전투기의 PVI Display 설계 경향 및 조종 임무 분석

정하영[1], 이지형[1], 김민재[1], 김성호[2], 박세권[2]
정기효[3], 조현식[4], 강문석[4], 유희천[1]

[1] 포항공과대학교 산업경영공학과
[2] 공군사관학교 시스템공학과, [3] 울산대학교 산업경영공학부, [4] 한국항공우주산업

Contents

- 연구 배경 및 필요성
- 연구 목적
- 항전 임무 분석
- 설계 경향 분석
  - 문헌 조사
  - 설계 요소 분석
  - Design layout 분석
  - PVI display 설계 guide
- 토의

연구 배경

- 인간공학적 MFD/HUD/HMD pilot vehicle interface(PVI) 설계는 조종 임무의 신속성, 정확성, 효율성, 사용성을 향상시켜 군 전투력 제고에 기여

인간공학적 MFD/HUD/HMD PVI 설계

- 인지적 설계지침
- 운용 특성 기반 GUI 최적화
- 사용성 기반 설계 방법

- 신속한 정보처리
- Human Error 최소화
- 운용 효율성 향상
- 사용성 제고

전투력(Combativeness) 제고

인간공학적 PVI 설계 Issue

- 차세대 전투기의 MFD는 LAD(Large Area Display)가 적용되어 항전 정보 시현 방식이 변화됨
- 항전 임무 효율, 안전성 등을 고려한 display 화면 및 정보 시현 방식 적용 필요

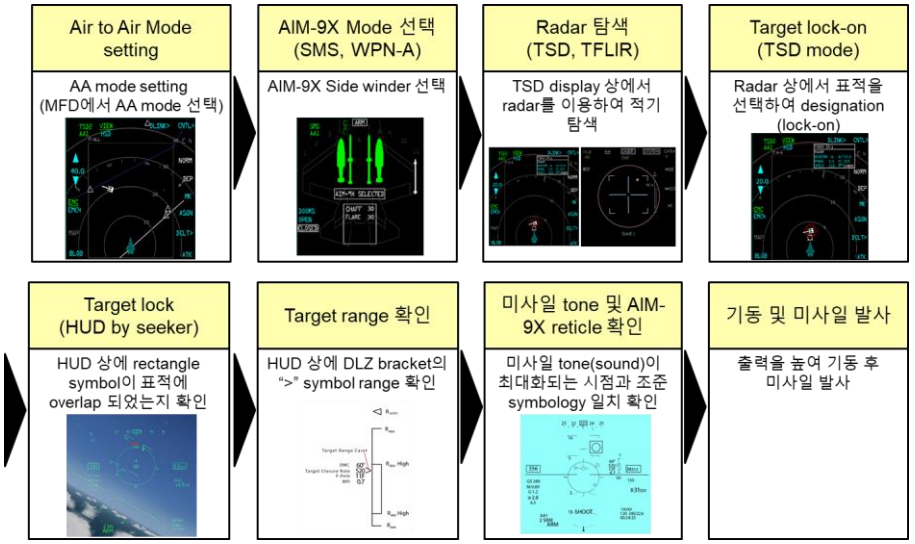
Analogue 기반 Multi Functional Display

Digital 기반 Large Area Display 적용 MFD

연구 필요성

- 항전 임무 관련 PVI display의 인간공학적 설계를 위해 조종임무 및 주요 활용 정보 분석 필요
- 항전 PVI display 적용을 위한 기존 display design guide 문헌 조사 필요
- 조종 임무 수행 단계별 세부 절차, 주요 활용 display 및 유관 정보 선별 필요

임무 수행 세부 단계 및 주요 활용 display 분석 예



연구 목적

차세대 전투기의 조종 임무 및 PVI Display 설계 경향 분석

1. 항전 주요 임무 분석
   - 공대공, 공대지 주요 임무 선정
   - 임무별 세부 수행 절차 분석
2. 전투기 PVI display 설계 경향 분석
   - PVI 설계 guideline 문헌 조사
   - Display layout 및 설계 요소 분석
   - 전투기 3종 (F-35, F-15, F-16) display layout 비교

조종 임무 분석: Overview

- 효과적인 조종 임무 분석을 위해 3단계 절차 수행
- 임무 분류 및 무장 선정 → 유관 비행정보 파악 → 조종 임무 분석
- KAI 연구진, 공군 조종사(F-16, F-15, F-35)에 의해 감수

조종 임무 분류

- 공군 교범(KF-16C/D 공중근무자 비행훈련, 2016)을 분석하여 비행과목, 비행단계, 비행상황별 임무 분류
  - **비행과목**: 공대공 vs. 공대지 vs. 기타
  - **비행단계**: 지상절차 vs. 비행절차
  - **비행상황**: 정상 vs. 비정상, 주간 vs. 야간

종합 조종 임무 선정

- 조종 시 수행하는 공대공, 공대지 임무에 대하여 세부 임무를 포함하는 종합적인 임무를 선정하여 조종 임무 세부 분석 및 사용 시나리오 개발
- 공대공 종합 임무: ACT (Air Combat Tactics)
- 공대지 종합 임무: SAT (Surface Attack Tactics)

조종 임무 예: Air Combat Tactics

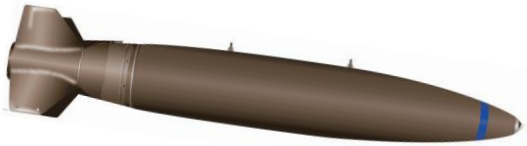
구 분	세부 내용
임무 명칭	ACT (Air Combat Tactics)
임무 개요	공대공 임무 목적 달성을 위해 BFM, ACM, 그리고 TI의 전술을 혼합한 기동을 훈련
임무 목적	1. 적기 기종 및 수준 결정 능력 배양 2. 주어진 시간 동안 특정 지역 방어 능력 배양
임무 절차	1. 이륙 및 상승 2. Air-to-Air Switchology Drill 3. G-Awareness EX' 4. …

항전 임무별 무장 선정

- 항전 임무 중 임무의 복잡도와 무장 특성을 고려하여 공대지 및 공대공 대표 무장 선정
- 공대공의 경우 Air-to-Air radar (MFD)와 missile seeker (HUD)를 함께 사용하는 **AIM-9X**가 선정됨 → 임무 시 MFD, HUD를 복합적으로 사용
- 공대지의 경우 보편적인 무장인 **MK-84 LDGP**와 targeting pod를 사용하는 **GBU-39**가 각각 선정됨 → 임무 시 MFD, HUD를 복합적으로 사용

AIM-9X

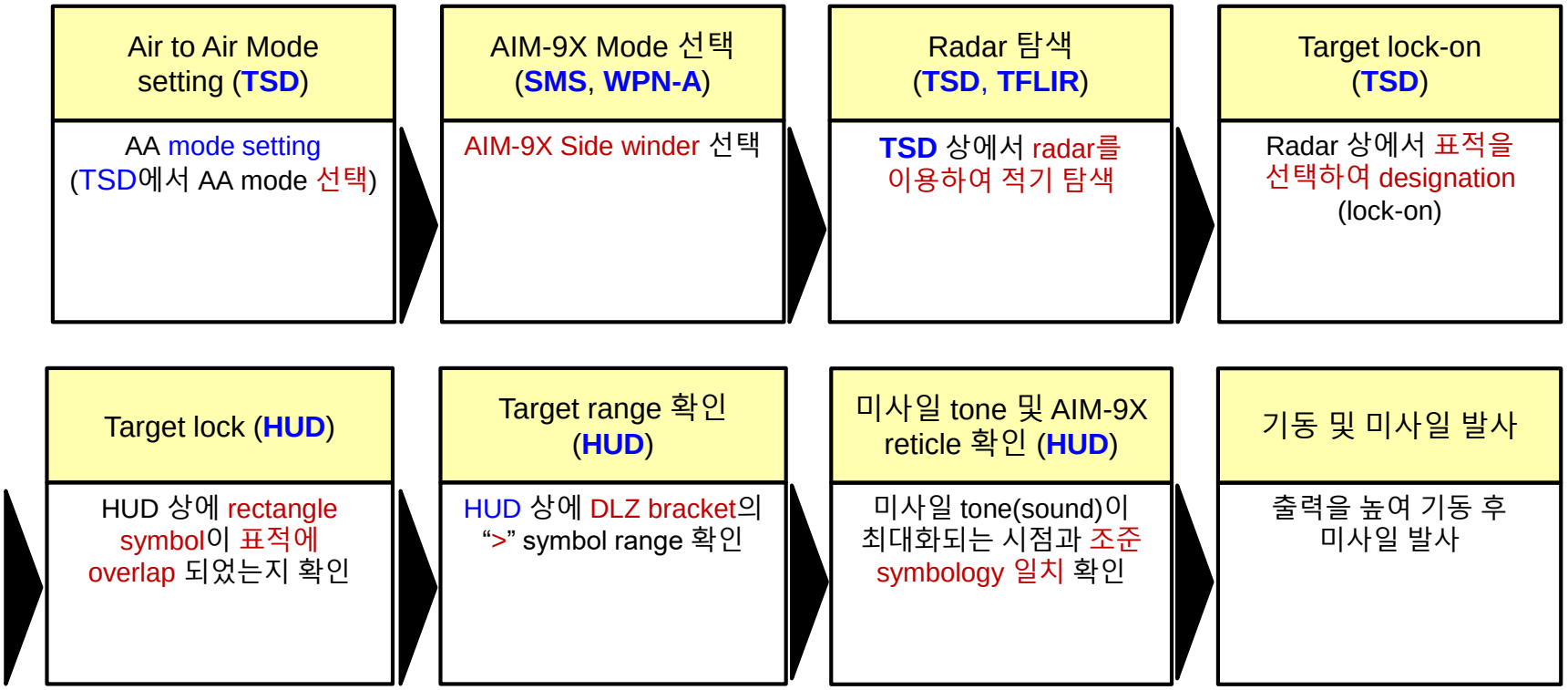
MK-84 LDGP



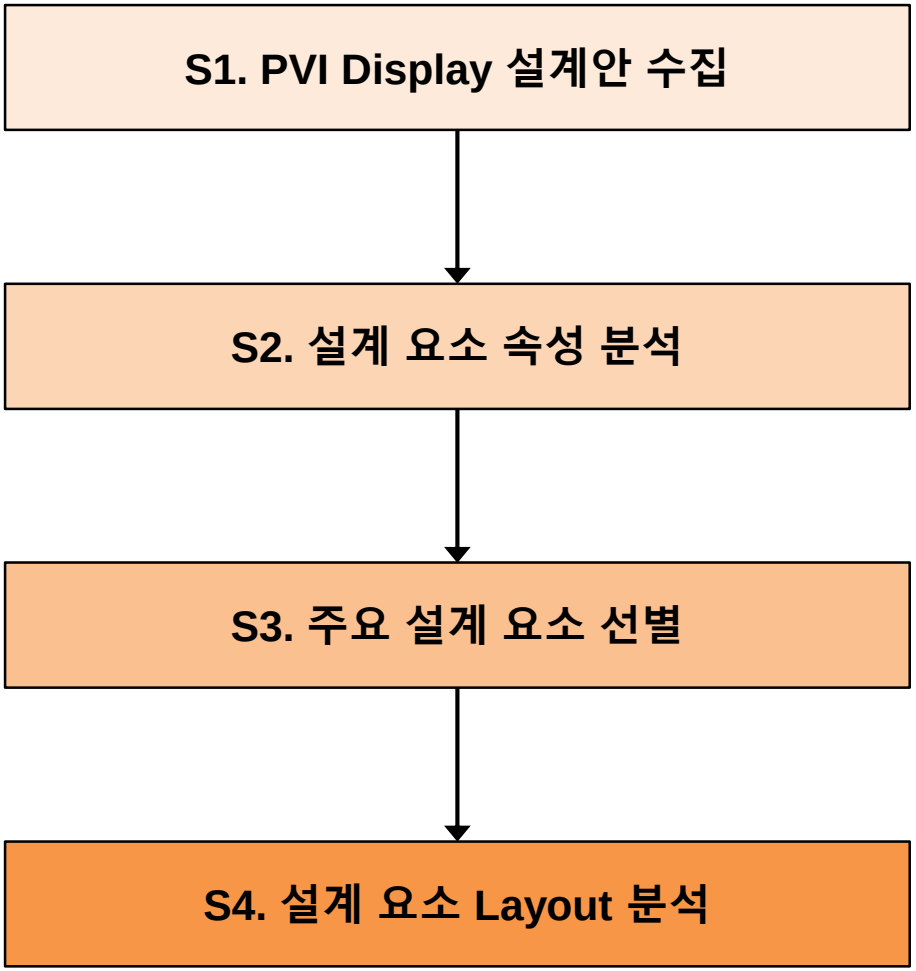
GBU-39

F-35 공대공 임무: 세부 절차 예

❑ 임무 수행 단계별 주 활용 및 보조 활용 display와 참조 정보 분석



설계 경향 분석: Overview



- 기종: F-15, F-16, F-35
- 화면: HUD, HMD, MFD
- 속성: 항전 관련 display
- Design guideline 조사

- Display 별 설계 요소 명칭
- 정보 설명 및 예시 그림

- 선호도 평가 대상 선정
- Symbology, label
- Display design

- 유사 속성 정보 grouping
- Display layout 분석
- 선호 설계 특성 분석

S1. Design Guide 및 문헌 조사 방법

기존 파악된 설계 지침 List

설계 지침 list: 총 72건

신규 **설계 지침 검색**

Paper: 14건, Article: 10건

총 24건

문헌 **선별(screening)** 및 **분류**

- Title, abstract screening
- Keyword search
- 연관성 평가

Design guideline	Journal paper	Patent
▪ 상: 27건	▪ 상: 12건	▪ 상: 12건
▪ 중: 10건	▪ 중: 6건	▪ 중: 8건
▪ 하: 35건	▪ 하: 16건	▪ 하: 2건

설계 대상별 **설계 원칙 정리**

- General
- Multifunction display (MFD)
- Head up display (HUD)
- Helmet mounted display (HMD)

Design Guideline List

❑ 문헌 25건 review 및 참조 필요 문헌 15건 파악

No.	Category	Title	Description	중요도	입수 여부	Review	참조 필요
1	ISO	ISO-9241-210	Ergonomics of human-system interaction	상	O	O	O
2	Military & Department of Defense Handbooks	MIL-HDBK-759	Department of Defense Handbook for Human Engineering Design Guidelines	상	O	O	O
3		MIL-HDBK-46855A	Human Engineering Program Process and Procedures	상	O	O	O
4		MIL-HDBK-516C	Airworthiness certification criteria	상	O	X	X
5		MIL-HDBK-87213A	Electronically; optically generated airborne displays	상	O	O	O
6		DOD-HDBK-761	Human Engineering Guide for Management Information Systems	상	O	O	O
7	Military Standards (MIL-STD)	MIL-STD-203G	Aircrew Stations Controls and Displays: Location, Arrangement and Actuation of, for Fixed Wing Aircraft	상	O	O	O
8		MIL-STD-882C	System Safety Program Requirements	상	O	X	X
9		MIL-STD-1280	Keyboard Arrangements	상	O	X	X
10		MIL-STD-1472D/E/F	Human Engineering Design Criteria for Military Systems, Equipment and Facilities	상	O	O	O
11		MIL-STD-1787	Aircraft Display Symbology	상	O	O	O
12		MIL-STD-2525B	Common Warfighting Symbology	상	O	O	O
13		MIL-STD-46855	Human Engineering Requirements for Military Systems, Equipment, and Facilities	상	O	X	X
14		MIL-STD-3009	Lighting, aircraft, night vision imaging system (NVIS) compatible	상	O	O	X
15	NATO Standard Agreements (STANAG or NS):	NS 3216 (5)	Layout of Flight Data in Pilots' Displays	상	X	X	X
16		NS 3639	Aircrew Station Dimensional Design Factors	상	O	O	X
17		NS 3705	Human Engineering Design Criteria for Controls and Displays in Aircrew Stations	상	O	O	O
18	Air Standardization Co-ordinating Committee (ASCC) Standards:	ASCC 10/42E	Attitude Indicators	상	X	X	X
19		ASCC 10/45G	Horizontal Situation Indicator	상	X	X	X
20		ASCC 10/54F	Attitude Director Indicator	상	X	X	X
21		ASCC 10/55D	Aircrew Station Dimensional Design Factors	상	X	X	X
22		ASCC 10/56D	Electronically and Optically Generated Display Formats and Symbology for Fixed Wing	상	X	X	X
23	기타		The Air Force Standard System Center Graphical User Interface Standards	상	X	X	X
24		AFWAL-TR-87-3055	Improvement of Head-Up Display Standards	상	O	O	O
25		Mejdal et al. (2001)	Human Factors Design Guidelines for Multifunction Display	상	O	O	O
26		Melzer et al. (2015)	Guidelines for HMD Design	상	O	O	O
27		Yeh et al. (2013)	Human Factors Considerations in the Design and Evaluation of Flight Deck Display and Controls	상	O	O	O
74			Helmet Mounted Display Design Guide	상	O	O	O

S2. 설계 요소 분석 예: 공대공 Radar Display Symbology

항목	설명
Aircraft Reference	전투기 위치 표시 symbology
Pitch Steering Bar	상하 조종 bar
Azimuth Steering Bar	좌우 조종 bar
Air-to-Air Range Marks	-
Antenna Azimuth Marker	센서 방위
Antenna Azimuth Scan Lines	수평 스캔 범위
Elevation Marker	센서 고도

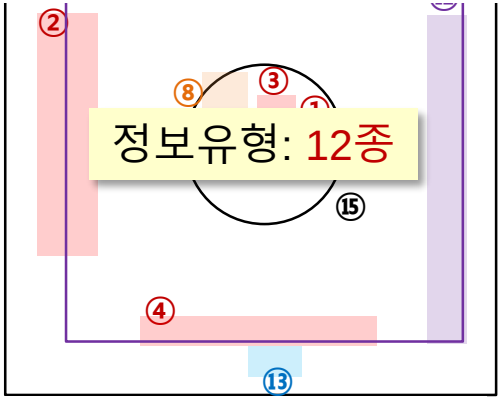
항목	설명
Horizon Line	상승 및 하강 정보
Dynamic Launch Zone	사격 유효 범위
DLZ Target Range Cue	사격 유효 범위 가늠자
Antenna Elevation Tics	고도
Antenna Azimuth Tics	방위
Antenna Reacquisition Symbol	
Acquisition Cursor	표적 선택 커서

S3. 설계 요소 Layout 분석: 공대공 Radar Display (1/2)

- F-35, F-15에서 제공되는 정보량은 유사함(F-35: **13**종, F-15: **12**종, F-16: **7**종 정보 표시)
- 제공된 정보는 target 탐색, 거리와 범위, 무장 발사, display option 항목으로 구분됨

Target 탐색 관련 정보

① Target (designation)
② Altitude info. (scan range)
③ Target's Altitude info
④ Azimuth scan (range, target)
⑤ Option
⑥ Display info.
~~⑦ Mode~~
⑧ Cursor (with altitude)

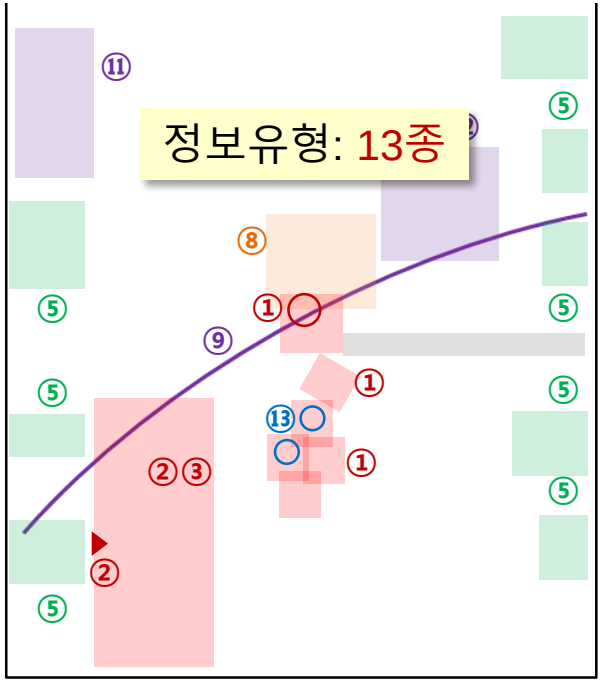


① Target (designation)
② Altitude info. (scan range)
③ Target's Altitude info
④ Azimuth scan (range, target)

Display option 정보

⑤ Option
~~⑥ Display info.~~
⑦ Mode

⑧ Cursor (with altitude)
⑨ Range cue (ring)
⑩ Bearing and range
~~⑪ Magnitude option~~
⑫ Linear missile scale
~~⑬ Target (wingman's designation)~~
⑭ Shoot cue
⑮ Air-to-Air reticle



① Target (designation)
② Altitude info. (scan range)
③ Target's Altitude info
④ Azimuth scan (range, target)
⑤ Option
⑥ Display info.
⑦ Mode
⑧ Cursor (with altitude)

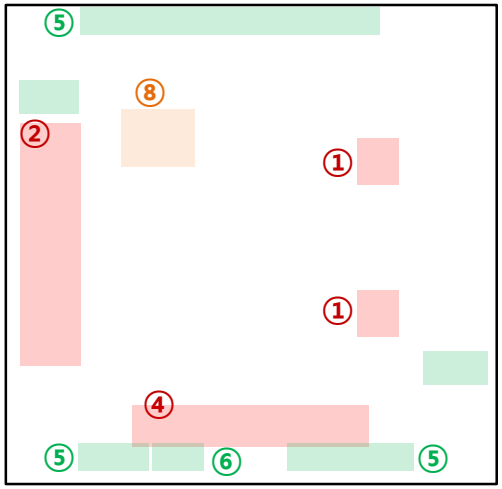
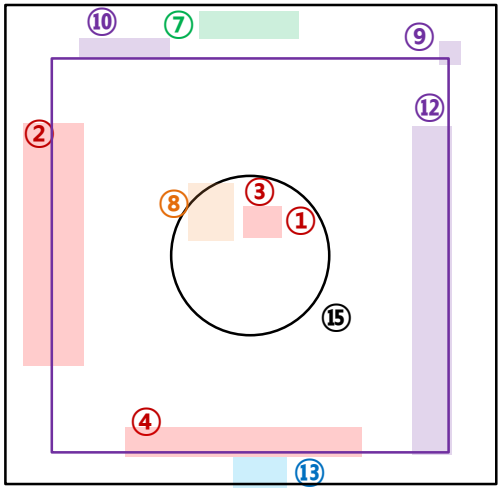
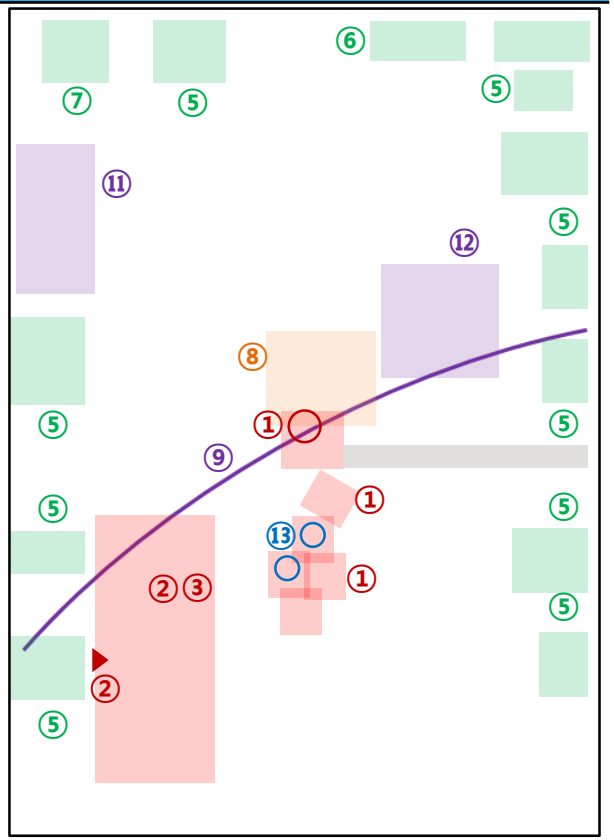
무장 발사 관련 정보

거리 및 범위 관련 정보

⑨ Range cue (ring)
~~⑩ Bearing and range~~
⑪ Magnitude option (field of view)
⑫ Linear missile scale
⑬ Target (wingman's designation)
⑭ Shoot cue

설계 요소 Layout 분석: 공대공 Radar Display (2/2)

- F-35는 넓은 display 공간에 다양한 정보를 제공하나, 정보 배열의 개선이 필요함
- F-15는 display borderline, grid system을 이용하여 공간을 구분하고 효율적으로 요소를 배치함 ⇒ 신규 radar display 설계 시 benchmarking

F-16	F-15	F-35
		

① Target (designation)
② Altitude info. (scan range)
③ Target's Altitude info
④ Azimuth scan (range, target)
⑤ Option
⑥ Display info.
⑦ Mode
⑧ Cursor (with altitude)
⑨ Range cue (ring)
⑩ Bearing and range
⑪ Magnitude option (field of view)
⑫ Linear missile scale
⑬ Target (wingman's designation)
⑭ Shoot cue
⑮ Air-to-Air reticle

설계 지침 분석 예

❑ PVI display 적용 가능 design guideline list 37건 선별

No.	Category	Guideline	관련 문헌
1	Layout	활주로나 target symbol을 정면에 display하여 crosswind (측풍)에 의한 방해 감소	AFWAL-TR-87-3055
2	Segmentation	Controls and displays should be organized in a manner that will minimize operator effort, confusion and error, by means of functional grouping, sequential arrangement, accessibility	MIL-HDBK-759C
3		**Controls and displays** should be grouped functionally when they are identical in function	
4		Forms should be used to display related sets of data in separately labeled fields.	MIL-HDBK-761
5		Visually distinctive fields should be provided.	
6		Functionally related controls and displays shall be located in proximity to one another	NS 3705
⋮		⋮	⋮
37	Evaluation	객관적 또는 주관적 평가에 기반한 사용성 확보된 interface 적용	ISO 9241-11:1998

설계 지침 분석 결과

❑ 항전 display 설계에 적용 가능한 11가지 항목 선정 및 2가지 항목 신규 제안

No.	Category	Code	Guideline	관련 문헌
1	Layout	LY1	중요도가 높은 정보는 인지가 쉽도록 화면 중앙에 배치하여 설계	AFWAL-TR-87-3055
2	Segmentation	SG1	주요 정보와 기타 정보 간 혼동을 최소화 하기 위해 배치 공간 구획화	Mejdal et al. (2001)
3		SG2	정보 제시 공간 구역별로 상호 유관한 정보가 배치되도록 설계	MIL-HDBK-759C
4		SG3	정보 제시 영역 구획화 시 grid system, border line 등의 기하학적 요소 적용	신규 제안
5	Color coding	CC1	정보 유형간 구분이 용이한 color coding system을 적용하여 설계	MIL-HDBK-761, MIL-STD-1472, Yeh et al. (2013)
6		CC2	배치 공간 구획별 속성을 반영한 color scheme을 적용하여 설계	MIL-STD-1472D
7	Selection cue	SC1	용이한 상황 인지를 위해 전투기 평면 기준 기하학적 형상을 적용하여 설계	신규 제안
8		SC2	용이한 선택 결과를 쉽게 인지할 수 있도록 color coding, selection cue를 이용한 visual feedback 제공하여 설계	MIL-HDBK-759C
9	Simplicity	SP1	단순성 향상을 위해 중복 요소(e.g., line) 최소화, symbol overlay 최소화 설계	Mejdal et al. (2001)
10	Readability	RD1	구분성 향상을 위해 text 정보를 최상위 layer에 배치하고, text overlap 시 음영 제공	MIL-HDBK-761, Yeh et al. (2013)
11	Natural sequence	NS1	임무 수행 시 자연스러운 흐름으로 항전 임무 정보를 확인할 수 있도록 정보의 활용 sequence, hierarch를 고려하여 design layout 설계	MIL-STD-1472D, NS 3705, Mejdal et al. (2001)
12	Familiarity	FM1	공군 훈련기들과 유사한 방향으로 설계하여 학습 괴리감 최소화	MIL-HDBK-761
13	Evaluation	EV1	인간공학적 symbology design 적용: 사용성 평가 결과 (symbology 선호도 평가), symbol 설계 원칙을 고려하여 개발	ISO 9241-11:1998

Discussion

- **공대공 및 공대지 항전 주요 임무 세부 절차 분석**
  - ✓ 대표 항전 임무 2종의 임무 수행 세부 절차 도출 및 조종사 운용 행태 분석
  - ✓ 세부 임무 절차별 주요 활용 display 및 활용 정보 유형 분석
- **MFD 및 HUD design layout 분석**
  - ✓ 항전 임무 무장 선정, 표적 조준, 무장 투하에 활용되는 주요 display 3종의 layout 분석
  - ✓ 공대공, 공대지 임무 및 무장 특성에 따라 활용되는 symbology 및 정보 유형 분석
- **문헌 조사 기반 인간공학적 PVI display 설계 guide 선정**
  - ✓ PVI 설계 guide 25건 review를 수행하여 항전 display 적용 가능 guide 37건 선별
- **연구 한계점 및 추후 연구**
  - ✓ Display layout 분석 시 정량적인 분석 수행이 필요함(font size, symbol interval 등)
  - ✓ 선정된 임무 수행절차 기반 PVI display 사용성 평가
  - ✓ 선호 설계 특성 및 인간공학적 설계 지침에 기반한 PVI display 신규 설계 개발

Q & A

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION