

# 신개념 수직이착륙기 비행성능요구도 개발 및 최적화

## The Development of Performance Requirements and The Optimization of Design & Requirements for the Advanced New VTOL Aircraft

안오성\*, 김재무, 김승주, 임철호(한국항공우주연구원)

### 1. 서 론

헬리콥터와 같은 전통적인 수직이착륙항공기는 이착륙시 활주로가 필요로 하지 않는 장점이 있으나 고속비행 및 고고도 성능에 있어서는 고정익기에 뒤떨어진다. 제트 추진 시스템 성능의 비약적인 발달과 더불어 고정익 비행체의 최대속도 성능은 계속된 신장을 거듭했지만 엔진의 촉마력에 의존해야 하는 수직이착륙 항공기는 추진시스템 발전의 혜택을 충분히 누리지 못해 성능의 차이는 더욱 커졌다. 이러한 성능차이의근본적 이유는 로터를 이용하는 수직이착륙 비행체 개념인 경우, 전진비행시 로터를 이용하는 회전익 비행체의 경우 요구되는 엔진 파워가 전진속도의 삼승에 비례하여 커지는 특성 때문에 발생한다.

미래형 신개념, 고성능 수직이착륙기 기술개발을 목표로 추진되고 있는 스마트무인기 사업단에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 지난 반세기 동안 수행된 다양한 신개념 비행체 연구결과 및 최근 주목받고 있는 주요 VTOL 개발사업에 대한 면밀한 검토 결과 최종적으로 3개의개념을 후보로 선정한 뒤 국제공동 개념설계 및 개념연구를 통해 틸트로터 개념을 미래형 고속 신개념 비행체로 선정하였다. 06년 초에 상세설계검토회의 (CDR)를 성공적으로 마쳤으며, 현재 분야별 제작과 지상시험을 준비하고 있다.

신개념 고성능 수직이착륙기를 개발하는 본 사업시초부터 가장 어려운 문제 중의 하나는 과연 어느 정도 비행성능을 목표로 하여 비행체 개념을 선정하고 설계개발을 하느냐는 것이다.

특히, 전통적인 개념의 비행체 개발과정에 있어서도 개념연구과정에서 필연적으로 성능 요구도의 완화와 타협이 요구되는 때가 오게 되는데, 신개념 비행체 개발의 경우, 본질상 그 목표성능이 매우 도전적이기 때문에 개념연구결과 여러 가지 현실적이고 설득력 있는 요구도 완화에 대한 요구에 직면하게 되고 최선의 선택, 합리적인 결정을 내려야 하는 시기가 오게 된다. 이때 합리적이고 확고한 선택을 하기 위해서는 목표성능 요구도의 합리성과 우선순위 설정이 무엇보다 중요하다. 신개념 비행체란, 이 세상에 존재하지 않는 비행성능을 목표로 개발하는 것이기 때문에 고객의 정확한 요구도 제시에 의해 개발되는 일반 비행체 개발 프로그램과 달리, 다양한 비행체 개념이 실제적

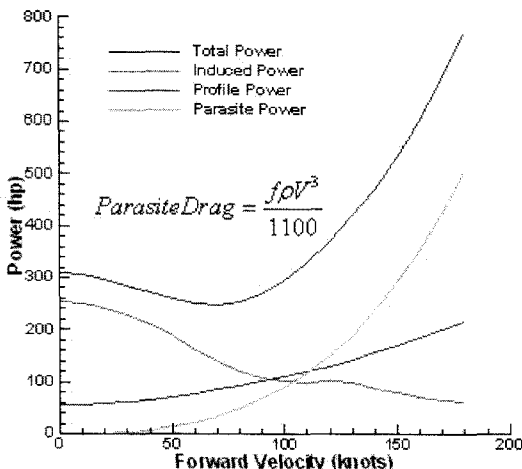


그림 1. 회전익 항공기 속도별 요구마력 선도

으로 가능한 비행성능지수에 대한 이해와 함께, 미래시장의 요구와 우선순위에 대한 체계적이고 합리적인 의사결정이 요구되는 것이다.

2. 신개념 비행체 성능요구도 및 기본철학

2.1 고속 성능 - 신기술성과 실용성

전통적인 회전익 비행체의 최대속도는 170kts(310km/h)가 그 한계로 여겨지고 있다. 그러나 연료소모율 및 최대체공시간등의 경제성을 감안한 경제적 순항속도는 100kts(180km/h)를 넘기 어렵다.

비행체의 임무 반경은 고속성능의 제공에 비례하여 증가하게 된다. 아래 그림은 해상에서 모선에서 출발하여 200km 떨어진 임무지역에서 임무를 수행하고 돌아오는 운용의 경우 50km/h의 Head Wind 조건의 운용환경에서 체공시간대비 최대속도의 중요성을 보이는 것이다

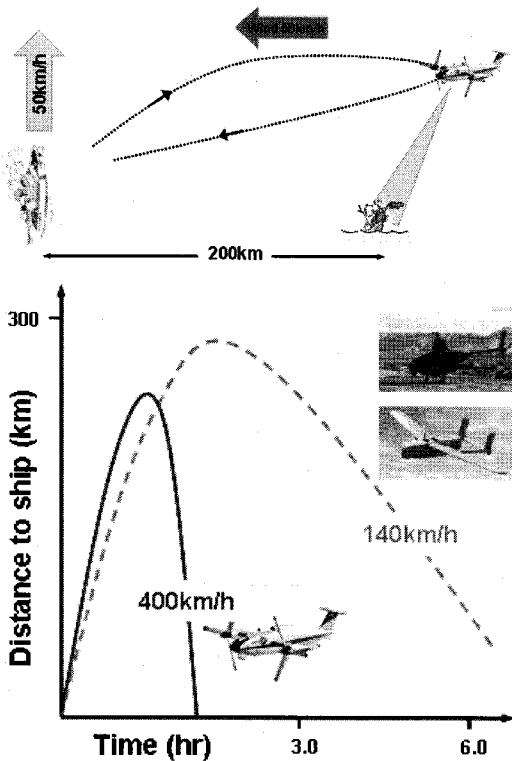


그림 2. 수직이착륙 비행체의 고성성능과 임무반경

결과적으로 설계순항속도가 400km/h 수준(최대속도 500km/h)인 고속 수직이착륙 비행체는 1.6 시간에 임무를 수행 할 수 있지만, 순항속도가 140km/h 수준인 전통적인 회전익 비행체 (또는 소형 고정익 경우에도) 6시간이 지나도 모선으로 돌아오기 어렵게 된다.

이것은 수직이착륙 비행체 개발에 있어서 고속 성능의 실용성을 잘 반증해 준다. 저속성능만이 요구되는 영역에서는 여전히 전통적인 회전익 항공기가 최선의 선택이다. 그러나 다음과 같은 실제적이고 독보적인 시장의 요구가 있는 경우에는 고속성능을 보유한 비행체가 매우 유리한 위치를 차지할 수 있게 되는 것이다.

- 넓은 임무반경
- 빠른 임무 응답시간
- 저속과 고속 및 장/단거리의 다양한 임무수행

2.2 체공시간 - 실용성

스마트무인기 개발 사업은 수직이착륙기의 고속성능을 획기적으로 향상 시키는 기술개발에 그치지 않고 실용성에 있어서도 우수한 비행체 개발을 위해 최대속도성능이 증가함에 따라, 비례적으로 줄어드는 최대체공성능에 있어서도 전통적인 회전익 수준의 체공성능을 유지하는 것을 상위요구도로 선정하게 되었다. 즉, 아래 그림에서 보이는 바와 같이 5시간 수준을 최대체공시간 요건으로 초기에 정하였다.

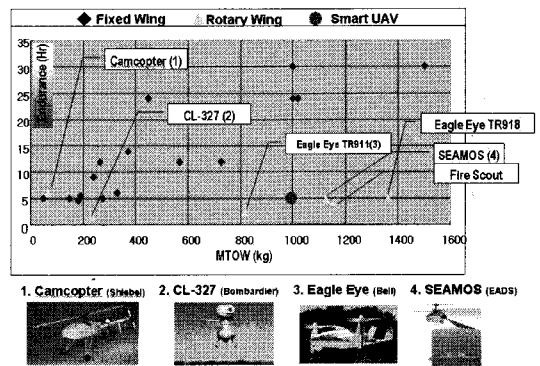


그림 3. 신개념 비행체 최대체공성능 비교 연구 결과

5시간의 최대 체공 시간 요구도는 개념설계 과정에서 구체화된 다음의 2가지 Mission Profile의 경우와 같이 최대속도 조건과 적절한 균형을 이루는 요건으로 확인되었다.

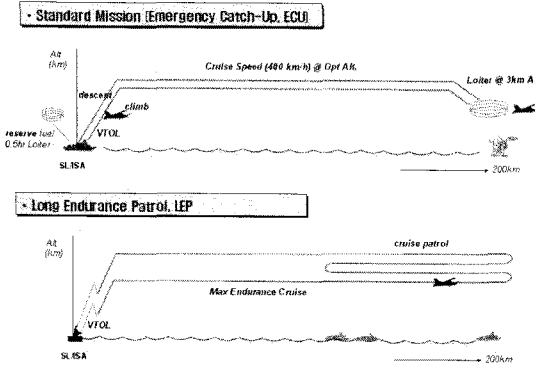


그림 4. 스마트 부인기 Mission Profile  
(표준임무 : 상, 최대체공임무 : 하)

즉, 200km 반경에서 3시간의 임무를 수행하는 표준임무는 최대체공임무(5시간)와 동일한 수준의 연료가 소모되는 것으로 개념설계 단계에서 추정되었으며, (그림5)

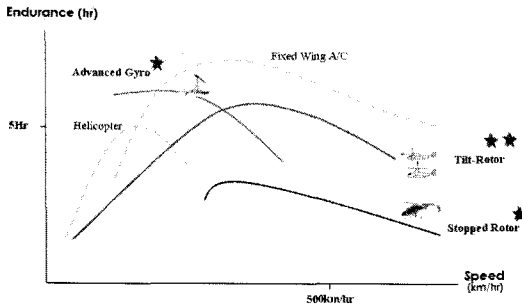


그림 5. 신개념비행체 최대속도와 최대체공시간 비교

이러한 성능 특성은 기본설계/상세설계 단계 과정에서 풍동시험 및 실제 엔진 성능정보가 반영된 상세성능해석 및 주기적 모니터링 (TPM) 으road도 확인이 되었다. (그림6)

이러한 결과는, 비행체 개념선정 및 사이징 과정에서, 국제공동연구를 통해 체계적이고 전문적인 비교연구를 통해 선정된 틸트로터 비행체 개념 선정의 적절성과 자체적으로 수행한 비행체 사이징의 정확성 및 기본/상세설계 과정의 중량절감을 위한 체계개발 자들의 노력을 확인시켜주는 것이다.

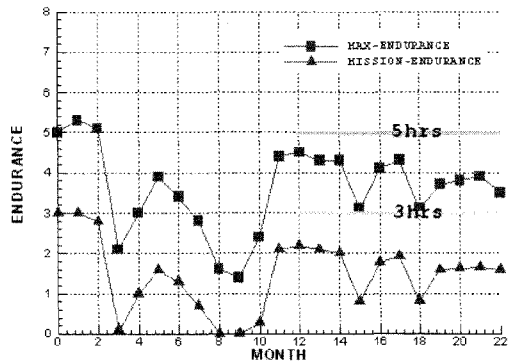
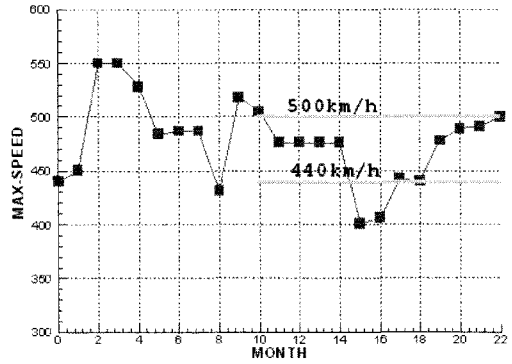


그림 6. 최대속도와 최대체공시간 TPM 결과

\* 최대체공시간 성능지표는 날개연료 제외한 예측임  
: 날개연료 포함 시 최소 1.5시간 증가 예상

이러한 결과는, 틸트로터 비행체 개념이 고속 성능만이 우수한 VTOL 개념이 아니라, 저속성능도 우수한 실용성과 진보성을 동시에 만족시키는 수직 이착륙 비행체임 다시 한 번 상기시켜 주는 것이다.

### 2.3 그 외 비행체 주요 성능 요구도

고속성능, 체공시간, 최대고도 등의 도전적이고 대표적인 요건 외에도 소음, 개발비용, 기술적 가용성, 미래 유인비행체로의 확장 가능성 등이 비행체 개념연구 단계에서 고려되었으며, 최적의 비행체 개념선정과정에서 비교 지표로서 사용되었다. 스마트부인기 사업의 상위 요구도는 다음과 같다.

- 고도의 신뢰성 및 안정성
- 완전 자동 비행 (이륙부터 착륙까지)
- 자동 충돌 회피 기동 (See and Avoid)
- 자가 고장 진단 및 치료
- 유인기 공역진입 가능성

- 경량화 (1000 kg 이하)
- 소형화 (길이 5m 이하)

### 3. 설계 및 성능 요구도 최적화

#### 3.1 고속 및 저속 성능을 고려한 설계최적화

최대속도 요구조건을 만족하기 위해서는 날개사이즈가 작아야 한다.(Higher Wing Loading Design) 그러나 최대체공 요구조건을 만족하기 위해서는 날개사이즈가 커야 한다. 저속 및 고속 영역에 모두 효율적인 비행성능을 내기 위해서는 날개 사이즈만이 아니라, 로터의 직경(Disc Loading), 로터 블레이드의 비틀림각, 로터 블레이드의 Solidity, 전환비행경로 및 플랩 스케줄과 같은 설계 Parameter들의 최적설계 값이 서로 상충되는 특성과 민감도를 잘 파악하여야 한다. 그리고 이를 통합한 적정 설계개념개발, 성능지표 설정 등을 통해 최적설계 접근이 필요하다.

스마트무인기의 성공적인 상세설계종료는 위와 같은 설계절충이 필요한 각 영역에 대해 최적의 절충점을 찾기 위한 신뢰성 높은 상세해석 및 설계분야별로 적정 목표성능 배분과 관리 (중량, 효율지수 등) 그리고 로터의 전환기능을 이용한 창의적인 설계/운용개념 개발이 주요한 작용을 하였다. 이에 대한 자세한 언급은 본 다음 기회에 별도 논문에서 다루도록 한다.

#### 3.2 비행체 성능 요구도 최적화 / 완화 결정

개념 설계 및 사이징 단계에서 의미 있는 주요 성능요구조건은 최대속도 및 최대체공시간 외에 중요한 요구조건은 경량화 관련 최대이륙중량이 300kg 미만이 되어야 한다는 요건이었다.

	초기요건	요구도 조정결과
Vmax, Km/h	500	500*
최대체공, Hr	5	5*
이륙중량, kg	300	1,000

위 3가지 주요 요구조건 중에 최대속도와 최대체공시간의 요구도는 단원에서 설명한 미래성, 시장성과 관련하여 매우 중요한 의미를 가지므로 완화하기 어려운 반면, 최대이륙중량을 제한하는 요구도를 다른 두 개의 요구도를 고

수하면서 만족시킨다는 것은 현재의 기술로는 도저히 달성될 수 없는 요구도인 것으로 판단이 되었다.

### 4. 결 론

신개념 비행체 개발은 다양한 요소의 신기술 개발이 필연적으로 요구된다. 특히 실용성을 고려한 체공성능을 만족시키기 위해서는 여러설계분야에서 중량절감을 위한 고비용의 노력이 요구된다. 그러나 신개념 수직이착륙 비행체 개발을 위해 고속성능과 체공성능을 동시에 고려한 이유는 개발철학의 문제이다. 개발철학은 요구 성능의 상위개념이다. 스마트무인기개발사업이 지향하는 “미래형 신개념 비행체”개발이라는 목표에서 개발철학이 나온다. “미래형”이라는 의미는 미래에도 지속적으로 개발요구가 발생한다는 의미이고 이는 실용성이 매우 중요함을 의미하기 때문이다. 또한 “미래형 신개념”이라는 두 개의 단어는 수직이착륙 비행체에 있어서 현재의 성능한계인 고속성능을 획기적으로 향상시킴을 의미한다. 스마트무인기개발사업을 통해 신개념 수직이착륙 비행체의 비행성능 요구도 및 임무선도가 확립되었고, 이를 구체적으로 실현할 수 있는 비행체 개념선정과 상세설계가 성공적으로 완료되었다.

### 참 고 문 헌

1. 안오성, “ADVANCED VTOL CONCEPT FOR SMART UAV PROGRAM”, Nagoya-KyungSang Aero Conference, 2003
2. 안오성 외 “신개념 수직이착륙 항공기 개발 동향”, 한국항공우주학회, 2006.11