

# 스마트무인기 양산형 개발 관련 Feasibility Study Scope 및 개발전략 설정 기초 연구

안오성\*\*

## Pilot Study on the Identification of Feasibility Study Work Scope and Development Strategy for the Production Phase Entry of Smart UAV

Ahn, Ohsung\*

### 초 록

국내의 항공산업 수준은 이미 T-50, KHP 사업 등을 통해 양산개발 경험과 지식이 충분히 축적되었다고 볼 수 있지만, 스마트무인기와 같이 기존 항공기의 성능을 뛰어넘는 신개념 비행체의 기술개발 성과를 성공적으로 양산전환 하는 데에 관한 경험과 노하우는 초보적 수준이다. 그간의 양산체계개발 프로그램은 이미 검증된 항공기 개념과 기술의 국산화 개발이 초점이었으며, 부족한 기술은 탐색개발 선 수행을 통한 기술개발 투자보다는 체계개발 기간 중 국제공동개발을 통해 선진 항공기술을 조속히 확보하는 전략으로 진행되었기 때문이다. 스마트무인기기술개발과제는 기존 항공기의 성능을 뛰어넘는 미래형무인기 개발에 관한 기술의 선행개발을 목표로 추진된 사업이다. 비행체개념 선전연구에만 2년을 투자하였으며, 해외 기술지원 없이 독자적으로 비행제어로직 및 OFP 개발과 축소기 완전자동 비행을 통한 제어로직 실증, 실물기 단계별 검증시험을 거쳐 2011년 9월 완전천이비행의 성공적 수행이후, 고정익 고속모드 비행시험이 성공적으로 진행중이다. 틸트로터 기술이 갖는 월등한 비행성능과 효율성이 알려지면서, 잠재시장/구매처로부터 비대한 관심과 투자문의가 증가하고 있고 국내업체에 기술이전을 통한 사업화 시나리오와 타당성 연구가 필요한 상황이다. 본 논문은 이러한 내/외부의 실용양산개발관련 이해관계자들의 요구에 보다 적절히 대응하는 것을 일차적 목적으로 한다. 또한 향후 양산체계개발에 관한 방향설정과, 성공적인 단계전환 전략에 필요한 기술경영적 요소를 초보적 수준으로 제시함과, 보다 확대된 인력과 자원 투입의 필요를 소통하려는 목적으로 작성되었다.

**Key Words** : Production Phase, Technology Development , EMD, Strategy, Feasibility Study, TDS



그림 1. 고기술/대규모 체계개발 사업의 절차 - 국방부훈령 사례 (국내 알려진 전통적 항공기 개발 절차)

\* 안오성, 한국항공우주연구원, 스마트무인기개발사업단, 비행체계팀  
ohsung@kari.re.kr

# 1. 서론

사업단위의 모든 전략은 반드시 2가지를 요구한다. 그것은 해당사업부가 내부적으로 가진 역량과 문제의 진단, 그리고 외부적인 경영환경의 변화를 진단하는 것이다. 이 2가지에 대한 성실한 진단과 정직한 반영이 결여된 모든 전략은 공허한 구호에 불과하다.[1] 그러나 전자를 다루는 것은 본 논문 범위 밖이다. 효과적인 양산진입 전략과 Feasibility Study 업무 Scope을 정의하기 위해 내부역량과 문제 진단 대신, 일반적으로 고기술 항공기의 탐색개발 단계(기술개발 단계)의 성공적 수행이후 양산체계개발로 진입하는 단계에서 요구되는 업무와 고려사항을 탐색하고, 이에 기초하여 연구원의 제한된 시간과 자원, 조직특성을 감안한 효과적 양산사업화 전략을 논할 것이다. 이와 같은 Full Picture에 근거한 전략도출을 위해, 미 국방성과 NASA가 제시하는 고기술/대규모 체계개발사업의 연구개발 관리 Framework를 참고할 것이다.

본 논문에서 보다 중점을 둘 부분은 외부환경의 변화 부분이다. 스마트무인기 초기의 임무요구도(Mission Profile)가 10년이 지난 지금도 유효한지, 그동안 경쟁업체는 어떤 동향이었으며, 잠재고객들은 어떤 움직임을 보였는지, 양산개발에 있어서 임무요구도 외에 중요한 상위 요구도는 무엇인지 등을 살펴보았다. 상당한 자원투입과 연구를 요구하는 주제이지만, 본 논문에서는 초도적으로 탐색한 결과와 현재 전략설정과 관련된 다양한 가치, 고려요소 검토를 통해 초도적 개발 전략 설정과 이에 따른 비행체 개조설계 개념 제시 과정까지 수행해 보았다. 본 논문이 스마트무인기 기술개발과제의 성공적 양산체계개발 진입을 바라는 모든 관계자들의 지혜를 모으고, 보다 효과적인 토론의 소재로서 작용하기를 기대한다.

## 2. 고기술 체계개발사업과 시장동향

### 2.1 미 국방성 고기술무기체계 도입절차 개정

그림 1과 같이 국방부 훈령727호[2]는 연구개발무기체계 획득과 관련하여 생산배치 진입 전 총체적 개



자료 : DoDD 5000.1, 2008

그림 2. 미 국방성 무기체계 획득절차 변경 이력

발업무를 개념-탐색-체계개발\*이라는 3단계로 제시하며 사업특성에 따라서 일부 과정이 생략될 수 있음을 고시하고 있다. 2000년대 들어서서, 국내 항공산업체의 설계제작 기술이 안정화되면서, 신기술개발이 아닌 체계개발의 경우 개념, 탐색개발 과정을 생략/축소하고 바로 양산체계개발 과정에 진입하여 개발일정과 비용을 축소하는 추세에 있다. 이러한 추세에 더하여 사단급무인기를 두고 경합한 KAI와 대한항공의 경우와 같이 산업계에서 자체적 개념연구/탐색개발을 통해 소요기술의 선행확보와 데모비행을 통한 개발역량/개념유효성을 제시함으로써 체계개발 총괄업체 선정에 있어서 우위를 점하는 추세가 나타나고 있다.†

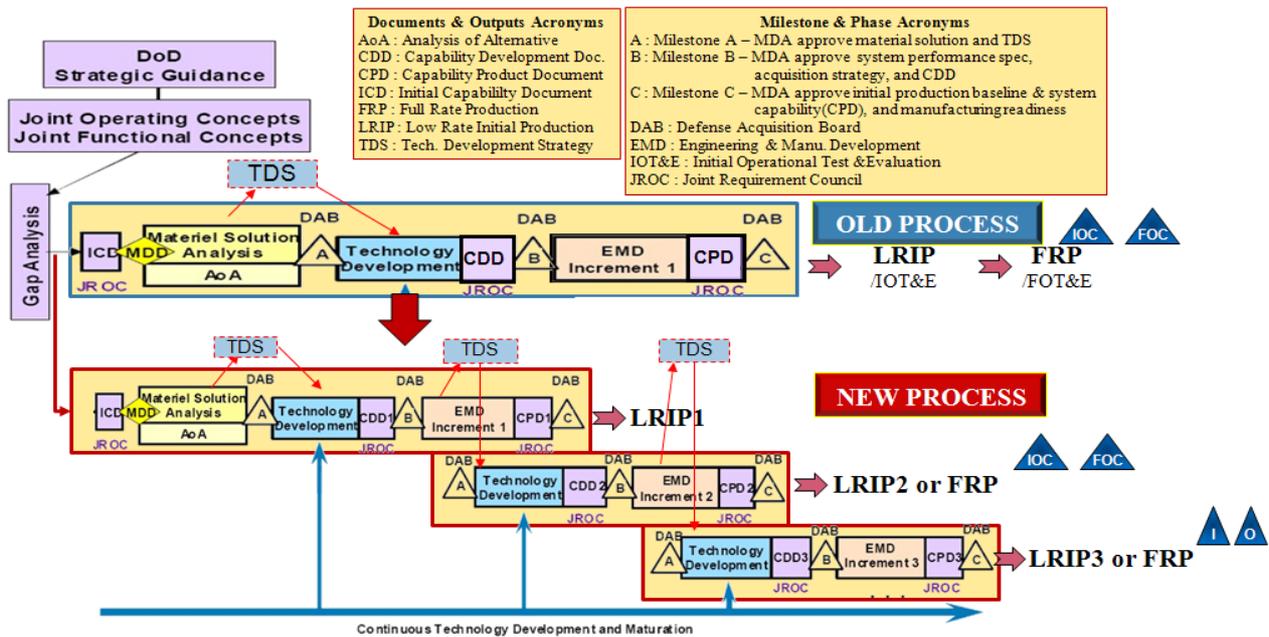
국방부 훈령의 모태가 되는 미 국방성의 DoD Directive 5000.1[3] (그림 2)는 최근 상당한 개정이 이루어졌는데, 그 개정의 요체는 주요 무기체계 획득사업들의 일정지연과 비용 상승 문제 해결이다.

개정관련, 본 논문 관점에서 가장 주목할 부분은 4가지로 축약할 수 있다.

첫째, 개발상위요건 정의에 있어서 "threat based approach"에서 "capability based approach"로 변경된 점. 즉, 전장의 특정 임무수행을 위한 개발에서, 국가방위에 관계된 다양한 전략적 필요를 통합하여 우선순위

\* 개념-탐색-체계개발 전체를 의미하는 "체계개발"과 그 일부 단계로서의 체계개발을 구분하기 위해, 본 논문에서는 탐색개발(혹은 기술개발)후 진행되는 단계를 "양산체계개발"이라 지칭할 것이다.

† 산업계의 이러한 기술개발 선행투자 현상은 ①투자에 대한 비용부담이 적고, ② 소요기술 격차가 적으며, ③이미 시장성이 충분히 검증된 고정개념의 전술 무인항공기의 경우였기에 가능하였다고 할 수 있다. 위 3가지 요인 중 ③항의 잠정적 기대치 외에는 해당사항이 없는 고속-고성능 VTOL UAV 기술개발의 경우에는 국가연구기관을 통한 선행기술 개발 구도가 적절한 구도였다고 볼 수 있다.



자료 : [3], [4]

그림 3. 미 국방성 최신판 무기체계 획득절차의 '진화적 획득' 관리 특성

에 따라 "Solution"을 정의함 이다. [5] 이는 다시 다음과 같은 두 가지 특징으로 규정할 수 있다.

- 개념비교분석 및 개념유효성 지속적 확인
- 다목적/복합화 개발을 위한 전략설정

둘째, EMD Increment(점진적 체계개발)개념이다. 대규모 체계개발 사업이거나 개발기술의 위험도가 높은 경우, 산업계에서 선행기술개발 투자를 할 수 없으므로, 기술개발단계(Tech Dev., 그림 2)가 체계개발 과정에서 별도의 단계로 포함되어 다단계 체계개발 계약을 하게 되는데, 이로 인한 일정-예산부담의 증가 및 운용효율성 입증시기의 지연으로 인한 개발 위험도 증가를 피할 수 없다. 바로 이 문제를 완화하기 위해서 양산체계개발 이전에 요구되는 기술개발 단계에 관한 체계적 개발관리 요건을 강화하고 조기 전장환경 투입 및 운용시험을 위해 EMD Increment 개념을 적용한 것이다.[3][4][5] 즉, 기술개발 단계의 결과로 요구되는 기술적 성숙도와 가용성(technology maturity and availability)에 대한 요건을 완화하여 제한된 기능으로 빠른 일정 내에 초도 양산품을 납품한 뒤, EMD Increment를 통해 최종 양산납품 (FRP : Full Rate Production)단계에 진입하는 개념이다. [4] \*

셋째, 미성숙 기술의 위험관리를 위해 기술개발전략서(TDS, Technology Development Strategy)의 강화\* 요구.

넷째, 기술개발단계의 결과물로 요구되는 문서. 기술개발단계의 결과물로서 가장 중요한 기술문서는 "System Performance Spec"이다. 이 외에 양산체계개발단계에 진입함에 있어서 준비가 요구되는 주요 문서는 다음과 같다.

- TDS, CDD (Capability Development Document)
- Acquisition Strategy
- Initial Product Support Strategy
- RAM (Reliability, Affordability, Maintainability) Strategy
- AoA (Analysis of Alternative)
- ICE (Independent Cost Estimation)

위에서 정리한 네 가지 주요 특징에 대한 자세히 이해와 사례 조사를 통해 스마트무기의 양산화 전략 설정에 관련한 시사점을 도출해 보고자 한다.

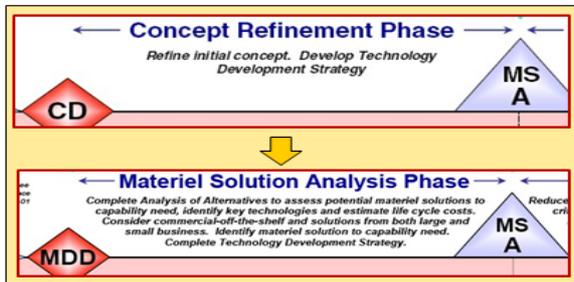
\* 기존의 미 국방성 진화적 획득 개념은, 양산납품 이전에 제품의 기능 (Capability)과 요구도(Requirement)의 점진적 성숙을 의미하였으나, 개정판은 양산납품 제품 자체의 기술 및 기능의 점진적 성숙을 의미하는 것으로 확대됨

† Incremental 단계, 개발단계별 개정요구 및 TDS 에 포함되어야 할 내용의 강화.(그림 3)

## 2.2 미 국방성 획득개념 개정절차 특징과 개발사례를 통한 성공적 양산 전략 시사점 도출

### 2.2.1 개념비교분석 및 개념유효성 지속적 확인

‘개념연구’ (Concept Refinement) 단계가 ‘개념비교 분석’(Material Solution Analysis) 라는 용어로 변경된 것은, 체계개발의 성격이 특정개념의 무기체계획득을 위한 개발개념에서 전략적으로 설정된 상위 요구도(ICD : Initial Capability Document)를 충족하기 위한 Material Solution 을 제공하는 개념으로 변경되었다는 의미이다. 즉 ICD를 충족하는 Non-material solution (전략, 기술, 자원 재분배 등)에 대비된 개념이



자료 : [3], [4]

그림 4. 개념연구 단계의 단계개념 변경

다. 이에 따라, 체계개발사업은 어떤 개념을 개발하겠다는 개념결정(CD)으로 시작하지 않고 MDD(Material Development Decision)으로 시작되며, 정의된 개념에 대한 ‘개념연구’가 아닌, ‘개념비교분석’을 통해 ICD 대비 개발개념의 유효성을 증명하는 것을 중심과제로 정의하고 있다. 체계개발 요구도의 복잡화 다목적화로 가증된 기술적 위험과 개념유효성 확인을 위해 TDS에 다루어야 할 내용을 확대하였으며, 잠재적 대안 개념에 대한 분석 강화와 그 결과로 도출된 개념비교분석자료(AoA)를 기반하여 단계 최종 결과로 개념선정(Material Solution)에 이르는 개념으로 단계 정의가 바뀌었다.\*

이는, 기술발전의 빠른 추세로 인해 초기에 선정한 개발개념 (Concept Decision 또는 Material Solution)

\* 개념비교분석의 체계적인 수행과 개발사업에 대한 의사결정 지원을 위해 ‘AoA Guideline’을 사용자가 단계진입 전에 선행하여 정의하는 절차를 추가하였다. 주목해야할 부분은 진화적 획득 관리 개념에서 AoA는 매 단계 전환 시마다 요구된다는 점이다.[3]

이 개발완료 단계에서 부적절한 개념으로 전략하거나, 주요 성능/기능의 수정 및 보완이 불가피해지기 때문이다. 이러한 경향은 특히 고기술이 요구되는 체계개발 사업, 즉 10년 이상 소요되는 초장기 체계개발 사업의 경우 경쟁기종과의 비교우위만이 아니라, 대체 개념에 대한 지속적 검토/분석이 필요하다는 점을 시사한다. 이러한 요소는 이미 잘 알려진 마이클 포터의 5-Force 분석모델에서 정의된 2가지 위협요소, 즉 ‘대체재’와 ‘신규 진입자’ 개념과 잘 일치한다. 즉 신개념 항공기 개발은 이제 기술적 우위로서만 그 시장성을 담보할 수 없고 기술경영적 관점에서 지속적인 경쟁기종 및 대체재 분석이 병행되어야 하는 단계에 진입했다고 할 수 있다. 대규모 예산과 장기간의 기술개발이 요구되는 사업은 이러한 시장과 경쟁상황에 대한 기술적 분석만이 아니라 개발주체 (연구원, 투자자, 국가)의 비전, 그리고 핵심역량과 자원이 통합된 의사결정이다.

이러한 요소들은 고기술 항공기 연구개발사업의 경우, 기술적우수성을 갖는 비행체개념의 기술개발 성공이 양산체계개발을 보장해 주지 않는다는 점을 분명하게 시사해주고 있다. 따라서, 기술적 역량강화라는 기존의 R&D 패러다임을 넘어서서 연구개발 개념선정과 개발 Scope 정의, 단계별 목표 설정에 있어서 산업공학적인 분석에 기초한 기술경영적 패러다임 도입, 장기적이고 전략적인 기술개발로드맵에 근거한 안정적이고 일관된 기술개발사업의 추진과 이행이 절실하다.

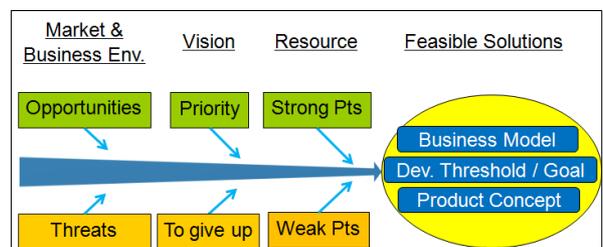


그림 5. 외부환경과 내부환경을 통합한 사업모델선정 및 개발목표조정 개념

항공기 체계개발 사례에 있어서 이러한 시사점에 부합하는 사례로서 스마트무인기기술개발사업을 들 수 있고 반대되는 실패 사례로서는 스틸스 헬리콥터 개발 사업인 코만치 개발프로그램을 들 수 있다.



주관 :	Boeing-Sikorsky / U.S. Army
일정	1991 ~ 1996(FF) ~ 2004 (중단)
설계강점	Stealth / Low Noise / Low Heat
취약점	1. 설계 : Low Speed / Low Altitude 2. SE : 개발목표(일정, 중량) 관리 실패
투입비용	약 7.5 Billion
중단사유	1. 개발지연, 주문속소로 대당가격 급상승 2. UAV 로 임무 대체됨이 확인됨 (대체제) 3. Cold War 종료 및 대테러전 임무확대로 스텔스 성능보다 고속 고고도 성능이 생존성에 더 중요해짐 (외부환경변화)

자료 : [6], [7]

그림 6. 미 국방성 무기체계 획득절차 변경 이력

**사례 - RAH-66 코만치 개발 사업의 실패 :**

틸트로터 기술의 발달(대체제)과 전장의 위협요인 변화(외부환경변화)로 중단된 RAH-66 코만치 체계개발 사업은 미국 역사상 양산진입에 실패한 사업 중 선행 투입비용이 가장 컸던 사업으로서 기록되었다. 코만치의 개발중단 사유에 대해서 참조자료 [6], [7]에 근거하여 3가지로 요약하여 나타내었다. (그림 6)

냉전의 종식과 대 테러전 양상의 확대로 코만치의 스텔스 성능 대비 테러리스트들이 보유한 값싼 Hand Carry Missile에 대한 생존성이 취약해져(외부환경의 변화) 스텔스성능에 대한 가격프리미엄은 떨어지는 반면, 헬기 고유의 비행성능 제한 (낮은 고도, 낮은 속도)은 변화가 없었다는 점(개발개념의 유효성 문제), 그리고 대체제적인 틸트로터 기술이 갖는 생존성의 장점(고속, 고고도 성능에 있어서 전통적 헬기대비 각각 2 ~ 3배 수준)이 작용한 것으로 판단된다.\*(그림 7) 코만치 사업이 종료 된 1년 후, V-22 사업이 예산압박에도 불구하고 전면적 양산 승인을 받은 사실이 이를 잘

\* 코만치 체계개발사업의 중단에 작용한 또 다른 원인으로 지목되는, 중량을 중심으로 한 비행성능에 대한 개발목표 관리 실패와 이로 인한 일정지연, 개발비용 상승 문제도 주목할 필요가 있다

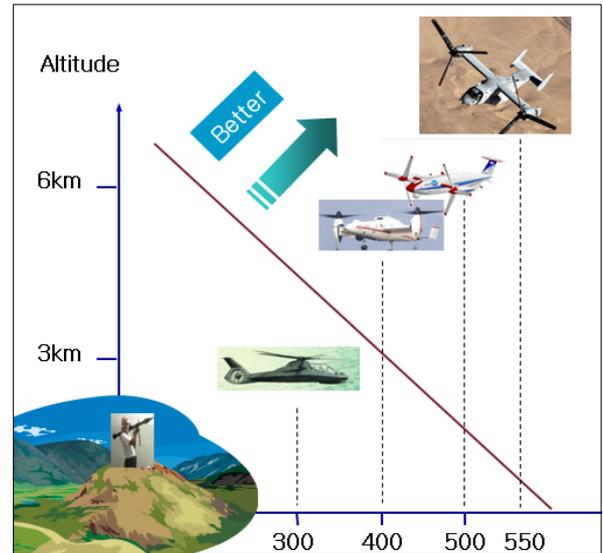


그림 7. 틸트로터기술과 헬리콥터기술의 생존성비교

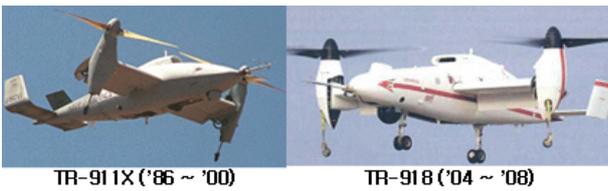
반영해준다.

**시사점- 광대역 VTUAV 시장과 고고도 성능 가치 :**

틸트로터 비행체기술이 갖는 두 가지 비행성능 특성, 즉 고속성능과 고고도성능 비행특성은 광대역 임무운용 미션에만 유용한 가치가 아니라 생존성 측면에서도 매우 중요한 가치이다. 그러나 1톤급 VTUAV(VTOL Tactical UAV) 무인기 시장에서 고속성능 특성은 유인틸트로터와 달리 유상하중성능 및 체공시간성능을 보완하기 위해 적절히 Tradeoff 될 필요가 있다. 하지만, 고고도 성능은 생존성 가치 뿐 아니라 광대역 운용의 핵심요구 성능으로서 틸트로터의 시장 가치를 유효하게 하는 핵심가치가 될 것으로 판단된다. 광대역 운용 시 통신가시선(LOS) 확보를 위해서는 고고도 순항능력이 필수적 요소이다. 광대역 운용 시 체공성능으로만 비교한다면, 저속-장기체공에 유리한 헬리콥터 개념으로도, 비록 임무응답시간(Mission Response Time)과 생존성에 상당한 열세가 있더라도, 광대역(150km 이상) 임무반경까지 운용은 가능하다고 주장할 수 있다. 그러나 헬리콥터기술의 특징으로서, 적정 유상하중과 적정속도를 유지하면서 순항할 수 있는 실용적 운용고도는 10,000ft(3km) 수준으로 제한되며, 회전익 항공기 특성상 고도가 올라갈수록 비행효율이 저하된다. 일반 헬리콥터의 실용적 순항고도

는 최저비행중량 수준에서나 가능한 최대운용고도 (15,000 ~ 20,000)정보와는 상당한 차이가 있음을 유의해야 한다. 그 결과 Fire Scout과 같은 무인헬리콥터는 광대역 임무운용 시 중계기(또는 위성)를 통하지 않고는 지상통제실(GCS)과의 실시간 통신이 불가능한 치명적 약점이 있다. 바로 이 점 때문에 Fire Scout의 고고도성능 한계를 9년 동안이나 20,000ft로 과장하여 나타내다가 2010 년 들어, 기존 주장 대비 62.5%에 불과한 12,500ft 임을 공식적으로 공인한 것으로 추정된다. Fire Scout의 임무반경이 초기의 200km에서 150km 이내로 제한된 것 또한 고고도 성능의 한계로 인한 것으로 판단된다.(표 1 참조) 광대역 운용능력을 요구하는 VTUAV 시장의 요구를 감안할 때, 고고도 성능의 열세는 체공시간 성능이나 유상하중 성능으로 보상할 수 없는 결정적 결함요소이다. 따라서 스마트무인기의 실용화에 있어서 Eagle Eye와는 다른 차별화 전략 모색이 가능하며 이 점에 대해서는 3 단원에서 나타내었다.

**사례 - VTUAV 시장 : Eagle Eye 와 Fire Scout**



기술적 우월성과 잠재시장의 크기에 안주하여 양산 단계 진입에 실패한 사례로서 Eagle Eye 사업을 들 수 있다.\* 경쟁기종인 Fire Scout이, 비록 위조 수준의 성능지표였지만, Fire Scout은 틸트로터 대비 상대적으로 유리한 시장의 가치(저위험 개발\* 과 유상하중, 체

\* Eagle Eye 데모버전의 체공시간의 경우 목표로 하는 8시간 대비 25% 수준에 그쳤다. 벨은 7/8 사이즈 축소형 개발계획에 따른 것일 뿐이라고 일축했지만, 비행체 개념의 신규성으로 인한 불확실성에 더하여 기 검증된 체공성능 관점에서의 Gap이 컸던 점은 성공적 양산진입에 여러 가지 면에서 불리하게 작용하였다.

† 수요자인 미 해군의 Threshold 요구조건의 대폭적인 조정이 없었던 위협도는 최대로 높았을 것이다. 개발위험 감소는 투자자의 의사결정에 결정적이며 두 가지 길이 있다. 선행하는 기술개발 단계에서 성공적인 기술축적을 통한 방법과 개발위험이 높은 운용요건에 대해 수요자와의 협의를 거쳐 완화시키는 것이다. 후자를 설득하는 시도는 매우 중요하며, 이를 위해서는 대체기술에 대한 조사와 함께, 완료된 운용요구조건을 상쇄할 만한 대안적 가치가 제공되어야 한다. Fire Scout은 바로 이 행위를 함으로써 성공한 것이다. 그러나 표 1에서 정리한 바와 같이 항공기 개발사에서 유래를 찾아보기 어려운 수준의 개발목표 성능지표를 무리하게 과장한 것은 기술개발단계가 아닌 양산개발단계에서는 매우 이례적인 사례

공성능)을 부각하여 고속-광대역 전술무인기 운용가능성에 관한 기술시현이라는 경쟁구도를 우회하는 전략을 성공시켰다. 즉, 신개념과 검증된 개념의 구도, 고속-고고도 비행체와 (저속-저고도라도) 유상하중이 높은 다목적 비행체의 대립 개념으로 바꾸어 버렸다.

표 1. 미 해군의 VTUAV요구도와 Fire Scout

상위요건	US NAVY VTUAV Req'm't		Fire Scout		결과
	Threshold	Goal	00~09 브로쉬	2010 브로쉬	
최대순항 속도(kts)	135	200	117+ (58.5%)	85+ (42.5%)**	미충족
최소임무 반경(nm)	110 (200km)	-	110	80(73%) (150km)	미충족
최대운용 고도(ft)	15,000	20,000	20,000	12,500 (62.5%)	미충족
최대속풍 (kts)	25	45	데모: 20 kts	N/A	불리
임무시간 @200km	3	5	3 ~ 5	3	충족
최대체공 시간	5	6	8	6 (?)	충족
유상하중 (lbs)	200	300	600	500	과다 충족

(\*\* : 개발 요구도 Goal 대비 부족분을 표현)

표 2. 미 해군의 VTUAV요구도와 Eagle Eye

상위요건	US NAVY VTUAV Req'm't		Eagle Eye		결과
	Threshold	Goal	TR-911 (데모형)	TR-916 (양산형)	
최대순항 속도(kts)	135	200	데모:200	200	Goal 충족
최소임무 반경(nm)	110 (200km)	-	110	110	충족
최대운용 고도(ft)	15,000	20,000	> 20,000	> 20,000	Goal 충족
최대속풍 (kts)	25	45	데모: 20 kts	N/A	유리
임무시간 @200km	3	5	3	3	충족
최대체공 시간	5	6	8 (데모:2.3)	6	충족
유상하중 (lbs)	200	300	200	300	충족

이 전략은 다음 3 가지 상황으로 인하여 주효하게 작용했다.

1) 기술개발 데모버전과 실용양산 버전의 Capability Gap : 벨은 틸트로터 체계개발 경험과 기술

이며, 이것이 용인된 점은 더욱 이해하기 어려운 부분이다.

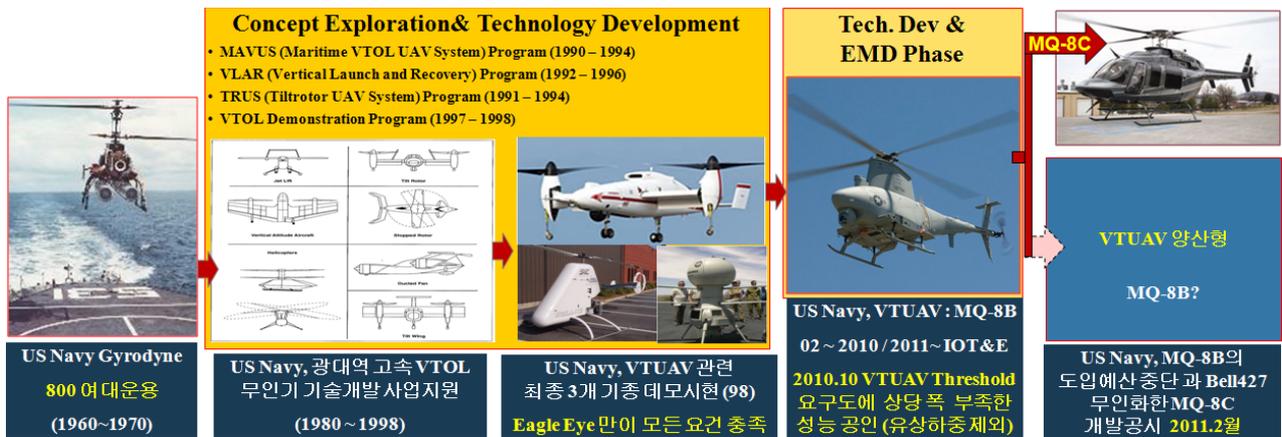


그림 8. 미 해군 VTUAV 비행체개념 및 기술개발 과정과 Fire Scout 의 현황

을 보유하고 있으므로, 무인틸트로터의 핵심기술 개발 및 데모에 집중한 탓에 기술개발단계의 비행성능과 체계결합 결과로 도달할 목표 성능(시장요구에 부합하는) 사이에 존재했던 'Capability Gap'이 컸던 점\*

2) 2000년도 당시 V-22 의 4번째 추락사고로 최고조에 이른 틸트로터 개념의 안전성에 대한 논란

3) 충분한 유상하중으로 인한 다목적 운용성능 : 표1에서 나타난 바와 같이 Fire Scout은 대부분의 설계 Threshold를 충족시키지 못하였으나, 유상하중에 있어서만큼은 Design Goal의 2 배를 제시하여 다양한 임무장비 동시장착, 무장이 가능한 운용개념을 제시

이러한 세 가지 요소에 더하여 Fire Scout을 제안한 노스롭그루먼 사는 해군과의 오랜 유대를 기반으로, 일반적인 항공기 개발사에서는 상상할 수 없는, 체계개발 단계에서의 개발목표 성능지표에 대해 한 조작 계임을 펼쳤다. 수직이착륙 기능을 보유한 광대역 전술무인항공기 운용에 핵심요소인 고고도 성능과 고속 성능의 Threshold 수준에 미칠 수 없는 설계개발† 을

\* Eagle Eye는 양산모델의 여러 성능지표 중 고속성능과 고고도 성능에 기초한 광대역 성능에 역점을 두고 성공적으로 시현해 내었지만, 시장에서 중요하게 여기는 또 다른 가치인 유상하중과 체공시간 성능의 실증수준은 낮았다. 1986년부터 16년간의 선행개발에도 불구하고 체계개발 완성도와 시장의 요구성능 사이에 Gap은 컸으며 그로인해 양산체계 개발에 또 다른 10년이 요구되었다. 이러한 일정/비용 부담의 증가는 경쟁자, 대안 개념에 시장을 빼앗길 가능성을 높인다. 특히 신기술이 갖는 차별적 가치에 대해 시장의 가격 프리미엄이 낮을수록!

† Fire Scout은 모체인 Schuweizer 333 모델의 개조에 있어서 개발 초기부터 속도, 고고도 성능 향상을 위한 설계변경 보다는 유상하중 향상에 집중해왔으며 실제적으로 Fire Scout 은 333 모델 대비 최대순항속도는 11% 줄고, 최대이륙중량은 23.5%늘어났다.

진행하면서도, 의도적이라고밖에 판단할 수 없는 지나친 비현실적 성능기대치를 계속 제시해 온 것이다. 표 1에 나타난 바와 같이, 2010년 성능지표를 수정할 때까지 Fire Scout의 모든 공식자료는 현실적 성능과 상당한 괴리가 있었다. 미 해군이 이러한 문제를 몰랐을 가능성은 낮다. 그 보다는 충분한 유상하중으로 인한 다목적 운용 가치가 운용자에게 월등히 중요했기 때문에 Threshold 요건을 타협하는 데에 유연해 졌을 것이며, 이에 대한 외부의 압박을 우회하려는 의도가 어느 정도 작용하였을 것으로 예상된다.

이런 관점에서 보면 VTUAV 시장에서 복합적/다목적 작전요구성능이 갖는 의미는 유인기 시장과 다름을 이해할 수 있다. 즉, 중형 유인수송기(V-22), 대형 유인수송기(JHL) 선정에 있어서는 틸트로터가 갖는 수직이착륙 성능과 고속, 고고도 비행성능, 그리고 이로 인한 광대역 운용성능과 생존성 가치가 절대적이었던 반면, 소형 전술무인항공기에 있어서는 유상하중 수준, 체공비행 성능으로 좌우되는 다양한 임무장비의 탑재와 작전운용시간이 고속-고고도 성능 못지않게 중요한 시장가치를 갖는 것으로 이해할 수 있다. ‡

**시사점- VTUAV 시장과 유상하중, 체공시간의 가치**

위 사례에서, 스마트무인기의 성공적인 양산체계개발에 관한 다음과 같은 시사점을 도출해 볼 수 있다.

‡ 이러한 다목적 가치와 관련한 비행체 성능의 전이현상은 작전반경이 150km 이하에서 유효하다. 광대역 운용에 있어서는 여전히 틸트로터의 고속-고고도 성능 특성이 다목적성에 더 부합된다. 보다 다양한 운용개념과 시장가치에 기초한 비교연구가 필요하다.

1) 기술적 차별성과 시장의 가치를 전략적으로 통합한 설계 포인트 설정 : 비행포획선도 상에서 고속성능을 완화하되 유상하중, 체공시간 성능을 향상시키는 방향으로 전략적 설계 포인트 조정\*(그림 9)

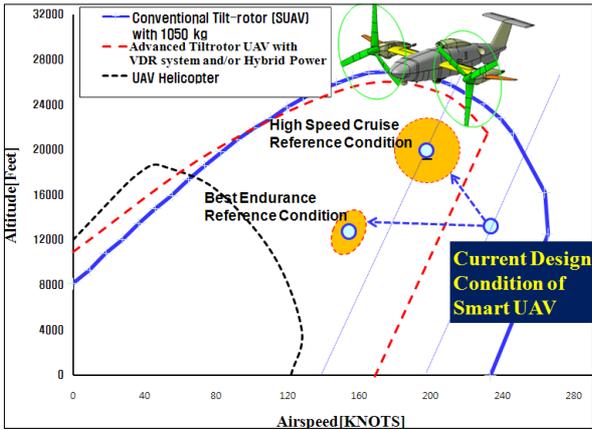


그림 9. 스마트무인기 고속성능과 체공성능/유상하중 성능 Tradeoff 를 위한 설계포인트 조정 개념

2) Capability Gap 검증 및 Gap 축소 기술 선행연구 : 공식적으로는, 기술개발종료단계에 놓인 현 시점에서, 틸트로터 비행제어 기술과 안정적 비행기술에 관한 핵심 연구를 넘어서서, 체공성능과 이륙중량성능에 관한 기술의 성숙도(readiness) 점검 : 초기 목표한 성능대비 "Capability Gap" 의 확인 및 시장동향을 고려한 성능목표 조정 및 성능향상 대안 연구

**사례 - Fire Scout 의 최근동향과 VTUAV 시장**

Fire Scout MQ-8B 기종은 LRIP 단계에 진입하여 IOT&E가 종료될 앞둔 가운데, 2011년 2월 미 해군으로부터 Bell 427 기체를 기본으로 하는 MQ-8C로의 전면적인 Upgrade 개발 결정이 내려졌다. 이는 사실상 기존 개발기종의 도입 중단의미로 해석된다. 그러나 미 국방성의 Class IV급 무인기 요건(작전반경 75 ~ 150 km)을 충족하는 수준으로서 해당 사업의 명맥은 유지될 것이다. 올해 3분기로 예정된 IOT&E 가 종료되면, 양산형 제작-인도는 2년 정도 소요될 것으로 전

망된다. 2011년 기준 Fire Scout 1식 (GCS 1대+UAV 4대)의 인도가격은 스마트무인기 양산형 개조개발비용 (NRC, 총 4년)과 한 식의 제작비용(RC, GCS1대+UAV 4대)을 합친 비용 대비 2배 이상 달하는 것으로 예측된다.\* 이는 Fire Scout이 초기에 예상한 저가-저위험 개발 접근의 실패로 이해할 수 있다.

MQ-8C로의 전면적인 개발변경의 이러한 배경에는 비용의 상승 문제와, 전술한 바와 같이 광대역 전술 운용에 필수적인 비행요구 성능을 상당 수준 하회하는 기술적 문제가 상당부분 작용하였을 것으로 추정된다. Bell 427 기종이 MQ-8B 대비 갖는 우수성은 유상하중과 속도성능(140kts)에 불과하며, 이 역시 광대역 운용에 적합한 고도성능을 제공하지는 못한다. 따라서 Fire Scout 개발 프로그램은 그동안 유지되어온 VTUAV 개발 기조에서, 3톤급 유인헬기의 무인화라는 다른 시장으로 전환되어 기 개발진행중인 유-무인 복합 헬리콥터-Optionally Piloted Helicopter(시콜스키/보잉, 미 육군 지원)와 경쟁이 불가피해 질 것으로 예상된다.

**시사점 - 스마트무인기 양산화 위협요소와 대안**

표 3. 요구도 대비 스마트무인기와 Fire Scout 현황

비교항목	Reqm't (Threshold)		Smart UAV	Fire Scout	Note (양산개조 시나리오-1 기준 : 3.2장 참조)
	US NAVY (2000)	US Marine (2008)	양산 개조형 (2016)	2010 브로쉬 (2013)	
최대순항 속도(kts)	135	200	150~200+	85+	현 최대 270kts, 개조개념, 임무에 연동
최대운용 고도(ft)	15,000	-	20,000+	12,500	광대역 운용에 결정적 성능
최소임무 반경(km)	200	450	200+	150	450km 임무반경은 엔진 및 통신 개조 검토 필요
최대측풍 (kts)	25	-	유리	불리	
임무시간 @M.R.	3@200km	1.5@450km	3~4@150km	4~5@150km	200km 이상 운용 시 스마트 무인기 유리
최대체공 시간	5	-	4~5 (TBD)	5~6 (TBC)*	개조기간, 개념, 최소유사하중에 연동
유상하중 (lbs)	200	200	200+	500	Fire Scout 은 과잉충족 상황임

\* 이를 위해서는 로터의 Disc Loading과 날개 면적을 키우는 방향의 설계변경이 요구되며, 이러한 설계변경에 있어 장기간의 개발시간이 소요되는 로터블레이드의 재개발과 날개, Drive Shaft 에 대한 선행개발을 시작하여 단계적으로 설계 통합하는 전략으로 추진하는 것이 필요하다. 이것은 미 국방성에서 추진하는 고기술 무기체계의 진화적 (Incremental) 획득개념과 부합되는 개념이다

† 미 국방성 GAO 자료와 Forecast International 자료 및 스마트무인기 양산형 개발비용 예측 내부자료 참조)

‡ To Be Confirmed : 최대체공시간 성능은 아직 검증되지 않은 상태.

그렇다면, 1톤급 VTUAV 시장은 다시 주인 없는 "Blue Ocean"이 되었다고 할 수 있을까? 표 3에서 정리한 바와 같이, 미 해군과 해병대가 정의한 도전적인 VTUAV 요구도를 기준으로 두 기종을 비교하면 스마트무인기의 시장전망은 매우 밝다고 할 수 있다. 그러나 이러한 기술적 비교우위의 상황은 지난 2000년도에도 동일했다. 오히려 더 불리해진 점은 MQ-8B의 전면 양산 진입이 2년도 남지 않았다는 점과, MQ-8C의 병행 개발로 인해 Fire Scout은 Family Version 컨셉으로 제시되어, 획득비용과 운용-유지비용을 줄이는 측면에서 강한 시장 유인력을 발생시킬 수 있다는 점이다.

시장의 요구도 동향은 고속 광대역 1톤급 전술수직이착륙 비행체(VTUAV)에 대한 요구가 여전히 유효함을 보여 준다. 특히 Fire Scout 사업의 완성도를 지켜보다가 2008년 Fire Scout의 도입 철회를 결정하고 보다 강화된 Threshold 성능 요구도를 공표한 미 해병대의 동향은 이러한 판단을 지지해 준다. 그러나 Fire Scout은 Family 컨셉의 개발제품 Line Up이 형성되는 단계에 진입했으며, 제품의 개발 완성도가 높아지고 신뢰성이 높아진 결과로 제품인도 소요 일정이 줄고, 주문 댓 수가 늘어나면, 뒤늦게 양산 진입하는 틸트로터 무인기 양산개발 사업에 매우 불리하게 작용할 위험이 크다. 실 예로, 최근 한 중동 국가에서 Fire Scout을 전격 도입하기로 한 기사가 2011년 11월 발표되었는데 [8] 이는 Fire Scout 개발 이래 최초의 해외 수출 계약 건으로서 앞으로 본격화될 전조가 될 수 있다. 이와 같이, 10년 전 1톤급 틸트로터 무인기인 Eagle Eye의 양산진입 걸목을 위협한 Fire Scout은 이제 광대역 운용 요구 성능의 열세를 공인한 점과, 유사하중의 잇점에 근거한 다목적성에 우위를 인정받은 점이라는 두 가지 다른 모습으로 스마트무인기의 성공적 양산진입에 위협 요소로 작용하고 있다. 따라서 성공적 양산진입을 위한 다차원적이고 면밀한 전략도출이 필요하다.

MQ-8B이 시장에 진입하게 된 상황에서, 고속 광대역 VTUAV 시장이 본격적으로 성숙되기는 어려울 수 있다. 따라서 틸트로터 무인기가 성공적으로 양산단계에 진입하려면, 저속-고유상하중에 국한된 임무 영역에서 장점을 가진 무인 헬리콥터와 경쟁에서도 경쟁력을 가지면서도 틸트로터 고유의 강점과 시장가치를 휘

손하지 않는 양수점장 전략이 후발 시장진입자의 불리한 점을 상쇄해 줄 것이다. 이러한 전략적 대안을 현실화 할 수 있는 기술은 이미 다양한 형태로 가용하지만 (3.1장 참조), 구체적인 기술의 확보와 통합은 스마트무인기의 성공적 양산 체계개발에 있어 가장 큰 전략적 과제가 될 것이다.

10년 전 Eagle Eye가 대응했던 고속, 고고도 성능우위를 중심으로 임무효과성 차별화에 의존한 대응을 넘어서서 보다 고도화되고 사용자 입장의 설득력 있는 대응을 위해, 3장에 기술한 추가적 기술개발과 통합이 필요하고 이는 필연적으로 투자비용/일정의 증가를 의미하므로, 그만큼 확실할 시장성과 협력 파트너의 모집을 통한 위험분산이 필요하다.

이는 성공적 양산화 체계개발관련 충분한 기간 동안 Feasibility Study 과제를 선행하여, 신기술 추가개발/통합 시나리오와 타당성을 체계적으로 분석하고, 제휴/투자-협력선과 잠재고객 발굴, 다양한 운용개념 (Concept of Operation)과 시장가치에 대한 분석을 기초로 양산화 개발시나리오를 Top down 방식으로 정의해야 함을 의미한다. Bottom up 방식은 곤란하다. Big Picture의 이해와 체계적이고 장기적인 기술개발 로드맵 설정작업 토대 위에 연구개발자들의 비전과 목표가 재 구성되고, 외부의 개발 지원-협력-관리 체계의 공조가 조우해야만 값진 고기술 무인항공기 기술개발 성과가 확고한 세계시장 진입이라는 역사적 이정표로 이어질 것이다.

## 2.2.2 다목적/복합화 개발을 위한 전략설정

다목적/복합화는 확고한 양산화 개발추세다. 항공기 설계기술 및 시스템 기술발전으로 인해, 다수의 특정항공기가 수행 가능한 임무를 단일의 다목적 항공기로 수행하는 설계가 가능하게 된 외부적 요인과 이로 인한 개발-유지비용 절감이라는 내부적 요인에 기인한다.

이러한 다목적 항공기 개발은 고도의 세부요소 설계기술만이 아닌, 고도의 다분야 설계통합 능력을 필요로 하게 되고, 이와 관련한 불확실성과 기술적 위험도가 커지게 된다. 이러한 문제에 대한 대응에 있어서,



자료 : [9]

그림 10. 다목적/복합화 개발 사례 (JHL 개발 사업)

R&D 목적의 기술개발을 위한 체계사업을 양산 체계 개발로 전환하는 시점에서 유의해야 할 점이 있다. 즉, 기술개발을 위한 체계개발 단계에서는, 불확실성과 위험도를 줄이기 위해 체계개발 범위 단순화되고 기술개발의 가치가 높은 방향에 우선순위를 두는 것이 일반적이다. 이에 반하여, 기술개발을 성공적으로 수행한 뒤 양산체계개발로 진입함에 있어서는 전혀 다른 패러다임 즉, 다목적/복합화를 고려한 전략적인 체계개발 요구도와 설계 범위의 확대-통합이 필연적으로 요구된다는 점이다.

그런데, 고기술 R&D 사업의 경우 시장이 아직 성숙되지 않고 잠재고객과의 산발적 협의가 진행되는 상황에서, 시장의 다양한 요구를 발굴하고 체계적/전략적으로 통합하여 전략적으로 설계복잡도와 개발범위를 확대하는 결정은 소홀히 다루어질 위험이 있다.

‘이것은 기업의 역할이다’라는 시각은 고기술 기술개발을 전략적으로 양산 체계개발로 전환하는 단계에서는 적합하지 않다. 산업체가 개입하여 체계개발에 착수할 시점에는 이미 다목적/복합화 범위가 구체화되어 시장성과 개발 전략이 투자자와 조율된 다음이 될 것이므로. 따라서 기술경영적 관점에서의 전략적

사전연구를 통한 양산진입준비는 연구원의 기술개발 성과확산 체계구축 및 역량 강화 관점에서 강조되어야 하고 조직적 지원이 필요하다.

### 2.2.3 전략적인 초도양산 개발목표 설정 필요

끝으로, 전략적인 초도양산 개발목표 설정/조정의 필요이다. 2.2.1 항에서 고찰한 경쟁 환경과 시장동향에 대한 지속적인 조사/분석 결과로서 요구되는 추가적인 기술개발 필요와 2.2.2항에서 고찰한 다목적/복합화와 관련한 체계개발 범위 확대 요구의 반영은, 양산 체계개발의 성격을 불가분 매우 복잡하게 한다. 초도양산 개발목표가 체계개발 역량 대비 지나치게 높을 경우 초기부터 일정/비용 부담과 개발 위험도가 증가하며, 초도양산 개발목표가 과도하게 제한 될 경우에는 대규모 양산체계개발 투자를 정당화할 충분한 초도주문대수 (Launch Order) 확보가 어렵다.

이 문제를 효과적으로 대응하려고 고안된 개념이 바로 EMD Increment (점진적 체계개발) 개념이다. 즉, 기술개발단계와 체계개발단계에서 각각 제한적인 기술개발과 제한적인 운용성능 충족을 달성하더라도, 이를 수용하면서 조기에 초도양산단계(LRIP) 진입하여 초도운용시험평가(IOT&E)에 투입하고 이와 병행하여 체계개발성능 향상을 위한 또 다른 기술개발을 병

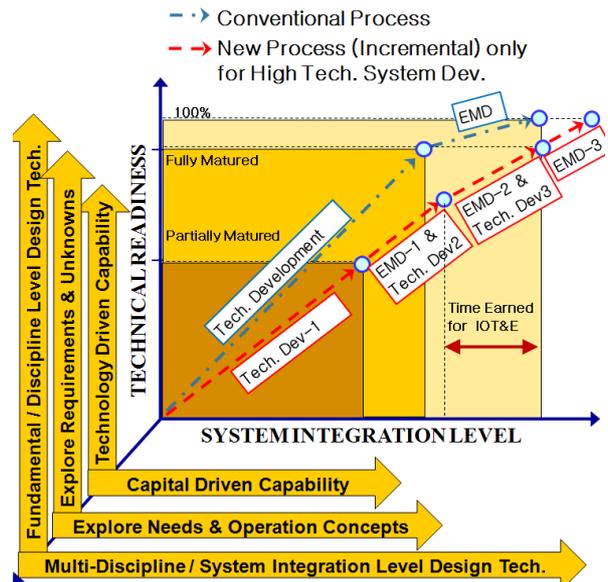


그림 11. 진화적 획득방식의 체계개발 위험완화 개념

행 진행하는 개념의 점진적, 진화적 획득관리 개념이다. 개발 초기단계에 작성된 'Gap Analysis'와 AoA, 에 기반한 기술개발전략서(TDS)를 기술개발, 체계개발, 초도양산개발 단계 각각의 종료 시점에서 Update 를 요구한다. CPD를 통해 제품으로 구현 완료된 기술/성능을 기술하고 TDS를 통해 향후 확보할 기술/성능(Capability)의 보고-승인을 요구하고 있다. (그림 3)

그림 11은 최신 개정된 진화적 획득개념의 개발 위험완화 개념을 보이고 있다. 수평축은 투입시간과 비용에 비례하는 것으로 이해할 수 있다. 새로운 획득 개념은 주어진 일정기간 내에 성숙시켜야 하는 기술개발 부담을 줄여 주면서도, EMD 결과 제품에 대한 IOT&E 에 조기착수를 통해 고기술 체계개발 사업의 계속 수행 여부를 조기에 판단하고, 실제 운용시험을 반영한 개발요구도 변경 결정을 조기에 함으로써 비용-일정 상승 위험을 억제할 수 있는 개념이다.

초도양산 개발목표의 축소 조정에서 중요한 다음 세 가지에 유의할 필요가 있다.

- 1) 최종 목표에 대한 명확한 비전과 로드맵이 선행되어야 한다는 점.
- 2) 체계개발 역량이 축소조정의 전제조건이므로, 전략적인 국제협력과 기술도입, Outsourcing 등을 통해 개발역량을 강화하고, 이에 기반하여 초도양산 개발목표 축소 수준의 최소화
- 3) 단계별 체계개발/기술개발 부하의 효율적 분산

초도 양산개발 단계에, 복잡도 수준의 전략적 설정 실패 사례로서 V-22 사업과 A380 사업을 들 수 있다.

**사례 - V-22, A380의 양산진입 지연과 실패위험 :**

V-22 사업은 1981년도에 체계개발이 시작될 당시 미 해군, 육군, 공군, 해병대의 운용 요구도를 통합한 개념으로 출범한 대형 개발프로그램이었다. 1990년 초에 예정이었던 양산진입은 비행시험 중 2 대의 추락사고로 안전성논란과 함께 연기되었고 그 후, 성공적인 설계개선과 비행시험 진행이 되었으나, 양산승인을 앞두고 2000년도에 발생한 2번의 추락사고로 다시 잠정 중단 및 오랜 논란을 해소하기 위한 미 의회 진상조사가 시작되었다. 2001년 발행된 보고서[10]는 틸트로터

기술개념의 안전성 문제가 아닌, 다목적 체계개발 특성으로 인한 복잡한 요구도로 인해 비행체 시스템이 복잡해 진 것이 가장 큰 문제로 지적되었고, 해당 사항에 대한 수정반영 및 검증완료를 통해 2005년 최종적으로, 그리고 틸트로터 비행체로서는 최초로, 양산납품을 시작하게 되었다. V-22 에 선행하여 XV-15, XV-3 등의 기술개발 사업이 20년 이상 진행되었음에도 불구하고 양산체계개발에만 25년이 소요된 것이다.

A380 개발사업도 초도 양산 단계에서부터 너무 다양한 수요처의 요구도를 수용하면서, 형상관리의 복잡성 증가로 인해 최종조립 단계의 설계불일치 문제가 발생한 것이 일정지연의 주요 원인으로 지목되었다.

**시사점 -전략적 체계개발목표 설정, 체계적 관리 :**

A380 사업과 V-22 사업 모두 중국에는 양산진입에 성공하였으나, 양산진입이 초기계획대비 상당히 지연되면서 막대한 비용손실과 잠재고객 감소, 그리고 중도에 개발중단의 위험을 겪었다. 이는 다목적/복합화 특성에 따른 초도 양산 제품의 복잡성 증가를 개발조직이 효과적으로 통제/관리할 수 있는 체계공학적 관리역량 수준으로 한정하여야 함을 의미한다.

성공적 초도양산 진입을 위한 다목적/복합화 수준의 전략적 결정에는 다음 4 가지 요소가 요구된다.

- 1) 투자자/시장의 허용 예산/일정범위 파악\*
- 2) 복잡도 높은 체계개발 업무에 대한 구조적 이해와 적응적 절차(tailored process) 개선으로 통제수준의 효과적 설정, 지속할 수 있는 체계공학 역량†
- 3) 점진적 체계개발에 관한 통합적 기술개발 로드맵과 전략(TDS), 구성품 획득전략, 위험회피 수단에 대한 이해와 Work share 전략‡
- 4) 이에 따른 다목적/복합화 설계적용 전략 설정에 관한 Tradeoff Study 및 Threshold-Goal 설정§

\* 이것은, 매우 어려운 과정이며 비공식적 Route 와 접촉을 통해 실제적인 마지노선의 파악이 요구된다. 잠재고객의 무리한 일정, 비용 요구에 대해 설득력 있는 조정의견과 조정에 따른 보상으로 수요자 입장의 또 다른 가치를 제시 할 수 있는 논리개발과 자료 준비를 위해 양산체계개발에 관한 전체적 이해/파악이 요구된다.

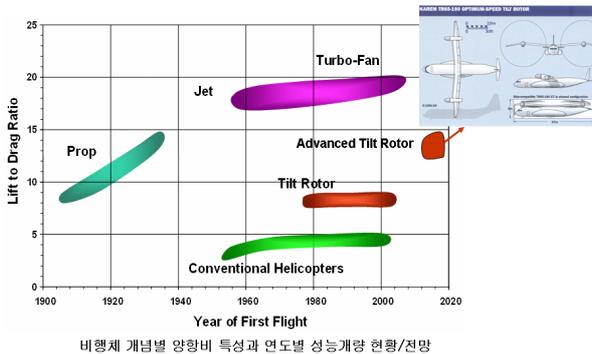
† TDS, CDD, CPD, RTM, TPM, KPP, FTA, FMECA, RMS, EVMS, CMMI, etc

‡ 핵심구성품 다원화(Multi-source acquisition), Strategic Outsourcing and Partnership

### 3. 스마트무인기 양산 체계개발 Feasibility Study Work Scope 고찰

#### 3.1 Advanced Tiltrotor 기술의 전략적 선택

전술한 바와 같이 성공적인 양산체계개발 한 여러 가지 외부환경 요인과 기술적 필요에 대한 시사점, 그리고 시장에 선행해 이미 진입한 경쟁자로 인한 위험 요소가 존재한다. 이러한 요소에 효과적으로 대응하는데에 적절한 Advanced Tiltrotor 기술이 이미 다양한 형태로 개발이 되고 있다.



자료 : [11]

그림 12. Tiltrotor 개념, Advanced Tiltrotor 개념과 전통적 헬리콥터 개념의 공력성능 수준 차이

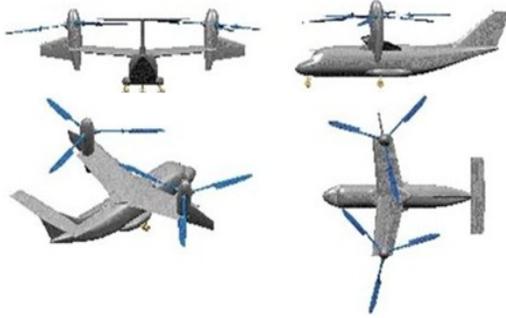


그림 13. VDTR(Variable Diameter Tiltrotor) 개념과 Extended Wing 개념

그림 12는 미 국방성의 차세대 대형 수송체 개발프로그램인 JHL 기본개념으로 틸트로터가 선정된 배경을 보여준다. 그림에서 보인바와 같이 항공기의 비행 성능 특히 체공성능에 직접적으로 관계된 L/D (양항



그림 14. Hybrid Tiltrotor 개념 [12]  
(위 : ERICA , 아래 Felix)

비) 성능은 전통적 헬리콥터 비행체의 경우 최적의 설계인 경우 5 수준에 근접한다. 틸트로터 비행체의 경우에는 양항비가 8 내외이며, Advanced Tiltrotor 개념의 경우 15 수준에 근접할 수 있는 것으로 예측되고 있다. 그림 12가 보여주는 또 다른 특징은, 반세기 이상의 상용화 역사를 가진 헬리콥터에 비해 틸트로터는 이제 막 태동기로서, 실용적 성능개량의 한계점에 이른 헬리콥터 개념 대비 다양한 성능개조, 개량관련 설계 옵션이 미답지로 남아 있다는 점이다. 여러 가지 Advanced Tiltrotor 요소기술 중

- Variable Diameter Tiltrotor (VDTR, Sikorsky)
- Optimum Speed Tiltrotor (OSTR, Karem, Lockheed)
- Extended Wing Concept (All Player for JHL)
- Variable Speed Transmission / Rotor Blade
- Soft-In-Plane Rotor Blade (NASA)
- 4 Bladed Tiltrotor (ERICA)
- Hybrid tiltrotor (Semi -tiltwing) type (ERICA)

§ KPP, Family Concept, Multi-Payload integration, Power Growth Version, TOW Growth Version, VTOL/STOL concept, Design Provisions (Class I, Class II), etc

등은, 차세대 스마트무인기 성능 개량 시나리오의 Feasibility Study 과제로서 매우 적합한 주제가 될 것이며 향후 유인 틸트로터 개발, 개인용 항공기(PAV) 개발 등과 연계한 장기적 기술개발 로드맵 차원의 접근이 요구된다. (그림 13, 14)

위에서 열거한 기술 중 일부는 이미 선진항공사에서 비밀 프로젝트로 시제품 개발이 완료된 상태이고 향후 기술제휴의 가능성도 있으므로 개발협력 구도에 따라 기술개발 위험도가 높지 않으면서도 한층 더 획기적인 성능개량을 기대할 수 있다.

또한 연구원의 기초기술과제 선행연구 자원을 활용하여 Advanced Tiltrotor 요소기술에 대한 선행연구개발을 추진하는 전략적 포석도 고려해 볼 수 있다. 보다 선행해야 하는 의사결정은 연구원의 역량을 틸트로터 기술의 고도화와 개량을 지원하는 방향으로 결집할 것인가에 관한 관리적 차원의 선택의 문제, 장기적 기술 로드맵에 관한 관리적 조정의 문제이다.

Advanced tiltrotor 개념 도입 효과를 극대화하기 위해 필요한 기술적 도전과제로서 엔진 개조개발에 관한 검토가 필요하다. 국내에서 추진된 대개의 체계개발의 경우 'Major 급' 엔진개조-개량은 논외로 해 왔지만, 양산 체계개발을 염두에 둔다면 Feasibility Study를 통해 전략적인 개조범위 정의와 설계통합 방안에 대한 검토가 필요하다. 이는 두 가지 원인에 기인한다.

1) 고고도 운용 지원 : 현재 가용한 엔진의 최대 운용 고도가 20,000ft로 제한되는 문제 해결을 위한 개조

2) Required Power Balancing : Advanced Tiltrotor 기술 적용에 의한 고정익모드 파워감소 효과로 이착륙 모드 대비 고정익 모드의 요구마력 Gap이 50%이상 커지게 된다. (일반 헬리콥터의 경우 10~20% 수준) 이러한 Gap을 효과적으로 연료소모율 감소로 전환하기 위해 요구마력 Balancing을 위한 엔진 개조 및 VDTR, OSTR 등의 기술 통합이 필요

### 3.2 양산 체계개발 시나리오에 따른 전망

이상으로 2.2.1~2.2.3 단원에서 파악한 시사점과 전략적 요소를 고려하여, 점진적 체계개발 개념에 기초한, 다양한 양산체계개발 시나리오를 가정해 볼 수 있다. 아래 예시한 시나리오는 예시 일 뿐이며, 향후 보다

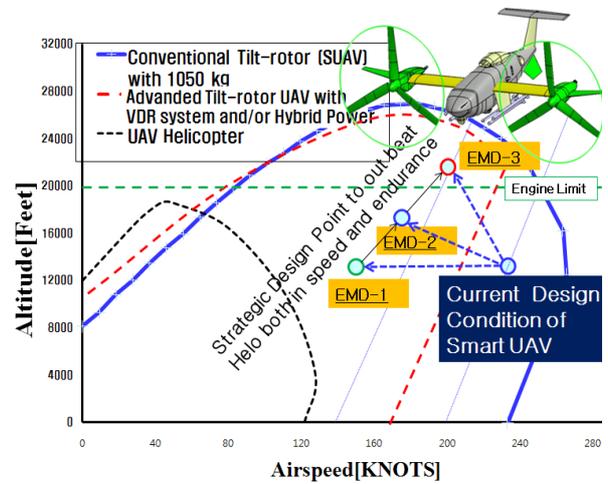


그림 15. 전략적 설계점조정과 점진적 체계개발 개념

체계적인 시장조사, 내부역량과 기회요소, 및 장기적 비전에 근거한 시나리오 작성이 요구된다.

1) 개발 전략 공통요소 정의 예시 :

- 고속성능과 체공성능, 유상하중 성능의 Tradeoff
- 생존성, 광대역 성능에 필수적인 고고도 성능 유지
- 단계적 성능 개량 개발 접근
- 초도 시장진입은 4~5년, 점진적 체계개발 진행
- 그림 9에 나타난 설계 포인트 조정 개념 적용
- L/D 및 저속성능 개선에 관한 Advanced Tiltrotor 기술 선별적 적용
- 기존 엔진을 유지, 필요시 개조 범위 최소화
- 핵심구성품은 기 개발된 시스템 유지를 기본으로 개발 시나리오에 따른 설계 개선 최소화 접근
- 설계통합/최적화 수준 증대를 통한 중량감소 및 연료소모율, 시스템 신뢰성 개선

2) 개발 시나리오 정의 예시 :

아래에 예시한 바와 같이 개발 시나리오는 체계개발 사업구도 전체와 관계된다. 개발 시나리오는 다양한 모델로 Feasibility Study 초기에 양산 체계개발 수행 주체들(투자자, 파트너)과 함께 정의 및 승인되고, 승인된 개발 시나리오들에 대한 타당성 평가가 Feasibility Study의 중심 내용이 된다.

- 시나리오-1 : 기술개발단계 개발형상의 부분적 개량을 또한 빠른 시장진입 전략
- 시나리오-2 : Advanced Tiltrotor 기술의 선별적 적용\*과 기술제휴를 통한 설계개량 범위 확대 전략

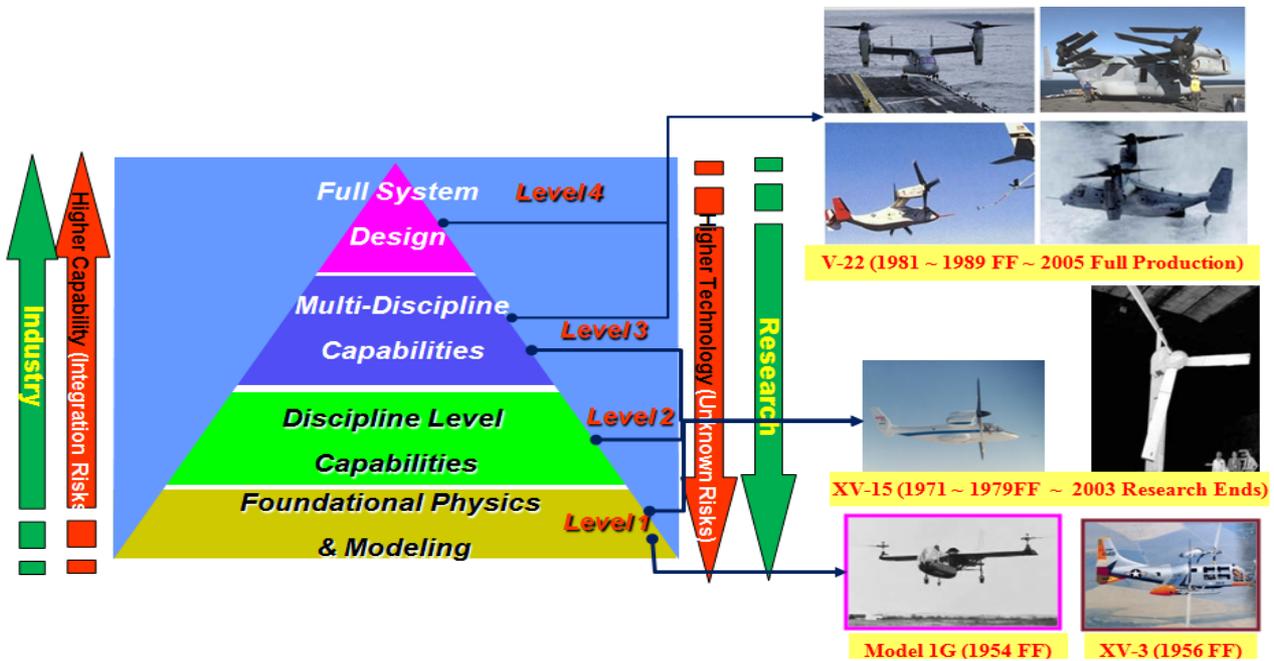


그림 16. NASA의 R&D Structure 에 따른 틸트로터 기술개발 과정 이해

3) 시나리오-2에 대한 예비 Study 결과 :

표 4. 시나리오-2 개조형상과 Fire Scout 비교

비교항목	Reqm't (Threshold)		Fire Scout	Smart UAV
	US NAVY (2000)	US Marine (2008)		
최대이륙 중량(kg)	-	-	1430	Better (경량/소형화)
최대순항 속도(kts)	135	200	85+	2배 이상
최대운용 고도(ft)	15,000	-	12,500	20,000 이상
최소임무 반경(km)	200	450	150	2배 수준
임무시간 @M.R.	3@ 200km	1.5@ 450km	4~5@ 150km	Better
최대체공 시간	5	-	5~6 (TBC)	Better
유상하중 (lbs)	200	200	500	Equivalent

내부적으로 임의의 시나리오-2를 가정하고 타당성에 대한 예비 연구를 수행해 보았다. 그 결과 보수적인 성능예측을 적용한 사이징 접근을 하더라도 기대할 수

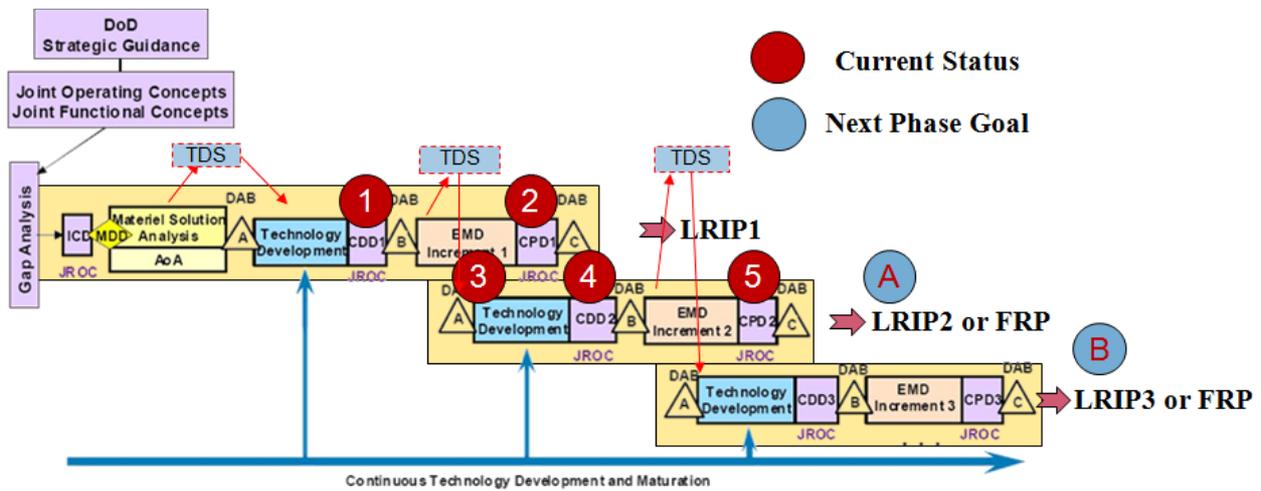
\* 기술의 가용성, 개발역량 대비 소요되는 비용/일정/ 위험도를 감안

있는 최종형상의 성능은 놀라운 수준이다. MQ-8B와 비교하여 기대되는 성능 예측 결과를 표 4에 정성적으로 나타내었다.

위 결과는 무인헬리콥터가 갖는 저속 장기체공 성능과 고유상하중 성능과 동등한 수준으로 개량을 하면서도 틸트로터의 장점인 고속, 고고도, 광대역 임무에 적합한 설계가 가능함을 보여주며, Feasibility Study를 통해 보다 상세한 평가가 이루어져야 한다.

4. NASA 고기술 체계사업 R&D 구조

항공우주분야에 관한 역할의 롤 모델 측면에서 미국방성보다는 미국의 NASA가 더 가깝다고 할 수 있다. NASA의 기술연구와 기술연구결과를 확장한 체계 개발로의 확장에 대한 연구개발 구도는 그림 16 좌측의 도해와 같이 표현된다. 하위로 내려갈수록 기초연구에 해당하는 사항으로서 NASA의 선행기술연구에 해당한다. (Level1 과 Level2) 상위로 갈수록 기술개발과 연계된 개발사업의 규모는 커지고 연구개발보다는 업체 주도의 산업에 가깝다. 여기서 주목하고자 하는 것은 고기술 항공기의 개발은 Level1, 2 단계의 기초공사가 중요하다는 점이며, 이러한 단계의 연구는 상위



자료 : [3], [4]

그림 17. 미 국방성 ‘진화적 획득’ 관리 특성에 따른 스마트무인기 개발 현황과 목표설정 이해

단계인 Industry Level 의 개발 경험 없이는 그 다음의 한 단계 높은 수준의 기술연구 단계(Level1, 2)에 진입할 수 없음을 의미한다. 또한 고기술 항공기를 양산 체계개발(Level 4)하기 위해서는 Level 1, 2, 3의 체계적이고 성실한 수행이 전제된 기술개발이 필요함을 잘 보여주고 있다. 또한 하위(Level 1, 2)로 내려갈수록 단위 연구 분야별 기술적 위험과 불확실성이 커지는 반면, 상위 (Level 3, 4)로 갈수록 분야별 연구에서는 발견하지 못한 설계통합, 다분야 통합설계 관련 기술적 위험과 불확실성이 커짐을 주목할 필요가 있다. 따라서 성공적인 기술개발을 위해서는 일정규모의 체계개발을 통해 통합적인 기술개발 연구가 필요하다.

그림 16은 신개념 비행체인 V-22 틸트로터 항공기가 2005년 성공적으로 양산진입하기 까지 단계별 선행 기술개발 과정을 보여주고 있다. V-22가 양산에 진입하기 까지 무려 50년의 선행연구가 있었으며, 설계통합과 관련된 기술 외의 분야별 단위의 요소기술은 선행개발 완료되었다고 판단된다. V-22 양산체계개발이 결정된 1981년 이후에도 NASA에서는 XV-15을 이용하여 2003년까지 20년 이상의 기간 동안 틸트로터의 비행특성과 안전성, 성능향상을 위한 소요기술에 대한 다양한 연구를 병행 추진하여 V-22의 양산화 진입관련 기술지원 하였던 점도 주목할 필요가 있다.

### 5. 정리 및 제안

### 5.1 스마트무인기 개발 현황에 대한 이해

이상으로 미 국방성과 NASA가 제시하는 고기술/대규모 체계개발사업의 연구개발 관리 Framework를 기술개발 단계에서 양산체계개발 단계의 전환 시점에 관련된 관점에서 파악함과 동시에, 외부환경의 변화와 틸트로터 기술동향, 그리고 이들이 갖는 의미와 시사점, 그리고 개략적인 양산 전략에 대해 살펴보았다.

그러나 양산 체계개발에 대한 전략을 외부환경에 대한 이해나 고기술 항공기 개발 전 과정에 대한 전체적인 이해 뿐 아니라 내부적 역량 현황, 이전 단계의 실적과 미결사항에 대한 이해를 필수적으로 요구한다. 앞서 제시된 2가지 체계개발에 대한 이해의 틀을 기준으로 볼 때 스마트 무인기는 어떤 단계에 와 있을까?

첫째, 미 국방성의 최신 체계개발관리 개념인 점진적/진화적 획득개념으로 이해해 볼 때, 그림 17의 1~5번의 단계를 생각해 볼 수 있다. 만약 현 단계가 5번 단계(기술개발과 체계개발의 성숙도가 제한적 운용을 전제로 초도 양산진입에 가능한 수준)에 와 있고, 양산 체계개발관련 목표 수준이 지향하는 바가 A 또는 B 단계수준이라면, 본 기술개발과제 종료 후 바로 초도양산개발 논의가 가능할 것이다. 또한 대외적으로 여러 투자, 협력 문의 기관들에 대한 대응 시 B 단계의 비전을 제시하며 소요 일정과 비용 산정, 전략적 협상에 있어서 우위를 점할 수 있을 것이다. 그러나 만약 현 단계

가 1~3 번의 단계에 와 있다고 진단한다면, 양산 체계 개발에 대한 전략 수립이 무의미해지며, 기술개발 수준을 완성도 면에서 끌어올리고, 검증하는 과업에 매진해야 하는 단계로 파악할 수 있다. 국내의 고기술 체계개발 사업에 관한 연구 지원환경으로 볼 때, 그림 16에서 나타난 장기간의 기술연구 가치 인정과 지원을 기대하는 것은 무리이다. 대외적인 기대는 과제종료 시 5번의 단계에 도달하는 것이지만, 비행체의 기술수준이 높아지고 세계적인 수준이 될수록 요소기술의 획득과 검증, 그리고 이를 지원하기 위한 완성도 높은 데모비행용 비행체를 개발하는 것만도 상당한 위험도 높은 도전이기에, 2~4의 단계에서 기술개발 과제가 마무리 되는 것이 일반적인 것으로 판단된다. 고기술 체계개발의 전 과정에 대한 이해와 공감대가 형성되지 않은 경우, 개발된 기술의 미래가치와 난이도 보다는 양산화에 대한 당장의 진입여부라는 잣대로 기술개발 과제의 성공여부가 평가되고 폄하될 수 있다.

이러한 고기술 항공기 개발에 관한 외부적 이해와 공감대의 필요뿐 아니라 내부적으로 기술개발에 역점을 두느냐, 양산진입이 가능한 성능향상에 역점을 두느냐에 대한 상위적 관리방향 결정이 필요하다. 고기술 항공기 기술개발 과제에 대한 이해가 부족한 국내 연구 환경과 외부의 상용화 관련 문의로 촉발된 조기 양산진입의 압박은 기술개발 마무리 단계에 있는 현 상황에서 전자의 입장과 후자의 입장으로 내-외부 의견이 확연히 나뉘고 그 입장 차이도 클 수 있다. 그 입장 차이를 좁히지 않고는 역량이 결집된 사업 마무리와 양산준비 기획사업, 차기 사업에 관한 외부 문의에

**Technology Development Strategy (TDS)**

- Rationale for evolutionary or single-step to full capability
- Preliminary acquisition strategy with cost, schedule, & performance goals for entire R&D effort
- Cost, schedule, performance goals & exit criteria for the Technology Development Phase
- Approach to ensure visibility of data assets
- Known & probable CPI & potential countermeasures
- Time-phased workload assessment
- Data management strategy
- Summary of CAIG-approved Cost & Software Data Reporting Plans for the Technology Development Phase
- Consideration of international cooperative opportunities
- Summary of Net-Centric Data Strategy

자료 : [4]

그림 18. 진화적 획득 개념에서 강화된 TDS 요건

이를 줄이는 것이 첫걸음이다. 최근 개정된 미 국방성 진화적 획득관리 개념에서 강조된 TDS 문건의 강화 부분(그림 3, 18)을 참고하여 이미 확보된 기술, 추가적으로 확보해야 할 기술과 확보 계획 및 일정/예산 예측, 그리고 국제공조 방안 등을 상세히 다룬 TDS를 준비하고, 이를 근간으로 판단한다면 성공적인 양산형 개발 방향성 설정과 진입 전략 작성이 가능할 것으로 판단된다.

둘째, NASA의 R&D Structure 이해의 틀을 통해 스마트무인기의 개발현황과 다음 단계를 나타내면 그림 19과 같이 나타낼 수 있다. 40% 축소기를 통한 비행체 어 로직 개발을 통해 자동비행기술 구현과 틸트로터 비행역학, 운용특성에 대한 초보적인 이해에 진전이 있었으나, 비행체 시스템의 제한으로 제한적인 기술획득에 만족해야 했고, 실물기 개발과 비행시험을 통한 보다 상세하고 다차원적인 기술획득과 시현이 진행되고 있다. 그림 16와 그림 19을 비교하여 보면, 스마트무인기기술개발사업은 분야별 단위의 요소기술개발과 성능검증 및 전 기체 단위의 설계통합 기술 개발과 전 기체 단위의 성능시현을 병행하여 시도한 매우 어려운 도전이었음을 파악할 수 있다. 제한된 자원으로 개발 지향하는 폭이 넓으면 깊이가 깊어지는 데에, 즉 확보된 기술의 완성도 수준에서 한계가 있을 수밖에 없다. 이러한 현실은 앞서 기술한 스마트무인기기술개발의 수준과 다음단계의 기대 수준에 대한 내-외부의 입장 차이의 원인으로 작용하며, 어느 누구도 파악하지 못하고 있는 잠재적 불확실성 요소와 위험도가 상당부분 존재할 것이라 추정 가능하다. 바로 이러한 불확실

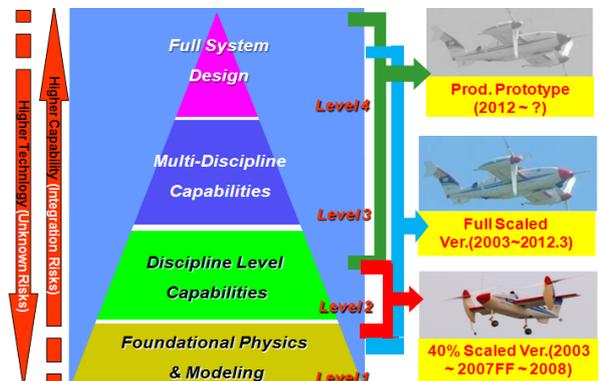


그림 19. NASA R&D 구조 VS 스마트무인기 체계개발

일관성 있는 대응이 불가능하다. 이러한 이해도의 차

성과 위험요소를 확인하고 대안을 모색하는 것이 TDS의 역할이고 또한 향후 수행될 Feasibility Study의 중심과제가 되어야 할 것이다.

## 5.2 양산화전략개발 초도연구 결과정리

1톤급 틸트로터 무인기의 양산화에 대한 기회요소와 위험요소를 고기술 양산개발에 관한 일반적 경향과 경쟁기종 분석, 양산 체계개발 성공, 실패 사례에 근간한 시사점을 참고하여 양산화 전략설정에 필요한 다양한 가치와 Feasibility Study 수행이 필요한 주요 주제를 탐색해 보았다. 특히 Fire Scout이 높은 완성도로 시장진입을 통한 VTUAV 시장 선점을 눈앞에 두고 있는 시점에서 틸트로터가 갖는 확고한 성능우위에도 불구하고 1톤급 VTUAV 시장에서 존재감을 나타내지 못하고 있는 이유에 대해, 보다 냉철한 이해와 시장가치에 대한 재고, 그와 동시에 틸트로터 고유의 장점을 간직하는 양수점장의 전략도출이 필요함을 확인할 수 있었다.

이러한 발견을 반영하여 제공성능과 유사하중 성능을 보완하면서도 틸트로터 고유의 장점인 고속-고고도 성능의 장점을 유지하여 광대역 임무를 필요로 하는 시장만이 아니라, 기존의 1톤급 무인헬리콥터의 시장에서도 경쟁력을 갖는 개발개념과 개발 시나리오를 가정하고 초보적 수준으로 예비 사이징 연구를 실시해 보았다. 그 결과 이미 시장 우위를 차지하고 있는 MQ-8B의 존재에도 불구하고 성공적 양산화 진입가능성은 매우 높다고 판단된다. 하지만, 이러한 시나리오 구성과 기대 성능예측 그리고 반드시 병행되어야 할 예산과 일정 산정은 보다 면밀한 자료 분석과 검토를 통해 이루어져야 한다.

## 5.3 양산화 전략 개발을 위한 향후과제

Feasibility Study의 본격 착수 전에 Feasibility Study에 관한 주요 아웃라인과 지침 정의가 선행되어야 하며, 이는 본 논문에서 전술한 바와 같이 사업단 차원의 전략보다는 연구원 차원의 장기적 기술개발 로드맵 및 연구원 자원 운용 전략과 관계된다.

또한 내부적으로는 기술개발 단계에서 확보된 기술의 성숙도와 가용성(maturity and readiness)에 대한

세부분야별 평가가 필요하다

미성숙한 기술이나 추가로 확보가 요구되는 기술과 관련 영향성, 위험도가 확인되어야만 장기적 기술개발 로드맵에 준하여 전략적인 기술개발 분야의 선택과 집중, 초도양산 개발목표의 전략적 설정이 가능하기 때문이다.

전략적인 초도양산 개발목표 설정과 점진적 체계개발 개념은 축적된 개발관리 경험과 합리적인 의사결정 시스템을 요구한다. 경험이 충분한 미 국방성도 고기술 무기체계의 획득 관리에 있어서는 종종 실패를 경험하고 지속적인 개발관리절차 개선하여 최근이야 이 개념에 이른 점을 주목할 필요가 있다.

소수의 의사결정 집단의 감각적 통찰에 의존하는 것을 지양하고, 다양한 Business Model 및 개발 시나리오에 대한 충분한 Feasibility Study를 통해 체계적인 의사결정 접근이 요구된다. 스마트무인기기술개발 과제 초기의 2년 간 수행한 개념연구와 개발방향전환이 남은 8년의 성공의 밑그림을 그려주었음을 기억할 필요가 있다. 향후 성공적인 양산개발 방향설정과 전략구상에 있어서도, 미진한 기술의 완성도 향상과 추가적으로 확보해야 할 기술에 대한 면밀한 분석과 이해, 전략적 Outsourcing 과 기술협력, Critical part의 다중 업체 경쟁구도 전략 설정, 시장과 경쟁구도를 고려한 전략적 Market Positioning 과 초도양산개발 목표의 구체화(성능, 가격, 일정), 양산개발에 참여할 산업체와 파트너십 구성 등의 과업에 대한 선행연구가 매우 중요할 것이다.

## 논문후기

본 논문은 기술적 요소와 경영적 요소를 통합한 논문을 작성하기가 얼마나 어려운 도전인지 경험하는 좋은 계기가 되었다. 본 논문 작성을 통해 양산체계개발 단계로 진입할 때 어떤 준비가 필요한지에 대한 Full Picture를 파악하고 그러한 이해 위에서 양산체계개발 전략을 도출하는 프로세스를 가늠해 볼 수 있었지만, 논문 작성자의 한계로 인하여 보다 정제된 결과도출과 정돈된 자료 제시에 있어서 미진한 점에 대해 독자 여러분들의 너그러운 양해를 구하는 바이다.

## 참고문헌

1. Rumelt Richard, "Good Strategy, Bad Strategy", Crown Business, 2011.07.
2. 국방부, "훈령 제 727호" 2003.02.
3. 미 국방성 "DoD Directive 5000.1", 2008.12
4. 미 국방성 "DoD Instruction 5000.2", 2008.12
5. Moshe Schwartz "Defense Acquisitions: How DOD Acquires Weapon Systems and Recent Efforts to Reform the Process", 2010.4
6. en.wikipedia.org/wiki/Boeing-Sikorsky\_RA\_H-66\_Comanche,"Boeing-Sikorsky RAH-66 Comanche "
7. CNN, "Army cancels Comanche helicopter", edition.cnn.com/2004/US/02/23/helicopter.cancel/
8. AIN online, "Fire Scout Proves Its Value in Middel East Warzones", Unmanned Vehicles Forecast, 2011.11.15
9. 안오성, 김재무 "스마트무인기를 통한 틸트로터기술의 개발수준과 미래활용및 발전방향", 무기체계발전세미나, 2008. 10
10. John R. Dailey, "Report of the panel to review the v-22 program", April 30, 2001
11. 안오성, "틸트로터개념에 대한 논란과 미래가능성에 대한 고찰", [www.smart-uav.re.kr/newsletter/](http://www.smart-uav.re.kr/newsletter/), 2008.8
12. 안오성, "틸트로터비행체 개발추세와 고속 VTOL기 개발경쟁", 한국항공우주연구원 항공우주 산업기술동향 제5권 제1호, 2007.7
13. Ohsung Ahn, "Feasibility Study of the electrical propulsion system for tilt-rotor UAV : Practical system architecture and vehicle performance trade-off", AUVSI, 2011.08
14. 안오성, 김재무 "틸트로터 비행체 개념에 대한 기술적 논란 및 비행안전성 논란 분석
15. 안오성, "VTUAV 개발동향과 틸트로터 기술의 미래에 대한 고찰", KSAS, 추계학술대회 2009.11.