Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 21, No. 5 pp. 630-636, 2020

https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.5.630
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

항공기 시각 탐지 감소 위장기술 고찰

진원진
인하공업전문대학 항공기계과

A Review of Aircraft Camouflage Techniques to Reduce Visual Detection

Wonjin Jin
Department of Aircraft Mechanical Engineering Inha Technical College

요 약 본 논문에서는 군용 항공기의 시각 탐지(visual detection)를 지연시키는 위장기술에 대하여 조사하였다. 위장(camouflage)이란 관찰자에게 드러나 보이지 않도록 어떤 물체를 거짓으로 꾸미는 것으로 정의할 수 있다. 그러나 군사적 관점에서의 위장은 완전히 사라지게 하는 것이라기보다는 관찰자의 탐지시간을 연장하거나 탐지가능성(detectability)을 낮추는데 목적이 있다. 기본적으로 항공기 위장은 항공기 위치 탐지를 지연시킬 뿐만 아니라, 관측자에게 항공기의 속도와 고도, 진행방향에 대한 혼란을 유발하여야 한다. 따라서 저(低)탐지기술 또는 위장기술은 군용 항공기의 생존성 향상에 많은 영향을 미치므로 많은 연구가 지속적으로 진행되었다. 근접 지원 항공기 및 제공 전투기의 경우는 다색(multi-tone) 위장패턴과 반음영(counter-shaded) 위장패턴이 일반적으로 적용되고 있다. 아울러, 단색(mono-tone) 위장패턴 역시 색상(hue)과 명도(brightness)가 적절히 조절 및 조합되었을 때 위장효과가 큰 것으로 나타났다. 항공기의 위장 성능 향상을 위한 능동 시각 위장 기술(active camouflage techniques)에 관한 연구도 진행되었다. 특히, 발광 반사율이 높은 발광 장치를 사용하는 Counter-illumination 기술은 항공기 표면과 배경 하늘의 명도차를 최소화하여 위장 효과를 향상시켰다. 이와 같은 능동 시각 위장 기술은 시각 탐지에 비교적 취약한 저고도 무인기의 생존성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

Abstract This study reviewed camouflage techniques to reduce the visual detect-ability of aircraft. Visual camouflage can be defined as the process of making objects less visible. Aircraft visual camouflage delays detection of the aircraft position, speed, and flight direction. Multi-tone and counter-shaded schemes are generally adopted as camouflage patterns for close-air-support aircraft and air-superiority aircraft, respectively. Another study showed that the monotone scheme is also efficient when the hue and brightness of the camouflage color are controlled correctly. Active camouflage techniques for aircraft have been studied to increase the camouflage effectiveness. In particular, counter-illumination techniques using electroluminescence devices can minimize the difference in brightness between the aircraft and sky background. Active camouflage techniques are expected to enhance the survivability of low-altitude UAVs, which are vulnerable to visual detection.

Keywords : Aircraft Camouflage, Active Camouflage Technology, Visual Detection, Counter-shading Pattern, Counter-illumination

*Corresponding Author : Wonjin Jin(Inha Technical College)
email: jwonjin@inhatc.ac.kr
Received November 6, 2019 Revised March 20, 2020
Accepted May 8, 2020 Published May 31, 2020

1. 서론

위장(camouflage)이란 관찰자에게 드러나 보이지 않도록 어떤 물체를 거짓으로 꾸미는 것으로 정의할 수 있다. 실질적인 군사적 관점에서의 위장은 완전히 사라지게 하는 것이라기보다는 관찰자의 탐지시간을 연장하거나 탐지가능성 (detectability)을 낮추는데 목적이 있다. 항공기 위장은 항공기 위치 탐지를 지연시킬 뿐만 아니라, 관측자로 하여금 항공기의 속도와 고도, 진행방향에 대한 혼란을 유발하여야 한다[1]. 따라서 저(低)탐지기술 또는 위장기술은 군용 항공기의 생존성 향상에 지대한 영향을 미치므로 다양하고 지속적인 연구가 진행되었다. 항공기를 탐지하는 수단으로는 레이더탐지, 적외선탐지, 방출신호탐지, 시각탐지, 청각탐지가 있다[2]. 시각탐지는 인간의 시각 또는 광학장비를 이용하여 목표물과 그 위치를 찾아내는 것을 말한다.

항공기에 대한 시각탐지를 지연시키기 위한 시각 위장(visual camouflage)에 대한 연구는 항공기가 전쟁에 최초로 투입되었던 제1차 세계대전부터 시작되었다. 그러나 제2차 세계대전 이후 레이더 탐지기술이 비약적으로 발전하였고, 전면전 상황을 상정한 대규모 레이더 탐지 시스템과 레이더 및 고성능 적외선 추적 미사일 개발이 활발히 진행되었던 냉전시대에는 상대적으로 시각 위장에 대한 중요성은 높지 않았다. 그러나 2000년대의 아프가니스탄과 이라크에서 진행된 대테러 전쟁을 거치면서 시각 위장은 다시 주목받기 시작하였다. 대테러 전쟁의 특성상 레이더 또는 적외선 추적방식의 고성능 대공화기 시스템보다는 개인화기 및 로켓추진형유탄 등 시각탐지에 의존한 단순 대공화기로 인한 항공기의 피해가 증가하였다. 실제로 2001년부터 2009년까지의 아프가니스탄전쟁(OEF, Operation Enduring Freedom)과 이라크전쟁(OIF, Operation Iraqi Freedom) 등 대테러전쟁 기간 동안 교전 중 연합군 회전익기 격추 및 손실을 초래한 무기체계는 소화기, 로켓추진유탄, 및 MANPADS(Man-Portable Air Defense System)이며 레이더 유도대공무기에 의한 격추사례는 전무하다[3].

아울러, Table 1에 제시된 바와 같이 회전익기의 대테러전쟁 중 비행시간당 손실률은 베트남전과 비교하여 1/6수준으로 떨어졌다. 주된 원인은 야간비행장비의 발전으로 주간비행시간을 최소화하여 피해 규모를 급감시킬 수 있었기 때문이었고[3], 이는 회전익기와 같은 지상근접 지원·전투용 항공기에 대한 시각 탐지의 중요성을 반증하고 있다. 또한 저고도에서 저속으로 정찰 및 공격 임무를 수행하는 무인작전기의 배치가 확대됨에 따라 시각탐지기술과 이에 대한 은폐 및 위장기술의 중요성이 높아지고 있다. 특히 소형 무인기의 경우, 비교적 작은 체적과 낮은 적외선 방출량 때문에 레이더 및 적외선 탐지가 용이하지 않아 시각적 수단을 통한 탐지에 대한 의존성이 높다.

시각 탐지를 지연시키는 방법으로는 배경과 유사한 색채를 항공기에 도색하여 저(低)시인성(low visibility)을 확보하거나, 명암 대조를 모호하게 하는(counter-shading) 위장패턴을 사용하기도 하며, 관측자의 시각을 혼란시키는(disruptive) 위장패턴을 적용하기도 한다. 아울러 특별한 기술과 장치를 이용하여 위장하려는 항공기의 표면에 배경과 유사한 색채와 명도를 표현하여(background picturing) 시각 탐지를 지연시키는 능동위장기술(active camouflage technology)도 미국과 유럽의 항공기술 선진국을 중심으로 연구되고 있다. 하지만 관련 기술의 군사적 가치로 인하여 상세 연구내용은 발표되지 않고 단편적 수준으로 공개 및 보도되고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 공개된 자료와 정보를 바탕으로, 항공기용 위장도색의 종류와 효과 및 능동 위장기술의 연구사례에 대하여 살펴보고, 항공기용 시각위장 기술에 대하여 개략적으로 고찰해 보고자 한다.

Table 1 Rotorcraft Combat Hostile Action Losses[3]

Damage type	Vietnam	OEF/OIF
Losses	2,066	70
Fatalities	3,065	145
Losses per 105 flight hours	16.26	2.31
Fatalities per 105 flight hours	24.12	4.79

2. 항공기 위장도색

2.1 무도장(Bare Metal Color)

도색하지 않고 기체 표면처리만 하여 반사율이 높은 알루미늄 색채가 그대로 드러난 방식이다. 위장도료를 사용하지 않아 중량이 절감되고, 무광택 위장도료 사용에 의한 표면마찰항력 증가가 없으므로 항공기 속도 경쟁과 초음속 항공기 개발이 활발하던 1940년대와 1950년대에 보편화 되었다. 그러나 태양광 반사에 의한 시각탐지율이 높아 무도장을 적용한 군용 항공기는 점차 사라지게 되었다.

(a) (b)

Fig. 1. Bare Metal Color[4]
(a) B-25 (b) Mig-21UB

2.2 다색 위장패턴(Multi-tone Camouflage)

2종류 이상의 색상, 채도, 명도가 대비되는 색채로 이루진 위장패턴으로서 배경에 대하여 항공기의 윤곽을 흩뜨리게 하는 효과가 있다. 하늘배경과 비교하여 지상배경이 색상과 명도 대비가 보다 명확하므로 관측자가 항공기보다 높은 고도에서 내려다 볼 때 위장효과를 발휘하도록 저고도 작전기 또는 회전익기와 같은 지상근접지원 항공기의 도색방법으로 적용되고 있다. 비행시험을 통한 미공군의 항공기용 다색 패턴의 위장성능 시험에 의하면 RF-101 정찰기에 진녹색(dark green)과 흑색의 다색 위장도색을 한 RF-101 정찰기는(Fig. 2) 당시 미공군 표준 도색이었던 연회색(light grey) 단색의 동종 항공기 대비 지상 배경에 대하여 높은 위장효과를 나타내었다[5]. 즉 Table 2에 제시된 바와 같이 육상을 배경으로 높은 고도에서 관측하였을 때 단색표준도색의 RF-101(standard)은 총 62회의 비행 중 55회가 육안요격(visual interception)되어 11.3%의 육안요격 실패율을 나타낸 반면, 다색 위장패턴이 도색된 RF-101(camouflage)은 44.4%으로서 위장성능이 대폭 향상되었다. 아울러 관측거리(1~6NM)에 따른 육안요격성공율의 비교결과도 Fig. 3에 나타나 있다. 모든 거리에서 다색 위장도색의 RF-101이 낮은 육안요격율을 나타내었고, 6NM(11.1km) 거리에서의 육안요격율은 0%임을 볼 수 있다.

Fig. 2. Multi-tone Camouflaged RF-101[6]

Table 2. Effect of Multi-tone Camouflage[5]

Type	Standard	Camouflage
Intercepts Attempted	62	54
Effective Intercepts	55	30
Ineffective Intercepts	7	24
Percents Ineffective	11.3%	44.4%

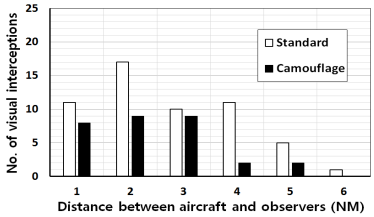


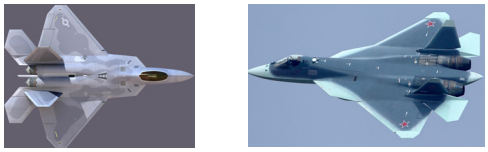
Fig. 3. Visual Interceptions in Different Distances[5]

그러나 다색 위장패턴의 경우 명도의 대비가 극명하므로 명도 변화가 크지 않는 하늘을 배경으로 작전하는 제공(air-superiority)전술기에는 적합하지 않다. 특히 1965년 미공군에서 실시된 정찰기 위장도색 테스트에서 다색 위장패턴을 적용한 항공기는 회색 단색 항공기에 비교하여 하늘을 배경으로 지상에서 관측되었을 때 시각적으로 보다 크게 인지되고 위장효과도 떨어지는 결과를 보였다[8].

2.3 반(反)음영 위장패턴(Counter-shaded)

주행성 동물의 몸체 아래 어두운 부분의 표피나 모피의 색채가 밝게 진화되어 포식자의 탐지를 방지한다는 Thayer's law[9]에 착안하여 고안된 위장패턴이다. 태양광에 의하여 밝게 보이는 부분은 명도가 낮은 색으로, 그리고 반대로 그림자 지는 부분을 명도가 높은 색으로 도색하여 입체감을 상쇄시키고 전반적으로 물체를 평면으로 보이게 하여 형태 구분을 모호하게 하는 저(低)탐지성 확보에 목적이 있다. 주로 채도 및 명도 변화가 크지 않은 하늘을 배경으로 작전하는 제공전술기에 적용되는 위장패턴이며, 특히 전 세계적으로 MANPADS의 배치가 본격화되기 시작한 1970년대부터 적용사례가 증가하고 있다. 초기 항공기의 경우 동체에 적용하였는데, 근래 다수의 전술 항공기 및 무인기의 형태가 공력성능과 대 레이더 스텔스 성능 향상을 위하여 전익기(blended wing body aircraft)의 모습을 갖추고 있으므로 주로 항공기 상면과 날개 가장자리에 적용하고 있다.

반(反)음영 위장패턴에 주로 사용되는 색상은 회색계열인데 항공기가 원거리에서 관측되었을 때 명암 부분이 합쳐져 실제로 도색된 색상과 관계없이 거의 회색으로 관측되는 효과가 있다[7]. 단 회색 계열의 반음영 위장패턴은 지상근접임무에는 다색패턴보다 시각탐지율이 높은 단점이 있다.



(a) (b)

Fig. 4. Counter-shaded Schemes[4]
(a) F-22A (b) Su-57

2.4 단색 위장패턴(Mono-tone Color)

최근에는 비용절감을 위한 도장작업의 단순화와 유지보수의 용이성을 감안하여 단색 도장을 채택하는 경우도 증가하고 있다. 특히 전술항공기용 항법 및 탐색장비의 발전으로 인하여 야간작전이 원활해짐에 따라 반음영 패턴을 고려하지 않고 Gunship grey와 같은 명도가 낮은 회색계통의 단색을 도색하는 방법이 유행하고 있다. 특히 2006~2008년에 진행된 미육군 CH-47F 헬기 (Fig. 5(a)) 도색 선정을 위한 연구에 의하면, 각각 산림지역과 사막지역에 적합한 녹색(green)과 연갈색(tan)으로 이루어진 2-color 다색 위장패턴보다, 컴퓨터를 이용한 정교한 방법을 통하여 두 색채를 단색으로 조색한 위장색이 두 지역에서 보다 향상된 위장 효과를 나타냄을 제시하기도 하였다[10]. 아울러 공기의 밀도가 낮아 가시광선의 산란이 비교적 적고 어두운 성층권에서 작전하는 고공정찰기의 경우는 전면 검정색으로 도색하기도 한다(Fig. 5(b)).

(a) (b)

Fig. 5. Mono-tone Color Schemes[4]
(a) CH-47F (b) TR-1

2.5 데즐링/픽셀 위장패턴(Dazzling/Pixel)

Dazzling과 pixel은 격자무늬로서 시각 탐지 시간을 지연시키는 대표적인 disruptive 위장패턴이며, 제1차 세계대전 중 선박의 위장에 처음 적용되었고, 최근 위장효과가 다시 주목받기 시작하여 전투복과 항공기 도색패턴으로 채용되고 있다. 여러 가지 패턴의 시각 탐지 지연효과에 대한 실험에 의하면[11] Fig. 6에 나타난 바와 같이 20deg/sec (13km/hr at 10m distance)의 비교적 빠른 회전속도로 여러 가지 패턴이 도색된 물체가 움직일 때 checks, zigzag, vertical, horizontal 패턴 순으로 감지속도가 늦춰지고, 2차원 패턴인 zigzag와 checks의 경우, 패턴이 없는 plain과 비교하여 약 1.5 deg/sec 지연됨으로서 약 7.5%의 시각 탐지 지연율을 나타내었다. Dazzling 및 pixel 패턴은 각각 zigzag 및 checks와 유사하고, 이들 패턴은 높은 시각탐지 지연효과 및 위장효과에 의하여 Fig. 7에 제시된 바와 같이 실제로 군용항공기에 적용되기도 하지만, 높은 위장효과에 비하여 도장 작업의 복잡성 및 유지보수의 번거로움 등으로 일반화되지는 못하고 있다.

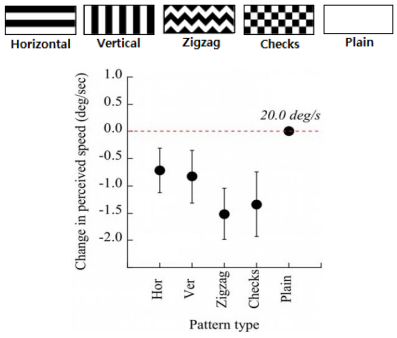


Fig. 6. Effect of Different Patterns on Perception Speed[11]

(a) (b)

Fig. 7. Dazzling and Pixel Schemes[4]
(a) Su-27 (b) F/A-18E

3. 항공기 능동 시각 위장기술 연구사례

3.1 위장막(camouflage cloak)

배경과 유사한 색채를 항공기 표면에 도장하여 시각탐지율을 낮추는 방식이 수동 시각위장기술이라고 한다면, 항공기 표면에 특수한 장치를 설치하여 배경의 색채와 명도 변화에 따라 능동적으로 위장색채와 명도를 조절하여 시각탐지를 지연시키는 방식을 능동위장기술(active camouflage technology)이라고 한다. 군사용으로 가장 활발히 연구 및 개발되고 있는 능동 시각위장장치 중

하나는 위장막 또는 위장 망토(camouflage cloak) 기술이다. 이미지 센서와 천과 같은 시현패널, 즉 위장막으로 구성된 경량 광전자(optoelectronic)장치를 이용하여 배경 이미지를 위장막으로 송출하여 시각적으로 물체를 보이지 않게 하는 기술이다[12]. 주로 지상에서 운용하는 군용차량과 전투복에 대한 적용기술이 연구 중이고, 항공기의 위장에 적용되기 위해서는 위장막 장치의 박막화 및 관련 장치의 경량화가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

3.2 Yehudi Light

제2차 세계대전 중 “Yehudi” project라는 이름으로 항공기 기체에 전등(light)를 설치하여 시각 탐지를 지연시키는 최초의 능동위장기술이 연구되었다. 항공기를 정면에서 관측하였을 때 기수와 날개 앞전 부분은 실루엣 때문에 명도가 비교적 낮고 이에 따라 배경하늘과의 명도차에 의하여 시각 탐지 가능성이 증가한다. 따라서 Fig. 8와 같이 TBM-3 항공기 기수와 주익 및 미익의 앞전에 “Yehudi lights”라고 불리는 전등을 다수 설치하고 어두운 실루엣 부분의 명도를 인위적으로 증가시켜 시각 탐지율을 감소시키는 시험을 진행하였다. Yehudi lights는 기수와 날개의 앞전에 설치되므로 공기역학적 성능을 악화시켜 실용화 되지 못했지만, 시각 최초시각탐지거리를 12 $mile$에서 2$mile$로 대폭 감소시키는 결과를 보여주었다[13].

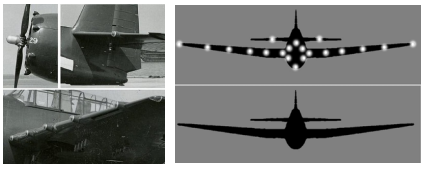


Fig. 8. Yehudi Lights(TBM-3)[15]

베트남전 중에도 Yehudi lights와 유사한 방식을 이용한 능동위장기술의 연구가 시행되었다. 비교적 체적이 큰 F-4 전투기의 시각탐지율을 낮추기 위하여 Fig. 9에 제시된 바와 같이 명도가 낮은 기체 측면과 하면에 총 9개의 고광도(high-intensity) 램프를 설치하여 비행시험하였고, 결과적으로 최초 시각 탐지거리를 약 30% 감소시켰다[14].

미국 Lockheed Martin社는 1970년대에 F-117 스텔스공격기의 전신인 “Have Blue” 항공기를 이용하여 레이더 탐지뿐만 아니라 시각 탐지에 대한 스텔스 기술도 시험하였다. Have Blue 항공기 동체와 주익 하면에 다수의 조명 기구를 설치하고 동체 상면의 색채감지기를 광섬유를 통하여 연결하여, 고도 변화에 따른 배경하늘의 색채, 특히 명도 변화를 감지하고 조명의 밝기를 조절하여 고도에 따른 시각 탐지 가능성을 감소시키는 능동 시각위장 기술을 시현하기도 하였다[16].

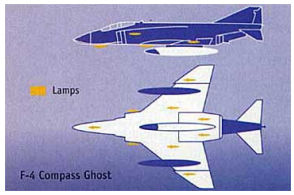


Fig. 9. Installation of Light Lamps for F-4[14]

3.3 Counter-illumination

색채(color)은 색상(hue), 채도(saturation), 명도(brightness)로 구성되어 있고, 위장을 위하여 항공기와 비행 중인 공중, 해상, 육지 등의 배경 간의 색상과 명도의 대조를 최소화하는 것이 중요하다. 아울러, 원거리에서 관측 시 대기효과 때문에 색상의 효과 역시 줄어들기 때문에 명도가 위장에 가장 중요한 요소가 된다.

명도는 항공기 위장색의 명도뿐만 아니라 항공기 표면의 발광 반사율(luminous reflectance)과도 관계있다. 명도의 경우 광원(light source)의 종류(태양 또는 달), 관측시각, 관측위치, 기상상태, 구름의 형태, 고도 등 많은 요소의 영향이 지대하므로 최대명도는 최소명도의 108배에 이른다[1]. 특히 구름으로 뒤덮인 하늘은 맑은 하늘보다 명도가 높고, 고도가 증가하여 성층권 이상에서는 대기밀도가 낮아지고 햇빛의 난반사가 감소하여 명도가 급격히 떨어진다. 일반적으로 명도가 높을수록 흡수되는 빛의 양보다 반사되는 양이 많으므로 명도와 발광 반사율은 비례관계에 있다[17]. Fig. 10은 고도에 따른 맑은 하늘의 주간 발광 반사율의 변화를 나타내고 있다. 명도가 가장 높은 색채인 백색의 반사율은 무광을 기준으로 약 60%로서[1], 고도 약 17,000ft 이상의 하늘에서 위장효과를 발생시키지만, 그 이하 고도에 조화를 이루는 색채는 존재하지 않음을 알 수 있다. 아울러, 구름 낀 하늘은 대체로 명도가 증가함에 따라 백색으로 대응할 수 있는 고도가 더욱 높아지게 된다. 따라서 대기 및 고도 변화에 따른 하늘의 명도 변화에 부합하는 단일 위장색을 결정하는 것은 어려울 뿐만 아니라, 낮은 고도의 하늘에서 완벽한 위장효과를 발휘하는 색채는 존재하지 않음을 보여 주고 있다. 따라서 counter-illumination 기술

은 색채를 항공기에 도색하는 대신 발광 반사율이 높은 발광(發光)장치를 항공기에 설치하여, 항공기를 아래에서 관측하였을 때 배경인 하늘과 명도 대조를 최소화하여 위장효과를 증가시키는 기술이다. 아울러, 앞서 소개한 Yehudi lights도 일종의 counter-illumination 위장장치라고 볼 수 있다.

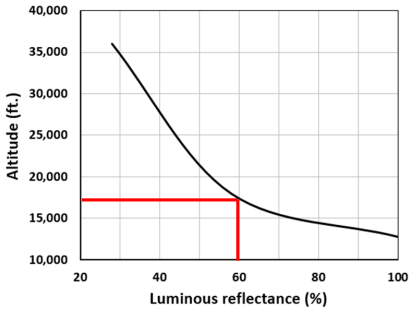


Fig. 10. Variation of Luminous Reflectance of Clear Sky[[1]

항공기에 대한 counter-illumination 기술시험의 사례를 살펴보면, 1996년과 97년 사이에 미공군은 구체적으로 공개되지 않은 기술을 통하여 항공기의 동체 배면과 주익 하면 등 명도가 상대적으로 낮은 부분의 명도를 증가시켜 시각 위장효과를 발생시키는 기술을 시험하였다[18]. 아울러 2005년 EADS社 (現, Airbus社)는 counter-illumination 기술을 응용한 것으로 추정되는 발광장치 또는 신소재 표면처리 기술을 통하여 800m 거리에서 항공기 또는 미사일이 시야에서 보이지 않게 하는 시각 위장기술을 연구 중이라고 발표한 바 있고[19], 영국의 BAE社 역시 신소재(novel materials) 개발을 통한 시각 탐지와 적외선 탐지에 대한 획기적인 항공기 위장기술을 개발 중이라고 2006년에 발표하였다[20].

또한 2008년에는 미국 캔자스대학에서 전자발광(electroluminescence)장치를 스팬 2m의 무인기 주익 하면에 설치하고 고도 1,000ft (305m)에서 시각탐지율을 감소시키는 counter-illumination 실험을 진행하였다. Fig. 11에 나타난 바와 같이, 무인기의 하면 색채는 배경인 하늘과 명도 대조를 이루어 윤곽을 식별할 수 있으나, 발광 장치를 작동하여 배경과 유사한 명도를 발생시키면 시각적으로 위장효과가 증가함을 볼 수 있다[21].

아울러, 2014년 영국의 Plextek社는 8×10 inch 크기의 상용 E-ink 패널을 장갑차 표면에 부착하여 주위 배경과 유사한 녹색과 갈색 이미지를 시현하여 시각적 위장효과를 발생시키는 능동위장장치 실험을 성공적으로 실시하였고, E-ink 패널 특성상 가볍고 에너지 소모가 적어 소형 무인기 표면에 부착하여 명도증가를 통한 시각 위장 적용 가능성을 시험하였다[13]. 또한, 미공군과 플로리다 대학은 electrochromic polymer를 사용하여 전투기 캐노피의 색채를 변환시켜 위장효과를 높이는 연구를 수행하였고, 이는 외부 Boeing B787의 객실 창문의 투명도 조절을 위하여 적용된 electrochromic shade 기술과 유사한 것으로 알려져 있다[22].

Fig. 11. Visual Stealth Experiment for a UAV using Electro-luminescent System[21]
(a) System-off (b) System-on

4. 결론

본 논문에서는 군용 항공기의 시각 탐지 감소 및 지연을 위한 다양한 위장도색의 종류와 능동위장기술에 대하여 살펴보았다. Table 3에 제시된 바와 같이, 위장도색의 특징은 항공기의 종류와 임무에 따라 현저한 차이가 있었다. 아울러 하늘과 유사한 발광 반사율을 가진 색채는 존재하지 않기 때문에 하늘과 항공기의 명도 대비를 최소화하기 위하여 counter-illumination 등의 능동 시각 위장기술이 요구된다.

경량 유연시현패널이 보편화되고 있는 최근에는 시각탐지에 비교적 취약한 저공비행용 무인작전기에 대한 적용 가능성이 모색되고 있다. 이러한 항공기용 능동 시각 위장기술 연구는 주요 해외 항공기 제작사와 해외 대학을 중심으로 진행되고 있으나, 적용기술이나 위장효과에

Table. 3 Comparison of Aircraft Camouflage Patterns

Camouflage Patterns	Advantage	Disadvantage
Bare metal	Low drag and weight	High visual detectability
Multi-tone	Low visual detectability	Bad for air to air mission
Counter -shaded	Good for air to air mission	Bad for air to surface mission
Mono-tone	Good for maintenance	-
Dazzling/pixel	Low visual detectability	Bad for maintenance

대한 상세사항은 공개되지 않고 있다. 우리나라 역시 군 사용 저고도 무인기를 운용 중이므로, 항공전력 보호를 위하여 시각 탐지 지연과 위장효과 향상을 위한 항공기 시각 위장 관련 기술연구가 활발히 진행되어야 할 것으로 판단된다.

References

[1] A. I. Siegel, D. E. Fletcher, J. Lazo, and E. C. Gifford, Guide to Aircraft In-flight Camouflage, (No. NADC-AC-6904), Applied Psychological Services Inc. PA Science Center, Wayne PA, USA, 1969.

[2] J. Paterson, "Overview of Low Observable Technology and Its Effects on Combat Aircraft Survivability," *Journal of Aircraft*, Vol.36, No.2, pp.380~388, March~April 1999. DOI:http://dx.doi.org/10.2514/2.2468

[3] M. Couch and D. Lindell, "Study on Rotorcraft Safety and Survivability," *International Helicopter Safety Symposium*, October 3~4, 2010.

[4] www.airliner.net

[5] D. K. Hemphill, R. F. Crutchlow, and C. J. Whitham Jr., "Operational Test and Evaluation Camouflage and Corrosion Control (RF-101)," No. TAC-TR-63-8, Tactical Air Command Langley AFB., VA, USA, October 1963.

[6] "RF-101 Striped Voodoos Part I," *Aviation Archives*, Retrieved March 11, 2015, from http://aviationarchives.blogspot.com/2015/03/rf-101-striped-voodoos.html (accessed June 15, 2019)

[7] R. L. Shaw, R. L. Fighter Combat: Tactics and Maneuvering, Naval Institute Press, 1985.

[8] W. S. Dursteler and R. L. Smith, Test and Evaluation of Ground Visual Sighting of Reconnaissance/Camouflaged Aircraft, No. TAC-TR-65-03A, Tactical Air Command Langley AFB., VA, USA, 1965.

[9] H. M. Rowland, The History, Theory and Evidence for a Cryptic Function of Countershading, Animal camouflage: Mechanisms and Function, Cambridge University Press. pp.53-72, 2011. DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9780511852053.004

[10] F. W. Bacon, F. J. Iannarilli, J. A. Conant, T. Deas, and M. Dinning, "Quantitative Camouflage Paint Selection for the CH-47F Helicopter," *Color Research & Application*, Vol.34, No.6, pp.406-416, 2008. DOI: https://doi.org/10.1002/col.20538

[11] N. E. Scott-Samuel, R. Baddeley, C. E. Palmer, and I. C. Cuthill, "Dazzle Camouflage Affects Speed Perception," *PLoS-ONE*, Vol.6(6), 2011. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020233

[12] P. Moynihan and M. Langevi, Adaptive Camouflage, NASA's Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, NPO-20706, USA, 2000.

[13] D. Hambling, "How Active Camouflage Will Make Small Drones Invisible," *Popular Mechanics*, Retrieved November 14, 2015, from http://www.popularmechanics.com/flight/drones/a18190/active-camouflage-make-small-drones-invisible/ (accessed July. 20, 2019)

[14] S. Douglas and B. Sweetman, "Hiding in Plane Sight: Stealth aircraft own the night. Now they want the day," *Popular Science*, pp.54~59, May 1997.

[15] https://en.wikipedia.org/wiki/Yehudi_lights

[16] M. Jewish and B. Sweetman, "Hide and Seek," *Jane's International Defence Review*, Vol.30, pp.29-32, April 1997.

[17] K. H. Kim, K. S. Choi, J. E. Park, and K. Y. Lee, "Environmental Color Planning," Ewha Woman's University Press, Nov. 5, 2011.

[18] B. Sweetman, "Boeing Plays Visual Stealth Cards," *Interavia Business & Technologies*, pp.12~13, Nov/Dec. 2002.

[19] C. Lavers, Reeds Vol 14: Stealth Warship Technology, Reeds Marine Engineering and Technology Series, Thomas Reed Publisher, November 1, 2012.

[20] K. W. McKee and D. W. Tack, "Active Camouflage Technologies Come of Age," *Military Technologies*, Vol.33, Issue7, pp.64~70, July 2009.

[21] R. Coppinger, "Electroluminescence is key to invisibility," *Flight Global*, Retrieved April 30, 2008, from https://www.flightglobal.com/news/articles/electroluminescence-is-key-to-invisibility-223358/ (accessed July 27, 2019)

[22] J. Barret and K. Dowd, "A New Airplane for a New World: The Boeing 787 Dreamliner," *Design Management Review*, Vol.17. No.4, pp. 5~30, Fall, 2006. DOI:https://doi.org/10.1111/j.1948-7169.2006.tb00059.x

진 원 진(Wonjin Jin) [정회원]

- 2001년 2월 : 한국항공대학교 항공기계공학과 (공학석사)
- 2009년 5월 : University of Kansas 항공공학과 (공학박사)
- 2010년 6월 ~ 2012년 2월 : 한국항공우주연구원 선임연구원
- 2012년 3월 ~ 2013년 2월 : 대한항공 항공기술연구원 선임연구원
- 2013년 3월 ~ 2017년 2월 : 극동대학교 항공정비학과 조교수
- 2017년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 항공기계과 조교수

〈관심분야〉
항공기 공력 및 성능해석