

미래 항공모빌리티 설계

국민대학교 미래모빌리티학과

차 례

제 1 장	도심항공모빌리티 개요
1.1	도심항공모빌리티 개념
1.2	도심항공모빌리티 등장배경
1.3	UAM 관련 용어 정의 및 해설
제 2 장	한국형 도심항공모빌리티 현황
2.1	K-UAM 개발 로드맵
2.2	K-UAM 핵심기술 개발
2.3	K-UAM 운용개념
제 3 장	도심항공모빌리티 기체 설계
3.1	UAM 기체(eVTOL) 설계개요
3.2	UAM 기체(eVTOL) 개념설계
3.3	UAM 기체(eVTOL) 개념스케치
3.4	eVTOL 형상디지털 모델링
3.5	eVTOL중량 추정
제 4 장	eVTOL설계 사례
4.1	KAAM 팀
4.2	COMMA 팀
4.3	KOOKSA 팀
4.4	ASSA 팀
4.5	UAH 팀
4.6	METABUS 팀
4.7	MECATECH 팀
4.8	CIM 팀
4.9	D-long 팀
4.10	HY Systems 팀
4.11	Aerial Fold 팀
4.12	GUAM 팀

제 1 장

도심항공모빌리티 개요

1.1 도심항공 모빌리티 개념

○ UAM 정의

이동성(mobility)이란 사람 또는 사물의 이동을 위한 일체의 보조 수단을 총칭한다. 즉 이동수단 자체인 운송체 뿐 아니라 이를 포함한 운항 서비스를 위한 각 중 인프라 및 제도 등을 총체적으로 일컫는 말이다. 이러한 모빌리티가 도심지역에서 항공운송서비스를 제공하기 위해서는 이동 효율성 극대화를 위해 좁은 공간에서 수직이착륙이 가능하고, 전기동력 활용으로 탄소가스 배출 없이 비행할 수 있으며, 분산전기추진 기술을 적용하여 저소음 및 비행안전도를 높인 친환경 미래 항공교통수단으로서의 요건을 충족해야 한다. 이러한 요건충족을 전제로 미국 항공우주국(NASA)은 도심항공모빌리티(UAM, Urban Air Mobility)를 『도심 내에서 또는 다른 도심지역 사이의 승객이나 화물을 안전하고 효율적으로 운송하는 무인항공교통체계』¹⁾로 정의를 하였다.

우리나라의 도심항공교통체계(K-UAM)로드맵에서는 UAM이란 “도심지역 간의 운송 시간을 대폭 단축하고 이동 효율성을 극대화하기 위해 수직으로 이·착륙하여 저공으로 주어진 경로에 따라 승객 및 화물운송 서비스를 제공하는 도심항공교통”을 의미하며 기체 및 운항 서비스”를 총칭한다.²⁾라고 정의한다. 따라서 UAM의 기체는 무인항공기(드론)에 해당되며 국내 항공안전법과 드론법의 법적 근거를 갖는다.

- UAM의 기체는 조종자가 탑승하지 아니한 상태로 항행할 수 있는 “원격·자동·자율 등 국토교통부령으로 정하는 방식에 따라 항행하는 비행체”로서 다음과 같은 요건을 충족해야 한다.³⁾⁴⁾

- ① 동력을 일으키는 기계장치가 1개 이상일 것
- ② 지상에서 비행체의 항행을 통제할 수 있을 것
- ③ 외부로부터 원격 조종할 수 있는 비행체
- ④ 외부의 원격 조종 없이 사전에 지정된 경로로 자동 항행이 가능한 비행체
- ⑤ 항행 중에 발생하는 비행환경 변화 등을 인식·판단하여 자율적으로 비행 속도 및 경로 등을 변경할 수 있는 비행체

1) a safe and efficient system for air passenger and cargo transportation within an urban area, inclusive of small package delivery and other urban Unmanned Aerial Systems (UAS) services.

2) 한국형 도심항공교통 로드맵, 정부 관계부처 합동, 2020.6.3

3) 드론 활용의 촉진 및 기반조성에 관한 법률 제 2 조 1 항

4) 드론 활용의 촉진 및 기반조성에 관한 법률 시행규칙 [시행 2020. 5. 1.]

○ UAM에 승객 탑승에 대한 논의

승객이나 화물 운송하는 UAM이 등장하면서 무인항공기(드론)에 사람이 탑승할 수 있느냐에 대한 논란이 있었으나 세계 민간항공기구(ICAO)는 “무인항공기(드론)”를 “조종사의 간섭이 없는 비행하는 무인항공기로 정의하였다.(An unmanned aircraft that does not allow pilot intervention in the management of the flight). 즉, 조종사 없이(pilotless)비행하는 무인항공기이기 때문에 승객은 탑승할 수 있다는 해석이다.

미국의 연방항공국(FAA)도 무인항공기(드론)를 사람이 항공기에 직접 탑승하여 직접 간섭하지 않고 운용되는 항공기(Unmanned aircraft means an aircraft operated without the possibility of direct human intervention from within or on the aircraft.)로 규정하고 있다. 따라서 무인항공기(드론)는 조종사가 탑승하지 않은 채 무선전파의 유도에 의해 비행 및 조종이 가능한 항공기로 국제적 공식명칭은 UAS(Unmanned Aircraft Systems)⁵⁾, 또는 RPAS(Remotely Pilot Aircraft System)⁶⁾라고 하며 승객은 탑승 가능한 것으로 해석되고 있다.

한편 우리나라는 2019년 4월 제정된 “드론산업 육성 및 지원에 관한 법률”(이하 드론법)은 드론에 관한 법률적 지위를 보다 명확하게 제시하고 있다. 즉, 드론법 제 2 조 제 1항 제 1호에서 드론의 정의와 기준을 다음과 같다.

- 드론은 “조종자가 탑승하지 아니한 상태로 항행할 수 있는 비행체로서 국토교통부령으로 정하는 기준”이라고 하며, 승객을 구체적으로 언급하고 있지 않아 조종사 없이 원격으로 운항하면서 승객으로서의 사람 탑승은 가능한 것으로 해석되고 있다.

○ UAM 교통 서비스

UAM의 교통서비스형태는 기존의 버스, 택시, 철도 PM(Personal Mobility)⁷⁾의 육상교통수단과 해상운송수단, 그리고 공중운송수단 모두를 아울러 연계한 서비스(Seamless service)⁸⁾를 제공한다. 특히 UAM은 육·해상을 통합하는 단일서비스로서의 이동성(MaaS, Mobility as a Service)⁹⁾을 하늘 길까지 확장하는 넓은 개념을 내포하고 있다. 미래 모빌리티 서비스 산업인 MaaS 체계는 승객을 운송하는 교통 서비스(TaaS, Transportation as a Service)체계와 화물 운송서비스(LaaS)체계로 대중교통을 근간으로 발전되어 가고 있다. 최근 미래항공모빌리티 산업인 UAM산업이 부상하면서 서비스 공간을 도심 내(Intracity), 도시 간(Intercity), 공항과 도심간(Airport Shuttle), 지방의 운항서비스(Regional Air Mobility), 터미널형 에어셔틀, 호출형 에어택시 등으로 교통서비스를 제공하게 될 것

5) 국제표준화 기구 무인항공기 분과(ISO TC20 SC16)

6) Annex 7 to the Convention on International Civil Aviation 6th edition

7) 전동 킥보드와 같은 개인용 이동수단

8) 버스·철도·자동차 등을 단절 없이 환승·연계하는 서비스

9) 자가 교통수단보다 사업자가 제공하는 교통서비스를 이용하는 형태

이다. 뿐 만 아니라 보다 완성도를 높여 집 현관에서부터 목적지 까지 전 구간의 이동성을 확보하려는 이른바 최초-최종 마일(First Mile & Last Mile)이동수단이라 부르는 개인 이동수단(PM, Personal Mobility)까지 교통서비스 영역을 보다 확장해 나가고 있는 추세이다.

- 미래 모빌리티 서비스 산업인 MaaS 체계는 승객을 운송하는 교통 서비스(TaaS, Transportation as a Service)체계와 화물 운송서비스(LaaS)체계로 대중교통을 근간으로 발전되어 가고 있음.
- UAM서비스 공간은 도심 내(Intracity), 도시 간(Intercity), 공항과 도심간(Airport Shuttle), 지방의 운항서비스(Regional Air Mobility), 터미널형 에어셔틀, 호출형 에어택시 등으로 교통서비스를 제공하게 될 것임.
- 미래항공모빌리티(AAM, Advanced Air Mobility)서비스영역은 도심교통체계(UAM)는 물론 지역 교통(Regional Air Mobility)까지 UAM과 RAM을 포함하는 광의의 항공교통체계임.
- UAM(Urban Air Mobility) : Intracity, Airport Air Shuttle
- RAM(Regional Air Mobility) : Intercity, Port to Port, City to City
- 미래항공모빌리티의 미래형항공기체(AAV, Advanced Air Vehicle)는 자율비행과 전기추진(eVTOL)으로 저고도비행이 가능한 미래지향적인비행체
- 셔틀승객운송, 항공택시, 화물운송, 구급/소방 등의 서비스를 제공
- 항공모빌리티를 중심으로 미래 모빌리티 산업 발전의 키워드는 C·A·S·E¹⁰⁾ 이다. 이는 연결성(Connected), 자율성(Autonomous), 공유서비스(Shares & Services), 그리고 전기화 및 환경(Electrification & Environment)임.
- C·A·E는 하드웨어 상의 변화다. 기존 내연기관을 장착한 항공기의 경우왕복 엔진과 연료계통 대신 전기동력기관인 모터, 배터리, 인버터 등으로 엔진룸이 전기 모터 룸으로 바뀔 것이며, 인지-판단-제어의 자율 비행을기본으로 조종자의 조종석 공간이 없어지고, 초저지연성의 5G통신을 바탕으로 모든 사물과 연결되는 V2X (Vehicle to Everything)이 가능해져 항공기 안에서 모든 것과의 연결이 가능해 것임.
- 이러한 하드웨어 C·A·E의 변화는 공유서비스를 제공하게 될 S는 MaaS¹¹⁾를 완성하게 되어 바로 공유 형태의 모빌리티 플랫폼 형태를 완성하게 될 것으로 기대한다. MaaS가 추구하는 핵심 가치는 “Multimodal mobility”로서 사용자의 선호도와 효율성을 극대화할 수 있도록 다양한 이동수단들을 연결한다는 측면에서 방대한 양의 데이터베이스와 인공지능을 활용해서 다양한 정보를 제공함으로써 사용자의 불안감이나 안전저해요소들을 해소할 수 있을 것으로 예상함.

10) CASE(Connected, Autonomous, Shares & Services, Electrification & Environment)

11) Mobility as a Service

○ UAM산업 생태계

UAM 산업생태계는 기존의 항공업계와 자동차업계와는 달리 새로운 산업생태계가 형성되고 있다. 기체(부품)제작, 정비유지(MRO, Maintenance Repair Overhaul), 운항, 관제, 인프라(이착륙장 등), 서비스, 보험 등에서 배터리 전자제어 및 빅데이터 인공지능 등 다양한 첨단기술이 집약된 고부가가치의 산업 생태계가 구축될 것이다. 기체제작은 기존의 항공기 형태에서 벗어난 전동 추력의 전기분산형 수직이착륙 기체(eVTOL, electric Vertical Take-Off & Landing)개발을 위한 체계 종합, 구성품(모터/배터리 등)의 설계 및 제작 기술들이 요구되고, 안전운항을 위한 인증기술(형식/제작/감항) 자격관리, 항공교통관제, 공역 관리 등이 필요하며, 서비스 공급자는 이착륙 인프라 공급/관리, 전기 충전시설 등을 구축하게 될 것이다.

산업 주체	관련분야
기체 개발자	설계/개발, 제작, 항공소재, 동력원, 통신 부품제작사 등
인프라 구축자	이착륙장 등의 건축설계, 건설시공, 임대 운영사업자, 전력 공급자 등
서비스 공급자	운송사업, 정비업, 금융/보험, 교육훈련, 운항 지원서비스, 통신 등

○ UAM의 특성

항공모빌리티를 중심으로 미래 모빌리티 산업 발전의 키워드는 C·A·S·E¹²⁾이다. 이는 연결성(Connected), 자율성(Autonomous), 공유 서비스(Shares & Services), 그리고 전기화 및 환경(Electrification & Environment)이다. 여기에서 C·A·E는 하드웨어 상의 변화다. 기존 내연기관을 장착한 항공기의 경우 왕복 엔진과 연료계통 대신 전기동력기관인 모터, 배터리, 인버터 등으로 엔진룸이 전기 모터 룸으로 바뀔 것이며, 인지-판단-제어의 자율 비행을 기본으로 조종자의 조종석 공간이 없어지고, 초저지연성의 5G통신을 바탕으로 모든 사물과 연결되는 V2X(Vehicle to Everything)이 가능해져 항공기 안에서 모든 것과의 연결이 가능해진다. 바로 공유 형태의 모빌리티 플랫폼이 될 것이다. 결국 이러한 하드웨어 C·A·E의 변화는 공유서비스를 제공하게 될 S는 MaaS를 완성하게 되어 바로 공유 형태의 모빌리티 플랫폼 형태를 완성하게 될 것으로 기대한다. MaaS가 추구하는 핵심 가치는 “Multimodal mobility”로서 사용자의 선호도와 효율성을 극대화할 수 있도록 다양한 이동수단들을 연결한다는 측면에서 방대한 양의 데이터베이스와 인공지능을 활용해서 다양한 정보를 제공함으로써 사용자의 불안감이나 안전저해 요소들을 해소할 수 있을 것으로 본다.

12) CASE(Connected, Autonomous, Shares & Services, Electrification & Environment)

1.2 도심항공 모빌리티 등장배경

○ 글로벌 메가 트렌드와 모빌리티산업 발전

태초에 인류는 생존을 위해 공간과 시간을 단축시키는 이동수단이 필요하였다. 인간은 자체적인 이동능력은 있지만 편익이나 이동속도나 거리의 증대를 위해 다른 이동수단이 필요했었고, 더구나 화물운송을 위해서는 더 큰 동력이 필요한 운송수단이 요구되었다. 인류역사에 있어서 이동수단의 효시는 인간의 힘을 동력으로 이동하는 신발이 모빌리티라 할 수 있다. 육상에서는 인간의 힘보다 소나 말 같은 동물의 힘을 동력으로 하는 마차를, 강이나 바다에서는 물의 흐름 및 풍력 등을 이용한 뗏목이나 범선 등으로 시작하였다. 과학기술의 발달로 증기기관이 발명되어 증기기관차가 등장하였고, 이후 내연기관의 동력을 채택한 이동수단인 자동차, 철도, 항공기, 선박 등이 모빌리티의 주류를 이루게 되었다.

그 동안 모빌리티의 발달의 핵심은 시간과 공간을 단축시키는 것이다. 즉 얼마나 빨리(속도), 멀리(거리)가는 것이 발전의 핵심 축이었다. 시간과 공간이 조금씩 단축될 때 마다 에너지 비용은 증가했지만 자전거, 오토바이, 트럭, 버스, 지하철, 전철 등 지상에서의 이동수단은 종류는 매우 다양해 졌다. 특히, 항공모빌리티의 경우 1903년 라이트형제가 비행기를 발명한 이후 눈부신 발전을 거듭하여 전 세계를 거의 1일의 생활권으로 단축 시켰다. 그 동안 항공기는 높고, 빠르게, 먼 거리를 많은 승객이나 화물을 안전하게 이동시키는 운송수단으로써 최고의 서비스를 제공하고 있다.

21세기 들어 석유자원의 에너지원을 이용한 내연기관 대신에 전기에너지를 이용한 모터를 동력원으로 모빌리티의 변화와 함께 드론이라 부르는 무인항공기의 출현으로 항공기가 비로소 우리 일상 가까이에서 활용되기에 이르렀다.

전 세계 도시 면적은 세계육지의 3%에 불과하지만 현재 세계인구 절반이 도시에 집중되어 있고, 이러한 인구집중 현상은 점점 가속화되어 2050년이면 전 세계인구의 70%가 도시에 거주하게 될 것이다.¹³⁾ 도시 인구집중 현상은 환경을 “뜨겁고(hot)”, “평평하고(Flat)”, “붐비게(Crowded)”하는 문제점을 야기하고 있다. 세계 온실가스의 70%가 도원에서 배출하여 환경을 파괴하고, 주차장을 방불케 하는 교통체증 등의 문제들을 해결하기 위한 유일한 수단이 “스마트 모빌리티”산업이다. “스마트 모빌리티”는 그린시티를 위한 친환경 동력원으로 전기에너지를 사용하고, 지상 교통혼잡을 해소하기 위해서는 값비싼 지상보다 3차원 공간을 활용하고, 소유형태 또한 개인이 소유하는 사유에서 공유(sharing)형태로 변하고 있으며, 기술적으로는 안전성과 편리성이 향상된 자율주행 모빌리티다.

13) 움직이는 미래 "Smart Mobility" 27쪽, 서울디자인 연구소 지음, 2018.

이와 때를 같이 하여 글로벌 메가트렌드의 변화 또한 간과할 수 없다. 글로벌 메가 트렌드란 “세상의 모양을 만들고 변화시키는 거시 경제적이고 지형학적 전략에 기반 한 어떤 힘이자 동력”에 대해 PwC¹⁴⁾는 다음과 같은 5개 항목에 대한 글로벌 메가트렌드를 제시하고 있다.

- ① 도시화의 가속(Accelerating urbanization)
- ② 기후변화와 자원부족(Climate change and resource scarcity)
- ③ 인구구조의 변화(Demographic shifts)
- ④ 글로벌 경제력 이동(Shift in global economic power)
- ⑤ 기술의 도약 (Rise of technology)

이상과 같은 글로벌 메가트렌드 사이에는 상호역학관계가 있지만 “도시화의 가속”은 대도시 인구집중으로 인한 교통 혼잡문제를 야기하고 이에 대응하기 위한 새로운 모빌리티 형태를 요구하게 될 뿐 아니라 “기후변화 및 자원 부족” 문제에 대응하기 위한 “기술의 도약” 또한 새롭고 혁신적인 기술개발은 AI(Artificial Intelligence) 및 ICBM(IoT, Cloud, Big-data, Mobile)을 기반으로 무인 및 자율화 시스템(Unmanned and autonomous system), 전동화(Electrification), 그리고 초연결화 시스템(Hyper-connectivity system)의 기술적 발전은 다양한 분야에서 활용도가 높은 드론(Drone)과 같은 항공모빌리티를 갈망하게 되었다. 드론이란 수벌(male bee)을 일컫는 말이나 무인항공기(Unmanned Aircraft)를 일반적으로 부르는 애칭이다. 하지만 드론이 항공 모빌리티로서 갖는 함의는 미래모빌리티 산업의 지각변동을 가져오기에 충분하다. 즉 드론(D·R·O·N·E)은 역동적(Dynamic)인 로봇(Robotics)기능을 갖는 비행체(Objective)들이 상호 네트워크(Network)를 형성하면서 열정적(Energetic)폭발성과 파급력을 갖고 각 산업 분야에 확산되기 시작하면서 마침내 항공모빌리티에 응답하기 시작하고 있다. 즉, 드론택시, 항공택시(Air taxi), 나는 자동차(Flying car), 개인용 항공기(PAV, Personal Air Vehicle) 등의 이름으로 개발에 활기를 띠면서 기존의 항공기업이나 자동차회사들이 새로운 항공모빌리티 개발에 뛰어들게 되었다.

그 동안 항공 모빌리티의 특징은 먼 거리를 높고 빠르게 운송하는 교통서비스를 제공하는 것이 특징이었지만 최근에는 도심 내(Intracity) 또는 도시 간(Intercity), 공항 간(Port to Port)을 연결해 주고 다른 교통수단과 연계하여 우리 일상 가까이에서 교통 편의를 제공해 주길 원하고 있다. 이러한 시대적 새로운 요구에 부응하는 교통체계가 바로 도심형 항공교통체계(UAM, Urban Air Mobility)다.

14) PwC(Price Waterhouse Coopers) : <https://www.pwcconsulting.co.kr/>



〈글로벌 메가트렌드와 UAM 산업의 등장〉

당초 에어 택시(Air taxi)용으로 헬리콥터를 활용하면 수직이착륙 기능이 있어 매우 적합할 것으로 생각하였으나 소음문제, 탄소 배출문제, 헬기의 치명적인 사고율, 그리고 높은 운임 등으로 대중 수용성에 한계가 있어 더 이상 UAM 비행체로서 적합하지 않은 것으로 판단하였다.

UAM은 도심 내외 활용이 가능한 친환경 전기동력수직이착륙기(eVTOL)등을 이용하여 승객이나 화물 등을 탑재하고 도심 내외에서 저고도로 운항하는 소형비행체와 운항서비스를 총칭하는 체계라 한다. 또한 UAM은 도심 안팎에서 승객 및 화물 운송을 비롯하여 공공목적(긴급의료 등)과 관광사업 등을 위해 운용될 수 있으며, 타 교통수단과 연계되어 운용되는 새로운 항공교통체계다.

이러한 교통 서비스를 제공하기 위한 새로운 항공 모빌리티는 활주로 없이 수직이착륙이 가능하고, 탄소배출이 없으며, 소음이 낮고, 도심 상공의 하늘 길에서 조종사가 탑승하지 않고도 안전한 항을 보장할 수 있는 자율비행 능력과 도시에 위치한 버티포트(vertiport)에서 이착륙이 가능한 전기추진수직이착륙기(eVTOL)가 토탈 솔루션을 제공할 수 있는 해결사 나서게 된 것이다.

• 따라서 UAM은 도심 내외 활용이 가능한 친환경 전기분산 추진 동력수직이착륙기(eVTOL)등을 이용하여 승객이나 화물 등을 탑재하고 도심 내외에서 저고도로 운항하는 소형비행체와 운항서비스를 총칭하는 체계라 한다. 또한 UAM은 도심 안팎에서 승객 및 화물 운송을 비롯하여 공공목적(긴급의료 등)과 관광사업 등을 위해 운용될 수 있으며, 타 교통수단과 연계되어 운용되는 새로운 미래 도심항공교통체계로 추진되고 있다.

○ 첨단항공모빌리티

항공 모빌리티가 우리 일상 가까이에서 교통 편의를 제공하기 위해서는 소음이나 환경문제를 최소화 하고 적정한 요금은 물론 타 교통수단과 연계하여 서비스를 제공하기 위한 연구가 미 항공 우주국(NASA)을 중심으로 첨단 항공 모빌리티(Advanced Air Mobility)프로젝트가 오래 전부터 다

양하게 연구되어 오고 있었다.

당초 도심 항공 모빌리티를 위한 에어 택시(Air Taxi)용으로 헬리콥터를 운영하기 위해 시범운영 사업을 시도해 보았다. 하지만 헬리콥터의 장점인 수직이착륙 및 단거리 운행에 매우 적합할 수 있으나 소음문제, 탄소 배출문제, 헬기의 치명적인 사고율 문제 뿐 만 아니라 높은 운임 등으로 대중 수용성에 한계가 있어 더 이상 UAM 비행체로서 적합하지 않은 것으로 판단하였다.

다음은 UAM 비행체로서 플라잉 카와 개인용 항공기 의 활용에 대한 선행 연구 프로젝트에 따르면 기존의 대형공항의 장거리 교통구간은 중대형 여객기가 담당하고, 그 보다 짧은 구간인 도심 구간이나 지역 간(RAM, Regional Air Mobility)은 자기용 자동차 기능과 자가용 소형 항공기 기능을 겸한 플라잉 카(Flying car)가 수요 응답형 모빌리티(Mobility on Demand)로 매우 전망이 있을 것으로 판단하였다. 초기 플라잉카 모델들은 도로주행과 공중비행 모두 가능하지만, 내연기관 엔진을 사용해 공해를 유발하고, 소음이 크며, 대부분의 모델이 이륙하기 위해서는 활주로나 별도의 공간이 필요하다는 단점을 갖고 있었다. 즉, 기술적인 가치는 인정받았으나 도시의 환경오염이나 교통체증, 한정된 공간과 같은 문제들을 해결하기에는 많은 한계가 있었다.



< Flying car는 도로주행과 비행을 겸한 차로 도심 내에서 운행하기는 한계>

이후 드론기술의 장점과 기존 항공기술의 결합이 자동차와 항공기를 결합한 전통적인 플라잉카의 단점을 극복할 수 있을 것으로 판단하고 드론형 공중 이동수단으로 배터리와 모터를 동력한 개인용 항공기(PAV, Personal Air Vehicle)사업이 추진되었다. 전통적인 플라잉카의 단점을 극복하고, 도시문제를 해결할 수 있는 새로운 대안으로 떠오르게 된 것이다.

그 동안 활발하게 개발이 진행되고 있는 드론형 공중 이동수단은 기술적으로 배터리와 모터를 추진동력으로 하기 때문에 친환경적이고, 소음이 적을 뿐 아니라 건물 옥상 등 도심 내에서의 수직이착륙이 가능하였다. 즉, 드론형은 활주로나 필요하지 않고 지점 간(Point-to-Point) 운송이 가능하기 때문에 초기 플라잉카 모델보다 UAM 생태계의 기체로서 적합한 운송수단으로 인식하였다. 특히 장애물이 많지 않은 공중에서만 이동하기 때문에 도로주행을 겸하는 초기 플라잉카 모델들에 비해 원격조종이나 자율비행의 적용이 수월하였다. 드론형 공중 이동수단의 경우 광의의

개념에서 플라잉카의 범주로 볼 수 있지만, 도로주행보다는 공중에서의 도시 내 이동에 초점이 맞춰져 있어 PAV라는 표현이 더 빈번하게 사용하게 되었다.

미국과 유럽을 중심으로 PAV개발을 위한 프로젝트들을 정리하면 다음과 같다.

▷ ~ 2005년 이전 : PAV 태동기

- (미) NASA와 DARPA를 중심으로 PAV 연구
- 주요 연구 과제
 - ① AGATE(Advanced General Aviation Transportation, 1994~2001)
 - ② GAP(General Aviation Propulsion, 1995~2000)
 - ③ SATS(Small Aviation Transportation System, 2001~2005)
 - ④ PAVA(PAV Exploration, 2001~2004)
 - ⑤ DARTS(Dual Air/Road Transportation)

• 연구 결과물



Rural/Regional Next Generation GA (5 Pax, 300mph, 500 mile)



Dual-mode VPI Pegasus Concept



Dual-mode NASA Langley Concept



Intra-Urban Gridlock Commuter Concept (2 Pax, 150 mph, 400 mile, ESTOL 500' TO)



Georgia Tech/NASA Hanson Autogyro Ultra Mobility Mission Low-Speed VTOL Concept



Intra-Urban Ultra Mobility Mission/ High-Speed VTOL Air-Taxi Concept (5 Pax, 300 mph, 400 mile, VTOL)

• PAV 연구 결과 분석

- 대부분 GA(General Aviation)을 활성화하여 미국 내 군소 활주로 5천 8백여 개의 활성화에 중점을 두고 있었으나 연구수행 당시 소음 등의 기술적 한계를 극복하지 못하여 도심형 항공교통으로 실용화에 이르지 못했다.

▷ ~ 2015년 이전 : PAV 사양기

- 유럽(EU)을 중심으로 PAV연구가 진행됨
- 주요 연구 과제
 - ① EPATS(European Personal Air Transportation System, 2007~2008),
 - ② SAFAR(Small Aircraft Avionics Architecture, 2008~2012)
 - ③ METROPOUS(2011~2013),
 - ④ PPLane(2009~2012),
 - ⑤ MYCOPTER(2011~2014)

- 연구 결과물: 도로 주행과 공중비행 겸용(Flying Car)

2009 Terrafugia Transition	2012 PAL-V	2013 Aero Mobil 3.0
		
<ul style="list-style-type: none"> • 저고도 공역관리 체계정립이 필요 • PAV 연구 결과 분석 <p>대부분의 연구들이 저소음대책, 수직이착륙, 자율비행 등의 기술적인 성숙도가 부족해서 개념 연구에서 중단되고, 화석연료를 사용하는 주행 가능한(Dual Mode), 고정익PAV들을 출시하였으나 시장에서 큰 반향을 얻지 못했다.</p>		

PAV는 운용기준에 따라 공중에서의 비행만 가능한 싱글모드(Single Mode)와 공중에서의 비행과 도로에서의 주행이 모두 가능한 듀얼모드(Dual Mode)로 구분되어 진행되었으나 당시 PAV사업이 성공하기 위한 다음과 같은 운영요구사항에 대한 기술적 극복과제를 안고 있었다. 즉, ①개인용 항공기로써 운항이 용이하여야 하고, ②자동화된 공역 통제 하에서 운행되어야 하고, ③ 저렴하고 충분한 전기동력시스템 및 동력원, ④경제적 운용 개념, ⑤ 운용지역에서의 소음 영향 최소화, ⑥ 새로운 인증기준 및 절차 ⑦전천후에 가까운 기체운용 능력, ⑧소형항공기 보다 높은 안전도 등이었다. 이러한 운영 요구 조건을 충족하기엔 그 동안 기술적 성숙도나 개인용 항공기로서의 가격 및 운용 개념에 한계에 부딪치게 되어 미국의 플라잉 카 및 PAV개발 프로젝트는 축적된 기술개발 유산과 기술극복과제를 eVTOL개발사업에 물려주게 된 것이다.

따라서 최근 개발 붐을 일으키고 있는 eVTOL은 기존의 플라잉 카의 특징인 공륙 양용이 아니며, 개인용으로 이용되는 PAV가 아닌 공용 교통서비스를 제공하는 모빌리티(MaaS, Mobility as a Service)이며, 수요 응답형 모빌리티(MOD, Mobility on Demand)로서 글로벌 메가 트렌드에 대응하는 UAM 기체라 할 수 있다.

eVTOL이 기존의 Helicopter, Flying car, PAV 다른 장점을 네 가지로 꼽을 수 있다.

첫째 비행 중 소음이 현저히 낮다는 점이다. 도심 상공을 여러 대를 온 종일 동시에 운항해야 하는 UAM 체계에서 소음은 지역사회 민원대상이 되기 때문에 버티포트 입지, 이착륙 경로, 항로의 고도나 경로, 운항시간 등을 고려하여 소음의 최소화를 기할 수 있다.

둘째는 항공운임이다. 기존의 택시나 탑승공유차량과 비교해서 선택할 있을 정도의 적당한 요금을 책정할 수 있다.

셋째 eVTOL의 중요한 특징 중의 하나가 분산전기추진동력(DEP, Distributed Electrical Power)시스템이다. 기존의 싱글 로터 헬기와 달리 여러 개의 분산된 동력 시스템을 가지고 있기 때문에 소음이 현저하게 낮고 한 두 개가 상실 되어도 나머지로 보상해서 비행을 지속하여 안전 착륙이 가능하다. 이러한 안전 요구수준을 인증 받아야 상용화 운항이 가능하도록 되어 있다.

넷째 eVTOL은 비행 중 탄소배출이 전혀 없다. 따라서 완전 전기 추진 시스템을 채택했기 때문에 친환경 모빌리티로서 필수요건을 갖춘 것이다. 현재 상용화 된 UAM용 기체는 아직 한 대도 없다. 모두 미래 기술로 전 세계 기업들이 미래기술로 개발 중인 UAM용 eVTOL은 약 500여개로 그 형식과 성능은 매우 다양하다.

eVTOL의 기본형식은 3 가지 형태로 분류할 수 있는데 ①Vectored Thrust 형으로 추력을 이착륙과 순항비행 상태에 따른 추력변형형)이 약 167개, ②Lift + Cruise형(이착륙과 순항비행에 필요한 별도의 추력장치 형)이 약 85개, ③Multicopter형(날개가 없이 복수의 로터를 이용하여 동력을 발생하는 형)이 약 148개 가 현재 개발 중에 있다. 아직까지 개발이 완료되어 감항인증을 마치고 상용화에 이른 eVTOL기체는 없고 현재 열띤 개발 경쟁을 벌이고 있는 중이다. 이러한 전 세계적인 추세에 따라 우리나라도 K-UAM 개발 로드맵을 수립하고 정부의 다 부처가 참여하는 사업으로 추진 중에 있다.

□ UAM의 비행체는 eVTOL이 토탈 솔루션을 제공

- 항공 모빌리티가 우리 일상 가까이에서 교통 편의를 제공하기 위해서는 소음이나 환경문제를 최소화 하고 적정한 요금은 물론 타 교통수단과 연계하여 서비스를 제공하기 위한 연구가 미 항공우주국(NASA)을 중심으로 첨단 항공 모빌리티(Advanced Air Mobility)프로젝트가 오래 전부터 다양하게 연구되어 오고 있었다.

- 당초 도심 항공 모빌리티를 위한 에어 택시(Air Taxi)용으로 헬리콥터를 운영하기 위해 시범운영사업을 시도해 보았다. 하지만 헬리콥터의 장점인 수직이착륙 및 단거리 운행에 매우 적합할 수 있으나 소음문제, 탄소 배출문제, 헬기의 치명적인 사고율과 같은 문제 뿐 만 아니라 높은 운임 등으로 대중 수용성에 한계가 있어 더 이상 UAM 비행체로서 적합하지 않은 것으로 판단하였다.

- 다음은 UAM 비행체로서 플라잉 카와 개인용 항공기 의 활용에 대한 선행 연구 프로젝트에 따르면 기존의 대형공항의 장거리 교통구간은 중대형 여객기가 담당하고, 그 보다 짧은 구간인 도심 구간이나 지역 간(RAM, Regional Air Mobility)은 자기용 자동차 기능과 자가용 소형 항공기 기능을 겸한 플라잉 카(Flying car)가 수요 응답형 모빌리티(Mobility on Demand)로 매우 전망이 있을 것으로 판단하였다. 초기 플라잉카 모델들은 도로주행과 공중비행 모두 가능하지만, 내연기관 엔진을 사용해 공해를 유발하고, 소음이 크며, 대부분의 모델이 이륙하기 위해서는 활주로나 별도의 공간이 필요하다는 단점을 갖고 있었다. 즉, 기술적인 가치는 인정받았으나 도시의 환경오염이나 교통체증, 한정된 공간과 같은 문제들을 해결하기에는 많은 한계가 있었다.

- 이후 드론기술의 장점과 기존 항공기술의 결합이 자동차와 항공기를 결합한 전통적인 플라잉카의 단점을 극복할 수 있을 것으로 판단하고 드론형 공중 이동수단으로 배터리와 모터를 추진동력한 개인용 항공기(PAV, Personal Air Vehicle)사업이 추진되었다. 전통적인 플라잉카의 단점을 극복하고, 도시문제를 해결할 수 있는 새로운 대안으로 떠오르게 된 것이다.
- 그 동안 활발하게 개발이 진행되고 있는 드론형 공중 이동수단은 기술적으로 배터리와 모터를 추진동력으로 하기 때문에 친환경적이고, 소음이 적을 뿐 아니라 건물 옥상 등 도심 내에서의 수직이착륙이 가능하였다. 즉, 드론형은 활주로가 필요하지 않고 지점간(Point-to-Point) 운송이 가능하기 때문에 초기 플라잉카 모델보다 UAM 생태계의 기체로서 적합한 운송수단으로 인식하였다. 특히 장애물이 많지 않은 공중에서만 이동하기 때문에 도로주행을 겸하는 초기 플라잉카 모델들에 비해 원격조종이나 자율비행의 적용이 수월하였다. 드론형 공중 이동수단의 경우 광의의 개념에서 플라잉카의 범주로 볼 수 있지만, 도로주행보다는 공중에서의 도시 내 이동에 초점이 맞춰져 있어 PAV라는 표현이 더 빈번하게 사용하게 되었다. PAV는 운용기준에 따라 공중에서의 비행만 가능한 싱글 모드(Single Mode)와 공중에서의 비행과 도로에서의 주행이 모두 가능한 듀얼모드(Dual Mode)로 구분되어 진행되었으나 당시 PAV사업이 성공하기 위한 다음과 같은 운영요구 사항에 대한 기술적 극복과제를 안고 있었다. 즉, ①개인용 항공기로서 이용하기 용이하여야 하고, ②자동화된 공역 통제 하에서 운하되어야 하고, ③ 저렴하고 충분한 전기동력시스템 및 동력원, ④경제적 운용 개념, ⑤ 운용지역에서의 소음 영향 최소화, ⑥ 새로운 인증기준 및 절차 ⑦전천후에 가까운 기체운용 능력, ⑧소형항공기 보다 높은 안전도 등이었다. 이러한 운영 요구 조건을 충족하기엔 그 동안 기술적 성숙도나 개인용 항공기로서의 가격 및 운용 개념에 한계에 부딪치게 되어 미국의 플라잉 카 및 PAV개발 프로젝트는 기술개발 유산과 기술극복과제를 eVTOL개발사업에 물려주게 된 것이다. 따라서 최근 개발 붐을 일으키고 있는 eVTOL은 기존의 플라잉 카의 특징인 공륙 양용이 아니며, 개인용으로 이용되는 PAV가 아닌 공용 교통서비스를 제공하는 모빌리티(MaaS, Mobility as a Service)이며, 수요 응답형 모빌리티(MOD, Mobility on Demand)로서 글로벌 메가 트렌드에 대응하는 UAM 기체라 할 수 있다.

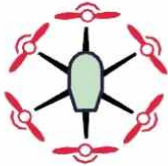
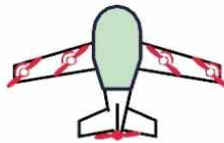
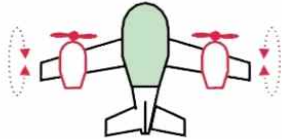
○ UAM용 기체 eVTOL 형상

eVTOL의 기본형식은 3 가지 형태로 분류할 수 있는데

- ① Vectored Thrust 형으로 추력을 이착륙과 순항비행 상태에 따른 추력변형형)이 약

167개, ②Lift + Cruise형(이착륙과 순항비행에 필요한 별도의 추력장치 형)이 약 85개, ③Multicopter형(날개가 없이 복수의 로터를 이용하여 동력을 발생하는 형)이 약 148개가 현재 개발 중에 있다.

■ Simplified aerodynamic vertical mobility concepts

	Single phase	Dual phase	Transition phase
			
	MULTIROTOR lift	LIFT AND CRUISE combination	TILT-X tilt-wing, tilt-rotor, tilt-duct
Time to market	Fastest certification	Slower certification	Slowest certification
Travel speed (indicative)	~70~120 km/h	~150~200 km/h	~150~300 km/h
Routes	Selected	All	All
Potential	~70% of intracity 0% of city-to-city	100% of intracity 100% of city-to-city	100% of intracity 100% of city-to-city

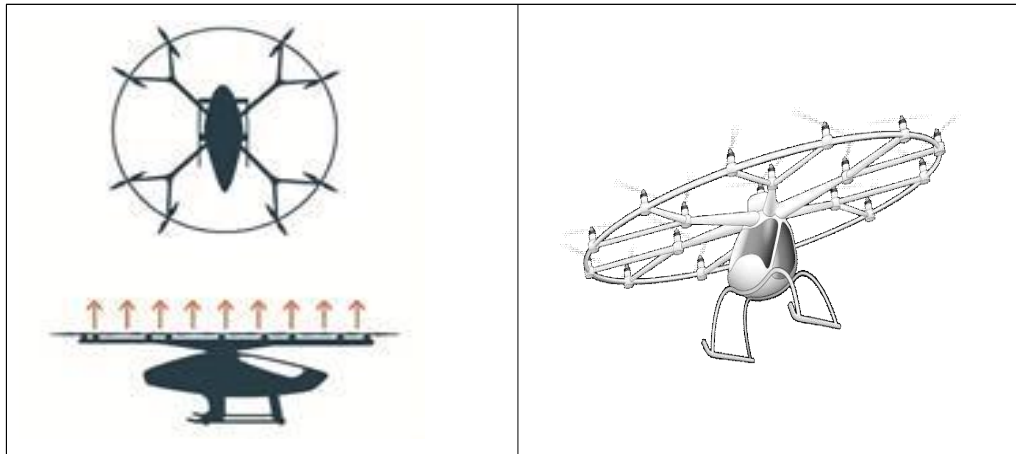
➤ Porsche Consulting, "The Future of Vertical Mobility", 2018

아직까지 개발이 완료되어 감항인증을 마치고 상용화에 이른 eVTOL기체는 없고 현재 열띤 개발 경쟁을 벌이고 있는 중이다. 이러한 전 세계적인 추세에 따라 우리나라도 K-UAM 개발 로드맵을 수립하고 정부의 다 부처가 참여하는 사업으로 추진 중에 있다.

전 세계적으로 현재 개발이 진행되고 있는 eVTOL의 개발 현황은 홈페이지에서 찾아 볼 수 있으며 eVTOL 형식은 다음 세 가지 형식으로 크게 분류되고 이에 대한 따른 특성을 각각 살펴보면 다음과 같다. ¹⁵⁾

- ① Multicopter형 eVTOL은 아래와 같은 형태로 다음과 같은 특성이 있다.
 - 고정날개가 없으며(Wingless형) 복수의 회전날개들로 구성된 추진동력을 장착하기 때문에 multicopter라고 한다.
 - 복수의 모터-회전날개에 의한 비행하기 때문에 높은 비행안전성을 갖는다.
 - 멀티콥터로 구동되기 때문에 정지비행(hovering)효율은 높으나 전진비행에는 효율이 낮은 단점이 있고 동력소모가 많아 항속거리와 항속시간에 많은 제한을 받는다.
 - 비행속도는 통상 100 km/h 내외로 저속비행을 한다.
 - 항속거리는 40 ~ 100 km 정도로 단거리 비행능력을 갖는다.

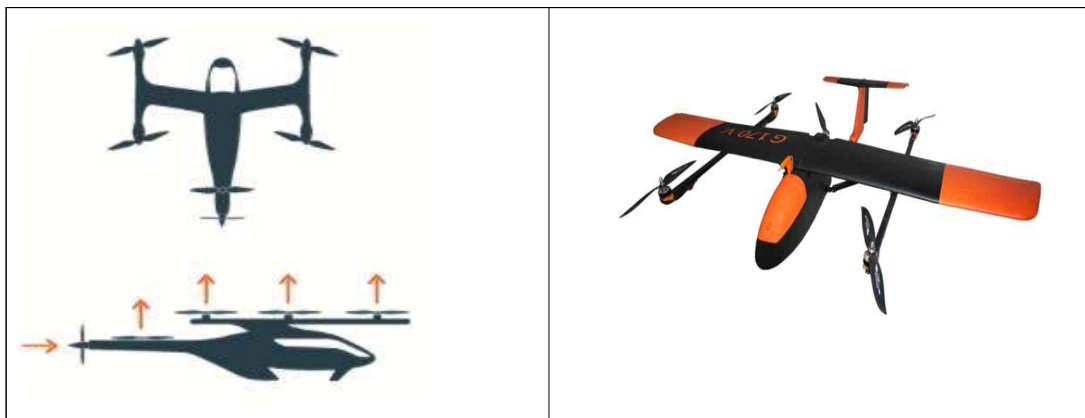
15) <https://evtol.news/aircraft>



< Multicopter형 eVTOL >

② Lift+Cruise 형 eVTOL은 다음과 같은 특성이 있다.

- 양력 추진부와 추력 추진부가 독립되어 있어 이착륙 모드와 순항비행모드를 선택적으로 사용한다.
 - 양력발생을 위한 고정된 수직방향 로터(rotor)를 다수 장착
 - 전진비행을 위한 분리된 다수의 프로펠러(propeller)로 추력발생



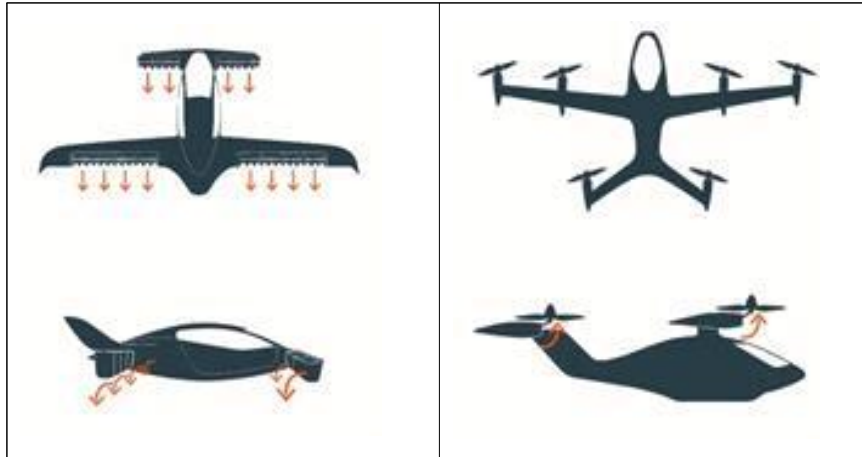
< Lift+Cruise형 eVTOL >

- 세 가지 비행모드(고정익, 회전익, 천이비행)로 비행한다.
- Vectored thrust 보다 수직이착륙이 용이하다.
- 순항비행 시 전진비행효율이 높은 장점이 있다
 - 비행속도는 180 km/h 내외로 순항비행이 가능하다.
 - 항속 거리는 80 ~ 150 km정도로 멀티콥터형보다 항속거리가 길다.

③ Vectored Thrust 형 eVTOL은 아래그림과 같은 형태로 다음과 같은 특성이 있다.

- Vectored Thrust는 로터를 틸트시키는 방법에는 크게 두 가지로 Tiltrotor형과 Tiltwing형이 있다.
 - Tiltrotor: 프로펠러를 틸트시켜 수직모드와 수평모드로 상호전환
 - Tiltwing: 프로펠러와 날개가 동시에 모드를 전환하는 방식

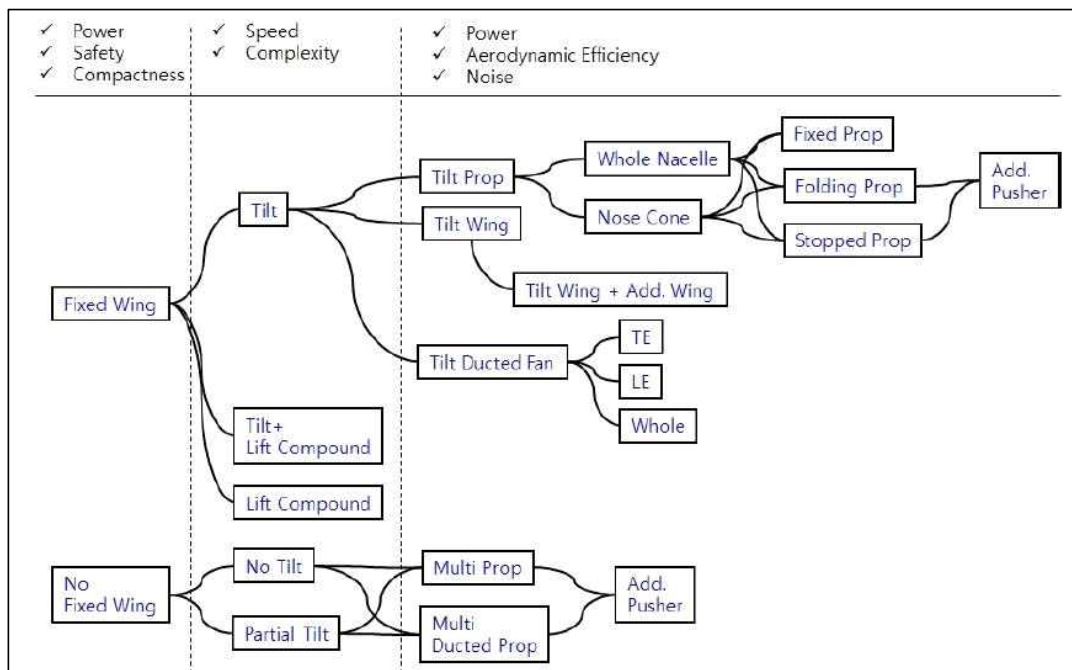
- Proprotor: 프로펠러와 로터를 결합한 형태



< Vectored Thrust형 eVTOL>

- 동일 추진부에 로터나 날개를 틸트시켜 프로펠러로 전환시키는 시스템이다.
- 세 가지 비행모드(고정익, 회전익, 전이비행)로 비행한다.
- 전진비행효율이 높고, 제자리비행(hovering)효율이 낮다.
 - 비행속도는 230 ~ 350 km/h 내외로 비교적 빠른 순항비행속도를 갖는다.
 - 항속거리는 100 ~ 300 km 정도로 항속거리 또한 가장 우수하다.

이상과 같은 기본 형상 외에도 eVTOL의 설계 가능한 형상을 다음과 같이 분류하기도 한다.¹⁶⁾



<Taxonomy of eVTOL Configuration>

따라서 UAM을 저소음 eVTOL(전기동력 수직이착륙기)이 필수이며 설계 가능한 형태는 기존의 항

16) 황창전, “도심용 공중모빌리티 개발 현황 및 과제, 항공우주산업기술동향 16권 1호(2018), 33-41

공기 설계형태보다 훨씬 새롭고 다양하다. 이중 요구성능을 충족하면서 경제성과 효율을 충족할 수 있는 다양한 형상들을 설계의 영역을 한층 확장 시키고 있다. 전 세계적으로 현재 개발이 진행되고 있는 eVTOL의 개발 현황은 홈페이지에서 찾아 볼 수 있다. < <https://evtol.news/aircraft> >

최근 국내에서도 글로벌 추세에 따라 “유무인 겸용 분산추진 수직이착륙 1인승급 비행시제기 및 시스템 개발(Optional Piloted Personal Air Vehicle, OPNAV, 유무인 겸용 개인용 항공기)” 사업을 통해 eVTOL 핵심 기술개발사업을 추진하고 있다.

- 주관부처: 범부처 협력사업(산업부 + 과기정통부 + 국토부)으로 추진
- 사업 참여기관 : 항공우주연구원(KARI) 주관 하에 KAI, 현대자동차 등이 참여하고 있음
 - 사업 기간은 2019~2023년까지이며 개발비는 총 480억 원
 - 사업목표: 시범기 개발사업 형태로 추진
 - 최종목표: 2024년부터 상용기 및 화물기 형태로 개발, 양산 체제를 구축하고자 함

부처 간 명확한 역할분담 하에 효과적인 협력 체계를 구축하여 사업을 진행하고 있음

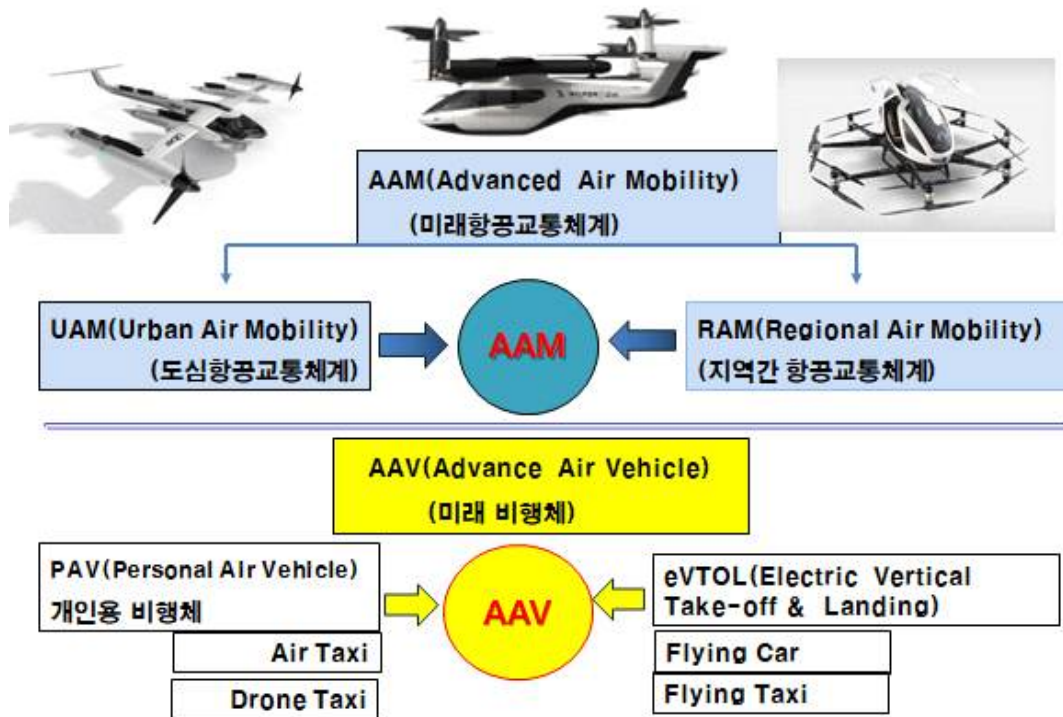
- 산업통상자원부부는 1인 승급 eVTOL기술검증용 비행 시제기를 개발하며, 인증/안전운항 기술(국토부) 및 핵심기술(과기부)의 테스트 베드를 제공하고, 수직이착륙/전기동력/자동 비행 기능의 비행체 설계, 제작 및 지상, 비행시험을 수행하고 있다.
- 국토교통부는 국가 차원에서 선 구축해야 할 eVTOL인증기술을 연구하고, OPNAV 핵심 신기술(수직이착륙, 전기동력, 자동화 기술 등)에 대한 국제동향에 따른 인증기술기준 개발, 적합성 검증 및 시험 운용 인프라구축 등을 구축한다.
- 과기정통부는 국외기술 도입이 불가한 eVTOL핵심기술을 개발하여 기술검증용 비행 시제기(산업부)에 적용하여 시연하고 기술을 검증한다.
- 분산전기추진 항공기 비행 제어 및 안전성 향상 핵심기술을 개발을 위한 주요일정은 2021년까지 상세설계를 완료(3차 년도), 2022년에 지상시험을 수행(4차 년도), 2023년에 비행시험을 완료한다.
- eVTOL의 효과적 개발 지원을 위한 시험 운용 인프라구축도 포함되어 있으며, 이를 통해 현재 TRL 5 이하 수준의 기술을 6이상으로 확보, 기술검증용 시제기를 개발할 계획이다.
- 범부처 차원에서 국내개발 중인 eVTOL 시범기의 주요 성능은 다음과 같다.

유상하중	100(1인승) kg이상
순항속도	200 km/h이상
비행거리	50 km이상
소음 수준	72 dBA 이하(고도 200 m 기준)

1.3 UAM 관련 용어 정의 및 해설

용어	정의 및 해설
UAV	<ul style="list-style-type: none"> • Unmanned/uninhabited Aerial Vehicle(무인비행체) • 조종사가 비행체에 직접 타지 않고 지상에서 원격 조종 또는 사전 프로그램 경로에 따라 자동(반자동)/자율비행하면서 임무를 수행하는 비행체를 말함. • UAV를 통상 “무인기” 라고 부르나 “무인비행체” 가 바른 호칭임
UAV System	<ul style="list-style-type: none"> • Unmanned/uninhabited Aerial Vehicle System(무인비행체 체계) • 무인기(UAV)인 비행체와 지상통제 장비 및 통신장비, 지원장비 등의 전체 시스템을 통칭
UAS	<ul style="list-style-type: none"> • Unmanned Aircraft System(무인항공기 시스템) • 비행체(Aerial Vehicle)라기 보다 항공기(aircraft)로서 시스템의 개발 및 제조 운영 등의 공학적 안전성을 확보 등을 위한 공식 명칭 • 국제표준화기구(ISO)에서는 UAS라 부르고 있음
RPV	<ul style="list-style-type: none"> • Remotely Piloted Vehicle (원격 조종 비행체) • 지상에서 무선통신으로 원격 조종하는 무인 비행체 • 무인기가 초기 출현했을 때는 사용했으나 최근에는 사용하지 않음
RPAS	<ul style="list-style-type: none"> • Remotely Piloted Aircraft System(원격조종 항공기 시스템) • 조종사가 탑승하지 않고(Pilotless) 지상에서 원격조종하거나 자동 또는 자율비행을 하는 항공기 시스템 • 무인항공기가 민간공역에 진입하게 됨에 따라 항공기로서의 공역(airspace)내에서 운항 규칙이나 안전성을 규정하고 강조하기 위한 것으로 주로 국제민간항공기구(ICAO)에서 사용하고 있음 ※ ICAO 나 ISO는 무인항공기는 조종사가 없는 항공기(Pilotless aircraft)이므로 승객은 탑승이 가능하다고 규정하고 있음
Drone	<ul style="list-style-type: none"> • 수벌(male bee)이라는 뜻으로 무인항공기(Unmanned Aircraft)를 일컫는 애칭으로 사용되고 있음. • 항공분야에서는 항공기에 나는 새나 곤충을 애칭으로 많이 사용함 ※ Queen bee(여왕벌), Hornet(말벌), Humming bird(벌새) 등
Flying Car	<ul style="list-style-type: none"> • 도로주행 및 비행을 겸할 수 있는 듀얼모드 비행체를 말함. • 도로교통법 및 항공법 모두를 준수해야 하므로 하나의 비행체로 모두를 충족하려면 매우 비효율적임.

PAV	<ul style="list-style-type: none"> • Personal Air Vehicle(개인항공기) • 개인 소유가 가능한 수준으로 조종이 단순하고 소형화 된 비행체로 Door-to-Door로 운행하는 1인 자가용 항공기를 말함. • 도심항공 교통체계에는 적합하지 않아 현재 거의 사용되지 않는 용어.
OPPAV	<ul style="list-style-type: none"> • Optionally Piloted Personal Air Vehicle • 유무인겸용 PAV로 조종방식(탑승조종사 유인조종과 지상조종사/자율비행 무인조종을 겸함)에 따른 명칭 • 지금은 항공우주연구원(KARI)주관으로 개발 중인 eVTOL을 일컫는 고유명사 • ‘16년부터 다부처기획과제 주관수행 시 KARI 작명
eVTOL	<ul style="list-style-type: none"> • electric Vertical Take-Off & Landing • 전기동력 수직이착륙기로 활주로는 필요 없음 • 전기동력으로 소음이 낮고, 탄소배출이 없고, 활주로는 없이 수직이착륙이 가능한 비행체이므로 도심항공교통에 최적의 비행체
eCTOL	<ul style="list-style-type: none"> • electric Conventional Take-Off & Landing • 전기동력 비행기(airplane)로 활주로는 필요함
Drone taxi	<ul style="list-style-type: none"> • 무인조종 및 자율비행 능력을 가진 항공택시로 인건비가 저렴한 대중 항공교통서비스를 제공
Air taxi	<ul style="list-style-type: none"> • 수요자 요구(On-demand)에 따라 Door-Door 서비스를 제공하는 항공택시
UAM	<ul style="list-style-type: none"> • Urban Air Mobility • 도심항공교통체계로 도심내(인구밀집 및 지상 교통 혼잡지역 등)에서 여객 및 화물을 항공운송 하는 비행체, 운항인프라, 서비스 등을 일컫는 통칭 • UAM에 사용되는 비행체는 활주로는 필요 없는 eVTOL로 국한됨
RAM	<ul style="list-style-type: none"> • Regional Air Mobility • 도시 간 또는 대도시를 중심으로 한 위성도시 간 여객/화물을 항공운송 하는 비행체, 운항인프라, 서비스 등을 일컫는 통칭 • eVTOL이나 eCTOL 모두 운항 가능하나 단 도심내 진입을 위해서는 요건 충족이 필요함
AAM	<ul style="list-style-type: none"> • Advanced Air Mobility • UAM과 RAM 모두를 포함 한 산업 • 미 항공우주국(NASA)이 최초 사용하였는데, 유럽의 EASA는 이를 IAM(Innovative Air Mobility)이라고 함



제 2 장 한국형 도심항공모빌리티 현황

2.1 K-UAM 개발 로드맵

- 우리나라는 UAM정책로드맵(K-UAM, ‘20.06)을 발표하고 K-UAM 정책로드맵은 초기(‘25~), 성장기(‘30~), 성숙기(‘35~)에 따라 목표성능 및 운용개념을 제시하고 있다.

○ K-UAM 추진배경

- 도시지상교통 혼잡 해결수단으로 부상한 UAM¹⁷⁾은 교통형태의 변화와 기술발전으로 실현가능성 증대 및 미래먹거리 산업으로 대두되고 있음
- 국가경쟁력 증추로 기능하는 대도시권에 인적자원이 집중되면서 지속되는 지상교통 혼잡을 해소할 수단으로 3차원 공중교통이 부상하게 됨
- UAM시장은 美 우버社를 필두로 거대시장이 형성되고, 다양한 업계 참여가 확대되고 있어, 우리나라의 강점을 살린 맞춤형 전략 강구·실행하기 위한 K-UAM 정책로드맵 수립 추진
 - K-UAM산업은 기체, 인프라, 서비스 등 산업전반이 약 730조원(∼ ‘40)의 규모 형성예상
 - K-UAM 정책로드맵은 기술수용도 높은 국민, 업계 참여 확대, 정부의 의지, 높은 도시화율로 인한 사업의 성공적 계획 수립의 기반
- k-UAM은 신개념 공중교통으로 도심운행 항공교통수단(AAM) 시장 창출을 위한 선행 기술 및 서비스 연구개발 필요
 - Advanced Air Mobilty : 미래 도심항공교통체계인 UAM을 도심 내 항공교통체계뿐만 아니라 도심 간 이동 교통체계로 확장한 개념
- UAM은 저소음, 추진방식, 자율비행, 통신 등 다양한 요소기술들을 연구 중으로 저소음, 친환경 요구 충족을 위한 전기분산 추진방식과 장애물 탐지, 충돌방지·회피와 무인기 확산 대응 등 자율비행 연구 필요
 - 복잡한 공역의 체계적 안전관리를 위한 항법 항행체계 수립 연구와 안전확보 및 통신 제어 위한 5G, AI, 빅데이터 기술연구 필요
- 도시항공교통 서비스 산업화 초기 단계로 도심형 항공교통(UAM)에서 도시간 항공교통(AAM) 개념으로 확장 예상
 - 도심 간 운행 위주인 UAM 대비 대형화·장거리 비행 등 고려 시 하이브리드 방식 추진이 대체를 이룰 전망이다며 이에 관한 연구도 필요
- UAM/AAM 시장 급성장에 대비하여 경제성이 확보된 기체/부품의 원활한 공급을 위해 대량 생산 가능 소재 및 생산·공정 기술개발 추진 필요

17) * UAM(Urban Air Mobility) : 도심항공교통을 의미하며 기체·운행·서비스를 총칭

○ 목표 및 추진과제

< 비 전 >

UAM 선도국가 도약 및 도시경쟁력 강화
교통혁신으로 시간과 공간의 새로운 패러다임 변화
첨단기술 집약으로 제작·건설·ICT 등 미래형 일자리 창출

목
표

- ◇ ‘22~’ 24 UAM 비행실증, ‘25 상용화 시작, ‘30 본격 상용화
- ◇ ’ 30년 10개, ‘35년 100개 노선 및 호출형 서비스로 확대

추
진
내
용

주요
가치

◇ 안전성 (Safety) ◇ 지속 가능성 (Sustainability) ◇ 국민 편의 (Convenience)

기본
방향

- ◇ 민간주도 사업으로 정부는 신속히 제도·시험기반 지원
- ◇ 기존 안전·운송제도 틀이 아닌 새로운 제도를 구축
- ◇ 글로벌 스탠다드 적용으로 선진업체 진출·성장 유도

추진
전략

- ① 안전 확보를 위한 합리적 제도 설정
- ② 민간역량 확보·강화를 위한 환경조성
- ③ 대중수용성 확대를 위한 단계적 서비스 실현
- ④ 이용 편의를 위한 인프라·연계교통 구축
- ⑤ 공정하고 지속가능한 건전한 산업생태계 조성
- ⑥ 글로벌스탠다드와 나란히 하는 국제협력 확대

마일
스톤

준비기 (‘20~‘24)	초기 (‘25~‘29)	성장기 (‘30~‘35)	성숙기 (‘35~)
·이슈·과제 발굴 ·법·제도 정비 ·시험·실증(민간)	·일부노선 상용화 ·도심 내/외 거점 ·연계교통체계 구축	·비행노선 확대 ·도심 중심 거점 ·사업자 흑자 전환	·이용 보편화 ·도시 간 이동 확대 ·자율비행 실현

<한국형 도심항공교통(K-UTM) 로드맵>

- 도시 운송사업 제도의 법령정비, 시설·운항·보안 기준, 도시계획·개발, 산업생태계 조성 및 활용촉진 근거 등을 담은 UAM특별법 제정 추진
 - 주요 사업은 UAM 운송사업, Vertiport 시설 구축·운용, 활용촉진·진흥 규제 등
 - 법 제정 전 시험·실증단계에서는 드론법을 활용해 규제특례 등 지원
- 실증사업, 기체(부품) 개발·인증·공역관리·보안 등 R&D, 공공정보 제공체계, 공공서비스 및 국제협력 등은 재정투자 추진
 - 환경 실태조사, Vertiport 구축 등은 지방비 매칭 추진
- UAM 단계별 실용화 시나리오는 다음과 같다.

분류	요구항목		단계별 목표(년도)		
			1단계(2025~)	2단계(2030~)	3단계(2035~)
기체 / 부품	비행체 형태		Vectored Thrust / Lift+Cruise / Wingless VTOL		
	자율비행 수준 (조종사 운용)		On Board	Off Board	Autonomous
	기체 중량(MTOW)		3,175kg 이하(7,000lb)		
	기체 사이즈		15x15xH		
	운항고도		600 m		
	순항속도		150km/h	240km/h	300km/h
	동력장치 / 모터 출력 밀도		Only Motor-Driven / 8.22 kW/kg 이상		
	배터리 에너지 밀도/용량		300Wh/kg, 130kWh	450Wh/kg, 270kWh	680Wh/kg, 500kWh
	배터리 충전율/방전율		1.5C/5C	2C/5C	2.5C/5C
	소음(기체)		150m에서 70dBA	150m에서 65dBA	150m에서 60dBA
항행 / 교통관리	교통관리체계		PSU 주도 (ATC 제한적 개입)	PSU 주도 (ATC 비상시 개입)	PSU 완전 운용 (ATC 비상시 개입)
	교통관리 자동화 수준		자동화 도입	자동화 주도 및 인적 감시	완전자동화 주도
	비행회랑 운영방식		Fixed Corridor	Mixed Corridor(회랑 망)	Mixed Corridor(회랑 망)
	동시 운용 용량(대/회랑)		30km 항로기준 : 5 60km 항로기준 : 10	30km 항로기준 : 8 60km 항로기준 : 16	30km 항로기준 : 16 60km 항로기준 : 32
	항공통신망	통신	이동통신, 항공음성통신		이동통신(5G/6G), 저궤도위성통신, C2
		정보	SWIM망 접속 (PSU 망)		
	항법시스템		정밀위성항법	정밀위성항법 + 영상기반 상대항법	복합상대항법
	감시체계		ADS-B, UTM 보고체계		UATM 보고체계

분류	요구항목	단계별 목표(년도)		
		1단계(2025~)	2단계(2030~)	3단계(2035~)
인프라	버티포트 형태	FATO 1개 계류장 4개	FATO 1개 계류장 5개	FATO 2개 계류장 12개
	시간당 처리용량	12.8회/h	18.5회/h	57.6회/h
	Charging Power	250kW	400kW	1MW
	Charging Time	11분	9.5분	7분
	Taxing Time	4분	3분	2분
	탑승수속 소요시간	7분	5분	3분
서비스	운용조건(기상)	Weather Tolerance	Weather Tolerance	All weather
	일일 운용 시간(야간운항)	12시간(06시~18시)	15 시간(06시~21시)	17 시간(06시~23시)
	도심 3차원 지도	정밀	초정밀, 실시간	초정밀, 실시간
	항로 기상데이터	corridor 기상서비스	저고도 도심기상서비스	고해상도 도심기상서비스
	항로상 위험 정보	실시간 Available	실시간 Available	실시간 Available
	교통연계	대중교통 정보조회, 택시 통합 결제	카셰어링, On-demand UAM 간 연계	Micro Mobility 포함 통합 MaaS Platform

구분		초기('25~)	성장기('30~)	성숙기('35~)
기체	속도	150km/h	240km/h	300km/h
	거리	100km	200km	300km
	조종형태	조종사탑승	원격조종	자율비행
항행/교통	교통관리체계	유인교통관리	자동화 +유인교통관리	완전자동화 교통관리
	비행회랑	고정식	혼합식	혼합식
버티포트	노선/버티포트	2개 / 4개소	22개 / 24개소	203개 / 52개소
	이착륙장/계류장	4개 / 16개	24개 / 120개	104개 / 624개
기타	기체가격	15억 원	12.5억 원	7.5억 원
	운임(1인,Km)	3,000원	2,000원	1,300원

< K-UAM개발로드맵>

- 향후 '35년 성숙기가 되면 배터리 용량 증대 및 기체 경량화에 힘입어 비행가능 거리도 300 km(서울~대구 정도)로 증가하게 되고, 속도도 ' 25년 150 km/h에서

300 km/h로 빨라지게 될 것으로 보고 있다. 특히, 자율비행, 야간운항, 이착륙장 증설에 따른 노선 증가와 기체양산체계 구축에 따른 규모의 경제효과가 요금현실화로 이어져 교통수단으로서의 대중화가 가능해질 것으로 보고 있다.

2.2 K-UAM 핵심기술 개발

○ K-UAM기술로드맵 추진전략

K-UAM의 정책 로드맵에 따라 필요한 **핵심기술을 확보하기 위해 “안전성·수용성·경제성·지속가능성·상호발전”**을 핵심 목표로 한 추진전략의 주요 내용은 다음과 같다.

- ① 기체 및 승객 안전성 확보 기술을 최우선적으로 개발한다.
 - 기상변화·충돌 등 위험요인을 대비한 고신뢰 안전성 기반 시스템 설계·제작 및 인증, 시험평가 등 기체 안전성을 높인다.
 - K-드론시스템과 연계한 UAM 운항 및 관제절차, 실시간 기상·재난정보 등을 고려한 최적 비행경로시스템 등을 지원한다.
 - 운용범위(고도·거리·빈도) 등을 고려한 공역설계, 다중통신, 정밀항법 등 UAM용 항행관리 기술을 개발한다.
- ② 교통수단으로서 국민들의 수용성을 증대하는 친화기술이 확보된다.
 - 저소음·저탄소 등 수용성 높은 교통수단이 될 수 있도록 친환경 연료를 통한 대기오염 감소, 저소음 추진장치 등을 개발한다.
 - 정시성·안전성 제고를 위한 스케줄링 및 도심 장애물, 기상위험에 효과적으로 대응할 수 있는 정보수집 및 분석 기술을 마련한다.
- ③ 경제성을 위해 양산 및 유지관리 등 상용기술이 마련된다.
 - 글로벌 UAM시장에서의 가격 경쟁력 및 사업자의 운영 수익성 확보를 위한 기체·부품 양산 및 정비기술을 개발한다.
 - 승하차 시간 단축 등 이용객 편의 증진을 위하여 간소화된 보안검색 기술을 기술개발 로드맵에 포함하였다.
- ④ 인력양성 등 지속가능성을 이끄는 기술·생태계가 구축된다.
 - UAM 생태계의 지속성장을 위한 자율비행 및 충돌회피 핵심기술, 실시간 운항정보 기반 교통관리 자동화기술 개발을 지원한다.
 - 산학 연계형 전문인력 양성체계 및 운영자종사자 자격 제도 등 신비행체 운용을 위한 사회적 기반 마련에 힘쓴다.
- ⑤ 상호발전을 유도하는 기술교류를 확대한다.
 - UAM을 기존 산업과 효율적으로 연계 및 전환할 수 있는 지원 체계를 마련하고, 미국·유럽 등 주요 항공선진국과의 교류·협력을 통한 국제기준에 부합하는 산업 표준화도 지원한다.
 - 기존산업: 전통적 항공산업, 전기자동차, 자율주행, 통신, 금융, 서비스 및 교통운송업계 등
 - 국제기준: [미국] 연방항공청(FAA), 항공우주국(NASA) 및 [유럽] 항공안전청(EASA) 등

○ K-UAM 기술로드맵 구성

K-UAM 기술로드맵의 구성은 5개의 대분류, 19개의 중분류, 63개의 소분류로 구성된 총 187개 세 분류 구성되어 각 분야별 필요기술들을 식별하였다.

대분류(5)	중분류(19)	소분류(63)	세분류(187)	유관부처
기체 개발·생산	4	16	63	국토부 산업부 중기부 과기부
운송·운용	4	11	22	국토부 산업부 기상청
공역설계·통제	3	13	35	국토부 중기부
운항관리·지원	4	10	22	국토부 기상청
사회적 기반	4	13	45	국토부 산업부 중기부 과기부

대분류	중분류	소분류	세 분류
1) 기체 개발 생산	기체 시스템	기체 구조	동체
			주미익
			착륙장치
			객실 구조
		동력·추진 시스템	전기구동장치
			프로펠러
			열관리시스템
			에너지 관리시스템
			전기동력 저장 시스템
			전기동력 공급 시스템
		전기·전자 시스템	항법장치
			통신장비
			탐지센서
			분석/인지시스템
			기타전자장비(기상센서 등)
			탑재컴퓨터 비행/자세제어 기술
		기체 시스템	조종장치
			공조시스템
			비행제어 시스템
	요소 기술	체계 종합	
		설계 개발	비행체 통합해석
			비행체 설계기술
		자율 비행	자율비행조종기술
			자가 건전성
			비상상황대응
			탐지 및 회피
		소음 저감	소음원 저감
			객실소음저감
			운용소음 저감
		기상 강건성	결빙 강건
			돌풍 강건
			낙뢰 강건
			전자파 강건
		승객 안전·편의성	저시성 극복
			객실 진동
			좌석 및 안전벨트
			객실 내 정보제공장치
			내추락성 및 생존장비

대분류	중분류	소분류	세분류
1)기체개발 생산(계속)	비행체 제작	첨단제작공정	일체성형기술
			신소재 대량양산공정
			원격업그레이드 기술
			복합재설계
		양산성	경량신소재
			부품 호환성
			모듈화
			치공구
		소재·부품공급	블록체인 기반 추적관리
			디지털 공증
	인증·시험 평가	신기술비행체 설계·제작 인증	비행체 설계안전성 인증기준 및 절차 구축
			비행체 제작검사 및 제작사 품질시스템 평가 기준/절차 구축
			도심복합환경(전자기,돌풍등)인증기준 및 평가절차
			환경(소음, 배기가스, CO2 등)기준 및 평가절차
			시험평가 지표/절차 및 장비구축
			감항성유지 체계 및 인증서소지자 안전성 유지/관리 체계 구축
			기상 강건성 인증
		신기술비행체 부품 인증	신기술 항공부품 인증기준 및 절차 구축
			인공지능(AI) 및 자율비행시스템 안전성 인증
			전기동력 분산추진체계 안전성 인증
			도심항법 및 충돌회피 시스템 안전성 인증
			신기술 항공부품 시험평가 지표/절차및 장비구축
			사이버보안성 평가기술 및 인증 절차
		신 기술 비 행 체 신소재 검증/인증	신소재(적층가공 등) 인증체계 및기준/절차
			경량/복합소재 인증체계 및 기준/절차
			신소재 시험평가 지표/절차 및 장비 구축

대분류	중분류	소분류	세분류
2) 운송·운용	도심비행관리	기체모니터링	기체상태 모니터링
			기체운용 모니터링
		도심비행경로 정보 효성판단 기상	
		출도착관리	비행정보공유
			승객등록/확인
		비행계획 수립	위험도 분석 기술
	자율비행 조종	자율비행	원격비행조종기술
			자율비행조종기술
		기체운용 자동화	기체 비정상 상태 판단
			기체 충돌방지
			비상상황 대응
			비행종료 자동보고
			비행전 비행경로 설정
	감항성/운항 증명 및 유지기준	감항성/운항 증명기준	적합성 입증(AOC)
		감항성/운항 유지기준	유지감항
			정비조직(AMO) 기준
	MRO	중정비	전자/통신장비 수리기술 및 장비
		경정비	비정상/비상상화 대처 솔루션 유지보수
			사이버 보안 유지보수
			원격 업그레이드 기술
		정비 스케줄링	효율적 기체정비 프로그램
			신뢰성 기반 정비기술
			기체상태 모니터링 센서 점검 및 교체

대분류	중분류	소분류	세분류
3)공역설계·통제	공역설계 및 관리	공역설계	UAM 비행 공역 설계
			UAM 항로(Corridor) 설계
		공역관리	국가 공역 시스템 조정 및 관리
			NOTAM
		운항 및 비행규칙	UAM 비행 공역 내 비행 규칙
			비상상황 대처 절차
			기체 운항 성능 인증 기준
		버티포트	버티포트 위치 선정(공역관점)
	CNSi	통신시스템	고신뢰 통신 데이터링크
			대용량 통신 데이터링크
			통신보안관리체계구축
		항법시스템	지상시스템 기반 PNT 기술
			위성시스템 기반 PNT 기술
			항법 무결성 확보 기술
		감시시스템	지상 감시시스템 기술
			탐재장비 연동 감시 기술
		정보관리 시스템	공유 필요 정보 식별
			정보 공유 체계
			빅데이터 수집 및 관리
		CNSi 보안	사이버 보안 기술
			전자기 간섭 방어 기술
		CNSi 장비	통신지상장비
			항법지상장비
			감시지상장비
	시험실증 및 인증지원	시험실증	시험실증 지표
			시험실증 기술 및 장비
			시험실증 절차
		통합운용 시뮬레이터	기체 시뮬레이터
			운항절차 시뮬레이터
			교통관리 시뮬레이터
			이착륙장 시뮬레이터
			가상운용 통합 기상 분석 시스템
		인증기준	PSU 인증 기준
			지원사업자 인증 기준
			CNSi 장비 등 항행시설장비 인증 기준

대분류	중분류	소분류	세분류
4)운항관리·지원	교통관리	교통흐름관리	교통흐름 모니터링
			교통흐름 조정
		정보공유	교통관리 정보 공유 기술
			PSU 다자간 정보공유 기술
			정보 보안 기술
			ATM-PSU 정보공유 기술
			USS-PSU 정보공유 기술
			군사정보공유 기술
		인증기준	UAM 운항 절차
			PSU 기술 기준
			PSU 인증 절차
	운항관리	운항관리	운항 스케줄 관리 기술
			운항 상태정보 수집 및 모니터링
		운항정보 생성 및 공유	실시간 운항 정보 생성 및 제공
			운항/비행 계획 조정 기술
	지원 정보 제공	장애물 정보	지형 공간정보 생성 및 관리
		도심 기상 정보	기상정보 수집·분석 및 관리 기술
		복합 공간 정보	국소 기상정보 생성 및 관리
	비상 운영	비상상태식별	상태정보 수집
			비상상태 식별
		비상운영절차	

대분류	중분류	소분류	세분류
5)사회적 기반	대중 수용성	사회적 인식 개선	지역주민 의견수렴 및 의사결정 지원 시스템
			지역환경 평가 기법 및 지원 시스템
		이용자 편의성	운임 결정 수단 선택 모형
			다중 교통수단연계 예약시스템
		비행허가기준	소음기준
			환경기준(기상 등)
		시장다각화	관광/숙박 등 특수 서비스모델
			B2B 서비스 모델
			긴급의료/재난/치안용 수요전환 모델
	버티포트	건축물	입지(위치, 크기, 수송인원, 기상조건)

		지원설비	정보네트워크 장비
			에너지 공급망
			지상 통신시설
			보안통제
			보안검색
			충전기술
			안전지원
			기상관측 시설
		설계·안전기준	버티포트 설계건축 기준
			버티포트 입지 기준(기상 등)
			지원설비 기준(기상관측 시설 등)
		특화도시	유형별 도시공간 구조
			스마트시티 계획
			토지이용/도시기능
			도시인프라
			모빌리티 허브 시스템
	인력양성	연구개발 인력양성	기체 개발·생산 전문인력
			교통관리 전문인력
			인프리 설계 전문인력
			ICT 전문인력
			데이터사이언스전문인력
		종사자 양성	조종 전문인력
			정비 전문인력
			운항관리 전문인력
			관제 전문인력
			감항/인증 전문인력
		교육/훈련 및 자격관리	조종사 자격체계
			정비사 자격체계
			운항관리사 자격체계
			관제사 자격체계
	운용통합	보험·금융	보험 표준 모델 개발
			금융 기법(리스 등)
		경제성 증대	버티포트를 고려한 스케줄링
			기체중전시간단축

2.3 K-UAM운용 개념

○ K-UAM 단계별 운용 시나리오

K-UAM운용개념서(ConOps: Concept of Operations)¹⁸⁾는 K-UAM의 상용화를 목표로 정부, 지자체, 산업계, 학계, 공공기관 및 기타 이해관계자의 업무추진 및 상호소통을 위한 기본적인 기준들을 제공하기 위해서 K-UAM 정책로드맵·기술로드맵에서 발표된 주요 지표를 기반으로 단계별 운용 시나리오를 작성하였다.

〈K-UAM 단계별 발전에 따른 주요 지표〉

항목	초기(2025년~)	성장기(2030년~)	성숙기(2035년~)
기장 운용	On Board	Remote 도입	Autonomous 도입
교통관리체계	UAM 교통관리서비스 제공자 역할 단계적 확대, 항공교통관제사 참여 단계적 축소		
교통관리 자동화 수준	자동화 도입	자동화 주도 및 인적 감시	완전자동화 주도
회랑운영방식	고정형 회랑 (Fixed Corridor)	고정형 회랑망 (Fixed Corridor Network)	동적 회랑망 (Dynamic Corridor Network)
항공통신망	상용이동통신(4G·5G), 항공음성통신	상용이동통신(5G·6G), 저궤도위성통신, C2 LINK 등	
항법시스템	정밀위성항법	정밀위성항법+ 영상기반 상대항법	복합상대항법
버티포트 입지 및 형태	수도권 중심 버티포트	수도권 및 광역권 중심 버티포트	전국 확대

① 초기(2025년~) K-UAM 운용 형태

초기 K-UAM 운용은 기장이 탑승하여 수도권 단일 또는 복수의 K-UAM시범 서비스 고정형 회랑에서 K-UAM 운용을 시작하는 단계이며 이를 위한 주요 지표는 다음과 같다.

- 조종사 운용 : 조종사(기장) 탑승. 시계비행방식 초기 적용
- 교통관리체계 : UAM 교통관리체계 도입 (항공교통관제사 협조를 통해 검증·고도화)
- 교통관리 : 음성기반, 인적기반에서 데이터 기반 자동화 도입으로 발전
- 회랑운영방식 : 고정형 회랑(Fixed Corridor) 방식
- 항공통신망 : 상용이동통신(4G, 5G) 및 항공음성통신
- 항법시스템 : 정밀위성항법
- 버티포트 입지 및 형태 : 수도권 K-UAM 상용화 시범 서비스를 위한 공항과 도심을 연결하는 소수의 버티포트 인프라 구축

② 성장기(2030년~) K-UAM 운용 형태

¹⁸⁾[http://www.molit.go.kr/UAM_Team_Korea\(2021.09\)](http://www.molit.go.kr/UAM_Team_Korea(2021.09))

성장기 K-UAM 운용은 원격조종을 도입하고 필요시 안전관리자 탑승 하에 수도권 및 광역권에서 고정형 회랑망을 구성하여 K-UAM 운용이 성장하는 단계이며 이를 위한 주요 지표는 다음과 같다.

- 조종사 운용 : 원격조종사(기장) 도입. 원격조종 기능 미지원 시 조종사(기장) 탑승 원격조종 시스템 도입 시에는 필요에 따라 비상개입 및 승객안전 등을 고려하여 기내 안전관리자 탑승 여부 결정
- 교통관리체계 : UAM 교통관리서비스 제공자 주도 (교통관리 기능을 제외한 회랑 개폐 등의 항공교통관제사 제한적 개입)
- 교통관리 : 데이터 기반 자동화 주도, 인적감시 보조
- 회랑운영방식 : 고정형 회랑망(Fixed Corridor Network) 방식
- 항공통신망 : 상용이동통신(5G, 6G), 저궤도 위성통신 및 C2 LINK 등
- 항법시스템 : 정밀위성항법 및 영상기반 상대항법
- 버티포트 입지 및 형태 : 수도권 및 광역권 서비스 제공을 위한 버티포트망 구축 및 기능 및 규모에 따라 버티포트 위계설정

③ 성숙기(2035년~) K-UAM 운용 형태

성숙기 K-UAM 운용은 무인 자율비행을 도입하고 전국 도심에 동적 회랑망을 구성하여 K-UAM 운용이 성숙화에 이르는 단계로 이를 위한 주요 지표는 다음과 같다.

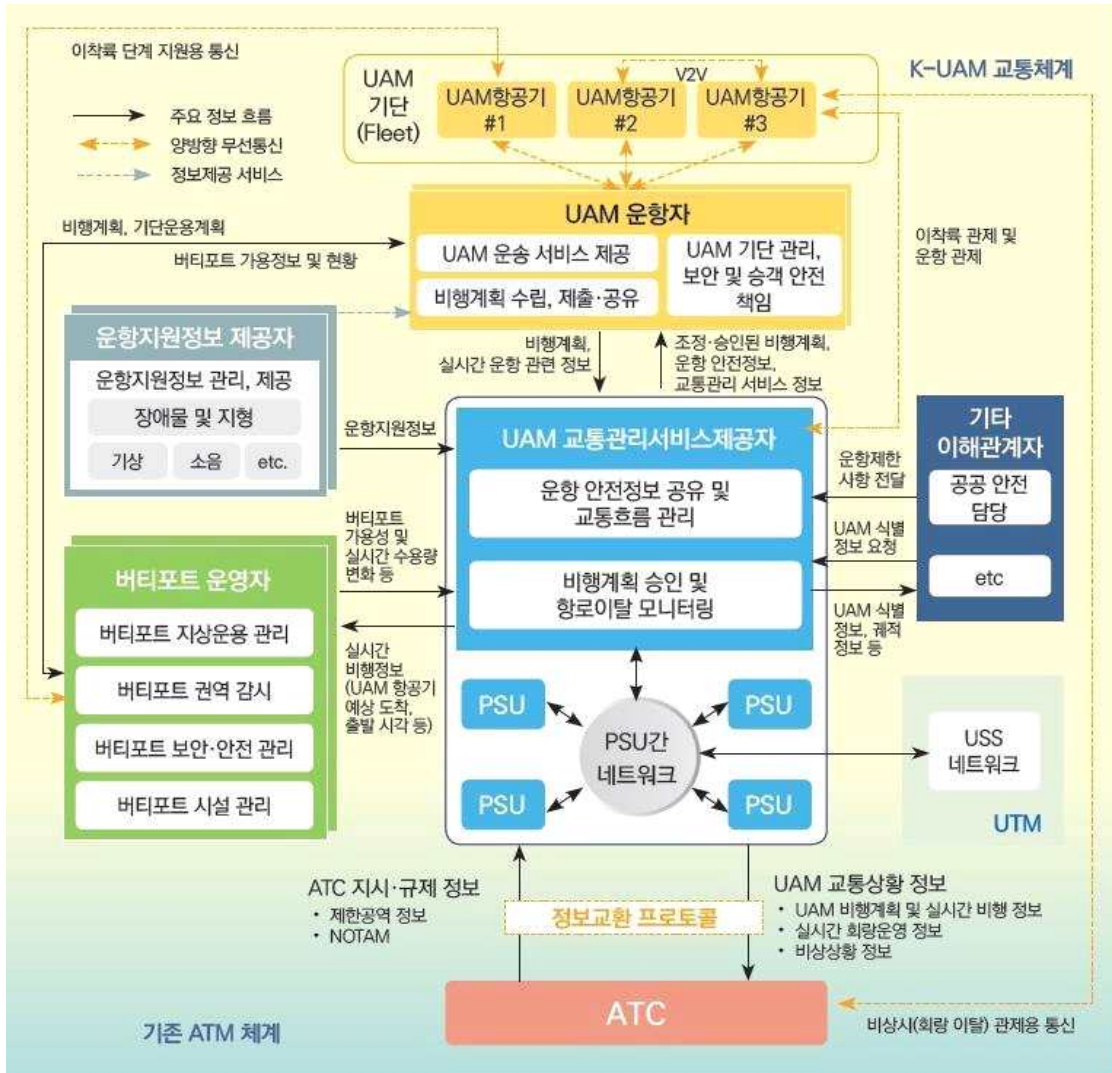
- 조종사 운용 : 무인 자율비행도입
- 교통관리체계 : UAM 교통관리체계 완전 운용 (항공교통관제사는 비상시에만 개입)
- 교통관리 : 데이터 기반 자동화 관제, 비상시 음성관제 보조
- 회랑운영방식 : 동적 회랑망(Dynamic Corridor Network) 방식
- 항공통신망 : 상용이동통신(5G, 6G), 저궤도 위성통신 및 C2 LINK 등
- 항법시스템 : 정밀위성항법 및 복합 상대항법
- 버티포트 입지 및 형태 : 전국 도심 서비스 제공을 위한 버티포트망 구축 및 운용 자동화 구현

○ K-UAM 교통체계의 구조 및 정보 흐름

K-UAM 교통체계의 구조와 각 이해관계자의 역할과 책임 수행을 위해 필요한 이해관계자 간 정보의 흐름을 설명한다. 정보 흐름에 대한 서술은 주요 정보의 제공자와 사용자 및 사용 목적을 기술하여 K-UAM 교통체계의 구조를 설명하기 위함이다. 각 이해관계자 간 공유되는 정보의 종류는 본 절에 기술된 것에 국한되지 않는다. 성능기반항법(PBN, Performance Base Navigation) 지정공역에 설정된 성능기반항행 기준(성능감시 및 경고에 관한 요건을 포함하는 항행요건). RNP 개념의 K-UAM 적용을 위해서는 유럽 EASA U-space의 RUNP (Required U-space Navigation Performance)와 같은 새로운 접근법이 필요하다.

① 초기 K-UAM 교통체계의 구조 및 실시간 정보 흐름

아래 그림은 각 이해관계자의 주요 역할과 책임이 수행되어 필요한 정보의 흐름을 나타냄으로써 초기 K-UAM 교통체계의 구조를 보여준다.



〈초기 K-UAM 교통체계의 구조〉

② UAM 교통관리서비스 제공자 중심의 주요 정보 흐름

UAM 교통관리서비스 제공자는 교통관리 서비스 제공을 위해 UAM 운항자들 뿐만 아니라 버티포트 운영자, 운항지원정보 제공자, 기상, 기타 이해관계자 및 항공교통 관제사와 각각 필요한 정보를 주고받는다. UAM 운항자는 UAM 교통관리서비스 제공자, 운항지원정보 제공자 및 버티포트 운영자로부터 운항정보(회랑가용성, 출도착지 버티포트 가용성)와 운항안전정보(기상, 제한공역 정보 등)를 확보하여 비행계획수립에 적용한다.

UAM 교통관리서비스 제공자는 이미 승인된 타 비행계획과 운항지원 정보의 종합 분석을 통해 UAM 운항자가 신규 제출한 비행계획의 안전성을 확인하여 이를 승인하거나 UAM 운항자와의 협력을 통해 비행계획을 조정한다. UAM 교통관리서비스 제공

자는 UAM 감시정보, UAM 항공기의 실시간 운항정보와 기타 국가공역시스템 사용자 정보를 종합하여 실시간 교통관리 서비스를 수행하고 필요시 이해 관계자들과 정보를 공유한다.

기타 이해관계자는 공익을 목적으로 UAM 운용정보(UAM 항공기 식별 정보와 이동 궤적 등)에 접근할 수 있다. 이러한 정보는 UAM 교통관리서비스 제공자로부터 제공된다. 공공업무를 담당하는 기타 이해관계자는 화재 진압이나 대규모 야외행사 개최 등으로 인해 공공의 안전성 확보 차원에서 특정 지역 상공에서의 UAM 운항을 일시적으로 제한할 필요가 있을 경우, 이 운항제한 사항을 UAM 교통관리서비스 제공자에게 고지한다.

UAM 교통관리서비스 제공자들 사이에는 PSU간 네트워크를 구성한다. 이를 통해 관련 정보를 공유함으로써 서로 다른 UAM 교통관리서비스를 제공받는 UAM 항공기들 사이에서 안전한 분리가 이루어질 수 있도록 실시간으로 UAM 교통을 관리해야 한다. 교통관리서비스 제공자(PSU)간 네트워크를 통해 동일 지역에서 서비스를 제공하는 UAS 교통관리서비스 제공자와 서로의 공역 사용 정보를 공유할 수 있다. PSU간 네트워크는 공유 정보의 보안유지 필요성과 공유대상·범위·수준의 형평성 등을 동시에 고려하여 운영되어야 하며, 공유된 정보들은 표준화된 방식으로 관리되어야 한다.

③ 버티포트 운영자 중심의 주요 정보 흐름

버티포트 운영자는 버티포트 가용성, UAM 항공기 운용상태, 실시간 수용량 변화, 버티포트 권역 감시현황 등의 정보를 UAM 교통 관리서비스 제공자와 UAM 운항자에게 제공한다.

이 정보는 UAM 운항자의 비행계획 수립, UAM 교통관리서비스 제공자의 비행계획 승인, 이착륙 관리 및 분리서비스 제공에 이용된다. UAM 교통관리서비스 제공자는 버티포트의 실시간 수용량 변화 정보를 수요-수용량관리에 적용함으로써 보다 효율적인 교통관리 서비스를 제공할 수 있다.

버티포트 운영자는 UAM 운항자와 UAM 교통관리서비스 제공자로부터 비행계획이나 실시간 비행 정보(예상 도착시간 등)를 제공받아 효율적인 버티포트 운영에 활용할 수 있다. 버티포트 운영자는 안전하고 효율적인 UAM 운용을 위해 버티포트 권역 내에서(이착륙 과정 포함)기장과 직접 통신할 수 있다.

④ 타 항공교통관리 체계와의 정보 공유 및 연계

항공교통관제사의 업무부담이나 기존 항공교통관리체계에 미칠 영향을 최소화하기 위해 UAM 교통관리 정보교환은 기존 항공교통관리 정보망과 분리하여 수행해야 한다. 한편 UAM 항공기의 회랑이탈과 같은 비정상상황이 발생한 경우에는 아래와 같은 절차를 고려하여 대응한다. 항공교통관제사의 지시·규제 정보(비행 제한공역, NOTAM¹⁹⁾ 등)가 UAM 교통관리서비스 제공자에게 보내지면 UAM 교통관리서비스 제공자는 해당 정보를 직접 이용하거나 UAM 운항자와 기장에게 전달한다. 불가피하게 관련 지시·규제를 이행하지 못하는 경우 UAM 교통관리서비스 제공자는 항공교통관제사에게 즉시

19) NOTice To Air Men

보고한다.

항공교통관리체계에서는 필요에 따라 UAM 교통관리서비스 제공자에게 UAM 운항 관련 정보(UAM 비행계획, 실시간 비행 정보 및 회랑정보 등)를 요청하여 획득할 수 있다.

UAM 교통관리서비스 제공자는 정보교환 프로토콜에 따라 요청받은 비상상황 정보를 보고해야 한다. 향후 이를 위한 시스템이 별도로 구현될 수 있다.

UAM 교통관리서비스 제공자는 항공교통관리에 영향을 줄 수 있는 상황이 발생할 경우, 해당정보를 항공교통관리체계에 전달한다. 항공교통관리체계에서는 해당 정보를 종합하고 필요시 지시·규제 등의 정보를 생성하여 UAM 교통관리서비스 제공자에게 전파한다.

K-UAM 교통체계는 안보상황 등을 고려하여 필요시 군 등과 정보를 교환한다.

이러한 정보교환 및 연계는 국가항행계획(NARAE, National ATM Reformation And Enhancement)과 조화롭게 추진되어야 한다.

○ 초기 상용화 회랑

- 초기 상용화 회랑은 공항 등 도심 외곽과 도심 간 이동을 위한 용도로 설계한다.
- 초기 상용화 회랑은 이해관계자와 협의하여 기존 헬기회랑을 활용할 수 있다.
- 초기 상용화 회랑은 지상고도 450±150m 내외를 기준으로 검토한다.
- 상용이동통신망을 기반으로 안정적인 정보통신 서비스가 제공되어야 하며, 항로상에서는 성능기반항법이 적용되도록 한다.
- UAM 회랑이 항공교통관리 제공 구역과 중첩되는 경우, UAM 회랑은 해당 관제 대상 구역에서 제외해야 한다.
- UAM 회랑은 기존 항공기운항에 영향이 최소화되도록 설정·운영되어야 하며, 기존 항공기가 운항하는 구역과 안전하게 분리되도록 해야 한다.



< 사례 : 한강 헬기 회랑을 이용하는 2024년 서울 도심 UAM 실증노선(안)>

제 3 장

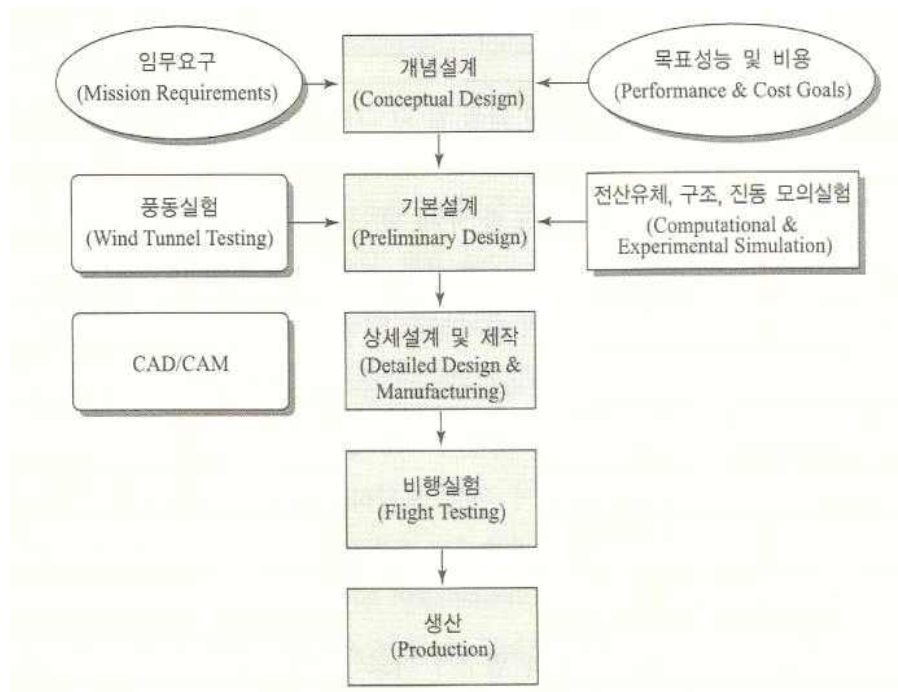
도심항공모빌리티 설계

3.1 UAM 설계 개요

○ UAM 설계과정

UAM의 기체(eVTOL)를 설계하기 위해서는 먼저 이에 대한 기초이론과 기본원리를 이해하고 새로운 개념의 무인항공기(드론)기술을 검증하는 기반 기술, 이로부터 도출되는 핵심기술과 각종 구성품 개발에 소요되는 요소기술, 각종 성능을 해석하는 해석기술, 시험평가기술, 설계된 무인항공기(드론)를 설계도면에 따라 가공 제작하여 조립하는 생산기술, 그리고 무인항공기(드론)를 정비하고 운영하는 운용유지기술 등 다양하고 폭넓은 기술들이 필요하다. 따라서 무인항공기(드론)설계자는 설계에 앞서 이러한 일련의 모든 과정을 이해하고 통찰력을 가지고 설계에 임해야 한다.

- 일반적으로 무인항공기(드론)설계라 하면 설계요구조건(Mission Requirements)의 정립으로부터 시작하여 ①개념설계(Conceptual Design), ②기본설계(Preliminary Design), ③상세설계 및 제작(Detailed Design and Manufacturing), ④ 비행시험(Flight Test and Evaluation), 그리고 마지막 생산(Production)에 이르는 일련의 설계개발과정을 거치게 된다. 이러한 일련의 과정은 다음 그림과 같다.



〈UAM 기체 설계개발과정〉

① 개념설계 단계

개념설계단계(Conceptual Design Phase)는 설계요구에 대한 연구 및 개발 가능성 연구, 수요예측 및 시장 분석, 대상 UAM기체의 형상 개념설계 및 세부계통 구성 등이 이루어지며, 사업관리를 위한 초기 계획도 아울러 수립한다. 따라서 이 단계가 가장 중요한 단계라 할 수 있다. 따라서 개념설계단계의 주요 설계업무는 설계요구도(임무요구, 운영 요구 등)정립, 개념스케치에서 시작한 형상개념설계 및 비교 분석, 개발동향 파악, 각 세부계통의 선정, 그리고 개발 무인기에 대한 체계규격의 초안과 사업관리 계획서를 수립한다. 이 결과로 다음 단계인 기본설계수행을 위한 기준형상이 선정된다.²⁰⁾²¹⁾²²⁾²³⁾

② 기본설계단계

기본설계단계(Preliminary Design Phase)는 기술적 수준을 나타내는 예비설계단계로서 기본절차는 기능분석, 기능배분, 대안분석 수행 및 최적화, 시스템 종합 그리고 각종 세부 규격서에 대한 형상을 제시하는 활동을 포함한다. 개념설계의 결과로서 주어진 기본 형상에 대한 각 계통별, 분야별 세부 분석 연구와 각 계통에 대한 세부 설계가 수행된다.

③ 상세설계 및 제작 단계

상세설계단계(Detail Design and Development Phase)는 기본설계 활동을 통하여 얻은 기준형상으로부터 관련 하드웨어 및 지원 품목들을 더욱 구체적인 형상으로 구현하는 단계를 말한다. 상세설계 단계에서는 첫째, 주 임무 장비, 시험지원 장비, 설비, 인력 및 훈련, 기술 자료, 수리 부속품 등의 자원 요소들을 하부 시스템 단위까지 세부적으로 기술한다. 둘째, 관련 규격서, 성능 분석 결과, 대안 분석 경로가 및 결과 및 예측, 세부 기술 도면 및 관련 데이터베이스 등의 모든 설계문서를 준비한다. 셋째, 각 종 컴퓨터 소프트웨어를 명확히 정의하고 이를 개발한다. 넷째, 공학모델 실험 시제 모형 및 시제품 제작, 개발하고 이에 대한 설계적합성을 입증하기 위하여 개발 시험평가(Development Test and Evaluation)를 실시한 후 이를 보완한다.²⁴⁾²⁵⁾

④ 생산단계

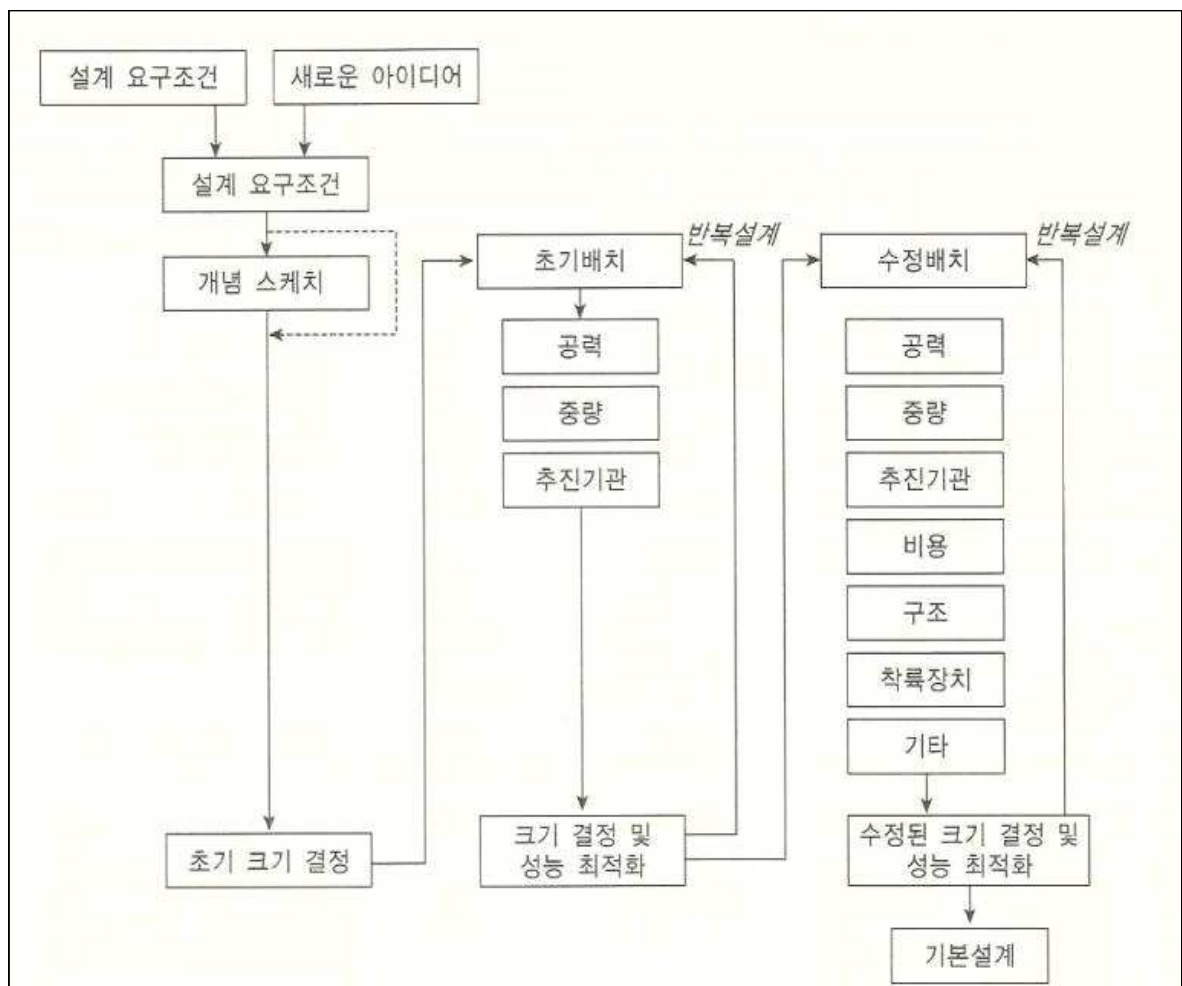
생산단계(Production and Construction Phase)에서는 기체 시스템의 양산을 위한 주 장비 및 구성품 생산 라인을 관리하고 사용자 지원 및 생산 자료를 수집 분석하는 단계를 말한다.

-
- 20) 이상곤, 고보성, 안성호, 황호연, “도심항공 모빌리티(UAM)를 위한 틸트 덕티드 팬형 eVTOL의 초기 사이징”, 한국항공운항학회, Vol. 29. No.3, Sep 2021
- 21) Alessandro Bacchini and Enrico Cestino, “ Electoric VTOL Configurations Comparison”, Aerospace 2019.6.26.; doi:10.339/aerospace 6030026
- 22) Nicholas Polaczyk, etc “ A Review of Current Technology and Research in Urban O-demand Air Mobility Applications” Vertical Flight Electric VTOL Symposium, Mesa, Arizona, UAS, Jan. 29-31,
- 23) 최원석, 이동규, 황호연, “도심항공 모빌리티(UAM)을 위한 역설계 기법을 사용한 멀티콥터형 eVTOL의 기본 개념설계”, 한국항공운항학회지, 25권 1호, pp.29-39, 2021.02
- 24) 임대진, 이관중, “전기추진 수직이착륙 항공기 인증제도에 대한 고찰”, Journal of Aerospace System Engineering Vol.15, No 3, pp 20-29, 2021
- 25) 최주원, 황창진, 석진영, “ eVTOL 항공기의 감항기술기준 적용 연구”, 한국항공우주학회지, 제 49권 제 7호, 2021.07

3.2 UAM 기체 개념설계

○ 개념설계 과정 개요

개념설계단계(Conceptual Design Phase)에서는 설계요구에 대한 연구 및 개발 가능성 연구, 수요예측 및 시장 분석, 대상 UAM(eVTOL)의 형상 개념설계 및 세부계통 구성 등이 이루어지며, 사업관리를 위한 초기 계획도 아울러 수립한다. 따라서 이 단계가 가장 중요한 단계라 할 수 있다. 개념설계단계의 주요 설계업무는 운영 요구도 정립 및 분석, 형상개념설계 및 비교 분석을 통한 각 세부계통의 선정, 그리고 개발 eVTOL에 대한 체계규격 초안과 사업관리 계획서를 수립한다. 이 결과로 다음단계인 기본설계수행을 위한 기준형상이 선정되는데 본 교재에서는 개념설계단계 위주로 기술한다. 일반적인 항공기의 개념설계과정을 따르면 UAM(eVTOL) 개념설계과정은 아래 그림과 같다.



〈UAM(eVTOL) 개념설계 과정〉

- ① 설계 요구 조건 (ROC, Requirement of Customer(Capability))
- ② 개념 스케치(Conceptual Sketch)
- ③ 초기 형상 및 크기 결정(Decision of initial configuration)
- ④ 초기 하부 시스템 배치(Initial subsystem placement)
 - 공력 예측/ • 중량 예측 / • 추진기관 선정
- ⑤ 크기결정 및 성능 최적화
- ⑥ 수정배치
 - 공력 추진/ • 중량 추정 / • 추진기관 선정 / • 비용 추정/ • 구조형식 검토
 - 착륙장치 형태
- ⑦ 수정된 크기결정 및 성능 최적화

○ 설계 요구도 작성

먼저 수요자는 임무요구(Mission Needs) 및 운영개념(Operational Concepts) 등을 명시하는 기본적인 운용요구도(Operational Requirement)를 제시해야 한다. 이러한 운영 요구도를 기준으로 설계요구도가 수립된다. 설계요구도는 수요자가 제시하는 운영 요구조건을 만족시키면서 실제 비행체 설계가 가능한 최소 조건으로 주어진다. 따라서 UAM 기체에 대한 요구사항을 설계자 입장에서 설계의 입력 자료로 구현하는 방법은 매우 중요하다. 일반적으로 UAM의 기종에 상관없이 공통 운영 요구사항은 다음과 같은 내용들이 포함된다.

- 개발하고자 하는 UAM(eVTOL)의 기능적 성능 특성과 운용특성은 무엇인가?
- 무인기는 언제 운용 가능해야 하고 기대수명은 몇 년인가?
- 운용횟수 및 사용주기는 얼마인가?
- 어떻게 전개되며 얼마나 어떤 곳에 배치되어 운용될 것인가?
- 기대 효과는 무엇인가?
- eVTOL이 노출되어 운용될 경우 온도, 습도, 진동 등은 어떠한가?
- 총 수명기간에 어떻게 정비 유지할 것인가?

이에 대한 해답은 가능성 연구, 운용 연구, 운영 요구의 개발 및 정비개념 그리고 체계규격을 준비해 나가는 과정에서 얻게 된다.

설계 요구도는 작성 사례를 중심으로 소개한다. 먼저 앞의 제 2장에서 소개한 한국형 도심 항공교통체계(K-UAM) 사례로 설계하고자하는 설계요구조건을 참고한다.

- ▷ 사례 1) 우리나라 도심항공교통체계(K-UAM)에서 개발 로드맵이나 기술로드맵 또는 운용개념서 등에 기술된 내용 중에서 운행할 기체인 eVTOL의 설계요구조건 중 비행체의 속도-거리-조종형태-교통관리체계-비행회랑-예상운임 등 만 요약하여 설계요구

도를 작성하면 다음과 같다.

< K-UAM 기체 목표설계 요구조건²⁶⁾>

요구항목	내 용
• 비행체 형태 (3개형태 중 택1)	• Vectored Thrust eVTOL • Lift+Cruise eVTOL • Wingless(multicopter) eVTOL
• 탑승 인원 수	• 4 ~ 8 명
• 순항속도	• 150 km/h ~ 300 km/h
• 항속거리	• 100 km ~ 300 km
• 기체 중량	• 3,500 kg 이하
• 기체 사이즈	• 기폭 : 8 m ~ 15 m • 기장 : 8 m ~ 15 m • 기고 : 1.5 m ~ 3 m
• 운항고도	• 300 m ~ 600 m
• 순항속도	• 150 km/h ~ 300 km/h
• 동력장치 (모터 출력 밀도)	• Only Motor-Driven (8.22 kW/kg 이상)
• 자율 비행 수준	• Autonomous Flight(Level 4 이상)
• 배터리 에너지 밀도	• 300 Wh/kg ~ 680 Wh/kg
• 배터리 에너지 용량	• 130 kWh ~ 500 kWh
• 배터리 충전율	• 1.5C ~ 5C
• 배터리 방전율	• 2.5C ~ 5C
• 배터리 충전파워	• 250 kW ~ 1MW
• 배터리 충전시간	• 3 분 ~ 8 분
• 소음(기체)	• 150m에서 70dBA ~ 60dBA
• 기상운용 조건	• Weather Tolerance ~ All weather
• 기체 예상 가격	• 7.5 억 원 ~ 15 억 원
• 탑승예상운임 (1인 1km 당)	• 1,300 원 ~ 3,000 원

▷ 사례 2) 현대자동차(Hyundai S-A1)²⁷⁾

▷비행체 요구 사양(Specifications)

- 항공기 형식(Aircraft type): eVTOL(Electric Vertical Take Off & Landing)
- 기체 조종(Piloting): 초기 조종사 1 명 탑승 차후 완전 자율비행으로 전환
- 승객(Passengers): 4인 승객용
 - 내부통로 없이 짐을 실을 수 있는 충분한 공간 확보
 - 휴대전화 사용, 인터넷 등 제공

26) K-UAM 로드맵(2020.06)

27) <https://evtol.news/hyundai-s-a1>

- 순항속도(Cruising speed): 약 290 km/h
- 항속거리(Range): 약 97 km
- 순항고도(Cruising altitude): 305~610 m
- 배터리 충전시간(Recharging time): 5~7 분
- 동력계통(Propulsion)
 - 전기모터(Electric motors): 8 개
 - 급속 충전이 가능한 7개의 고밀도 배터리
 - 양력 및 추진용 프로펠러: 각 5개를 갖는 4개의 틸트로터 프로펠러
 - 수직이륙 전용 프로펠러 : 2개 깃을 갖는 동축회전 프로펠러 4 개 세트
 - 전진비행(Forward flight)때는 4개의 프로펠러 만 사용
 - 수직이착륙 비행(VTOL flight)시는 모든 프로펠러를 사용
- 동체 및 날개구조(Fuselage/wing construction): 카본 복합재료
- 날개형태(Wing Type): 1개의 주날개 약간 전진형으로 동체 위에 부착
- 꼬리날개부분(Tail assembly): V형 꼬리날개 1 식
- 창문(Windows): 승객들이 외부를 조망하기 충분한 넓이의 창문
- 착륙장치(Landing gear): 3개의 접이 들이식 착륙장치
- 소음수준(Low noise): 내연기관을 장착한 헬리콥터 보다 상대적으로 낮은 소음을 인
여러 개의 소형로터를 사용하기 때문에 로터에서 나는 소음 및 엔진 소음을 대폭 감
소시킬 것
- 안전특성(Safety features);
 - 기체에 부착된 분산전기 추진에 의해 공급되는 동력이 다수의 로터 및 프로펠러를
구동하도록 하여 일부 시스템고장에도 안전을 높일 수 있을 것
 - 비행불능으로 추락사고가 감지되었을 경우 비상낙하산이 작동하여 치명적인
사고를 피할 수 있도록 함

○ 국내외 UAM 기체 관련 기술동향 분석

UAM기체(eVTOL)관련 국내외 기술동향을 파악한다.

- 기체형태별 기술 동향 및 장단점을 파악한다.
 - 고정익 기술 동향을 파악한다.
 - 회전익 기술동향을 파악한다.
 - : 헬리콥터형/멀티콥터형/Ducted 형/open형 기술동향
 - 혼합형 기술동향
- 이착륙형태/순항형태 기술동향 및 운영제한 사항 등을 파악한다.
- 에너지원 및 사용엔진별 기술동향을 파악한다.

설계요구 조건을 충족할 수 있는 eVTOL기체들의 충분한 데이터베이스를 통해 설계하고자 하는
후보 기체형태 등을 선정한 후 다음과 같은 분석을 수행한다.

○ 설계 임무 및 운영 요구 분석

설계 요구도를 분석하는 목적은 UAM 기체의 임무와 운용환경 등을 포함한 수요자의 필요성을 구체화 하고, 설계 기술이나 개발 비용 및 항공기 가격, 그리고 개발에 소요되는 시간과 같은 제한 사항들을 도출하여 구체화 하는 것이다. 이것은 결국 기능평가나 성능 평가 기준을 설정하여 설계 과정에 대한 효과도를 측정하기 위해서이다. 따라서 각 단계별 요구도, 즉 체계임무요구도, 기능 및 성능 요구도 순으로 분석하게 된다. 시스템 요구도 분석 기법으로는 동시공학(Concurrent Engineering)에서 주로 사용하고 있는 품질기능분석기법을 많이 사용한다. 이 기법을 사용하면 수많은 요구도와 설립인자 중에서 수요자의 요구에 가장 잘 부합하는 항목을 추출할 수 있다.

초기 설계 요구도는 설계 가능성보다는 운영요구 측면과 시장성 등을 고려하여 정립되었으므로 실제 개념설계를 진행하면서 수정 보완되어야 한다. 개념설계는 설계 전 과정을 통해서 설계결과와 설계 요구도를 비교하여, 설계방향과 설계요구도, 성능과 가격이 타협하면서 이를 정립해 나가는 과정이라 할 수 있다. 이러한 과정을 통해 개념설계가 완료 되면 설계 결과로서 기준 형상과 함께 설계 요구도가 제시된다. 이때 설계 동안의 빈번한 요구도의 수정, 변경 등을 관리, 추적하기 위하여 요구도 추적표(Requirement Traceability RTL)가 작성 유지된다.

○ 설계요구항목기술분석

UAM기체(eVTOL) 설계요구도에 내재되어 있는 기술항목들을 분석한다.

〈요구도 기술 분석 항목〉

개발 체계	요구도 수립	사회/기술 변화를 고려한 수요 분석 및 시스템 요구도 도출 기술
		인간-시스템 간 역할과 적정 자율화 운용개념(ConOps) 도출 기술
		Overall Efficiency Criterion (OEC) 도출 기술
	설계, 개발	신기술 파급 용이성을 고려한 오픈 설계 소프트웨어 플랫폼 기술
		제작, 운용상의 불확실성을 고려한 설계 및 의사결정 기술
		신기술 식별, 평가, 선택, 적용을 통한 효율적 시스템 설계 기술
		신속한 시장 접근성 확보를 위한 Rapid Prototyping 기술
		다품종 소량 제작을 고려한 플랫폼 기반의 모듈화 설계 기술
		시뮬레이션을 이용한 DB 구축 및 기계학습을 통한 성능 향상 설계
	시험평가	단일시스템, 인간-시스템, 시스템 간 상호작용의 시험평가 지표 도출
		단일시스템, 인간-시스템, 시스템간 상호작용의 시험평가 절차/환경 개발
		단일시스템, 인간-시스템, 시스템간 상호작용 반영이 가능한

		Virtual Test 환경 개발
		Virtual Test Vehicle 개발
		HILS(Hardware In Loop System), 시뮬레이터 개발
		운용성 평가 분석 도구 개발
	인증	인증 절차, 기준 개발
		윤리성을 고려한 인증 기법 개발
		다수 이종 무인이동체 협업 시스템의 인증 기법 개발
	운용	시뮬레이터 기반 조종/정비훈련 시스템
		시스템의 자율성을 고려한 운용훈련/정비 방안 도출
소프트웨어체계	기체 S/W 공통 아키텍처 기술	기체 공통 요구사항 분석 기술
		공통 아키텍처 요소 식별 및 표현
		공통 아키텍처 평가 및 개선 기술
	도메인 별 기체 S/W 제품개발 개발	개별 기체 요구사항 분석 기술
		개별 기체체 아키텍처 기술
		개별 기체 S/W 개발 기술
	기체 S/W 핵심 자산화 기술	핵심 자산 개발 기술
		핵심 자산 품질 고도화 기술
		핵심 자산 저장(Repository) 기술
	도메인 별 기체 S/W 플랫폼 기술	기체 제어를 위한 RTOS 기술
		기체체 미션응용을 위한 OS 기술
		기체 응용을 위한 미들웨어기술
	기체 S/W 프레임워크 기술	기체체 SDK 기술
		S/W 보안 및 검증 프레임워크 기술
		기체 Ui/UX 기술
		기체 S/W 조립 지원도구 기술
하드웨어체계	다기능구조	복합재 구조전지 기술
		전자부품 일체형 구조
		안테나 일체형 구조
		센서 및 작동기 일체형 구조
	신개념 재료/구조	대변형 복합재료 기술
		모핑 기술을 적용한 생체모방형 무인이동체 구조 개발
	자율진단 및 자가 치유구조	IT 기반 비파괴 구조안전 자율진단
		재료 내 함유된 복원물질 또는 외부 자극에 의한 자체복원 기술
		자가손상탐지 및 치유 융합구조 기술
	맞춤형 제작기술	복합재료 3D 프린팅 구조 개발 기술
		인공지능 기반 복합재료 최적구조설계 S/W 개발

▷ 기술적 제한 사항 분석(예시)

항목	현재수준	목표	해결방안
체공시간	20~30분	1시간 이상	- 차세대 배터리 - 전기하이브리드 엔진 - 연료전지 등의 차세대 동원력
통신거리	1~2 km	5~10 km	
통신대상	기체-조종기	기체-기체	- 1-N 통신모뎀
자율비행	알고리즘 기반	인공지능 기반	- 인공지능의 드론 적용
충돌회피	기술시현	실용화	- 영상처리기술 - 고성능 드론 프로세서 - 인공지능
대인 충돌 안전성	중량제한에 따른 위험성 완화	충돌 시 드론 스스로 회피	- 고장자체 진단 및 치유 - 고장 시 대인/대물 회피기동 - 낙하속도 저감기술
도심운행	혼잡지역 비행금지 시계 내 비행	혼잡지역 자율비행	- 도심 드론 교통관제기술 등

▷ 기술개발 전망 분석(예시)

	현재	단기	중기	장기
통신항법 관제	비표준 통신	표준 통신 및 항재밍 항법	표준 네트워크 및 비 GNSS 항법	고용량 통신, 정밀 항법 및 차세대 ATM
제어탐지 회피	조종사 외부조종 제어	자가진단 및 상황인식	자율비행 및 비행계획수립	Swarm 다중 협력제어
센서 기술	광학기반 센서	경량저발열센서	모듈러 센서	퓨전 센서
SW 응용기술	Hard Ware 기반 Avionics	IMA Avionics	S/W 기반 경량 Avionics	분산 지능형 Avionics
플랫폼 기술	경량 탄소섬유기체	복합재 3D 프린팅 기술, 다기능 구조	스마트구조	형상변형 구조
동력원기술	엔진기반 추진	디젤하이브리드	수소하이브리드	재생형 추진

▷ 타 시스템과 기술연관성 분석

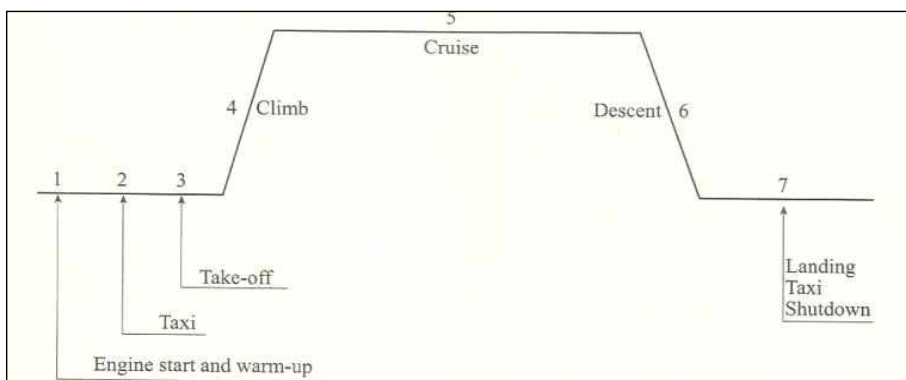
타 시스템과 연관 기술 분야		
통신항법관제	스마트 자동차	5G 이동통신
	지능형로봇	
제어탐지회피	재난안전관리 스마트 시스템	가상훈련시스템
센서 기술	지능형 반도체	맞춤형 웰니스 케어
	착용형 스마트 기기	스마트 바이오 생산시스템
SW응용 기술	지능형 사물인터넷	실감형 콘텐츠
	빅데이터	
플랫폼 기술	심해저/극한환경 해양플랜트	융복합 소재
	첨단소재가공시스템	
동력원 기술	멀티터미널 직류 송배전 시스템	초임계 CO2 발전 시스템
	신재생에너지 하이브리드 시스템	

○ eVTOL임무형상

일반적으로 개발하고자 하는 무인기는 운영요구에 따라 임무가 주어지며 임무형상(Mission Profiles)을 기준으로 개념업무 설계가 진행된다. 임무 형상에는 임무를 수행하기 위한 각 단계별 비행거리와 임무 성격이 주어진다.

- 엔진시동 및 예열 단계(Engine start and warm up phase)
- 택시 단계(Taxi phase)
- 이륙 단계(Take-off phase)
- 상승단계(Climbing phase)
- 순항비행단계(Cruise phase)
- 하강단계(Descent phase)
- 착륙단계(Landing phase)
- 택시 단계(Taxi phase)
- 엔진정지 단계(Engine shutdown phase)

이상과 같은 간단한 임무형상을 도시하면 다음과 같다.

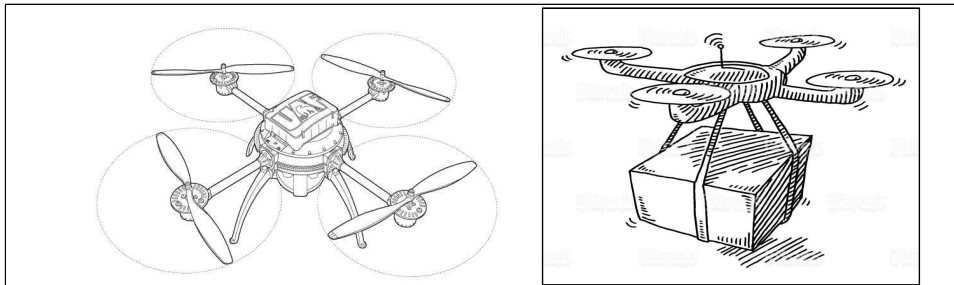


<임무형상(Mission Profiles)>

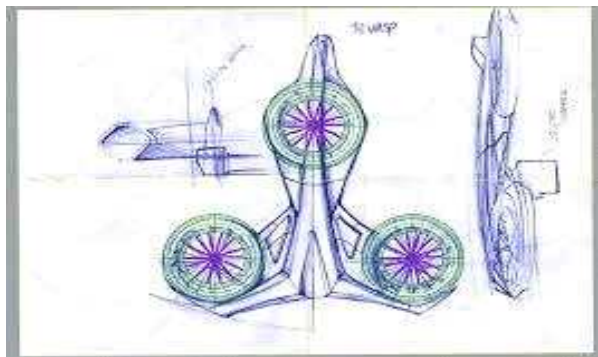
3.3 UAM 기체 개념 스케치

○ 개념 스케치 둘러보기

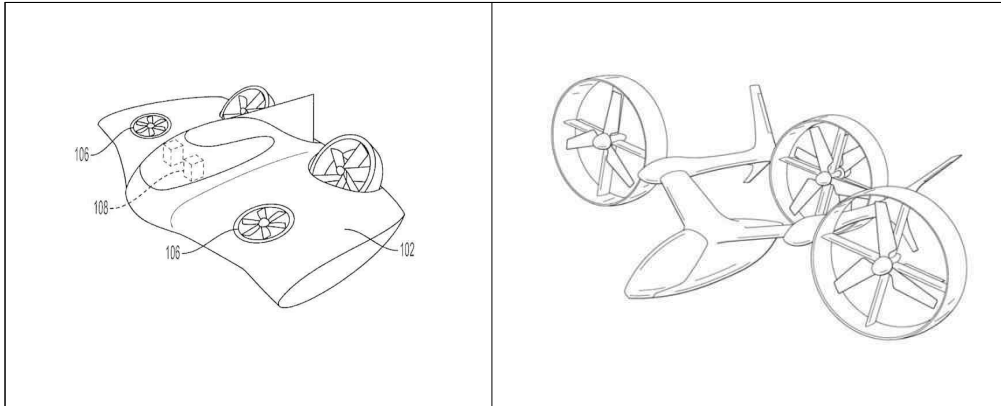
- 주어진 요구조건과 창의적인 아이디어를 바탕으로 맨 먼저 개념스케치를 한다. 개념스케치란 개략적인 형태를 그려 보는 것으로 날개, 동체 꼬리 날개 등을 개념적으로 그려 도식해 보는 것이다. 이러한 개념 스케치는 기존의 eVTOL설계 자료를 이용하여 공력해석이나 중량 예측 때 사용 되며, 이러한 예측자료는 초기 중량 추정 자료로 이용된다. 그리고 이 결과는 더욱 구체적인 외부형상 및 내부배치를 결정하는데 기초가 된다.
- 이때 어떠한 기술들이 활동할 것인가를 검토해야 한다. 만약 주어진 설계 요구조건을 충족시키는 기술 가용성을 너무 낙관하게 될 경우 그 만큼 개발 위험도는 증가한다.
- 개념 스케치할 때 위의 3가지 종류의 각 장단점을 고려하여 설계요구를 충족할 수 있는 형상을 선택하여 스케치한다.
- 기술개발 가능성 또는 개발비용 또는 개발 후 제품의 가격 및 운용비용 등도 고려한다.
- “ eVTOL directory :<https://evtol.news/aircraft>”를 방문하면 전 세계에서 개발 중인 각 형태별 다양한 eVTOL의 목록을 찾아볼 수 있다.
- 다음 그림들은 개념 스케치의 사례를 예시한 그림들이다.



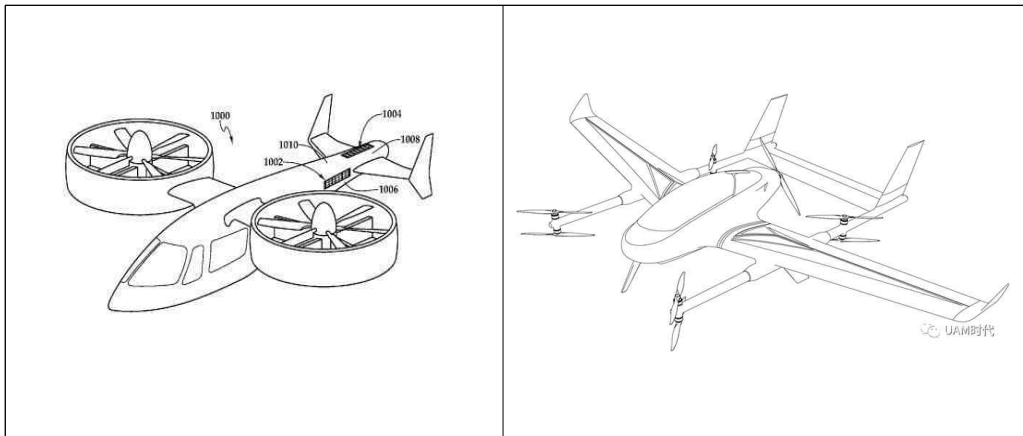
< 멀티콥터 개념 스케치>



<덕트 틸트형 개념스케치>



<Porsche-Flying Car Concept sketch> <Intel 415 Bell-eVTOL Concept sketch>



<Bell-VTOL Concept sketch> <Ehang eVTOL Concept sketch>

3.4 기체 형상 디지털모델링

- 고객요구도와 선행 사례연구 자료를 참고로 창의적 아이디어를 발휘하여 형상 개념 스케치를 다양하게 시도한 후 단계적으로 형상을 다듬어(refinement)진화시켜 나간다.
- 개념 스케치한 형상을 3차원 컴퓨터 그래픽, 즉 3차원 모델링은 특별한 소프트웨어를 이용하여 임의 물체의 표면을 디지털로 표현한다. 3차원 모델링 소프트웨어는 3차원 모델을 생성하기 위해 사용되는 3차원 컴퓨터 그래픽 소프트웨어를 말하고 이러한 각 프로그램을 모델링 응용프로그램 또는 모델러라 한다.

대부분의 3차원 모델은 크게 두 가지로 분류되는데 솔리드모델링과 쉘 모델링이 있다. 솔리드 모델링은 표현하고자하는 물체입체를 정의하기 때문에 공학이나 의학용 시뮬레이션에서 대부분 사용되고 구조적 고체형태로 만들어 진다. 쉘 모델링은 입체가 아닌 표면을 나타낸다. 그래서 쉘 모델은 게임이나 필름에서 사용하는 대부분의 가시적 모델들이 여기에 속한다.

솔리드 모델링과 쉘 모델링은 기능적으로 동일한 물체형상을 만들 수 있다. 단지 이 두 모델링 간의 차이점은 각 분야에서 사용할 때 그들이 생성되고 편집하는 방법에서 큰 차이가 있고 모델과 실물과의 묘사하는 형태에 차이가 있다.

▷ 디지털 도면 작성

- 도심항공 모빌리티는 소수의 설계자가 전체 부품을 설계하는 것이 아니라 각 전문 분야별 설계자들이 아이디어를 집약 또는 구체화시키기 위해서 상징화된 선, 기호, 문자 등을 사용하여 디지털도면을 작성해야한다. 따라서 디지털도면은 사용자가 오차 없이 정확하게 해독하여야 만 도심항공용용 기체 설계가 가능하다.

디지털도면은 일반적으로 항공기 부품 및 구성에 관련된 사항을 선, 기호, 주석 및 약어 등을 사용하여 도면에 관계된 사람들을 서로 연결해 준다. 따라서 디지털 도면은 다음과 같은 기능을 한다.

- 디지털 도면은 설계자, 제작자, 정비 작업자 등 항공기 설계개발 및 제작에 관계된 모든 사람들 사이에 약속된 하나의 규약에 의해 만들어진 설계 규격이다. 즉, 디지털 도면에 관계된 모든 사람들에게 정보를 전달하는 역할을 한다.
- 한 번 작성된 도면은 향후 재사용이나 수정을 통하여 새로운 설계의 기초 자료가 될 수 있으며, 컴퓨터 및 도면 작성 관련 소프트웨어를 이용한 정보의 저장이나 관리가 가능하다.
- 개념스케치가 머릿속에 잠재되어 있는 아이디어를 상징화된 그림형태로 표현했다면 디지털 도면은 선, 기호, 문자 등을 사용하여 집약 또는 구체화하는 기능을 수행한다.
- 디지털 도면은 항공기와 관련된 작업을 수행할 때에 모든 작업 관련자들이 필요할 때 사용할 수 있도록 정확하게 해독할 수 있어야 한다.

▷ 드론형상설계용 소프트웨어

- 현재 드론의 형상설계를 위한 다양한 CAD소프트웨어가 개발되어 있다. 항공기 제작사의 경우 자체적으로 개발한 형상설계용 소프트웨어를 보유하고 있으며 그 밖에도 범용의 CAD 소프트웨어들이 항공기의 형상설계를 위해 사용되기도 한다. 항공기 제작사에서 사용되는 항공기 형상설계 전용 CAD/CAM 소프트웨어는 다음과 같다.

- CADD: McDonnell Aircraft
- ACAD : Lockheed Martin
- NCAD/NCAL(Northrop Computer Aided Design/Lofting): Northrop
- CAD(Computer Design System): Rockwell
- CADAM(Computer Aided Design and Manufacturing): Lockheed Martin

- 한편 범용 소프트웨어는 다음과 같다.
 - Unigraphics
 - Computer Vision

- Pro Engineer
- Solidworks
- CATIA(Computer Aided Three-dimensional Interactive Application)

▷ CATIA를 이용한 드론모델링

- CATIA(Computer Aided Three-dimensional Interactive Application)는 프랑스의 항공기 제작사 다소(Dassault)사에서 개발한 형상설계를 위한 CAD프로그램이다. CATIA의 특징은 삼차원 인터랙티브한 설계가 가능하다. 즉 생산 중에 실제로 볼 수 없는 배선의 구성이나 항공기 내부의 구조적 문제점을 삼차원 모델에 직접 물성치를 적용함으로써 구조에 작용하는 응력이나 공기역학적 실험을 DMU(Digital Mock-Up)를 통해 가능하게 한다. 각 부품을 디지털화하여 양산에 이르기 까지 필요한 요소를 미리 조립하여 보고 부품사이의 간섭을 방지할 수 있으며 또한 이를 데이터베이스화함으로써 손쉽게 모든 공정을 관리할 수 있는 강력한 기능을 가지고 있다.
- CATIA에는 사용자가 설계하는 작업내용이 담겨있는 여러 종류의 도큐먼트가 있는데 작업의 종류에 따라 ① CATPart, ② CATProduct, ③CATDrawing, ④CATAnalysis 등의 도큐먼트가 있다.

① CATPart

Part 도큐먼트는 기본적인 3차원 형상 정보를 기록하는데 사용한다. 여기서 3차원 형상정보란 공간상의 2차원 프로파일 및 3차원 솔리드 형상, 3차원 곡면 형상, 각 Behavior기반의 모델링 형상들을 의미한다. 모든 형상정보들은 이 Part 도큐먼트에 의해 생성-기록-저장된다. 또한 작업자는 CATIA의 Part 도큐먼트에서 외부 파일 형식이나 IGES, STEP과 같은 중립 파일을 이용할 때도 사용할 수 있다.

② CATProduct

CATProduct는 CATIA에서 Part 도큐먼트 다음으로 활용도가 높은 도큐먼트 형식으로 하위 컴포넌트들을 사용하여 전체 조립 형상의 구현 및 조립 작업, 조립 검사, Digital Mock Up 구현, 렌더링 등의 작업을 저장한다.

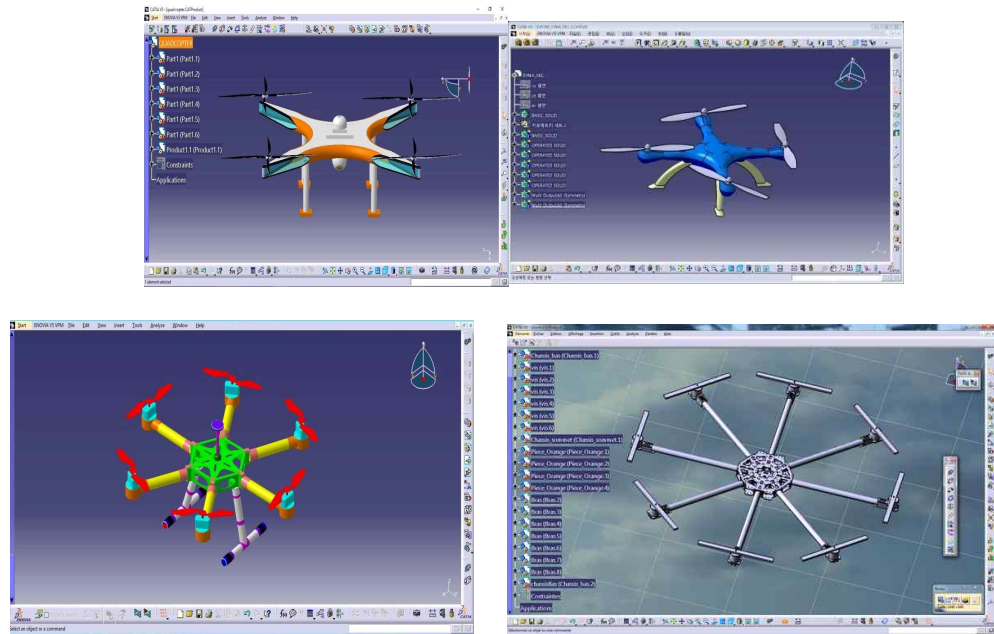
③ CATDrawing

CATIA에서 2차원 도면데이터를 만들거나 불러오고자 할 경우 사용하는 도큐먼트다. 3차원 단품 또는 조립 형상의 2차원 도면생성이나 외부 도면파일 형식인 DWG나 DXF파일 형식의 2차원 데이터를 불러오는데 사용한다.

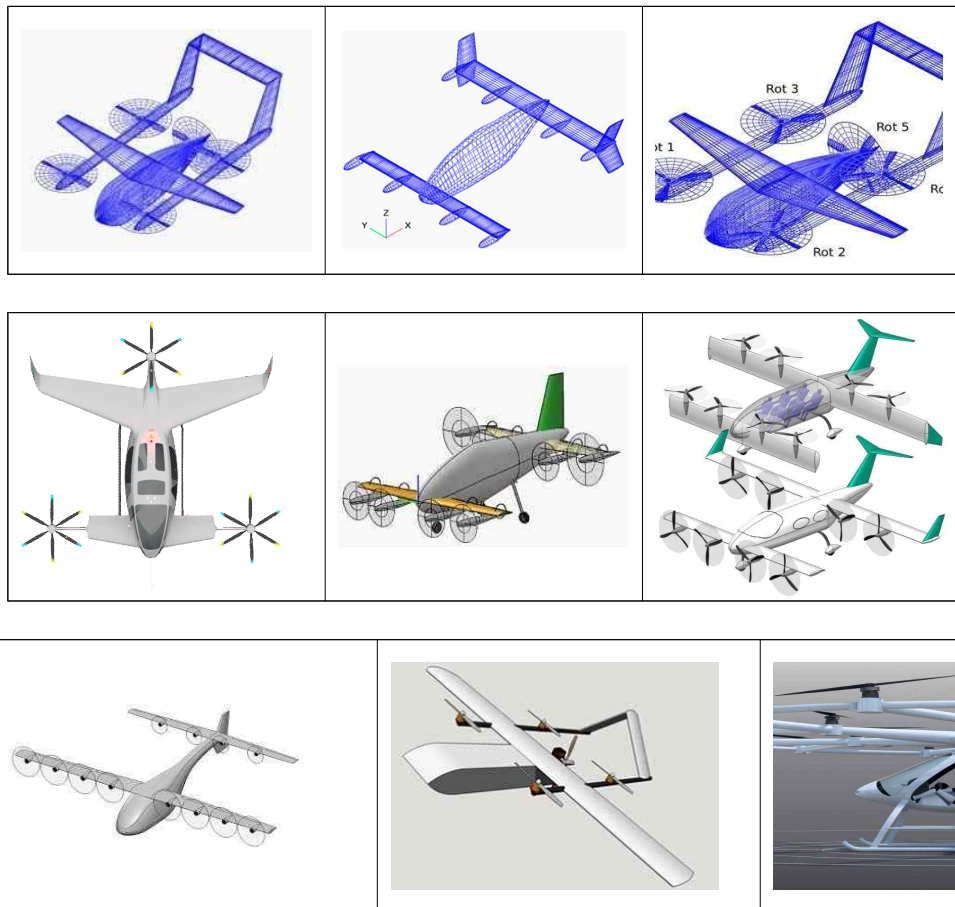
- CATIA를 이용한 멀티컴퓨터 드론 모델링 예시²⁸⁾²⁹⁾

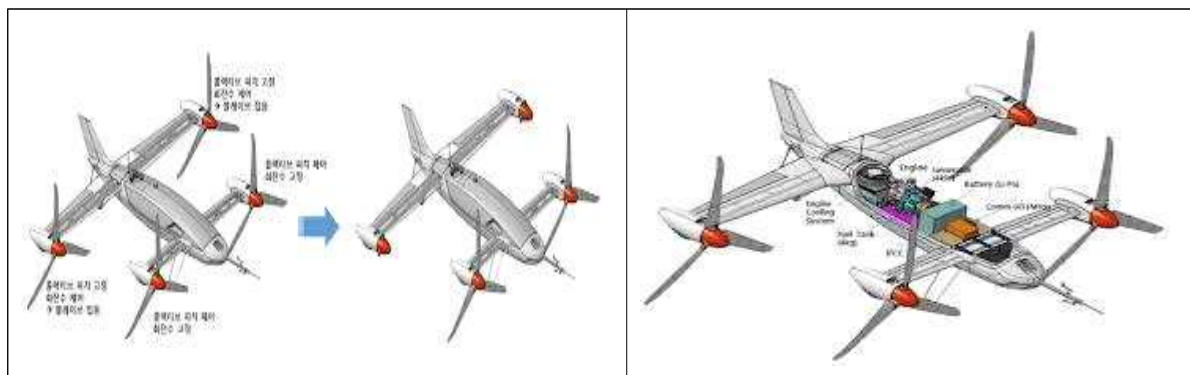
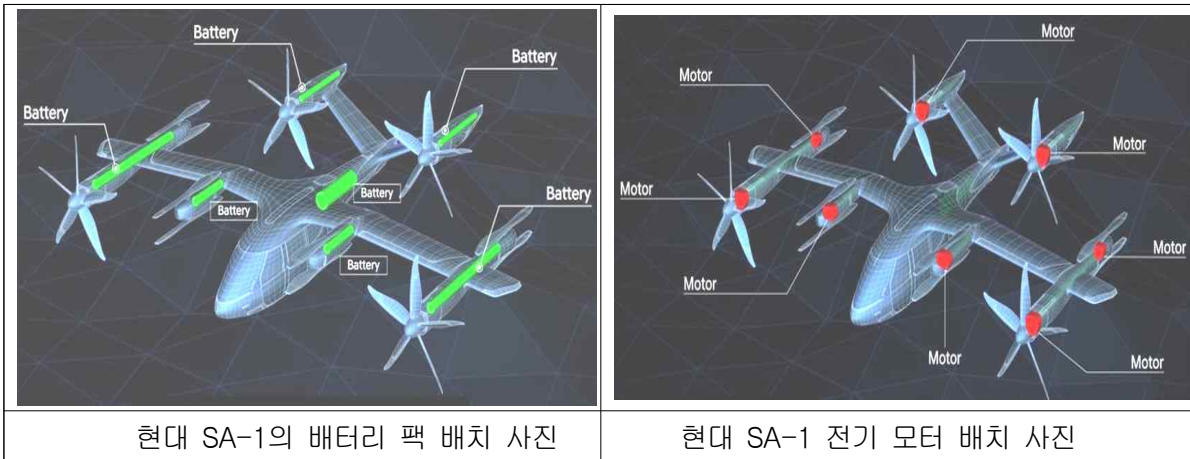
28) <https://academy.3ds.com/en/projects/drone-design-using-catia-v5>

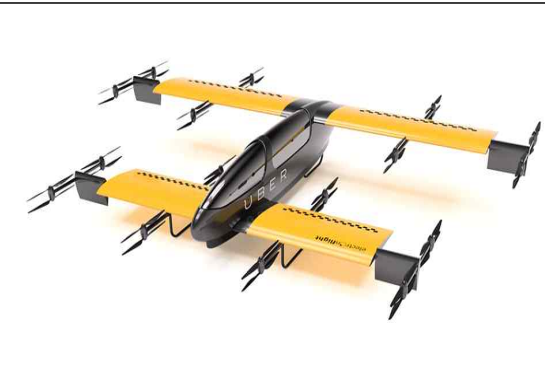
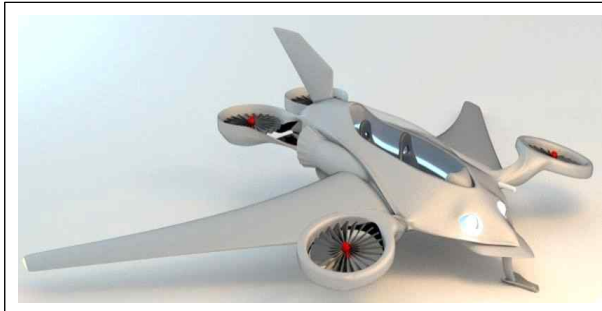
29) :<https://www.google.co.kr/search?q=CATIA+3D+modeling+drone&tbm>



- Mesh type digital model

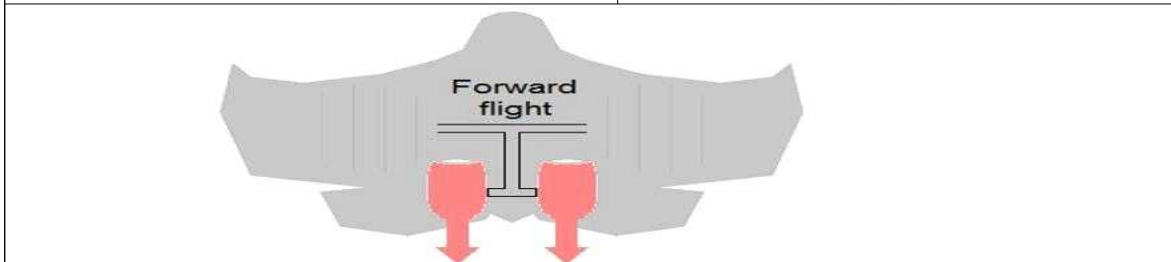
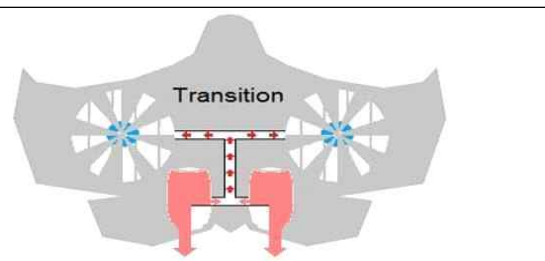
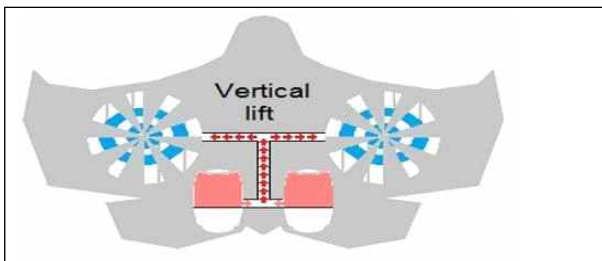




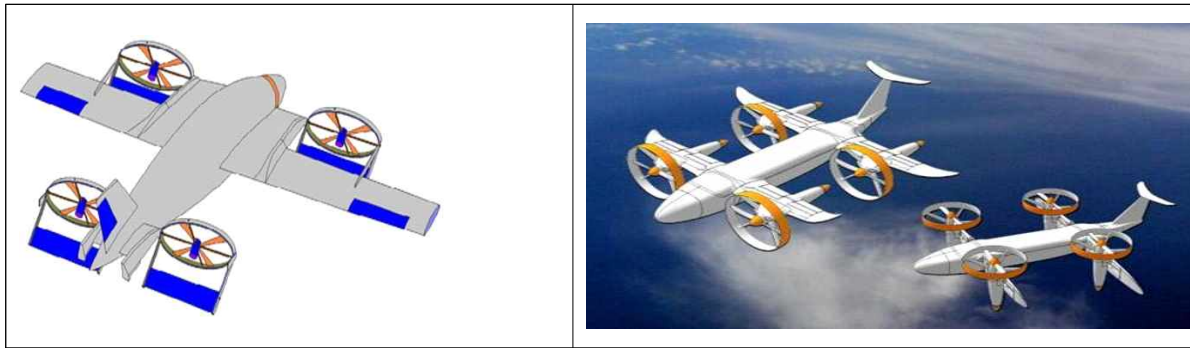


Airbus eVTOL

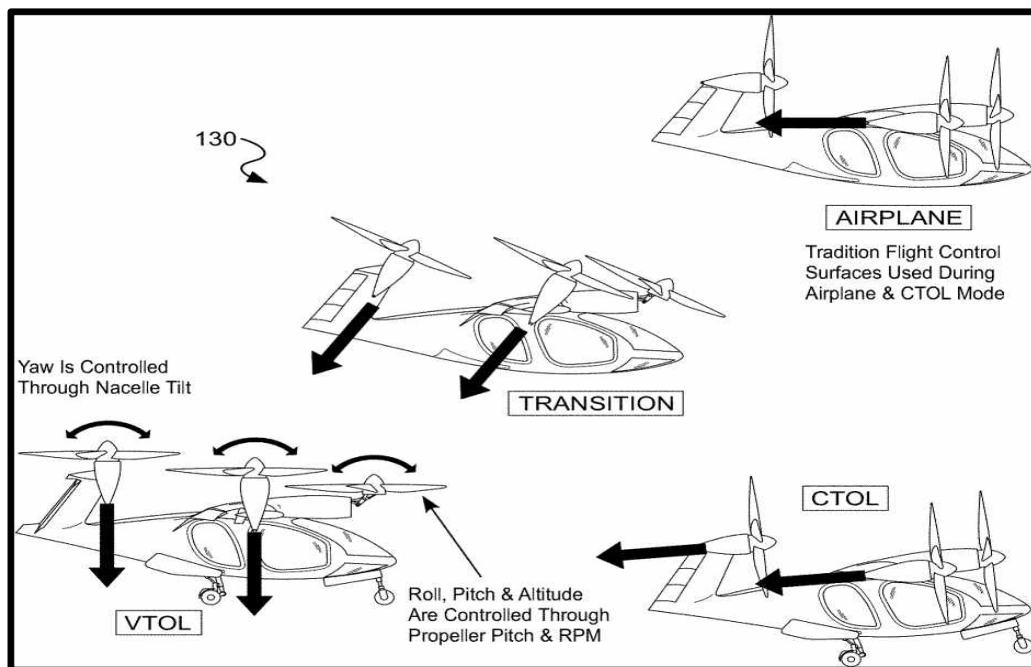
Uber eVTOL

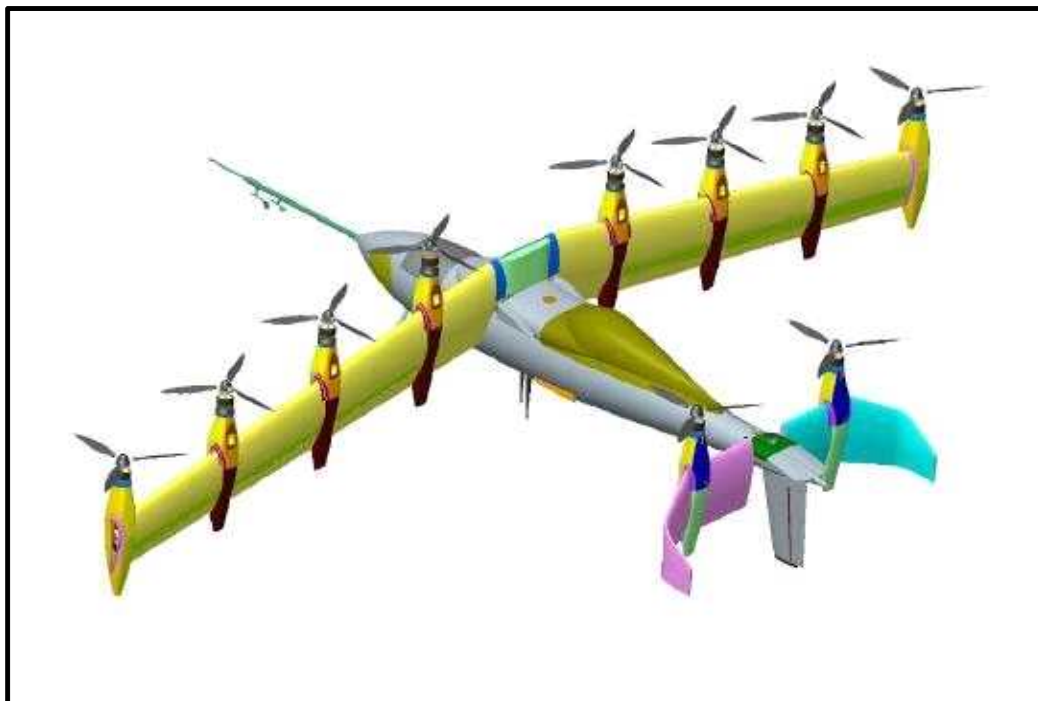
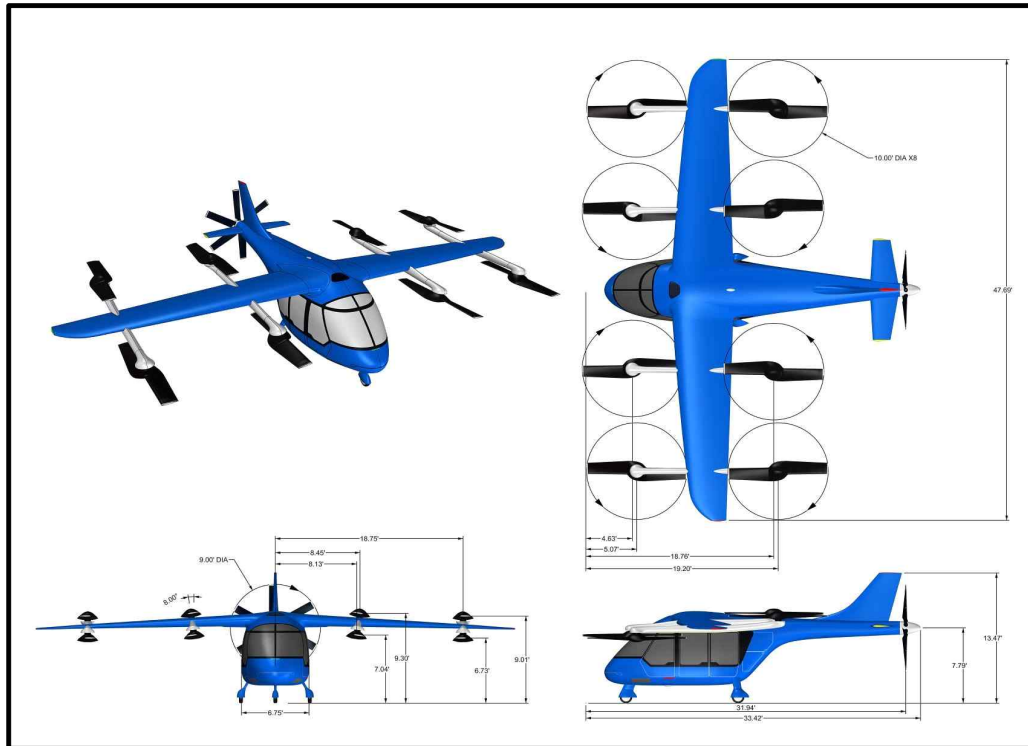


- Tiltrotor(duct type) 형 eVTOL 형상 모델링

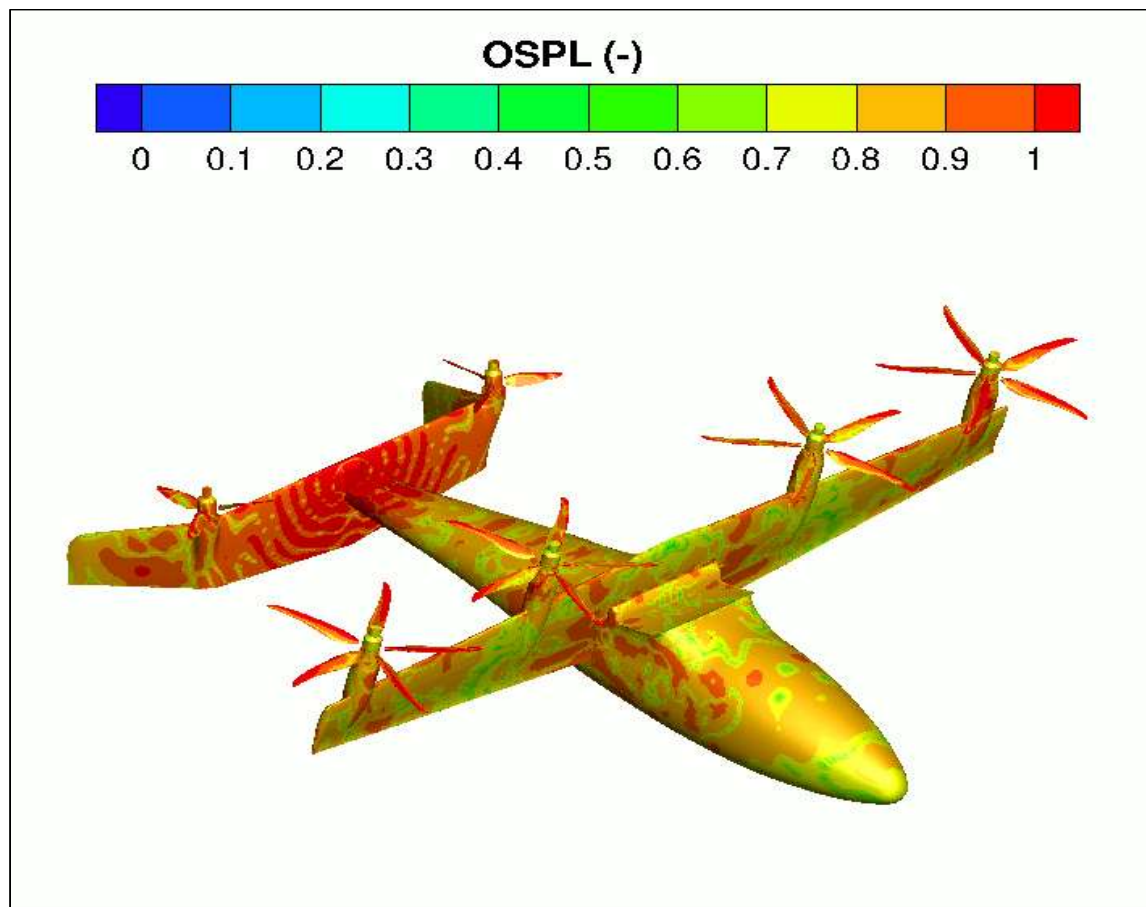
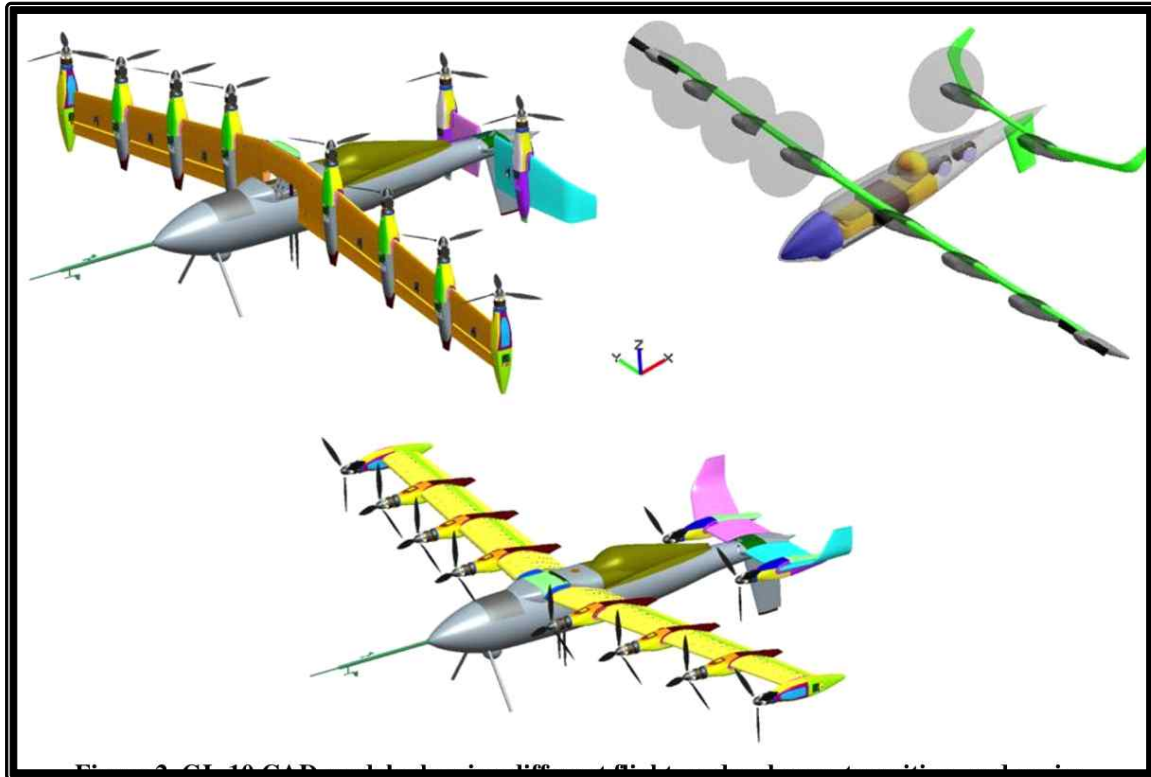


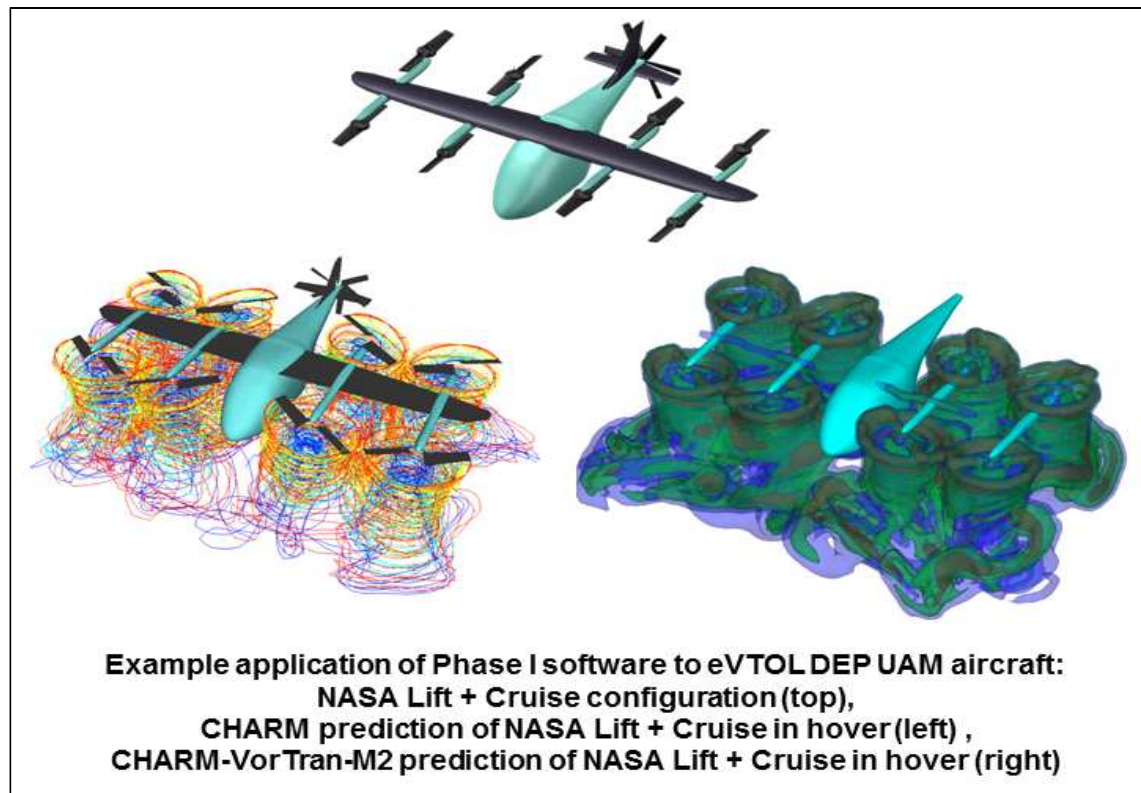
< Tiltrotor(propeller type) 형 eVTOL 형상 모델링 >





〈NASA GL-10- VTOL〉





- Vertical Aerospace VA-X4





- 일본 혼다 eVTOL

<https://robbreport.com/motors/aviation/honda-evtol-sector-hybrid-aircraft-1>



A prototype will be operational by 2023,
but Honda doesn't expect to certify the VTOL until 2030.

• 한국 (PLANA) - 틸트로터 여섯 개로 수직이착륙을 구현하는 HEV 파워트레인 기체는 터빈발전기·배터리·인터버·모터 등을 장착해 운항거리 최대 500km, 최고속도 시속 350kph, 계기비행 3km 이하 순항고도를 목표로 하고 있다. 플라나는 올해 내로 3m급 시제품을 띄우고, 내년 8m급 서브 스케일 시험비행을 진행할 예정이다. 6명이 탈 수 있는 15m급 풀 스케일은 2025년까지 만들 계획이며, 2026년 양산체계 구축 돌입, 나스닥 기업공개(IPO)와 함께 기체 계약 500대 이상을 따낼 계획이다. 상용화 시점은 2028년이다.

출처: <https://www.mk.co.kr/news/business/view/2022/02/182374/>



3.5 UAM(eVTOL) 중량 추정

○ 항공기 중량 영향 요소

항공기의 비행성능은 총중량에 의해서 많은 영향을 받는다. 항공기의 무게의 영향요소들은 다음과 같다.

- 높은 이륙속도가 요구된다.
- 이륙거리가 길어진다.
- 상승률이 감소한다.
- 최대상승고도가 낮아진다.
- 항속거리가 짧아진다.
- 순항속도가 낮아진다.
- 기동비행성능이 떨어진다.
- 실속속도가 높아진다.
- 착륙속도가 높아진다.
- 착륙거리가 길어진다.
- 익면하중(wing loading)이 커진다.

○ 중량 구분

① 제작사 공허 중량(Manufacture's Empty Weight)

기체구조, 추진장치, 고정장비 및 특수형태 무인기에 포함된 장비 등의 중량과 기타 무인항공기 기내의 배출 불가능한 액체 등을 포함한 무인기 구조 중량을 말한다.

② 운용 공허 중량(Operational Empty Weight)

제작 시 공허 중량에 기본항목인 사용 불가능한 연료및 엔진 오일, 비상장비, 등의 구조물을 포함한다.

③ 최대 활주중량(Maximum Taxi Weight)

전인 없이 자체 이동하는 지상활주동안 시동 후 대기상태 동안에 소모된 연료의 감소분을 고려하지 않은 연료 중량과 유효탑재 하중을 모두 포함한 기체의 최대 중량이다.

④ 최대 이륙 중량(Maximum Takeoff Gross Weight)

활주로에서 이륙하기 위해 브레이크 제동을 제거하는 시점까지 지상 활주와 시동 후 엔진 대기 상태 동안 소모된 연료를 제외한 연료와 최대 유효 탑재하중을 포함하는 기체의 중량으로 정의된다.

⑤ 최대 비행중량(Maximum Flight Weight)

eVTOL기체의 강도 또는 감항성 요구조건으로 제한된 비행 조건을 만족할 수 있는 최대 중량이다.

⑥ 최대 착륙 중량(Maximum Landing Weight)

eVTOL의 강도나 인증 규정에 의해 제한되는 착륙조건을 만족할 수 있는 최대 중량이다.

○ 주요 구성 부품별 중량 구분

eVTOL 형상설계단계에서는 주로 주요 구성 부품별 중량 요약서(Summary Group Weight Statement)를 사용한다. 실제 항공기의 설계중량은 공허중량(Empty Weight)과 유효탑재하중(Useful Load)의 합으로 구성되며, 공허중량은 기체구조 그룹, 고정장착장비그룹 등으로 분류한다.

① 기체구조그룹(Airframe Structure Group)

날개, 꼬리날개, 동체, 착륙장치, 조종면, 나셀이나 엔진 마운트 등이다.

② 추진장치 그룹(Propulsion Group)

추진장치, 프로펠러 계통, 배기 및 냉각계통, 시동시스템 등

③ 고정장착장비 그룹(Fixed Equipment Group)

조종계통, 계기계통, 보조동력계통, 유공압 계통, 전기계통, 공기조화 등

④ 유효탑재하중 그룹(Useful Load Group)

사용 불가능한 연료, 운할유 등

○ 중량 추정법

항공기 설계과정에서 무게 또는 중량에 대한 예측은 비행하는 항공기 특성 상 매우 중요한 부분이다. 중량해석에는 그 정확도에 따라 여러 가지 수준으로 구분된다. 특히 초기 사 이에 사용되는 방법은 매우 간단한 방법이므로 이 보다 더 정확한 중량예측을 하려면 실제무인기의 제원에 근접하도록 하는 것이 필요하다. 중량해석은 현재까지 개발 운용되는 무인항공기자료를 기초로 하여 데이터 베이스를 만든 후 성능, 형상, 그리고 이륙 중량 등에 대해서 모델링을 통한 통계적 계산식을 만들어 이용한다. 이러한 방식은 주로 무인기의 전체 중량으로부터 지수형태로 각 부분이 차지하는 중량을 통계적으로 예측하는 식을 사용하여 계산한다. 따라서 무인항공기 중량 추정에는 부분별 근사적인 중량추정방법과 통계적인 중량추정방법이 있다. 근사적 중량 추정방법에는 과거 무인항공기의 중량특성 데이터를 기본으로 하여 날개와 꼬리날개의 중량은 날개의 단위 노출면적 당 중량 값에 해당하는 면적을 곱하여 구하고 동체의 중량은 동체의 단위 외부 면적당 중량 값에 외부면적을 곱하여 구할 수 있다. 착륙장치는 최대 이륙중량에 대한 비율로 계산하고 장착 엔진의 중량은 엔진 자체의 중량에 특정 상수를 곱하여 구한다. 그리고 공허 중량에 대한 나머지 부분에 대한 중량은 이륙 중량의 몇 %에 해당된다고 가정하여 구한다.

① 설계 총 이륙중량 추정

설계이륙중량(W_o)은 주어진 임무수행을 위한 이륙 시 무인항공기 전체 중량으로써 무인항공기 개념 설계의 초기단계에서 설정된 설계요구에 따른 임무 사항을 고려하여 무인항공기 전체 크기를 결정하는 설계변수이다.

$$W_o = W_{payload} + W_{fuel} + W_{empty}$$

전체 설계이륙중량(W_o)은 유상하중($W_{payload}$), 연료중량(W_{fuel}), 그리고 공허중량(W_{empty})이다. 이중 유상하중은 설계요구사항으로부터 주어진 중량이고 결정되어야 할 미지수는 연료중량과 공허중량이다. 공허중량이란 구조물, 엔진, 착륙장치, 고정장비(fixed equipment) 및 전자장비의 중량이다. 즉 유상하중과 연료중량을 제외한 기타 중량을 포함한다.

연료중량과 공허중량은 설계 이륙중량의 함수이므로 설계이륙중량(W_o)의 결정은 반복계산의 과정을 거친다. 계산의 편리함을 위하여 연료중량 및 공허중량을 이륙중량의 비로 나타낸다.

$$W_o = W_{payload} + \left(\frac{W_{fuel}}{W_o} \right) W_o + \left(\frac{W_{empty}}{W_o} \right) W_o$$

$$W_o = \frac{W_{payload}}{1 - \left(\frac{W_{fuel}}{W_o} \right) - \left(\frac{W_{empty}}{W_o} \right)}$$

② 공허중량 추정

설계이륙 총중량에 대한 공허중량 $\left(\frac{W_{empty}}{W_o} \right)$ 의 값은 0.6~0.7 사이의 값을 가진다.

공허중량 $\left(\frac{W_{empty}}{W_o} \right)$ 의 값을 통계적인 경향을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\left(\frac{W_{empty}}{W_o} \right) = A W_o^C K_{VS}$$

여기서 K_{VS} =variable sweep constant로 고정 뒤처짐 각이면 1.0 이고 A와 C 값은 다음 값으로 추정한다.

$$A=0.91\sim0.99, C=(-0.09)\sim(-0.12)$$

③ 연료 중량비 추정

전체연료의 중량비는 임무중량비($1 - \frac{W_x}{W_o}$)에 예비연료와 간힌 연료로 16%를 고려하면

전체 연료 중량비는 다음과 같이 구한다.

$$\frac{W_f}{W_o} = 1.16 \left(1 - \frac{W_x}{W_o} \right)$$

이상과 같은 설계이륙중량은 반복계산을 수행하여 계산한다.
단, 동력원이 배터리인 경우 배터리 중량비는 30%(20%~40%)정도이다

○ 각 구성부분별 중량 추정

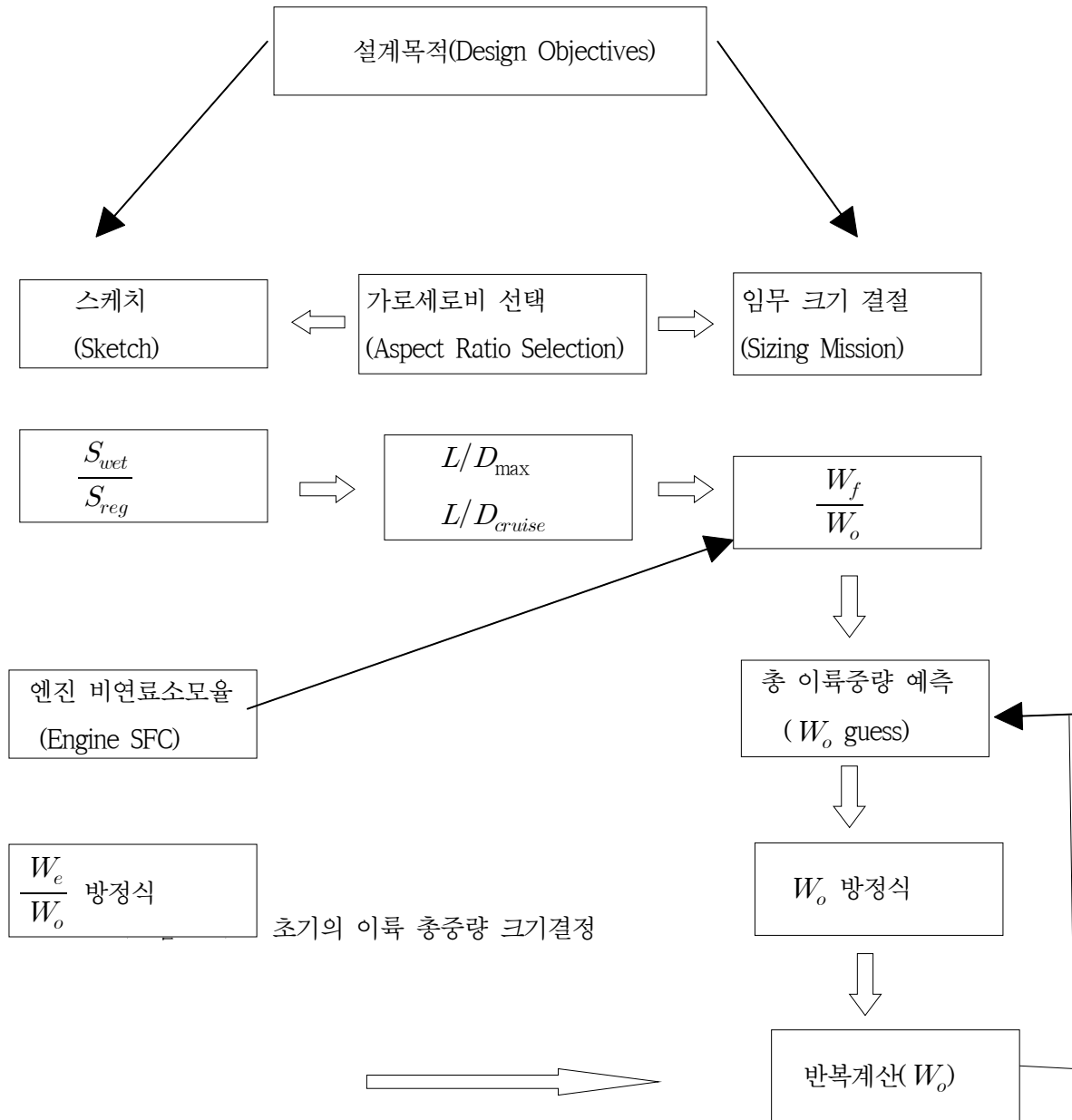
각 구성부분별 중량 추정은 무인기의 다음 구성품등의 중량 추정의 합이다.

- 날개의 중량 추정
- 수평꼬리날개의 중량 추정
- 수직꼬리날개의 중량 추정
- 동체의 중량 추정
- 주 착륙장치의 중량 추정
- 보조 착륙장치의 중량 추정
- 기타 주요 중량에 대한 추정

▷ 설계이륙 총 중량을 예측

- 공허 중량 추정
- 연료 중량 추정
 - (1) 설계임무 형상 분석
 - (2) 단위임무 및 중량비 분석
 - (3) 비연료 소모율의 추정
 - (4) 양항비 추정
 - (5) 연료중량비의 산출

○ 설계이륙 총중량 선정 절차



※자료참조: 항공기 설계연구회, “항공기 개념설계”, 경문사, 2009년 12월, 47 쪽

○ 중량 데이터 베이스

익면하중(wing load)과 추력 대 중량 비는 항공기의 성능을 결정하는데 가장 중요한 값으로 이 두 값은 모두 중요한 설계변수가 된다. 설계가 구체화됨에 따라 두 변수의 최적화된 값을 결정하는 일은 초기 외형설계와 초기 내부 설계가 진행된 후 수행되는 해석적 설계의 가장 핵심적인 부분이 된다. 그러나 현재의 설계 단계는 세부적인 설계 작업이 수행되지 않은 상태로 기 결정된 설계요구 사항을 고려하여 익면하중과 추력 대 중량 비를 결정하는 것은 바로 설계대상 무인항공기의 설계 점을 선정하는 작업이다.

익면하중과 추력 대 중량 비에 총 이륙중량을 곱하면 무인항공기의 날개면적과 필요한 추력이 결정되고, 그 다음의 설계 작업은 형상설계로 넘어 간다. 따라서 익면하중과 추력 대 중량 비를 결정하는 것은 무인항공기 크기 결정에 매우 중요한 일로 여기서의 시행착오는 전체설계과정의 시행착오로 이어진다.

상호간에 영향을 미치는 익면하중과 추력 대 중량비의 여러 가지 설계 요구사항을 만족시키다 보면 상충되는 경우가 발생하므로 모든 설계 요구사항을 만족시키는 익면하중과 추력 대 중량 비 값의 결정은 최적화 과정을 거쳐야 한다.

이러한 과정에서 익면하중보다는 추력 대 중량비가 통계 값에 잘 부합하므로 추력대 중량 비를 먼저 선정하고, 여러 설계요구 조건사항을 만족하는 익면하중을 구한 후 추력 대 중량 비를 재 계산하는 절차를 밟는 것이 보다 효율적이다.

① 추력 대 중량 비 선정 시 고려사항

• 추력 대 중량비의 정의

추력 대 중량 비(T/W: Thrust/Weight ratio)란 표준 대기, 해면고도, 정적상태 (static state), 최대출력 상태의 추력에 대한 이륙시의 무게의 비이며 기준점이 이와 다른 경우 중량 및 추력의 비를 고려해야 한다.

• 동력하중 및 중량 당 추력비

추력 대 중량 비는 제트엔진을 추진 장치로 채택하는 무인기에 해당하며, 프로펠러장착 무인기의 경우 무인항공기 중량을 엔진의 마력으로 나눈 값인 동력하중(power loading)이 전통적으로 사용되어 왔으며 대략적인 값은 10~15이다. 그러나 이는 추력 대 중량비와 역의 관계에 있어 혼동하기 쉬우므로 이를 등가의 추력 대 중량비로 환산하면 다음과 같다.

$$\frac{T}{W} = \left(\frac{550\eta_p}{V} \right) \left(\frac{h_p}{W} \right)$$

여기서 $\frac{h_p}{W}$ 는 중량당 마력비로 동력하중의 역수이다. 따라서 추력 대 중량 비는 프로펠러의 중량당 마력비를 포함한다.

② 순항조건에 의한 추력 대 중량비의 통계적 추정

순항조건의 무인기는 추력(T: Thrust)과 항력(D: Drag)이 같고, 양력(L: Lift)과 중량(W: Weight)이 같으므로 추력 대 중량 비는 양항비의 역수가 된다. 즉,

$$L=W, T=D$$

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L, \quad D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_D$$

$$\left(\frac{T}{W} \right)_{cruise} = \frac{1}{(L/D)_{cruise}}$$

○ 익면하중 추정

초기 설계단계에서 익면하중이란 이륙조건을 의미하며 이착륙 거리, 상승률, 선회 및 실속 등 무인항공기의 여러 성능에 직접 적인 영향을 미친다. 이는 무인항공기의 설계양력 계수를 결정하며 표면면적 및 날개 스패를 결정하여 무인항공기의 항력에 영향을 미친다. 앞에서 구한 무력대 중량비를 이용하여 여러 성능 요구조건을 만족하는지 검토하는데 이때 날개에서 충분한 양력을 확보하기 위해서 되도록 낮은 익면하중을 선정하는 것이 바람직하다. 이 과정을 거치면서 앞에서 구한 추력 대 중량비를 일차 검증하는 과정을 따르게 된다. 통상적인 익면하중은 무인항공기의 경우 10 lb/ft^2 로 추정한다.

① 실속속도

실속상태의 무인항공기는 등속수평상태($L=W$)의 최대 양력계수상태에서 비행한다.

이 조건으로부터 익면하중은 다음 식에 의해서 구한다.

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_L = W, \quad \frac{W}{S} = \frac{1}{2} \rho V_{stall}^2 C_{L_{max}}$$

이 식에서 실속 속도는 규정에 의해 정해지므로 남은 것은 최대양력계수 ($C_{L_{max}}$)의 결정이다. 최대 양력계수는 날개의 기하학적인 형상, 에어포일의 종류, 레이놀즈수, 표면의 거칠기, 그리고 동체의 간섭효과 등에 의해서 결정된다. 또한 프로펠러 후류 속에서 날개가 놓인 경우 최대양력계수는 변하게 된다. 통상적인 최대양력계수는 1.2~1.5 사이의 값으로 선정한다.

② 추력 대 중량비 및 익면하중의 선정

무인항공기 개념설계의 초기단계에서 무인항공기의 크기 결정을 위해 추력 대 중량비 (또는 추력 대 마력 비)를 먼저 선정하고, 설계요구 사항으로부터 실속속도, 이륙거리, 착륙 거리, 순항, 로이더, 선회, 상승 및 하강 그리고 상승한계를 고려하여 익면하중을 고려하여 결정한다. 이렇게 하여 정한 익면하중 중 가장 낮은 값을 일단 선정하여 검토하는데 낮은 익면하중은 항상 무인항공기 중량 및 비용의 증가를 초래한다. 어떤 임무 요구 사항에 의해 익면하중이 과도하게 작은 경우 설계의 가정 사항을 변경하여 익면하중을 크게 할 수 있다. 적절한 익면하중이 설정되면 추력 대 중량비를 역산하는 과정을 거쳐 두 가지 설계변수가 만족하면 크기 결정을 위한 다음 단계로 넘어 간다.

③ 날개면적 및 엔진크기의 초기 추정

엔진의 사이징은 크기와 추력이 정해진 이미 존재하는 엔진을 이용하여 결정하는 방법과 크기와 추력을 임의로 할 수 있는 가상엔진(rudder engine)을 가정하여 결정하는 두 가지 방법이 있다.

첫째 방법은 설계요구사항을 만족하는 추력 대 중량비가 결정되고, 요구성능과 항속거리에 따라 이륙 총중량이 정해지면 추력의 크기도 결정된다. 엔진크기와 추력이 고정되므로 요구성능과 항속 거리가 가변적이다. 만약 항속거리가 가변적이라면 사이징 문제는 간단해 진다. 즉 주어진 엔진 자료를 이용하여 요구되는 모든 성능을 만족하는 이륙 시 추력 대 중량비가 결정되면 설계 이륙 중량은 이것으로 나누어 결정한다.

$$W_o = \frac{\text{엔진수} \times \text{엔진1개당의 추력}}{(T/W)}$$

[참고문헌]

1. 이상곤, 고보성, 안성호, 황호연, “도심항공 모빌리티(UAM)를 위한 틸트 덕티드 팬형 eVTOL의 초기 사이징”, 한국항공운항학회, Vol. 29. No.3, Sep 2021
2. Alessandro Bacchini and Enrico Cestino, “ Electoric VTOL Configurations Comparison”, Aerospace 2019.6.26.; doi:10.339/aerospace 6030026
3. Nicholas Polaczyk, etc “ A Review of Current Technology and Research in Urban O-demand Air Mobility Applications” Vertical Flight Electric VTOL Symposium, Mesa, Arizona, UAS, Jan. 29-31
4. 최원석, 이동규, 황호연, “도심항공 모빌리티(UAM)을 위한 역설계 기법을 사용한 멀티콥터형 eVTOL의 기본 개념설계”, 한국항공운항학회지, 25권 1호, pp.29-39, 2021.02
5. 임대진, 이관중, “전기추진 수직이착륙 항공기 인증제도에 대한 고찰”, Journal of Aerospace System Engineering Vol.15, No 3, pp 20-29, 2021
6. 최주원, 황창진, 석진영, “ eVTOL 항공기의 감항기술기준 적용 연구”, 한국항공우주학회지, 제 49권 제 7호, 2021.07
7. 김근배, 이보화, “ 쿼드-틸트프롭 하이브리드 동력시스템 설계”, 한국추진공학회 2017년 춘계학술 논문집 pp.1196~1199, 2017
8. 김재무, “틸트 항공기 개발의 역사적 교훈 및 고성능 수직이착륙 무인기 개발 방향”, 한국우주산업 기술동향 제15권 2호 pp.3-11, 2017
9. 한동기, 장재원, “ 분산전기 추진 시스템을 위한 ARINC 825 분석”, 한국우주산업 기술동향 제18권 2호 pp.58-65, 2020
10. 김근택, 박민순, 박상욱, 박상현, “재난치안용 멀티콥터 무인기 운용 개념- 임무시나리오를 중심으로”, 한국우주산업 기술동향 제15권 2호 pp.84-96, 2017
11. 오병철, 모빌리티 법적 규제문제의 단계적 해소방안에 관한 연구, 한국모빌리티학회, 모빌리티연구 제 1 권 제 2 호, 2021. 9월
12. 이혁진, 양진용, 명노신, 이학진, “Lattice-Boltzmann Method를 이용한 제자리 및 전진비행하는 로터블레이드의 공력 해석, 한국전산유체공학학회지, Vol.26, No.4 pp.115-124, 2021.12
13. 신수희, 이승훈, 김양원, 조태환, “ 수직이착륙 무인기용 소형 덕티드 팬의 공력성능 및 후류 특성에 관한 실험적 연구” 한국항공우주학회지, 제50권 제1호 pp.1-15, 2022.01.01.
14. 황창진, “ 도심용 공중모빌리티 개발 현황 및 과제, 항공우주산업기술동향 16권 1호
15. CHO Alliance, “글로벌 UAM 기술개발동향과 시장 전망”, ISBN 979-11-86934-56-2, 2021.3.5.
16. 항공기설계교육연구회(2010.3.5.), “항공기 개념설계”, 경문사
17. 윤용현(2017.9.15.), “드론공학개론”, 형설출판사
18. 윤용현(2018.3.15.), “비행역학”, 경문사
19. 한국항공우주학회(2005.2.25.), “항공우주학개론”, 경문사
20. E. Trenbeek(1978), “Synthesis of Subsonic Airplane Design“, Delft University Press
21. 정부부처 합동, “K-UAM 정책로드맵”, 정부부처 합동, 2020.06
22. 정부부처 합동, “ K-UAM 기술로드맵”, 정부부처 합동, 2021.03
23. PwC(Price Waterhouse Coopers) : <https://www.pwcconsulting.co.kr/>
24. eVTOL directory : <https://evtol.news/aircraft>

제 4 장 eVTOL 설계 사례

	차 례
4.1	KAAM 팀
4.2	COMMA 팀
4.3	KOOKSA 팀
4.4	ASSA 팀
4.5	UAH팀
4.6	METABUS 팀
4.7	MECATECH 팀
4.8	CIM 팀
4.9	D-long 팀
4.10	HY Systems팀
4.11	Aerial Fold 팀
4.12	GUAM 팀



