

조종사 헬멧장착 시현기(HMD) 개발동향

국방기술품질원 기술기획본부 기술정보센터
책임연구원 한 상 순 · 위촉연구원 김 효 경

개요

공중환경에서 헬멧장착 시현기(HMD: Helmet-Mounted Display)는 수년 동안 헬리콥터에 장착되어 온 반면 고정익기, 특히 전투기가 이 기술을 채택하는 데에는 시간이 더 걸렸는데 머리 조종(head-steerable) 센서가 상대적으로 부족하고 Off-Boresight 공격 능력이 약하기 때문이었다. 그러나 헬멧 장착식 조준경(HMS: Helmet-Mounted Sight) 확산의 시초가 된 AIM-9X와 같은 고도의 Off-Boresight 적외선 유도미사일과 이스라엘 Elbit사의 헬멧조준시스템(DASH: Display And Sight Helmet)과 이와 연동된 헬멧장착 큐잉시스템(JHMCS: Joint Helmet-Mounted Cueing System)의 등장으로 더욱 정교해진 HMD가 광범위한 전투기에서 운용되고 있으며, 비행/무장 부호 외에도 센서 영상이 완전히 오버랩 된 양안 전시 방식이 특징인 이 시스템은 유럽의 Eurofighter사의 Typhoon기와 미국의 록히드 마틴사의 F-35기 등 제4~5세대 전투기용으로 개발되고 있다.

회전익기용 기본형 HMD는 Honeywell사의

통합 헬멧 시현기(IHADSS: Integrated Helmet And Display Sight System)인데, 이 장치는 AH-64 표적획득지정조준기/파일럿 야시센서 체계(TADS/PNVS: Target Acquisition Designation Sight/Pilot Night Vision System)로부터 비행/무장 데이터와 센서 영상을 전시한다. 최초의 주문제작형 HMD로 Apache헬기 승무원들의 호평을 받았다. 헬멧 장착식 야시장비(NVD: Night-Vision Device)의 직시형(direct-view) 광학장비와 연계되어 센서 영상과 데이터를 완벽하게 오버랩 하여 양안으로 전시하는 탈레스사의 성능이 개선된 TopOwl 헬멧장착 조준/시현기(HMS/D: Helmet-Mounted Sight/Display)도 IHADSS에 속한다.

TopOwl과 Typhoon기의 HEA가 HMD 설계와 운용 중인 최첨단 체계를 대표하게 되면서 이들 고유의 능력으로 인해 획득비용이 상당히 증가했고 잠재적인 장착 플랫폼의 보충 방법/공격 체계와 탑재센서의 수요가 현격하게 증가했다. 이는 HMD의 최적 통합을 원활하게 하는 신형플랫폼 설계에 있어 중요한 이슈는 아니지만, 기존 항공기나 개조 시에는 HMD를



그림 1. AH-64 Apache 공격헬기 장착 IADSS

탑재하도록 설계되지 않았기 때문에 최첨단 HMD를 장착하는 비용과 장점 면에서 다소 불리한 것은 사실이다. 따라서 저렴한 비용으로 HMD의 가장 핵심적인 요구사항을 충족시킬 수 있는 더욱 간단하고 모듈식의 체계를 개발하기 시작하였다.



그림 2. 탈레스사의 TopOwl HMD

HMD의 특성

HMI(Human Machine Interface)로부터 기인한 몇 가지 흥미로운 생리적 이슈를 포함하여 기존의 고정익과 회전익기에 적용하는 데 필요한 핵심적인 설계/통합 관련 고려사항이 운용결과에 의해 밝혀졌다. 이러한 고려사항과 비교적 최신 기술 영향요소의 결합으로 덜 복잡하고 잠재적으로 효율적인 HMD 설계개발이 활성화 되었다.

Type I 시스템이라 불리고 영상이 광학장비에 직접 투사되며 광경에 대한 영상만을 제공하는 HMD 형태의 야시경(NVG: Night-Vision Goggles)과는 대조적으로 HMD는 전부 Type II로 영상이 간접적으로 투사되고 데이터나 센서 정보를 겹쳐 나타나게 하면서 조종사가 보조 광학장비 없이 외부광경을 볼 수 있게 해준다. 이와 같은 차이와 광학설계에 있어 NVG의 단순한 확대경 기능보다 표적에서 눈으로 영상을 전송하는 헬멧의 물리적 형상으로 인해 HMD의 광학적인 복잡성이 증가되었다.

Type II HMD의 광학적인 복잡성 증가로 HMD의 부피와 중량이 증가했는데, 전투기용으로 중력가속도 9g를 견딜 수 있는 표준형 헬멧의 중량은 약 1.4kg(MBU-20/P 산소마스크가 달린 HGU-55/P)이며 두개골 치수의 증가로 공중전에서 조종사의 목 근육에 주는 과도한 부담을 줄이기 위해 약 4kg이상의 JHMCS는 1.82kg으로 변경되었다. 헬리콥터의 중력가속도는 전투기보다 훨씬 더 낮지만, 회전익기 조종사의 머리에 더 높은 하중이 부가될 수 있다고 가정해서는 안 된다.

미국은 최대 HMD 중량을 정의하기 위한

연구에서 UH-60 헬기의 충돌상황을 토대로 하여 최적의 무게중심(CM: Center of Mass) 위치에서 목의 최대 인장강도는 2.5kg이 최대치라는 것을 밝혀냈다. 목의 회전 중심점보다 짧은 거리인 종방향 무게중심과 결합한 이마 장착 영상증폭관(IIT: Image Intensifier Tubes)에서 디스플레이 바이저까지의 직접 광학적 연결장치(optical train)를 고려해 보면 2.2kg 중량의 TopOwl은 굉장하다고 할 수 있다. 실제로 TopOwl은 훌륭한 균형을 갖춘 편안하고 안정된 헬멧으로 전통적인 NVG에 경험이 있는 조종사라면 피로감 없이 TopOwl을 장시간 장착이 가능하도록 종방향 무게중심이 현저히 후방으로 이동한 점이 마음에 들 것이다.

대부분의 광학 설계에 있어 접안경과 눈 초점과의 거리(Eye Relief)에 대한 요구사항인 HMD 광학계로 생성된 가시영상의 크기를 나타내는 매우 작은 출사동(Exit Pupil)이 있다. 헬멧의 착용감은 출사동이 눈에 맞춰 조정될 수 있도록 정확하고 안정되어야 한다. Eye Relief 10mm에서 IHADSS의 출사동 직경은 10mm

이며 운용 중인 표준형 승무원 헬멧으로는 HMD 적용 요구사항인 안정성을 충족시키지 못한다.

따라서 헬리콥터용의 TopOwl, Knighthelm HMD와 Typhoon기의 HEA, F-35 전투기의 HMD 등은 맞춤형 이중 헬멧으로 되어 있다. 조종사의 헤드 부분은 레이저 주사식이고 개별적인 기본(내부) 헬멧은 항공기의 역학적 영역 전체에 대한 안정성과 시선이 시현기(외부) 모듈과 정확히 동일선상에 놓이도록 제작되었다. 반면, IHADSS의 출사동은 작고 조종사가 결합기와 제대로 정렬할 수 있도록 조절이 잘되는 광학장비와 조합된 단일형 주문 제작식 헬멧이다.

JHMCS는 구경 18mm의 출사동으로 되어 있으며 개조된 HGU-55/P 헬멧에 보강재로 목덜미를 보강하고 바이저의 조리개로 미세 조정된다. 이중 헬멧 설계의 TopOwl은 고정된 동공 간 거리(IPD: Interpupillary Distance)에서 타원형(10x15mm)으로 된 출사동인 반면, Typhoon기의 HEA는 기계적으로 조절되는 3개의 IPD 세팅 방식이면서 출사동이 약 18mm이다.

이중 시현장치

전투기와 헬리콥터 조종사는 외부 광경을 단일영상으로 보는 Type I NVG에 익숙해져 왔으나, 결합기를 사용하는 Type II HMD는 조종사 가시선상에서 보조 센서영상과 원래의 외부광경의 직접적인 영상(direct view)을 볼 수 있다. 이 센서 위치는 조종사의 눈에 투영되는 다양한 시점(point of view, 視點)에 따라 헬멧이나 플랫폼상이 될 수도 있다.



그림 3. 전투기 표준형 JHMCS

높은 투과방식의 바이저가 장착된 HMD로 조종사는 투영된 영상을 통해 실세계의 물체를 볼 수 있게 되었다. 관심 지점에 대한 거리가 1,000피트 이상으로 상당히 멀고 조종사의 시선에 가까운 헬멧이나 플랫폼에 센서가 장착된 경우(Apache헬기의 PNVIS 등)에는 실상과 허상이 서로 겹쳐진다.

그러나 호버링 중인 헬기의 관심 지점인 근거리나 센서 시차(parallax)가 더 큰 경우에는 실상과 투영된 영상 간에 오동록이 발생한다. 더욱이, 실상이 양쪽 단안경(오버랩 영역)의 FoV 내에 놓여 있는 쌍안경의 경우 이중영상을 초래하여 혼란과 방향상실을 일으킬 수 있다. 야간의 I2 상황에서 도시환경처럼 외부광경에 여러 광원이 있는 경우, 이 광경에서 시각화된 효과적인 광원의 수는 증대되고 조종사가 실제 광원과 가상 광원 간에 시선을 이동하면서 각 광원의 인지된 밝기는 변한다. 따라서 복잡한 시각적 장면을 생성하고 조종사에 따라 변화므로 정확한 해석을 위해서는 더 많은 인지적 노력이 필요하다.

최적의 종방향 무게중심을 획득하기 위해 헬멧 장착 센서를 포함하고 있는 HMD는 조종사의 시선에 따라 흔히 헬멧 측면에 NV 카메라나 IIT를 둘 수 있어 목의 긴장감 완화를 위한 무게중심의 위치를 미세하게 조정할 수 있다.

그러나 이러한 배열로 인해 IPD에 있어 통상거리의 대략 2~4배 정도가 인위적으로 증가되고 있다. 이러한 외측 양안 간의 분리가 확대되어 200피트 이하의 근거리에서 볼 때 기록에 의해 충분히 입증은 되었으나, 복잡한 시각상의 이상(visual anomaly)을 초래한다. 그 결과는 hyperstereopsis와 강화된 입체라고도

하고 초입체(hyper stereo)라고 하는 상황이다. 이 효과로 뇌는 물체를 실제보다 더 가깝게 인지한다. TopOwl과 Knighthelm의 비행시험 동안 조종사들은 지상으로부터의 높이와 거리에 대해 실제보다 물체를 더 가깝게 느끼고 더 낮은 고도에서 비행하거나 공중에서 정지하는 등의 잘못을 저질렀다고 한다. 그러나 조종사는 상대적으로 적은 시간의 비행을 한 이후에 이러한 효과를 상쇄할 수 있었다고 한다.

조종석은 외부 장면에 대한 조종사의 시각적 장애를 최소화하면서도 추락, 조류 충돌 등에 대한 보호기능을 제공하도록 설계되어 있다. 대부분의 조종석에 NVG를 도입한 것은 Type I NVG의 눈 위치가 단지 약간 앞으로 이동한 이후 문제가 되지 않았다. 그러나 헬멧의 측면에 장착된 현 Type II HMD NVD로 조종사의 효과적인 시점(視點)은 더욱 넓어지고 원래 외부 영상을 차단하지 않던 창이나 조종석 유리덮개 틀과 같은 조종석 구조물은 헬멧 장착 센서의 조준선상에 위치하게 될 것이다. 조종석에 통합된 HMD는 조종사가 조종석의 장애물을 넘어서 보기 위해 머리 움직임이 예상보다 더 많이 필요하기 때문에 작업량이 증가한다.

조종석 장애물은 바이저 디스플레이를 장착한 Type II HMD의 헬멧장착 센서로 외부광경을 보는 것을 차단하기 때문에 어려움을 야기하고 규모가 큰 조종석에서 조종사에게 전시되는 영상은 혼란을 줄 수 있다. 효과적으로 외부광경을 차단하는 것 이외에도 이러한 구조의 허상은 바이저로 투사되는데, 구조를 단안경으로만 본다는 가정하에 센서와 조종사의 시선이 일치하지 않으면 조종사는 2개의 영상을 보게 될 것이며 실상과 투영된 영상은 서로 좌우가

바뀌게 될 것이다. 그러므로 조종사가 인지하는 전체 광경은 클러터 현상이 심화되고 시각계(visual system) 효능에 상당한 영향을 미치게 된다. 게다가 투명 캐노피에서의 반사 영상이 헬멧 탑재 센서와 육안으로 보이는 경우, 모든 FoV에서 세부 장면은 흐려지면서 HMD FoV 내의 반사영상은 증가할 것이다. 이와 같은 효과에 의한 심각성은 시현기나 조종석 내부 시현기의 유형과 조종석 외부로 주시할 때 여러 각도에서의 헬멧장착 센서 위치에 따라 달라진다.

HMD에 있어 부피가 큰 광학장비와 필요 이상의 중량을 줄이기 위해 이미지 소스(통상적으로 소형 음극선관이나 능동형 매트릭스 액정 표시장치(active matrix liquid crystal display)) 간의 광학 단계의 수를 최소한으로 유지해야 한다. 플랫폼 탑재 센서는 이미지 소스에 아날로그나 디지털 신호를 제공하는데, 이는 Typhoon기 HEA와 같이 간접적으로 연결되거나 TopOwl과 같이 시선으로 직접 연결될 수도

있다.

간접적인 방법으로 광학단계(각 단계마다 최종 영상의 선명도가 감소됨)의 수는 감소되고 있지만, 영상을 신호로 변경하고 전시 전으로 다시 되돌려야 한다. 표준 IIT와 시선의 직접 결합은 현재로서는 최고의 3세대(GaAs 비화갈륨 광음극) 증폭관의 성능에 상대가 되지 않는 반도체, 저조도 카메라와 비교하여 광학 성능을 향상시켰고, NVG를 야간 작전용 시현기와 결합하면서 DASH 야간 모듈과 JHMCS Night-Vision Cueing Device(NVCD)와 같은 몇가지 ‘하이브리드’ 주/야간 시스템이 탄생하게 되었다. DASH 야간형은 우측 단안경이 장착된 표준형 이중의 AN/AVS-9 NVG로 되어 있으며 헬멧에 주간 모듈과 동일한 인터페이스로 장착된다.

헬멧장착식 광학장비의 크기는 축소되고 있기는 하지만, Eye-Relief 요구사항은 여전히 작은 출사동에 영향을 주고 있다. 출사동이 작고 맞춤형 헬멧이 필요한 몇 가지 체계의 예를 보면, 헬멧과 화생방, 레이저 시력보호 등의 지원 장비인 기존의 승무원 장비(AEA: Aircrew Equipment Assemblies)를 유지할 수 있으므로 출사동이 더 큰 경우 헬멧 착용감/안정성에 있어 편안할 수 있다고 추정하는 것은 타당하다.

BAE Systems사는 HMD에 광학장비의 통합문제를 해소하는 기술을 개발했다. Q-Sight HMD는 반사와 굴절 광학을 결합한 전통적인 반사굴절식(Catadioptrics) 설계방식을 완전히 배제하고 홀로그래픽 도파관(waveguide) 원리를 채택하고 있다. 유리나 플라스틱과 같은 투과형 기질을 통해 중방향으로 영상이 이동 가능하도록 만들었으며 그와 동시에 사용자는 영상화면의 크기를 조정할 수 있다.



그림 4. Elbit사의 야간형 헬멧조준시스템 DASH

투사된 영상을 전시하는 방식의 주요 장점으로는 출사공이 약 35mm로 확대되어 가시선(LoS: Line of Sight)의 안정성 제고를 위한 맞춤형 헬멧의 필요성을 감소시켜주고 있다는 점이다. 따라서 헬멧의 움직임으로 인해 시현기 영상을 보지 못하는 위험요소 없이 사용자는 비교적 느슨한 표준형 헬멧과 NVG의 착용이 가능하다.

Q-Sight는 부호(symbology)를 단안경이나 쌍안경에 표시하고 플랫폼 탑재 비디오(FLIR) 등의 IHADSS와 유사한 잠재적인 능력을 제공할 가능성이 있는 반면, Type I NVG를 추가함으로써 과도한 중량(배터리팩 포함 NVG의 중량이 800g), 역 종방향의 무게중심과 외부 광경의 차단 등 Type II HMD 개발 시 제거하려고 했던 일부 바람직하지 않은 특성들이 있다.

전투기와 대조적으로 헬리콥터 HMD의 양호한 시각적 예민성에 대한 요구사항은 명확하다. 호버링, 주/야간 지형추정 비행, 시야 상실/등화관제 이륙 상황과 도심지역 내/주변의 작전 등 이 모든 사항에서 조종사는 임무 수행 동안 상황 인식력을 유지하기 위해 최고 수준의 시각적 예민성이 필요하다. 이 외에도 쌍안경 체계는 수평으로 FoV를 확장할 수 있다. 한편, AN/AVS-10(V) 파노라믹 야시경(PNVG: Panoramic Night-Vision Goggle)과 같은 광시야각체계는 전투기에서 운용되며 앞서 언급된 이유로 이론의 여지는 있지만 더 넓은 수평 FoV에서 헬기 조종사에게 훨씬 유리하다. 그러나 이를 얻기 위해서는 광학체계의 FoV와 해상도 간의 반비례 관계를 정의하는 광 불변치(Optical invariant)는 쌍안경 디스플레이의 부분적인 중첩을 필요로 한다.

Elbit사는 자사의 모듈식 통합 시현 및 조준 헬멧(Modular Integrated Display And Sight Helmet, 50°x40°, 2개의 40° 원형 IIT FoV가 부분적 중첩)과 최근에는 JedEye(80°x40°, 2,250x1,200 픽셀로 된 2개의 평면 디스플레이 사용)와 더불어 이러한 접근방식을 견지해 오고 있으며 JedEye는 H-64기 등의 헬기 성능 개량용이다.

향후 발전방향

더욱 정교해진 통합과 관련된 고급체계를 도입하고자 다양한 항공기와 조화가 잘되는 단순한 모듈식 HMD의 개발로 공중 HMD 시장은 현격하게 확장되었다. 향후, 하이브리드 주/야간 HMD에서 전통적인 Type I NVG에 대한 의존도는 과도기로 보아야 할 것이다. Q-Sight의 큰 출사동이 HMD 비디오 및 부호 데이터와 다양한 플랫폼의 간단한 통합을 원활하게 하지만 저조도 TV가 현재 고정익기에서 항공기 조종을 위해 충분한 시각적 예민성을 제공한다는 것에 의문이 있기 때문이다.

차세대 HMD는 플랫폼과 훈련부문에서 성능이 향상된 운용능력을 제공하기 위해 이와 같은 개발과 결합하게 될 것이다.

참고자료

International Defence Review (2010.7.12)