

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2024.32.1.079>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

지역 허브급 버티포트의 설계 및 운영 연구

이동욱*, 이동규*, 박성식**

A Research on the Design and Operation of Regional Hub-Level Vertiport

Dong-Wook Lee*, Dong-Kyu Lee*, Sung-Sik Park**

ABSTRACT

UAM is emerging due to the deepening population concentration in the metropolitan area and the problem of congested ground transportation in urban areas. Accordingly, along with research on eVTOL aircraft for UAM services, interest in vertiport, the interest in vertiports, the infrastructure that allows eVTOLs to take off and land, is also increasing. However, behind the concentration of population in the metropolitan area, a phenomenon of local extinction is occurring in conjunction with the aging population. AAM, which moves quickly through 3D space, can be an effective SOC facility in times of local extinction crisis. In this paper, we introduce a design plan from the perspective of a complex transfer center for a regional hub-level vertiport that can connect with local high-speed rail and utilize local airports in compliance with the vertiport design guidelines issued by FAA(Federal Aviation Administration) and EASA(European union Aviation Safety Agency). We would like to present Vertiport's future operation plan.

Key Words : UAM(도심항공교통), Vertiport(버티포트), eVTOL(전기추진수직이착륙기), Complex Transfer Center(복합환승센터), Hub & Spoke(허브 앤 스포크)

1. 서론

우리나라를 포함한 전 세계 대도시권의 인구집중화와 교통 혼잡문제가 심각한 사회 문제로 나타나고 있다. 국내의 대도시권 집중화 현상에 대한 원인으로는 삶의 질을 향상시키고자 젊은 층의 수도권 이동에 의한 영향이 매우 크다 (Kim and Jeong, 2022). 이에 대한 반작용으로 지방은 인구 고령화 문제와 맞물려 지방소멸의 위

기가 발생하고 있다. 이러한 지방소멸 위기에 대한 국가적 대응 전략으로는 거점지역과 배후 지역의 연계를 강화하는 방향으로 필수적인 공공서비스인 거주민의 이동권을 확보하는 방안이 연구되고 있다(Lim and Hong, 2019). 그러한 점에서 UAM(urban air mobility)은 거점과 도서산간 배후 지역을 효과적으로 연결할 수 있는 수단이며, 허브 앤 스포크(Hub & Spoke)방식과 수요응답형 시스템을 적용하여 지방의 접근성을 효율적으로 개선할 수 있다. 이에 본 논문에서는 지방 거점지역에 고속철도와 연계하고, 지방공항을 활용할 수 있는 지역 허브급 복합환승센터로서의 버티포트 설계안과 향후 운영방안을 개략적으로 제시하며, 버티포트가 복합환승센터로서 지방의 효율적인 SOC(social overhead capital) 시설이 될 수 있는 가능성을 확인하고자 한다.

Received: 01. Feb. 2024, Revised: 14. Feb. 2024,

Accepted: 27. Feb. 2024

* 국립한국교통대학교 항공·기계설계학과

** 국립한국교통대학교 항공운항학과 교수

연락처 E-mail : sunsikpark@hotmail.com

연락처 주소 : 충청북도 충주시 대소원면 대학로 50

II. 본 론

2.1 버티포트 설계 배경

2035년을 배경으로 설계한 버티포트의 위치는 충청북도 청주시 흥덕구 오송읍에 위치한 고속철도역사인 오송역과의 연계를 위해 맞은편 오송읍 오송리 158 의 10필지를 선정하였으며, 오송역 2층의 고속철도 플랫폼과 브릿지를 통해 버티포트의 2층을 수평으로 연결 하였다. 건물의 규모는 지하 1층, 지상 3층의 연면적 134,635㎡의 규모이며, 비정형 구조로 설계하였다.

Fig. 1은 버티포트 조감도이며, 미연방항공청 FAA (Federal Aviation Administration)의 버티포트 설계 지침 EB(Engineering Brief) #105와 (FAA, 2022) 유럽항공안전청 EASA(European Union Aviation Safety Agency)의 버티포트 설계지침인 PTS-VPT-DSN(Prototype Technical Specifications for the Design of VFR Vertiports for Operation with Manned VTOL-Capable Aircraft Certified in the Enhanced Category)에 맞추어 설계하였다(EASA, 2022).

2.1.1 진·출입경로 설계

Table 1은 PTS-VPT-DSN에서 진출입경로로 제시된 Slope Design Categories 중 Type-C의 제 원이다. 이를 건물의 남북방향으로 설계하고, Fig. 2 EASA의 수직이착륙항공기에 대한 특수기술기준인 SC-VTOL에서 제시된 Reference Volume Type 1 을 건물에 적용하였을 때 청주국제공항과 소개하는 버티포트의 OLS(Obstacle Limitation Surfaces)는 Fig. 3과 같다(EASA, 2022).

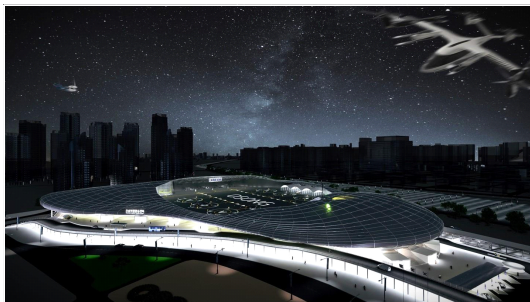


Fig. 1. Commercial and complex transfer center facilities

Table 1. Slope design categories type-C

SURFACE AND DIMENSIONS	SLOPE DESIGN CATEGORIES - C
APPROACH AND TAKE OFF CLIMB SURFACE:	
Length of Inner edge	Width of SA
Location of Inner edge	SA boundary
Divergence (1 stand 2nd section)	
Day use only	10%
Night use	15%
Length	1,220m
Slope	12% (1:8)

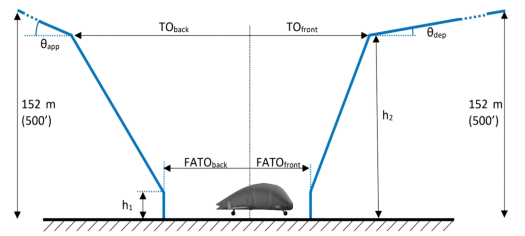


Fig. 2. SC-VTOL reference volume type 1

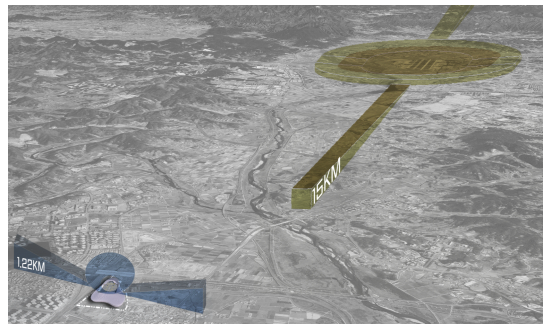


Fig. 3. PTS-VPT-DSN slope design Cheong-Ju Airport and Vertiport

2.1.2 3층 세부 설계

건물의 3층은 Fig. 4와 같으며, 옥상층으로 기체가 이착륙할 수 있는 버티포트의 에어사이드 시설이다. 6 개의 FATO(Final Approach Take Off area), 8개의 Gate, 4개의 격납고가 존재하며, 기체의 직경(D)은 15m로 가정하였다.

PTS-VPT-DSN에 따라 TLOF(Touchdown Lift Off area), FATO, SA(Safety Area)는 각각 0.83D, 1.5D, 2D로 설계하였고, 주기장의 크기는 1.2D이며, 각 주기장 사이에는 3m의 공간을 하였다.

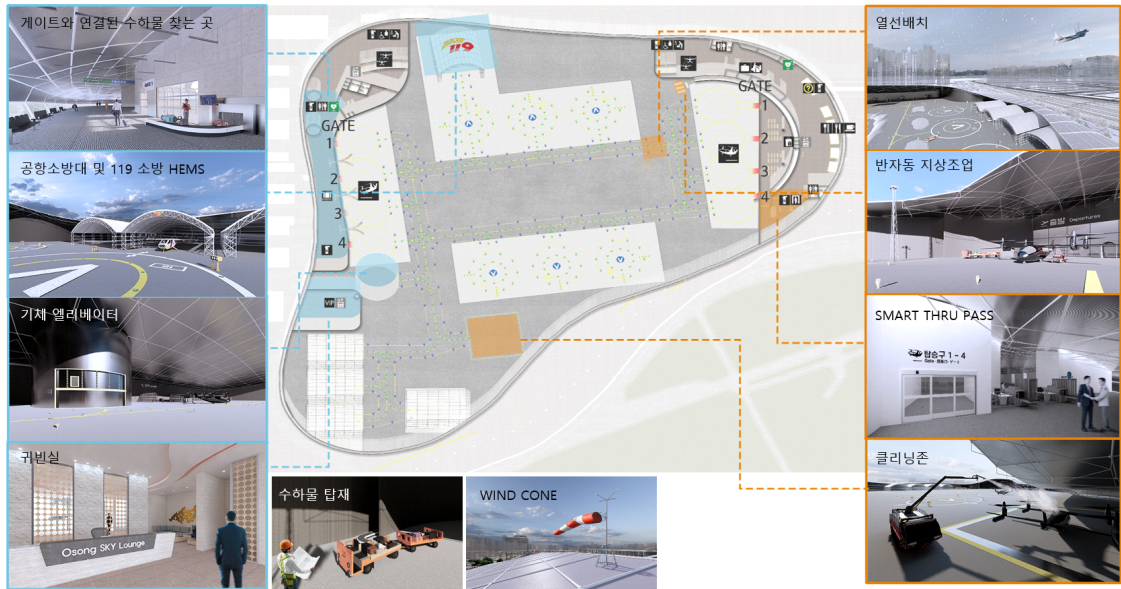


Fig. 4. 3rd Floor of airside

유도로의 너비는 2D, 유도등의 간격은 EASA의 비행장 규정인 CS-ADR-DSN(Certification Specifications and Guidance Material for Aerodrome Design)을 참고하여 최대 15m 이내에 존재하도록 배치하였고, 유도로의 회전 반경을 6.405m로, 회전 반경의 유도등 간격은 7.5m로 설계하였다(EASA, 2021).

TLOF의 진출입경로 방향에 착륙 가능한 eVTOL의 무게, 최대 직경이 표기되어 있어야 하는 제한치 표식 (limitation box)을 표시했고, TLOF, FATO의 조명은 동일 간격으로 12개를 배치하였다. 또한 이용객의 원활한 동선분리와 비행공수의 유도를 위해 출발 게이트와 도착 게이트의 위치를 이분화하였으며, 양쪽에 각각 4개씩의 게이트를 배치하였다. 시스템으로는 응급상황에 빠르게 대응할 수 있도록 HEMS(Helicopter Emergency Medical Services) 격납고 1동을 TLOF와 근접한 위치에 배치하였으며, 공항소방대를 HEMS 격납고 옆에 배치하여 효율적인 관리를 추구하였다. 에어사이드 운영을 위해 지하층과 수직 연결이 가능한 대형 엘리베이터가 있으며, 강설 상황에 대비하여 유도로 및 계류장에 열선을 배치하였다. 옥상 배수 시설과 연계되는 기체 세척과 한파 시 제빙(de-icing) 작업이 가능한 클리닝존이 있으며, 도착여객의 빠른 수하물 픽업과 기체에 탑재되는 위탁수하물은 기체 특성상 소수가 될 것이므로 수하물 찾는 곳을 도착게이트 바로 앞에 배치하였다. 또한 VIP의 이용을 염두에 두고, 일반 승객과 동

선을 분리한 귀빈실이 위치하도록 설계하였다.

2.1.3 2층 세부 설계

건물의 2층은 Fig. 5와 같으며, 문화시설이나 상업시설 등을 취합하는 국도교통부의 복합환승센터의 설계·배치기준에 부합하도록 설계하였다(MOLIT, 2015). 따라서 환승로의 역할을 하는 무빙워크를 건물 뒤편에 설계하였으며, 이 공간은 미디어월을 통해 광고수익을 창출할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 지역 교통의 허브와 지역의 관문이라는 컨셉에 맞게 소회의실을 배치하였으며, 오송역의 고속철도 플랫폼과 수평으로 연결되는 브릿지가 존재한다. 버티포트의 ATC(Air Traffic Control) 모니터링을 위한 Remote Tower Center가 있고, 외부에는 기존 공항과 유사한 출발 층 고가 커브사이드를 설계하였다.

2.1.4 1층 세부 설계

1층은 UAM 이용객뿐만 아니라, 지역주민들을 위한 문화시설로 편리하게 버티포트의 시설을 이용할 수 있도록 Fig. 6과 같이 설계하였다. UAM 이용객 중 청주공항을 이용하는 승객을 위한 체크인 서비스 센터가 있으며, 외부에는 대중교통 및 PBV(Purpose Built Vehicle) 플랫폼이 존재한다. 문화시설에 맞게 아고라와 공연장, 대회의실을 배치하였고, 환영객 대기장소를 1층에 배치하여 도착층으로 사용하고, 귀가 또는 환승

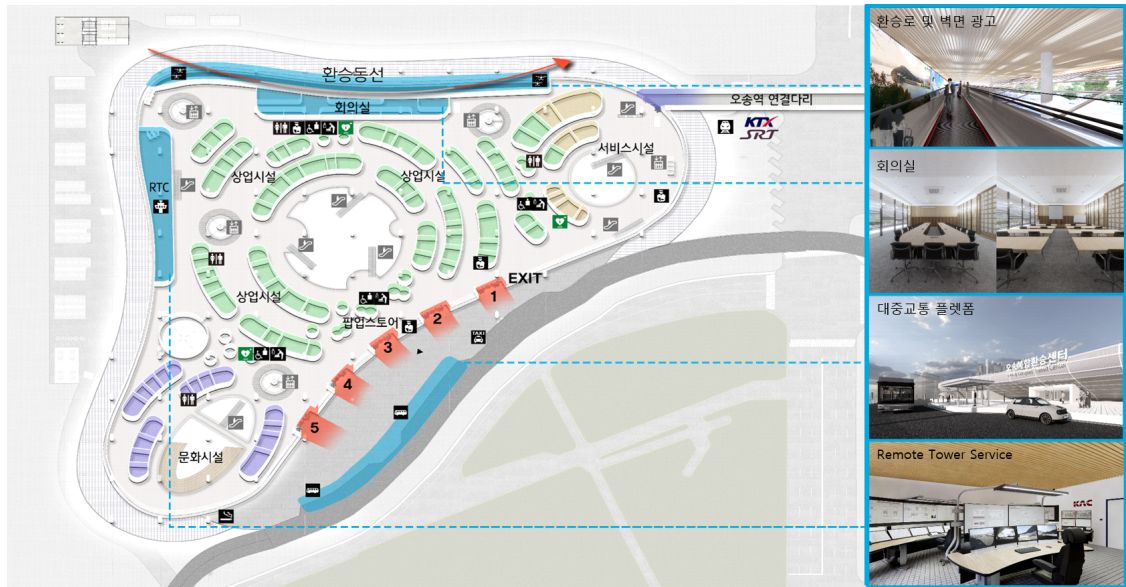


Fig. 5. 2nd floor commercial and complex transfer center facilities

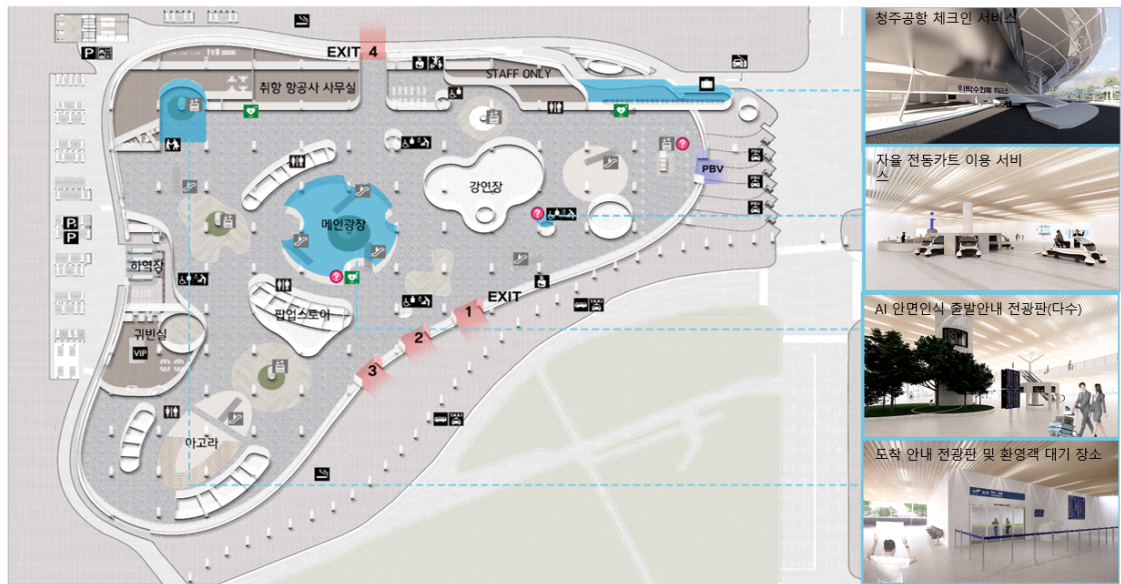


Fig. 6. 1F Culture facilities

을 하는 UAM 이용객이 넓은 광장을 이용할 수 있도록 설계하였으며, 게이트 앞에는 자율 전동카드를 배치하여 배리어프리(Barrier-free)를 구현하였다.

2.1.5 지하 1층 세부설계

지하 1층에는 Fig. 7과 같이 유틸리티 시설들을 배치하였다. 전기자동차의 배터리를 전력원으로 이용하

는 V2G(Vehicle-to-Grid) 기술이 적용된 전기자동차 전용 주차타워와 그 외 주차공간, eVTOL의 주기 및 경정비를 할 수 있는 주차타워식 MRO(Maintenance, Repair and Overhaul) 슬롯을 28실 배치하였다.

아울러 발전시설 및 ESS(Energy Storage System)를 함께 배치함으로써 버티포트에서 소비되는 전력 변동성에 대응하는 인근 지역에 대한 전력 공급을 보조

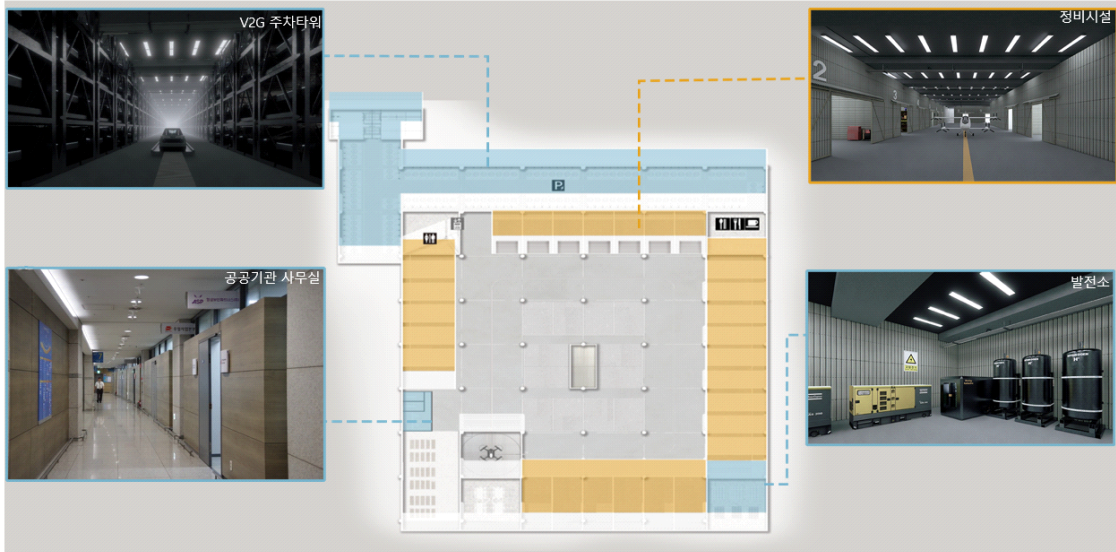


Fig. 7. B1F Utilities facilities

하는 시설이 될 수 있도록 하였다.

2.2 버티포트 운영 방안

공항의 운영수익은 크게 항공수익과 비항공수익으로 나뉜다. 대표적인 항공수익으로는 착륙료, 조명료, 주기로, 계류장 사용료, 여객공항이용료, 수하물처리시설 사용료 등이 있다. 비항공수익은 항공수익을 제외한 나머지 사용료를 지칭하며, 상업시설사용료, 광고료, 주차장 사용료 등이 있다. 이 중 1인 단위로 부과하는 여객공항이용료와 수하물처리시설사용료의 경우, UAM은 기체 특성상 운송할 수 있는 여객과 화물이 한정적이기에 여객공항이용료와 수하물처리시설사용료의 높은 수익을 기대하기 어렵다.

낮은 항공수익은 UAM의 운임 비용이 상승하는 계기가 될 수 있는데 UAM의 확장성을 위해서는 항공수익 대비 비항공 수익의 비중이 높을수록 공항의 사용료가 낮아지게 된다는 연구를 통해 항공수익을 낮추고 UAM 운임을 감소시킬 필요가 있다(Shin and Roh, 2019). 이에 현재 공항의 수익 구조에 맞춰 버티포트의 예상 수익을 분석하고, 비항공 수익을 최대화 하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

2.3 슬롯 산정

버티포트의 항공수익과 비항공수익을 예측하고자 먼저 수용하는 유동인구 파악을 위해 버티포트의 슬롯을

산정하였다. 이를 위해 버티포트에서의 eVTOL 비행체 한 대 이착륙에 소요되는 시간을 추정해야 하지만, 현재까지 UAM 서비스의 상용화 사례가 존재하지 않기에 eVTOL 비행체가 버티포트에 착륙하는 과정부터 이륙하는 과정까지 소요되는 시간을 추정할 Lukas Preis (2023)의 연구 결과를 인용하였다(Preis, 2023). Preis (2023)의 연구에서 제시된 소요 시간과 구역 구분은 Table 2와 같으며, 이에 맞추어 본 연구에서 설계한 버티포트 3층 에어사이드 구역을 Fig. 8과 같이 구분하였

Table 2. Parameter values for vertiport sizing method

구분	명칭	시간/단위
이륙포트	Take-off and departure time	72.2s
	Start engines time	4.75
	Demounting time	27.0
착륙포트	Approach and landing time	99.2s
	Stoip engines time	4.75
	Mounting time	27.0
분할공간	Taxiway length	300m
	Taxiway speed	2.63m/s
출발게이트	Boarding time	92.7s
도착게이트	De-Boarding time	92.5s
계류장	Turnaround time(incl. charging time)	10min

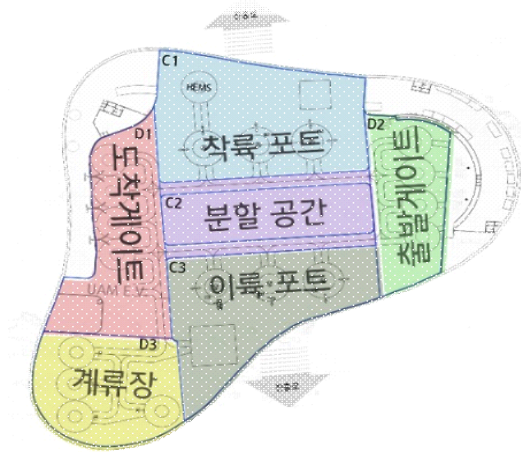


Fig. 8. Vertiport area classification

다. 분할공간의 Taxiway Length는 버티포트 설계 도면상의 TLOF에 착륙 후 도착, 출발 게이트를 거쳐 다시 TLOF에서 이륙하는 평균적인 거리인 300m로 설정하였다. Preis(2023)는 독일 VoloCopter사의 멀티콥터 형태의 2인승 eVTOL인 VoloCity를 기준 모델로 사용하였고, 스키드 타입의 착륙장치를 고려하여 Taxi Mode를 Hover로 선택하였다. 본 연구에서는 5인 탑승이 가능한 eVTOL 비행체를 기준 모델로 사용하였으며, Preis and Hornung(2022)의 버티포트 운영 시뮬레이션에 따른 AGV(Automated Guided Vehicles) 등 지상조업장치에 의해 이동되는 Passive taxiing mode를 고려하여 Taxiway speed 2.63 m/s, Taxiing 장비의 탈부착 시간 27.0초를 적용하였다.

eVTOL 비행체 한 대의 이착륙에 소요되는 시간은

Table 2에서 구분된 각 공간을 점유하는 시간의 합으로 계산할 수 있지만 버티포트 관점에서는 다수의 eVTOL 비행체가 동시에 운용될 것이므로 슬롯 산정은 각 공간 별로 시간당 처리 가능한 최대 eVTOL 비행체 대수 중 병목현상이 발생하는 공간에서 계산되는 최소값을 취해야 할 것이며, 각 공간에서의 시간당 수용량은 Equation 1을 통해 계산할 수 있다. 버티포트 에어사이드 설계안에 따른 이륙포트와 착륙포트는 각각 3면, 출발게이트와 도착게이트는 각각 4면이고, 계류장 숫자의 경우 지하공간의 MRO 슬롯 중 일부인 16면을 추가한 20면으로 계산하였다. 분할공간의 경우 eVTOL 비행체 사이즈를 고려하여 동시에 10대가 점유할 수 있는 것으로 가정하였다. 이를 통해 계산된 이륙포트, 착륙포트, 분할공간, 출발게이트, 도착게이트 및 3층 주기장 4면과 지하1층 주기장 16면에서의 시간당 수용량은 각각 103.9 대/시간, 82.5 대/시간, 315.6 대/시간, 155.3 대/시간, 155.7 대/시간, 120 대/시간이며, 이에 따라 본 연구를 통해 설계된 버티포트의 슬롯은 시간당 82.5대가 될 것으로 추정할 수 있다.

$$\text{시간당 처리대수} = \frac{1}{\text{소요시간/대}} \times \text{포트 (or 게이트) 수}$$

Equation 1. Formula for calculating slot

이를 이용해 K-UAM 기술 로드맵에서 제시된 2035년의 버티포트 일일 운용 시간인 16시간과 기체당 평균 탑승객 수 3.4명을 토대로 하루 이용객 수를 예상해 보

Table 3. Aviation revenue

항목	기준	일(Day)	월(Month)	연(Year)	비고	
착륙료	~1,000(kg)	14.025/회	4,628	138,848	1,666,170	평균 3만원/회 금액 및 비율 입의 산정
	1,000~3,175	31.750/회	20,955	628,650	7,543,800	
	3,175~	44.225/회	14,594	437,828	5,253,930	
주기료	연 28,800/면	2,560	76,800	921,600	주기장 32대 분량	
조명료	3,570/회	4,712	141,372	1,696,464	현재 기준 1/3	
수하물처리시설사용료	0.632/명	1,418	42,546	510,555		
여객공항이용료	1.333/명	5,384	161,528	1,938,331		
환승객공항이용료	1.333/명	598	17,948	215,370		
합계				19,746,220		

* 단위(천원).

았을 때 일 평균 1,320대의 기체와 4,488명의 탑승객을 확인하고, 수익 산정에 가정하였다 (KAIA, 2021).

2.4 항공수익

항공수익은 항공기 이착륙 및 항공기 운항에 직접적으로 관련되어 있는 비용으로서 버티포트의 항공수익은 크게 착륙료, 주기료, 조명료, 수하물처리시설사용료, 여객공항이용료로 구분할 수 있다. Table 3은 버티포트에서 발생하는 항공수익을 추정한 결과를 보여주고 있다.

2.4.1 착륙료

착륙료는 K-UAM 기술 로드맵에 2035년 기준착륙 횟수당 30,000원으로 제시되어 있다(KAIA, 2021). 이를 현행 착륙료 부과방식과 같이 추후 예상되는 eVTOL 기체 무게에 따라 차등을 두었으나, 평균 착륙료는 30,000원으로 책정하고, 일일 전체 슬롯 1,320대에서 중간급 기체의 비율을 0.5로 배분, 나머지 기체의 비율을 각각 0.25씩 배분하여 착륙료를 산정하였다.

2.4.2 주기료

주기료 역시 K-UAM 기술 로드맵(KAIA, 2021)에 제시된 2035년 기준 기체를 주기할 수 있는 면당 연간 28,800천원을 반영하였으며, 3층의 격납고 4동과 지하1층 20실을 더하여 총 32개 면의 연간 주기를 가정하고 산정하였다.

2.4.3 조명료

조명료는 AIM(2024) 항공정보관리체계에 대구, 광주, 청주, 양양, 군산, 원주공항의 최대이륙중량 10톤 이하 기체에 부과하는 10,711원이 현행 조명료 중 가장 적은 금액임을 확인하고, 10,711원의 3분의 1의 임의 금액인 3,570원을 일별 슬롯인 1,320대에 곱하여 산정하였다.

2.4.4 수하물처리시설사용료

수하물처리시설사용료는 공항시설 사용료 요금 부과 기준에(IIAC, 2017) 제시된 출발 여객 1인당 1,896원의 3분의 1의 임의 금액인 632원을 일 슬롯 1,320대와 2035년 기준 비행체당 평균 탑승자 수 3.4명을 곱하였다(KAIA, 2021). 단, 설계한 버티포트에서 출발하는 승객에게만 부과하는 요금이기엔 절반을 나눈 금액을 최종적으로 산정하였다.

2.4.5 여객공항이용료, 환승객공항이용료

여객공항이용료는 한국항공공사의 국내여객공항이용료 4,000원을 다른 공항시설 사용료와 마찬가지로 3분의 1의 임의 금액인 1,333원으로 책정하였고, 이용료의 감면대상과 면제대상은 생략하였다(KAC, 2024). 기존 외국인에게 적용하는 공항의 환승객공항이용료는 모빌리티 간 유기적인 연계가 이루어지는 버티포트의 특성을 감안해 모든 환승객에게 부과토록 설정하였으며, 여객공항 이용료와 같은 금액인 1,333원을 책정하

Table 4. Non-aviation revenue

항목	기준	일(Day)	월(Month)	연(Year)	비고
상업시설 사용료	점포당 65.221	47,828	1,434,840	17,218,080	요금 20%
광고료	2,000/개	3,867	116,000	1,392,000	DID
	25,000/개	114,167	3,425,000	41,100,000	라이트 박스
유틸리티 사용료	48.338/㎡	18,078	542,336	6,508,036	인천국제공항 ㎡ 기준
체크인카운터 사용료	0.433/대	125	3,741	44,893	현재 기준 적용
주차장 이용료	10/대	4,000	120,000	1,440,000	주차대수
항공기 충전료	0.178/kwh	3,810	114,312	1,371,740	마진 12% 참고
전기자동차 충전료	0.224/kwh	3,025	90,751	1,089,011	
수소자동차 충전료	3.5/kg	302	9,072	108,864	
회의실 대여료(대)	500/실	2,000	25,000	300,000	대전역 참고
회의실 대여료(중)	80/실	320	4,000	48,000	
회의실 대여료(소)	60/실	600	7,500	90,000	
합계				70,711,021	

* 단위(천원).

였다. 이를 일일 탑승자 수 4,488명 중 이용객과 환승객의 비율을 9:1로 임의 배분 후 여객공항이용료와 환승객공항이용료를 산정하였다.

2.5 비항공수익

항공수익을 제외한 버티포트 내 상업시설 및 업무시설로부터 수취하는 비항공수익은 상업시설 이용료, 광고료, 유틸리티 사용료, 카운터 사용료, 항공기·친환경자동차의 충전료, 주차장 이용료, 회의장 대여료를 산정하였다. Table 4는 설계한 버티포트에서 발생하는 예상 비항공수익이다.

2.5.1 상업시설 사용료

Graham(2009)은 공항 내에서의 소매점 운영은 비항공수익의 핵심원천이라고 언급했다. 또한 Chiappa et al.(2016)은 오늘날 공항의 수익성이 주로 비항공활동 또는 상업활동으로 구성되며, 상업활동은 특히 소매 및 음식 서비스를 기반으로 하고 있다는 점을 밝혔다. 따라서 설계 도면에 상업시설로 사용할 수 있는 공간을 정리하였고, 60㎡의 실 60개, 100㎡의 실 50개가 산출되었다. 이를 1층에는 대형 실 위주로 배치하였으며, 2층은 팝업 매장으로 구성하였다.

상업시설 사용료는 책정 방식에 따라 매출이 낮을 때 고정적인 수익을 얻을 수 있는 고정임대료방식과 수익성이 높을 때 일정 비율만큼 수익을 얻을 수 있는 영업료 방식으로 나눌 수 있다. 버티포트에서는 기존 공항과 마찬가지로 영업료 방식을 택했고, 요율은 20%로 책정하였다.

버티포트 내 상업시설의 매출은 먼저 상권정보 홈페이지에서 충북 청주시 흥덕구에 위치한 현대백화점 충청점의 2023년 입주 매장을 참고하여 입주가능한 프로그램을 한식매장, 카페, 일식매장, 남성이류매장, 여성이류매장, 기타의류매장, 가전제품매장, 약세사리매장으로 분류하였고, 백화점 내에 200개의 점포가 있는 것을 확인하였으며, 이들 점포의 2022년 7월부터 2023년 7월까지의 매출을 점포당 매출로 평균값을 내었다. 평균값은 월 43,481,000원이며, 유동 인구를 수용하는 복합환승센터의 특징과 2035년의 물가상승률을 고려하여 버티포트의 점포당 매출액은 앞서 구한 평균 매출액의 1.5배를 하여 65,221,000원으로 산정하였다. 이를 110개 점포의 20% 요율로 상업시설 사용료를 산정하였다.

2.5.2 광고료

광고료는 코로나19 이후 온라인 거래가 크게 성장함에 따라 광고에 대한 기댓값이 더욱 커진 현 상황을 설계에 반영하여 광고 수익에 비중을 더욱 크게 설계하였다(Yang, 2023). 설계 도면 상 4×1.5m 크기의 라이트 박스를 벽면 20m 기준으로 2개, 에어사이드와 환승로에는 20m 기준 3개를 설치하였으며, 곡면부분과 상업시설은 제외하였다. 층간 이동이 가능한 에스컬레이터 9개의 하행선에 모두 설치할 경우, 1층 42개, 2층 48개, 3층 38개로 총 137개의 라이트 박스를 설치할 수 있다.

기동 DID(Digital Information Display)광고는 1층의 기동 51개 중 노출되어 있는 기동 40개, 2층의 상업시설을 제외한 공간에 7개, 3층의 기동 11개에 적용하였다. 광고당 가격은 김포공항과 제주공항의 광고료를 참고하여 평균 라이트박스는 월 25,000,000원, DID는 월 2,000,000원으로 임의 산정하였다(Misodacom, 2024).

2.5.3 유틸리티 사용료

유틸리티 사용료는 2010년 인천국제공항의 유틸리티 사용료 16,000,000,000원을 기준으로 하였다(IIAC, 2011). 이를 당시 여객터미널인 현 제1여객터미널과 탑승동의 연면적인 662,000㎡로 나누어 ㎡당 24,169원의 결과를 버티포트의 연면적 134,635㎡에 반영하였다(Lee, 2024). 산업용 전기 요금의 증가 추이를 보았을 때 2035년은 2010년 대비 2배 증가될 예정이다, 따라서 2035년 유틸리티 사용료는 ㎡당 48,338원을 기준으로 산정하였다(Kim, 2017).

2.5.4 체크인카운터 사용료

체크인 카운터로는 공항시설 사용료 요금 부과 기준에 제시된 무벨트 카운터에 대한 요금인 30분당 1,300원의 1/3에 해당하는 임의 금액을 기준으로 버티포트의 3층에 위치한 9개의 카운터를 일일 운행 시간인 16시간 분량의 금액으로 산정하였다(IIAC, 2017). UAM은 기체 특성상 벨트가 필요할 정도의 위탁수하물이 대량으로 적재되지 못하므로 버티포트의 체크인카운터에는 벨트가 필수적이지 않을 것으로 예상된다.

2.5.5 주차장 이용료

버티포트의 주차공간은 지하 1층에 22%의 공간을 할애했는데, 이는 PBV가 상용화될 것으로 예상되는

2035년의 배경을 반영하여 지하 및 대지면적 내 노상 공간에 주차장법 시행규칙에 의거한 너비 2m, 길이 5m의 주차구역 400대를 확보할 수 있다(Kim, 2024; MOLIT, 2024). UAM을 이용한 이동 거리는 10km 내 외의 짧은 거리 및 200km가 넘는 장거리를 이동할 것으로 예상됨(E-VTOL News, 2024)에 따라 유동차량 및 만 하루가 넘는 시간을 주차하는 차량을 하루 400대로 산정하고, 청주공항의 주차장 1일 최대 금액인 10,000원을 400대의 차량에 부과한다고 가정하였다.

2.5.6 항공기 충전료

항공기 충전료는 항공기 배터리의 용량과 충전 전력, 충전 요금을 기반으로 산정하였다. K-UAM의 기술 로드맵에 따르면 (KAIA, 2021) 2035년 이후 성숙기 시점에 기체의 항속거리는 300km, 배터리 용량은 500kWh, 충전기 성능은 1MW가 될 것으로 전망하고 있으며, 이 경우 최대 30분의 충전시간이 필요할 것으로 계산된다. 한편, 기체 운행에 있어 노선 거리와 배터리 용량에 따라 기존 항공기가 항공안전법의 법정 연료 외 추가 연료를 탑재해야 하는 규정과 유사한 필수 확보 여유 전력에 대한 규제가 생길 것으로 예상된다. 이에 따른 최소 배터리 잔여 용량이 20%라 가정할 경우, 300km 이동에 사용되는 전력량을 약 400kWh라고 추정할 수 있다. Rolland Berger(2020)의 연구 결과에 따르면 성숙기 이후 승객 운송을 목적으로 하는 UAM의 경우 도시간 이동 및 공항 셔틀을 목적으로 하는 이용 비율이 약 90%를 차지할 것으로 예상하고 있으며, 오송역 인근 100km 이내에 주요 도시들이 위치해 있는 것을 고려하여 평균적으로 100km의 비행이 이루어질 것으로 가정할 경우, 1회 비행에 사용되는 배터리 용량은 약 135kWh, 충전시간은 약 8.1분으로 계산할 수 있다. 앞서 추정된 버티포트 일평균 eVTOL 비행체 수용량인 1,320대를 고려하면 일 평균 전력 사용량은 약 178.2 MWh가 될 것으로 추정된다.

항공기의 충전 요금은 2014년부터 2022년의 지하철 전력 사용량 및 전기요금의 인상 정보를 통해 117.84원/kwh부터 140.83원/kwh까지 증가했음을 확인하였다(Incheon Transport Corp., 2024). 이 기울기를 통해 2035년의 산업용 전기 요금을 예측하였고, 178.19원/kwh라는 결과를 얻었으며, 요율은 2012년 인천국제공항공사의 유류 마진인 18%보다 낮은 12%로 임의 책정하였다(Seo, 2012).

2.5.7 친환경 자동차 충전료

2035년 친환경 자동차 배터리의 용량은 약 1,000km 주행이 가능한 500kwh의 배터리와 6kg을 수용할 수 있는 수소 탱크를 목표로 보고 있다 (Lahiri, 2021). 또한 2035년의 친환경 자동차의 충전 요금은 전기자동차가 224.1원/kwh, 수소연료전지자동차는 3,500원/kg이 예상되며, 비율은 친환경 자동차의 보급률 비교를 통하여 수소연료전지자동차와 전기자동차는 4:6의 비율로 예측된다(Hwang, 2019; Jang, 2018; Kim, 2019). 주차장의 크기를 고려하여 하루 평균 충전 차량을 500대로 가정하였으며, 하루 200대의 수소연료전지자동차, 300대의 전기자동차를 충전하게 된다. 전기자동차는 주로 배터리 용량의 25%에서 전기를 충전하여 500kwh의 75%를 충전한다고 가정하였고, 수소연료전지자동차는 탱크 잔여 용량 40%에서 충전하여 6kg의 60%를 충전한다고 가정하였다(Shin, 2022).

2.5.8 회의실 대여료

회의장 대여비는 대전광역시 동구에 위치한 대전역의 회의실 사용료를 기반으로 산정하였다(KORAIL, 2024). 버티포트의 회의실은 설계 도면상 500㎡의 대형실 2실, 40㎡의 중형실 2실, 25㎡ 소형실 5실을 이용할 수 있다. 이를 대전역의 면적이 유사한 502㎡의 대회의실(3층), 40㎡의 ITX-청춘(1층)회의실, 24.8㎡의 진달래(2층)회의실 기본 2시간 임대료인 500,000원, 80,000원, 60,000원으로 책정하였으며, 연 150일 및 하루 2회 임대를 임의 가정하고 금액을 산정하였다.

2.6 공사비 산출

Kang et al.(2023)은 건축 프로젝트는 환경, 대상, 목적 등 매우 복잡하고 복합적인 특성을 갖고 있어 기획, 설계단계에서 공사비 관리는 가장 중요한 요소이다.

따라서 설계한 버티포트의 공사비를 공종별로 산출하였으며, 이는 Table 5와 같다. 토지비용은 토지임용 사이트를 통해 해당 부지의 2005년 1월부터 2023년 1월까지의 연도별 개별공시지가의 상승 기울기를 연장하는 방식으로 2035년 완공 기준 2033년의 토지매매가를 예측하였다.

또한 국토교통부와 한국건설기술연구원의 2023 건설공사 표준품셈을 통한 일위대가표를 작성하여 건축과 토목의 공종단가를 산정하였으며, 조달청의 공사비

Table 5. Vertiport construction cost

공종		자재비	노무비+경비	총계
토지	금액	-	-	31,475
	비율	-	-	14.6%
건축	금액	28,495	69,288	97,784
	비율	50.7%	54.2%	45.4%
기계	금액	9,023	16,629	25,652
	비율	16.1%	13.0%	11.9%
전기	금액	13,535	13,857	27,393
	비율	24.1%	10.8%	12.7%
통신	금액	4,157	2,374	6,531
	비율	7.4%	19%	3.0%
소방	금액	1,218	5,543	5,544
	비율	0.01%	4.3%	2.6%
부대시설	금액	949	20,209	21,159
	비율	1.7%	15.8%	9.8%
합계	금액	56,162	127,902	215,540

* 단위(백만원)

분석자료를 바탕으로 나머지 공종들의 비용을 산정하였다 (MOLIT, 2023).

2.7 내부동선

UAM 이용객의 비행공 수익을 증가시키기 위하여 설계한 승객 동선은 Fig. 9와 같다. 빨간 실선은 출발객의 동선이며, 파란 점선은 도착객의 동선이다. 또한 Bak, S. B.(2013)의 상업시설 배치에 관한 연구 논문에서 따르면 항공기를 이용하려는 승객과 상업시설의 접촉시간을 늘리기 위해 탑승 동선을 길게 하여 높은 이득을 취할 수 있다. 따라서 출발 승객은 빠른 탑승을 위해 동선을 간결하고 직관적으로 설계하되, 상업시설을 비효율적으로 거치게끔 설계하고, 도착 승객은 출발 승객에 비해 동선이 길고 더 많은 상업시설에 노출될 수 있도록 설계하였다.

III. 결 론

버티포트는 기존에 존재하지 않았던 새로운 SOC(social overhead capital) 시설이다. UAM은 국내의 지방 소멸 문제에 있어 거점지역과 배후지역의 이동권을 제공할 수 있는 서비스이며, 지방 거점지역의 교통자원을 최대한 활용할 수 있는 허브급 복합환승센터로서의 버티포

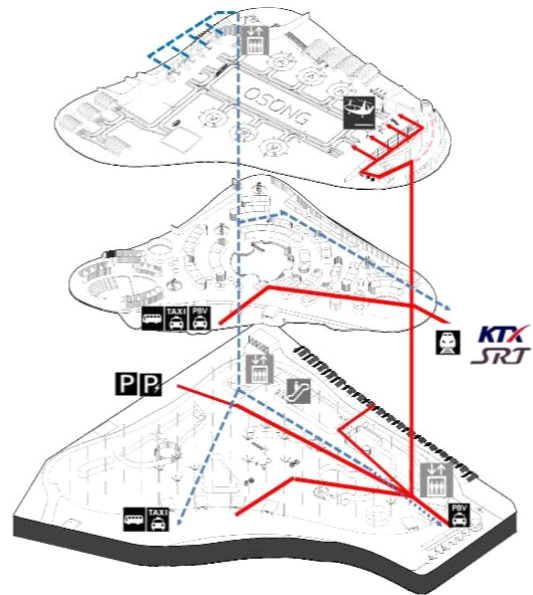


Fig. 9. Passenger's movements

트 설계안을 제시하였다. 허브 앤 스포크 방식으로 도서 산간과 같은 배후지역을 연계하기 위해서는 항공수익 대비 비항공수익의 비율을 높게 설계하여 운임 비용을 감소시킬 필요가 있다. 이에 맞춰 설계안에 비항공수익 산출 방안을 고려하였으며, 추후 버티포트의 비항공수익 산출방안에 대한 연구가 추가로 진행되어야 할 것이다. 아울러 개항 초기 UAM 및 버티포트 운영의 진척도에 따른 입실 변동성을 고려하여 오송역 인근 평당 임대료를 기준으로 고정임대료 방식을 시행하고, 이후 영업료의 수익성을 고려해 영업료방식으로 전환하여 고수익을 추구하는 방안도 고려해야 할 것이다.

지방에 거주하는 주민들의 의료복지 증진을 위하여 일정 규모 이상 버티포트에는 HEMS 기체를 필수 대기시키는 방법으로 지방 의료의 붕괴를 막고 지방 소멸에 대응하는 해결책이 될 수 있다. 또한 지역의 허브급 버티포트에 문화시설을 배치하여 버티포트를 중심으로 관할 지역의 문화의 장을 형성하는 방안이 사료된다.

후 기

본 연구는 국토교통부와 한국교통안전공단이 주최하고 한국교통안전공단, 한국국토정보공사, 한국공항공사, 한국교통연구원, 한국전파진흥협회가 주관한 '2023 전국 대학생 UAM 올림피아드'의 버티포트 부문 수상작을 재구성하였으며, 충청북도(충북경제자유구역청)의

지원으로 수행되었음(과제번호 : 202100035, 과제명 충북 UAM AI 드론 산업 활성화 지원체계 구축 및 기반기술 연구 4차).

References

- Kim, H. S., and Jeong, Y. H., "A study on risk factors for local extinction and new countermeasures: Focusing on the case of Jeongeup City", *Journal of Business Convergence*, 7(2), 2022, pp.39-45.
- Lim, S. H., and Hong, S. J., "Revitalizing demand-responding mobility service in declining local cities", *Korea Transport Institute*, 2019, pp.13-17.
- FAA(Federal Aviation Administration), "Engineering brief No.105, vertiport design", 2022.
- EASA(European Aviation Safety Agency), "Prototype technical specifications for the design of VFR vertiports for operation with manned VTOL-capable aircraft certified in the enhanced category", 2022.
- EASA(European Aviation Safety Agency), "Second publication of means of compliance with the special condition VTOL", 2022.
- EASA(European Aviation Safety Agency), "Certification specifications and guidance material for aerodrome design-issue", 6, 2021.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Standards for design and arrangement of transfer centers and complex transfer centers", *Ministry of Land, Infrastructure and Transport Announcement*, 2015-1103, 2015.
- Shin, T. J., and Roh, T. W., "Effects of non-aeronautical revenue on airport charges: Moderation of private ownership", *Journal of Digital Convergence*, 17(9), 2019, pp.39-46.
- Preis, L., "Estimating vertiport passenger throughput capacity for prominent eVTOL designs", *CEAS Aeronautical Journal*, 2023, pp.353-368.
- Preis, L., and Hornung, M., "Vertiport operations modeling, agent-based simulation and parameter value specification", *Electronics*, 2022.
- Korea Agency for Land, Infrastructure and Transport Science and Technology Promotion, "K-UAM technology roadmap", *Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement · National Research Foundation of Korea*, 2021.
- AIM(Aeronautical Information Management), "Charges for aerodromes/heliports and air navigation services", 2024.
- Airport Corporation Revenue Management Team, "Airport facility usage fee charging standards", *Incheon International Airport*, 2017.
- KAC(Korea Airports Corporation), "Airport facility usage fee", 2024.
- Graham, A., "How important are commercial revenues to today's airports?", *Journal of Air Transport Management*, 15, 2009, pp.106-111.
- Chiappa, G. D., Martin, J. C., and Roman, C., "Service quality of airports' food and beverage retailers. A fuzzy approach", *Journal of Air Transport Management*, 53, 2016, pp.105-113.
- Yang, I. S., "Overview of the advertising market in 2023 (feat. 2022 review)", *KAA_Journal*, 267, 2023, pp.8-13.
- Misodacom "Jeju Airport advertisement", 2024.
- Incheon International Airport Corporation Social Contribution Team, "Social responsibility management report of Incheon Int'l Airport Corporation", 2011.
- Lee, J. Y., "Korea's largest international airport in Jung-gu, Incheon", *Encyclopedia of Korean Culture*, 2024.
- Kim, S. H., "Additional cost of 232 trillion over 20 years from nuclear power plants... Electricity bills to rise by 20% in 2024", *Seoul Economy*, 2017.
- Kim, S. H., "Hyundai motor and Kia's future mobility personalized with SDV→PBV→UAM", *Small and Medium Business Newspaper*, 2024.

23. Ministry of Land, Infrastructure and Transport Department of Living, Transportation and Welfare, "Enforcement rules of the parking lot act", National Legal Information Center, 2024.
24. Electric VTOL News, "eVTOL aircraft directory", 2024.
25. Hader, M., Baur, S., Kopera, S., Schönberg, T., and Hasenberg, J. P., "Urban air mobility: USD 90 billion of potential: How to capture a share of the passenger drone market", Roland Berger, 2020.
26. Incheon Transportation Corporation General Affairs and Personnel Team, "Electricity consumption and electricity bills of the subway", Incheon Transportation Corporation, 2024.
27. Seo, Y. J., "Incheon Airport refueling facility looking for consignment operator, profitability is 'key'", Newspim, 2012.
28. Lahiri, A., "Enovix executives provide update to EV program", Enovix Corporation, 2021.
29. Hwang, W. B., "'Half-price hydrogen car' worth 30million within 6 Years... It will float 15 nuclear power plant-class 'Fuel cells'", Seoul Newspaper, 2019.
30. Jang, S. H., "[Exclusive] Power price doubles in 2030 due to nuclear power plant... Inevitable to increase electricity prices", Asia Today, 2018.
31. Kim, H. N., "By 2023, one out of three new cars will be electric or hydrogen cars... Aiming for 10% of the global market", Newstomato, 2019.
32. Shin, S. J., "'Electric vehicle charging, more than three times a week' ... Electric vehicle charging melted into daily life", Energy-News, 2022.
33. Uenodai, A., and Mathison, S., "Analysis of fuel cell vehicle customer usage and hydrogen refueling patterns - Comparison of private and fleet customers", World Electric Vehicle Journal, 3, 2009, pp.629-634.
34. Let's Korail, "Conference room operation station - Daejeon station patriotic railway square", 2024.
35. Kang, Y. H., Lee, H. N., Kim, H. Y., and Yun, S. H., "Performance analysis of construction cost prediction through correlation analysis of construction cost and influencing factors by construction type", Korean Journal of Computational Design and Engineering, 28(2), 2023, pp.156-164.
36. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Institute of Construction Technology, "2023 Construction construction standard product specification", 2023.
37. Ak, S. B., "A study on the placement of airport commercial facilities according to commercial trends", Master of Science, thesis, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do, January 2013.