

## 論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 45(5), 417-428(2017)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2017.45.5.417

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

## 지능형 헬멧시현시스템 설계 및 시험평가

황상현\*

## Design and Evaluation of Intelligent Helmet Display System

Sang-Hyun Hwang\*

The 7th R&amp;D Institute, Agency for Defense Development

## ABSTRACT

In this paper, we describe the architectural design, unit component hardware design and core software design(Helmet Pose Tracking Software and Terrain Elevation Data Correction Software) of IHDS(Intelligent Helmet Display System), and describe the results of unit test and integration test. According to the trend of the latest helmet display system, the specifications which includes 3D map display, FLIR(Forward Looking Infra-Red) display, hybrid helmet pose tracking, visor reflection type of binocular optical system, NVC(Night Vision Camera) display, lightweight composite helmet shell were applied to the design. Especially, we proposed unique design concepts such as the automatic correction of altitude error of 3D map data, high precision image registration, multi-color lighting optical system, transmissive image emitting surface using diffraction optical element, tracking camera minimizing latency time of helmet pose estimation and air pockets for helmet fixation on head. After completing the prototype of all system components, unit tests and system integration tests were performed to verify the functions and performance.

## 초 록

본 논문에서는 항공기 조종사 지능형 헬멧시현시스템(IHDS, Intelligent Helmet Display System)의 아키텍처 설계, 단위 구성품 설계, 핵심 소프트웨어 설계내용(헬멧 자세추적, 고도오차 보정 소프트웨어)을 기술하며, 단위시험 및 통합시험에 대한 결과를 기술한다. 세계적인 최신 헬멧시현시스템 개발 추세를 반영하여 3차원 전자지도 시현, FLIR(Forward Looking Infra-Red) 영상시현, 하이브리드형 헬멧자세추적, 바이저 반사형 광학계, 야시카메라 영상시현 및 경량 복합소재 헬멧셸 등의 사양을 설계에 적용하였다. 특히 3차원 전자지도 데이터의 고도오차 자동보정 기법, 고정밀 영상정합 기법, 다색(Multi-color) 조명광학계, 회절소자를 이용한 투과형 영상발광면, 헬멧자세 추정시간을 최소화하는 추적용 카메라, 장/탈착형 야시카메라, 머리 밀착용 에어포켓 등의 신개념의 설계를 제안하였다. 모든 시스템 구성품의 시제작을 완료한 후 단위시험과 시스템 통합시험을 수행하여 기능과 성능을 검증하였다.

**Key Words** : IHDS(지능형 헬멧시현시스템), HMD(헬멧시현장치), HTS(헬멧자세 추적시스템), Helmet Shell(헬멧), Helmet Display(헬멧 영상시현기)

† Received : February 16, 2017      Revised : April 7, 2017      Accepted : April 14, 2017

\* Corresponding author, E-mail : hshforwork@naver.com

## I. 서론

최근 ICT 융,복합 기술의 하나로 실세계와 가상현실(Virtual Reality)을 중첩하여 시현하는 증강현실(Augmented Reality) 기술이 미래산업으로 각광을 받고 있다. 증강현실 기술은 Fig. 1(a)와 같이 게임, 휴대용 고글, 산업기기 및 의료기기 등 다분야의 민간 응용이 가능하다.

증강현실 기술은 선진국 고성능 전투기에 약 20 여년 전부터 적용되고 있는 기술로서 복잡한 전장상황을 신속하게 파악하기 위해 머리를 숙여 계기를 보지 않고서도 외계의 상황에 집중할 수 있게 해준다. 항공기의 다양한 센서에서 제공하는 항공기 상태정보, 임무정보, 전장정보 등을 전(全)방향의 시야에서 볼 수 있게 해준다. 특히 Fig. 1(b)와 같이 표적에 대한 육안관찰 개체와 심볼영상이 중첩되어 시현됨으로써 육안추적에 의한 정밀공격이 가능하다. 또한 야간 및 악천후 상황에서 육안으로 볼 수 없는 실세계 정보를 센서로부터 획득한 영상정보와 중첩하여 시현함으로써 조종사는 인간시력을 초월하는 기계적 시력을 가지게 된다. 최신편 전투기인 F-35(JSF)에는 전통적인 주시현기인 HUD(Head-Up Display)를 헬멧시현기가 대체하였다.

이러한 증강현실 기능을 제공하기 위해 조종사가 머리보호 및 음성통신을 위해 착용하는 헬멧에 광학기, 시현기, 영상처리기 등을 부착한 헬멧시현장치(HMD, Helmet Mounted Display)가 필요하다.

일반적으로 HMD는 헬멧에 장착된 시현기만을 의미하며 헬멧, 헬멧자세 추적시스템, 시현컴퓨터 등을 포함하는 지능형 헬멧시현시스템(IHDS, Intelligent Helmet Display System)의 한 구성품이다. IHDS의 각 구성품은 시스템 운용요구사항을 토대로 상호 연동관계 및 개별적 성능규격이 정의되어야 한다. IHDS는 소재, 광학, 전자, 소프트웨어, 기계 등의 다양한 분야의 첨단기술이 적용되는 ICT 융,복합 기술의 정점이라고 할 수 있다.



Fig. 1. (a) Civilian goggle display, (b) Pilot's Helmet Mounted Display

초기에는 단안형 고글형태로 헬멧의 전면부에 거치하여 좁은 시야각으로 시각정보를 제공하였으나, 최근에는 F-35(JSF) HMD와 같이 헬멧 바이저에 허상을 간접 투사하는 고급형 방식과 눈앞에 접안형 시현기가 있는 보급형 방식으로 각각 발전하고 있다[1]. 양안 바이저 투사방식(Binocular Visor Projection)은 화각(FOV, Field Of View), 착용감 등의 다양한 장점이 있으나 비축, 비구면 광학계 설계와 정밀 가공이 요구되는 고난이도의 기술이 필요하다.

조종사의 시선방향과 일치하는 영상을 시현하기 위해 조종사의 시선추적이 필요하며, 간접적으로 헬멧의 자세를 추정하는 방식이 일반적이다. 시선을 직접적으로 추적하지 않는 이유로서 동공의 떨림현상과 동공시선 추적 정확도가 헬멧 자세 추적 정확도 보다 낮기 때문에 동공시선 추적방법은 사용하지 않는다. 헬멧 자세추적 방법은 정렬에 대한 불편함이 있다. 헬멧을 착용 시 조종석 전방의 참조점과 시현기의 정렬심볼을 일치시키는 절차가 필요하며, 착용 후 헬멧과 머리의 뒤틀림이 발생하면 재정렬을 해야 한다.

HMD 적용 초기에는 표적에 대한 시선중첩정보만 제공하였으나, 최근에는 야시(Night Visioin) 영상, IR(Infra-Red) 영상, 3차원 전자지도, 항법정보, 임무정보 등 다양한 영상정보를 시현하는 추세에 있다. 이러한 영상정보를 처리하기 위해 고성능 광학시현장치, 고성능의 컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어 개발기술과 항공전자 시스템 연동기술이 필요하다.

조종사의 외계(실세계) 시야와 3차원 전자지도 영상을 정확하게 중첩하기 위해, 전자지도 DB 정확도, 항공기 항법센서 정확도, 광학계 정렬 정확도, 헬멧정렬 및 헬멧자세 추적 정확도 등이 확보되어야 한다. 특히 3차원 전자지도 DB의 오차는 실제로 존재하므로 이를 IR 영상을 이용하여 실행시간(Run-time)으로 보정하는 기술이 요구된다. 헬멧은 조종사가 비행 중 항시 착용하는 장비로서 고기동(9G) 하에서도 안전성과 쾌적성을 보장해야 하므로 중량 및 무게균형에 대한 인간공학적 고려가 필요하다. 고성능, 고기능은 무게를 증가시키는 요인이므로 적절한 상쇄기법이 필요하다. 또한 다양한 부품이 헬멧에 부착됨으로 인해 무게균형을 위한 부품배치 연구가 필요하다.

IHDS 모든 구성품을 개발 및 시험하기 위해 항공기 탑재센서, 임무컴퓨터 등과 연동을 위한 개발환경 및 시험환경이 필요하다.

본 논문에서는 상기의 필요기술 및 문제점을

해결하기 위한 다음과 같은 핵심 요소기술 및 시스템 아키텍처를 제안하여 설계하고, 제작 및 구현을 통해 완성된 시스템을 시험 및 평가한 결과를 기술한다.

- 3차원 전자지도 데이터의 고도오차 자동보정 기법 설계
- 고정밀 영상정합 기법, 다색(Multi-color) 조명광학계 구조 설계
- 회절소자를 이용한 투과형 영상발광면, 헬멧자세 추정시간을 최소화하는 추적용 카메라 구조 설계
- 장/탈착형 야시카메라(NVC) 구조 설계
- Hybrid(Optical-Inertial) 헬멧자세 추적기법(P4P 및 상보필터) 설계
- 조종사 머리고정용 에어포켓 설계
- 영상신호 전송용 광케이블 적용 및 광전변환 신호처리 기법 설계
- IHDS 및 SIE 시스템 구조 설계

## II. IHDS 및 구성품 설계

### 2.1 IHDS 통합 개발환경(SIE) 설계

본 설계연구의 대상인 IHDS를 개발 및 시험하기 위해 Fig. 2와 같이 IHDS 연동을 위한 항공전자 시스템 통합개발환경(SIE, System Integration Environment)을 IHDS 설계와 동시에 설계, 제작하여야 한다.

SIE는 항공전자 구성품인 임무컴퓨터, FLIR, 항법센서류, 조종석 시현기류, 조종석 제어패널류, 조종간 및 스위치류 등을 모의(Emulation 또는 Simulation)하고, 외계영상을 모의 생성하는 FNS(Flight and Navigation Simulator)와 5채널의 스크린이 모의 조종석 전방에 배치된다.

SIE는 IHDS와 유연한 호환성을 위해 연동장치

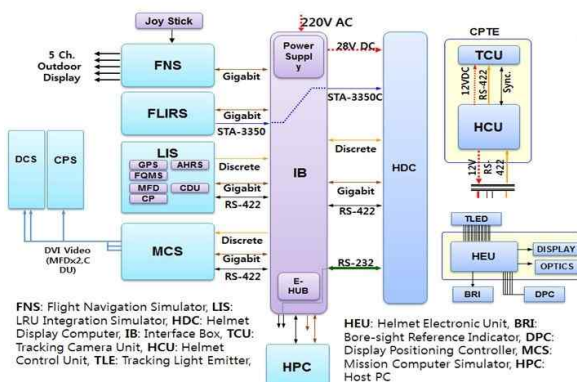


Fig. 2. Block diagram of IHDS and SIE

(IB, Interface Box)를 사이에 두고 각종 신호와 데이터를 교환한다. 따라서 IB를 설계하기 위해 항공전자시스템과 IHDS의 주요 연동신호의 규격이 정의되고 설계되어야 한다. IB의 연동신호로서 임무컴퓨터와 IHDS의 주컴퓨터인 헬멧시현컴퓨터(HDC, Helmet Display Computer)와 Gigabit Ethernet 신호, FLIR 영상전송을 위한 STANAG-3350A 신호, 이산신호 통합전송을 위한 RS-422 신호, 콘솔용 RS-232 신호 등이 있다 [2].

### 2.2 IHDS 아키텍처 설계

IHDS는 세계적인 최신 추세에 따라 양안 바이저형 영상시현기, 광학센서 추적과 관성센서 추적을 융합한 하이브리드(Hybrid) 헬멧자세추적기, 3차원 전자지도 영상시현, IR 영상시현, 부착형 양안 야시경 및 다색상(Multi-Color) 시현 등의 첨단사양을 적용하여 설계하였다. Table 1은 IHDS의 주요 기능 및 성능규격에 대한 정의를 나타낸다. Fig. 3은 IHDS의 주컴퓨터인 HDC를 중심으로 HEU(Helmet Electronic Unit), 헬멧 자세추적 시스템(HTS, Helmet Tracking System) 및 HCU(Helmet Control Unit)가 연동된다[2].

Table 1. Function and performance requirements of IHDS

| Functions    |                            | Specifications  |
|--------------|----------------------------|---|
| Display      | Binocular Visor Projection | - FOV(H*V) : 40° * 22.5°<br>- Eye relief : 10mm<br>- Eye box : 8mm<br>- MTF : 30lpm<br>- Resolution : 720p<br>- Frame rate : 30fps<br>- Color : > 4 color |
|              |                            | - Accuracy : < 6 mrad(1σ)<br>- Latency : < 10 msec<br>- Motion box(W*D+H) : > 500*500*200mm<br>- Angular speed : > 300°/sec                               |
| Information  | Mission information        | Flight and navigation symbol  |
|              | Aircraft status            | Instrumental symbol   |
|              | Geographic information     | 3D map : DTED II  |
|              | Imagery information        | - FLIR image<br>- NVC image   |
| Helmet Shell | Outer and Inner Shell      | - Weight : 950g<br>- Head Fixing : Air pocket<br>- NVC : Mechanical provision<br>- Carbon fiber composite   |
| Interface    | MC, FLIR, 28VDC, etc.      | - Gigabit Ethernet : 4ch<br>- RS-422 : 2ch<br>- STANAG-3350A : 1ch<br>- etc.  |

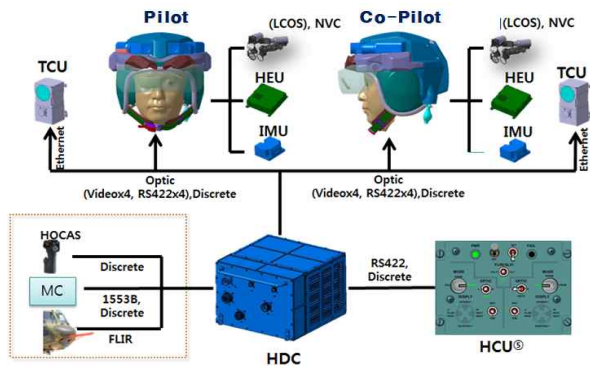


Fig. 3. IHDS component interface diagram

IHDS는 정,부조종사 각각 독립적으로 운용할 수 있도록 2채널의 헬멧자세추적 기능 및 영상처리 기능을 갖도록 설계하였다. HTS는 단위 시스템으로서 TCU(Tracking Camera Unit), IMU (Inertial Measurement Unit), TLED(Tracking LED)로 구성된다.

2.3 헬멧 자세추적시스템(HTS) 설계

HTS의 자세추적 정확도는 RMSE(Root Mean Square Error)로 1σ 표준편차에 6mrad 이하로 요구되며, HTS 자체의 시간지연(Latency)은 10ms 이내로 요구된다. 실제 헬멧자세 추적결과가 몇 단계의 처리를 거쳐 최종 헬멧에 시현되는 IHDS 전체 지연시간(System Latency)은 약 40ms 이내로 요구된다[3].

HTS는 3축 자이로와 가속도계가 내장된 MEMS형 관성식 자세추정 방식과 헬멧표면에 다수의 4각 패턴으로 구성되는 TLED(IR-LED)를 열상카메라(TCU, Tracking Camera Unit)로 촬영하여 2차원 영상을 3차원으로 복원하는 광학식 자세추정 방식을 병용하는 하이브리드형 헬멧자세 추적시스템이다. 관성센서는 순간적인 가속도 검출성능은 우수하나 부유오차(Drift)가 발생하는 문제가 있고, 광학식 센서는 부유오차는 없으나 LED(Light Emittted Diode) 표면의 발광점 굴절 현상, 고속이동 시 번짐(Blurring) 현상, 렌즈의 광학왜곡 문제가 있다. 따라서 이들 센서의 상호 보완 특성을 적절하게 융합하여 설계하였다[3].

HTS는 Fig. 4와 같이 HTM(Helmet Tracking Module)은 정,부조종사 각각의 헬멧외피에 부착된 TLED를 촬영한 TCU 데이터와 헬멧내피에 부착된 IMU 데이터를 동시에 입력받아 자세추적 연산을 수행한다. 연산된 결과는 시스템제어 모듈(SCM, System Control Module) 및 그래픽 제어모듈(GCM, Graphic Control Module)에 전송된다.

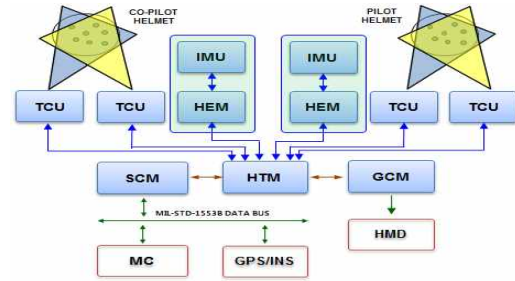


Fig. 4. HTS component interface diagram

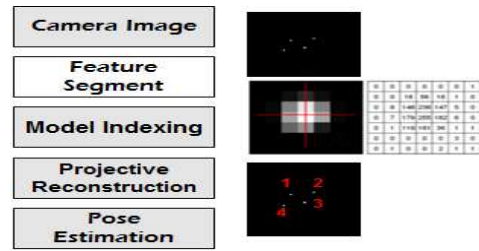


Fig. 5. TLED indexing and pose estimation using P4P algorithm

자세추적 알고리즘은 광학센서 및 관성센서가 갖는 저주파, 고주파에 대한 상호 보완적 특성을 이용하여 상보필터(Complementary Filter)를 적용하였다[3]. Fig. 5는 광학식 센서에서 획득한 TLED 4각 패턴의 각 LED 인덱스(식별번호)를 검출하고 P4P(Perspective 4 Point) 알고리즘으로 3차원 좌표로 복원하여 기준형상 모델에 대한 위치 변화분을 추출하여 헬멧의 자세를 추정하는 기법이다[4][5][6].

광학센서와 관성센서는 비동기적으로 동작하고 있으므로 각 센서의 데이터 획득시차를 보정하는 예측모델을 사용하여 동기를 일치시켰다[3]. 광학식 자세추정은 최적의 촬영조건(촬영법선 이탈각 10°이내, 촬영 초점거리 200~300mm)에서만 촬영하여 관성식 자세추정 파라미터를 초기화하므로 연속적인 고속 처리가 필요치 않는다(10초 이내 간헐적 촬영). 그러나 관성식 자세추정은 250Hz(4ms)의 주기적 고속연산을 하므로 실제 융합된 자세추정 지연시간은 4ms 이내에 완료된다.

2.4 헬멧 시현기(HDU) 설계

HDU는 양안시차(Stereopsis)가 있는 영상을 시현하여 입체감을 느낄 수 있도록 좌우 대칭의 광학설계가 필요하다. Fig. 6에서와 같이 바이저는 양안 앞에 약 70mm 이격되어 기울어져 있고 영상발광원은 헬멧의 좌,우측에 각각 부착되어야 함에 따라 광학계는 비축, 비구면으로 설계가 되



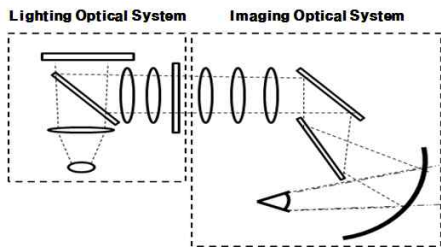


Fig. 6. Optical system for visor projection

어야 한다. 따라서 약간의 정렬오차가 있더라도 민감하게 화상이 왜곡되므로 둔감화 설계와 정교한 가공 및 조립이 요구된다. 영상발광원으로서 720p의 해상도를 갖는 LCOS(Liquid Crystal On Chip)와 2색 LED(red, green) 발광소자를 사용하여 조명광학계(Lighting optical system)를 설계하였다. 결상광학계(Imaging optical system)는 조명광학계에서 출사된 빔을 확대하고 무한초점의 허상을 생성한다.

시스템 요구규격인 Eye relief(동공과 이격여유 거리) 10mm와 Eye box(동공축 이격여유 폭) 8mm를 만족하기 위한 설계를 수행하였다. 이는 동공과 바이저간의 거리가격과 동공축 이탈에 대한 허용범위를 나타내는 중요한 설계규격으로서, 규격범위를 이탈하였을 때 화상은 정상적인 품질과 형태로 시현하지 못하게 된다. 또한 바이저의 경사진 구면에 투사되는 영상은 화상왜곡이 발생하므로 비구면 렌즈를 설계하여 적용하였다. 그러나 광학적으로 왜곡을 완벽하게 보정할 수 없는 한계가 있어, 영상을 생성하는 그래픽 소프트웨어에서 왜곡을 역보상하여 LCOS로 영상신호를 전송한다. Fig. 7은 조명광학계, 결상광학계 및 바이저에 대한 광학설계를 반영한 기구형상을 나타낸다. 기구물은 렌즈를 정확한 위치와 방향으로 조립하기 위해 엄격한 공차관리와 정밀가공이 필요하며 진동, 충격 및 온도변화에 의한 렌즈변형을 최소화하기 위한 설계가 요구된다. Fig. 8은 조명광학계의 출사면에 부착된 회절형 영상 발산면으로서 LCOS의 직사빔을 면발광체로 변환해 주어 FOV와 Eye Box를 넓혀 주는 기능을

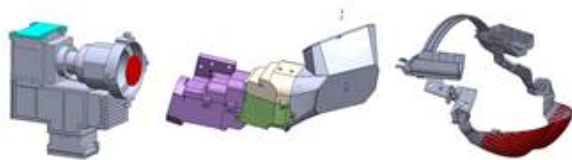


Fig. 7. Optical components(Lighting optical system, Imaging optical system and visor assembly)

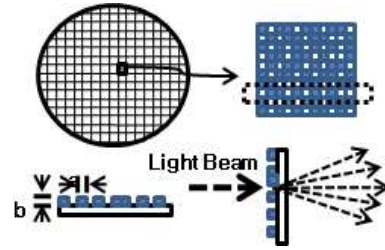
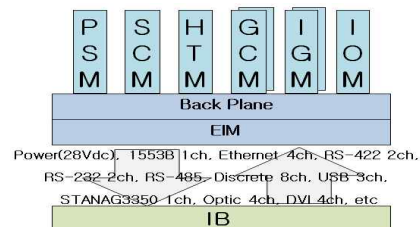


Fig. 8. Transmissive image emitting surface using diffraction optical element

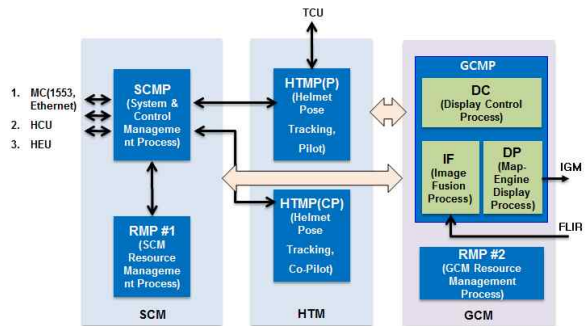
갖는다. 회절형 영상 발산면은 10um의 정방형 격자셀이 규칙적으로 배열되어 있고, 각 셀은 600nm의 크기로 무작위 식각(음각)되어 입사된 빛을 약 +/- 20°의 각도로 회절시킨다.

### 2.5 헬멧시현컴퓨터(HDC) 설계

HDC는 IHDS의 주컴퓨터로서 Fig. 9(a)와 같이 28Vdc 외부전원을 받아 내부 전원용으로 변환 공급하는 PSM(Power Supply Module), 외부 통신 및 시스템제어용 SCM(System Control Module), 헬멧자세추적용 HTM(Helmet Tracking Module), 영상데이터 처리용 GCM(Graphic Control Module), 영상신호 생성용 IGM(Image Generate Module) 2개, 외부 신호 및 데이터 입,출력용 IOM(Input Output Module),



(a)



(b)

Fig. 9. (a) HDC functional block diagram (b) HDC software architecture

내부 모듈간 통신과 외부통신 신호를 중계하는 BP(Back-plane)와 EIM(External Interface Module)으로 구성된다. EIM은 외부 콘넥터 연결, 광/전통신 신호변환, 아날로그 영상신호를 디지털 영상신호로 변환, EMI 필터 등을 포함한다. HDC 내부에는 정,부조종사 각각 4개의 DVI 입,출력 영상 신호채널을 갖고 있으나, DVI 신호케이블이 굵고 무거워 조종사 헬멧으로 직접 4채널을 연결하면 헬멧의 중량 및 무게균형 문제와 머리회전 시 불편을 초래하므로, HDC는 각 조종사 헬멧의 NVC 광신호 입력 2채널과 DVI 출력 2채널을 광신호로 변환하여 송,수신하는 회로를 적용하였다.

HDC 소프트웨어는 Fig. 9(b)에서와 같이 SCMP(SCM Process), HTMP(HTM Process), GCMP(GCM Process) 및 RMP(Resource Management Process)로 구성되며, 정,부조종사 각각 독립된 헬멧자세 추적 신호처리 및 영상시현을 위한 데이터 처리를 수행한다. SCMP는 임무컴퓨터로부터 항공기 상태정보, 조종사 명령정보 및 항법정보 등을 수신하여 HTMP 및 GCMP에 전송한다. HTMP는 조종사 헬멧에 부착된 HEU에 TLED 점멸명령을 전송하고 그 시점에 촬영된 TLED의 2차원 화면좌표를 TCU 카메라로부터 받는다[4]. HTMP는 TLED의 좌표를 받아 헬멧자세를 추정하는 연산을 수행한 후 GCMP에 자세정보를 전송한다. GCMP는 SCMP 및 HTMP으로부터 받은 정보를 그래픽 화면으로 구성하여 IGM에 전송한다. 또한 GCMP는 3차원 전자지도 시현을 위한 그래픽 연산을 수행한다. 이때 GCMP는 EIM에서 아날로그 FLIR 영상을 디지털 데이터로 변환한 영상과 NVC(야시카메라) 2채널의 영상을 버퍼링하여 IGM에 전송한다. RMP는 하드웨어 자체고장진단 및 정비를 위한 모듈이다.

2.6 기타 구성품(HCU/TCU/HEU/NVC) 설계

IHDS의 구성품은 상기의 구성품 이외에 HCU, TCU, HEU 및 NVC를 포함한다.

HCU는 Fig. 10 에서와 같이 IHDS를 제어하는 패널로서 전원인가, 밝기조절, 운용모드선택, 시현모드 선택 및 BIT 명령 등을 위한 스위치를 포함하며 RS-422 통신, 이산신호, Ethernet 허브 및 전원공급(4 TCU, 2 HEU) 기능을 포함한다.

TCU는 Fig. 11과 같이 헬멧의 TLED 패턴을 촬영하는 카메라로서 2000\*2000 픽셀의 고해상도 CMOS 센서가 내장되어 HTM에서 촬영신호(RS-485 Sync)를 받아 촬영하고 촬영된 영상의 스트림(Stream) 영상데이터를 직접 FPGA에 입력

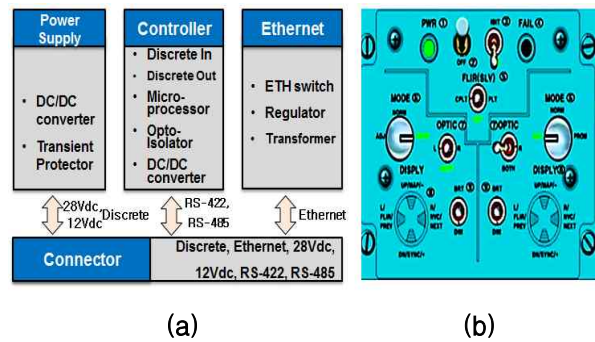


Fig. 10. (a) HCU functional block diagram (b) HCU panel layout of switches and lamps

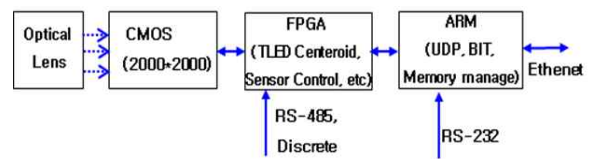


Fig. 11. TCU functional block diagram

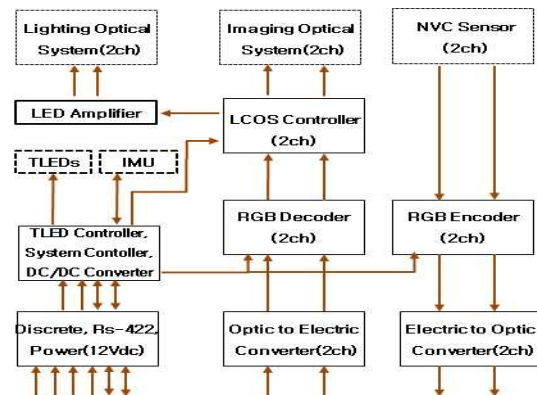


Fig. 12. HEU functional block diagram

하여 4개의 TLED에 대한 인텍싱과 중심점 좌표 계산을 수행하여 HTM에 Ethernet(UDP)으로 결과값을 전송한다. 따라서 HTM에 영상을 직접 전송하는 일반적 방식(2단계의 프레임 버퍼링, 66ms 이상)보다 실시간성(Sync 신호 수신후 10ms 이내 결과값 전송)이 향상되고 영상처리를 위한 별도의 하드웨어가 필요없다[4].

HEU는 헬멧의 후방 이너셀의 외피에 부착되어 영상시현기, 관성센서(IMU), 헬멧추적용 적외선 LED(TLEDs), 야시카메라(NVC) 등을 제어하는 전자장치이다. Fig. 12는 HEU의 기능 블록도로서 영상신호 입,출력을 위한 광전변환기 4채널과 HDC와 통신을 위한 RS-422 직렬신호 2채널 등의 외부 인터페이스를 갖고 있다. 내부 CPU에는 영상신호 인코더/디코더, TLEDs, IMU,

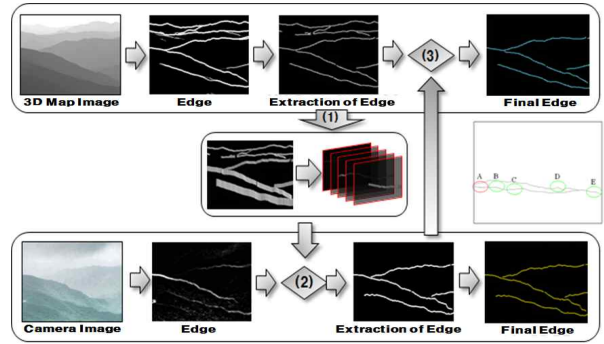
LCOS 제어기 등을 통제 및 관리하는 소프트웨어를 내장하였다. TLEDs 점멸제어 및 RS-422 입력데이터 처리는 실시간이 요구되는 제어기능으로서 인터럽트로 처리되고 나머지는 타이머 인터럽트 방식으로 데이터가 처리된다.

NVC는 Fig. 15와 같이 헬멧의 상부측면에 부착되어 조종사의 미간거리와 동일한 63mm의 광입사구 간격을 갖는다. 기존 해외 NVC는 헬멧의 측면에 부착되어 광입사구 간격이 250mm의 과도한 입체감을 제공하여 실세계에 대한 왜곡과 혼란을 초래하였다. 본 연구에서는 NVC 광학부 설계, 영상증폭관 적용, 영상처리 회로설계 및 형상설계를 통하여 HDC와 연동성을 검토하는 가능성연구 수준으로 NVC를 설계하였다.

### 2.7 3차원 전자지도 고도보정 기법 설계

외부 실세계와 그래픽 영상정보가 중첩되어 시현되는 투과형 헬멧시현기(바이저)는 증강현실 기기로서 중첩 영상간에 정확한 정합이 요구된다. 특히 3차원 전자지도 정보는 산악의 능선과 실세계가 정합되지 않으면 조종사에게 상당한 불편함과 혼란을 초래하게 된다. 정확한 중첩을 위해 헬멧 자세추적 센서 정확도, 항공기 탑재 센서 정확도 및 센서간 상호정렬 등 고수준의 정확도가 요구되지만, 3차원 전자지도의 정확도도 중요한 요소이다. 그러나 3차원 전자지도 지형 DB(DTED II, Digital Terrain Elevation Data)는 통계적 정확도(90% Linear Error, Mean Sea Level, 절대고도오차 <18meters)를 규정하므로 모든 지역에서 정확한 지형 정확도를 제공하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 항공기에 장착된 IR센서 영상과 3차원으로 렌더링된 전자지도 영상간의 정합을 위해 전자지도 DB를 실시간으로 보정하는 기법을 제안하였다. Fig. 13과 같이 항공기의 현재 위치와 방향에서 바라보는 전(前)방향의 3차원 전자지도 영상을 기준으로 특징량(능선)을 추출하고 일정 간격의 ROI(Region Of Interest) 마스크를 만들고, 이를 IR 영상에 적용하여 능선을 추출하는 기법이다.

이 기법은 일정 수준(90%) 신뢰도가 보장된 전자지도 DB와 실영상간의 높은 상관도를 이용함으로써, 실영상의 능선을 최소한의 연산부하로 정확하게 추출할 수 있는 장점이 있다. 3차원 전자지도 DB를 거리에 따른 밝기값으로 렌더링하면 Fig. 13의 좌,상단 영상같은 균일한 밝기값의 능선경계를 가지는 Depth Map을 만들 수 있다. 잡음 성분이 거의 없는 능선 경계선의 이웃 픽셀간 밝기차(Gradient)로 쉽게 능선의 에지를 추출



- (1) Set ROI(Region Of Interest) covering the terrain edge
- (2) Edge extraction of camera image by ROI
- (3) Remove edge not existing on a camera image

Fig. 13. Feature extraction of IR image using 3D Map edge and ROI

할 수 있다. 추출된 능선의 에지정보를 참고하여 ROI 마스크를 설정한 후 IR 영상의 능선을 용이하게 추출할 수 있다. 이때 3차원 전자지도와 IR 영상에서 추출된 능선의 대응점을 정합하고 [7][8], 이들 간의 픽셀오차를 실세계 좌표로 환산함으로써 전자지도의 고도오차가 보정된다 [9][10].

### 2.8 헬멧셀 형상 설계

전통적인 조종사 헬멧은 머리보호, 선바이저 및 음성통신 용도로 사용되었으나, 최근에는 증강현실을 위한 시현장치로서의 기능이 더 중요하게 되었다. 그러나 정확한 헬멧자세 추적을 위해 머리와 헬멧의 유격이 발생하지 않도록 강하게 밀착시킴으로서 불편함을 초래하고, 시현장치의 부착으로 인해 중량증가, 중량 불균형 문제가 발생하였다.

본 설계 연구에서는 경량화를 위해 탄소섬유 복합재와 마그네슘 재질의 부품외장 기구물을 적용하고, 중량균형을 위해 후방부에 전자장치를 부착하였다. 또한 헬멧의 안락하고 견고한 고정을 위해 후방부에 에어포켓과 에어펌프를 설치하였다. Fig. 14는 내부셀(Inner Shell), 외부셀(Outer Shell), 완충용 폼재, 에어포켓/에어펌프 및 턱끈으로 구성된 헬멧 형상을 나타낸다. Fig. 15는 NVC를 헬멧 상측부에 장,탈착할 수 있는 설계개념을 나타낸다. 조종사의 미간과 동일한 폭의 양안형 NVC를 장착하기 위해 양안 상부에 대물광학계를 배치하고 2개의 반사경으로 입사광을 굴절시켜 영상증폭관(Image Intensifier)에 입사시켜 전기신호로 변환하여 HEU에 전송한다.



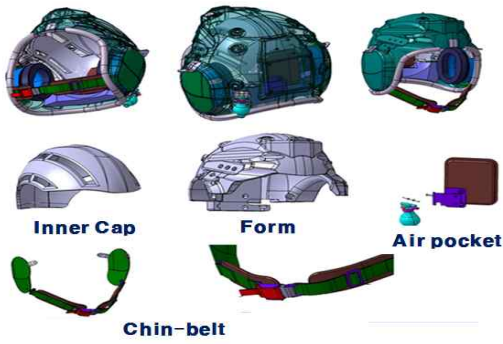


Fig. 14. Configuration of Helmet including Inner Shell, Outer Shell, Form, Air-pocket pump and Chin-belt

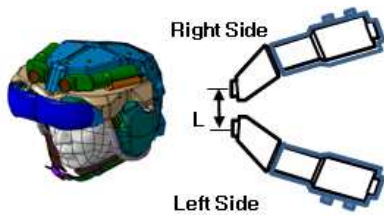


Fig. 15. Configuration of NVC

### III. IHDS 및 구성품 시험 및 평가

#### 3.1 IHDS 시스템 통합시험

IHDS 통합에 앞서 단위 구성품 시험 및 하부 시스템 시험을 완료한 후 SIE를 이용하여 통합시험을 수행하였다. SIE는 IHDS와 연동되는 모든 항공전자 구성품(임무컴퓨터, GPS/INS, FLIR, ADC, MFD, CDU 등)이 모의된 시스템으로서 특정 항공기 연동성을 고려하여 설계 및 제작하였다. IHDS의 주컴퓨터인 HDC는 임무컴퓨터를 경유하여 항공전자 구성품과 간접적으로 통신한다. 단 헬멧에 부착된 관성센서(IMU)의 실시간 헬멧자세 값을 추정하기 위해 GPS/INS 정보는 직접 수신하여 자세 차감계산을 수행한다. Fig. 16(a)에서와 같이 헬멧시험기에 3차원 전자지도

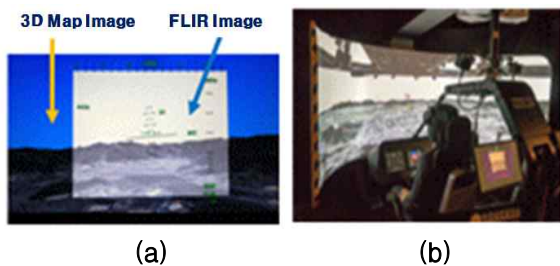


Fig. 16. (a) FLIR image superimposed on 3D Map (b) Scene of IHDS system test

영상에 FLIR 영상이 PIP(Picture In Picture) 형태로 정합되어 시현되고 각종 비행정보가 정상적으로 시현되고 있음을 확인하였다. Fig. 16(b)는 IHDS 통합시험 장면을 나타내고 있다.

#### 3.2 헬멧 자세추적 시스템(HTS) 시험

HTS의 자세추정 정확도를 시험하기 위해 고정밀 계측장비 및 시설이 필요하다. Fig. 17(a)와 같이 3축 Rate Table에 헬멧을 장착하고 TLED의 모든 위치점을 Laser Tracker 장비로 정밀 계측한 후 헬멧모델 데이터구조체에 저장하고 TCU 카메라 및 IMU 좌표계를 Fig. 17(b)와 같이 Rate Table 좌표계로 동기화하여야 한다. 따라서 기준 좌표계인 Rate Table에 TCU, TLED 및 IMU가 좌표 동기화되어 Rate Table의 자세제어 값과 자세모니터 값이 헬멧자세 추정결과 값에 대한 평가기준이 된다.

HTS는 광학센서 추정값과 관성센서 추정값을 상보필터(Complementary Filter)로 융합하여 자세를 추정한다. 광학센서인 TCU는 렌즈 자체의 광학왜곡이 존재하며 이를 보정하기 위해 Fig. 18(a)와 같이 왜곡보정용 차트를 정밀하게 제작하여 TCU 카메라로 촬영하여 보정계수를 추출하였다. Fig. 18(b)는 헬멧이 Rate Table의 거치구에 정밀하게 장착된 장면을 나타낸다.

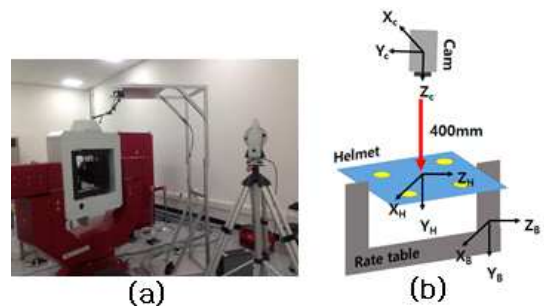


Fig. 17. (a) HTS accuracy test using 3-axis Rate-table (b) Coordination transform

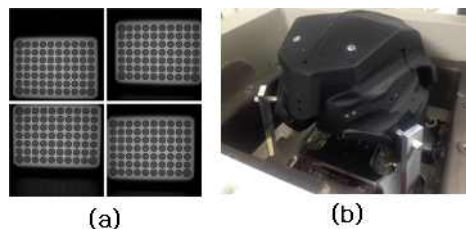


Fig. 18. (a) Correction pattern plate for TCU lens distortion (b) Installation of helmet on the Rate-table



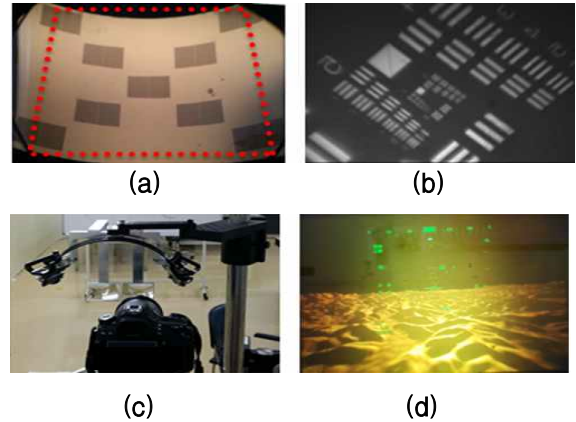
**Table 2. Test result of Pose tracking using Optical Only or Adaptive complementary Filter**

| Test Cases                                       | RMSE(mRadian) |
|--|---------------|
| Optical(Vision) Only                             | 7.0488        |
| Adaptive Complementary Filter (Inertial-Optical) | 4.7868        |

자세추적 정확도는 RMSE(Root Mean Square Error) 1  $\sigma$  표준편차로 6 mrad 이하가 요구된다. 헬멧자세 추적시험은 우선 광학식 자세추정 성능을 확인하기 위하여 정적시험 및 동적시험으로 나누어 수행하여 Table 2와 같은 결과를 확인하였다. 정적시험에서는 헬멧의 4개 TLED가 이루는 사각면의 법선이 TCU의 법선과 각도 차이가 30° 이하일 때 6mrad 이하의 양호한 결과를 보이지만 30° 이상의 각이탈 시 규격을 만족하지 못하였다. 또한 동적시험에서도 30° 이상의 각이탈과 동시에 초당 30° 이상의 각변이가 발생 시 규격을 만족하지 못하였다. 따라서 법선 각이탈과 각변화율의 정도를 고려하여 광학센서 추정과 관성센서 추정을 상호 보완적으로 융합하는 상보필터 적용이 타당하다는 것을 확인할 수 있었다. 관성센서는 시간에 따른 부유오차(10초에 약 0.1°)가 발생하지만 광학센서의 최적 추정치 조건(10° 이하의 각이탈, 20°/sec 이하의 각변화율)에서 간헐적(5초~10초)으로 관성센서 추정값을 초기화하면 광학식 자세추정 보다 더 우수한 성능을 유지할 수 있다고 확인하였다. 이때 상보필터는 급격한 스위칭이 아니라 자세변화율에 따라 비중계수를 조절하는 필터로서 동작되므로 완만한 스위칭을 하였다[3].

**3.3 헬멧 시현기(HDU) 시험**

HDU는 헬멧의 양측면에 부착되어 양안 앞에 위치한 투명 바이저에 광을 투사하여 전(前)방향으로 허상을 제공한다. 사람마다 미간의 차이가 있어 성인 평균미간(63mm)을 기준으로 +/-5mm의 좌우 Eye Box를 확보하였고, 눈과 바이저면과의 이격거리 70mm에 대한 Eye Relief +/-5mm를 확보하였다. Fig. 19(a)는 광학왜곡의 형태와 정도를 확인하기 위해 조명광학계의 입사면에 격자형 패턴을 부착하여 결상과학계의 최종면인 바이저에 투사된 허상을 카메라로 촬영하여 왜곡보상 모델을 만들었다. 왜곡보상 모델은 HDC의 시현 소프트웨어에서 그래픽처리 시 사용된다. 광학해상도는 Fig. 19(b)와 같이 1951 USAF Resolution chart를 사용하여 시험하였고,



**Fig. 19. (a) Distortion correction of Optical system (b) 1951 USAF resolution chart (c) Test of eye-box, eye-relief (d) Scene of visor projection image**

**Table 3. Test result of optical performance**

| Test Items     | Unit  | Results    |
|----------------|-------|------------|
| Resolution     | Pixel | 1280 * 720 |
| FOV (H*V)      | Deg   | 40 * 22.5  |
| Distortion     | %     | 5          |
| MTF (@70lp/mm) | %     | 30         |
| Eye Box        | mm    | 10         |
| Display Speed  | FPS   | 30         |

Eye Box 및 Eye Relief는 Fig. 19(c)와 같이 광학계 거치대에서 정렬을 수행한 후 시험하였다. Fig. 19(d)는 전체 광학계가 조립된 후 LCOS 시현기에 3차원 전자지도 및 비행정보 영상을 입력하여 바이저 출사면에서 카메라로 촬영한 영상이다. Table 3은 HDU의 주요 규격에 대한 시험결과를 나타내고 있다.

**3.4 헬멧시현컴퓨터(HDC) 시험**

HDC는 Fig. 20과 같이 외부 연동기능을 시험하기 위해 다양한 시험지원 장비를 이용하여 통신시험 및 기능시험을 수행하였다. 전원공급 기능의 적합성을 시험하기 위해 MIL-STD-704D 규격을 준수하여 500W의 과부하 내성시험과 28VDC 정격전압에 대한 정상전압 시험(22VDC~29VDC) 및 비정상전압 시험(50VDC, 19VDC) 등을 수행하여 정상적으로 동작함을 확인하였다. 이산신호에 대한 시험을 위해 이산신호 시험장비를 이용하여 모든 이산신호 포트가 정상임을 확인하였다.

1553B 통신시험을 위해 Fig. 21(a)와 같이 1553B 전용 시험장비를 임무컴퓨터의 BC(Bus Controller) 기능으로 모의하여 HDC와 모든 데

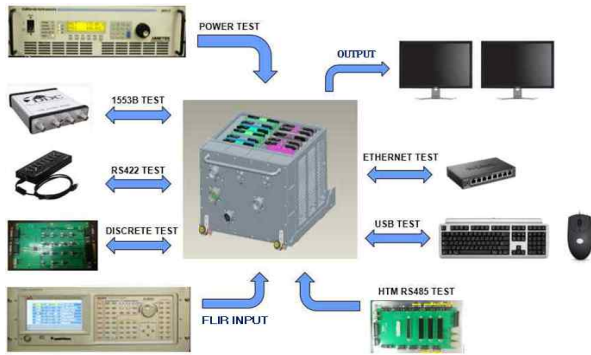


Fig. 20. Test stubs and instruments for HDC unit test

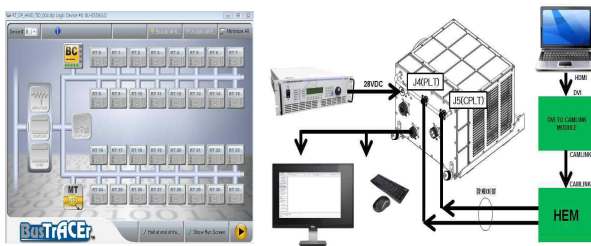


Fig. 21. (a) MIL-STD-155B Bus test  
(b) Test of DVI I/O signals

이더 송수신 상태가 정상임을 확인하였다. FLIR 영상신호를 디지털변환(Frame Grabber)하는 기능에 대한 시험을 위해 Fig. 21(b)와 같이 영상패턴 생성장비를 이용하여 영상을 입력시켜 디지털 변환된 영상이 DVI 모니터에 정상적으로 출력됨을 확인하였다. 또한 광케이블로 입력된 NVC 영상신호가 정상적인 전기적 영상신호로 변환됨을 확인하기 위해 Fig. 21(b)와 같이 PC 모니터의 DVI 출력신호를 광신호로 변환하여 HDC에 입력하여 동일한 화면이 정상적으로 시현됨을 확인하였다. 그밖에 RS-422, RS-485, RS-232, Ethernet 및 DVI에 대한 통신시험을 수행하였다. HDC의 고장자체진단(BIT, Built-In Test) 시험을 위해 통신포트 및 특정 부품에 임의로 고장을 발생시켜 고장감지 여부를 확인하였다.

3.5 기타 구성품(HCU/TCU/HEU/NVC) 시험

IHDS의 소형 구성품으로서 시스템 제어패널인 HCU, 헬멧자세를 광학적으로 추정하기 위한 센서인 TCU, 헬멧에 부착되어 영상신호 입/출력과 TLED를 제어하는 HEU 및 NVC에 대한 통신시험 및 기능시험을 수행하여 정상적으로 동작함을 확인하였다.

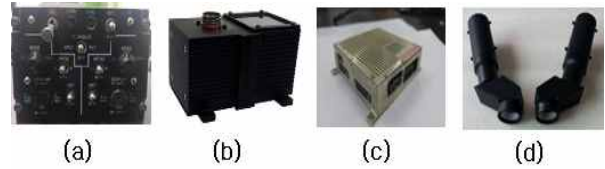


Fig. 22. (a) HCU (b) TCU (c) HEU (d) NVC

3.6 전자지도 오차 보정기법 시험

3차원 전자지도 DB의 고도오차 보정 시험을 두 단계로 나누어 수행하였다. depth map 영상과 IR 실영상간의 정합오차 보정 시험을 시험한 후 정합된 영상간의 대응점에 대한 픽셀 위치차이를 고도오차 값으로 환산하는 시험을 수행하였다.

3.6.1 정합오차 보정 시험

IR 카메라의 장착오차 및 스케일(FOV, zoom) 오차가 있을 시 3차원 전자지도 영상과 완전한 정합이 안되어 조종사에게 혼란을 초래할 수 있다. 정합오차에 대한 보정 성능을 시험하기 위해 임의의 오차를 depth map 영상의 카메라 자세(pitch, roll, yaw) 파라미터와 스케일 파라미터에 부여하여 정합보정이 정상적으로 되는지 시험하였다. Fig. 23(a)는 자세오차와 스케일 오차가 부여된 영상에서 추출한 능선과 depth map 영상의 능선이 부정합된 상태를 나타내고 있고, Fig. 23(b)는 정합보정을 수행한 결과를 나타내고 있다.

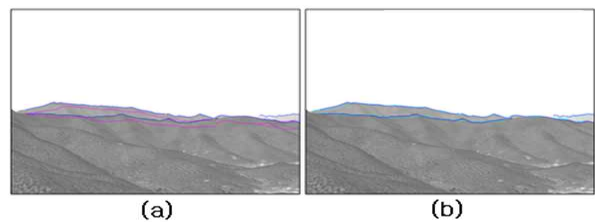


Fig. 23. (a) Ridge lines mismatch between camera image and depth map image (b) Corrected ridge lines

Table 4. Test results of image registration

| 3D Camera Parameters | Yaw     | Pitch  | Roll  | FOV   |
|----------------------|---------|--------|-------|-------|
| True Value           | 218.01° | -0.15° | 0.30° | 35.7° |
| Initial Value        | 219.02° | 1.15°  | 1.30° | 33.9° |
| Result Value         | 218.06° | -0.19° | 0.41° | 35.3° |
| Error                | 0.05°   | -0.04° | 0.11° | 1%    |

Table 4는 위에서 시험한 영상세트를 사용한 정합 알고리즘의 성능을 보여준다. 실제(true) 카메라 자세 파라미터인 yaw, pitch, roll 각각에 대해 +1°, -1°, +1°의 자세오차와 카메라 스케일(FOV) 오차 4%를 부여하여 정합보정을 수행한 결과를 나타내고 있다[9][10].

3.6.2 고도오차 보정 시험

정합된 영상을 이용하여 두 영상간 특징량 대응점에 대한 고도오차 보정시험을 수행하였다. Fig. 24(a),(b)는 실제 카메라 영상 및 고도오차가 부여된 depth map 영상을 나타내고, Fig. 24(c)는 두 영상간 능선 대응점에 대한 고도오차 부위를 나타내며 5개 대응점에서 고도오차가 발생하는 것을 확인하였다. 항공기에 카메라를 장착하여 동일한 지역을 시차를 두고 연속 촬영하여 8장의 영상을 확보하였다. 이렇게 동일 지형에 대한 영상에서 5개의 오차지점에 대한 고도오차를 추정하였을 때 Table 5와 같은 값을 얻었다.

고도 오차가 추정되지 않은 영상은 항공기가 움직임에 따라 지형이 순간적으로 보이지 않게 되었기 때문이다. 각각의 영상에서 추정한 고도 오차는 같은 지형이므로 각 영상에서 추정된 고도 데이터의 오차범위는 근사값으로 나와야 한다. 시험 결과로서 Table 5와 같이 각기 다른 위치에서 추정한 고도 오차 값이 DEM의 규격치(DTED II)와 유사한 오차분포를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 제안한 알고리즘으로 추정한 고도 데이터 오차가 신뢰할 수 있음을 나

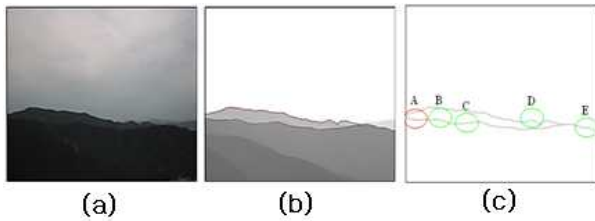


Fig. 24. (a) Real camera image (b) Depth map image with error insertion (c) Altitude error point

Table 5. Test results of altitude error

| frame | 1     | 2      | 3     | 4     | 5      | 6      | 7  | 8    |
|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|----|------|
| A     | -10   | -12~-9 | -8~-7 | -8    | -11~-8 | -16~-8 |    |      |
| B     | 10~14 | 10~14  | 9~16  | 9~12  | 9      | 9~14   | 9  | 9~10 |
| C     |       |        | 11    | 10    | 10     | 9      | 9  | 9    |
| D     | 20    | 20     | 20    | 20    | 20     | 20     | 20 |      |
| E     |       | 11~14  | 11~14 | 10~13 | 10~19  |        |    |      |

타낸다. 따라서 고도오차 결과를 이용하여 3차원 전자지도의 고도 데이터를 보정함으로써 고신뢰도의 3차원 전자지도를 시험할 수 있게 되었다 [7][8].

3.7 헬멧셸 시험

이너셸 및 아우터셸로 구성되는 헬멧셸은 탄소 섬유직물, 에폭시필름 및 폴리프로필렌 직물(innega) 등의 복합소재를 적층하여 금형틀에서 가열(120°C), 가압(25psi)하는 성형공정으로 제작하였다. 고강성을 유지하면서 중량을 최소화하기 위해 복합재의 구성 및 적층수에 대한 다양한 시험을 통해 최적 적층조합을 산출할 수 있었다. Fig. 25(a),(b)는 이너셸 및 아우터셸의 적층조합 구조를 나타내고 있고 Fig. 25(c),(d)는 이너셸과

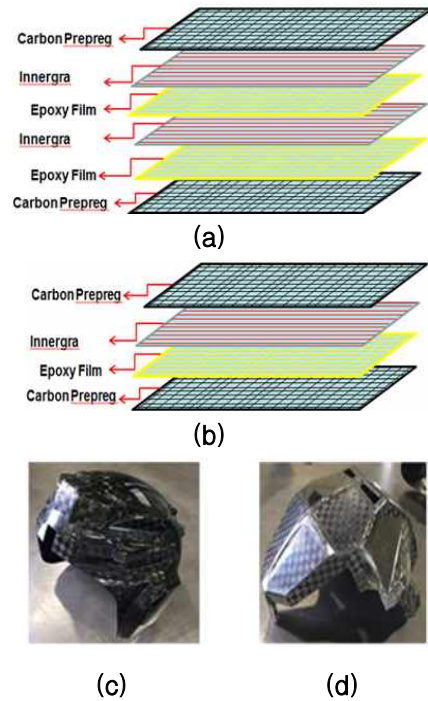


Fig 25. (a),(b) Laminate composite of outer shell and inner shell (c),(d) Product of outer shell and inner shell

Table 6. Test results of environmental test

| Test Items    |                          | Test Spec.            | Result |
|---------------|--------------------------|-----------------------|--------|
| Environmental | High Temperature Storage | MIL-STD-810G 501.5    | PASS   |
|               | Low Temperature Storage  | MIL-STD-810G 502.5    | PASS   |
|               | Thermal Shock            | MIL-STD-810G 503.5    | PASS   |
|               | Salt Spray               | MIL-STD-810G 509.4    | PASS   |
|               | Fungi Test               | MIL-STD-810G 509.5    | PASS   |
| Performance   | Shock                    | ANSI 290.1, KS G 7001 | PASS   |
|               | Punctuation              | ANSI 290.1, KS G 7001 | PASS   |
|               | Chin-belt                | KS G 7001             | PASS   |



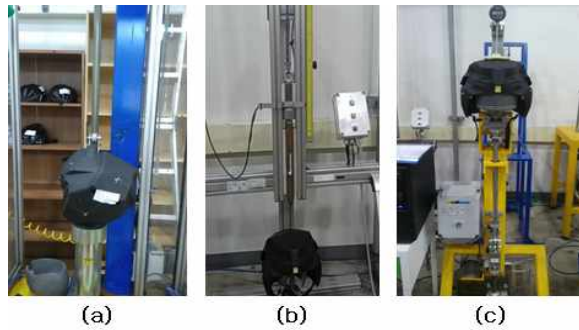


Fig. 26. (a) Impact test (b) Penetration test  
(c) Chin-belt test

아우터셸의 제작형상을 나타낸다.

성능을 시험하기 위해 MIL-STD-810G를 준용하여 고온시험, 저온시험, 온도충격, 염수분무 및 균류시험을 Table 6과 같이 시험하여 모든 항목에서 합격하였다. 충격시험은 Fig. 26(a)와 같이 KS G 7001 규격을 준수하여 정수리(4.87m/s), 정면(6.0m/s) 및 측면(6.0m/s)의 충격조건으로 시험하였고, 관통시험은 Fig. 26(b)와 같이 1미터 높이의 원뿔팁 3Kg 을 자유 낙하하여 시험하였다. Fig. 26(c)는 턱끈시험으로서 90.72Kg의 힘으로 당기는 시험을 수행하였다. 충격시험, 관통시험 및 턱끈시험에 대한 결과는 Table 6과 같다.

#### IV. 결 론

본 연구에서 항공기 조종사에게 증강현실을 제공하는 지능형 헬멧시현시스템(IHDS)을 설계 및 구현하여 시험을 통해 그 기능과 성능을 검증하였다. 세계적인 추세를 반영하여 양안형 바이저에 3차원 전자지도, FLIR 영상, NVC 영상을 시현하고 하이브리드 자세추적 기법 및 경량 복합재 헬멧을 적용하였다.

본 설계연구에서 3차원 전자지도 데이터의 고도오차 자동보정을 통한 정합, 다색 시현기, 넓은 FOV를 제공하기 위한 회절 광학소자, 미간거리와 동일한 광입사면을 갖는 장,탈착형 NVC 및 헬멧의 견고한 고정을 위한 에어포켓 등의 신개념 기술을 설계 제안하여 구현하여, 그 효용성이 검증되었다. 본 연구를 통해 시스템 설계기술, 핵심 요소기술을 확보하였고, 향후 항공기 적용을 위한 운용성 검토를 통하여 부분적 성능개량과 고신뢰성을 확보할 예정이다.

#### References

1) Sang-Hyun Hwang and Chul-Ju Chung,

"The Trend Analysis of Leading-Edge Technology for Defense System," Defense System Trend Analysis, Vol. 27, pp. 23-26, Mar. 2013.

2) Sang-Hyun Hwang, "The Conceptual Design of HMD System using Multi-Sensor Image Data Fusion and Stereography Display Technology," ASSK Vol. 2, No. 2, pp. 113-129, July, 2013.

3) Sang-Hyun Hwang, Chul-Ju Chung and Dong-Sung Kim, "Design and Implementation of Real-Time Helmet Pose Tracking System," Journal of KSAS, Vol.44 No. 2, pp. 123-130, Feb. 2016.

4) Chul-Ju Chung and Sang-Hyun Hwang, "Design and Implementation of Helmet Tracking Sensor using FPGA," 2014 KSAS Fall Conference, pp. 1667-1670, Nov. 2014.

5) Chul-Ju Chung, Sang-Hyun Hwang, "Study on the Design of Onboard Helmet Tracking Software" 2015 KSAS Fall Conference, pp. 2110-2113, Nov. 2015.

6) Jung-Ho Kim, Young-Sik Kim, Kyum-Rae Jo and Dae-woo Lee, "Elements of Error Analysis of Optical HTS Algorithm and Optimization Algorithm for Initial Alignment Angle", 2015 KSAS Fall Conference, pp. 447-450, Nov. 2015.

7) Eung-joo Lee, Young-woo Jeon, Yong-jin Lee, Sang-hyun Hwang, Jong-beom Ra, "Automatic registration of an aerial image to the 3D digital elevation model using a skyline" 2015 IEIE Summer Conference, pp. 737-738, Jun. 2015.

8) Eung-joo Lee, Young-woo Jeon, Chan-hum Park, Sang-hyun Hwang, Jong-beom Ra, "Registration between camera image and digital elevation model", 2015 IPIU 27<sup>th</sup> Workshop, Feb. 2015.

9) Young-woo Jeon, Yun-sung Bae, Chan-hum Park, Sang-hyun Hwang, Jong-beom Ra, "Elevation error detection using DEM and camera image", 2013 IPIU 25<sup>th</sup> Workshop, Feb. 2013.

10) Young-woo Jeon, Yun-sung Bae, Chan-hum Park, Sang-hyun Hwang, Jong-beom Ra, "Improvement on Error Estimation of Digital Elevation Model based on a Camera Image", 2013 IEIE Conference, pp.709-710, Jun. 2013.