

수도권 도심항공 모빌리티 수직이착륙장 위치 선정, 경로 설정 및 운행 소요시간 분석

Selection of Vertiport Location, Route Setting and Operating Time Analysis of Urban Air Mobility in Metropolitan Area

오재석 · 황호연*
세종대학교 항공우주공학과

Jae-Seok Oh · Ho-Yon Hwang*
Department of Aerospace Engineering, Sejong University, Seoul, 05006, Korea

[요 약]

수도권 지역 직장인들의 평균 출퇴근 시간이 증가하고 도로의 교통혼잡비용이 증가함에 따라 새로운 교통수단의 필요성이 증가하고 있고, 도심항공 모빌리티(UAM)가 그 대안으로 떠오르고 있다. 따라서 본 논문에서는 인구, 교통량, 출퇴근 데이터를 이용하여 서울, 경기 지역에 UAM 수직 이착륙장 위치를 선정하고 운행 경로를 설정하였다. 전기 수직 이착륙 항공기(eVTOL)의 유형을 분석해 UAM에 적합한 추력편향형과 멀티콥터형 eVTOL을 선정하여 설정된 경로를 운행하였을 때 소요시간을 계산하였다. 또한 타 교통수단을 이용하였을 때 소요시간을 UAM 이용 시와 비교 분석하였다. 결과적으로 UAM을 이용한다면 출퇴근 시간이 대폭 줄어들 수 있음을 확인하였다.

[Abstract]

With the increases of average commuting time of office workers in the Seoul metropolitan area and the cost of traffic congestion on roads, the need for new transportation is increasing and urban air mobility (UAM) is emerging as an alternative. Therefore, in this paper, the vertiport locations were selected and routes were established using population, traffic and commuting data of Seoul and Gyeonggi Province. Vector thrust type and multicopter type of eVTOL compatible for UAM were selected by analyzing the types of eVTOL and time required for selected routes was calculated. In addition, the time required when we utilize other transportations was compared with UAM. Finally, it was verified that the commuting time can be sharply reduced when we use UAM.

Key word : eVTOL, Air mobility, UAM, Commuting time, Vertiport.

<https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.5.358>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 11 September 2020; Revised 21 September 2020
Accepted (Publication) 6 October 2020 (30 October 2020)

*Corresponding Author; Ho-Yon Hwang

Tel: +82-2-3408-3773

E-mail: hyhwang@sejong.edu

I. 서론

현재 우리나라에서는 수많은 직장인들이 출퇴근에 시간을 낭비하고 있다. 2019년 잡코리아와 알바몬에서 직장인 1301명을 대상으로 설문조사한 결과 그림 1과 같이 경기 134.2분 인천 100분 서울 95.8분으로 수도권 직장인들은 평균 114.5분을 출퇴근하는데 시간을 쓰고 있다[1]. 또한 한국교통연구원에서 발표에 따르면 그림 2와 같이 교통혼잡비용이 2005년 23.5조원에서 2015년 33.3조원으로 꾸준히 증가하고 있다[2]. 도로위에서 머무는 시간이 증가하고 출퇴근 시간이 증가하게 되면 시간과 연료의 낭비뿐만 아니라 직장인들의 업무 효율성 또한 떨어뜨리게 된다. 이에 더하여 자동차수의 증가로 인해 배출가스와 같은 환경 문제도 야기 시킨다.

이에 교통체증 및 연료낭비, 대기오염을 해결하기 위한 새로운 교통수단인 도심항공 모빌리티(UAM; urban air mobility)가 대안으로 부상하고 있다. 국내의 많은 기업에서 UAM 인프라 구축과 전기 수직 이착륙 항공기(eVTOL; electric vertical take-off and landing) 개발을 진행 중에 있다. 우버사에서는 2016년 UAM 전담 자회사인 elevate를 설립하여 2023년 상업화를 목표로 적극적으로 시장을 선도하고 있다[3]. 두바이 시는 독일의 볼로콥터사를 시범사업 사업자로 선정하여 시범운용중이며 2022년 이후 실용화 서비스를 계획하고 있다[4]. 이 외에도 릴리움, 보잉, 에어버스 등 다수의 해외 기업들이 eVTOL을 개발하고 있다. 국내의 경우 현대자동차가 UAM 사업부를 신설하였고 CES2020에서 S-A1과 미래 도심 항공 모빌리티의 비전을 공개하며 2025 전략을 제시하였다[5]. 국토교통부에서는 한국형 도심항공교통(K-UAM) 로드맵을 제시하였다. 국토교통부는 거점과 거점을 연결하는 최초서비스를 2025년에 도입하고 도심항공 모빌리티 선도국가로의 도약, 시간과 공간의 새로운 패러다임 구축, 미래형 일자리 창출 가속화라는 비전을 제시하였다[6].

UAM을 국내에 적용시키기 위해서는 국내 실정에 맞는 인프라를 구축하고 이에 적용할 수 있는 eVTOL을 개발하여야 한다. 현재 국내에서는 UAM의 수직 이착륙장을 선정하기 위해 K 평균 알고리즘과 실루엣 기법을 통하여 수도권 지역에 몇 개의 수직이착륙장을 설치하였을 때 가장 효율적인지에 대한 연구가 진행 중에 있으며[7], 수도권 통근, 통학 인구 데이터를 이용하여 수직 이착륙장의 경로를 설정하는 연구도 진행되고 있다[8]. 또한 틸트날개형, 복합형, 멀티콥터형으로 eVTOL 유형을 분류하여 장단점을 분석하고 임무거리를 나누어 각 eVTOL 유형의 임무별 총 소요 시간과 에너지 소모량을 비교 분석하는 연구가 진행되고 있다[9].

본 논문에서는 우리나라 서울, 경기 지역에 UAM을 도입한다고 가정하고 서울, 경기 지역에서의 출퇴근 관련 데이터와 서울시의 생활인구 데이터를 수집하여 수직 이착륙장의 위치를 선정하고, 비행제한구역과 인구밀집 지역을 고려하여 운영 경로를 선정하였다. 또한 eVTOL의 유형별 데이터를 수집하여

Average commuting time for office workers

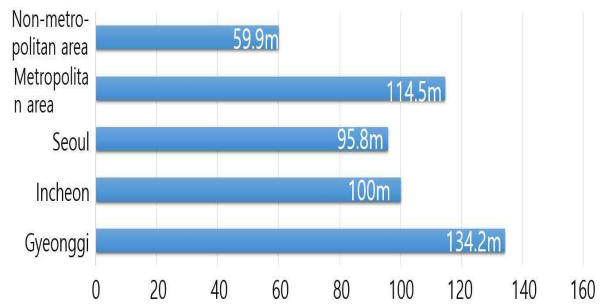


그림 1. 수도권 직장인 평균 출퇴근 소요시간[1]

Fig. 1. Average commuting time for office workers in the Seoul metropolitan area [1].

Change in traffic congestion costs

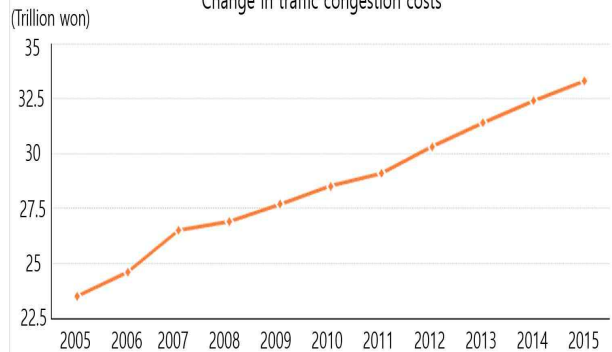


그림 2. 교통혼잡비용 변화 추이[2]

Fig. 2. Change in traffic congestion costs [2].

소요시간 단축에 초점을 맞추어 UAM에 사용할 eVTOL 유형을 선정하였다. 최종적으로 선정된 eVTOL들의 소요시간을 계산하여 타 교통수단들과 비교하였다.

II. 수직 이착륙장 및 경로 설정

2-1 수직 이착륙장 선정

현재 우리나라에서는 전체 인구의 절반에 가까운 인구가 수도권에 거주하고 있다. 그 중에서도 서울의 비싼 집값과 신도시 개발 등의 이유로 경기도의 인구가 빠르게 증가하고 있다. 경기도에서 서울로 혹은 그 반대로의 출퇴근 인구가 크게 증가하고 있다. 이에 따라 경기도와 서울시간의 교통 혼잡도가 매우 높아 이를 해결하기 위해 경기도와 서울시 내부에 수직 이착륙장을 설치하는 것이 적합하다고 판단하였다.

2016년 국토교통부와 한국교통연구원에서 조사한 경기도에서 서울 방향 출근 통행량 순위에 따르면 그림 3과 같이 고양시와 성남시가 각각 97,054, 96,515 대로 1, 2위를 차지하였다 [10]. 2016년 경기도에서 발표한 경기도 지역 간 출근 통행량

데이터에서 고양시 덕양구가 총 출근 발생량이 20,5918명, 성남시 분당구에서 26,7197명으로 가장 많았다. 이 두 데이터를 참고하여 고양시 덕양구와 성남시 분당구를 경기도 지역 수직 이착륙장 후보 지역으로 선정하였다. 서울시 내에 수직 이착륙장 장소를 선정하기 위해 서울시에서 매년 발표하고 있는 서울시 생활인구 데이터[11]를 이용하여 인구 유동이 거의 없는 새벽 3시의 서울시 생활 인구를 기준으로 하여 나머지 시간대의 생활인구 유출입 인구를 보여줄 수 있는 코로플레스 맵을 그림 4와 같이 생성하였다[12]. 본 논문에서는 오전 6시를 출근하기 전 시간대, 오후 4시를 출근 후 직장인들의 유동이 없는 시간대로 가정하였고, 그림 5에서 생활 인구의 유출이 많은 지역을 뜻하는 푸른색 지역을 거주 지역이라 가정하고 유입이 많은 지역을 뜻하는 붉은색 지역을 근로 지역이라고 가정하였다. 이 결과와 서울시 생활인구 데이터를 바탕으로 서울시 내에서 생활인구 변화가 많은 지역 즉 출퇴근 유동인구가 많은 지역인 영등포구와 강남, 서초구를 서울시 내의 수직 이착륙장 후보지로 선정하였다.

수직 이착륙장을 설치하기 위한 장소는 첫 번째로 eVTOL을 수용할 수 있는 충분한 부지가 있어야 한다. 본 논문에서는 수직 이착륙장 설치에 필요한 최소 크기를 표1에 제시한 날개길이와 동체길이가 가장 긴 현대자동차의 S-A1을 기준으로 잡고 그림 6과 같이 계산하여 가로 세로 162.8 ft (49.6 m)로 가정하였다. 두 번째로 수직 이착륙장으로의 교통이 원활하여야 한다. 수도권 주요 도심 지역에는 이와 같은 두 조건을 만족시키는 장소는 찾기가 힘들다.

미항공우주국(NASA)에서는 수직 이착륙장 장소의 해결책으로 고속도로 나들목(IC; inter change)을 제시하였다[13]. 또한 현대자동차에서는 그림 7과 같이 UAM의 비전 이미지를 공개하면서 한강공원 인근과 유사한 장소를 제시하였다[14]. IC는 대체로 부지가 넓고 고속도로와 연결이 되어 있어 접근성이 높아 교통이 원활하다. 한강공원 또한 부지가 충분하고 교통이 원활하다. 따라서 본 논문에서는 그림 8과 같이 고양시 덕양구의 고양 IC, 성남시 분당구 인근의 판교 JC, 강남구와 서초구의 서초 IC, 영등포구의 여의도 한강공원을 수직 이착륙장 장소로 선정하였다.

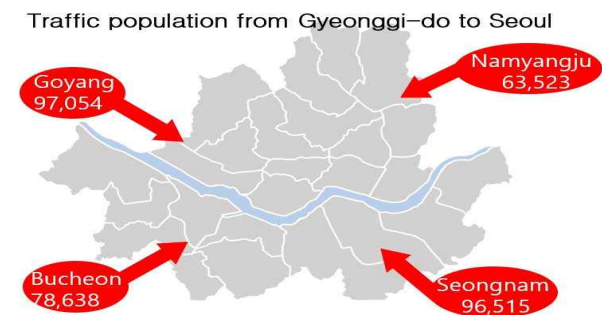


그림 3. 경기→서울 출근 인구[10]
 Fig. 3. Traffic population from Gyeonggi-do to Seoul [10].

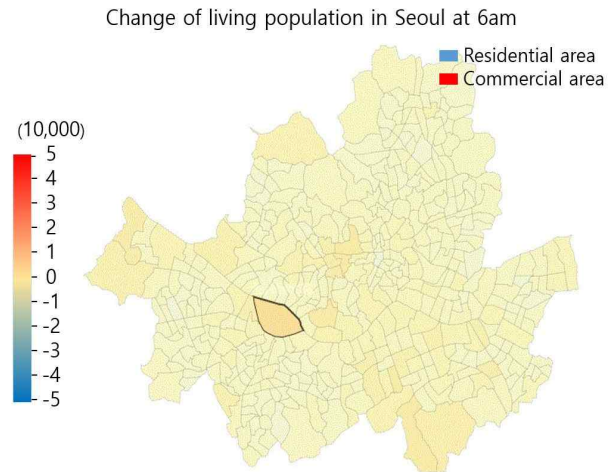


그림 4. 오전 6시 서울시 상주인구 밀도[12]
 Fig. 4. Density of living population in Seoul at 6am [12].

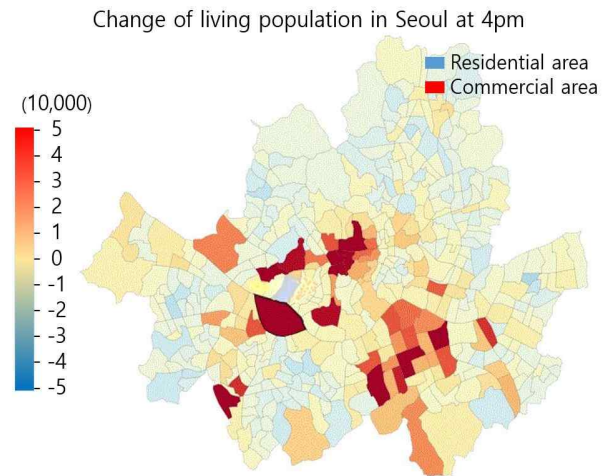


그림 5. 오후 4시 서울시 생활인구 밀도[12]
 Fig. 5. Density of living population in Seoul at 4pm [12].

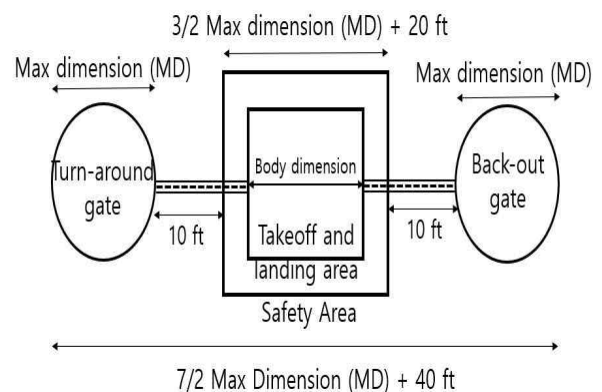


그림 6. 수직 이착륙장 크기와 공간[15]
 Fig. 6. Vertiport size and space [15].



그림 7. 현대자동차 미래 모빌리티 비전[14]
Fig. 7. Future mobility vision of Hyundai Motor [14].



그림 8. 서초IC, 판교JC, 고양IC, 여의도 한강공원 형상
Fig. 8. Configuration of Seocho IC, Pangyo JC, Goyang IC and Yeouido Hangang park.

표 1. eVTOL 종류별 기본 사양[16]
Table 1. Basic specification of different eVTOL types [16].

Vehicle	PAX	Configuration	Body Dimension (ft)	Max Dimension (ft)
Vahana	2	Tilt Wing	20.6(wingspan)	28.5
Aurora	2	lift+cruise	26.2(wingspan)	29.2
Volocopter 2X	2	Multirotor	30(superstructure)	32.0
S-A1	4	Tilt Rotor	49(wingspan)	35.1

2-2 경로 설정

본 논문에서는 UAM의 경로를 설정하기 위해 세 가지 조건을 고려하였다. 첫 번째로는 항공법상의 문제이다. 현재 우리나라 항공법 제38조에 의하면 공역을 체계적이고 효율적으로 관리하기 위하여 그림 9와 같이 비행정보공역을 관제공역, 비관제공역, 통제공역, 주의공역으로 나누어 관리하고 있다.

관제공역은 항공교통의 안전을 위하여 항공기의 비행 순서, 시기, 방법 등에 관하여 국토교통부장관의 지시를 받아야 할 필요가 있는 공역으로 관제권 및 관제구를 포함하는 공역

이다. 관제권이란 비행장으로부터 9.3km 이내인 곳을 말한다. 통제공역은 항공교통의 안전을 위하여 항공기의 비행을 금지하거나 제한할 필요가 있는 공역이다. 하지만 항공법 제 38조의 2 2항에 따르면 국토교통부장관의 허가를 받아 국토교통부장관이 정하는 비행 방식 및 절차에 따라 비행한다면 이 문제는 해결될 수 있다.

두 번째로는 거주 인구 밀집 지역에 대한 문제이다. 거주 인구가 밀집되어 있는 지역을 운행한다면 소음공해, 사생활 침해 등의 문제가 발생한다. 따라서 경로를 설정할 때 이 지역을 피해 설정해야 한다. 서울시 내의 거의 모든 지역은 포화 상태라고 할 정도로 인구가 밀집되어 있다. 따라서 거주인구 밀집 지역을 피하기 위해서는 고속도로 혹은 강을 따라 운행하거나 인구 밀집도가 가장 적은 지역으로 운행할 수 있는 경로를 찾아야 한다.

마지막으로는 시간 효율성의 문제와 교통 혼잡도 해결 문제이다. 경로를 설정하였을 때 이 경로대로 운행하였을 때 출퇴근 시간대의 교통 혼잡도를 얼마나 줄일 수 있는지, 타 교통수단에 비해 시간이 얼마나 단축될 수 있는지 분석해야 한다. 본 논문에서는 이 세 가지를 고려하여 수직 이착륙장 간 경로를 설정하였다.

그림 10, 11, 12와 같이 고양 IC에서 여의도 한강공원사이의 경로(경로1), 여의도 한강공원과 서초 IC 사이의 경로(경로2), 서초 IC와 판교 JC 상의 경로(경로3), 고양 IC와 서초 IC 사이의 경로(경로4), 여의도 한강공원과 판교 JC 사이의 경로(경로5)를 설정하였다. 경로1은 자유로와 한강 상공, 경로 2는 한강 상공, 경로3은 경부고속도로, 경로4는 자유로와 한강상공, 경로 5는 경부고속도로와 한강상공을 운행한다. 따라서 소음공해와 사생활 침해 등 여러 법적인 문제가 상대적으로 적다고 판단된다. 설정한 모든 경로들은 현재 제한공역으로 설정되어 운항이 불가하지만 위에서 언급한 항공법 제 38조의 2 2항으로 해결될 수 있다. 또한 서울 내에서 혼잡도가 높은 도로인 강변북로와 자유로의 교통 혼잡도를 줄여 서울 내부 교통 혼잡구간을 많이 줄여줄 수 있을 것이고 서울과 성남, 용인을 이어주는 경부고속도로의 정체구간을 줄여줄 수 있을 것이다.

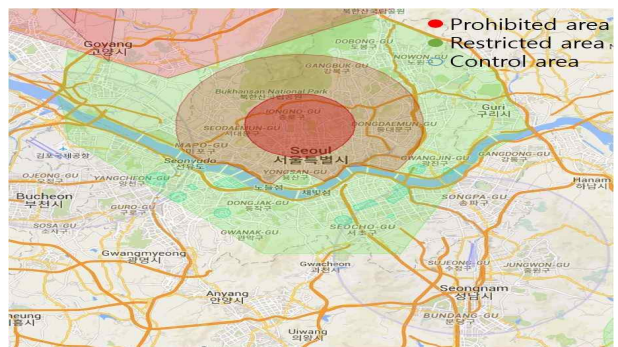


그림 9. 서울 인근 비행 제한, 금지구역[17]
Fig. 9. Restricted and prohibited airspace Seoul vicinity [17].

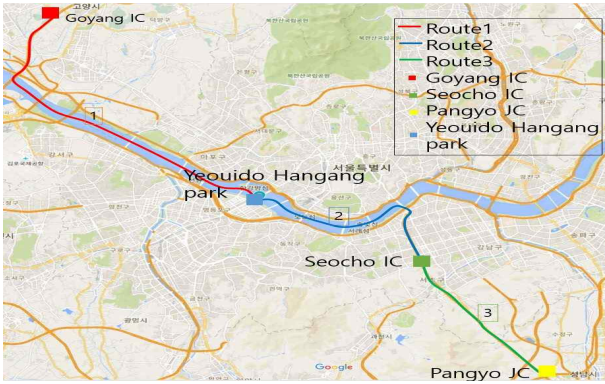


그림 10. 경로 1(고양 IC-여의도 한강공원), 2(여의도 한강공원-서초 IC), 3(서초 IC-판교 JC)
 Fig. 10. Route 1 (Goyang IC-Yeouido Hangang park), 2 (Yeouido Hangang park-Seocho IC), 3 (Seocho IC-Pangyo JC).

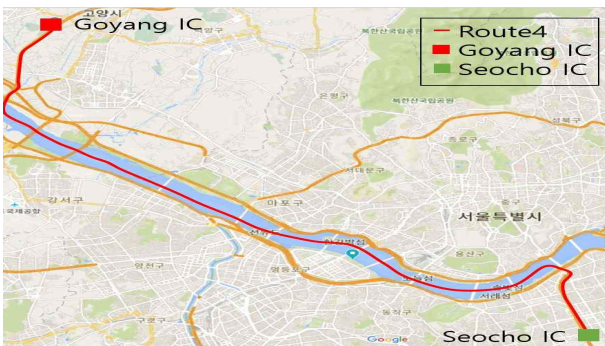


그림 11. 경로 4(고양 IC-서초 IC)
 Fig. 11. Route 4 (Goyang IC-Seocho IC).

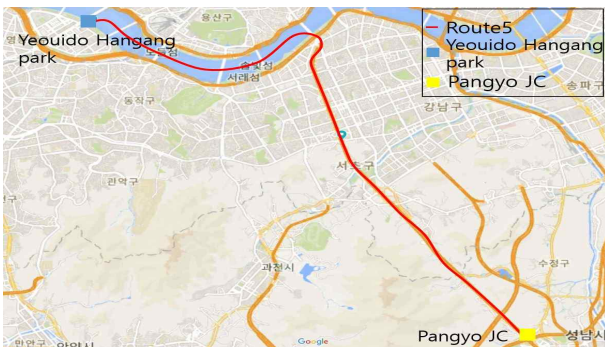


그림 12. 경로 5(여의도 한강공원-판교 JC)
 Fig. 12. Route 5 (Yeouido Hangang park-Pangyo JC).

III. eVTOL 유형 분석 및 선정

eVTOL의 경우 많은 기술들이 보안이나 기술의 미완성 등의 이유로 상세하게 공개되지는 않았지만 개발 중인 비행체가

2018년 2월 50여개에서 2020년 8월 300여개로 늘어났을 정도로[14] 새로운 교통수단에 대한 필요성과 eVTOL시장의 기대치가 높아지고 있다.

eVTOL은 전통적인 한 개의 메인로터를 가진 헬리콥터와 비교하여 소음이 적고 안전하며 가격적인 면에서도 더 저렴하다. 또한 분산전기추진방식을 적용하여 로터 고장 시 안전성을 크게 향상시키고 저속에서 양력을 크게 높인다[18]. 본 논문에서는 추진 방식에 따라 틸트 워/로터/덕트형, 복합형(lift & cruise), 멀티로터형으로 분류하였다.

3-1 eVTOL 유형

1)틸트 워/로터/덕트형(vectored thrust)

틸트 워/로터/덕트형은 추력편향(vectored thrust) 방식으로 추력방향을 변화시켜 항공기의 자세를 변화시키고 진행 방향을 바꾸는 기술을 사용하고 모두 날개를 장착하고 있으며 수직 비행 과정에서는 틸트 워형은 날개, 틸트 로터형은 로터, 틸트 덕트형은 덕트팬을 수직 방향으로 하여 수직이착륙을 하고 전진 비행 시에는 각각 날개, 로터, 덕트팬의 방향을 이에 맞추어 변경하여 비행을 하는 형태이다. 이 형태는 대부분 분산전기추진방식(DEP: distributed electric propulsion)을 사용하기 때문에 하나의 프로펠러, 로터, 덕트팬이 고장이 난다 해도 안전하게 이착륙이 가능하고 여러개의 작은 모터를 배치하여 소음을 크게 줄일 수 있다. 전진비행 시에는 고정익 항공기와 유사한 방법으로 비행을 하므로 멀티콥터형에 비해 빠른 속도로 비행이 가능하다[8],[19]. 대표적인 eVTOL으로는 그림 13과 같이 틸트 워형은 에어버스사의 Vahana와 릴리움사의 Lilium jet이 있고, 틸트 로터형으로는 현대자동차의 S-A1, 틸트 덕트형은 벨사의 Nexus 4EX가 있다.

2)복합형(lift & cruise)

복합형은 고정익이 장착되어 있어 전진 비행 시 속도가 빠르고 추력편향 방식과 유사하지만 날개가 고정되어있고 장착되어 있는 수직이착륙 방향의 로터는 전진 비행에는 사용되지 않고 오직 수직 이착륙 과정에만 사용된다는 점에서 차이가 있다. 즉 수직 이착륙에 쓰이는 로터와 전진비행에 사용되는 프로펠러가 별도로 작동하고 동력이 수직이착륙 시에는 수직이착륙용 로터에만 집중되고 전진비행 시에는 프로펠러에만 전달된다. 하지만 수직이착륙 시 사용되는 로터들이 전진비행에는 고정되어 있어 항력을 증가시켜 추력편향 방식과 비교해서는 전진 비행 효율이 떨어진다[20]. 대표적인 복합형 eVTOL으로는 그림 14와 같이 보잉사의 Aurora eVTOL이 있다.

3)멀티로터형(wingless)

멀티로터형은 고정익 날개가 없고 두 개 이상의 양력을 생성하는 로터가 장착된 형태로서 로터를 이용하여 수직이착륙과 전진비행을 한다. 멀티로터형은 단순한 로터 메카니즘으로 구성되어 있어 비행제어가 용이하며 안정성이 좋고, 다른 형태들

과 마찬가지로 분산전기추진방식을 사용하여 설계의 다양성을 얻을 수 있다. 또한 커다란 디스크 액추에이터 표면을 가지고 있어 호버링과 수직이착륙을 하는데 있어서 높은 에너지 효율성을 보인다. 하지만 날개가 장착되어 있지 않아 전진비행에 있어서 순항속도를 높이는 데 한계가 있다[21]. 대표적인 멀티로터형 eVTOL으로는 이항(Ehang) 184, 216, 볼로콥터사의 Volocopter 2X (그림 15)가 있다.



그림 13. 틸트 윙(Lilium jet), 틸트 로터(S-A1), 틸트 덕트(NEXUS 4EX)형 eVTOL [5][22][23]

Fig. 13. Tilt wing (Lilium jet), tilt rotor (S-A1), tilt duct (NEXUS 4EX) type eVTOL [5][22][23].



그림 14. 복합형(Aurora Flight Science) eVTOL [24]

Fig. 14. Lift plus cruise type eVTOL (Aurora flight science) [24].



그림 15. 멀티로터형(Volocopter 2X) eVTOL [4]

Fig. 15. Multirotor type eVTOL (Volocopter 2X) [4].

3-2 eVTOL 선정

본 논문에서는 UAM을 주로 이용하는 고객을 출퇴근 시간대의 직장인으로 선정하였다. 이에 따라 UAM의 가장 큰 기대 효과는 교통 혼잡도 해결과 직장인들의 출퇴근 소요시간 감소이다. 따라서 eVTOL을 선정하는데 있어서 가장 중요한 기준으로 eVTOL의 순항속도를 선택하였다.

프로토타입이 존재하고 제원이 어느 정도 공개된 유형별 eVTOL의 순항속도를 표 2에 나타내었다. 평균 속도는 추력편향형은 254.4 km/h, 복합형은 194 km/h, 멀티로터형은 106 km/h이다. 본 연구에서는 순항속도가 가장 빠른 추력편향형과 순항속도는 느리지만 안정성이 뛰어나고 기술적으로 상용화가 가장 빠른 멀티로터형을 운행 소요시간 분석에 사용하였다.

표 2. eVTOL 유형별 순항속도[16]

Table 2. Cruise speed classified by type of eVTOL [16].

Type	eVTOL PAV	Cruise Speed (km/h)
Vectored thrust	Vahana	200
	Airspacex Mobi	241
	Nexus 4EX	241
	S-A1	290
	Lilium jet	300
Lift plus cruise	Aurora	180
	Ecrm-004	217
	TF-2A	180
	Cora	177
	Cityhawk	216
Multirotor	Ehang 216	130
	Volocopter 2x	100
	Pop up	150
	Elroy	70
	Seraph	80

IV. 소요시간 분석

UAM 운행 소요시간을 계산하기 위해서 앞에서 설정한 5가지의 경로에 대해서 각각 승용차를 이용한 경우, 대중교통을 이용한 경우, eVTOL을 이용 하였을 경우 소요시간을 계산하였다.

승용차를 이용하였을 경우는 서울 열린데이터 광장에서 제공하는 서울시고속도로 일별 시간대별 속도정보를 이용해 시간을 계산하여 표3에 나타내었다[25]. 출퇴근 소요시간은 각각 경로1은 43분, 34분, 경로2는 28분, 34분, 경로3은 32분, 15분, 경로4는 71분, 77분, 경로5는 60분, 49분이 소요된다.

대중교통을 이용하였을 때 소요시간은 구글맵에서 제공하는 데이터를 이용하여 계산하였다[26]. 출퇴근 소요시간은 각각 경로1은 71분, 63분 경로2는 51분, 53분 경로3은 61분, 63분 경로4는 95분 90분, 경로5는 80분, 75분이다.

eVTOL을 이용하여 5가지 경로에 대하여 수직 이착륙장 간의 직선거리를 이동하는데 소요시간은 앞서 구하였던 추력편

향 형태의 평균속도를 가지는 가상의 eVTOL1과 멀티로터 형태의 평균속도를 가지는 가상의 eVTOL2를 가정하여 계산하였다. 가상의 eVTOL1의 상세 제원은 표 4와 같이 순항속도 254.4 km/h, 가속도 2 m/s², 이륙시간 20초, 착륙시간 20초로 가정하였다. 가상의 eVTOL2의 상세 제원은 표 5와 같이 순항속도 106 km/h, 가속도 2 m/s², 이륙시간 20초, 착륙시간 20초로 가정하였다. 상승, 하강 시간과 거리는 eVTOL이 이륙을 마친 후 순항 속도에 도달하기까지와 순항에서 착륙전까지의 시간과 거리로 가정하였다.

5가지 직선 경로에 대한 거리는 Haversine 공식을 이용하여 계산하였다. Haversine 공식은 지구상의 위도와 경도를 아는 특정 위치사이의 거리를 구할 때 사용하는 공식으로 다음과 같다 [27].

$$d = 2 \times r \times \arcsin \left(\sqrt{\sin^2((\psi_2 - \psi_1)/2) + \cos(\psi_1) \cos(\psi_2) \sin^2((\lambda_2 - \lambda_1)/2)} \right) \quad (1)$$

표 3. 승용차 구간별 평균속도[25]

Table 3. Average speed of a passenger car for each section [25].

Section	Commuting time (07~09) average speed	Commuting time (17~19) average speed	Distance (km)
Goyang IC – Ilsan IC	95.4	93.7	3
Ilsan IC – Jayuro JC	64.8	48.1	1.8
Jayuro JC – Haengju IC	38.5	25.5	2.3
Haengju IC – Gayangdaegyo	17.6	46.7	5.6
Gayangdaegyo – Wonhyodaegyo Southern end	30.7	26.4	8.5
Wonhyodaegyo Southern end – Yeouido Hangang park	30	30	0.5
Wonhyodaegyo Southern end – Wonhyodaegyo Northern end	51.1	51.2	1.2
Wonhyodaegyo Northern end – Hannamdaegyo Northern end	26.5	25.7	7.2
Hannamdaegyo Northern end – HannamIC	49.6	46.4	1.4
HannamIC – SechoIC	32.9	25.9	4.4
PangyoJC – YangjaeIC	17.2	47.4	7.7
YangjaeIC – SechoIC	32.6	45.3	3.1

표 4. 추력편향을 이용한 가상의 eVTOL1 제원

Table 4. Specification of virtual eVTOL1 using vectored thrust.

Configuration	Virtual eVTOL 1
Type	Vectored thrust
Cruise speed (km/h)	254.4
Acceleration/deceleration (m/s ²)	2
Takeoff time (s)	20
Landing time (s)	20
Climb/Descent time (s)	35.3
Climb/Descent distance (km)	1.25
PAX	4

표 5. 멀티로터를 이용한 가상의 eVTOL2 제원

Table 5. Specification of virtual eVTOL2 using multirotor.

Configuration	Virtual eVTOL 2
Type	Multirotor
Cruise speed (km/h)	106
Acceleration/deceleration (m/s ²)	2
Takeoff time (s)	20
Landing time (s)	20
Climb/Descent time (s)	14.7
Climb/Descent distance (km)	0.78
PAX	4

여기서 d는 두 위치사이의 거리, r은 지구반지름, ψ_1, ψ_2 은 위치 1과 위치2의 위도, λ_1, λ_2 은 위치1과 위치2의 경도를 의미한다.

위 식을 이용하여 경로별 직선거리를 계산한 결과 표 6과 같이 경로1은 17.12 km, 경로2는 10.09 km, 경로3은 10.55 km, 경로4는 26.65 km, 경로5는 20.21 km이다.

UAM의 임무형상은 항공안전법 시행규칙 제 199조에 의거하여 사람 또는 건축물이 밀집된 지역의 상공에서는 가장 높은 장애물의 상단에서 300 m 고도에서 비행해야 하므로 그림 16과 같이 300 m고도까지 수직상승, 500 m 고도까지 천이비행, 그 후 순항으로 생성하였다.

추력편향 형태인 가상의 eVTOL 1을 이용하여 5가지 직선 경로에 대해서 임무형상을 적용시키면 소요시간은 표 7과같이 경로 1은 5.25분, 경로 2는 3.62분, 경로 3은 3.73분, 경로 4는 7.53분, 경로 5는 6.01분이 걸린다. 멀티로터 형태를 적용한 가상의 eVTOL 2를 이용하여 마찬가지로 적용하면 소요시간은 표 8과 같이 경로 1은 9.97분, 경로 2는 5.99분, 경로 3은 6.25분, 경로 4는 15.36분, 경로 5는 11.72분이다.

eVTOL을 이용하여 앞서 설정한 경로를 운행한 소요시간은 직선거리 소요시간 계산과 같은 방법으로 계산하였다. 먼저 식 1을 이용해 5가지 곡선 경로들을 여러 개 직선으로 쪼개어 각각 계산하여 합한 결과 표 6과 같이 경로1은 19.64 km, 경로2는 12.95 km, 경로3은 10.55 m, 경로4는 32.58 km, 경로5는 23.5 km가 나왔다. 가상의 eVTOL1을 이용하여 5가지 경로에 대해서 임무형상을 적용시키면 소요시간은 표 9와 같이 경로1은 5.87분, 경로2는 4.79분, 경로3은 3.73분, 경로4는 8.93분, 경로5

는 6.79분이다. 가상의 eVTOL2를 이용하여 마찬가지로 적용시키면 표 10과 같이 경로 1은 11.39분, 경로 2는 7.61분, 경로 3은 6.25분, 경로 4는 18.71분, 경로 5는 13.58분이 소요된다.

5가지 경로에 대해서 승용차, 대중교통, eVTOL1을 이용하였을 때 소요시간을 그림 17에 나타내었고, 승용차, 대중교통, 가상의 eVTOL2를 이용하였을 때 소요시간을 그림 18에 나타내었다. 각 교통수단별로 5가지 경로에 대한 소요시간의 평균을 내면 승용차 46.8분, 대중교통 71.6분, 직선거리를 가상의 eVTOL1을 이용하였을 경우 5.3분, 가상의 eVTOL2를 이용하였을 경우 9.86분, 우회거리를 가상의 eVTOL1을 이용하였을 경우 5.9분, 가상의 eVTOL2를 이용하였을 경우 11.51분이 소요된다.

추력편향 형태인 eVTOL1과 멀티로터 형태인 eVTOL2를 비교해보면 표 11과 같이 eVTOL1과 eVTOL2의 소요시간 비율이 경로 1은 1.94, 경로 2는 1.77, 경로 3은 1.68, 경로 4는 2.10, 경로 5는 2가 된다. 즉 멀티로터 형태는 추력편향 형태와 비교하여 순항속도가 느려서 소요시간이 2배 가까이 차이가 나고 거리가 더 긴 경로에 대해서는 소요시간의 차이가 점점 더 커진다.

표 6. 경로별 직선, 우회 거리
Table 6. Direct, detour distance for each route.

	Direct distance (km)	Detour distance (km)
Route1	17.12	19.64
Route2	10.09	12.95
Route3	10.55	10.55
Route4	26.65	32.58
Route5	20.21	23.5

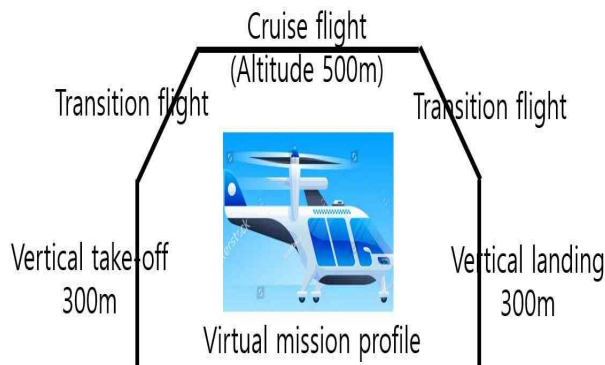


그림 16. 가상의 임무형상
Fig. 16. Virtual mission profile.

표 7. 가상의 eVTOL1을 이용한 직선거리 소요시간
Table 7. Total time required for straight distance using virtual eVTOL1.

eVTOL1 (direct)	Takeoff and landing time (s)	Acceleration/deceleration time (s)	Cruise time (min)	Total time (min)
Route1	40	70.6	3.42	5.25
Route2	40	70.6	1.79	3.62
Route3	40	70.6	1.90	3.73
Route4	40	70.6	5.70	7.53
Route5	40	70.6	4.18	6.01

표 8. 가상의 eVTOL2를 이용한 직선거리 소요시간
Table 8. Total time required for straight distance using virtual eVTOL2.

eVTOL2 (direct)	Takeoff and landing time (s)	Acceleration/deceleration time (s)	Cruise time (min)	Total time (min)
Route1	40	29.4	8.81	9.97
Route2	40	29.4	4.83	5.99
Route3	40	29.4	5.09	6.25
Route4	40	29.4	14.20	15.36
Route5	40	29.4	10.56	11.72

표 9. 가상의 eVTOL1을 이용한 우회거리 소요시간
Table 9. Total time required for detour distance using virtual eVTOL1.

eVTOL1 (detour)	Takeoff and landing time (s)	Acceleration/deceleration time (s)	Cruise time (min)	Total time (min)
Route1	40	70.6	4.04	5.87
Route2	40	70.6	2.46	4.29
Route3	40	70.6	1.90	3.73
Route4	40	70.6	7.10	8.93
Route5	40	70.6	4.95	6.79

표 10. 가상의 eVTOL2를 이용한 우회거리 소요시간
Table 10. Total time required for detour distance using virtual eVTOL2.

eVTOL2 (detour)	Takeoff and landing time (s)	Acceleration/deceleration time (s)	Cruise time (min)	Total time (min)
Route1	40	29.4	10.23	11.39
Route2	40	29.4	6.45	7.61
Route3	40	29.4	5.09	6.25
Route4	40	29.4	17.56	18.71
Route5	40	29.4	12.42	13.58

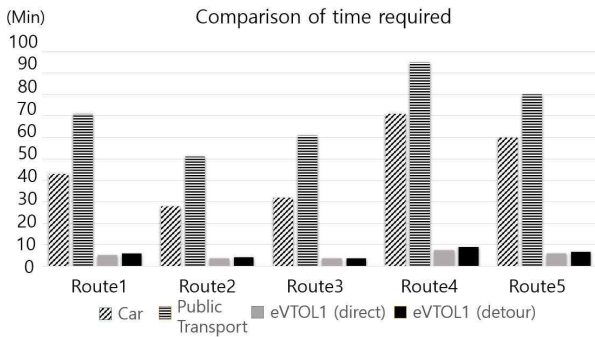


그림 17. 승용차, 대중교통, eVTOL1 소요시간 비교
 Fig. 17. Comparison of the time required for a car, public transport, and eVTOL1

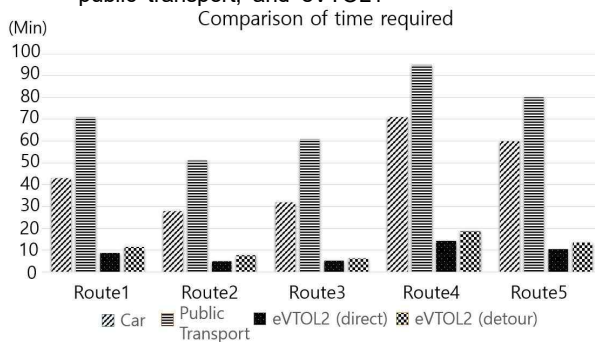


그림 18. 승용차, 대중교통, eVTOL2 소요시간 비교
 Fig. 18. Comparison of the time required for a car, public transport, and eVTOL2

표 11. eVTOL1, eVTOL2 소요시간 비교
 Table 11. Comparison of the time required for eVTOL1 and eVTOL2.

Route	eVTOL1(min)	eVTOL2(min)	Ratio
Route1	5.87	11.39	1.94
Route2	4.29	7.61	1.77
Route3	3.73	6.25	1.68
Route4	8.93	18.71	2.10
Route5	6.79	13.58	2

V. 결론

본 논문은 수도권의 다양한 교통 정보와 출퇴근 인구데이터, 인구밀집지역을 고려하여 UAM 운용을 위한 수직이착륙장과 경로를 설정하였다. 또한 eVTOL의 여러 유형을 분석하여 순항속도가 빠른 추력편향형과 안전성이 높고 상용화가 빠르게 진행되고 있는 멀티로터형을 본 연구에 적용하였다. 추력편향 형태의 가상 eVTOL1과 멀티로터 형태의 가상 eVTOL2를 생성하여 다른 교통수단과 경로별 소요시간을 분석하였다.

가상 eVTOL1을 사용한 UAM을 이용하여 최단거리 즉 직선거리를 운항하면 평균적으로 승용차에 비해서 소요시간이 1/9 수준으로 감소하고, 대중교통과 비교하면 1/13로 감소한다.

또한 소음이나 사생활 침해와 같은 다양한 문제가 상대적으로 적은 한강과 고속도로 상공을 이용한 우회경로를 운항하는 경우 소요시간이 승용차와 비교하여 1/8, 대중교통과 비교하여 1/12수준으로 감소한다. 마찬가지로 가상의 eVTOL2를 사용한 UAM을 이용하면 소요시간이 직선거리의 승용차와 비교하여 3/14, 대중교통과 비교하여 1/7 수준으로 감소하고 우회거리는 승용차와 비교하여 1/4, 대중교통과 비교하여 1/6수준으로 감소한다.

거주지와 직장에서 수직 이착륙장까지의 소요시간이 포함되지 않은 시간임을 감안해도 UAM을 이용하였을 때의 소요시간은 기존 교통수단 대비 소요시간이 매우 짧다. 따라서 단순 소요시간만을 비교하였을 때 UAM은 새로운 교통수단으로서 적절하고, 교통 혼잡도를 해결해주며, 출퇴근 직장인들이 도로 위에서 낭비하는 시간을 감소시켜줄 수 있을 것이다. 우버사와 여러 자문회사 보고서에 따르면 2035년경 UAM이 보편화되면 승객당 비용이 기존 택시 비용보다 낮아지는 것으로 되어있어 2035년경 UAM이 기존 대중교통 수단의 상당부분을 대체할 것으로 기대된다.

Acknowledgments

이 논문은 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구사업임(과제번호 : 20CTAP-C157731-01)

References

- [1] Job Korea, Average commuting time [Internet]. Available: http://www.jobkorea.co.kr/GoodJob/Tip/View?News_No=15457&schCtgr=0&schTxt=%EC%B6%9C%ED%87%B4%EA%B7%BC&Page=1.
- [2] E-nara indicator, Traffic congestion cost [Internet]. Available: http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1248.
- [3] Uber elevate [Internet]. Available: <https://www.uber.com/kr/ko/elevate/>.
- [4] Volocopter [Internet]. Available: <https://www.volocopter.com/en/urban-mobility/>.
- [5] Hyundai, Hyundai UAM [Internet]. Available: <https://tech.hyundaimotorgroup.com/kr/tag/uam/>.
- [6] K-UAM road map, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, May, 2020.
- [7] E. H. Lim, A Study on Seoul metro area operation and vertiport selection of ODM (on-demand mobility) utilizing PAV (Personal air vehicle), M.S. dissertation, Sejong University, Seoul, Feb. 2019.

- [8] B. S. Lee, J. Y. Yun and H. Y. Hwang, "Flight range and time analysis for classification of eVTOL PAV," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 24, No. 2, pp. 73~84, 2020.
- [9] J. Y. Yun, B. S. Lee and H. Y. Hwang, "Noise analysis for the operation of the eVTOL PAV using AEDT (Aviation environmental design tool)," *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 23, No. 4, pp. 265~272, 2019.
- [10] Kyunghyang news, Rank of traffic [Internet]. Available: http://news.khan.co.kr/kh_news/khan_art_view.html?artid=201805161820001&code=940100.
- [11] Seoul open data plaza, Seoul living population [Internet]. Available: <https://data.seoul.go.kr/dataVisual/seoul/seoulLivingPopulation.do>.
- [12] Pxd, Choropleth map [Internet]. Available: <https://story.pxd.co.kr/1408>.
- [13] Uber Elevate [Internet]. Available: <https://www.uber.com/elevate.pdf>
- [14] Hyundai, Hyundai future mobility vision [Internet]. Available: <https://young.hyundai.com/hyundai/news/detail.do?seq=7128>.
- [15] Parker D. Vascik and R. John Hansman, "Development of vertiport capacity envelopes and analysis of their sensitivity to topological and operational factors," in *AIAA Scitech 2019 Forum*, San Diego: CA, pp. 1-26, Jan. 2019.
- [16] Electric VTOL News, eVTOL aircraft directory [Internet]. Available: <https://evtol.news/aircraft>.
- [17] xNOTAM, Restricted and prohibited airspace [Internet]. Available: <http://aim.koca.go.kr/google/xNotamViewMap.jsp>.
- [18] C. J. Hwang, "Status and challenges of urban air mobility development," *Current Industrial and Technological Trends in aerospace*, Vol. 16, No.1, pp. 33-41, 2018.
- [19] A. Bacchini and E. Cestino, "Electric VTOL configurations comparison," *Aerospace*, Vol. 6, No. 3, pp. 1-19, Feb, 2019.
- [20] C. Silva, R. Wayne, Johnson, E. Solis, Michael D. Patterson and Kevin R. Antcliff, "VTOL urban air mobility concept vehicles for technology development," in *2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*, Atlanta: GA, pp. 1-16, June, 2018.
- [21] Wikipedia, Multicopter [Internet]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Multicopter>.
- [22] Lilium, Lilium jet [Internet]. Available: <https://lilium.com/the-jet>.
- [23] Bell, Nexus 4EX [Internet]. Available: <https://www.bellflight.com/products/bell-nexus>.
- [24] Aurora flight sciences, Aurora [Internet]. Available: <https://www.aurora.aero/>.
- [25] Seoul open data plaza, urban highway speed information [Internet]. Available: <https://data.seoul.go.kr/dataList/OA-15247/F/1/datasetView.do>.
- [26] Google map [Internet]. Available: <https://www.google.co.kr/maps/>.
- [27] Wikipedia, Haversine Formula [Internet]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Haversine_formula.



오 재 석 (Jae-Seok Oh)

2016년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 학사과정

※관심분야 : Urban Air Mobility, PAV Design, Assessment of Environmental Impacts from Aviation



황 호 연 (Ho-yon Hwang)

1993년 5월 : 미국 Georgia Institute of Technology 항공우주공학과 (공학박사)

2000년~ 현재 : 세종대학교 항공우주공학과 교수

2012년~2017 : 세종대 부설 항공산업연구소 연구소장

※관심분야 : Urban Air Mobility, PAV Design, Solar Aircraft Design, Assessment of Environmental Impacts from Aviation