

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2021.29.1.061>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

PAV의 개발현황과 경제적 효율성 비교

송재두*

Development Status and Economic Efficiency of PAV

Jaedo Song*

ABSTRACT

PAV is considered to improve quality of life and standards of living, improvement of which was caused by automobile hundred years ago. Comparative economic efficiency of PAVs is measured to compare each PAV. Specification and sales price of the PAVs are open to the public. BlackFly, Transition and Aeromobil 3.0 have competitive power in flying range, purchasing cost, and operational cost. Lift & cruise configuration and vectored thrust configuration PAVs are designed by many companies nowadays, and BlackFly which can be considered to be lift & cruise configuration is one of the most efficient PAVs. High battery price does not help multi-copter shaped PAVs to have economic efficiency. Aerodynamic wing, eVTOL, and low sale price are needed for PAVs to ride a wave of public interest as a new personal mobility. Under the conditions, the PAV can fly at downtown and can be purchased by people at large. Popularization of PAV could follow in the 100 years old footsteps of automobile.

Key Words : PAV(개인항공운송수단), eVTOL(전기구동수직이착륙기), Efficiency(효율성), Multicopter(멀티콥터), Lift & Cruise Configuration(복합형), Vectored Thrust Configuration(틸트형)

1. 서 론

PAV는 Personal Aerial Vehicle 혹은 Personal Air Vehicle로 설명되는데, 미국의 교통 운송시스템의 문제를 해결할 대안으로 Moore의 NASA 보고서에서 제시되고 있다(Moore, 2003). 그는 20세기에 자동차가 인류에게 가져다준 삶의 질과 생활수준의 향상을 21세기에는 PAV가 인류에게 가져다 줄 것이라고 주장하고 있다.

미국 이민자들이 서부개발시대에 이동수단으로 이용하였던 역마차(stagecoach)는 광활한 지역을 간편하게 이동할 수 있는 소임을 다하고, 자동차에게 그 자리를 내주었다. 1908년에 출시된 포드의 '모델T'는 부자들의 전유물이었던 자동차를 일반 노동자도 1년 연봉으로 구매할 수 있도록 저렴해지도록 함으로써 새로운 세상을 인류에게 제공하게 되었다(Botelho, 2004).

저렴한 자동차의 등장으로 부유층이 아닌 일반인들도 자동차를 구매할 수 있게 된 것처럼 이제저렴한 비행체의 등장으로 부유층이 아닌 일반인도 PAV를 구매할 수 있는 시기가 도래하고 있다. 일반인도 조종할 수 있을 정도로 안정성이 뛰어난 비행체는 각종 센서의 장착으로 가능해졌는데, 비행체의 다량생산 때문이 아니라, 스마트폰의 다량생산으로 스마트폰에 장착할 수 있는 고성능의 센서가 매우 저렴해졌기 때문이다(김영훈, 2018).

Received: 15. Feb. 2021, Revised: 24. Mar. 2021,
Accepted: 24. Mar. 2021

* 중원대학교 드론운용전공 주임교수, 대학원 국제물류통상학과
주임교수

연락처 E-mail : jjdsong@ju.ac.kr

연락처 주소 : 충북 괴산군 괴산읍 문무로85 중원대학교
M2-904

저렴한 고성능 센서의 채택에 의하여 기술개발에 의한 가격하락으로 일반인이 사용할 수 있도록 경제성을 만족해 준다면 PAV는 더욱 대중화 될 것이다. 현행 장거리 항공운송체계는 일정대로(scheduled) 운영되는 반면, PAV는 사용자 혹은 승객의 요구대로(on-demand) 운영될 수 있기에 20세기 초 개인용 승용차가 대중화된 것처럼 향후 PAV는 대중화의 길을 갈 것으로 예견된다.¹⁾

다만 PAV를 개인이 소유하여 제3자 피해와 같은 사회적 비용을 야기할 수 있는 측면이 있고, 개인이 소유하기에는 사회적 기반시설이 갖추어져 있지 않다는 측면이 있는 것은 부인할 수 없다. 이러한 요인으로 인하여 UAM(urban aerial mobility)와 같은 교통시스템으로 PAV를 개발하려는 추세가 있는 것도 부인할 수 없다. 하지만 이러한 문제점들은 완벽한 자율운항시스템의 개발과 사회적 기반시설이 확충됨에 따라서 상당부분 해결될 수 있으므로 장기적으로 개인이 소유할 수 있는 방향으로 나아갈 수 있다.

II. PAV의 등장 배경과 필요성 그리고 선행연구들

2.1 PAV의 등장배경과 필요성

2차원 평면에서의 교통수단인 기차, 버스, 승용차는 포화상태에 있으며, 많은 차량정체를 유발하고 있다. 또한 자동차 수의 증가로 인한 대기오염의 증가도 꾸준히 거론되고 있는 문제이다. 차량정체와 대기오염은 사회적 비용의 증가로 이어지고 있는데, 이를 해소할 수 있는 대안으로 PAV가 제시되고 있다(Liu et al., 2017; 이준호외, 2006; Fleischer, 2019). PAV는 2차원 평면에서 운용되고 있는 육상운송수단의 문제점을 극복하고, 이를 대체할 수 있는 비행운송수단으로 제시되고 있다.

도심 내 3차원 공간에서의 승객 요구형(on-demand) 항공교통을 주도해온 헬리콥터는 대당 백만 달러 이상의 고가로 매년 전 세계시장에서의 생산 대수가 약 1천여 대에 불과할 정도로 소수의 부유층에 한정된 PAV라고 할 수 있다(한국항공우주연구원, 2008).²⁾ 더욱이

헬리콥터는 고도 500피트 상공에서의 비행을 고려할 때 약 87dB의 소음을 유발할 뿐만 아니라, 디젤 차량 대비 3~5배 이상의 대기오염물질을 배출하고 있어 사회적으로 요구되는 PAV의 요건에 부합하지 않는다. 따라서 헬리콥터와는 다른 개념의 PAV에 대한 요구가 증가하고 있으며, 세계 각국의 정부는 물론 글로벌 혁신기업들도 3차원 공간에서의 교통수단 개발에 관심을 기울이고 있다.

두바이, 독일, 중국, 싱가포르에서는 PAV의 운용을 위하여 시험비행을 수행하였을 뿐만 아니라, 직간접적으로 기체를 개발하고 있다. 이외에도 여러 나라에서 PAV의 시장을 실현하기 위해서 관련 법 제도의 정비를 시행 중이다. 두바이와 독일은 언론에서 여러 차례 공개된 것처럼 PAV 시험비행을 꾸준히 수행하였고, 싱가포르의 에어버스(airbus)와 공동으로 Skyways라는 프로젝트를 출범시켜 2018년 2월에 시험비행을 마쳤다. 중국도 여러 차례 언론에 공개된 것처럼 이항(Ehang)에서 개발된 PAV로 시험비행을 수행한 바 있다(이상덕, 2019).

한편, PAV 이용자들의 요구에 맞도록 PAV를 개발하고 운용하기 위해서는 Industry 4.0과 관련한 기술들의 개발이 보조를 맞추어야 한다. Industry 4.0에서의 핵심기술은 센서, 인공지능, 사물인터넷으로 정리되는데, 이러한 핵심기술들은 이미 드론(drone)을 통해서 구현되고 있고, 담보된 경제성으로 인하여 매우 대중화되어 있다(송재두, 2019; 2020). 드론에서 사용되고 있는 Industry 4.0의 핵심기술은 그대로 PAV로 사용될 수 있고, 이는 PAV의 경제적 효율성을 담보해줄 수 있으므로 PAV가 대중화될 수 있는 기본요건이 마련된 상황이다.

2.2 선행연구의 고찰

PAV(personal aerial vehicle)를 검색어로 하여 KCI에서 검색해 보면 20여 개가 검색됨을 알 수 있다.³⁾ 매우 적은 양의 연구 결과가 있음을 알 수 있다. 2007년이라는 비교적 이른 시기에 황창전과 안병호(2007)는 자신들의 연구에서 회전익을 개념으로 한 PAV 적용 가능 플랫폼을 제시하여 국내에 PAV의 개념과 도입 가능성을 소개하였다. 이들의 연구와 소개는 현재의

1) Rohn(2015)은 NASA의 항공개발이사회의 발표 자료에서 요구형 이동 수단이란 “이용자에 의해서 출발지, 목적지, 출발시간과 같은 일정이 결정될 수 있는 개인이동수단”이라고 정의하고 있다.

2) 생산대 수가 아닌 금액을 고려했을 때 2020~27년 동안 민수 헬기시장은 연평균성장률 1.5%가 될 것으로 예측되어 낮은 성장률을 보인다는 것을 알 수 있다(이상덕, 2019).

3) 2021년 2월 1일 기준.

PAV 개발추세와는 다소 차이가 있지만, 선행적 연구로서의 가치를 제공해주고 있다. 윤동익과 허환일(2009)의 연구는 PAV에 사용될 추진시스템에 대한 기술적인 고찰을 하면서 도심에서의 사용을 고려하여 소음과 친환경적인 측면을 고려하여 전기 로터의 사용이 선호되고 있음을 보여주어 현재의 PAV 개발추세와 결맞은 연구를 보여주고 있다.

변영섭 외(2014)의 연구에서는 현재 많은 기사와 매체들에서 시각적으로 확인할 수 있는 PAV의 모습인 전동 쿼드 틸트 프롭형 PAV의 개념설계와 시험 모델개발 결과를 보여주었다. Flying Car라고 불리는 PAV의 모습을 구현하고, 현실에서 적용 가능한 PAV의 형태를 구상해본 연구라고 할 수 있는데, 현재 개발되고 있는 PAV들의 형태와 많은 유사점을 제공하고 있다. 임은하 외(2017)의 연구는 전기를 동력으로 하는 다중 propulsion시스템의 에너지 효율성이 화석연료를 이용한 피스톤 엔진이나 제트 엔진보다 우수하고, 비행속거리가 길며, 양항비가 우수함을 보여주고 있다. 또한 도심에서의 사용에 있어서 소음의 감소라는 측면에서 전기 동력 다중 propulsion 시스템이 유리하다는 것을 밝히고 있다. 임은하 외(2017)의 연구는 현재 개발되고 있는 PAV들이 전기로 구동되는 로터를 채용하고 있는 현상을 정확히 지적하고, 그 근거를 제시하고 있다는 측면에서 이 연구를 수행하기 위한 기반을 마련하고 있다고 평가된다.

이봉술 외(2020)의 연구는 eVTOL PAV를 이륙 후 로터의 추진방식에 따라 복합형, 틸트형, 멀티콥터형으로 나누고, 각 형태의 대표적인 기체들의 항력과 항속거리를 시뮬레이션을 통해 계산하여 임무 거리별 에너지 소모량 결과를 도출하였다. 단거리 임무와 장거리 임무에 따라서 에너지 소모량과 에너지 효율성이 PAV의 형태에 따라서 각각 차이가 있음을 그들의 결과는 보여주고 있다.⁴⁾ 양정호(2019)의 연구는 1917년부터 시작된 PAV의 개발역사와 각 모델에 대한 설명 그리고 시장동향을 보여주고 있다. 그의 연구는 향후 확대되는 PAV 시장과 이를 위해 필요한 사항과 법적인 문제점들을 제시해주고 있다는 점에서 의의가 있다.

이상에서 살펴본 선행연구들은 에너지 효율성을 측정하거나, PAV로서 필요한 사항들을 지적함으로써 현

재 개발되고 있는 PAV의 방향을 제시해주고 있다는 측면에서 소중한 학문적 가치를 보여주고 있다. 그리고 확대되는 PAV 시장과 그 방향을 보여주고 있는 연구들과 함께 이들 선행연구들은 관련된 후속 연구를 촉진하는 학문적 의의가 있다. 하지만 시장에서 PAV가 소비자의 선택을 받는 이유로서 에너지 효율성을 측정 한 기술적 데이터도 중요하지만, 경제적인 측면이 매우 중요하다는 것은 승용자동차 시장을 통해서 확인할 수 있다.⁵⁾ PAV에서도 소비자들의 심리는 승용자동차에서와 비슷한 것으로 생각한다면 PAV들의 경제적 효율성을 비교·분석해 보는 것은 매우 중요한 문제라고 할 수 있다. 하지만 아쉽게도 선행연구에서는 경제적 효율성을 측정하고 비교·분석한 연구를 찾을 수 없다. 따라서 이 연구에서는 제작회사에서 발표한 공식적 비행 성능자료로 바탕으로 비교 가능한 PAV들의 경제적 효율성을 비교하고, 앞으로의 개발방향에 대해서 논의해 보기로 한다.

III. PAV 개발추이와 현황

3.1 PAV 개발역사와 주요 모델

1903년 라이트형제의 첫 비행 시험이 미국에서 성공한 이후 하늘을 나는 개인이동수단에 관한 관심과 개발 의지도 활성화되었다. 비행기의 사용이 아직 활성화되지 않았던 1917년에 Curtiss Autoplane이라는 자동차 형태의 비행체가 대중에 소개되었다. 하지만 개발자에 의한 프로토타입에 그쳤고, 잠시 상승했을 뿐 비행에 성공하지는 못하였다(Brown, 2014).

도로 주행 시에는 자동차의 형태로 운행하다가 비행을 위해서 고정익 형태의 날개를 장착하거나 접었다가 펴는 형태의 PAV는 이후로 계속 개발되었다. 1966년에 이르러 Paul Moller는 비행접시 형태로 수직이착륙이 가능한 형태의 PAV를 개발하였으며, 이후로 그의 회사인 Moller International은 배터리를 이용한 하이브리드형의 수직이착륙 PAV를 개발하여 현대에 볼 수 있는 VTOL(vertical take-off and landing) PAV의 개념을 전파하게 되었다. 현재 볼 수 있는 배터리를 이용한 수직이착륙 및 주 날개의 양력을 이용한 활공

4) 그들의 연구 결과에 따르면 단거리에 있어서는 멀티콥터형이 에너지 효율성이 좋고 장거리에 있어서는 틸트로터형이 에너지 효율성이 좋다.

5) 이태원(2019)의 연구 결과에 따르면 소비자가 신차구매 시 가장 고려하는 항목 순위는 '내구성>연비>구매비용>디자인'의 순이다. 자동차 리서치회사인 마케팅 인사이트가 실시한 설문조사 결과, 수입차의 경우 구매와 선호이유의 첫 번째는 연비이다(심상우 2018).

Table 1. Historical brief of PAV models

년도	1917	1937	1949	1966~	1989	2009	2010	2011
모델명	Curtiss Autoplane	Waterman Arrowbile	Aero Car	XM-2, XM-3, XM-4, M200X	eVTOL	Transition	Cora	BlackFly
개발자	Glenn Curtiss	Waldo Waterman	Aerocar Int'l	Paul Moller Moller Int'l	Aurora Flight Sciences	Terrafugia	Kitty Hawk	Opener
주요 특징	· 첫 도로 주행 가능 PAV	· 꼬리날개 없음 · 3점식 랜딩기어 · 총 5대 생산	· 첫 접이식 날개장착 PAV · 총 6대 생산	· 첫 VTOL식 PAV(XM-2) · 2인승(XM-3,4) · 배터리/Hybrid(XM-4)	· eVTOL · 2인승/9개로터	· CTOL · 비전기추진 · 비자율비행 · 2인승 · 고정익항공기식	· eVTOL · 자율비행 · 2인승/로터13개 · 멀티콥터-고정익복합형	· eVTOL · 완전자율비행 · 1인승/로터8개 · 멀티콥터형
년도	2012	2013	2013	2014	2014	2016	2016	2016
모델명	Liberty Pioneer	AeroMobil 3.0	E-Volo	Ehang184	Lilium Jet	Cormorant	Vahana	PopUp
개발자	PAL-V	Aero Mobil	E-Volo	Ehang	Lilium	Tactical Robotics	Airbus	Airbus
주요 특징	· CTOL · 비전기추진 · 비자율비행 · 2인승/로터2개 · 자이로플레인형	· CTOL · 비전기추진 · 자율비행 · 2인승 · 고정익항공기형	· eVTOL · 자율비행 · 2인승/로터18개 · 멀티콥터형	· eVTOL · 자율비행 · 1인승/로터8개 · 멀티콥터형	· eVTOL · 비자율비행 · 6인승/로터36개 · 틸트날개형	· VTOL · 비전기추진 · 자율비행/ 원격조종	· eVTOL · 자율비행 · 1인승/로터8개 · 틸트날개형	· eVTOL · 2인승/로터4개 · 멀티콥터형
년도	2018	2019	2019	Planning	Planning	Planning		
모델명	Hoverbike S3	BPAV ¹	CityAirbus	SA-1	Joby S4	Nexus 4EX		
개발자	Hoversurf	Aurora	Airbus	Hyundai	Joby	Bell		
주요 특징	· eVTOL · 자율비행 · 1인승 · 레저스포츠용	· eVTOL · 자율비행 · 2인승 · 멀티콥터-고정익복합형	· eVTOL · 자율비행 · 4인승 · 멀티콥터형	· eVTOL · 자율비행 · 5인승 · 멀티콥터-고정익복합형	· eVTOL · 자율비행 · 틸트로터형	· eVTOL/Hybrid · 자율비행 · 틸트로터(덕트팬)형		

Note: ¹ BPAV(Boeing PAV) is not the name of the vehicle and Aurora is also not. Aurora Flight Sciences is an subsidiary company of Boeing.

Source: Frost and Sullivan(2017); Robin Lineberger et al.(2018); Web pages of each company.

비행을 선보인 최초의 모델은 1989년에 출시된 Aurora Flight Sciences의 eVTOL이다. 전체적으로 고정익 비행기의 형태에 8개의 작은 로터로 수직이착륙을 하고, 한 개의 큰 로터로 추력을 얻는 방식으로 복합형 PAV로 분류될 수 있다.

이후 많은 PAV는 eVTOL의 방식을 채택하고 있는데, 이러한 방식은 넓은 활주로를 필요로 하지 않으며, 운용자가 고도의 비행훈련을 받지 않아도 이착륙에 어

려움을 겪지 않기 때문이다. 한편으로 비행 효율성을 확보하기 위해서는 고정익 형태의 설계방식이 유리한데, 2013년에 부유층을 목표로 미려한 디자인과 자율비행이 가능한 고정익항공기 형태의 고가의 PAV인 Aero Mobil이 개발되었다. 하지만 근래에 와서는 많은 개발업체들이 전기로 구동되는 eVTOL방식의 복합형 혹은 틸트형 PAV를 개발하고 있다. 복합형 혹은 틸트형 PAV는 고정익을 이용한 공력 효율성을 얻기 위하

여 멀티콥터의 이착륙방식을 이용하는 형태이다.⁶⁾

3.2 PAV 개발방향과 분류

실제로 비행이 가능한 PAV가 개발된 이후 PAV는 지속해서 개발이 진행됐고, 지속적인 발전을 이루었다. 자동차와 고정익항공기를 결합한 형태로부터 시작하여 멀티콥터형, 멀티콥터와 고정익을 결합한 복합형, 고정익이 틸트 되거나 고정익에 부착된 로터가 틸트 되는 틸트형 PAV로 발전되어 왔다. 멀티콥터형, 복합형, 틸트형 PAV는 VTOL이 가능한 형태이다. 형태에 이어 동력장치를 보면 내연기관으로부터 전기추진의 방식으로 변화됐다. 원활한 비행이 어려운 PAV의 출현으로부터 원활한 비행은 물론 자율비행이 가능한 방식으로 발전되었는데, 현재는 실용화와 대중화 직전의 단계로까지 발전되었다.

기능과 형상별로 PAV를 분류하면 Table 2와 같이 4가지의 유형으로 분류할 수 있다. 2000년대에 접어들면서 가장 개발이 집중된 형태가 멀티콥터형의 PAV이며, 전기를 동력원으로 하여 VTOL을 하는 형태이다. 도로 주행이 가능한 유형 1의 경우, 비행 효율성과 공력 특성은 매우 좋으나, 일정 수준 이상의 비행훈련이 필요하고 조종이 쉽지 않다는 단점이 있다. 유형 2의 경우, 로터의 길이가 매우 길고 측풍에 매우 취약하다는 단점이 있다. 유형 3의 경우, 비행 효율성과 공력 효율은 유형 1과 유형 2에 비해서 좋지 않으나, 좁은 공간에서 이착륙할 수 있고 조종이 어렵지 않아 정지 비행 성능이 중요하거나 짧은 거리를 이동할 때 적절한 PAV라고 할 수 있다. 하지만 공력효율이 높지 않아 장거리 운송 수단으로서는 적합하지 않다. 유형 4의 경우, 복합형 혹은 틸트형으로써 고정익에서 발생하는 양력을 적극적으로 이용하므로 우수한 공력 특성을 보이며, 수직이착륙할 수 있어 도심에서의 사용에 유리한 장점이 있다. 그러나 가격이 비교적 고가라는 단점이 있다. 위의 분류 이외에도 레저스포츠에 적절한 형태이며 대중화되기에는 위험한 요인이 존재하는 형태의 호버바이크형이 있는데, 이는 일반적으로 사용할 수 없는 PAV이므로 따로 분류하지 않았다.

그런데 유형 4에서부터는 탑승 인원이 1~2명에 국한하지 않고 4인 이상인 경우가 있는데, 4인 이상의 경

Table 2. Category of modern PAVs

Category 1	Category 2
Winged flying car (승용차/항공기형)	Gyroplane car (자이로플레인형)
<ul style="list-style-type: none"> • Transition • AeroMobil 3.0, 4.0 	<ul style="list-style-type: none"> • Liberty Pioneer
<ul style="list-style-type: none"> • 고정익형 • 비행 및 도로 주행 가능 • 활주로 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 대형로터 기반 • 비행 및 도로 주행 가능 • 활주로 필요
Category 3	Category 4
Multicopter (멀티콥터형)	Lift & cruise configuration or vectored thrust configuration (복합형 or 틸트형)
<ul style="list-style-type: none"> • BlackFly • E-Volo • Ehang 184 • Comorant • PopUp • CityAirbus 	<ul style="list-style-type: none"> • Vahana • Liium Jet • Cora • Aurora • BPAV • SA-1 • Joby S4 • Nexus 4EX
<ul style="list-style-type: none"> • 승객 및 화물수송 • 도로 주행 불가 • 정지 비행에 특화 	<ul style="list-style-type: none"> • 승객 및 화물수송 • 도로 주행 불가 • 고정익을 이용한 공력 특성

우 개인용 운송 수단인 PAV라고 부르기에는 약간의 무리가 있다. 하지만 5인승의 승용자동차를 개인의 이동 수단으로 이용하듯이 4~5인승의 운송 수단을 PAV라고 칭하고 분류하는 것이 큰 무리가 없으므로 이 연구에서는 이들도 PAV로 분류하여 논의를 전개해 나가기로 한다.

IV. PAV의 경제성 분석

4.1 PAV의 구매비용과 최대항속거리의 효율성

조건을 단순화하는 가정을 통하여 비교를 원활하게 할 수 있다. 하지만 비행체의 경우, 감항과 오버홀의 과

6) 복합형(lift & cruise configuration)은 멀티로터를 이용하여 수직이륙하고 별도의 추진 로터를 이용하여 전진추력을 얻는 형태이다. 틸트형(vectored thrust configuration) 중 틸트로터형은 멀티콥터의 형태로 수직이륙을 한 뒤 로터의 부착 각도가 90도 변경되어 전진 추력을 얻는 형태이다. 틸트 날개형은 로터의 부착 각도가 변경되는 것이 아니고 로터가 부착되어 있는 날개가 수직이륙 후 90도 각도 수정을 한 뒤 전진 추력을 얻는 형태이다.

정을 거쳐야 하므로 이에 드는 비용을 고려하지 않을 수 없다. 내연기관을 사용하면 엔진 오버홀과 이에 따르는 비용을 운영비용에 추가해야 한다. 기체에 따라 보험료의 차이는 있을 수 있지만 많은 인원이 탑승하는 여객기가 아니라, 소수의 인원이 탑승하는 PAV이고 General Aviation에 사용되는 기체도 보험료의 차이는 크게 존재하지 않으므로 고려하지 않는다.⁷⁾ 정치비와 같은 운영비는 모든 PAV에 동일하게 소요되므로 고려하지 않는다. PAV라는 특징에 따라 조종사 인건비를 고려할 필요가 없어 비교의 조건이 또한 단순화될 수 있다. 따라서 다른 모든 조건이 같다고 가정하면, 구매비용과 운용 시의 연료비 그리고 정비와 점검에 드는 비용만을 고려하여 비교할 수 있어 비교적 단순한 경제성 비교를 할 수 있다.⁸⁾

각 PAV의 가격과 제품 제원은 해당 회사의 홈페이지에서 확인할 수 있다. 하지만 Table 1에서 살펴본 모든 PAV를 조사할 필요도 없을 뿐만 아니라, 같이 비교할 수 없으므로 비교의 대상을 간결하게 하려면 일부의 PAV만을 조사하여 비교하였다. 비교를 위해서 선정된 PAV는 구매가격과 기체의 성능자료가 일반에 공개되어서 서로 비교가 가능한 PAV이다. 성능자료가 일반에 공개되지 않은 PAV를 추정값을 이용하여 비교하면 분석 중 의도하지 않은 오류를 일으킬 수 있기 때문이다.

연료인 휘발유 가격은 2020년 11월 17일 한국석유공사 Opinet 기준 가격인 리터당 1,317.14원을 적용하였다. 전기요금은 KEPCO의 전기요금계산표에 의한 것으로 주택용(저압)을 사용하였을 경우 2020년 11월 17일 기준으로 계산하였다.⁹⁾

구체적인 분석을 시도하기 전에 각 기체의 성능과 가격 데이터를 Table 3과 같이 확인할 수 있다. 내연기관을 사용하는 PAV의 경우 비교적 먼 거리까지 운항이 가능한데, 일반적인 경비행기의 운항거리와 큰 차이가 없다. 하지만 모터를 사용하는 PAV의 경우 운항거리가 비교적 짧은 것을 알 수 있다. Cora의 경우

Table 3. Basic feature of PAVs for analysis

PAV	Cat. ¹	Cruise ²	Max. ³	Price ⁴
Transition	1	19L/hour	400	28
Aeromobile3.0	1	15L/hour	460	130
Liberty(Econ.)	2	10.6L/hour	450	40
Liberty(Luxu.)	2	10.6L/hour	450	60
Ehang184(Econ.)	3	37.6kWh	25	20
Ehang184(Luxe.)	3	37.6kWh	25	30
Volocopter	3	70.2kWh	30	20
BlackFly	4	20.6kWh	40	7
Cora	4	130.3kWh	62	75

Note: ¹ Category at Table 2.

² Fuel consumption at cruise speed.

³ Maximum flight distance (miles).

⁴ Purchasing price (million US dollars).

Source: Web pages of each company.

이러한 단점을 보완할 수 있으나, 내연기관을 사용하는 PAV에 비해서는 최대 운항거리가 매우 짧은 것을 알 수 있다. 성능의 개선이 거듭되고 있지만, 배터리기술의 한계에 따라 아직까지 전기를 이용한 구동은 내연기관을 이용한 구동에 비해서 최대 항속거리가 부족한 것을 확인할 수 있다.

고급형을 표방하는 Aeromobile의 경우 다른 PAV들에 비해서 구매가격이 월등히 높아서 일반인이 손쉽게 구매할 수 있는 PAV는 아닌 것으로 보인다. 순항 시 연료소모량을 볼 때 Liberty가 Aeromobile보다 효율이 좋은 것으로 보이지만, 순항 시 1시간당 이동거리를 살펴보면 개발사의 홈페이지 자료에 따르면 각각 140km와 220km로 차이가 있다. 더욱 고가인 Aeromobile이 Liberty보다는 순항 시 1km 이동에 따르는 연료효율성이 비교적 좋다는 것을 알 수 있다.

Aeromobile은 비교대상의 기종 중에서 가장 고가의

7) 사고 시 피해를 대비한 배상위험비용은 모든 PAV가 같으므로 비교에는 고려하지 않았다. 현재 국내에서 운용되는 2인승의 General Aviation 기체도 감항인증을 모두 받도록 하고 있으며, 향후 PAV가 도입되어도 현행대로 운영된다면 감항인증이 필요할 것으로 생각할 수 있다. 따라서 모두 감항인증 대상일 경우 보험료의 차이는 없는 것으로 가정할 수 있다.

8) 가정을 통하여 이러한 단순화된 비교조건을 만드는 것은 경제학에서의 기본조건인 'ceteris paribus'라 하며, 간결한 분석을 할 수 있게 한다(송재두, 2020, p.9).

9) 연료비를 계산하는 데 있어서 국내의 휘발유 가격과 전기요금을 적용하는 것에 문제가 있을 수 있으나, 전 세계 모든 나라의 유류 가격과 전기요금은 모두 다르며 유류 원가도 국가별로, 지역별로 모두 다르다. 전력생산의 원가도 국가별로, 지역별로 그리고 전력 수급 정책별로 모두 다르다. 결국 에너지비용의 기준을 정하는 것이 편향될 수밖에 없는 한계를 가지고 있다.

제품이기는 하지만, 최대 항속거리는 Transition이나 Liberty와 큰 차이가 없다. 고정익항공기형태인 Aero-mobil과 Transition은 자이로플레인 형태인 Liberty와 함께 도로주행이 가능하며, 큰 항속거리를 제공할 수 있는 장점이 있다. 반면에 멀티콥터형태의 PAV는 큰 항속거리를 제공하지 못할 뿐만 아니라, 구매비용 대비 항속거리의 효율성이 매우 낮은 단점이 있다. 복합형 PAV인 Cora 역시 구매비용 대비 항속거리의 효율성이 매우 낮다. 항속거리가 멀티콥터형보다는 길지만 구매비용 대비 항속거리의 효율성이 멀티콥터형에 비해서 우수하다고 볼 수 없다. 다수의 로터와 추력전용 로터를 장착하거나 날개를 tilting하는 복합형 PAV는 구입가격이 매우 높기 때문에 불가피한 현상으로 볼 수 있다.¹⁰⁾

Fig. 1은 구입가격 대비 최대 항속거리의 효율성을 나타내는 도표이다. 가로축에 구입가격을 나타내고, 세로축에 최대 항속거리를 나타내면 구입가격 대비 최대 항속거리의 효율성을 확인할 수 있다. Fig. 1에서 가로축으로부터 위쪽으로 가장 멀리 떨어져 있는 점들이 최대 효율성을 나타내는 점들이고, 이 바깥쪽의 점들을 이은 선이 최대의 효율성을 나타내는 선이다. 최대의 효율성을 나타내는 선상에 있는 PAV는 대부분 고정익 형태의 PAV인데, 복합형인 BlackFly가 최대 효율성을 보이고 있는 점은 특이하다.¹¹⁾ BlackFly는 동체와 로터를 연결하는 부위를 고정익 형태로 만들고, 로터의 회전 비를 이용하여 이착륙과 운항시의 동체의 기울기를 조정함으로써 양력을 얻어 운항하는 형태이다. 틸트

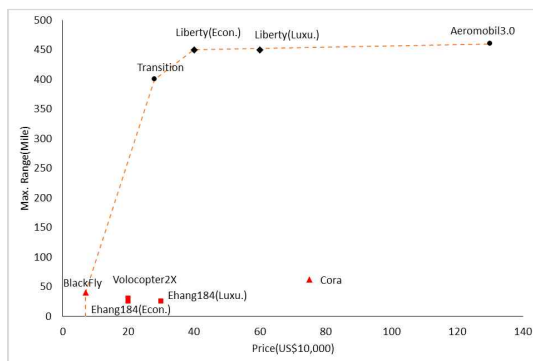
형처럼 tilting을 위한 복잡한 구조나 다른 복합형의 기체처럼 추진전용 로터가 별도로 필요하지 않아 저렴한 가격정책을 채택할 수 있기 때문으로 보인다. 일반적으로 멀티콥터 형태와 복합형 PAV는 구매비용 대비 항속거리의 효율성이 매우 뒤떨어져 있음을 알 수 있다.

Ehang184 고급형 모델의 경우 Transition과 비슷한 구매비용을 보이고 있는데, 최대 항속거리는 Transition의 약 6%에 불과하다. Volocopter 2X의 경우 비교대상 PAV들의 최대 효율성을 나타내는 점선상의 점과 비교하였을 때 20%에도 미치지 못하는 효율성을 보이고 있다. 비행안정성이 탁월하다는 장점이 있지만, 멀티콥터형태의 PAV는 대체적으로 고정익 혹은 자이로플레인 형태의 PAV보다 매우 취약한 구입가격 대비 최대 항속거리를 가지고 있어서 구입가격 대비 항속거리는 매우 비경제적이라는 것을 알 수 있다. 그리고 복합형 PAV인 Cora의 경우도 한화 5억원을 상회하는 고가임에도 불구하고, 항속거리는 100km에 불과할 정도로 짧다. BlackFly와 같은 구조를 채택하지 않는 한 복합형 혹은 틸트형(틸트로터형 또는 틸트날개형) PAV는 다중의 로터를 장착하고 운항 중 tilting을 구현하기 위해서는 무게가 증가하는 단점에 더하여 제작비용이 상승하는 단점까지 더해져서 구매가격 대비 항속거리의 효율성이 낮게 나타나는 것으로 예상할 수 있다. 배터리의 에너지밀도 한계에 의해서 항속 거리에 한계가 있는 것도 eVTOL PAV들의 낮은 효율성에 일조하고 있다.

그렇다면 Fig. 1에서 살펴본 것처럼 구매비용만을 고려하지 않고 운행비용을 동시에 고려하였을 경우의 효율성은 어떠한지 살펴볼 필요가 있다. 구매비용만을 고려하는 것은 경제적 효율성을 비교함에 있어서 구매비용이 고가인 PAV에게는 불리하게만 작용할 수 있기 때문이다.

4.2 운행비용과 구매비용을 고려한 PAV의 효율성

Fig. 2에서의 효율성 검토를 위하여 PAV의 구매비용과 운행비용 그리고 시간당 운행거리를 확인하였다. 분석에 필요한 성능자료는 모두 해당제품을 제작하는 회사의 홈페이지에서 확인하였다. 다만 운행비용 중 내연기관을 사용하는 기체의 오버홀과 엔진 교체 등에 소요되는 비용을 산출해야 하며, 배터리를 사용하는 기체



Legend: ●Category1 ◆Category2 ■Category3 ▲Category4 --- Max. Efficiency Line

Fig. 1. Maximum range efficiency of PAVs

10) Table 2에서 유형 4에 속하는 PAV들은 개발사에서 고가로 예견되는 가격을 공개하지 않고 있으며, Cora의 경우 O'Connor(2019)의 칼럼에 제시된 추정 값을 사용하였다.

11) BlackFly는 멀티콥터형에 더욱 근접하다는 문제제기를 받을 수 있으나, lift and cruise라는 영문명에 충실하므로 복합형으로 분류하였다.

의 경우 배터리의 수명손실을 산출해야 한다. 모터의 경우 현재 전기자동차에 사용되는 3상 모터의 수명에 대해서는 언급되지 않고 있으며, 자동차의 수명과 동일하게 취급되고 있으므로 이 연구에서도 모터의 수명을 고려하지는 않는다.¹²⁾ 엔진계통과 배터리계통을 제외한 동체의 수명에 대해서는 세계적으로 가장 많이 운행하고 있는 세스나 172기종에 대해서도 특별한 수명이 제시되고 있지 않다. 제트엔진을 사용하여 고속으로 운행되는 여객기의 경우 대한항공 스카이뉴스에 따르면 Boeing에서는 설계수명을 20년, 2만회 착륙, 6만 비행시간으로 설정하고 있지만, 저속의 내연기관 비행체에 대한 기체수명은 별도로 제시되지 않고 있다.¹³⁾ 더욱이 내연기관 기체와 배터리이용 기체 모두 저속으로 운행되기에 이 연구에서는 동체의 수명을 분석을 위한 비용으로 산출하지 않는다.

내연기관을 사용하는 기체의 경우 엔진의 수명주기에 대해서는 밝혀진 자료가 없기 때문에, PAV와 가장 유사한 경비행기인 세스나 172S의 경우를 고려하여 추정하기로 한다. 세스나 172S의 경우 2,000시간 운항 후 엔진오버홀 혹은 엔진교환이 요구되며, 엔진과 주요 부품의 교환을 가정하면 미국에서 교환하는 조건으로 7,500만 원 가량이 소요된다.¹⁴⁾ 엔진교환과 함께 요구되는 주요 교환품목은 마그네토와 얼터네이터이다. 배터리를 사용하는 기체의 경우 전기차 배터리를 기준으로 산출할 수 있다. 현대자동차의 HMG Journal에서 발표한 자료에 의거하면 100% 방전과 100% 충전을 반복할 경우 전기자동차 배터리는 1,000회의 사용이 가능하므로 항속거리가 짧은 유형 3, 4의 기체들은 배터리사용 횟수 1,000회를 적용하였다. 배터리 교체 비용은 시장조사업체 블룸버그 NEF(BNEF)의 2020년 전기자동차 배터리 조사가격인 kWh당 135달러(한화 15만 원)를 적용하였다.

Table 4에서는 이러한 기준에 따라 372,000km를 운항할 때 소요되는 내연기관의 주요 부품 교체비용과 배터리의 교체비용을 산출하였다. 372,000km를 특정한 이유는 항속거리가 가장 좋은 Aeromobil3.0의 2,000시간 운항거리이기 때문에 Aeromobil3.0의 항속거리에 모두 맞추어서 계산하는 것이 비교를 위해서 적절하다고 판단되었기 때문이다.

Fig. 2는 1km의 거리를 운행하기 위해서 소요되는

Table 4. Engine replacement and battery change cost of PAVs

PAV	Cruise ¹	Distance ²	Cost ³
Transition	172	344	81.10
Aeromobil3.0	186	372	75.00
Liberty(Econ.)	160	320	87.19
Liberty(Luxu.)	160	320	87.19
PAV	Capacity ⁴	Change ⁵	Cost ⁶
Ehang184(Econ.)	17	9.24	23.58
Ehang184(Luxe.)	17	9.24	23.58
Volocopter	50	7.71	57.79
BlackFly	63	3.73	35.23
Cora	12	5.78	10.40

Note: ¹ Cruise Speed (km/h).

² Flight Distance by 2,000 hours Cruising (1,000km).

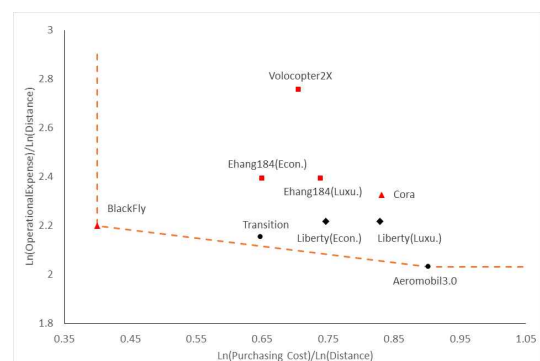
³ Engine Replacement Cost at 372,000km Flight (million Korean Won).

⁴ Battery Capacity (kWh).

⁵ Battery Change Frequency at 372,000km Flight (number of times).

⁶ Battery Change Cost at 372,000km Flight (million Korean Won).

Source: Measured by the data of each company's web pages.



Legend: ●Category1 ◆Category2 ■Category3 ▲Category4 --- Max. Efficiency Line

Fig. 2. Unit iso-quant curve and efficiency of PAVs

12) 3상 AC모터의 경우, DC모터와 달리 접촉점은 베어링에 불과하므로 베어링만 교체가 필요할 것이나, 도로주행과 달리 베어링이 충격을 받을 경우가 매우 적으므로 이 연구에서는 교체비용을 고려하지 않는다.

13) <https://www.iskylover.com/268>

14) 세스나 172S의 기체유지보수를 담당하는 세스나사의 Agency인 AAP Aerospace사의 산출에 의함.

각 PAV들의 구매비용과 운행비용을 좌표 상에 나타낸 결과이다. 가로축은 기체의 구입비용을 시간당 항속거리(km)로 나눈 값으로, 운행거리 1km 당 구매비용을 나타낸다. 세로축은 Table 4에서 산출된 교체비용을 시간당 소모연료비와 함께 시간당 운행비용으로 계산한 뒤 이를 시간당 항속거리(km)로 나눈 값으로, 운행거리 1km당 운행비용을 나타낸다.¹⁵⁾ 공개되어 있는 기체의 성능자료에 따라 시간당 정속운행 시 연료소모량을 확인할 수 있으며, Table 4의 비용에 의하여 시간당 교체비용을 산출할 수 있다. 모터를 사용할 경우 모터의 용량과 순항에 소요되는 시간을 확인할 수 있으므로 이를 기반으로 1km 순항시의 운행비용을 산출할 수 있고, 마찬가지로 Table 4에 의거하여 시간당 배터리 교체비용을 산출할 수 있다.

Fig. 1에서는 PAV의 각 점들이 원점에 가장 가까울수록 1km의 거리를 운행하기 위해서 소요되는 비용이 적고, 원점에서 멀어질수록 비용이 크다. 따라서 원점에 가까이 있는 점일수록 구매비용과 운행비용의 경제적 효율성이 크다는 것을 의미한다. 또는 점선에 가까이 있을수록 적어도 한가지의 비용에 대한 경제적 효율성이 크다는 것을 의미한다.

운행비용과 구입비용을 모두 고려하면 BlackFly와 Aeromobil3.0은 다른 모든 기체들보다 경제적 효율성이 매우 우수한 기체임을 분석을 통해서 알 수 있다. 구매비용과 최대항속거리만을 고려하였을 경우 최대의 효율성을 보였던 BlackFly, Transition, Aeromobil 3.0은 운행비용까지 고려할 경우 역시 가장 경제적 효율성이 우수함을 보여주고 있다. 멀티콥터형태의 PAV는 최대 항속거리가 짧은다는 특성으로 인하여 최대 항속거리를 기준으로 할 때 매우 낮은 경제적 효율성을 보이는데, 고가의 배터리가격에 의하여 운행비용을 고려한 효율성에 있어서도 유형 1, 2의 PAV에 비해서 낮은 효율성을 보여주고 있다. 복합형 PAV인 Cora는 두 가지 비용을 모두 고려하였을 경우 원점으로부터의 거리가 멀다고 평가되어 낮은 경제적 효율성을 보인다는 것을 알 수 있다. 현재까지는 높은 배터리 가격으로 인하여 Cora의 경제적 효율성이 낮게 나타나고 있지만, 배터리기술의 발전과 가격하락이 발생하면 효율성이 높아지리라는 것을 그래프를 통해서 확인할 수 있다.

V. 분석결과를 통한 PAV의 발전방향

5.1 분석결과와 설명과 경제적 효율성

앞선 장에서 살펴보았던 효율성 분석의 결과를 조금 더 직관적인 형태로 나타냄으로써 분석의 결과를 설명하고자 한다. Fig. 1과 2는 관련 분야를 학습한 사람들에게는 친숙할 수 있으나, 그렇지 않은 비전문가들은 그래프가 표현하고 있는 의미를 직관적으로 이해하기 힘들기 때문에 보다 직관적으로 이해할 수 있는 방식으로 표현하고자 한다. Fig. 3과 4에서 가로 세로의 축은 각각의 평균을 나타내는 선이어서, 표시되어있는 점들의 위치는 평균에서 얼마나 멀리 위치해 있는지, 그리고 다른 점들과 얼마나 멀리 위치해 있는지 직관적으로 이해할 수 있다.

Fig. 3에서는 최대항속거리와 구매가격을 가로축과 세로축으로 놓고 9개의 제품을 좌표평면에 나타내어 보았다. 가로축과 세로축의 위치는 각 제품의 최대항속거리 평균값 그리고 구매가격의 평균값에 해당하는 위치에 자리하고 있다. 멀티콥터형태와 복합형 PAV는 모두 2, 3사 분면에 위치하여 최대항속거리가 짧은다는 것을 보여주고 있다. 하지만 이 제품들이 BlackFly를 제외하고는 유형 1, 2 제품들에 비해서 가격 경쟁력이 좋다고 단언할 수 없다.

Fig. 4에서는 최대항속거리와 운행비용을 기준으로 각 PAV들을 비교해 볼 수 있다. 가로축에는 최대항속

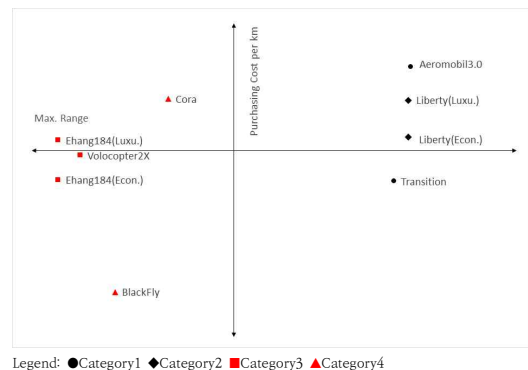
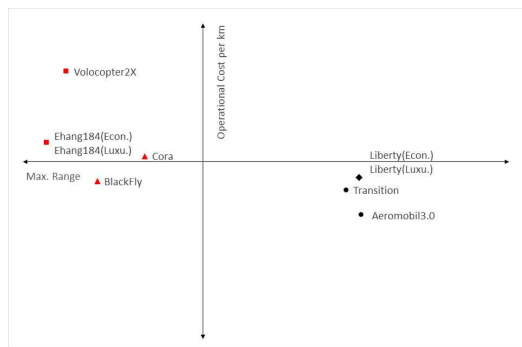


Fig. 3. Maximum range and purchasing cost of PAVs

Note: Horizontal and Vertical Lines stands for the axis of average maximum range and average purchasing cost per km.

15) 명확한 비교를 위하여 1km를 운행하는데 필요한 비용을 산출하고자 구매비용과 운행비용을 모두 시간당 항속거리로 나누어 1km 운행에 필요한 구매비용과 운행비용을 얻었다.



Legend: ●Category1 ◆Category2 ■Category3 ▲Category4

Fig. 4. Maximum range and operational cost of PAVs

Note: Horizontal and Vertical Lines stands for the axis of average maximum range and average operating cost per km.

거리를, 세로축에는 1km를 운행하는데 소요되는 운행 비용을 설정하고, 각 PAV들을 좌표평면상에 위치시켜 보았다. 멀티콥터형태와 복합형 PAV들은 일반적으로 유형1, 2의 PAV들에 비해서 운행비용의 효율성이 우수하지 못하는 것으로 평가된다. 고정익과 긴 회전날개를 이용하는 유형1, 2 PAV는 공력효율성에 있어서 멀티콥터형태의 PAV보다 우수하여 엔진 교체 비용이 배터리 교체 비용보다 고가임에도 불구하고, 운행 효율성이 좋은 것으로 나타나고 있다. 복합형 기체의 경우 BlackFly가 평균보다 낮은 운행비용의 효율성을 보여 주고 있다.

Table 2에서 구분하였던 것처럼 유형1, 2 형태의 PAV는 도로를 주행할 수 있으며, 장거리를 운행할 수 있어 가격 대비 항속거리의 효율성이 높은 기체로 생각된다. 따라서 고정익 비행기형태와 자이로플레인 형태의 PAV가 더욱더 많은 선택을 받을 수 있을 것으로 보이지만 현실은 그렇지 않다. 실제로 PAV를 개발 중인 기업들을 검색해 보면 멀티콥터형태 혹은 복합형이나 틸트형의 기체형태를 채택하고 있음을 알 수 있다. 장거리비행의 경제적 효율성이 제품선택의 지표가 아님을 알 수 있다.

도심에서 주로 운용되어야 하는 PAV는 활주로를 필요로 하지 않아야 하고, 도심에서의 이착륙이 위험과 소음을 동반하지 않아야 한다. 따라서 현재 PAV를 개발 중인 기업들은 멀티콥터형태로 수직이착륙을 할 수 있는 eVTOL 기체를 개발하고 있다. 현재 PAV를 개발 중인 기업들은 멀티콥터형태의 장점을 충분히 활용하

며, 높은 운행비용 효율성을 보이는 고정익의 장점을 활용할 수 있는 기체를 개발 중인 것으로 보인다. 복합형이나 틸트형의 기체는 Category 4에 해당하는 기체로써 PAV를 개발 중인 기업들이 가장 많이 개발 중인 기체형태이다.

5.2 PAV의 개발방향

BCG그룹의 예측에 의하면 PAV시장은 향후 1만대가 넘는 잠재적 수요를 가지는 성장성이 우수한 시장으로 예견된다(Aaronson et al. 2018). Mobility Foresights의 시장예측으로는 향후 46%의 PAV 시장성장이 전망되고, 2018년 94대 수준에서 2025년 1,327대로 수요가 증가할 것으로 예상된다(양정호, 2019). 금액으로 보았을 때 2018년 5천만 달러 수준의 시장가치가 2025년 약 4억 달러까지 성장할 것으로 전망된다. 모건스탠리의 예측에 의하면 2040년까지 PAV시장은 2조 9천억 달러까지 성장할 것으로 예견된다(Jonas, 2019). 따라서 많은 기업들이 PAV를 개발 중에 있다.

현대자동차와 우버가 합작하여 개발 중인 'S-A1'과 한화시스템에서 개발 중인 에어택시인 '버터플라이'는 모두 eVTOL방식의 고정익을 이용한 기체이다(Press Release, 2020; 한화시스템, 2020). 보잉에서 개발 중인 PAV의 프로토타입도 고정익을 사용하는 eVTOL형의 기체이고, Joby S4와 Nexus 4EX도 마찬가지이다(Boeing, 2019). 한편, 에어버스에서 개발 중인 '시티에어'는 멀티콥터의 형태이다(Marignane, 2021). 현재 많은 기업들이 개발하려는 PAV는 멀티콥터형, 복합형, 틸트형의 PAV임을 알 수 있다.

복합형과 틸트형의 PAV들은 생산비용의 증가로 고가의 기체로 제작되었기에 이 연구의 분석방법에 의한 경제적 효율성은 높지 않게 나타난다. 또한 이들 기체들은 개인용 운송수단이라기보다는 4인 이상의 승객에 대한 수송서비스를 제공하기 위한 기체라는 측면이 강하며, 여러 가지 이유 때문에 판매가격을 공개하지 않고 있다. 높은 가격, 낮은 경제적 효율성, (4인 이상) 다 인승과 같은 특성으로 인하여 복합형과 틸트형의 기체들은 PAV로 일반인의 자가용비행체로 개발된다면 소비자의 선택을 받기는 쉽지 않다고 보인다. 한화 5억원을 상회하는 고가의 기체를 20여 분을 비행하여 100km 정도를 비행하기 위해서 개인이 구매하기는 어렵기 때문이다.

Table 5에서는 현재 노출되어 있는 PAV의 문제점과 해결방안을 제시하고 있다. PAV 시장이 향후 매우

Table 5. Development direction of PAV

문제점	해결을 위한 개발 방향
도심소음	- 다수의 전동로터 - Bladeless 추진시스템
도심 이착륙	- VTOL방식 활용
최대 항속거리	- 고정익을 통한 양력 활용 - 파워트레인의 개선
운행 효율성	- 고정익을 통한 양력 활용 - 파워트레인의 개선 - 고밀도 에너지형 배터리의 개발과 가격하락

확대될 것으로 예측되지만 개인용 이동수단의 경제성이 확보되지 못한다면 소비자들로부터 외면 받을 수밖에 없고, PAV는 시장예측과는 반대의 길을 가게 된다. 결국 경제성이 확보되어야 PAV는 일반인들이 부담 없이 구매할 수 있고, 대중화되어 커다란 시장이 형성될 수 있다. 매우 성능 좋은 기체를 만드는 것도 PAV 시장의 확대에 있어서 중요하지만, PAV 시장의 확대를 위해서는 경제적으로 매우 효율성이 좋은 기체를 만드는 것도 중요하다. 구매비용이 크지 않아도 비용대비 충분한 항속거리를 제공할 수 있어야 하고, 유지비용이 합리적일 때 일반인이 구매할 수 있고 대중화가 가능할 것이다.

멀티콥터형태인 경우, 항속거리가 짧고 운행비용이 상승하는 단점이 존재하지만, BlackFly의 예에서 알 수 있듯이 비교적 긴 항속거리와 매우 낮은 운행비용을 보이는 멀티콥터형태의 기체개발이 필요하다. 유지비용의 합리화와 도심에서의 접근성을 모두 고려할 때 eVTOL방식의 복합형과 틸트형의 PAV가 앞으로의 PAV형태를 주도할 수 있다. 다만 구매가격이 고가인 점을 개선해야 하는데, 생산대 수가 증가하여 규모의 경제를 확보할 수 있다면 이러한 단점을 해결하여 매우 경제적 효율성이 있는 기체가 될 수 있다.

도심에서의 소음 발생의 문제까지 고려한다면 eVTOL에 더하여 다수의 로터를 전기로 구동하는 방식의 PAV가 도심에서 운용될 수 있어 PAV개발방향이 될 것이다. 블레이드를 제거한 추진시스템을 활용한다면 도심에서의 소음문제는 더욱 획기적으로 줄여줄 수 있기 때문이다.¹⁶⁾ 결국 앞으로의 PAV는 멀티콥터형태와 복합형 혹은 틸트형의 기체가 주류를 이룰 것으로 예견된다.

다만 이 연구에서 살펴본 바와 같이 이러한 개발방향이 실현되기 위해서는 최대 항속거리의 연장과 생산비용의 하락이 필수적이다.

VI. 결 론

센서기술의 발달과 규모의 경제에 의한 가격하락으로 고성능의 센서를 활용한 PAV는 부유층이 아닌 일반인들도 구매할 수 있는 운송수단이 되는 과정에 있다. 이에 따라 과거에 자동차가 인간에게 가져다주었던 삶의 질과 생활수준의 향상을 이제는 PAV가 실현할 것으로 예견되고 있다. 부유층의 전유물이던 자동차가 가격하락과 함께 널리 대중에게 사용되면서 인간의 삶의 질과 생활수준이 달라졌던 현상이 재현될 것이기 때문에 현재 PAV는 관심을 받고 있는 것이다.

이 연구에서는 지금까지 개발되어 비행성능과 판매가격이 대중에게 알려진 PAV를 대상으로 하여 경제적 효율성을 분석 및 비교하였다. 분석의 결과, 고정익을 활용한 멀티콥터형태인 BlackFly는 항속거리, 구매비용, 유지비용 모두에 있어서 가장 경쟁력을 갖추고 있다. 현재 많은 기업들이 개발을 추진하고 있는 기체의 형태는 복합형과 틸트형이 주류를 이루고 있지만, 이 형태의 기체는 고가의 판매가격과 항속거리의 한계 때문에 경제적 효율성이 좋지 못하다. 분석결과를 바탕으로 대중에게 호응 받을 수 있는 PAV가 갖추어야 할 조건들을 아래와 같이 정리할 수 있다.

첫째, 일반인이 쉽게 접근할 수 있도록 충분히 저렴하여야 할 것이다. 일반인이 구매할 수 있도록 합리적인 가격이 적용되어야 자동차가 인류에게 가져왔던 혁명적인 현상을 PAV도 인류에게 가져올 수 있을 것이다.

둘째, 운행비용이 합리적이어야 한다. 연비 좋은 자동차가 구매자의 구매요건을 충족하는 것처럼 운행비용이 합리적이어야 PAV는 대중화의 길을 갈 수 있을 것이다. 소음문제를 해결하고 도심에서 이착륙이 가능한 eVTOL방식의 기체는 합리적 운행비용의 조건을 충족하여 나가고 있다.

셋째, 항속거리가 충분하여야 한다. 공력 특성이 우수한 고정익을 활용하는 방향으로 이러한 조건을 충족시켜 나가고 있지만 배터리기술의 한계로 인하여 아직까지는 내연기관을 이용한 기체보다 항속거리가 충분하지 못하다. 향후의 기술발전을 통하여 이러한 조건이

16) 소음억제를 위하여 구체적으로 실현되고 있지는 않지만, Mohyi Labs에서는 와류(vortex)를 이용한 회전날개(blade) 없는 방사형 임펠러기반의 드론을 개발 중이다(Mohyi Labs, 2021).

충족되어야 할 것이다.

넷째, 배터리의 가격하락과 더불어 고밀도 에너지를 함유하는 배터리의 개발이 필요하다. 현재 집중 개발되고 있는 복합형과 틸트로터형의 기체들이 경제적 효율성을 갖춘 PAV가 되기 위해서는 배터리가격의 하락과 함께 에너지 함유량이 풍부한 배터리가 개발되어야 하기 때문이다.

Acknowledgement

The author appreciates valuable comments from anonymous three reviewers. The author, however, is solely responsible for the potential errors in the paper.

This work was supported by the Jungwon University Research Grant (Research Management number: 2020-023).

References

1. Mark D. Moore, "Personal air vehicle: A rural/regional and inter-urban on-demand transportation system," AIAA Paper 2003- 2646, 2003.
2. Greg Botelho, "The Car That Changed The World," CNN International, 10 April 2004. <http://edition.cnn.com/2004/US/08/06/mode1.t/index.html>
3. Kim, Y. H., "At trillion sensor times, What are major three trends of smart sensor market?," POSRI Issue Report, 2018.
4. Douglas, A. R., "NASA Aeronautics: Overview & ODM," On-Demand Mobility Forum, NASA, July 21 2015. http://www.nianet.org/ODM/forms/1_Aero_ODM_EAA_2015.pdf
5. Liu, Y., Kreimeier, M., Stumpf, E., Zhou, Y., and Liu, H., "Overview of recent endeavors on personal aerial vehicles: A focus on the US and Europe led research activities," Progress in Aerospace Sciences, 91, 2017, pp.53-66.
6. Lee, J. -H., Cho, G. -H., and Lee, J. -W., "Development and prospect of personal air vehicle as next generation transportation," Journal of The Korean Society Aeronautical and Space Sciences, 34(3), 2006, The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences, pp.101-108.
7. Fleischer, T., Meyer-Soylu, S., Schippl, J., and Decker, M., "Personal aerial transportation systems (PATs) - A potential solution for the urban mobility challenges?," Futures, 109, 2019, pp.50-62.
8. Song, J. D., "Drone industry growth of China and fourth industrial revolution," Korean-Chinese Social Science Studies, 17(4), 2019, Korea-China Social Science Association, pp. 263-291.
9. Song, J. D., "Practical use and efficiency of agricultural drones: Focusing on the comparative efficiency analysis of drones and pest control machines," Korean Journal of Social Quality (KJSQ), 4(2), 2020, pp.1-18.
10. Stuart, F. B., "Pie-in-the-Sky Flying Cars From the Past", The New York Times, Aug. 22 2014. <https://www.nytimes.com/2014/08/24/automobiles/pie-in-the-sky-flying-cars-from-thepast.html>
11. Korea Aerospace Research Institute, "Plan for Helicopter Industry Drive," Ministry of Knowledge Economy, 2008.
12. ReportLinker, "Global Helicopters Industry," July 2020. https://www.reportlinker.com/p05899619/Global-Helicopters-Industry.html?utm_source=GNW
13. Lee, S., "Oncoming Drone Era - Volocopter, Uber, Airtaxi ... Drone Taxi Service Will Be Offered at 2020," Maeil Business News Korea, October 28 219. <https://www.mk.co.kr/news/business/view/2019/10/881289/>
14. Frost and Sullivan, "Future of Flying Cars, 2017-2035," ASD Reports, 2017.
15. Lineberger, R., Hussain, A., Mehra, S., and Pankratz, D., "Elevating the future of mobility: Passenger drones and flying cars," Deloitte Insights, 2018.
16. Press Release, "Hyundai Motors - Uber, UAM Partnership - An Actual Sized PAV Is

- To Revealed For The First Time,” HYUNDAI MOTOR GROUP, Jan. 8 2020. <https://tech.hyundaimotorgroup.com/kr/press-release/hyundai-and-uber-announce-aerial-ridesharing-partnership-release-new-full-scale-air-taxi-model-at-ces/>
17. Hanwha System, “Participate in ‘Opening Urban Sky’ Forum,” Hanwha Group, November 16 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=niapb0yglvs>
 18. Marignane, “Airbus CityAirbus,” Electric VTOL News, 2021. <https://evtol.news/airbus-helicopters/>
 19. Boeing, “Boeing Autonomous Passenger Air Vehicle Completes First Flight,” January 23 2019. <https://www.boeing.com/features/2019/01/pav-first-flight-01-19.page>
 20. Aaronson, M., Mester, M., Mallory, G., and Hattori, S., “The Aerospace Industry Isn’t Ready for Flying Cars: Here’s What OEMs and Suppliers Must Do to Capitalize,” Aerospace & Defense, Automotive, Boston Consulting Group, 2018.
 21. Yang, J. H., “Analytical Report on Market Trends and Industrial Environment of PAV,” Aerospace Issue, Korea Aerospace Research Institute, 2019.
 22. Jonas, A., “Are Flying Cars Preparing for Takeoff?,” Morgan Stanley, 2019. <https://www.morganstanley.com/ideas/autonomous-aircraft>
 23. Labs, M., “Rethink The Future,” Feb. 1 2021. <https://mohyilabs.com/>
 24. Hwang C. -J., and Ahn, B. -H., “Overview on high speed rotorcraft concepts for the personal aerial vehicle(PAV) applications,” Aerospace Engineering and Technology, 6(1), Korea Aerospace Research Institute, 2007, pp.6-13.
 25. Yun, D., and Huh, H., “Technical survey on propulsion systems for personal air vehicles,” Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers, 13(6), The Korean Society of Propulsion Engineers, 2009, pp. 56-63.
 26. Byun, Y. -S., Song, J. -B., Kim, J. -N., Jeong, J. -S., Song, W. -J., and Kang, B. -S., “Conceptual design and development test of an unmanned scaled-down quad tilt prop PAV,” Journal of The Korean Society Aeronautical and Space Sciences, 42(1), The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences, 2014, pp.37-46.
 27. Lim, E., Hwang, H., Cha, J., Kim, S., and Park, B., “The overseas research trends for the on demand mobility and domestic application plan using PAV,” The Journal of Korea Navigation Institute, 21(4), The Korean Navigation Institute, 2017, pp. 313-324.
 28. Lee, B. S., Yun, J. Y., and Hwang, H. Y. “Flight range and time analysis for classification of eVTOL PAV,” The Journal of Korea Navigation Institute, 24(2), The Korean Navigation Institute, 2020, pp. 73-84.
 29. Lee, T. W., “Study of importance awareness of domestic car consumer’s product selection criteria,” Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering, 42(3), Society of Korea Industrial and Systems Engineering, 2019, pp. 157-166.
 30. Shim, S., “What is the standard of purchasing a new car?: Design?, Fuel Efficiency? or Vehicle Maintenance Cost?,” FINS, July 2 2018. <http://www.fins.co.kr/news/articleView.html?idxno=69311>
 31. Kate O’Connor, “Boeing, Kitty Hawk Rebrand Joint eVTOL Project,” AVweb, December 3, 2019. <https://www.avweb.com/recent-updates/evtols-urban-mobility/boeing-kitty-hawk-rebrand-joint-evtol-project/>
 32. Lee, S. W., “EV, To Be Shorten Operation Milage of 2.3% Annually, What is the way of longer usage?” M AUTO DAILY, December 16, 2019. <https://www.autodaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=414384>