

論文

틸트로터 무인기의 요구능력 효과도 분석

이기영*

Effectiveness Analysis for Required Capabilities of Tilt-rotor UAV

Ki Young Lee*

ABSTRACT

In order to set up the optimal required capabilities to satisfy a variety of domestic and foreign demands for the Tilt-rotor UAV, MOE(Measure of Effectiveness) hierarchy was designed through an expert discussion, and the weight of the MOE was determined by utilizing AHP method. The independent MOE assessment on the required capabilities was accomplished for the current configuration, available alternatives and foreign competitive UAVs. Finally the cost-effectiveness for the alternative and competition UAV was analyzed.

Key Words : Analytical Hierarchy Process(분석계층과정법), Tilt-rotor UAV(틸트로터 무인기), Required Capability(요구능력), Measure of Effectiveness(효과도)

1. 서 론

시장에 기존 제품이 존재하지 않는 혁신적인 기술은 제품의 실용화를 위한 투자를 설득하기 위하여 시장 예측에 따른 경제성 분석이 늘 어려운 문턱으로 작용하게 되는데, 틸트로터 무인기도 기존 무인기 제품에 근거한 시장 예측으로 한계가 있다. 이러한 경우 스마트폰, 태블릿 PC가 새로운 기능과 패러다임으로 존재하지 않는 시장에 진입하여 새로운 수요를 창출한 사례를 참조할 필요가 있다.

혁신적인 무인기는 새로운 시장 창출을 위한 수요 예측의 한계뿐 아니라, 시장의 보수성과 제한된 시장 규모도 고려해야 한다. 해외의 개발 현

황과 운용 사례를 먼저 확인하는 국내의 무인기 수요자들을 고려할 때 이 점은 더욱 중요하다고 할 수 있다. 즉, 혁신적인 무인기의 초기 시장 진입을 위한 국내의 도입 환경과 경험, 시장 규모 모두가 불리한 상황인 것이다. 바로 이 점이 스마트 무인기의 기술개발 성과에도 불구하고 국내 시장의 불확실성과 수요(시장 규모) 제한으로 실용화에 대한 산업체의 적극적인 투자가 주저되는 근본 이유라고 진단할 수 있다. 하지만 이러한 환경적 열세를 극복하고 적절한 전략으로 실용화 진입(초도 양산)에 성공할 경우, 수직이착륙형 무인기는 아직도 미개척 분야라고 할 수 있으므로, 세계 시장으로의 확산 가능성과 잠재력은 매우 클 것으로 보인다. 우리의 기술로 만든 틸트로터 무인기가 세계 최초로 실용화되어 전 세계로 수출될 가능성은 의외로 우리 가까이 와있는지도 모른다. 바로 이러한 가능성과 함께 이에 따르는 불확실성과 위험을 적절히 평가하고, 틸트로터 무인기의 제품 성능과 목표가격 수준을 기획하는 것은 매우 광범위한 조사와 분석을 필요로 한다.

2013년 05월 18일 접수 ~ 2013년 06월 21일 심사완료
논문심사일 (2013.05.24, 1차), (2013.06.12, 2차)

* 국방기술품질원 기술기획본부 전력연구부

연락처, E-mail : leeky710@naver.com

서울시 중구 중림동 441 한국경제신문사 5층

본 연구는 그러한 연구의 예비 단계로서 국내의 민수용과 군수용 무인기 수요조사를 기반으로 실용화 가능성이 있는 2개의 제품군을 선별하고, 두 제품에 대해 각각 해외 경쟁기종과의 제품 경쟁성을 고려한 적정 요구능력에 대하여 국내 무인기 전문가들의 의견을 AHP(Analytical Hierarchy Process : 분석계층과정법) 기법으로 도출한 결과이다. 이 기법은 시장 자료가 제한적이고 불확실성이 높은 환경에서 무인항공기 요구능력의 효과도 평가를 객관화하기 위한 방법으로, 전문가 위원회(전문가 토론)를 통하여 효과구조도를 계층화하고, 요구능력의 계층구조 요소 간의 쌍대비교에 의한 판단을 통하여 가중치를 결정한다. 기본안과 대안, 그리고 해외 경쟁대상 기종에 대한 전문가의 독립적인 평가를 수행하는 접근 방법으로 분석하였다.

2. 요구능력 설정 방향

틸트로터 무인기의 전략적인 포지셔닝(Positioning) 특성을 살펴보면 Table 1과 같이 회전익기에 비해 유상하중(탑재하중)이 불리하지만, 고도성능과 고속 순항성능이 2배 이상 유리하며, 특히 고고도 순항성능은 3배 이상 우수하다.[1] 그러므로 틸트로터 무인기는 광대역 운용 위주의 시장에서 무인헬기에 비해 경쟁력을 가진다. 고정익기와 비교해 보면 체공시간이 불리하나, 틸트로터기의 최대 장점인 수직이착륙 기능을 보유하고 있다. 따라서 틸트로터 무인기는 체공시간의 열세를 극복하고, 수직이착륙 기능을 선호하는 시장에 대한 접근 전략이 필요하다.

Table 1. Strategy positioning of Tilt-rotor UAV

구분	단점	장점	시사점
회전익 대비	·유상하중 불리	·고도성능 2배 이상 유리 ·고속순항 성능 2배 이상 유리 ·고고도 순항 성능 3배 이상 유리	틸트로터기는 광대역 운용 위주의 시장에서 경쟁력을 가짐
고정익 대비	·체공시간 불리	·수직이착륙 기능 보유	체공시간의 열세에도 불구하고 수직 이착륙 기능을 선호하는 시장에 대한 전략 필요

틸트로터 무인기에 대한 민수용과 군수용 수요조사 결과는 단거리급(Short Range : 30~70km)과 중거리급(Medium Range : 70~200km) 수직이착륙 무인기 시장에 수렴하고 있다.[2] 그러므

로 틸트로터 무인기 요구능력 설정의 기본방향은 기 개발된 Full Scale 1톤급 모델(스마트무인기)과 60% Scale의 TR-6X 모델을 기반으로 해외 수요자의 요구성능, 민수 및 군수용 수요조사 결과를 반영하여 요구능력을 설정하는 것이 효과적인 것으로 판단된다. 그리고 비용과 개발기간의 절감을 위해 국내에서 군수용으로 개발되고 있는 사단 정찰용 무인기와 차기군단 정찰용 무인기 기술의 적극적인 활용이 필요하다.

기 개발된 모델의 요구능력 기본안과 수요조사 결과를 반영한 대안을 설정하고, 이를 전문가 위원회를 통하여 객관적으로 평가하여, 해외 경쟁대상 무인기와 비교 평가함으로써 설정된 요구능력의 효과도와 해외 경쟁기종에 대한 경쟁력 분석을 실시한다.

민수용 틸트로터 무인기의 수요조사 결과, 산림청, 소방방재청, 해양경찰청 등 수요조사 대상기관의 요구능력 내용은 체공시간 6시간 이상, 임무반경 200km 이상, 운용고도 3km 이상, 최고속도 250km/h 이상, 임무속도 150km/h 이상, 임무장비 중량 30kg 이상으로 요약될 수 있다.[3] 체공시간 및 임무반경을 제외한 대부분의 항목들은 TR-6X 틸트로터 무인기의 기본성능을 만족하며, 감시정찰 용도로 적용이 가능하므로 TR-6X급 틸트로터 무인기 요구능력의 주요인자는 체공시간과 임무반경이 된다.

Table 2. Specification of Tilt-rotor UAV

구분	TR-6X	Smart UAV
전장	3.0 m	4.96m
전폭	4.5m	4.0m
이륙 중량	170kg	995kg
유상하중	30kg	90kg
운용고도	4.5km	5km
체공시간	5.5hr	5hr
운용반경	60km	200km
최고속도	250km/h	500km/h

군수용 틸트로터 무인기는 사단 정찰용 무인기, 차기군단 정찰용 무인기, 전방해역 작전용 무인기, 수직이착륙형 무인기(해병대사), 다목적 수직이착륙 무인기(헬기형)의 요구능력을 고려하였다. 사단급 무인기는 60% Scale의 TR-6X 모델의 성능과 유사하며, 군단급 무인기는 Full Scale 1톤급 모델에 해당된다.[4,5]

TR-6X 틸트로터 무인기가 사단급 정찰용 무인

기의 요구능력은 만족하나, 해군의 광역 감시정찰을 만족시키기 위해서는 임무반경의 확장이 필요하다. 군단급 감시정찰용 무인기에서는 임무반경은 만족하고 있으나, 체공시간과 유상하중(임무장비 중량)의 확장이 필요한 것으로 판단된다.

2.1. TR-6X(60% Scale)급 틸트로터 무인기

TR-6X급 틸트로터 무인기의 기본안은 현재의 성능을 가진 것으로 체공시간 5.5시간과 60km의 임무반경을 가진다. 대안 1은 체공시간 6시간과 임무반경을 100km로 확장하는 안이며, 대안 2는 체공시간 6시간 및 임무반경 200km의 성능을 가지는 것으로 설정한다. 그리고 해외 경쟁기종은 동급 수직이착륙 무인기 시장에서 가장 높은 시장 점유율을 보유한 오스트리아 슈벨사의 S-100 Camcopter로 선정하여 비교·분석한다.

- ① 기본안 : 체공시간 5.5시간, 임무반경 60km
- ② 대안 1 : 체공시간 6시간, 임무반경 100km 확장
- ③ 대안 2 : 체공시간 6시간, 임무반경 200km 확장
- ④ 해외 경쟁기종 : S-100 Camcopter(체공시간 6시간, 임무반경 200km)

현재의 틸트로터 무인기와 대안들의 효과도 평가는 전문가 위원회(전문가 토론)를 통하여 효과구조도를 설계하고, 이에 대한 가중치를 결정(전문가 설문)한다. 가중치 결정은 AHP 기법을 적용하며, 기본안과 대안 1, 대안 2, 해외 경쟁대상(S-100 Camcopter)에 대한 전문가의 독립적인 평가를 수행한다.

2.2. 스마트 무인기(Full Scale, 1톤급 이상)

스마트 무인기의 기본안은 현재의 성능을 가진 것으로 체공시간 5시간과 90kg의 임무장비 중량을 가진다. 대안 1은 체공시간 6시간과 150kg의 유상하중이며, 대안 2는 체공시간 6시간과 200kg의 유상하중이고, 대안 3은 체공시간 8시간과 유상하중 200kg의 성능을 가지는 것으로 설정한다. 그리고 해외 경쟁기종은 동급 수직이착륙 무인기 시장에서 가장 완성도가 높은 미국 Northrop Grumman사의 MQ-8B Fire Scout으로 선정한다.

- ① 기본안 : 체공시간 5시간, 유상하중 90kg
- ② 대안 1 : 체공시간 6시간, 유상하중 150kg

- ③ 대안 2 : 체공시간 6시간, 유상하중 200kg
- ④ 대안 3 : 체공시간 8시간, 유상하중 200kg
- ⑤ 해외 경쟁기종 : MQ-8B Fire Scout

평가 방법은 TR-6X급 틸트로터 무인기와 동일한 절차를 적용하며, 현재의 스마트 무인기(Full Scale)와 대안들의 효과도 평가는 전문가 위원회를 통하여 주요 평가항목을 선정하고, 평가항목에 대한 가중치를 결정한다. 가중치 결정은 AHP 기법을 적용하여, 기본안과 대안 1, 대안 2, 대안 3, 해외 경쟁대상(MQ-8B Fire Scout)에 대한 전문가의 독립적인 평가를 수행한다.

3. 요구능력 효과도 평가

틸트로터 무인기의 성능 기본안과 수요조사 결과를 반영하여 설정된 대안들, 그리고 해외 경쟁대상 무인기를 전문가 위원회를 통하여 객관적으로 평가하여 설정된 요구능력의 효과도와 해외 경쟁기종에 대한 경쟁력 분석을 실시하였다. 전문가 위원회는 무인기 기획, 연구, 개발 관련 전문가로 국방기술품질원, 한국항공우주연구원, 산업체(체계업체) 및 대학(KAIST, 충남대학교, 한서대학교)으로 총 7명으로 구성하여 객관적이고 공정한 평가를 실시하였다. 전문가 토론에 의해 Fig. 1과 같이 효과구조도를 설계하였고, AHP 기법을 통한 평가 요소별 가중치를 설정하였다. 본 평가에서는 계약 및 기타조건 항목은 계약 협상 시 변경 가능한 항목으로 제외하였고, 요구능력 방안 별 전문가에 의한 개별평가를 실시하였다.

3.1 분석 방법

3.1.1. 효과도 방법 및 기준

임무 효과도의 평가 대상은 틸트로터 무인기이며, 효과 분할 구조도의 설계는 국방무기체계의 기종결정 항목을 기반으로 전문가 위원회를 통한 효과도 항목을 결정 후 계층구조를 설정하였다. Fig. 1과 같이 MOE(Measure of Effectiveness) 수준(Level 1)은 성능과 운용 여건으로 나뉘며, MOP(Measure of Performance) 수준(Level 2)은 작전운용성능, 기술적·부수적 성능, 운용 효율성 및 종합군수지원로 분류된다. 작전운용성능은 비행체 성능(임무반경, 운용고도, 체공시간, 비행기능, 최대속도, 탑재중량), 임무장비(EO/IR(Electro Optical/Infrared, 전자광학장비), SAR(Synthetic Aperture Radar, 합성 개구면 레이더)) 성능, 지

상체 성능(데이터링크 보호, 임무통제/영상분석)으로 구성되며, 기술적·부수적 성능은 장비 이동성, 환경조건, 이착륙 성능, 운용온도이며, 종합군수지원은 정비지원, 보급지원, 교육훈련, 기술도서로 계층적 모델을 생성하였다.

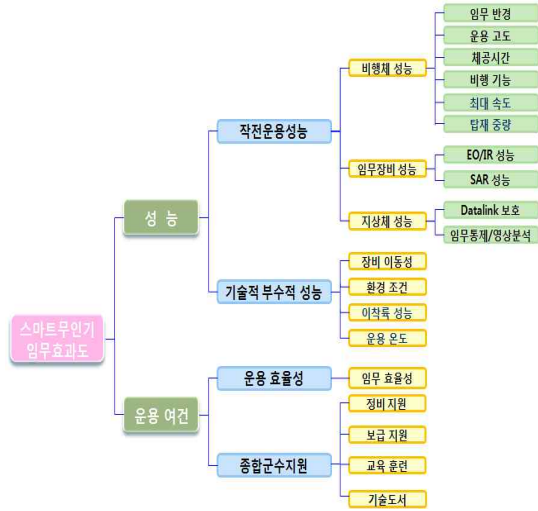


Fig. 1. Hierarchy of Tilt-rotor UAV Mission Effectiveness

효과도 구조의 가중치 설정은 효과도 구조 각 수준(레벨)별 항목에 대하여 평가위원의 설문 및 쌍대비교를 통해 도출된 가중치로 결정되며, 설문 결과의 일관성 비율(CR : Consistency Ratio)은 0.1 이하로 적용한다. 전체 효과도는 Gordon의 점수제 모형을 적용하여 산출한다.[7]

$$\text{전체 효과도} = \frac{X_1}{X_1^*} \left(K_2 \frac{X_2}{X_2^*} + K_3 \frac{X_3}{X_3^*} + \dots + K_N \frac{X_N}{X_N^*} \right)$$

여기서, N 은 분석에 사용되는 변수의 개수, X_N 은 N 번째 요인의 값, X_N^* 은 N 번째 요인의 기준값, K_i 는 각 요인들의 가중치($K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_i = 1$)를 나타낸다.

효과도 평가는 각 항목에 대하여 평가위원의 개별평가를 통해 획득된 점수(0 ~ 1.0)를 효과도 구조에 입력하여 산출한다. 전체 효과도 평가는 단계(레벨) 별 가중치를 설정 후, 요구능력 방안(기본안, 대안 및 해외 경쟁기종)에 대한 평가를 통하여 효과도 분석하였다.

효과도 분석은 가중치 도출과 대안별 효과도

분석이 가능한 전산 도구(Tool)인 Expert Choice 11을 사용하여 무인기의 요구능력 기본안, 대안 및 경쟁기종에 대한 효과도 분석을 실시하였다.

Table 3. Weights of MOE/MOP

Level	항 목	가중치	
		Local	Global
1	성능	0.844	0.844
2	작전운용성능	0.799	0.674
3	비행체 성능	0.681	0.459
4	임무반경	0.229	0.105
	운용고도	0.135	0.062
	체공시간	0.320	0.147
	비행기능	0.061	0.028
	최대속도	0.073	0.033
3	임무장비 성능	0.170	0.115
4	EO/IR 성능	1.000	0.115
3	지상체 성능	0.149	0.101
4	Datalink 생존성	0.201	0.020
	임무통제/영상분석	0.799	0.080
2	기술적·부수적 성능	0.201	0.170
3	장비이동성	0.803	0.014
	환경조건	0.124	0.021
	이착륙성능	0.601	0.102
1	운용여건	0.156	0.156
2	운용효율성	0.576	0.090
3	임무효율성	1.000	0.090
2	종합군수지원	0.424	0.066
3	정비지원	0.353	0.023
	보급지원	0.383	0.025
	교육훈련	0.184	0.012
3	기술도서	0.081	0.005

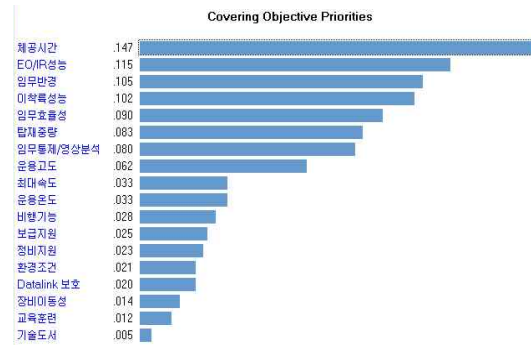


Fig. 2. Simulation result of priorities with respect to MOE/MOP

4. 분석 결과

해외 경쟁기종인 S-100 Camcopter 무인헬기 대비 틸트로터 무인기 TR-6X(기본안)와 대안 1, 2의 효과도 평가결과는 Table 4에서 보는 바와 같이 0.246 : 0.242 : 0.253 : 0.259(1 : 0.984 : 1.028 : 1.053)로 평가되었다. 이것은 TR-6X 틸트로터 무인기가 Table 5에서 보는 것처럼 고도 성능 및 고속 성능이 우수함에도 불구하고, S-100 무인헬기에 비해 적은 체공시간과 임무반경으로 인해 경쟁력이 취약한 것으로 분석되었다. 그러나 대안 1과 같이 체공시간(6시간)과 임무반경(100km)을 확장하면 경쟁력을 회복하는 것으로 나타나며, 임무반경을 200km로 확장하면 더욱 우수한 것으로 분석된다.

Table 4. Effectiveness evaluation for TR-6X class

구 분	TR-6X	대안 1	대안 2	S-100
효과 지수	0.242 (0.984)	0.253 (1.028)	0.259 (1.053)	0.246 (1)

Table 5. Performances of TR-6X and S-100

구 분	체공시간	임무반경	최대속도	임무고도
TR-6X	5.5시간	60km	250km/h	4.5km
S-100 Camcopter	6시간	200km	185km/h	3.6km

TR-6X급 틸트로터 무인기의 비용 대 효과 분석방법은 비용 추정과 효과도 분석을 실시하고, 비용 대 효과의 비율에 의한 분석을 수행하였다. 비용 대 효과 분석절차는 1단계에서 요구능력 설정 방안 별 무인기 체계의 획득 비용을 동일한 조건(2012년 6~8월의 평균 환율 적용 : 1,421.11 원/€)에서 산출한다. 2단계로 효과도 구조 및 가중치를 설정 후, 대안별 효과도를 평가하고, 마지막 3단계에서 비용 대 효과의 비율에 의한 분석을 실시한다.[6]

TR-6X급 틸트로터 무인기 대안 2의 구매 비용은 한국항공우주연구원에서 해군용으로 제시한 167.27억원(2011년 기준)에 물가상승률 3% 적용하였다. 체계구성은 비행체 4대(임무장비 MX-10 4대 포함) 지상통제 장비 1대, 지원장비 1세트로 1,000비행시간용 수리부속 포함하여 제품보증 2년 조건이다. TR-6X 해군용의 임무반경이 180km

이었으나, 200km와 같은 비용으로 가정하였으며, S-100 무인헬기의 비용은 함 설치비(28.88억원)가 포함되어 있음을 유의해야 한다.

2013년 기준 S-100의 획득비(구매비)는 190.6억원이며, TR-6X급 틸트로터 무인기 대안 2의 구매 비용은 172.29억원으로 비용지수는 1 : 0.904가 된다. 해외 경쟁기종 S-100 Camcopter 대비 TR-6X급 틸트로터 무인기를 체공시간(6시간)과 임무반경(100km)을 확장한 대안 2의 비용 대 효과 분석은 Table 5와 같이 1 : 1.165로 분석되었다.

Ku 대역 주링크와 UHF 보조링크 장비의 크기와 중량의 변화는 최소한으로 하면서 탑재 안테나의 이득을 높여 임무반경을 확대하는 방안을 적용하고, 해외 선진사와 같이 지상추적 안테나의 크기와 중량을 옵션(Option)화하여 임무반경에 대한 제품 라인업(예 : 100km용/200km용 지상추적 안테나) 방안이 추천된다.

Table 6. Cost-effectiveness for TR-6X class

구 분	대안 2	S-100
비용 대 효과 분석	1.165	1
효과 지수	0.259 (1.053)	0.246 (1)
비용 지수	0.904 (172.29억원)	1 (190.6억원)

해외 경쟁기종인 MQ-8B Fire Scout 무인헬기 대비 Full Scale 틸트로터 무인기의 기본안과 대안 1, 대안 2, 대안 3의 효과도 평가결과는 Table 7과 같이 0.199 : 0.192 : 0.201 : 0.203 : 0.204 (1 : 0.965 : 1.01 : 1.02 : 1.025)로 평가되었다.

Table 7. Effectiveness evaluation for Full Scale class

구분	Full Scale	대안 1	대안 2	대안 3	MQ-8B
효과 지수	0.192 (0.965)	0.201 (1.01)	0.203 (1.02)	0.204 (1.025)	0.199 (1)

Table 8과 같이 Full Scale 틸트로터 무인기(기본안)도 TR-6X급 틸트로터 무인기와 마찬가지로 고고도 성능 및 고속 성능의 우수함에도 불구하고, Fire Scout 무인헬기에 비해 적은 체공시간과 임무장비 중량으로 인해 경쟁력이 더욱 취약(1 : 0.965)한 것으로 분석되었다. 그러므로 틸트로터 무인기의 경쟁력 확보를 위해서는 대안 1, 2와

같이 체공시간과 임무장비 중량의 확장이 필요한 것으로 판단된다.

한국항공우주연구원의 Sizing 검토 내부 보고서[8]를 참조하면 대안 3과 같이 체공시간과 유상하중의 과도한 요구는 많은 비용과 체계개발 기간의 상승을 요구하게 된다. 틸트로터 무인기는 회전익기에 비해 고속 성능 및 고고도 성능이 우수하므로, 고도도 순항 성능과 생존성을 앞세워 광대역 운용 위주의 시장에 접근하는 전략이 바람직한 것으로 판단된다.

Table 8. Performances of Smart UAV and FireScout

구 분	체공시간	임무반경	최대속도	임무고도
스마트무인기	5시간	200km	500km/h	5km
MQ-8B FireScout	7.2시간*	200km	189km/h (@15,000ft)	3.6km

* 최대이륙중량 1,401kg(임무장비 중량 127kg), 해수면 고도, 15℃ 조건

4. 결 론

스마트무인기 사업은 세계에서 두 번째로 틸트로터 무인기 기술개발에 성공하였다. 앞으로는 '세계 최초의 틸트로터 무인기 실용화'라는 과제가 남아 있으며, 이를 위해서는 다양한 국내·외 수요를 만족하는 틸트로터 무인기의 최적 요구능력을 설정해야 한다.

60% Scale급과 Full Scale급의 두 가지 틸트로터 무인기의 제품 성능을 측정하고, 해외 경쟁대상기종과의 경쟁력을 분석하기 위한 전문가 토론을 통한 효과구조도를 설계하고, AHP 기법을 활용하여 이에 대한 가중치를 설정하였다. 그리고 적용 가능한 대안들을 수립하여 전문가에 의한 독립적인 평가를 수행하여 설정된 요구능력에 대한 효과도를 평가하였으며, 최종적으로 비용대 효과 분석으로 대안에 대한 경쟁력을 분석함으로써 틸트로터 무인기의 요구능력 대안을 제시하였다.

TR-6X급 틸트로터 무인기를 체공시간(6시간)과 임무반경(200km)을 확장한 대안의 효과지수는 해외 경쟁기종(S-100) 대비 1 : 1.053이며, 비용대 효과분석 결과는 1 : 1.165으로 우수한 경쟁력을 가지며, Full Scale 급은 체공시간을 6시간 이

상, 유상하중을 150kg 이상으로 확장할 경우의 효과지수는 해외 경쟁기종(Fire Scout) 대비 1 : 1.01 이상으로 경쟁력을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 안오성, "VTUAV 개발 동향과 틸트로터 기술의 미래에 대해 고찰", 한국항공우주학회 2009년도 추계학술발표대회 논문집, 2009.11. pp.492~499.
- [2] "RPAS, The Global Perspective 2012/2013". The International UAS Community, 2012, pp.173.
- [3] 김승주, 장두현, 이기영, "틸트로터형 무인기의 군수 및 민수용 수요 및 요구성능 조사", 21세기군사문제연구소, 2013.2, pp.74~201.
- [4] 이기영 외, "수직이착륙형 UAV 선행연구", DTaQ- 10-2662-R(C), 국방기술품질원, 2010.12, pp.37~41.
- [5] 이기영, 최재원, "수직이착륙 무인항공기의 개발현황 및 발전방향", DTaQ-11-2835-R, 국방기술품질원, 2011.7, pp.40~44.
- [6] 이기영 외, "함정 탑재용 UAV 소요결정 방안 분석", DTaQ-12-3363-P(C), 국방기술품질원, 2012.11, pp.65~88.
- [7] 고흥석, 전상배 외, "국방기술수준조사의 이해와 실무", 형설출판사, 2011.1.5. 2010, pp.53~57.
- [8] 안오성, "Sizing Study of Smart UAV", 한국항공우주연구원, 2010.9.