

스텔스 항공기 기술과 미래 항공전장

손명환^{*1)} · 정종희²⁾ · 이 준¹⁾ · 곽현호¹⁾

¹⁾ 청주대학교 항공기계공학과

²⁾ 고려대학교 국방기술경영학과

Stealth Aircraft Technology and Future Air Warfare

Myong-Hwan Sohn^{*1)} · JongHee Jung²⁾ · Joon Lee¹⁾ · Hyun-Ho Kwag¹⁾

¹⁾ The Department of Aeronautical and Mechanical Engineering, Cheongju University, Korea

²⁾ Department of Management of Technology for Defense, Graduate School of Management of Technology, Korea University, Korea

(Received 4 September 2018 / Revised 26 November 2018 / Accepted 9 January 2019)

ABSTRACT

Stealth means the reduction of all signature including the reflection/emission of radar, infrared, visible light and audio signals. Stealth aircraft can significantly improve the penetration capability, the combat survivability and the mission effectiveness. This paper presents the basic concept, the key elements and the application examples of stealth aircraft technology. Also it briefly describes the effect of the modern stealth aircraft on the future air warfare.

Key Words : Stealth Technology(스텔스 기술), Signature(형상신호), Radar Cross Section(레이더 파 반사면적), Air Warfare(항공 전장), Radar Absorbing Material(레이더 파 흡수 물질)

1. 서론

스텔스(stealth)란 말은 일반적으로 ‘보이지 않는’ 또는 ‘레이더에 의해 포착되지 않는’이라는 뜻으로 이해되고 있다. 그러나 이것은 레이더의 유효거리가 다른 탐지수단보다 정확하고 많은 정보를 얻을 수 있기 때문에 그 의미가 축소된 이해이다. 실제로 스텔스의 개념은 전파, 가시광선, 적외선, 자외선, 음향 탐지 장치 등 모든 수단에 의한 탐지 및 추적을 피할 수 있는

것을 뜻한다. 즉 스텔스는 형상신호(signature)를 없애거나 감소시키는 기술이라 할 수 있다.

형상신호란 물체의 존재를 감지하고 종류를 구별할 수 있도록 해주는 물체의 특성 신호로서, 물체 표면에서 방사되는 전자파, 적외선 파, 소음 등을 총칭하는 용어이다. 전술 항공기의 형상신호 제어 기술 즉 스텔스 기술의 발달은 침투 능력 개선은 물론 생존성 및 효율성 향상과 직결된다. 스텔스 항공기는 적의 조기경보망을 쉽게 무력화시킬 수 있으며, 적은 수의 항공기를 투입하여 적에게 치명타를 안겨 줄 수 있다. 또한 레이더와 적외선 신호 감소는 적의 지대공 미사일에 대한 아군 조종사들의 심적 부담을 덜어 줌으로써

* Corresponding author, E-mail: myongsohn@cju.ac.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

목표물을 파괴시킬 수 있는 확률을 증가시키고, 아울러 야군 전투기의 손실도 감소시킬 수 있다.

스텔스 항공기의 기술요소는 형상 최적화, 레이더 파 흡수 재료 및 구조, 적외선 방사 감소, 소음 제거, 시각 신호와 자외선 신호 감소, 위장 신호 발생과 기만 등이 있다. 본 논문에서는 이들 기술요소 중에서 위장 신호 발생과 기만을 제외한 스텔스 항공기의 기술요소에 대하여 각 기술요소의 핵심과 적용방법을 기술하였다. 아울러 F-117A, F-22, F-35A 등과 같은 현대 스텔스 항공기에 의한 항공 전쟁(air warfare)의 변화에 관한 현황과 전망을 기술하였다.

2. 항공기의 RCS 감소 기술

2.1 항공기의 RCS

물체가 전자파를 반사시키는 정도는 레이더 노출 면적(Radar Cross Section, RCS)에 의하여 결정된다. 이 RCS의 단위는 일반적으로 m^2 또는 dBsm(예 : $20 \text{ dBsm} = 10^2 m^2 = 100 m^2$)이 사용된다. 실제로 항공기의 RCS는 정해진 값이 있는 것이 아니라 적의 레이더에 노출되는 각도와 적이 사용하는 레이더 주파수에 따라 달라진다. 레이더에 의하여 방사된 전자기장이 물체를 만나면 물체 표면에서 반사, 회절, 그리고 물체 표면을 따라 이동하는 등의 현상이 발생한다. 이러한 산란 현상들이 종합적으로 항공기의 RCS를 결정한다^[1]. Fig. 1에 다양한 군용 항공기의 전형적인 RCS 값을 비교하였다.

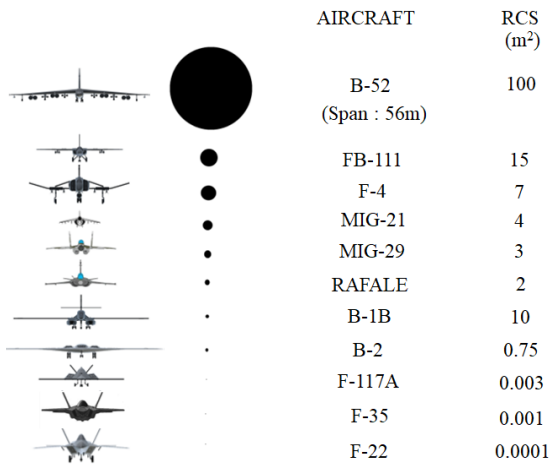


Fig. 1. RCS of various military aircraft

항공기의 RCS는 항공기 표면에서 발생하는 여러 가지의 산란현상에 의한 모든 산란 레이더 에너지의 합으로 표현된다. 엔진 흡입구와 노즐의 형상, 해치(hatch)의 위치와 방향, 조종면, 유지 보수구, 폭탄실 덮개문, 연료탱크와 유도무기 같은 외부장착물의 위치, 레이돔(radome)과 안테나의 종류와 위치, 그리고 항공기 표면 재료 등 RCS는 상당히 많은 구성 요소들에 의하여 영향을 받는다. 이러한 구성요소들이 각각의 기능을 담당하면서 낮은 RCS를 내도록 설계하는 것이 중요한 관건이다. F-117A 항공기의 설계에 있어서는 Pitot 튜브, 엔진 흡입구 스크린, 그리고 적외선 탐지 및 추적 장치 보호 스크린 등이 심각한 RCS 문제의 구성요소들이었다.

실제 항공기에 의하여 측정된 RCS는 레이더의 주파수와 극성화(polarization)뿐만 아니라 레이더 위치에 대한 3차원적 방향에 의해서도 영향을 받는다. 극성작용은 방사된 전자기장에 의한 전기장 벡터 성분의 방향을 의미하는 것이므로 레이더 안테나는 특정한 방향으로 또는 특정한 극성작용 방식으로 레이더 파를 방사할 수 있도록 설계되어야 한다. 일반적으로 극성작용은 수평방향 또는 수직방향으로 묘사된다. 전자기파는 전기장과 자기장을 동시에 포함하고 있으며 각각의 벡터성분은 서로 수직 관계에 있고 특정한 상(phase)을 갖고 있다^[2]. 물체의 존재에 의한 레이더 신호 즉 RCS는 방향성을 갖고 있으므로 어느 특정한 방향에서는 다른 방향에 비하여 상대적으로 크게 나타나기 때문에, 대부분의 레이더는 수평방향이나 수직방향의 극성화를 임의로 택할 수 있다.

회절 현상은 전자기 에너지가 갑자기 불연속적인 면을 만나거나 전기적인 임피던스의 변화가 생길 때 발생하는 것이다. 임피던스를 급격하게 변화시키는 요인은 날개의 앞전과 뒷전, 날카로운 모서리, 조종면 사이의 공간, 그리고 서로 다른 재료의 표면들이 만나는 경계선 등이다. RCS에 영향을 미치는 항공기의 구성요소는 다음과 같이 분류할 수 있다^[3].

- RCS에 미치는 영향이 큰 요소: 엔진 공기흡입구, 엔진 전면부(공기흡입 회로가 직선 형태인 경우), 외부장착물(유도무기 포함), 날개 앞전(특히 후퇴각을 갖지 않는 경우), 수평 꼬리날개와 수직 꼬리날개가 교차하는 부위, 날개 윗면과 아래면, 레이돔(radome), 조종실, 엔진 연소(후방에서 관측될 때), 동체(측면에서 관측될 때).

- RCS에 미치는 영향은 작지만 무시할 수 없는 요소: 동체(정면에서 관측될 때), 날개 뒷전, 냉온장치를 위한 공기흡입구, 국부적인 표면 돌출부, 서로 분리된 수직 꼬리날개와 수평 꼬리날개, 길고 가느다란 페어링(fairing)과 미사일, 작은 안테나, 외부 신호등.

2.2 항공기의 RCS 감소 기술

RCS 감소 기술 연구의 대상이 되는 분야는 물체의 형상, 레이더 파에 대한 상대적인 각도, 물체의 크기 에 대한 레이더 파 파장의 비율, 레이더 파 송신과 수신 안테나의 극성화, 물체의 표면 상태, 물체의 구성 물질 등이 있다.

2.2.1 항공기 형상 최적화

상대방의 레이더에 포착되지 않도록 RCS를 감소시키기 위하여 물체의 형상을 최적화시키는 것은 레이더 파를 반사시키는 물체의 외부 표면과 가장자리 처리가 문제 해결의 핵심이다^[4]. 형상 최적화는 극초단파 영역내의 광범위한 주파수대에서 유용하나 표면이 이루는 각도 즉 형상 각(aspect angle)에는 제한을 받는다. 항공기에 있어서 원추형의 동체와 큰 후퇴각을 갖는 날개가 소기의 목적을 달성할 수 있는 것으로 평가받고 있다. 2개의 면이나 3개의 면이 형상을 이루는 경우 접합되는 면의 각도를 90도가 아닌 다른 각도로 만들면 레이더파의 반사를 감소시킬 수 있다.

항공기, 배, 탱크 등과 같이 복잡한 형상의 물체에 있어서 RCS를 감소시키기 위해서는 먼저 물체의 외형을 아주 단순한 면들의 집합체로 바꾸어야 한다. 이러한 단순한 모양의 면들을 “플레어 스포트(flare spots)” 또는 “스캐터링 센터(scattering centers)”라고 한다^[5]. 복잡한 형상의 물체가 갖는 전체 RCS는 각각의 스캐터링 센터에 의한 RCS의 합으로 구할 수 있다. 이렇게 구하여진 전체 RCS 값은 완전하게 정확하지는 않더라도 실제로 적용하기에 충분한 정확성을 갖는다. 그러므로 형상이 복잡한 물체가 갖는 전체 RCS를 감소시키는 문제는 물체 형상 전부를 다루는 것보다 스캐터링 센터를 다루는 문제로 축소될 수 있다.

항공기의 RCS에 기여하는 전자기 현상은 매우 다양하다. 이러한 현상들은 RCS 감소를 위한 설계 방법의 변화를 유발시키고, 설계 요구 사양에 제동을 걸기도 한다. 전형적인 전투기의 RCS를 형성하는 주요 구성품들을 Fig. 2에 예시하였다. 동체의 RCS에 가장 큰 영향을 미치는 부분은 평평한 동체 표면으로서 이 표

면들은 레이더 빔에 대하여 수직한 방향으로 만들어져 있다. 마치 거울로부터 빛이 반사되는 것과 같은 현상은 항공기 동체의 평평한 옆면과 수직 꼬리날개를 따라 주로 발생한다. 이러한 특정한 RCS를 예방하기 위하여 항공기 외형설계 엔지니어들은 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 동체에 굴곡을 주고, 수직 꼬리날개에 비스듬한 각도를 주는 등 레이더에 대하여 평평한 면을 제공하지 않으려고 노력하고 있다. 이 RCS 감소 방법은 설계자들이 아군 항공기가 적의 레이더에 노출되는 각도를 알고 있으며, 적의 레이더 또한 고정된 위치의 단일 시스템이라는 가정아래 성립되는 것이다.

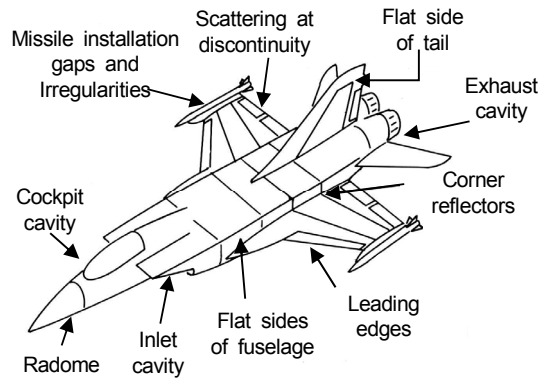


Fig. 2. Major RCS contributions for aircraft^[5]

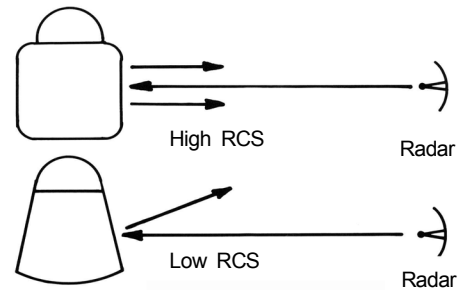


Fig. 3. RCS reduction by avoiding flat side^[5]

항공기의 외형상 레이더 빔에 대하여 수직한 면을 제공하는 다른 부위는 주 날개와 꼬리날개의 등그런 앞전 부분이다. 만약 항공기가 적의 레이더에 의하여 탐지되는 것을 최소화하기 위한 것이 주목적으로 설계된다면, 주 날개와 꼬리날개는 RCS를 감소시키기 위하여 상당히 큰 후퇴각을 갖게 될 것이다. 또한 모

통이 반사를 회피하기 위하여 거의 직각으로 교차되는 부위도 최소한으로 줄여야 한다. Fig. 2의 날개-동체 접합부분이 바로 직각 교차면의 한 예이다.

동체 RCS를 형성하는 또 하나의 요인은 레이더에 노출되었을 때 기체표면에서 발생하는 전자기 전류이다. 이러한 전류는 항공기 표면에서 날카로운 뒷전, 날개 끝, 제어면 등과 같은 불연속적인 부분에 이를 때까지 계속 흐르다가 불연속적인 부분에서 흩어지거나 전자기 에너지를 방사하기도 하며 그 중 일부는 레이더로 돌아가기도 한다. 이러한 경우는 거울 반사와 같이 반사되는 레이더 빔에 비하여 그 강도가 훨씬 약하기는 하여도 항공기의 존재 사실이 발각되기에는 충분한 강도이다. 또한 이러한 영향은 불연속적인 부분이 레이더 빔에 대하여 직선적이고 수직인 형태일 때 가장 크게 나타난다. 그러므로 주 날개나 꼬리날개의 뒷전과 같은 불연속적인 부분은 전방에서 탐지되는 것을 최소화하기 위하여 후퇴각을 갖게 된다. 만약 모든 방향에 대하여 낮은 피탐지성을 가져야만 한다면, 표면에 후퇴각을 주거나 굴곡을 주는 것에만 전적으로 의지할 수 없다. 그러한 경우에는 모양 자체에 의하여 전체적인 피탐지성을 감소시키는 두 가지 방법이 있다.

첫 번째 방법은 수직 반사와 같이 레이더 빔을 강하게 반사시키는 모든 면의 반사 각도를 몇 개의 방향으로만 편중시키는 것이다. 예를 들어, 주 날개와 꼬리날개의 앞전이 모두 직선 형태로서 동일한 각도로 고정되어 있다면 그 각도에 대하여는 레이더 빔을 매우 강하게 반사시키겠지만 다른 각도의 방향으로는 반사가 거의 없게 된다. 즉 아군 항공기와 적 레이더 빔의 각도가 우연히 일치되는 경우를 제외하고는 아군 항공기가 적의 레이더에 포착되는 확률은 매우 낮게 될 것이다.

두 번째 방법은 레이더 반사를 모든 방향으로 골고루 분포시킴으로써 특정 방향으로 탐지되는 것을 방지하는 것이다. 항공기 표면에 있어서의 직선 형태의 모양은 없어지고, 주 날개, 동체, 꼬리날개, 그리고 엔진 나셀 등 모든 부분들이 서로 부드럽게 이어지는 이른바 혼합 형태의 외형 설계가 이루어져야 한다. 만약 이러한 설계가 적절하게 이루어진다면, 공기역학적인 면에서도 유익한 효과를 가질 수 있다. 또한 이러한 기술은 레이더 빔을 흡수하는 재료의 사용에 크게 의존하게 된다.

RCS는 항공기의 외형을 단순 형태로 고침으로써

감소시킬 수 있다. 수평 꼬리날개를 제거한다면 레이더 빔의 반사는 그만큼 줄어들 수밖에 없다. 컴퓨터에 의한 비행제어와 벡터-추력 형 엔진의 조화는 항공기가 꼬리 없는 형태를 갖기 위해 겪게 되는 많은 문제점들을 해결하였다. 동일한 원리로 엔진을 동체 안에 설치하면 나셀이 제거되므로 RCS가 감소된다. 더 나아가 Northrop의 B-2처럼 flying-wing 개념으로 아예 동체를 없애면 RCS를 더욱 감소시킬 수 있다. 대부분의 기존 항공기에 있어서 기체, 특히 기수부분은 RCS에 큰 영향을 미치는 요소가 아니다. 항공기의 레이더를 적재하는 재래식의 레이돔은 레이더 빔을 반사 없이 통과시킨다. 그러므로 레이돔은 적의 레이더 빔도 통과시키어 레이돔 내부의 칸막이 벽이나 전자장치에 의해서 반사되도록 한다. 또한 아군 항공기의 레이더 안테나가 적의 레이더에 의하여 감지되면 레이더 증폭 효과가 발생한다. 이러한 역효과는 레이돔을 밴드 패스(band pass) 레이돔으로 만들어 오직 한 가지 주파수의 레이더 즉 그 항공기의 레이더만을 통과하도록 함으로써 감소시킬 수 있다.

기존 항공기의 RCS 구성요소 중 큰 비중을 차지하는 또 다른 요소로서 엔진 흡입구와 배기구를 들 수 있다. 레이더 에너지는 이 흡입구 또는 배기구로 들어가서 엔진 구성품에 반사되어 다시 밖으로 나오면서 대기 중으로 확산되므로 적의 레이더에 쉽게 포착된다. 또한 흡입구와 배기구는 항공기 표면의 불연속적인 면으로도 작용한다. 이와 같은 RCS를 구성하는 요소들을 감소시키는 가장 좋은 방법은 그것들의 위치를 적기 기대하고 있는 위치가 아닌 다른 위치로 옮기는 것이다. 예를 들면, Fig. 4에 나타난 바와 같이 엔진 흡입구를 항공기 동체 위쪽으로 옮기면 지상으로부터 다가오는 레이더 빔에 의한 RCS를 감소시킬

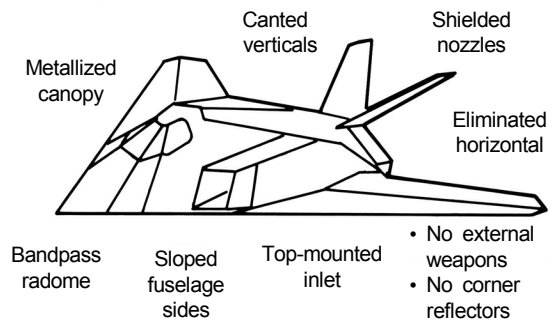


Fig. 4. RCS reduction approaches for aircraft^[5]

수 있다⁵⁾. 배기구도 2차원 노즐을 사용함으로써 감출 수 있다. 조종실 창문도 레이더 반사의 매개체 역할을 한다. 레이더 에너지는 조종실 창문을 통하여 실내로 들어와서 내부 장치들에 의하여 반사되어 다시 대기 중으로 확산된다. 이것을 방지하는 하나의 방법은 금과 같은 전도성 금속 체를 사용하여 조종실 창문을 얇게 코팅하는 것이다.

마지막으로 항공기 외부에 장착되어 있는 무기들도 RCS를 증가시키는 주요한 요소가 된다. 작은 날개를 가지는 미사일과 폭탄은 레이더 빔의 입장에서 보면 아주 좋은 반사체가 되는 것이다. 또한, 이러한 무기들의 착탈 장치도 다양한 모퉁이 반사와 불연속적인 표면 역할을 하므로 RCS 증가를 초래한다. 기관포 포문 역시 엔진 흡입구와 같은 역할을 한다. 이러한 구성 요소들에 대한 유일한 해결 방법은 모든 무기들을 동체 내부에 장착하고 뚜껑으로 덮는 것이다. 그러나 이 방법은 항공기 전체의 무게, 부피, 그리고 복잡한 구조적 보완 등과 같은 문제점을 발생시키므로 복잡한 고려가 필요하다.

적의 레이더를 교란시키는 대전자전(ECM)은 일반적으로 적의 레이더를 받아들이는 일종의 수신 장치와 적의 레이더로 위장 신호를 보내는 일종의 송신 안테나로 구성되어 있다. 항공기의 외형 설계자들은 RCS 크기와 ECM 소요량간의 조화를 이루도록 이 두 가지를 적절하게 분배해야 한다.

2.2.2 레이더 파 흡수재료(Radar Absorbing Material, RAM) 및 레이더 파 흡수구조(Radar Absorbing Structure, RAS)

RCS가 작도록 설계하기 위해서는 가능한 한 최대한의 형상 최적화를 시도해야 한다. 그러나 경우에 따라서는 형상 최적화가 원래의 목적에 부적합하거나 충분한 만큼 이루어질 수 없는 상황이 발생하기도 한다. 이러한 경우에는 설계 단계이거나 제작 후의 수정 단계이거나 관계없이 RAM(Radar Absorbing Material) 사용을 고려하여야 한다⁶⁾. RAM은 단순히 투사되는 레이더 파를 흡수하는 기능을 수행한다. 실제로 물체 표면의 RAM 입자는 레이더 파에 의하여 가열되므로 흡수된 레이더 파 에너지는 열로 전환되지만, 그 에너지가 매우 작으므로 열로 인한 온도 증가는 거의 느껴지지 않는다. 레이더 파 흡수 재료가 가져야 할 가장 중요한 특성은 주파수대를 가장 광범위하게 그리고 적용 가능한 형상 각이 최대로 확보되는 것이다.

전자파의 흡수는 유전 성질과 자기 성질을 이용하는 방법이 있다. 대표적인 RAM으로 자성을 이용하는 페라이트(ferrite) 코팅 방법이 사용되었다. 페라이트는 수백 MHz 주파수 대역에서 자기 이완(magnetic relaxation)을 일으키면서 높은 흡수 성능을 발휘한다. 그러나 고주파에서의 흡수 성능이 떨어지고, 철 계열이기 때문에 무게가 많이 나가는 단점이 있다. 매질에 전도성을 띄는 첨가제를 혼합시키는 카본블랙(carbon black)은 무게가 페라이트 보다 매우 가볍고, 고주파에서도 흡수 성능이 떨어지지 않는다. 최근에는 전도성 고분자를 첨가하여 전자기파 흡수체를 구성하기도 한다. 흡수체가 적절한 유전 실수 항과 허수 항을 가지도록 손실재료를 혼합하여 전자기파를 흡수 시키는 것이 원리이다. 손실재료를 많이 첨가할수록 손실 항이 증가하지만, 표면 반사가 증가하기 때문에 적절한 함량 조절이 중요하다⁶⁾.

최근에는 RAM 혹은 RAS(Radar Absorbing Structure)로 비강도(specific strength), 비강성(specific rigidity)이 뛰어난 섬유강화 복합재료를 많이 사용한다. 섬유강화 복합재료들에는 전자파 흡수에 사용될 수 있는 좋은 전자기적 특성들을 가지고 있는 재료들이 있다. 유리섬유 계열의 섬유강화 복합재료는 전자파를 잘 투과시키는 특성이 있으며, 탄소 섬유강화 복합재료는 전자파를 잘 반사시키는 특성이 있다. 그리고 섬유강화 복합재료는 제조 시 기지(matrix)와 혼합하여 제조하는 공정을 거치기 때문에, 이 공정 중에 전자기적 특성을 조절할 수 있는 물질을 기지에 혼합하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 이러한 섬유강화 복합재료를 이용하여 전자파 흡수 구조를 만든다면 하중을 지지할 수 있는 전자파 흡수 구조를 만들 수 있는 장점이 있다⁶⁾.

EBG(Electromagnetic Band Gap)구조는 유전체 기판 상에 작은 금속 패치의 미세하고 주기적인 패턴을 형성함으로써 특정 주파수 대역의 전자기파를 차단하는 구조이다. EBG 패턴 재료의 전도성이 변하면 전자파의 흡수가 발생한다. 때문에 섬유강화 복합 구조체에 EBG 패턴 층을 적용하면 광대역 전자파 흡수 특성을 가지는 RAS를 설계하는데 효과적일 수 있다⁷⁾.

섬유강화 고분자 복합재료의 특성을 이용하여 제작하는 RAS는 하중지지 및 전달 기능을 갖는 구조체의 역할을 수행하는 동시에 전자기파를 흡수하여 추가적인 RCS 감소를 기대할 수 있다는 점에서 많은 연구가 진행되고 있다⁸⁾.

3. 항공기의 기타 형상신호 감소 기술

3.1 적외선 방사 감소 기술

항공기 설계자들이 매우 고심하는 것 중의 하나가 바로 적외선에 대한 피 탐지성이다^[5]. 많은 수의 공대공 그리고 지대공 미사일들은 이 적외선 감지 장치에 의존하고 있다. 현대의 적외선 감지 장치들은 엔진 배기가스와 고온 부품에서 방사되는 적외선뿐만 아니라 천음속과 초음속 비행 시의 공기역학적 가열에 의하여 항공기 표면 전체에서 방출되는 적외선도 감지하는 능력을 갖추고 있다. 또한 이러한 감지 장치들은 항공기 표면에서 반사되는 태양열까지도 감지할 수 있는 것으로 알려져 있다. 라디오파와 같이 적외선도 전자기 스펙트럼의 일부로서 파장은 $0.77 \times 10^{-6} \sim 1000 \times 10^{-6}$ m 이다.

적외선은 절대온도가 0 K(-453 °F 또는 -273 °C) 이상인 모든 물체로부터 방사된다. 파장의 함수인 열적 방사의 전체 양과 분포는 물체의 재료와 온도에 따라 다르다. 항공기 표면과 같이 고체인 경우의 열방사는 광범위한 파장 대에 걸쳐 골고루 분포되지만, 엔진 배기가스와 같은 기체인 경우에는 매우 좁은 파장 대에 한정되어 있다. 스테판-볼츠만 법칙(Stefan-Boltzmann law)에 의하여 방사된 열에너지는 다음과 같이 표현 된다.

$$M = \epsilon \kappa T^4 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

여기서, M 은 방사된 열에너지, ϵ 은 방사율(emissivity), κ 는 스테판-볼츠만 상수($\kappa = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$), 그리고 T 는 절대온도를 각각 나타낸다. 방사율이란 완전 방사 원(perfect radiating source)으로부터의 방사에너지에 대한 동일한 온도를 가진 대상 물체로부터의 방사에너지의 비율로서 항상 1보다 작은 값을 갖는다^[9].

항공기의 적외선 신호를 발생시키는 요인은 크게 엔진 배기가스와 기체의 표면마찰에 의한 가열현상으로 구분된다. Fig. 5에 보여진 바와 같이 저속 비행 시의 표면마찰에 의한 가열현상은 상대적으로 무시될 수 있을 정도로 작다. 엔진은 뜨거운 몸체와 배기가스로부터 적외선 에너지를 방출하는데, 이때 적외선 방사를 감소시킬 수 있는 요소는 온도와 방사율이다.

온도를 감소시킴으로써 적외선 에너지를 상당량 감소시킬 수 있다. 스테판-볼츠만 법칙은 온도에 의한 방사 주파수 변화를 고려하지 않았으므로 방사열 에

너지의 근사 값만을 제공한다. 일반적으로 엔진 연소부에서는 T^4 이 아니라 T^8 에 의하여 실제에 더 가까운 결과치를 얻을 수 있다. 어떠한 경우에서든지 방사율을 작게 하는 것보다 적은 양의 온도감소에 의하여 훨씬 더 큰 효과를 나타낼 수 있다. 따라서 온도 감소와 온도 차폐방법에 대한 연구가 스텔스 항공기의 적외선 방사 감소기술에서 매우 중요하다.

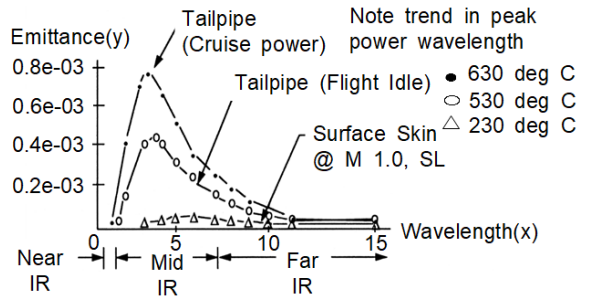


Fig. 5. Typical infrared radiation as a function of wavelength for a conventional aircraft^[9]

배기가스의 온도를 감소시키는 것은 여러 가지 방법으로 시도되고 있다. 초음속 순항 비행 시 추력 보강장치를 사용하지 않는다면, 배기가스의 온도를 상당히 감소시킬 수 있다. 터보 프롭이나 터보 샤프트 엔진과 같이 터빈에 의한 구동력이 클수록 배기가스의 온도는 낮아지게 된다. Lockheed Martin의 F-117A, F-22, Northrop Grumman의 B-2A 항공기 엔진은 항공기 아래 방향으로 고온의 엔진부위가 보이지 않도록 배기가스가 동체의 위쪽으로 배출된다. 사각형 또는 2차원 형태의 노즐 또한 배기가스를 불안정한 상태의 흐름으로 배출함으로써 배기가스를 주변의 대기 속으로 더 빠르게 확산시켜 그만큼 더 빠르게 냉각시킬 수 있다.

또한 고온의 엔진 내부 구성품으로부터 방사되는 적외선 에너지양을 감소시키기 위하여 엔진 시스템 내부에서의 적절한 방사 형태를 결정하기 위한 최적화 과정이 필요하다. 방사율을 감소시키기 위하여 코팅을 하는 경우에는 코팅 재료에 의하여 레이더파의 반사량을 증가시키지 않도록 주의하여야 한다. 레이더 반사와 적외선 신호를 동시에 감소시키기 위하여 여러 겹으로 구성된 재료를 사용할 때에는 그 재료의 총 두께가 2-3 Å(Angstrom) 정도이어야 한다. 그러나 엔진 내부의 연소 계통 표면에는 탄소 축적물이 형성

되어 방사율을 엄청나게 증가시킨다. 그러므로 연소 작용에 의한 탄소 미립자 발생을 방지하지 않으면, 연소 계통 내부는 엔진 작동 수 시간 안에 높은 방사율의 탄소 축적물로 코팅될 것이다. 이와 같은 이유 때문에 엔진 배기구와 항공기 표면에서의 방사율을 감소시키기 위한 노력이 매우 필요하다.

항공기의 속도와 고도에 따라서 항공기 표면 마찰과 태양열에 의한 적외선 방사율이 영향을 받는다. ATF(Advanced Tactical Fighter) 항공기가 마하수 1.5의 속도로 초음속 순항 비행을 할 때 공력가열에 의하여 표면온도가 150 °F까지 증가하지만, 대기온도가 -70 °F이므로 큰 영향은 없다. 그러나 마하수가 2로 되면 표면온도가 230 °F, 마하수 2.5에서는 500 °F까지 증가하므로, 애프터버너를 사용하지 않는 경우에도 공력가열에 의한 현상으로 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 기체 전방부위에서의 적외선 신호가 심각한 수준까지 증가할 것이다⁹⁾. 외 Fig. 6에서 Aspect angle이란 항공기의 종축과 가시선이 이루는 각으로 항공기의 앞부분을 0도, 후미 부분을 180도로 설정한다.

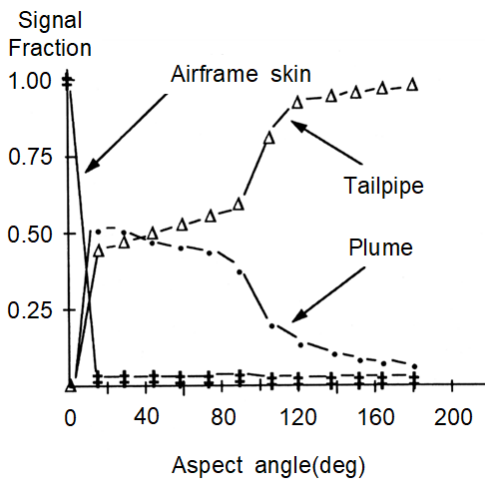


Fig. 6. Typical infrared return vs. aspect angle for a conventional aircraft(0 deg. : nose-on view)⁹⁾

3.2 시각 신호(visual signature) 감소 기술

항공기의 시각 신호는 항공기의 형상이나 색깔과 대조적인 배경 그리고 기체 표면에서 반사되는 빛 등에 의한 것이다. 사실 아무런 보조물 없이 사람의 눈으로만 비행중인 항공기를 발견하기는 쉽지 않지만, 정교한 광학 추적 장치를 사용하면 그리 어렵지 않게

항공기를 발견할 수 있다. 시각 신호는 항공기 자체뿐만 아니라 비행운이나 엔진 배기가스 등도 포함된다⁹⁾.

3.2.1 기체에 의한 시각 신호 감소 기술

항공기 기체에 의한 시각 신호를 발생시키는 주요인은 기체 형상이나 색깔과 대조적인 배경, 기체 표면에서 반사되는 빛 등이 대표적이다. 기체 구성품 중에서도 가장 눈에 잘 띄는 부분은 조종석 창문이다. 투명하여야 하므로 표면 처리도 어렵고 빛도 잘 반사되며 항공기의 움직임에 의하여 햇빛 반사로 인한 섬광 현상이 발생하기도 한다. 날개 끝 와류에 의한 비행운은 대기 중의 습도가 높을 때 잘 발생하는 것으로서, 항공기의 존재를 뚜렷하게 보여주는 시각 신호이다.

항공기 자체를 가능한 한 작게 만드는 것을 제외하고, 기체에 의한 시각 신호를 감소시킬 수 있는 방법은 항공기를 대조적인 배경에 놓이지 않도록 하는 것과 기체 표면에서의 섬광 현상을 지상에서 흔히 볼 수 있는 수준으로 만들어 주는 것이다. 빛을 반사하는 정도가 서로 다른 페인트를 적절하게 분배하여 칠함으로써 기체의 전체 크기에 의한 대조성과 배경에 대한 대조성을 감소시킬 수 있다. 이러한 표면처리는 항공기의 주 임무에 따라 다르게 선택되어야 한다. 예를 들어, 항공기가 거의 균일한 배경을 갖는 높은 고도에서 주 임무 비행을 하는 경우와 낮은 고도에서 지면이나 숲을 배경으로 주 임무 비행을 하는 경우에는 기체 표면의 페인트칠을 다르게 해야 한다. 항상 균일한 배경으로 비행을 하는 항공기에 적용할 수 있는 시각신호 감소 기술은 국부 조명을 이용하여 엔진 흡입구와 같이 어두운 공간을 위장하는 것이다. 이러한 위장 조명은 명암을 균형 있게 유지하기 위하여 조명도를 자동으로 조절할 수 있는 기능이 있어야 한다. 순간적인 섬광 현상은 기체 표면을 가능한 한 평평한 면으로 만듦으로써 감소시킬 수 있다. 평평한 면에서의 반사는 그 폭이 좁기 때문에 사람의 눈에 인지되거나 추적 받게 될 가능성이 그만큼 작아지게 된다.

3.2.2 로터와 프로펠러 날개

회전하는 로터와 프로펠러 날개는 섬광 현상을 잘 발생시키기 때문에 시각적인 노출에 매우 취약하다. 항공기 프로펠러의 날개 끝 통과 주파수(blade-passing frequency)가 16 Hz에서 20 Hz 사이일 때는 헬리콥터에 비하여 섬광 현상이 적게 나타난다. 주어진 회전 속도에서 높은 날개 끝 통과 주파수를 갖기 위하여

여러 개의 날개를 사용하는 것과는 별개로 로터와 프로펠러 날개에서의 반사효과를 고려한 표면처리에 의하여 시각 신호를 감소시킬 수 있다.

3.2.3 엔진 배기가스

비행중인 항공기가 배출하는 가스 즉 하늘에 보이는 불투명한 기체의 흔적은 바로 항공기의 존재를 의미한다. 따라서 배기가스가 잘 보이지 않도록 엔진의 연소계통을 설계하는 곳이 필요하다. 또한 엔진 배기구에서 보이는 화염 때문에 항공기 뒤쪽에서도 항공기의 존재를 알아차릴 수가 있다. 엔진 배기구에서의 화염은 배기구 끝부분 변형에 의한 방향 수정으로써 보이지 않게 할 수 있다. 배기가스 방출과 공간내의 수증기에 의한 비행운은 적절한 첨가제를 연료나 배기가스에 혼합하여 방지할 수 있으나 기술적인 어려움이 많이 있다.

3.2.4 신호등

항공기가 정상 비행중임을 알리는 신호등은 확실한 시각 신호이다. 스텔스 성을 중요시해야 하는 상황이라면 기체 외부에 설치하는 신호등과 조종석 계기판에 의한 불빛을 가능한 한 줄여야 한다. 항공기 운용상 불가피하게 외부 장착용 신호등을 사용해야 하는 경우에는 적의 관측 방향으로 노출되는 것을 방지하기 위한 일종의 가림 장치가 있어야 한다. 물론 이러한 가림 장치는 자체 재질에 의하여 햇빛이나 달빛을 반사하지 않도록 고려해야 한다. 조종석 내부의 불빛도 절대적으로 최소화하여야 하며, 가능하다면 자외선과 같이 가시범위를 벗어난 조명을 사용하는 것이 바람직하다.

3.3 청각 신호(aural signature) 감소 기술

항공기의 소음은 주로 엔진 배기구 흐름과 같은 전단 흐름(shear flow)에 의하여 발생된다. 직경이 크고 날개 끝 속도가 작은 프로펠러가 가장 작은 소음을 내는 반면, 직경이 작은 배기구를 통하여 연소가스를 고속으로 방출하는 제트엔진이 가장 큰 소음을 발생시킨다. 터보팬 엔진의 소음은 그 중간 정도이다. 프로펠러 날개의 형상과 엔진 덕트의 내부 형상에 의하여 소음의 크기가 달라진다. 피스톤 엔진의 배출구도 하나의 소음원이다. 적합한 머플러를 사용하든지 배출구 방향을 지면이 아닌 날개 위쪽으로 조정함으로써 소음을 감소시킬 수 있다.

4. 스텔스 전술 항공기의 출현과 스텔스 항공기에 의한 항공작전의 변화

4.1 스텔스 전술 항공기의 출현

4.1.1 F-117A Knight Hawk

F-117A는 세계 최초로 실전 배치된 스텔스 전투기이다. F-117A는 미국의 파나마 침공 당시 처음 실전에 투입된 이래 걸프 전, 이라크 전 등 미국이 개입된 모든 전쟁에 참전했으며, 1,720 km의 항속거리와 마하 0.92의 최대속도를 가진다. F-117A는 미국의 첨단 과학연구소(Advanced Research Projects Agency)에 의하여 1974년부터 수행하였던 Have Blue 프로젝트에서 얻어진 스텔스 기술에 기반하고 있다. Have Blue 프로젝트는 다음과 같은 3가지의 특정 목적을 가지고 수행되었다. 1) RCS와 적외선 신호의 최소화를 통한 피탐지성 감소 입증 2) 낮은 피탐지성 항공기의 조종성과 비행성능 입증 3) 피탐지성이 낮은 항공기의 특성을 예측하기 위한 모델링과 실험기술 능력 입증.

Have Blue와 F-117A 항공기 개발에 있어서 Lockheed 사는 반사와 감소와 전자기 에너지에 기인하는 조종면 전류 감소를 위하여 항공기 표면을 작은 면들로 구성하였고, 자기성 RAM을 사용하였다. 모든 항공기에 있어서 형상설계는 전반적인 비행성능과 안정성 및 조종성에 상당한 영향을 미치므로, 항공기 설계과정에서 RCS 감소와 이들 성능 사이에 세심한 상호보완이 이루어져야 한다. F-117A는 기체 형상에 의하여 RCS를 감소시키기 위해서는 항공기 평면과 단면이 레이더파 반사를 최소화할 수 있는 모양을 갖도록 설계되었다. RCS를 최소화하여 피탐지성이 매우 낮은 항공기 설계를 추구한 결과 항력은 커지고 최대 양력은 감소하는 등 비행성능상의 문제점이 대두되었지만, 최신의 플라이 바이 와이어(fly-by-wire) 기술을 도입하여 이러한 문제점들을 최소화시킬 수 있었다.

F-117A 설계에서는 Have Blue 설계 시 사용하였던 ECHO 컴퓨터 프로그램도 지속적으로 수정 발전되었다. 실제로 Have Blue를 설계할 당시 ECHO 프로그램이 수용할 수 있는 면(facet)의 숫자에 제한이 있어서 큰 애로사항이었으나, F-117A 설계 시에는 더 이상 문제가 되지 않았다. 또한 표면 전류에 중대한 영향을 미치는 표면 모서리는 전혀 고려할 수 없었으나, 물리학적 회절 이론을 도입하여 이 부분의 기능을 많이 개선하였다. 특히 모서리 문제는 해결하기 매우 어려운 과제였다. 모든 가능한 모서리 형상과 방향에 대한

실험적 데이터 베이스를 구축하는 것은 비실용적이므로, Lockheed사는 물리학적 광학 이론에 의하여 예측할 수 있는 근사치 수준으로 모서리 산란현상을 감소시키는 모서리 재료와 제작 기술에 대하여 많은 연구를 수행하여 F-117A 설계에 적용하였다.

4.1.2 F-22A RAPTOR

F-22A는 Lockheed Martin사와 Boeing사가 제작한 미국 공군의 고 기동 제공 스텔스 전투기이자 중심타격기로 3,000 km의 항속거리를 가진다. F-22는 적 레이더에 RCS가 구슬, 벌레 크기로 잡히는 우수한 스텔스 성능을 이용하여 적의 레이더에 감지되지 않은 상태로 적 심장부로 깊숙이 침투해 들어가 목표물을 타격할 수 있는 전투기이다¹⁰⁾.

F-22기는 공대공 임무와 지대공 임무를 동시에 수행하여 기존 항공기들을 대체할 ATF의 필요성으로 인하여 1985년 ATF의 공식적인 제안요구서가 작성되었고, Lockheed사, Boeing사, General Dynamics사의 YF-22와 Northrop, McDonnell Douglas사의 YF-23이 최종 경쟁 기체로 선정되어 경쟁한 결과, YF-22가 채택되어 지금의 F-22 RAPTOR가 탄생하였다.

F-22 전투기의 경우 최고의 스텔스 기술을 적용시킨 스텔스기이다. 작전반경 약 2,100 km를 자체 설계된 내부 연료탱크 만으로도 임무수행이 가능하며 기체외부에 장착되는 파일런과 외부무장은 RCS를 증가시키는 요소이기 때문에 F-22에는 내부 무장 창을 사용한다. 또한 날개 동체 혼합(BWB : Blended Wing Body) 형상으로 설계 되어 F-117과는 달리 부드러운 곡면설계로 스텔스 성능과 구조적 효율을 극대화 하였다. 레이더 파는 보통 공기흡입구 안까지 침투 후 공기 흡입구 내부의 블레이드에 반응을 한다. 하지만 이를 피하기 위해서 F-117이나 B-2와 같이 공기흡입구를 기체 위쪽에 만들면 비행능력이 떨어지게 된다. 이를 해결하기 위해 F-22에는 S자 공기흡입구를 적용하여 공기흡입구 통로를 직선이 아닌 곡선으로 만들어 이를 해결했다. 이 설계기법은 스텔스기 형상 설계에 가장 핵심이 되는 부분이기도 하다¹¹⁾. 또한, Pratt & Whitney사의 F-119-PW-100 엔진 2기를 장착하였는데, F-119-PW-100 엔진은 무연(smoke-free) 기술을 적용하여 연기가 거의 발생하지 않고 적외선 방출량도 최소한으로 줄여 스텔스 성능을 높인 엔진 기종이다.

F-22A에 사용된 복합소재들은 두 가지 이상의 유기, 무기 소재가 복합되어 하나의 층을 형성하여, 알루미늄

합금 16 %, 티타늄 39 %, 강철 합금 6 %, 열가소성 수지 1 %, 열 경화성 수지 24 %, 기타소재 15 %로 구성되었다. 특히 기체 표면은 주로 흑연 BMI 수지(Graphite Bismaleimide)로 처리하여 스텔스 성능을 극대화 하였다. 하지만 F-117과는 달리 부드러운 곡면설계가 되어 있고 기체표면 자체에 RAM이 적용되어 있기 때문에, 스텔스 도료를 기체 전체가 아닌 일부에만 칠하여 효율성을 극대화 하였다. Fig. 7에 F-22에 적용한 스텔스 기술을 표시하였다.

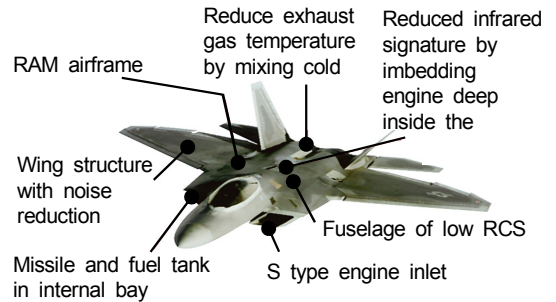


Fig. 7. Stealth technologies applied in F-22A

2006년 Northern Edge 훈련에서 F-22와 F-15의 Blue Force와 F-15, F-16, F/A-18, E-3 조기경보기로 구성된 Red Force가 벌인 모의 공중전에서 2대 241 기록이 나왔다. 그것도 Blue Force에서는 F-15 2대가 격추 되었다. 훈련에 참가한 F-15, F/A-18 파일럿 들은 “dogfight 할 거리에서 눈앞에 뻔히 보이는데 레이더에도 안 걸리고 무기 lock-on도 안 된다.”라며 F-22의 스텔스 성능을 증언하였다. Red Flag 훈련과 비교해보면 아군기 전력 손실이 10 %에만 그쳐도 대단히 놀라운 기록으로 평가하는 것으로 보아도 Northern Edge 훈련은 F-22의 우수한 스텔스 성능과 위력을 선보인 대표적인 사례이다.

4.1.3 F-35 Lightning

F-35 항공기는 미군의 3군 통합 전투기(JSF : Joint Strike Fighter) 개발 사업에서 최종 선정되어 개발되었으며, 미국의 High-Low 전술에 의해 F-22 Raptor의 Low급을 위한, 특히 Harrier 수직이착륙기 교체를 위하여 개발되었다. 국내 도입중인 F-35A 같은 경우 2,200 km의 항속거리와 1,100 km의 작전반경과 마하 1.8의 최대속도를 가진다.

구소련이 붕괴하면서 미 공군은 엄청난 군비축소의

압박을 받았다. 게다가 기존의 항공 전력이 노후화됨에 따라 수명주기비용이 크게 증가하여, 1993년 3월, 펜타곤은 방위력 전면검토(BUR : Bottom-Up Review)를 시작하였다. 1993년 10월 말에 종료된 BUR에서는 막대한 예산이 요구되는 F-22A 사업과 F/A-18E/F 사업의 속행 및 A-6의 신속한 퇴역을 우선순위로 정했다. 그 결과 펜타곤은 공동개발 사업으로써 A-6, F-14, F-16 및 F-111을 대체할 차세대 항공기의 시제기 개발을 계획하기 위하여 1993년에 JAST(Joint Advanced Strike Technologies) 사업을 시작하였고, 이 사업에서 최종 선정되어 F-35 Lightning이 개발되기 시작했다.

F-35 전투기의 경우 F-22와 비슷한 형상이지만 전투기의 날개와 동체를 통합하는 Wing Box 구조를 채택하여 경량화를 시키고 동시에 단순화와 RCS를 감소시켜 스텔스 성능을 강화 하였다. 또한 여러 겹으로 적층된 스텔스 표면으로 설계하여 일부가 파손되어도 자체적으로 직접 레이더 파를 흡수하여 스텔스 기능을 유지할 수 있다. 설계 시 엔진 팬 블레이드를 내부로 숨겨 RCS를 감소 시켰고 공기 흡입구 같은 기체 일부 부품들을 복합 소재를 이용한 일체형으로 제작하여 리벳, 접합면으로 인한 RCS를 감소시켰다. 또한 F-35에 장착되는 AN/APG-81 레이더의 경우 기존 레이더들에 비해서 저피탐성 전파를 발산해, 적의 전자정찰에도 쉽게 잡히지 않아 다방면에서 스텔스 기술이 접목된 최첨단 스텔스 전투기이다^[11]. Fig. 8에 F-35에 적용한 스텔스 기술을 표시하였다.

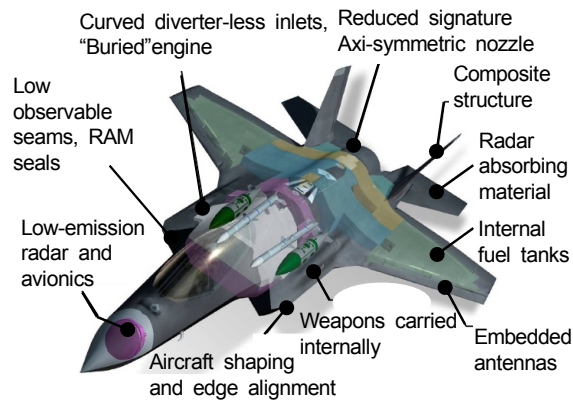


Fig. 8. Stealth technologies applied in F-35

대한민국 공군의 차세대 전투기 도입 사업으로 2018년 3월 F-35A 1호기가 미국 현지에서 출고 되었다.

이어 2019년 전반기부터 2021년까지 총 40대의 F-35A가 배치될 예정이다. F-35A는 AN/APG-81 레이더와 최첨단 광학 감시 장비를 탑재하여 탄도 미사일의 발사 및 비행을 자체적으로 감시하여 공군의 작전 수행능력을 향상시키며, 스텔스 성능으로 적의 방공망을 뚫고 최후방까지 비행하여 핵심 전략목표를 파괴할 수 있다. 또한 F-35A는 평시에도 마하 1.8의 속도로 1,100 km의 작전반경 내의 표적에 대하여 적의 감시를 피하여 적이 인지하지 못한 상황에서 언제든지 정밀타격이 가능하기 때문에 평시 전쟁 억제력을 높이고 전시에 적의 핵, 미사일 등을 발사하기 전에 먼저 탐지하고 선제 타격하는 방위시스템인 킬 체인의 핵심적인 역할을 수행할 수 있다.

4.1.4 기타 스텔스 항공기

PAK-FA기는 러시아가 미국의 RAPTOR F-22에 대항하기 위해 Sukhoi 사에서 개발 중인 5세대 스텔스 전투기이다. PAK-FA기는 레이더 반사면적을 줄이기 위해서 이전의 러시아 전투기들에 비해 기체형상을 매끈하게 설계하였다. 또한 엔진 앞부분에 레이더 블로커를 장착하고 S자형 공기흡입구를 채택하여 RCS를 감소시켰다. 또한 PAK-FA기에 장착된 SH-121 레이더는 AESA 레이더, 측면감시레이더, L밴드 레이더로 구성되어 특정 레이더 전파대역에 특화되도록 설계된 기존 스텔스기들의 문제점을 노려 스텔스기를 탐지할 수 있게 설계된 것으로 알려져 있다.

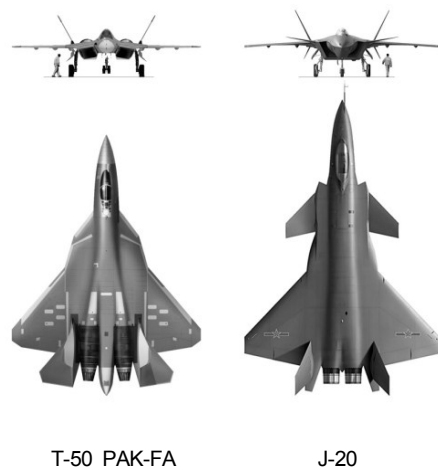


Fig. 9. T-50 PAK-FA(Russia) and J-20 Chengdu (China)

J-20 Chengdu는 중국에서 개발한 5세대 스텔스 전투기이다. 1990년대 시작한 J-XX라 불린 스텔스 전투기 제작 프로젝트에서 시작하여 코소보 사태에서 추락한 F-117 잔해를 기반으로 개발된 것으로 알려져 있다. J-20 전투기는 선양 WS-10G 엔진 2기를 장착하며 2100 km/h의 최대속도를 가진다. 길이 20 m, 날개 폭 13 m, 높이 4.45 m로 귀 날개와, 삼각익을 채용하였다. Fig. 9에 J-20와 PAK-FA의 개략적인 형상을 비교하였다.

4.2 스텔스 항공기에 의한 항공작전의 변화

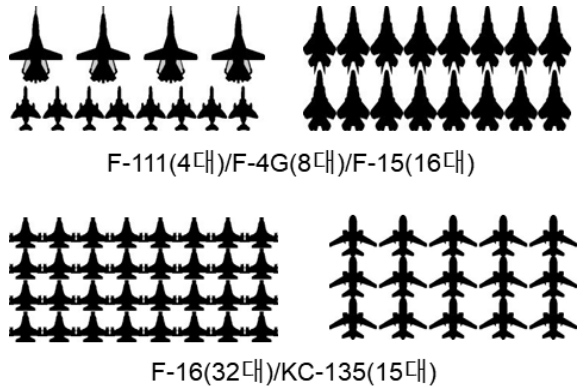
스텔스 기술을 도입함으로써 항공작전의 양상이 어떻게 변화할 것인가? 스텔스 항공기 운용의 효과로서 다음과 같은 점들을 예상할 수 있다.

- (1) 항공기의 생존성 향상
- (2) 적군 혼란 및 사기 저하
- (3) 적 방공포 회피를 위한 급 기동 불필요
- (4) 목표 집중적인 고도의 정밀 공격

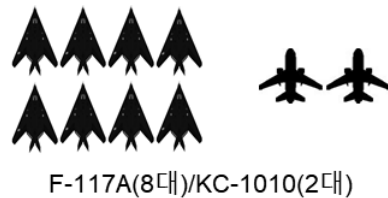
이러한 예상들은 걸프전에서 여실히 증명되었다. 당시 F-117A 항공기들은 가장 위험한 목표물 공격임무의 대부분을 담당하였고, 총 1,271회의 출격 기록에도 불구하고 단 1대의 손실도 없었다. 월남전에서 목표 명중률이 30 %에 불과하였으나, 걸프전에서 F-117A 항공기의 명중률은 약 80~85 %나 되었다. 또한 일반적인 비행훈련은 쏘티 당 1.4~1.8 시간인 것에 비하여, 걸프전에서는 쏘티 당 평균 5.4시간을 기록하였으며, 대부분 야간 공격임무에 투입되었다¹²⁾.

Fig. 10은 스텔스 성능을 가진 고성능 전술기에 의하여 항공작전이 어떻게 변할 수 있는가를 예시적으로 보여주고 있다. 미 공군의 전형적인 공격대형(strike package)은 제공 전투기의 엄호를 받으며 ECM 항공기가 앞장서고 그 뒤에 공격기와 공중급유기가 따르는 대형이다. 그러나 F-117A 스텔스 공격기를 보유한 미 공군이 걸프전에서 이라크군의 중심부인 Baghdad 구역에 위치한 목표물에 대한 공격을 감행할 때 취한 공격대형은 완전히 달랐다. 다음은 걸프전 결과에 대한 미 공군 보고서 내용의 일부이다¹²⁾. “스텔스 항공기가 없었다면, 전형적인 공격임무에 폭탄을 장착한 32대의 F-16 전폭기와 16대의 F-15 호위기, 적 방공망 제압을 위한 4대의 F-111과 8대의 F-4G, 그리고 15대의 KC-135 급유기를 필요로 하였을 것이나, 스텔스

기술은 동일한 임무 수행을 단 8대의 F-117A와 2대의 KC-10 급유기만으로 가능하게 하였다.”



(a) Combat formation with conventional aircraft



(b) Combat formation with stealth aircraft

Fig. 10. Comparison of combat formations for conventional and stealth aircraft

기존의 폭격기의 경우 포격지역 가까이 근접해야 하는 위험요소를 감수해야하기 때문에 적의 방공망 밖에서 발사될 수 있는 장거리 유도미사일을 이용하여 정밀 폭격작전을 수행하게 된다. 그러나 스텔스기의 경우 스텔스 성능으로 적 방공망의 무력화가 가능하기 때문에 은밀하게 침투하여 동일한 폭격임무 수행시 직접 포격지역까지 비행이 가능하며 GBU, JDAM 같은 직격탄으로 정밀 폭격임무 수행이 가능하다. 최근 국내 도입되어 F-15K에 장착될 것으로 알려진 장거리미사일 TAURUS과 SLM-ER, JASSM, JSOM과 같은 대부분의 Stand-off missile의 경우 동일한 폭격 임무수행 능력을 보유한 JDAM GBU-31, 32, 38보다 일반적으로 10배에서 50배 정도 가격이 비싸다. 예를 들어 Fig. 11과 같이 500 km 이상 거리에 있는 목표를 파괴 시 4000 lb급 미사일이 필요하다고 가정하고 현재 알려진 무장비용을 산출한 결과 F-15, F-18 같은

비 스텔스기의 경우 1000 lb급의 SLAM-ER 4기를 장착하여 임무수행 시 대략 4백만 USD 정도의 무장비용이 소모 된다. 하지만 F-35, F-22와 같은 스텔스기로 임무 수행 시 1000 lb급의 GPS유도 JDAM 4기를 장착하고 임무 수행 시 대략 10만에서 14만 USD 정도의 무장비용이 필요하다^[13].

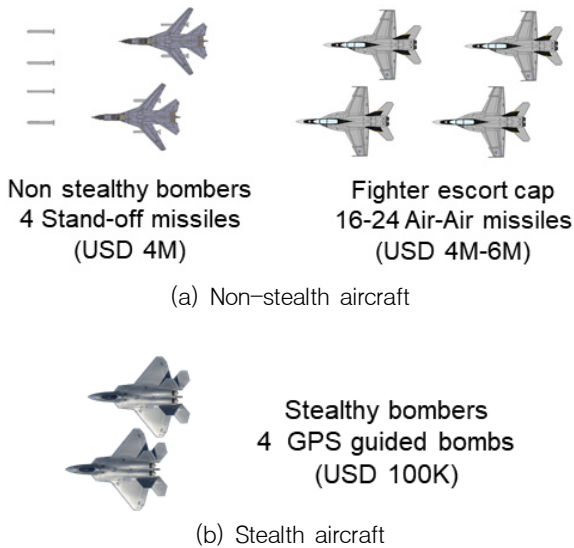


Fig. 11. Cost comparison of air strike mission with non-stealth and stealth aircraft^[13]

5. 결론

‘전파뿐만 아니라, 가시광선, 적외선, 자외선, 음향 탐지 장치 등 모든 수단의 탐지 및 추적을 피하는(혹은 감소시키는) 능력’으로 정의되는 스텔스(stealth) 능력은 적지의 침투 능력 개선은 물론 생존성 및 효율성 향상과 직결되는 현대 고성능 전술항공기의 핵심 성능 중 하나이다. 스텔스 항공기의 기술요소인 ‘레이다 파에 대한 노출면적(RCS)을 최소화하는 노력인 형상 최적화’, ‘레이더 파 흡수재료 및 흡수구조’, ‘가시광선과 적외선 등의 기타 형상신호 감소’에 대하여 각 기술의 기본개념, 핵심요소, 적용 예 등을 정리하였다. 또한 현대 스텔스 항공기에 의한 항공전쟁(air warfare)의 변화에 대하여 기술하였다. 본 연구가 스텔스 항공기 기술과 스텔스 항공기에 의한 미래 항공전쟁에 대한 이해가 증진되기를 기대한다.

References

- [1] D. C. Aronstein, M. J. Hirschberg and A. C. Piccirillo, “Advanced Tactical Fighter to F-22 Raptor,” AIAA, 1998.
- [2] M. Skolnik, “Radar Handbook,” 2nd ed., McGraw-Hill, 1990.
- [3] D. Howe, “Introduction to the Basic Technology of Stealth Aircraft : Part 2 - Illumination by the Enemy (Active Considerations),” Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 113, pp. 80-87, 1991.
- [4] Air Force Institute of Technology, “Critical Technologies for National Defense,” AIAA Education Series, pp. 199-228, 1991.
- [5] D. P. Raymer, “Aircraft Design : A Conceptual Approach,” AIAA Education Series, pp. 191-203, 1999.
- [6] J. H. Oh, “Design of Electromagnetic Wave Absorbing Structure Using Layered Composite Plates,” Ph. D. Thesis, KAIST, 2002.
- [7] W. J. Lee, J. W. Lee, C. G. Kim, “Characteristics of an Electromagnetic Wave Absorbing Composite Structure with a Conducting Polymer Electromagnetic Band Gap(EBG) in the X-band,” Composites Science and Technology, Volume 68, Issue 12, pp. 2485-2489, 2008.
- [8] S. M. Baek, W. J. Lee, Y. S. Joo, “A Study on the Radar Absorbing Structure for Aircraft Leading Edge Application,” 2015 KSAS Fall Conference, 2015.
- [9] D. Howe, “Introduction to the Basic Technology of Stealth Aircraft : Part 1 - Basic Considerations and Aircraft Self-Emitted Signals(Passive Considerations),” Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 113, pp. 75-79, 1991.
- [10] S. G. Kim, “100-year History of Aircraft,” KIDA Press, pp. 177-201, 2009.
- [11] S. H. Lee, “The Birth of Stealth Fighter,” Defense Media Agency, 2015.
- [12] J. D. Morrocco et al., “Gulf War : Assessing The Victory,” Aviation Week & Space Technology, pp. 38-39, April 22, 1991.
- [13] Carlo Kopp, “Stealth in Strike Warfare,” Air Power International, Vol. 6, February, 2000.