

## F-22 Raptor의 설계진화 탐구 I

이 경 태\*

• • •

다음의 내용은 Lockheed Martin Tactical Aircraft System사의 Mr. Eric Hehs가 1998년 4월과 10월 두차례에 나누어 “Code One”지에 발표한 “F-22 Design Evolution”을 번역한 것이다. 1981년 미공군이 신형전투기 개념연구에 대한 정보제안요청서(RFI)를 항공기 제작사들에게 배포함으로써 공식적으로 출범한 ATF(Advanced Tactical Fighter) 프로그램의 초기단계에서부터 F-22 Raptor의 양산을 준비 중인 현단계에 이르기까지 최신의 항공기 개발의 전과정이 직접 개발에 참여한 전문가들의 생생한 증언을 곁들여 소상하게 기술되어 있다. 전문의 내용을 4회에 걸쳐 소개하고자 한다.

초음속 고등훈련기 KTX-2의 개발이 한창 진행 중인 국내 상황을 놓고 볼 때, 개발에 관여하고 있는 모든 관계자들은 다음과 같은 의문을 자주 가지게 된다. 즉, 선진항공국에서의 항공기 개발과정은 어떠한 단계를 거쳐 세부적으로 어떻게 진행되는지와 같은 매우 기본적인 것에서부터, 항공기의 요구조건은 어떻게 도출되며 고객과의 협의를 통해 어떻게 진화하여 가는지 그리고 이를 달성하기 위한 설계안의 진화와 체계종합 과정에 대한 성공사례는 어떠한 것인지, 선진 항공기 제작사들간의 치열한 경쟁과 협력은 어떻게 전개되며 이 과정에서의 상호 역할분담과 책임에 대한 원칙은 어떤 것인지, 프로그램의 궁극적인 성공을 위한 발주자와 개발자의 역할은 어떠한 것인지 등이다.

---

\* 세종-록히드마틴 항공우주연구소 소장

이 글에는 위에 언급한 내용들이 소상하게 기술되어 있다. 최신예 항공기란 결코 첨단기술 만의 산물이 아니다. 기술과 프로그램 매니지먼트 및 고객을 포함하여 개발과정에 참여하는 모든 집단 간의 조화된 팀플레이가 프로그램의 성공을 선사하는 것이며 이것을 수행하는 일련의 과정이 바로 체계종합인 것이다. 경험이 부족한 상태에서 성공적인 체계종합 과정을 수행하기란 결코 쉽지 않다. 우리 모두에게 성공적인 항공기 개발에서의 체계종합 선례를 진지하게 학습하는 자세가 필요하다.

지금부터 이 글을 접하는 모든 독자 들과 함께 최신예 전투기 F-22 Raptor의 개발 여행을 출발해보기로 한다.

## F-22 Raptor의 설계진화 탐구 (Part 1)

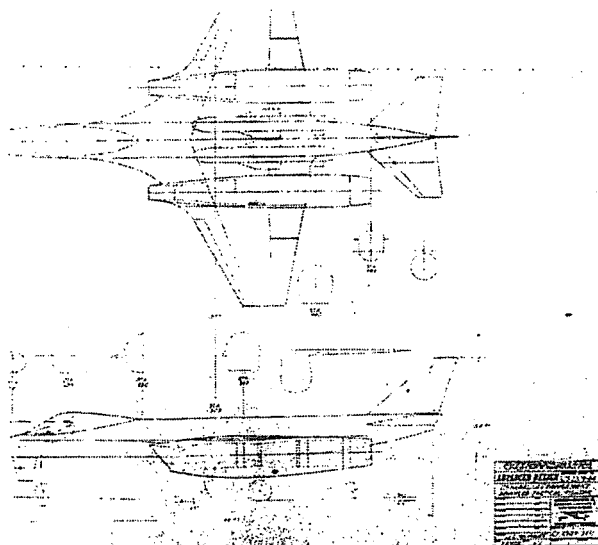
ATF프로그램의 공식적인 출발은 1981년 미공군의 Aeronautical Systems Division(ASD)에서 Advanced Tactical Fighter의 개념연구에 대한 정보제안 요구서(Request for Information)를 배포한 시점으로 거슬러 올라간다.(ASD는 현재 미국 오하이오주의 라이트패터슨 공군기지내에 Aeronautical Systems Center라는 명칭으로 자리잡고 있다.) Advanced Tactical Fighter(ATF)라는 명칭은 이시점에서 거의 10년전으로 거슬러 올라간 1972년 ASD의 Advanced Planning Branch에서 계약자들에게 배포한 일반운용 요구조건문서(general operational requirements document)상에 처음으로 등장하고 있다. 이당시 배포된 요구조건문서는 새로운 공중우세 전투기(air-superiority fighter) F-15를 보완하기 위한 신개념의 공대지 전투기(Air-to-ground fighter)에 관한 것이었다. 아울러 ATF는 노후한 F-4와 F-111 편대를 대체하기 위한 목적도 가지고 있었다.

ASD는 ATF의 개념탐색연구 계약을 General Dynamics 및 McDonnell Douglas와 체결하였다. 이 공대지 전투기의 요구조건 상에는 중고도 및 고고도 상에서 마하수 2.5로 비행할 수 있어야하며, 원거리 상에서 적의 탱크와 다른 지

상 목표물을 파괴할 수 있는 무장을 탑재하여야 했다. 이러한 항공기는 그 당시까지는 실현되지 않은 상태였다. 원래는 공대공의 주간운용 전투기로 설계된 F-16 Fighting Falcon이 공대지 역할 수행을 병행하기 위한 용도로 운용되고 있었다. ASD는 다른 기종의 새로운 전투기 개발 프로그램을 착수하기 위해 10년을 기다려야 했던 것이다. 이 새로운 전투기의 개념연구는 이후에 ASD에서 역시 라이트 패터슨 공군기지 내에 위치하고 있는 미공군의 Flight Dynamics Lab.으로 이관되었다.(Flight Dynamics Lab.은 현재 Air Force Research Laboratory의 Air Vehicles Directorate로 명칭이 바뀌었다.) ASD가 새로운 항공기 개발 프로그램을 지원하는 동안 Flight Dynamics Lab.은 군용 항공기와 관련된 기술개발을 진행하고 있었다.

Flight Dynamics Lab.은 1970년대에 Advanced Tactical Fighter와 관련된 여러 연구개발계약을 지원함으로써 ATF관련 기술을 배양하고 있었다. 1975년에 General Dynamics와 McDonnell Douglas에서 수행한 개념연구의 제목은 "Advanced Technology Ground Attack Fighter"였다. 이후에 여섯 개의 회사가 "Air-to-Surface Technology Study"에 참여하게 된다. Flight Dynamics Lab.은 이후에도 1980년도에 신형 전투기의 개념연구와 관련된 두 개의 연구계약을 지원하게 되는데, 하나는 미래의 공대지 전투기에 대한 "Tactical Fighter

〈그림 1〉 The 1973 Lockheed design study for an Advanced Tactical Fighter



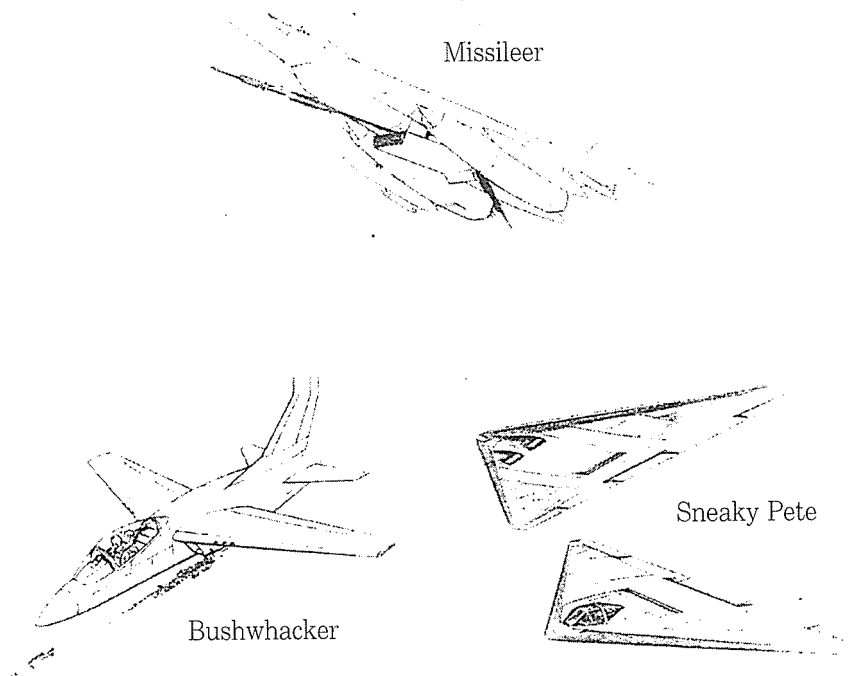
Technology Alternatives”라는 제목의 연구와 다른 하나는 미래의 공대공 전투기에 대한 “1995 Fighter Technology Study”이다. Boeing과 Grumman이 공대지 전투기 연구를 수행하였고, General Dynamics와 McDonell Douglas는 공대공 전투기 연구를 수행하였다.

Lockheed 역시 초창기의 개념연구에 다른 정부기관으로부터 연구용역을 받아 참여하였다. 1972년에 Lockheed Tactical Systems의 프로그램 매니저였던 Bart Osborne의 설명에 의하면 Lockheed는 1970년대 초반에 미해군을 위한 슈퍼스텔스(superstealth) 공대지 공격용 항공기 연구에 참여한 것이 최초였다. 지금은 은퇴하였으나 Osborne은 1980년대 중반 ATF프로그램의 시연단계(demonstration/validation phase)동안에 수석엔지니어를 담당했었다. Lockheed는 항공기의 스텔스(stealth)기능을 획기적으로 개선한다는 의미로 슈퍼스텔스란 용어를 사용했다. 이러한 Lockheed의 초창기 연구는 미해군의 Advanced Tactical Aircraft 프로그램에 회사차원의 제안서를 제출토록 하였다. Osborne의 계속되는 설명을 인용하여 보자. “우리는 슈퍼스텔스 설계를 사용한 미공군의 공대지 전투기용 버전을 연구했었다. 이당시에 우리는 슈퍼스텔스 기능을 구현하기 위해서 무엇을 어떻게 해야할지 몰랐다. 몇가지 아이디어는 있었으나 아무것도 증명이 된 것은 아니었다. 그당시의 초창기 연구에서 오퍼레이셔널 리서치를 통해 슈퍼스텔스 기능 구현이 가능할 경우 상당히 강력한 기능의 항공기가 출현 할 수 있다는 사실만이 입증되었을 뿐이었다.” 그러나 Lockheed에서의 초창기 ATF 관련 작업은 수면기에 접어들게 되는데 이는 그당시 Lockheed사가 전사의 역량을 초창기의 F-117프로그램에 집중시켰기 때문이었다.

1970년대에 Boeing은 신형 공대지 전투기에 대한 광범위한 연구를 수행하였다. 그당시 Boeing의 예비설계 그룹을 이끌었던 Dick Hardy는 다음과 같이 회고한다. “그당시 비교적 소형의 단발엔진 항공기에서부터 대형 쌍발엔진 항공기에 이르기까지 광범위한 기본설계연구를 수행하였다. 초음속에서부터 아음속 항공기와 일반적인 형상(non-low-observable type)에서부터 진정한 의미의 저피탐성(low-observable) 형상 및 B-2폭격기와 같은 플라잉 윙(flying wing) 개념에 이르기까지 상당히 광범위한 설계연구를 진행시켰다.” 나중에 Hardy는 F-22 프로그램에서 Boeing측의 프로그램 매니저를 담당하게 된다.

General Dynamics는 신형전투기의 개념에 대해 광범위한 연구를 수행하였으며, 아울러 기존전투기의 개조연구도 병행하였다. 동일임무 수행을 위한 F-16,

## 〈그림 2〉 Missileer, Bushwhacker, Sneaky Pete의 형상



F-15 및 F-111의 진보된 파생형과 신개념의 항공기 설계안이 서로 경합을 벌였다. 신개념의 항공기 설계형상 들 중에는 “Plain Jane”이라 명명된 보편적인 형상과 “Bushwhacker”라 명명된 초음속 스텔스형상, 여러기의 장거리 공대공 미사일을 적재할 수 있는 대형전투기 형상인 “Missileer”, 고도의 스텔스 기능을 보유한 올윙(all-wing) 형상의 “Sneaky Pete”(Sneaky Pete의 설계는 나중에 미해군에서 단명한 기종이었던 A-12 Avenger II로 진화하게 된다.) 등이다.

이와같이 여러 정부기관의 지원을 받았던 개념연구는 향후 General Dynamics, Boeing, Lockheed 및 다른 여러 항공기 제작사 들의 자체비용 조달을 통한 연구로 확산되는데, 이들 여러 항공기 제작사 들은 향후 정식의 ATF프로그램에서 서로 경쟁관계에 돌입하게 된다.

이러한 연구의 동기는 차세대 전투기의 잠재적인 임무 및 역할수행을 위해 가장 유망한 설계개념을 정립하고 실질적인 기술을 구현하기 위함이었다. 구소련에서의 신세대 전투기 개발은 미국 내에서의 이러한 노력을 더욱 강화시키는 계기

가 되었다. 1970년대 초반 구소련에서는 향후 MIG-29와 Su-27로 명명된 신형 전투기의 개발이 진행되고 있었다. MIG-29의 프로토타입은 1977년 10월에 최초로 비행하였다. Su-27의 프로토타입은(두 번째 프로토타입이 최종형상과 더 유사함.) 1981년 4월에 최초 비행을 하였다. 동시에 구소련은 지대공(surface-to-air) 및 공대공 미사일의 기술개발에도 박차를 가하고 있었다. 그 당시 미공군의 전략기획자 들이 예상한 미국과 구소련의 전투기 전력은 막중세를 나타내고 있었는데 이는 미국의 입장에서 도저히 받아들일 수 없는 것이었다. 1970년대에 위에서 언급한 여러종류의 연구가 미국 내에서 수행되면서 동시에 항공우주 산업체는 나름대로 광범위한 신형 항공기의 설계개념을 탐색하고 있었다. 산업체들은 아울러 이러한 신개념에 의거한 항공기의 설계안을 신속하게 평가 할 수 있는 복잡한 컴퓨터 모델을 개발하였다. 예를 들어 General Dynamics의 경우 설계안의 평가를 위해 고도로 발달된 절차를 보유하고 있었다. 이 절차는 항공기의 일반 배치(general arrangement)와 공기역학, 구조, 항공전자, 무장 및 추진기술을 정의하는 설계개념으로부터 시작된다. 그러한 설계개념으로부터 설계종합(synthesis) 및 사이징 컴퓨터모델을 사용하여 광범위한 영역의 기동성, 속도, 항속성능 및 타 성능변수가 지정된 설계군을 생성하게 된다. 이렇게 생성된 보다 세부적인 설계안 들은 라이프사이클 코스트 모델과 여러종류의 효율성 검증 모델을 사용하여 각 설계안 별로 지대공 및 공대공 위협에 대한 민감도를 평가하게 된다. 또 다른 모델에서는 각 설계안 별로 가상목표로부터의 공격에 의한 치사율을 확인한다. 이렇게 여러종류의 유효성 검증 모델로부터 획득한 데이터는 캠페인모델(campaign model)에 사용되는데 여기에서는 전장 시나리오 상에서 정의하는 전력구조, 임무할당, 기지구축 개념, 위협의 분포, 전략 및 기타의 세부사항이 모두 반영된다. 이렇게 생성된 각각의 개념설계안에 기초한 여러개의 캠페인모델 들은 전체 공중전력의 한 요소로서 전쟁게임을 통해 평가되고, 각 설계안 별로 비용을 평가하여 순위를 매기게 된다.

이러한 일련의 절차는 엔지니어로 하여금 새로운 항공기의 성능수준 또는 설계안의 여러 설계요소들이 군사적인 용도로의 유용성에 어떻게 영향을 미치는지 알 수 있게 해준다. 새 항공기에 적용될 기술과 설계변수 값의 선정을 위해 전장에서 의 공중전력 기여도 평가를 수행하는 것이다. 이러한 결과는 각 설계개념 별로 비용효율성을 최대화시킨 성능요구조건을 도출함으로써 정점을 이루게 된다.

## Stealth

스텔스 기능 보유가 매우 바람직하다는 것은 여러 분석을 통해 입증된 바 있다. 1980년에 발간된 General Dynamics사의 "1995 Fighter Technology Study" 최종보고서에는 전투기의 공중전력 우세를 달성하기 위해 현저하게 요구되는 특성으로서 스텔스기능을 꼽고 있다. Flight Dynamics Lab.에서 발주한 여러 항공기 개념분석 연구에서 General Dynamics 측의 프로그램 매니저를 담당하였던 Bill Moran의 설명을 들어보자. Bill Moran은 현재 Fort Worth에서 F-22 프로그램의 부책임자를 담당하고 있다. "전투기는 항상 위장을 하고있는 상태이다. 즉, 전투기 조종사는 항상 스텔스 전술을 채용하고 있는 것이다. 미공군의 베트남 전투 실시간 분석 보고서인 "Red Baron Study"에 의하면 베트남 전투에서 격추된 항공기 승무원의 절반 이상이 또 요격당한 항공기의 80%가 적의 공격을 알아채지 못한 상태에서 당한 경우이다. 알려진 자료에 의하면 1차대전과 2차대전 및 한국전쟁의 기록에서도 이와 같은 사실을 뒷받침해주고 있다. 공중전 역사상에 이스칭호를 얻은 전투기 조종사들의 자서전을 보면 그들의 성공은 적이 자신을 발견하기 전에 먼저 적을 발견하는 능력에서 기인한 것을 알 수 있다. 태양광을 뒤에 업어 적이 자신을 발견 할 수 없게 하거나 적의 시야를 벗어난 사각 지점에서 적을 공격하는 것이다."

이러한 의미에서 볼 때 스텔스기능이란 적이 감지하기 전에 먼저 적을 감지 할 수 있는 기능을 뜻한다. 좁은 의미로 스텔스라는 용어는 특수 도장이나 특수한 기술을 적용하여 항공기 존재가 적에게 감지 될 수 있는 정도를 극도로 낮추는 것을 의미한다. 감지하는 기술이 발전 할수록 감지를 피하는 기술도 따라서 발전한다. 2차대전 초기에 효율적인 레이더 네트워크의 개발은 이러한 레이더에 대한 대응 스텔스(stealth counter) 기술발전을 유도하였다. 레이더파를 흡수하는 재료는 1940년대 독일이 잠수함의 잠망경과 환기장치에 처음 적용하여 사용한 바 있다. 독일은 나중에 Horten Ho IX에서 파생된 제트추진 폴라잉 워 타입의 전투폭격기 설계에 레이더파를 회피하는 형상과 레이더파를 흡수하는 재료를 모두 적용한 바 있다. 레이더파 회피기술은 동시에 미국에서도 개발되었었다.

곧 이어서 스텔스는 무인기와 미사일에도 적용되었다. Ryan Q-2 Firebee와 Lockheed D-21 무인기는 레이더파 흡수재료를 적용하였다. Boeing은 1960년대 말에 일반적으로 SRAM으로 알려진 단거리 공격용 미사일인 AGM-69의 설계

## 〈그림 3〉 Superhustler

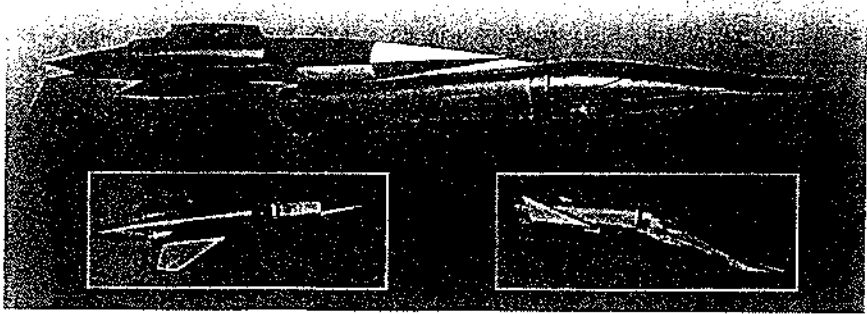
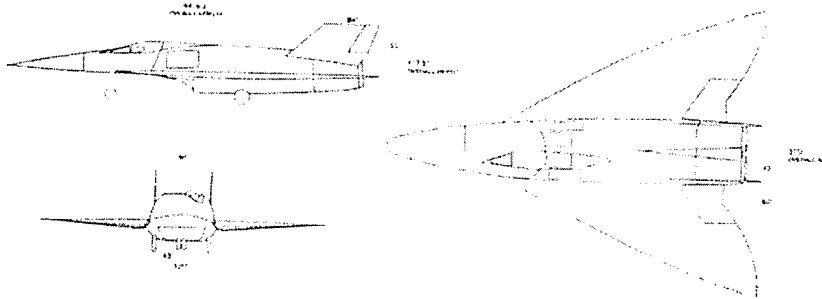


Figure 3. Superhustler. The Superhustler is a high speed, low altitude, high maneuverability aircraft designed for the SR-71 program. It is a two-seater, single-engine, high speed, low altitude, high maneuverability aircraft designed for the SR-71 program.

〈그림 4〉 General Dynamics Kingfish vs. Lockheed design for A-12  
(successor to the SR-71)



General Dynamics Kingfish competed against a Lockheed design for what became the A-12, the successor to the SR-71.

에 스텔스기술을 적용하였다. 1990년까지 초음속의 SRAM은 B-52 및 B-2 폭격기에 탑재되어 사용되었다. Boeing의 개발프로그램에 참여했던 Hardy의 설명에 따르면 이 미사일은 매우 엄격한 레이더신호 단면(radar cross section) 요구조건을 충족시켰다. General Dynamics사 역시 스텔스 기술개발의 초기단계에서 매우 중요한 역할을 수행하였다. General Dynamics사는 New Mexico의 White Sands지역에 RatScat이라 알려진 미공군 최초의 레이더 안테나 타겟 스퀘어링 시설의 프로토타입을 건조하였다. 이 시설은 항공기가 레이더에 표시되는



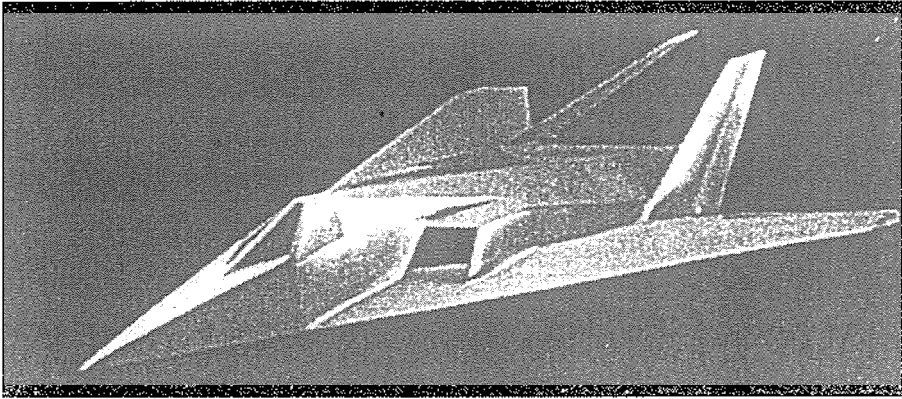
단면적을 정확히 측정하는데 사용되는 시설이다. 1970년대에 General Dynamics사는 미공군을 위해 RatScat시설을 건조하고 또 운용하여 왔다. 아울러 1980년대에 Texas주 Meridian에 회사자체의 레이더 측정 설비를 운용하기도 하였다.

1950년대 후반에 General Dynamics사는 초음속 고고도 정찰항공기인 Lockheed U-2를 대체하기 위해 미중앙정보국(CIA)이 설정한 정찰항공기의 요구조건을 충족시킬 수 있는 고성능 스텔스 설계개념 연구를 진행한 바 있다. 설계안은 B-58 항공기에 정찰기를 탑재한 후 공중에서 발사하여 운용되는 형태로 Super Hustler라 명명된 기종이었다. 이 작업은 이후 설계가 진화하여 125,000 피트 상공에서 마하수 6.25의 항속능을 갖도록 설계한 별도의 형상으로 발전하게 된다. Kingfish라 불리웠던 이 형상은 내열성이며 레이더 반사파 감쇄용 세라믹 재료인 pyro-ceram을 항공기 외피의 대부분에 적용하였다. 순항시에는 2개의 Marquardt 램제트 엔진이 사용된다. 2개의 GE J85 터보제트 엔진은 기체내부로 접어들일 수 있게 장착되며 이륙시와 램제트 엔진의 점화가능 속도까지 가속시키는 단계에서 추력을 제공한다.

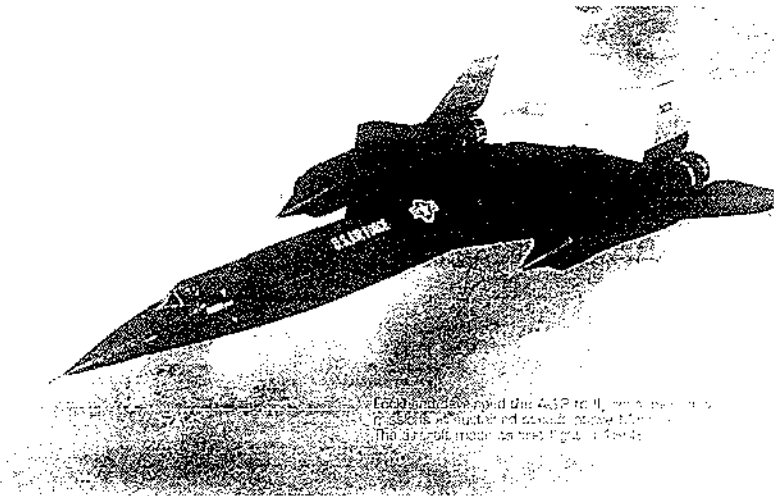
그러나 이러한 General Dynamics사의 혁신적인 설계는 1959년 8월 경쟁자인 Lockheed사의 설계안해 패배한다. Lockheed사의 항공기 개념은 단좌(single-seat)의 A-12로서 SR-71 Blackbird로 널리 알려진 복좌(two-seat)의 선조격이 되는 항공기였다. A-12 설계는 레이더파를 회피하는 형상과 레이더파를 흡수하는 구조재료의 채택으로 부각되었다. 이 항공기는 원설계 개념에서부터 고도의 스텔스기능이 적용된 최초의 실용 항공기라는데 그 의미가 있다고 하겠다. 경사형의 꼬리날개(canted tails), 톱날형상의 구조, 앞전과 뒷전에 파이형상의 판재를 채택하였고, 잘 조화된 날개와 턱의 형상 및 레이더파 흡수 구조와 도료를 채택함으로써 동시대의 일반적인 항공기에 비해 레이더신호 반사단면을 혁신적으로 감소시켰다.

1970년대에 Lockheed는 스텔스기술을 컴퓨터기술과 조합하여 더욱 진보시키게 된다. 이때 전자기파 방사에서의 반사현상을 모델화한 복잡한 수학적 공식이 사용되었다. 에코(Echo)라 불리는 컴퓨터 프로그램은 평면조합 형상의 물체가 레이더 상에 어떻게 나타나는지 정확하게 예측 할 수 있었다. Lockheed사는 Defense Advanced Research Projects Agency(DARPA)의 연구토픽이었던 Have Blue라 명명된 항공기의 연구에 이 소프트웨어를 사용하였다. Have Blue

〈그림 5〉 Have Blue was the prototype for the F-117.



〈그림 6〉 Lockheed developed the A-12 to fly reconnaissance missions at sustained speeds above Mach 3. The aircraft made its first flight in 1962.

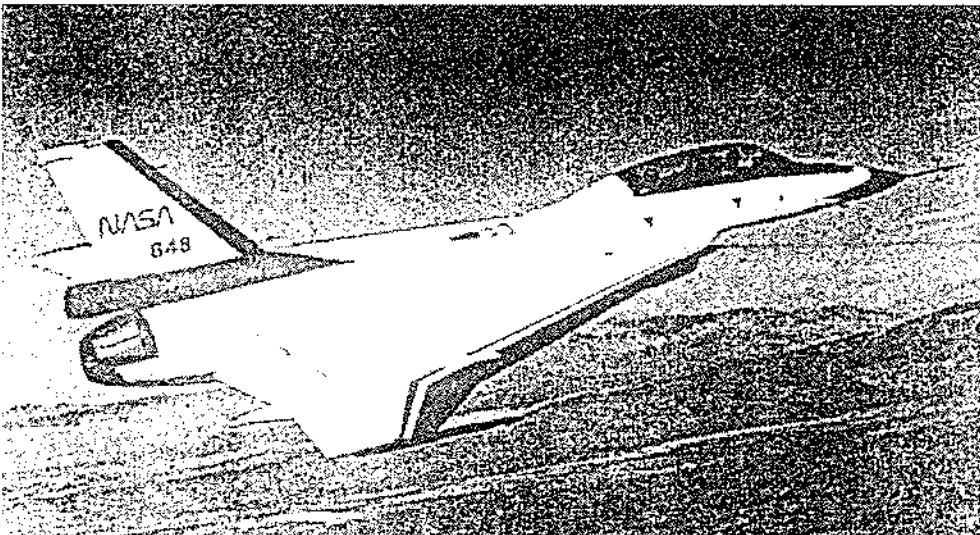


는 마익이 인보드 방향으로 기울어진 다면체 형상의 소형항공기로 F-117 Nighthawk의 전신이 된 항공기이다. DARPA의 프로젝트 수행 후 곧 이어 Lockheed사는 F-117의 개발계약에 서명하게 된다. 예전의 어떠한 항공기보다 획기적으로 스텔스기능을 강화시킨 F-117의 성공은 향후 ATF프로그램에 지대한 영향을 미치게 된다.

## Speed

Flight Dynamics Lab.이 의뢰하였던 개념연구에서 속도는 공중우세 전투기에 게 또하나의 매우 중요한 특성임이 입증되었다. 속도의 우세는 적의 반응시간을 감소시키며 조종사의 의도대로 교전에 임하거나 또는 교전상황으로부터 탈출할 수 있는 자유도를 제공한다. 주도권은 종종 더 빠른 전투기에게 부여되는 것이다. 개념탐색 연구에서의 속도란 슈퍼크루즈 성능을 의미한다. 슈퍼크루즈란 애프터버너를 사용하지 않는 상태에서 초음속으로 비행하는 것을 의미한다. 애프터버너는 다량의 적외선 에너지를 방출하는 요소로서 스텔스성능면에서는 매우 바람직하지 않은 것이다. 슈퍼크루즈성능을 위해 항공기 형상을 최적화 할 경우 길고 가는 형상의 동체에 후퇴각이 매우 큰 소형의 날개를 채택하고 대형의 고온 엔진을 사용하게 된다. ATF가 슈퍼크루즈성능을 보유한 최초의 군용 항공기는 아니다. B-58 Hustler가 최초였다. 그러나 Hustler의 경우 슈퍼크루즈 상태에 도달하기 위해서는 애프터버너를 사용하거나 아니면 가파른 각도의 하강비행을 통해 가속함으로써 천음속 영역의 항력을 극복하면서 초음속 순항상태에 도달해야만 했다. F-16XL과 F-16의 최신 모델들 역시 애프터버너가 없는 상태에서도 초음속에 도달할 수 있다.

〈그림 7〉 The two-seat F-16XL has been suggested as a potential chase aircraft for the F-22 flight test program.



## Maneuverability

기동성 역시 공중우세 전투기에 있어 매우 중요한 또하나의 특성으로 판명되었다. 고도의 기동성은 스텔스나 슈퍼크루즈 기능과는 달리 공격적인 측면보다는 종종 방어적인 전술로 사용된다. Bill Moran의 설명을 들어 보기로 한다. “책이나 또는 ‘Top Gun’ 과 같은 영화에서 비롯된 대중적인 인식과는 달리 적기를 격추시키기 위해 고도의 기동을 수행하는 것은 그리 좋은 생각이 아니다. 기동을 통해 교전에 임하는 경우 시간이 오래 걸릴뿐더러 자신을 적으로 하여금 예측가능한 상태에 놓이게 만든다. 공중전의 역사를 통해 볼 때 성공적이었던 공중전 조종사 들은 가능한 기동을 통한 교전상황 돌입을 회피했다. 1차대전 당시 83대의 적기를 격추시킨 유명한 Red Baron이었던 Manfred von Richthofen도 바로 이 교훈을 위반함으로써 자신이 격추당하는 처지에 놓이게 되었던 것이다. 전투기 조종사는 자신의 항공기가 비행가능한 비행선로(flight envelope) 내에서 유리한 상황의 전개가 가능 할 경우 기동특성을 발휘하는 것이며, 반대로 적에게 유리할 경우에는 이를 피하는 것이다. 그러나 어떤 상태에서든지 유리한 위치와 자세를 선점할 수 있는 기동성능을 발휘 할 수 있다면 위와 같은 고민을 할 필요가 없이 전술적인 유연성이 대폭 개선되는 것이다.” 기동성능은 1960년대에 John Boyd의 에너지-기동성능(energy-maneuverability) 이론에 의하여 정량화 되었다. Boyd의 아이디어는 F-15에 사용되었다. 그러나 그의 이론에 의거하여 정립된 법칙을 구체적으로 설계에 적용한 것은 F-16이 처음이었다. 에너지-기동성능 이론에서 기동성능의 척도로 사용되는 가장 일반적인 요소는 sustainedg(속도와 고도 상의 손실없이 급선회 할 수 있는 능력), instantaneousg(속도에 영향을 주지 않는 상태에서 항공기의 노우 스푸어를 선회할 수 있는 능력), specific excess power(어떤 비행조건 상에서 상승, 가속, 선회를 할 수 있는 항공기의 잠재력에 대한 척도) 등이다. 또다른 하나의 중요한 변수는 천음속 가속시간(예를들어 마하수 0.8에서 1.2까지 가속하는데 필요한 시간)이다. 두가지 전투기를 놓고 이러한 특성들을 비교함으로써 어느 기종이 기동 교전상황에서 전술적 우위를 점할 수 있는지 알 수 있는 것이다.

## STOL/STOVL/VTOL

1970년대와 1980년대에 걸쳐 수행되었던 초기의 ATF 개념연구결과 부각된 또 하나의 중요한 특성은 전투로 손상된 활주로 상에서 항공기를 운용할 수 있는 능력

정도이다. 이러한 기능을 반영한 설계를 의미하는 용어로 STOL(short take-off and landing), STOVL(short take-off and vertical landing), VTOL(vertical take-off and landing) 등이 사용된다. 그러나 이러한 이착륙 상태에서의 특수성 능이 가져다 주는 장점은 스텔스, 스피드 및 기동성능에서 비롯되는 장점들과 대비 하여 볼 때 다소 불분명한 측면이 있다.

단거리 또는 수직 이착륙 기능을 구현하기 위해서는 고비용과 매우 복잡한 시스템이 요구된다. 다시 Bill Moran의 설명을 들어보자. “이러한 기능이 어느정도 요구되느냐 하는 것은 적의 공격적 대공전력(offensive counter air force: 적 항공기가 이륙하기 전에 파괴할 수 있는 능력) 및 활주로 파괴병기의 규모와 효율성에 달려있다. 아울러 항공기가 재공능력을 발휘할 수 있게끔 이착륙을 할 수 있는 가용한 활주로 보유 갯수 및 파괴된 활주로를 수리하여 다시 가동시킬 수 있는 능력 등에도 좌우된다. 가장 중요한 요소는 적의 최전선 기지에서 출격할 적항공기를 무력화시킬 수 있는 방어적 대공전력(defensive counter air force)의 효율성이다.” 항공기에 적재된 폭탄이 활주로 콘크리트파괴용인지 또는 지상의 항공기 파괴용인지는 문제를 더욱 복잡하게 만든다. 항공기 보호시설의 효율성과 어느 기지의 항공기 편대가 최근의 작전에서 어떤 역할을 수행 할 지에 대한 정확한 정보 및 첩보 획득 능력도 문제가 된다. Moran의 설명을 계속 들어보자. “미국과 NATO 연합국들은 대량의 콘크리트를 파괴 할 수 있는 여러종류의 공대지 병기를 개발하기 위해 대단히 바쁜 상태이다. 바르샤바 조약기구에 소속된 국가들도 유사한 노력을 하고 있을 것이라는 것은 쉽게 예측할 수 있는 것이다.”

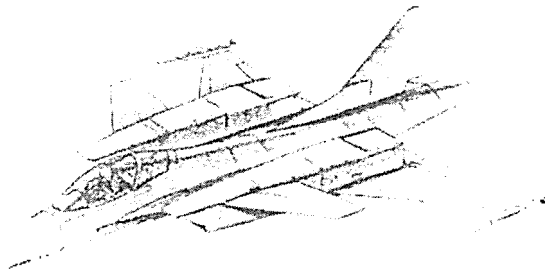
Short Snort와 Jiminy Cricket은 STOL기능을 구현한 General Dynamics사의 두가지 설계형상이다. Short Snort는 날개 위쪽에 설치한 엔진에 벡터형 추력 기능을 채택함으로써 수백피트 수준의 활주거리 요구조건을 충족시키고자 한다. 날개 윗편에 스펜방향으로 설치된 덕트와 포트들이 엔진 배기가스를 굴절시키는 역할을 한다. 이 방법을 사용할 경우 매우 낮은 저속에서도 상당량의 양력을 발생시킬 수 있다. 그러나 덕트의 중량이 매우 과다하고, 궁극적으로는 고성능 초음속 전투기에 이를 적용하는 것은 불가능하다고 판명되었다. Jiminy Cricket형상은 여러개의 엔진을 사용함으로써 STOL 기능 구현을 시도하였다. 양력-순항용 주엔진은 활주로 이륙 후의 비행상태에서 양력발생을 위한 추력을 제공한다. 주엔진에는 수직방향으로 장착된 여러개의 보조엔진 들이 설치되며 이들 보조엔진은 이착륙시에만 필요한 양력을 발생시킨다. 보조엔진의 크기에 따라 항공기는 단거리 또는 수

직 이륙기능을 보유하게 된다.

초음속 비행성능과 고기동성능을 위하여 설계한 전투기에서는 적정수준의 단거리 이착륙 성능을 보유할 수 있도록 추력 대 중량비와 익면하중이 선정되어야 한다. 급수전한 활주로에서 사용할 수 있는 랜딩기어나 오버사이즈 브레이크 및 추력 반전장치(thrust reverser) 등을 추가함으로써 단거리 이착륙 능력은 개선 될 수 있다. 그러나 이러한 개선을 위하여 증가된 중량은 역으로 공중전 상황시 가용한 추력 대 중량비를 감소시키는 것이다.

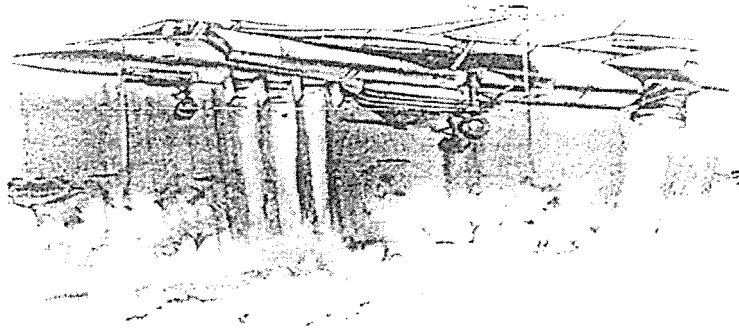
ATF는 원래 대단히 까다로운 STOL 요구조건을 가지고 있었으며 이로인해 위

〈그림 8〉 Short Snort



Short Snort vectored engine thrust over its wings to increase lift for short takeoffs and landings

〈그림 9〉 Jiminy Cricket



Jiminy Cricket used multiple engines to create the lift necessary for short or vertical takeoffs and landings.

에서 언급한 추력반전과 추력벡터링 채용을 고려하지 않을 수 없었다. ATF의 실연단계(demonstration /validation phase)에서 이착륙 거리에 대한 요구조건은 완화되었는데 이유는 추력반전장치 채용에 따른 중량과 비용의 증가 요인을 제거하기 위해서였다. 추력벡터링은 채용되었는데 이는 몇가지 측면에서 항공기의 성능을 개선시킬 수 있기 때문이었다. 미익의 조종면 만을 사용하는 것보다, 낮은 속도로의 항공기 피치업과 추력벡터링을 병행함으로써 이륙거리를 단축시킬 수 있기 때문이다. 순항비행 시에는 벡터링이 트림을 제공하는 보조수단으로 사용될 수 있다. 일반적으로 트림은 미익의 조종면에 의해 제공된다. 따라서 벡터링은 작은 미익면적을 허용하며 순항시에는 미익의 위치를 최소항력 발생 위치로 고정하여 운항 할 수 있도록 할 수 있다. 아울러 추력벡터링은 고 받음각 상태 또는 공격적인 기동비행 시의 조종력을 증가시킨다.

## The Challenge

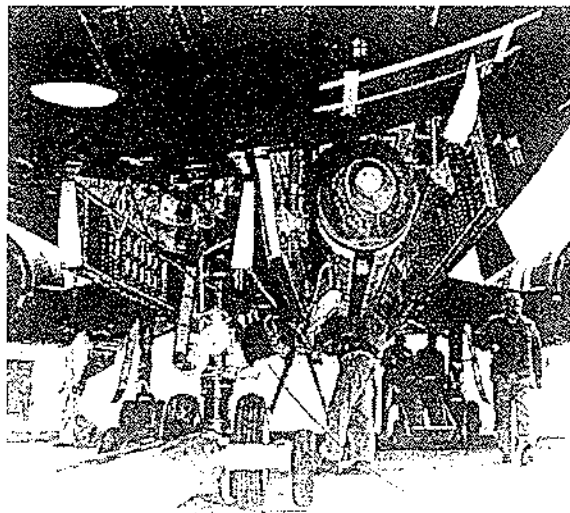
스텔스기능과 스피드, 기동성을 종합하는 것이 ATF 프로그램이 당면하고있는 도전과제였다. 그 누구도 이와같이 복잡한 요구사항을 충족시켜야하는 항공기의 설계 종합을 예전에 시도한 적은 없었다. F-117의 예에서 입증되었듯이 스텔스기능 구현은 설계의 모든 측면에 두루 영향을 미친다. 스텔스설계의 필수요소인 내부 무장탑재는 항공기의 단면적을 증가시킨다. 큰 단면적은 초음속 항력을 증가시키며 슈퍼크루즈 성능 구현에 역행한다. Hardy의 설명을 들어보자. “스텔스 항공기는 커다란 공간의 무장영역(weapon bay)이 요구된다. 게다가 랜딩기어와 공기 흡입 덕트도 무장영역과 같은 공간에 있어야 한다. 이러한 상황에서는 항공기 동체를 매우 길게 만들고 힘좋은 엔진을 사용하지 않는한 초음속에 도달할 수 없다. 이와같은 방법을 채택할 경우 항공기 개발의 시작자체가 곤란해진다. 왜냐하면 이후로 이 항공기는 돈을 잡아먹는 괴물이 될 것이기 때문이다.”

기동성 요구조건은 주익과 미익의 면적을 증가시키는 경향이 있고 이에 따라 엔진은 슈퍼크루즈성능 구현을 위한 사이즈보다도 더 커지게 된다. 이러한 모든 경향은 스텔스기능 구현을 더욱 어렵게 만드는 것이다. F-117의 스텔스기능 구현을 위해 스피드, 기동성, 페이로드(payload) 및 기타 성능변수 간의 기진맥진한 절충과정에 대하여 사전에 설명을 들어 알고 있었던 조종사는 거의 없었다. ATF로 비행할 전투기 조종사 중에서 스텔스 기능구현을 위해 위에서 언급한 여타의 항공기의 성능을 의도적으로 희생시키기 원하는 사람은 거의 없을 것이기 때문이다.

1981년 ASD가 ATF에 대한 RFI(request for information)를 배포하였을 당시 아홉 개의 항공기 제작사와 세 개의 엔진 제작사가 이 도전에 응했다. 프로그램의 초기단계였던 당시에 공군은 신형 항공기의 주임무를 공대공으로 할 것인지 또는 공대지로 할 것인지에 대해 아직 결정하지 않은 상태였다. 공군은 신형 전투기에 대한 아이디어를 공유하기 위해 항공산업체 들을 초청한 토론의 장을 마련하였다.

항공기 제작사들은 광범위한 형상연구 결과를 공군에 제출하게 된다. Lockheed는 YF-12A(단좌의 SR-71로 알려져 있음.)의 파생형을 제안하였다. 공대지 임무용으로 설계된 이 항공기는 중앙의 무장영역에 수기의 운동에너지 관통 병기(kinetic-energy penetrator weapon)를 탑재할 수 있다. 이 무기는 고공 초음속 비행상태에서 발사된 후 레이저에 의해 유도된다. 1960년대 중반과 후반에 걸쳐 수행되었던 YF-12A에 탑재된 공대공 미사일의 발사시험으로부터 기술자료 들이 수집되었다. 80,000피트 상공에서 마하수 3으로 비행하는 YF-12A로부터 일곱기의 Hughes AIM-47미사일이 발사되었으며 30마일 이상의 거리상에 위치한 공중목표물에 대한 요격결과는 매우 성공적이었다. F-15로 귀결되었던 F-X프로그램 당시에도 탈락한 Lockheed사의 형상제안은 이와 같이 고고도, 고속도 설계 개념을 채택한 것이었다.

〈그림 10〉 The YF-12A fired several AIM-47 air-to-air missiles successfully in the mid- to late-1960s.





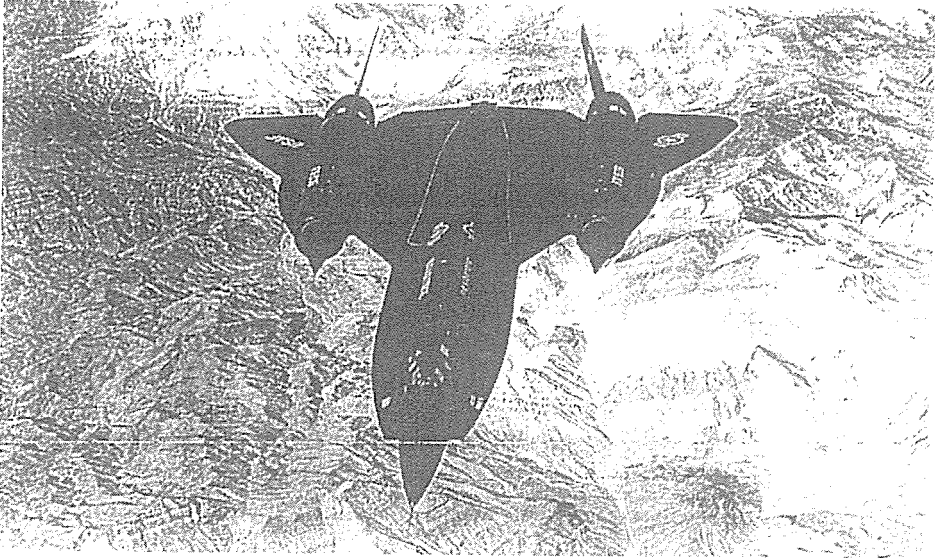
Boeing도 Lockheed와같이 공군의 RFI에 대한 답신으로 초음속 개념의 설계안을 제시하였다. 공대지 임무수행을 위한 설계형상이었다. Hardy는 다음과 같이 회상하고 있다. “플라이잉 윙, 카나드, 4개의 미익형상, 2개의 미익형상, 측면 공기흡입구, 노우스 공기흡입구 등을 포함하는 광범위한 영역의 형상설계 연구로부터 Boeing은 신속하게 하나의 설계안에 도달할 수 있었다. 이 항공기는 고속성능에 맞추어 설계되어야 한다고 우리는 생각했으며 따라서 우리는 큰값의 세장비(fineness ratio)를 갖는 형상에 대한 설계에 주력했다. 아울러 우수한 기동성능을 보유하는 항공기여야 한다는 것은 자명한 것이었다. 나중에 항공기의 주임무가 공대공으로 변경되었을 때 Boeing 엔지니어들은 요구조건 덜 민감한 설계변수들을 재빨리 제외시켰다.” Boeing은 또한 스텔스기능구현과 병행하여 재치있는 내부배치 및 무장영역 설계를 달성하는데 있어 상당한 압박을 받았다. Boeing의 설계는 전투기에 탑재한 탄환이 어느정도 외부에 노출된 형상이었다.

General Dynamics의 안은 Flight Dynamics Lab.이 발주하여 1976년에서 1978년 사이에 수행한 개념연구에서의 네가지 형상 중에서 두가지 안을 채택하여 제시하였다. 첫 번째 안은 Model 21이라 명명한 Plain Jane의 파생형이었다. 이 설계안은 General Dynamics사가 ATF프로그램의 다음 단계를 위하여 준비하고 있던 설계안 중에서 보편적인 형태의 항공기를 대변하는 설계안의 시조였다. Model 21은 현대의 보편적인 전투기 형상과 유사한 타입이나 완전히 일상적인 형상은 아니었다. Model 21 형상은 전면형상화(frontal shaping), 스트럿 브레이스드 윙(strut-braced wing)과 레이더신호 단면을 줄이기 위한 처리를 시도하였고, 회전형 항공기 노우스 부분에는 레이다, 적외선 탐색 및 추적시스템이 조합되어 있다. 약 40%의항공기 구조물에 복합소재를 채택하고 있는 점도 특기할 만 하다. 탑재 무장 중에는 사각형 단면을 가진 글라이드 폭탄이 포함되어 있다.

두 번째안은 Sneaky Pete의 후속안이라 볼 수 있다. General Dynamics사는 그당시 미공군 관계자 들에게 이 안에 대한 실제 도면을 보여주지 않았는데 이유는 그것이 회사의 기밀사항으로 분류되어 있었기 때문이다. 대신 General Dynamics사는 공군에게 이 가상의 항공기에 대한 대리도면을 제공하였고 공군관계자 들은 이 가상항공기에 “marshmallow”란 호칭을 부여하였다. 실제 설계안은 General Dynamics사가 ATF프로그램의 다음단계를 위해 준비하고 있던 올링 타입의 시발점이 되는 설계안이었다.

항공기 제작사 들의 1년에 걸친 탐색연구와 보고서 제출에 이어, ASD는 제작사

〈그림 11〉 The YF-12A was proposed as a supersonic interceptor for the Air-Force.



들이 탐색한 여러 종류의 설계안을 분류하여 크게 네 종류의 전투기 설계안에 대한 임무분석을 수행하였다. 네 종류의 항공기는 N, SDM, SLO, HI라고 명명하였으며, N은 numbers의 머릿자로서 작고 비용이 저렴하여 항공기의 수량이 강조되는 개념을 의미하고, SDM은 supersonic dash and maneuver의 약자로서 속도와 기동 성능을 강조한 항공기 개념을 의미한다. SLO는 subsonic low observable의 약자로서 플라잉 윙 설계에 기본을 둔 개념이다. 마지막으로 HI는 high-Mach/high-altitude의 약자로서 대형의 missileer를 대표하는 개념이다. ASD의 임무분석 결과는 모든 관계자들에게 공표되었는데, 분석결과 플라잉 윙 타입이 우세하였다. 효율성에서 보다 일반적인 형상의 SDM타입 전투기가 2위를 차지하였다. missileer와 저비용의 소형 전투기는 분석결과 그다지 좋은 점수를 받지 못했다.

### Momentum and Funding

RFI 결과가 공식적으로 공표될 당시 ATF 프로그램은 추진력과 자금면에서 힘을 얻고 있었다. 항공기 임무요소는 스테이트먼트를 필요로 한다. 여기서 스테이트먼트란 특별한 임무요소에 대하여 임무특성을 기술한 문서를 의미한다. 1981년도 말에 이 스테이트먼트가 공식적으로 배포되었다. Tactical Air Command(이 기구

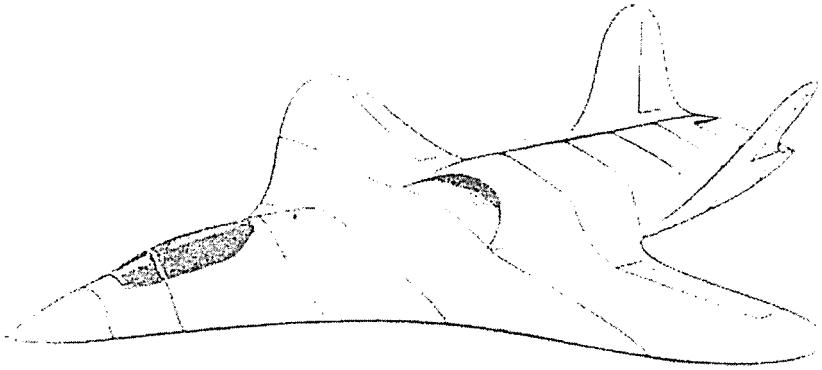
는 나중에 Air Combat Command의 한 부서로 편입된다.)는 statement of need를 작성하였다. 이는 프로그램 착수에 필요한 또 하나의 공식문서로서 위협상황, 작전이 수행되는 전장상황과 스테이트먼트상에 기술된 임무요소 별로 해당 임무를 완수하기 위하여 요구되는 항공기의 여러 가지 능력과 기능 등을 기술한 문서를 의미한다. 이 statement of need 작성에는 Mike Loh대령의 역할이 지대하였다. Mike Loh대령은 그당시 TAC Headquarters 요구도담당 부서의 부사령관이었으며 나중에 사성장군 및 ACC 총사령관으로 진급하였다. 1982년 여름 이 50페이지에 달하는 문서는 항공기 제작사에게 배포되었다. 이 문서에 의하면 ATF항공기의 요구조건은 공중우세 역할을 담당하고 있는 F-15를 대체하기 위한 것이 주목적으로 되어있다.

1983년 라이트 패터슨 공군기지 내에 ATF System Program Office가 창설되었고, 초대 책임자로 Albert Piccirillo 대령이 부임하였다. 1983년 5월 ATF 항공기용 엔진에 대한 제안요구서(RFP)가 배포되었고 GE사와 P&W사가 ATF용 엔진에 대한 설계, 제작 및 시험계약을 수주하였다. GE사의 엔진은 F120으로, P&W사의 엔진은 F119로 명명하였다. 동시에 미공군은 ATF에 대한 개념정의 탐색연구(concept definition investigation) 제안서를 제작사들에게 요청하였다.

Boeing, General Dynamics, Grumman, Lockheed, McDonnell Douglas, Northrop 그리고 Rockwell 등이 반응을 보였으며 1983년 6월 중순까지로 되어 있는 제안서 제출시한을 놓고 회사별로 준비에 착수하였다. 제출시한 마감 바로 전에 ASD는 시한의 일주일 연기를 공표하면서 제작사들에게 추가의 지시사항을 기다리라는 통보를 한다. 6월 막바지에 제작사들은 ASD로부터 회사별로 스텔스 관련 기술능력과 경험에 대하여 기술한 별도 보고서를 작성하여 제안서에 추가해 달라는 요청을 받게 된다. 이 시점까지는 ATF 프로그램과 관련하여 스텔스기술과 연관된 구체적인 논의가 전혀 없었던 상태였다. 제안서 분량은 30페이지로 제한되어 있었고, 별도로 5페이지 분량의 스텔스 관련 보고서를 추가하되 내용에 대하여 철저한 기밀유지가 요구되었다.

Albert Piccirillo의 설명을 인용하여 보자. 그당시 그는 ATF System Program Office의 책임자였고 현재는 Washington D.C.에 소재한 정부자문회사인 ANSER의 기술부서 매니저를 담당하고 있다. “초기 ATF 프로그램에서는 스텔스 기능 구현이 고려되지 않았다. 나중에야 프로그램 관계자들이 F-117과 B-2프로그램에서 무엇이 진행되고 있는지를 알게 되었고, 신형 전투기를 개발함에 있어서

## 〈그림 12〉 Marshmallow



Marshmallow

스텔스 신기술 적용을 고려하지 않았던 것이 얼마나 어리석은 일인지 깨달은 것이다. 스텔스 기능구현없이 공군이 ATF 프로그램 예산을 정당화 할 수 있을지에 대해 나는 확신할 수 없었다.”

전례없는 보안절차에 의거하여 스텔스 관련 보고서가 본 제안서에 첨부되었다. 이 당시 ATF 프로그램 단계의 보안규정 상 제안서에 스텔스 기능구현과 관련된 여타한 세부사항의 기술을 금지하였는데, 이는 1980년대 초반만 하더라도 스텔스 기술이 고급 기밀사항이었기 때문이다. 제안서를 제출하는 제작사 입장에서는 저 피탐성(low-observable) 기술 구현을 고려한 설계를 제안서에 반영할 기회가 없었던 부분에 대하여 이의를 제기할 수도 있었다. 스텔스 기술은 완전히 블랙박스로 취급되었던 것이다. 마지막 순간에 제안요구서 요청사항에 발생한 커다란 변화는 프로그램 자체를 완전히 흑과 백으로 갈라놓는 양상이었다.

개념탐색 단계에서 제작사들이 제출했던 대부분의 제안서 상에는 공중우세를 달성하기 위하여 어떠한 접근방법을 통해 설계안을 구체화 시켰는지가 나타나 있다. 이러한 일련의 작업은 프로그램을 다음 단계인 시연단계로 전진시킬 수 있었으며 이 단계에서 각 제작사는 자신이 보유한 기술을 입증하고 각자의 설계안을 구체화하여 실제 시연해야 하는 것이다. 그러나 Lockheed의 경우 원래 제안했던 고속-고고도(high-speed/high-altitude) 설계안으로부터 파격적으로 이탈하여 개념정의단계에서 제출한 제안서 내에 포함되었던 F-117의 파생형 설계안을 새로운 출

발점으로 선택하였다.

Osborne의 설명을 인용하여 보자. “ATF는 YF-12의 사촌이나 SR-71 형태가 아닌 슈퍼스텔스 방향으로 갈 것이 분명했다. 우리는 YF-12 파생형 설계를 중단하고 ATF용으로 F-117의 파생형 설계작업에 착수하였다.” Lockheed 제안서 상의 설계안은 좀 더 크고 긴 형상의 F-117 처럼 보였으나 F-117과는 몇가지 다른 점을 가지고 있었다. 로우 윙이 아닌 하이 윙 타입이었으며, 미익이 2개가 아니고 4개였다. 공기 흡입구는 주익의 앞전 아래 및 뒤쪽에 위치해 있었다. 고도의 다면체 형상을 보유한 기체의 중량은 약 80,000파운드에 육박했으며, 공기역학적인 형상과는 거리가 멀었다.

Osborne의 설명을 다시 인용해보자. “초음속 성능 요구조건을 충족시키는데 있어 우리는 심각한 문제를 안고 있었으나 어쩔던간에 우리 설계안은 초음속 비행이 가능했으며 그것은 제일 심각한 설계상의 문제가 아니었다. 강력한 엔진만 있다면 벽돌모양의 항공기라 할 지라도 날릴 수 있는 것이다. 문제는 그 당시에 곡선형태의 스텔스 형상에 대하여 정교한 해석을 수행할 수 있는 수단이 없었던 것이다. 해석용 소프트웨어는 이러한 해석이 가능할 만큼 정교하지 않은 상태였고, 계산에 필요한 컴퓨터 용량도 그 당시에는 모자랐다. 해석문제에 발목이 잡힌 셈이었다. 곡면의 스텔스 형상 설계안을 정교하게 해석할 수 없다면 그 설계안 상의 항공기는 결코 스텔스 기능을 보유 할 수 없다는 것이 점점 더 분명해지고 있었다. 1984년까지 우리는 이 장벽을 돌파 할 수가 없었다.” 개념탐색 단계에서 Lockheed사가 제출했던 제안서는 공군으로부터 그다지 좋은 평가를 받지 못했다. 일곱 개의 제안서 중에서 영예롭게도 꼴찌를 했던 것이다.

Lockheed사를 포함하여 ATF 프로그램의 개념탐색 단계에 응모했던 일곱 개의 회사는 각각 공군으로부터 백만불의 설계탐색 연구용역을 받았다. 개념탐색 단계는 1984년 9월부터 1985년 5월까지 진행되었는데 이 기간동안 공군은 제작사들로부터 수많은 설명회와의 초청과 수천페이지에 달하는 보고서를 제출 받았으며 이러한 노력의 일환으로 프로그램은 시연단계로 전진하게 된다. 시연단계에서는 4개의 항공기 제작사를 선정하여 각자의 설계안에 포함된 기술의 구현과 설계안에 의거한 ATF 항공기 제작을 위해 일억불 씩의 계약을 체결하게 된다. 1985년 9월에 시연단계에 대한 제안요구서가 배포되었다. 제안서 제출 마감시한은 같은 해 12월까지로 책정되었다.