

현대 전투기 조종실 계기 및 조작기의 기술 현황 및 발전추세



金 汶 烈
國科研 선임연구원

대부분의 현대 항공기 조종실은 유사한 형태인 HUD, 2개 이상의 MFD, UFC, HOTAS 등으로 구성된다. 앞에서 언급한 바와 같이 최근에는 전투기에 HMD와 DVI(Direct Voice Input)를 적용하고 있다.

미래의 조종실은 빠르게 발전하고 있는 평면 시현 기술로 인해 HDD는 2010년대에는 15 × 20인치 크기까지 지원이 가능할 것으로 예상되며 HUD가 없어지고 높은 해상도와 넓은 시계영역을 가진 HMD로 다중 운용(Joint Service Operability) 및 다중 임무 수행이 가능한 조종실이 될 것이며 2025년대에는 레이저 운용에 적합한 조종실로 변화되어 캐노피가 없는 조종실(Windowless Cockpit) 또는 불투명 HMD를 사용한 설계개념으로 발전할 것이다.

-필자 주-

조종실은 항공기 성능 향상과 항공 전자기술의 발전과 함께 변화되어 왔다. 과거 초기 항공기의 조종실은 단순히 비행만을 목적으로 설계되었기 때문에 간단한 비행 조작기 외에 별도의 계기가 존재하지 않았으며, 조종사의 인위적인 결정과 감각 기관에 의해서만 비행이 가능하였다.

그러나 항공기술의 발전으로 장거리 비행이 가능하게 되었을 때 조종실에는 항법 및 비행관련 계기들이 장착되기 시작하였고, 항공기 성능 향상과 항공전자기술의 발전, 항공기 관련 세부계통의 발전, 항공 운항시스템의 발전 등으로 인하여 조종실에는

수많은 계기 및 조작기들이 장착되었다.

아래의 그림들은 전투기 조종실의 조작기 및 계기의 계속적인 증가 추세를 보여 주고 있다.

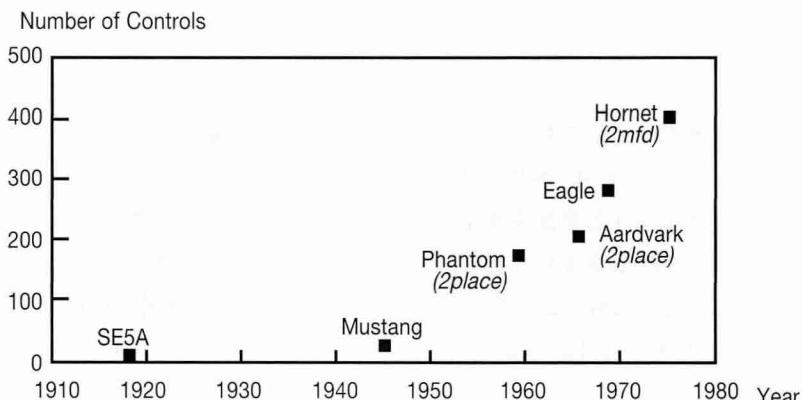
이처럼 점점 복잡해지는 항공기 시스템 및 조종실을 조종사가 적절히 제어할 수 있도록 하기 위하여 조종사와 항공기간의 인터페이스에 대한 연구 및 적용이 중요한 설계고려사항으로 대두되었고 항공전자기술의 발전을 근간으로 한 시현장치를 통하여

여 시도되었다.

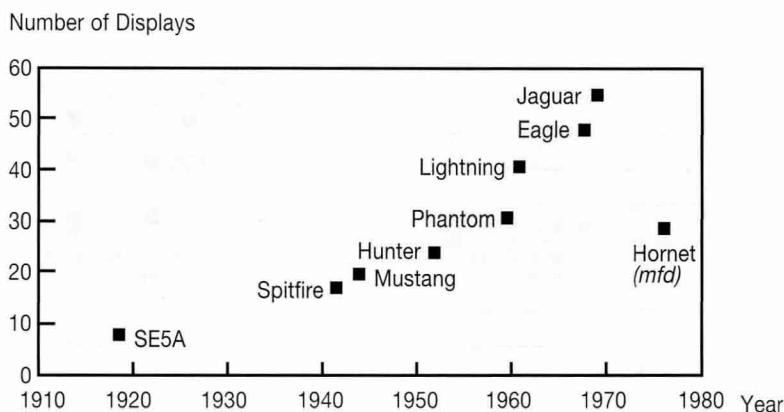
Glass Cockpit의 등장

아래 그림에 보이는 것처럼 1970년대까지 조종실에 배치된 계기의 수는 계속 증가했으나 Glass Cockpit 개념을 최초로 도입한 McDonnell F/A-18 항공기부터는 재래식 계기의 급속한 증가가 멈추게

조작기 수의 변경 추세



시현기 수의 변경 추세



되었다.

Glass Cockpit은 조종사의 조작에 따라 항공기 비행 테이터, 시스템, 항전센서, 무장과 관련된 정보를 해당 임무에 따라 필요한 정보를 취사선택하여 시현킬 수 있는 다양성과 유동성을 갖춘 계기가 장착된 조종실을 말한다.

즉, Glass Cockpit은 MFD(Multi - Function Display)와 같은 HDD(Head Down Display)가 장착된 조종실을 말하며, 이것의 등장으로 항공기 조종실이 단순화됨으로써 시스템 통합이 훨씬 용이해진 것은 물론이고 필요한 정보만을 취사선택하는 것이 가능하여 조종사의 편의성이 획기적으로 신장되었다.

아래 그림은 지난 25년간 군용 전투기 조종실의 Glass 시현기의 적용 추세를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 Glass 시현기가 조종실 주제기판 영역에서 차지하는 비율은 1990년대에 들어 거의 40% 까지 점진적으로 증가했음을 보여 주고 있다.

다기능 시현기는 증가하는 계기의 수로 인한 조종실 공간의 한계를 극복하고, 조종실 내부의 복잡

화로 인한 조종사 임무수행의 위험도 증가 및 혼란 초래를 방지하고, 계기를 통합함으로써 조종사와 항공기간의 인터페이스를 개선하여 조종실을 최적화하기 위하여 적용되었다.

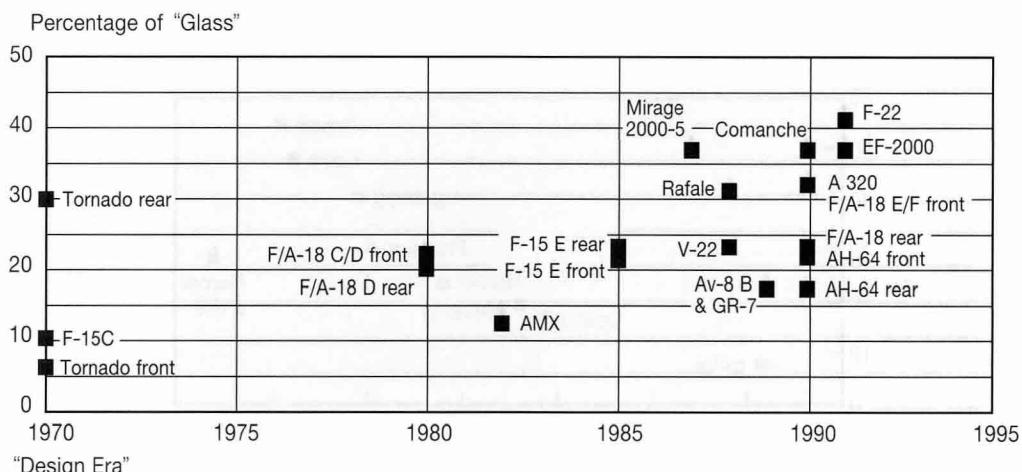
Glass Cockpit의 또 다른 시현장치인 HUD(Head Up Display)는 조종사가 외부 상황 판단을 위하여 외부를 주시하면서 속도, 고도, 자세 등을 비롯한 비행 및 항법정보와 무장의 조준정보를 볼 수 있도록 하는 전방 시현 장비이다.

현대 대부분의 전투기에는 HUD가 장착되어 있고 21세기 최신예 전투기라 불리는 Rafale, EF2000에는 HMD(Helmet Mounted Display)가 장착되며, F/A-18E/F, F-15K, F-22에는 통합 헬멧장착 조준시스템(JHMCS : Joint Helmet Mounted Cueing System)으로 AIM-9X를 운용하게 된다.

MFD가 장착된 다기능 Glass Cockpit이 오늘날 군용 항공기 조종실의 표준이 되고 있지만 이런 방식의 기술 적용이 최적은 아니며 장점이 있는 반면 단점도 있는 것으로 드러나고 있다.

다중 임무 수행 능력(Multi-mission Performance)

Glass 시현기의 계기판 점유율 변화 추세



과 다중화(Redundancy) 기술의 발전으로 Glass Cockpit은 조종실 설계자 및 조종사에게 폭넓은 다양성(Versatility) 및 유연성(Flexibility)을 제공하는 반면에 Glass Cockpit은 조종사의 훈련 및 기체 비용을 증가시킨다.

그리고 Glass Cockpit의 임무수행능력은 훨씬 더 향상되었으며 재래식 기술의 조종실이 시도할 수 조차 없었던 임무를 수행할 수 있는 반면에, 일반적인 임무 수행시 Glass Cockpit에서 발견되는 조종사 업무 부하는 재래식 기술을 적용한 조종실보다 더 높은 것으로 나타나고 있다.

또 다른 단점으로는 위급한 상황에서 조종사에



美 해군 F/A-18C/D의 조종석.
다양한 시현기와 HUD가 보인다.

게 데이터를 제시하는 방법이 부적절하다면 충분한 상황인식(Situational Awareness)에 문제가 될 수 있다.

게다가 MFD의 유연성 때문에 잘못 사용될 가능성이 크므로 메뉴 구조와 적용 방법이 최적으로 설계되지 않을 경우 항공기 전체 운용 효과를 저하시킬 수 있다.

시현기의 변화

MFD는 대다수의 재래식 원형 계기를 대체시켰으며 1990년대에는 주계기판 영역의 40%까지 차지하고 있다. 그러나 MFD의 크기는 지난 25년간 크게 증가하지 않았으나 최근의 항공기에는 다양한 크기의 시현기가 장착되고 있다.

시현방식도 CRT(Cathode Ray Tube)방식에서 AMLCD(Active Matrix Liquid Crystal Display)방식으로 대체됨으로써 중량, 부피 및 전력소모량을 줄이게 되었으며, 흑백에서 컬러로 사용이 보편화되었다.

현재 미국에서 개발 중인 F-35 JSF(Joint Strike Fighter)에는 높은 휘도 및 해상도를 가진 더 큰 시현기가 적용되고 있다.

또 다른 현재 연구단계에 있는 시현 기술로 입체영상 또는 3차원 시현기가 있다. 이 기술은 조종사에게 3차원 이미지를 제공한다.

지금까지는 이를 시현기를 보기 위해서 셔터 또는 편광 안경과 같은 장치를 사용하여야 했으나 연구노력의 결과 현재에는 이를 장치가 필요하지 않게 되어가고 있다.

이 기술의 장점을 살리기 위해서는 컴퓨터의 이미지 처리 능력과 신뢰성 및 비용과 같은 문제들을 함께 고려하여야 한다.

HUD는 50년대 후반부터 본격적으로 등장하기 시작하여 초기에는 무장조준(Gunsight) 목적에 국한하여 사용되었으나 현재의 시현기는 조준뿐만 아니라 비행에 필요한 일체의 데이터를 표시하여 조종사는 거의 계기판을 보지 않고도 비행이 가능하게 되었다.

현대 HUD는 CRT와 경사진 유리판인 컴바인더(Combiner)로 구성되어 있으며 순간 시야(IFOV, Instantaneous Field of View)가 상하좌우로 16도 정도이다.

전방시현기에 적외선 전방탐지기(FLIR)나 야시장비 등의 화상을 투영하여 야간 저공비행을 가능하게 하는 기술이 나오자 안전을 위해 보다 넓은 시야가 필요하게 되었다.

이러한 요구에 따라 개발된 것이 홀로그래피(Holography) 컴바인더이다. 이것은 입체화상을 얇은 판 안에 기록하는 것으로 수평 25도 수직 17도 이상의 넓은 시야를 제공한다.

전방시현기의 핵심은 표시정도라고 할 수 있는데, 표시 시야각이 넓어질수록 광학설계나 가공이 더욱 더 어렵게 되지만 화면 구석구석까지 찌그러짐이 없는 광학계를 설계하는 기술, 설계대로 렌즈계를

가공하여 조립하는 생산기술, CRT 화면에 아주 정확하게 심벌을 표시할 수 있는 전자회로 기술 등의 개발이 필요하다.

헬멧장착시현기(HMD)는 70년대에 대두되었지만 80년대 Apache 헬기에 처음 적용되었다. 전투기로는 美 해군 F-4J에 처음으로 채택되었는데 이는 헬멧에 조준기를 내장하고 그 방향을 탐지하여 미사일 탐색기(Seeker)나 레이더를 지향할 수 있도록 한 목표획득장치(VTAS : Visual Target Acquisition System)였다.

HMD는 전방시현기를 소형화하여 머리에 쓸 수 있도록 한 것으로 헬멧에 내장된 투영시스템에 의해 눈 앞의 바이저(Visor)에 HUD에 시현되는 것과 같은 정보를 표시하는 것이다.

헬멧의 방향은 헬멧 추적기(Helmet Tracker)에 의해 측정되어 공대공 미사일 및 레이더를 제어하여 어느 방향의 목표물도 빠르게 탐지·식별하여 조준할 수 있다.

HMD는 조종사가 착용하는 유일한 항전 장비로서 설계시 헬멧의 크기, 무게, CG, 관성, 시야, 눈의 편안함, 눈 사이의 거리 등을 고려하여야 한다.

최근의 항공기는 적외선 전방 탐지기와 연동하여 조종사가 보고 있는 방향의 화상을 투영하여 주간에 비행하는 것과 같은 감각으로 비행할 수 있게 되었다.

최근 성능이 좋은 소형 CRT(1/2inch)의 개발과 홀로그래피 광학 구성으로 소형화 및 경량화되어 넓은 시야의 실현이 가능하게 되었다.

HMD CRT는 천연색상을 가진 소형의 고해상도 LCD로 대체되어가고 있으나 모든 시각 조건에서 적절한 밝기를 달성하는 것이 주요 관심사로 남아 있다.

캐노피가 없는 조종실(Windowless Cockpit)이 미래 조종실 설계의 진행과정이라면 HMD는 아마도 미래 항공기를 위한 필수적인 요소가 될 것이다.



목표포착 정보 및 비행속도, 고도 등의 데이터가 조종사의 바이저에 투사되어 조종사에게 전투기 주변 상황에 완벽하게 집중할 수 있도록 해 주는 JHMCS.

통합되어 항법, 통신, 식별, 무장 등을 위한 모드 조작과 데이터 입력을 할 수 있으며, UFC의 발광 다이오드(LED, Light Emitting Diode) 화면에 해당정보를 시현시켜 준다.

UFC는 조종사의 업무부하와 인간공학적 사항들을 고려하여 전방주시하에서 여러 모드 조작이 가능하도록 통합/집중되어 있다.

조종실내에는 다양한 시스템의 제어를 위하여 수 많은 스위치들이 장착되어 있어 조종사에게 혼란을 초래하는 상황이 있는데 이들 중 가장 중요하고 자주 사용되는 스위치들을 조종간 및 스티어링 колонке에 장착하여 임무 수행시 조종간이나 스티어링 колонке에서 손을 떼지 않은 채 제어 가능하도록 하는 HOTAS (Hands On Throttle and Stick) 기술이 현대의 전투기 조종실에서는 거의 보편적으로 추구되고 있고 계속적인 발전 추세에 있다.

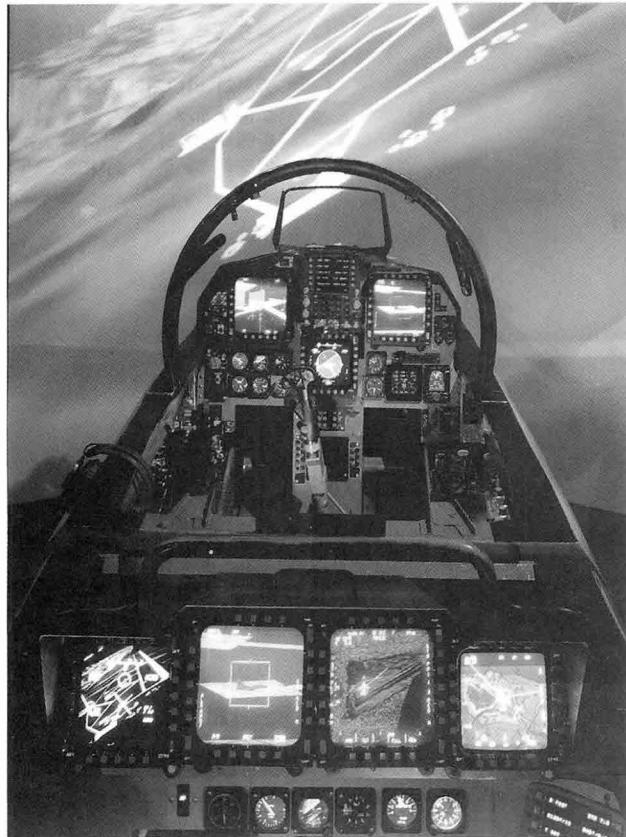
HOTAS 목표를 달성하기 위해서는 조종간과 스티어링 колонке 손잡이를 효과적으로 잡을 수 있도록 인체공학을 고려하여 설계되어야 하며 높은 스트레스와 작업부하 환경에서 직관적으로 조작이 가능하도록 스위치의 위치, 형상 및 작동방향 등이 깊이 고려되

조작기의 변화

조종실에 장착되는 각종 스위치(Rotary, Toggle, Push Button 등)인 조작기(Controls)는 P.67의 위의 그림에서 알 수 있듯이 계속적으로 증가하고 있으며, 현대의 Glass Cockpit에는 시스템의 전원공급, 비상조작, 무장제어 등과 같은 제한된 수의 조작기만이 관련 기능의 빠른 조작을 위해 독립적으로 장착되어 있다. 나머지 조작 기능들은 다기능 조작기의 도입으로 해결되었다.

다기능 조작기의 대표적인 실례는 HDD 주변에 위치한 다기능 버튼이며 이 버튼에 인접한 HDD 화면상에 다양한 캡션이 나타남으로써 한 개의 버튼으로 여러 기능을 수행할 수 있다.

EF2000 항공기에는 이를 다기능 버튼을 통합한 별도의 시현기가 장착되어 있다. 조작기로 사용되는 키패드(KeyPad)는 UFC(Up Front Controller)와



최첨단 항공 전자장비와 7개의 칼라 LCD가 적용된 F-15K의 전후방 조종석

어야 한다.

최근 일부 항공기에 적용하고 있는 입력장치로 터치스크린과 음성인식 시스템이 있다. 터치스크린은 적외선 센서 체계로 구성되어 HDD 표면 위의 손가락 위치를 감지하여 인식하는 것으로 이 시스템

의 단점은 기동 중에는 조종사가 정확하게 손가락을 위치시키지 못하고 적절한 촉감을 느끼지 못한다는 것이다.

현재 Rafale의 좌, 우측 MFD와 F/A-18E/F의 UFCP(Up Front Control Panel)에 이 시스템을 적용하고 있다. 음성인식 시스템을 적용한 전투기로 Rafale, EF2000가 있다.

EF2000에는 25개 가량의 기능을 직접 음성으로 지시할 수 있어 음성으로 특정 화면을 불러올 수 있고 라디오 채널 및 주파수를 변경할 수 있으며 음성으로 목표물을 설정하고 음성으로 무기를 발사할 수 있다.

현재 항공기에 적용하고 있는 음성인식 시스템은 인식률 때문에 화자중속 음성인식 시스템(녹음한 화자의 음성만 인식)을 사용하고 있어 비행 전에 지상에서 조종사의 음성을 녹음해야 하는 번거로움이 있다.

미래 조종실의 예측

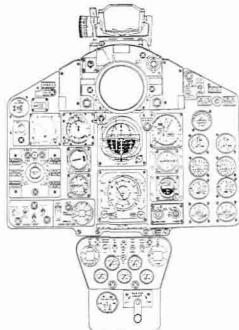
항공기 조종실은 지난 30년 동안 새로운 기술의 개발 및 적용으로 상당한 발전을 이루하였다. P.73 위의 그림에서 보는 것처럼 60년대 복좌형 팬텀 조종실은 아날로그 방식으로 구성되어 있는 반면 70년대 단좌형 F-15는 HUD와 CRT로 조종실이 구성되었으며 F/A-18은 HUD와 MFD가 장착된

미래 조종실에 채택될 입출력장치의 발전 추세

구 분		cockpit 2000	cockpit 2010	cockpit 2025
HMD	-고정식	20~30도 단안	30~50도 양안	50~90도 양안
	-헬기	40~60도 양안	50~70도 양안	70~100도 양안
HUD		10~20도	10~30 필요할 경우	필요 없음
HDD Size		10~12"	15~20"	15~30"
Touch Technology		1/4 inch Accuracy	1/8 inch Accuracy	1/8 inch Accuracy
Voice Command		연결어, 훈련필요	연결어, 훈련필요 없음	연결어, 훈련필요 없음
Decision Aids		전문가 시스템	적용 시스템	적용 인공지능

조종실 배열의 발전 추세

60년대



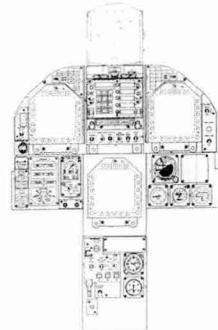
F-4C

70년대



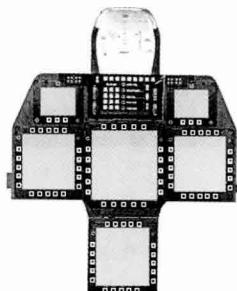
F-15B

80년대



F/A-18

90년대



F-22

2000년대



X-35

Glass Cockpit으로 이루어졌다.

대부분의 현대 항공기를 조종실은 유사한 형태인 HUD, 2개 이상의 MFD, UFC, HOTAS 등으로 구성된다. 앞에서 언급한 바와 같이 최근에는 전투기에도 HMD와 DVI(Direct Voice Input)를 적용하고 있다.

미래의 조종실은 빠르게 발전하고 있는 평면 시현 기술로 인해 HDD는 2010년대에는 15×20 인치 크기 까지 지원이 가능할 것으로 예상되며 HUD가 없어지고 높은 해상도와 넓은 시계영역을 가진 HMD로 다중

운용(Joint Service Operability) 및 다중 임무 수행이 가능한 조종실이 될 것이며 2025년대에는 레이저 운용에 적합한 조종실로 변화되어 캐노피가 없는 조종실(Windowless Cockpit) 또는 불투명 HMD를 사용한 설계개념으로 발전할 것이다.

헬멧 시스템, 큰 평면 시현기, 음성인식, 컬러 그래픽, 판단 보조 및 다중 센서 통합 알고리즘과 같은 기술을 적용한 미래의 조종실은 확실히 성능이 보장될 것이다. P.72 아래 표는 미래 조종실에 채택될 입출력장치의 발전 추세를 요약하였다. ⑨