

야간투시경 인간공학요소 및 공간방향상실

권중광

국방과학연구소

김환우

충남대학교 전기정보통신공학부

Human Considerations and Spatial Disorientation for Night Vision Goggle

Jong-Kwang Kwon and Whan-Woo Kim

1. 서 론

현대 야간전투에서 항공기들은 생존성과 정확성 및 특수 작전임무를 완벽하게 수행하기 위하여 야간투시경(night vision goggle, NVG)을 도입하고 있다. 선진국에서는 1990년대부터 본격적으로 전투기에 야간투시경을 사용하고 있으며 야간투시경을 항공기에 적용하기 위해서는 항공기 조명체계를 야간투시경과 호환성(compatible)있게 수정해 주어야 하며 이와같은 조명체계를 야시조명계통(night vision imaging system)라고 칭한다[1,2].

야간투시경은 인간이 눈으로 인지할 수 있는 가시광선 영역인 파장대역(0.4-0.7 μ m)에서 야간 자연 상태의 조명원(별빛, 달빛 등)에서 방사되는 에너지양이 가장 많은 근 적외선 파장대역(0.7-1.0 μ m) 부분에서 민감하게 반응하는 센서재료(GaAs)를 사용하여 미세한 빛을 수천 배까지

증폭하여 단색광(monochromatic)으로 낮과 유사하게 보여주는 장비이다. 적외선을 이용한 야간 영상 장비들인 야간투시경 및 전방관측적외선장비(forward looking infra red)의 사용 파장대역을 그림 1에 나타내었다.

야간투시경은 한국 공군에서도 일부 기종에서 사용되고 있으며 야시조명계통 부품들도 부분적으로 국산화 되었으며 이 분야 시험평가 체계는 완전히 자립화 되어 있는 실정이다[3].

한국공군에서 운용되고 있는 3세대 야간투시경은 협소한 시계로 인하여 장기적인 비행 시 비행 조종성 및 운용자 피로감이 유발된다고 보고되고 있으며 이러한 한계를 극복하기 위하여 일부 선진국에서는 야간투시경 시계를 확장하기 위한 노력을 1990년 후반부터 꾸준히 진행하여 최근에 파노라믹 야간투시경(panoramic night vision goggle)을 개발 및 운용하고 있는 실정이다[2,4].

시계 확장을 위한 야간투시경 개발과 병행하여 야간투시경의 구조적이고 운용적인 문제점들을 보다 심도 있게 파악하여 작전임무를 수행하는 것이 매우 중요하다 하겠다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 야간투시경 운용에 따른 인간공학적인 요소(human consideration), 상황인식 요소(situational awareness), 오인과 착시 요소(illusions and misperception) 및 공간방향상실 요소(situational disorientation) 등에 관한 지식 습득 및 인지하고 있음이 중요하다[5].

본 논문에서는 야간투시경 운용과 관련된 인간공학 및 상황인식 요소 등에 관한 내용들을 천착하여 공간방향상실에 관한 사고사례 및 극복 방법들에 관하여 기술하고자 한다.

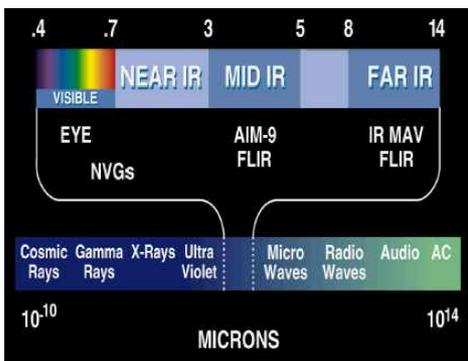


그림 1. 야간투시경 및 전방관측적외선 장비 운용 파장대역

II. 눈의 인식 메카니즘

자연 혹은 인공적인 빛을 받아들여 그 강도 및 색깔을 인식하는 기관은 눈이다. 인간의 눈의 단면적 및 빛을 인식하는 반응도를 그림 2에 나타내었다.

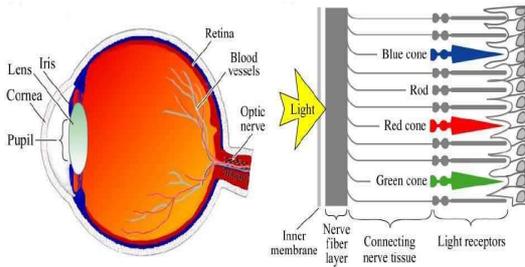


그림 2. 눈의 반응도

안구(eyeball) 내부는 빛을 인식하는 기관인 망막(retina) 덩어리로 피복되어 있다. 그림 2는 망막 셀 구조를 세부적으로 나타내었으며 그 구성 요소로는 빛 감지 부분인 시신경 간상체(rod) 세포들과 원뿔체(cone) 세포들로 구성되어 있다. 이 두 세포들은 인지된 정보들을 시신경을 통하여 뇌로 전달한다. 간상체 세포는 원뿔체 세포들 보다 많으며 빛에도 더 민감하게 동작한다. 또한, 가시광선 전 영역에서 민감하게 반응한다. 원뿔체 세포는 적색, 녹색 및 청색 스펙트럼 영역에 민감한 원뿔체 세포 세 종류로 분할된다.

인간 시각시스템(human vision)은 명소시(낮은 보기, photopic vision) 와 암소시(밤눈보기, scotopic vision)로 구성된다. 명소시는 주로 낮과 같은 환경인 강한 주변 빛 수준일 때 작용하며 555nm에서 최대의 밝기 감도를 가지며 색깔 식별과 고해상도 시각 및 초점된 시각(focal vision)을 가질 수 있다. 이 반응 메카니즘을 담당하는 세포는 원뿔체이다. 암소시는 야간환경에서 작용하며 507nm에서 최대의 밝기 감도를 가지며 저해상도 시각과 색깔 식별이 불능 하며 간상체 세포들이 담당한다. 그래서, 야간환경 하에서 작용하는 간상체 세포들로 인해 색깔 구분이 잘 되지 않으며 서로 다른 회색 수준의 형태로 인지되는 것이다. 그림 3에서는 명소시 및 암소시 환경일 때의 가시광선 파장대별 스펙트럼 크기를 나타내었다.

항공기에서 운용되는 야간투시경 사용 형태는 운전자 헬멧에 장착하여 조종실 외부는 야간투시경을 통하여 인지하고 내부는 육안을 통하여 보

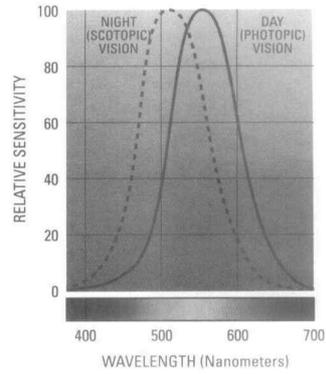


그림 3. 명소시 및 암소시 스펙트럼

기 때문에 명소시 와 암소시의 복합적인 상태에서 사용된다. 이 명소시와 암소시의 중간단계인 박명시(중등도조명시각, mesopic vision)의 모델이 야간투시경 운용 조건 모델로 사용된다. 즉, 야간투시경 초점된 시각에서는 원뿔체 세포들을 이용하고 주변상황 시각에서는 간상체 세포들을 이용한다.

III. 야간투시경 한계

야간투시경 주된 목적은 야간에 시각 인식(visual awareness)을 증대시켜주는 것이다. 시각인식을 증대시킨 야간투시경 사용은 지형 및 장애물 회피, 기동성 및 시각 항법(visual navigation) 증대, 기후 및 항적(air traffic) 정보를 실시간으로 보면서 입체적인 야간 특수비행, 적지 근접지원, 저고도 침투 및 조종사의 심리적 불안해소 등의 구체적인 효과를 볼 수 있다[5].

이와 같은 야간투시경을 이용하여 야간 작전을 효과적으로 수행하기 위해서는 몇 가지 제약조건들이 있으며 그 제약조건들을 효과적으로 극복하기 위해서 운용자는 야간투시경 작동 원리 및 자연환경에서 방사되는 에너지와 야간투시경과의 관계, 항공기 조명 특성, 조종사 심리상태 등의 특성들을 인지하고 있어야한다.

그 제약 조건들로는 야간투시경 설계 한계, 야간투시경 운용 최적화를 위한 항공기 설계 한계, 외부 자연 환경으로 인한 성능 한계, 운전자 심리 및 육체상태에 의한 피로 한계 등이다.

야간투시경 설계 한계로는 협소한 시계(field-of-view), 무게 제한, 단색광 영상(monochromatic image) 및 영상증폭관(image intensifier tube) 제작 한계 등이다. 항공기 설계 한계로는 야간투시경과 비 호환성(incompatible) 조명, 야간투시경

스캔을 위한 구조적 한계, 캐노피 혹은 바람막이(windscreen)의 근 적외선 투과성 등이다. 자연 환경으로 인한 한계로는 수증기(clouds, fog, haze)와 고형물(rain, snow, sand, smoke, etc)의 영향 및 다량의 근 적외선 에너지가 야간투시경 시계에 있을 때 성능이 저하된다. 심리 및 육체 상태 한계로서는 일량(workload)의 증가로 인한 전신피로, 장기간 비행 시 발생될 수 있는 목피로, 심도 지각성(depth perception) 및 거리 추정 실마리(cues)의 손상, 시각민감성의 저하, 공간방향 상실성의 증가 등이다[6].

이와같은 야간투시경 운용과 관련된 각종 한계들을 극복하고 야간투시경을 효율적으로 사용하기 위해서 고려해야 될 사항들로는 야간투시경 양호한 보관상태 유지, 야간투시경에 적합한 임무 부여, 야간투시경 기능적 작동 여부 확인, 호환성 항공기 조명, 운용자에 적합한 착용, 숙련된 교육, 비행전/간/후 조치, 야간투시경 조절 및 적합한 야간투시경 운용 환경 조건 등이다[7].

III. 공간방향상실

미 국방성 보고서에 따르면, 1993년부터 2002년까지 총 10년간 최대 재앙(class A mishap)급에 해당하는 사고로 인하여 750명의 항공 승무원이 목숨을 잃었으며 68억불의 재산가치가 손실되었다. 이중 32퍼센트 해당하는 부분이 공간방향상실(spatial disorientation, SD) 때문이라고 보고되고 있다[8].

이중 미 공군에 해당하는 공간방향상실 재앙은 총 25회에 걸쳐 나타났으며 주간 비행 12회 야간 비행 13회이며 야간비행 중 야간투시경 착용은 7회이다. 손실된 항공기는 A10A, F16C, F16D이다. 재앙과 관련된 항공기 및 카테고리를 표 1에 나타내었으며 재앙을 당한 항공기의 주간 및 야간 공간방향상실 비행시간을 알아보기 위하여 표 2에 주야간 비행운영시간을 나타내었다.

표 1. Mishap Data by Aircraft and Category

A/C	Cost(\$)	A/C Destroy	Ejection	Fatal	Day/Night	NVG MSHP
15 F16	259,427,142	14	7	10	8Day 7Night	4
7 A10	66,647,399	7	2	5	4Day 3Night	3
2 F15E	77,903,113	2	1	3	2Night	
1 F117	51,426,055	1		1	1Night	
25	455,403,712	24	10Ejection 7Successful	19	12Day 13Night	7

표 2. Day vs. Night Operations

FY	SD Day	SD Night	Total Flt Hrs	Day Flt Hrs	Night Flt Hrs
93	2		779109	667130.9	108187.6
94	4		742180	635128.9	103387.9
95		2	724484	619813.6	101069.7
96		1	711407	608298.8	99610.0
97		2	689880	589658.7	96874.5
98	1	3	685038	585519.4	96239.3
99	1	1	677612	579066.6	95250.4
00		2	647153	553203.1	90824.5
01	2	1	647484	553431.9	90851.2
02	2	1	677598	579369.9	94833.1
Total	12	13	6981945	5970621.8	977128.2

표 2에서 나타나듯이 비행 운영시간을 보았을 때 야간 운영 비행시간이 주간에 비해 약 1/6 정도임에도 불구하고 공간방향 상실에 의한 손실 회수가 13회인 것으로 보아 주간보다 약 6배 공간방향 상실로 인한 손실이 크다는 것을 알 수 있다. 이중 야간투시경 착용 회수가 7회이므로 야간투시경을 착용하고 작전임무를 수행하는 것은 굉장한 위험이 따른다는 것을 알 수 있다.

표 2에서는 언급이 되지 않았지만 MH-60, HH-60, MH-53 등의 회전익 항공기에서도 공간방향상실로 인한 재앙이 보고되고 있다[9].

이와같은 재앙에 원인이 되는 공통적인 인간공학적 요소로서는 항공 승무원간 협조 체제 미흡, 지상국과의 협조 체제 미흡, 기후와 임무를 고려한 비행계획 부족, 피로로 인한 집중력 저하, 자기과다확신(complacency), 훈련 부족, 부적절한 계기 스캔, 공간방향상실, 시각 오인 및 착시 등으로 기인한다. 이 중 공간방향상실은 지구표면, 중력 및 타 항공기에 대하여 위치, 움직임 및 고도에 관한 감각을 상실해 버리는 것이다.

야간투시경에 관한 훈련과 경험 부족, 협소한 시계, 줄어든 대조(contrast)로 인한 세밀한 지형 확인 부족, 감소된 시각 민감도, 야간투시경 불능으로 인한 갑작스러운 계기비행(instrument meteorological condition, IMC), 물체의 밝기 및 색도 변화, 야간투시경 쌍안경 상호간 해상도 차이, 그림자, 구름/안개, 달무리, 후광(halo), whiteout, brownout로 인한 영상 왜곡, 작전임무 과다 등으로 인하여 공간방향상실은 증대된다.

종합해 보면, 공간방향상실로 인한 재앙을 경감시키기 위하여 비행 전/후 철저한 계획 과 지상모의훈련을 통한 야간투시경 운용 환경을 완전히 습득하는 것이 중요하다.

비행전, 비행중, 지상훈련 부분으로 나누어 공간방향상실을 경감시킬 수 있는 사항들을 표 3에 정리하였다[10].

표 3. The methodology of reduced Spatial Disorientation for three areas

Steps	Items	Remarks
Preflights	NVG Limitations	target size, formation tactics, etc
	Environment Condition	moon now at low versus high angle, illumination level decreased, etc.
	Mission Profile	by thoroughly reviewing the mission profile
	Crew Coordination	who is looking in and who is looking out, maintaining altitude separation, maintaining the correct closure rate, etc.
	Adjustment Procedures	fine tune the goggle image
	Fatigue	to watch for signs of fatigue among flight members.
In-Flight	Scan Techniques	instrument scan versus outside aided scan versus outside unaided scan
	Mission Changes	the impact on the utility of NVGs. change in direction that results in overfly of low contrast versus high contrast terrain
	Changes in Environmental Conditions	critical information should be passed to all flight members.
	Integration of all Aircraft Sensors	integrate information from all aircraft sensors and flight instruments(e.g., FLIR, RADAR, NVGs, altimeter, etc.)
	Task Saturation and Fatigue	note any signs of fatigue or task saturation(e.g., poor airmanship, late in responding to tasking, poor decision-making, etc.)
Training	Conduct NVG/SD training during all major training periods	incorporating NVG/SD training will pave the way for SD training
	Use all training methods available	1) Academics : use of video, simulated mishap profiles, terrain boards, etc 2) Simulators: more realistic scenarios can be integrated into training 3) Flight training: availability of two-place aircraft, realism of the set-up, value compared to other training modalities, etc.
	Add NVG/SD training to periodic training requirements	physiology training, refresher training, re-currency training, etc.

도래하면 헬기 운용자는 정밀한 거리를 확인하기 위해서 하강각도를 높이는 경향이 있다.

야간투시경 착시와 오인에 영향을 미치는 요소들을 살펴보면, 훈련 및 경험 부족, 부적절한 야간투시경 초점 조절, 피로 및 과도한 임무, 스트레스, 적절치 않은 임무 계획, 야간투시경 영상 결함(wave distortion, spots, honeycombing, shear distortion, shading, edge glow), 결정적인 비행장면에서의 야간투시경 오작동, 기후 등으로 축약할 수 있다.

야간투시경을 착용하고 비행을 하는 운용자 들은 오인과 착시현상을 유발할 수 있는 요소들을 사전에 인지하고 있어야하며 그와 같은 상황이 도래 했을 시에는 적절한 회피 방법을 숙지하고 있어야 한다.

야간투시경을 최적으로 운용하여 공간방향상실을 극복하기 위해서는 종합적이고 체계적으로 다음과 같은 요소들을 인지함으로써 가능할 것이다.

- 1) 야간투시경 스캔 패턴 숙지
- 2) 적절한 휴식
- 3) 환경변화에 민감하게 대처
- 4) 완벽한 임무계획
- 5) 적절한 훈련과 경험
- 6) 실질적인 위험도 관리 제도화

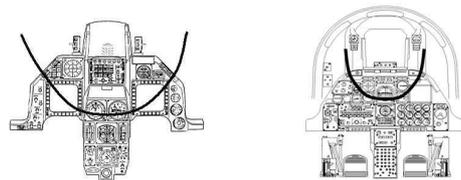


그림 4. NVG Obscuration Line

IV. 야간투시경 시각 착시와 오인

야간투시경 시각 착시(錯視) 및 오인(誤認)은 가랑비(light rain) 및 습도가 높은 조건에서 부주의한 계기비행 시 발생할 수 있다. 이와같은 현상의 원인은 야간투시경 영상 저하 및 순간적인 야간투시경 밝기 변화, 비대칭 적인 영상증폭관 이득으로 인해서 기인된다. 그 결과, 지표면 대조 차이로 인한 착시 현상이 발생되며 거리추정 오류 문제로 인한 오인 현상이 발생된다. 착시와 오인 현상은 저 고도 비행 헬기에서 전진주 전원선 및 송전 탑 등을 인식하기 곤란할 때 나타난다. 또한 달의 각도, 도시조명, 구름층, 야간투시경 brownout 및 whiteout 현상, 수증기 등으로 인해 오인이 야기될 수 있으며 이와같은 현상이

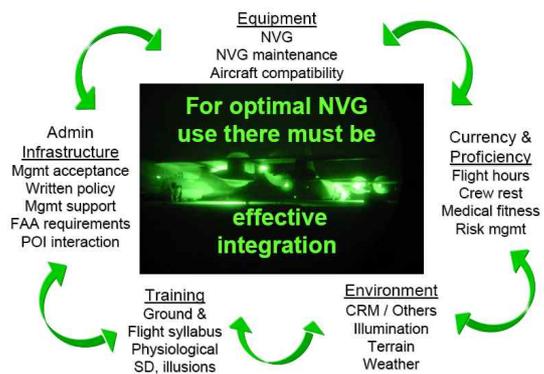


그림 5. 최적 야간투시경 운용 체계

덧붙여 야간투시경 스캔 패턴 시 야간투시경 시계와 육안으로 보는 시야의 경계선이 존재하며 이경계선 주위는 모호한 영역(obscuration line)이므로 그 영역 주위에 위치한 계기들을 조속히 스캔할 수 있도록 훈련하여야 한다. 이 모호한 영역은 항공기 조종실 배열에 따라 다르게 형성되며 F-16과 A-10 항공기의 모호한 영역을 그림 4에 나타내었다.

야간투시경을 착용하여 비행임무를 수행할 시 착시 및 오인 현상을 극복하여 최적의 환경으로 작전임무를 수행하기 위해서는 많은 요소들이 체계적으로 관리되어야 한다. 야간투시경 체계적인 운용에 관한 내용들을 그림 5에 나타내었다.

V. 결 론

현대전에서 야간전투 비율은 증가 추세에 있으며 정확한 목표물 조준과 운용자 심리적 안정감 및 시각 인식 능력을 획기적으로 증대시켜주는 야간투시경을 채택하여 작전임무를 수용하고 있다.

이와같은 장점에도 불구하고 야간투시경을 운용하기 위해서는 여러 가지 제약조건이 수반되며 이런 제약조건을 적절히 대처 및 극복하지 못하면 큰 재앙을 초래하게 된다. 야간투시경 착용 임무 중, 많은 항공기가 재난을 당하여 항공기 및 인명 손실, 막대한 경제적인 손실을 가져오고 있다.

이와같은 재앙의 원인은 주로 공간방향상실로 기인하며 이런 공간방향상실은 야간투시경 인간 공학적 요소, 자연 및 항공기 조명 환경, 그리고 운용자 육체 및 심리적인 영향과 밀접한 관계를 가진다. 특히, 시각 착시 및 오인으로 인한 공간방향상실이 재앙의 주된 원인이다.

본 논문에서는 야간투시경 공간방향상실과 관련된 원인과 그 해결책을 모색하여 한국 공군이 야간투시경을 운용하여 한 차원 높은 환경에서 임무를 수행하는 데에 여러가지 고려사항들을 기

술하였다. 본 논문을 통하여 야간투시경 운용 시 여러 가지 위험성을 인지하고 그것을 극복하기 위한 노력들을 경주할 시기라고 판단한다.

참고문헌

- 1) 권종광, 김환우, "저속통제기 야시조명계통 개발", 한국항공우주학회지, 제 34권, 제 5호, 2006, pp. 107-116.
- 2) 권종광, 김환우, "전술통제기 야시조명계통 개발 및 야간투시경 개발 과제", 한국항공우주학회 춘계학술대회 논문집, 2006, pp. 318-321.
- 3) J. K. KWON, and W. W. KIM, "Flight Tests of the KO-1 Aircraft at Night", Transactions of the JAPAN Society for Aeronautical and Space Sciences, in processing.
- 4) 권종광, 김환우, "파노라믹 야간투시경 시험 평가", 한국군사과학기술학회 학술대회 논문집, 2006.
- 5) 권종광, 김환우, "항공기 야간투시경 운용", 한국군사과학기술학회지, 제 9권 제 2호, 2006, pp. 34-41.
- 6) 권종광, 이용표, 이대열, 김환우, "야간투시경 운용 환경 연구", 한국항공우주학회 추계학술대회 논문집, 2006, pp. 901-904.
- 7) G. J. Salazar, "Human Considerations in NVG Operations", Association of Air Medical Services, July, 20005.
- 8) J. N. Sundstorm, "Flight Conditions Leading to Class a Spatial Disorientation Mishaps in U.S. Air Force Fighter Operation", USAF, BSC report, No. FY93-02, June, 2004.
- 9) W. E. Berkley and E. L. Martin, "Spatial Disorientation in Night Vision Goggle Operations", Air Force Research Lab., Warfighter Training Research Div., Nov. 2000.
- 10) J. C. Antonio, "Fixed Wing NVG Class A Mishap: Lessons Learned", Night Vision Conference, London, UK, Sep. 1998.