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D. C., 1978.
23. Woodson, W.E., Human Factors Design Handbook, McGraw-Hill Book Co., 1981.