

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2021.29.3.015>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

수요요인을 반영한 개인용 항공기 개발전략 연구

변상규*, 강범수**

A Study on R&D Strategies of Personal Air Vehicle based on Demand Factors

Sangkyu Byun*, Beom-Soo Kang**

ABSTRACT

Personal Air Vehicle is expected to be a promising solution to relieve traffic congestion using urban airspace. The development of related technologies such as materials or batteries has been accelerated. In addition, commercial transportation services are being prepared. When fierce competition begins in the PAV market, even technologically superior products will disappear without choices by consumers. Therefore, demand factors should be reflected in PAV development to enhance competitiveness. In the paper, values were estimated for the major technological attributes of PAV. Stated preference data were collected through a survey, and the conjoint method and ordered probit model were adopted. Thereafter, it was confirmed that the value would be high in the order of dual mode, drone-type appearance, and noise reduction. Some R&D strategies were proposed based on this.

Key Words : PAV, Demand Factor(수요도), Attribute(기술속성), Stated Preference(진술선호), Conjoint(컨조인트), Ordered Probit(서열프로비트)

1. 서 론

우리나라에는 대도시권에 인구의 77.4%(2019년 기준)가 집중되는 등 심각한 과밀화가 나타나고 있다(관계부처합동, 2020. 5.). 과밀화는 교통혼잡을 초래하는데, 2017년 국내총생산의 3.4%에 달하는 59.6조 원의 혼잡비용을 지출하였다(Chun, Kim, and Lee, 2019). 그러나 도시에는 도로 등을 증설할 공간이 부족하여 해결책을 찾기 어렵다. Black(2003)은 도시 지속가능

성을 저해하는 주요 요인으로 교통체증을 지적하였다.

최근 개인용 항공기(Personal Air Vehicle, PAV)가 도심 교통수단으로 주목받고 있다. 사용도가 낮은 공역을 사용하여 도시의 교통혼잡 솔루션을 찾는 노력으로 평가된다. 경비행기나 헬기 등은 이착륙 시설, 높은 기체가격 및 운용비용, 조종면허 등 대중화에는 한계가 분명하다.

2010년부터 배터리, 소재, 제어 등 관련 기술이 발전하면서 PAV 개발에 속도가 붙었고, 세계적으로 약 200여 개의 업체가 개발하고 있다(관계부처합동, 2020. 5.). PAV는 기체나 부품 생산, 에어택시 서비스, MRO(Main-tenance, Repair and Operation) 등의 생태계를 형성하고, 막대한 생산 및 부가가치를 창출할 전망이다(Kim, Won, and Yeo, 2018).

PAV의 첨단성과 상품성에도 불구하고, 소비자로부터

Received: 22. Jul. 2021, Revised: 07. Sep. 2021,

Accepted: 23. Sep. 2021

* 호서대학교 문화영상학부 교수

** 부산대학교 항공우주공학과 교수

연락처 E-mail : bskang@pusan.ac.kr

연락처 주소 : 부산시 금정구 부산대학로63번길 2

터 선택받는 관문을 통과하여야 한다. 그러나 이 과정에서 가장 중요한 역할을 할 PAV의 수용도를 파악하는 노력은 부족했다.

지금까지 PAV에 대하여 다양한 연구들이 이루어졌다. 기술개발 동향(Hwang, 2018), 핵심기술 선정(한국항공우주연구원, 2010. 4.), 개발 전략 및 로드맵(Han, 2016) 등 기술적 측면의 연구와 함께, 시장전망(Morgan Stanley, 2019. 1. 23.)과 경제적 파급효과 추정(Kim, Won, and Yeo, 2018), 운영비용 추정(Kang, Jung, and Lee, 2010), 시장형성 시나리오(한국항공우주연구원, 2017.12) 등 경제성 측면의 연구들도 수행되었다. 그러나 모두 공급자나 정부에 초점을 맞추었고, 수요자에 대한 연구는 아직 없다.

본 연구는 PAV 개발단계에 소비자의 선호를 반영하여 PAV 경쟁력을 강화할 수 있도록 개발전략을 제시하여, 대중화에 기여하고자 한다.

II. PAV 산업 동향

Moore(2003)는 PAV를 대중이 스스로 운용할 수 있는 항공기로 정의했다. NASA는 240~320km/h의 속도로 1,300km를 비행할 수 있는 5인승 이하의 기체로 정의하였다. 도로주행과 비행을 모두 할 수 있어야 하며, 자동차 운전면허증으로 기체를 조종할 수 있어야 한다고 정의하였다(한국항공우주연구원, 2017. 12.). Hwang(2018)은 개인의 필요에 따라 언제 어디서나 비행할 수 있는 수요대응형 공중 모빌리티(on demand air mobility)로 정의하였다.

2.1 PAV 개발동향¹⁾

1980년대부터 Moller International사가 'Skycar M400'를 개발하면서 현대적인 PAV 개발이 시작된 것으로 판단된다. 이후 2010년을 전후해 Aurora사의 NEXT, Terrafugia사의 Transition, PAL-V사의 Liberty, Aeromobile사의 Aeromobil 4.0 등의 개발이 시작되었다. 이들은 항공기형, 자이로콥터형, 자동차형 등 다양한 형태로 개발되었으며, 날개를 부착하기도 하는 등

활주이륙 방식이 대부분이었다.

그러나 도심에서 활주로를 찾기 어려우므로, 드론형이나 틸팅(tilting)형 등 수직이착륙으로 개발 방향이 바뀌었다. Volocopter사의 VC200, Ehang사의 184 등 드론형이 개발되기 시작했고, Joby사의 S2, Bell사의 NEXUS 4EX, A3사의 Vahana, Lilium사의 Lilium Jet 등에 틸팅 기술이 적용되었다. 이 과정에서 비행전용 싱글모드(single mode)와 드론형이 주류가 되었다. 최근에는 기술이 축적되면서 비행과 주행이 가능한 듀얼모드(dual mode) 기체들의 개발계획이 다시 발표되고 있다²⁾.

동력은 엔진에서 모터로 바뀌고 있다. 관계부처합동(2020. 5.)에 따르면 전기 구동 기종이 68%, 하이브리드 기종이 14% 등이다. 그리고 복수의 로터를 채택하여 소음을 줄이고, 단일장애지점(single point of failure)을 없앤 분산추진방식 기체가 늘어나고 있다.

대부분의 PAV는 자율비행을 목표로 개발되고 있다. 안전성에 대한 우려를 완화하고, 면허 취득에 따른 경제적, 시간적인 부담을 줄여서 대중화에 기여할 것으로 기대되고 있다.

2.2 PAV에 대한 선행연구 분석

2007년부터 국내에서 PAV의 연구가 시작된 이후, 해외의 기술개발 동향을 소개하는 문헌이 많았다(Hwang, 2018; Yang, 2019. 5.). 한국항공우주연구원(2010. 4.)은 PAV 선행연구를 통해 해외의 개발동향을 종합적으로 소개하였다. 그리고 PAV의 핵심기술³⁾을 자율비행, 구조, 차세대 배터리, 항력 저감, 고장진단, 조종석 디스플레이, 저소음 고출력 등으로 선정하여 개발방향을 제시하였다. Seong et al.(2010)도 PAV에 듀얼모드나 수직이착륙 기능과, 주행모드와 비행모드간 자동전환을 요구하였다.

Han(2016)은 PAV 개발전략을 4단계로 제시하였다. 1단계는 핵심 및 원천기술 개발, 2단계는 기술 응용, 실증 및 평가, 3단계는 시제기 및 체계기술 개발, 4단계는 실용화 시제기 개발 등이다. 3~4단계에서 항공교통망, 서비스망, 제도 등을 정비해야 한다고 주장

1) PAV 개발업체들의 홈페이지와 'The Electric VTOL News'의 'eVTOL Aircraft Directory', 그리고 다수의 전문보고서를 참고하였다.

2) Terrafugia사의 TF-X, AeroMobil 5.0 vision, SkyDrive의 SD-XX 등.

3) 자율비행에는 자율 항로예측, Intelligent Navigation System, Automatic Dependent Surveillance, 자동비행기술 등이 포함된다. 구조에는 Morphing 등 형상 변경, 복합체 내충돌 및 내추락 특성 향상, 저비용, 경량화 기술이 포함된다. 저소음 고출력에는 Ducted Fan과 Blade 기술이 포함된다.

하였다.

한국항공우주연구원(2017. 1.)은 OPPAV(Optionally Piloted PAV) 기획연구를 수행하면서 자율비행, 분산 전기 추진을 핵심기술로 제안하였다. 그리고 유인기 소형화보다 자율비행 무인기의 유인화가 자율비행 달성에 효율적임을 주장하였다.

경제적 측면의 연구들도 다수 수행되었다. 한국항공우주연구원(2010. 4.)은 PAV 산업이 중립적 전망 하에서 생산유발 효과 62.5조원, 부가가치 35.8조원 등의 파급효과를 창출할 것으로 추정하였다. 그러나 항공 산업 부문을 분석하여 PAV와는 산업구조가 상이할 수 있고, 투입 전망자료가 불확실한 측면도 있다.

Kim, Won and Yeo(2018)는 무인항공기 산업 기술 군에 대한 특허를 분석하여 투입산출 분석을 수행하였다. 고용유발계수를 10.017, 부가가치유발계수를 0.9771로 산정했는데, 이는 제조업 평균 2.285와 0.581에 비해 4.4배, 1.7배 높다.

Kang, Jung and Lee(2010)는 20년 후에 PAV가 자동차 수준의 경제성을 확보할 수 있는 유지비용을 추산하였다. 운용비용을 자동차 수준인 연간 2~3만 달러, 운용시간을 미국의 GA(general aviation) 연간 운용시간의 3배인 300시간, 탑승률은 북미 2007년 자동차 탑승률(1.57명)을 참고하여 2명, PAV 구매가격을 20만 달러로 가정하였다. 분석 결과, 연간 65,317 달러가 소요될 것으로 나타나, 자동차(13,331 달러)에 비해 높은 수준이었다. 또한 대중화를 위해 PAV 가격을 7만 5천 달러까지 낮출 것을 요구하였다. 그런데 대부분의 분석 자료들을 가정하여 사용함으로써 불확실성이 크다.

그 외에도 PAV 시장전망과 시장 형성과정에 대한 연구들이 이루어졌다. 대부분 2035~2040년을 성숙기로 보았는데, NASA(National Aeronautics and Space Administration)는 2030년에 연간 25만 대의 PAV가 생산되고 500억~1,250억 달러의 시장을 형성할 것으로 전망하였다(한국항공우주연구원, 2017. 12.). Morgan Stanley(2019. 1. 23.)는 자율비행이 실현되면 2040년까지 최대 2조 9천억 달러까지 시장이 확대될 것으로 예측하는 등 편차가 컸다. 한국산업개발연구원(2010)은 2033년에 우리나라에서 6,184대의 시장이 형성될 것으로 전망하였다.

PAV는 여객운송보다는 기술장벽이 낮고 규제가 덜 하며, 안전도 요구수준이 낮은 화물운송에서 시장이 먼저 열릴 것으로 예상된다(Lim, 2019. 2. 12.; 관계부

처합동, 2020. 5.). 특히 의약품, 혈액 등 의료분야에서 활용도가 높을 전망이다. 여객운송 부문에서는 군대(Morgan Stanley, 2019. 1. 23.), 해양, 경찰 및 보안, 토목·건설, 농업, 산림관리 등에 우선 사용될 것으로 전망된다(한국항공우주연구원, 2017. 12.). 그리고 NASA는 도심과 공항간 셔틀 교통을, Lim(2019. 2. 12.)은 에어택시 시장을 큰 수요처로 기대하였다.

2.3 연구문제 도출

많은 업체가 PAV 개발에 뛰어들고, 기술 혹은 경제성 측면에서 효율적인 대안을 찾고 있다. 업계의 표준은 아직 결정되지 않았고, 디자인, 성능, 재원이 제품마다 업체마다 천차만별이다. 이 중, 소비자의 선호에 가장 부합하는 제품이 경쟁을 뚫고 생존할 것이다. 그러므로 PAV의 주요 속성에 대한 소비자의 선호를 사전에 파악하여 반영한다면, 경쟁력을 높일 수 있을 것이다. 그러나 이러한 연구가 없었던 것으로 조사되므로, 연구주제를 다음과 같이 제시한다.

- 연구주제: PAV 기체에 대한 소비자의 수용도를 주요 속성별로 분석한다.

III. 컨조인트 설문

3.1 진술선호 자료의 수집과 분석 모형

PAV 속성들의 가치는 개인의 선호를 기준으로 평가되어야 한다. 소비자는 재화를 소비하여 편익(benefit)을 누리며, 그 범위 내에서 값을 지불한다. 즉, 지불의사(willingness-to-pay, WTP)의 최대값이 편익과 같으므로, 편익 추정을 위해서 지불의사액을 추정한다.

PAV는 아직 시장이 없으므로 수요 추정에 필요한 자료가 없다. 경비행기, 헬리콥터는 대중성과 거리가 있어서 PAV에 참고하기 어렵다. 이 경우에는 소비자에게 선호를 직접 물어보는 수밖에 없다. 가상의 PAV 시장을 만들고, 가상의 거래에 대한 선택을 설문조사를 통해 질문하여 진술선호(stated preference) 자료를 확보한다.

진술선호 자료의 수집 및 분석에는 조건부가치평가법과 실험선택법(Choice Experiment)을 사용한다. 그 중 확률효용이론(Random Utility Theory)에 근거를 둔 선택실험법은 속성별로 소비자가 부여하는 부분가치(part-worth)를 추정할 수 있다(Park et al., 2019).

컨조인트(Conjoint) 분석법이 실험선택법의 중요한 방법론이며, 1960년대에 마케팅 영역에서 활용되기 시작했다. 이후 환경가치 평가, 교통계획, 환경, ICT나 미디어 분야 등에서 컨조인트 분석법이 활용되고 있다. 본 연구에서도 PAV 속성들의 가치를 추정하기 위하여 컨조인트 방법을 채택하였다.

3.2 속성 선택 및 수준의 결정

컨조인트 설문을 위해 응답자에게 제시할 선택대안 집합(choice set)을 만들어야 한다. 이를 위해 PAV 선호에 영향을 미치는 주요 속성들을 발굴하고, 수준을 결정한다. 그리고 속성의 수준들을 조합하여 가상의 상품을 만든다. 이 때에 선행연구 문헌과 PAV 개발 동향, 업계 발표자료 등을 종합적으로 검토하였다. 그리고 속성별로 수준은 두 개씩 설정하였다.

NASA는 비행속도와 이착륙 시간, 비행가능 거리, 운송 하중, 안전성, 편의성, 소음, 배출가스, 적정비용 등을 PAV의 개발 분야로 제안하였다(한국항공우주연구원, 2017. 12.). Yang(2019. 5.)은 추진, 소재·구조, 제어·안전, 공력, 항행·통신, 배터리, 사이버보안 등 7가지를 핵심기술로 정의하였다. 한국항공우주연구원(2010. 4.)은 자율비행, 구조, 차세대 배터리, 항력저감, 고장진단, 조종석 디스플레이, 저소음 고출력 등을 핵심기술로 선정하였고, Seong et al.(2010)은 듀얼모드, 수직이착륙 기능, 자동 모드전환을 요구하였다. 에어택시 사업을 준비하던 우버(Uber)는 백서에서 eVTOL, 분산전기추진, 자율비행, 소음저감, 배출력, 대용량 배터리, 급속충전, 안전성 등을 요구하였다(Uber Elevate, 2016. 10. 27.).

현실적으로 제시된 다양한 기술적, 성능적 요구들을 모두 선택할 수는 없으므로, 다음 기준들에 근거하여 속성을 채택하였다. 첫째, 본 연구의 목적이 PAV의 시장 경쟁력 강화에 맞춰져 있으므로, 소비자에게 소구력이 큰 속성을 선택하였다. 둘째, 설문 응답자인 일반인이 이해할 수 있는 속성을 선택하였다. 기술적인 내용을 잘 몰라도 기술이 구현하는 성능이나 혜택은 인식하는 경우가 많다. 셋째, 속성으로부터 얻는 혜택과 이를 획득하기 위해 지불해야 하는 화폐적, 시간적, 기술적 비용이 상충하는 요인들을 선택하였다. 상충하지 않는다면 그 기술을 누구나 쉽게 채택할 것이므로 분석 필요성이 낮다.

NASA는 PAV의 속도와 비행거리를 구체적으로 정의할 정도로 중요시했다. 또한, 배출력 모터나 고성능 배터리의 필요성을 제안한 문헌들도 많은데, 비행거리나 속도와 관련이 큰 요인들이다. 소비자 입장에서라도 빠르고 멀리 이동할 수 있는 기체는 편리성과 활용도가 좋아서 소구하는 바가 클 것으로 예상된다. 반면, 배터리 성능 개선이나 기체 무게, 생산비 등의 비용요소가 있다. 그러므로 비행거리와 속도를 PAV의 선호를 결정짓는 속성으로 선택하였다.

비행거리의 속성을 결정하기 위해 개발 중인 PAV들의 비행가능 거리를 살펴보면, 엔진 기종은 300km 이상, 모터 기종은 100km 이내로 조사된다(Byun, 2021. 2.). 지리적으로는 이동 목적이 상이한 도심·근교 이동과 대도시 간 이동을 구분할 수 있겠다. Cho(2001)는 노르웨이와 우리나라를 비교하면서 도시권 통행의 기준으로 50km를 제시하였다. 이를 단거리의 수준으로 선택하고, 장거리의 수준은 서울에서 우리나라를 모두 커버할 수 있는 350km로 결정하였다⁴⁾.

PAV의 속도는 대부분 시속 150~300km 수준으로 개발되고 있다(Byun, 2021. 2.). 그러므로 시속 200km와 300km를 수준으로 선택하였다. 시속 200km는 스포츠카, 시속 300km는 고속철도의 최고속도에 해당하므로, 응답자들이 잘 인식할 수 있을 것으로 기대된다.

많은 연구들에서 듀얼모드와 수직이착륙 기능을 요구한다. 현재 듀얼모드는 대부분 수직이착륙을 하지 못하는 날개형이며, 싱글모드는 수직이착륙이 가능한 드론형이나 일부 날개형이 있다. 도로주행 여부와 수직이착륙이 강한 부(-)의 상관관계를 맺고 있으므로, 두 속성 중에 하나만 선택해야 한다. 본 연구에서는 범위가 좀 더 넓고, 편리성과 경제성 측면에서 소비자들에게 소구력이 더 클 것으로 생각되는 도로주행 가능 여부를 속성으로 선택하였다. 듀얼모드 기체는 자동차를 보유할 필요를 줄여주므로 싱글모드에 비해 경제성이 높다. 주행과 비행을 반복하면서 갈아타지 않고도 'door-to-door' 이동이 가능하여 편리하다. 반면 자동차와 비행기는 구조적이나 공기역학적으로 상이한 특성으로 인해 서로의 장점을 상쇄할 우려가 있는 등 기술 및 디자인 측면에서 비용요소가 있다. 초기에는 듀얼모드가 주로 개발되었지만, 최근에는 싱글모드가 개발 현장에서 대체를 이루고 있다. 그러므로 듀얼모드와 싱글모드를 수준으로 선택하였다.

4) 서울시청에서 50km 이내에 오산, 이천과 가평, 포천, 인천국제공항까지 포함된다. 350km 이내에는 제주도를 제외한 우리나라 영토 대부분이 포함된다.

선행연구들에서 제안한 항력, 공력 등은 기체의 외형과 관련된 속성이다. PAV의 형상은 날개형과 드론형으로 구분이 가능하다. 날개형은 비행효율이 높아 속도가 빠르고 원거리 이동에 편리하다. 드론형은 수직이착륙이 가능하고, 구조가 단순하며, 단거리용에 적합하다. 또한 외형은 소비자의 선택에 큰 영향을 미치는 소구력이 큰 요소이다. 그러므로 외형을 속성으로 선택하고, 날개형과 드론형을 수준으로 선택하였다.

자율비행도 여러 문헌에서 제안되고 있다. Uber는 에어택시 운항을 수동비행으로 시작한 후 자율비행으로 전환할 계획을 발표하는 등, 사업성에 중요한 영향을 미치는 요인이다. 조종사의 확보와 인건비에 대한 부담이 크기 때문이다. PAV는 대부분 자동차 면허보유자의 기능 수준을 요구하는 반자동비행이나, 완전자율비행 기능을 탑재한 기체들이 개발되고 있다. 자율비행을 위해서는 LiDar(Light Detection and ranging) 시스템, 충돌 회피 경로생성 알고리즘, 각종 센서의 개발이 필요하다(Yang, 2019. 5.). 그런데 시스템 개발에 시간이 오래 걸리면 PAV의 출시가 늦어질 수 있고, 가격이 고가이면 대중화에 걸림돌이 될 수 있다. 그리고 편리성에도 불구하고, 기체에 대한 대중의 신뢰도는 아직 확신할 수 없다. 비용과 편의요소를 고려하여 운전형태를 속성으로 선택하고, 반자동과 완전자율비행을 수준으로 선택하였다.

비행 시의 소음을 제안한 문헌들도 다수인데, 특히 우버가 PAV를 도심이나 주택가에서 운용하는 데에 가장 큰 제약요인으로 지적할 만큼, 활용도에 영향을 미친다. 정부는 대화가 가능한 63 dB를 상한으로 제시하였는데, 헬기의 20% 수준이다(관계부처합동, 2020. 5.). 분산전기추진방식과, 동력연결장치가 불필요한 모터가 소음에 유리하다(Yang, 2019. 5.; Hwang, 2018). 그러므로 비행 소음을 속성으로 선택하였고, 수준은 인식이 어려운 데시벨(dB) 단위 대신 우버의 제안을 준용하여 디젤 중형트럭과 디젤 SUV 차량의 소음을 선택하였다.

가격은 NASA와 Kang, Jung and Lee(2010)가 제안하였는데, 소비자의 선택에 가장 큰 영향을 미친다. 대중이 접근할 수 있는 가격대를 최대한 빨리 실현하는 것이 PAV 보급에 선결과제가 되겠지만, 현재의 기술이나 생산량 전망을 참고하면 쉽지 않다. 또한 가격은 주요 속성들의 가치를 화폐 단위로 환산하는 기준이 된다. 예약 판매 중인 PAL-V사의 리버티는 59만 9천 달러, 에어로모빌은 120만 유로(Lee, 2020. 6. 2.; Han, 2020. 1. 7.), Transition, Ehang184, Volocopter 2x 등은 20~30만 달러에서 가격이 형성되고 있다(Yang,

2019. 5.). 우버는 기체 가격이 120만 달러에서 시작하여 20만 달러까지 하락할 것으로 기대했다. Kang et al.(2010)은 7.5만 달러를 요구하기도 했다. 이를 종합적으로 검토하여 1억 5천만 원을 상한으로 삼고, 고급자동차 수준인 8천만 원을 하한으로 삼았다.

컨조인트 설문조사를 위해 비행가능 거리, 최고속도, 외형, 도로주행 가능 여부, 운전방식, 소음, 가격 등 7가지 속성들을 선택하였다(Table 1).

3.3 컨조인트 설문지 구성

속성과 수준을 이용하여 SPSS26으로 주효과 직교설계를 수행하였고, Fig. 1과 같이 8개의 PAV 상품을 도출하였다. 속성별로 수준이 동일한 빈도로 고루 제시된 것으로 나타나, 작업이 잘 수행된 것으로 판단된다.

컨조인트 설문에서 다양한 방법으로 진술선호를 유

Table 1. Major attributes of PAV

Attribute	Level 1	Level 2
Flight distance	50 km	350 km
Shape	Wing type	Drone·duct type
Autonomous	Semi	Full
Roadable	Impossible	Possible
Max. speed	200 km/h	300 km/h
Noise	Midium-sized truck (diesel engine)	SUV (diesel engine)
Price	80 mil Won	150 mil Won

대안 번호	1	2	3	4
비행거리	350 km	50 km	350 km	50 km
형태	날개형	드론·덕트형	드론·덕트형	날개형
운전방식	완전자동	완전자동	반자동	반자동
도로주행	불가능	가능	가능	가능
최고속도	300 km/h	300 km/h	200 km/h	300 km/h
비행소음	SUV	중형트럭	SUV	SUV
가격(만원)	8,000	8,000	8,000	15,000

대안 번호	5	6	7	8
비행거리	350 km	50 km	350 km	50 km
형태	드론·덕트형	날개형	날개형	드론·덕트형
운전방식	반자동	반자동	완전자동	완전자동
도로주행	불가능	불가능	가능	불가능
최고속도	300 km/h	200 km/h	200 km/h	200 km/h
비행소음	중형트럭	중형트럭	중형트럭	SUV
가격(만원)	15,000	8,000	15,000	15,000

Fig. 1. Eight conjoint question cards

도할 수 있지만, Fig. 2와 같이 카드별로 1점(매우 비 선호)~10점(매우 선호) 사이에서 선호도에 비례하여 점수를 부여하도록 요청하였다. 점수법은 응답자의 피로도가 높으므로 신뢰도를 유지하기 위해 대안의 수를 최대한 억제하였다. 그리고 속성의 내용과 수준을 정확히 인식하도록 설명과 그림을 함께 제시하기도 했다.

3.4 설문조사의 수행

PAV에 대한 진술선호 자료를 수집하기 위해 2020년 9월에 설문조사를 시행하였다. PAV의 유력한 초기 시장으로 평가되는 서울에 거주하는 만 25~54세의 시민들을 대상으로 진행하였다. 우리나라는 교통, 정보통신 인프라의 발달로 지역간 격차가 크지 않으므로, 서울에 시장이 형성되면 전국으로 쉽게 확대될 것으로 예상된다.

설문지를 이용하여 인터넷 패널 설문으로 진행되었다. 조사는 엠브레인에서 시행하였고, 총 488명으로부터 응답을 받았다(Table 2).

인구통계변수를 살펴보면, 남자와 여자가 각 50.4%, 49.6%이다. 연령별로는 25세부터 54세까지 5년 단위로 각 16.2~17.4%를 차지한다. 학력은 고졸 이하가 10.0%, 대재·대졸이 75.6%, 그리고 대학원재 이상이

문. 카드에는 PAV 상품들이 나타나 있습니다. 귀하가 PAV를 구매한다고 가정하고, 선호하는 순서대로 점수를 1점(매우 비선호)에서 10점(매우 선호) 사이에서 기입해 주시기 바랍니다. 선호할수록 높은 점수를 주시고, 같은 점수는 없는 것으로 가정합니다. 우선 카드를 선호그룹과 비선호그룹으로 4장씩 나누고, 각 그룹 내에서 선호하는 순서를 결정하십시오. 그리고 선호그룹의 4등과 비선호그룹의 1등을 비교하여 최종적으로 순위를 정한 후에 점수를 부여하십시오.

Fig. 2. Conjoint question for survey

Table 2. Sample design

	Description
Population	Seoul citizens aged 25~54. (employed, student, housewife)
Period	Sep. 11.~14., 2020
Sample size	488 people
Confidence	95% ± 4.44%
Sampling	Assigned by age, gender
Survey	Internet panel survey using questionnaire

14.3%를 차지한다.

IV. 서열프로빗 분석

4.1 서열프로빗(Ordered Probit) 모형

점수법으로 수집한 데이터를 서열프로빗 모형과 최대우도 추정법(Maximum Likelihood Estimation)으로 분석하였다. 이는 종속변수가 이산형이고 독립변수가 연속형일 때 적합한 방법이다(Oh et al., 1999). 각 점수가 선택될 확률에 대한 로그우도함수를 구성하고, 확률을 최대화하는 계수 벡터(β) 등을 추정하였다.

$$\begin{aligned} \text{Log } L = & \text{Log } \Phi \left(- \sum_{k=1}^K \beta_k x_k \right) + \sum_{k=2}^{J-1} \text{Log} \left[\Phi \left(\mu_k - \sum_{k=1}^K \beta_k x_k \right) \right. \\ & \left. - \Phi \left(\mu_{k-1} - \sum_{k=1}^K \beta_k x_k \right) \right] + \text{Log} \left[1 - \Phi \left(\mu_{j-1} - \sum_{k=1}^K \beta_k x_k \right) \right] \end{aligned}$$

4.2 정산(Calibration) 결과

관찰이 가능한 y_{ij} 를 속성변수 벡터 X 의 선형함수로 구성하였다. 그리고 속성들에 의해 반영되지 않는 특성들을 종합적으로 대변하기 위해 대안특화상수(alternative specific constant) c_0 를 포함하였다(Hanley et al., 1998).

$$y_{ij} = c_0 + \beta_1 \times x_1 + \beta_2 \times x_2 + \beta_3 \times x_3 + \beta_4 \times x_4 + \beta_5 \times x_5 + \beta_6 \times x_6 + \beta_7 \times x_7 + \epsilon_{ij}$$

정산결과 χ^2 분포를 따르는 우도비(likelihood ratio)가 935.63으로 나타나, 유의수준 1%에서 모든 설명변수의 값이 0이라는 귀무가설을 기각하였다(Table 3 참조). 또한 'Max Rescaled R^2 '는 0.2182로, 연구현장에서 일반적으로 받아들이는 수준이다(Maddala, 1983; Nagelkerke, 1991).

모든 설명변수가 유의수준 1~10%에서 유의하게 나타나, 속성 선택이 잘 이루어진 것으로 판단된다. 비평가능 거리가 길수록, 날개형태보다는 드론형이, 완전자율비행 기능이 포함될수록, 도로주행이 가능할수록, 최고속도가 높아질수록, 그리고 비행소음이 줄어들수록 더 높은 점수를 부여하였다. 가격은 저렴할수록 선호가 높았다.

회귀모형을 편미분하면 각 속성에 대한 한계지불의 사액(marginal WTP)을 도출할 수 있다.

Table 3. Results of ordered probit model

Attribute		Estimated	t-statistic
c_0	Constant	1.9251	17.4783***
x_1	Flight distance(km)	0.0016	14.6872***
x_2	Shape	0.1573	4.8105***
x_3	Autonomous	0.0599	1.8323*
x_4	Roadable	0.3649	11.1143***
x_5	Max.speed(km/h)	0.0017	5.0922***
x_6	Noise	0.1558	4.7567***
x_7	Price(10,000won)	-0.0001	-24.2499***
Observations		3,904	
Likelihood ratio		935.63*** (p -value : 0.000)	
Goodness of fit		0.2182 (max rescaled R^2)	

주: (***)1% significance level, (**)5% significance level, (*)10% significance level.

$$MWTP_i = \frac{\partial y_i}{\partial X_i} / \frac{\partial y_i}{\partial X_7} = - \frac{\beta_i}{\beta_7}$$

Table 4에는 속성별 한계지불의사액이 나타나 있다. 소비자 선호에 가장 큰 영향을 미치는 속성은 도로

Table 4. Estimation of MWTP for attributes

Attribute	MWTP (10,000won)	Description	Rank
Flight distance (km)	13.79	Value increment for another 300 km flying	5
Shape	1,342.58	Additional value of drone-duct type compared to wing type	2
Autonomous	511.41	Value increment for fully autonomous flight compared to semi-autonomous	4
Roadable	3,114.48	Value of road driving	1
Max. speed (km/h)	14.21	Value of 100 km/h increase in speed	5
Noise	1,329.59	Value of noise reduction from medium-sized trucks to SUV levels	2

주행 기능으로 나타났다. 다른 속성들이 모두 같을 경우에 도로주행이 가능한 기체는 불가능한 기체보다 3,114만 5천 원만큼 가치가 높아진다. 이는 중형승용차의 가격과 비슷한 수준으로, 소비자는 자동차 추가 구입 비용만큼 이 기능에 가치를 부여한 것으로 판단된다.

두 번째로 가치가 큰 속성은 PAV의 형태와 소음이 다. 날개형보다 드론형이 1,343만 원만큼 추가 가치를 지닌다. 그러므로 드론형 듀얼모드 기체의 개발이 유효함을 확인할 수 있다. 소음도 1,330만 원의 가치를 창출하는 것으로 나타나므로, 소음저감 기술의 개발에 우선순위를 부여해야 할 것이다.

완전자율비행은 511만 원의 가치를 보였는데, 기술의 완성도 못지않게 저렴한 가격을 달성할 필요가 있다. 비행거리와 최고속도에 대해서는 응답자들이 낮은 가치를 부여하는 것으로 나타나, 관련기술 개발을 다소 미루어도 무방할 것으로 판단된다.

V. 결 론

PAV는 미래의 혁신적인 교통수단으로 각광을 받으면서 개발이 진행되고 있다. 그리고 기술개발, 시장전망, 경제성 분석 등에 대한 연구가 이루어졌다. 앞으로 200여 개가 넘는 공급자들이 시장에 참여하면 치열한 경쟁이 벌어지며, 소비자의 선택을 받지 못하면 퇴출될 것이다. 그러나 소비자의 수용도에 대한 연구는 없었다.

본 연구에서는 경쟁력을 갖춘 PAV의 개발을 지원하기 위해 PAV의 주요 속성에 대한 수요자의 선호를 화폐적인 가치로 환산하였다. 설문조사를 진행하여 진실 선호 자료를 수집하고, 컨조인트 분석법과 서열프로빗 모형을 사용하였다. 지불의사액 추정 결과를 토대로 도로주행, 드론형, 소음 절감 등의 가치가 높음을 확인하였다.

본 연구를 통하여 지금까지 등한시되어 왔던 도로주행 가능한 기체 개발이 필요함을 확인하였다. 이에 대한 소비자의 선호는 경제적, 편리성 등에서 유추가 가능하다. 특히 지금까지 배타적인 듀얼모드 기능과 드론형 형상 간 결합의 필요성을 확인했다. PAV의 경쟁력 강화를 위해 이러한 수요를 개발에 반영할 필요가 있다.

완전자율비행은 기술적 난이도에 비해 가치가 높지 않았다. 자동차 운전 인구가 많아서 PAV 조종에 대한 부담이 낮다는 의미로 해석된다. 그리고 자율주행 자동차의 교통사고 등 부정적인 보도와 함께, 기계에 의한 낮은 신뢰도 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 그러므로 업체는 신뢰성에 대한 홍보와 함께 저렴한 가격수준

달성에도 노력을 기울일 필요가 있겠다.

비행거리와 최고속도는 가치가 가장 낮았으므로, 가장 큰 기술요소인 배터리 개발 등은 미루어도 될 것이다. 사실 이 기술은 배터리 업계의 과제로, PAV 산업계에서 해결할 기술이 아니므로 다행인 측면도 있다.

본 연구에서 제시한 PAV의 속성에 대한 수용도 분석 결과는 PAV의 경쟁력을 강화하는 데 필요한 기술의 개발순위와 투자 규모를 결정하는 데에 유용한 정보를 제공할 것이다.

다만 연구 진행 당시에 우리나라에 본격적으로 PAV를 개발하는 업체가 없어서 속성 결정 과정에서 현장의 목소리를 담을 기회가 없었다. 또한 일반인이 인식하고 이해할 수 있는 범위의 속성에 대해서만 설문조사가 가능하므로, 본 연구의 결과가 모든 기술에 대한 가치를 반영하지 못하는 한계도 있다.

후 기

본 논문은 변상규의 2021년도 박사학위 논문(Byun, 2021. 2.)을 바탕으로 작성되었습니다.

References

1. Byun, S., "A study on the demand for personal air transportation", Ph.D. Thesis, Pusan National University, Busan, February 2021.
2. Joint Ministry of Relations, "Korean Urban Air Mobility(K-UAM) Roadmap that Opens the Sky of the City", 2020. 5.
3. Chun, S., Kim, S., and Lee, C., "Estimation for Road Traffic Congestion Costs in 2017", The Korea Transport Institute, 2019.
4. Black, W. R., "Transportation: A Geographical Analysis, New York", Guilford Press, 2003.
5. Kim, K., Won, D., and Yeo, W., "An analysis of the economic effects of Unmanned Aerial Vehicle(UAV) industry", Journal of The Korea Contents Association, 18(2), 2018, pp.216-230.
6. Hwang, C., "Status and challenges of urban air mobility development", Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, 16(1), 2018, pp.33-41.
7. Korea Aerospace Research Institute, "Prior Research Performance Report for Future Aircraft (PAV) Development", 2010. 4.
8. Han, C., "A study on the domestic development strategy and the foreign research trends for the Personal Air Vehicle(PAV)", Aviation Industry Research, 82, 2016, pp.1-23.
9. Morgan Stanley, "Are Flying Cars Preparing for Takeoff?", 2019. 1. 23.
10. Kang W., Jung, J., Lee, D., "The study of PAV development requirements based on the annual operating cost", The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences Fall Conference, 2010, pp.404-407.
11. Korea Aerospace Research Institute, "Development of Safe Aviation System for Future Autonomous OPPAV and Establishment of Infrastructure", Ministry of Science and ICT, 2017. 12.
12. Moore, M. D., "Personal air vehicles: A rural/regional and intra-urban on-demand transportation system", AIAA Paper, 2003-2646, 2003.
13. Yang, J., "Report for PAV's technology trend and industrial environment analysis", Aerospace Issue, Korea Aerospace Research Institute, 2019. 5.
14. Seong Y., Na, Y., Jung, W., and Han, J., "The status of research and development of PAV(Personal Air Vehicle) & Consideration of Korean version of PAV development", The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences Fall Conference, 2010. 4., pp.1343-1346.
15. Korea Industrial Development Institute, "Market and Business Feasibility Analysis for the Development of PAV", 2010.
16. Lim, G., "Flying car: One more step towards reality", Global Issue, NH Research Center, 2019. 2. 12.
17. Park, J., Kim, T., Jang, W., and Lim, C., "An analysis on consumer preference for attributes of agricultural box scheme", Journal of the

- Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 20(1), 2019, pp.329-338.
18. Uber Elevate, "Fast-forwarding to a future of on-demand urban air transportation", White Paper, 2016. 10. 27.
 19. Cho, N., "A study on estimating the value of travel time for inter-regional trips in Korea", The Korea Spatial Planning Review, 3, 2001, pp.25-38.
 20. Lee, J., "Startups that sell 600 million won PAV per unit compete for the lead between Uber and Ehang Air Taxi", Hankyung Business, 1279, 2020. 6. 2.
 21. Han, A., "1.5 billion flying cars on European routes, Japan with insurance, Korea with a long way to go", Joongangilbo, 2020. 1. 7.
 22. Oh, J., Kwon, Y., Kim, H., Kim, J., and Seo, J., "Calibrating a mode choice model for the analysis of access transportation to incheon international airport", The Korean Transport Policy Review, 6(2), 1999, pp.83-99.
 23. Hanley, N., Wright, R., and Adamowicz, V., "Using choice experiments to value the environment", Environmental and Resource Economics, 11, 1998, pp.413-428.
 24. Maddala, G. S., "Limited-Dependent and Qualitative Variables in Econometrics", Cambridge University Press, Cambridge, 1983.
 25. Negelkerke, N. J. D., "A note on a general definition of the coefficient of determination", Biometrika, 78(3), 1991, pp.691-692.