Open the Urban Sky

한국형 도심항공교통(K-UAM) 기술로드맵

K-UAM Technology Roadmap

2021. 06.



국토교통부 주관 | 과학기술정보통신부 | 산업통상자원부 | 중소벤처기업부 | 기상청

KAIA 공동 | NRF 한국연구재단

목 차

제1장 K-UAM 기술로드맵 수립 개요 ····· 1

제1절 기술로드맵 수립 배경 및 필요성 ····· 3
제2절 기술로드맵 수립 범위 및 추진경과 ····· 20

제2장 UAM산업 현황 및 전망 ····· 31

제1절 UAM의 개념 및 범위 ····· 33
제2절 UAM 정책 동향 ····· 41
제3절 UAM 시장 분석 ····· 62
제4절 UAM 기술개발 동향 ····· 73
제5절 시사점 ····· 94

제3장 한국형 도심항공교통 실현을 위한 미래시나리오 도출 ····· 95

제1절 UAM 수요 기반 미래시나리오 도출 프로세스 ····· 97
제2절 K-UAM 미래시나리오 도출 ····· 103

제4장 K-UAM 구현을 위한 중점추진기술 발굴 ····· 143

제1절 K-UAM 구현을 위한 중점추진기술 발굴 ····· 145
제2절 중점추진기술별 기술역량 및 확보방안 ····· 175

제5장 한국형 도심항공교통 (K-UAM) 기술로드맵 ····· 181

제1절 비전 및 추진전략 ····· 183
제2절 한국형 도심항공교통 기술로드맵 ····· 196
제3절 기술로드맵 활용방안 및 기대효과 ····· 215

제6장 한국형 도심항공교통(K-UAM) 중점추진기술별 기술로드맵 ····· 219

제1절 기체·부품 부문 기술로드맵 ····· 221
제2절 항행·교통관리 부문 기술로드맵 ····· 316
제3절 인프라 부문 기술로드맵 ····· 401
제4절 서비스 부문 기술로드맵 ····· 463
제5절 핵심기술 부문 기술로드맵 ····· 522

표 목 차

〈표 Ⅰ-1〉 미국 주요 도시의 연간 교통혼잡비용 현황 ····· 5
〈표 Ⅰ-2〉 한국형 핵심기술로드맵의 수립 범위 ····· 21
〈표 Ⅰ-3〉 K-UAM 기술로드맵의 추진체계별 주요 역할 및 구성 ····· 22
〈표 Ⅰ-4〉 K-UAM 기술로드맵의 총괄·분과위원회 명단 ····· 22

〈표 Ⅱ-1〉 Flying Car 주요 모델 ····· 34
〈표 Ⅱ-2〉 드론분야 선제적 규제혁파 시나리오 ····· 55
〈표 Ⅱ-3〉 드론분야 선제적 규제혁파 개요 ····· 55
〈표 Ⅱ-4〉 중점과학기술 목록(120개 중 우주항공해양 부분) ····· 55
〈표 Ⅱ-5〉 UAM 기체시장 전망 ('25~'40) ····· 63
〈표 Ⅱ-6〉 미국 UAM 기체종류별 시장규모 ('16-'30년) ····· 63
〈표 Ⅱ-7〉 UAM 인프라시장 전망('25~'40) ····· 63
〈표 Ⅱ-8〉 공공 헬리콥터/수직이착륙 비용 분석 ····· 64
〈표 Ⅱ-9〉 2040년 UAM 세계시장 전망 ····· 64
〈표 Ⅱ-10〉 Uber Elevate의 Vehicle Partners & Ecosystem Partners ····· 66
〈표 Ⅱ-11〉 연도별 UAM 한국 시장 규모('23~'40) ····· 69
〈표 Ⅱ-12〉 주요 틸트엑스 기체별 성능 비교 ····· 75
〈표 Ⅱ-13〉 ATM/UATM/UTM 비교 설명 ····· 91

〈표 Ⅲ-1〉 UAM 수요예측을 위한 교통수요 4단계 모형의 주요 검토 내용 ····· 103
〈표 Ⅲ-2〉 SP조사에 따른 UAM 수요 전환율 도출 모형 결과 ····· 104
〈표 Ⅲ-3〉 기존 교통수단→UAM 전환율 도출 결과(예시) ····· 105
〈표 Ⅲ-4〉 수도권의 UAM 수요예측 결과 ····· 109
〈표 Ⅲ-5〉 5대 광역권의 UAM 수요예측 결과 ····· 109
〈표 Ⅲ-6〉 기본 프레임을 반영한 UAM 기술구성도 대분류 ····· 112
〈표 Ⅲ-7〉 UAM 기술구성도 개요 ····· 112
〈표 Ⅲ-8〉 UAM 기술구성도 ····· 113
〈표 Ⅲ-9〉 한국형 도심항공교통 미래시나리오 ····· 114
〈표 Ⅲ-10〉 K-UAM 미래시나리오 요구항목별 목표 성능 ····· 116
〈표 Ⅲ-11〉 UAM의 ATC 및 PSU 역할 ····· 119
〈표 Ⅲ-12〉 ATM/UTM/UATM별 CNSi 비교 ····· 121
〈표 Ⅲ-13〉 UAM 운용수익성 분석을 위한 주요 요인별 가정 ····· 125
〈표 Ⅲ-14〉 UAM 기체 배터리 추정가격 ····· 127
〈표 Ⅲ-15〉 UAM 승객 인포테인먼트분야 데이터 사용료 ····· 128
〈표 Ⅲ-16〉 UAM 기체 운항을 위한 운항정보 등의 데이터 사용료 ····· 129
〈표 Ⅲ-17〉 PSU 사용료 산정 기준 ····· 129
〈표 Ⅲ-18〉 Vertiport 구축비용 산출을 위한 면적 및 건설비 기준 ····· 130

표 목 차

〈표 Ⅲ-19〉 전기자동차 전력요금 기준 ····· 130
〈표 Ⅲ-20〉 UAM 충전료 단가 ····· 131
〈표 Ⅲ-21〉 조종사의 조종 개입 수준 시나리오 ····· 131
〈표 Ⅲ-22〉 UAM 운용수익성 분석을 위한 운항계획 ····· 135
〈표 Ⅲ-23〉 단계별 UAM 운항당/연간 운항수입 ····· 135
〈표 Ⅲ-24〉 단계별 UAM 운항비용 ····· 136
〈표 Ⅲ-25〉 단계별 UAM 연간 운항수지 및 운항수지율 ····· 137
〈표 Ⅲ-26〉 시기별 UAM 운임 변화 ····· 139
〈표 Ⅲ-27〉 시기별 K-UAM 시장 변화 형태 ····· 140

〈표 Ⅳ-1〉 기술조사서 취합 결과 ····· 147
〈표 Ⅳ-2〉 K-UAM 중점추진기술군 발굴 ····· 147
〈표 Ⅳ-3〉 중점추진기술군 우선순위 평가 프로세스 ····· 148
〈표 Ⅳ-4〉 우선순위 평가지표 ····· 148
〈표 Ⅳ-5〉 평가항목 중요도(가중치) 조사 결과 ····· 149
〈표 Ⅳ-6〉 한국형 도심항공교통 중점추진기술 ····· 155
〈표 Ⅳ-7〉 주요분야별 세부기술 건수 ····· 161
〈표 Ⅳ-8〉 기술분야별 세부기술 소요예산 ····· 162
〈표 Ⅳ-9〉 우선순위 분포별 정의 ····· 164
〈표 Ⅳ-10〉 기체·부품부문 중점추진기술별 우선순위 ····· 165
〈표 Ⅳ-11〉 항행·교통관리부문 중점추진기술별 우선순위 ····· 166
〈표 Ⅳ-12〉 인프라부문 중점추진기술별 우선순위 ····· 167
〈표 Ⅳ-13〉 서비스부문 중점추진기술별 우선순위 ····· 168
〈표 Ⅳ-14〉 핵심기술부문 중점추진기술별 우선순위 ····· 169
〈표 Ⅳ-15〉 안전성에 해당되는 중점추진기술 ····· 170
〈표 Ⅳ-16〉 사회적 수용성에 해당되는 중점추진기술 ····· 172
〈표 Ⅳ-17〉 경제적에 해당되는 중점추진기술 ····· 172
〈표 Ⅳ-18〉 지속가능성에 해당되는 중점추진기술 ····· 173
〈표 Ⅳ-19〉 주요 분야별 기술 격차 ····· 176

〈표 Ⅴ-1〉 승객·기체 안전성 확보를 위한 추진계획 ····· 186
〈표 Ⅴ-2〉 안전운항 지원을 위한 추진계획 ····· 187
〈표 Ⅴ-3〉 승객·기체 안전성 확보를 위한 추진계획 ····· 188
〈표 Ⅴ-4〉 저소음·친환경 구현을 위한 추진계획 ····· 190
〈표 Ⅴ-5〉 저소음·친환경 구현을 위한 추진계획 ····· 190
〈표 Ⅴ-6〉 기체 양산기술 및 핵심부품 확보를 위한 추진계획 ····· 191
〈표 Ⅴ-7〉 운용 시간·효율 극대화를 위한 추진계획 ····· 192

표 목 차

〈표 V-8〉 기초 기술 확보를 위한 추진계획 ····· 193
〈표 V-9〉 인력양성을 위한 추진계획 ····· 194
〈표 V-10〉 UAM 전환 업체 유형별 지원 방안 ····· 194
〈표 V-11〉 UAM의 CNSi 시스템의 개발 미래상 ····· 207

〈표 VI-1〉 기체부품 부문 주요분야-중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 228
〈표 VI-2〉 기체부품 부문 국내산업 역량 ····· 229
〈표 VI-3〉 기체부품 부문 국내 기술개발 역량 ····· 229
〈표 VI-4〉 기체부품 부문 기술로드맵 ····· 232
〈표 VI-5〉 중점기술 약표 ····· 240
〈표 VI-6〉 기체구조 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 245
〈표 VI-7〉 기체구조 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량 ····· 246
〈표 VI-8〉 기체구조 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 247
〈표 VI-9〉 기체구조 분야 세부기술로드맵 ····· 253
〈표 VI-10〉 중점기술 약표 ····· 258
〈표 VI-11〉 eVTOL 배터리팩 에너지 밀도(추정치) ····· 259
〈표 VI-12〉 유인한공기용 연료전지 동향 ····· 261
〈표 VI-13〉 동력·추진시스템 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 267
〈표 VI-14〉 동력·추진 시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량 ····· 268
〈표 VI-15〉 동력·추진 시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 268
〈표 VI-16〉 동력·추진시스템 분야 세부기술로드맵 ····· 273
〈표 VI-17〉 중점기술 약표 ····· 277
〈표 VI-18〉 Anti/De-Icing System ····· 280
〈표 VI-19〉 기계시스템 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 282
〈표 VI-20〉 기계시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량 ····· 283
〈표 VI-21〉 기계시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 284
〈표 VI-22〉 기계시스템 분야 세부기술로드맵 ····· 288
〈표 VI-23〉 중점기술 약표 ····· 294
〈표 VI-24〉 인증·시험평가 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 304
〈표 VI-25〉 인증·시험평가 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량 ····· 306
〈표 VI-26〉 인증·시험평가 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 306
〈표 VI-27〉 인증·시험평가 세부기술로드맵 ····· 313
〈표 VI-28〉 항행·교통관리 부문 주요분야-중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 320
〈표 VI-29〉 항행·교통관리 부문 국내산업 역량 ····· 321
〈표 VI-30〉 항행·교통관리 부문 국내 기술개발 역량 ····· 321
〈표 VI-31〉 항행·교통관리 부문 기술로드맵 ····· 323
〈표 VI-32〉 중점기술 약표 ····· 327

표 목 차

〈표 Ⅵ-33〉 비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술 ····· 332
〈표 Ⅵ-34〉 비행계획 위험도 저감 세부 기술 ····· 332
〈표 Ⅵ-35〉 우발 상황 자동 대응기술 ····· 333
〈표 Ⅵ-36〉 적용 가능한 기존 ATM 관련 기술 예시 ····· 335
〈표 Ⅵ-37〉 UAM 통합관리 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 339
〈표 Ⅵ-38〉 UAM 통합 교통관리 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량 ····· 340
〈표 Ⅵ-39〉 UAM 통합 교통관리 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 341
〈표 Ⅵ-40〉 UAM 통합 교통관리 분야 세부기술로드맵 ····· 347
〈표 Ⅵ-41〉 UAM 통합 교통관리 분야 중점기술 약표 ····· 356
〈표 Ⅵ-42〉 CNSi 획득 및 활용체계 신뢰성 검증 기술 ····· 358
〈표 Ⅵ-43〉 UAM의 CNSi 시스템의 개발 미래상 ····· 359
〈표 Ⅵ-44〉 UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술에 대한 예시(표, 설명) ····· 361
〈표 Ⅵ-45〉 UAM vertiport 및 PSU 간 데이터 활용 및 공유체계 기술에 대한 예시 ····· 364
〈표 Ⅵ-46〉 CNS 기술 대안 ····· 365
〈표 Ⅵ-47〉 UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G/6G) 기술 특징 ····· 369
〈표 Ⅵ-48〉 외국의 SBAS 시스템 ····· 373
〈표 Ⅵ-49〉 반송파 기반 위성항법 보강 기술에 대한 예시 ····· 373
〈표 Ⅵ-50〉 협력적 및 비협력적 감시 방법 (RPAS DAA vs. UAM) ····· 381
〈표 Ⅵ-51〉 UAM 통신망 보안의 핵심기술 ····· 382
〈표 Ⅵ-52〉 UAM 네트워크(데이터) 보안의 핵심기술 ····· 383
〈표 Ⅵ-53〉 UAM CNSi 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 385
〈표 Ⅵ-54〉 UAM CNSi 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량 ····· 386
〈표 Ⅵ-55〉 UAM CNSi 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 387
〈표 Ⅵ-56〉 UAM CNSi 분야 세부기술로드맵 ····· 397
〈표 Ⅵ-57〉 인프라 부문 주요분야-중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 404
〈표 Ⅵ-58〉 인프라 부문 국내산업 역량 ····· 405
〈표 Ⅵ-59〉 인프라 부문 국내 기술개발 역량 ····· 405
〈표 Ⅵ-60〉 인프라 부문 기술로드맵 ····· 408
〈표 Ⅵ-61〉 중점기술 약표 ····· 415
〈표 Ⅵ-62〉 버티포트 구축 및 운용 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 424
〈표 Ⅵ-63〉 버티포트 구축 및 운용 분야 세부기술별 국내 산업역량 ····· 426
〈표 Ⅵ-64〉 버티포트 구축 및 운용 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 426
〈표 Ⅵ-65〉 버티포트 구축 및 운용 분야 세부기술로드맵 ····· 433
〈표 Ⅵ-66〉 버티포트 보조설비 시스템 분야 중점기술 약표 ····· 437
〈표 Ⅵ-67〉 친환경 에너지 유형별 전력 규모 비교 ····· 439
〈표 Ⅵ-68〉 버티포트 보조설비 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 443
〈표 Ⅵ-69〉 버티포트 보조설비 중점기술-세부기술별 국내 산업역량 ····· 444

표 목 차

〈표 Ⅵ-70〉 버티포트 보조설비 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 445
〈표 Ⅵ-71〉 버티포트 보조설비 시스템 분야 세부기술로드맵 ····· 452
〈표 Ⅵ-72〉 도시내 용도지역별 소음 기준 ····· 455
〈표 Ⅵ-73〉 특화도시 분야 중점기술 약표 ····· 455
〈표 Ⅵ-74〉 특화도시 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 457
〈표 Ⅵ-75〉 특화도시 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량 ····· 458
〈표 Ⅵ-76〉 특화도시 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 458
〈표 Ⅵ-77〉 특화도시 분야 세부기술로드맵 ····· 462
〈표 Ⅵ-78〉 서비스 부문 주요분야-중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 468
〈표 Ⅵ-79〉 서비스 부문 국내산업 역량 ····· 469
〈표 Ⅵ-80〉 서비스 부문 국내 기술개발 역량 ····· 470
〈표 Ⅵ-81〉 서비스 부문 기술로드맵 ····· 473
〈표 Ⅵ-82〉 서비스 부문 중점기술 약표 ····· 476
〈표 Ⅵ-83〉 UAM 운항사 운영시스템 개발 기술 ····· 478
〈표 Ⅵ-84〉 BHS 단계별 기능 ····· 480
〈표 Ⅵ-85〉 Baggage Tag의 IATA 표준 프로토콜 ····· 481
〈표 Ⅵ-86〉 운송·운용시스템 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 486
〈표 Ⅵ-87〉 운송·운용시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량 ····· 487
〈표 Ⅵ-88〉 운송·운용시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 487
〈표 Ⅵ-89〉 운송·운용시스템 분야 세부기술로드맵 ····· 491
〈표 Ⅵ-90〉 중점기술 약표 ····· 493
〈표 Ⅵ-91〉 UAM 도심운용 기반 3차원 공간정보 생성 기술 ····· 495
〈표 Ⅵ-92〉 LOD별 활용 분야 ····· 496
〈표 Ⅵ-93〉 디지털트윈 구축 주요 기술 ····· 497
〈표 Ⅵ-94〉 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 499
〈표 Ⅵ-95〉 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 경쟁국 중점기술-세부기술별 국내 산업역량 ····· 500
〈표 Ⅵ-96〉 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 501
〈표 Ⅵ-97〉 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 세부기술로드맵 ····· 506
〈표 Ⅵ-98〉 중점기술 약표 ····· 509
〈표 Ⅵ-99〉 UAM 운송사업자 법인설립·면허·운항증명 발급에 필요한 법제도 기술에 대한 예시 ····· 510
〈표 Ⅵ-100〉 국내 드론관련 주요계획 내 드론안전정책 유형화 ····· 512
〈표 Ⅵ-101〉 UAM 종사자 자격제도 기술 ····· 512
〈표 Ⅵ-102〉 UAM 종사자 교육훈련체계 기술 ····· 513
〈표 Ⅵ-103〉 UAM 전문인력양성센터 구축 기술 ····· 513
〈표 Ⅵ-104〉 운용자격 체계 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 514
〈표 Ⅵ-105〉 운용자격 체계 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량 ····· 515
〈표 Ⅵ-106〉 운용자격 체계 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 515

표 목 차

〈표 Ⅵ-107〉 운용자격 체계 분야 세부기술로드맵 ····· 521
〈표 Ⅵ-108〉 기체부품 부문 주요분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술수준 ····· 525
〈표 Ⅵ-109〉 핵심기술 부문 주요분야-중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 525
〈표 Ⅵ-110〉 핵심기술 부문 국내산업 역량 ····· 526
〈표 Ⅵ-111〉 핵심기술 부문 국내 기술개발 역량 ····· 526
〈표 Ⅵ-112〉 핵심기술 부문 기술로드맵 ····· 528
〈표 Ⅵ-113〉 중점기술 약표 ····· 535
〈표 Ⅵ-114〉 적용분야에 따른 센서 비교 ····· 542
〈표 Ⅵ-115〉 자율비행 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 548
〈표 Ⅵ-116〉 자율비행 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량 ····· 549
〈표 Ⅵ-117〉 자율비행 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 550
〈표 Ⅵ-118〉 자율비행 분야 세부기술로드맵 ····· 559
〈표 Ⅵ-119〉 중점기술 약표 ····· 565
〈표 Ⅵ-120〉 기체 소음진동 저감 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 573
〈표 Ⅵ-121〉 기체 소음진동 저감 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량 ····· 574
〈표 Ⅵ-122〉 기체 소음진동 저감 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량 ····· 574
〈표 Ⅵ-123〉 기체 소음진동 저감 분야 세부기술로드맵 ····· 580

그 림 목 차

[그림 Ⅰ-1] 전세계 메가시티 전망 및 도시인구 비율 ····· 3
[그림 Ⅰ-2] 개발도상국의 인구증가 및 소득증가율 ····· 4
[그림 Ⅰ-3] 도시인구 증가에 따른 교통문제 심화 현상 ····· 5
[그림 Ⅰ-4] Historical development of PAV models ····· 6
[그림 Ⅰ-5] 도심항공교통 운용개념 구조 ····· 7
[그림 Ⅰ-6] 도심항공교통 비전도 ····· 7
[그림 Ⅰ-7] NASA Research to enable National Campaigns ····· 8
[그림 Ⅰ-8] EHang의 광저우 UAM 관제센터(좌) / 광저우 시내 동시비행 데모(19.11.30.)(우) ····· 9
[그림 Ⅰ-9] EASA의 AI Roadmap 1.0 ····· 9
[그림 Ⅰ-10] K-UAM 단계별 마일스톤 ····· 10
[그림 Ⅰ-11] NASA UAM성숙도(UML, UAM Maturity Level) 단계 ····· 11
[그림 Ⅰ-12] 국내 UAM 시험비행 ····· 11
[그림 Ⅰ-13] 국가R&D사업 예산 추이 ····· 12
[그림 Ⅰ-14] 국가R&D사업 성과 예시 ····· 13
[그림 Ⅰ-15] 기술로드맵과 R&D과제기획 연계 체계 ····· 14
[그림 Ⅰ-16] UAM 기체·부품 제작에 활용되는 다양한 첨단기술 예시 ····· 15
[그림 Ⅰ-17] UAM 운용을위한 활용기술 예시 ····· 15
[그림 Ⅰ-18] 부처별 관련 기술 ····· 16
[그림 Ⅰ-19] UAM 관련 기술수준 ····· 17
[그림 Ⅰ-20] UAM분야 eVTOL 기체 현황 ····· 18
[그림 Ⅰ-21] OBUAM 프로젝트의 운영수익성 분석 주요 결과 ····· 19
[그림 Ⅰ-22] K-UAM 기술로드맵 수립을 위한 추진체계 ····· 22
[그림 Ⅰ-23] K-UAM 기술로드맵 수립 경과 및 R&D사업 연계 ····· 29

[그림 Ⅱ-1] UAM 운송서비스의 활용 범위 ····· 33
[그림 Ⅱ-2] NASA의 Advanced Air Mobility 구현도 ····· 33
[그림 Ⅱ-3] Historical development of PAV models ····· 34
[그림 Ⅱ-4] Flying car→PAV→eVTOL 발전과정 ····· 35
[그림 Ⅱ-5] 국내외 기업 기체 개발 형식 ····· 35
[그림 Ⅱ-6] UAM 생태계 개념도 ····· 38
[그림 Ⅱ-7] UAM 기체 제조 및 운영시스템 관련 핵심기술 요소 ····· 40
[그림 Ⅱ-8] AAM Coordination and Leadership Act('21.02) ····· 41
[그림 Ⅱ-9] eVTOL형식증명 시 적용할 수 있는 감항기준과 인증기준 수립안(FAA) ····· 42
[그림 Ⅱ-10] FAA UAM ConOps 1.0('20.06, FAA) ····· 42
[그림 Ⅱ-11] VTOL 항공기와 회전익항공기(EASA) ····· 43
[그림 Ⅱ-12] EASA의 소형 VTOL 항공기의 인증을 위한 감항기준안과 적합성입증방안 ····· 43
[그림 Ⅱ-13] EASA의 Artificial Intelligence Roadmap ····· 44

그 림 목 차

[그림 Ⅱ-14] Study on the social acceptance of UAM in Europe('21.05, EASA) ····· 44
[그림 Ⅱ-15] 일본 항공교통 혁신 로드맵(2018.2) ····· 45
[그림 Ⅱ-16] NASA AAM NC 개발시험 운용개념도('21.06) ····· 47
[그림 Ⅱ-17] NASA AAM NC 추진 일정 ····· 47
[그림 Ⅱ-18] 미공군의 Agility Prime 소개 자료와 참여업체 ····· 48
[그림 Ⅱ-19] AMU-LED 참여업체 ····· 49
[그림 Ⅱ-20] SAFIR-MED 프로젝트 ····· 49
[그림 Ⅱ-21] 헬싱키 공항에서 진행된 Airtaxi 실증 비행 ····· 50
[그림 Ⅱ-22] U-space GF (Gulf of Finland) 프로젝트 세부 추진사항 및 일정(2019.8) ····· 50
[그림 Ⅱ-23] CARTIVATOR의 시제기 SkyDrive ····· 51
[그림 Ⅱ-24] 일본 후쿠시마 로봇 테스트 필드 시설조감도 ····· 51
[그림 Ⅱ-25] Ehang의 광저우 UAM 관제센터(좌) / 광저우 시내 동시비행 데모(2019.11.30.)(우) ··· 52
[그림 Ⅱ-26] 무인기 활용 화물배송(Skyway) ····· 52
[그림 Ⅱ-27] Volocopter 시범비행 ····· 52
[그림 Ⅱ-28] 항공정책 기본계획의 비전 및 목표 ····· 54
[그림 Ⅱ-29] 무인이동체 발전 5개년 계획 비전 및 체계도 ····· 56
[그림 Ⅱ-30] 항공핵심기술로드맵 비전 및 추진방향 ····· 57
[그림 Ⅱ-31] K-UAM 로드맵 단계적 목표 ····· 58
[그림 Ⅱ-32] OPPAV 사업 ····· 59
[그림 Ⅱ-33] 개인비행체 종합테스트베드 조감도 ····· 60
[그림 Ⅱ-34] '20년 eVTOL 시연행사 ····· 60
[그림 Ⅱ-35] UAM 협력을 위한 MOU 체결식 사진 ····· 61
[그림 Ⅱ-36] 세계 컨설팅 보고서별 시장규모 ····· 62
[그림 Ⅱ-37] 세계 UAM 시장규모 전망(MSCI, '21.05) ····· 62
[그림 Ⅱ-38] Joby Aviation의 주요 투자기업 ····· 64
[그림 Ⅱ-39] eVTOL 주요기업의 투자 및 구매계약 규모('21.06) ····· 65
[그림 Ⅱ-40] Uber가 제시한 Skyport 예상도 ····· 65
[그림 Ⅱ-41] 볼로콥터 2X ····· 66
[그림 Ⅱ-42] Lilium's Vertiport at Lake Nona(좌), Lilium Jet(우) ····· 67
[그림 Ⅱ-43] EHang 184 ····· 68
[그림 Ⅱ-44] EHang 216 시연(도심항공교통(UAM) 실증비행 행사, '20.11) ····· 68
[그림 Ⅱ-45] 테라퓨지아의 UAM인 트랜지션 ····· 68
[그림 Ⅱ-46] 연도별 UAM 한국 시장 규모 그래프 ····· 69
[그림 Ⅱ-47] Hyundai S-A1('20.01) ····· 70
[그림 Ⅱ-48] 최고경영자(CEO) 인베스터 데이 ····· 70
[그림 Ⅱ-49] 한화시스템이 추진 중인 UAM 사업 분야 ····· 71
[그림 Ⅱ-50] 한화시스템 UAM 사업 중장기 목표 ····· 72

그 림 목 차

[그림 Ⅱ-51] 한화시스템-한국공항공사 김포공항 버티포트 조감도 ····· 72
[그림 Ⅱ-52] eVTOL의 다양한 기체 형식 ····· 73
[그림 Ⅱ-53] eVTOL의 기체 개요('21.07) ····· 73
[그림 Ⅱ-54] Joby Aviation 개발 기체 ····· 74
[그림 Ⅱ-55] Garmin G3000 ····· 74
[그림 Ⅱ-56] 6xTilt-Prop eVTOL S4(Joby Aviation) ····· 75
[그림 Ⅱ-57] Kitty Hawk사의 Heavyside ····· 75
[그림 Ⅱ-58] Beta Technologies社의 Alia-250 ····· 76
[그림 Ⅱ-59] Volocopter 2X ····· 77
[그림 Ⅱ-60] Volocity ····· 77
[그림 Ⅱ-61] Lilium Jet ····· 77
[그림 Ⅱ-62] EHang 184 ····· 78
[그림 Ⅱ-63] EHang 216 ····· 78
[그림 Ⅱ-64] EHang VT-30 ····· 78
[그림 Ⅱ-65] EHang 216 AAV 시험비행 (일본 오카야마현, '21.06) ····· 79
[그림 Ⅱ-66] Terrafugia의 UAM인 트랜지션 ····· 79
[그림 Ⅱ-67] Uber社와 코건社가 합작한 버티포트 조감도 ····· 81
[그림 Ⅱ-68] Aerial ride sharing with Uber Air ····· 81
[그림 Ⅱ-69] full-featured recharging pad ····· 82
[그림 Ⅱ-70] Voloport 컨셉사진(외부(좌), 내부(중)), Singapore 기체 이착륙장(우) ····· 82
[그림 Ⅱ-71] Lilium's Vertiport at Lake Nona ····· 83
[그림 Ⅱ-72] E-Port 형상 ····· 83
[그림 Ⅱ-73] GZDG가 디자인한 친환경 버티포트 ····· 83
[그림 Ⅱ-74] FAA UAM ConOps와 NASA UAM CopOps ····· 84
[그림 Ⅱ-75] UAM 아키텍쳐 개념도 ····· 84
[그림 Ⅱ-76] EmbraerX Flight Plan 2030과 UATM ConOps ····· 85
[그림 Ⅱ-77] 호주 멜버른에서 UAM 운용 시 항공기와 충돌확률 시뮬레이션 ····· 85
[그림 Ⅱ-78] 현대자동차 PAV 콘셉트모델 S-A1 ····· 86
[그림 Ⅱ-79] Overair Butterfly ····· 87
[그림 Ⅱ-80] 국내외 주요기업간 기체개발단계 비교 ····· 88
[그림 Ⅱ-81] 현대자동차 허브(Hub) 컨셉 ····· 89
[그림 Ⅱ-82] K-UAM 성공적 실현 및 시험비생 실증을 위한 업무협약 ····· 89
[그림 Ⅱ-83] 도심항공모빌리티(UAM) 핵심 인프라인 플라잉카 공항 '에어원' ····· 90
[그림 Ⅱ-84] 한화시스템-한국공항공사-한국교통연구원-SKT UAM 사업 협력방안 ····· 90
[그림 Ⅱ-85] CNS/ATM 비행계획 시스템 데이터 공유 체계 개념 예시 ····· 92
[그림 Ⅱ-86] 응급의료헬기 통신 체계 (예시, 대한항공) ····· 92
[그림 Ⅱ-87] KU-KE 도심항공모빌리티 운용개념 v1.0 ····· 93

그 림 목 차

[그림 Ⅲ-1] 운용수익성 기반 미래시나리오 도출 프로세스 ····· 97
[그림 Ⅲ-2] 운용수익성 기반의 순환 검토 프로세스 ····· 98
[그림 Ⅲ-3] WG(Working Group 구성 및 연계도 ····· 99
[그림 Ⅲ-4] WG(Working Group)의 세부 운영 프로세스 ····· 100
[그림 Ⅲ-5] WG(Working Group) 추진 회의 ····· 102
[그림 Ⅲ-6] 수단별 소요시간에 따른 UAM 이용 최소거리 산출 개념도 ····· 104
[그림 Ⅲ-7] P73 비행금지구역 / R75 비행제한구역 요도 ····· 106
[그림 Ⅲ-8] UAM 버티포트 및 주변 고층건물과의 항로 검토 조건 (예시) ····· 108
[그림 Ⅲ-9] UAM 버티포트와 기존 교통네트워크 활용 방안(예시) ····· 108
[그림 Ⅲ-10] UAM 기술구성도를 위한 기본 프레임 ····· 111
[그림 Ⅲ-11] MQ-1B Predator의 원격조종 시스템 ····· 115
[그림 Ⅲ-12] MQ-1B Predator의 원격조종 시스템 ····· 115
[그림 Ⅲ-13] EASA의 항공분야 AI 로드맵 ····· 116
[그림 Ⅲ-14] NASA의 배터리 기술 전망 ····· 117
[그림 Ⅲ-15] UAM의 기체 소음 수준 ····· 118
[그림 Ⅲ-16] UAM 고정형 및 혼합형 비행항로 개념 ····· 119
[그림 Ⅲ-17] 영상기반 위치 측위 방법 ····· 121
[그림 Ⅲ-18] Uber의 Skyports design ····· 122
[그림 Ⅲ-19] UAM Maturity Levels(UML) ····· 123
[그림 Ⅲ-20] UAM에서의 기상 관련 기술 ····· 124
[그림 Ⅲ-21] UAM 주요 기체별 추정가격 ····· 126
[그림 Ⅲ-22] UAM 잠재수요 및 실현수요 비교(수도권 기준) ····· 134
[그림 Ⅲ-23] UAM 연간 운항수지 및 운항수지율 추세 ····· 138
[그림 Ⅲ-24] UAM 연간 누적 운항수지 분석결과 ····· 138
[그림 Ⅲ-25] UAM 동향 및 미래시나리오 분석 등에 따른 핵심이슈 ····· 142

[그림 Ⅳ-1] K-UAM 중점기술 발굴 프로세스 ····· 145
[그림 Ⅳ-2] 기술구성도-미래시나리오-기술로드맵 연계도 ····· 146
[그림 Ⅳ-3] 기술구성도-미래시나리오-기술로드맵 수준 비교 ····· 146
[그림 Ⅳ-4] 한국형 도심항공교통 기술로드맵 구조 및 연계도 ····· 154
[그림 Ⅳ-5] 한국형 도심항공교통 기술로드맵 공청회 현장 사진 ····· 160
[그림 Ⅳ-6] K-UAM 중점추진기술 및 추진전략 연계도 ····· 164
[그림 Ⅳ-7] 기체·부품부문의 중점추진기술별 우선순위 ····· 165
[그림 Ⅳ-8] 항행·교통관리부문의 중점추진기술별 우선순위 ····· 166
[그림 Ⅳ-9] 인프라부문의 중점추진기술별 우선순위 ····· 167
[그림 Ⅳ-10] 서비스부문의 중점추진기술별 우선순위 ····· 168
[그림 Ⅳ-11] 핵심기술부문의 중점추진기술별 우선순위 ····· 169

그 림 목 차

[그림 Ⅳ-12] 핵심가치별 중점추진기술 ····· 170
[그림 Ⅳ-13] UAM 핵심부문별 국내기술수준 ····· 174
[그림 Ⅳ-14] 핵심부문별 최고 선진국 대비 기술격차 ····· 175
[그림 Ⅳ-15] 주요 분야별 기술수준 ····· 176
[그림 Ⅳ-16] 핵심부문별 기술확보방안 ····· 177
[그림 Ⅳ-17] 핵심부문별 투자주체 ····· 178
[그림 Ⅳ-18] 핵심부문별 연구수행주체 ····· 178
[그림 Ⅳ-19] 핵심부문별 활용주체 ····· 179
[그림 Ⅳ-20] 핵심부문별 연구개발단계 ····· 179

[그림 Ⅴ-1] K-UAM 로드맵 정책목표 및 추진과제 ····· 184
[그림 Ⅴ-2] K-UAM 로드맵 및 본 기술로드맵 간 단계 비교 ····· 184
[그림 Ⅴ-3] K-UAM 기술로드맵의 추진전략① ····· 189
[그림 Ⅴ-4] K-UAM 기술로드맵의 추진전략② ····· 191
[그림 Ⅴ-5] K-UAM 기술로드맵의 추진전략③ ····· 192
[그림 Ⅴ-6] K-UAM 기술로드맵의 추진전략④ ····· 194
[그림 Ⅴ-7] 국내외 주요 협력 예시 ····· 195
[그림 Ⅴ-8] 최적설계 및 해석(MDAO) 시각화 예시 ····· 200
[그림 Ⅴ-9] 고속성형공정 기술 예시 ····· 201
[그림 Ⅴ-10] Batteries Europe Roadmap (Airborne Transport) ····· 201
[그림 Ⅴ-11] 모빌리티용 연료전지팩 ····· 201
[그림 Ⅴ-12] 미국 항공우주국(NASA)의 항공기 전기추진 시스템 로드맵 ····· 202
[그림 Ⅴ-13] 항공용 전기추진 구동모터 ····· 202
[그림 Ⅴ-14] UAM 비상낙하산 및 완충장치 시스템 개발 ····· 203
[그림 Ⅴ-15] 결빙으로 인한 비행체 형상 변형 시험 및 전산해석 ····· 203
[그림 Ⅴ-16] UAM 비행체 내추락 설계 특성 ····· 203
[그림 Ⅴ-17] 국내 연구기관 보유 주요 비행체 시험시설 사례 ····· 204
[그림 Ⅴ-18] 분산전기추진시스템 시험시설 사례 : 프로펠러 및 전기추진시스템시험(좌), 분산추진시스템 시험(우) ··· 204
[그림 Ⅴ-19] UAM과 UAS의 운항을 고려한 비행 공역 구분 개념도 ····· 205
[그림 Ⅴ-20] 기존 ATM의 전략적/전술적 충돌 관리, 교통 흐름 관리를 위한 시간 기반 스케줄링 개념도 ··· 206
[그림 Ⅴ-21] UAM 운용을 위한 CNSi 획득 및 활용체계 신뢰성 검증 ····· 206
[그림 Ⅴ-22] 도심형 버티포트 유형 ····· 208
[그림 Ⅴ-23] 버티포트 입지선정을 위한 교통영향 평가 요소 ····· 209
[그림 Ⅴ-24] 에너지 저장장치(ESS) 구성도 ····· 209
[그림 Ⅴ-25] UAM용 고전압 급속충전 기술개발 방안 ····· 209
[그림 Ⅴ-26] Virtual Singapore Project ····· 210
[그림 Ⅴ-27] VU. CITY의 런던 3D 모델 ····· 210

그 림 목 차

[그림 V-28] 운항사 예약영업시스템 개발 기술 구성도 ····· 211
[그림 V-29] 현행 항공 BHS 시스템의 Flow ····· 212
[그림 V-30] Overview of the Piloted Aircraft Path ····· 213
[그림 V-31] 강건설계에서 목적함수의 이동 및 분포범위 축소에 따른 제약조건 만족 예시 ····· 213

[그림 VI-1] 기체·부품 부문 주요분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 228
[그림 VI-2] 기체부품 부문 주요분야-중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 229
[그림 VI-3] 최적설계 및 해석(MDAO) 시각화 예시 ····· 236
[그림 VI-4] 고정밀 공력해석 기술을 이용한 로터-날개 간 간섭효과 ····· 242
[그림 VI-5] 수치해석모델을 적용한 도심환경 풍황 예측모델 ····· 242
[그림 VI-6] 고속성형공정 기술 예시 ····· 243
[그림 VI-7] 복잡형상 대상 신속 비파괴 검사 기술 예시 ····· 244
[그림 VI-8] 기체구조 분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 245
[그림 VI-9] 기체구조 분야 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 246
[그림 VI-10] 수소연료전지/배터리 하이브리드 동력원 시스템 구조 ····· 255
[그림 VI-11] Batteries Europe Roadmap (Airborne Transport) ····· 260
[그림 VI-12] 수소드론 및 비행체용 연료전지팩 ····· 260
[그림 VI-13] 모빌리티용 연료전지팩 ····· 260
[그림 VI-14] 수소드론 ····· 261
[그림 VI-15] 미국 항공우주국(NASA)의 항공기 전기추진 시스템 로드맵 ····· 262
[그림 VI-16] 전기동력 추진시스템 비행 시험 연구개발 결과 ····· 262
[그림 VI-17] 미국 항공우주국(NASA)의 항공기 전기추진 시스템 로드맵 ····· 263
[그림 VI-18] 항공용 전기추진 구동모터 ····· 264
[그림 VI-19] 미쓰비시 전기의 SiC 인버터 ····· 265
[그림 VI-20] 인버터 델파이 800[V] 인버터 및 양면 냉각 기능을 결합한 바이퍼 전원 스위치 ····· 265
[그림 VI-21] 항공기 인증 ····· 266
[그림 VI-22] 동력·추진시스템 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 267
[그림 VI-23] 동력·추진시스템 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 268
[그림 VI-24] UAM 비상낙하산 및 완충장치 시스템 개발 ····· 278
[그림 VI-25] 결빙으로 인한 비행체 형상 변형 시험 및 전산해석 ····· 279
[그림 VI-26] 뇌운 발생 및 발달 시뮬레이션 ····· 280
[그림 VI-27] 낙뢰 피격 시뮬레이션 및 변형 분석 ····· 281
[그림 VI-28] 기계시스템 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 282
[그림 VI-29] 기계시스템 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 283
[그림 VI-30] UAM 비행체 내추락 설계 특성 ····· 296
[그림 VI-31] TAPAS 컨소시엄에서 열가소성 복합재료로 제작한 엔진 파일런 스파(좌)와 수평미익(우) 297
[그림 VI-32] STELIA사의 용접일체화 동체(좌)와 자기유도 용접으로 일체화 된 스킨 스트링거(우) ···· 297
[그림 VI-33] MC-21 복합재 주익스킨(스킨-스트링거 일체형) ····· 298

그 림 목 차

[그림 Ⅵ-34] 국내 연구기관 보유 주요 비행체 시험시설 사례 ····· 300
[그림 Ⅵ-35] (좌) 프로펠러 및 전기 추진시스템 시험 (우) 분산추진시스템 시험 ····· 302
[그림 Ⅵ-36] 인증시험평가 분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 304
[그림 Ⅵ-37] 인증·시험평가 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차(1) ····· 305
[그림 Ⅵ-38] 인증·시험평가 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차(2) ····· 305
[그림 Ⅵ-39] 유지감항 및 적합성 검증 체계 예시 ····· 308
[그림 Ⅵ-40] 항행·교통관리 부문 주요분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 320
[그림 Ⅵ-41] 항행교통관리 부문 주요분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 321
[그림 Ⅵ-42] UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가 기술 (NASA SMART-NAS) ····· 329
[그림 Ⅵ-43] 기체조종 시뮬레이터 기술 (B737 시뮬레이터(좌), 슬로베니아 Nervtech社(우)) ····· 330
[그림 Ⅵ-44] UAM 이착륙장 가상 운용시스템 예시 (서울 접근 관제시스템 테스트베드) ····· 330
[그림 Ⅵ-45] UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM) 가상운용환경 ····· 331
[그림 Ⅵ-46] SORA 시맨틱 모델 개념 및 공중 충돌위험 분석 위한 공역 분류 ····· 332
[그림 Ⅵ-47] 공중 위험도 분석 절차 및 식별 위험 저감 절차 ····· 333
[그림 Ⅵ-48] NASA AAM NC의 우발상황 시나리오 개념도 ····· 334
[그림 Ⅵ-49] UAM과 UAS의 운항을 고려한 비행 공역 구분 개념도 ····· 334
[그림 Ⅵ-50] 동적 공역 관리 서비스 개념도 ····· 335
[그림 Ⅵ-51] 4D 궤적 예측 및 실비행 합치성 모니터링 예시 ····· 336
[그림 Ⅵ-52] 항공기 이착륙 시간 스케줄링 관련 - 제주공항 대상의 출도착 통합관리 시스템 개념도 · 336
[그림 Ⅵ-53] 인천공항 및 제주공항 대상의 출도착 관리 시스템 개발 사례 ····· 336
[그림 Ⅵ-54] 기존 ATM의 전략적/전술적 충돌 관리, 교통 흐름 관리를 위한 시간 기반 스케줄링 개념도 ··· 337
[그림 Ⅵ-55] Demand-Capacity Balancing을 위한 정보 생성/관리 및 공유 구조 예시 ····· 337
[그림 Ⅵ-56] UAM 통합관리 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 338
[그림 Ⅵ-57] UAM 교통 통합관리 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차(1) ····· 339
[그림 Ⅵ-58] UAM 교통 통합관리 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차(2) ····· 340
[그림 Ⅵ-59] UAM 운용을 위한 CNSi 획득 및 활용체계 신뢰성 검증 ····· 359
[그림 Ⅵ-60] The Air services High-Fidelity Tower Simulator, Embraer-X UATM Concepts 360
[그림 Ⅵ-61] CNS/ATM 비행계획 시스템 데이터 공유 체계 개념 예시 ····· 361
[그림 Ⅵ-62] 데이터 기반 비행감시 및 모니터링 시스템 ····· 362
[그림 Ⅵ-63] 응급의료헬기 통신 체계 ····· 362
[그림 Ⅵ-64] 의사결정 지원 시스템 ····· 362
[그림 Ⅵ-65] 운항스케쥴 관리 시스템 구성도 ····· 363
[그림 Ⅵ-66] UAM vertiport 및 PSU 간 데이터 활용 및 공유체계 기술에 대한 예시 ····· 365
[그림 Ⅵ-67] UTM 및 UAM 교통관리시스템 구성도 ····· 366
[그림 Ⅵ-68] U-Space Traffic Management Operations ····· 366
[그림 Ⅵ-69] UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술 ····· 368
[그림 Ⅵ-70] UAM 가용 후보통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G/6G)링크 기술 ····· 370

그 림 목 차

[그림 Ⅵ-71] NASA UML-4 ····· 370
[그림 Ⅵ-72] Vertiport 통합운영시스템 ····· 371
[그림 Ⅵ-73] FAA UTM/UAM FIMS 망 접속 기술 예시 ····· 372
[그림 Ⅵ-74] GOF USPACE VLD ····· 372
[그림 Ⅵ-75] 기저선별 위성항법 보정시스템 위치정확도 비교 ····· 373
[그림 Ⅵ-76] 정밀위성항법 기술에 대한 예시 ····· 374
[그림 Ⅵ-77] 레이더 고도계 이용 TRN(좌), 간섭계 레이더 고도계 이용 PTAN(우) ····· 375
[그림 Ⅵ-78] LiDAR 이용 TRN-영상기반 상대항법 기술에 대한 예시(그림, 설명) ····· 375
[그림 Ⅵ-79] 영상지원항법-영상기반 상대항법 기술에 대한 예시(그림, 설명) ····· 376
[그림 Ⅵ-80] 대체 무선항법 기술에 대한 예시(그림, 설명) ····· 377
[그림 Ⅵ-81] UAS 복합항법 구조 (예시) ····· 378
[그림 Ⅵ-82] 네트워크 기반 협력적 감시기술에 대한 예 (Remote ID 개념 및 데이터 교환) ····· 379
[그림 Ⅵ-83] RPAS DAA를 지원하는 다중센서 GBSS 블록 다이어그램 ····· 380
[그림 Ⅵ-84] UA(Unmanned Aircraft)와 CS(Control Station) DAA 프로세서 ····· 381
[그림 Ⅵ-85] UAM 통신망 보안 기술 개념도 ····· 382
[그림 Ⅵ-86] UAM 네트워크(데이터) 보안 기술 개념도 ····· 383
[그림 Ⅵ-87] UAM CNSi 분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 384
[그림 Ⅵ-88] UAM CNSi 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 385
[그림 Ⅵ-89] 인프라 부문 주요분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 404
[그림 Ⅵ-90] 인프라 부문 중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 405
[그림 Ⅵ-91] 차세대 워킹-스루 보안검색 기술 적용 전후 비교 개념도 ····· 410
[그림 Ⅵ-92] 도심형 버티포트 유형 ····· 411
[그림 Ⅵ-93] 원격 포트 제어 개념(SESAR Digital technologies for Tower) ····· 412
[그림 Ⅵ-94] 버티포트 입지선정을 위한 교통영향 평가 요소 ····· 413
[그림 Ⅵ-95] 항공기 자동화 실시간 정보 연동 시스템 사례 ····· 413
[그림 Ⅵ-96] 디지털 증강현실 및 다수 포트 원격 관리 사례 ····· 414
[그림 Ⅵ-97] Uber 버티포트 설계안 모델링 ····· 416
[그림 Ⅵ-98] Singapore 기체 이착륙장 ····· 417
[그림 Ⅵ-99] Singapore 기체 이착륙장함부르크 버티포트 입지선정을 위한 교통영향(시뮬레이션) 분석417
[그림 Ⅵ-100] 공항운용정보시스템(AODB) 사례 ····· 418
[그림 Ⅵ-101] 공항 통합운항정보시스템 개념 ····· 418
[그림 Ⅵ-102] 통합운영센터(APOC) 추진 해외사례 ····· 419
[그림 Ⅵ-103] 헝가리 부다페스트 공항의 증강현실 기반의 디지털 관제 사례 ····· 419
[그림 Ⅵ-104] UAM용 항행시설(항법장치)에 대한 개념 ····· 420
[그림 Ⅵ-105] 항공등화 장보 사례 ····· 420
[그림 Ⅵ-106] 무인자동 토잉카 사례 ····· 421
[그림 Ⅵ-107] 워킹-스루 보안검색 개념도 ····· 422

그 림 목 차

[그림 Ⅵ-108] 사람의 감정상태를 측정하는 바이브라이미지 ····· 423
[그림 Ⅵ-109] 유사 SMS(안전관리시스템) 사례자료 ····· 423
[그림 Ⅵ-110] 버티포트 구축 및 운용 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ·· 424
[그림 Ⅵ-111] 버티포트 구축 및 운용 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 425
[그림 Ⅵ-112] 1MW(메가와트) 전력규모 ····· 439=
[그림 Ⅵ-113] 에너지 저장장치(ESS) 구성도 ····· 440
[그림 Ⅵ-114] Uber 달라스 버티포트 에너지 사용 연구 사례 ····· 440
[그림 Ⅵ-115] 5G의 성능을 활용한 다양한 국내외 사례 ····· 441
[그림 Ⅵ-116] UAM용 고전압 급속충전 기술개발 방안 ····· 442
[그림 Ⅵ-117] 버티포트 보조설비 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 443
[그림 Ⅵ-118] 버티포트 보조설비 분야 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 444
[그림 Ⅵ-119] 기업 전용 Private 5G 서비스 제공 ····· 446
[그림 Ⅵ-120] 사이버보안의 심층방어 개념 ····· 446
[그림 Ⅵ-121] 운영 계층, 제어 계층, 현장장치 계층 ····· 447
[그림 Ⅵ-122] 사이버 위험관리 프레임워크 개념도 ····· 448
[그림 Ⅵ-123] 버티포트 충전 자동화 개념도 ····· 450
[그림 Ⅵ-124] SOF 예측기술 개발 사례 ····· 450
[그림 Ⅵ-125] Virtual Singapore Project(좌), VU. CITY의 런던 3D 모델(우) ····· 456
[그림 Ⅵ-126] 특화도시 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 457
[그림 Ⅵ-127] 특화도시 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 457
[그림 Ⅵ-128] 스마트시티 고도화 및 UAM 특화 전략 ····· 459
[그림 Ⅵ-129] UAM 통합 모빌리티 플랫폼 (예시) ····· 459
[그림 Ⅵ-130] 도심버티포트와 ConOps에 따른 건축공간 간섭영향 시뮬레이션(좌), 드론을 위한 입체공중이용계획(우) ·· 460
[그림 Ⅵ-131] UAM 항로 주변 소음 모델링 (예시) ····· 460
[그림 Ⅵ-132] 서비스 부문 분야 중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 468
[그림 Ⅵ-133] 서비스 부문 주요분야 중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 469
[그림 Ⅵ-134] 운항사 예약영업시스템 개발 기술 구성도 ····· 479
[그림 Ⅵ-135] 현행 항공 BHS 시스템의 Flow ····· 480
[그림 Ⅵ-136] 수하물 정보 관리 시스템 (예시) ····· 481
[그림 Ⅵ-137] 탑승객 위탁 수하물 처리 Flow ····· 482
[그림 Ⅵ-138] 조종 단순화/자동화 기술 검증환경 (Honeywell社) ····· 483
[그림 Ⅵ-139] UAM 항공기의 Synthetic Vision 기술 검증 시뮬레이션 ····· 483
[그림 Ⅵ-140] 데이터 기반 예방정비 분석 및 시스템 구축 (Lockheed Martin社) ····· 484
[그림 Ⅵ-141] 인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술적용 예시 ····· 484
[그림 Ⅵ-142] UAM 운송·운용시스템 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ·· 485
[그림 Ⅵ-143] UAM 운송·운용시스템 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 486
[그림 Ⅵ-144] 스마트시티 구성요소 중 데이터 취득 분야 ····· 494

그 림 목 차

[그림 Ⅵ-145] 드론을 활용한 도심3차원정보 구축 ····· 495
[그림 Ⅵ-146] UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축 기술 ····· 497
[그림 Ⅵ-147] UAM 도심기상예측 모듈 개발 기술 예시 ····· 498
[그림 Ⅵ-148] 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ··· 499
[그림 Ⅵ-149] 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 경쟁국 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 500
[그림 Ⅵ-150] 기상예측툴과 LES를 연계 ····· 503
[그림 Ⅵ-151] UAM 운송사업자 운항증명 발급 절차 ····· 510
[그림 Ⅵ-152] 교육훈련체계 예시 ····· 513
[그림 Ⅵ-153] 운용자격 체계 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 514
[그림 Ⅵ-154] 운용자격 체계 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 515
[그림 Ⅵ-155] Overview of the Piloted Aircraft Path ····· 524
[그림 Ⅵ-156] 기체부품 부문 주요분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술수준 ····· 525
[그림 Ⅵ-157] 핵심기술 부문 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 526
[그림 Ⅵ-158] 탑재 통신시스템 정의 ····· 533
[그림 Ⅵ-159] ROS 및 PX4 SW시스템 구성 ····· 538
[그림 Ⅵ-160] 무인항공기 통신링크 관리 ····· 539
[그림 Ⅵ-161] 5/6G와 LEO 위성의 통합 구성도 ····· 539
[그림 Ⅵ-162] 센서의 발전 과정 ····· 542
[그림 Ⅵ-163] 영상항법 기술 예시 VIO 센서 모듈(좌), 영화상 카메라 기반 측위 기술(우) ····· 544
[그림 Ⅵ-164] 자율비행 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 547
[그림 Ⅵ-165] 자율비행 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차(1) ····· 548
[그림 Ⅵ-166] 자율비행 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차(2) ····· 549
[그림 Ⅵ-167] 강건설계에서 목적함수의 이동 및 분포범위 축소에 따른 제약조건 만족 예시 ····· 566
[그림 Ⅵ-168] 개별 블레이드 조절 허브 시스템에 대한 예시 ····· 568
[그림 Ⅵ-169] 능동 진동 제어 알고리즘에 대한 예시 ····· 568
[그림 Ⅵ-170] UAM 다중프로펠러 형상 ····· 569
[그림 Ⅵ-171] 다중프로펠러 형상 특허 기술 ····· 569
[그림 Ⅵ-172] 다중프로펠러 소음저감 특허 기술 ····· 570
[그림 Ⅵ-173] 능동 진동제어 알고리즘에 대한 예시 ····· 571
[그림 Ⅵ-174] 작동기/센서 배치 최적화에 대한 예시 ····· 571
[그림 Ⅵ-175] 전기추진시스템 로터소음에 대한 위해성 분석 ····· 572
[그림 Ⅵ-176] 기체 소음진동 저감 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준 ····· 573
[그림 Ⅵ-177] 기체 소음진동 저감 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차 ····· 574

제 1 장

K-UAM 기술로드맵 수립 개요

제1절 기술로드맵 수립 배경 및 필요성

제2절 기술로드맵 수립 범위 및 추진경과

제1절 기술로드맵 수립 배경 및 필요성

1. 기술로드맵의 수립 배경

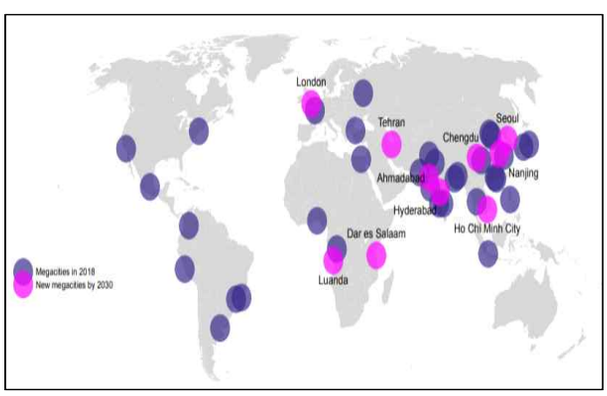
가. UAM의 등장 배경

■ 세계 인구 증가 및 대도시 인구 과밀화로 인한 지상교통수단의 한계

● 뉴욕, 런던 등 세계 주요 도시들은 인구 과밀화가 진행됨에 따라 도심 내 환경, 주거, 교통 등 다양한 사회적 문제가 발생

– 세계적으로 인구 증가 및 도시화[1] 가속화가 진행되면서 특정 도시로의 인구 집중 현상이 심화되고 있으며, 앞으로도 계속 인구 집중될 것으로 전망

• UN 경제사회국(Department of Economic and Social Affairs, DESA)은 '50년에 전세계 인구가 90억명으로 증가하고, 이중 65억명(전세계 인구의 67%) 이상이 도시 거주 예상



〈Megacities of the world in 2018 and 2030〉

출처: United Nations, The World's Cities in 2018 report



〈전세계 도시 인구 비율 〉

출처: 연합뉴스('18.5.17), '지구촌 도시화 가속'(원자료: 유엔경제사회국)

[그림 Ⅰ-1] 전세계 메가시티 전망 및 도시인구 비율

• 세계적으로 메가시티*는 '18년 22개가 존재하며, '30년까지 32개로 증가할 것으로 전망(UN, The World's Cities in 2018 report)

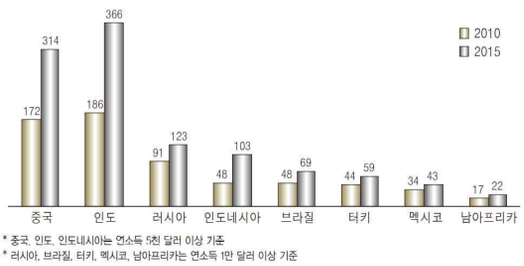
* 메가시티(Megacity)란 핵심도시를 중심으로 일일 생활이 가능하도록 기능적으로 연결된 대도시권으로 글로벌 비즈니스 창출이 가능한 경제규모를 갖춘 인구 1,000만명 이상의 거대도시를 지칭

– 메가시티는 고등교육을 받은 인적자원 및 IT, 교통 통신 등 가치 창출에 필수적인 인프라를 확보하고 있어, 각국은 핵심 및 인접 도시 간 연계를 통한 광역화가 유도

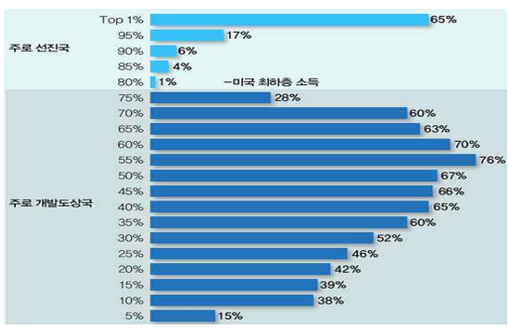
1) 도시화란 많은 사람이 일정한 지역에 집중하여 그 지역의 인구수가 증가하고, 주변 지역에 비해 그 지역의 인구밀도가 상대적으로 높아지는 과정으로 1차 산업 종사자 수가 줄어들고 비 농업적 산업 종사자 수가 늘어나 도시적 산업 비율이 증가하는 현상을 의미

- 메가시티는 대규모 인구가 거주하고 있어 제품에 대한 초기 개발 비용을 비교적 빠르게 회수할 수 있어 새로운 제품과 산업을 창출하는 역할을 담당

- 신흥 중산층이 증가하고 있는 인도, 중국 등 개발도상국의 메가시티는 IT, 금융, 제조분야 글로벌 기업들의 신시장으로 경쟁적인 진출로 이어짐



〈개도국 도시들의 중산층 인구 전망(백만명)〉
출처: BCG(10.12), 'Winning in Emerging-Market Cities'



〈글로벌 소득증가율(1989~2008년)〉
출처: 키움증권보고서 '트럼프 열풍과 브렉시트 사태의 공통점'

[그림 Ⅰ-2] 개발도상국의 인구증가 및 소득증가율

– 메가시티는 인프라 집적→도심화 유발→인프라 부족→인프라 추가→도심화 유발 등의 악순환체계를 정착시킴으로써 주거, 환경, 교통 등 다양한 도시문제를 야기시킴

- 주택문제(주택부족 및 집값 상승, 불량 주택 지역 형성), 교통문제(도로 및 교통시설의 부족, 교통혼잡, 주차난 등의 문제 발생), 환경문제(공장매연, 자동차 배기가스 등의 대기오염, 산업시설/가정에서 배출하는 산업폐수/생활 하수 등의 수질오염, 산업폐기물과 생활 쓰레기로 인한 토양오염 등)

- 도시문제를 해결하기 위하여 주택공급과 도시 재개발사업, 교통체계 개편 등을 위한 각종 정책 추진 및 사회적 비용이 증가하는 추세

● 교통수단 포화로 인한 인프라 부족 및 교통혼잡은 사회적 비용 증가 뿐만 아니라 환경, 주거 등의 문제도 동반하고 있어 각국은 도심 교통수단을 통한 문제해결 노력을 지속해옴

– 각국은 교통량이 증가하면서 차량 정체 등으로 통행이나 물류에서 발생하는 사회적 손실 규모가 점차 증가

- 교통량 분석업체 INRIX의 '2019 GLOBAL TRAFFIC SCORECARD'에 따르면 미국 운전자가 연간 교통정체로 총 880억달러 혼잡비용이 발생하였으며, 운전자당 99시간을 허비하는 것으로 분석됨 (영국의 경우 연간 52억파운드의 혼잡비용이 발생하며, 운전자당 115시간)

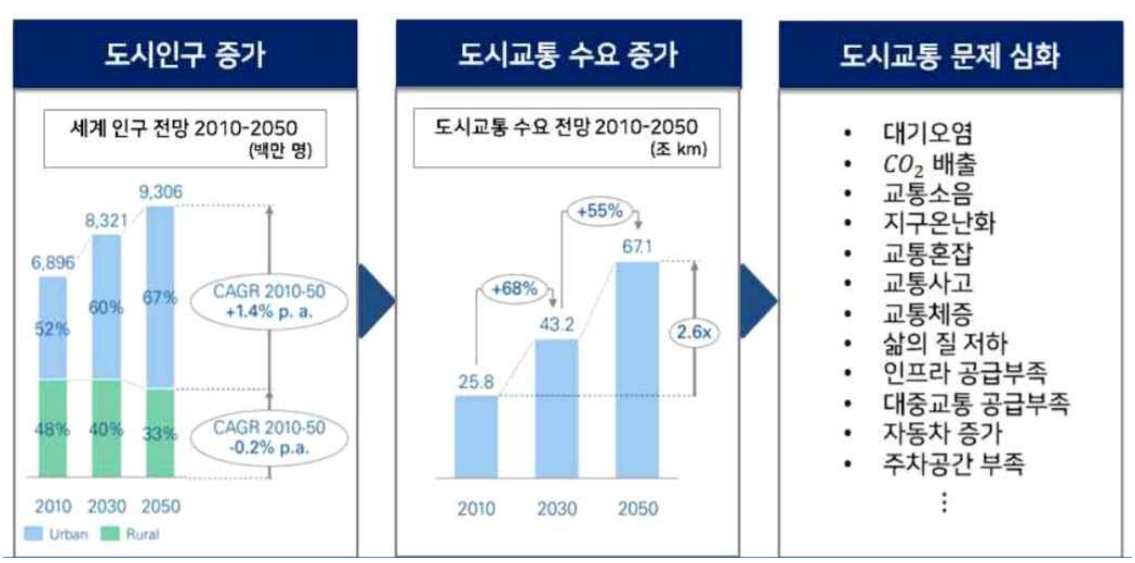
- 미국 도시 중 보스톤의 운전자당 교통혼잡비용이 2,291달러로 가장 높았으며, 도시 전체 혼잡비용으로 보면 뉴욕이 95억달러로 가장 높았음

〈표 Ⅰ-1〉 미국 주요 도시의 연간 교통혼잡비용 현황

순위	도시	혼잡시간	혼잡비용(운전자당)	혼잡비용(도시당)
1	보스턴	164h	$2,291	$4.1B
2	워싱턴 D.C.	155h	$2,161	$4.6B
3	시카고	138h	$1,920	$6.2B
4	뉴욕	133h	$1,859	$9.5B
5	LA	128h	$1,788	$9.3B
…	…	…	…	…

출처: INRIX, '2019 GLOBAL TRAFFIC SCORECARD'

- 국내의 경우 도시권에 교통수요가 집중됨에 따라 도시 내 교통혼잡비용이 전국 전체 비용의 64% 수준에 달하여 도시 교통문제가 심각한 실정(ETRI Insight Report 2018)
  - 한국교통연구원에서는 '17년 전국 교통혼잡비용은 59조 6,000억원에 달하는 것으로 발표('20.5.25)하였으며, 이는 국내총생산의 3.4%에 달하는 규모로 나타남
  - 국내 교통혼잡비용을 처음 조사한 '94년에는 약 10조원이었으며, 이후 '12년 30조 3,000억원→'16년 55조 9,000억원으로 혼잡비용이 계속 증가
- 도시 내 교통혼잡은 사회문제 발생에만 한정하지 않고 환경문제도 초래함
  - 한정된 지역에서 대량의 교통량이 발생하면서 이산화탄소가 대량으로 배출되어 지구 온난화를 가속화
  - 최근 스모그, 미세먼지 등 대기오염 원인으로 자동차 유해가스인 일산화탄소, 질소 산화물 등의 유해가스도 문제로 인식



출처: UN Population Division (2000), Arthur D. Little (2014) Future of urban mobility 2.0: imperatives to shape extended mobility ecosystems of tomorrow 재구성

[그림 Ⅰ-3] 도시인구 증가에 따른 교통문제 심화 현상

도심 교통·환경 문제를 획기적으로 개선할 수 있는 항공모빌리티 플랫폼인 UAM(Urban Air Mobililty, 도심항공교통)이 새로운 대안으로 등장

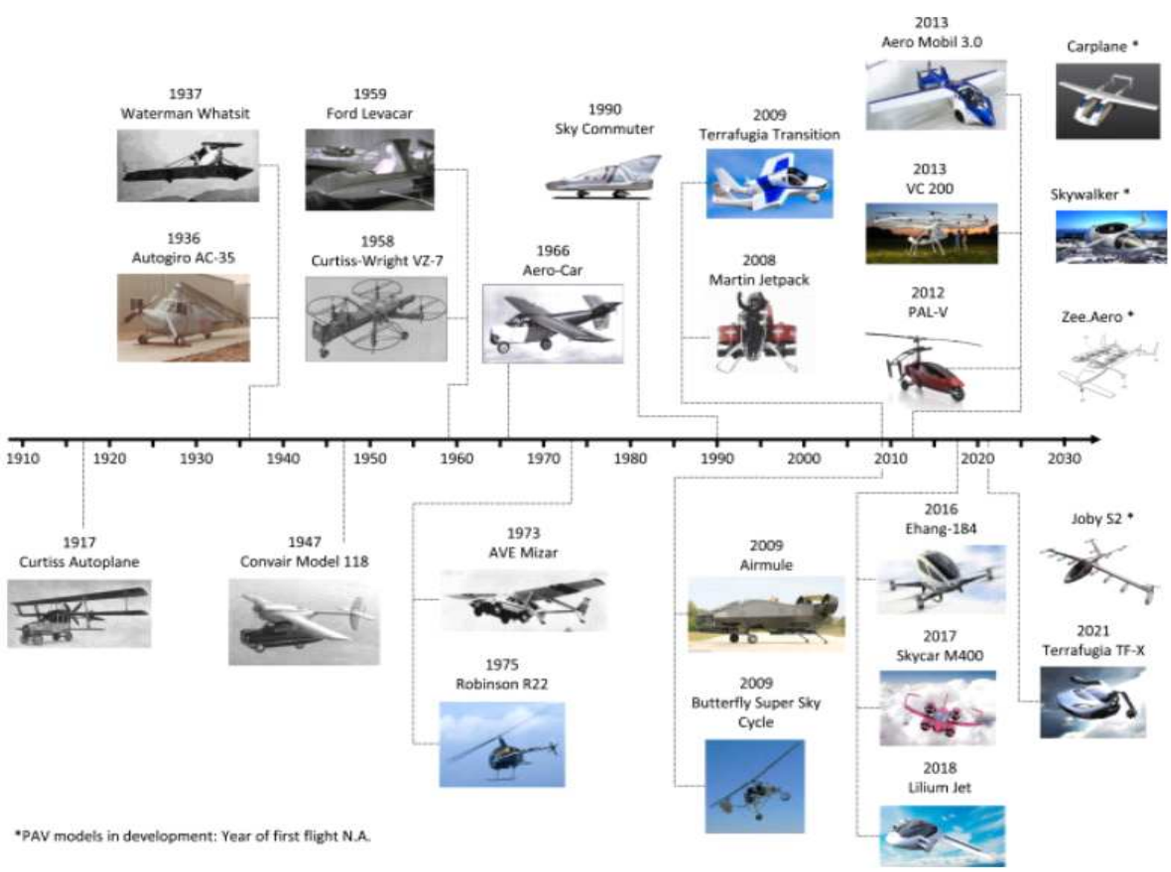
● UAM의 시발점으로 볼 수 있는 개인용항공기(Personal Air Vehicle, PAV)는 도심 내 교통체증을 해소가 목적인 소형항공기 프로젝트로 추진

– PAV는 자동차처럼 자기 집에서 출발하여 원하는 목적지 어디든 갈 수 있는 개인 소유의 비행체로 Point to Point 또는 Door to Door 개념의 비행체

– 항공 분야의 기술 발전으로 90년대부터 개인용 항공기 개발을 위한 다양한 연구가 진행됨

• (美) PAV 관련 연구로는 NASA의 AGATE(Advanced General Aviation Transport Experiments, 1994~2001), GAP(General Aviation Propulsion, 1995~2000), SATS(Small Aviation Transportation System, 2001~2005), PAVE(PAV Exploration, 2001~2004), 또한 DARPA(고등연구계획국, Defense Advanced Research Projects Agency)의 DARTS(Dual Air/Road Transportation) 등을 수행

• (EU) EPATS(European Personal Air Transportation System, 2007~2008), SAFAR(Small Aircraft Avionics Architecture), METROPOLIS (2011~2013), PPLane(2009~2012), MYCOPTER (2011~2014) 등을 수행



출처: Yaolong Liu(2017), 'Overview of recent endeavors on personal aerial vehicles: A focus on the US and Europe led research activities', Progress in Aerospace Sciences Volume 91, May 2017, Pages 53-66

[그림 Ⅰ-4] Historical development of PAV models

● 도심항공교통(UAM)은 PAV와 같은 항공 플랫폼을 활용하여 도심 내에서 사람이나 화물을 운송하기 위한 교통체계를 통칭

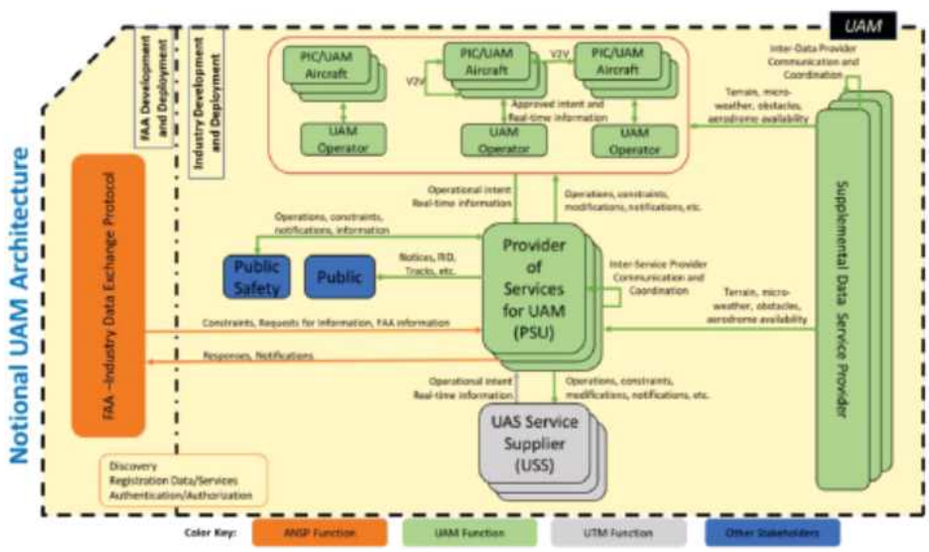
– UAM 운용*을 위해서는 기체뿐만 아니라 UAM 운용자(UAM operator), UAM 비행장(UAM aerodrome/Vertiport), PSU(Provider of Services for UAM), SDSP(Supplement Data Service Provider) 등으로 구성

* UAM 운용은 하나 이상의 UAM 회랑(Corridors)을 통해 승객이나 화물을 운송하는 개념

• FAA는 'UAM Concept of Operations 1.0'을 통해서 도심항공교통의 운용개념 구조도를 제시('20.06)

– '19년 현대자동차는 '국제가전박람회(Consumer Electronics Show, CES) 2020'에서 도로 혼잡을 줄이고, 개인용 친환경 스마트 모빌리티 서비스 제공 및 모빌리티 생태계를 구성할 수 있는 미래 모빌리티 비전을 제시

• 미래 모빌리티 비전은 ①도심 항공 모빌리티, ②목적 기반 모빌리티, ③모빌리티 환승 거점 등 세 가지 구성 요소의 연결성을 제시



출처: FAA(20.06), 'FAA Concept of Operations Summary'

[그림 Ⅰ-5] 도심항공교통 운용개념 구조



출처: Hyundai to present human-centered future mobility vision at CES 2020

[그림 Ⅰ-6] 도심항공교통 비전도

나. UAM 구현을 위한 전략 수립

■ 주요 선진국들은 시장 선점을 목적으로 UAM 구현을 위한 체계적 전략 수립

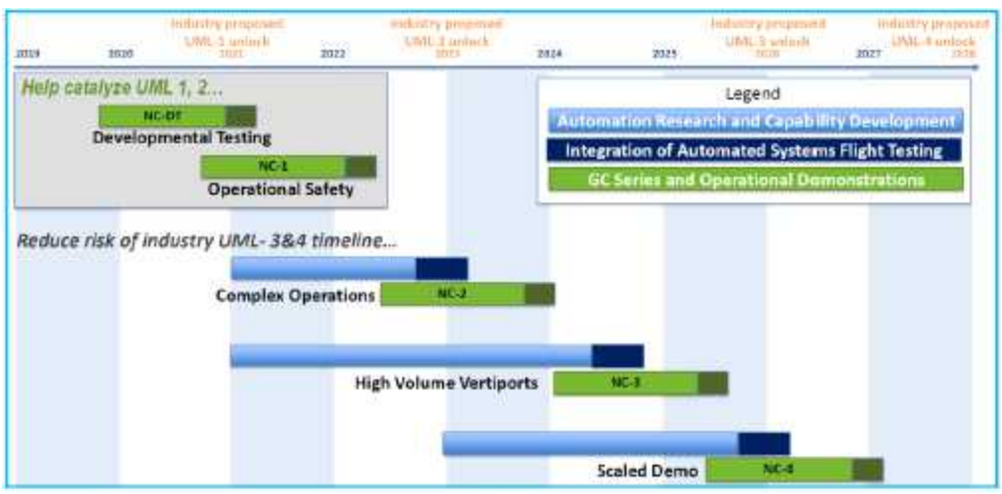
● (美) NASA 및 FAA 주도로 UAM 기술·기반 확보를 주도하고 있으며, UAM에서 화물 운송을 포함한 AAM* 개념을 제시하는 등의 선도적 행보를 보임

* Advanced Air Mobility

– (NASA) UAM 상용화를 위한 운항 절차·기준과 민간기업의 실증을 지원하는 NC(National Campaign) 프로그램을 추진 중이며, 이를 통해 민·관 협력 유도

– (FAA) UAM ConOps v1.0 발간('20.6)을 시작으로 항공교통관리(ATM)-UTM-UATM 간의 운영 절차·원칙 정립 등 세계 각국이 참고할 만한 기준을 마련

• (주요내용) UAM 운영의 주요 원칙 및 가정, UAM 운용 발전 단계, UAM 운용개념, UAM 운용 사례 등



출처: www.nasa.gov/aamnationalcampaign

[그림 Ⅰ-7] NASA Research to enable National Campaigns

● (中) 드론산업 육성정책을 통해 DJI 등을 비롯한 소형드론업체들이 세계시장을 차지하고 있으며, 드론 산업·기술 기반으로 EHang을 드론택시 시범업체로 선정하는 등 상업화에 정부가 집중 지원

– 규모의 경제와 400여 개의 드론 산업의 supply chain 토대로 제조 생태계가 완성되어, UAM 생태계 기반 조성이 이미 마련

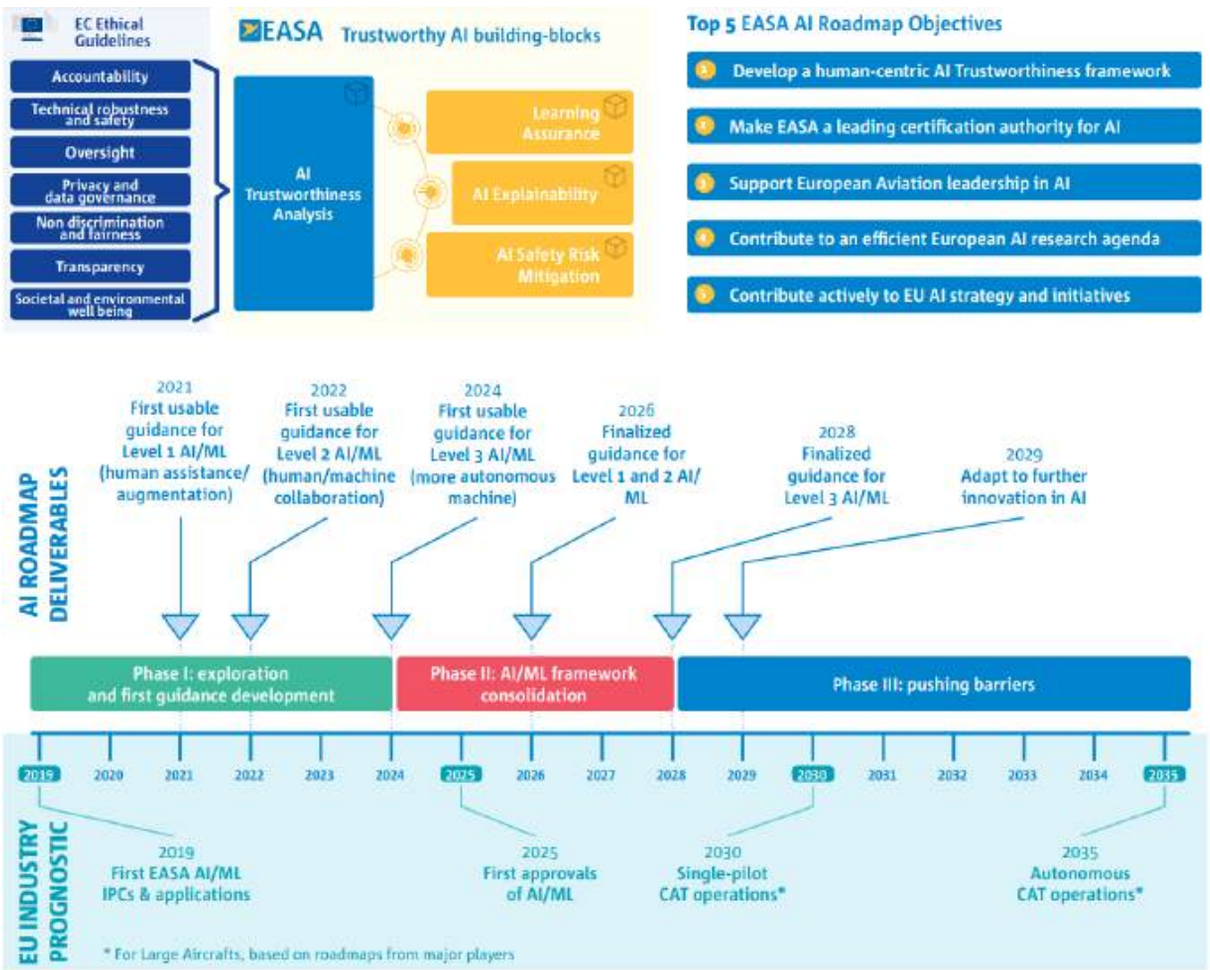
– EHang은 기체 개발·생산뿐 아니라 두바이, 스페인 정부와 협력을 통해 새로운 비즈니스 네트워크를 형성하였으며, 중국 관광플랫폼 기업과 항공모빌리티 관광 프로그램 개발 및 광저우에 UAM 연계 스마트시티 확장 계획 추진




출처: kookbang.dema.mil.kr/newsWeb/20191219/1/BBSMSTR_000000010492/view.do, EHang 홈페이지

[그림 Ⅰ-8] EHang의 광저우 UAM 관제센터(좌) / 광저우 시내 동시비행 데모(19.11.30.)(우)

● (EU) EASA는 'Artificial Intelligence Roadmap 1.0'에서 '35년 무인비행 본격화를 전망하고, 정책적 측면에서 자율비행에 필요한 가이드라인 등에 대한 수립계획 마련('20.02)



출처: EASA Expects Certification of First Artificial Intelligence for Aircraft Systems by 2025

[그림 Ⅰ-9] EASA의 AI Roadmap 1.0

UAM 선도국가 도약 및 도시경쟁력 강화를 위해서 한국형 도심항공교통 로드맵 발표를 시작으로 K-UAM 생태계 구현을 위한 다부처 협력을 진행

● (K-UAM 로드맵) '25년 UAM 상용서비스 시작 및 '30년 본격 상용화를 위해 단계별 목표, 추진전략 등을 포함한 정책로드맵 발표('20.6월)

– (목표) '22~'24년 UAM 비행실증, '25년 상용화 시작, '30년 본격 상용화



출처: 관계부처 합동(20.6), '도심항공교통 로드맵'

[그림 Ⅰ-10] K-UAM 단계별 마일스톤

– (기본방향) ①민간주도 사업으로 정부는 신속히 제도·시험기반 지원, ②기존 안전·운송 제도 틀이 아닌 새로운 제도를 구축, ③글로벌 스탠다드 적용으로 선진업계 진출·성장 유도

– (주요과제) ①안전 확보를 위한 합리적 제도 설정, ②민간역량 확보·강화를 위한 환경 조성, ③대중수용성 확대를 위한 단계적 서비스 실현, ④이용 편의를 위한 인프라·연계 교통 구축, ⑤공정하고 지속 가능한 건전한 산업생태계 조성, ⑥글로벌 스탠다드와 나란히 하는 국제협력 확대

● (K-UAM 그랜드챌린지) 한국형 UAM 운항기준 마련을 위한 민관합동 실증사업으로 22년부터 24년까지 추진 예정

– (추진단계) 준비(0단계, '20년~'21년), 개활지 테스트(1단계, '22~123), 수도권 실증노선 테스트(2단계, '24년) 등 '25년 상용화 목표로 우선 준비

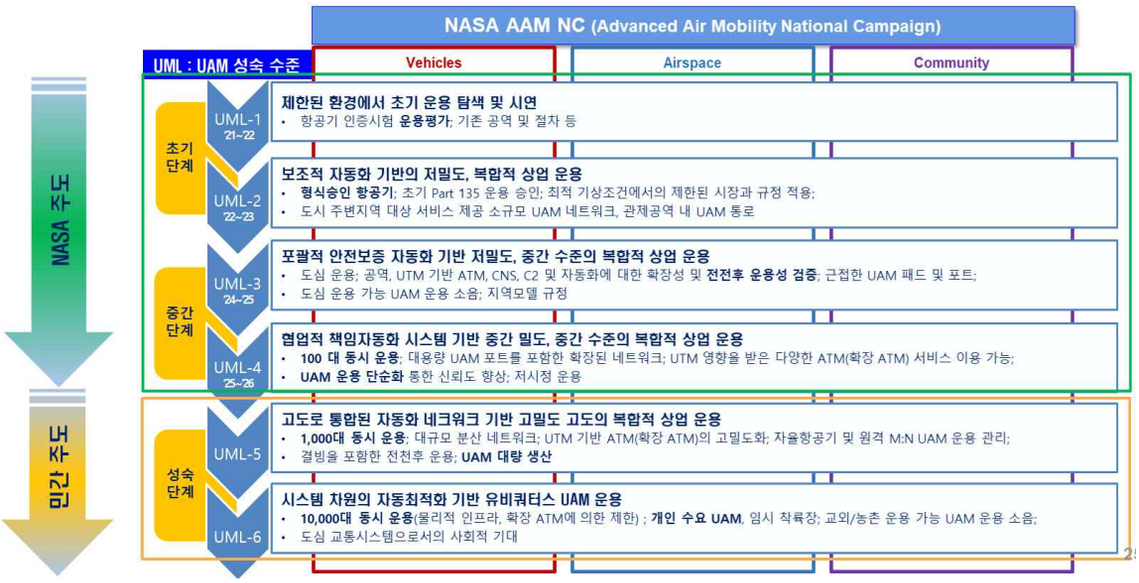
• '21년 하반기에 테스트 항목·방식을 포함한 K-UAM 그랜드챌린지 마스터플랜 발표 예정

* K-UAM그랜드챌린지 설계용역('20.9~'21.9, 항우연)을 통해 세부내용 마련 중

– (검증분야·방식) 비행체, 통신, 인터넷, 감시, 충전, 교통관리체계 등 유기적 시스템의 '정상-비정상-비상상황'별 안전 수준 검증

• 단순비행부터 운항대수, 인프라 결합, 비상상황의 복잡도를 높여가는 단계적 시나리오*를 설계하고 실제 환경에서 테스트

* 고도의 기술적 접근이 필요해 미국도 FAA, NASA 및 산업계 등 100여 명의 전문가가 참여하여 수년간 운영개념 및 실증 테스트 설계



출처: 관계부처 합동(20.6), '도심항공교통 로드맵'

[그림 Ⅰ-11] NASA UAM성숙도(UML, UAM Maturity Level) 단계

● (UAM 시험비행) UAM의 대중 수용성을 증진하기 위해 국토부 주관으로 Ehang社와 협력하여 총 '20년 11월 한 달간 3회 시험비행을 실시

– EHang社의 EHang 216 기체로 서울, 대구, 제주에서 시험 비행을 함으로써 UAM에 대한 대중 이해와 수용성을 증진함



〈20.11.16 대구 시험비행〉 〈20.11.11 한강 시험비행〉 〈20.11.21 서귀포 시험비행〉

[그림 Ⅰ-12] 국내 UAM 시험비행

❖ **UAM은 항공 및 자동차, ICT 등 관련 신기술의 발전으로 도심 내 교통혼잡을 해결하는 수단으로 급성장. 이에 주요 선진국들은 차세대 교통수단 구현을 위해 신시장·기술 선점 및 대응 차원에서 구체적이고 체계적인 실행 전략을 수립**

2. 기술로드맵 수립의 필요성

가. 기술로드맵 수립 의의

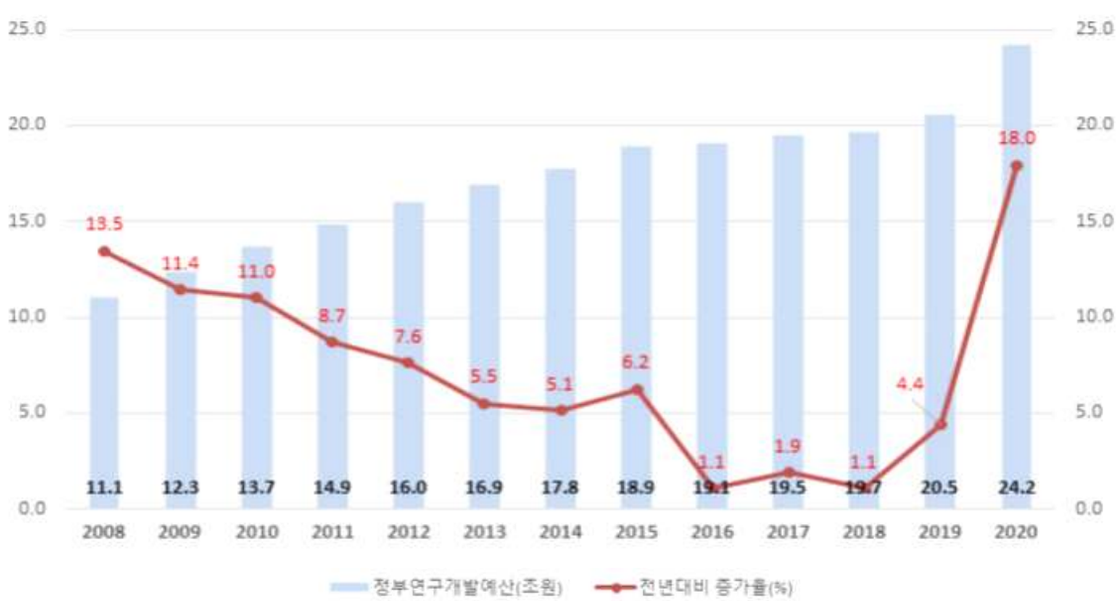
■ 국가R&D사업 추진 및 성과제고를 위한 효율적 R&D 투자 전략 수립

● 국가R&D사업 예산 규모의 지속적인 확대에 비해 상대적으로 R&D 성과 부족에 대한 지적은 지속적으로 제기

– 국가R&D사업의 예산 규모는 ’18년 11조원에서 ’20년 24조원으로 연평균 6.7%의 증가율을 보이며 지속적으로 증가해왔음

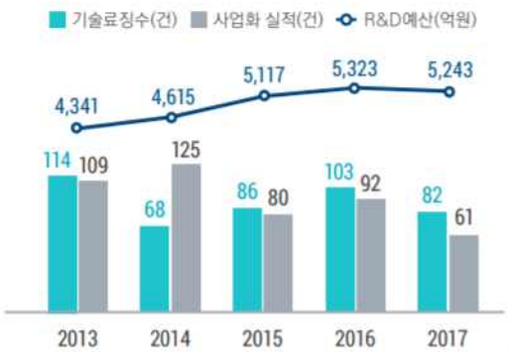
– R&D 예산 증가 대비 R&D성과 미흡 및 투자의 전략성 부족 등에 대한 우려가 지속

- (소재·부품 R&D사업) ’01년 이후 소재부품 R&D사업에 5.4조 원을 투입하였으나 동일 문제 반복
- (국방R&D 성과) 국방연구개발예산은 증가에도 불구하고 부품국산화율은 60% 수준에서 정체
- (보건의료 R&D 성과) 보건복지부의 R&D 예산 증가 대비 기술료 징수 건수 및 사업화 실적 감소 추세
- (중소기업 R&D 성과) 중소기업 대상 R&D 지원 확대는 지속되었으나, 자체 R&D 투자비중 및 연구인력 등은 감소하고 있으며, 기술경쟁력 또한 정체

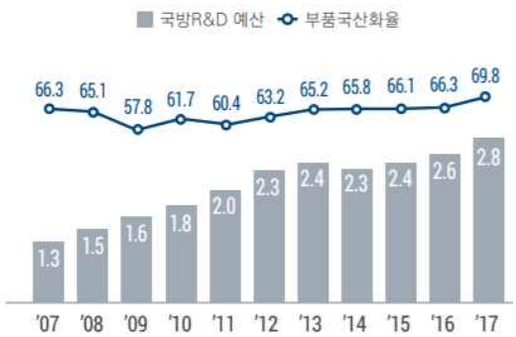


출처: 과학기술정보통신부

[그림 Ⅰ-13] 국가R&D사업 예산 추이



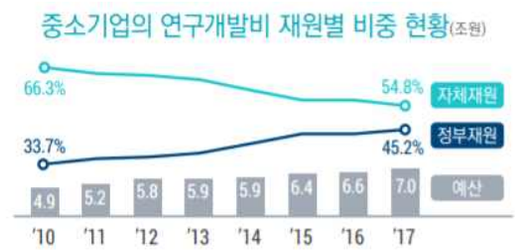
〈보건복지부 R&D 예산 및 성과 추이〉



〈국방 R&D성과〉



〈소재·부품 R&D사업의 반복 지적 문제점〉



중소기업의 연구개발인력 및 기술경쟁력 현황(%)

	2012	2017
연구인력 비중	14.5	12.1
기업부설연구소 보유비율	56.5	30.0
세계최고 대비 기술경쟁력	77.4	77.3

〈중소기업 연구개발비 대비 자체재원, 연구인력, 기술경쟁력 비교〉

출처: 국회예산정책처, '국가연구개발사업 분석', NABO브리핑 2019.10.22.. 제69 호

[그림 Ⅰ-14] 국가R&D사업 성과 예시

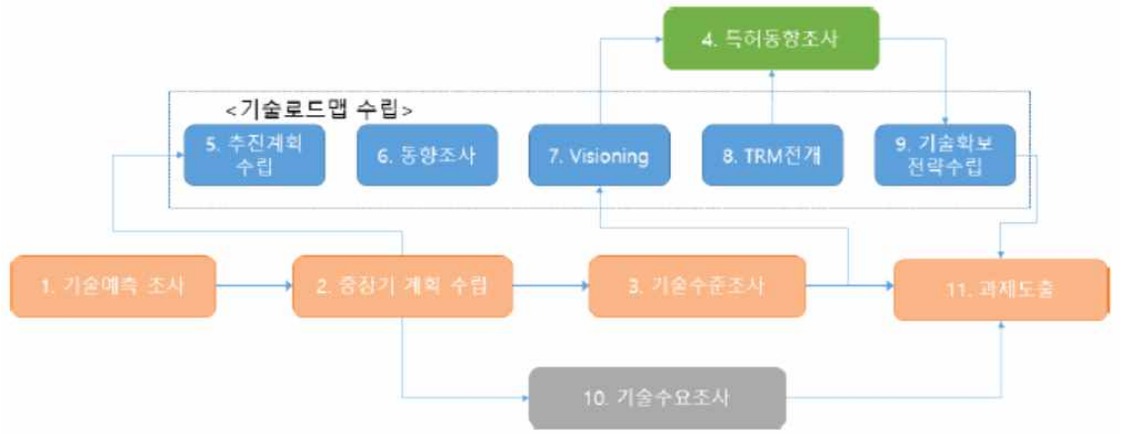
● 국가R&D사업의 성과 및 효율성을 증대를 목적으로 미래수요를 충족시키기 위해 개발이 필요한 기술 등을 제시하는 기술로드맵 수립을 선행

– 기술로드맵*은 해당 분야의 미래 유망기술을 효율적으로 확보하기 위해 기술개발의 단계별 목표 및 획득 전략 등의 전략 방향을 제시하는 기술개발 계획임

*「과학기술기본법 시행령」 제3조의3에서는 기술로드맵을 '기술지도(Technology Road Map, TRM)'로 정의함

• 기술로드맵에서는 미래 유망기술별 수요 및 시장 전망, 개발 동향 및 전망, 관련 지식재산 동향 및 전망, 미래 유망기술별 목표, 실현 시기 및 확보 전략, 그 밖에 기술개발과 관련된 사항 등이 포함(「과학기술기본법 시행령」제3조의 3)

– 기술로드맵은 국가R&D사업을 위한 중장기 R&D투자의 대상 분야 및 기술을 설정하는 데 활용되며, R&D 과제기획 단계에서도 과제기획 대상 기술 발굴에 활용됨



출처: 국회예산정책처

[그림 Ⅰ-15] 기술로드맵과 R&D과제기획 연계 체계

● 정부는 기술 전략 제시, 성과제고 등을 위해 R&D 투자전략(로드맵) 수립을 추진했으며, 미래 유망분야인 UAM도 국가R&D 추진을 위해 기술로드맵 필요

– (산업부) 총 3,300억 원 규모로 100대 핵심품목 기술개발을 지원하는 소재·부품·장비 기술개발사업을 위해 '17년 소재·부품 R&D전략(로드맵)을 수립

• '소재·부품발전 기본계획'에 따라 소재·부품기술개발사업의 Top-Down 전략에 활용하기 위해 100대 첨단 新소재·부품 핵심기술테마를 구체화함

• '25년까지 4차 산업혁명 대응과 주력산업 고도화를 뒷받침하기 위한 100대 첨단 新소재·부품 기술테마 등에 대한 실행계획(로드맵)을 마련

– (중기부) '10년부터 대기업 대비 R&D역량이 부족한 중소기업 기술역량 강화를 목적으로 유망기술 및 미래 먹거리를 발굴하고, 전략적 미래기술개발을 위한 가이드라인을 제시하는 중소기업 기술로드맵을 기획

• 정부의 중소기업 육성정책과 기술의 미래성장 방향성을 고려하여 중소기업 가치사슬 분석 및 수요조사 등을 통해 3년 이내 기간에 대한 상용화 기술로드맵을 도출

• '21~'23년 중소기업의 미래유망 기술개발을 위한 30개 분야, 197개 전략제품을 발굴

– (과기부) 무인이동체 원천기술을 확보 및 4차 산업혁명을 견인할 고부가가치 신산업으로 육성하기 위한 '무인이동체 기술로드맵' 마련

• 체계적인 원천기술 확보를 위해 육·해·공 무인이동체에 필요한 6대* 공통핵심기능 기술 및 5대** 용도별 플랫폼을 도출

* 탐지·인식, 통신, 자율지능, 동력원·이동, 인간-이동체 인터페이스, 시스템 통합

** 극한환경형, 근린생활형, 전문작업형, 자율협력형, 융·복합형

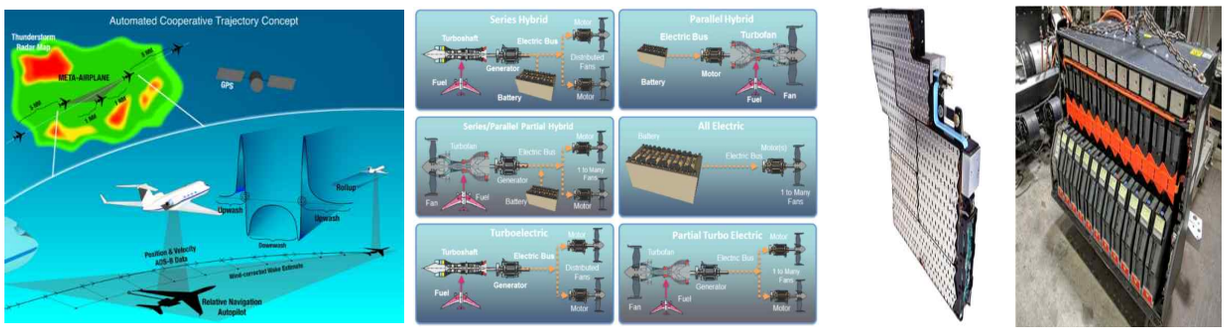
부처별 R&D사업 간 협력 및 연계 강화를 위해 범부처 기술로드맵 마련

● UAM은 기체·부품 제작, 항법·정보·통신 장비, 건축·건설 등 인프라, 운송·MRO·플랫폼 등 서비스 등 다양한 분야가 유기적으로 조화되어야 실현이 가능

– 기체부품 제작의 경우 소재·배터리·인공지능·빅데이터 등의 첨단기술을 활용하고 있으며, 항공분야 특성상 높은 안전도* 달성을 위해 높은 수준의 기술이 필요

* (사고 1건 발생 운행거리) 항공 200억km, 철도 16억km(항공 12배), 자동차 3억km(항공 62배)

〈자율비행〉 〈친환경 추진동력〉 〈고성능 배터리〉



자율비행 개념도 하이브리드 전기추진시스템 (NASA) Roadster Battery Pack(테슬라社)

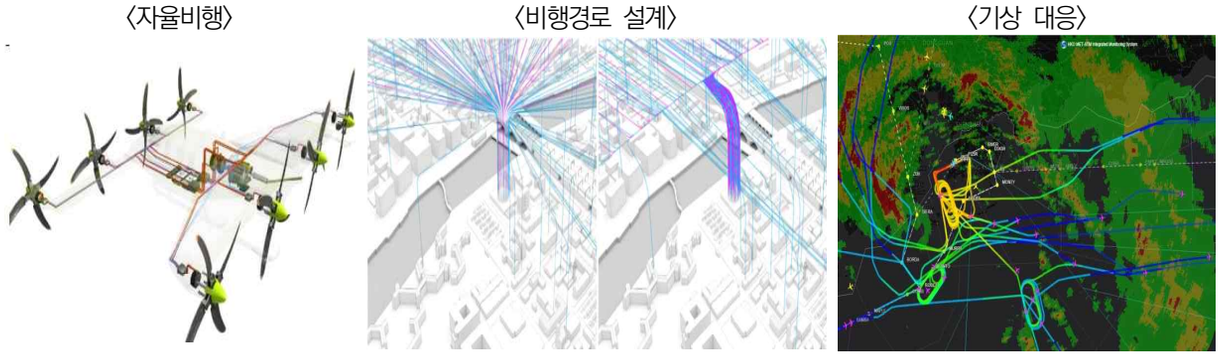
[그림 Ⅰ-16] UAM 기체·부품 제작에 활용되는 다양한 첨단기술 예시

– 운송서비스 제공을 위해 새로운 교통관리체계 및 통신체계 구축, 비행경로 설계, 도심 운항을 위한 저소음 기술 등이 개발·활용

– UAM 구현을 위해서는 핵심기술에 대한 획득뿐 아니라 해당 기술에 대한 시험평가 및 인증체계, UAM 관련 인력·제도 신설 등 해당 범위가 넓음

• 인증체계 및 인력 등은 국토부 담당, 기체·부품 제작 및 산업 육성은 산업부/중기부, 자율주행 및 시스템 자동화 등은 과기부 등에서 역할을 담당

〈자율비행〉 〈비행경로 설계〉 〈기상 대응〉



분산전기추진 시스템(NASA) UAM Corridor 설계 방식(ORTNER & HUANG) 항공용 실시간 기상정보 시스템

[그림 Ⅰ-17] UAM 운용을위한 활용기술 예시

● '30년 상용화 시점에 맞춰 한국형 도심항공교통 구현·운용을 위해 부처 간 시너지 극대화 및 기술개발을 위해 UAM 통합 핵심기술 확보 전략을 수립

– UAM 상용화 실현을 위한 기체개발·제작 기술, 항행·교통관리 및 CNSi 기술, 이착륙장 등의 인프라 구축·운용 기술 등 부처별 고유 업무와 관련된 기술을 통합 발굴

- (국토부) UAM 신기술 부문 기체·부품 인증체계, MRO, 운송·운용·운항기술, 교통관리 체계 중심
- (과기부) 자율비행 및 소음 등 미래 소요기술, 사회적 수용성 관련 핵심 원천기술
- (산업부) UAM 기체 및 부품 제작·생산 중심 기술
- (중기부) 중소기업 육성 기반 UAM 부품 및 시스템 등의 제작·생산 관련 기술
- (기상청) UAM 운용을 위한 도심 기상 관측, 분석·예측 등의 기상 관련 기술



[그림 Ⅰ-18] 부처별 관련 기술

– K-UAM 로드맵('20.6월) 후속조치로 산·학·연·관 협의체인 UAM Team Korea를 출범하고, 기술로드맵을 포함 다부처 R&D사업 추진을 위한 정부 주도의 추진체계 마련

- (목적) K-UAM 로드맵의 공동 이행, 신규과제의 발굴 및 주요시장·기술 동향을 등을 논의하는 산·학·연·관 정책공동체로 출범
- (역할) 국토부가 UAM 추진현황을 총괄 관리하고, 이해관계 조정 및 법령 제·개정과 예산사업을 추진, 참여기관은 K-UAM 로드맵에서 의결된 기관·업체로 UAM 관련 추진상황 및 토의사항 공유, 기관·업체별 역할에 따라 소관과제 이행 등을 담당. 간사는 회의 별 상정 안건 마련 및 협의체 운영현황 관리 등을 수행

나. UAM 기술선도·경쟁력 강화를 위한 기술분야 전략 수립

■ 주요 선진국과의 경쟁을 위해 핵심기술 확보 방안 등의 체계적인 준비

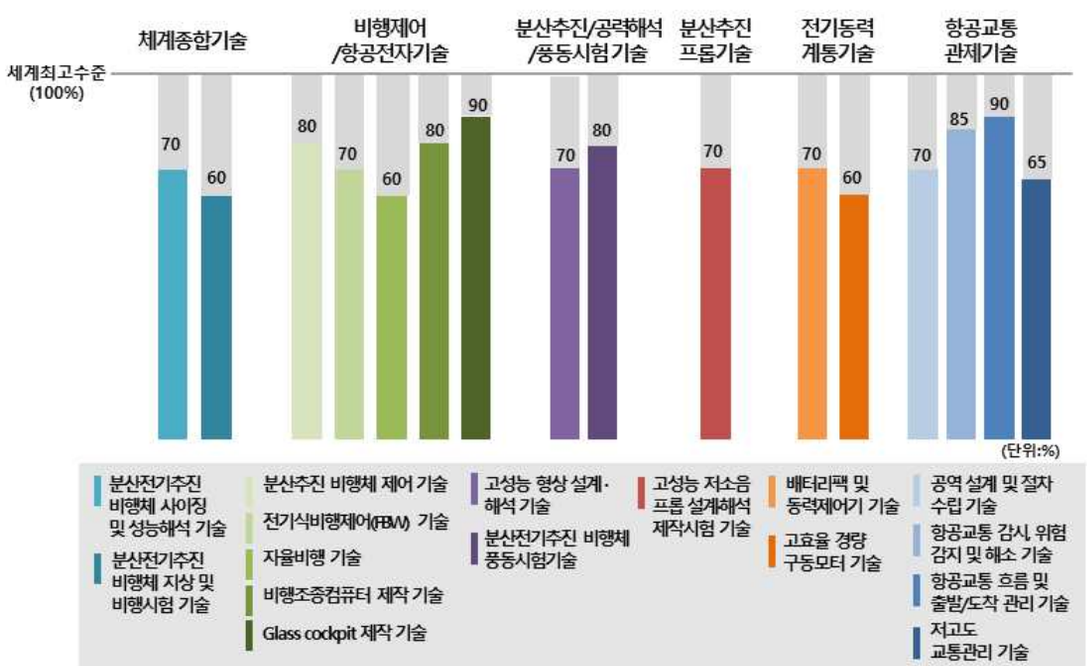
● 드론, 전기동력, 자율주행, ICT 등 UAM 관련 기술발전과 서비스 공급자 출현으로 전 세계적으로 UAM 분야에 대한 개발 열풍이 증가하는 추세

– UAM분야는 우리나라가 강점을 가지고 있는 자동차나 ICT와도 연계성이 크기 때문에 기술경쟁력 및 인프라 구축을 위한 발전 잠재력이 충분

• 현대자동차 및 한화시스템은 해외 기업과 기체개발을 추진 중이며, 한국공항공사, 인천국제공항공사 등과 UAM 착륙장 등 인프라 구축을 위한 협력이 진행 중임

– UAM의 기체·부품 제조분야는 완제기 체계개발 경험과 중대형 무인기 개발을 통해 e VTOL 항공기의 요소기술은 기확보한 상태

• 틸트로터 고속 수직이착륙 기술, 유·무인 혼용기 개조·운용기술, 전기분산 추진 QTP (Quad -Tilt Prop) 기술 등 요소기술 기확보



출처: 국토부(2018), '새로운 비행장치 상용화 대비 운영체계 연구'

[그림 Ⅰ-19] UAM 관련 기술수준

● 국내 소수 대기업을 제외한 대부분의 산·학·연들은 UAM분야 관련 기술개발을 위한 선제적 투자 및 준비가 미흡한 상황에서 구체적인 실행계획 수립

– 국내 UAM 생태계 조성을 위해 다부처가 참여하는 'K-UAM 로드맵'을 발표하였으며, 후속 조치 사항 중 하나로 국가R&D사업을 위한 구체적인 기술 획득전략을 수립

- 미국은 정부 주도로(FAA, USAF, NASA 등) 민·관 공동으로 UAM 시장 주도권 확보를 위해 운항 절차·기준 수립 및 실증 등의 프로젝트 진행
- EU는 유럽 감항당국, 산업표준기구가 공동으로 UAM 시장 선점을 위한 인증·표준 기준 준비 중

– 세계 각국 및 기업들은 코로나19 사태 이후 침체된 항공시장을 회복하기 위해 UAM 분야 경쟁력 확보에 집중이 예상되어, 선진국과 경쟁할 수 있는 토대 마련

- 세계 각국은 UAM분야와 연계 가능한 드론분야에서 고기능·중대형 드론을 경쟁적으로 개발 중이며, UAM과 같이 전기 구동방식의 하이브리드 추진시스템 개발도 진행 중임
- '17년 eVTOL 기체 개발을 추진하는 업체가 12개였으나, '20년 들어 약 200여개의 업체가 260개 가량의 다양한 기체개발을 추진 중임(하이투자증권)



출처: Transportup.com

[그림 Ⅰ-20] UAM분야 eVTOL 기체 현황

K-UAM 구현을 위한 맞춤형(상용화) 추진 전략 마련

● 국가R&D를 통해 시급히 확보해야하는 미래기술을 실현 가능성을 바탕으로 수요 및 운용타당성 기반의 기술로드맵 수립

– 일반적으로 기술로드맵은 국가R&D사업과 산업계와의 연계를 통해 기술 및 시장환경을 충분히 반영할 수 있는 기술수요조사를 기반으로 수립

• 기술수요조사는 로드맵 수립 단계에서 소수의 전문가 중심의 기획으로 인한 폐쇄성을 탈피하기 위한 개방형 방식임

– K-UAM 상용화에 필요한 핵심기술을 발굴하기 위해 OBUAM의 수요 기반 방법론을 참고로 운영수익성 확보를 위한 핵심기술 및 기술별 목표수준을 도출

• OBUAM 프로젝트(獨)에서는 바이에른 주 내 UAM 운용 네트워크 및 수요예측을 통해 UAM 운임 및 운용주체별 비용 등을 산출·분석하여 운영타당성을 검토

		Costs/flight
Staff		15.02 €
Vehicle	Maintenance	12.30 €
	Repair	11.36 €
	Battery	1.65 €
	Depreciation	33.86 €
Vertiport	Landing costs	95.00 €
	Fixed rate	20.00 €
ATM	Base rate	7.46 €
	Route tariff	3.42 €
Energy		6.48 €
Taxes/duties	Air traffic taxe	16.00 €
	Safety/environmental taxe	10.00 €
	Fixed rates	30.00 €
	Insurance	1.19 €
Costs		263.74 €

Scenario	A	B	C	D	E
Network	Low density	Low density	Medium density	Medium density	High density
Speed [km/h]	50	80	100	150	300
Base price [€/trip]	10	10	5	5	0
Km price [€/km]	5	2	2	1	1
Fleet size [veh/station]	10	50	50	50	100
Process times (preflight+ postflight) [min]	30	20	20	10	10
Seat capacity [PAX/veh]	2	2	2	4	4
Mode share [% of trips]	0.03%	0.22%	0.62%	0.96%	1.29%
Mode share [% of km]	0.05%	0.36%	0.93%	1.13%	1.60%

출처: bayerisches staatsministerium fur wirtschaft, landesentwicklung und energie(2019), 'OBUAM Final Project Review'

[그림 Ⅰ-21] OBUAM 프로젝트의 운영수익성 분석 주요 결과

● '30년 상용화를 위한 K-UAM 기술은 산·학·연 전문가로 구성된 실무작업단 운영 및 이해관계자 대상 기술조사를 통해 발굴

– 효율적인 기술개발 전략 수립을 위해 실무작업단에서 수요 기반 미래시나리오와 연계한 핵심기술을 심도 깊은 논의를 통해 1차적으로 발굴

– 소수 전문가 중심의 기획시 발생되는 문제점을 보완하고자 K-UAM 미래시나리오 및 기술구성도(tech tree) 제시한 이해관계자 대상 기술조사 진행

❖ '30년 상용화 목표 달성을 위한 한국형 도심항공교통 수요 기반의 UAM 기술 도출 및 획득전략 마련
- UAM 기술 선도 및 경쟁력 강화를 위한 통합 기술개발 프로젝트 추진에 필요한 기술개발 전략 확보

제2절 기술로드맵 수립 범위 및 추진경과

1. 기술로드맵의 수립 범위

■ (기술로드맵 범위) UAM분야에 대한 미래먹거리 육성 및 연관산업의 기술경쟁력 제고을 위한 기술 발굴

● 수립 주체

– (주관) 도심항공교통(UAM) 관계부처인 국토교통부, 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 중소벤처기업부, 기상청 등

– (참여) 관계부처 산하 UAM분야 사업기획·관리·평가를 주관하는 국토교통과학기술진흥원, 한국연구재단, 한국산업기술평가관리원(한국항공우주기술연구조합), 중소기업기술정보진흥원, 한국기상산업기술원 및 UAM 관련 기업체, 연구기관, 대학, 도심항공교통 민관협의체(UAM Team Korea) 등

● 계획 기간

– (목표 시점) ’30년경 개발기술 상용화를 주요 목표시점으로 설정

– (계획 기간) ’22년~’35년까지 총 14년

• 10년 이상 장기 프로젝트로 추진이 가능한 분야

● 대상 범위

– (시장 범위) 제작(기체·부품), 인프라(항행설비·전력·교통관리·터미널), 서비스(운송·기상·통신) 등 全 생애주기와 인력·제도 등도 포함

– (산업분야 범위) 산업생태계 상 기술공유가 가능한 미래차·수소·ICT 등 타 분야와 관련 기술을 제외하고 UAM분야만으로 범위를 설정

– (기술단계 범위) 중장기 개발이 필요한 기초·원천기술부터 현재 기술의 고도화로 신속한 상용화가 가능한 상용화 기술까지 포함

• 기술성숙도(Technology Readiness Level, TRL) : 3~9단계 모두 포함

● (산출물) 한국형 도심항공교통 실현을 위한 미래시나리오 및 기술 발굴

– 다부처 통합 기술개발사업 및 단기·소액과제 추진을 위한 분야 등을 도출

● (활용방안) 국가R&D사업을 위한 UAM 기술 획득방안

– 시장 수요·운용수익성을 고려한 기술을 발굴하여 기술개발 방향 설정 및 중복투자 방지

〈표 Ⅰ-2〉 한국형 핵심기술로드맵의 수립 범위

구분	내용
수립 목적	UAM분야 육성 및 기술경쟁력 강화를 위한 기술 발굴
수립 주체	국토교통부(주관), 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 중소벤처기업부, 기상청
계획기간	(목표시점) '30년 개발기술 상용화 (계획기간) '22년~'35년 (총 14년)
대상 범위	(시장범위) 기체·부품 제작, 인프라, 서비스 등 (인력·제도 등도 포함) (산업분야) UAM분야만으로 한정(UAM 생태계) (기술단계) 중장기 개발이 필요한 기초·원천기술부터 상용화 기술까지(TRL 3~9단계)
참여자	- 유관부처 산하 UAM분야 사업을 주관하는 국토교통과학기술진흥원, 한국연구재단, 한국산업기술평가관리원(한국항공우주기술연구조합), 중소기업기술정보진흥원, 한국기상산업기술원 - UAM Team Koera(도심항공교통 민관협의체) - 국내 UAM분야 기업체, 연구기관, 대학 등
산출물	한국형 도심항공교통(K-UAM) 실현을 위한 기술 발굴
활용 방안	국내 UAM분야 정부 R&D 추진 근거 및 민간의 R&D 추진방향

[참고] 한국형 도심항공교통(K-UAM) 로드맵과 기술로드맵과의 차별성

○ (개요) K-UAM 로드맵('20.6.4)은 '25년 최초 상용화를 주요목표로 제도 마련, 시험·실증 지원 및 단계적 서비스·인프라 구축방향 중심으로 구성(정책로드맵)

- K-UAM 기술로드맵은 K-UAM 로드맵 상 본격 상용화부터 시장이 확대되는 시점인 '30년 이후 시장진입 기술을 목표로 기술적 과제를 중심으로 구성

[양 로드맵 간 기간·범위 등 비교]

구분	K-UAM로드맵('20.6)	K-UAM기술로드맵('21.3)
계획기간	5개년+('20~'25+)	10개년↑('22~'35)
대상범위	'개발·인증-활용-발전' 등 全 생애주기 대상	
주요과제	제도적·사회적 과제	기술적 과제

(추진체계) 총괄위원회, 관리그룹(PMO, Project Managing Officer) 및 7개 실무작업단(WG, Working Group) 등으로 구성·운영

● (부처) 국토교통부(주관), 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 중소벤처기업부, 기상청

– (총괄위원회) UAM 분야 외부전문가로 구성

– (PMO) 국토교통과학기술진흥원(총괄), 한국연구재단, 전략컨설팅집현(주)(공동연구기관)으로 구성

– (실무작업단/WG 분과위) UAM Team Korea 37개 참여기관 대표 실무진과 산학연 주요 외부전문가 등 총 65여명의 전문가들로 구성·운영



[그림 Ⅰ-22] K-UAM 기술로드맵 수립을 위한 추진체계

〈표 Ⅰ-3〉 K-UAM 기술로드맵의 추진체계별 주요 역할 및 구성

위원회	역할	구성
총괄 위원회	- K-UAM 로드맵과 정합성 검토 - 관련 자료 및 최신동향 등 지원 - 분과별 조정 필요사항 결정	- (총괄위원장) 국토부 미래드론교통담당관 - 각 부처 담당사무관(국토부/과기부/산업부/중기부/기상청) 및 UAM 관련 외부 전문가 (한국항공우주연구원, 항공안전기술원 등)
관리그룹 (PMO)	- 과제 진도 및 총괄 관리 - 분과간 소통 지원 및 조정 필요사항 도출	- 국토교통과학기술진흥원(총괄)+한국연구재단 - 국토부/과기부 공동연구(용역)기관 (전략컨설팅집현(주))
실무작업단 WG 분과위	- 세부사업별 기술 및 분야에 대한 그룹핑 및 실질적 상세설계 담당	- UAM 팀코리아 37개 기관별 대표 실무자 및 산학연 외부 전문가 등

■ (위원회 구성) 총괄위원회 8명, 관리그룹 5명, 실무작업단(WG, Working Group) 65명 등 산·학·연·관으로 전문가로 구성

〈표 Ⅰ-4〉 K-UAM 기술로드맵의 총괄·분과위원회 명단

구분	기관명	직위	이름	전문분야	비고	근무경력
관계부처 (총괄 위원회)	국토교통부	과장	나진항	-	위원장	-
	국토교통부	사무관	서정석	-	주관담당	-
	국토교통부	사무관	박유준	-		-
	과학기술정보통신부	사무관	이경훈	-	-	-
	산업통상자원부	사무관	임성균	-	-	-
관리그룹 PMO	국토교통과학기술진흥원	수석	김민기	-	총괄담당	-
	국토교통과학기술진흥원	PD	최미진	-	-	-
	한국연구재단	단장	강경인	-	-	-
	한국연구재단	부연구위원	조성호	-	-	-
	전략컨설팅집현(주)	대표	양현모	-	공동연구	-
	전략컨설팅집현(주)	팀장	오병철	-	-	-

구분	기관명	직위	이름	전문분야	비고	근무경력
총괄 위원회	한국항공우주연구원	책임	정기훈	-	-	-
	한국항공우주연구원	단장	강왕구	-	-	-
	한국항공우주연구원	실장	홍단비	-	-	-
	항공안전기술원	센터장	전승목	-	-	-
시장 WG	한국교통연구원	수석	김명현	공항수요예측	분과장	10년 이상 15년 미만
	한국교통연구원	전문연구원	박성용	대중교통체계	간사	10년 이상 15년 미만
	현대자동차	책임	윤정태	기체개발		10년 이상 15년 미만
	한화시스템	팀장	전정규	UAM 기체/부품		10년 이상 15년 미만
	SK텔레콤	팀장	민복기	통신		10년 이상
	서울연구원	부연구위원	홍상연	도시계획		10년 이상
	한국과학기술원	교수	윤윤진	경제성분석		15년이상
기체/ 부품 WG	서울대학교	교수	이관중	동체	분과장	15년이상
	한국항공우주연구원	선임	김민우	기체/부품	간사	5년이상
	한국항공우주연구원	책임	박일경	항공구조		15년이상
	생산기술연구원	센터장	손 용	기체 경량화를 위한 3D프린팅 제조기술		6년이상
	항공안전기술원	선임	박윤진	항공기(비행성능) 인증'		10년이상
	현대자동차	책임	황경정	항공기 인증/시험평가		10년이상
	한화시스템	부장	염철중	항공기 인증		30년이상
	대한항공	팀장	박종성	시험평가, 감항인증		27년이상
	두산모빌리티이노베이션	부장	김지영	수소연료전지, 동력에너지 계통		10년이상
	한국자동차연구원	본부장	노기한	전기동력 시스템 및 제어 구동모터, 인버터, 배터리, 수소연료전지		24년이상
	한국전자통신연구원	책임	김희욱	항공전자/제어		15년이상
	성균관대	교수	정상용	항공전자		15년이상
항행/ 교통관리 WG	항공안전기술원	선임	김송주	공역설계	분과장	10년이상
	한국항공우주연구원	책임	오경륜	CNSi	간사	15년이상
	한국공항공사	과장	유금식	공역설계 및 CNSi		15년이상
	한국항공우주연구원	선임	은연주	PSU		10이상 15년미만
	현대자동차	책임	김호준	항공교통, 자율비행		10년이상
	한화시스템	팀장	길현주	CNSi		15년이상
	한국항공대학교	교수	김상현	운항규칙 및 절차		15년이상
	한서대학교	교수	김도현	공역, 항공교통, 공항시설		7년이상
	건국대학교	선임	이영재	성능기반 항로설정		7년이상
	인천국제공항공사	과장	신종훈	항공설계		7년이상
	한국전자통신연구원	단장	안재영	CNSi		17년이상
	한국항공우주연구원	책임	배중원	항법/교통관리		30년이상

구분	기관명	직위	이름	전문분야	비고	근무경력
인프라 WG	인천국제공항공사	팀장	서양환	UAM TF	공동 분과장	15년이상
	한국공항공사	부장	정민철	한국공항공사 UAM TF	공동 분과장	15년이상
	한국항공우주연구원	책임	전용민	항공기 동력장치	간사	20년이상
	항공안전기술원	팀장	김요식	보안검색인증		14년이상
	현대자동차	책임	이병용	기체 정보. 통신		10년이상
	한화시스템	차장	박정환	공항/버티포트 ICT		20년이상
	한국건설기술연구원	수석	장진환	버티포트 설계		21년이상
	인천국제공항공사	팀장	이영중	항공보안검색		25년이상
	한국공항공사	차장	윤기동	보안검색		15년이상
	한국토지주택공사	차장	김영인	버티포트 구축방안 및 지역		17년이상
	한서대학교	교수	소대섭	항공보안, 보안검색, 대테러		30년이상
서비스 WG	한국항공우주연구원	책임	이장호	항공기/무인기 운용	간사	19년이상
	현대자동차	책임	신상윤	MRO		15년이상
	한화시스템	부장	김성욱	Security 등		10년이상
	SK텔레콤	부장	이석건	상용 통신(LTE, 5G)		13년이상
	한국국토정보공사	대리	고광훈	공간정보		5년이상
	한국교통안전공단	차장	김진욱	자격제도		10년이상
	한국과학기술원	교수	이상봉	기상		15년이상
	에어로케이항공	팀장	윤선범	운항기술, 정비, MRO		20년이상
	항공안전기술원	팀장	한정호	정비(MRO), 인프라(시설/장비)분야		20년이상
핵심 기술 WG	인하대학교	교수	최기영	무인기 체계/제어/시뮬레이션	분과장	20년이상
	한국항공우주연구원	팀장	황인성	구조	간사	10년 이상 15년 미만
	한국항공우주연구원	책임	정용운	동력원		10년 이상
	한국항공우주연구원	선임	위성용	소음		15년 이상
	한국전자통신연구원	실장	박경환	장애물 탐지 및 회피를 위한 레이다-레이다시스템, System on Chip		15년 이상
	한국전자통신연구원	실장	차지훈	자율비행		15년 이상
	현대자동차	책임	김호준	항공기계전자		4년이상
	대한항공 항공기술연구원	부장	김홍대	항공기계전자		10년 이상 15년 미만
	세종대학교	교수	박병운	항공전자(항법)		14년이상
	항공안전기술원	센터장	김장환			10년 이상 15년 미만
운용 수익성	전략컨설팅집현(주)	이사	박해련	경제성분석	분과장	14년이상
	전략컨설팅집현(주)	팀장	오병철	경제성분석	간사	10년이상
	한국항공우주연구원	선임	장병욱			10년이상
파급/연계	중소기업기술정보진흥원	실장	이훈배	중소기업 등 육성전략		10년이상

[참고] K-UAM 기술로드맵 실무작업단(WG) 구성 현황

❍ 실무작업단(WG)은 산업계 43%(28명), 학계 15%(10명), 연구소 42%(27명) 등으로 분포하며, 평균 15년 이상의 근무경력을 보유한 전문가로 구성

〈K-UAM 기술로드맵 실무작업단 구성 현황〉

업계	구분	기관명	직위	전문분야	근무경력
산업계 (43%)	시장	현대자동차	책임	사업전략,시장전망,경제성 분석	10년 이상 15년 미만
		한화시스템	팀장	UAM	10년이상
		SK텔레콤	팀장	통신	10년이상
	기체/부품	현대자동차	책임	항공기 인증/시험평가	10년이상
		한화시스템	부장	헬기조종사, 헬기개발	30년이상
		대한항공	팀장	시험평가, 감항인증	27년이상
		두산모빌리티이노베이션	부장	수소연료전지, 동력에너지 계통	13년이상
	항행/ 교통관리	한국공항공사	과장	공역설계 및 CNSi	15년이상
		현대자동차	책임	CNSi	10년이상
		한화시스템	팀장	CNSi	15년이상
	인프라	인천국제공항공사	팀장	항공보안검색	20년이상
		한국공항공사	부장	한국공항공사 UAM TF	15년이상
		현대자동차	책임	기체 정보. 통신	15년이상
		한화시스템	차장	공항/버티포트 ICT	20년이상
		인천국제공항공사	팀장	항공보안검색	25년이상
		한국공항공사	차장	보안검색	15년이상
		한국토지주택공사	차장	버티포트구축방안 및 지역	17년이상
	서비스	현대자동차	책임	MRO	15년이상
		한화시스템	부장	Security 등	15년이상
		SK텔레콤	부장	상용 통신(LTE, 5G)	13년이상
		한국국토정보공사	팀장	공간정보	15년이상
		한국교통안전공단	차장	자격제도	10년이상
		에어로케이항공	팀장	운항기술, 정비, MRO	20년이상
		대한항공	부장	제외(항공사 여객운송서비스)	10년이상
	핵심기술	현대자동차	책임	무인기 체계	4년이상
	운용수익성	전략컨설팅집현	이사	경제성분석	10년이상
		전략컨설팅집현	팀장	경제성분석	10년이상
대학, 학계 (15%)	시장	한국과학기술원	교수	경제성분석	15년이상
	기체/부품	서울대학교	교수	공력/ 기체설계	15년이상
		성균관대학교	교수	전기추진(전기동력)	15년이상
	항행/ 교통관리	한국항공대학교	교수	운항규칙 및 절차	7년이상
		한서대학교	교수	공역, 항공교통, 공항시설	10년이상
		건국대학교	선임	성능기반 항로설정	7년이상
		한서대학교	교수	항공보안, 보안검색, 대테러	30년이상
	서비스	한국과학기술원	교수	기상	10년이상

업계	구분	기관명	직위	전문분야	근무경력
	핵심기술	인하대학교	교수	무인기 체계/제어/시뮬레이션	20년이상
		세종대학교	교수	항공전자(항법)	14년이상
연구소 (42%)	시장	한국교통연구원	수석	공항수요예측	10년 이상 15년 미만
		한국교통연구원	전문연구원	대중교통체계	10년 이상 15년 미만
		서울연구원	부연구위원		10년 이상 15년 미만
	기체/부품	한국항공우주연구원	선임	기체/부품	5년이상
		한국항공우주연구원	책임	항공구조	15년이상
		생산기술연구원	센터장	기체 경량화를 위한 3D프린팅 제조기술	6년이상
		항공안전기술원	선임	항공기(비행성능) 인증'	10년이상
		한국자동차연구원	본부장	전기동력 시스템 및 제어 구동모터, 인버터, 배터리, 수소연료전지	24년이상
		한국전자통신연구원	책임	통신	15년이상
	항행/ 교통관리	항공안전기술원	선임	CNSi	10년이상
		한국항공우주연구원	책임	CNSi	15년이상
		한국항공우주연구원	선임	항공교통관리, 제어	10이상 15년미만
		인천국제공항공사	과장	운항계획 및 항공교통관제	17년이상
		한국전자통신연구원	단장	CNSi	30년이상
		한국항공우주연구원	책임	항법/교통관리	15년이상
	인프라	한국항공우주연구원	책임	항공기 동력장치	20년이상
		항공안전기술원	팀장	보안검색인증	14년이상
		한국건설기술연구원	수석	버티포트 설계	21년이상
	서비스	한국항공우주연구원	책임	항공기/무인기 운용	19년이상
		항공안전기술원	팀장	정비(MRO), 인프라(시설/장비)분야	20년이상
	핵심기술	한국항공우주연구원	팀장	구조	10년 이상 15년 미만
		한국항공우주연구원	책임	동력원	15년이상
		한국항공우주연구원	선임	소음	15년이상
		한국전자통신연구원	실장	장애물 탐지 및 회피를 위한 레이다	15년이상
		한국전자통신연구원	실장	자율비행	15년이상
		대한항공 항공기술연구원	부장	유무인 항공기 체계, 항법/제어, 소프트웨어	10년 이상 15년 미만
		항공안전기술원	센터장	자율비행	15년이상
	운용수익성	한국항공우주연구원	선임		

〈 K-UAM 기술로드맵 실무작업단별 구성 현황 〉

WG	산	학	연	총
시장	3명 (43%)	2명 (14%)	3명 (43%)	7명
기체/부품	4명 (33%)	2명 (17%)	6명 (50%)	12명
항행/교통관리	3명 (25%)	3명 (25%)	6명 (50%)	12명
인프라	7명 (64%)	1명 (9%)	3명 (27%)	11명
서비스	7명 (70%)	1명 (10%)	2명 (20%)	10명
핵심기술	2명 (20%)	2명 (20%)	6명 (60%)	10명
운용수익성	2명 (67%)	-	1명 (33%)	3명

2. 기술로드맵의 수립 경과

■ K-UAM 로드맵 발표 이후 다부처 R&D사업 추진을 위한 기술로드맵 수립확정 등으로 실무작업단 구성 및 운용수익성분석 기반 미래시나리오 도출

● ('20.06) 관계부처 합동 한국형 도심항공교통 로드맵 발표

● ('20.07) 다부처 K-UAM 기술개발사업 및 기술로드맵 수립을 위한 사전 논의

– K-UAM 로드맵 실행 계획 및 다부처 기술개발사업을 위한 기술로드맵 수립을 위한 방법론 및 일정 논의

● ('20.08) 한국형 도심항공교통 기술로드맵 수립 실무작업단(Working Group) 구성 및 착수(Kick-off)

– K-UAM 기술개발사업과 연계된 추진 일정 및 기술로드맵 수립 방법론, 실무작업단 구성 체계 등을 설명

● ('20.09) 한국형 도심항공교통 기술로드맵 실무작업단 2차 회의 개최

– 기술로드맵 수립을 위한 실무작업단 세부운용 프로세스 및 역할 공유

– 미래시나리오 및 수익성 분석모델, 시장분석 등 초기 조건 설정(안) 결과 공유

● ('20.10) 한국형 도심항공교통 기술로드맵 실무작업단 3차 회의 개최

– 미래시나리오 항목 도출 결과 및 구조화(안), 수익성 분석모델 주요 항목 설정(안), 세부 기술 구성도(Tech-Tree) 결과 공유

● ('20.11) 미래시나리오 및 운영수익성 분석을 위한 목표성능·비용 검토

– 총괄위원회 및 WG분과장/간사 통합회의, WG별 분과회의 개최 (4~6차)

● ('20.12) UAM 시장예측을 기반으로 미래시나리오 기술분야별 목표성능 및 운영 수익성 분석 최종(안) 결과 검토·확정

– 총괄위원회 및 WG분과장/간사 통합회의, WG별 분과회의 등 개최 (7~8차)

– UAM Team Koera(도심항공교통 민관협의체) 운영시나리오 및 기술구성도 최종안 보고(12.29)

■ 공청회 등을 통해 K-UAM 기술로드맵을 수립하고, 기술로드맵 수립 결과를 기반으로 다부처 K-UAM 기술개발사업 기획과 연계 추진

● ('21.01) 부족기술 식별을 위한 실무작업단 및 이해관계자 대상 부족기술 발굴

– 실무작업단 및 이해관계자 부족기술 조사 수행(~2.2)

● ('21.02) 한국형 도심항공교통 실현을 위한 기술 후보군 선정 및 우선순위 평가

– WG별 분과회의를 통해 기술 후보군 선정

– 기술 후보군 대상 우선순위 평가 및 획득전략 방안 마련

● ('21.03) 한국형 도심항공교통 기술로드맵 수립 및 최종 결과 발표

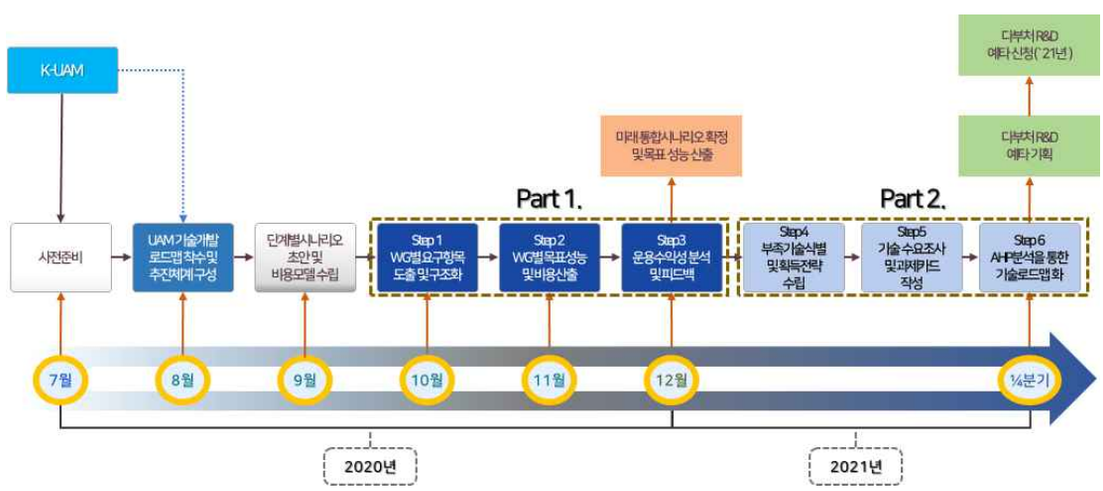
– WG별로 세부 기술로드맵 수립 및 기술정의서 작성

– (공청회) K-UAM 기술로드맵 수립(안) 발표 및 대국민·이해관계자 의견 수렴 (3.11)

• (UAM Team Koera) K-UAM 기술로드맵 수립 결과 최종 보고(3.11)

– (비상경제 중앙대책본부 회의) K-UAM 기술로드맵 수립 결과 보고(3.31)

● (~'21.09) K-UAM 기술개발사업 기획 및 예비타당성조사 신청 예정



[그림 Ⅰ-23] K-UAM 기술로드맵 수립 경과 및 R&D사업 연계

제2장

UAM산업 현황 및 전망

제1절 UAM 개념 및 범위
제2절 UAM 정책 동향
제3절 UAM 시장 분석
제4절 UAM 기술개발 동향
제5절 시사점

제1절 UAM의 개념 및 범위

1. UAM의 개념

■ (개념) '도심항공교통(Urban Air Mobility, UAM)'이란 도심 내 3차원 공중교통 체계를 활용한 항공운송 생태계를 의미

● UAM은 도심 상공에서 사람이나 화물을 운송하는 항공교통 수단으로, 기체 개발부터 인프라 구축, 플랫폼, 서비스, 유지보수 등 관련 사업을 모두 포괄하는 개념

– UAM은 도심 내 이동 뿐만 아니라 도심과 주변 광역권을 아우르는 새로운 이동형 교통수단인 광의적인 개념도 사용



출처: KPMG Global(2019), Getting mobility off the ground, 삼정KPMG 경제연구원('하늘 위에 펼쳐지는 모빌리티 혁명, 도심 항공 모빌리티')

[그림 II-1] UAM 운송서비스의 활용 범위

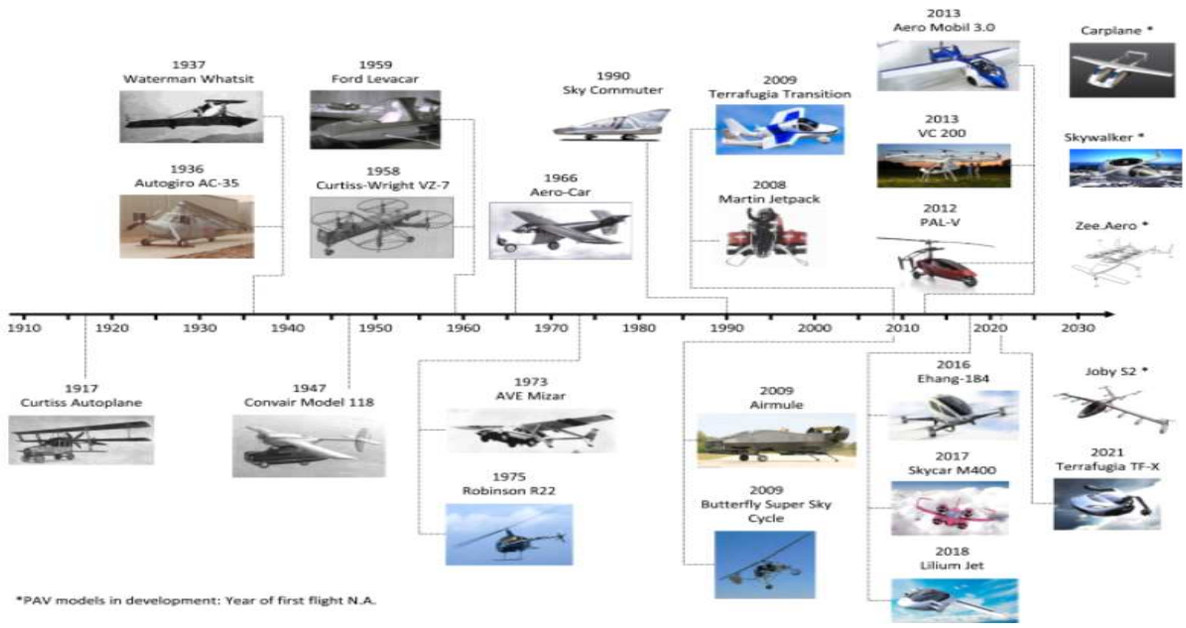
– NASA(미항공우주국)가 최초로 UAM으로 명명한 이후 관련 업계에서 통용되고 있으며, 최근 NASA는 FAA와 함께 UAM 개념에 화물운송을 포함한 개념인 AAM(Advanced Air Mobility)으로 확대



출처: NASA

[그림 II-2] NASA의 Advanced Air Mobility 구현도

■ (개발 방향) UAM은 '도심 내 이동'으로 활용범위가 구체화됨에 따라 '하늘을 나는 자동차(Flying Car)'에서 '전기동력 수직이착륙기(eVTOL)'로 발전 중



출처: Yaolong Liu(2017), 'Overview of recent endeavors on personal aerial vehicles: A focus on the US and Europe led research activities', Progress in Aerospace Sciences Volume 91, May 2017, Pages 53-66

[그림 II-3] Historical development of PAV models

● 초기 플라잉카는 도로주행과 공중비행 모두 가능하지만, 도심 내 이동에 초첨이 맞춰지면서 내연기관으로 인한 공해·소음 문제, 활주로 등의 공간적 제약 등으로 한계 발생

– 1917년 미국 오토플레인(Autoplane) 등장을 시초로 2010년 전후 미국의 테라퓨지아(Terrafugia), 네덜란드의 팔브이(PAL-V), 슬로바키아의 에어로모빌(AeroMobil) 등에서 Flying car 모델을 상용화 중임

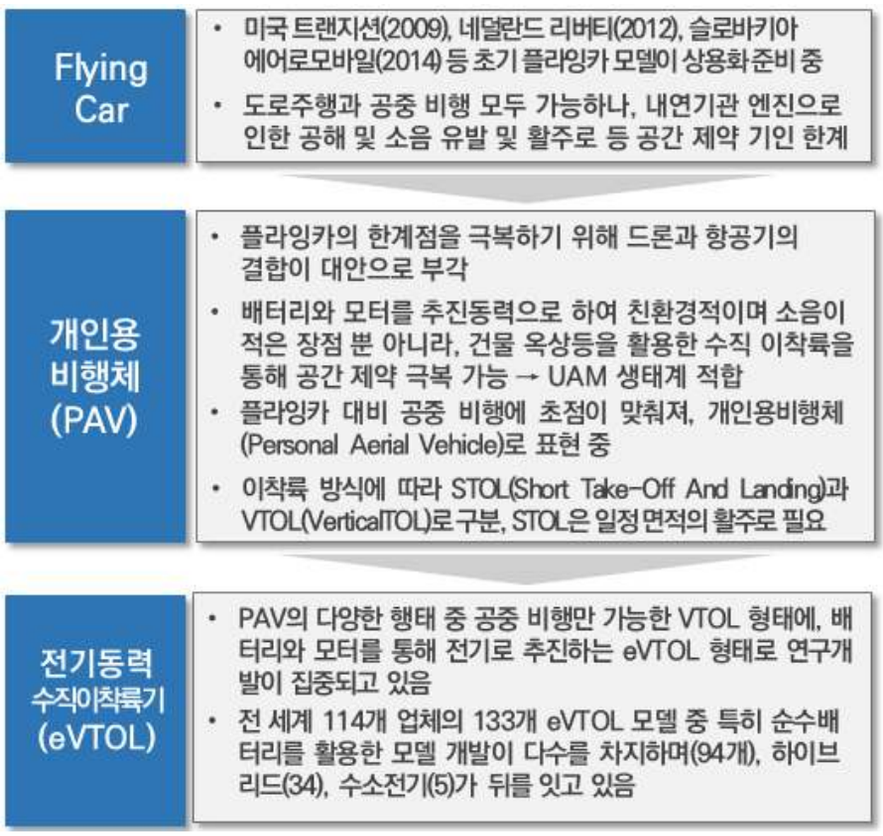
〈표 II-1〉 Flying Car 주요 모델

[테라퓨지아의 Transition]	[PAL-V의 Liberty]	[에어로모빌의 AeroMobil 4.0]
		
- 2 Seats(Pilot+1) - 161km/h, 644km - 예상가격 : 40~50만달러	- 2 persons - Drive mode: 160km/h, 1,315km - Flight Mode: 180km, 400km - 예상가격 : 40~60만달러	- Drive : 160km/h, 1,000km - Flying : 260km, 740km - 예상가격 : 130만달러

출처: 각사 홈페이지(www.terrafugia.com, www.pal-v.com, www.aeromobil.com), 삼정KPMG 경제연구원(2020) '하늘 위에 펼쳐지는 모빌리티 혁명, 도심 항공 모빌리티'

● 도심 운항을 위해 플라잉카의 단점을 극복하고자 드론과 항공기를 결합한 UAM 이라는 새로운 대안이 태동되었으며, eVTOL 형태로 연구개발이 진행

– 소음 및 환경 문제로 인하여 배터리와 모터를 적용한 전기추진을 적용하며, 공간제약을 극복하기 위해 수직이착륙이 가능한 형태를 선호



출처: 'KPMG(2020), 하늘 위에 펼쳐지는 모빌리티 혁명, 도심 항공 모빌리티' 토대로 작성

[그림 Ⅱ-4] Flying car→PAV→eVTOL 발전과정

– 국내외 기체 현황을 보면, VTOL(수직이착륙) 기체가 대부분이며, 지상교통수단으로 활용할 수 있는 이중모드 보다는 항공교통수단만 가능한 단일모드 형태 개발이 추세



[그림 Ⅱ-5] 국내외 기업 기체 개발 형식

[참고] UAM 기체 형식별 정의 및 분류

❍ PAV는 크게 운용방식, 이착륙방식, 동력원 등으로 구성되며 이착륙방식 중 전기추진 및 비전기추진으로 구분됨

- 운용방식은 일반 항공기의 비행모드인 단일모드 및 지상과 공중으로 구분하여 운행하는 이중모드로 구분됨
- 이착륙방식 중 비 전기추진은 보통의 활주 거리(CTOL), 짧은 활주로(STOL) 및 활주로 없는 이착륙 방식(VTOL) 및 전력을 사용하여 이착륙이 가능한 PAV로 구분됨
- 동력원은 전통적인 추진 방법, 모터를 구동하는 방법 및 연료전지, 내연기관 등을 결합하는 방법 3가지로 구분됨

〈 UAM 기체 분류 방식 〉

분류방식	기체 형식		정의
운용방식	단일모드(Single Mode)		• 일반 항공기의 비행모드 운행하는 PAV
	이중모드(Dual Mode)		• 지상에서는 일반 자동차 주행모드 운행, 공중에서는 비행모드 운행하는 PAV
이착륙 방식	Non electric	CTOL(Conventional Take-off and Landing)	• 고정익 항공기와 유사한 형태로 이착륙시 보통의 활주 거리를 필요로 하는 통상적인 PAV
		STOL(Short Take-off and Landing)	• 짧은 활주로 또는 저속으로도 이착륙이 가능한 PAV
		VTOL(Vertical Take-off and Landing)	• 활주로 없이 수직으로 이착륙하는 PAV
	Electric	eVTOL(electric Vertical Take-off and Landing)	• 활주로 없이 전력을 사용하여 수직으로 이착륙하는 PAV
		eCTOL(electric Conventional Take-off and Landing)	• 기존 엔진을 전기 모터로 레트로피트(retrofit)하는 방식
		eSTOL(electric Short Take-off and Landing)	• 짧은 활주로 또는 저속으로 전기 모터로 이착륙이 가능한 PAV
동력원	내연기관(Internal Combustion Engine)		• 화석연료를 에너지원으로 사용하는 전통적인 추진 방법
	전기 추진 시스템(Electrical System)		• 이차전지, 태양전지 등의 동력원에서 전력을 공급받아 모터를 구동하는 방법
	하이브리드 시스템(Hybrid-System)		• 전기 동력을 이용하는 시스템에 연료전지, 내연기관, 발전기 등을 결합하는 방법

출처: 미래 자가용 항공기(PAV)의 국외 연구동향 및 국내 개발 전략 고찰, 2016. 도심용 공중 모빌리티 개발 현황 및 과제, 2018

2. UAM의 범위

가. UAM 생태계

■ 기체개발/제작사, 운송사업자, 교통관리서비스공급자(PSU*), 버티포트 운용자, 부가정보서비스제공자(SDSS**) 등의 주체들로 구성 예상

* PSU(Provider of Services for UAM) : 민간 교통관리 서비스 공급자

** SDSS(Supplement Data Service Supplier) : 기상 등 부가정보 서비스 제공자

● (UAM 기체개발/제작사, 부품공급업체) UAM 서비스에 필요한 기체를 개발·제작하고, 소요되는 부품 등을 제공

– UAM용 기체 프레임, 엔진, 부품 등을 자체 개발·생산하여 UAM용 기체를 생산하거나 분야별 전문업체와의 협력을 통해 UAM용 기체를 공동개발·생산

– UAM용 기체의 유지·보수 등을 위한 시스템 및 부품 생산

● (운송사업자) UAM 수요에 응해 구매·리스한 UAM용 기체를 활용하여 유상으로 여객 또는 화물에 대한 운송서비스를 제공

– 항공운송산업의 항공사와 같이 지점-지점(Point to Point) 간 여객 및 화물 유료 운송 서비스를 제공하는 역할

– UAM과 지상 대중교통과의 환승 등을 위한 연계 시스템을 구축하여 연계·환승 서비스를 제공

● (버티포트* 운용자) UAM 기체의 이착륙장을 운용하면서 운송사업자에게 지상조업 서비스를 제공하고 UAM 이용자에게 교통 탑승을 위한 서비스를 제공

* 버티포트(Vertiport)는 기존 항공운송산업에서의 공항(Airport)과 같은 역할을 담당

– UAM용 이착륙장 및 계류시설을 제공하고 UAM 기체 운용을 위한 배터리 충전 및 유지 보수 서비스 등을 제공

– UAM을 이용하는 여객 및 화물에 대한 승하차·하역 및 편의서비스 등을 제공

● (교통관리서비스공급자) 운송사업자가 서비스를 원활하게 할 수 있도록 UAM 기체에 대한 운항계획 등 교통관리서비스를 제공

– UAM 기체 간, UAM 기체-타 항공기 간 충돌 회피, 공역, UAM 회랑 및 버티포트 등 인프라 가용성 등을 실시간으로 감시·관리 등의 교통관리·관제 서비스 제공

– 운송사업자의 안전하고 효율적인 운용을 위해 PSU간, PSU-UAM 주체간 네트워크를 통한 정보를 제공

● (부가정보서비스 제공자) UAM 운송사업자 등을 대상으로 UAM 운송서비스 제공에 필요한 기상, 장애물 등의 정보 제공

– UAM용 기체가 운영되는 공역 및 UAM 회랑 내 실시간 기상정보 및 장애물 등을 감시·분석·예측 시스템을 통해 기체 운용을 위한 정보를 생성·제공

– 엔터테인먼트 공급자 등 UAM 운항에 필수적이지는 않지만 이용자의 편의성 증대를 위한 부가서비스 제공(기타 서비스공급자)

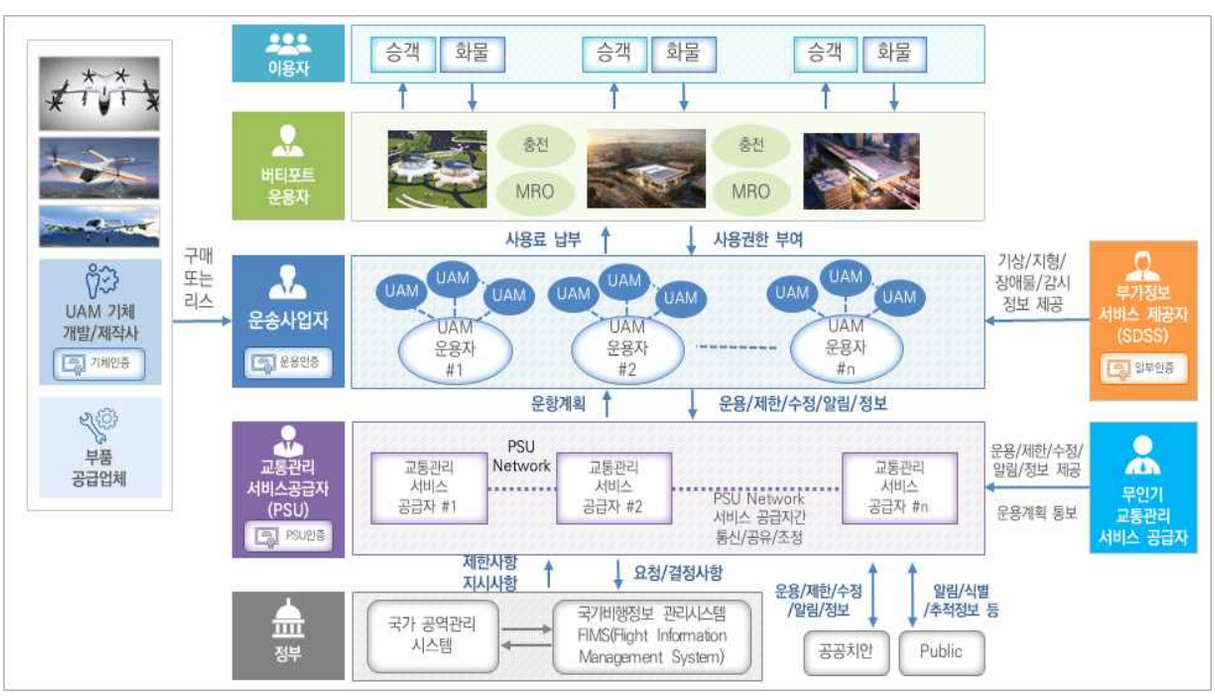
● (정부) UAM 생태계 참여자들에 대한 각종 인증, 법규의 제정, 관리체계 구축 및 UAM 공역관리를 위한 ATC* 운영 등의 역할 수행

* ATC(Air Traffic center, 항공교통센터)는 항공교통 관제업무를 수행하는 국가기관으로, 국내 관제공역 내 비행하는 항공기에게 항공교통업무를 제공

– UAM 분야 관련 부처에서는 운송·운용 관련 법규 및 제도 마련 등을 담당하고, 교통안전공단, 항공안전기술원 등의 국가기관을 통해서 운영자·종사자 자격관리 및 기체를 포함한 각종 UAM 관련 시스템·부품 등에 대한 인증 등을 수행

– 국내 항공교통 관제업무를 담당하는 ATC는 UAM의 공역 설계·설정, UAM 회랑 가용성 및 운항 용량 기준 설정, 비정상 상황에서의 교통관제 등의 역할을 수행

• 항공운송산업에서는 ATC가 공역 내 운항하는 항공기 간 충돌 방지 등 항공교통관제 역할을 담당하지만, UAM에서는 교통관리서비스공급자가 ATC 역할 담당



[그림 II-6] UAM 생태계 개념도

나. 연관기술

■ UAM은 크게 하드웨어 측면의 기체 관련 기술, 소프트웨어 측면의 운항 및 관제 관련 기술 그리고 인프라·서비스 등으로 구분

● (하드웨어) 저소음·저탄소배출 등의 도심 운용조건을 충족하기 위한 전기추진시스템, 고밀도 배터리, 경량·고강도 소재 등에 대한 기술이 요구

– 고효율, 저소음 및 저탄소배출 등을 고려하여 전기동력원 기반의 추진시스템 및 프롭로터 개발이 필요

• 기존 화석연료를 사용하지 않고 친환경 및 경량화를 위해 전기추진시스템 및 기계시스템의 전장화 등이 적용

• 기체 경량화를 위해 제한된 연료전지 성능을 고려하여 에너지 효율을 높이기 위한 추진시스템 및 로터 분야에 대한 기술이 핵심

– 도심 내 버티포트 간 이동, 중간 충전 없이 왕복 운항 등 운항거리 확장 및 기체 경량화를 달성하기 위해선 고밀도 배터리 기술(에너지 저장기술)이 필요

• 배터리 성능은 한정된 부피 내 저장 에너지를 얼마나 극대화하는지가 핵심

– 기체·승객 안전성 확보 및 기체 경량화를 위해 저중량·고강도 소재를 적용한 기체 프레임 및 부품 개발 기술이 요구

• 항공제조분야에서 적용 및 개발 중인 다양한 소재 및 가공 기술들을 활용하여 UAM 분야에 적용 필요

● (소프트웨어) 운항안정성 및 경제성 확보를 위한 자율비행 및 충돌회피 기술 및 최적 항로 예측, 비행 관제 등에 대한 기술 필요

– 지상 원격조종 시스템(1:1, m:n), 인공지능 등을 활용한 UAM 기체 비행 조종시스템 및 장애물탐지, 충돌회피방지 등을 위한 센싱 기술에 대한 개발 필요

• 중대형 무인항공기 개발에 필수적인 원격조종 시스템 및 자율주행차·자율선박 등 자율운용 모빌리티 개발에 적용 중인 인공지능 알고리즘의 활용 등

– 도심 내 다수 UAM 기체 운항을 관리에 필요한 도심항공 교통관리 시스템(Urban Air Traffic Management, UATM) 및 지원장비 등에 대한 개발이 요구

• 기존 항공기 운항을 위해 개발된(개발 중인) CNSi 관련 기술을 활용하여 지상·위성 기반의 저고도용 통신·항행·감시 관련 기술 개발 필요

• 자율비행 및 관리·감시체계에 대한 사이버테러나 해킹을 방지하기 위한 사이버보안 중요

● (인프라·서비스) 도심 내 환경에서 UAM용 이착륙장을 확보하기 위한 버티포트 구축 기술 및 대중교통수단으로써 타 교통수단과의 환승·연계 시스템 필요

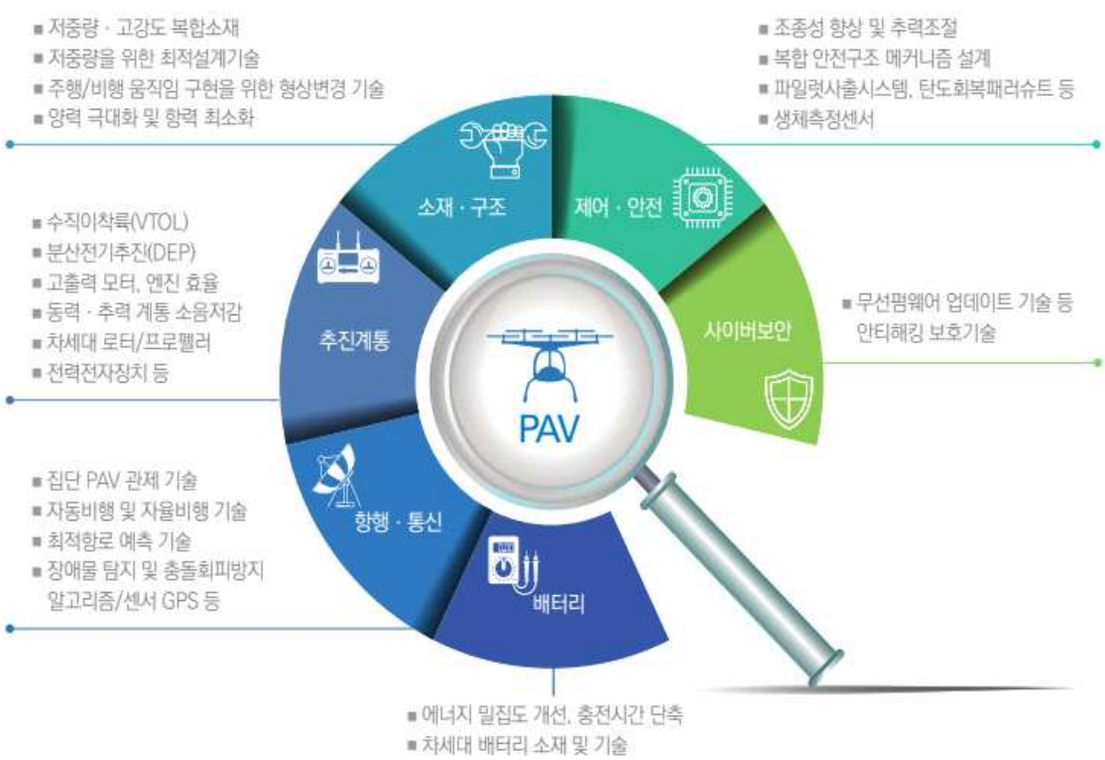
– 도심 내 부지 확보의 어려움을 극복하고 경제적 비용을 최소화할 수 있도록 기존 고층 건물 활용 또는 건축물 구축을 위한 버티포트 구축 기술 요구

• 인구밀도가 높은 도심 내 UAM 인프라 구축에는 대규모 비용 발생 및 부지 부족 문제가 존재함. 이를 위해 고층 빌딩 활용, 신규 인프라 개발 등을 위한 계획 및 구축 기술 필요

– ICT 기술을 활용하여 실시간 UAM 예약·발권 시스템 구축 및 지하철, 버스, 택시 등 기존 대중교통과 환승·연계를 위한 예약·결제 시스템 마련 필요

• 기존 대중교통으로부터의 UAM 이용자로의 전환 및 이용자 확대를 위해 UAM 이용자의 접근성·편의성 등을 확보하기 위한 UAM-기존 대중교통수단 간 환승·연계 체계 마련 필요

• 최근 택시 등을 이용한 플랫폼 서비스와 같이 기존 서비스·시스템을 통한 UAM 서비스용 플랫폼 개발 가능



출처: 한국항공우주연구원(2019), 개인용항공기(PAV) 기술시장 동향 및 산업환경 분석 보고서, 삼정KPMG 경제연구원(2020) 재구성('하늘 위에 펼쳐지는 모빌리티 혁명, 도심 항공 모빌리티')

[그림 Ⅱ-7] UAM 기체 제조 및 운영시스템 관련 핵심기술 요소

제2절 UAM 정책 동향

1. 해외 정책 동향

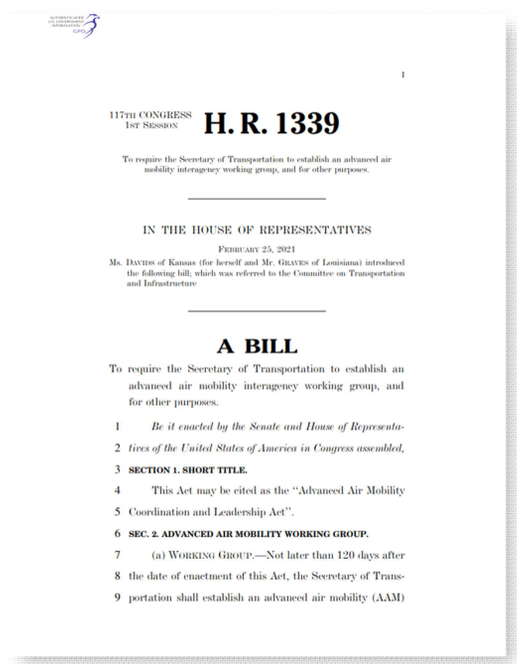
가. 주요국의 UAM 정책동향

■ (미국) 백악관 중심으로 정부와 산업계가 공동으로 UAM 관련 시장을 석권하기 위한 정책을 추진 중

● (백악관) '21년도 행정부 R&D예산 우선 집행 대상으로 '미래산업선점분야의 eVTOL[2] 인증'을 지정

● (의회) AAM 생태계 개발을 위해 "Advanced Air Mobility Coordination and Leadership Act" 법안 발의(H.R.1339) ('21.02)

- AAM 생태계 개발을 위해 미교통부(DoT), 연방항공청(FAA), 미항공우주국(NASA), 국방부(DoD) 등의 관계부처합동의 워킹그룹을 발족하여 AAM 개발에 필요한 항공교통관리, 안전과 보안을 위한 AAM 인프라 개발 요소 검토



117TH CONGRESS
1ST SESSION

H. R. 1339

To require the Secretary of Transportation to establish an advanced air mobility interagency working group, and for other purposes.

IN THE HOUSE OF REPRESENTATIVES

FEBRUARY 25, 2021

Ms. DAVIDS of Kansas (for herself and Mr. GRAVES of Louisiana) introduced the following bill; which was referred to the Committee on Transportation and Infrastructure

A BILL

To require the Secretary of Transportation to establish an advanced air mobility interagency working group, and for other purposes.

Be it enacted by the Senate and House of Representatives of the United States of America in Congress assembled,

SECTION 1. SHORT TITLE.

This Act may be cited as the "Advanced Air Mobility Coordination and Leadership Act".

SEC. 2. ADVANCED AIR MOBILITY WORKING GROUP.

(a) WORKING GROUP.—Not later than 120 days after the date of enactment of this Act, the Secretary of Transportation shall establish an advanced air mobility (AAM)

[그림 II-8] AAM Coordination and Leadership Act('21.02)

● (산업표준기구) ASTM International(American Society for Testing and Materials), GAMA(General Aviation Manufacturer's Association) 등 분야별 분업을 통해 적합성 입증방법 개발에 매진

2) Electric Vertical Take Off & Landing의 약자로 전기 수직이착륙 항공기 혹은 기체를 의미함

● (FAA) eVTOL은 인증경험이 부족하고 기존 항공기와 차별화된 설계 및 운용특성으로 감항기준을 정형화가 어려워 신청되는 항공기의 설계에 따라 인증기준을 개별적으로 마련하여 인증을 진행함

– eVTOL은 형상을 고려해 소형 비행기 또는 소형 헬리콥터의 기존 감항기준을 적용하거나 또는 특수한 분류(Special Class)로 구분하여 적합한 기준을 적용



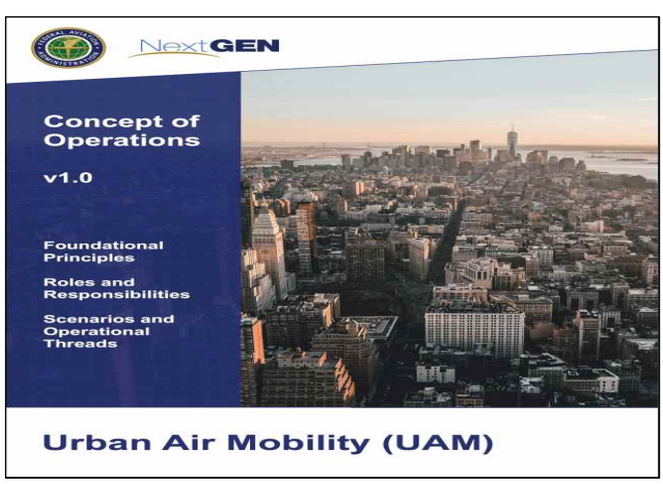
[그림 Ⅱ-9] eVTOL형식증명 시 적용할 수 있는 감항기준과 인증기준 수립안(FAA)

– 현재 FAA는 약 37개의 항공기 인증 및 전기엔진 인증과제 수행 중('21.03)

– eVTOL형상 중 고정익이 있는 경우 FAR Part 23을 적용하고, 고정익이 없고 로터만 있는 형상의 기체는 FAR Part 27을 적용함. 배터리·전기시스템 등 신기술 부분은 특수기술기준(Special Conditions)을 마련하여 인증기준(Certification Basis) 수립

– eVTOL에 적용된 신기술에 대한 적합성입증방법(MOC)는 현재 사용 중인 산업규격(ASTM F44)을 활용 가능

● (FAA) UAM 운용환경을 설명하기 위한 UAM ConOps 1.0 발표('20.06)



[그림 Ⅱ-10] FAA UAM ConOps 1.0('20.06, FAA)

(유럽) EASA[3] 및 EUROCAE[4] 중심으로 UAM 생태계 활성화를 위한 정책을 마련하고, 국가별로 UAM 관련 정책 수립·추진 중

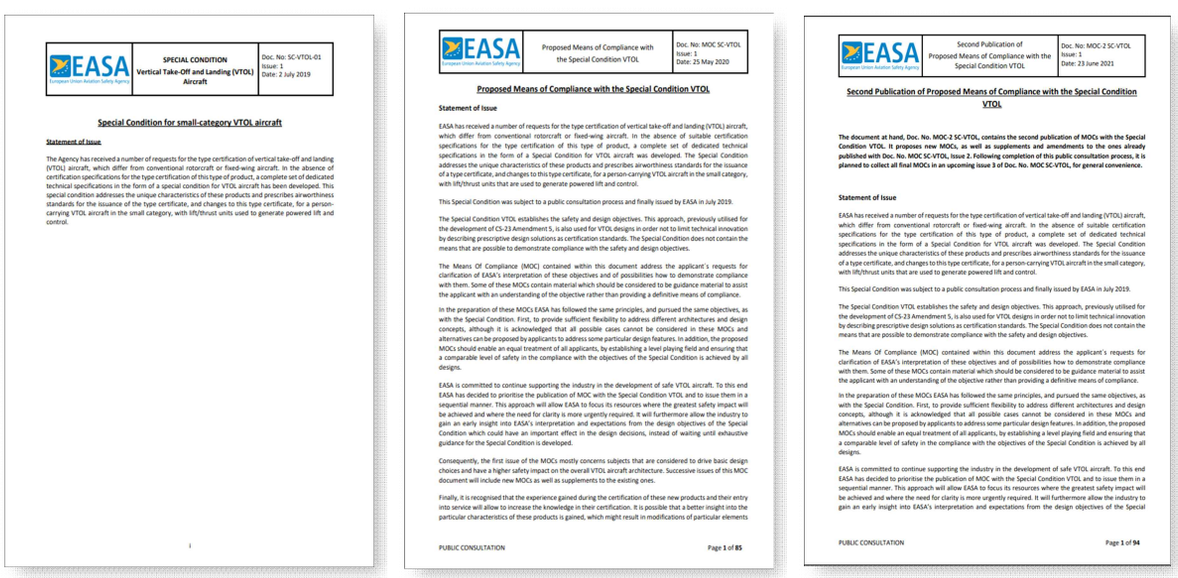
● (EASA) 자율비행 인증을 위한 항공분야 AI/ML 로드맵 및 UAM 산업 로드맵 발표 등 UAM 시장 선점을 위해 정부와 산업계가 공동으로 대비('20.02)



[그림 Ⅱ-11] VTOL 항공기와 회전익항공기(EASA)

– 소형 VTOL 인증을 위한 임시 규정인 SC-VTOL-01('19.07)를 발표하였고 인증 프로그램 수행 중

– 소형 VTOL 인증을 위한 적합성입증방안에 대한 MOC-SC-VTOL('20.05)를 발표, 현재 MOC-2-SC-VTOL('21.06)에 대한 의견 수렴 중임



SPECIAL CONDITION
Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Aircraft

Doc. No: SC-VTOL-01
Issue: 1
Date: 2 July 2019

Special Condition for small-category VTOL aircraft

Statement of Issue

The Agency has received a number of requests for the type certification of vertical take-off and landing (VTOL) aircraft, which differ from conventional rotorcraft or fixed-wing aircraft. In the absence of certification specifications for the type certification of this type of product, a complete set of dedicated technical specifications in the form of a special condition for VTOL aircraft has been developed. This special condition addresses the unique characteristics of these products and prescribes airworthiness standards for the issuance of the type certificate, and changes to this type certificate, for a person-carrying VTOL aircraft in the small category, with lift/thrust units used to generate powered lift and control.

〈SC-VTOL('19.07)〉

Proposed Means of Compliance with the Special Condition VTOL

Doc. No: MOC SC-VTOL
Issue: 1
Date: 25 May 2020

Proposed Means of Compliance with the Special Condition VTOL

Statement of Issue

EASA has received a number of requests for the type certification of vertical take-off and landing (VTOL) aircraft, which differ from conventional rotorcraft or fixed-wing aircraft. In the absence of suitable certification specifications for the type certification of this type of product, a complete set of dedicated technical specifications in the form of a Special Condition for VTOL aircraft was developed. The Special Condition addresses the unique characteristics of these products and prescribes airworthiness standards for the issuance of a type certificate, and changes to this type certificate, for a person-carrying VTOL aircraft in the small category, with lift/thrust units that are used to generate powered lift and control.

This Special Condition was subject to a public consultation process and finally issued by EASA in July 2019.

The Special Condition VTOL establishes the safety and design objectives. This approach, previously utilised for the development of CS-23 Amendment 5, is also used for VTOL designs in order not to limit technical innovation by describing prescriptive design solutions as certification standards. The Special Condition does not contain the means that are possible to demonstrate compliance with the safety and design objectives.

The Means Of Compliance (MOC) contained within this document address the applicant's requests for clarification of EASA's interpretation of these objectives and of possibilities how to demonstrate compliance with them. Some of these MOCs contain material which should be considered to be guidance material to assist the applicant with an understanding of the objective rather than providing a definitive means of compliance.

In the preparation of these MOCs EASA has followed the same principles, and pursued the same objectives, as with the Special Condition. First, to provide sufficient flexibility to address different architectures and design concepts, although it is acknowledged that all possible cases cannot be considered in these MOCs and alternatives can be proposed by applicants to address some particular design features. In addition, the proposed MOCs should enable an equal treatment of all applicants, by establishing a level playing field and ensuring that a comparable level of safety in the compliance with the objectives of the Special Condition is achieved by all designs.

EASA is committed to continue supporting the industry in the development of safe VTOL aircraft. To this end EASA has decided to prioritise the publication of MOC with the Special Condition VTOL and to issue them in a sequential manner. This approach will allow EASA to focus its resources where the greatest safety impact will be achieved and where the need for clarity is more urgently required. It will furthermore allow the industry to gain an early insight into EASA's interpretation and expectations from the design objectives of the Special Condition which could have an important effect in the design decisions, instead of waiting until exhaustive guidance for the Special Condition is developed.

Consequently, the first issue of the MOCs mostly concerns subjects that are considered to drive basic design choices and have a higher safety impact on the overall VTOL aircraft architecture. Successive issues of this MOC document will include new MOCs as well as supplements to the existing ones.

Finally, it is recognised that the experience gained during the certification of these new products and their entry into service will allow to increase the knowledge in their certification. It is possible that a better insight into the particular characteristics of these products is gained, which might result in modifications of particular elements

PUBLIC CONSULTATION Page 1 of 85

〈MOC-SC-VTOL('20.05)〉

Second Publication of Proposed Means of Compliance with the Special Condition VTOL

Doc. No: MOC-2 SC-VTOL
Issue: 1
Date: 23 June 2021

Second Publication of Proposed Means of Compliance with the Special Condition VTOL

The document at hand, Doc. No. MOC-2 SC-VTOL, contains the second publication of MOCs with the Special Condition VTOL. It proposes new MOCs, as well as supplements and amendments to the ones already published with Doc. No. MOC SC-VTOL, Issue 2. Following completion of this public consultation process, it is planned to collect all final MOCs in an upcoming issue 3 of Doc. No. MOC SC-VTOL, for general convenience.

Statement of Issue

EASA has received a number of requests for the type certification of vertical take-off and landing (VTOL) aircraft, which differ from conventional rotorcraft or fixed-wing aircraft. In the absence of suitable certification specifications for the type certification of this type of product, a complete set of dedicated technical specifications in the form of a Special Condition for VTOL aircraft was developed. The Special Condition addresses the unique characteristics of these products and prescribes airworthiness standards for the issuance of a type certificate, and changes to this type certificate, for a person-carrying VTOL aircraft in the small category, with lift/thrust units that are used to generate powered lift and control.

This Special Condition was subject to a public consultation process and finally issued by EASA in July 2019.

The Special Condition VTOL establishes the safety and design objectives. This approach, previously utilised for the development of CS-23 Amendment 5, is also used for VTOL designs in order not to limit technical innovation by describing prescriptive design solutions as certification standards. The Special Condition does not contain the means that are possible to demonstrate compliance with the safety and design objectives.

The Means Of Compliance (MOC) contained within this document address the applicant's requests for clarification of EASA's interpretation of these objectives and of possibilities how to demonstrate compliance with them. Some of these MOCs contain material which should be considered to be guidance material to assist the applicant with an understanding of the objective rather than providing a definitive means of compliance.

In the preparation of these MOCs EASA has followed the same principles, and pursued the same objectives, as with the Special Condition. First, to provide sufficient flexibility to address different architectures and design concepts, although it is acknowledged that all possible cases cannot be considered in these MOCs and alternatives can be proposed by applicants to address some particular design features. In addition, the proposed MOCs should enable an equal treatment of all applicants, by establishing a level playing field and ensuring that a comparable level of safety in the compliance with the objectives of the Special Condition is achieved by all designs.

EASA is committed to continue supporting the industry in the development of safe VTOL aircraft. To this end EASA has decided to prioritise the publication of MOC with the Special Condition VTOL and to issue them in a sequential manner. This approach will allow EASA to focus its resources where the greatest safety impact will be achieved and where the need for clarity is more urgently required. It will furthermore allow the industry to gain an early insight into EASA's interpretation and expectations from the design objectives of the Special

PUBLIC CONSULTATION Page 1 of 94

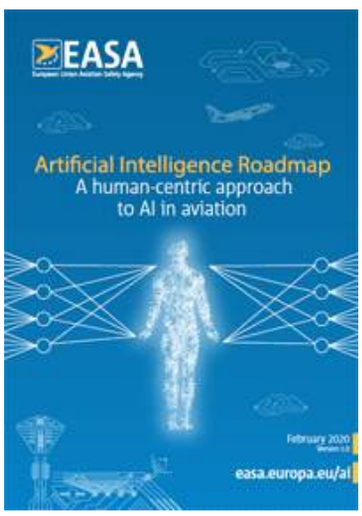
〈MOC-2-SC-VTOL('21.06)〉

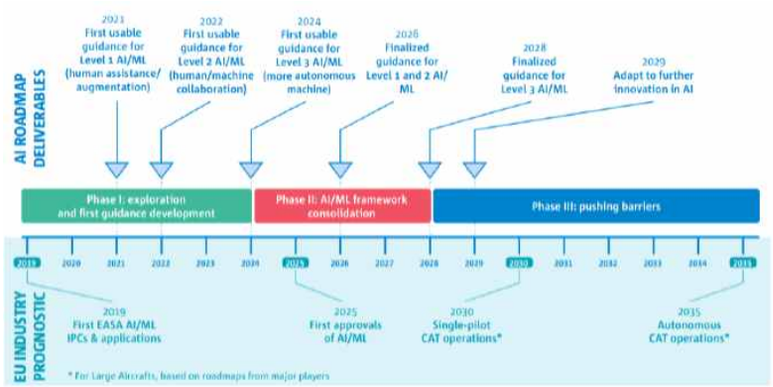
[그림 Ⅱ-12] EASA의 소형 VTOL 항공기의 인증을 위한 감항기준안과 적합성입증방안

3) European Union Aviation Safety Agency, 유럽항공안전청
4) European Organisation for Civil Aviation Equipment, 유럽표준화기구

● (EASA) 자율비행 인증을 위한 항공 분야 AI 로드맵 및 UAM 산업 로드맵 발표 등 UAM 시장 선점을 위해 정부와 산업계가 공동으로 대비('20.02)

– 자율비행 부문에서는 항공부분 인공지능 로드맵을 발표함('20.2)

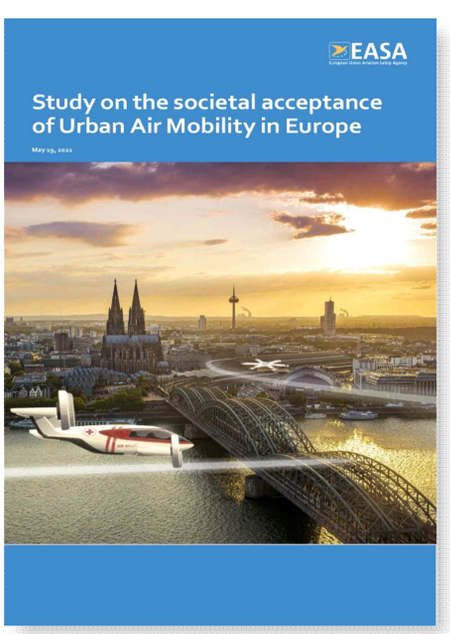


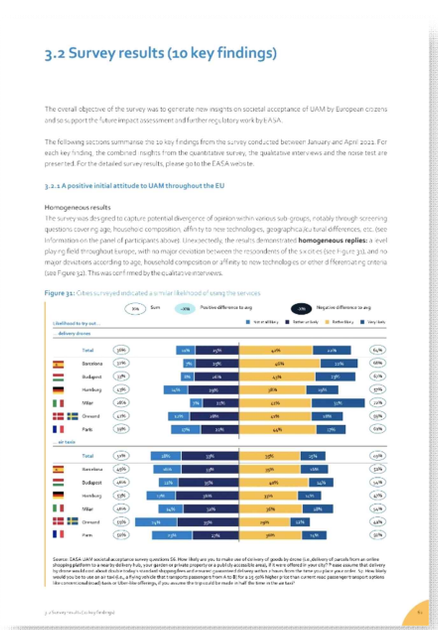


출처: Artificial Intelligence Roadmap, 2020.02.

[그림 II-13] EASA의 Artificial Intelligence Roadmap

● (EASA) UAM의 사회적 수용성에 대한 보고서 'Study on the socal acceptance of Urban Air Mobility in Europe' 발표('21.05)





[그림 II-14] Study on the social acceptance of UAM in Europe('21.05, EASA)

● (EUROCAE) EUROCAE WG-112에서 SC-VTOL의 적합성입증방법을 개발하고 있으며 2020년 2월 MOC 초안 제시하였음

● (영국) 'Future Flight Challenge' 추진을 통해 에어택시를 포함한 미래형 항공 시스템 개발·구축을 추진('20.05)

– UKRI*는 미래형 항공기, 자율비행 및 차세대 교통관리 등을 대상으로 통합실증 지원을 위해 약 300만파운드 투입 예정

* UK Research and Innovation : 영국의 비즈니스, 기업 및 산업전략부처 산하 공공기관

■ (중국) 감항당국을 중심으로 UAM 관련된 정책과 지침을 마련하며 UAM 생태계 구축을 주도하고 있음

● (CAAC[5]) '에어택시 감항지침'을 발행하여 감항표준을 충족한 제품에 대해 감항인증서 발급 진행 중('19.02)

– 이항(EHang)의 EHang 216 기체는 2022년 이내에 중국에서 승객이 탑승한 eVTOL 기체로 형식증명(TC)을 받는 최초의 기체가 될 것으로 전망

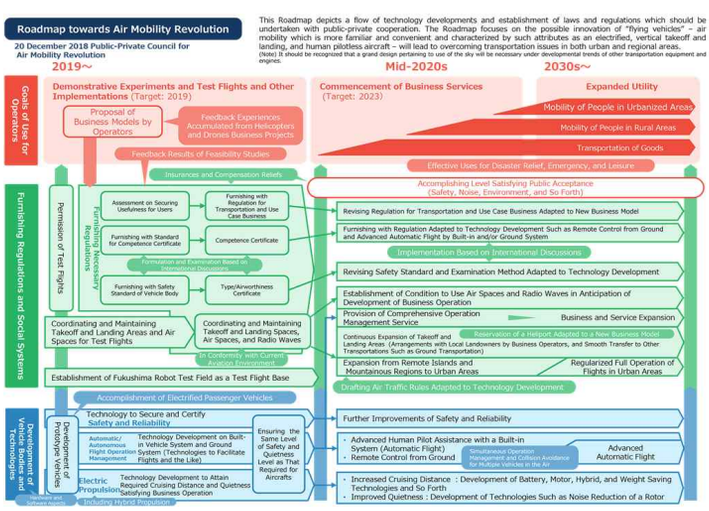
– 이를 위해, 중국 CAAC에서 이항 EHang 216 형식증명을 위한 TF 발족('21.04)

● (State Council) '21.2월에 국가종합입체교통망계획[6]을 통해 교통장비, 기체, 교통관제 시스템 개발의 중요성을 강조

■ (일본) 'UAM을 위한 항공교통 혁신 로드맵'을 발표('18.12)

● 경제산업성이 중심인 일본산업구조심의회에서 미래항공기 산업에 대한 연구 개발을 지원하도록 법·제도 및 규제 등을 개선

● 경제 산업성 및 국토교통성이 민관합동으로 'UAM을 위한 항공교통 혁신 로드맵'을 수립하고, 민관협의체를 구성하여 운영 중



출처: 일본, 항공 모빌리티 혁명 로드맵, 2018.12

[그림 II-15] 일본 항공교통 혁신 로드맵(2018.2)

5) 중국민용항공국
6) Guidelines of the National Comprehensive Transportation Network Plan

(싱가포르) 글로벌 기체개발업체들과 UAM 운용 서비스 실현을 위해 운용 인프라 구축 및 시범사업 등을 추진

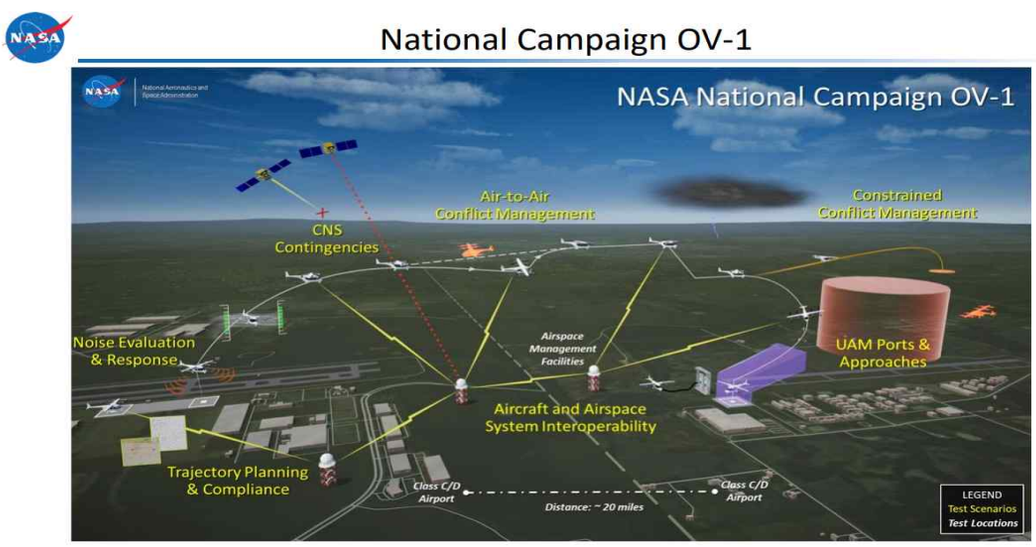
- 싱가포르의 항공 당국은 EASA, Airbus 등 EU 기관들과 협력하여 기술공유협정 및 시범사업을 진행하고 있음
- 운용인프라 중 공역설계 및 교통관리에 관심을 두고 Airbus와 MOU 체결을 통해 'UAM 운용 안전프레임워크' 개발을 추진하는 한편, EASA와는 'UAM 운용 및 안전표준개발'을 위해 협력 중임

나. 주요국의 UAM 관련 국가 프로젝트 동향

■ (미국) NASA의 UAM 실증사업 및 미공군(USAF)의 eVTOL 기술획득 프로그램 등을 통해 UAM 생태계 구축을 지원

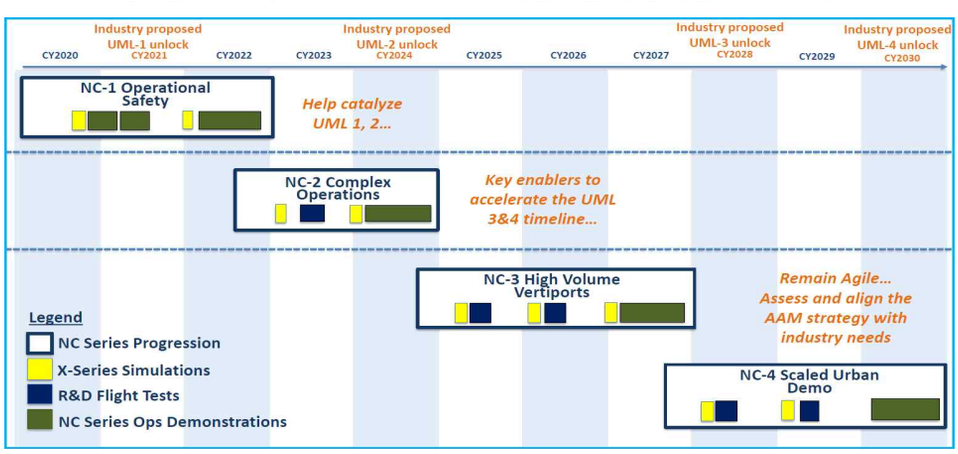
● (National Campaign) UAM 안전성에 대한 대중의 이해·신뢰도 제고측면에서 민간 참여하는 기체, 인프라 등 UAM 운용에 대한 실증사업 추진('18.11)

- NASA 주도의 AAM(Advanced Air Mobility) 초기 생태계 구축 및 FAA와 업무협력 체계 구축
- 교통관리, 기상예측, 소음분석, 비행시험 준비 등 연구과제 발주 및 기술성숙도(Maturity Level)에 따른 단계적 사업화 설정 및 기술 입증 추진
- NASA NC-1에 Joby Aviation과 Wisk Aero가 비행시험 예정 중이며 AURA Network System, Raytheon Company, SkyGrid, ANRA Technologies 등 인프라 및 항공교통 시뮬레이션 업체도 참여 예정임('21.07)



출처: NASA

[그림 Ⅱ-16] NASA AAM NC 개발시험 운용개념도('21.06)



출처: NASA, National Campaign

[그림 Ⅱ-17] NASA AAM NC 추진 일정

● (Agility Prime) 미공군은 '20~'25년 동안 Joby Aviation, LIFT Aircraft, Beta Technologies 소기업 대상으로 eVTOL 관련 기술개발을 지원

– 미공군은 FAA와 함께 eVTOL 감항기준 마련을 위해 VTOL 기체의 운용개념 검토 및 기존 항공 분야 관련 규정, 기술개발 과정 등을 통해 별도 UAM 감항 규정을 신설할 예정

● 미공군의 Agility Prime을 통해 Joby Aviation의 eVTOL 기체 S4에 세계 최초로 MIL-HDBK-516C에 따른 군용 감항승인(Airworthiness Approval)('20.12), Beta Technologies Alia-250는 유인기로 최초 감항승인('21.05), Kitty Hawk's Heaviside ('21.07)도 Agility Prime을 통해 감항승인을 획득함('21.07)





[그림 II-18] 미공군의 Agility Prime 소개 자료와 참여업체

■ (유럽) EU는 산업계와 함께 공공서비스에 UAM 기술을 적용하는 프로젝트를 진행 중이며, 국가별로도 산업계와 협력하여 UAM 기반 구축 진행 중

● (EU) SAFIR-Med 프로젝트*를 통해 EU의 모든 시민들이 양질의 의료체계를 이용할 수 있도록 8개국의 17개의 산업계 파트너와 함께 추진 중

– Ehang사는 eVTOL 파트너로는 유일하게 참여하는 기업으로 자사의 기체인 Ehang216을 의료 물품 수송에 사용할 계획임

* SAFIR-Med는 '의료용 항공 모빌리티를 위한 첨단 U-스페이스 서비스의 안전하고 유연한 통합'을 뜻하며 유럽연합(EU) 전역의 헬스케어 시스템에서 무인항공 이용을 촉진하기 위한 연구·혁신 프로젝트

● (EU) 2021년부터 2022년까지 유럽 최대 규모의 도심항공교통 실증 프로그램(AMU-LED, Air Mobility Urban-Large Experimental Demonstrations) 추진 발표('21.01)

– 주요 실증지는 영국 Cranfield, 네덜란드 Enschede, Amsterdam, Rotterdam 등이며 참여업체는 EHang, Boeing, Airbus 등이 참여함



출처: SESAR

[그림 II-19] AMU-LED 참여업체

● (프랑스) eVTOL 생태계 구축을 위해 Volocopter 및 Skyport와 함께 공동으로 파리에서 test-bed 구축 및 관련 프로젝트 추진 중

– 지상시설을 포함한 비행시험을 계획 중으로 '24년 파리올림픽에 맞춰 UAM 서비스 개시를 목표



출처: Intrado

[그림 II-20] SAFIR-MED 프로젝트

■ **기체의 인증기준을 지속적으로 마련하면서 동시에 인증을 진행하고 있으며 교통관리를 위한 시스템 개발도 진행 중**

● (EASA) eVTOL 기체와 기체와 관련된 인증기준을 제정하면서 산업계와 협력하여 인증을 진행 중임

– eVTOL 항공기를 특수한 분류(Special Category) 항공기로 규정하고 감항기준(안) SC-VTOL-01 발표('19.07)

– Volocopter에 최초로 설계조직인증(DOA) ('19.12) 및 생산조직인증(POA) 부여('21.07)

– 전기/하이브리드 추력시스템 감항기준(안) SC E-19-EHPS-01 발표('21.04)

● (EASA) 인증범주(Certified Category) UAS와 UAM 운용을 위한 인증, 정비, 종사자, 버티포트 등 종합적 규정개념(EASA Concept Paper, Issue 2.1) 마련('19.11)

● (EUROCAE[7]) SC-VTOL-01의 적합성 입증을 위한 37종의 적합성 입증방법 제시하고 초안검토 중('20.05)

● (EUROCONTROL[8]) EC SESAR2020을 통해 저고도 공역 관제시스템(U-SPACE) 개발 추진

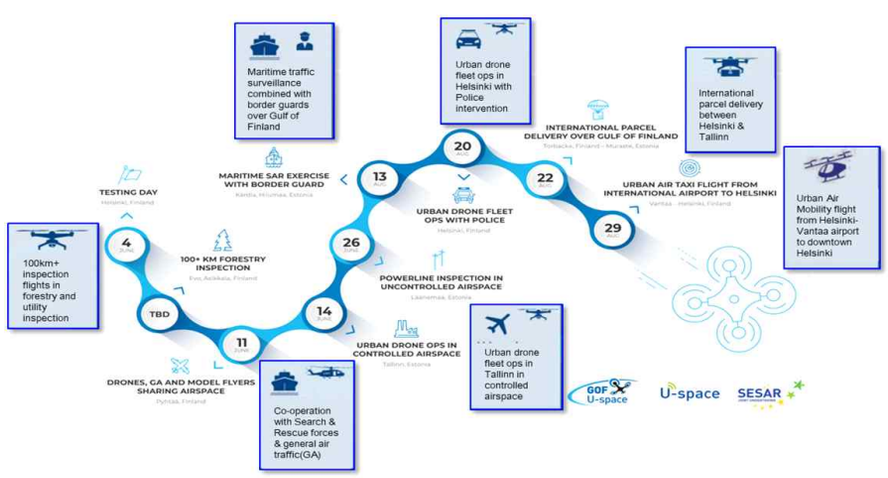
– 100km 이상 비가시권 비행, 드론 도심 및 관제 공역운용, 국가 간 드론택배 등 순차적 실증 완료

– 헬싱키-반타 공항에서 도심까지의 에어택시 운용 실증 수행('19.08)



출처: Volocopter

[그림 Ⅱ-21] 헬싱키 공항에서 진행된 Airtaxi 실증 비행



출처: U-space Concept of Operations, 2019.10.

[그림 Ⅱ-22] U-space GF (Gulf of Finland) 프로젝트 세부 추진사항 및 일정(2019.8)

7) 유럽표준화기구(European Organisation for Civil Aviation Equipment)
8) 유럽항행안전기구(European Organization for the Safety of Air Navigation)

■ (일본) 도요타, 후지스 등 15개 기업이 공동으로 '카티베이터(Cartivator)' 출자하고 이를 통해 공동기술 개발, 스타트업 지원 등 다양한 활동을 추진 중

● 지자체 및 기업들은 도쿄 아카사카와 토요다 시에 시제품 제작 공방 구축·운영 지원

● 자체 eVTOL 1인승 시제기 SkyDrive 모델을 개발 중이며 시험비행 중임



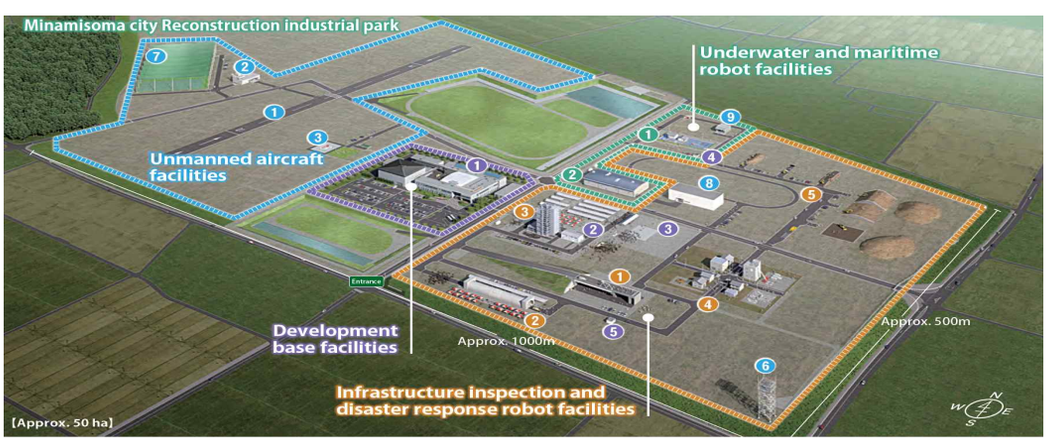
출처: Transport UP

[그림 Ⅱ-23] CARTIVATOR의 시제기 SkyDrive

■ '18년부터 무인이동체 성능시험과 운용절차 개발을 위한 종합시설을 후쿠시마에 구축하여 운용 중이며 추가적으로 UAM 테스트베드[9] 설치를 계획 중임

● 도심, 공사현장, 공업지역, 재난지역 등 각종 정상 및 비정상 상황에서의 운용환경을 고려한 연구시설을 구축함

● 히타치社 및 유니플라이社는 협력을 통해 인공지능 기반 J-UTM을 개발으로, 비가시권 비행을 수행함('19.01)

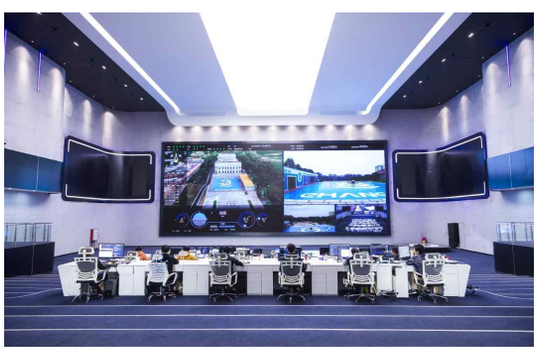


[그림 Ⅱ-24] 일본 후쿠시마 로봇 테스트 필드 시설조감도

9) '19년 8월에 후쿠시마현과 미에현간 UAM 개발 및 실용화 협력을 위한 협정 체결

■ (중국) 중국민용항공총국은 무인비행사업 활성화를 위해 자국 내 시험지역을 지정하며 eVTOL에 대한 형식·감항증명을 진행하면서 시범 운영도 진행 중임

- 중국 전역 13개의 무인비행 항공실험구를 지정하여 실증확대 도모('20.10)
- Ehang 216 기체의 형식증명(TC)를 추진 중이며 '21년에 형식증명과 감항증명(AC) 획득 예정
- 또한 Ehang 216에 제한형식증명을 부여함으로써 광저우 LN가든호텔 대상으로 에어 모빌리티 테마호텔 서비스를 시범 운영 중임




[그림 Ⅱ-25] Ehang의 광저우 UAM 관제센터(좌) / 광저우 시내 동시비행 데모(2019.11.30.)(우)

■ (싱가포르) 항공당국을 중심으로 기업과 협력하여 화물운송을 포함한 UAM 시범 서비스를 진행하고 있음

- 무인기를 활용한 화물배송 시범(Skyway) 비행 시연('16)
- '18년 독일 Volocopter社와 함께 도심에서 시범비행을 기획하여 '19년 10월 Volocopter 2X 기체로 1.5km 구간을 시범비행을 실시함



[그림 Ⅱ-26] 무인기 활용 화물배송(Skyway)



[그림 Ⅱ-27] Volocopter 시범비행

(그외 국가) 그 외 국가들에서도 시험비행을 추진하거나 UAM 활성화를 위한 교통체계 마련을 위한 작업을 진행 중

- (스페인) 산티아고와 바르셀로나에서 드론택시 데모비행을 추진하기 위해 Horizon 2020의 예산 중 $25M을 확보함('22)
- (캐나다) '20년 5월에 미래항공 모빌리티 컨소시엄(CAAM)을 출범하고 '20년 9월에는 밴쿠버에서 AAM 도입을 위한 백서를 발행함
- (호주) Airservices Australia는 멜버른을 대상으로 UAM 운영에 대한 시뮬레이션을 진행했고, 이를 통해 UATM의 필요성을 강조하는 ConOps를 발간함('20.12)

2. 국내 정책 동향

가. 국내 UAM 관련 정책

■ (국토부) UAM 생태계 구축을 위해 인프라·인증·교통관리 분야에 대한 추진전략 및 기술개발 지원 방향 마련

● (제3차 항공정책 기본계획) 미래 항공산업의 글로벌 선도 국가로 발돋움하기 위해 추진한 항공정책 기본계획으로 도심항공교통관제를 포함한 UAM 생태계 구축을 추진('20~'24)

– 도심항공교통관제(UTM) 등 드론교통량 증가에 대비한 초기 인프라를 확립하고 관련 법령 정비, FAA 및 NASA 등 국제협력 강화를 통해 미래 드론교통관제서비스(USS)에도 대비

– 도심형 항공교통(UAM)시장의 기술동향 및 상용화에 대비해 모빌리티 중심 개발(MOD, Mobility Oriented Development) 개념 도입 추진



[그림 Ⅱ-28] 항공정책 기본계획의 비전 및 목표

● (제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획) 4차 산업혁명 대응 혁신성장동력 육성을 위해 무인이동체 자율주행 기술개발 추진

– 지상관제시설, 관제시설 간 통신·항법·정보공유 기술, 시험시설 등 인프라 구축을 통해 드론 등 무인이동체 교통관리 체계 구축

– 자율·무인비행체 시제기에 대한 시험인증 등을 수행하고, 지상통제시스템 등의 상용화를 위한 안전인증 체계 구축

■ (국토부) 여객운송이 가능한 UAM 분야가 포함된 '드론분야 선제적 규제혁파 로드맵'을 확정·발표

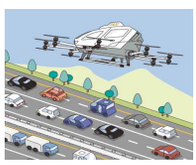
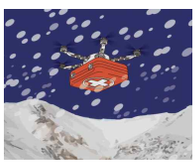
● 여객운송 목적 및 '30년 응급 환자 수송 목적 등 민간·공공분야에서의 여객수송용 UAM 운송사업에 대한 규제 혁파 대상에 포함

– 로드맵은 3단계로 구성하고, 단계별 비행방식, 수송능력, 비행영역의 발전추세를 도출

〈표 Ⅱ-2〉 드론분야 선제적 규제혁파 시나리오

발전단계	1단계	2단계	3단계 이후
연 도	현재 ~ 2020	2021 ~ 2024	2025 ~
비행방식	원격 조종	부분 임무위임	자율비행(임무위임-원격감독)
수송능력	화물 10kg 이하	화물 50kg 이하	2인승(200kg) ~ 10인승(1톤)
비행영역	인구희박지역 비가시권	인구밀집지역 가시권	인구밀집지역 비가시권

〈표 Ⅱ-3〉 드론분야 선제적 규제혁파 개요

사업 모델	 배달·택배		 드론 택시	 의료용품 운송	 레저 드론	 드론 앰뷸런스
출현 시점	2022 (비도심)	2025 (도심)	2023~ (3단계 이후)	2025 ~ 2027 (3단계)	2025 ~ 2027 (3단계)	2030년 이후 (5단계)
사업 내용	- 도서·산간지역 뿐 아니라 도심지에서 화물 운송하는 드론		- 도시 혼잡지역 등에 승객을 신속히 운송하기 위한 택시 드론	- 악천후에도 긴급히 의약품을 운송하는 드론	- 산 이나 강 등에서 일정구역 이동 등을 실시하는 레저 드론	- 응급 환자를 신속히 이송하는 드론

(과기부) 유인·무인 항공기 중 자율비행 관련 기술개발을 중점 추진

● (제4차 과학기술 기본계획) 국가 차원의 중점투자와 육성이 필요한 기술로 120개의 중점과제기술을 선정했으며 항공분야에서는 유·무인 통합 자율비행체 기술 및 통합관제 시스템 기술 전정함

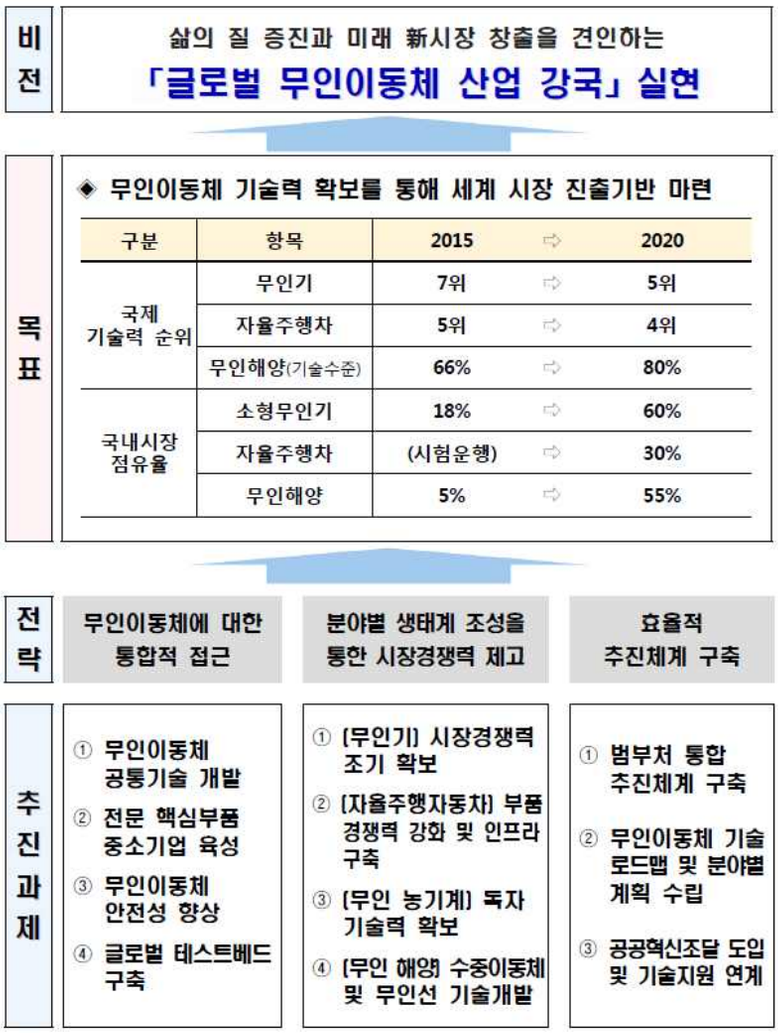
– 창의·융합형 인재 양성 과제 중 미래 신산업 분야*의 인력수요 및 직무역량 등을 조사·분석하여 수요 맞춤형 인재양성의 기반 구축 계획

* 무인항공기, OLED, 시스템반도체, IoT 가전 등

〈표 Ⅱ-4〉 중점과학기술 목록(120개 중 우주항공해양 부분)

대분류	중분류	중점과학기술
우주·항공·해양 (7)	우주	- 우주발사체 개발 및 운용 기술, 우주환경 관측·감시·분석 기술, 우주 탐사 및 활용 기술
	항공	- 유·무인 통합 자율 비행체 기술, - 유·무인 자율 비행체 통합 관제시스템 기술
	해양·극한지	- 지속가능한 해양공간 개발 기술, 극한공간 인프라 기술

● (무인이동체 발전 5개년 계획) 육상, 지상, 해상 무인이동체에 대한 발전 5개년 계획을 제시했으며 이중 무인기 관련 과제는 비행안정성, 성능 입증을 위한 실증환경 구축 등의 내용을 담고 있음



[그림 Ⅱ-29] 무인이동체 발전 5개년 계획 비전 및 체계도

– 삶의 질 증진과 미래 신시장 창출은 견인하는 글로벌 무인이동체 산업 강국 실현을 비전으로 3가지 추진과제 제시

– 통합적 접근, 중소핵심기업 육성, 생태계적 접근, 글로벌 테스트베드 전략 등 측면에서 추진 내용 제시

• 육·해·공 통합적 접근, 핵심부품 및 공통기술기반 전문기업 육성, ICT 기업의 무인이동체 시장 진입, 선도적 실시간 서비스 개발 등

(산업부) 미래형 항공기 대상 기체·부품 개발을 위한 추진전략 수립

● (제3차 항공산업발전기본계획) 미래형 비행체(PAV[10]) 선도개발, 항공정비시스템(MRO[11]) 산업화 추진을 목표로 함('21~'30)

10) Personal Air Vehicle의 약자.
11) Maintenance Repair Overhaul의 약자

– 주요 추진전략으로 '완제기 개발을 통한 시장선점 및 기술확보' 및 '핵심부품 및 정비서비스(MRO) 수출 활성화' 등을 제시

– '핵심부품 및 정비서비스(MRO) 수출 활성화'를 위해 대형 민항기 국제공동개발사업 참여 확대, 민수부품 수출산업화 역량 제고, 항공정비서비스(MRO) 산업화 등을 추진

• '핵심부품 수출 활성화'를 위해 차세대 민항기 국제공동개발사업의 RSP 참여를 지속적으로 확대하고, 중소기업의 경우 민항기 국제공동개발사업에 컨소시엄 형태로 참여를 유도하여 모듈 부품의 개발·생산 기회를 제공

● (제7차 산업기술혁신계획) 무인 모빌리티(PAV, 드론), 민항기 부품, 민수헬기 관련 핵심기술에 대한 전략적 투자 추진

– 핵심기술로 ①(무인 모빌리티) 자율비행 개인항공기(PAV) 및 중대형 드론 핵심기술, ②(헬기) 민수헬기 핵심기술, ③(항공기부품) 구조물 설계, 제작 및 공정 기술, ④(항공기부품) 엔진, 항공전자 등 항공 핵심부품 기술을 선정함

● (4차 산업혁명시대의 항공산업 발전전략) 글로벌 시장 확대를 위한 항공전기전자 및 신시장 창출을 위한 드론 및 PAV 등에 대한 기술개발 추진

– 3대 정책 방향으로 ①엔진, 항공전자(항전), 경량 신소재 등 미래 핵심기술 확보, ②글로벌 시장진출 확대 및 신시장 창출, ③국내 역량 총결집 생태계 조성이 있음

– '25년 목표로 4차 산업혁명 시대에 항공강국 진입을 위한 전략 및 과제 선정

● (항공핵심기술로드맵) 항공산업발전 기본계획 수립에 따라 국내 항공산업 육성을 위한 중장기 목표를 제시했으며, 개인형 항공기(PAV) 기술개발 방향을 담고 있음('20.10)



[그림 Ⅱ-30] 항공핵심기술로드맵 비전 및 추진방향

■ (관계부처 합동) K-UAM 상용화 실현 목표를 수립하고, 목표달성을 위해 UAM 全 분야를 포괄하는 한국형 도심항공교통 로드맵 수립·발표('20.06, 관계부처 합동)

● 본 로드맵은 준비기를 제외한 초기, 성장기, 성숙기 3단계로 구성된 로드맵으로, '25년 상용서비스 최초도입을 목표로 하고 있음

– (준비기) 상용서비스 최초 도입 전인 '20년~'24년의 시기를 나타내며, 해당기간에 이슈·과제 발굴과 함께 법·제도 정비, 시험·실증을 추진 예정임

– (초기) 상용서비스가 최초로 시작된 이후인 '25년~'29년의 시기를 나타내고 있으며 일부 노선 상용화를 포함한 내용을 추진할 예정임

– (성장기) 초기 이후인 '30년~'35년의 시기를 나타내고 있으며, 도시를 중심으로 비행 노선이 확대되며 UAM 사업자의 사업이 흑자로 전환되는 것을 목표로 하고 있음

– (성숙기) '35년 이후의 시기를 나타내며, UAM 서비스의 이용보편화와 함께 기체의 자율비행 실현을 목표로 하고 있음



[그림 Ⅱ-31] K-UAM 로드맵 단계적 목표

나. 국내 UAM 관련 주요 프로젝트

■ (OPPAV 사업) 국토부와 산업부가 미래형 자율비행 개인항공기 인증 및 안전운항 기술개발을 목표로 진행하는 사업('19~'23)

● (국토부) 항공우주연구원이 주관하여 항공안전기술원과 교통연구원이 협력하여 추진하여 OPPAV 인증기술개발, 시험운용 인프라 구축 및 분산전기추진 항공기 비행제어와 안전을 포함한 교통서비스체계 도입 방안을 연구

● (산업부) 한국항공우주산업, 현대자동차, 베셀, 한국항공기술, 두타기술이 참여하여 분산전기추진시스템을 포함한 1인승급 eVTOL 유무인 항공기 시제기와 지상장비 획득을 목표로 함



[그림 II-32] OPPAV 사업

■ (K-UAM 그랜드 챌린지) UAM의 한국형 운항기준을 마련하기 위한 민관합동 실증사업으로 추진할 예정임('22~'24)

● K-UAM 로드맵의 일환으로 추진되는 프로젝트로 통신 환경, 기상 조건, 소음 등 국내 여건에 부합하는 한국형 운항기준을 마련하고자 함

● 준비(0단계, '20년~'21년), 개활지 테스트(1단계, '22~'23), 수도권 실증노선 테스트(2단계, '24년) 등 '25년 상용화 목표로 진행할 예정임

– 국가종합비행성능시험장(전남 고흥군)이 1단계 테스트베드로 선정되었으며, 실증사업 예산은 '21년 78.5억 투입예정

– '21년 하반기에 테스트 항목·방식을 포함한 K-UAM 그랜드챌린지 마스터 플랜 발표예정



출처: 남도방송, 〈고흥, 'K-UAM그랜드챌린지 테스트베드' 최종선정〉

[그림 Ⅱ-33] 개인비행체 종합테스트베드 조감도

(UAM Team Korea 발족) K-UAM 로드맵('20.06) 이후 기술로드맵을 포함 다부처 R&D사업 추진을 위한 UAM Team Korea(UAM 민관협의체) 구성·운영

- (목적) K-UAM 로드맵의 공동 이행, 신규과제의 발굴 및 주요시장·기술 동향을 등을 논의하는 산학연관 정책공동체로 출범
- (역할) 총괄-간사-참여기관으로 구성하고 주체별 역할을 설정
  - (총괄) 국토부가 UAM 추진현황을 총괄 관리하고, 주요 이슈별 참여기관·업체 이해관계 총괄 조정 및 법령 제·개정과 예산사업 추진
  - (참여기관) K-UAM 로드맵에서 의결된 기관·업체로 UAM 관련 추진상황 및 토의사항 공유, 기관·업체별 역할에 따라 소관과제 이행 등을 담당. 간사는 회의별 상정안건 마련 및 협의체 운영현황 관리 등을 수행

(UAM 시연행사) UAM의 대중 수용성을 증진하기 위해 총 3회 시연 행사 실시 ('20.11)

- (시험비행) Ehang社의 Ehang 216 기체로 서울, 대구, 제주에서 시연비행을 통하여 UAM에 대한 대중의 이해와 사회적 수용성을 증진함



〈11/11 한강 시험비행〉 〈11/16 대구 시험비행〉 〈11/21 서귀포 시험비행〉

[그림 Ⅱ-34] '20년 eVTOL 시연행사

■ (에어택시 사업화) 한국공항공사, 한화시스템, SKT, 한국교통연구원은 UAM 시범 상용화를 위한 협력 추진함('21.01)

- (한국공항공사) UAM 이착륙장(Vertiport) 구축·운영 및 UAM 교통관리 분야 등
- (한화시스템) UAM 기체 개발, 항행·관제·ICT 솔루션 개발 및 운항사·항공 모빌리티 검토
- (SKT) 모빌리티 플랫폼 및 미래 항공교통 통신 네트워크 모델 개발
- (한국교통연구원) UAM 서비스 수요예측 및 대중수용성 연구 등



[그림 Ⅱ-35] UAM 협력을 위한 MOU 체결식 사진

제3절 UAM 시장 분석

1. 해외 시장 동향

■ UAM 시장은 미실현 시장이지만 '40년에 약 1조 달러 규모로 전망

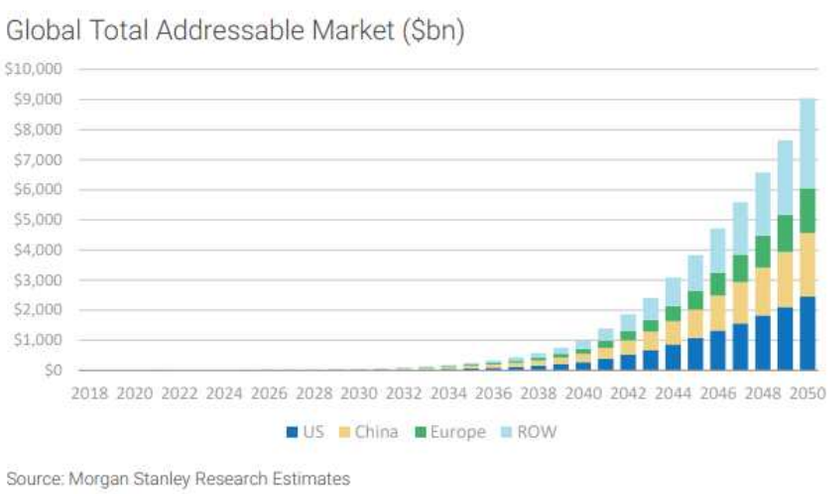
● (전체) 주요 컨설팅社별 분석결과, '35년 740억달러(한화 약 81조)에서 '40년경에 1조 달러(한화 약 1,140조)규모로 전망



출처: 세계 UAM관련 컨설팅 보고서

[그림 Ⅱ-36] 세계 컨설팅 보고서별 시장규모

– Morgan Stanley 보고서에는 '35년 255억달러(한화 약 29조원)에서 '40년경에 1조 달러(한화 약 1,140조), '50년경에는 9조달러(한화 약 9,900조) 규모로 전망('21.05. MSCI)



출처: Morgan Stanley 보고서 분석

[그림 Ⅱ-37] 세계 UAM 시장규모 전망(MSCI, '21.05)

– Market&Markets 보고서에서는 '18년 UAM 시장은 52억 8,140만달러에서 '30년 151억 9,820만 달러까지 성장할 것으로 예상

- Prosche Consulting은 '35년에 조사, 화물, 여객 및 지원 서비스를 결합한 시장은 약 740억달러에 이를 것으로 예상

● (기체제작) UAM 시장에서 약 9.5%를 차지하고 있는 기체시장은 '40년에 약 577억달러 규모로 성장할 것으로 전망

〈표 II-5〉 UAM 기체시장 전망 ('25~'40)

단위 : 백만달러

구분	2025년	2030년	2035년	2040년
기체(제작)	1,680	5,701	21,694	57,660

출처: 드론 택시 시장 운임분석, 2020, 항공안전기술원

- (美) Market&Markets은 '18년 약 30억달러에서 '30년 88억달러까지 성장할 전망

  • '25-'30년 동안 연평균 성장률 약 11.4%으로 추정

  • 기체별 시장규모를 살펴보면, '30년 Air Taxi 약 62억달러, 개인용 기체 약 13억달러, Air Ambulance약 9억달러, 화물용 약 8억달러 등으로 분석

〈표 II-6〉 미국 UAM 기체종류별 시장규모 ('16-'30년)

단위: 백만달러

지역	2016년	2017년	2018년	2025년	2030년	CAGR (2025-2030)
Air Taxi	1,992.4	2,036.7	2,118.3	3,594.2	6,182.5	11.5%
개인용	427.8	436.9	453.9	765.1	1,309.7	11.4%
Air Ambulance	285.4	291.3	302.6	508.8	869.6	11.3%
화물용	142.4	145.5	151.3	256.2	440.1	11.4%
총계	2,847.9	2,910.4	3,026.1	5,124.3	8,802.0	11.4%

출처: UAM Market, 2019, Market&Markets

● (인프라) UAM 전체시장의 약 16%를 차지하는 인프라시장은 '40년 약 946억 달러 규모로 성장할 것으로 추정

〈표 II-7〉 UAM 인프라시장 전망('25~'40)

단위 : 백만달러

구분	2025년	2030년	2035년	2040년
인프라	1,051	9,685	40,948	94,594

출처: 드론 택시 시장 운임분석, 2020, 항공안전기술원

- NEXA ADVISORS에 따르면, UAM 이착륙장 및 버티포트 등에 대한 인프라 투자는 '40년까지 320억달러 이상의 투자가 필요할 것으로 분석

  • UAM 네트워크의 비용과 잠재적 수요와 수익을 포착하기 위해 세계 75개 도시를 대상으로 7가지 헬기장 또는 수직이착륙을 일반화하여 추정

〈표 Ⅱ-8〉 공공 헬리콥터/수직이착륙 비용 분석

단위: 백만달러

구분	Remediation	Unserviced Vertipad	Serviced Vertiports	Urban Multiports	Urban E/F/H Multiport	Airport Multiports	Megaports
총 비용	614	983	1,712	10,919	11,689	34,160	90,432

출처: UAM Economics and Global Markets, 2020, NEXA

● (서비스) UAM 전체시장 중 가장 많은 비중을 차지하는 서비스 시장은 '40년 약 4,568억 달러 규모로 성장할 것으로 예상

〈표 Ⅱ-9〉 2040년 UAM 세계시장 전망

단위: 백만달러

구분	2040년	비율(%)
기체(제작)	57,660,887,319	9.5%
인프라	94,594,559,850	15.5%
서비스	456,766,341,507	75%
총계	609,021,790,716	100%

출처: 드론 택시 시장 운임분석, 2020, 항공안전기술원

– UAM 서비스 시장 중 서비스 지원(Supporting Service) 분야는 '35년까지 40억 달러로 전망(Porsche Consulting)

• UAM 서비스 시장은 하드웨어(제품제작, 인증, 충전), 서비스(on-demand 서비스, eVTOL 렌탈서비스) 및 기타(보험, 유지관리, 기타서비스)로 구분

■ (주요 Player) Joby Aviation, Volocopter, Lilium 등 스타트업 기체 개발업체가 주요 player들로 기체 개발 뿐만 아니라 버티포트 개발에도 참여

● (Joby) Joby Aviation은 기체개발 분야에 집중뿐만 아니라 Toyota, Uber 등 여러 투자사와 함께 서비스, 인프라 구축도 추진 중



출처: Joby Aviation

[그림 Ⅱ-38] Joby Aviation의 주요 투자기업

– 초기투자는 총 8억 2천만 달러('20.12)이며 SPAC 합병계약으로 총수익금 16억 달러로 예상되며, 총 투자금은 2,420억달러로 eVTOL 개발사 중 최대 투자규모임('21.06)

Leading Passenger eVTOL Developers

Sources: Companies, Chrunchbase.com, Tracxn.com (as of June 20, 2021)

Company	Prior Funds ($M)	SPAC / alt	Cash+PIPE ($M)	Total Funds (after SPAC)	Valuation ($M)	Orders (incl. Options)
Archer	62	ACIC	$1,100	1,162	3,800	United: ~250
Beta	511	-	-	511	1,400	Blade: 150, UPS: 20
EHang	132	[IPO]	-	n/a	2,200	(Private) 130 *
Eve	private	ZNTE **	n/a	n/a	2,000 **	Halo: 200, Helisul: 50
Joby	820	RTP	1,600	2,420	6,600	-
Lilium	392	QELL	830	1,222	3,300	-
Vertical	80	BSN	394	474	2,200	American: 350, Avolon: 500, Virgin: 150
Volocopter	377	-	-	377	620	-
XTI	private	XERI JV	-	n/a	n/a	(Private) 202

IPO = initial public offering; JV = joint venture; n/a = not available.
* deliveries through December 2020
** proposed

출처: eVTOL News

[그림 Ⅱ-39] eVTOL 주요기업의 투자 및 구매계약 규모('21.06)

– (Uber) Uber Elevate 사업부를 조비 에비에이션에 매각 후 현재는 조비 에비에이션이 세계 최초의 UAM 상용 서비스 진행 중('20.12)

● (Uber) Uber는 UAM 전담 자회사(Elevate) 설립('16) 후 시장을 선도했으며, '23년 상용화(美LA Dallas, 호주 멜버른) 목표설정 및 관련사업 Joby에 매각('20.12)



출처: Uber Elevate

[그림 Ⅱ-40] Uber가 제시한 Skyport 예상도

〈표 II-10〉 Uber Elevate의 Vehicle Partners & Ecosystem Partners

분야	업체명	비고
Vehicle Partners	Aurora	UAM 사업을 위해 Boeing이 자회사로 인수. Porsche와 eVTOL 개발 파트너십 체결
	Bell	지금까지 상용 헬리콥터만 15개 모델을 출시한 VTOL 항공기 업계의 베테랑
	EmbraerX	전용기를 비롯해 중소형 여객기를 전문으로 제작. 현재 상용 여객기 시장 업계 3위
	Hyundai	NASA의 신재원 박사, Bell의 Scott Drennan을 영입하여 UAM 사업에 착수
	Jaunt Air Mobility	Slowed-Rotor Compound(SR/C) 기술을 토대로 한 ROSA 타입의 항공기 설계 역량
	Joby Aviation	과거 NASA 출신 Mark Moore와의 인연으로 Uber Elevate 파트너십에도 합류
	Karem Aircraft	한화시스템으로부터 $25M을 투자 유치. eVTOL 개발 위해 Overair 설립 후 spin-off
	Pipistrel Vertical Solutions	고정익 기반의 전기추진 항공기 제작 기술을 바탕으로 최초 eCTOL 개발에 성공
Ecosystem	ARL	미군에서 민간업체인 Uber Elevate와 협력하여 eVTOL을 위한 최신 로터 기술 개발
	Chargepoint	전기차 충전 네트워크를 기반으로 Uber Elevate를 위한 eVTOL 충전 솔루션 개발
	ESAero	eVTOL 퍼포먼스와 조종가능성을 평가하는 툴과 모델링 개발로 기체 안전성 진단
	École Polytechnique	3차원 공간에서의 자율비행을 위한 인공지능 최적화 작업을 Uber의 ATCP와 연구
	Georgia Tech	Mark Moore의 모교이며 Center for Urban and Regional Air Mobility를 보유
	Hillwood	Skyport를 건설할 첫 파트너사.'20년까지 우선적으로 최소 3개 건설하기로 협의함
	Launchpoint	ARL와 함께 파트너사로 선정되었으며 eVTOL에 적합한 모터를 개발 및 최적화
	Molicel	Vehicle Partners의 eVTOL에 탑재될 리튬-이온 배터리팩 개발
	NASA	Uber Elevate로부터 UAM 생태계를 조성하기 위한 각종 데이터를 제공받기로 협약
	Signature Flight Support	지상에서 Skyport를 운영하며 Uber Air 탑승객 , 배터리 탈착 등의 전반적인 관리담당
	The University of Texas	ARL와 함께 eVTOL을 위한 최신 로터 기술 개발하며, 캠퍼스내에 테스트 설비 보유
	Streetlight Data	Uber Elevate가 분석하지 못하는 모빌리티 데이터를 제공하는 제3자 분석 기관

출처: 각 사, 하이투자증권 리서치본부

- Uber Elevate 생태계에서도 Hillwood 라는 부동산 회사가 대표적으로 스카이포트(Sky port: 대도시 건물 옥상에 만들어진 UAM 이착륙거점)를 선정하고 투자함

- Uber는 기체 및 생태계에서 다양한 업계와 협력관계를 형성(Elevate Summit)하고, 세계 시장이 주목하는 논의 진전 및 기체개발·금융·건설 등 협력관계를 형성하기 위해 노력 중

● (Volocopter) 전기 수직 이착륙(eVTOL)기술과 해외 업체와 결합하여 에어택시 생산과 운영을 위해 시장 공략 중

- Volocopter는 '21년 4월 중국 상하이(上海) 모터쇼에서 전기 에어택시 '볼로콥터 2X'를 중국에서 처음으로 선보였으며 '19년에 싱가포르에서 시험 비행을 한 모델임

- '19년 Volocopter는 지리자동차(중)에 8천700만 유로의 투자를 받아 협력관계 유지 중



출처: '독일 '플라잉 카' 볼로콥터, 지리차와 손잡고 중국 시장 공략', 2021.05, 연합뉴스

[그림 II-41] 볼로콥터 2X

- Volocopter는 UAM 상용화 진도가 전세계에서 가장 빠른 기업 중 하나로 UAM 시장 중 '35년까지 잠재시장이 2,410억 유로가 될 것으로 전망

● 독일의 릴리움(Lilium)은 COVID-19에도 불구하고 Tencent Holdings 등으로부터 2억 4천만 달러 투자 추가 유치에 성공하면서 eVTOL 개발 및 버티포트 사업도 같이 진행 중

- Lilium이 '25년 상용화를 목표로 개발 중인 Lilium Jet 테스트 비행 영상을 '19년 10월에 공개한 뒤, COVID-19에도 불구하고 eVTOL 개발 사업은 표면적으로 비교적 큰 차질 없이 진행 중

- 부동산 민간투자 기업인 Tavistock Development Compan와 미국 플로리다 올랜도시와 협력하여 Lake Nona에 릴리움 제트(Lilium Jet)가 운용될 수 있는 버티포트를 '25년까지 구축하겠다는 계획 발표(20.11.11)



출처: Lilium

[그림 Ⅱ-42] Lilium's Vertiport at Lake Nona(좌), Lilium Jet(우)

- eVTOL OEM 분야에도 Baillie Gifford에게 3,500만 달러를 투자 받음

● 이항(EHang)은 중국 민용항공총국(CAAC)로부터 가장 먼저 드론택시 시범업체로 선정되었으며 단순 기체 생산만이 아니라 각국과도 연계해 새로운 비즈니스 네트워크를 형성

- 두바이, 스페인 정부와 협력해 다양한 서비스의 UAM 사업을 추진하고 있으며 중국은 선전에 거점을 둔 관광 플랫폼 기업 LN 홀딩스와 제휴를 맺고 LN 호텔에서 UAM을 연계한 항공모빌리티 관광 프로그램을 개발할 예정

● EHang은 자율주행 비행기를 통한 여객 운송, 물류, 미디어 등의 영역에서 제품을 공급하는 민영 드론 기업으로 세계 최초로 드론 택시인 'EHang 184'를 선보임

- 지난해 11월 서울에서 국토교통부와 '도심항공교통(UAM) 실증비행 행사'에서는 이항의 기체(EHang 216)가 임무 중량 약 80kg 탑재로 약 50m 상공을 약 7분간 비행에 성공함('20.11)



출처:Ehang

[그림 Ⅱ-43] EHang 184



[그림 Ⅱ-44] EHang 216
시연(도심항공교통(UAM) 실증비행 행사, '20.11)

● 다임러(Daimler)의 최대 주주가 된 지리자동차도 Terrafugia 인수에 이어 Volocopter에도 투자하면서 UAM 사업에 적극적으로 추진 중

– 지리자동차는 UAM 분야의 혁신을 이끌고 있던 '테라퓨지아(Terrafugia)'를 사들여 UAM 관련 기술과 데이터를 확보



출처: 테라퓨지아 홈페이지

[그림 Ⅱ-45] 테라퓨지아의 UAM인 트랜지션

– 지리자동차社는 최근 전기 배터리로 최장 6시간 동안 비행할 수 있는 드론(무인기)을 새로 내놨으며 2017년 인수한 미국 스타트업을 통해 하늘을 나는 자동차 '플라잉 카(flying car)'도 개발 중

2. 국내 시장 동향

■ 국내시장은 해외시장규모 대비 '40년 109억달러 규모로 성장 전망

● UAM 한국 시장 규모는 '40년까지 약 109억 달러로 성장할 것으로 전망

– 기체 시장은 '25년 3,292만달러에서 '40년까지 약 10억달러, 연평균 24% 성장률로 전망

– 인프라 시장은 '25년 2,060만달러에서 '40년까지 약 17억달러, 연평균 30% 성장률로 전망

– 서비스 시장은 '25년 1.6억달러에서 '40년까지 약 82억달러, 연평균 27% 성장률로 전망

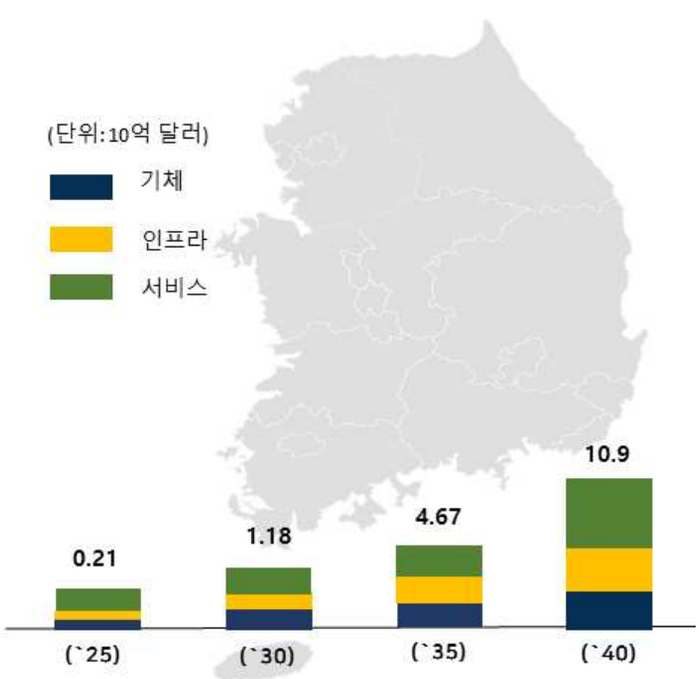
* 기체 시장, 인프라 시장 및 서비스 시장은 모두 세계 시장규모에서 한국 GDP 비율 예측 값으로 한국 시장을 산출하며 2025~2035년의 CAGR 및 2035~2040년의 CAGR를 산출함

〈표 II-11〉 연도별 UAM 한국 시장 규모('23~'40)

(단위 : 달러)

구분	연도				CAGR	
	'25	'30	'35	'40	'25~'35	'35~'40
GDP	1.96%	1.92%	1.86%	1.79%	0%	0%
기체(제작)	32,928,832	109,463,039	403,517,228	1,032,129,883	28%	21%
인프라	20,607,610	185,968,875	761,639,682	1,693,242,621	43%	17%
서비스	160,609,326	886,295,742	3,495,470,731	8,176,117,513	36%	19%
총계	**214,145,768**	**1,181,727,656**	**4,660,627,641**	**10,901,490,017**	**36%**	**19%**

출처: 드론 택시 시장 운임분석, 2020, 항공안전기술원

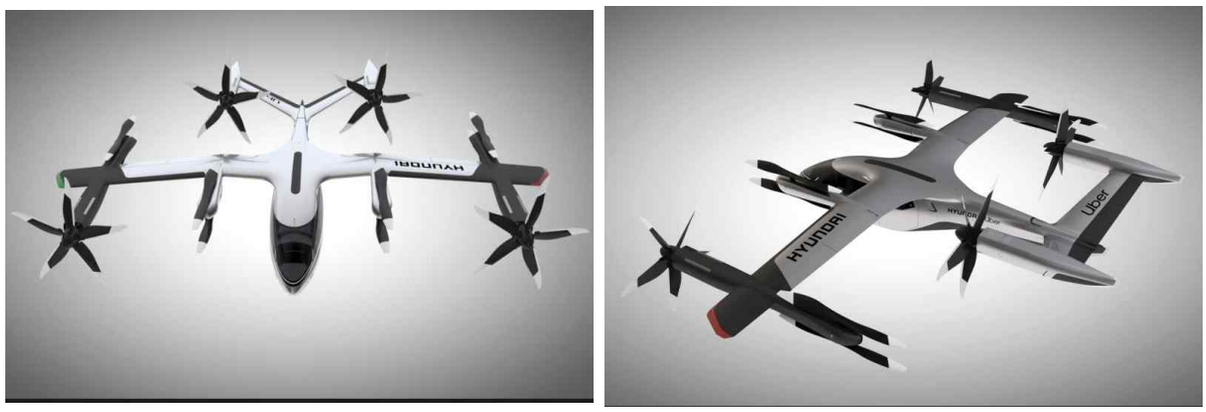


출처: 드론 택시 시장 운임분석, 2020, 항공안전기술원

[그림 II-46] 연도별 UAM 한국 시장 규모 그래프

(주요 Player) 현대자동차, 한화시스템 등 대기업 중심으로 UAM 기체 개발 및 생태계 구축을 위한 협력체계 구성

● (현대자동차) 2020년 CES에서 Uber와 협력하여 개발 중인 PAV 컨셉 'S-A1'을 선보이면서 2028년 상용화 계획을 발표, 국내외 UAM 관련 기업들과 협업 중



[그림 Ⅱ-47] Hyundai S-A1('20.01)

– 전기차와 자율주행, 도심항공교통(UAM) 등 핵심 미래 사업에 2025년까지 60조 이상을 투자하겠다고 발표

• 코로나 19로 인한 투자비 절감, 내연기관 투자 축소 등의 요인으로 기존 사업 경쟁력 강화를 위한 투자가 36조6천억 원으로 다소 줄었으나, 미래사업 역량 확보를 위한 투자는 23조5천억 원으로 늘었음



출처: 현대자동차

[그림 Ⅱ-48] 최고경영자(CEO) 인베스터 데이

– 영국 Urban-Air Port와 파트너쉽 체결하고 인프라스트럭쳐 탐색개발 파트너쉽 체결 발표('20.07), 영국 코벤트리(Coventry)에 버티포트 구축계획발표('21.01)

– 현대자동차는 인천국제공항공사, 현대건설, KT와 함께 UAM 협력 MoU를 체결(20.09.21)

- 기업별 협력 역할: 인천국제공항공사는 인프라스트럭처 건축과 UAM을 에어셔틀로 사용하는 타당성 연구를 수행하며 현대건설은 대중교통 환승 허브와 버티포트 건축물을 구축하고, KT는 통신 인프라스트럭처와 UAM 모빌리티 서비스 비즈니스 케이스를 마련

– NASA National Campaign에 참여 예정인 ANRA Technologies와 AAM 운용환경 개발을 위한 파트너쉽 체결 (‘21.06)

● (한화시스템) 카렘에어크래프트(Karem Aircaft)에서 분사한 오버에어(Overair, 기존 K4 에어로노틱스)에 2,500만 달러를 투자하고 국내 기업들과 협업 중

– 한화시스템은 오버에어와 함께 버터플라이를 공동 개발해 나갈 계획임

– 미국의 카렘에어크래프트(Karem Aircaft)와 조인트벤처로 오버에어(Overair)를 20년 1월에 설립한 후 버터플라이라 불리는 Quad Tiltrotor eVTOL을 미국 현지에서 공동 개발 중

● 한화시스템이 UAM(도심항공모빌리티) 기체부터 항공물류, 교통관리 서비스까지 아우르는 전분야에 사업 추진 중

– 현재 한화시스템은 ‘Global UAM Solution Provider’를 목표로 UAM 전분야에 사업을 추진 중이며 지분 30%를 보유하고 있는 미국 오버에어(Overair)와는 UAM 기체를 공동으로 개발 중



출처: 한화시스템

[그림 Ⅱ-49] 한화시스템이 추진 중인 UAM 사업 분야

● 한화시스템은 1조2000억원 중 4500억원을 UAM 사업에 투자하기로 했고 이 중 핵심 기술 보유업체 지분 인수에 2500억원, 기체·인프라·서비스 개발에 2000억원 투자 예정

– 현재 진행 중인 UAM 기체 개발 뿐 아니라 소형 운항 서비스 업체, 드론업체에 투자하거나 인수해 글로벌 1위 UAM 기업이 되겠다는 목표 설정



출처: 한화시스템

[그림 Ⅱ-50] 한화시스템 UAM 사업 중장기 목표

● 한화시스템은 한국공항공사(KAC)와 김포공항에 에어셔틀(airshuttle) 서비스를 제공해 줄 수 있는 대규모 버티포트를 구축한다는 구상을 바탕으로 파트너십 MOU 체결(20. 07.03)



출처: Hanwha Systems

[그림 Ⅱ-51] 한화시스템-한국공항공사 김포공항 버티포트 조감도

● SKT 및 한국공항공사·한화시스템 등과 UAM 사업화 위한 MOU 체결

– '21년 1월 서울 김포공항에서 한국공항공사, 한화시스템, 한국교통연구원과 도심항공 모빌리티(UAM) 사업화를 위한 업무 협약 체결

제4절 UAM 기술개발 동향

1. 해외 기술개발 동향

가. 기체

■ 도심운항 요건 충족을 위해 eVTOL 중심의 Vectored Thrust, Lift+Cruise, Wingless(Multicopter) 등 다양한 형식의 기체개발이 진행되고 있으며, 일부 선도 기업들은 기체 양산 및 상용화를 위한 초입 단계에 진입

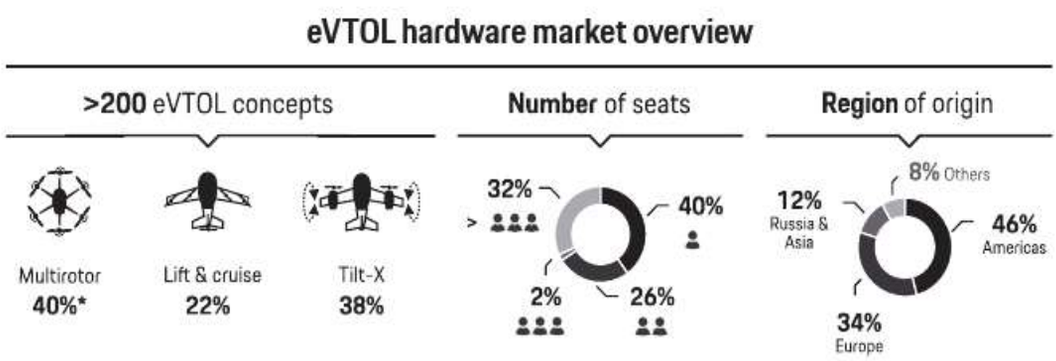


출처: EASA

[그림 Ⅱ-52] eVTOL의 다양한 기체 형식

– 현재 개발 중인 eVTOL 기체 중 Vectored Thrust가 38%, Lift+Cruise 22%, Wingless가 약 40%를 차지함

– 1인승 기체가 40%를 차지하며, 3인승 이상이 32%를 차지하여 주요 개발국은 미국(46%), 유럽(34%), 기타(12%)임



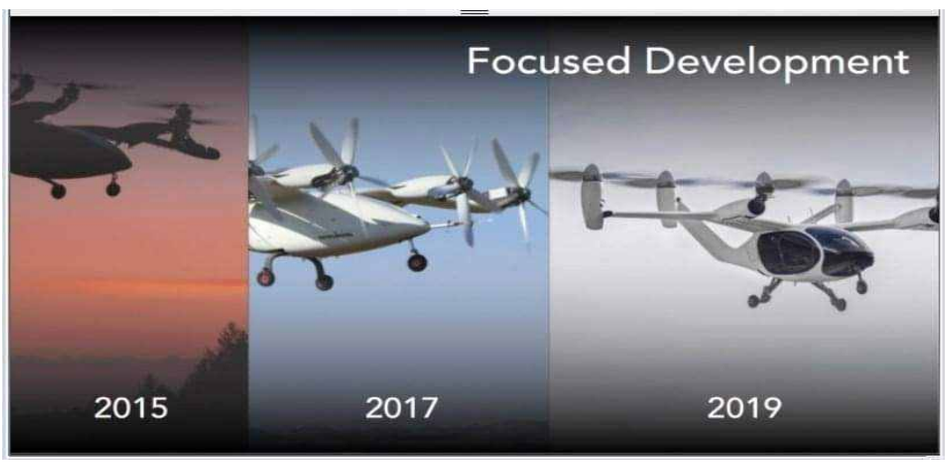
출처: Porsche Consulting

[그림 Ⅱ-53] eVTOL의 기체 개요('21.07)

● (미국) Joby Aviation 등은 미연방항공청(FAA)의 형식증명 절차 진행 중이며 형식증명 완료는 2023년 이내, 상용화 시기는 2024년으로 전망

- (Joby Aviation) 최고 수준의 기체 개발과 함께 다른 기업과 협력하여 기계시스템 개발도 추진 중이며 현재 개발 중인 eVTOL 중 기술적 난이도가 가장 높은 Vectored Thrust S4 개발 중

- Joby Aviation의 기체 개발은 2009년도에 개발을 착수하였고, 4인승 무인비행시제기를 2017년에 최초 비행시험 이후, 2세대 5인승급 유인비행시제기를 2019년에 최초 비행시험을 착수



출처: Joby Aviation

[그림 II-54] Joby Aviation 개발 기체

- 새로운 조종 단순화(SVO, Simplified Vehicle Operations) 기술이 적용된 특허 출원('20.10)

- Toray Advanced Composites社와 eVTOL 비행체용 탄소섬유복합재료 장기공급계약 체결 발표('20.12)

- 미공군(USAF)의 Agility Prime을 통해 MIL-HDBK-516C에 따라 군용감항승인 획득 ('20.12)

- Garmin社와 S-4 eVTOL에 특화된 항전장비 장기 공급계약 체결('21.02)



출처: Garmin

[그림 II-55] Garmin G3000

- Joby Aviation의 S4의 FAA 형식증명을 2023년 완료를 목표로 하고 있으며, 현재, 인증기준 수립 후('20.12) 적합성 입증방법(Means of Compliance) 정의 단계 중임('21.02)

– Joby S4 비행시험 영상 최초 공개('21.04), 전 비행시험 영상(Complete Flight Profile) 공개('21.07), 전기수직이착륙기 최초로 미국 캘리포니아에서 최장거리 150마일(241km) 1시간 17분 시험비행 수행('21.07)



출처: Joby Aviation

[그림 Ⅱ-56] 6xTilt-Prop eVTOL S4(Joby Aviation)

• 기업별 틸트엑스 개발 중 조비 에비에이션은 높은 수준에 위치

* 틸트엑스 기체별 성능 비교분석에 따르면, 틸트엑스 형태로 개발중인 기체 중 Joy Aviaition사가 가장 기술수준이 높은 것으로 나타남

〈표 Ⅱ-12〉 주요 틸트엑스 기체별 성능 비교

종류	제조사	모델명	탑승인원	운항속도	항속거리	탑재중량
틸트엑스	Joby	S4	5	322km/h	241km	453kg
	Lilium	Lilium Jet	5	300km/h	300km	-
	Archer	Maker	5	241km/h	100km	-
	Overair	Butterfly	5	240-320km/h	161km	-

출처: eVTOL News

– Joby Aviation은 항공운송사업증명(AOC, Air Carrier Certificate)를 FAR Part 135에 따라 2022년 중반을 완료 목표로 착수('21.07)

– (Kitty Hawk) 1인승급 틸트프롭 타입의 Heaviside 개발 중이며 2017년 개발 시작으로, 2018년 시제기 제작, 초도비행을 2019년에 수행

– 미공군(USAF)의 Agility Prime을 통해 군용감항승인 획득 ('21.05)



출처: Kitty Hawk 홈페이지

[그림 Ⅱ-57] Kitty Hawk사의 Heavyside

- 2021년 기준으로 13대의 Prototype 기체를 제작함

- (Boeing) Aurora Flight Sciences를 인수하여 eVTOL 개발에 착수('17)

  • Aurora Flight Sciences는 포르쉐 AG와 파트너쉽을 체결('19.10), 개인용 UAM Vehicle 개발을 목표로 협업할 예정

  • Boeing은 선제적으로 eVTOL 개발을 위해 다양한 M&A 및 파트너십(Uber Elevate 등)을 진행했으며, 2019년 PAV의 full-size 모델의 비행에 성공하는 등 UAM 시장에서 자리를 잡아가고 있음

- (Bell) 1946년 세계 최초 상용 헬리콥터 Bell 47을 시작으로, CES 2019에서 첫 eVTOL 모델인 Nexus 6HX를 선보이며 UAM 시장에 진출

  • 많은 eVTOL 경쟁사들이 테스트 비행을 진행한 것과 달리 Bell은 Nexus의 테스트 비행을 진행하지 않고, 상용으로 인증받을 수 있는 eVTOL 설계에 집중

- (Beta Technologies) Lift-Cruise eVTOL인 Alia-250을 개발하고 있으며 미국 UPS 구매계약('21.04) 및 미공군 최초 유인 eVTOL 군용감항승인('21.05), FAA 형식증명 진행 중(~'24)



[그림 II-58] Beta Technologies社의 Alia-250

● (유럽) 대표적인 eVTOL 기체 제작사로 독일의 Volocopter社와 Lillium社 등 기업들이 다양한 국가와의 협력을 통해 기체 개발을 추진

- (Volocopter) 2011년 초창기 모델인 VC1의 유인비행에 성공한 후 현재까지 1,000회 이상의 테스트 비행을 거쳐 상용 eVTOL인 VoloCity를 개발 중

  • Volocopter 2X 모델로 5분간의 무인비행에 처음으로 성공했으며('17), 서울 스마트 모빌리티 엑스포에 참가, 국내 UAM 시장진출 의지 피력 중('19)

  • 미 FAA Volocity 동시 형식증명 검증 신청 사실 공개('21.01)

- 공항과 기차역 등의 교통 서브를 연결하는 도시 안에서의 항공플랫폼인 Volocity는 조종사 포함 2인승이며 추후 자율비행 시, 2명의 승객을 태우고 최대 35km까지 이동 가능



[그림 Ⅱ-59] Volocopter 2X

출처: Volocopter

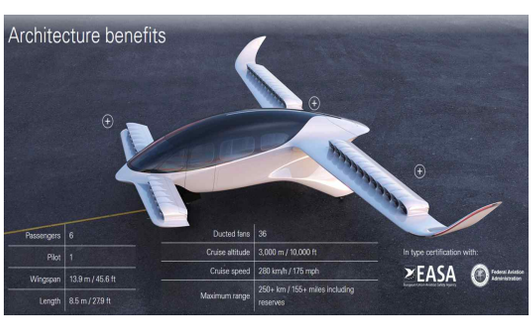


[그림 Ⅱ-60] Volocity

– 4인승, 최대 순항 속도 250 km, 최대 100 km 이동, 안전도 10-9을 만족하는 Lift-Cruise 형태의 Voloconnect 개발을 발표하고 인증을 5년 이내에 마칠 것을 발표('21.05)

– (Lilium) 기본적으로 5인승 급의 고정익 eVTOL 기체를 개발하고 있으며 연간 400대 생산이 가능한 시설을 구축하는 등 양산시설 확보를 위해 노력하고 있음

- 부동산 민간투자 기업 및 미국 올랜도市와 협력하여 자사의 Lilium Jet이 운용될 수 있는 버티포트를 '25년까지 구축할 예정
- Toray Industries와 eVTOL 항공기용 탄소섬유복합재 공급계약 체결('20.07)
- Aciturri社와 릴리움 제트의 주요 복합재 구조물 장기 공급계약 체결('21.02)
- 7인승 급 수직이착륙 제트기(7-seater eVTOL jet) 개발 현황 공개('21.03)
- 7인승 급 Lilium Jet의 EASA와 FAA 형식증명 2024년 완료를 목표로 인증 일정 공개('21.06)





출처: Lilium

[그림 Ⅱ-61] Lilium Jet

● (중국) 드론 택시사업자인 이항(EHang)을 중심으로 UAM 기체개발을 추진 중이며, 유럽 등 여러 국가와의 협업을 확대하고 있음

– (EHang) 자율주행 비행기를 통한 여객 운송, 물류, 미디어 등의 영역에서 제품을 공급하는 민영 드론 기업으로 세계 최초로 드론 택시인 '이항 184'를 선보임

- '이항 184'는 최고 시속 130km/h으로 운항 가능하며, 15km 왕복주행에 성공함('18)

• 서울에서 국토교통부와 '도심항공교통 실증비행 행사'에서는 EHang의 기체(EH216)에 시험하중 탑재하여(20kg 증량 물류 4개) 약 50m 상공을 약 7분간 비행에 성공함('20.11)



출처: Ehang

[그림 Ⅱ-62] EHang 184



[그림 Ⅱ-63] EHang 216

• 두바이, 스페인 정부와 협력해 다양한 서비스의 UAM 사업을 추진하고 있으며 중국은 선전에 거점을 둔 관광 플랫폼 기업 LN 홀딩스와 제휴를 맺고 LN 호텔에서 UAM을 연계한 항공모빌리티 관광 프로그램을 개발할 예정

• 조종사가 탑승 및 조종할 수 있도록 개조한 EHang 216M은 CAAC(중국민용항공국)에서 2022년 형식증명 완료 목표로 인증 절차 진행 중임,

• 장거리 Lift-Cruise 형태인 VT-30 시제기공개('21.5) 및 비행시험('21.05)



[그림 Ⅱ-64] EHang VT-30

• 일본에서 최초로 EH216 AAV 무인 및 자율비행 조건으로 시험비행 수행('21.06)



[그림 II-65] EHang 216 AAV 시험비행 (일본 오카야마현, '21.06)

– (지리자동차) 볼보자동차를 소유한 중국 지리자동차는 미국 '테라퓨지아(Terrafugia)'를 인수하여 UAM 관련 기술과 데이터를 확보하고 Flying car 개발 중

• 지리자동차는 확보된 기술력으로 2인승 플라잉카 생산에 성공하였고, 2025년에는 4인승 플라잉카 모델을 출시할 계획



출처: 테라퓨지아 홈페이지

[그림 II-66] Terrafugia의 UAM인 트랜지션

• 지리는 최근 전기 배터리로 최장 6시간 동안 비행할 수 있는 드론(무인기)을 새로 내놨으며 2017년 인수한 미국 스타트업을 통해 하늘을 나는 자동차 '플라잉 카(flying car)'도 개발 중

〈 UAM을 위한 주요 기체개발 현황 〉

구분	(중)Ehang	(독)Volocopter	(독)LILIUM
비행체			
특징	- 장거리 Lift-Cruise 형태(VT-30) - 9개 프로펠러(수직 이착륙 프로펠러 8개, 추진력 프로펠러 1개) - 2인승 - 비행시간 100분 - 항속거리 300Km	- 18개 프롭(18×3.9kw) - 날개없음 - 2인승(VC200) - 100kph - 폭 9.15m	- 36개 틸트 덕티드팬 - 2인승시제기(Eagle-640kg) - 300kph - 항속거리 300km
개발 일정	-'21 수직 이착륙 시험비행 완료 및 개발현황 공개	- '11 개발착수 - '13 무인모드 초도비행 - '16 유인초도비행 - '22 실용서비스	- '13 개념 - '17 2인승 무인 모드초도비행 - '19 유인초도비행 - '25 실용서비스 (5인승)
비고	-	- Daimle, Intel 등 $30M 투자	- Tenscent, Atmico 등 €90(+10)M 투자
구분	**(독)LILIUM**	**(미)Joby**	**(중)Ehang**
비행체			
특징	- 7인승(7-seater eVTOL jet) - 280kph - 항속거리 250Km	- 5인승(S4) - 규격/성능 비공개	- 8개 동축프롭 - 1인승(184, 360kg) - 60kph - 길이 4m - 2인승(16개 동축프롭)
개발 일정	- '15 개발착수 - '19 5인승 모델 발표 - '21 7인승 개발 공개 - '22 시험비행 - '24 실용서비스	- '09 설립 - '14 2인승 CFD해석 결과 공개 - '18 5인승 개발 공개	- '12 개발착수 - '16 초도비행 - '18 1천회 이상 유무인비행 - '18 출시
비고	-	- Intel, Toyota 등 $100(+30)M 투자	- Daimle, Intel 등 $30M 투자

나. 인프라

■ 기체개발업체 및 인프라 구축업체들 간 협력 등을 통해 버티포트의 컨셉 디자인 및 기본설계를 마련하고 구축을 위해 노력 중

● (미국) Uber Elevate, Beta Technologies 등 기업은 다양한 기업들과의 협력을 통해 버티포트의 입지와 요구조건을 마련

– (Uber) 편의성 확보, 교통 연결성, 직관적 사용자 경험, 운용성, 모듈화 구축, 환경적 악영향(소음 등) 최소화 등의 디자인 원칙 적용하여 설계

– UAM 단독 교통수단이 아닌 기존 도시교통체계에 통합되어 상호 운용성을 확보할 수 있는 방향으로 설계



출처: Corgan(2019)

[그림 Ⅱ-67] Uber社와 코건社가 합작한 버티포트 조감도

– UAM 전담 자회사인 Uber Elevate를 설립('16)하고 항공 택시 서비스인 'Uber Air'를 개발

• UAM 인프라, 공역 및 운용개념 등의 연구를 수행하고, Aurora, Bell, Embraer 등과 협력하여 서비스를 개시할 예정

• 최초 서비스는 Texas Dallas에서 기존 헬리패드 및 헬리콥터 운용루트 (skylanes)를 이용하여 시험비행을 개시('20) 후, 상용 승객 운송을 시작할 예정('23)으로 향후 LA, 두바이 등으로 확대

• 또한, Uber는 국제적 위상 제고, 이슈 선도를 위해 매년 Uber Elevate Summit을 개최, 기체개발·금융·건설 등 협력관계를 형성하기 위해 노력 중



출처: Uber Elevate

[그림 Ⅱ-68] Aerial ride sharing with Uber Air

• 우버가 우버 엘리베이트 사업부를 조비 에비에이션에 매각 후 현재는 조비 에비에이션이 세계 최초의 UAM 상용 서비스 진행 중('20.12)

– (Beta Technologies) 도시 간 의료 응급 수송을 위한 버티포트 구축을 위해 건축 구조물 최적화, 태양광 발전 패널 적용 등의 기술 개발 추진 중



출처: Beta Technologies

[그림 Ⅱ-69] full-featured recharging pad

● (유럽) 기체 제작사인 Volocopter社 및 Lilium社는 기체개발 뿐만 아니라 국가·기업 등과 파트너십을 통해 버티포트 구축도 추진 중

– (Volocopter) 스카이포트(Skyports), 싱가포르와 협력('19.05)하여 프로토타입의 Voloport를 싱가포르에 건축하는 등의 성과를 보이고 있음

• 볼로포트는 수직이착륙뿐만 아니라 배터리 교체 및 충전, PAV의 유지·보수 등이 가능하도록 설계



출처: Volocopter, 2019

[그림 Ⅱ-70] Voloport 컨셉사진(외부(좌), 내부(중)), Singapore 기체 이착륙장(우)

– (Lilium) 미국 올랜도市와 협력하여 자사의 Lilium Jet가 운용될 수 있는 버티포트를 '25년까지 구축할 예정

• Uber의 Skyport개념과 마찬가지로 Lilium의 vertiport는 사람들이 비행택시를 오고 갈 때 승하차 할 수있는 승객스테이션 역할

• Lilium의 경우 최대 5명의 탑승자와 함께 올랜도의 노나 호수 지역에서 수직으로 이착륙하는 완전전기항공기들이 착륙할 수 있는 버티포트 계획 중




출처: Lilium

[그림 II-71] Lilium's Vertiport at Lake Nona

● (중국) Ehang은 '20년 허저우市에서 E-Port 목업 형상을 공개하고 유럽 회사와 버티포트 구축을 위해 파트너십 체결

– EHANG은 UAM의 베이스 포인트를 지상에서 착륙하고 이륙하는 장소를 지정하고 이를 통해 UAM Vehicle들이 각각의 베이스 포인트들 사이로만 운항하도록 설계



출처: Ehnag

[그림 II-72] E-Port 형상

– EU에서의 항공 모빌리티 솔루션 확장을 위해 이탈리아의 건축 회사 Giancarlo Zema Design Group(GZDG)과 파트너십 체결

• GZDG는 이탈리아에 친환경 버티포트를 설계하고 건설할 예정이고 버티포트는 녹색 디자인과 건설 재료를 사용할 것이며, EH216 승객 등급의 AAV를 재충전하기 위한 에너지를 생성할 수 있도록 설계



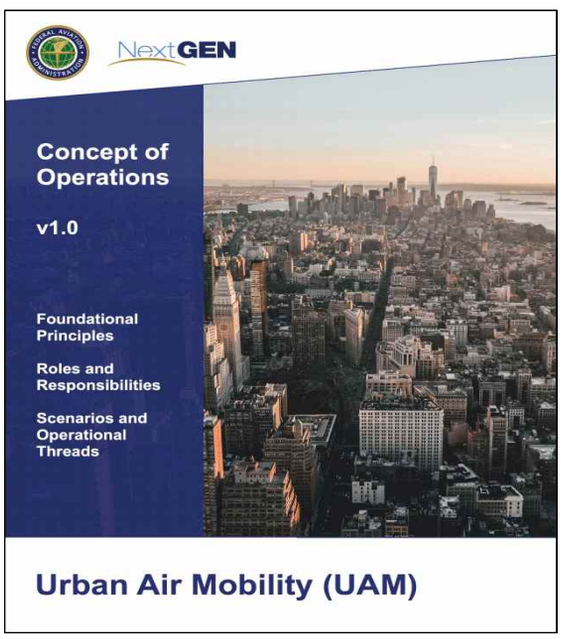

출처: 드론경제(http://www.droneeconomy.co.kr)

[그림 II-73] GZDG가 디자인한 친환경 버티포트

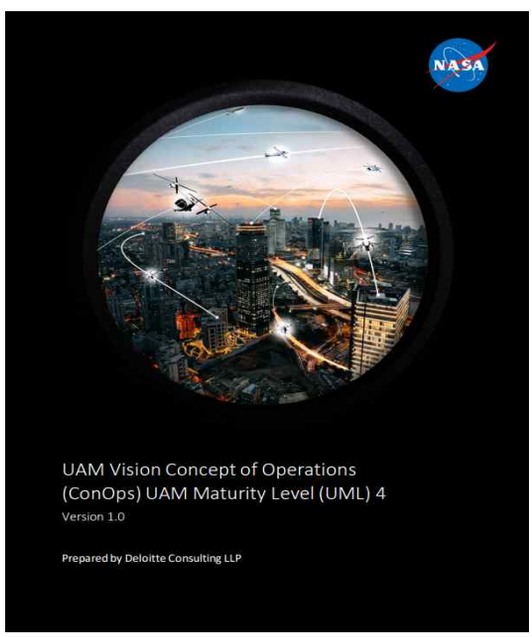
다. 항행·교통관리

■ NASA·FAA는 UAM 운용을 위한 ConOps 발간, EASA는 교통관리를 위한 가상 운항실증 등을 추진 중

● (미국) UAM 운용 생태계의 구성 및 참여자들의 역할을 기술하고 ATM 및 ATC 등을 배경으로 UAM ConOps v1.0을 발표



〈FAA UAM ConOps 1.0 ('20.06)〉

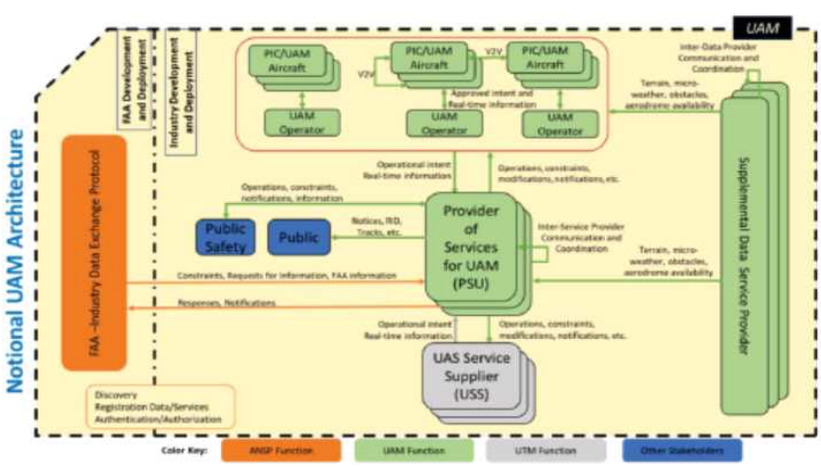


〈NASA UAM Vision ConOps UAL 4 1.0 ('20.12)〉

[그림 Ⅱ-74] FAA UAM ConOps와 NASA UAM CopOps

– NASA는 운용개념의 검증 및 실증, 실증을 통한 운용 관련 데이터 확보, 필요한 요소 기술 식별 등의 목적으로 National Campaign 진행 중

– FAA는 UTM 운용개념에서 제시된 FIMS(Flight Information Management System)와의 구조를 기반으로 하여 UAM과 PSU 그리고 USS 사업자 간의 정보 연계 체계를 구축하고자 함



출처: FAA UAM ConOps 1.0

[그림 Ⅱ-75] UAM 아키텍쳐 개념도

● (유럽) EASA 등을 중심으로 UAM 운항을 위한 개념 수립을 하고 있음

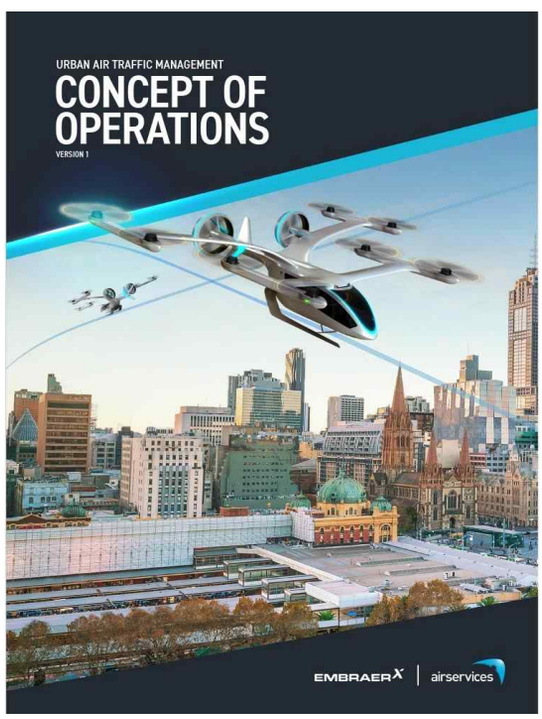
● (기타) 브라질의 EmbraerX에서 UATM 운영컨셉을 발표하고 있고 호주와 협력하여 UATM ConOps V1.0을 발간하는 등 적극적인 행보를 보이고 있음

- EmbraerX에서 기존의 항공교통관리(ATM)과 소형드론의 저고도교통관리(UTM) 사이에 도심 항공모빌리티의 교통관리(UATM) 개념을 제시한 'Flight Plan 2030'을 발표('19)

- EmbraerX에서는 조종사, Vertiport, 운항사, USS 등 이해관계 당사자 및 정부 당국 간 역할과 책임을 담은 도심형 항공교통 관리(UATM)의 ConOps을 발표('20.12)



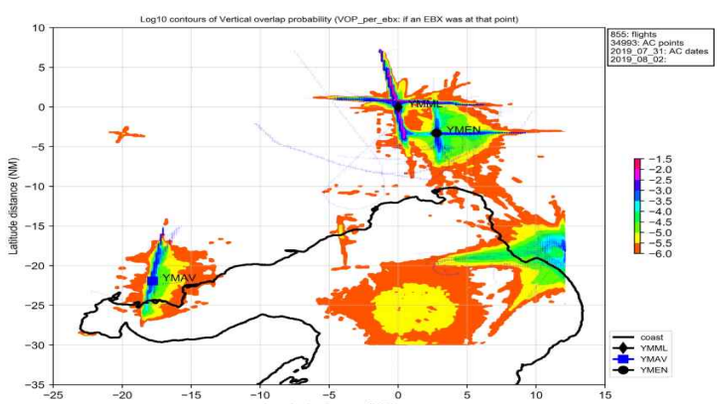
〈Flight Plan 2030〉



〈UATM ConOps 1.0〉

[그림 II-76] EmbraerX Flight Plan 2030과 UATM ConOps

- 호주 멜버른 지역에서 기존 ATM 체계가 UAM 비행체의 운항 대수에 따른 수용 가능성을 시험하기 위한 시뮬레이션 연구를 수행



출처: "Urban Air Traffic Management Concept of Operations", EmbraerX, 2020

[그림 II-77] 호주 멜버른에서 UAM 운용 시 항공기와 충돌확률 시뮬레이션

2. 국내 기술개발 동향

가. 기체

■ 현대자동차 및 한화시스템는 해외 스타트업과 eVTOL 개발 협력 중

● (현대자동차) Uber와 협력하여 5인승급 eVTOL 모델인 S-A1을 개발하였으며 플라잉카 시제품 개발을 위해 국내 및 해외 업체와 MOU 체결

– CES 2020에서 Uber와 협력하여 개발 중인 PAV 모델 'S-A1' 및 모빌리티 환승 거점 등을 포함하는 미래 모빌리티 비전을 공개하고 '28년 상용화 계획을 발표함



[그림 II-78] 현대자동차 PAV 콘셉트모델 S-A1

– '21년 현대차 유럽 내 모빌리티 서비스 활성화를 위해 현대차 유럽법인은 우버 유럽법인과 전략적 제휴 맺음

• 이번 제휴로 현대차는 코나 일렉트릭 또는 아이오닉 일렉트릭을 구매 등 할인 혜택 제공

– '21년 현대자동차는 방위산업체인 LIG넥스원·한국항공우주산업(KAI)과 한국형 도심항공교통(UAM) 시장 조성을 위한 기술·인프라스트럭처 협력을 추진

• 협력이 이뤄질 경우 현대차그룹 UAM사업부가 컨트롤타워가 될 것이며 LIG넥스원은 탑재체를 개발하고 항전시스템 통합 및 지상통제시스템 구축, KAI는 수직 이착륙 등 항공 관련 기술 등을 현대차와 공유하고, 비행체를 개발함과 동시에 지상·비행 시험을 통한 실증 검증까지 추진 예정

● 한화시스템은 오버에어社 등 해외 기업과 에어택시 기체를 공동개발 중이며 국내에서도 UAM 사업모델 및 생태계 구축을 위해 기체개발 추진 중

– Uber의 PAV 제조협력사인 Overair사의 eVTOL 공동개발에 25백만달러를 투자했으며, 2025년 에어택시 시장에 본격적으로 진출할 계획을 발표함

• Overair는 Uber Elevate 협력사인 Karem Aircraft 자회사로 현재 eVTOL 모델인 Butterfly를 개발 중(5인승급, 최고속도 322km/h)



[그림 II-79] Overair Butterfly

– 국내 통신사(SKT), 한국공항공사 등 UAM 핵심 주체들과 MOU를 체결하고 기체개발을 추진 중

• 한화시스템은 기체·항행교통 기술 및 버티포트 통합운영 시스템 개발, 한국공항공사는 버티포트 구축·운영 및 UAM 교통관리 분야, SKT는 모빌리티 플랫폼 및 통신네트워크 모델 구축, 한국교통연구원은 UAM 서비스 수요예측 및 대중수용성 연구를 진행

■ 글로벌 선도기업들은 시험서비스 단계까지 도달하였으나, 국내 기체 개발업체들은 아직 시험평가 전단계 수준으로 차이가 존재

● (선도기업) ’20년 이전에 유인 및 무인 형태의 비행시험을 완료하였으며, 형식증명 획득 등을 위한 시험서비스 단계에 진입

– (Volocopter) ’11년 VC1을 초도비행으로 시작하여 현재 DB쉥커, 프라운호퍼, 볼로 드론 등의 로지스틱스 지상운용 합동 정적 개념입증 수행 발표

– (Joby Aviation) ’09년부터 수직이착륙 항공기를 개발하고 1000여번의 시험 비행이 이루어졌으며 ’24년까지 항공 택시 서비스를 시작할 예정

– (EHang) EHang184를 ’14년에 개발 착수했으며, 이후 EHang 216 개발 및 형식증명 진행 중이며 장거리 Lift-Cruise 형태인 VT-30 시제기 공개(’21.5)

● (국내기업) 국내는 한화시스템 및 현대자동차를 비롯해 다양한 기업과 협업 및 부품 설계와 제작 등 추진 중

– (현대자동차) ’19년 현대자동차는 ’25년까지 스마트 모빌리티 솔루션 공급자로 변화한다는 “Strategy 2025”로드맵을 발표(‘19.12), Uber와 협력하여 현대자동차의 스마트 모빌리티 기술과 함께 S-A1 개념설계 발표(‘20.1)

– 대한항공, KAI 등과 물류용 기체 개발을 검토 예정이며 승객 및 화물 운송 시장을 아우르는 제품군 구축을 계획 중

- ’26년에 물류, ’28년에 여객을 대상으로 도심항공기를 상용화하는 전략을 수립해 미국과 한국 본부를 별도로 구축하고, 각각 여객용 기체와 물류용 기체를 개발 중
- (한화시스템) PAV 개발 선도 기업인 오버에어사에 약 300억 원을 투자하고 ‘버터플라이’ 기체 개발 전 과정에 적극 참여 중
- ’21년 상반기에 에어모빌리티 기체의 핵심인 ‘전기 추진 시스템’을 테스트할 계획이며 ’24년까지 기체 개발을 완료하고 ’25년에는 시범 서비스를 예상 중
- 중기부와 약 400억 원의 공동투자형 기술개발 자금과 동반성장 상생펀드를 조성할 계획이며 이를 통해 UAM, 저궤도 위성통신, AI 등에서 핵심기술을 보유한 유망 중소·벤처기업을 발굴하고 육성할 계획



[그림 Ⅱ-80] 국내외 주요기업간 기체개발단계 비교

나. 인프라

■ 기체개발업체인 현대자동차와 한화시스템을 중심으로 국내외 UAM 인프라 구축 및 생태계 조성을 위한 협력 진행

● (현대자동차) 국내외 업체들과 협력하여 버티포트 개발 및 구축을 추진 중

– 영국 Urban Airport 및 2개 도시(West Midland, Coventry)와 버티포트 개발 및 구축을 위한 협약을 체결함



[그림 Ⅱ-81] 현대자동차 허브(Hub) 컨셉

– 국내에서는 인천국제공항공사, 현대건설, KT 등과 K-UAM 추진을 위한 MOU를 체결하고 이착륙장 건설 및 운영 등 UAM 인프라 개발을 위한 공동연구 추진 중

- 인천공항공사는 인천공항 UAM 인프라 구축과 운영을 담당하며, 공항셔틀 운영개념 및 타당성 연구 등을 수행
- 현대건설은 UAM 수직 이착륙장인 버티포트(Vertiport)의 구조 및 제반시설 설계·표준안을 마련하고, 육상교통과 연계된 UAM 환승센터 콘셉트를 개발
- KT는 UAM 통신인프라 구축과 에어-그라운드(Air-Ground) 연계 모빌리티 사업 모델 및 UTM(Unmanned aerial system Traffic Management : 드론교통관리) 시스템 개발 등을 추진



출처: 현대자동차

[그림 Ⅱ-82] K-UAM 성공적 실현 및 시험비생 실증을 위한 업무협약

– 현대자동차가 영국 모빌리티 기업 '어반에어포트(Urban-Air Port)'와 함께 도심항공모빌리티(UAM) 인프라 개발을 위해 MOU 체결

• 현대자동차그룹이 세계 최초로 도심항공모빌리티(UAM) 핵심 인프라 중 플라잉카 공항 '에어원(Air One)' 건설에 착수했으며 에어원을 토대로 향후 5년간 전 세계적으로 200개 플라잉카 인프라를 구축한다는 계획 발표



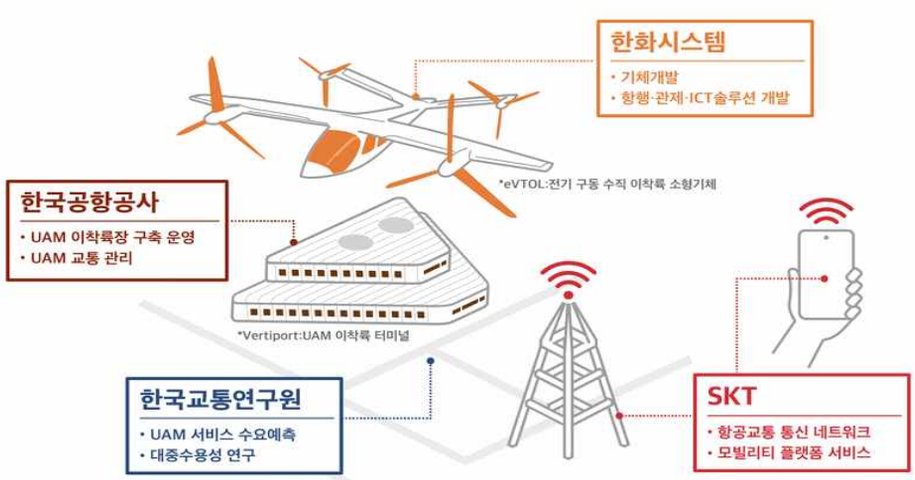
출처: 현대자동차

[그림 Ⅱ-83] 도심항공모빌리티(UAM) 핵심 인프라인 플라잉카 공항 '에어원'

● (한화시스템) 한국공항공사, SKT 및 한국교통연구원 등과 'UAM 사업 협력을 위한 4자 업무협약'을 맺고, 미래모빌리티 토탈솔루션 구축 노력

– 4개사는 상호협력을 통해 UAM 기체개발, 버티포트 인프라, 운항 서비스, 모빌리티 플랫폼에 이르는 'UAM 밸류체인'을 구축, UAM 생태계 조성 및 활성화를 추진

• 한화시스템은 기체·항행교통 기술 및 버티포트 통합운영 시스템 개발, 한국공항공사는 버티포트 구축·운영 및 UAM 교통관리 분야, SKT는 모빌리티 플랫폼 및 통신네트워크 모델 구축, 한국교통연구원은 UAM 서비스 수요예측 및 대중수용성 연구를 진행



출처: SKT

[그림 Ⅱ-84] 한화시스템-한국공항공사-한국교통연구원-SKT UAM 사업 협력방안

다. 항행·교통관리

■ 항공교통관리 중 ATM/UATM/UTM 비교 설명

● 항공기항공당국이 직접 수행하는 ATM과 달리 UTM 및 UATM은 자격을 갖춘 민간 영역에서 교통관리 업무 수행 예정

– UTM은 USS가, UAM은 PSU가 항공당국의 인증을 받아 교통관리 업무를 수행 예정이며, 인증은 USS, PSU 각각 개별적으로 진행

– UATM은 버티포트, 회랑 등을 모든 이해당사자가 공유하는 개념으로 기존의 ATM 개념과 유사(공항, 항로의 공유)하나 UTM에서는 공유의 개념은 존재하지 않으며, 공역(이동경로 또는 작업공역)의 배타적 확보만을 목적으로 함

〈표 II-13〉 ATM/UATM/UTM 비교 설명

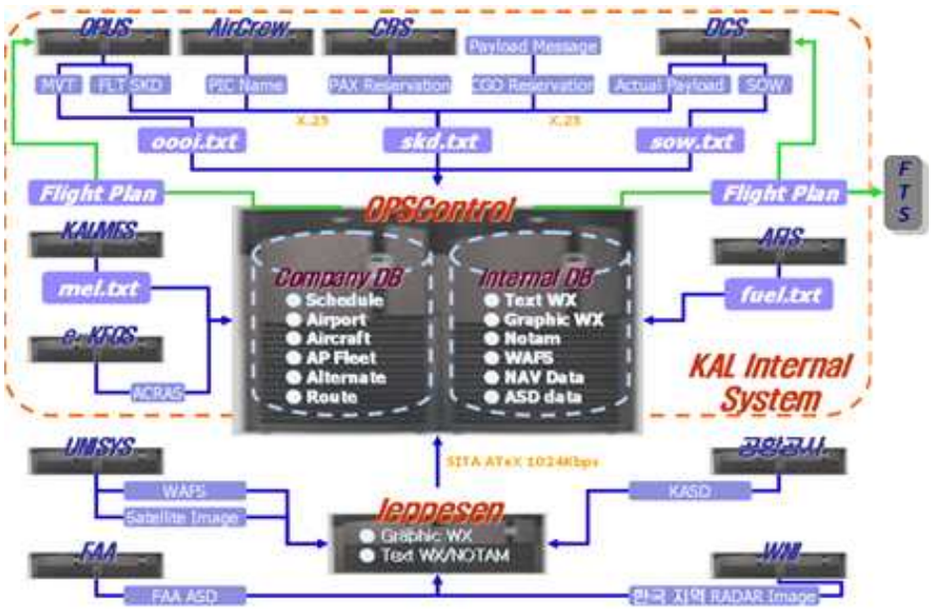
구분	ATM (Air Traffic Management)	UATM (Urban Air Traffic Management)	UTM (UAS Traffic Management)	비고
교통관리 대상	유인항공기	유·무인 항공기* (도심항공모빌리티 등)	무인비행장치 (소형 드론 등)	
공역	전 공역	150m〈고도〈유인기 항로	고도 150m 이하	
특징	· 인간(ATC) 중심의 관제	• UTM 데이터 중심의 교통관리 철학을 이어받아 개발 진행 중 • NASA에서는 UTM inspired ATM 기술 • UATM의 경험은 다시 ATM에 전수 되어 전공역 통합 교통관리 시스템으로 발전 전망	• ATM의 자동화 경험을 전수하여 개발 진행 중 • 데이터 중심의 교통 관리	UAM은 이제 막 태동하는 사업으로 전 세계적으로 UAM 관련한 CNSi 실시 예는 없으며, 선두 그룹의 각 지역에 알맞은 CNSi를 설계 구축해야 함

■ 국내에서는 ATM 기술 중 일부를 UAM용으로 컨버전 가능할 것으로 보이나, 이를 위한 연구개발이 기초연구 단계임

● 대형 여객 운송 사업자를 통신·항법·감시(CNS)/항공교통관리(ATM) 분야에서는 관련 정보를 기반으로 주요 운용 시스템 구축 및 활용이 활발히 이루어지고 있음

– 국내 여객기 운항사는 운항 계획 수립에 필요한 Data 기반의 공유 체계를 구축하여 비행 계획 수립에 활용하고 있으며, 체계적인 절차 수립과 시스템 구축을 통해 효율적인 비행 계획 수립

• 대한항공은 비행 계획 시스템으로 Jeppesen 사의 OpsControl을 도입하여 운용 중



[그림 II-85] CNS/ATM 비행계획 시스템 데이터 공유 체계 개념 예시

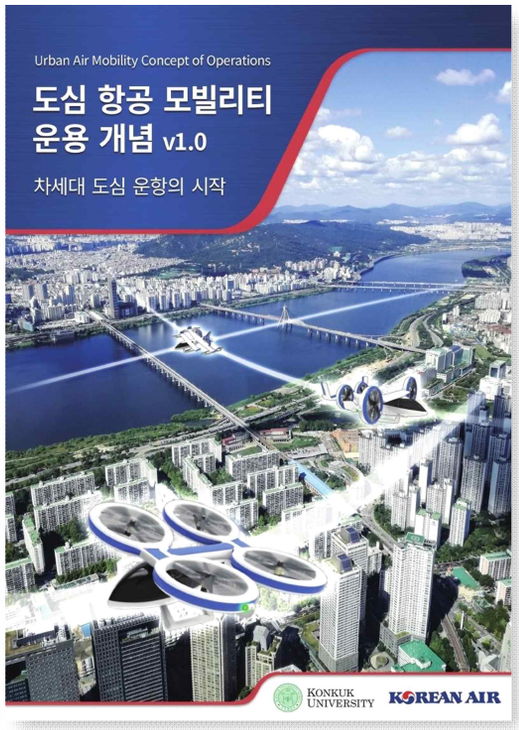
– 현행 CNS/ATM 운용 환경에서 운항사는 지상 종합통제센터와 항공기 간 원활한 통신망을 구축하여 항로 변경 등과 같은 비정상 운항에 대응할 수 있는 통신 체계를 갖추고 있음

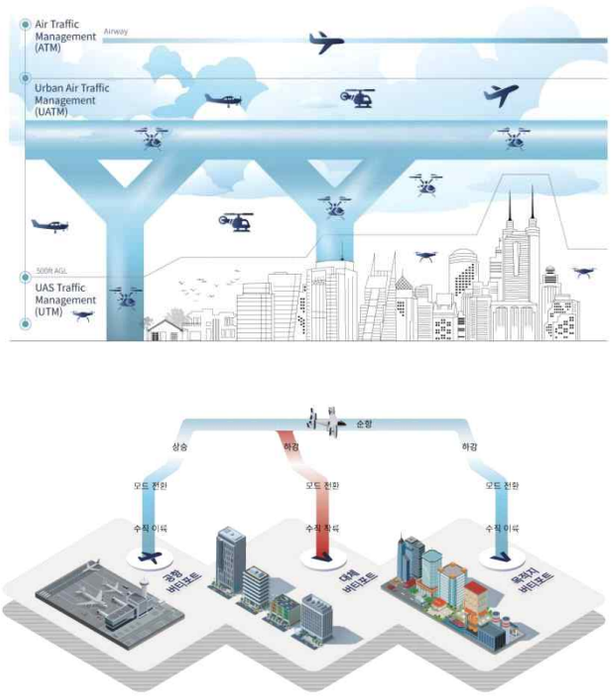
• 대한항공 EMS 통신 체계는 VFR Radio 및 위성전화 등의 Voice 통신 기반의 통신 체계를 구축/운용 중



[그림 II-86] 응급의료헬기 통신 체계 (예시, 대한항공)

– 건국대학교와 대한항공은 도심항공모빌리티 공동연구 MOU를 체결하고 국내에서 최초로 UAM의 운용개념을 수립한 ConOps 발표 (‘21.06)





출처: KU-KE 도심항공모빌리티 운용개념 v1.0

[그림 Ⅱ-87] KU-KE 도심항공모빌리티 운용개념 v1.0

- 기존 항공기 운용을 위한 ATM 환경 내에서 UTM과 UATM이 운영될 경우 다양한 비행체의 동시 운항에 따른 교통량 증가에 따른 복잡성 해소를 위한 고도분리, 운항 수용량, 교통 흐름 관리 기법, UAM 제어, 운항관리 수준 등이 변화되는 것에 따른 단계를 3가지로 나누고 그에 따른 세부적 운용 개념 제시

제5절 시사점

■ (정책) 산·학·연의 기체·인프라 등 개발 상황을 고려하여 운용개념 설계 및 상용화·실증 등 기반 조성을 위한 기술적·제도적 기반 마련 중

- (국외) 국가 주도로 중장기적인 추진방향을 수립하고, 민간에서 UAM 상용화 진입에 필요한 운영개념, 인증·실증 및 연관 제도 등을 마련
- (국내) 주요 부처 통합 기술·제도 측면의 중장기 플랜 수립 및 美 FAA·NASA와의 공동 협력 추진 등 국가 차원에서 UAM 선도를 위한 강력한 의지와 역량을 결집

■ (시장) UAM은 미실현 시장임에도 불구하고, 높은 잠재력 및 성장성으로 미래 먹거리 시장으로 국내외 주요국, 글로벌 업체들이 주목

- (국외) 주요국들은 UAM의 높은 성장성·잠재력에 주목하고, 스타트업부터 글로벌 기업까지 다양한 기업·산업에서 시장 선점을 위한 시장 참여 활발
- (국내) 현대자동차 및 한화시스템 등은 UAM을 미래 먹거리로 판단하고, UAM 분야에 대한 대규모 투자 계획 및 국내외 협력 추진

■ (기술) 주요 선도기업들은 상용화 진입단계로 UAM 상용화 및 선도국으로 진입하기 위해서는 핵심기술 중심으로 기술 확보 필요성 증가

- (국외) 기체개발 선도기업들은 시제기 개발단계를 지나 상용화를 위한 형식증명 진행 중이며. UAM 운영에 필요한 버티포트 및 교통관리 등에 대한 개념설계·구축·실증 추진
- (국내) 해외업체와 공동개발 중인 기체는 '22~'23년 비행시험 단계에 진입 예정이며, 버티포트는 국내 양대 공항공사 중심으로 추진, 교통관리체계는 UTM을 기작으로 국가 R&D로 추진 예정

제3장

한국형 도심항공교통 실현을 위한 미래시나리오 도출

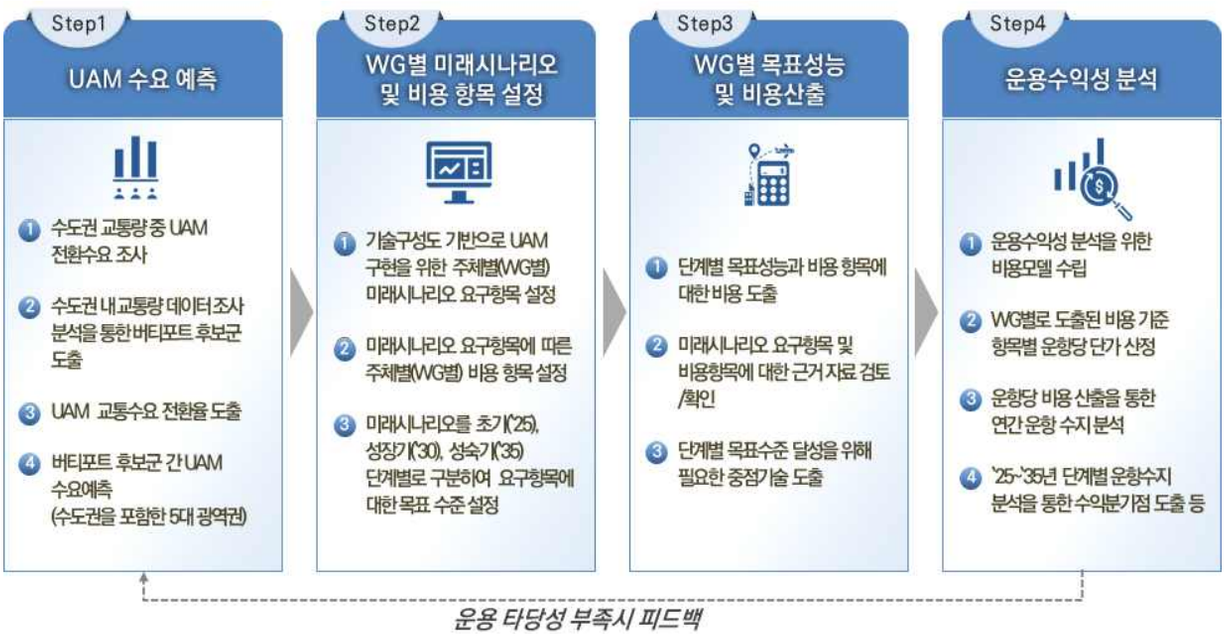
제1절 UAM 수요 기반 미래 시나리오 도출 프로세스

제2절 K-UAM 미래시나리오 도출

제1절 UAM 수요 기반 미래시나리오 도출 프로세스

1. 미래시나리오 도출 프로세스

■ UAM 구현을 위한 중점기술 및 목표성능을 도출하기 위한 미래시나리오 도출



[그림 Ⅲ-1] 운용수익성 기반 미래시나리오 도출 프로세스

● (Step1) 수도권 교통량 자료 및 설문조사 결과를 통해 UAM 수요를 예측[12)]

– 수도권 기존 교통수단(승용차, 버스, 택시 등) 이용객 중 UAM으로 전환되는 비율을 도출하기 위해 SP(Stated Preference, 잠재선호도)조사를 실시

– 수도권 교통량 데이터를 분석하여 교통량 순 등으로 버티포트 가상 후보군을 도출

– SP조사결과를 기반으로 운임, UAM 기체 속도, 버티포트 접근시간 등의 주요요인을 고려한 UAM 전환율 도출

– 버티포트 가상 후보군별 교통량에 UAM 전환율을 적용하여 후보노선별 수요예측 결과 도출

● (Step2) UAM 기술구성도 기반의 UAM 미래시나리오 항목 및 운용수익성 분석을 위한 비용모델 항목 설정

– 미항공우주국 등의 UAM 유관자료를 참조하여 기술구성도(Tech Tree) 도출

12) 국토교통부 "자율비행 개인항공기 인증 및 운용기술개발사업"의 4세부과제(OPPAV 교통서비스체계 도입방안 연구) 연구성과를 미래시나리오 도출을 위한 분석자료로 활용(주관기관: 한국교통연구원)

– 기술구성도 기반으로 미래시나리오의 기술요구항목을 설정하고 운영수익성 분석을 위한 비용모델 항목을 도출

– 한국형 도심항공교통(K-UAM) 로드맵의 마일스톤에 입각하여 미래시나리오의 단계별 초기 목표 설정

● (Step3) 미래시나리오의 요구항목별 목표성능 및 UAM 운용비용모델 항목별 비용을 도출

– 미래시나리오 요구항목별 목표성능 및 비용모델 항목별 비용(공급가격) 검토 및 도출 등

– 단계별 목표수준 달성에 필요한 중점기술 도출

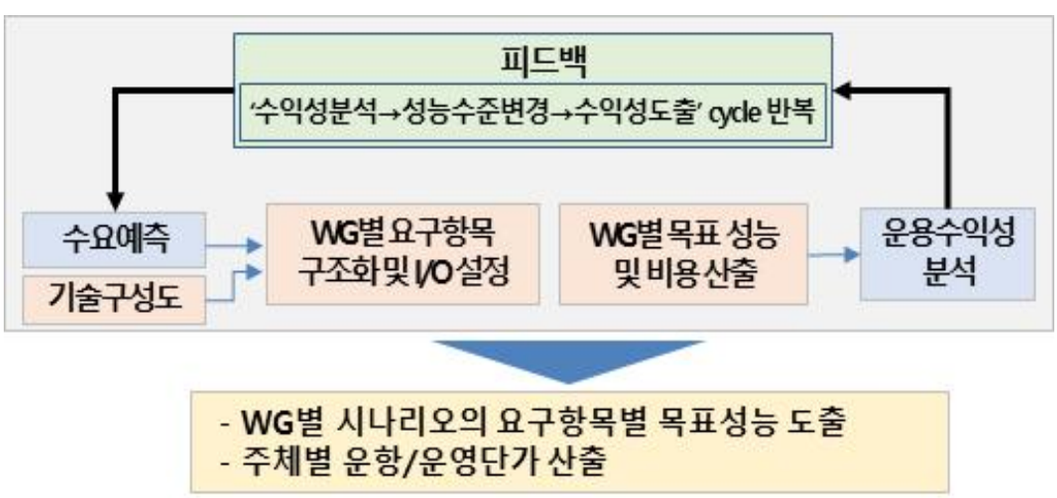
● (Step4) 미래시나리오의 목표성능 확정을 위한 운용수익성 분석

– 운용수익성 분석을 위한 비용모델 확정

– 비용모델 항목별 비용 기준으로 UAM 운용에 따른 운항당 단가 산정

– 운항당 비용을 통한 연간 운항 수지 분석 및 수익분기점 등을 도출

* UAM 운용수익성 기준으로 타당성이 확보될 때까지 목표성능 및 공급가격(비용)에 대한 순환 검토 수행



[그림 Ⅲ-2] 운용수익성 기반의 순환 검토 프로세스

2. WG별 역할 및 협력 프로세스

■ 실무작업단(Working Group, WG) 구성 및 역할

● (WG 구성) UAM 실현을 위해 7개 분야로 WG을 구성

– UAM 생태계를 구성하는 주요 주체별(Stakeholder)별로 4개 분야로 구조화

• 기체/부품(제작사, MRO 등), 항행/교통관리(관제, PSU 등), 인프라(버티포트 운용사 등), 서비스(운항사, 정보제공사업자 등)

– UAM 운용수익성 분석을 위해 분야 2개(시장, 운용수익성)

– 중장기적 관점에서 UAM 선도국가를 달성하기 위한 미래선도기술 검토 분야(기술)

● (WG간 업무연계도) UAM 생태계 관련 WG에서 도출된 결과를 운용수익성 WG에서 수익성 분석을 수행하고, 이를 운용수익성WG→시장WG→생태계 관련 WG 순으로 피드백

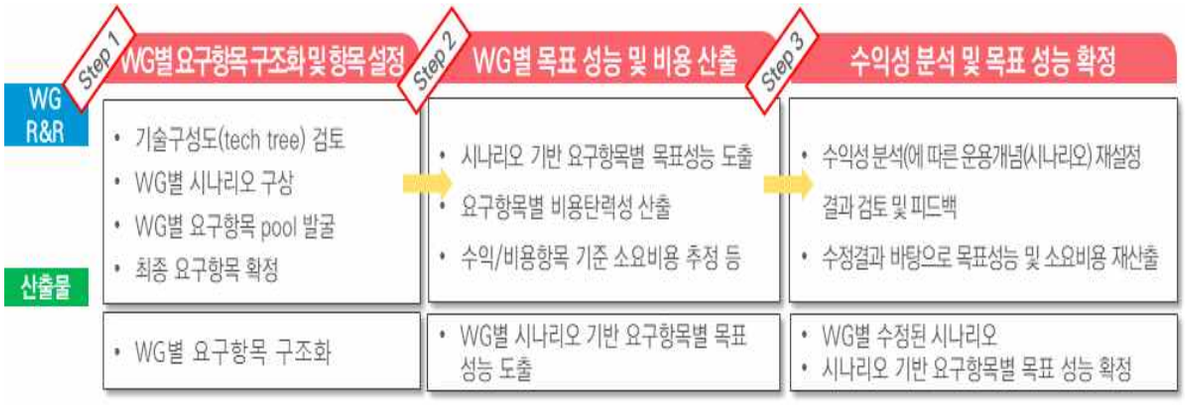
– UAM 생태계 관련 WG은 항목간 연계로 상호 협의·논의 진행

– 기술 WG에서는 자율비행 등 분야별로 중장기 관점에서 추진이 필요한 기술 별도 검토



[그림 Ⅲ-3] WG(Working Group 구성 및 연계도

WG(Working Group) 세부 운영 프로세스



[그림 Ⅲ-4] WG(Working Group)의 세부 운영 프로세스

● (Step 1) WG별 요구항목 구조화 및 요구항목 설정

– (목적) 운용수익성 분석에 필요한 목표 성능 및 비용 산출을 위해 WG별 요구항목을 산출하고 타 WG에서 필요한 항목을 설정

– 분석 절차

① 기술구성도 검토 및 WG별 시나리오 구성

- 초기 설정한 '기술구성도(tech tree)'를 기반으로 요구항목 및 단계별 목표에 대해 각 WG에 해당하는 사항을 설정
- '미래시나리오'를 기반으로 WG별로 항목을 세분화여 WG별 세부 시나리오를 구성

② WG별 요구항목 Pool 발굴 및 비용/수익 항목 설정

- 'WG별 시나리오'를 구성(안)을 토대로 기술분야에 대한 항목을 검토
- WG별 운용수익분석을 위해 도출이 필요한 비용/수익 항목을 설정
- 도출된 WG별 요구항목 중 요구항목(5~7개)을 선정
- 요구항목의 목표 수준 도출에 타 WG와 연계가 필요한 항목 검토

– (산출물) 기술 측면에서의 요구항목, 운용수익분석 측면에서의 비용/수익 항목

- WG별로 시나리오의 목표성능 도출을 위한 항목을 설정 및 시나리오 마일스톤 설정

● (Step 2) WG별 목표 성능 및 비용 산출

– (목적) 미래 통합시나리오 확정 및 단계별 목표 성능 최종 값을 도출하기 위해 운용수익성 분석에 필요한 자료 획득

– 분석 절차

① Step1에서 도출된 WG별 시나리오 바탕으로 요구항목별 목표 성능 도출

- WG별로 국내외 자료 및 전문가 견해를 기반으로 시나리오 단계별('25년, '30년, '35년)로 타당성을 확보한 목표 성능을 도출

② 수익/비용 항목을 기준으로 목표 시나리오 구현을 위한 소요비용 추정

- 운영수익성 WG는 노선, 기체가격, 각종 사용료 등의 가정을 전제로 연간(단계별 연도 '25년, '30년, '35년) 운항/운영 비용 산출
- 연간 운항/운영 비용을 근거로 운송사업자, 공항운영자, 관제운영자 등 주체별 운항/운영단가(pax·km당)를 산출

③ 기준 비용정보 및 요구항목을 활용하여 운용수익성 분석 수행하고 요구항목 등에 대한 변동사항을 고려한 민감도 분석을 수행

- 시장 WG은 SP조사(잠재선호도조사) 결과를 바탕으로 요구항목 변화에 따른 수요, 운항노선, 버티포트 수 등을 정형화함
- 운용수익성 WG는 시장 WG 뿐 아니라, 타 WG에서 제시한 요구항목 및 성능요건 중 운용비용에 큰 영향을 미치는 항목들의 변동성을 통해 민감도 분석 실시

● (Step 3) 수정 시나리오에 따른 단계별 목표 성능 확정

– (목적) 운영수익성 확보를 위한 단계별 시나리오 수정 및 목표 성능을 최종 확정

– 분석 절차

① 수익성 1차 분석 결과를 바탕으로 운용개념 재설정 관련 의견 제시

- WG별 요청사항 취합 정리

② PMO, 시장 WG, 운용수익성 WG에서 수익성 확보 가능한 운영개념 변경 대안들을 도출한 후 WG별 의견 수렴

- 민감도 및 WG간 연관성을 고려하여 운용개념 수정 방향 도출

③ 운용 수익성 수정결과를 바탕으로 각 WG별 단계별 목표성능 확정 및 소요 비용 재산출

④ 미래시나리오 확정



〈총괄회의 사진〉



〈통합회의 사진〉





〈WG회의 사진〉

[그림 Ⅲ-5] WG(Working Group) 추진 회의

제2절 K-UAM 미래시나리오 도출

1. UAM 수요예측 및 기술구성도 수립

가. UAM 수요 예측

■ (목적) UAM 운용수익성 분석을 위한 UAM 전환 수요 및 인프라 규모 개략 추정

● (방법론) 교통수요 4단계 모형에 기반하여 수도권 내 UAM 잠재수요를 분석

– UAM 잠재수요를 통해 단계별 버티포트 입지후보지 선정

– 교통수요 4단계 모형은 통행발생→통행분포→수단분담→통행배정 순의 단계로 교통수단의 수요를 추정하는 방법론임

〈표 Ⅲ-1〉 UAM 수요예측을 위한 교통수요 4단계 모형의 주요 검토 내용

단계	내용
(1단계) 통행발생(Trip Generation)	수도권 각 읍면동(시군구) 총 통행 발생량
(2단계) 통행분포(Trip Distribution)	발생한 통행의 출발지-목적지
(3단계) 수단분담(Modal Split)	발생한 통행의 이용하는 교통수단
(4단계) 통행배정(Trip Assignment)	교통수단을 이용한 목적지까지의 이동경로

● (분석내용) UAM 잠재수요 분석을 통해 총통행량 중 기존 교통수단 이용객이 UAM 도입에 따라 전환되는 UAM 수요규모 추정

– 교통수요 4단계 중 3단계까지 분석이 수행된 국가교통DB(KTDB, Korea Transport DataBase) 자료를 활용

• UAM 이용 시 소요 시간 및 비용에 따른 통행자들의 UAM 선택 비율(기존 교통수단에서의 전환율) 추정

• UAM은 실제 존재하는 교통수단이 아니므로 SP(Stated Preference, 잠재선호도) 조사로 도출

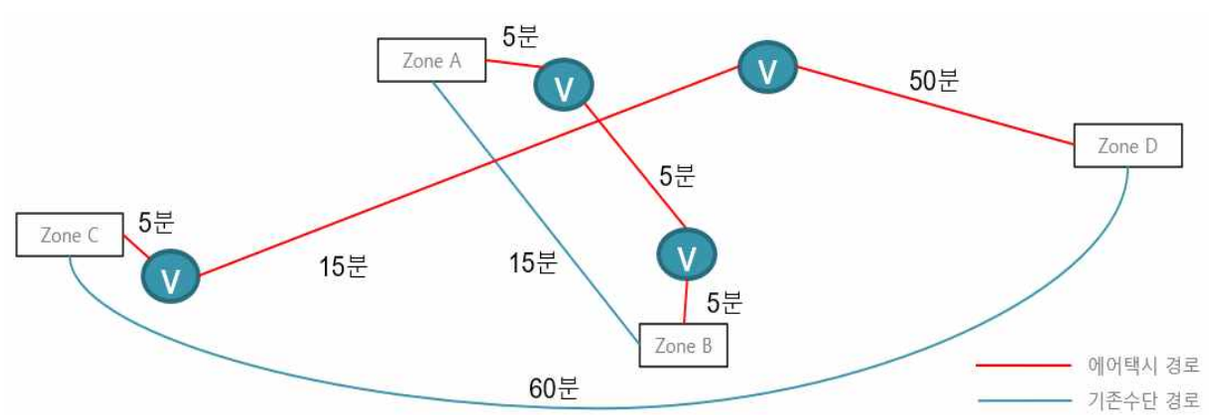
(전환율) 운임 등 주요 영향요인을 통해 UAM으로의 전환율 산출

- (기본자료 입력) KTDB 등의 자료를 활용하여 수단별 통행 시간 및 비용 입력
  - (승용차) EMME 프로그램[13]에서 KTDB O/D 및 네트워크 기반 존(zone)간 통행시간·거리 도출
  - (대중교통) 교통카드 원자료를 기반으로 도출
  - (UAM) 직선거리 기반으로 속도 및 접근시간(출발지부터 버티포트까지), 운임 (기본+km당 단가) 입력
- (전환율) SP 조사를 통해 기존 교통수단에서 UAM을 전환되는 비율을 도출
  - (전환율 계산방법) $U_i = \alpha + \beta_1 t_i + \beta_2 c_j, P_{UAM} = \frac{e^{u_{uam}}}{\sum e^{u_i}}$(승용차vs.UAM, 대중교통vs.UAM)
    - 수단별·시간별 시간/비용 도출하고 수단별 효용의 expotential값 기준으로 전환율 계산(단, 현실적으로 전환이 불가능한 값은 제외)

〈표 Ⅲ-2〉 SP조사에 따른 UAM 수요 전환율 도출 모형 결과

구분		상수	시간(분)	비용(천원)	시간가치(원/시간)
비교1	승용차	-	-0.019	-0.032	34,772
	UAM(에어택시)	1.680	-0.041	-0.067	36,822
비교2	대중교통	-	-0.008	-0.210	2,406
	UAM(에어택시)	1.765	-0.046	-0.106	26,344

  - (버티포트 최대/최소거리 선정) 수도권 내에서 우선 기술적 제약에 따른 최대거리를 지정하지 않고, 운영 조건에 따라 반영할 수 있도록 모듈화
    - 최소거리는 접근시간을 포함한 총 소요시간이 기존 수단보다 긴 경우 제외되도록 함



[그림 Ⅲ-6] 수단별 소요시간에 따른 UAM 이용 최소거리 산출 개념도

13) DOS 기반의 장래 교통량 예측에 활용되는 프로그램

– (분석결과) 기체 속도는 큰 영향을 주지 않지만, UAM 접근시간 및 비용(운임) 증가에 따라 수도권 UAM 수단분담율은 급격히 감속

• 속도/접근시간/운임(기본+km당 단가) 입력에 따라 승용차 및 대중교통으로부터의 전환율 도출

• 영향요인 범위 : 속도 150~300km/h, 접근시간 5~20분, 기본운임 2~10천원 (+km당운임 0~1천원)

〈표 Ⅲ-3〉 기존 교통수단→UAM 전환율 도출 결과(예시)

영향요인				전환율 도출 결과					
UAM 속도 (km/h)	접근 시간 (min)	운임		자가용 통행량 (통행)	대중교통 통행량(통행)	자가용→ UAM전환 통행(통행)	대중교통→ UAM전환 통행(통행)	UAM 평균 운항거리(km)	UAM 전환율 (%)
		기본 (천원)	km당 운임 (천원)						
200	5	20	0	75,044	95,051	14,870	19,915	21.5	20.5%
200	5	20	0.5	75,044	95,051	8,440	11,541	18.7	11.7%
200	5	20	1	75,044	95,051	4,162	7,198	15.3	6.7%
200	5	40	0	75,044	95,051	6,679	3,116	26.0	5.8%
200	5	40	0.5	75,044	95,051	2,946	1,628	22.2	2.7%
200	5	40	1	75,044	95,051	1,300	961	17.9	1.3%
200	5	60	0	75,044	95,051	2,189	374	29.2	1.5%
200	5	60	0.5	75,044	95,051	850	186	25.0	0.6%
200	5	60	1	75,044	95,051	357	108	20.4	0.3%
200	5	80	0	75,044	95,051	615	34	30.9	0.4%
200	5	80	0.5	75,044	95,051	225	15	27.0	0.1%
200	5	80	1	75,044	95,051	89	7	22.2	0.1%
200	5	100	0	75,044	95,051	158	2	31.9	0.1%
200	5	100	0.5	75,044	95,051	52	1	27.7	0.0%
200	5	100	1	75,044	95,051	19	0	21.6	0.0%
…									

■ (버티포트 입지선정 기준) 수요예측을 위해 K-UAM 로드맵 및 시범 운항계획, 비행공역, 지역별 통행량 등을 고려한 입지 선정 기준을 검토

● 인천공항, 김포공항 등 항공교통인프라와의 연계활용을 위한 우선 입지 검토

– (안전운항 지원체계) 공항에 설치되어 있는 관제 및 레이더, 항행안전시설 활용

• 유사시 항공교통을 전문으로 대응할 수 있는 인력, 장비 등의 인프라가 존재하여 공항의 자원 활용 가능

– (공항셔틀 서비스 대응) 대다수 UAM 관련 연구에서는 공항셔틀 기능을 우선 도입이 가능한 서비스로 예상

• 비교적 높은 기회비용을 갖는 항공운송서비스에 대해 빠르고 편리한 접근성을 제공할 것으로 기대

– (소음 등 환경이슈 대응) 운영 중인 공항은 항공분야 소음·환경 기준이 적용된 입지로 단시간 내 버티포트 입지로 활용 가능

● 대도시권역 내 활용 가능한 공역 검토

– (기확보된 항로 및 공역) 서비스 제공 목표 지역에서의 활용 가능한 항로 및 공역 확보 필요

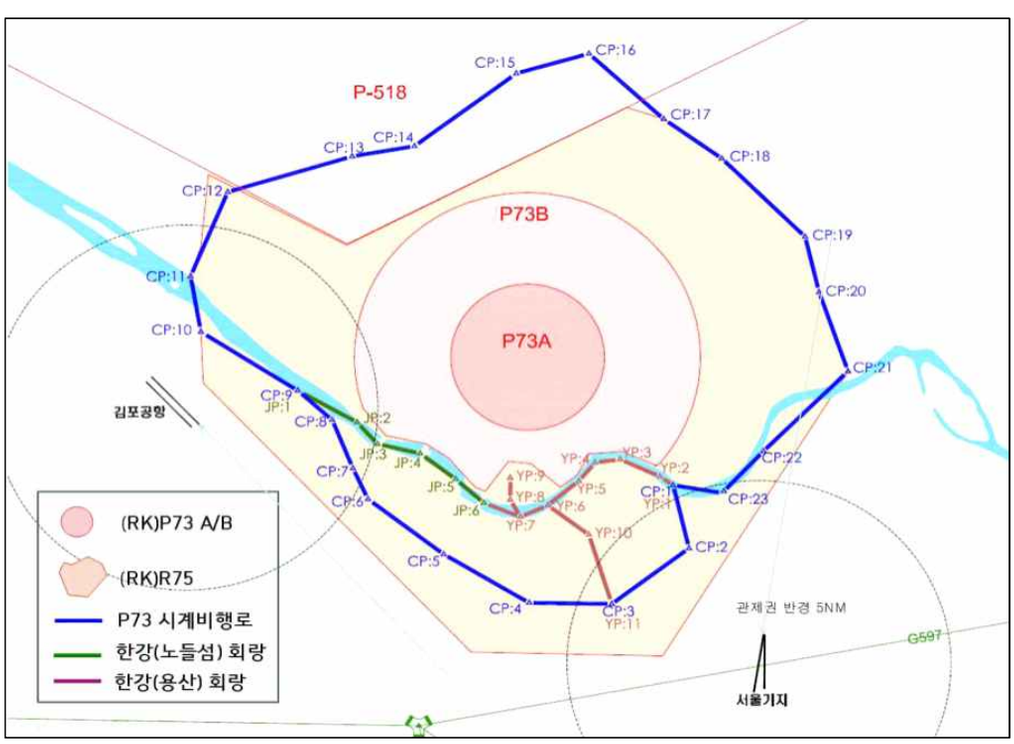
• 기존 항로, 공역 설계 시 기 반영된 자연환경적 제약사항, 사회적 합의 등을 적극 활용

– (수도권 사례) 수도권 지역에서 UAM 운항서비스 제공 시 관련 부처 간 합의 필요

• P73, R75, P518 등 금지/제한 공역이 설정되어 UAM 운항 가능 여부 검토

• 시계비행항로 및 비행회랑에 대한 합의 가능성 검토

• UAM 전용 회랑 등의 기존 항공교통흐름 방해 여부 확인



출처: 국토교통부(2020), '전자항행정보발간물(eAIP) ENR1_2'

[그림 Ⅲ-7] P73 비행금지구역 / R75 비행제한구역 요도

● 잠재적인 수요 규모가 큰 대도시 권역 내 교통수요를 입지 조건으로 검토

– (장거리 통행수요) 구성되는 네트워크에서 최대한 많은 배후 수요 확보

• 도시부의 지상 교통 혼잡 해결을 위한 방안으로 검토되고 있는 만큼, 혼잡한 교통 상황에 있는 주요 간선축에 입지

• 수도권의 생활권, 통근권의 지속적인 확장에 따른 압축적 교통네트워크 제공

– (전략적 버티포트/기단 운용) UAM 기체 도달 가능 거리, 최대 탑승가능 인원 등 제약을 고려하여, 더 많은 인원에 효과적인 서비스를 공급하기 위해 버티포트를 UAM 실현을 위한 전진기지로 활용

● 도시교통네트워크와의 연계한 설치 수월성을 입지 조건으로 검토

– (지역 간 교통결절점 연계) 도시 내 교통네트워크와 지역간 교통네트워크 간의 연결고리 역할 수행

• 지역 간 교통결절점*과의 연계를 통한 중장거리 교통네트워크와의 자연스러운 연계 교통 제공

* 예시) 고속철도 역사, 버스터미널 등

• 넓은 범주의 허브-스포그 방식의 교통네트워크의 일환으로서 제공 가능

– (도시 내 주요 결절점 연계) 도시 내 주요 결절점에 기 설치되어 있는 기존 도시교통 네트워크와 연결

• UAM이 단독으로 모든 통행을 지원하기보다 이미 구축된 도시 내 다른 네트워크와의 연계 도모

• 도시 내 주요 결절점은 이미 교통시설을 중심으로 한 개발을 통한 업무, 상업, 주거 지구를 형성하고 있어 향후 좋은 배후시장 역할 수행 가능

● UAM 접근·출발 및 항로설정에 용이한 공간구조를 입지 조건으로 검토

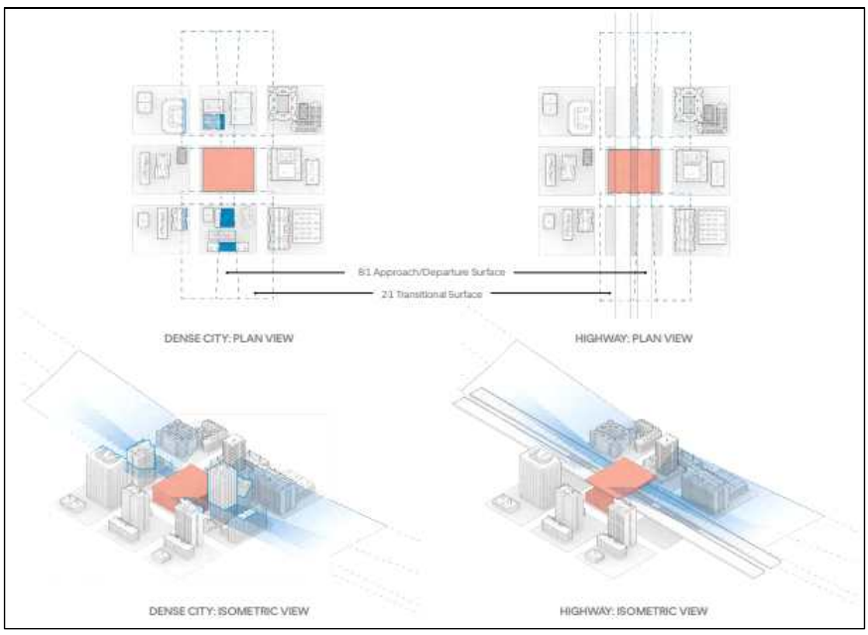
– (다수의 고층, 수직 건축물) 항공기가 쉽게 접근하기 어려우며, 건물 간의 도시풍 등의 영향을 고려한 항로 설정 필요

• eVTOL의 장점에도 불구하고, 여전히 FATO(Final Approach and Take-Off) 구역에서는 장애물에 대한 제약조건이 필요

• 다수의 고층빌딩이 주변지역에 위치할 개연성이 높다는 점에서 접근 및 출발 항로 설정에 용이한 공간구조를 지닌 입지의 선정 중요

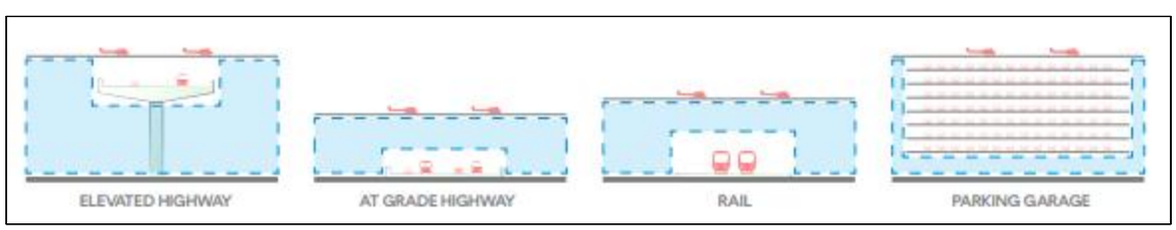
– (개방형 수직공간) 기존 교통네트워크로 활용하기 위한 개방형 수직공간

• 넓은 폭을 갖는 대로 또는 고가도로, 철로의 수직공간을 활용한 항로, 접근·출발 구역 설정 구역



출처: Corgan (2019) - CONNECT EVOLVED, Uber Elevate 2019

[그림 Ⅲ-8] UAM 버티포트 및 주변 고층건물과의 항로 검토 조건 (예시)



출처: Corgan (2019) - CONNECT EVOLVED, Uber Elevate 2019

[그림 Ⅲ-9] UAM 버티포트와 기존 교통네트워크 활용 방안(예시)

5대 광역권[14] 내 버티포트[15] 구축 가정을 통한 UAM 수요예측

● 한국형 도심항공교통(K-UAM) 로드맵의 목표에 따라 3단계('25년, '30년, '35년)으로 구분하고, 시범운영 계획 등에 따라 입지 선정 후 수요를 도출

– ('25년) 수도권 내 4개 지역에 버티포트 입지를 선정

– ('30년) '대도시권 교통수요' 기준에 따라 20개 지역 선정 후 시군구 기준 20~50km 구간 통행이 많은 순으로 수도권 내 8개 입지를 선정

14) 수도권 : 서울, 경기, 인천 등
부산울산권 : 부산, 울산, 경남(창원, 김해, 밀양, 양산, 창녕) 등
대구광역권 : 대구, 경북(포항, 경주, 구미, 영천, 경산, 군위, 청도, 고령, 성주, 칠곡) 등
대전세종권 : 대전, 세종, 충남, 충북 전체
광주광역권 : 광주, 전남(나주, 담양, 곡성, 화순, 함평, 장성) 등

15) UAM 버티포트 입지 선정 및 구축 규모는 운영수익성 분석 수행에 필요한 수요예측에 활용하기 위한 연구목적으로 향후에 추진이 예상되는 지역별 버티포트 구축을 위한 입지 선정과는 무관함

• P73공역(수도권 내 청와대 인근 비행금지구역) 내 후보지 제외

– ('35년) 수도권 후보지역 20개 전체입지 선정

〈표 Ⅲ-4〉 수도권의 UAM 수요예측 결과

항목	단계별 목표(년도)		
	1단계(2025~)	2단계(2030~)	3단계(2035~)
버티포트 수	4개	8개	20개
노선 수	2개	14개	123개
접근, 수속 등 소요시간	14분	12분	10분
운임단가	3,000원/명·km	2,000원/명·km	1,300원/명·km
영향권 내 일일 통행	5.4만통행	12만통행	72만통행
UAM 전환율	0.05%	3.8%	15.7%
UAM 일일 통행량	29명	4,536명	113,179명

● '30년부터 타 광역권에서도 수도권과 동일한 수준의 UAM 운영함을 가정하여 UAM 수요를 도출

– '30년/'35년 타 광역권의 UAM 전환율은 수도권과 동일하게 적용

〈표 Ⅲ-5〉 5대 광역권의 UAM 수요예측 결과

항목	단계별 목표(년도)		
	1단계(2025~)	2단계(2030~)	3단계(2035~)
버티포트 수	4개	24개	52개
노선 수	2개	22개	203개
접근, 수속 등 소요시간	14분	12분	10분
운임단가	3,000원/명·km	2,000원/명·km	1,300원/명·km
영향권 내 일일 통행	5.4만통행	22만통행	133만통행
UAM 전환율	0.05%	3.8%	15.7%
UAM 일일 통행량	29명	8,451명	209,337명

[참고] UAM 운임 수준 변화

❍ '30년(성장기) 이후 원격조정, 고효율 배터리, 교통관리 자동화 등의 적용 및 규모의 경제 실현 등 비용 저감 요인 증가로 대중교통수단과의 운임경쟁력 확보 가능 전망

구 분	초기('25~)	성장기('30~)	성숙기('35~)
이용 운임(1인 기준)	3,000원/km	2,000원/km	1,300원/km
운임 수준 (택시 대비, 약 881원/km)	3.4배	2.3배	1.5배

나. 기술구성도(Tech Tree) 수립

■ (개념) 해당 분야 기술 계층화를 통해 기술의 목적·기능 등을 설명하는 방법론[16]

● (필요성) UAM 관련 기술은 기존 항공 기술분야와의 유사성 및 차별성 모두 존재하기 때문에 항공기술분류와 다른 기술분류체계가 필요

– (범위) 기술구성도(Tech-Tree)의 'Tech'는 물리적 제조기술 뿐만 아니라 서비스·제조·인프라 관련 기술*도 포함

* (예시) 에어택시 보험, 사회적 수용성, 비즈니스 모델 수립 등

● (특징) UAM의 하드웨어(H/W)뿐만 아니라 운영기반, 서비스 개발 등을 포함하는 포괄적 개념의 '기술' 구성도 작성이 가능

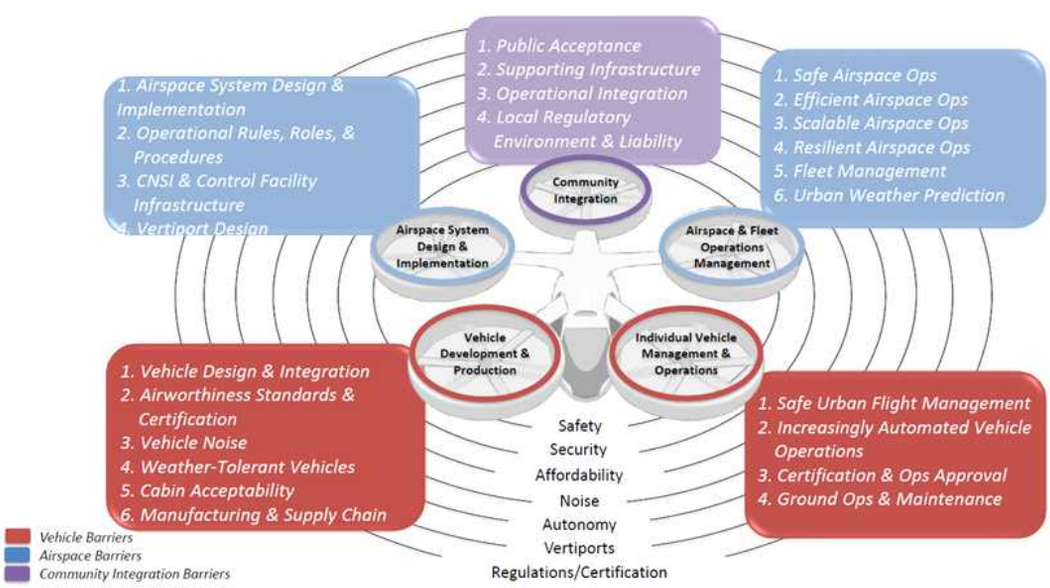
– 본 연구의 기술구성도는 美 NASA 및 FAA가 UAM '운용 기반'을 목적으로 작성한 자료 활용 참고

– 도출된 기술구성도는 기술수요조사에서 활용하며, 기술로드맵 구축 및 검토를 위한 커뮤니케이션 도구로 활용

[참고] NASA의 UAM 발전전략 수립을 위한 기본 프레임

○ 美 NASA(FAA 협조)는 UAM '운용'을 최종 목적으로 5개 핵심요소(Pillar)와 7개의 제한요소(Barrier)를 '기본 발전전략 프레임'으로 설정

- UAM ConOps 등의 수립을 위해 핵심요소 기준 WG(Working Group) 구성·운영
- 5개 핵심요소에 공통적으로 적용되는 UAM 생태계의 제한요인을 제시



16) 기술구성도(tech-tree)는 기술에 대한 시장 수요와 기대 성능을 예측하고, 실현하기 위한 기술을 도출하는 방법론임

핵심요소	제한 요소	
(공통 제한요소) 안전성 – 보안성 – 수용성 – 소음 – 자율성 – 버티포트 –규제/인증		
비행체 관리 및 운영	1. 안전한 도심 비행 관리 2. 확장가능한 자율 비행체 운영	3. 인증 및 운영 승인 4. 유지관리보수 등 정비
비행체 개발 및 생산	1. 비행체 설계 및 체계통합 2. 감항성 기준 및 인증 3. 비행체 소음	4. 기상 극복 가능한 비행체 5. 객실 수용성 6. 제조업 및 공급망
공역 시스템 설계 및 구축	1. 공역 시스템 설계 및 구축 2. 운영 규정, 역할 및 절차	3. CNSi 및 교통관리 시설 4. 버티포트 설계
공역 운역 및 운항관리	1. 안전한 공역 운영 2. 효율적인 공역 운영 3. 확장 가능한 공역 운영	4. 유동적인 공역 운영 5. 기단 관리 6. 도심 기상 예측
사회적 통합	1. 대중 수용성 2. 사회 기반 시설	3. 사회적 통합 운영 4. 지역 규제 환경과 법적 책임

(도출과정) 유관 기술구성도 조사 및 벤치마킹, 전문가 자문 수행

- UAM 기술구성도는 항공분야 로드맵 등을 기반으로 초안 작성 후 관련 전문가 자문을 통해 UAM 기술구성도(안)을 도출

– (프레임설정) UAM을 포함한 국내외 항공분야 연구자료 및 美 FAA/NASA의 UAM 운용 기반 자료를 통해 기본 프레임 설정

  - ‘UAM의 운용’을 최종 목적으로 5개 핵심요소(Pillar)와 7개의 공동 제한요소(Barrier)를 ‘기본 발전전략 프레임’으로 설정

  - 참고1(기술트리) ①미래형 자율비행 개인항공기(OPPAV) 안전체계 개발 및 인프라 구축(다부처), ②무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵(과기부)

  - 참고2(기술분류체계) ①항공핵심기술로드맵(2020)(산업부), ②드론 활성화 지원 로드맵 수립을 위한 연구(국토부), ③과학기술종합조성지원사업(2018) (국토부), ④국가과학기술표준분류체계(건설/교통)(과기부)



[그림 Ⅲ-10] UAM 기술구성도를 위한 기본 프레임

– (기술구성도 작성) 전문가 의견을 광범위하게 수렴하여 기술구성도를 구체화

- 기술구성도 초안 작성('20.07.17~07.22)
- 1차/2차 전문가 자문위원 검토를 통한 수정·보완('20.07.30~08.20)
- WG 및 이해관계자 대상 기술구성도(안) 의견 수렴('21.01.18~02.02)

(도출 결과) 전문가 의견 및 국내외 유사분야 기술구성도를 활용하여 기술구성도 수립

● (분야) 기술구성도의 대분류는 ①기체 개발·생산, ②운송·운용, ③공역설계·통제, ④운항관리·지원, ⑤사회적 기반 등 5개 분야로 분류

〈표 Ⅲ-6〉 기본 프레임을 반영한 UAM 기술구성도 대분류

UAM 운용 기반의 5대 Pillar(NASA)		UAM 기술구성도 대분류
비행체 개발 및 생산	➔	기체 개발·생산
비행체 관리 및 운용	➔	운송·운용
공역 시스템 설계 및 구축	➔	공역설계·통제
공역운영 및 운항관리	➔	운항관리·지원
사회적 통합	➔	사회적 기반

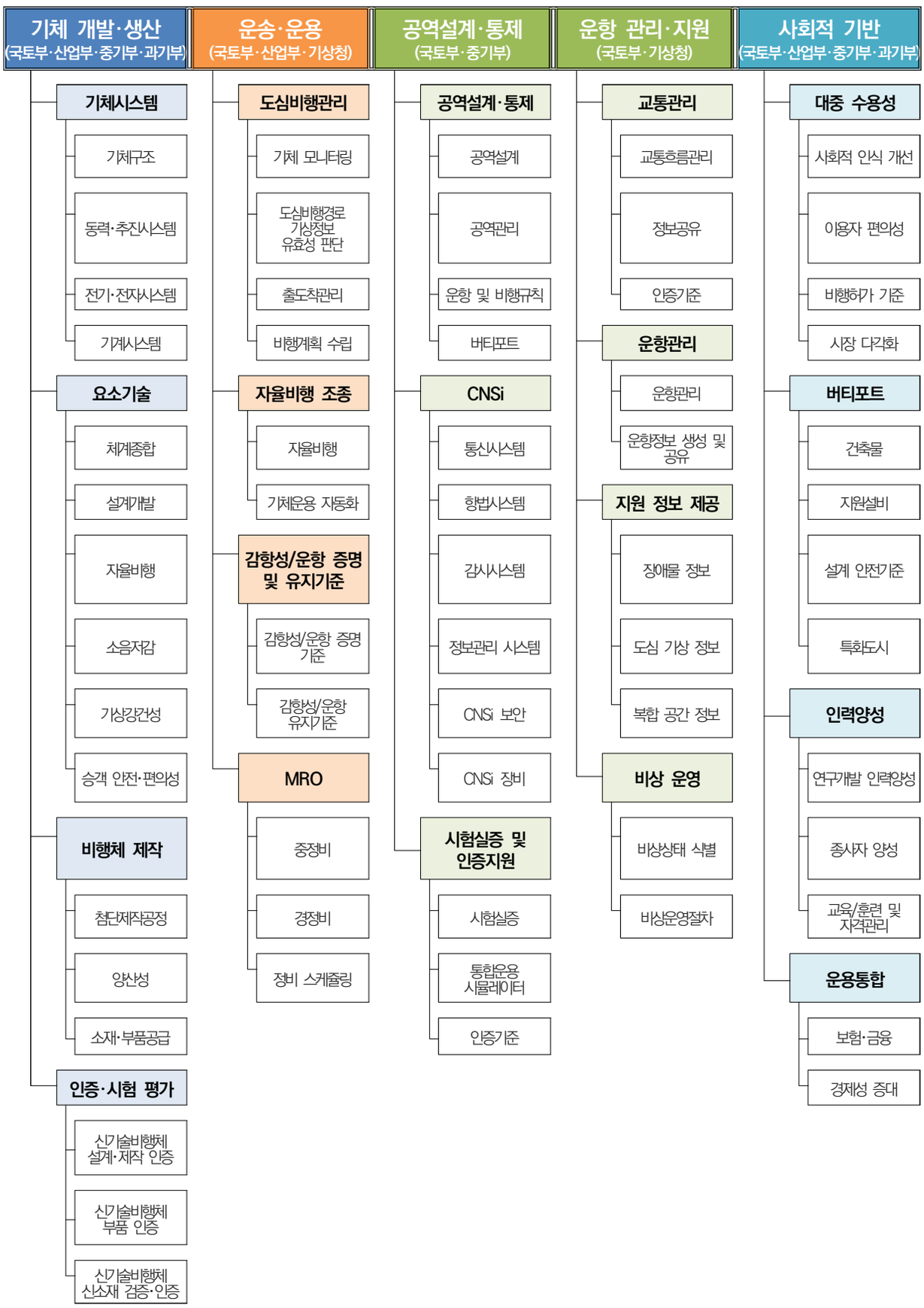
● 5개 대분류, 19개 중분류, 63개 소분류, 총 187개 세분류로 구성

〈표 Ⅲ-7〉 UAM 기술구성도 개요

(단위 : 건)

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

〈표 Ⅲ-8〉 UAM 기술구성도



주: 세부기술(Lv 4) 수준 이하 생략

2. K-UAM 미래시나리오 도출

가. 한국형 도심항공교통 미래시나리오

〈표 Ⅲ-9〉 한국형 도심항공교통 미래시나리오

부문	요구항목	단계별 목표(년도)		
		초기(2025년~)	성장기(2030년~)	성숙기(2035년~)
기체·부품 (핵심기술)	자율비행 수준 (조종사 운용)	On Board (조종사 탑승)	Off Board (원격조정)	Autonomous (자율비행)
	공급좌석 수	4	4	5
	순항속도	150km/h(80kts)	240km/h(130kts)	300km/h(161kts)
	항속거리	100km(62miles)	200km(124miles)	300km(186miles)
	배터리 밀도 (팩 기준)/용량	300Wh/kg, 130kWh	450Wh/kg, 270kWh	680Wh/kg, 500kWh
	소음(기체)	150m에서 70dBA	150m에서 65dBA	150m에서 60dBA
항행·교통 관리	교통관리체계	PSU 주도 (ATC 참여)	PSU 주도 (ATC 제한적 개입)	PSU 완전 운용 (ATC 비상시 개입)
	교통관리 자동화 수준	자동화 도입	자동화 주도 및 인적 감시	완전자동화 주도
	비행회랑(corridor) 운영방식	Fixed Corridor	Mixed Corridor (회랑 망)	Mixed Corridor (회랑 망)
	동시 운용 용량 (회랑, 30km 기준)	5대	8대	16대
	항공통신망	이동통신, 항공음성통신	이동통신(5G/6G), 저궤도위성통신, C2	이동통신(5G/6G), 저궤도위성통신, C2
	항법시스템	정밀위성항법	정밀위성항법+ 영상기반 상대항법	복합상대항법
	감시체계	ADS-B 초기형 + UATM 보고체계		광역 UATM 보고체계
인프라	버티포트형태	이착륙장 1개 /계류장 4개	이착륙장 1개 /계류장 5개	이착륙장 2개 /계류장 12개
	Charging Power	250kW	400kW	1M
서비스	운용조건(기상)	Weather Tolerance	Weather Tolerance	All weather
	일일 운용 시간 (야간운항)	12시간	15시간	17시간
	도심 3차원 지도	정밀	초정밀, 실시간	초정밀, 실시간
	항로 기상데이터	Corridor 기상서비스	저고도 도심기상서비스	고해상도 도심기상서비스

주. 조종석 포함 5인승급 도심운송용 신기술 적용 항공기(운송용, 화물용 등)

나. 기술부문별 목표성능 설정

■ (기체·부품) 기술구성도의 기체·부품 분야에서 경제성·수용성 등을 고려하여 자율비행 및 배터리, 소음 등을 주요항목으로 설정하고 목표성능을 도출

● (자율비행) 단계별 UAM 기체의 자율비행 수준은 무인항공기 분야 및 EASA에서 분석한 자율비행 추세를 고려하여 설정

– UAS*은 이미 군수용 무인항공기** 분야에서 사용 중으로 UAM 상용화 시점에는 UAM 기체 조종시스템으로 활용이 가능할 것으로 전망

* Unmanned Aircraft System, 무인기와 통신·조종을 위한 지상장비를 포함한 시스템

** Unmanned Aerial Vehicles, UAVs

• 미국이 보유하고 있는 원격조종시스템 수준은 타지역에 배치된 무인항공기를 미 본토에서 운용하여 정찰 및 공격 등의 임무 수행이 가능



출처: BBC NEWS(2012), 'Drones: What are they and how do they work?'

[그림 Ⅲ-11] MQ-1B Predator의 원격조종 시스템

• 우리나라는 '04년 정부주도로 근접감시용 무인항공기 개발사업을 통해 착수·양산이 진행되었으며, 최근 중고도 무인항공기(KUAV KUS-15) 양산을 준비하는 등 무인항공기 관련 기술 확보



[중고도 무인정찰기 MUAV KUS-15]



[사단급 정찰용 무인항공기 DUAV KUS-9]

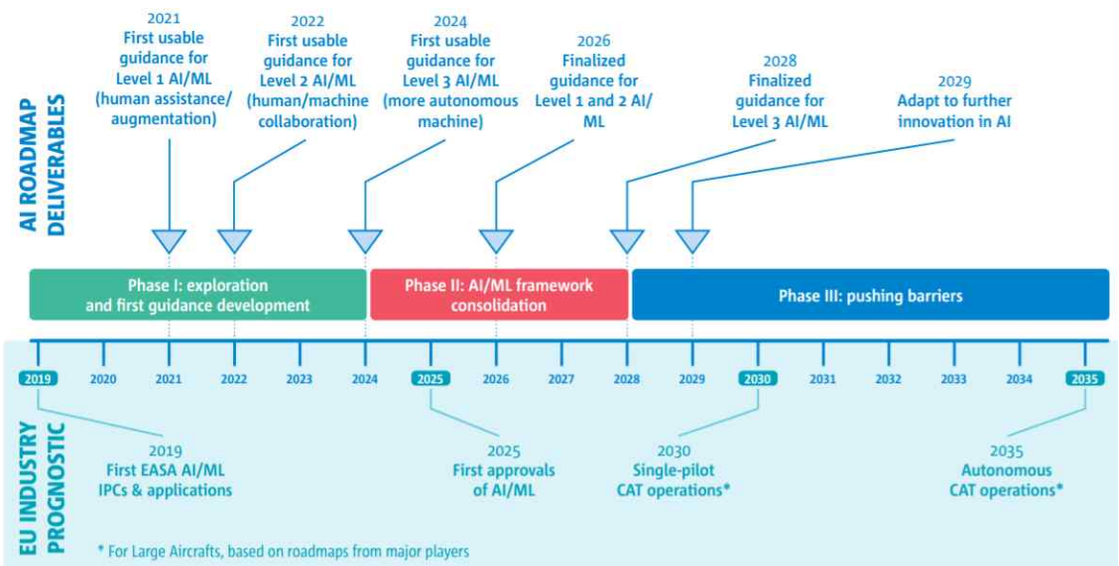
출처: http://www.thecommoditiesnews.com/news/articleView.html?idxno=1262
news1(15.11), 'UAV, 내년부터 전방 사단급 부대에 배치'

[그림 Ⅲ-12] MQ-1B Predator의 원격조종 시스템

– EASA는 항공분야 AI 로드맵에서 '35년 항공운송산업의 완전자율비행(Autonomous) 적용을 전망하고, 이를 위해 법규·제도 등의 제도 개선 계획 마련

• '30년부터 AI/ML 기술의 적용으로 2인으로 편성된 조종사를 1인 조종(single-pilot)으로 변경될 것으로 전망

• EASA는 항공운송산업의 기술변화 등에 대응하기 위해서 '25년 이전에 AI/ML 지침서(Lv1~3) 초안을 마련하고, '30년 이전에 AI/ML 최종 지침서(Lv1~3) 마련할 예정



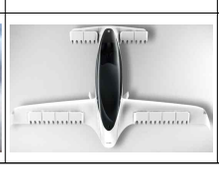
출처: EASA(2020), 'Artificial Inetlligence Roadmap A human-centric approach to in aviation'

[그림 Ⅲ-13] EASA의 항공분야 AI 로드맵

● (동력추진) 현재 개발 중이 주요 eVTOL 항공기를 검토 결과 최대 순항속도 약 300km/h, 최대 항속거리 약 300km를 기준으로 단계별로 설정

– 현재 개발 중이 주요 eVTOL 항공기를 검토한 결과 기체마다 차이가 있으나, 순항속도는 약 120km/h~300km/h, 항속거리는 약 100km~300km 수준으로 나타남

〈표 Ⅲ-10〉 K-UAM 미래시나리오 요구항목별 목표 성능

구 분	Joby Aviation S4	Airbus CityAirbus	Lilium jet	Bell Nexus 6HX	Hyundai S-A1
공급좌석	4인승	4인승	4인승	4인승	4인승
순항속도	322km/h	120km/h	300km/h	288km/h	290km/h
항속거리	241km	96km	300km	241km	97km
형태					

출처: Electric VTOL News(https://evtol.news)

● (배터리) NASA의 배터리 에너지 밀도 추정 결과를 근거로 초기 300Wh/kg -130kWh, 성장기 450Wh/kg-270kWh, 성숙기 680Wh/kg-500kWh로 설정

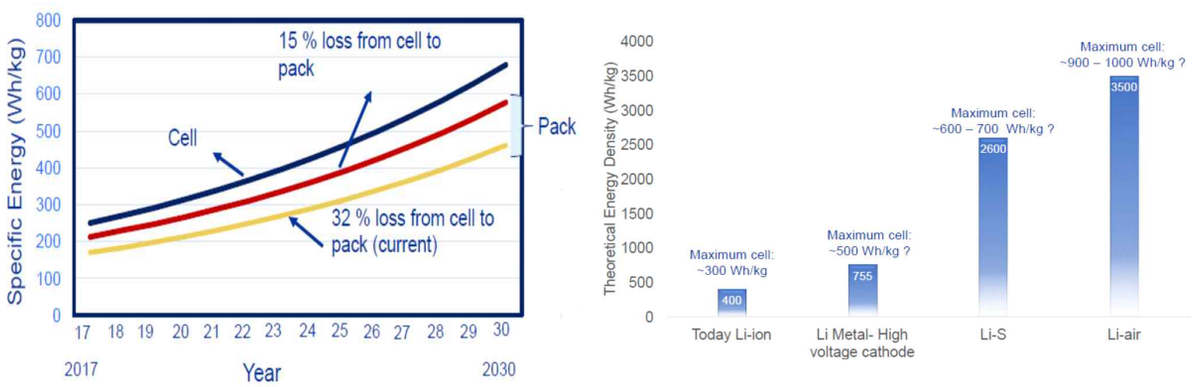
– NASA 배터리팩 추세식(specific energy=6.53×10(-66)×exp(0.077×year))을 근거하여 단계별 밀도('25년 313Wh/kg. '30년 약 461Wh/kg, '35년 약 678Wh/kg) 산출

• Uber는 100km 비행을 위한 배터리 성능에 대해서 배터리팩 에너지 밀도 300Wh/kg, 배터리 용량 150kWh을 제시 ('18년 국제 배터리 세미나)

– 최근 전고체, 리튬-황, 리튬-에어 나트륨/마그네슘이온 등 차세대 배터리 기술 도입에 매진하고 있으며, UAM이 상용화 될 때쯤 가벼운 전고체 배터리로 진화 전망[17)]

• UAM 적용 배터리는 현재보다 높은 밀도와 가벼운 중량을 요구되고 있어, 리튬-이온 배터리로는 한계 존재

– 비행 순항 거리 및 배터리 에너지 밀도 증가를 고려하여 초기 130kWh, 성장기 270kWh, 성숙기 500kWh 배터리 용량 설정



[배터리 에너지 밀도 추정] [리튬-이온 배터리 이후 대안]

출처: NASA Glenn Research Center(2018). 'Summary of 2017 NASA Workshop on Assessment of Advanced Battery Technologies for Aerospace Applications'

[그림 Ⅲ-14] NASA의 배터리 기술 전망

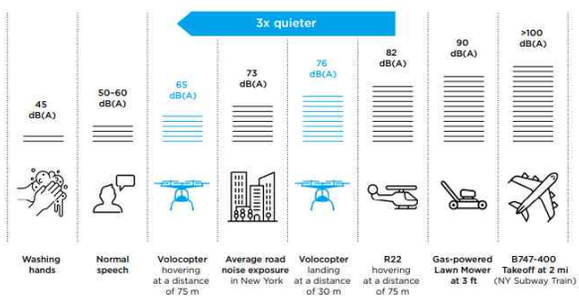
● (소음) 기체개발 업체가 요구하는 수준을 기준으로 상용화 시점에 약 65dBA를 기준으로 5dBA 증감하는 것으로 설정

– 비행체별로 다소 차이는 존재하지만, 소음 요구수준은 65dBA(운항, 100m에서)~ 75dBA (이착륙, 30~500m)으로 추정되었으며, Uber는 약 60dBA 수준까지 요구

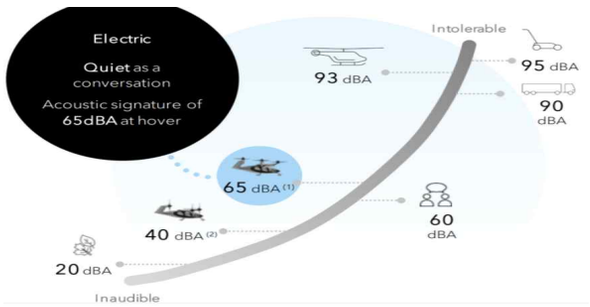
– UAM은 도심 운항을 목적임으로 기존 항공교통수단보다 낮으며, 사회적 수용성이 담보되어야 함. 이에 따라 기체개발업체들은 약 65dBA 수준 기준점으로 잡고 있음

• 국가기술개발사업으로 추진 중인 '미래형 전기동력 수직이착륙 개인항공기(OPPAV)사업'에서는 소음수준 72dBA 이하를 목표로 설정

17) 하이투자증권(2020), 'UAM, 3차원 길을 연다'



[Volocopter社 비행체의 소음 요구조건 및 비교]



[Joby Aviation社 비행체(S-4)의 소음수준]

출처: Volocopter(2019), 'The Roadmap to scalable urban air mobility white paper 1.0'
VFS's Electric VTOL News, (https://evtol.news/aircraft/joby-aviation)

[그림 Ⅲ-15] UAM의 기체 소음 수준

(항행·교통관리) 기술구성도의 공역설계·통제 및 운항 관리·지원 분야에서 안전성을 고려하여 교통관리체계 및 회랑운용, CNSi 등을 주요항목으로 설정하고 목표 성능을 도출

● (교통관리) FAA(2020) ConOps v1.0[18] 및 EASA(2020) 항공분야 AI 로드맵을 기반으로 단계별 교통관리체계 및 교통관리 자동화 수준을 설정

– (교통관리체계) FAA(2020) ConOps의 ATC(Air Traffic Control, 항공교통관제)와 PSU (Provider of Services for UAM) 역할을 반영하여 단계별 교통관리체계를 설정

- 초기에는 UAM 운영 공역 및 절차 등의 체계가 수립되는 시기로 PSU는 ATC 서비스를 활용하여 교통관제 서비스를 제공
- 성장기에는 교통관리체계가 구축되어가는 시기로 PSU가 UAM 비행회랑에 대한 교통관제를 담당하고 비상상황[19]에서만 ATC가 교통관제에 개입
- 성숙기는 UAM 교통관리시스템 구축이 완료되어 PSU가 완전하게 주도하고, 성장기와 같이 비상상황에서만 ATC가 교통관제에 개입

– (자동화 수준) EASA(2020)에서 제시한 항공운송산업의 AI/ML 도입 및 자율비행 적용 시점에 맞춰 ATC 및 PSU의 교통관리 자동화 기술을 도입하는 것으로 설정

- '25년 AI/ML 도입-'30년 조종사(1인)+AI/ML시스템을 통한 항공기 운영-'35년 완전 자율비행

18) Federal Aviation Administration(2020). Urban Air Mobility(UAM), Concept of Operations v1.0.
19) 국토교통부 고시, '항공교통관제절차(Air Traffic Control Procedures)' – 비상 상황(Emergency Situations)이란 조종사, 항공관제시설 근무자, 항공기의 운영에 대하여 책임을 지는 요원이 아래의 경우에 의하여 비상을 선언할 경우,
- 계기비행(IFR) 또는 시계비행(VFR) 항공기와 예상치 않은 레이더 포착상실 및 무선교신이 안될 때
- 항공기가 불시착했거나 불시착하려는 정보를 입수한 경우, 또는 운영 효율이 너무 낮아 강제 착륙이 필요한 경우
- 승무원이 항공기를 포기했거나 포기할 예정임을 보고 하였을 때
- 비상 레이더 비컨 응답이 수신되었을 때
- 지상구조가 필요하다고 판단될 때
- ELT(비상위치지시용 무선표지설비) 신호가 청취되었거나 보고되었을 때 등

〈표 Ⅲ-11〉 UAM의 ATC 및 PSU 역할

구 분	역할
ATC	- 관련 규정에 따라 항공기들에게 UAM 운항에 관한 권고 사항을 제공 - 운항 계획을 기반으로 UAM 회랑 가용성을 설정 - UAM 비상상황이 발생하는 경우 교통관제를 통해 항공기 운항 지원 - 책임 및 역할을 수행하기 위하여 UAM 운항 관련 정보 검토 등
PSU	- UAM 운용자(Operation)가 UAM 운용에 관한 규정과 요구사항을 충족할 수 있도록 네트워크(Communication Bridge) 등을 제공 - UAM 비행회랑에 대한 운영계획(ATC의 운항정보 및 권고사항 등), 공역의 제한, 버티포트 가용성, 기상 악조건 등의 정보 분석 및 UAM 운용자에게 제공 - 항로 모니터링, 항로이탈 경보 전달, 항공기 간 간격 관리 등 교통관제 서비스 제공

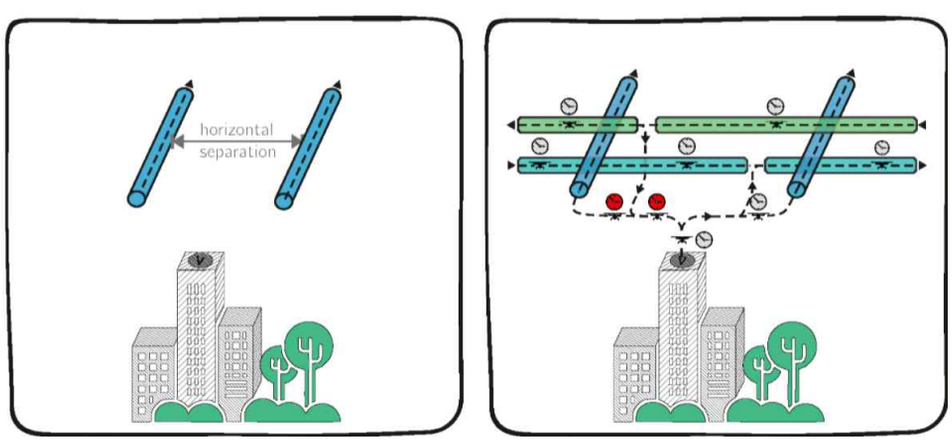
출처: Federal Aviation Administration(2020). Urban Air Mobility(UAM), Concept of Operations v1.0.

● (공역설계) 단계별 교통관리 자동화 및 운용 기체 증가 등을 고려하여 비행회랑 운영 방식과 비행회랑의 기체 간 최소분리간격(동시 운용 용량)을 설정

– (비행회랑 운영방식) UAM 시기별로 교통관리 자동화 수준 등을 고려하여 고정형 비행항로(Fixed Corridor)와 혼합형 비행항로(Mixed Corridor)로 설정

• 초기('25년~)에는 2개 노선을 시범운항 할 예정이며, 교통관리체계 및 시스템이 구축되는 시기로 운항 안전을 고려하여 일정 범위에서 다른 비행항로(corridor)와 배타적 비행을 하는 고정 비행항로(Fixed corridor)로 설정

• 성장기('30년~)/성숙기('35년~)에는 교통관리체계 수립 및 시스템의 자동화가 활용되는 시기로 사전에 신청·허가된 비행회랑망 운영 및 출도착 상황 등을 고려하여 실시간 회랑 변경이 가능한 혼합형 비행항로(Mixed corridor)로 설정



[고정형 비행항로(Fixed Corridor] [혼합형 비행항로(Mixed Corridor]

출처: Aerospace 2020, 7(5), 50; https://doi.org/10.3390/aerospace7050050

[그림 Ⅲ-16] UAM 고정형 및 혼합형 비행항로 개념

– (동시운용용량) 교통관리 자동화 및 운영기체 증가 버티포트 수용량 등을 고려하여 최소분리간격을 설정하고 이에 따른 회랑 내 동시 운용가능한 기체 수를 제시

- 한국공항공사에 따르면 버티포트 이착륙장에서 UAM 기체 1대가 착륙하고, 이어서 다음 UAM 기체가 이륙하는 1-Cycle 당 약 3분이 소요될 것으로 추정[20)]
- 이착륙 1-Cycle당 소요시간을 기준으로 초기('25년~) 최소분리간격을 1.5분(120knt 기준 3nmi(5.6km) 간격)으로 설정하여 회랑당 5대(30km 기준) 동시 운영
- 성장기('30년~) 및 성숙기('35년~)에는 교통관리 자동화 활용, 버티포트 수용량 증가 등을 고려하여 최소분리간격을 1분-0.5분으로(120knt 기준 2nmi- 1nmi(3.7-1.9km) 간격) 단계적으로 감소하여 회랑당 8대/16대(30km 기준) 동시 운영하는 것으로 설정

● (CNSi) UAM 전용 CNSi는 필수적이나 초기에는 기 구축된 항공용 시스템을 적용하며, 무인이동체 분야의 기술 등을 고려하여 단계별 목표 설정

– (항공통신망) 항공운송산업의 항공전용위성통신은 경제성을 고려해야하는 UAM는 사용료 부담이 높아 상용이동통신 및 저궤도위성통신 등 상용통신망을 요구

- 초기('25년~)에는 기 구축되어 있는 항공음성통신 및 상용이동통신(LTE/5G 등) 등을 활용
- 성장기/성숙기에는 상용통신 제공을 위한 통신체계·기술 구축을 통한 다중 네트워크*를 활용하고, 차세대 통신기반인 저궤도 위성**까지 활용

* 상용이동통신(5G, 6G 등), C2 등

** 테슬라社, 스타링크, 아마존社 카이퍼프로젝트 등 저궤도위성 기반 차세대 통신 제공 프로젝트 진행 중

– (항법시스템) 항공운송산업에서 적용되고 있는 위성항법시스템과 무인이동체 분야에서 기술개발 중인 영상기반 상대항법 및 복합상대항법 등을 단계별로 설정

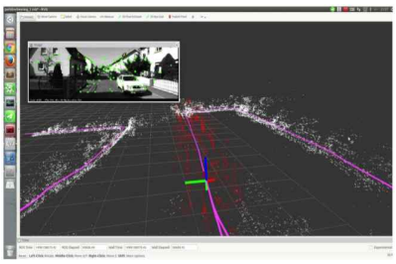
- 초기에는 현재 항공선진국에서 RTK(Real-Time Kinematic, 반송파 기반 위치 결정기술), SBAS(위성 기반 방송방식) 등을 활용한 시스템을 구축하여 서비스를 제공하고 있으며, UAM에서도 해당 기술들을 적용한 항법시스템을 구축
- 성장기에는 운항 안전성 향상을 위해 항재밍(Anti-Jamming)에 취약한 기존 위성항법에 카메라 센서 등을 통한 영상기반 상대항법을 적용
- 성숙기에는 관성항법(Inertial Navigation System)과 위성항법(Global Navigation Satellite System)을 결합한 복합상대항법시스템을 적용하여 다수 기체 운영에 따른 안전성을 향상

– (감시체계) 교통관리체계가 ATC*에서 PSU**로 이전되는 것과 마찬가지로 UAM 감시체계도 ATM***에서 UATM****으로 이전되는 것으로 설정

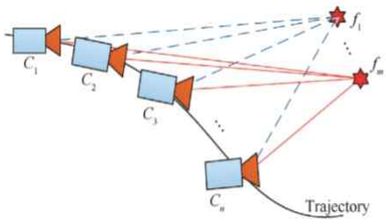
* Air Traffic Control, ** Provider of Services for UAM, *** Air Traffic Management

**** Urban Air Traffic Management

20) 한국공항공사 도심항공교통추진단 내부자료(20.11.25)



[ORB-SLAM 위치 측위 기법]



[MSCKF의 위치 측위 원리]

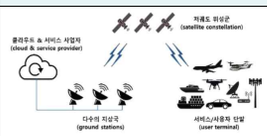
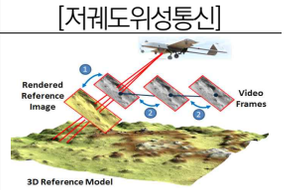
출처: R. Mur-Artal et. al. "ORB-SLAM: a versatile and accurate monocular SLAM system." IEEE transactions on robotics vol. 31, no. 5, pp. 1147-1163, 2015.
A. Mourikis et. al. "A multi-state constraint Kalman filter for vision-aided inertial navigation." Proceedings 2007 International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2007.

[그림 Ⅲ-17] 영상기반 위치 측위 방법

- UAM 전용 CNSi를 구축하기 이전에는 ATM체계의 ADS-B*를 활용하고, CNSi 구축에 맞춰 점진적으로 UATM체계로 이전

* Automatic Dependent Surveillance-Broadcast

〈표 Ⅲ-12〉 ATM/UTM/UATM별 CNSi 비교

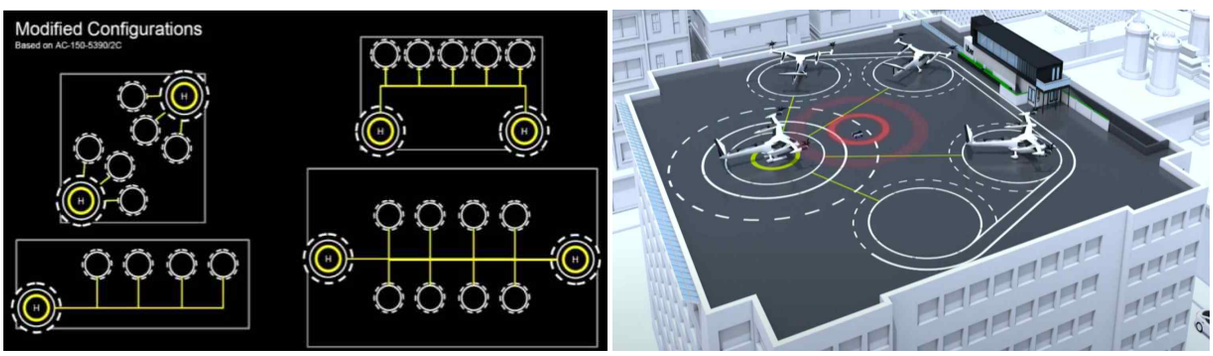
구분	ATM	UTM	Urban Air Traffic Management	비고
C	VDL-Mode2, 3, 4 항공전용위성통신	상용이동통신	상용이동통신, 저궤도위성통신	 [저궤도위성통신]
N	DME, VOR, ILS 등 SBAS, GBAS	Stand alone GPS	Multi-GNSS (GPS, Galileo, GLONASS, Beidou 등) SBAS, RTK	 [영상항법]
S	Radar, ADS-B	상용이동통신 기반 위치보고	상용이동통신 및 지상 네트워크 기반 광역 감시	 [광대역 감시]
i	ASBU 계획에 의해 SWIM으로 통합 중	FIMS 연결 이외의 별도 계획 없음	ASBU 계획을 준수하여 SWIM으로 설계 중	
공역	전 공역	고도 150m 이하	150m 〈 고도 〈 유인기 항로	
관제 대상	유인기	무인기	유·무인기	
특징	- 인간(ATC) 중심의 관제	- ATM의 자동화 heritage를 받아 개발 진행 중 - 데이터 중심의 관제	- UTM 데이터 중심의 관제 heritage를 받아 개발 진행 - NASA에서는 UTM inspired ATM 이란 기술 - UATM의 heritage는 다시 ATM에 전수 되어 전공역 통합 교통관리시스템으로 발전 전망	

출처: branch(21.01), '위성인터넷 사업, 누구를 주목해야 하나?'(https://brunch.co.kr/@iotstlabs/200)
Han-Pang Chiu, A. Daset. al. Precise vision-aided aerial navigation, Computer Science 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Aviation Today(15.02), 'Aireon, IAA Form ALERT Agreement'

(인프라) 버티포트 관련 분야 중 수용성 및 경제성 등을 고려하여 버티포트 설계 형태, 충전시스템을 주요항목으로 설정하고 목표 성능을 도출

● (버티포트형태) FAA의 헬리포트 설계 기준(AC 150/5390-2C) 등을 기반으로 계획된 Uber Skyport 디자인을 참고하여 단계별 버티포트 형태를 설정

– Uber는 이착륙 영역(TLOF) 약 50인치, 이착륙장(FATO) 약 75인치 그리고 그 주변의 안전구역 (Safety) 약 108인치 등으로 설계하였으며, 이상적인 형태로 이착륙장 1개에 계류장 4개 또는 5개임으로 전망



출처: Aviation Today(20.03), Here's How Uber Is Designing Skyports for Future Air Taxis
philipp haban의 Uber Skyports design(www.philipphaban.com)

[그림 Ⅲ-18] Uber의 Skyports design

– 초기-성장기에는 Uber가 제시한 이상적인 버티포트 형태인 이착륙장 1개-계류장 4~5개로 설정하고, 성숙기에는 UAM 수요를 고려하여 이착륙장 2개-계류장 12개*

* 이착륙장 1개-시간당 약 20대, 계류장 1개-시간당 약 3.2대를 처리하는 경우[21], 수도권 기준 일일 UAM 이용객 약 11만명을 수용하기 위해서는 최소 2개 이착륙장-12개 계류장은 갖춰야함(노선마다 첨두시 여객수요의 차이로 100% 수요처리는 불가)

● (Charging Power) 테슬라 및 Uber의 charging power 현황 등을 고려하여 단계별 목표 성능을 설정

– 초기에는 현재 Tesla가 상용화하여 확대 중인 250kW 고속충전시스템을 근거로, UAM 버티포트의 고속충전설비도 최소 250kW 성능을 갖추도록 설정

– 성장기에는 Uber의 400kW의 고속충전 요구수준을 고려하여 동일하게 적용

– 성숙기에는 Tesla 등 전기트럭을 제조하는 글로벌 자동차 제조업체들은 MW급 고전력 충전시스템을 개발* 중으로, 향후 UAM에도 적용 가능할 것으로 설정

* Tesla는 1MW 고전력 충전 표준 추진, Daimler는 최대 3MW 충전시스템 개발 중

21) 한국공항공사 도심항공교통추진단 내부자료(20.11.25)

(서비스) UAM 운항사의 경제성을 고려하여 운용조건 및 운항 지원 정보를 검토 항목으로 설정하고 목표 성능을 도출

● (운용조건) NASA Vision ConOps*를 근거하여 기상에 대한 목표 수준을 설정

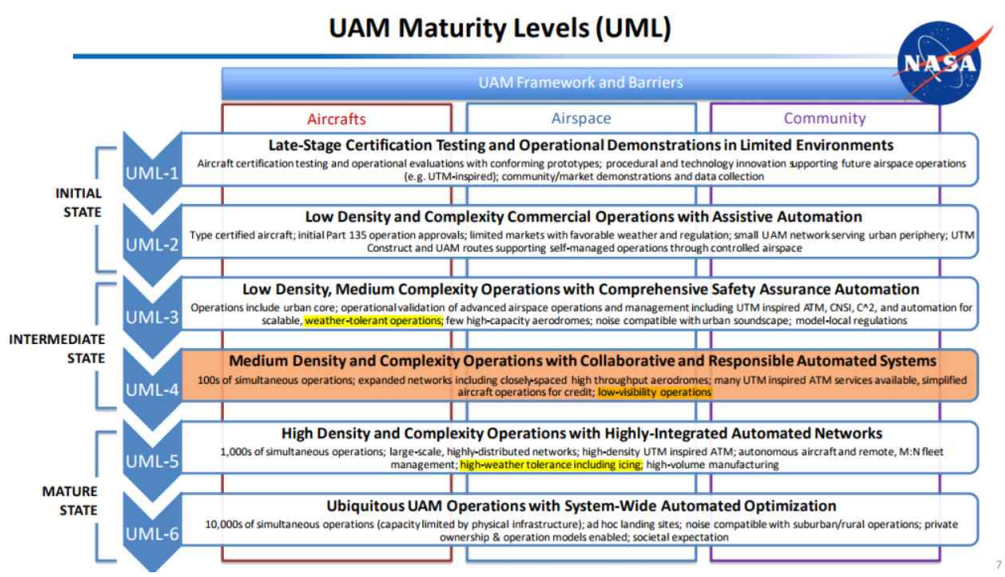
* Urban Air Mobility (UAM) Vision Concept of Operations (ConOps) UAM Maturity Level (UML)-4 Overview(2021.2.22.)

– (기상조건) 초기-성장기에는 Weather Tolerance 수준, 성숙기에는 결빙 등 All Weather에서의 운용으로 설정

- NASA(2021)는 UML-3 실현을 위해 Weather-Tolerant 수준을 요구, UML-4에는 Low-visibility operations 수준, UML-5 실현을 위해 결빙을 포함한 High-Weather Tolerance 수준을 요구

– (일일 운용시간) 김포공항의 운영시간(07:00~23:00, 16시간)을 기준으로 ±1시간 적용하여 설정함

- 초기에는 교통관리 및 CNSi 체계 미확립 등을 고려하여 시계비행이 가능한 시간에만 운용
- 김포공항의 운영시간은 주민 민원을 반영하여 설정된 기준으로 여객기 대비하여 UAM 발생 소음은 낮지만, 소음과 관련된 실정이 감안하여 설정
- 또한 성장기/성숙기에는 UAM용 교통관리 및 CNSi 체계 구축으로 초기보다 운용시간 확대



출처: Urban Air Mobility (UAM) Vision Concept of Operations (ConOps) UAM Maturity Level (UML)-4 Overview(2021.2.22.)

[그림 Ⅲ-19] UAM Maturity Levels(UML)

● (운항지원정보) UAM 기체 운항을 위한 데이터로 자율비행수준 및 데이터 관측 시설 구축 현황 등을 고려하여 단계별 목표를 설정

– (도심 3차원지도) 지상 교통수단인 자율주행을 위해 기본 인프라로 3차원 정밀 전자지도를 구축*하고 있으며, UAM의 자율비행 수준으로 고려하여 목표 설정

* 정부는 '22년까지 3차원 정밀전자지도를 자율주행 기술개발과 이를 위한 차량·도로 간 협력주행체계의 기본 인프라로 활용하기 위해 구축 추진

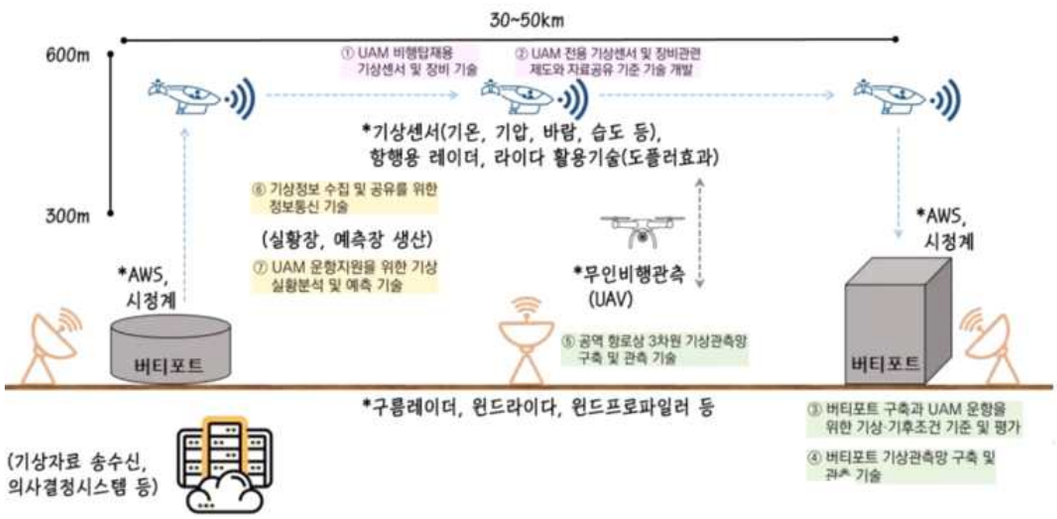
– 초기에는 도심 내 3차원 정밀지도를 구축하기 위한 데이터 수집을 수립하여 운항 시 지도 제공을 목표로 설정

– 성장기/성숙기에는 3차원 정밀지도의 고도화 및 실시간으로 운항 중인 기체 및 UAM 운항사 등에 제공하는 것을 목표로 설정

– (항로 기상데이터) UAM 운항에 있어 도심 내 기상변화를 관측·예측 필요성이 있으나 현 기상관측시설의 한계로 UAM용 기상 관측시설 및 정보 제공 요구

• 초기 운용시에는 UAM 기체에 장착된 기상센서 및 무인항공기 관측을 통한 비행 회랑(corridor)에 대한 기상 데이터를 수집하여 기상 정보를 UAM 운항사에 제공

• 성장기 및 성숙기에는 버티포트 이착륙을 위한 기상 관측시스템 구축 및 corridor 상 지상 관측 시설을 구축하여 단계적으로 기상 데이터를 수집하여 정보를 UAM 운항사에 제공



출처: 기상청 내부자료

[그림 Ⅲ-20] UAM에서의 기상 관련 기술

3. 미래시나리오 기반의 운용수익성 분석

가. 주요 항목별 가정

〈표 Ⅲ-13〉 UAM 운용수익성 분석을 위한 주요 요인별 가정

분야	항목		초기(2025년~)	성장기(2030년~)	성숙기(2035년~)
시장[주1)]	버티포트 수		4개	24개	52개
	노선 수		2개	22개	203개
	UAM 일일 통행량		29명	8,451명	209,337명
	운임		3,000원/인·km	2,000원/인·km	1,300원/인·km
기체·부품	기체 가격(대당)		15억원	12.5억원	7.5억원
	감가상각비		기체 가격에 대하여 10년 균등액상각		
	기체정비비		기체가격의 연 1%		
	배터리 운항단가		1,300원/km	500원/km	225원/km
항행·교통관리	CNSi 사용료		23.3원/Km	14.6원/Km	11.7원/Km
	PSU 사용료		213.5원/Km	106.8원/Km	71.2원/Km
인프라	버티포트 형태	이착륙장	1개	1개	2개
		계류장	4개	5개	12개
	버티포트 건설비		191억원/개	240억원/개	442억원/개
	착륙료		7만원/회	5만원/회	3만원/회
	주기료		28.8백만원/연·대		
	배터리 충전료		1,650원/kWh		
서비스	실질 운항일수(운항율)		347일(95%)	354일(97%)	361일(99%)
	기체당 조종사 수		3명 (3조 2교대, 1조당 1명)		
	조종사 조종개입수준		100%	50%	30%
	조종사 인건비		연 7천만원		
	기체보험료		기체 가격의 연 2%		
	기체구입 연간이자비용		기체 가격의 연 4%		
	운영시스템 구축비		30억원		
	운영시스템 감가상각비		내용연수 10년 적용		
	운영시스템 운영유지비		18억원		
	기상정보이용료		912원/회		
	간접비	판촉비	매출액의 1%		
		간접인건비	소요직원 및 인건비 추정[주2)]		
		일반관리비 및 제경비	간접인건비의 20% 수준		

주1. 본 보고서 (제3장 제2절 가.) UAM 수요예측 결과
주2. 단계별 소요직원 규모 및 인건비를 별도 추정

(기체·부품) 운영수익성 분석을 위하여 기체·부품 분야에서 기체가격, 기체 정비비, 배터리 가격 등을 주요 비용항목으로 설정

● (기체가격) 초기 기체개발에 따라 가격은 약 15억원에서 상용화 시 약 12.5억원 향후 대량생산 및 제작기술 향상으로 약 7.5억원까지 감소*할 것으로 가정

* 기체가격은 '25~'30년 연평균 약 3.6% 및 '30~'35년 연평균 약 -9.7% 감소 가정

– Uber Elevate(2016)에 따르면 기체가격은 초기 생산시 헬리콥터(120만달러) 수준에서 제조기술 등의 향상으로 60만달러까지 감소할 것으로 전망

• Booz Allen Hamilton에서는 UAM 기체를 개발 중인 주요 업체들의 추정가격을 조사한 결과 제조사별/성능별로 다소 차이가 있지만, 1~2인승급은 20만~30만달러, 4~6인승급 30만~65만달러로 추정가격을 제시('18)



Passengers	2
MTOW	2,000 lbs
Cost	$200,000
Timeline	First flight(2018)

[S2 EVOTL(Joby Aviation, 미국)]



Passengers	1
MTOW	795 lbs
Cost	$250,000
Timeline	First Flight(2017)

[Ehang 184(Ehang, 중국)]



Passengers	2
MTOW	2,000 lbs
Cost	$297,619
Timeline	First flight(2019)

[X01(EVAI, EU)]

출처: Booz Allen Hamilton Technical Briefing(2018), Urban Air Mobility (UAM) Market Study

[그림 Ⅲ-21] UAM 주요 기체별 추정가격

– UAM 기체의 감가상각은 기체가격(취득원가)를 기준으로 내용연수 10년 적용

• UAM 기체는 항공운송수단에도 불구하고 지상교통수단(승용차, 버스 등)과 유사한 운항 패턴을 가지고 있어 지상교통수단의 내용연수*를 고려하여 취득원가 기준 10년으로 설정

* 고속·시외버스 운송업(금호고속, 강원고속 등)에서는 내용연수 9년 설정

• 국내 항공운송산업에서는 취득원가의 잔존가치를 제외한 후 경제적 내용연수에 걸쳐 감가상각을하며, 항공기 및 항공기재의 내용 연수는 최대 25년까지 설정* 가능

* 대항항공 및 아시아나항공 사업보고서(2020.12) 기준, 실질적으로는 내용연수 15년으로 설정하는 것으로 조사[22)]

● (기체정비비) UAM 기체는 Overhaul 등 중정비가 필요한 항공기와 달리, 지상교통수단(택시, 시내/시외/고속버스 등)과 유사한 정비행태를 고려 기체가격의 1%를 정비비로 가정

– 한국교통연구원(2014)[23)]에 따르면 국내 저비용항공사의 연간 정비비 수준이 대당 평균 17~25억원으로 조사 되었으며, 당시 항공기 가격 약 73백만달러(약 814억원, '13.7월 환율 기준(1,120원)) 고려시 취득가격의 약 2~3% 수준임

22) 한국교통연구원(2014), '울산 지역항공사 설립 타당성 분석 및 설립방안 수립'
23) 한국교통연구원(2014), '울산 지역항공사 설립 타당성 분석 및 설립방안 수립'

- (평균 정비비) 제주항공 대당 25억원('07~'11년), 진에어 대당 17억원('08~'12년), 에어부산 대당 23억원('08~'12년), 이스타항공 대당 25억원('08~'12년)

- (항공기 MRO*) 운항정비(Line Maintenance), 부품정비(Component Maintenance/Repair), 중정비(Overhaul) 등 필수적인 정비 단계가 존재하여, 사용 연수 증가에 따라 정비비가 급상승하는 특징을 보유

* Maintenance Repair & Overhaul

● (배터리 비용) 최근 배터리 가격 추이를 고려하여 초기 약 12만원(100달러)/kWh 수준에서 배터리 관련 기술 발전으로 약 2만원대/kWh까지 감소할 것으로 가정

– 배터리팩 평균 가격 추이를 고려하여 '25년경에는 100달러/kWh 수준으로 점진적을 가격이 감소(연평균 -15%) 할 것으로 가정

– 블룸버그의 뉴에너지파이낸스(BNEF)가 발간한 '19년 배터리 가격조사에 따르면, 리튬이온 배터리팩 평균 가격이 156달러/kWh로 조사됨('10년부터 연평균 20% 감소)

- 전기차 가격이 내연기관 차와 비슷한 가격으로 경쟁할 수 있는 분기점을 100달러/kWh(배터리팩)로 전망하고 있으며, '20년에 평균 137달러/kWh*로 '23년에는 평균 101달러/kWh에 도달할 것으로 예상

* 중국의 전기버스에 탑재된 패터리팩은 최저가인 100달러/kWh 미만이었음

〈표 Ⅲ-14〉 UAM 기체 배터리 추정가격

항목	초기(2025~)	성장기(2030~)	성숙기(2035~)
배터리 용량(밀도)	130kWh (300Wh/kg)	270kWh (450Wh/kg)	500kWh (680Wh/kg)
단위당 단가	12만원/kWh	6만원/kWh	2.25만원/kWh
배터리 가격	15.6백만원/개	16.0백만원/개	11.25백만원/개
교체주기	12천km/회	32천km/회	50천km/회
운항당 단가	1,300원/km	500원/km	225원/km

[리튬이온 배터리팩 평균 가격 추이($/kWh)]



출처: 블룸버그뉴에너지파이낸스(BNEF)

– Morgan Stanley(2018)에서는 배터리 및 자동차 업체들의 목표하는 60달러/kWh 수준으로 비용이 낮아질 것으로 전망

- (배터리단가 변화) '20년 $100/kWh→'25년 $60/kWh)

– Booz Allen Hamilton(2018)에서는 배터리 비용을 200~250달러/kwh로 가정

- 운항단계별 요구 에너지를 고려하여 배터리팩 요구성능 범위를 도출(300~400Wh/kg)하고, 배터리 용량별 비용을 가정함

– Uber Elevate(2016)에서는 운항당 기체* 운영분석을 수행하여 1센터/마일의 배터리 비용을 도출

* 4인승급, 4,000lb 중량, 배터리팩 기준 400Wh/kg 등의 성능을 가진 기체

(항행·교통관리) UAM 기체 운항에 필요한 관제 및 정보, 감시, 항법 관련 서비스에 대한 비용으로 설정

● (CNSi사용료) UAM 기체 운항 시 상용통신서비스에 대한 이용료로 승객 인포테인먼트, 운항안전정보 및 기체-운항사 간 데이터 통신, 고정밀 측위서비스 이용료 등으로 구성

– (승객 인포테인먼트) UAM 이용객이 기체 내에서 데이터를 사용하는 소요량을 가정하고, 상용통신 데이터 요금 및 운항거리 등을 고려하여 단계별 사용료를 추정

〈표 Ⅲ-15〉 UAM 승객 인포테인먼트분야 데이터 사용료

구분	데이터 소모량 기준		초기(2025~)		성장기(2030~)		성숙기(2035~)	
			사용량	데이터 소요량	사용량	데이터 소요량	사용량	데이터 소요량
카카오톡	메시지 1건 전송 (사진파일 별도)	0.01 Mb/건	100건	1.0Mb/인	125건	1.3Mb/인	150건	1.5Mb/인
페이스북	1건 업데이트 기준	0.23 Mb/건	5건	1.2Mb/인	6.25건	1.4Mb/인	7.5건	1.7Mb/인
앱이용	1페이지 열기 (네이버 메일 기준)	0.5 Mb/건	50페이지	25Mb/인	62.5페이지	31Mb/인	75페이지	38Mb/인
게임	1분 사용 (쿠키런 기준)	0.35 Mb/분	30분	11Mb/인	37.5분	13Mb/인	45분	16Mb/인
웹툰	1화 보기	4 Mb/건	2화	8Mb/인	2.5화	10Mb/인	3화	12Mb/인
음악	1곡 듣기 (스트리밍)	4 Mb/건	10곡	40Mb/인	12.5곡	50Mb/인	15곡	60Mb/인
실시간 TV	1분 시청(표준화질) 1시간 시청(고화질)	5 Mb 500 Mb/분	40분	333Mb/인	50분	417Mb/인	60분	500Mb/인
계	-		-	419Mb/인	-	524Mb/인	-	628Mb/인
데이터 사용료	1Gb당 460원, 4인 사용 기준		-	771원	-	964원	-	1,156원
운항당 사용료	기체 성능 중 운항거리 적용 (100km-200km-300km)		-	7.7원	-	4.8원	-	3.9원

주1. 서울신문('13.12.6일자), '출퇴근길 스마트 기기로 음악 듣고 웹서핑하는 당신 데이터 용량은 알고 쓰십니까'
주2. 고려된 기체성능(항속거리-순항속도-운항시간) 초기 100km-150km/h-40분, 성장기 200km-240km/h-50분, 성숙기 300km-300km/h-60분 고려

– (운항정보 데이터 통신 등) UAM 기체 운영에 필요한 운항안전정보 수신 및 운항사와의 데이터 통신, 고정밀 측위 데이터 송수신 등을 위한 데이터 소요량 및 사용료를 산출

〈표 Ⅲ-16〉 UAM 기체 운항을 위한 운항정보 등의 데이터 사용료

구분	데이터 소모량 기준		초기(2025~)		성장기(2030~)		성숙기(2035~)	
			사용량	데이터 소요량	사용량	데이터 소요량	사용량	데이터 소요량
운항안전 정보	1초당 2건의 메시지	0.35Mb	4,800건	1,680Mb	6,000건	2,100Mb	7,200건	2,520Mb
기체-운항사 간 데이터 통신	1초당 1건의 메시지	0.35Mb	2,400건	840Mb	3,000건	1,050Mb	3,600건	1,260Mb
소계	데이터		-	2,520Mb	-	3,150Mb	-	3,780Mb
	1Gb당 460원, 기체 성능 중 운항거리 적용 (100km-200km-300km)		-	11.6원	-	7.2원	-	5.8원
고정밀 측위 서비스 이용료	Novatel PPP 기준 (Precise Point Positioning)	시간당 600원/수신기	40분 사용 400원		50분 사용 500원		60분 사용 600원	
	기체 성능 중 운항거리 적용 (100km-200km-300km)		4원		2.5원		2원	

주: 고려된 기체성능(항속거리-순항속도-운항시간) 초기 100km-150km/h-40분, 성장기 200km-240km/h-50분, 성숙기 300km-300km/h-60분 고려

● (PSU사용료) 김포공항 시설사용료(21,350원/회)을 기준으로 UAM 기체 운항가능거리 기준으로 단계별 PSU 사용료를 가정

– PSU 사용료가 다소 낮아 지속적인 적자가 발생할 것으로 보이나, 성숙기에 UAM 대중화로 인한 규모의 경제 실현 및 자동화·자율화 기술로 인한 소요인력 감소로 수익발생이 가능할 것으로 판단

* UAM 인프라 분야 사업을 추진 중인 한국공항공사로부터 외부 자문을 받은 결과 PSU 구축 및 운영비용 대비 수익성이 낮아 인상이 필요할 것으로 의견을 받음(PSU 초기 구축 비용 및 운영비용(초기 5년)을 847억원 예상)

〈표 Ⅲ-17〉 PSU 사용료 산정 기준

구분	초기(2025~)	성장기(2030~)	성숙기(2035~)
기체성능 (항속거리) (A)	100 km	200 km	300 km
김포공항 시설사용료 (B)	21,350원		
PSU 사용료 (C=B÷A)	213.5 원/km	106.8 원/km	71.2 원/km

■ (인프라) UAM 운영에 필요한 버티포트 구축비, 버티포트 사용료, 충전료 등을 주요 항목으로 설정

● (버티포트 구축비용) 버티포트 형태에 따라 191억~442억원의 구축비용을 가정

– 한국공항공사에서에 분석한 자료에 따르면 이착륙장은 시간당 약 20대(이륙 20회+착륙 20회) 이착륙이 가능하고, 계류장은 시간당 약 3.2대 처리가 가능한 것으로 추정

– UAM 수요예측 결과(수도권 기준)를 기반으로 필요한 버티포트(landside, airside) 면적을 산출하여 면적당 건설비를 적용

• Landside은 발권, 보안검색, 일반·격리 대합실, 편의 및 공용시설, 여객이용 지원 시설 등으로 구성하며, 면적 기준은 공항 서비스 수준-Ⅲ을 적용*

* 제3차 공항개발 종합계획(국토교통부, 2005)의 서비스 수준별 첨두시 소요시설 기준 참조

〈표 Ⅲ-18〉 Vertiport 구축비용 산출을 위한 면적 및 건설비 기준

구분		Airside	Landside
면적당 건설비[주]		2백만원	3.5백만원
면적	이착륙장 1 - 계류장 4	8,475 ㎡	22 ㎡
	이착륙장 1 - 계류장 5	10,500 ㎡	228 ㎡
	이착륙장 2 - 계류장 16	17,869 ㎡	1,304 ㎡

주: 한국공항공사 내부자료

● (버티포트 사용료) 버티포트 사용료는 착륙료 및 주기료로 구성되며, 버티포트 구축·운영비용 및 성숙기 수익 발생을 고려하여 사용료를 설정

– (운용비) 운용 비용은 구축비용 상각비(내용연수 30년) 및 이자비용(연 4%), 버티포트 인력 운영비를 고려 단계별로 약 25억~ 약45억원을 적용

• (운영인력) 보안검색 및 버티포트 보안, 지상운용인력(승객 안내 및 기내 청소, 충전 및 기체상태 확인, Tugging & Pushback 등), 버티포트 유지관리인력(관리자, 기계/전기/IT 담당자 등)

– (사용료) 주기료는 월 240만 원, 착륙료는 7만 원-5만 원-3만 원으로 단계별로 비용을 낮춰 수익률이 장기적으로 적자에서 흑자로 전환될 수 있도록 설계

• 기체 주기료는 충전 및 정비·유지관리 등을 위해 정차장 개념을 적용

– (충전료) 한국전력공사의 전기자동차 전력요금 기준을 고려하여 1,650원/kWh 적요

• (전력요금 기준) 산업용과 전기자동차 전력요금을 비교하였으나, 기본요금이 전기자동차에 비해 상대적으로 높아 전기차 충전전력요금 기준으로 적용

〈표 Ⅲ-19〉 전기자동차 전력요금 기준

종류	기준	기본요금 (원/KW)	전력량 요금(원/KWh)			
			시간대	여름철	봄·가을철	겨울철
전기자동차	고압	2,580	경부하	47.5	48.5	64.9
			중간부하	105.7	59.3	96.0
			최대부하	158.7	63.2	133.8

[참고] 한국전력공사의 전기요금 구조

기본요금 + 전력량요금 + (기후환경요금) 기후환경요금단가 (5.3원/kWh)×사용전력량 ± (연료비조정요금) 연료비조정단가 (±5원/kWh)×사용전력량

• (단가 산정) 기본요금은 계약전력을 총충전량의 1/2 규모로 설정*하고 초과되는 전력을 고려하여 3,000원(2,580원에서 약 20% 증액)으로 가정하고, 전력량 요금은 최대 단가를 고려하여 150원 수준으로 가정

* 충전설비 규모를 고려 총 전략량의 1/2 규모를 운항 시간 사용, 비운항 시에 완충

〈표 Ⅲ-20〉 UAM 충전료 단가

구분	초기(2025~)	성장기(2030~)	성숙기(2035~)
연간 충전량(A)주	52,050kWh/년	1,401,840kWh/년	12,183,750kWh/년
기본요금(B)	3,000원/kw		
전력량 요금(C)	150원/kwh		
기본요금(D=A/2 * B)	78,075,000원	2,102,760,000원	18,275,625,000원
전력량요금(E=A*C)	7,807,500원	210,276,000	1,827,562,500원
총 요금(F=D+E)	85,882,500원	2,313,036,000원	20,103,187,500원
연간 충전량 대비 요금 단가 (G=F/A)	1,650원		

주: UAM 수요예측(수도권)을 기준으로 운항일 수, 1회 충전량 등 고려하여 충전량 산출

(서비스) 운항서비스 제공에 필요한 항목으로 운항 일수, 기체당 조종사 수 및 자동화·자율화로 인한 조종개입 수준, 운항사 운영시스템 등을 설정

● (운항 일수) 실질적 운항 일수은 국내 공항의 결항율를 고려하여 운항률을 95% (347일), 97%(354일), 99%(361일)로 설정

– 국내 주요 공항의 결항률을 적용하여 초기 5%, 성장기 3%, 성숙기 1% 적용

• '19년 가장 높은 결항률(기상 및 기체 이상 등)은 포항공항(약 6%) 이었으며, 김포/김해/제주공항 등 주요 결항률은 약 1.0%로 나타남

• 기상 이상으로 인한 결항률의 경우 포/김해/제주공항 약 8~9%, 포항공항 5.9%였음

● (조종사) 기체당 3조 2교대로 조종인력을 편성하고, 조종사 인건비에 조종사 자동화·자율화 기술이 고려하여 조종사 인건비 규모를 산정

– 조종사 인건비는 연 7천만 원으로 가정

• (조종사인건비) 한국교통연구원(2014) 연 7천만 원, 경상북도(2018) 월급여 550만 원

• 전문가로 구성된 서비스WG에서 자율비행 기술발전 시나리오별로 조종사의 조종개입 수준을 도출하였으며, 운용수익성 분석 시 중립 시나리오를 적용

〈표 Ⅲ-21〉 조종사의 조종 개입 수준 시나리오

구분		초기(2025~)	성장기(2030~)	성숙기(2035~)
자율비행 수준 (조종사 운용)		On Board (조종사 탑승)	Off Board (원격조종)	Autonomous (자율비행)
자율비행 기술발잔 시나리오	상승	100 %	30 %	0 %
	중립	100 %	50 %	30 %
	하락	100 %	80 %	50 %

● (보험료 및 연간비용) 한국교통연구원(2014)에서 가정한 항공기 보험요율 및 항공기 구입에 따른 금융비용을 적용

– 항공기 보험요율은 한국교통연구원(2014) 가정과 동일하게 기체가격의 연 2% 적용

– 항공기 구입에 따른 금융비용은 한국교통연구원(2014) 가정과 동일 수준으로 기체 가격의 연 4% 적용

• 한국교통연구원(2014)에서는 항공기 취득비용에서 잔존가치를 제외한 비용(취득비용의 80%)의 연 5%를 적용

● (운영시스템) UAM 운항사의 운영에 필요한 시스템(예약, 발권, 조종사 근무 계획, 기체 운항·정비 계획 등) 구축 및 운영 비용 가정

– 국내 저비용항공사 구입·운영 사례를 고려하여 시스템 구축 비용 30억 원(내용 연수 10년 적용*), 5년마다 시스템 업그레이드로 인한 비용 12억 원, 연간 운영비 18억 원 적용

* (내용연수) 세법상 소프트웨어 3.9~20년, 기계장치 8~15년

● (기상정보이용료) 현 기상정보이용료의 80% 수준인 912원으로 가정

– 기상정보이용료는 기상청에서 항공기 착륙에 필요한 기상정보 이용료로 대당 11,400원씩 부과

● (간접비) UAM 운항사 운용에 필요한 판촉비, 간접인건비, 일반관리비 및 제경비 등을 가정하여 적용

– (일반관리비 및 제경비) 경상북도(2018)[24]에서 가정한 간접인건비의 20% 수준으로 적용

• 서비스 WG 내 전문가로 참여하고 있는 국내 항공사 전문위원을 통해 적정성 검토 진행

– (판촉비) 경상북도(2018)[25]에서 가정한 매출액의 1%로 가정

• 서비스 WG 내 전문가로 참여하고 있는 국내항공사 전문위원을 통해 적정성 검토 진행

– (간접인건비) UAM 운항사 조직은 임원진, 정비, 운송, 판매/마케팅, 일반지원, 기술지원 등으로 구성하여, 인력별 인건비를 적용하여 산출

• 한국교통연구원(2014) 및 경상북도(2018)에서 검토된 조직 구성 및 최소 인력 조건 적용

24) 경상북도(2018), '경상북도 지역항공사 설립 타당성조사 연구용역'
25) 경상북도(2018), '경상북도 지역항공사 설립 타당성조사 연구용역'

[참고] 간접비 산정을 위한 조직 구성 가정

조직		인원 수			연간 인건비	비고
		'25년	'30년	'35년		
경영진	대표	1 명	1 명	1 명	100백만 원/연간·명	
	임원	3 명	3 명	3 명	70백만 원/연간·명	
정비분야	관리자	1 명	1 명	1 명	50백만 원/연간·명	본사정비 기체당 0.25명, 취항지당 1명
	담당자	6 명	51 명	325 명	41백만 원/연간·명	
운송분야	관리자	1 명	1 명	1 명	50백만 원/연간·명	본사 2명, 취항지당 2명
	담당자	12 명	50 명	106 명	26백만 원/연간·명	
판매/마케팅 분야	관리자	1 명	1 명	1 명	50백만 원/연간·명	예약, 판매, 마케팅 등
	담당자	10 명	10 명	10 명	35.3백만 원/연간·명	
일반 지원 분야	관리자	1 명	1 명	1 명	50백만 원/연간·명	기획, 재무, 인사 등
	담당자	8 명	8 명	8 명	25백만 원/연간·명	
기술지원 분야	관리자	2 명	2 명	2 명	50백만 원/연간·명	운항기술, 안전보안, 시스템 등
	담당자	9 명	9 명	9 명	33백만 원/연간·명	
계	경영진	4 명	4 명	4 명	**간접인건비**	
	관리자	6 명	6 명	6 명	**'25년**	**'30년**	**'35년**
	담당자	44 명	128 명	458 명	약 19.7억원/연간	약 48.5억원	175.4억원
		54 명	138 명	468 명			

나. 운용수익성 분석

■ (운항계획) UAM 수요예측을 통해 도출된 UAM 이용수요 및 노선거리 등을 통해 일일 수송 인원 및 운항 횟수, 소요 항공기 규모 등을 도출

● (운항) UAM 수요예측에서 설정된 노선 및 기체 성능 등을 고려하여 단계별 평균 노선거리(운항거리) 및 운항시간을 도출함

– FT은 단계별 평균 노선거리 및 기체 순항속도, 이착륙 시간(2분)으로 산정하였으며, TAT는 충전 시간 및 택싱 시간으로 산정

• 단계별 기체 순항속도는 150km/h-240km/h-300km/h이며, TAT는 15분-13분-10분으로 설정

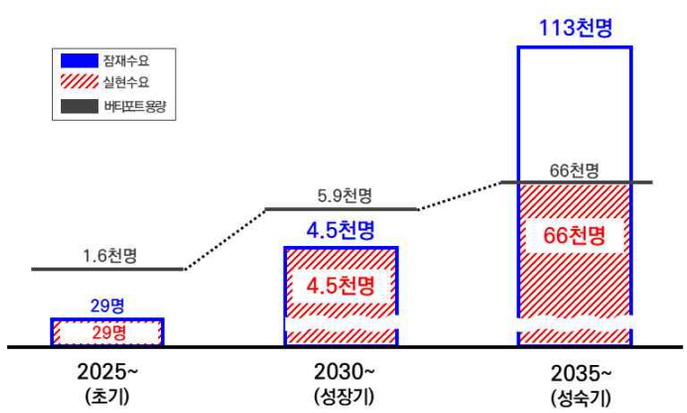
● (운항당 수송인원) UAM 운용기체의 운항당 탑승인원은 초기·성장기 2.7명, 성숙기 3.4명으로 가정

– UAM 기체는 조종사 포함 5인승으로 초기·성장기에는 조종사 탑승으로 공급석이 4석이며, 성숙기에는 자율운항으로 공급석이 5석으로 증가

• UAM 운송서비스의 평균 탑승률은 약 67%로 가정[26)]

● (수송규모) UAM 수요예측 결과 및 버티포트의 여객 수용량을 고려하여 UAM 실현수요(수송인원, 운항횟수)를 도출함

– 기 도출된 UAM 수요는 UAM 운송서비스가 제공될 경우 발생할 수 있는 잠재수요로 성숙기에는 버티포트 여객 처리가능 용량이 실현 수요가 될 것으로 분석



[그림 Ⅲ-22] UAM 잠재수요 및 실현수요 비교(수도권 기준)

26) 국토교통부 "자율비행 개인항공기 인증 및 운용기술개발사업"의 4세부과제(OPPAV 교통서비스체계 도입방안 연구) 수행 과정에서 사용된 가정을 적용(주관기관: 한국교통연구원)

〈표 Ⅲ-22〉 UAM 운용수익성 분석을 위한 운항계획

구분			초기(2025~)	성장기(2030~)	성숙기(2035~)
운항	평균	노선거리	27.6 Km	25.6 Km	27.9 Km
		FT	13.0 분	8.4 분	7.6 분
		FT+TAT	28 분	21 분	18 분
	연간	FT+TAT	1.7천 시간	398천 시간	4,613천 시간
수송	운항당	공급석	4 석	4 석	5 석
		평균 탑승률	67.0%		
		수송인원	2.7 명/회	2.7 명/회	3.4 명/회
	수송 인원	일일	29 명	8.4천 명	146천 명
		연간	9.8천 명	161만 명	2,371만 명
	운항 횟수	일일	11 회	3.2천 회	43.6천 회
		연간	3.7천 회	112만 회	1,574만 회
	항공기 소요 대수		4 대	1백 대	10.9백 대

주: 산출값은 반올림으로 계상

[참고] 운항시간 용어 정의

❍ FT(Flying Time) : 항공기의 실제 비행시간을 출발지 공항에서의 이륙(take-off)부터 목적지 공항에서의 착륙(Landing)까지의 시간

❍ BT(Block Time) : 항공기가 비행을 목적으로 출발지 공항에서 움직이기 시작(Ramp- out)한 후부터 다음 목적지에 착륙하여 완전히 정지(Ramp-in)할 때까지의 시간

❍ TAT(Turn Around Time) : 지상대기시간

(운용수익성 분석) 항목별 가정 및 운항계획을 기반으로 UAM 운송서비스 전반에 대해서 단계별 운용수익성을 분석

● (운항수입) 초기 연간 8.2억원에서 성숙기 1조 9,137억원으로 수입 규모 확대

– 운항당 수입은 운임 감소로 인하여 초기 22만원에서 성숙기 12만원으로 감소

〈표 Ⅲ-23〉 단계별 UAM 운항당/연간 운항수입

구분		초기(2025~)	성장기(2030~)	성숙기(2035~)
운항거리당 운임		3,000 원/km	2,000 원/km	1,300 원/km
여객당 평균 운임		83.8천 원	51.2천 원	36.3천 원
운항 수입	운항당	222천 원	137천 원	122천 원
	연간	8.2억 원	1,532억 원	1조 9,137억 원

주: 산출값은 반올림으로 계상

● (운항비용) 초기 연간 72억원에서 성숙기 1조 8,180억원으로 비용 규모 확대

– 운항당 비용은 초기 195만원에서 성숙기 11.5만원으로 감소

– 직접비는 연평균 약 17% 감소하는 것으로 나타났으며, UAM 기체 및 배터리 등 핵심 부품·시스템에 대한 기술 발전 영향으로 보임

– 간접비는 연평균 약 45% 감소율 보였으며, 기술발전 측면뿐 아니라 규모의 경제 달성이 주요 요인으로 보임

〈표 Ⅲ-24〉 단계별 UAM 운항비용

구분			초기(2025~)	성장기(2030~)	성숙기(2035~)
직접비(변동비)	기체/부품	감가상각비	163천 원	12천 원	5.2천 원
		금융비용	65천 원	4.7천 원	2.1천 원
		배터리 교체비용	36천 원	13천 원	6.3천 원
	인프라	착륙료	70천 원	50천 원	30천 원
		주기료	31천 원	3천 원	2.0천 원
		배터리 충전료	47천 원	47천 원	57천 원

구분			초기(2025~)	성장기(2030~)	성숙기(2035~)
직접비(변동비)	교통/항행	CNSi 사용료	0.6천 원	0.3천 원	0.3천 원
		PSU 사용료	5.9천 원	2.7천 원	2.0천 원
	서비스	조종사 인건비	229천 원	10천 원	4.4천 원
		기체 보험료	65천 원	4.7천 원	2.1천 원
		기상정보이용료	0.9천 원	0.9천 원	0.9천 원
		정비유지비	16천 원	1.1천 원	0.5천 원
		소계	**731천 원**	**149천 원**	**112천 원**
간접비(고정비)	서비스	판촉비	2.2천 원	1.4천 원	1.2천 원
		시스템운영비	490천 원	1.6천 원	0.1천 원
		시스템감가상각비	82천 원	1.3천 원	0.1천 원
		간접인건비	538천 원	9.9천 원	1.5천 원
		일반관리비 및 제경비	108천 원	0.8천 원	0.2천 원
		소계	**1,219천 원**	**15천 원**	**3천 원**
운항비용		**운항당**	**195만 원**	**16.4만 원**	**11.5만 원**
		연간	**71.7억 원**	**1,833억 원**	**1조 8,185억 원**

주: 산출값은 반올림으로 계상

[참고] UAM 운항수지 분석 비용항목별 비중 변화

구분			초기(2025~)	성장기(2030~)	성숙기(2035~)
직접비(변동비)	기체/부품	감가상각비	8.4%	7.2%	4.5%
		금융비용	3.3%	2.9%	1.8%
		배터리 교체비용	1.8%	7.8%	5.4%
	인프라	착륙료	3.6%	30.4%	26.0%
		주기료	1.6%	1.7%	1.7%
		배터리 충전료	2.4%	28.8%	49.1%
	교통/항행	CNSi 사용료	0.0%	0.2%	0.3%
		PSU 사용료	0.3%	1.7%	1.7%
	서비스	조종사 인건비	11.7%	6.1%	3.8%
		기체 보험료	3.3%	2.9%	1.8%
		기상정보이용료	0.0%	0.6%	0.8%
		정비유지비	0.8%	0.7%	0.4%
		소계	37.5%	90.8%	97.3%
간접비(고정비)	서비스	판촉비	0.1%	0.8%	1.1%
		시스템운영비	25.1%	1.0%	0.1%
		시스템감가상각비	4.2%	0.8%	0.1%
		간접인건비	27.6%	6.0%	1.3%
		일반관리비 및 제경비	5.5%	0.5%	0.1%
		소계	62.5%	9.2%	2.7%
비용합계			100.0%	100.0%	100.0%

● (분석 결과) 운항수익은 성장기('30~'34년) 동안 흑자로 전환될 것으로 분석

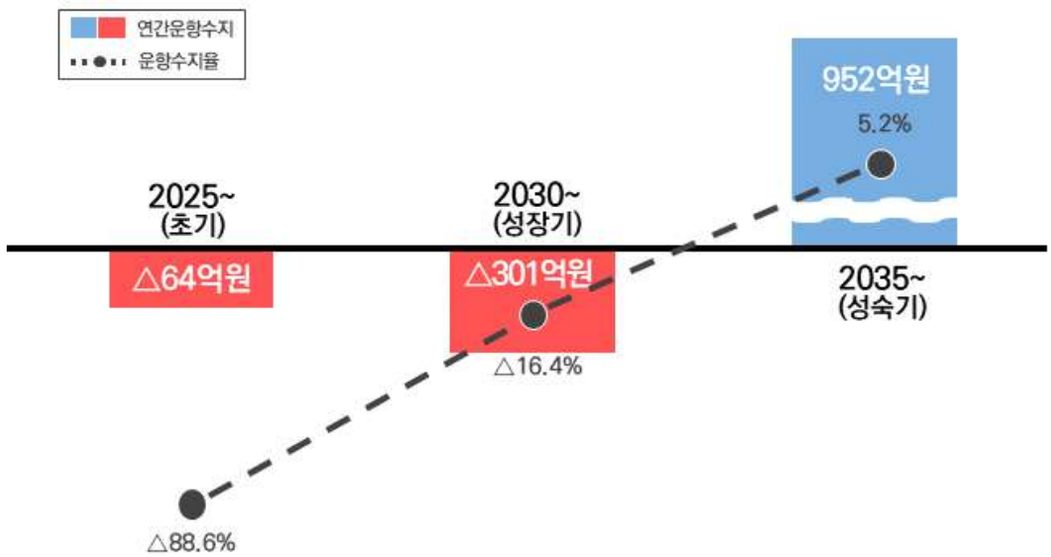
– (초기) 인천공항-여의도, 김포공항-삼성 2개 노선에서 공항 이용객을 대상으로 서비스가 제공되어 적자는 불가피 (운항수지율 약 -88.6%)

– (성장기) 수도권 내 주요 거점 및 4대 광역권에도 버티포트가 구축되어 이용객이 본격적으로 증가하는 시점으로 손익분기점 도달 및 누적적자 만회 전망

– (성숙기) 기술발전으로 인한 UAM 대중화 및 수용성 증가 예상되며, UAM 이용객 증가로 규모의 경제 달성

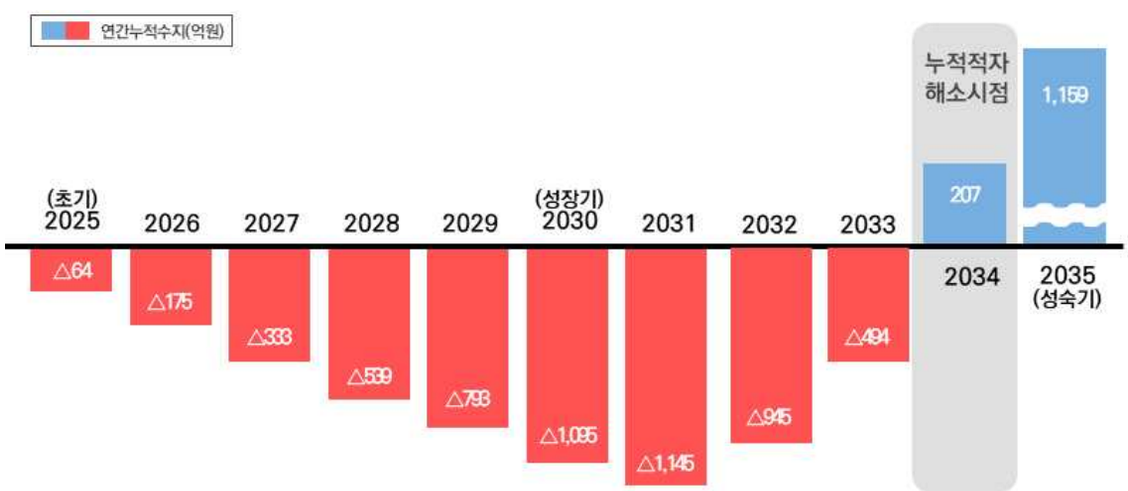
〈표 Ⅲ-25〉 단계별 UAM 연간 운항수지 및 운항수지율

구분		초기(2025~)	성장기(2030~)	성숙기(2035~)
1회 운항	수입	22.2만 원	13.7만 원	12.2만 원
	비용	195만 원	16.4만 원	11.5만 원
	수지	**△173만 원**	**△2.7만 원**	**0.6만 원**
연간	수입	8.2억 원	1,532억 원	1조 9,137억 원
	비용	71.7억 원	1,833억 원	1조 8,185억 원
	수지	**△63.5억 원**	**△301억 원**	**952억 원**
수지율		**-88.6%**	**-16.4%**	**5.2%**



[그림 Ⅲ-23] UAM 연간 운항수지 및 운항수지율 추세

– '25년 운항을 시작으로 '31년까지 운항수지 적자가 지속되지만, '32년을 기점으로 운항수지가 흑자로 전환되면서 '34년에는 누적적자가 해소되는 것으로 분석됨



[그림 Ⅲ-24] UAM 연간 누적 운항수지 분석결과

4. 시사점

가. 분석결과

❖ **충분한 안전도와 사회적 수용성이 확보될 경우 기술개발 등으로 산업이 성숙기('35년~)에 접어들면 대중화 가능 예상**

■ 운영수익성 분석에 따른 K-UAM 상용화 예상

● 주로 중장거리 택시·승용차* 이용자가 UAM 이용수요로 전환

* 현재 수도권 기준 일일 44백만명이 택시·승용차 이용 중

– 이용 초기에는 비지니스·관광·공항이용자 중심으로 수요가 형성되고 운임수준과 비례하여 대중 수단으로 전환

〈표 Ⅲ-26〉 시기별 UAM 운임 변화

구 분	초기('25~)	성장기('30~)	성숙기('35~)
이용 운임(1인 기준)	3,000원/km	2,000원/km	1,300원/km

● '30년(성장기) 이후 고도화된 기술 적용 및 규모의 경제 실현 등으로 운항수지가 흑자로 전환되고, 성숙기('35년~) 이전에 누적적자가 해소될 것으로 전망

– '25년 상용화 초기 일일 29명에서 시장이 성숙되는 '35년경 일일 15만명까지 이용수요가 급격히 성장 전망

– '25년 상용화 초기 연간 발생되는 운항수입 약 8억원에서 대중화로 인해 '35년경 약 1.9조원으로 성장 예상

■ 미래시나리오에 따른 단계별 전망

● (초기('25년~'29년)) 기존 헬기 운용형태와 비슷하게 2개 노선에서 일부 사용자(비즈니스·관광·공항이용자 중심)를 대상으로 서비스가 제공되어 적자는 불가피 예상

– '기체-터미널-헬기 운항절차' 등 헬기와 유사한 형태로 상용화을 추진. 다만, 상용화 기체는 기존 항공기 수준의 안전도로 개발·인증된 기체

● (성장기('30년~'34년)) 주요거점에 버티포트가 구축되어 이용객이 본격적으로 증가하는 시점으로 손익분기점 도달 및 누적적자 만회 예상

– 원격조종, 고효율 배터리, 교통관리 자동화 등이 적용되고 규모의 경제가 실현(양산기술 중요)되며 초기대비 약 8% 수준으로 비용 저감

● (성숙기('35년~)) 기술적 토대 위에 UAM 대중화 및 수용성 증가 예상

– 자율비행(인건비↓), 교통관리 자동화 수준 향상 등 고도 기술이 적용되며 비용이 성장기 대비 약 70% 수준으로 저감, 대중화 가능 예상

〈표 Ⅲ-27〉 시기별 K-UAM 시장 변화 형태

구분		초기(2025~)	성장기(2030~)	성숙기(2035~)
기술개발 수혜		✓ 배터리 용량 증대 + 기체 경량화 ⇨ 운항가능 거리 및 시간 증가 ✓ 양산기술 개발로 대량생산 가능 ⇨ 생산단가 등 기체 가격 하락 ✓ 기상예측, 야간비행기술 ⇨ 운항가능 시간 증가 ✓ 자율비행 + 관제기술 개발 ⇨ 운항효율 증가(탑승인원/빈도 등)		
기체	속도	150km/h(80kts)	240km/h(130kts)	300km/h(161kts)
	거리	100km(62miles)	200km(124miles)	300km(186miles)
	조종형태	조종사탑승	원격조종	자율비행
항행/교통	교통관리체계	유인교통관리	자동화+유인교통관리	완전자동화 교통관리
	비행회랑	고정식	혼합식	혼합식
	운용량	5대 운용	8대 운용	16대 운용
버티포트	노선/버티포트	2개 / 4개소	22개 / 24개소	203개 / 52개소
	이착륙장/계류장	4개 / 16개	24개 / 120개	104개 / 624개
기타	기체가격	15억원	12.5억원	7.5억원
	운임(1인, Km당)	3,000원	2,000원	1,300원

나. 기술로드맵 추진방향

■ 안전성, 수용성, 경제성 등을 핵심가치로 설정하되, 미래지향성까지 종합적으로 고려한 개발·투자전략 마련 필요

● (시장을 여는 핵심) 기체, 교통관리, 인프라 등이 충분한 안전성 및 사회적 수용성을 확보하면 시장이 원활히 열리고 성장 가능

– 시장이 열리면 단계적 기술 상용화를 거쳐 대중화까지 기하급수적 성장 가능('25~'35, 이용자 증가율 연평균 118%[27])

● (경제성 확보기술 중요) 기체 개발·제작 외 인프라, 지상조업 등도 개발 비용에 많은 부분을 차지해 전방위적인 기술개발 범위 확대 필요

– 기존 항공R&D는 기체·부품 개발 및 제작, 안전·인증, 항행·교통관리 등에 집중했으나 운항관리, 지상조업 등 서비스분야도 중요

● (생태계 자생력 확보) UAM을 지속가능 먹거리로 육성하기 위해 인적 자원 및 기초과학 등 기반생태계 형성 및 경쟁력 강화 필요

– 국내 항공운송·공항은 항공선진국 수준이나 제작·항행인프라 등은 고급인력·생태계 기반이 미흡하여 항공선진국 수준에 미치지 못함

– 이번 기술로드맵을 통해 국가연구개발('30경 시장진입 목표)뿐 아니라 중장기적으로 UAM이 지속발전할 수 있는 생태계 확보 전략도 병행 필요

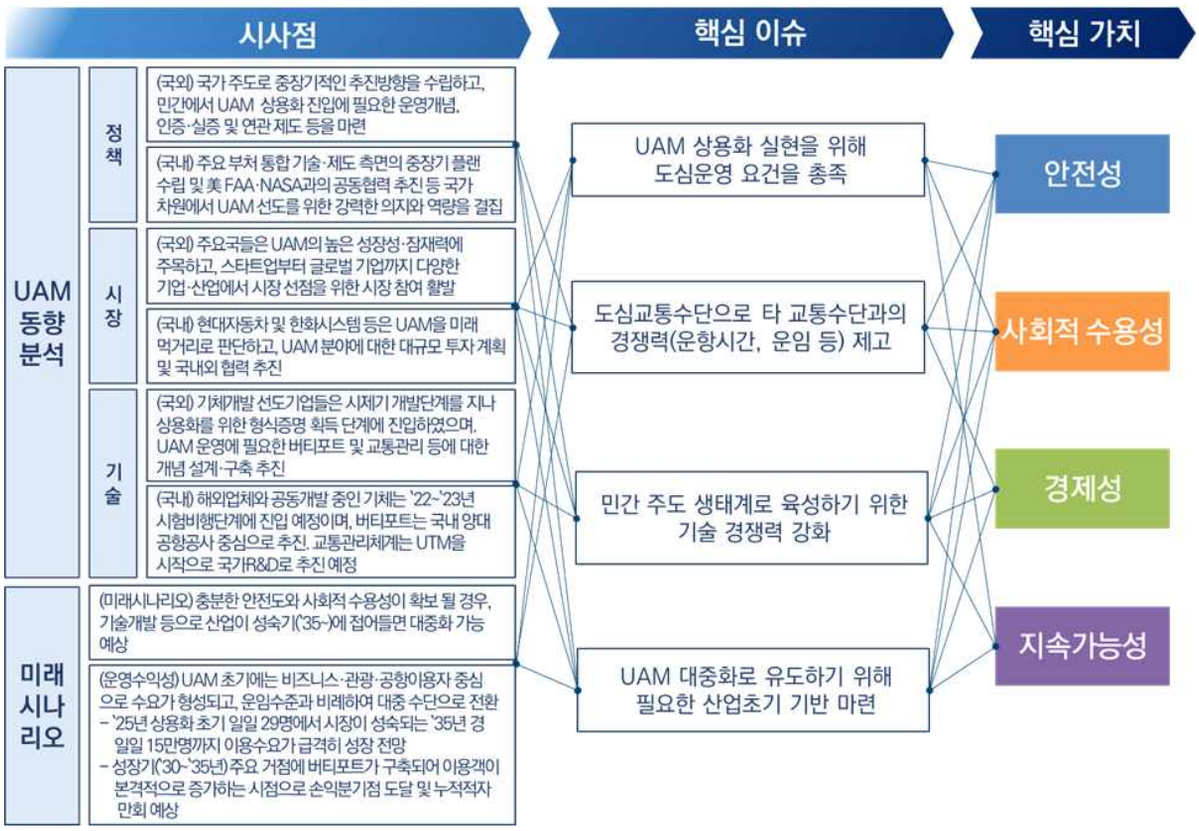
● (국가재정 역할 필요) 초기 상용화부터 10년간 적자를 감안해야 하는 등 민간사업자에게 도전적이므로 국비지원도 절실

– 시장을 확장하는데 정부의 지원*이 필요하며, 다양한 산업 파급 및 지속적인 부가가치 창출을 위해 R&D에 중점 투자 필요

* 언론분석에 따르면 UAM 생태계를 이끌던 Uber Elevate社가 코로나 상황 등 경영 악재로 중장기 투자에 부담을 느끼고 Joby社에 매각('20.12)

• (이 외 투자분야) 제도 마련, 시험·실증, 초기 실증인프라 구축 등

27) UAM 연간 이용객 수(예측치) '25년 9.8천명, '35년 2,371만명



[그림 Ⅲ-25] UAM 동향 및 미래시나리오 분석 등에 따른 핵심이슈

제4장

K-UAM 구현을 위한 중점추진기술 발굴

제1절 K-UAM 구현을 위한 중점추진기술 발굴

제2절 중점추진기술별 기술역량 및 확보방안

제1절 K-UAM 구현을 위한 중점추진기술 발굴

1. K-UAM 중점추진기술 도출

가. 중점추진기술 도출 프로세스

■ 부족기술 식별, 우선순위 평가, 기술로드맵 수립 순으로 최종 중점 추진기술 확정

● WG과 이해관계자를 대상으로 기술조사를 하여 부족기술을 식별하고 이에 대한 우선순위 평가를 통해 기술로드맵 수립 후 대국민 의견 수렴을 거쳐 최종 UAM 기술로드맵 확정

- (Step 1) 부족기술 식별을 위해 WG 및 이해관계자 대상으로 기술조사 진행 및 타부처 UAM 유관 기술 검토 후 부족기술 식별 결과를 WG에서 정리·검토하여 중점추진기술군 도출
- (Step 2) 중점추진기술군 대상으로 우선순위 평가 및 획득전략 설문 진행하고 평가 결과 바탕으로 K-UAM 중점추진기술군의 추진방향을 확정
- (Step 3) 추진방향 등을 바탕으로 기술로드맵 수립하고 선정된 중점추진기술 대상으로 기술 정의서를 통한 확보 기술 구체화
- (Step 4) WG별 기술로드맵 작성 및 대국민 의견 수렴으로 최종 반영하여 기술로드맵 확정



[그림 Ⅳ-1] K-UAM 중점기술 발굴 프로세스

나. 주요 기술분야 도출

■ K-UAM 미래시나리오와의 연계로 체계적인 기술로드맵 구조도 구축

● 미래시나리오의 핵심부문, 요구항목을 연계하여 구조도 작성

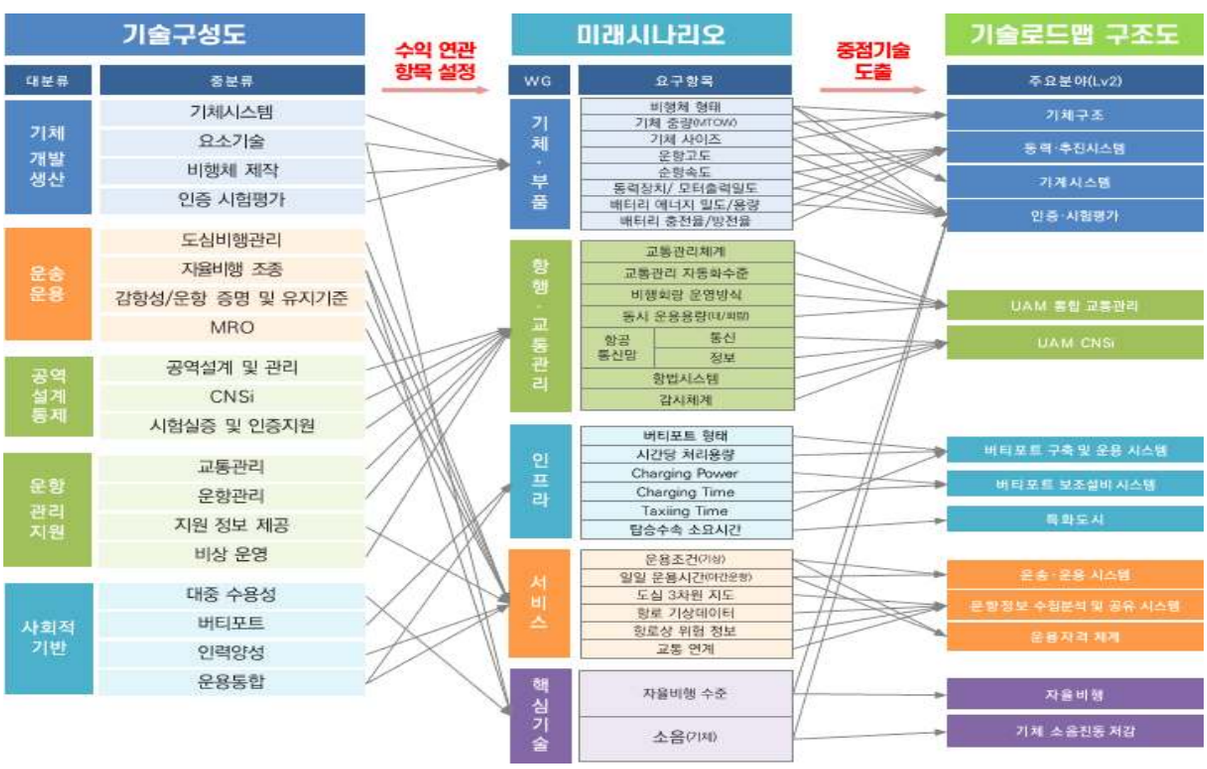
– (핵심부문) 전체 WG* 중 기술과 관련된 기체·부품, 항행·교통관리, 인프라, 서비스, 핵심기술로 분류하여 구성

* 시장, 기체·부품, 항행·교통관리, 인프라, 서비스, 핵심기술, 운용수익성

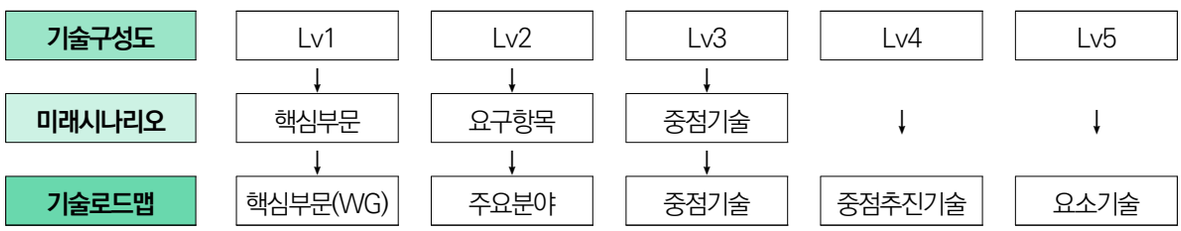
– (주요분야) 미래시나리오 요구항목별 중요 키워드를 중심으로 분류했으며, 중점기술 2~5건를 포함하여 구성

– (중점기술) 연구과제급 사업으로 추진될 수 있도록 중점추진기술 중 유사한 기술 그룹핑

– (중점추진기술) 기술조사서에 대응되는 미래시나리오 달성을 위한 기술로 구성



[그림 Ⅳ-2] 기술구성도-미래시나리오-기술로드맵 연계도



[그림 Ⅳ-3] 기술구성도-미래시나리오-기술로드맵 수준 비교

2. 기술조사 및 우선순위 평가

가. 부족기술 식별(기술조사)

■ W/G 전문가 및 이해관계자 등을 대상으로 부족기술 확보

● (수행방법) WG 전문가 대상 부족기술에 대한 기술조사를 수행하고, 수행 결과를 반영하여 이해관계자 기술조사를 수행

– (조사기간) ①(WG) '20년 12/2~12/16 (14일간) ② 산업부 항공핵심기술로드맵 기술검토 '20년 12/16~12/18 (3일간) ③(이해관계자) '21년 1/18~2/2 (15일간)

– (조사항목) 제안기술명(+요소기술명), 기술의 정의, 기술개발 목적 및 필요성, 기술의 범위, 연구수행시기 및 소요기간 소요예산 및 기간 등

• (기술 수준) 최고 선진국 대비 국내 기술수준, 최고 기술 보유기관/국가

• (기술획득 전략) 기술확보방안(국내독자개발, 국제공동개발, 해외도입), 투자주체(정부주도, 정부-민간공동, 민간주도), 수행부처(국토부, 과기부, 산업부, 중기부, 기타부처(기상청 등)), 연구수행 주체(산, 학, 연), 연구개발단계(기초연구, 응용연구, 개발연구)

● (기술조사결과) 141건 기술조사서 취합

〈표 Ⅳ-1〉 기술조사서 취합 결과

구분	WG	이해관계자	산업부	계
기술조사	69건	49건	23건	141건

■ 전문가 자문그룹인 실무작업단(WG)에서 기술수요에 대한 검토 및 삭제, 재조정 등 Screening 과정을 거쳐 중점추진기술군을 발굴

● (WG분과위) 기술군 도출을 위해 기술수요(WG, 이해관계자, 산업부)에 대한 검토 및 Screening을 수행함

– (검토 기간) 2/5~2/9일 (코로나19로 인해 온라인 회의 개최)

– (결과) 총 118건 중점추진기술군 발굴

〈표 Ⅳ-2〉 K-UAM 중점추진기술군 발굴

구분	기체·부품	항행·교통관리	인프라	서비스	핵심기술
기술군	28건	33건	19건	17	21건

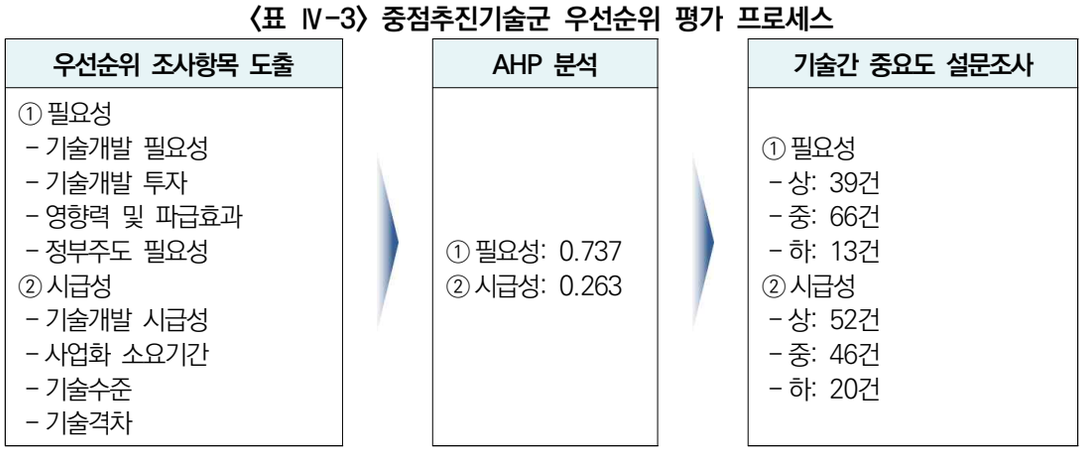
나. 우선순위 평가

■ 중점추진기술군 대상으로 우선순위 평가를 진행하여 추진방안 도출

● (목적) 중점추진기술군 대상 필요성-시급성 등의 항목을 통해 기술확보 우선순위 등을 확정

– (수행방법) ① 우선순위 조사항목 도출 → ② AHP 분석을 통한 조사항목 간 가중치 도출 → ③ 기술간 중요도 설문조사

〈표 Ⅳ-3〉 중점추진기술군 우선순위 평가 프로세스



● (우선순위 조사항목 도출) 중요도(우선순위) 조사항목은 필요성, 시급성, 2개 평가항목으로 구성하고, 각 항목별 4개의 세부 평가항목으로 구성함

– (평가자) W/G 전문가 54명 중 48명 응답

– (평가기간) ’21.2/19~2/23 (5일간) 진행

– (평가대상) WG에서 발굴한 118건 기술 후보군

– (평가지표 및 정의) 평가지표에 대한 AHP평가를 위해 2계층 8개로 설정

〈표 Ⅳ-4〉 우선순위 평가지표

평가 항목		평가 기준
필요성	1-1 기술개발 필요성	K-UAM 적기 상용화를 위해 해당기술이 얼마나 필요한가?
	1-2 기술개발 투자	시의적절한 기술개발을 위해 향후 투자 확대가 필요한가?
	1-3 영향력 및 파급효과	K-UAM 적기 상용화에 미치는 영향력 또는 파급효과가 어느 정도인가?
	1-4 정부주도 필요성	해당 기술에 대한 정부지원의 필요성은 어느 정도인가?
시급성	2-1 기술개발 시급성	UAM 산업을 적시에 활성화하기 위해 해당 기술개발이 시급한가?
	2-2 사업화 소요기간	기술개발 종료 이후 사업화에 소요되는 시간은 어느 정도인가?
	2-3. 기술수준	세계 최고수준 대비 국내 기술 잠재역량 수준은 어느 정도인가?
	2-4. 기술격차	현 수준의 기술역량을 고려할 때 최상위 기술수준에 도달하는데 걸리는 예상 기간은 어느정도인가?

● (AHP 분석을 통한 가중치 도출) 기술 분야별 산·학·연 전문가 등을 대상으로 설문조사를 실시하고, AHP 분석을 실시함

〈표 Ⅳ-5〉 평가항목 중요도(가중치) 조사 결과

1계층	가중치	
필요성	0.737	
시급성	0.263	
2계층	**가중치**	**1계층*2계층**
기술개발 필요성	0.392	0.29
기술개발 투자	0.247	0.18
영향력 및 파급효과	0.187	0.14
정우주도 필요성	0.175	0.13
기술개발 시급성	0.425	0.11
사업화소요기간	0.186	0.05
기술수준	0.238	0.06
기술격차	0.151	0.04

● (우선순위 도출결과) 상기 우선순위 평가 항목 가중치를 적용하여, 설문조사 실시 결과 아래와 같이 각 중점기술 분야별 우선순위를 도출함

– 기술 우선순위 평가 결과

① 기체·부품 : 5대 분야 - 28건 세부기술 도출

번호	주요분야 (Lv2)	중점기술 (Lv3)	세부기술(Lv4)	우선순위 평가결과		
				필요성	시급성	순위
1	기체	UAM 고신뢰성 기체 설계·제작 기술	UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술	하	중	26
2			차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술	중	상	10
3			UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술	중	중	18
4			인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발	중	중	21
5		기체 경량화 제작기술	UAM용 항공기 복합재·신소재 구조 및 제작 기술	중	상	11
6			3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술	중	중	22
7	동력·추진 시스템	UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원	UAM용 고성능 배터리팩 기술	상	상	3
8			하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술	상	중	9
9		도심운항을 위한 전기추진기술	고밀도 배터리용 전기추진 기술	상	상	8
10			초경량 고출력 전기동력 기반 추진 기술(수소연료전지 등)	상	상	2
11	기계 시스템	승객 운항안전성 확보기술	UAM 비상낙하산 시스템	하	중	25
12			UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계 기술	중	상	13

번호	주요분야 (Lv2)	중점기술 (Lv3)	세부기술(Lv4)	우선순위 평가결과		
				필요성	시급성	순위
13	기계 시스템	기체 안전장치 설계 기술	UAM 상태정보 관리·건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자시스템 기술	중	중	20
14			All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지장치 해석·설계 기술	중	중	15
15			All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계·인증 기술	중	중	19
16	인증·시험평가	UAM 기체 인증시험평가 기술	기체 설계·제작 인증기준 및 절차 개발/수립	상	상	4
17			UAM 내추락성 등 안전성 인증	상	상	4
18			동체·날개 제작공정 등 시범인증	중	상	15
19			UAM 프로펠러 제작공정 및 시범인증	중	상	19
20			UAM용 비행체 인증을 위한 지상·비행 시험평가 기술	상	상	1
21			UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계 구축	상	상	6
22			UAM 비행체 인증시험 인프라 구축	상	상	5
23		UAM 기체용 소재부품 인증시험평가기술	요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가·인증 기술	중	상	16
24			UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발 및 체계 구축	중	상	14
25			UAM 전기동력시스템 인증(배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등)	중	상	5
26			UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축	상	상	7
27			UAM 안전운용을 위한 전자기 및 무선 성능 기술기준	중	상	12
28			UAM 전자기 환경 기준 및 시험평가 기술	중	상	10

② 항행·교통관리 : 2대 분야 - 33건 세부기술 도출

번호	주요분야 (Lv2)	중점기술 (Lv3)	세부기술(Lv4)	우선순위 평가결과		
				필요성	시급성	순위
1	UAM 통합 교통관리	UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술	UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가	상	중	20
2			기체조종 시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계 기술	중	중	33
3			UAM 이착륙장(Vertiport) 가상 운용 시스템 기술	중	상	28
4			UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM) 핵심기술	상	상	2
5			UAM 운항환경 구현 기술 개발	중	상	22
6		UAM 운항 위험도 저감 관리 기술	비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술	중	중	24
7			비행계획 위험도 저감 기술	중	중	27
8			우발상황 자동 대응기술	상	상	4
9		UAM 공역설계 및 관리 스케줄링	PBN기반 UAM 공역설계	상	상	1
10			다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술	상	중	17
11			PBN기반 비행체 운용성능 실시간 모니터링 및 평가 기술	중	상	15

번호	주요분야 (Lv2)	중점기술 (Lv3)	세부기술(Lv4)	우선순위 평가결과		
				필요성	시급성	순위
12	UAM 통합 교통관리	실시간 운항 정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술	교통관리 자동화 기술	상	중	5
13			수용량 기반 교통흐름 관리 기술 (DCB 등)	상	중	19
14			비행/운항 계획 실시간 조정 기술	중	중	32
15			실시간 교통 수요 및 수용량 예측 기술	중	중	29
16			교통관리시스템 안전성 분석/평가 및 인증 기술	중	중	26
17	CNSi	저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술	저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증	상	상	3
18			UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술	상	상	14
19			UAM 운항 안정성 확보를 위한 CNSi 및 이해관계자간 정보 공유체계 기술	상	상	6
20			CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증	상	상	7
21		UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술	UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술	상	상	16
22			UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G, 6G) 기술	상	상	11
23		UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술	PSU/이해당사자 간 네트워크 기술	상	상	9
24			FIMS 망 접속 기술	중	상	23
25		차세대 UAM용 다중 상대항법 기술	정밀위성항법(항로:SBAS, 접근:RTK) 기술	상	상	13
26			영상기반 상대항법(기체 자세정보+영상정보+GIS 정보 활용 등) 기술	상	중	18
27			대체 무선항법기술(정밀유도착륙 시스템 등, DME, eLORAN 등)	중	중	31
28			복합상대항법(정밀위성항법+ 영상기반 상대항법+대체 무선항법 등) 기술	중	중	30
29		UAM용 협력적/비협력적 감시 기술	네트워크 기반 협력적 감시기술	상	상	12
30			지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술	중	중	25
31			비협력적·협력적 광역 감시정보 융합기술(비협력 및 협력 센서 융합 등)	상	중	10
32		UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술	통신망 보안 기술	중	상	21
33			네트워크(데이터) 보안 기술	상	상	8

③ 인프라 : 3대 분야 - 19건 세부기술 도출

번호	주요분야 (Lv2)	중점기술 (Lv3)	세부기술(Lv4)	우선순위 평가결과		
				필요성	시급성	순위
1	버티포트 구축 및 운용	스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술	버티포트 안전 및 비상상황 관리 시스템	중	중	6
2			실시간 신원확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술	중	중	10
3			워킹-스루 보안검색 및 소형화 기술	중	중	5
4		도심형 버티포트 구축기술	버티포트 구조설계 표준화, 모듈화 및 구조물 상태감시 기술	중	상	4
5			버티포트 대상지(환경, 교통 등) 평가 기술	중	상	9

번호	주요분야 (Lv2)	중점기술 (Lv3)	세부기술(Lv4)	우선순위 평가결과		
				필요성	시급성	순위
6	버티포트 구축 및 운용	버티포트 고효율 자동화 운용기술	UAM 이착륙장(Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술	상	상	2
7			버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비(토잉카 등) 기술	중	중	11
8			버티포트 정밀이착륙, 유도 및 안전 등화 시스템 기술 (지상 항법 분야)	중	상	7
9			증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 원격 컨트롤 시스템	하	중	15
10			다중 에너지원 관리를 위한 EMS(Energy Management System) 구축	중	중	14
11	버티포트 보조설비	상용통신 기반 버티포트 통신 기술	버티포트 근접 운항 통제를 위한 상용망(5G 등) 기술을 활용한 무선통신 네트워크 기술	상	상	3
12			버티포트 통신 사이버보안 기술	상	상	1
13		버티포트용 에너지 최적화 기술	버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술	중	중	8
14			버티포트 에너지 소모 최적화 기술	중	중	12
15			호환형 고전압 급속충전 설비 경량화 및 자동화 기술	중	상	13
16		고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술	기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술	하	중	16
17			배터리 교체 시스템 및 프리 컨디셔닝 기술	하	중	18
18	특화도시	버티포트 특화형 스마트 시티	디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술	하	중	19
19			UAM 융복합형 스마트시티 조성(교통체계, 시설물, 도시운영관리 등) 기술	하	중	17

④ 서비스 : 3대 분야 - 17건 세부기술 도출

번호	주요분야 (Lv2)	중점기술 (Lv3)	세부기술(Lv4)	우선순위 평가결과		
				필요성	시급성	순위
1	운송·운용 시스템	UAM 승객화물 운송 관리 기술	운항사 운영 시스템 개발	중	상	7
2			화물 운송 Safety 기술	중	중	12
3		UAM 조종사 업무저감 기술	UAM 조종 단순화/자동화 기술	상	중	2
4			야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술	중	하	14
5		지능형 예방정비 기술	데이터 기반 예방정비 분석 기술 및 시스템 구축	중	하	11
6			인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술	하	하	16
7	운항 정보	도심 운용 3차원 정밀 지도 구축 기술	도심 데이터 수집·제공 기술	중	상	5
8			UAM 도심운용기반 3차원 공역·공간정보 생성기술	상	상	3
9			UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축	중	상	6
10			UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계	중	하	15
11		UAM 도심 기상 정보 수집·분석 및 예측 기술	UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발	상	상	1
12			UAM 특화 기상 정보 관리 시스템	중	상	12

번호	주요분야 (Lv2)	중점기술 (Lv3)	세부기술(Lv4)	우선순위 평가결과		
				필요성	시급성	순위
13	법·제도	UAM 종사자 자격제도 수립	UAM 종사자 자격제도 구축	중	중	8
14			UAM 특화 법·제도·기준연구(운송사업자 법인설립·면허·운항증명 발급 기술 기준 등)	상	상	4
15			교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증기술	중	중	9
16		UAM 종사자 인력양성 체계	UAM 전문인력양성센터 구축	중	중	13
17			UAM 종사자 교육훈련체계 구축	중	중	10

⑤ 핵심기술 : 3대 분야 - 21건 세부기술 도출

번호	주요분야 (Lv2)	중점기술 (Lv3)	세부기술(Lv4)	우선순위 평가결과		
				필요성	시급성	순위
1	자율 비행	UAM용 완전 자율 비행 조종 기술	비행체용 Vertiport 접근 및 자동 이착륙 기술	상	상	1
2			UAM용 Integrated Flight Deck System	하	중	23
3			완전 자율비행을 위한 UAM SW 플랫폼 기술	중	중	18
4			자율비행시스템 무결성 확보를 위한 핵심 알고리즘 및 센서 시스템 기술	하	중	24
5			완전자율비행 탑재 알고리즘 개발 및 실증기술	하	중	23
6		UAM 비행체용 탑재 통신 기술	UAM 비행체용 온보드 다중매체 통신모듈 기술	중	상	17
7			UAM 비행체용 다중링크 (5G, C대역, LEO위성 등) 통신 기술	중	중	13
8			UAM 재밍, 스푸핑 등 전파기반 불법공격 대응기술	중	중	17
9			UAM 비행체용 보안통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안 기술	중	하	21
10		UAM 자율 항법 기술	UAM 운용을 위한 영상(라이다 등), 대기센서, 통합센서 기술	중	중	14
11			위성항법 불용 환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체 항법-상대항법 복합기술	상	상	3
12			센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작 기술	중	상	9
13			악기상/시계제한 상황에서 정밀이착륙을 위한 정밀복합항법 기술	하	중	24
14		전천후 상황인지 및 충돌회피기술	UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술	상	상	2
15			UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템	중	상	7
16			UAM 영상감시 기술	중	상	11
17	기체소음진동 저감	도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술	도심 운용조건을 고려한 프롭·로터 시스템 성능 강건설계 (robust design) 기술	중	중	16
18			UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술	중	중	8
19			UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술	중	중	6
20		UAM 기체용 소음진동 제어 기술	UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술	중	중	20
21			객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술	하	중	22

3. 중점추진기술 발굴

■ (기술정의서 직성 및 로드맵 수립) 우선순위 평가 결과를 반영하여 중점추진기술별 기술정의서 작성 및 WG별 로드맵 수립

● (WG) 중점추진기술 결과 검토 및 기술 구조화

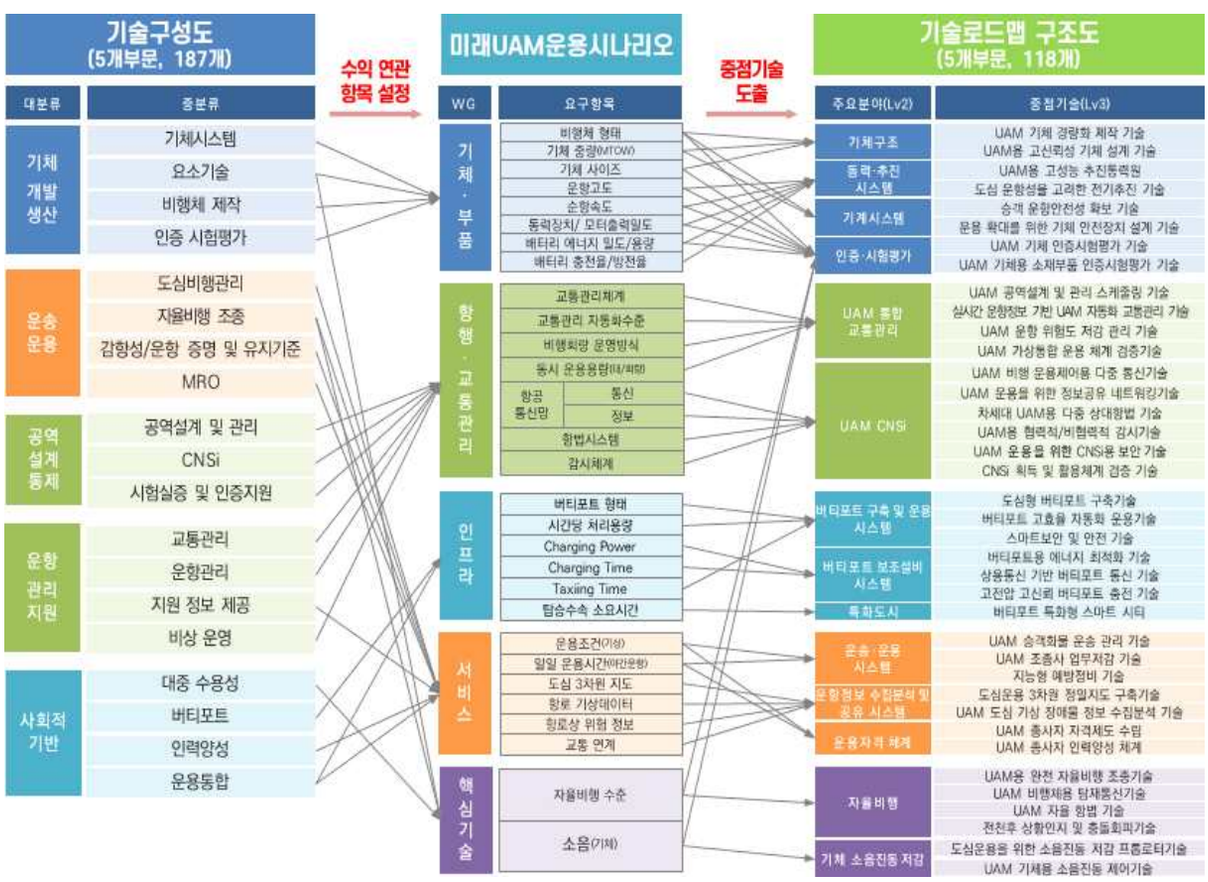
* (기술정의서) 기술에 대한 요소기술, 기술의 정의 및 범위, 기술개발 목적 및 필요성, 성능 요구조건, 연구 기간 및 소요예산, 기술획득 전략 등의 사항이 작성된 보고서

– 일부 중점추진기술 명칭 변경 및 내용 구체화 등의 조정 후 세부내용 작성

– (수행기간) 초안작성(~3/3)

● (기술 구조화) 중점추진기술 결과를 고려하여 기술 구조화

– 기체·부품, 교통·항행관리, 인프라, 서비스 핵심기술 등 5개 분야의 요구항목에 따라 중점기술별 그룹핑 수행하여 118건 세부기술 도출



[그림 Ⅳ-4] 한국형 도심항공교통 기술로드맵 구조 및 연계도

〈표 Ⅳ-6〉 한국형 도심항공교통 중점추진기술

부문(Lv1)	주요분야 (Lv2)	중점기술(Lv3)		중점추진기술(Lv4)	예산 (억원)
기체·부품	기체구조	UAM 고신뢰성 기체 설계·제작 기술	01	UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술	60
			02	차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술	66
			03	UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술	40
			04	인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발	60
		기체 경량화 제작 기술	05	UAM용 항공기 복합재·신소재 구조 및 제작 기술	200
			06	3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술	70
	동력·추진 시스템	UAM용 친환경·초경량 ·고성능 추진동력원	07	UAM용 고성능 배터리팩 기술	110
			08	하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술	250
		도심운항을 위한 전기추진기술	09	고밀도 배터리용 전기추진 기술	180
			10	초경량 고출력 전기동력 기반 추진 기술(수소연료전지 등)	90
	기계·전기전자 시스템	승객 운항안전성 확보기술	11	UAM 비상낙하산 시스템	50
			12	UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계 기술	95
		기체 안전장치 설계 기술	13	UAM 상태정보 관리·건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자시스템 기술	50
			14	All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지 장치 해석·설계 기술	70
			15	All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계·인증 기술	75
	인증·시험 평가	UAM 기체 인증시험평가 기술	16	기체 설계·제작 인증기준 및 절차 개발/수립	50
			17	UAM 내추락성 등 안전성 인증	150
			18	동체·날개 제작공정 등 시범인증	250
			19	UAM 프로펠러 제작공정 및 시범인증	50
			20	UAM용 비행체 인증을 위한 자상·비행 시험평가 기술	25
			21	UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계 구축	70
			22	UAM 비행체 인증시험 인프라 구축	1,300
		UAM 기체용 소재·부품인증기술	23	요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가·인증 기술	100
			24	UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발 및 체계 구축	280
			25	UAM 전기동력시스템 인증(배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등)	80
			26	UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축	300
			27	UAM 안전운용을 위한 전자기(환경 기준 등) 및 무선성능 기술기준	50
			28	UAM 핵심부품 시험평가·인증기술 및 인프라 구축	50

부문(Lv1)	주요분야 (Lv2)	중점기술(Lv3)	중점추진기술(Lv4)		예산 (억원)
항행·교통 관리	UAM 통합 교통관리	UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술	01	UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가	70
			02	기체조종 시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계 기술	100
			03	UAM 이착륙장(Vertiport) 가상 운용 시스템 기술	60
			04	UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM) 핵심기술	100
			05	UAM 운항환경 구현 기술 개발	70
		UAM 운항 위험도 저감 관리 기술	06	비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술	90
			07	비행계획 위험도 저감 기술	180
			08	우발상황 자동 대응기술	156
		UAM 공역설계 및 관리 스케줄링	09	PBN기반 UAM 공역설계	100
			10	다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술	80
			11	PBN기반 비행체 운용성능 실시간 모니터링 및 평가 기술	80
		실시간 운항 정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술	12	교통관리 자동화 기술	200
			13	수용량 기반 교통흐름 관리 기술 (DCB 등)	180
			14	비행/운항 계획 실시간 조정 기술	100
			15	실시간 교통 수요 및 수용량 예측 기술	100
			16	교통관리시스템 안전성 분석/평가 및 인증 기술	140
	UAM CNSi	저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술	17	저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증	100
			18	UAM CNS의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술	29
			19	UAM 운항 안정성 확보를 위한 CNSi 및 이해관계자 간 정보 공유체계 기술	73
			20	CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증	102
		UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술	21	UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술	100
			22	UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G, 6G) 기술	100
		UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술	23	PSU/이해당사자 간 네트워크 기술	38
			24	FIMS 망 접속 기술	17
		차세대 UAM용 다중 상대항법 기술	25	정밀위성항법(항로:SBAS, 접근:RTK) 기술	120
			26	영상기반 상대항법(기체 자세정보+영상정보+GIS 정보 활용 등) 기술	100
			27	대체 무선항법기술(정밀유도착륙 시스템 등, DME, eLORAN 등)	100
			28	복합상대항법(정밀위성항법+ 영상기반 상대항법+대체 무선항법 등) 기술	50

부문(Lv1)	주요분야 (Lv2)	중점기술(Lv3)		중점추진기술(Lv4)	예산 (억원)
항행·교통 관리	UAM CNSi	UAM용 협력적/비협력적 감시 기술	29	네트워크 기반 협력적 감시기술	60
			30	지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술	200
			31	비협력적·협력적 광역 감시정보 융합기술(비협력 및 협력 센서 융합 등)	70
		UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술	32	통신망 보안 기술	240
			33	네트워크(데이터) 보안 기술	240
인프라	버티포트 구축 및 운용 시스템	스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술	01	버티포트 안전 및 비상상황 관리 시스템	110
			02	실시간 신원확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술	85
			03	워크-스루 보안검색 및 소형화 기술	110
		도심형 버티포트 구축기술	04	버티포트 구조설계 표준화, 모듈화 및 구조물 상태감시 기술	150
			05	버티포트 대상지(환경, 교통 등) 평가 기술	100
		버티포트 고효율 자동화 운용기술	06	UAM 이착륙장(Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술	110
			07	버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비(토잉카 등) 기술	80
			08	버티포트 정밀이착륙, 유도 및 안전 등화 시스템 기술(지상항법 분야)	80
			09	증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 원격 컨트롤 시스템	150
			10	다중 에너지원 관리를 위한 EMS(Energy Management System) 구축	75
	버티포트 보조설비 시스템	상용통신 기반 버티포트 통신 기술	11	버티포트 근접 운항 통제를 위한 상용망(5G 등) 기술을 활용한 무선통신 네트워크 기술	100
			12	버티포트 통신 사이버보안 기술	120
		버티포트용 에너지 최적화 기술	13	버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술	75
			14	버티포트 에너지 소모 최적화 기술	80
			15	호환형 고전압 급속충전 설비 경량화 및 자동화 기술	90
		고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술	16	기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술	80
			17	배터리 교체 시스템 및 프리 컨디셔닝 기술	40
	특화도시	버티포트 특화형 스마트 시티	18	디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술	80
			19	UAM 융복합형 스마트시티 조성(교통체계, 시설물, 도시운영관리 등) 기술	100

부문(Lv1)	주요분야 (Lv2)	중점기술(Lv3)	중점추진기술(Lv4)		예산 (억원)
서비스	운송·운용 시스템	UAM 승객화물 운송 관리 기술	01	운항사 운영 시스템 개발	60
			02	화물 운송 Safety 기술	70
		UAM 조종사 업무저감 기술	03	UAM 조종 단순화/자동화 기술	100
			04	야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술	100
		지능형 예방정비 기술	05	데이터 기반 예방정비 분석 기술 및 시스템 구축	100
			06	인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술	60
	운항정보 수집분석 및 공유 시스템	도심 운용 3차원 정밀 지도 구축 기술	07	도심 데이터 수집·제공 기술	60
			08	UAM 도심운용기반 3차원 공역·공간정보 생성기술	90
			09	UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축	90
			10	UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계	60
		UAM 도심 기상 정보 수집·분석 및 예측 기술	11	UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발	90
			12	UAM 특화 기상 정보 관리 시스템	90
	운용자격 체계	UAM 종사자 자격제도 수립	13	UAM 종사자 자격제도 구축	60
			14	UAM 특화 법·제도·기준연구(운송사업자 법인설립·면허·운항증명 발급 기술 기준 등)	60
			15	교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증기술	140
		UAM 종사자 인력양성 체계	16	UAM 전문인력양성센터 구축	140
			17	UAM 종사자 교육훈련체계 구축	90
핵심기술	자율비행	UAM용 완전 자율 비행 조종 기술	01	비행체용 Vertiport 접근 및 자동 이착륙 기술	120
			02	UAM용 Integrated Flight Deck System	150
			03	완전 자율비행을 위한 UAM SW 플랫폼 기술	100
			04	자율비행시스템 무결성 확보를 위한 핵심 알고리즘 및 센서 시스템 기술	75
			05	완전자율비행 탑재 알고리즘 개발 및 실증기술	100
		UAM 비행체용 탑재 통신 기술	06	UAM 비행체용 온보드 다중매체 통신모듈 기술	180
			07	UAM 비행체용 다중링크(5G, C대역, LEO위성 등) 통신 기술	180
			08	UAM 재밍, 스푸핑 등 전파기반 불법공격 대응기술	120
			09	UAM 비행체용 보안통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안 기술	120
		UAM 자율 항법 기술	10	UAM 운용을 위한 영상(라이다 등), 대기센서, 통합센서 기술	50
			11	위성항법 불용 환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체항법-상대항법 복합기술	90

부문(Lv1)	주요분야 (Lv2)	중점기술(Lv3)	중점추진기술(Lv4)		예산 (억원)
핵심기술	자율비행	UAM 자율 항법 기술	12	센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작 기술	150
			13	악기상/시계제한 상황에서 정밀이착륙을 위한 정밀 복합항법기술	120
		전천후 상황인지 및 충돌회피 기술	14	UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술	160
			15	UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템	100
			16	UAM 영상감시 기술	80
	기체 소음·진동 저감	도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술	17	도심 운용조건을 고려한 프롭·로터 시스템 성능 강건 설계(robust design) 기술	70
			18	UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술	100
			19	UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술	100
		UAM 기체용 소음진동 제어 기술	20	UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술	100
			21	객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술	60

(공청회 개최) UAM 관련 이해관계자 등을 포함한 대국민 대상으로 공개하여 의견 수렴·보완 수행

● (주제발표) K-UAM의 단계별(초기, 성장기, 성숙기) 운영시나리오를 전제로 마련된 기술로드맵으로 목표달성에 필요한 핵심부문 및 기술* 등 제안

* 5대 부문, 14대 주요분야, 38대 중점기술, 118대 중점추진기술

– 기존 로드맵수립 형태와 차별화된 운용모델 기반 접근방식에 대해 대체적으로 긍정적 평가 ⇨ 운용모델기반 기술로드맵은 이번이 최초

– (참석자) 미래드론교통담당관, 과기부 사업담당관, 진흥원, 한국연구재단 등 부처별 전문기관 담당자 및 패널 등 약 20여명

• 코로나19 방역지침에 따라 발표자, 패널 등만 현장 참석하고 온라인 생중계

• YouTube 실시간 최대 381명, 누적 조회수 7,604회('21.08.06 14시 기준)

– K-UAM 기술로드맵(안)에 대한 의견 수렴*으로 보완하여 추후 비상경제 중앙대책본부 회의에서 국토부 주관 발표 예정('21.03)

● (패널토론) 국내 UAM 생태계 구현을 위한 기술개발 방향 및 기술로드맵(안)에 대해 전문가 토크콘서트(좌장 : 국민대 윤용현 교수) 진행

– 국토부 미래드론교통담당관, 국토교통과학기술진흥원, 산·학·연 각 1명(총 7명內)

– UAM 서비스 실현을 위해 단계별로 중점기술 기반의 정부주도 R&D 추진 필요 ⇨ 안전성・경제성・편의성・사회적 수용성 강조

* (질의답변) 유튜브 실시간 채팅 등을 통해 제안된 의견 수렴 및 패널 토의 결과 반영



〈 인사 말씀 〉



〈 기술로드맵 주요 내용 발표 〉



〈 패널 토론 〉



〈 기념 사진 〉

[그림 Ⅳ-5] 한국형 도심항공교통 기술로드맵 공청회 현장 사진

● (경제장관회의 안건상정) 공청회를 통한 대국민 의견수렴 및 부처·공공기관 등 안건 회람 등을 거쳐 제32차 비상경제 중앙대책본부 회의 겸 제10차 뉴딜 관계장관회의 안건으로 상정('21.3.31)

4. 중점추진기술 분포 현황

■ 중점추진기술별 규모

● 중점추진기술 118건 중 항행·교통관리 부문의 기술이 33건으로 가장 많으며, 기체·부품, 핵심기술 등 순으로 많이 도출됨

– 항행·교통관리에서‘UAM CNSi’17건, ‘UAM 통합 교통관리’16건 순으로 도출됨

– 기체·부품은 2건, 핵심기술 21건, 인프라 19건, 서비스 17건으로 나타남

〈표 Ⅳ-7〉 주요분야별 세부기술 건수

부문(Lv1)	주요분야(Lv2)	중점기술(Lv3)	중점추진기술(Lv4) 건수(건)	
기체·부품	기체구조	UAM 고신뢰성 기체 설계·제작 기술	4	6
		기체 경량화 제작 기술	2	
	동력·추진 시스템	UAM용 친환경·초경량 ·고성능 추진동력원	2	4
		도심운항을 위한 전기추진기술	2	
	기계·전기전자 시스템	승객 운항안전성 확보기술	2	5
		기체 안전장치 설계 기술	3	
	인증·시험 평가	UAM 기체 인증시험평가 기술	7	13
		UAM 기체용 소재·부품인증기술	6	
항행·교통관리	UAM 통합 교통관리	UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술	5	16
		UAM 운항 위험도 저감 관리 기술	3	
		UAM 공역설계 및 관리 스케줄링	3	
		실시간 운항 정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술	5	
	UAM CNSi	저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술	4	17
		UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술	2	
		UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술	2	
		차세대 UAM용 다중 상대항법 기술	4	
		UAM용 협력적/비협력적 감시 기술	3	
		UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술	2	
인프라	버티포트 구축 및 운용 시스템	스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술	3	10
		도심형 버티포트 구축기술	2	
		버티포트 고효율 자동화 운용기술	5	
	버티포트 보조설비 시스템	상용통신 기반 버티포트 통신 기술	2	7
		버티포트용 에너지 최적화 기술	3	
		고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술	2	
	특화도시	버티포트 특화형 스마트 시티	2	2
서비스	운송·운용 시스템	UAM 승객화물 운송 관리 기술	2	6
		UAM 조종사 업무저감 기술	2	
		지능형 예방정비 기술	2	

부문(Lv1)	주요분야(Lv2)	중점기술(Lv3)	중점추진기술(Lv4) 건수(건)	
	운항정보 수집분석 및 공유 시스템	도심 운용 3차원 정밀 지도 구축 기술	4	6
		UAM 도심 기상 정보 수집·분석 및 예측 기술	2	
	운용자격 체계	UAM 종사자 자격제도 수립	3	5
		UAM 종사자 인력양성 체계	2	
핵심기술	자율비행	UAM용 완전 자율 비행 조종 기술	5	16
		UAM 비행체용 탑재 통신 기술	4	
		UAM 자율 항법 기술	4	
		전천후 상황인지 및 충돌회피 기술	3	
	기체 소음·진동 저감	도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술	3	5
		UAM 기체용 소음진동 제어 기술	2	

중점추진기술별 소요예산

● 소요예산은 기체·부품 부문이 4,221억원으로 전체 소요예산의 32%를 차지하고 있으며, 항행·교통, 핵심기술 등 순으로 높았음

– 세부부문은 '인증·시험 평가'분야가 2,755억원으로 가장 높았으며, 항행·교통관리는 3,546억원, 핵심기술 2,325억원, 인프라 1,815억원, 서비스 1,460억원

〈표 Ⅳ-8〉 기술분야별 세부기술 소요예산

부문(Lv1)	주요분야(Lv2)	중점기술(Lv3)	중점추진기술(Lv4) 소요예산(억원)		
기체·부품	기체구조	UAM 고신뢰성 기체 설계·제작 기술	226	496	4,221
		기체 경량화 제작 기술	270		
	동력·추진 시스템	UAM용 친환경·초경량 ·고성능 추진동력원	360	630	
		도심운항을 위한 전기추진기술	270		
	기계·전기전자 시스템	승객 운항안전성 확보기술	145	340	
		기체 안전장치 설계 기술	195		
	인증·시험 평가	UAM 기체 인증시험평가 기술	1,895	2,755	
		UAM 기체용 소재·부품인증기술	860		
항행·교통관리	UAM 통합 교통관리	UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술	400	1,806	3,546
		UAM 운항 위험도 저감 관리 기술	426		
		UAM 공역설계 및 관리 스케줄링	260		
		실시간 운항 정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술	720		
	UAM CNSi	저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술	305	1,740	
		UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술	200		
		UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술	55		
		차세대 UAM용 다중 상대항법 기술	370		

		UAM용 협력적/비협력적 감시 기술	330		
		UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술	480		
인프라	버티포트 구축 및 운용 시스템	스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술	305	1,050	1,815
		도심형 버티포트 구축기술	250		
		버티포트 고효율 자동화 운용기술	495		
	버티포트 보조설비 시스템	상용통신 기반 버티포트 통신 기술	220	585	
		버티포트용 에너지 최적화 기술	245		
		고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술	120		
	특화도시	버티포트 특화형 스마트 시티	180	180	

부문(Lv1)	주요분야(Lv2)	중점기술(Lv3)	중점추진기술(Lv4) 소요예산(억원)		
서비스	운송·운용 시스템	UAM 승객화물 운송 관리 기술	130	490	1,460
		UAM 조종사 업무저감 기술	200		
		지능형 예방정비 기술	160		
	운항정보 수집분석 및 공유 시스템	도심 운용 3차원 정밀 지도 구축 기술	300	480	
		UAM 도심 기상 정보 수집·분석 및 예측 기술	180		
	운용자격 체계	UAM 종사자 자격제도 수립	260	490	
		UAM 종사자 인력양성 체계	230		
핵심기술	자율비행	UAM용 완전 자율 비행 조종 기술	545	1,895	2,325
		UAM 비행체용 탑재 통신 기술	600		
		UAM 자율 항법 기술	410		
		전천후 상황인지 및 충돌회피 기술	340		
	기체 소음·진동 저감	도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술	270	430	
		UAM 기체용 소음진동 제어 기술	160		

5. 핵심가치별 중점추진기술 도출

가. 개요

■ (목적) 기 발굴된 중점추진기술을 대상으로 우선순위 결과를 고려하여 경제성, 안정성, 수용성 등의 핵심가치별로 구성

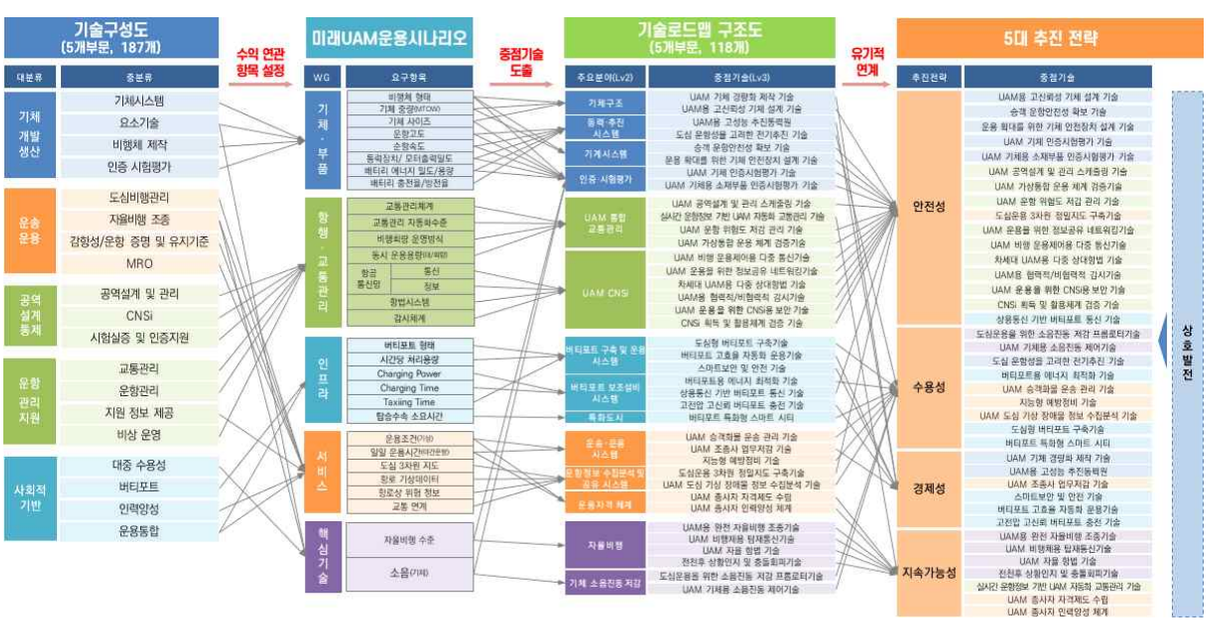
● (방법) 우선순위 기반으로 핵심부문별로 중점추진기술을 구분하고, 핵심이슈에서 도출된 핵심가치별로 기 구분된 중점추진기술을 재구성

– 중점추진기술은 우선순위에 따라 크게 3개 그룹으로 구성

〈표 Ⅳ-9〉 우선순위 분포별 정의

필요성 \ 시급성	저	고
고	2-1그룹 (중앙값 2.83 / 0.94) K-UAM 적기 실현을 위해 정부투자를 통한 기술개발이 필요한 기술이긴 하나 상대적으로 시급하지는 않은 기술	1그룹 K-UAM 적기 실현을 위해 정부투자를 통한 기술개발이 필요한 기술인 동시에 시급한 기술
저	3그룹 K-UAM 적기 실현을 위해 정부투자를 통한 기술개발 필요성과 시급성이 모두 떨어지는 기술	2-2그룹 K-UAM 적기 실현을 위해 정부투자를 통한 기술개발이 시급하나 상대적으로 필요하지는 않은 기술

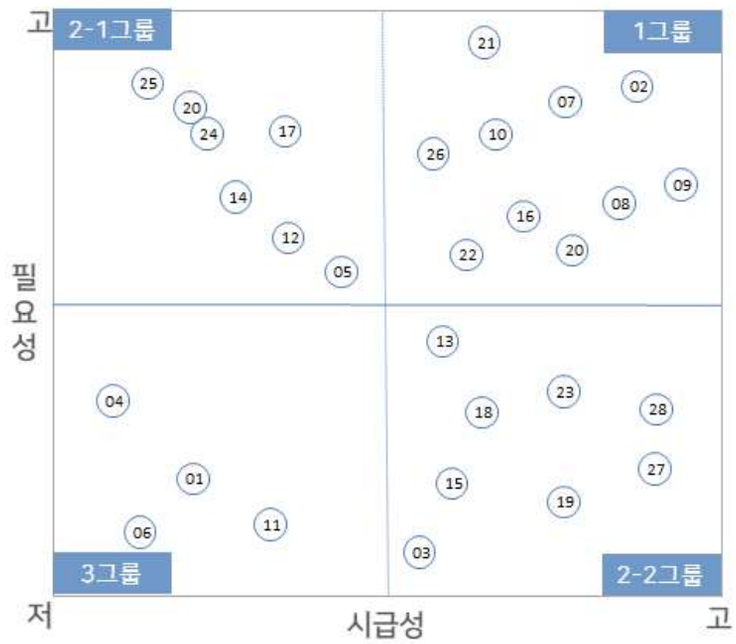
● 안전성, 수용성, 경제성, 지속가능성 등 4개의 핵심가치로 중점추진기술 구성



[그림 Ⅳ-6] K-UAM 중점추진기술 및 추진전략 연계도

나. 우선순위에 따른 핵심부문별 중점추진기술 도출

■ (기체·부품) 총 28건의 중점추진기술 중 추진 순위 '상' 9건, '중' 15건, '하' 4건으로 분포



[그림 Ⅳ-7] 기체·부품부문의 중점추진기술별 우선순위

〈표 Ⅳ-10〉 기체·부품부문 중점추진기술별 우선순위

추진순위	중점추진기술
상 (9건)	② 차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술 ⑦ UAM용 고성능 배터리팩 기술 ⑧ 하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술 ⑨ 고밀도 배터리용 전기추진 기술 ⑩ 초경량 고출력 전기동력 추진 기술(수소연료전지 등) ⑯ 기체 설계·제작 인증기준 및 절차 개발/수립 ㉑ UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계 구축 ㉒ UAM 비행체 인증시험 인프라 구축 ㉖ UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축
중 (15건)	③ UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술 ⑤ UAM용 항공기 복합재·신소재소재 구조 및 제작 기술 ⑫ UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계 기술 ⑬ UAM 상태정보 관리 및 건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자시스템 기술 ⑭ All Weather Capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지 장치 해석·설계 기술 ⑮ All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계·인증 기술 ⑰ UAM 내추락성 등 안전성 인증 ⑱ 동체·날개 제작공정 시범인증 ⑲ UAM용 비행체 인증을 위한 지상·비행 시험평가 기술 ⑳ UAM 비행체 인증시험 인프라 구축 ㉓ 요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가·인증 기술 ㉔ UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발 및 체계 구축 ㉕ UAM 전기동력시스템 인증(배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등) ㉗ UAM 안전운용을 위한 전자기 및 무선 성능 기술기준 ㉘ UAM 전자기 환경 기준 및 시험평가 기술

추진순위	중점추진기술
하 (4건)	① UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술 ④ 인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발 ⑥ 3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술 ⑪ UAM 비상낙하산 시스템

■ (항행·교통관리) 총 33건의 중점추진기술 중 추진 순위 '상' 13건, '중' 20건으로 분포



[그림 Ⅳ-8] 항행·교통관리부문의 중점추진기술별 우선순위

〈표 Ⅳ-11〉 항행·교통관리부문 중점추진기술별 우선순위

추진순위	중점추진기술
상 (13건)	④ UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM) 핵심기술 ⑧ 우발상황 자동 대응기술 ⑨ PBN기반 UAM 공역설계 ⑫ 교통관리 자동화 기술 ⑰ 저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 ⑲ UAM 운항 안정성 확보를 위한 CNSi 및 이해관계자간 정보 공유체계 기술 ⑳ CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증 ㉒ UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G, 6G) 기술 ㉓ PSU/이해당사자 간 네트워크 기술 ㉕ 정밀위성항법(항로:SBAS, 접근:RTK) 기술 ㉙ 네트워크 기반 협력적 감시기술 ㉛ 비협력적·협력적 광역 감시정보 융합기술 (비협력 및 협력 센서 융합) ㉝ 네트워크(데이터) 보안 기술
중 (20건)	① UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가 ② 기체조종 시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계 기술 ③ UAM 이착륙장(Vertiport) 가상 운용 시스템 기술 ⑤ UAM 운항환경 구현 기술 개발 ⑥ 비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술 ⑦ 비행계획 위험도 저감 기술 ⑩ 다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술

추진순위	중점추진기술
	⑪ PBN기반 비행체 운용성능 실시간 모니터링 및 평가 기술 ⑬ 수용량 기반 교통흐름 관리 기술 (DCB 등) ⑭ 비행/운항 계획 실시간 조정 기술 ⑮ 실시간 교통 수요 및 수용량 예측 기술 ⑯ 교통관리시스템 안전성 분석/평가 및 인증 기술 ⑱ UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술 ㉑ UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술 ㉔ FIMS 망 접속 기술 ㉖ 영상기반 상대항법 (기체 자세정보+영상정보+GIS 정보 활용) 기술 ㉗ 대체 무선항법기술(정밀유도착륙 시스템 등, DME, eLORAN 등) ㉘ 복합상대항법 (정밀위성항법+ 영상기반 상대항법+대체 무선항법 등) 기술 ㉚ 지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술 ㉜ 통신망 보안 기술

■ (인프라) 총 19건의 중점추진기술 중 추진 순위 '상' 3건, '중' 11건, '하' 5건으로 분포



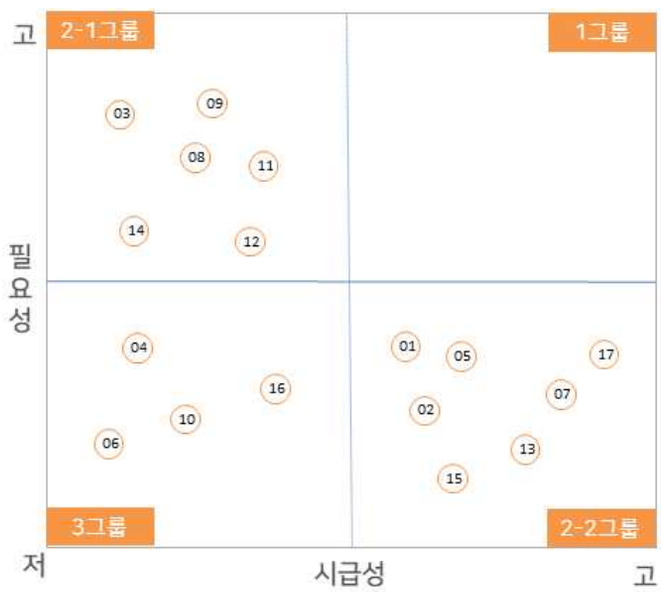
[그림 Ⅳ-9] 인프라부문의 중점추진기술별 우선순위

〈표 Ⅳ-12〉 인프라부문 중점추진기술별 우선순위

추진순위	중점추진기술
상 (3건)	⑥ UAM 이착륙장(Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술 ⑪ 버티포트 근접 운항 통제를 위한 5G 기술을 활용한 무선통신 네트워크 기술 ⑫ 버티포트 통신 사이버보안 기술
중 (11건)	① 버티포트 안전 및 비상상황 관리 시스템 ② 실시간 신원확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술 ③ 워크-스루 보안검색 및 소형화 기술 ④ 버티포트 구조설계 표준화, 모듈화 및 구조물 상태감시 기술 ⑤ 버티포트 대상지(환경, 교통 등) 평가 기술 ⑦ 버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비(토잉카 등) 기술 ⑧ 버티포트 정밀이착륙, 유도 및 안전 등화 시스템 기술 (지상항법 분야) ⑩ 다중 에너지원 관리를 위한 EMS (Energy Management System) 구축 ⑬ 버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술

추진순위	중점추진기술
	⑭ 버티포트 에너지 소모 최적화 기술 ⑮ 호환형 고전압 급속충전 설비 경량화 및 자동화 기술
하 (5건)	⑨ 증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 원격 컨트롤 시스템 ⑯ 기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술 ⑰ 배터리 교체 시스템 및 프리 컨디셔닝 기술 ⑱ 디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술 ⑲ UAM 융복합형 스마트시티 조성(교통체계, 시설물, 도시운영관리 등) 기술

(서비스) 총 17건의 중점추진기술 중 추진 순위 '중' 13건, '하' 4건으로 분포

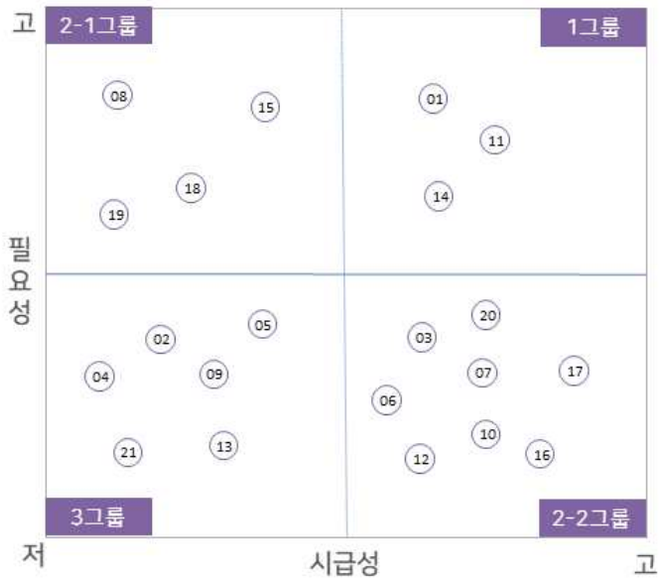


[그림 Ⅳ-10] 서비스부문의 중점추진기술별 우선순위

〈표 Ⅳ-13〉 서비스부문 중점추진기술별 우선순위

추진순위	중점추진기술
중 (13건)	① 운항사 운영 시스템 개발 ② 화물 운송 Safety 기술 ③ UAM 조종 단순화/자동화 기술 ⑤ 데이터 기반 예방정비 분석 기술 및 시스템 구축 ⑦ 도심 데이터 수집·제공 기술 ⑧ UAM 도심운용기반 3차원 공역·공간정보 생성기술 ⑨ UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축 ⑪ UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발 ⑫ UAM 특화 기상 정보 관리 시스템 ⑬ UAM 종사자 자격제도 구축 ⑭ UAM 특화 법·제도·기준연구(운송사업자 법인설립·면허·운항증명 발급 기술 기준 등) ⑮ 교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증기술 ⑰ UAM 종사자 교육훈련체계 구축
하 (4건)	④ 야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술 ⑥ 인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술 ⑩ UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계 ⑯ UAM 전문인력양성센터 구축

■ (핵심기술) 총 21건의 중점추진기술 중 추진 순위 '상' 3건, '중' 12건, '하' 6건으로 분포

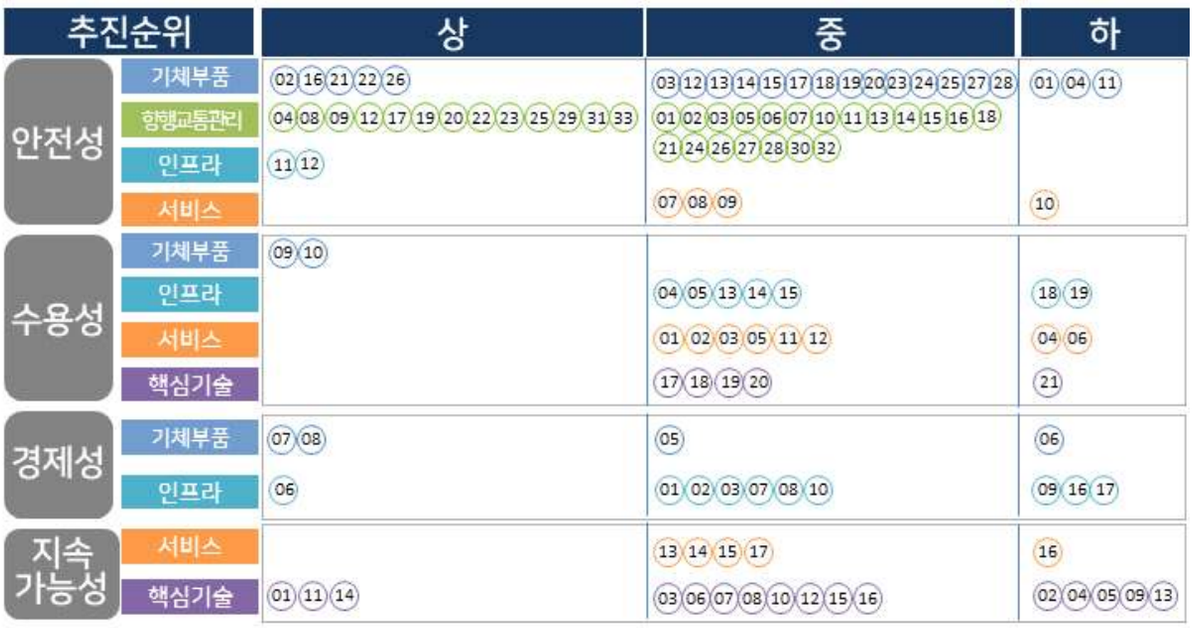


[그림 Ⅳ-11] 핵심기술부문의 중점추진기술별 우선순위

〈표 Ⅳ-14〉 핵심기술부문 중점추진기술별 우선순위

추진순위	중점추진기술
상 (3건)	① 비행체용 Vertiport 접근 및 자동 이착륙 기술 ⑪ 위성항법 불용 환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체항법-상대항법 복합기술 ⑭ UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술
중 (12건)	③ 완전 자율비행을 위한 UAM SW 플랫폼 기술 ⑥ UAM 비행체용 온보드 다중매체 통신모듈 기술 ⑦ UAM 비행체용 다중링크 (5G, C대역, LEO위성) 통신 기술 ⑧ UAM 재밍, 스푸핑 등 전파기반 불법공격 대응기술 ⑩ UAM 운용을 위한 영상(라이다 등), 대기센서, 통합센서 기술 ⑫ 센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작 기술 ⑮ UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템 ⑯ UAM 영상감시 기술 ⑰ 도심 운용조건을 고려한 프롭 로터 시스템 성능 강건설계(robust design) 기술 ⑱ UAM용 프롭로터시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술 ⑲ UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술 ⑳ UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술
하 (6건)	② UAM용 Integrated Flight Deck System ④ 자율비행시스템 무결성 확보를 위한 핵심 알고리듬 및 센서 시스템 기술 ⑤ 완전자율비행 탑재 알고리즘 개발 및 실증기술 ⑨ UAM 비행체용 보안통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안 기술 ⑬ 악기상/시계제한 상황에서 정밀이착륙을 위한 정밀복합항법기술 ㉑ 객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술

다. 핵심가치별 중점추진기술 도출



[그림 Ⅳ-12] 핵심가치별 중점추진기술

■ (안전성) 기체·부품 22건, 항행·교통관리 33건, 인프라 2건, 서비스 4건 등 총 61건의 기술 분포

〈표 Ⅳ-15〉 안전성에 해당되는 중점추진기술

핵심부문	추진순위	중점추진기술
기체·부품 (22건)	상 (5건)	② 차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술 ⑯ 기체 설계·제작 인증기준 및 절차 개발/수립 ㉑ UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계 구축 ㉒ UAM 비행체 인증시험 인프라 구축 ㉖ UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축
	중 (14건)	③ UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술 ⑫ UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계 기술 ⑬ UAM 상태정보 관리 및 건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자시스템 기술 ⑭ All Weather Capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지 장치 해석·설계 기술 ⑮ All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계·인증 기술 ⑰ UAM 내추락성 등 안전성 인증 ⑱ 동체·날개 제작공정 시범인증 ⑲ UAM용 비행체 인증을 위한 지상·비행 시험평가 기술 ⑳ UAM 비행체 인증시험 인프라 구축 ㉓ 요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가·인증 기술 ㉔ UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발 및 체계 구축 ㉕ UAM 전기동력시스템 인증(배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등) ㉗ UAM 안전운용을 위한 전자기 및 무선 성능 기술기준 ㉘ UAM 전자기 환경 기준 및 시험평가 기술
	하 (3건)	① UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술 ④ 인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발 ⑪ UAM 비상낙하산 시스템

핵심부문	추진순위	중점추진기술
항행·교통 관리 (33건)	상 (13건)	④ UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM) 핵심기술 ⑧ 우발상황 자동 대응기술 ⑨ PBN기반 UAM 공역설계 ⑫ 교통관리 자동화 기술 ⑰ 저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 ⑲ UAM 운항 안정성 확보를 위한 CNSi 및 이해관계자간 정보 공유체계 기술 ⑳ CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증 ㉒ UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G, 6G) 기술 ㉓ PSU/이해당사자 간 네트워크 기술 ㉕ 정밀위성항법(항로:SBAS, 접근:RTK) 기술 ㉙ 네트워크 기반 협력적 감시기술 ㉛ 비협력적·협력적 광역 감시정보 융합기술 (비협력 및 협력 센서 융합) ㉝ 네트워크(데이터) 보안 기술
	중 (20건)	① UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가 ② 기체조종 시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계 기술 ③ UAM 이착륙장(Vertiport) 가상 운용 시스템 기술 ⑤ UAM 운항환경 구현 기술 개발 ⑥ 비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술 ⑦ 비행계획 위험도 저감 기술 ⑩ 다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술 ⑪ PBN기반 비행체 운용성능 실시간 모니터링 및 평가 기술 ⑬ 수용량 기반 교통흐름 관리 기술 (DCB 등) ⑭ 비행/운항 계획 실시간 조정 기술 ⑮ 실시간 교통 수요 및 수용량 예측 기술 ⑯ 교통관리시스템 안전성 분석/평가 및 인증 기술 ⑱ UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술 ㉑ UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술 ㉔ FIMS 망 접속 기술 ㉖ 영상기반 상대항법 (기체 자세정보+영상정보+GIS 정보 활용) 기술 ㉗ 대체 무선항법기술(정밀유도착륙 시스템 등, DME, eLORAN 등) ㉘ 복합상대항법 (정밀위성항법+ 영상기반 상대항법+대체 무선항법 등) 기술 ㉚ 지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술 ㉜ 통신망 보안 기술
인프라 (2건)	상 (2건)	⑪ 버티포트 근접 운항 통제를 위한 5G 기술을 활용한 무선통신 네트워크 기술 ⑫ 버티포트 통신 사이버보안 기술
서비스 (4건)	중 (3건)	⑦ 도심 데이터 수집·제공 기술 ⑧ UAM 도심운용기반 3차원 공역·공간정보 생성기술 ⑨ UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축
	하 (1건)	⑩ UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계

(사회적 수용성) 서비스 8건, 인프라 7건, 핵심기술 5건, 기체·부품 2건 등 총 22건의 기술 분포

〈표 Ⅳ-16〉 사회적 수용성에 해당되는 중점추진기술

핵심부문	추진순위	중점추진기술
기체·부품 (2건)	상 (2건)	⑨ 고밀도 배터리용 전기추진 기술 ⑩ 초경량 고출력 전기동력 추진 기술(수소연료전지 등)
인프라 (7건)	중 (5건)	④ 버티포트 구조설계 표준화, 모듈화 및 구조물 상태감시 기술 ⑤ 버티포트 대상지(환경, 교통 등) 평가 기술 ⑬ 버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술 ⑭ 버티포트 에너지 소모 최적화 기술 ⑮ 호환형 고전압 급속충전 설비 경량화 및 자동화 기술
	하 (2건)	⑱ 디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술 ⑲ UAM 융복합형 스마트시티 조성(교통체계, 시설물, 도시운영관리 등) 기술
서비스 (8건)	중 (6건)	① 운항사 운영 시스템 개발 ② 화물 운송 Safety 기술 ③ UAM 조종 단순화/자동화 기술 ⑤ 데이터 기반 예방정비 분석 기술 및 시스템 구축 ⑪ UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발 ⑫ UAM 특화 기상 정보 관리 시스템
	하 (2건)	④ 야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술 ⑥ 인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술
핵심기술 (5건)	중 (4건)	⑰ 도심 운용조건을 고려한 프롭 로터 시스템 성능 강건설계(robust design) 기술 ⑱ UAM용 프롭로터시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술 ⑲ UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술 ⑳ UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술
	하(1건)	㉑ 객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술

(경제성) 인프라 10건, 기체·부품 4건 등 총 14건의 기술 분포

〈표 Ⅳ-17〉 경제적에 해당되는 중점추진기술

핵심부문	추진순위	중점추진기술
기체·부품 (4건)	상 (2건)	⑦ UAM용 고성능 배터리팩 기술 ⑧ 하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술
	중 (1건)	⑤ UAM용 항공기 복합재·신소재소재 구조 및 제작 기술
	하 (1건)	⑥ 3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술
인프라 (10건)	상 (1건)	⑥UAM 이착륙장(Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술
	중 (6건)	① 버티포트 안전 및 비상상황 관리 시스템 ② 실시간 신원확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술 ③ 워킹-스루 보안검색 및 소형화 기술 ⑦ 버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비(토잉카 등) 기술 ⑧ 버티포트 정밀이착륙, 유도 및 안전 등화 시스템 기술 (지상항법 분야) ⑩ 다중 에너지원 관리를 위한 EMS (Energy Management System) 구축
	하 (3건)	⑨ 증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 원격 컨트롤 시스템 ⑯ 기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술 ⑰ 배터리 교체 시스템 및 프리 컨디셔닝 기술

(지속가능성) 핵심기술 16건, 서비스 5건 등 총 21건의 기술 분포

〈표 Ⅳ-18〉 지속가능성에 해당되는 중점추진기술

핵심부문	추진순위	중점추진기술
서비스 (5건)	중 (4건)	⑬ UAM 종사자 자격제도 구축 ⑭ UAM 특화 법·제도·기준연구(운송사업자 법인설립·면허·운항증명 발급 기술 기준 등) ⑮ 교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증기술 ⑰ UAM 종사자 교육훈련체계 구축
	하 (1건)	⑯ UAM 전문인력양성센터 구축
핵심기술 (16건)	상 (3건)	① 비행체용 Vertiport 접근 및 자동 이착륙 기술 ⑪ 위성항법 불용 환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체항법-상대항법 복합기술 ⑭ UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술
	중 (8건)	③ 완전 자율비행을 위한 UAM SW 플랫폼 기술 ⑥ UAM 비행체용 온보드 다중매체 통신모듈 기술 ⑦ UAM 비행체용 다중링크 (5G, C대역, LEO위성) 통신 기술 ⑧ UAM 재밍, 스푸핑 등 전파기반 불법공격 대응기술 ⑩ UAM 운용을 위한 영상(라이다 등), 대기센서, 통합센서 기술 ⑫ 센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작 기술 ⑮ UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템 ⑯ UAM 영상감시 기술
	하 (5건)	② UAM용 Integrated Flight Deck System ④ 자율비행시스템 무결성 확보를 위한 핵심 알고리듬 및 센서 시스템 기술 ⑤ 완전자율비행 탑재 알고리즘 개발 및 실증기술 ⑨ UAM 비행체용 보안통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안 기술 ⑬ 악기상/시계제한 상황에서 정밀이착륙을 위한 정밀복합항법기술

제2절 중점추진기술별 기술역량 및 확보방안

1. 국내 UAM 기술 역량

■ 국내 UAM 기술 역량은 미국 및 EU 대비 기술 전반에서 격차 존재

● (최고 선진국 기술 수준 대비 기술수준) UAM 기술부문 중 인프라부문이 79.3% 수준으로 가장 높았으며, 기체·부품부문은 67.2% 수준으로 나타남

– 인프라부문은 70% 수준 이상으로 해외 선진기술을 모방할 수 있는 단계

– 기체·부품, 항행·교통관리, 서비스 및 핵심기술은 70% 수준 미만으로 아직 기술이전 또는 Re-engineering 등을 통해 독자 연구가 가능한 수준



[그림 Ⅳ-13] UAM 핵심부문별 국내기술수준

[참고] 최고 선진국 대비 기술 수준 정의

❍ (30% 미만) 자체적인 기술 연구 기반이 없는 수준

❍ (30% 이상 70% 미만) 기술 이전 또는 Re-engineering 등을 통해 자체적 기술연구가 가능한 수준

❍ (70% 이상 90% 미만) 해외 선진기술을 모방할 수 있는 수준

❍ (90% 이상 100% 미만) 해외 선진기술과 경쟁할 수 있는 수준

❍ (100%) 최고 기술을 보유하고 있으며, 최고 기술을 보유한 국가와 동일한 기술 수준

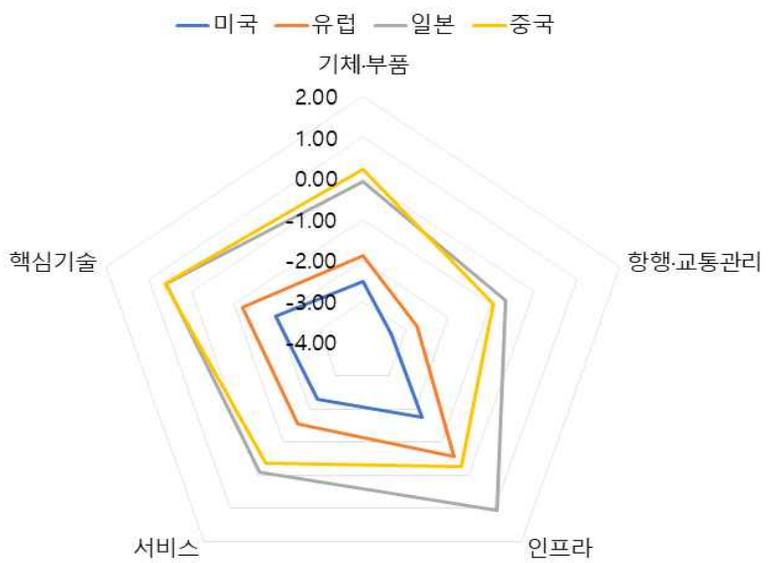
● (주요 선진국 대비 기술격차) UAM 기술부문 중 인프라부문이 주요 선진국 대비 기술격차가 작았으며, 항행·교통관리부문의 기술격차가 가장 컸음

– (기체·부품) 미국 및 EU와는 2년 내외 기술 격차가 존재하며, 중국 및 일본과는 기술격차가 거의 존재하지 않았음

– (항행·교통관리) 미국 및 EU와는 3년 내외 격차가 존재하였으며, 중국 밀 일본과는 1년 이내의 격차가 존재하는 것으로 나타남

– (인프라) 미국과는 1.4년의 격차가 존재하며, EU 및 중국과는 격차가 존재하지 않음. 일본과는 우리나라가 1년 앞서 있는 것으로 나타남

– (서비스) 미국과는 2.2년, EU와는 1.6년의 기술 격차를 보였으나, 일본 및 중국과는 기술 격차가 거의 없는 것으로 나타남



[그림 Ⅳ-14] 핵심부문별 최고 선진국 대비 기술격차

분야별 기술 역량에서도 미국 및 EU와의 기술 수준 차이가 존재

● 기술분야 중 인프라부문의 특화도시는 기술수준이 86%로 가장 높게 나타났으며, 기술격차에서도 미국을 제외하고 타국가에 앞서는 것으로 나타남

– (기체·부품) 4가지 분야 중 동력추진시스템만 기술수준이 81%였으며, 다른 분야는 70% 이하 수준으로 나타났으며, 기술격차도 미국과 1.4년차였으나, 타 국가와는 유사

– (항행·교통관리) 2가지 분야 모두 60% 내외 기술수준을 보였으며, 미국 및 유럽과도 3년 내외 기술격차를 보였음

– (인프라) 3가지 분야 중 버티포트 구축 및 운용시스템은 74%, 버티포트 보조설비시스템 및 특화도시는 85%의 기술수준으로 나타났으며, 기술격차도 버티포트 구축 및 운용시스템 외에는 1년 이내 기술격차를 보임

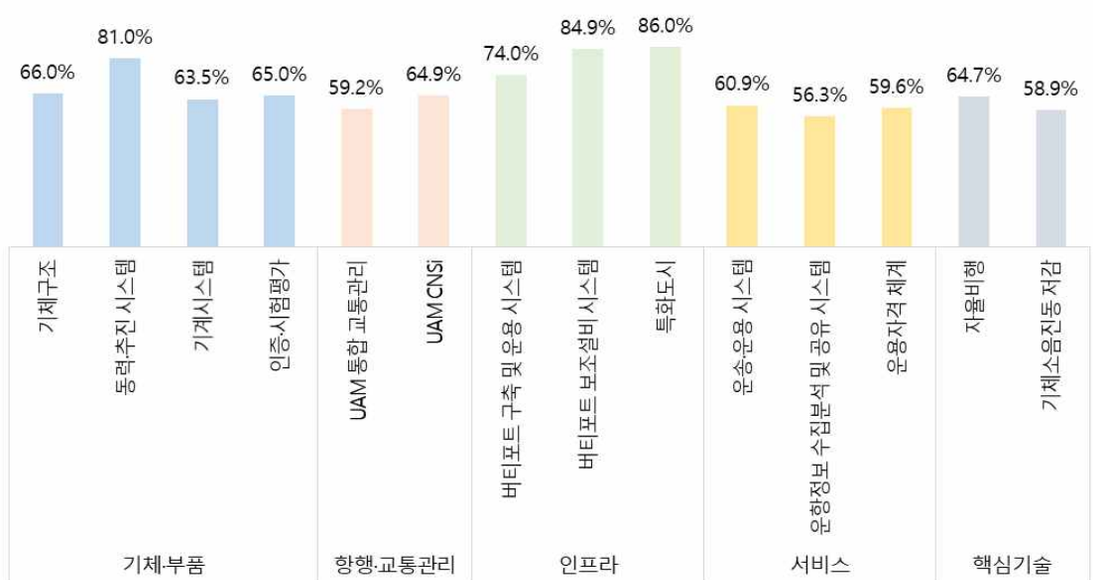
– (서비스) 3가지 분야 모두 60% 이하의 기술수준이었으며, 기술격차도 최고 선진국 대비 2년 이상의 기술 격차를 가짐

– (핵심기술) 2가지 분야 모두 60% 내외 기술수준으로 나타났으며, 기술격차도 최고 선진국 대비 2년의 격차가 존재

〈표 Ⅳ-19〉 주요 분야별 기술 격차

(단위: 년)

부문	주요분야	미국	EU	일본	중국
기체·부품	기체구조	-3.0	-2.1	-0.5	-0.3
	동력·추진 시스템	-1.4	-0.8	0.0	0.3
	기계·전기전자 시스템	-2.8	-2.0	-0.2	0.2
	인증·시험평가	-2.5	-2.1	0.1	0.4
항행·교통관리	UAM 통합 교통관리	-3.6	-3.2	-0.8	-1.0
	UAM CNSi	-3.1	-2.3	-0.5	-0.8
인프라	버티포트 구축 및 운용 시스템	-2.2	-0.9	0.8	-0.6
	버티포트 보조설비 시스템	-1.4	-0.3	1.3	0.0
	특화도시	-0.6	0.4	1.8	0.5
서비스	운송·운용 시스템	-2.4	-1.5	-0.1	-0.5
	운항정보 수집분석 및 공유 시스템	-2.5	-1.4	-0.1	-0.4
	운용자격 체계	-1.9	-1.7	-0.1	-0.2
핵심기술	자율비행	-1.8	-0.8	0.7	0.6
	기체소음진동 저감	-2.6	-2.4	0.2	0.8



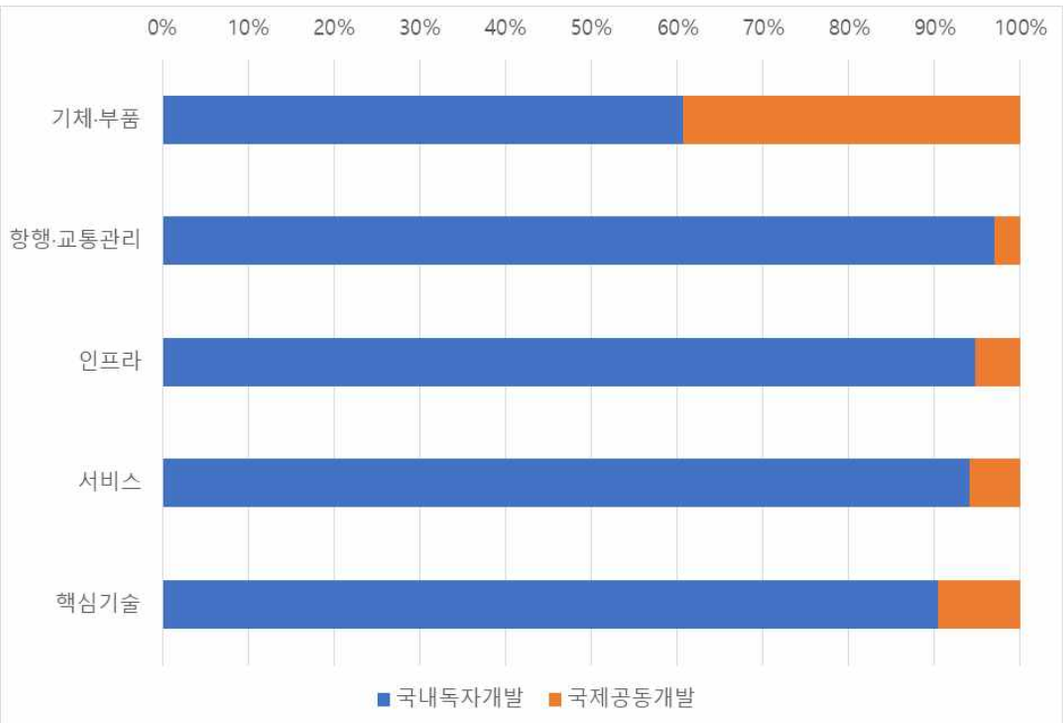
[그림 Ⅳ-15] 주요 분야별 기술수준

2. 중점추진기술 확보 전략

■ 핵심부문별 중점추진기술 확보 전략

● (R&D방안) 부문별 기술확보방안 중 국내독자개발이 압도적으로 가장 많은 비중을 차지하며 기체·부품만 국제 공동개발이 다른 부문 보다 많이 차지함

– 국내독자개발이 가장 많이 차지하는 부문은 항행·교통관리 부문이며, 인프라, 서비스, 핵심기술, 기체·부품 등 순으로 나타남

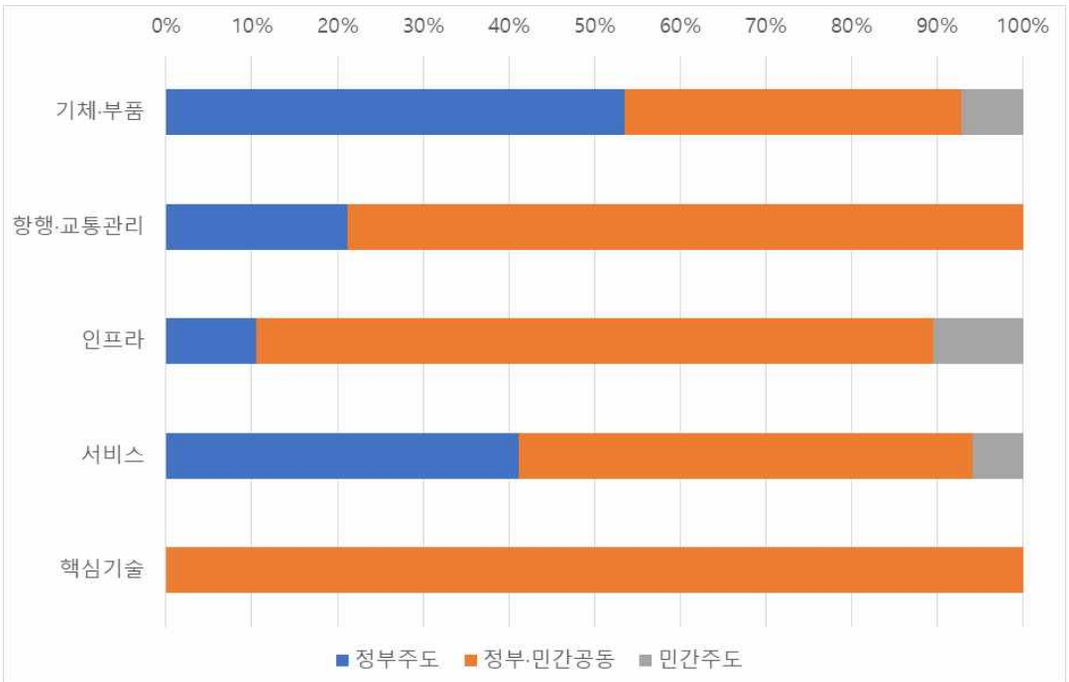


[그림 Ⅳ-16] 핵심부문별 기술확보방안

● (투자주체) 부문별 기술확보방안 중 정부·민간공동이 가장 많은 비중을 차지하며 기체·부품만 정부주도로 약 50% 차지

– 부문별 투자주체 중 중점추진기술이 100% 정부·민간공동이며 항행·교통관리가 다음 순으로 나타남

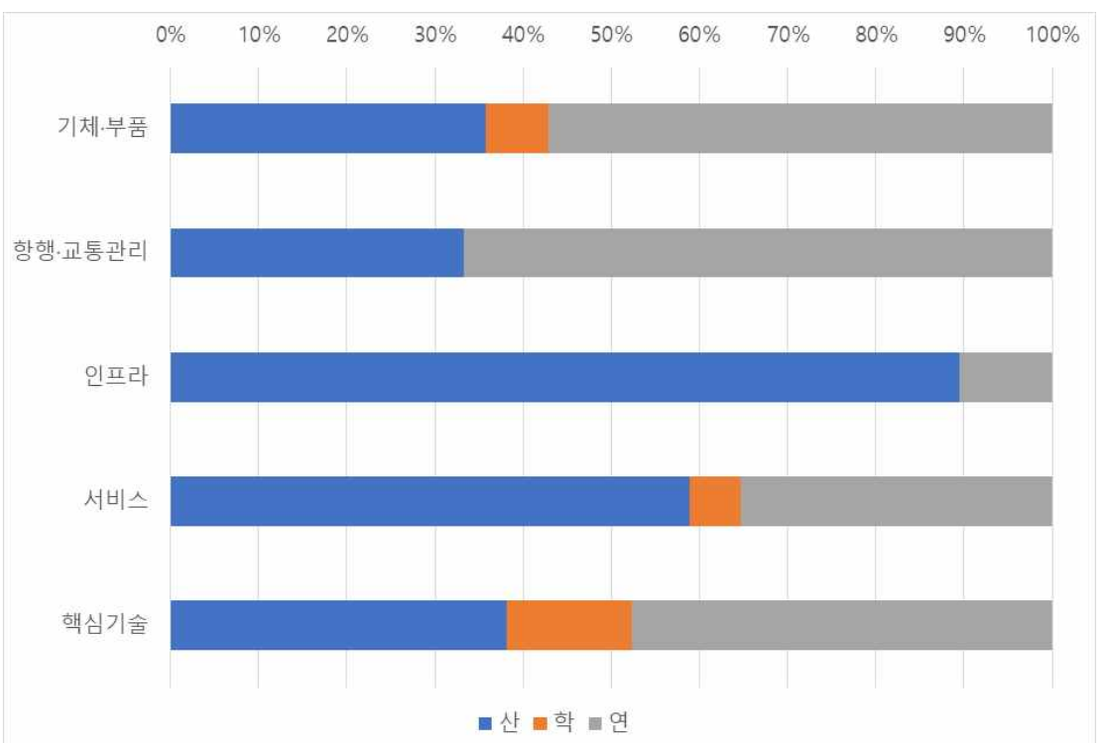
– 부문별 투자주체 중 민간주도가 가장 적은 비중을 차지함



[그림 Ⅳ-17] 핵심부문별 투자주체

● (연구수행주체) 부문별 연구수행주체 중 산업계에서 가장 많은 비중을 차지하며 연구기관도 상당한 비중을 차지

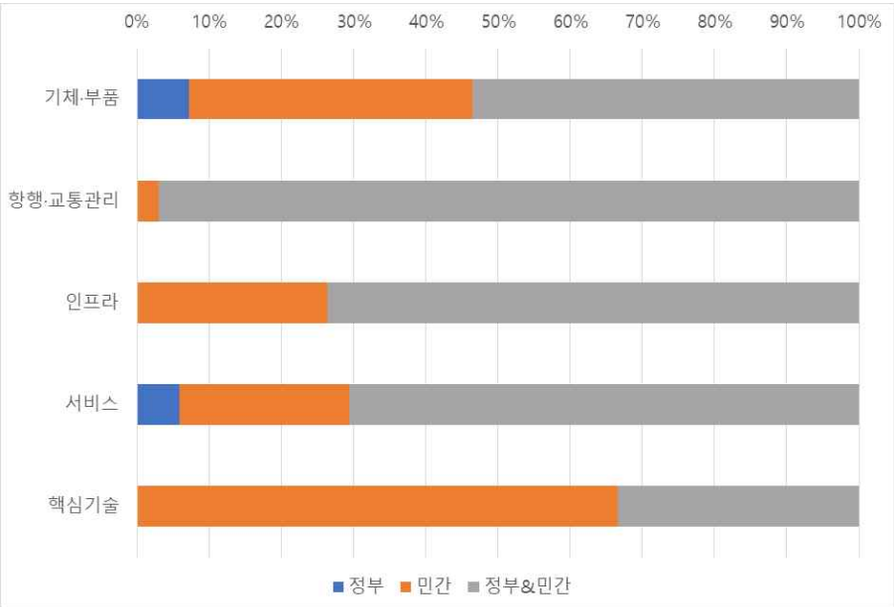
– 부문별 연구수행주체 중 인프라 부문이 산업계에서 거의 주도적으로 하며 학계에서 참여하지 않음



[그림 Ⅳ-18] 핵심부문별 연구수행주체

● (활용주체) 부문별 활용주체 중 정부&민간에서 많은 비중을 차지하며 정부만 활용하는 부문이 적은 비중 차지함

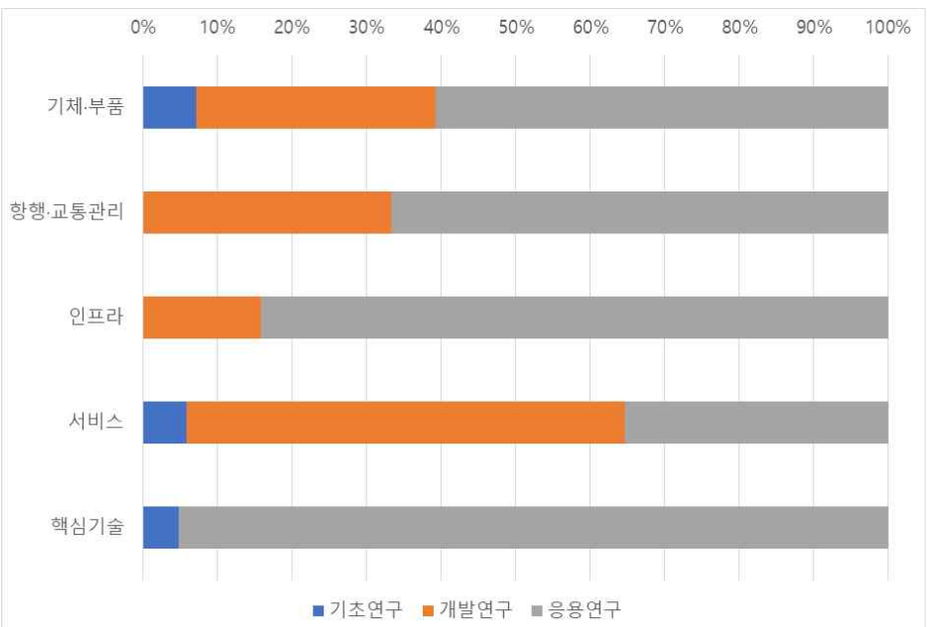
– 부문별 활용주체 중 항행·교통관리 부문이 거의 정부&민간이 활용주체이며 기체·부품 및 서비스 부문 중 일부에서만 정부가 활용주체



[그림 Ⅳ-19] 핵심부문별 활용주체

● (연구개발단계) 부문별 연구개발단계 중 중점추진기술이 대부분 응용연구 단계이며 서비스 부문이 개발연구 단계가 많이 차지함

– 부문별 연구개발단계 중 항행·교통관리 및 인프라 부문이 기초연구 단계에 벗어남



[그림 Ⅳ-20] 핵심부문별 연구개발단계

제5장

한국형 도심항공교통 (K-UAM) 기술로드맵

제1절 비전 및 추진전략

제2절 한국형 도심항공교통 기술로드맵

제3절 기술로드맵 활용방안 및 기대효과

제1절 비전 및 추진전략

1. 한국형 도심항공교통 기술로드맵 수립의 의의

■ 기술로드맵 수립 개요

● (목적) UAM분야에 대한 미래먹거리 육성 및 연관산업의 기술경쟁력 제고 목적의 통합 기술개발 사업을 위한 기술 발굴

● (계획 기간) 2022년~2035 (총 14년)

– (목표 시점) '30년경 개발기술 상용화를 주요 목표시점으로 설정

● (수립 주체) 도심항공교통(UAM) 유관부처인 국토교통부, 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 중소벤처기업부, 기상청 등

– (참여자) 유관부처 산하 UAM분야 사업을 관리·기획하는 국토교통과학기술진흥원, 한국연구재단, 한국항공우주기술연구조합, 중소기업기술정보진흥원, 한국기상산업기술원 및 국내 UAM분야 기업체, 연구기관, 대학 등

● (대상) UAM 관련 全 생애주기가 포함된 기술분야

– (시장 범위) 제작(기체·부품), 인프라(항행설비·전력·교통관리·터미널), 서비스(운송·기상·통신) 등 全 생애주기와 인력·제도 등도 포함

– (산업분야 범위) 산업생태계 상 기술공유가 가능한 미래차·수소·ICT 등 타 분야와 관련 기술을 제외하고 UAM분야만으로 범위를 설정

– (기술단계 범위) 중장기 개발이 필요한 기초·원천기술부터 현재 기술의 고도화로 신속한 상용화가 가능한 상용화 기술까지 포함

  • 기술성숙도(Technology Readiness Level, TRL) : 3~9단계 모두 포함

● (목표) '30년 상용화를 위한 UAM 핵심기술 확보

– ('23~'29년) UAM 상용화 기반 마련, ('30~'35년) UAM의 상용화, ('35년~) UAM의 대중화

■ (위상) UAM분야의 기체 및 운용 관련 기술 확보를 통해 한국형 도심항공교통 상용화·활성화에 기여

● 한국형 도심항공교통(K-UAM) 로드맵('20.6월)의 '30년 UAM 상용화 목표·시점에 맞춰 UAM 구현을 위한 실행계획

– 준비기('20~'24)-초기('25~'29)-성장기('30~'35년)-성숙기('35년~) 단계별 실현을 위해 필요한 기술을 발굴하고 기술별 대한 목표 성능 도출



[그림 V-1] K-UAM 로드맵 정책목표 및 추진과제

● UAM 기술선도 및 경쟁력 강화를 목적으로 UAM 기술 발굴 및 기술별 획득전략 수립을 위한 한국형 도심항공교통 기술로드맵

– UAM 수요를 기반으로 UAM 운용타당성(수익성 분석)을 확보한 미래시나리오 도출 및 국내 UAM 구현을 위한 미래시나리오 중심의 중점기술분야를 발굴

● 한국형 도심항공교통 상용화를 위해 산·학·연 전문가 등 이해관계자 및 관계 부처, 유관기관* 참여로 공감대 형성

* 항공안전기술원, 교통안전공단, 한국공항공사, 인천국제공항공사, 한국교통연구원, 한국항공우주연구원, 현대자동차, 한화시스템 등 30여개 기관

– 단순한 기술로드맵 수립 차원을 넘어 '30년 상용화 목표 실현을 위한 통합 기술개발사업과의 연계 추진

한국형 도심항공교통 로드맵 ('20.6월)	**준비기('20~'24)**	**초기('25~'29)**	**성장기('30~'35)**	**성숙기('35~)**
	- 이슈·과제 발굴 - 법·제도 정비 - 실험·실증(민간)	- 일부노선 상용화 - 도심 내/외 거점 - 연계교통체계 구축	- 비행노선 확대 - 도심 중심 거점 - 사업자 흑자 전환	- 이용 보편화 - 도시 간 이동 확대 - 자율비행 실현
한국형 도심항공교통 기술로드맵 ('21.3월)	**상용화 기반 마련('22~'25)**	**상용화('26~'30)**	**대중화('31~'35)**	
	- UAM 인프라 실증을 통한 안전성 확보 - UAM 상용화 기반 구축을 위한 핵심기술 조기 확보	- UAM 인프라 검증을 통한 수용성 확보 - 서비스 안정화를 위한 기술 확보	- UAM 운용 자동화 기술 상용화 - 서비스 경제성 증대를 위한 기술확보	

[그림 V-2] K-UAM 로드맵 및 본 기술로드맵 간 단계 비교

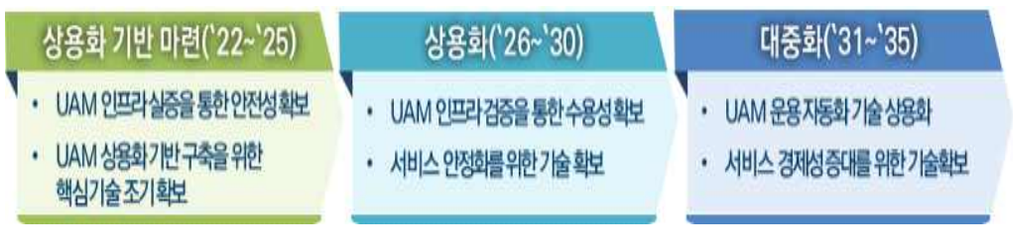
2. 비전 및 추진방향

가. 한국형 도심항공교통(K-UAM) 기술로드맵 비전체계도

비전

**UAM을 대중이 이용가능한 교통수단으로 현실화 하고,
이를 지원할 수 있는 기술·산업 생태계를 형성**

목표



추진 전략

1 안전성을 확보하는 운항·관리 기술개발

- 안전성을 확보를 위한 시스템 설계·제작 및 인증·시험평가 기술개발
- 안전운항 지원을 위한 교통관리체계 및 비행경로 설계기법 개발
- 안전운항을 위한 통신·항법·감시(CNSi) 기술개발

2 수용성을 증대하는 친화기술 확보

- 저소음·친환경 구현을 위한 저소음 기체, 친환경 추진동력 개발
- 운용 정시성을 보장하기 위한 운용 스케줄링, 예측정비, 기상 대응 기술개발

3 경제성을 향상하는 상용기술 마련

- 경제성 향상을 위한 기체 양산 및 고성능 배터리 기술개발
- 효율적 운용을 뒷받침하는 야간운항 지원, 신속·편리 보안검색 기술 개발

4 지속가능성을 이끄는 기초기술·생태계 구축

- 장기적 관점으로 자율비행, 교통관리 자동화 기술개발
- 전문학과 확대, 산학연계 프로그램, 기초교육 확대를 통한 인력양성

5 상호발전을 유도하는 기술교류 확대

- 타 산업과의 교류 활성화를 위한 기술교류 지원 및 업종전환 지원
- 국제협력 강화를 위한 협동연구 및 R&D 성과 표준화 추진

나. 추진전략별 세부내용

추진전략 1. 안전성을 확보하는 관리기술 개발

■ 승객·기체 안전성 확보

● **(승객 안전성)** 기상변화·충돌 등 비정상상황시 **탑승객의 안전성 향상**을 위해 필요한 **기체 구조 설계·제작** 및 **부품·시스템 관련 기술 확보**

– 탄소복합재 등 첨단소재 활용 및 충격 **완화형 좌석 설계·제작 기술, 비상낙하** 및 **충돌 감지·회피 시스템** 등을 개발

● **(기체구조)** 운항 중 발생하는 **낙뢰 및 결빙** 등의 기상위험 요인에 대한 **기체 보호, 능동형 기체 상태 모니터링·분석 기술** 등이 필요

– 비행 중 발생하는 **결빙·착설** 및 **낙뢰** 등의 위험요인과 **엔진, 로터, 배터리 등 핵심부품의 상태를 실시간 모니터링**하는 기능을 구현

● **(인증·시험평가)** 기체·부품의 **설계·제작·정비** 및 **항행·교통·운영관리·인프라 시설** 등에 대한 **안전성 인증·시험평가** 체계 확보

– 기체·부품의 **인증기준·절차수립** 및 **인증·시험평가 인프라** 구축

– **동력원**(배터리·수소연료전지 등), **전자장비, 자율비행, 무선통신, 항행 안전·보안** 및 **교통관리시스템** 인증체계 구현

〈표 Ⅴ-1〉 승객·기체 안전성 확보를 위한 추진계획

주요분야	중점기술	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
기체구조	UAM용 고신뢰성 기체 설계·제작 기술														
기계·전기전자 시스템	승객 운항안전성 확보 기술														
	기체 안전장치 설계 기술														
인증·시험 평가	UAM 기체 인증·시험평가 기술														
	UAM 기체용 소재·부품 인증·시험평가 기술														

안전운항 지원

● **(교통관리체계)** 기존 **항공교통관리(ATM)체계**를 **응용**하여, 도심 하늘에서도 운용할 수 있는 **디지털 기반의 하늘길 관리기술**을 구상

– UAM에 특화된 '국가-PSU*-운송사업자' 간 비행계획승인, 모니터링, 긴급상황시 통제 등 **전반적인 운항개념 및 절차**에 대한 제도·기술 마련

* PSU(a Provider of Services for UAM) : 기존 항공교통과 달리 운항지역·횟수가 많은 UAM 특성을 고려해 교통관리를 위임받아 수행하는 민간 교통관리 사업자

– 현재 개발 중인 **K-드론시스템**(초기 저고도 교통관리)을 **기존 항공교통체계**와 연계한 **UATM**(중간단계)을 거쳐 **全공역통합***까지 고도화

• NARAE(National ATM Reformation and Enhancement, 차세대 항공교통시스템 구축계획) : 공항·운항의 효율적 운용을 위한 종합계획으로 全공역 통합관리가 필수

● **(비행경로 설계 기법)** 사업자가 제출하는 비행계획과 **실시간 기상·재난정보** 등을 종합적으로 고려해 **안전한 경로를 설계**할 수 있는 기술이 필요

– 고정 항로부터 **실시간 동적할당 항로** 형태까지의 경로를 설계하는 기법과 AI·빅데이터 등을 활용한 **설계 지원기술** 등을 개발

● **(복합 공간정보)** 조종 지원(네비게이션) 및 **기상·소음 수준을 복합·표출하여 운항 위험을 최소화하는 경로 설계** 등을 지원하는 기술 요구

– 신속한 갱신이 가능한 3차원 공간정보체계, 소음·기상·재난 정보 복합 구현, 주민 영향 최소화를 위한 실시간 경로설계 기술 등을 개발

〈표 Ⅴ-2〉 안전운항 지원을 위한 추진계획

주요분야	중점기술	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
UAM 통합 교통관리	UAM 가상통합 운용체계 검증 기술														
	UAM 공역설계 및 관리 스케줄링 기술														
	UAM 운항 위험도 관리 및 저감 기술														
운항정보 수집분석 및 공유 시스템	도심 운용 3차원 정밀지도 구축 기술														

통신·항법·감시·정보(CNSi)[28]

- **(통신) 상용통신망(5G 등)**의 **도달거리 확장** 등 **UAM 관제** 및 **운항사·이용객 대상의 통신서비스**를 제공할 **통신체계·기술** 구축 필요

  – 사이버보안, 1:1통신에서 이중 네트워크, **다중 네트워크* 활용**까지 점진적으로 개발, 차세대 통신기반인 **저궤도 위성**** 등도 실증·개발

  * 상용망(이동통신), C2 등

  ** 테슬라社 스타링크, 아마존社 카이퍼프로젝트 등 저궤도 위성 기반 차세대 통신 제공 프로젝트 진행 중

- **(항법) UAM의 높은 운항밀도***를 고려해 **위치, 속도, 방향** 등을 기존 항공용보다 **정확히 인지** 및 **시현** 할 수 있는 기술 필요

  * 운항거리 20~50km(기존 항공기 수백~수천km), 총 운용대수 수십만대(기존 3만대)

  – **정밀 위성항법**(SBAS, RTK), 카메라 기반 영상인식 항법장치 및 영상·관성항법 등을 포함하는 **고정밀 복합항법장치** 등 개발

- **(감시 및 정보)** 위치정보 송·수신, 통합·분배하는 **장비 및 체계**를 UAM 운용고도(300~600m) 등 **특성에 맞게 특화**하는 기술 필요

  – 기존 레이더, ADS-B 방식과는 차별화된 **별도 기지국이 필요없는 통신망 기반**의 **감시 정보 전송체계** 및 **신뢰성 검증** 기술 개발

〈표 V-3〉 승객·기체 안전성 확보를 위한 추진계획

주요분야	중점기술	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
통신	UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹기술														
	UAM 비행 운용제어용 다중 통신기술														
항법	차세대 UAM용 다중 상대항법 기술														
감시	UAM용 협력적· 비협력적 감시기술														
CNSi 보안	UAM 운용을 위한 CNSi 보안 기술														
CNSi 체계 검증	저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계신뢰성 검증 기술														
버티포트 보조설비 시스템	상용통신 기반 버티포트 통신 기술														

28) Communication, Navigation, Surveillance, Information



[그림 V-3] K-UAM 기술로드맵의 추진전략①

추진전략 2. 수용성을 증대하는 친화기술 확보

■ 저소음·친환경 구현

● **(저소음 기체)** 도심 하늘에서 **저고도(300~600m)**로 비행해도 **인근 지역 주민에게 소음 피해가 없도록 기체·부품 관련** 친화 기술 필수

– 전기동력 **분산추진, 고효율 추진동력** 체계, **저소음 지향 로터설계** 및 **복합 신소재** 등 신기술 개발

● **(친환경 추진동력)** 도시 대기오염이 없도록 **탄소 배출이 없는** 전기, 수소(하이브리드) 등에 기반한 **추진동력원**을 활용한 기술 필수

– 운항거리 증대에 필수적인 **초경량·고밀도·고효율 전기배터리**, 수소 연료전지 등 **하이브리드** 설계 및 안정적 **양산기술** 개발

• 군수용 등 특수목적을 위한 하이브리드(내연기관 기반) 등도 개발

● **(에너지 최적화)** 도심 내 위치하는 **버티포트의 탄소 발생 저감** 등에 필요한 에너지 최적화 기술 필요

– 버티포트 에너지원 최적화 기술, 에너지 소모 최적화 기술 등을 개발

〈표 Ⅴ-4〉 저소음·친환경 구현을 위한 추진계획

주요분야	중점기술	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
기체 소음·진동 저감	도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술														
			■	■	■	■	■								
	UAM 기체용 소음진동 제어기술														
			■	■	■	■	■								
동력추진 시스템	도심운항을 위한 전기추진기술														
		■	■	■	■	■	■	■	■						
버티포트 보조설비 시스템	버티포트용 에너지 최적화 기술														
				■	■	■	■	■	■	■	■				

■ 안정적 이용을 보장하는 친화 기술

● **(운용 스케줄링)** 운송사 등의 수익 창출을 위해 **기체 운용시간**을 **극대화**하거나 지원인력·정비부품 등의 **자원을 최적으로 배치**하는 기술 요구

– 기체 정비·버티포트 운용 등 **인력배치, 부품재고 관리, 빅데이터·실시간 모니터링 기반 MRO 주기 예측** 기법 등 개발

● **(기상 대응)** 기체 요동 등 안락감 불안요소 해소와 운항일수 증대를 위해 **기상여건을 극복**하거나 **세밀하게 예측·회피**하는 기술

– **저시정 극복** 및 **도심 국소기상 측정·예측**기술 개발 등

〈표 Ⅴ-5〉 저소음·친환경 구현을 위한 추진계획

주요분야	중점기술	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
운송·운용 시스템	UAM 승객·화물 운송관리 기술														
		■	■	■	■	■	■	■	■						
	지능형 예방정비 기술														
					■	■	■	■	■	■	■				
운항정보 수집분석 및 공유 시스템	UAM 도심기상 정보 수집·분석 및 예측기술														
		■	■	■	■	■	■	■	■						
버티포트 구축 및 운영 시스템	도심형 버티포트 구축기술														
		■	■	■	■	■	■	■	■						
특화도시	버티포트 특화형 스마트 시티														
									■	■	■	■	■	■	



[그림 V-4] K-UAM 기술로드맵의 추진전략②

추진전략 3. 경제성을 향상하는 상용기술 마련

■ 기체 양산기술 및 핵심부품

● **(기체)** 빠르게 성장하는 **시장 규모**에 맞춰 **빠른 속도와 균등한 품질**로 기체를 **생산**하고 관리할 수 있는 기술 필요

– **경량신소재의 개발·양산** 기법·설비, 조립공정 **자동화, 자동 기법·설비** 및 새로운 **양산 체계·기술 인증**제도 개발

● **(배터리)** 기체의 **운항거리·횟수 증가를 통한** 이용자수 확대, **배터리 교체주기 단축을 통한 비용절감** 기술 등

– 열관리 최적화, 교체주기를 늘리는 충·방전율 향상·자동화 기술 등

〈표 V-6〉 기체 양산기술 및 핵심부품 확보를 위한 추진계획

주요분야	중점기술	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
기체구조	기체 경량화 제작 기술														
						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
동력추진 시스템	UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원														
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			

■ 운용 시간·효율을 극대화하는 서비스기술

● **(야간운항 지원) 안정적인 서비스** 보장을 위한 **계절 영향, 탄력적 출퇴근** 시간 수요 등에 대응이 가능한 **야간운항 지원** 기술

* 초기 UAM은 기술적 한계로 시계비행(VFR, Visual Flight Rule) 및 주간비행 예상

– 기체 영상장치 기반 **합성시계시스템(Synthetic Vision)**의 **정밀도***를 단계적으로 높여가는 인식·처리 기술 개발

* 인식된 지형정밀도 5m급→1m급→0.1m급

● **(신속·편리 보안검색)** 항공교통 특성 상 **보안검색이 필수**이나 **이동시간을 고려**하여 간소하고 **신속한 검색지원기술*** 필요

* 워킹스루, 3차원 휴대물품 검색, AI기반 신원 확인 및 위험사전예측·소형화 기술 등

● **(지상 서비스)** 버티포트 내 배터리 충전, 기체 견인 등 운항 지원 서비스의 효율성 향상을 통해 **운용시간 극대화**를 지원하는 기술

– 친환경 기반 에어사이드 장비 자동화·무인화 기술, **고전압·급속충전** 기술, **배터리 수명 진단·관리** 기술 및 **교체 시스템** 등 개발

〈표 V-7〉 운용 시간·효율 극대화를 위한 추진계획

주요분야	중점기술	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
운송·운용 시스템	UAM 조종사 업무저감기술														
버티포트 구축 및 운용 시스템	스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술														
	버티포트 고효율 자동화 운용기술														
버티포트 보조설비 시스템	고전압 고신뢰 버티포트 충전기술														



[그림 V-5] K-UAM 기술로드맵의 추진전략③

추진전략 4. 지속가능성을 이끄는 기초기술·생태계 구축

■ 장기적 관점의 기초 기술

● **(자율비행)** 경제성과 직결되는 필수적인 기술로, **높은 수준의 안전성**을 위해서는 **기술개발단계**부터 **인증체계 마련이 필수**

– 원격조종(1:1→1:多) 및 자율비행 등 **단계별 개발수준**에 따라 **센서**, 복합공간정보 연계 **상황인식, 판단·제어 알고리즘, 인증체계** 등 개발

● **(교통관리 자동화(PSU))** 비행 승인·통제 등 **교통관리체계**의 실질적 운용 주체를 '**사람→프로그램**'으로 전환·운용 필요

– 단계적 **AI 역할 확대 모델·기법, 빅데이터 기반 교통흐름 분석**, 실시간 **비행상황 모니터링 고용량 통신** 등

〈표 Ⅴ-8〉 기초 기술 확보를 위한 추진계획

주요분야	중점기술	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
자율비행	전천후 상황인지 및 충돌회피 기술														
		■	■	■	■	■	■	■	■						
	UAM 비행체용 탑재 통신 기술														
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
	UAM 자율 항법 기술														
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
	UAM용 완전 자율비행 조종기술														
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
UAM 통합 교통관리	실시간 운항정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술														
				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ 기초체력 확보를 위한 인력양성

● **(전문학과 신설 및 산학연계)** 기존 항공관련 학과를 보유한 대학에 **UAM 관련 전문과정** 신설유도 및 관련 기관간 협력교육 확대

– 국내기업(현대·한화 등) 진출로 산업체 수요증가도 예상되므로 **산학연계형 석·박사급 양성 프로그램*** 활성화 필요

* 산학협력 R&D사업 지원 및 정부 재정사업 산업특화 우수인력 양성

● **(기초교육 확대)** 새로운 미래항공에 대한 비전을 소개하고 관심을 유도하기 위한 **기초교육 프로그램**도 구축·운영(초·중·고·일반인 대상)

〈표 Ⅴ-9〉 인력양성을 위한 추진계획

주요분야	중점기술	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
운용자격 체계	UAM 종사자 인력양성 체계														
	UAM 종사자 자격제도 수립														



[그림 Ⅴ-6] K-UAM 기술로드맵의 추진전략④

추진전략 5. 상호발전을 유도하는 기술교류 확대

■ 타 산업과 교류 활성화

● **(기술교류 지원)** UAM과 산업생태계를 공유하는 **다양한 산업***과 **부품 또는 기술을 교류·상호 활용**하는 등 기술적·경제적 생태계 공유

* 전기차, 기존 항공운송·제작, 모빌리티 플랫폼, 교통운송업계 전반 등

– **스핀 오프**(UAM→타 산업), **스핀 온**(타 산업→UAM), **스핀 업**(UAM↔타 산업) 등 **다양한 교류형태**를 대상으로 자금 등 지원

● **(업종전환 지원)** 기존 내연기관 업계 등 생태계 변화로 **업종전환**을 추진하는 업체는 **차별화된 지원방안**을 마련하여 연착륙·발전 유도

〈표 Ⅴ-10〉 UAM 전환 업체 유형별 지원 방안

	성장(개발) 지원	수요 다변화 지원	업종전환
분야	• 배터리, 모터, 인버터 • 경량 소재, 충전인프라	• 항법, 조향, 제동 장치 • 내장·타이어 등 범용품	• 엔진·변속기 관련 부품 • 액츄에이터, 계기류 부품
지원방식	• 산학연 기술개발 • 투·융자 스케일업 지원	• 신규 수요처 탐색·매칭	• 융합기술 역량 강화 • 정책자금 지원 확대

국제협력 강화

● (협동연구) **美 FAA·NASA, EU EASA** 등 해외 주요 기관과 **협력 R&D**를 통해 신속한 기술경쟁력 확보 지원

– R&D 과제를 비롯해 소규모 연구용역 및 중장기 실증사업 등을 종합적으로 연계하여 기술·제도·인력 등 다방면 협력 추진

● (R&D 성과 표준화) **국제기준, 산업·단체표준** 관련 기관·기구와 **R&D 성과물** 등을 기반으로 **표준화**와 공감대 확산에 필요한 **인력교류** 등 추진

– 美 ASTM·RTCA·SAE, EU EUROCAE, ICAO, ISO, JARUS, 등

– 선진국 수준의 전문성을 신속히 확보하고 전반적 UAM 추진방향에 공감대를 형성하기 위해 인력·교육 교류 등을 추진



[그림 V-7] 국내외 주요 협력 예시

제2절 한국형 도심항공교통 기술로드맵

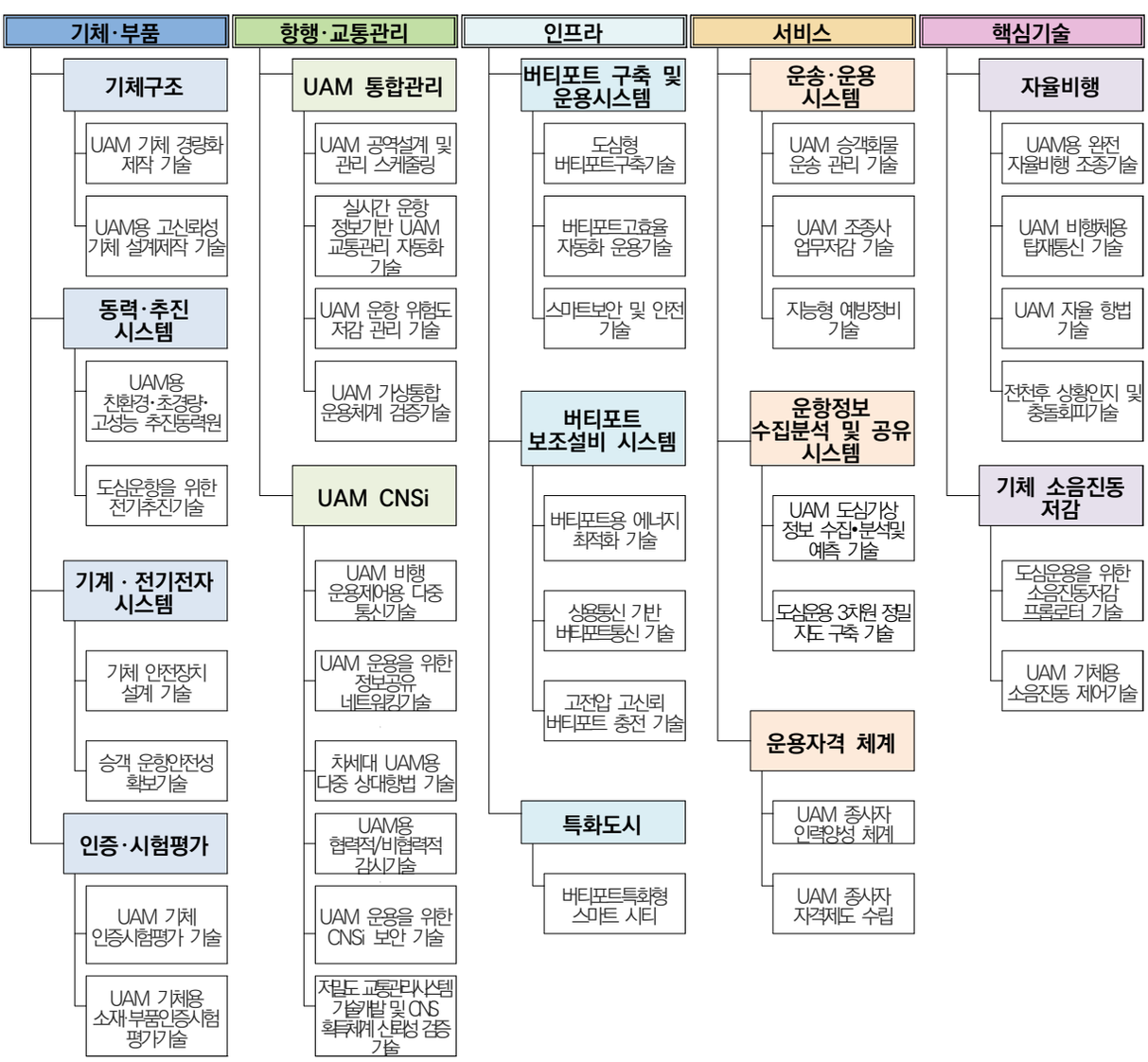
1. 기술로드맵 구조도

가. 구조도

■ 전체 WG 중 기술과 관련된 5건의 WG를 중심으로 분류하여 구성

● 핵심부문 5건, 주요분야 14건, 중점기술 38건, 세부기술 118건로 구성

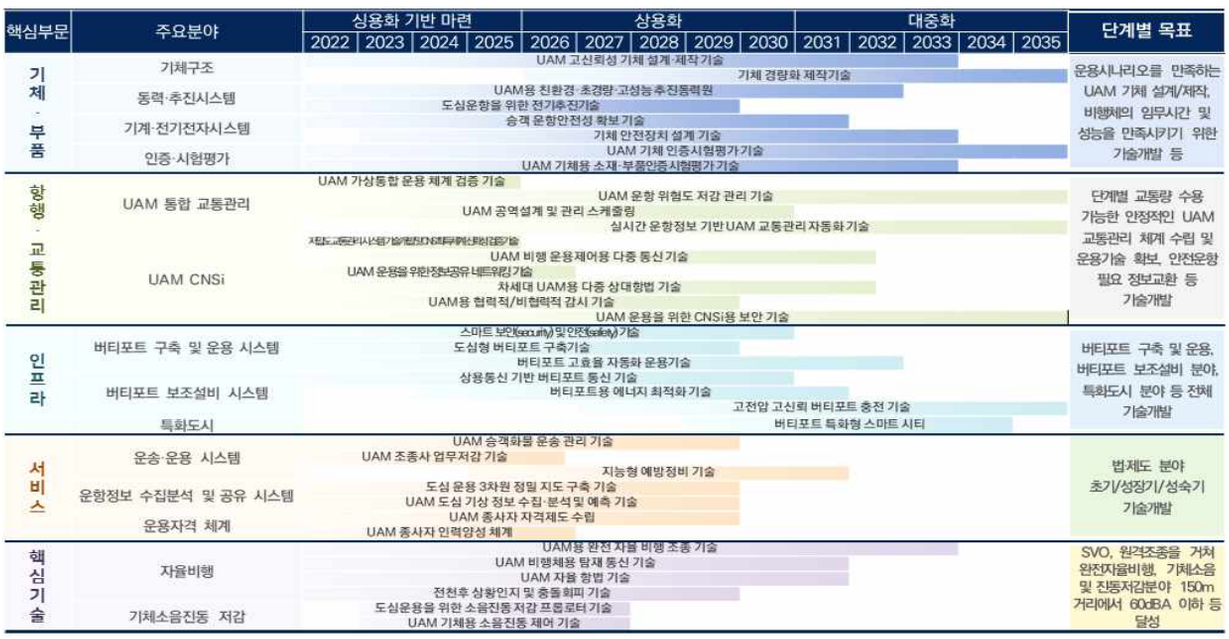
핵심부문(5)	주요분야(14)	중점기술(38)	세부기술(118)
기체부품	4	8	28
항행·교통관리	2	10	33
인프라	3	7	19
서비스	3	7	17
핵심기술	2	6	21



나. K-UAM 기술로드맵

K-UAM 기술로드맵 (총괄)

- (계획 기간) 2022~2035년(14년)[29]
- (대상) 5대 중점추진기술



중점추진기술별 기술로드맵

- 기체·부품 (4대 주요분야, 8대 중점기술, 28대 세부기술)

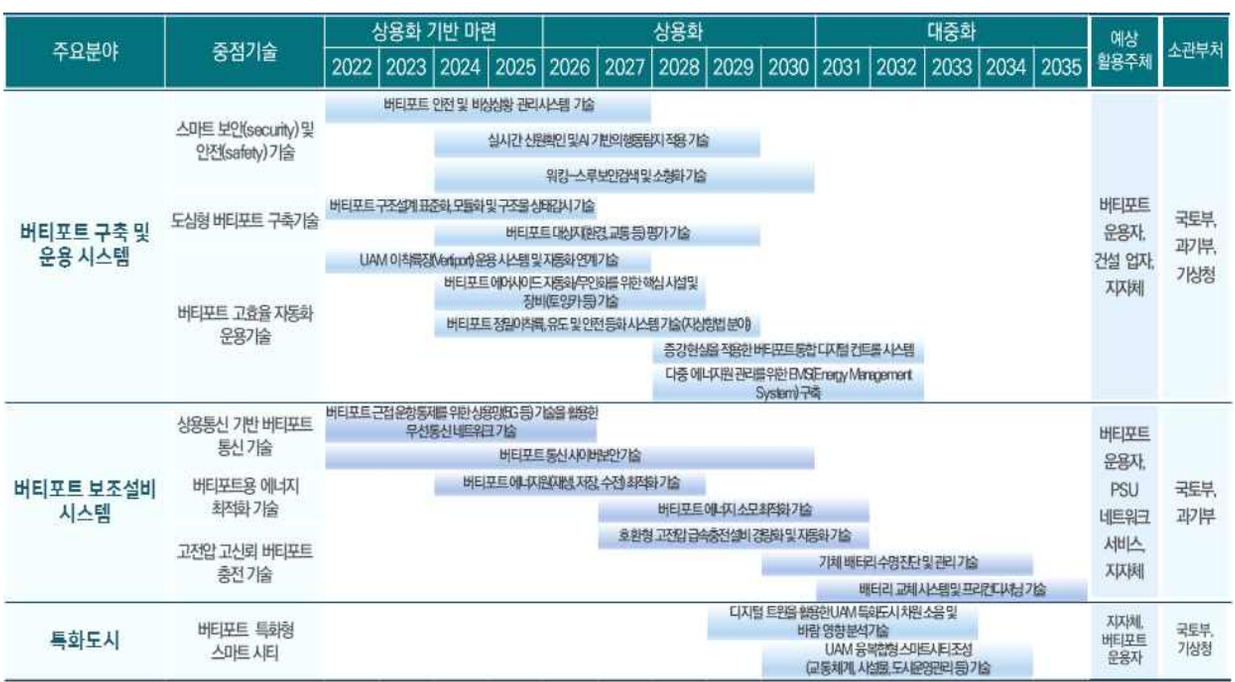


29) 환경변화에 따라 5년마다 갱신

● 항행·교통관리 (2대 주요분야, 10대 중점기술, 33대 세부기술)



● 인프라 (3대 주요분야, 7대 중점기술, 19대 세부기술)



● 서비스 (3대 주요분야, 7대 중점기술, 17대 세부기술)

주요분야	중점기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화					예상 활용주체	소관부처
		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035		
운송·운용 시스템	UAM 승객화물 운송 관리 기술	운항사 운영 시스템 개발				화물 운송 Safety 기술										운송사업자, MRO 업체	국토부, 과기부, 중기부
	UAM 조종사 업무저감 기술	UAM 조종 단순화/자동화 기술															
		야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술															
	지능형 예방정비 기술					데이터 기반 예방정비분석 기술 및 시스템 구축											
								인공지능 기반 정밀고장탐지 기술									
운항정보 수집분석 및 공유 시스템	도심운용 3차원 공역 공간 정보생성 및 관리 기술	도심 데이터 수집체증 기술														운송사업자, 부가서비스 제공자	국토부, 기상청
		UAM 도심운용 기반 3차원 공간정보 생성 기술															
						UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도 구축											
						UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계											
	UAM 도심기상 정보 수집 분석 및 예측 기술	UAM 도심기상 예측과 데이터 기반 운항정보설정 모듈 개발															
				UAM 특화기상정보 관리 시스템													
운용자격 체계	UAM 종사자 자격제도 수립	UAM 종사자 자격제도 구축														정부, 운송사업자, 대학	국토부
		UAM 특화법 제도 기반 연구(운송사업자 법인설립 면허운용명령 등 기술 기준 등)															
						교통관리사업자(USS) 자격 및 교통관리시스템 인증기술											
	UAM 종사자 인력양성 체계	UAM 전문인력 양성센터 구축															
		UAM 종사자 교육훈련체계 구축															

● 핵심기술 (2대 주요분야, 6대 중점기술 21대 세부기술)

주요분야	중점기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화					예상 활용주체	소관부처
		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035		
자율비행	UAM용 완전 자율 비행 조종 기술	비행체용 Vertiport 접근 및 자동 이착륙 기술														기체 개발/제작자, 부품 공급업체	국토부, 산업부, 과기부
		UAM용 Integrated Flight Deck System															
		완전 자율비행을 위한 UAM SW 플랫폼 기술															
						자율비행시스템 무결성 확보를 위한 핵심 알고리즘 및 센서 시스템 기술											
		완전자율비행 탑재 알고리즘 개발 및 실증 기술															
	UAM 비행체용 탑재 통신 기술	UAM 비행체용 온보드 다중매체 통신모듈 기술															
		UAM 비행체용 다중링크(5G, 이동위, LEO위성) 통신 기술															
				UAM 재밍, 스푸핑 등 전파기반 불법공격 대응기술													
						UAM 비행체용 보안통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안기술											
	UAM 자율 항법 기술	UAM 운용을 위한 영상(라이다 등) 대기센서, 통합센서 기술															
				위성항법불용 환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체항법-상대항법 복합기술													
		센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작기술															
						악기상/시계제한 상황에서 정밀이착륙을 위한 정밀복합항법기술											
	전천후 상황인지 및 충돌회피 기술	UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술															
		UAM 충돌회피 비행을 위한 기체제작용 소형 레이다 시스템															
		UAM 운용을 위한 영상(라이다 등) 대기센서, 통합센서 기술															
기체소음 진동 저감	도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술	도심 운용조건을 고려한 프롭 로터 시스템 성능 강건설계 (robust design) 기술														지자체, 기체 개발/제작자, 부품 공급업체	산업부, 과기부
		UAM용 프롭로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술															
	UAM 기체용 소음진동 제어 기술	UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술															
		UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술															
		객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술															

2. 중점추진기술별 기술로드맵 개요

가. 기체·부품

정의

● UAM 기체·부품 기술은 미래통합시나리오를 만족시키기 위한 비행체 설계, 제작, 기체/구조기술, 동력추진 시스템, UAM 기체 시스템 및 인증·시험평가를 위한 기술

– (기체구조) UAM용 eVTOL 비행체에 적합한 최적설계기술 개발과 경제성 확보를 위한 양산성을 고려한 기체구조 기술

– (동력·추진 시스템) UAM의 안전하고 원활한 도심 운용을 위한 동력 시스템과 이를 활용한 전기 추진시스템 기술

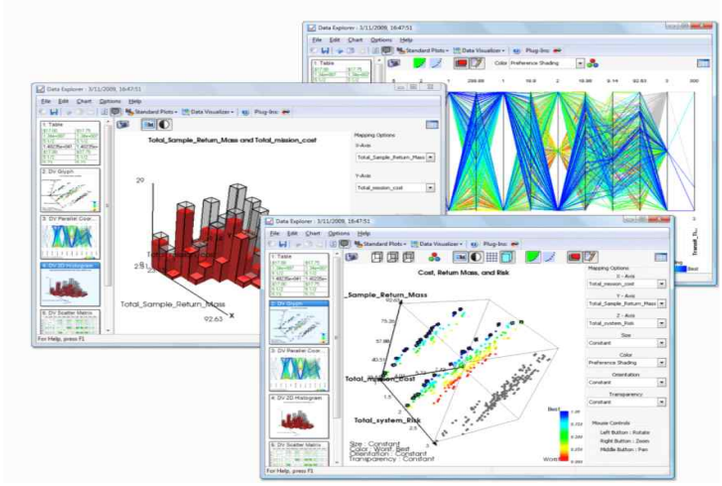
– (기계 · 전기전자 시스템) 도심 운용시 맞닥뜨릴 수 있는 여러 가지 돌발상황에서도 안전성 확보를 위한 기술

– (인증·시험평가) eVTOL 비행체의 안전성 확보와 신기술 검증을 위한 기술

주요동향

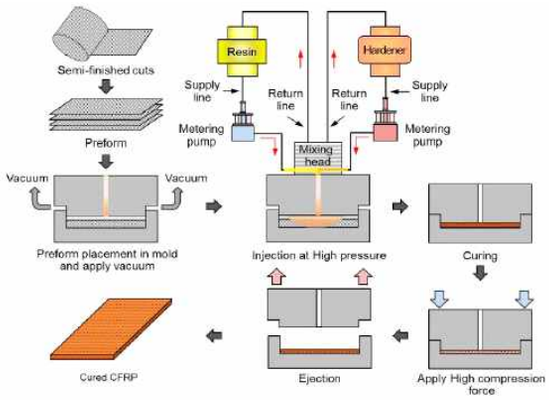
● 기체구조 분야 기술 동향

– **(UAM 고신뢰성 기체 설계·제작 기술)** NASA를 포함한 전 세계 연구기관, 학계 등에서 eVTOL 설계 및 해석 기술 개발 및 활용하고 이를 위한 시뮬레이션을 시행 중임



[그림 V-8] 최적설계 및 해석(MDAO) 시각화 예시

– **(기체 경량화 제작기술)** UAM eVTOL에 적합한 소재와 고속성형공정과 같은 제작기술을 개발하기 위해 보잉과 같은 기존 항공기 제작사와 스타트업들이 협업하여 개발하고 있음



출처: Kim, R. W., Kim, C. M., Hwang, K. H., & Kim, S. R. (2019). Embedded Based Real-Time Monitoring in the High-Pressure Resin Transfer Molding Process for CFRP. Applied Sciences, 9(9), 1795.

[그림 V-9] 고속성형공정 기술 예시

● 동력·추진시스템 분야 기술 동향

– **(UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원)** NASA 및 EU에서는 전기추진시스템의 광범위한 적용을 위해 상용화된 리튬전지 을 비롯한 개발 중인 2차전지 기술을 포함하여 로드맵을 제시했고 한국에서는 모빌리티용 연료전지를 개발하고 있음

TABLE 14: AIRBORNE TRANSPORT: BATTERY ELECTRIC OR HYBRID ELECTRIC AIRCRAFT WITH ENERGY BATTERY

Airborne transport: battery electric or hybrid electric aircraft with energy battery* Typical battery size: 250 to 1000 kWh					
KPI	Operating conditions	System/Pack/ Cell level	Unit	2020	2030
PERFORMANCE					
Cell/pack weight ratio (%)		Pack	%	70	80-90
Operating lifetime expectation		Pack	years		2
Charging time	Back 80% SoC		minutes		30
Gravimetric energy density (Wh/kg)	2C Discharge - 23 °C	Cell	Wh/kg		500-600
Cycle life (number of cycles)	80% DoD, 23 °C, 3 C charge, 1 C discharge	Cell	cycles	N/A	> 3,000
Hazard level**		Cell		N/A	< or = at 2
COST					
Cost		Cell	€/kWh	N/A	100-200
(€/kWh)		Pack	€/kWh	N/A	200-300
MARKET					
Typical market size	Source: Safran, Saft internal studies		GWh/year	N/A	1

*Typical use case: small-to-medium size conventional aircrafts, powered through a full electric or hybrid architecture
** EUCAR cell level safety performance

출처: "Batteries Europe – Strategic Research Agenda for Batteries 2020"

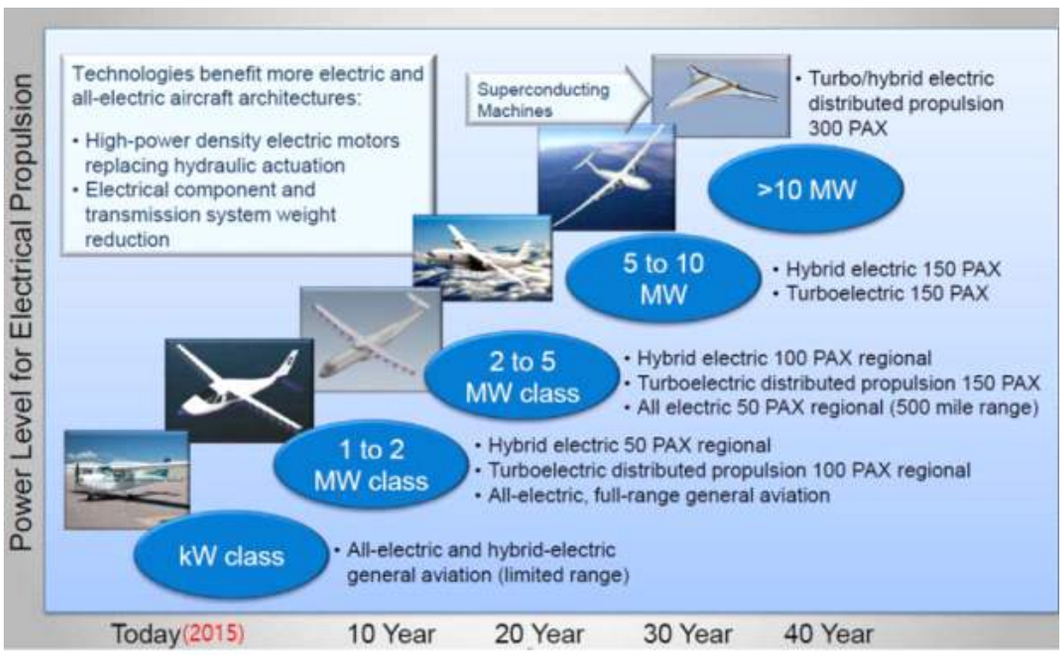
[그림 V-10] Batteries Europe Roadmap (Airborne Transport)



출처: (주)두산모빌리티이노베이션

[그림 V-11] 모빌리티용 연료전지팩

– **(도심운항을 위한 전기추진기술)** NASA는 2014년부터 전기분산추진을 위한 LEAPTech[30] 프로그램을 진행하고 이를 적용한 X-57 Maxwell 기체를 개발하고 있고 항공용 전기모터 제조사는 전기추진을 위한 전기모터를 개발하고 있음



출처: 미국 항공우주국(NASA)

[그림 V-12] 미국 항공우주국(NASA)의 항공기 전기추진 시스템 로드맵

업 체		EMRAX	ROTEX	MAGicALL	SIEMENS	YASA
형 상						
모터 타입		PMSM (Axial flux)	BLDC (Outer rotor)	PMSM (Inner rotor)	BLDC (Inner rotor)	PMSM (Axial flux)
모 델		EMRAX268	REB90	75	SP260D	P400
중 량 (kg)		20~20.5	20	9~19.5	50	28.2
출 력 (kW)	Peak	230	80	75 (2 mins)	-	160
	Cont.	40~90/ 50~110	30	60	260	20~100
출력 밀도 (kW/kg)		11.2	4.0	5.45	5.2	6.7
토 크 (Nm)	Max	500	347	225	-	370
	Cont.	250	159	90	977	200
속 도 (RPM)	Max	4,500	2,200	5,000	2,500	8,000
	a few sec.	5,500	-	-	-	-

출처: 제작사 카탈로그

[그림 V-13] 항공용 전기추진 구동모터

30) Leading Edge Asynchronous Propellers Technology

● 기계·전기전자시스템 분야 기술 동향

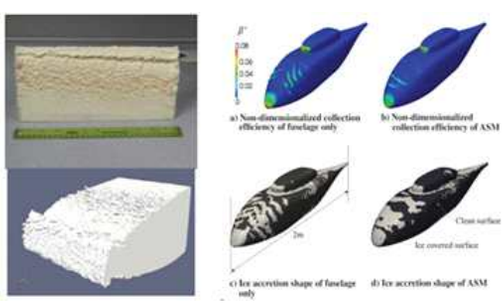
– **(승객 운항안전성 확보기술)** 기체 제작사와 NASA는 승객 운항안전성 확보를 위해 UAM용 비행낙하산을 개발하고 있으며 NASA와 미 FAA는 생존성 향상을 목적으로 UAM용 위험요인 식별 및 분석 연구 시행 중



출처: (좌) BRS Aerospace, (우) J. Littell, "A Comparative Analysis of Two Full?Scale MD?500 Helicopter Crash Tests", 2011

[그림 V-14] UAM 비상낙하산 및 완충장치 시스템 개발

– (운용 확대를 위한 기체 안전장치 설계 기술) UAM과 직결된 연구 수행결과는 없으나 고정익 항공기를 위한 기술은 설계된바 있으며 이를 적용해야할 것으로 전망

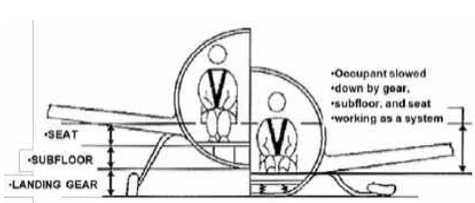


출처: (좌) Penn State, Adverse Environmental Rotor Test Standl (우) C. Son S. Oh, K. Yee, "Ice Accretion on Helicopter Fuselage Considering Rotor-Wake Effects", Journal of Aircraft, v.54(2)

[그림 V-15] 결빙으로 인한 비행체 형상 변형 시험 및 전산해석

● 인증·시험평가

– **(UAM 기체 인증시험평가 기술)** 미국/유럽 등 항공선진국들은 UAM 항공기에 대한 주도권을 확보하기 위해 인증기준과 절차를 개선하고 있으며, 실질적인 인증과제를 진행하고 있고 우리나라에서는 각종 인증시험평가를 위한 기술개발 및 인프라 구축 필요



- Crushable, Energy absorbing airframe
- More-rigid passenger cabin structure
- Anti plowing bulkheads/features
- Solid restraint/seat attachments to airframe, but can gimbal and stay attached in crash
- Restrain items of mass/batteries/powerplants/cargo
- Minimize post crash fire hazards

출처: NASA/FAA eVTOL Crashworthiness Virtual Meeting,(2020. 4)

[그림 V-16] UAM 비행체 내추락 설계 특성



출처: 국방과학연구소

[그림 V-17] 국내 연구기관 보유 주요 비행체 시험시설 사례

– **(UAM 기체용 소재·부품인증시험평가기술)** 전 세계적으로 UAM 시장의 글로벌경쟁력 확보를 위하여 신소재 및 핵심부품에 대한 인증기술을 개발하고 있으며, 다양한 실증사업과 시험시설 구축이 진행되고 있음



[그림 V-18] 분산전기추진시스템 시험시설 사례 : 프로펠러 및 전기추진시스템시험(좌), 분산추진시스템 시험(우)

기체부품 기술로드맵

● 4대 주요분야, 8대 중점기술, 28대 세부기술



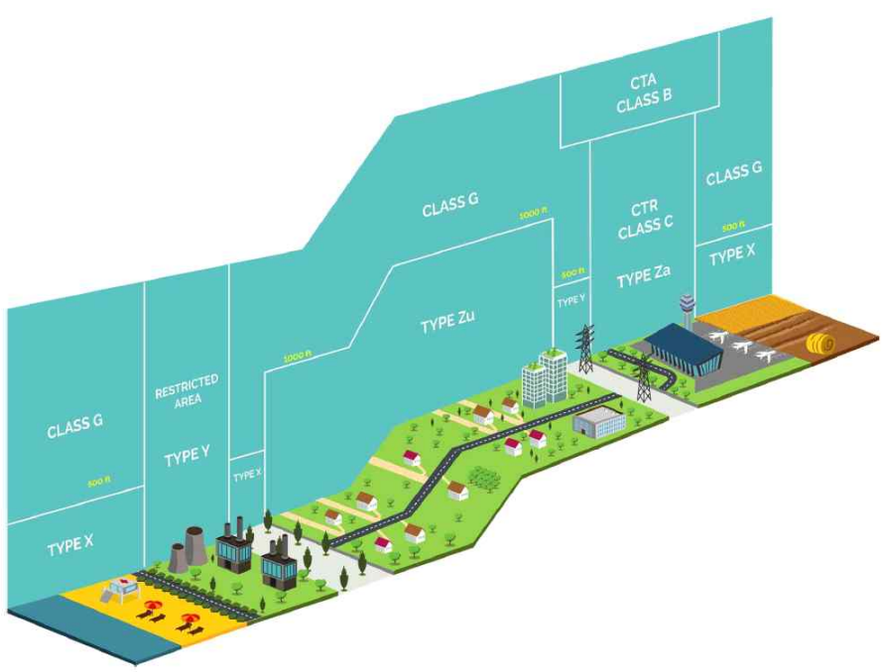
나. 항행·교통관리

정의

- UAM 비행체들이 도심 내에서 안전하게 운항할 수 있도록 하는 고도의 교통 흐름 관리 체계와 CNS(Communication Navigation Surveillance) 기술
  - **(UAM 통합 교통관리)** 도심 환경에서 UAM 비행체들이 충돌 위험이나 혼잡함 없이 운항할 수 있는 공역 운용 체계 및 교통 흐름관리 체계의 구현과 운영에 관련된 기술
  - **(UAM CNSi)** UAM 안전운항에 필요한 정보교환과 동적 정밀 궤적기반 운용이 가능한 성능기반의 항법, 협력 및 비협력 감시정보의 공유, 보안체계 하에 절차 상의 정보[31]와 사용자[32] 간에 지속적인 정보의 공유 및 교환 등을 할 수 있도록 하는 기술

기술동향

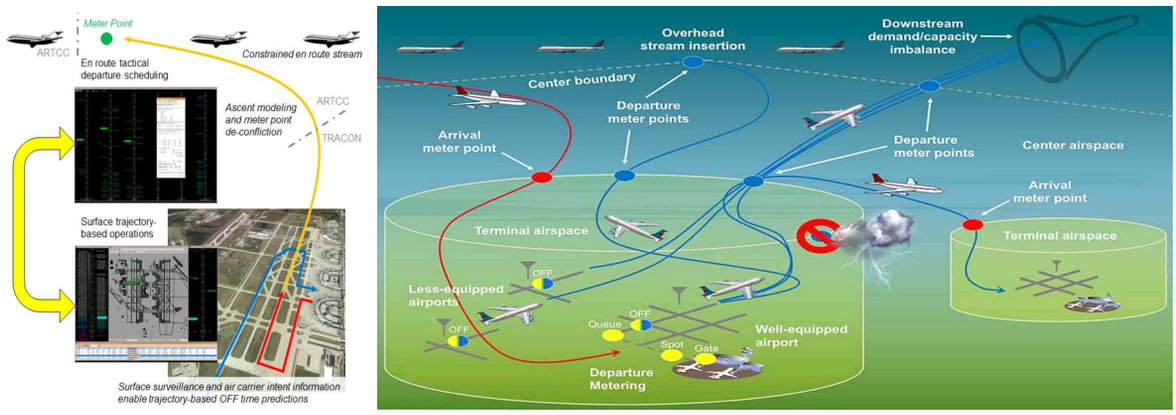
- **(UAM 통합교통관리)** 미국을 중심으로 UAM 운용개념을 발표하고 있으며, 기존 항공 교통관리의 기술을 접목하여 UAM용 교통관리 기술 개발 필요



출처: "U-Space Concept of Operations", SESAR Joint Undertaking, 2019

[그림 V-19] UAM과 UAS의 운항을 고려한 비행 공역 구분 개념도

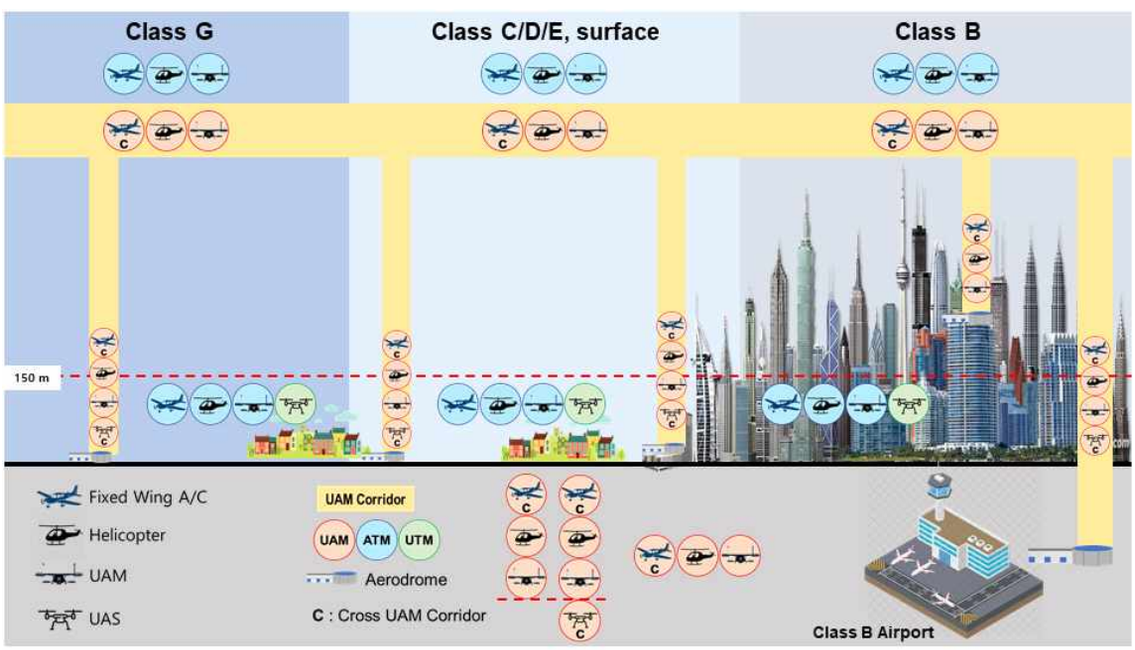
31) 기체, PSU들, 부가정보 서비스제공업체들, 항공당국, UAM 운항사들 등
32) 기체, PSU들, 항공당국, 부가정보 서비스제공업체들, UAM 운항사들, 기타 이해당사자들 등



출처: (左) NASA, PDRC(Precision Departure Release Capability), (右) NASA, ATD-2 (Airspace Technology Demonstration 2)

[그림 V-20] 기존 ATM의 전략적/전술적 충돌 관리, 교통 흐름 관리를 위한 시간 기반 스케줄링 개념도

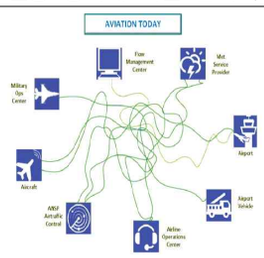
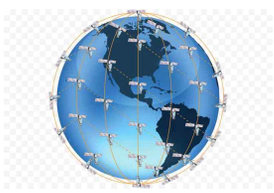
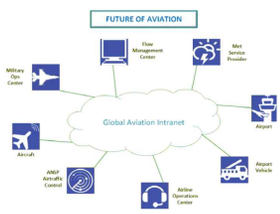
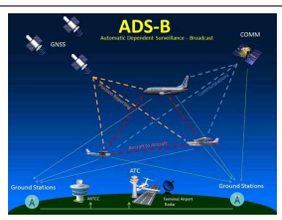
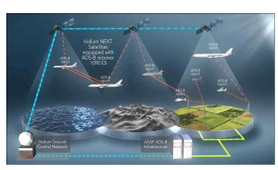
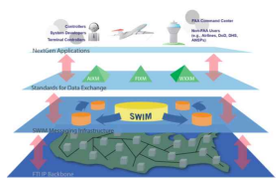
- **(UAM CNSi)** UAM CNSi에 대한 기술개발은 국가별 주요 UAM 도입 프로그램을 통해 추진 중으로 NASA의 경우 UML-4 단계('30년경)에 NASA AAM NC의 그 결과를 발표 예정



출처: FAA UAM ConOps

[그림 V-21] UAM 운용을 위한 CNSi 획득 및 활용체계 신뢰성 검증

〈표 V-11〉 UAM의 CNSi 시스템의 개발 미래상

AS-IS	TO-BE
• Point-to-Point 통신 • 단일 GNSS 위성군 (GPS) • 전용 장비에 의한 감시 (레이더, ADS-B 등)	• 다중 통신망 통신 (필요 데이터 공유) • 다중 GNSS 위성군(GPS, GLONASS, Galileo, Beidou) • 통신망에 의한 광역 감시
 	 
	 

항행·교통관리 기술로드맵

● 2대 주요분야, 10대 중점기술, 33대 세부기술

주요분야	중점기술	실용화 기반 마련				상용화					대중화					예상 활용주체	소관부처
		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035		
UAM 통합 교통관리	UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술	UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가														정부, 교통관리 서비스업자, 무인기 교통관리 서비스 업자	국토부, 가상청
		기체조종시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계 기술															
		UAM 이착륙장(Vertiport) 가상 운용 시스템 기술															
		UAM 교통 모의시스템 및 UAM 교통본부 (UATM) 핵심기술															
	UAM 운항 위험도 관리 및 저감 기술	UAM 운항환경 구현 기술 개발															
		비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술															
		비행계획 위험도 저감 기술															
	UAM 공역설계 및 관리 스케줄링 기술	우발상황 자동 대응기술															
		PBN기반 UAM 공역설계															
		다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술															
		PBN기반 비행체 운용성능 실시간 모니터링 및 평가 기술															
	실시간 운항정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술	교통관리 자동화 기술															
		수용량 기반 교통흐름관리 기술(DCB 등)															
		비행/운항 계획 실시간 조정 기술															
		실시간 교통 수요 및 수용량 예측 기술															
		교통관리시스템 안전성 분석/평가 및 인증 기술															
UAM CNSi	지상도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 복합체계 신뢰성 검증 기술	지상도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 복합체계 신뢰성 검증														교통관리 서비스업자, 무인기 교통관리 서비스 업자, 기체 개발/제작사	국토부, 과기부, 가상청
		UAM CNSi 운용환경 구현 및 CNS 복합체계 신뢰성 검증															
		UAM 운용을 위한 CNSi 통합 운용 절차 및 데이터 정보 공유 체계 기술															
		CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증															
	UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술	UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술															
		UAM용 비행운용 통신(C2, 지상도 위성통신, 5G, 6G) 기술															
	UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술	PSU/이해당사자 간 네트워크 기술(향후 SWIM 연계고려)															
		FIMS 망 접속 기술															
	차세대 UAM용 다중 상태항법 기술	정밀위성항법(항로:SBAS, 접근:RTK) 기술															
		영상기반 상대항법 (기체 자세정보+영상정보+GIS 정보 활용) 기술															
		대체 무선항법 기술 (정밀유도착륙 시스템 등, DME, eLORAN 등)															
		복합상대항법 (정밀무선항법+영상기반상대항법+대체무선항법 등) 기술															
	UAM용 협력적/비협력적 감시 기술	네트워크 기반 협력적 감시기술															
		지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술															
		비협력적·협력적 광역 감시정보 융합기술 (비협력 및 협력 센서 융합)															
	UAM 운용을 위한 CNSi 보안 기술	통신망 보안 기술															
		네트워크(데이터) 보안 기술															

다. 인프라

정의

- UAM 서비스 구현을 위해 필요한 물리적인 지상지원 인프라 기술을 의미하며 인프라 부문에서는 3가지의 주요분야를 포함
  - **(버티포트 구축 및 운용 시스템)** 도심 내 안정된 UAM 서비스 구현을 위해 필요한 운영 중심의 버티허브와 입지, 수요별 버티포트·버티스탑 건설을 위한 건설 기준 최적화 기술
  - **(버티포트 보조설비 시스템)** 안전하고 효율적인 도심형 버티포트 운용을 위해 디지털 인프라(사이버 보안)과 안전적인 통신환경을 구축하고 고효율 자동화 충전시스템과 절전형 버티포트 에너지 소모 최적화 기술
  - **(특화도시)** 버티포트를 포함한 UAM 관련 인프라 시설, 철도, 모빌리티 등 스마트 교통과 연계하여 도시 내 상업·업무, 산업·물류, 주거·여가 등 다양한 도시기능이 집적된 스마트 시티 관련 제반기술

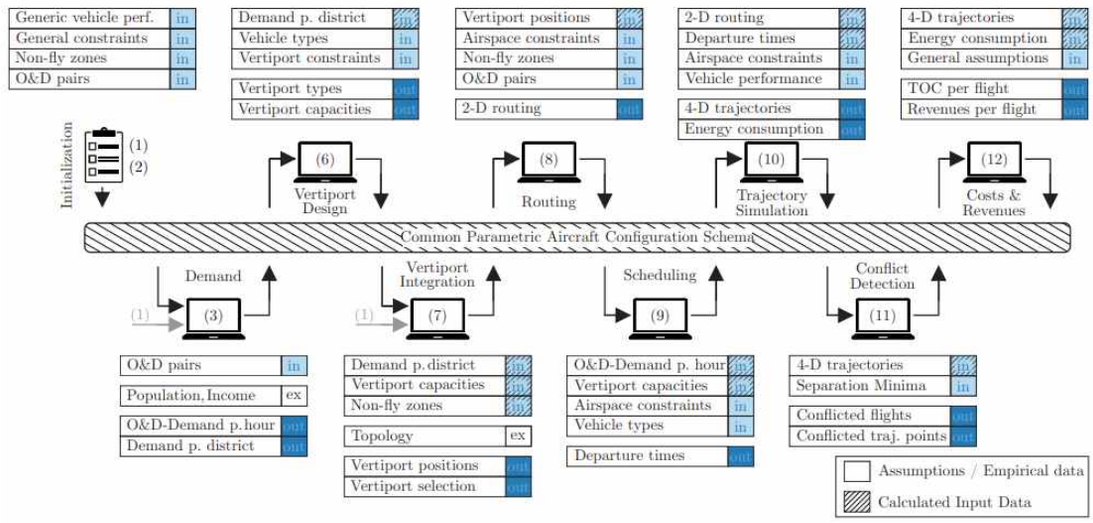
기술동향

- **(버티포트 구축 및 운용 시스템)** 새로운 항공분야인 UAM은 기준과 전례가 부재함에 따라 버티포트 관련 기준을 FAA와 EASA가 각기 기존 헬리포트 기반의 관련 기준 및 기술개발 추진



출처: Deloitte Insight 2018

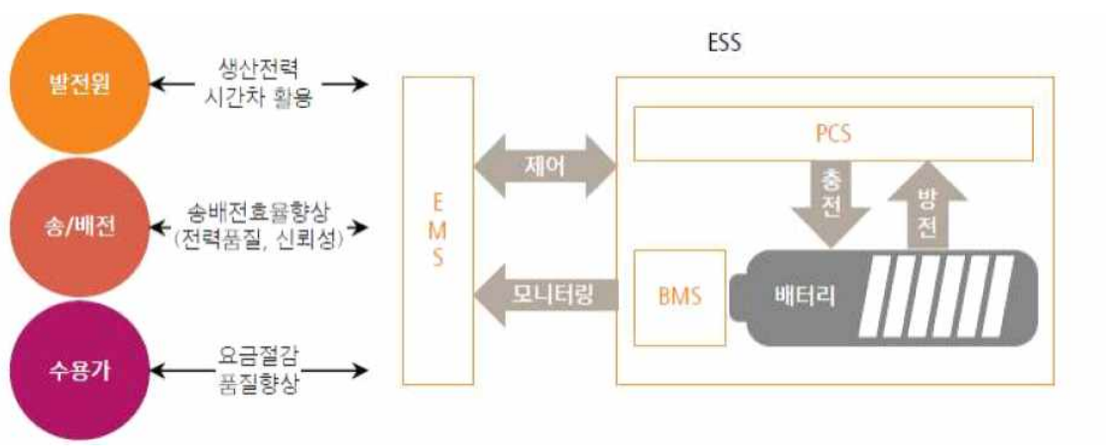
[그림 V-22] 도심형 버티포트 유형



출처: MDPI 2020

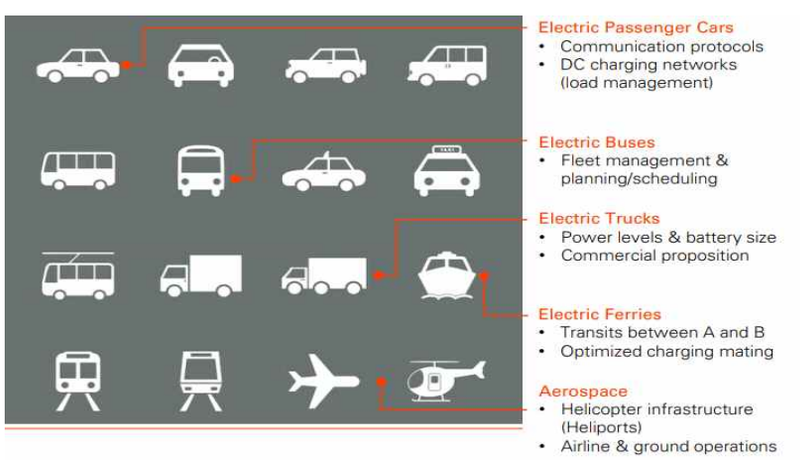
[그림 V-23] 버티포트 입지선정을 위한 교통영향 평가 요소

● **(버티포트 보조설비 시스템)** 자동차·철도 산업의 전기 기술 기반으로 항공용 충전 기술 기준을 수립 중이며, 지역 도시 단위의 급격한 에너지 소모 최적화를 위한 도시 그리드 연계 등의 기술개발 추진



출처: 이차전지, 삼성증권(2019)

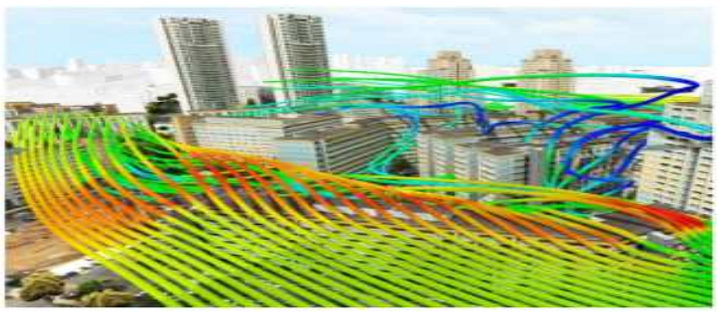
[그림 V-24] 에너지 저장장치(ESS) 구성도



출처: EUROCAE, WG112

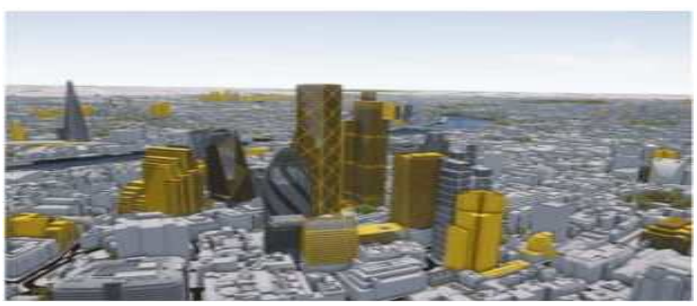
[그림 V-25] UAM용 고전압 급속충전 기술개발 방안

● **(특화도시)** 기존 스마트시티 플랫폼을 UAM 같은 3차원 교통체계로 도시 공간이용 및 도로 등 도시구조 재편, 도시 인프라의 디지털전환, 도시서비스(솔루션)차원에서 혁신하고 융복합하는 기술 개발 추진



출처:Wired

[그림 Ⅴ-26] Virtual Singapore Project



출처:PlaceTech

[그림 Ⅴ-27] VU. CITY의 런던 3D 모델

인프라 기술로드맵

● 3대 주요분야, 7대 중점기술, 19대 세부기술

주요분야	중점기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화					예상 활용주체	소관부처
		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035		
버티포트 구축 및 운용 시스템	스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술	버티포트 안전 및 비상상황 관리시스템 기술														버티포트 운용자, 건설 업자, 지자체	국토부, 과기부, 기상청
			실시간 신분확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술														
				위장-스루 보안검색 및 소형화 기술														
	도심형 버티포트 구축기술	버티포트 구조설계 표준화, 모듈화 및 구조물 상태감시 기술															
			버티포트 대상지 (환경, 교통 등) 평가 기술														
		UAM 이착륙장(Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술															
	버티포트 고효율 자동화 운용기술		버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비(도킹카 등) 기술														
			버티포트 정밀이착륙, 유도 및 안전 등화 시스템 기술(저상항법 분야)														
						증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 컨트롤 시스템											
						다중 에너지원 관리를 위한 EMS(Energy Management System) 구축											
버티포트 보조설비 시스템	상용통신 기반 버티포트 통신 기술	버티포트 근접 운항통제를 위한 상용망(LTE 등) 기술을 활용한 무선통신 네트워크 기술														버티포트 운용자, PSU 네트워크 서비스, 지자체	국토부, 과기부
			버티포트 통신 사이버보안 기술														
	버티포트용 에너지 최적화 기술		버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술														
						버티포트 에너지 소모 최적화 기술											
	고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술					호환형 고전압 급속충전설비 경량화 및 자동화 기술											
										기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술							
										배터리 교체 시스템 및 프로토콜 디자인 기술							
특화도시	버티포트 특화형 스마트 시티								디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향분석 기술							지자체, 버티포트 운용자	국토부, 기상청
										UAM 융복합형 스마트시티 조성 (교통체계, 사업화, 도시운영관리 등) 기술							

라. 서비스

정의

- 새로운 도심항공교통 수단으로서 운송·운용시스템 구축, 안전한 운항을 위한 운항정보 공유, 효율적인 정비시스템 구축 등 안전하고 경제적인 UAM 생태계 구축에 요구되는 기술

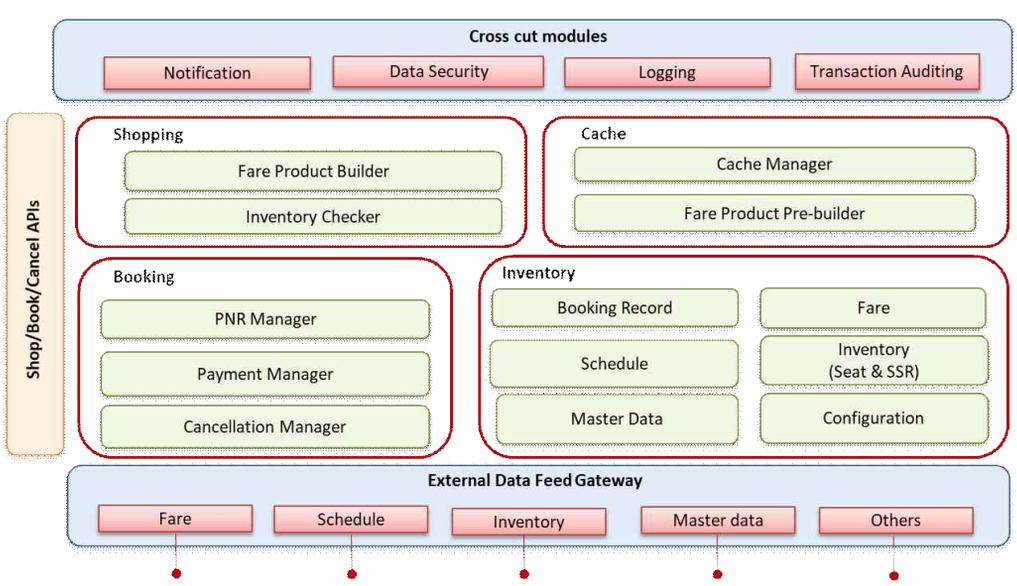
  – **(UAM 운송·운용시스템)** UAM 운송사업자가 사업을 영위하기 위한 인력과 조직, 그리고 사업계획/전략과 이를 뒷받침할 각종 운송·운용 인프라(사업장, 자본, IT, 각종 시스템) 및 기술

  – **(UAM 운항정보)** UAM의 안전한 운항 및 사용자 편의성을 증진시키기 위해 도심 데이터가 실시간으로 연계되는 3차원 BaseMap 구축을 통한 지도 및 기상정보 등 운항 보조정보 공유 기술

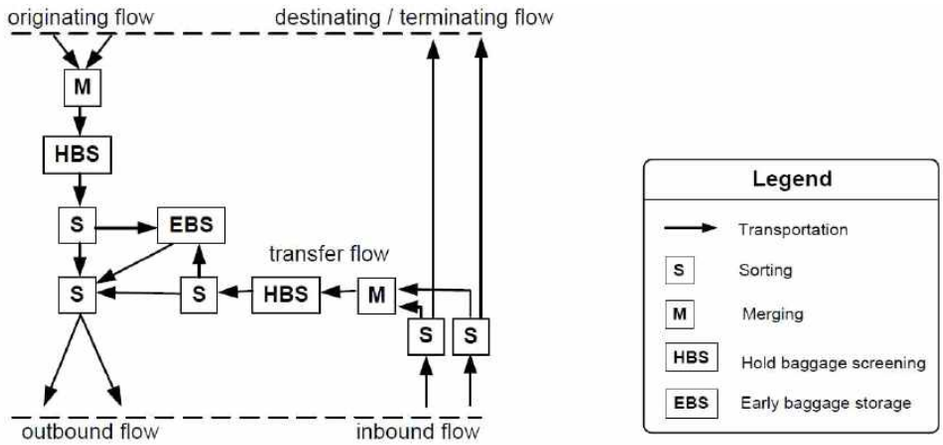
  – **(UAM 법·제도)** UAM 종사자(조종사, 관제사, 정비사, 이착륙장 운용자, 운항사 등) 자격 제도와 운송사업자 인허가 법/제도 및 UAM 종사자의 인력체계 구성을 위한 기술

기술동향

- **(운송·운용 시스템)** 기존 운항사의 시스템을 기준으로 UAM 특성에 적합하도록 운항사 운영시스템 및 화물 운송 모니터링 시스템 등 UAM 운송관리 관련 기술 개발 착수단계임



[그림 Ⅴ-28] 운항사 예약영업시스템 개발 기술 구성도



출처: 한서대학교. 공항수하물자동처리시스템 등 공항운영 기술개발 기획보고서. 2012.8

[그림 V-29] 현행 항공 BHS 시스템의 Flow

- **(운항정보 수집분석 및 공유 시스템)** NASA 'AAM NC 프로그램'은 UAM의 안전한 도심운용을 위해 도심 국소 위험기상 정보 수집 및 정보 처리, AI 기반 기상정보를 실시간으로 이해당사자들에게 배포하여 위험기상으로 인한 UAM 사고 미연 방지하는 연구 수행 중

- **(운용자격 체계)** 미국, EU 등 주요국 중심으로 기준과 제도를 마련중에 있으며, UAM 상용화를 위해서는 운송사업자, 교통관리사업자 등 새로운 사업영역에 적합한 신규 법제도 마련을 위해 기존 자격제도를 토대로 새로운 제도 개발이 요구됨

서비스 부문 기술로드맵

- 3대 주요분야, 7대 중점기술, 17대 세부기술

주요분야	중점기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화					예상 활용주체	소관부처
		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035		
운송·운용 시스템	UAM 승객화물 운송 관리 기술	운항사 운영 시스템 개발				화물 운송 Safety 기술										운송사업자, MRO 업체	국토부, 과기부, 중기부
	UAM 조종사 업무저감 기술	UAM 조종 단순화/자동화 기술															
		야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술															
	지능형 예방정비 기술					데이터 기반 예방정비분석 기술 및 시스템 구축											
								인공지능 기반 정밀고장탐지 기술									
운항정보 수집분석 및 공유 시스템	도심운용 3차원 공역 공간 정보생성 및 관리 기술	도심 데이터 수집 제공 기술														운송사업자, 부가서비스 제공자	국토부, 기상청
		UAM 도심운용 기반 3차원 공간정보 생성 기술															
						UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도 구축											
						UAM 항공상 현존 및 신규 장애물 관리체계											
	UAM 도심기상 정보 수집 분석 및 예측 기술	UAM 도심기상예측과 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발															
			UAM 특화기상정보 관리 시스템														
운용자격 체계	UAM 종사자 자격제도 수립	UAM 종사자 자격제도 구축														정부, 운송사업자, 대학	국토부
		UAM 특화법 제도 기반 구축(운송사업자 법인설립 면허/운용증명 등 기술 기준 등)															
						교통관리사업자(USS) 자격 및 교통관리 시스템 인증 기술											
	UAM 종사자 인력양성 체계	UAM 전문인력 양성센터 구축															
		UAM 종사자 교육훈련체계 구축															

마. 핵심기술 부문

정의

- 대중들이 도심 내 UAM 서비스를 수용할 수 있도록 UAM 운용의 안전성과 쾌적함을 확보하는 핵심기술
  - **(자율비행)** 조종 단순화 기술과 완전 자율비행이 가능하도록 하는 모든 기술
  - **(기체소음진동 저감)** 운용환경에 대한 영향을 최소화하기 위한 기체 발생 소음 저감기술과 승객이 안락함을 느낄 수 있도록 하는 진동 저감 기술

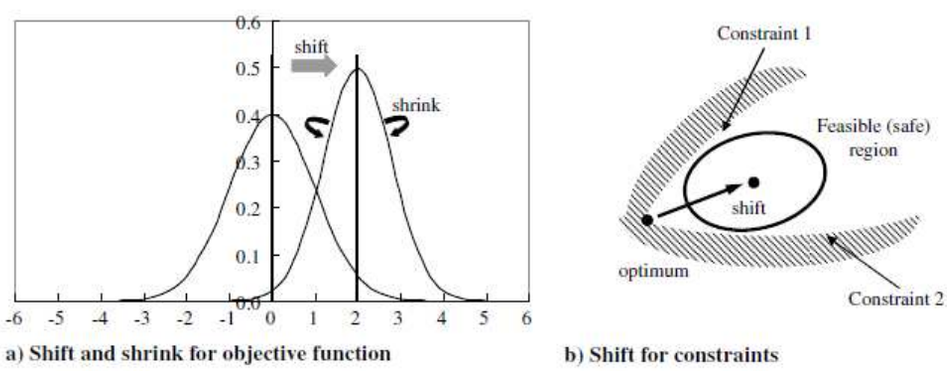
기술동향

- **(자율비행)** NASA는 조종사가 탑승하나 최대한 자동운용(SVO, simplified vehicle operation)을 거쳐, 원격으로 조종/감독하는 'Safety Pilot'을 거쳐 완전 자동화의 단계로 발전하는 자율비행계획을 수립해 연구개발을 수행



[그림 V-30] Overview of the Piloted Aircraft Path

- **(기체소음·진동 저감)** NASA, Joby aviation, Volocopter, EHang 등은 기체발생 소음 저감을 UAM의 도심 내 운용을 위한 중요기술로 설정하고, 저소음 프롭 추진 시스템 개발을 진행 중임



[그림 V-31] 강건설계에서 목적함수의 이동 및 분포범위 축소에 따른 제약조건 만족 예시

핵심기술 기술로드맵

● 2대 주요분야, 6대 중점기술 21대 세부기술



제3절 기술로드맵 활용방안 및 기대효과

1. 활용방안

UAM 상용화 구현을 위한 다부처 대형 국가R&D사업 근거자료로 활용

● K-UAM 기술로드맵은 K-UAM 로드맵('20.6월)부터 시작된 다부처 UAM분야 국가R&D사업 추진의 일환으로 대형R&D사업의 필요기술을 사전에 발굴

– 필요기술에 대한 구체적 내용 도출로, 대형 R&D사업 추진 시 연관 과제에 대한 개략적인 내용 및 획득방법 등에 대한 추정 가능

• 기술의 정의, 기술 확보를 위한 소요예산·기간, 요소기술 및 기술별 목표성능 등 UAM 필요기술에 대한 범위 및 획득방안 등을 구체적으로 수립

– K-UAM 로드맵('20.6) → K-UAM 기술로드맵('21.3) → K-UAM R&D사업으로 연계되는 정책 방향으로 정부의 UAM 분야에 대한 정책적 일관성 및 사업추진의지 확보

● K-UAM 로드맵(정책) 및 K-UAM 기술로드맵 수립 등은 다부처 합동으로 추진되어 왔으며, 국가R&D사업도 동일 선상에서 다부처 추진 근거로 활용

– K-UAM 로드맵 발표, UAM TeamKorea 발족·운영, K-UAM 기술로드맵 수립 등 그간 한국형 도심항공교통 상용화 실현을 위한 활동 속에서 각 부처별 사업 추진의 공감대 형성

– K-UAM 기술로드맵의 필요기술들은 부처별 역할, 기술수준, 특허 동향 등을 종합적으로 분석하여 담당부처를 설정하였고, UAM 운용 전주기 핵심기술 확보를 위한 다부처 R&D사업 추진 시, 상호 연계성 극대화 추진

각 부처별로 추진할 중소형 국가R&D사업 추진 근거자료로 활용

● 다부처 대형R&D사업 이외에 각 부처별 역할에 맞춰 우선추진이 필요한 과제, 국가 R&D에 필요한 기술 등에 대한 추진 근거로 활용

– K-UAM 상용화 초기('25년) 진입에 필요한 기반 기술 등에 대하여 부처별로 추진하고자 하는 우선사업의 기초자료로 활용

• 도심항공교통체계를 구성하는 기본 교통관리 및 CNSi 획득 등을 위한 기술

• UAM 초기 상용화 서비스 계획을 위한 운영주체별 운용능력·절차를 사전 확보하기 위한 가상통합운용 모사기술 등

– 10년 이상의 장기적 R&D가 필요하거나 기초·원천 기술로 상용화기술과 달리 정책 일관성에서 다소 벗어난 기술 등에 대한 정부 R&D사업의 기초자료로 활용 가능

급변하는 기술·환경변화을 반영을 위한 주기적인(5년마다) 기술로드맵 재설정으로 UAM 분야의 기술혁신 방향성 지속적으로 제시

- K-UAM 기술로드맵 수립 이후, 환경변화 및 국가R&D사업/민간R&D의 추진 성과 등을 반영하여 5년마다 미래시나리오 및 필요기술 재설정
  - UAM은 급성장하는 차세대 교통수단으로서 신시장·기술 선점 및 대응 차원에서 구체적이고 체계적인 실행 전략이 필요하고 단기간 급변화하는 기술 대응이 필요
  - 국가 R&D 사업은 최근 5년 내외 주기로 사업을 기획하고, 기존 사업의 성과를 고려하여 후속 사업이 추진여부를 판단하는 등의 방향성에 맞춰 주기적으로 UAM 분야의 방향성 제시 필요
- 국내 UAM 분야에 참여하는 기업, 대학, 연구기관 및 공공기관 등이 기술로드맵을 기반으로 기술·산업 등을 위한 협업·교류를 추진하기 위한 자료로 활용
  - 국내 UAM 분야의 급성장 및 국내 상위 ICT 기술력 등으로 항공 분야 OEM社의 협력 기회가 증가하고 있어, 협력 분야 설정 등에 필요한 기초자료로 활용

2. 기대효과

■ 한국형 도심항공교통 상용화 구현목표 달성을 위한 핵심기술 적기 확보

● 한국형 도심항공교통 로드맵('20.6월)의 UAM 상용화를 위한 전략적 중장기 목표 달성을 위한 기술개발 이정표로 활용

– K-UAM 기술로드맵은 '30년 UAM 상용화 목표 달성을 위한 '30년경 개발기술의 상용화를 주요 목표시점을 설정하고, '22~'35년 동안 UAM 全분야 중 핵심기술을 발굴하고, 핵심기술별 기술획득 방안 등을 수립

• 본 기술로드맵은 5년마다 주기적으로 미래 시나리오 및 핵심기술 등을 재설정하여, 국내 UAM 기술 확보가 연속성 및 일관성 있도록 역할을 수행

– UAM 관련 산업체, 대학, 연구기관 및 정부(공공기관) 등은 본 기술로드맵을 기반으로 미래 필요한 핵심기술 및 개발 완료 시점에 필요한 요구성능·수준을 파악하여 기술개발의 성과를 제고

• UAM 분야는 최근에 신산업·미래항공분야로 부상한 상황에서 항공, 자동차 및 ICT 등 관련된 기술들이 적용·활용되고 있어, 시시각각 기술발전 및 추세가 변화하고 있어, 정기적인 기술환경 변화에 대응이 필요

• UAM 분야뿐 아니라 소재, 무인이동체 등 타분야에서도 3~5년 주기로 기술·시장·산업·정책 등의 환경변화를 고려하여 기술로드맵을 재설정

● 체계적·효과적인 K-UAM 기술개발 수행을 통한 핵심기술의 적기 확보 기대

– K-UAM 기술로드맵은 K-UAM 로드맵('20.6월) 후속 조치 사항인 UAM분야 국가R&D 추진을 위한 근거로 각 부처 또는 다부처에서 추진할 R&D사업의 방향성을 제시

• UAM 국가R&D사업 추진을 위해 UAM TeamKorea 구성원 중심으로 K-UAM 기술로드맵 수행되었으며, 향후 K-UAM 대형 R&D사업의 기획에도 참여 예정

• 또한 UAM분야 민관 통합 실증사업인 K-UAM 그랜드챌린지를 추진하여, UAM분야 국가R&D사업과 연계 계획

– 향후 국가R&D사업에서는 K-UAM 기술로드맵에서 발굴된 필요기술 확보를 위한 사업으로 기획함으로써 UAM 상용화를 위한 사업 적기 추진이 가능

• K-UAM 로드맵('20.6월)의 마일스톤에 따라 '25년 상용화 최초 도입→'30년 상용화 본격화로 기술개발 및 상용화·실증 기간을 고려 시 기술로드맵 수립과의 연속성 측면에서 R&D사업 기획·추진 적기

한국형 도심항공교통 구현을 위한 기술개발의 효율성 증진

● 중장기 기술개발 전략을 통한 부처간 연계·협력 확대 및 중복 투자 방지로 UAM 분야의 기술개발의 효율성 증진

– K-UAM 기술로드맵 수립을 통해 UAM분야 상용화를 위해서는 기체·부품, 항행·교통관리, 인프라 등 개별 부문별 추진으로는 목표 달성의 어려움을 인지하여, 효율적인 기술개발 추진전략 수립에 기여

• UAM은 신산업·기술 분야로 기체, 버티포트, CNSi, UATM 등이 개별적으로 개발·구축될 경우 체계 간 시스템 불일치, 운영주체 미확보 등으로 UAM 운용서비스 불가

• UAM 상용화 및 운영체계를 확보하기 위해서는 부처 담당역할을 고려한 연계·협력으로 UAM 全분야 대상으로 단계별 필요 기술을 확보하고, 기술 간 연계를 통해 동일한 운용 체계를 구성

– K-UAM 기술로드맵은 각 부처별 역할을 고려하여 기 추진된 사업들을 재조정·설정하기 위한 기초자료로 활용하여, 국가 예산 절감 및 효율성 제고

• 본 기술로드맵은 UAM 全분야 대상으로 필요기술를 제시하고, 기술별로 담당부처, 개발방식 등을 도출하여 부처별로 R&D사업을 위한 기술 대상 마련

● 국가 기술개발 전략방향을 통해 민간분야에서의 효율적 투자 및 효과적인 R&D 계획 수립 가능

– 기업의 투자 측면에서 신산업 전환·진입을 위한 R&D는 매우 높은 위험을 가지고 있으나, K-UAM 기술로드맵을 통해 R&D투자 위험을 낮추고 시장요구에 맞는 기술개발 추진 가능

• UAM는 기존 항공기제조업체 뿐만 아니라 기술전문 스타트업, 자동차업체 및 ICT·플랫폼 업체 등 타 산업 내 기술 보유 기업들이 시장 참여할 수 있는 분야

• 본 기술로드맵는 시장요구 수준 및 R&D 목표·시점을 결정하는데 참고자료로 활용이 가능하며, 중복투자 또는 R&D성과 사장 등의 비효율적인 R&D투자를 예방하는 측면에서도 역할을 담당

– UAM분야에 적용할 기술 보유 업체 또는 기술혁신이 필요한 업체 등을 위해 K-UAM 기술로드맵은 향후 추진될 국가R&D사업의 사전 검토자료 역할 담당

• 본 기술로드맵은 UAM분야 국가R&D사업 기획에 필요한 추진 근거자료로 정부·공공기관 및 민간업체 등 열람이 가능

제6장

한국형 도심항공교통(K-UAM) 중점추진기술별 기술로드맵

제1절 기체·부품 부문 기술로드맵
제2절 항행·교통관리 부문 기술로드맵
제3절 인프라 부문 기술로드맵
제4절 서비스 부문 기술로드맵
제5절 핵심기술 부문 기술로드맵

제1절 기체·부품 부문 기술로드맵

1. 기체·부품 부문 총괄

가. 기체·부품 부문의 정의 및 필요성

■ 기체·부품 부문 정의

● UAM 기체·부품 기술은 미래통합시나리오를 만족시키기 위한 비행체 설계, 제작, 기체/구조기술, 동력추진 시스템, UAM 기체시스템 및 인증·시험평가를 위한 기술

– **(기체구조)** UAM용 eVTOL 비행체에 적합한 최적설계기술 개발과 경제성 확보를 위한 양산성을 고려한 기체구조 기술

– **(동력·추진 시스템)** UAM의 안전하고 원활한 도심 운용을 위한 동력 시스템과 이를 활용한 전기 추진시스템 기술

– **(기계·전기전자 시스템)** 도심 운용 시 맞닥뜨릴 수 있는 여러 가지 돌발상황에서도 안전성 확보를 위한 기술

– **(인증·시험평가)** eVTOL 비행체의 안전성 확보와 신기술 검증을 위한 필요기술들에 대한 인증기술 수립과 이를 입증하기 위한 시험평가 기술

■ 기술 범위

● 기체구조 분야

– **(UAM용 고신뢰성 기체 설계·제작 기술)** 비행체의 성능최적화 및 안전성 향상을 위한 비행체 형상, 구조, 기체 안정성, 로터시스템 해석기술 및 다분야 최적설계 기술과 UAM 비행조건별 기체 동역학 및 비행시뮬레이션 모델 개발 및 해석 정밀도 향상기술을 포함

– **(기체 경량화 제작 기술)** UAM 비행체 중량 및 제작 비용 절감을 위한 복합재 성형 및 제조공정 기술과 3D 프린팅과 같은 적층가공(Additive Manufacturing) 기법을 기체에 적용하기 위한 기체구조 및 부품·소재 제작, 물성평가, 성능평가 기술을 포함

● 동력·추진 시스템 분야

– **(UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원)** UAM 기체의 운용시간 향상을 위한 고에너지 밀도 동력원 기술 개발과 UAM 운용과정에서의 고출력 요구조건 만족을 위한 동력원 전력관리, 열해석, 건전성 분석 기술을 포함

- **(도심 운항을 위한 전기추진기술)** UAM 전기 모터 시스템의 출력밀도 향상을 위한 경량화 및 저 RPM 대역 고토크 구동 기술과 전기추진 시스템의 안전성 향상 및 모터, 인버터 효율을 위한 열관리, 냉각시스템 개발을 포함

● 기계·전기전자 시스템 분야

- **(승객 운항안전성 확보기술)** UAM 승객 안전성 및 안락성 향상을 위한 동체, 좌석 등의 구조물의 내충격/내추락성능 확보와 위급상황시 승객보호를 위한 비상용 낙하산 탑재 및 전개시스템 개발

- **(기체 안전장치 설계 기술)** 저온 환경에서 결빙, 착설에 의한 위험도를 예측하고 이를 방지 및 제거를 위한 기체 시스템과 악천후 환경에서 낙뢰로 인한 비행체 파손가능성 예측 및 보호장치 설계를 포함

● 인증·시험평가 분야

- **(UAM 기체용 소재·부품인증시험평가 기술)** UAM 비행체 체계 인증기준 절차 개발 및 인증 시험 환경 구축과 UAM 비행성능 평가 및 감항 체계 구축을 포함

- **(UAM 기체 인증시험평가 기술)** UAM 비행체용 신소재 및 혁신부품에 대한 인증기준 수립과 UAM 동력 및 전기추진시스템 인증체계 및 인프라 환경 구축을 포함

기술개발 필요성

● UAM 운용시나리오 단계에 따른 최대 운용반경 및 비행시간에 대한 요구도를 만족하는 기체 및 시스템 개발 필요

- 다양한 UAM 기체부품들의 기술발전 전망을 고려한 다분야 최적설계 기술 개발 필요

- UAM 기체 제작 시 복합재 구조제작 및 3D 프린팅 기법을 적용하여 비행체를 경량화하고 제작비용 절감 필요

● UAM의 원활한 도심운용을 위해서는 서비스 반경과 순항속도가 점진적으로 증가해야하며 이를 위해서는 친환경 초경량 고성능 동력시스템과 전기추진시스템 기술개발 필요

- UAM의 임무시간과 임무거리가 증가되기 위해서는 동력원의 에너지용량을 증가시키고, 전기추진시스템의 고출력 요구조건을 만족시켜야 됨

- 배터리 에너지 밀도 및 출력성능을 향상시키기 위한 배터리소재 (음극/양극/분리막/활물질) 개발 혹은 연료전지-배터리 하이브리드 동력원 적용 필요

- 비행체의 중량 절감을 위해 모터 비출력을 향상하고, UAM 운용 RPM 구간에서의 고토크 성능 확보 및 극저온 냉각을 포함한 다양한 냉각시스템을 적용한 모터 및 인버터의 효율 개선 필요

● 도심환경에서 UAM이 악천후/악기상 환경에서 비행하거나 기체 부품의 고장 등으로 인한 사고위험을 해소하기 위해 안전성 확보를 위한 기술개발이 필요

- 비행체 구조 및 부품들의 운용데이터를 획득하여 저장된 데이터를 바탕으로 이상작동 상황에 대한 Fail-safe 기능 및 이상상황 발생시 안전성을 확보할 수 있는 위급용 낙하산 및 비행체 구조개발 단계부터 내충격/내추락을 고려해야 함

- 저온환경에서 결빙이나 착설으로 인해 기체가 양력을 잃거나, 강우시 낙뢰로 인해 기체가 파손되는 경우, UAM 비행체가 정상적인 임무수행을 할 수 없기 때문에 비행체의 결빙/착설 취약위치에 방지장치와 낙뢰 위험이 높은 부분에 보호장치를 설치가 필요

● 기존 유인항공기와 달리 UAM은 도심 환경에서 다수의 기체가 동시에 운용될 수 있기 때문에 항공기 및 운항체계 안정성 확보와 신기술에 대한 검증을 위한 기술개발이 필요

- UAM과 같은 신개념 항공기에 대한 인증기준 개발 및 이에 대한 신뢰성/전문성 확보를 위한 시험 기반시설 구축 필요

- UAM의 전기추진시스템의 항공분야 적용을 위한 인증체계 구축 및 제작시 적용되는 신기술 적합한 설계 및 생산공정 인증기준을 수립하고 입증을 위한 시험평가기법 개발과 실효성 검증이 필요

나. 기술 동향 및 수준

■ 기술 동향

● 기체구조 분야 기술 동향

– UAM 고신뢰성 기체 설계·제작기술

- **(UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술)** NASA 등에서 eVTOL이 착륙시 발생할 수 있는 상황을 시뮬레이션 하는 등 분석시험 수행 중
- **(차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술)** 전 세계 연구기관, 학계 등에서 UAM 설계 및 해석 기술을 개발하고 활용하고 있고 국내에서도 연구기관과 학계에서 관련 연구를 수행한 바 있음
- **(UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술)** NASA와 Embraer사는 eVTOL 설계를 위한 시뮬레이션 환경을 구축하고 비행 시험을 수행한 이력이 있음
- **(인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발)** NASA(미국) 및 DLR(독일) 등에서는 2010년대 부터 자체 다분야 최적설계 프레임워크 개발하고 이를 오픈소스로 공개한바가 있고 현재는 다양한 형상의 무인기 및 다양한 항공기 설계에 적용하고 있고 (openMDAO, RCE) UAM을 설계하기 위한 주요 해석 모듈 단위에서 인공지능을 적용한 사례가 있고 인공지능을 활용한 공력계수 분석 연구(H. Karali 2020)

– 기체 경량화 제작기술

- **(UAM용 항공기 복합재 구조 소재 및 제작기술)** 현재 민간항공기의 복합재 적용수준은 약 50% 수준(B787 50%, A350 52%) 이며, UAM의 경우에도 경량화를 위해 복합재 적용비율은 현재 수준 대비 높을 것으로 예상되며 UAM 제조사들(Joby, Lilium, KittyHawk(Wisk), Volocopter) 들은 추후 양산단계에서 열가소성 복합재를 적용 및 탈 오토클레이브 방식을 적용할 것으로 예상(CompositeWorld. 2020. 10)
- **(3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작기술)** 보잉은 3D 프린팅을 통해 위성탑재체 안테나의 중량을 절감하였으며, 에어버스는 A350 XWB 개발시 1000개의 3D 프린팅 부품등을 적용한바 있음 에어버스와 3D 프린팅 스타트업인 Local Motors Industries 사와 조인트벤처(Neorizon) 설립하고, 드론 및 자율주행 모빌리티 플랫폼을 개발하고 있음

● 동력·추진시스템 분야 기술 동향

– UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원

- **(UAM용 고성능 배터리팩 기술)** 대만의 스타트업기업인 Prologium 사는 CES2020에서 전고체 전지 시제품을 공개(기존 배터리팩 대비 60% 이상의 에너지밀도를 가진다고

발표하였으며 약 300Wh/kg 정도로 추정)

- **(하이브리드(수소연료전지+배터리)) 전기동력 기술)** NASA 는 항공우주 시스템에 배터리를 적용하기 위해서 다양한 리튬배터리에 대한 후보기술군(리튬-금속음극제, 리튬-황, 리튬-에어)을 정리하고 해당 후보기술군의 도출시기를 추정한바 있음[33)]

– 도심운항을 위한 전기추진기술

- **(고밀도 배터리용 전기추진 기술)** NASA는 2014년부터 전기분산추진을 위한 LEAPTech 프로그램을 진행하고 이를 적용한 X-57 Maxwell 기체를 개발하고 있음
- **(초경량 고출력 전기동력 기반 추진 기술)** 항공용 전기모터 제조사인 Emrax 사는 정격출력 기준 25kW에서 210kW 범위의 모터를 생산중에 있음(Emrax 188/208/ 228/268/348). 해당 모터의 정격 비출력은 4~5kW/kg, 최대 비출력은 7~9 kW/kg임. 이외에도 RollsRoyce(기존 Siemens Motor Division) 등에서도 고 비출력 모터(SP260D, 정격 비출력 5kW/kg), 고 비토크 모터 (SP200D, 정격 비토크30Nm/kg) 를 개발하였음

● 기계·전기전자 시스템 분야 기술 동향

– 승객 운항안전성 확보기술

- **(UAM 비행낙하산 시스템)** BRS Aerospace사는 소형 항공기를 위한 낙하산을 개발하여 적용했고, NASA에서도 소형 항공기에 낙하산을 탑재하여 낙하시험을 수행함
- **(UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계 기술)** NASA와 FAA는 기능적 위험도 분석(FHA)과 시스템 이론 기반 분석(STPA) 방법론을 적용하여 UAM 운용도중에 발생할 수 있는 위험요인을 식별하고 이로 인해 발생할 수 있는 문제점들에 대한 분석연구를 수행함

– 기체 안전장치 설계 기술

- **(UAM 상태정보 관리·건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자시스템 기술)** 인공지능 기술을 적용하여 비행데이터로부터 이상징후를 식별하는 연구가 진행중
- **(All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설방지 장치 해석·설계 기술)** UAM에 대한 결빙/착설과 관련한 직접적인 연구 수행결과는 없으나, 고정익 항공기 결빙/착설연구에 대한 연구는 1980년대부터 진행된 상태
- **(All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계·인증 기술)** 낙뢰피격시 복합재 구조물의 열-전기 복합해석 및 물리방법모델을 적용한 낙뢰 피격지점 확률적예측기법에 대한 연구가 진행된바 있음

33) 2017 NASA Workshop on Assessment of Advanced Battery Technologies for Aerospace Applications

● 인증·시험평가

– UAM 기체 인증시험평가 기술

- **(기체 설계·제작 인증기준 및 절차 개발/수립)** 미국/유럽 등 항공선진국들은 UAM 항공기에 대한 주도권을 확보하기 위해 인증기준과 절차를 개선하고 있으며, 실질적인 인증과제를 진행하고 있음
- **(UAM 내추락성 등 안전성 인증)** 미국은 FAA, NASA 등을 중심으로 e-VTOL 등 UAM 비행체에 대한 내추락성 향상을 위한 설계개념 및 입증방법에 관한 논의가 활발히 이루어지고 있음
- **(동체·날개 제작공정 등 시범인증)** 보잉사와 에어버스사를 중심으로 다양한 업체들과 컨소시엄 형식으로 참여하여 열가소성 복합재료를 이용한 항공기 주 구조물 개발과 함께 동체 패널을 포함한 다양한 시제품을 선보이고 있음
- **(UAM 프로펠러 제작공정 및 시범인증)** 해외 항공 선진국의 프로펠러 기술은 이미 국내 항공기용 프로펠러 시장도 독점하고 있는 상황이고 최근 레저용 및 대형 드론용 프로펠러 시장은 해외 기업이 시장을 선점하고 주도하는 추세
- **(UAM용 비행체 인증을 위한 지상·비행 시험평가 기술)** UAM 기체는 회전익기 기반에 고정익기의 비행특성이 추가되는 형태로 예상되며, 도심지역에서 고도 1,500ft 이상(최대 4,000ft)에서 운용될 예정임 이에 따라, UAM의 이착륙 환경이 도심지역의 빌딩풍 하에 있으며, 특히 천이상태(고정익↔회전익)에서의 비행성 평가가 중요함
- **(UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계 구축)** 미국 FAA는 항공기의 지속적인 운항 안전을 확보하기 위해, 고장보고 및 관리체계를 갖추고, 발생한 고장/결함에 대한 평가와 후속조치를 시스템적으로 관리하고 있고 유럽 EASA는 '12년 2월부터 Internal Occurrence Report System(IORS)라는 통합 고장보고체계를 운영하고 있으며, 항공기/부품의 지속감항성을 유지/관리하기 위한 분석 및 후속조치 절차를 갖추고 있음
- **(UAM 비행체 인증시험 인프라 구축)** 미국·유럽 등 항공선진국들은 내추락, 결빙 등 비행체 수준의 시험을 위한 대부분의 시험시설/장비를 보유하고 있으며, 이를 활용한 UAM 비행체 시험이 가능함

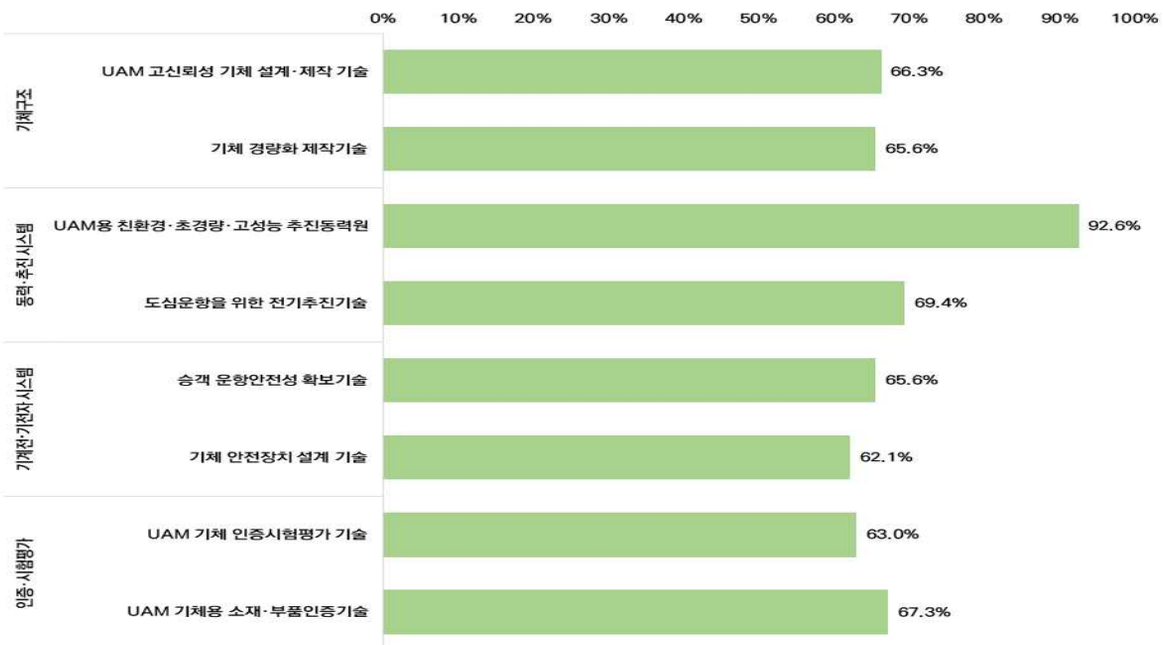
– UAM 기체용 소재·부품 인증기술

- **(요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가·인증 기술)** 미국/유럽의 항공기 부품 제작사 및 산업계를 중심으로 신개념 시스템 안전성 분석을 통한 설계의 적용 및 시스템 안전성 평가 절차 및 기법 연구를 지속적으로 진행하고 있음
- **(UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발 및 체계 구축)** 미국 FAA는 NCMAP에 등록된 복합소재의 물성치에 대해서는 인증당국이 직접 확인한 것과 동등함을 정책적으로 인정 (AIR-2010-120-003)
- **(UAM 전기동력시스템 인증(배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등))** 미래 에너지원으로 주목 받고 있는 리튬 배터리와 수소연료전지의 신뢰성 확보를 위해 인증 및 시험평가 기술 개발을 추진 중이나 UAM을 위한 인증 및 시험평가 기술은 별도 개발이 필요함
- **(UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축)** 전기추진시스템은 UAM 항공기의 핵심기술로써 순수 배터리, 하이브리드, 수소연료전지 등 다양한 에너지원이 고려되고 있으며, UAM의 운용목적 및 범위 등에 따라 적절한 에너지원이 적용될 것으로 예상됨
- **(UAM 안전운용을 위한 전자기 및 무선 성능 기술기준)** 미국은 FAA가 항공기에 대한 감항검증, 형식승인 뿐만 아니라 항공기 탑재기기에 대한 인증을 담당하며, 항공기 탑재 전자파 적합성 기준은 14 CFR Part 23, 25, 27, 29에서 규정하고 있으며 적용 기준은 완성된 기체에 전자파를 인가하는 방식으로 평가하고 유럽을 포함한 다른 국가들도 이 기준에 준하여 기술기준을 설정
- **(UAM 핵심부품 시험평가·인증기술 및 인프라 구축)** 전통적으로 안전이 매우 중요한 항공 분야에서 기체 부품 등 모든 구성품은 자연환경이나 유도환경이 제품에 미치는 영향을 측정하여 내구성, 영향성, 설계 적합성, 운용 적합성 등을 요구

기체·부품 부문 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 기체·부품 부문 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 중점기술별로 큰 차이는 없으나 UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원 관련 기술의 경쟁력은 세계 최고 수준으로 조사됨



[그림 Ⅵ-1] 기체·부품 부문 주요분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

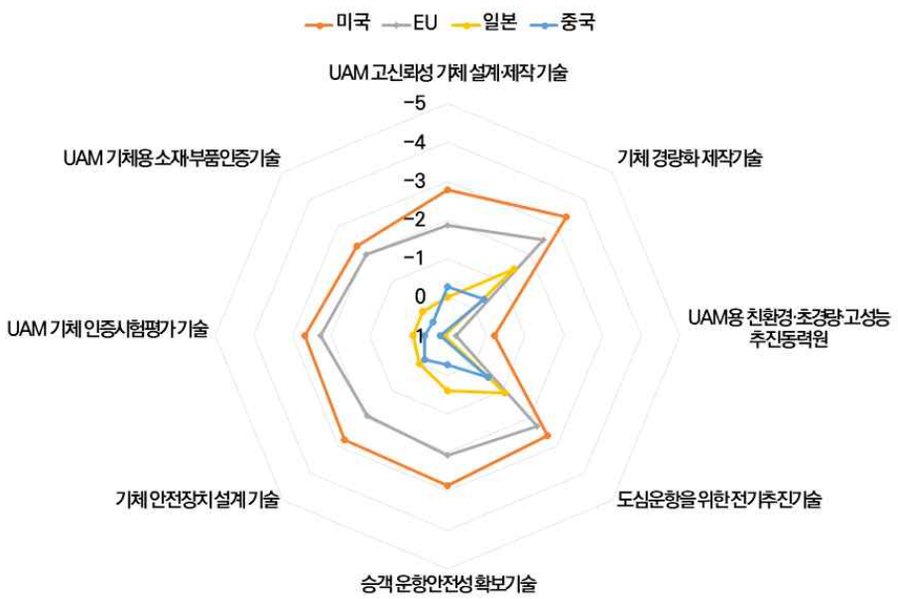
● 기체·부품 부문 중점기술별 최고 선진국 대비 기술 격차

– 중점기술 수준에서는 미국과 유럽이 최고수준을 나타내고 있으며 일본, 중국은 이들과 2년 내외의 기술격차를 나타내고 있음

– 한국은 'UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원'을 제외하면 3년 정도의 기술격차를 보이고 있음

〈표 Ⅵ-1〉 기체부품 부문 주요분야-중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

주요분야	중점기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
기체구조	UAM 고신뢰성 기체 설계·제작 기술	-2.78	-1.86	0.00	-0.28
	기체 경량화 제작기술	-3.33	-2.50	-1.44	-0.33
동력·추진 시스템	UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원	-0.22	0.78	1.08	1.18
	도심운항을 위한 전기추진기술	-2.64	-2.29	-1.09	-0.49
기계 · 전기전자 시스템	승객 운항안전성 확보기술	-2.85	-2.07	-0.41	0.26
	기체 안전장치 설계 기술	-2.77	-1.91	-0.03	0.16
인증·시험평가	UAM 기체 인증시험평가 기술	-2.68	-2.27	0.12	0.42
	UAM 기체용 소재·부품인증기술	-2.30	-1.97	0.09	0.49



[그림 Ⅵ-2] 기체부품 부문 주요분야-중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 기체·부품 부문 국내 산업역량

– 세부기술 기준 전체 28건의 기술 중 과반이상인 19건의 세부기술이 독자 생산이 가능한 것으로 보고되며, 8건의 기술은 전량수입, 1건의 기술은 면허생산으로 보고되고 있음

〈표 Ⅵ-2〉 기체부품 부문 국내산업 역량

산업역량	세부기술 수	비중
LV 1(전량수입)	8	28.6%
LV 2(면허생산)	1	3.6%
LV 3(독자생산)	19	67.9%
LV 4(세계시장진출)	0	0.0%
LV 5(세계시장경쟁)	0	0.0%
총계	**28**	**100%**

● 기체·부품 부문 국내 기술개발 역량

– 세부기술 기준 17건의 기술이 기초연구수행 단계로 나타났고, 기초/응용연구수행 단계는 8건, 기초/응용/상용화연구연구수행 단계는 2건, 미착수 단계는 1건으로 조사됨

〈표 Ⅵ-3〉 기체부품 부문 국내 기술개발 역량

기술개발 역량	세부기술 수	비중
LV 1(미착수)	1	3.6%
LV 2(기초연구수행)	17	60.7%
LV 3(기초/응용연구수행)	8	28.6%
LV 4(기초/응용/상용화연구수행)	2	7.1%
총계	**28**	**100%**

다. 기체·부품 부문 기술로드맵

■ 기체·부품 부문 단계별 기술개발 목표

● **(기체구조 분야)** 운용시나리오를 만족하는 UAM 기체를 설계하고 제작하기 위한 기술 개발

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 최대 40km 지점까지 UAM 서비스를 위한 비행체 설계 기법 개발
- UAM 비행체 공력 및 구조, 로터 및 추진 시스템 해석기술 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 최대 80km 지점까지 UAM 서비스를 위한 비행체 설계
- UAM 기체 중량 절감을 위한 복합재 구조 제작 및 성형기술 개발
- 공력 및 구조해석, 중량분석, 등의 UAM 다분야 해석기술을 통합한 최적설계 프레임 워크 구축

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 최대 100km 지점까지 UAM 서비스를 위한 비행체 설계 및 제작
- 3D 프린팅 및 복합재 공정기술을 적용한 비행체 제작비용 절감
- 통합 최적설계 프레임웍을 적용하여 UAM 비행체를 설계, 운동 시뮬레이션을 통한 적합성을 검증하고 도출된 결과를 비행체 제작에 적용

● **(동력·추진 시스템 분야)** 비행체의 임무시간 및 성능을 만족시키기 위한 동력원 및 추진시스템 기술 개발

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- UAM 전기추진 시스템 적용기술 개발
- 전기추진시스템을 적용하기 위한 배터리팩 모니터링 및 소형화 기술 개발
- 전기모터 중량 절감을 위한 고 비출력 모터 설계 및 제작 기술 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- UAM 임무요구도 만족을 위한 배터리 및 추진시스템 성능향상 기술 개발
- 450Wh/kg 이상의 에너지 밀도 향상을 위한 차세대 배터리, 연료전지-배터리 하이브리드를 적용

- 임무모드에 최적화된 고출력/고토크 경량 모터 개발

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 연간 UAM 임무시나리오 만족을 위한 성능고도화 기술 개발
- Turn Around Time 이내 충방전 요구도를 만족하고 동력원수명을 향상(50,000km 이상) 시키기 위한 기술개발
- 인버터 및 모터의 효율향상(96%~99%)을 위한 냉각시스템(복합 냉각 및 극저온)을 개발하고 이를 UAM 적용

● **(기계·전기전자 시스템)** UAM 기체의 위급상황에 대비하고 안전확보를 위한 기체진단 및 외부환경 대응시스템 개발

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- UAM 위급상황 대응을 위한 기술개발
- UAM 안전시스템 (내충격 동체구조, 좌석, 낙하산 등) 개발 및 시험평가
- UAM 비행 영상 및 데이터 저장 및 전달시스템 개발 및 건전성 진단 데이터베이스 구축

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- UAM 안전성 확보를 위한 기술개발
- 데이터베이스 기반 실시간 비행체 건전성 진단 시스템 UAM 탑재 및 성능 검증
- 결빙/착설로 인한 형상 변형 시뮬레이션을 통한 주요 취약 지점 예측 및 낙뢰피격 지점 예측 모델 개발

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- UAM 4계절, 악천후 환경 안전운용 기술 개발
- 저전력/자동 결빙 및 착설 방지/제거장치 및 낙뢰보호장치 UAM 탑재, 성능입증

● **(인증·시험평가 분야)** UAM 기체의 위급상황에 대비하고 안전확보를 위한 기체진단 및 외부환경 대응시스템 개발

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- UAM 위급상황 대응을 위한 기술개발
- UAM 안전시스템 (내충격 동체구조, 좌석, 낙하산 등) 개발 및 시험평가
- UAM 비행 영상 및 데이터 저장 및 전달시스템 개발 및 건전성 진단 데이터베이스 구축

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- UAM 안전성 확보를 위한 기술개발
- 데이터베이스 기반 실시간 비행체 건전성 진단 시스템 UAM 탑재 및 성능 검증
- 결빙/착설로 인한 형상 변형 시뮬레이션을 통한 주요 취약 지점 예측 및 낙뢰피격 지점 예측 모델 개발

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- UAM 4계절, 악천후 환경 안전운용 기술 개발
- 저전력/자동 결빙 및 착설 방지/제거장치 및 낙뢰보호장치 UAM 탑재, 성능입증

기체·부품 부문 기술로드맵

● 총 4건의 주요분야와 그에 따른 8건의 중점기술개발이 추진되어야 함

〈표 Ⅵ-4〉 기체부품 부문 기술로드맵

주요분야	중점기술	세부기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
기체구조	기체 경량화 제작기술	UAM용 항공기 복합재 · 신소재 구조 및 제작 기술					■	■	■	■	■	■	■	■		
		3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술						■	■	■	■	■	■	■	■	■
	UAM용 고신뢰성 기체 설계 · 제작 기술	인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발				■	■	■	■	■	■	■	■	■		
		차세대 UAM 해석 · 설계 및 제작 기술	■	■	■	■	■	■	■							
		UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술				■	■	■	■	■	■	■				
		UAM 기체 착륙장치 등 기계시스템 설계 · 제작 기술	■	■	■	■	■									
동력·추진 시스템	UAM용 친환경 · 초경량 · 고성능 추진동력원	UAM용 고성능 배터리팩 기술	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
		하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술	■	■	■	■	■	■								
	도심운항을 위한 전기추진기술	고밀도 배터리용 전기추진 기술	■	■	■	■	■	■	■	■						

주요분야	중점기술	세부기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
		초경량 고출력 전기동력 기반 추진 기술														
기계·전기전자 시스템	승객 운항안전성 확보기술	UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계기술														
		UAM 비상낙하산 시스템														
	기체 안전장치 설계 기술	UAM 상태정보 관리 및 건전성·사고원인 분석 기술														
		All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지 장치 해석·설계 기술														
		All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계·인증 기술														
인증·시험평가	UAM 기체 인증시험평가 기술	UAM 비행체 인증시험 인프라 구축														
		기체 설계·제작 인증기준 및 절차 개발/수립														
		UAM용 비행체 인증을 위한 지상·비행 시험평가 기술														
		UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계 구축														
		UAM 내추락성 등 안전성 인증														
		동체·날개 제작공정 시범인증														
		UAM 프로펠러 제작공정 및 시범인증														
	UAM 기체용 소재·부품 인증시험평가 기술	UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증 기술개발 및 체계 구축														
		UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축														
		요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가·인증 기술														

주요분야	중점기술	세부기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
		UAM 전기동력시스템 인증(배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등)														
		UAM 핵심부품 시험평가·인증기술 및 인프라 구축														
		UAM 안전운용을 위한 전자기 및 무선성능 기술기준														

2. 기체구조 분야 기술로드맵

가. 기술 정의 및 구성

기술정의

● UAM용 고신뢰성 기체 설계·제작 기술

– **(UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술)** 수직이착륙 상황에서 발생할 수 있는 고하중 충격에도 유공압 착륙장치 수준의 충격흡수가 가능한 복합소재 내충격 착륙장치 스트럿 설계 기술

- 일체형 3D Braiding 기술을 적용한 복합소재 착륙장치 구조 일체성형 제작 및 성능검증
- 버티포트 내 비행체 자동이송을 위한 전기동력 기반 택싱시스템

– **(차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술)** 다양한 임무요구도를 가진 UAM을 설계하기 위한 주요 매개변수 도출을 위한 개념설계 방법론 및 임무구간별 성능해석 기술

- UAM 기체구조(동체, 날개, 객실 등) 배치 레이아웃 최적화 및 공력, 소음, 제어등의 양력면의 최적형상을 도출을 위한 형상설계 기술
- 멀티로터형, Vectored Thrust, Lift+Cruise 와 같이 다수의 로터 및 프롭을 가진 UAM 기체의 이착륙 및 순항중의 양력과 항력을 정확하고 정밀하게 해석하기 위한 해석기술
- 임무구간조건에서 다수 프로펠러 및 로터의 공력성능해석과 프로펠러 및 로터에서 발생하는 공력소음 및 진동을 해석
- 버티포트 주변 및 도심상공의 바람환경과 난류 및 돌풍에 의한 교란등을 고려한 UAM 기체의 비행안정성 해석 기술

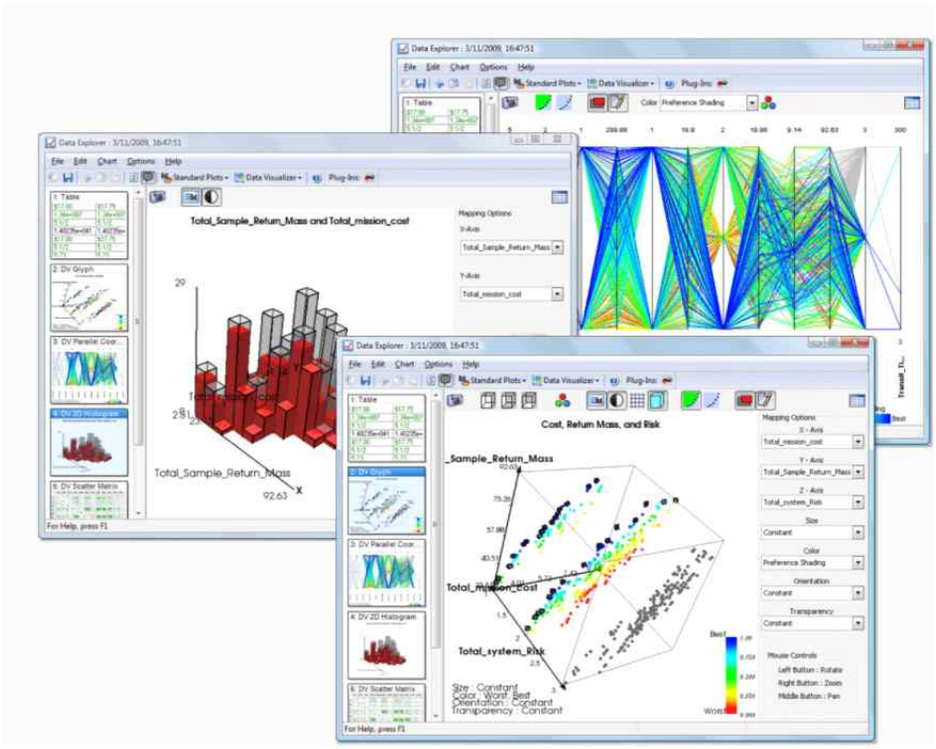
– **(UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술)** 이륙-천이-순항 혹은 순항-천이-착륙 와 같이 UAM 비행체가 고정익과 회전익 모드를 전환하는 단계에서의 안전한 비행제어기 개발을 위한 추진시스템 성능모델링 기술

- UAM 임무조건에서 다중(고정익, 회전익, 천이)모드에서의 비행체의 6자유도 동역학 시뮬레이션 기술
- UAM 비행안전 검증을 위해 정상 비행조건 및 오작동 상황을 경우를 포함한 다양한 상황에서의 비행체의 거동을 모사할 수 있는 고정밀 비행시뮬레이션 기술

– **(인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발)** 승객운송 및 병력수송 등의 운용요구도를 만족시키기 위한 전기추진시스템, 형상설계, 구조, 제어 등의 다양한 분야에 대한 최적설계 및 해석(MDAO) 기술

- UAM의 객실편의성, 비용경제성, 비행안전성등의 목표 지표를 만족시키기 위한 다양한 설계 대안의 성능, 비용 및 위험을 정량화하고 설계 공간(Design Space)의 시각화와 데이터 분석, 장점 분석(Trade study)을 위한 다분야 해석 Data-Fusion 기술

- UAM 최적설계 구현 및 다양한 요구도에 대한 설계 및 해석 데이터 구축을 위한 최적설계 프레임SW 통합 프레임워크 및 DBMS 구축



[그림 Ⅵ-3] 최적설계 및 해석(MDAO) 시각화 예시

● UAM 기체 경량화 제작기술

– **(UAM 항공기 복합재·신소재 구조 및 제작 기술)** UAM 글로벌 마켓 수요에 대응을 위한 기체구조 생산 수량 및 품질 확보, 제조비용 절감, 생산 품질, 경량화 등의 요구도를 충족시키기 위한 복합재 성형기술

- 기존 복합재 구조 제작공법의 높은 공정비용과 느린 생산시간의 단점을 해결하기 위한 고속성형공정 기술

- 복합재 경량화 및 구조 안전성을 충족하고, 생산성 향상을 위한 기체 구조 설계/제작 기술 및 복합재 건전성 식별을 위한 신속 비파괴 검사 기술

– **(3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술)** 기존 가공방법으로는 제작이 힘든 복잡한 형상이나 맞춤형 설계를 통해 항공부품을 경량화하고 유지보수를 원활하게 할 수 있는 3D 프린팅 기술

- 다양한 소재 별 3D 프린팅 적용 공정(적층 방향, 열처리 조건, HIP(Hot Isostatic Pressing) 공정 유무) 에 따른 물성 데이터를 확보 및 설계 반영
- 위상최적화 기법과 3D 프린팅의 결합을 통해 맞춤형 형상 구현과 경량화를 위해 격자(Lattice) 구조 활용 구조설계 및 DfAM(Design for Additive Manufacturing)을 적용한 부품 단순화나 다목적 구조 제작 기술
- 항공분야 적용을 위해 3D 프린팅 기술의 공정시의 에너지 밀도, 적층 속도 및 두께, 입자 크기 등의 공정 파라미터 영향성 분석, 공정규격의 표준화 및 검사 기준을 수립, 성능검증을 위한 시험절차를 수립 및 검증을 통해 UAM 구조에 필요한 품질 수준을 확보

기술구성

● UAM 고신뢰성 기체 설계 기술

– UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술

- **(복합소재를 적용한 내충격 착륙장치 스트럿 설계)** 복합소재 스트럿 및 저강성 댐퍼 적용한 UAM 기체의 착륙상황에 대한 구조변형 및 충격흡수 설계 포함
- **(복합소재 일체성형기술을 적용한 착륙장치)** 3D Braiding 직조기술을 적용한 일체형 복합소재의 제조 공정 개발 및 제작품의 낙하 및 구조시험을 통한 적합성 검증 포함
- **(비행체 이송지원을 위한 전기시스템 통합 설계)** UAM 착륙장치에 전기택싱시스템을 적용하기 위한 통합설계 및 성능시험

– 차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술

- **(UAM 형상모델개발 및 성능해석 기술)** UAM 정성적요구도 및 임무요구도에 대한 계량화, UAM 비행체의 개략적인 형상, 추진시스템의 구성을 정의하기 위한 매개변수 기반 비행체 모델 개발 및 후보군 도출을 위한 설계기법 개발. 비행체 임무선도 및 임무중 외부조건(지형, 전파환경, 비행경로) 요구도를 고려한 성능해석 방법론 개발 포함
- **(고정밀/고효율 항공기 공력 해석 기술)** 다수의 로터 및 프롭과 양력면을 가진 UAM 기체 공력 해석소요시간 감소를 위한 다수 로터 및 프롭 간섭유동장 근사모델링 개발과 해석 정밀도를 향상하고 다양한 형상을 가진 비행체의 성능평가를 위해 격자 의존성이 낮은 LES/URANS 전산해석 기법 개발 포함

- **(UAM 기체구조 최적화 및 날개 최적형상설계 기술)** 기체구조(동체, 날개 객실)의 레이아웃 및 이착륙/순항 임무 중 공력해석 최적화를 위한 양력면 형상 최적화, 능동유동제어(steady blowing, unsteady blowing, synthetic jet 등)를 활용한 UAM 동체 공력 해석과 능동유동제어 기술이 탑재된 UAM 동체 최적 형상설계, 기체구조 레이아웃 및 기체외형(OML)에 따른 유한요소 및 전산유체 해석 편의성 향상을 위해 CAD 형상과 해석용 모델로 전환 자동화 기술 포함

- **(UAM 프롭/로터 공력 및 소음진동 해석 기술)** 임무구간조건에서 단일 로터-프로펠러 / 복수 로터-프로펠러의 공력해석 및 비정상공력데이터 도출, 각 임무구간의 음향상사기법을 이용한 다수 로터-프로펠러의 소음원 시간-주파수 모델 및 동체 및 날개의 표면 음향강도 데이터 도출, 정적 RPM 및 가변 RPM 상황에 따른 공력 특성 변화 및 음향강도 변화 분석 포함

- **(외부교란에 대한 비행안정성 해석 기술)** 도심상공 및 버티포트 주변 환경 풍황데이터베이스 구축, 풍황조건과 난류 및 돌풍 상황에 따른 기체 비행안정성 해석 및 위험지표 도출, 실제 외풍 외란 환경속 운용 시의 로터 회전속도, 기체 자세각 능동 제어를 통한 비행 안정성 확보 포함

– UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술

- **(고성능 다중 모드 비행 제어를 위한 추진 시스템 모델링 및 제어 기술)** 다양한 UAM 형상의 고정익, 회전익 모드시 분산추진시스템의 모델링 및 비행조건 별 제어기 모델 개발과 천이모드시 Tilt-Corridor 분석 및 RPM Reduction Scheduling 최적화로 구성

- **(UAM 임무조건에서 다중(고정익, 회전익, 천이)모드에서의 비행체의 6자유도 동역학 시뮬레이션 기술)** 다양한 UAM 형상에 적합한 비행동역학 모델 개발과 다중모드에 대한 비행체 비행동역학 시뮬레이터 개발 및 상사성 분석 포함

- **(UAM 비행안전을 위한 고정밀 비행시뮬레이션 기술)** 이륙-천이, 천이-착륙 모드 상황에서 비행시뮬레이션 및 검증과 외부 교란 및 비정상 상황(로터 및 추진시스템 불량)에서의 비행체 운동 시뮬레이션 및 Fail-safe를 위한 기체 제어 복구 포함

– 인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발

- **(인공지능 기반 UAM 다분야 통합 최적설계 기술)** UAM 설계를 위한 다수해석 모듈들을 인공지능 프레임웍(강화학습, 심층신경망 등)과 연계하여 대단위 해석결과 분석, 최적설계를 위한 의사결정 방법론 수립 포함

- **(다분야 해석을 위한 인공지능 기반 Data-Fusion 기술)** 데이터기반 (Data-driven) 분석에서 고정밀시뮬레이션 해석 방법론까지 다양한 해석방법론에 대해서 인공지능 기법을 적용하여 상대적으로 빠른시간 내에 신뢰도가 높은 해석데이터를 도출 및 경향분석 포함

- **(SW 통합 프레임워크 및 DBMS 구축 기술)** 해석 및 설계프로그램의 활용성 및 효율성 증진을 위해 다양한 SW 통합하기 위한 다중언어 기반 모듈형 인터페이스 구축하고, 다수/다종의 데이터의 계층적 구조 및 의존관계를 정리하기 위한 DBMS 구축

● UAM 기체 경량화 제작기술

– UAM 항공기 복합재·신소재 구조 및 제작 기술

- **(열가소성 복합재 성형 및 수지 이동성형기술)** 탄소복합재 대량생산을 위한 열가소성 복합재 성형공정 및 수지이동성형기술 포함
- **(복합재 구조 신속 비파괴 검사 기술)** 일체형, 복잡형상 복합재 구조 결함 탐지 및 진단 고도화 기술 포함
- **(UAM용 국산 탄소섬유, 중간재 개발 및 신뢰성 평가, DB구축)** UAM 핵심부품용 고탄성 탄소섬유 개발 및 이를 적용한 중간재 개발, 재료 물성치 데이터베이스 및 Material Reference 확보 포함
- **(UAM용 초경량 기체의 Low TCO & 고속성형공정 기술)** 비연속/연속섬유 기반 탄소복합재 고속성형공정 기술 개발 포함
- **(3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술)** 3D 프린팅 적층 방식별 특성 분석 및 해당 부품별 적합 공정 선정과 공정 안정성 검증 및 소재 소모량, 제작 시간, 적층 방향, Support structure 등을 고려한 최적공정 개발 포함
- **(3D 프린팅 소재 및 물성 평가 기술)** 적층 방향(0°/45°/90°), 열처리 및 특수공정 조건별 시편 제작 및 검사(Porosity, 내부 균열, 가공 후 변형 여부 등) 수행과 시편 시험을 통한 주요 소재별 물성(강도, 강성, 피로수명 등) 데이터베이스 구축 포함

– 3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술

- **(위상 최적화 기반의 구조 경량설계 수행)** Build simulation과 연계한 구조 최적화 기법 개발을 통해, Support structure 최소화 및 공정 안정성 제고, 적층 제약조건을 고려한 Lattice optimization 모델링, 제작성 향상을 위한 최종 형상 도출 및 재해석을 통한 구조 안전성 검증 포함
- **(3D 프린팅 공정 표준화 및 부품 성능평가 기술)** 항공부품 적용을 위한 공정 표준화, 요구도 분석 및 성능평가를 위한 절차 수립과 공정별 수락검사 및 구조시험 수행을 통한 제품 성능 및 구조 안전성 확인

〈표 Ⅵ-5〉 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
UAM 고신뢰성 기체 설계·제작 기술	UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술	• 경량 고효율 충격흡수 특성을 갖는 착륙장치 개발을 위한 복합소재 착륙장치 및 전기택싱시스템 설계 및 시험평가기술
	차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술	• 다양한 형상의 차세대 UAM 설계를 위한 고신뢰도/고효율 공력, 추진 시스템, 구조, 로터시스템 설계 및 해석 기술
	UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술	• UAM 임무모드 조건에 대해서 비행동역학 모델 개발 및 시뮬레이션 검증을 수행하고, 시뮬레이션을 통한 이상작동상황 상황 대응기술
	인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발	• UAM의 효율적인 설계를 위한 인공지능 기술을 활용한 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발 및 해석 및 설계 데이터베이스 구축
UAM 기체 경량화 제작기술	UAM 항공기 복합재 · 신소재 구조 및 제작 기술	• UAM 탄소복합재 구조 대량생산을 위한 성형공정기술 및 복합재 구조 결함 탐지 및 진단을 위한 비파괴 검사 및 복합소재 신뢰도 구축을 위한 DB 구축
	3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술	• 기존 가공기법으로는 제작이 어려운 복잡한 구조형상 구현과 현장 맞춤형 제작을 통해 UAM 경량화 및 원활한 유지보수를 가능하게 하는 기술

나. 기술동향 분석

UAM 고신뢰성 기체 설계 기술

● UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술

– NASA LaRC 에서는 eVTOL이 착륙시 발생할 수 있는 수직낙하 충격상황을 모사하기 위한 ATD(Anthropomorphic Test Devices) 14-ft 낙하시험을 수행하고 착륙장치 복합재 스트럿의 crush load 분석시험 수행

– Safran 과 Airbus 는 공항활주시의 소모되는 연료를 절감하고 정시출발 개선을 위해 전기동력 기반 택시시스템을 개발하고 이를 A320 기체에 적용함

● 차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술

– NASA, DLR 등의 연구기관과 대학교에서 전기추진기반 UAM 설계 및 성능해석기술을 개발하고 활용 중에 있음

• NDARC(NASA), SUAVE(스탠포드 대), VAMPzero(DLR) 등이 있음 국내의 경우, RISPECT+(서울대)가 존재

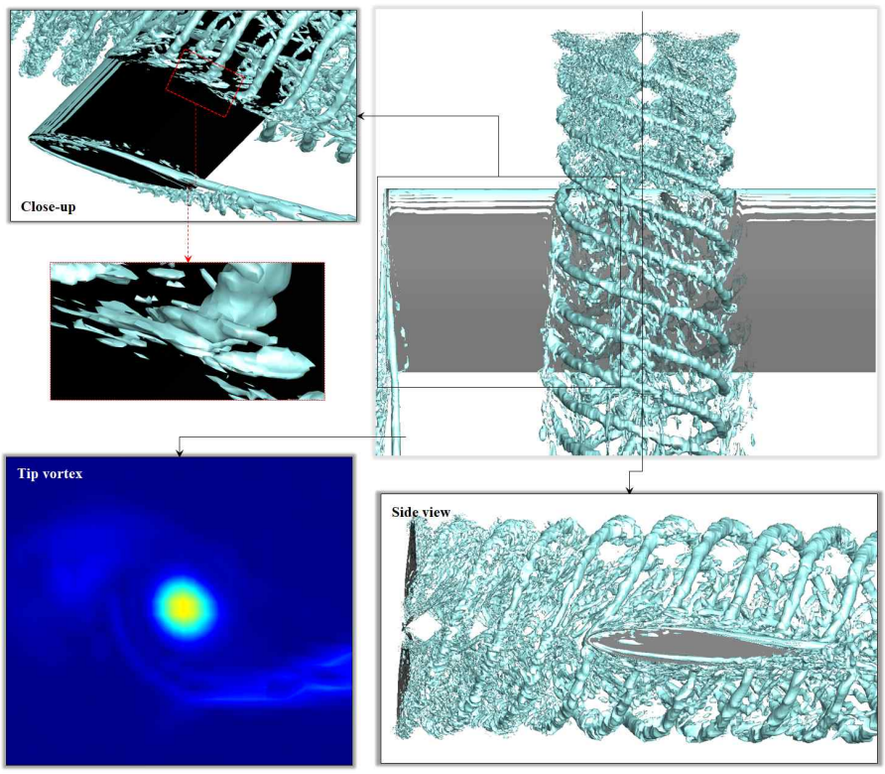
– 미국과 유럽의 학교 및 연구소에서는 고정밀/고효율의 공력해석 도구가 존재하며 지속적으로 효율성과 정확도 개선을 진행 중임

• 대표적인 예로 미국 NASA의 OVERFLOW와 FUN3D, 독일 DLR의 FLOWer, 프랑스 ONERA의 elsA 등이 있음

• 미국의 경우, 각 연구소와 학교에서 개발된 해석 도구를 통합하는 CREATETM-AV 프로그램을 진행중이며, Helios라 불리는 통합해석도구를 매년 업데이트 중임

– 국내의 경우, 건국대학교와 서울대학교에서 개발 중인 정렬격자 기반의 KFLOW, KAIST 에서 개발 중인 비정렬 혼합격자 기반의 해석도구가 존재하고, 이를 이용하여 한국항공우주연구원 및 한국항공우주산업에서 연구를 수행한 바 있음

– 국외 ONERA의 Clean Sky project 사업 중 일환으로 능동유동제어 기술을 통한 동체 항력 저감 기술 연구 진행 중에 있음



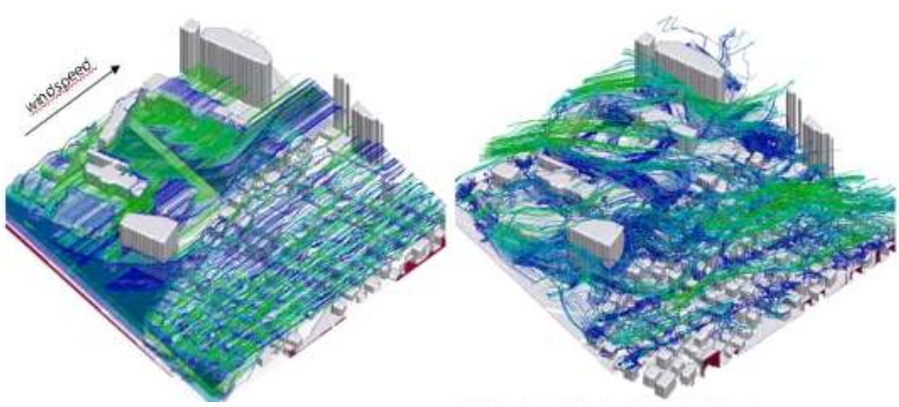
출처: 홍윤표, 이다운, 박수형, 이관중, “수직 이착륙기 유동장 해석 정확도 향상을 위한 KFLOW 코드 개선,” 2020 한국항공우주학회 춘계학술대회, 2020.

[그림 Ⅵ-4] 고정밀 공력해석 기술을 이용한 로터-날개 간 간섭효과

- 미국 펜실베니아대는 eVTOL 항공기의 분산추진시스템의 가변 RPM에 의한 소음생성과 동체 및 프로펠러/로터 등의 전파 간섭효과를 고려할 수 있도록 기존 회전익용 소음해석 프로그램을 개선

- NASA는 분산추진시스템의 개별 추진시스템의 위상각제어기술을 적용한 환경소음(Community Noise) 영향 최소화를 기술 개발

- 도심지역 GIS 데이터와 기상예측모델 및 고정밀 해석기법을 적용하여 도심환경에서 발생하는 풍황경 예측 및 비행위험인자를 도식화 한바 있음(항우연, 경희대)



출처: 한국항공우주연구원, 경희대학교, “악기상 대처 능력 향상을 통한 소형무인기 난조건 안전 운용 기술 개발 최종보고서”

[그림 Ⅵ-5] 수치해석모델을 적용한 도심환경 풍황 예측모델

● UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술

– NASA Ames는 eVTOL 기체의 설계과정에서 도심환경 주변 운용 비행체 개발 전과정에 대한 시뮬레이션 환경을 구축

– Embraer 사는 EmbraerX UAM 기체의 운용자 인터페이스를 적용, 실제 비행상황과 제어 법칙을 적용한 시뮬레이터를 개발하고 이를 이용한 시뮬레이터 비행시험을 수행함

– 인공지능 Dataset 구성을 구성을 위한 비행시뮬레이션 데이터 구축 등의 연구 (M. Tyan 2018)가 진행되었음

● 인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발

– 비행체의 공력계수 예측 해석에 인공지능 지능 기법을 적용함 기존 데이터베이스 기반 인공신경망 학습을 통해 UAV 형상의 공력계수 값을 실제 해석 값에 매우 유사하게 예측하여 성공적인 UAV 설계 수행

• 대부분의 경우 UAM 기체 전체에 대한 설계보다는 분야별 인공지능 기반 설계가 수행되고 있음

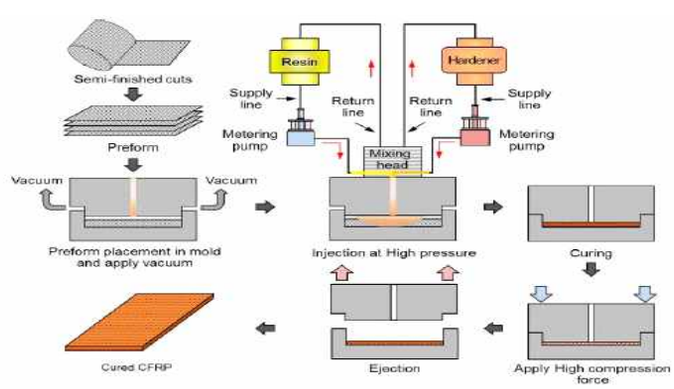
– NASA(미국) Glenn 연구센터에서는 다분야 최적설계 프레임웍의 필요성을 인식하고 2008년부터 개발하기 시작하여 2010년에 openMDAO (v0.1)을 다양한 항공우주 관련 응용분야에 적용하기 위해 기능추가 및 업데이트를 수행하고 있음(현재 v3.2). 또한 DLR에서도 다분야 해석 및 설계, 최적화 프로그램인 RCE(remotor component environment, 현재 v10.2.x)을 개발하고 이를 오픈소스로 공개함

UAM 기체 경량화 제작기술

● UAM 항공기 복합재·신소재 구조 및 제작 기술

– 대한항공에서는 A320 여객기용 주익 윙렛의 일체형 스킨, 스파 구조 설계/해석 기술 및 제작/성형기술 개발을 수행

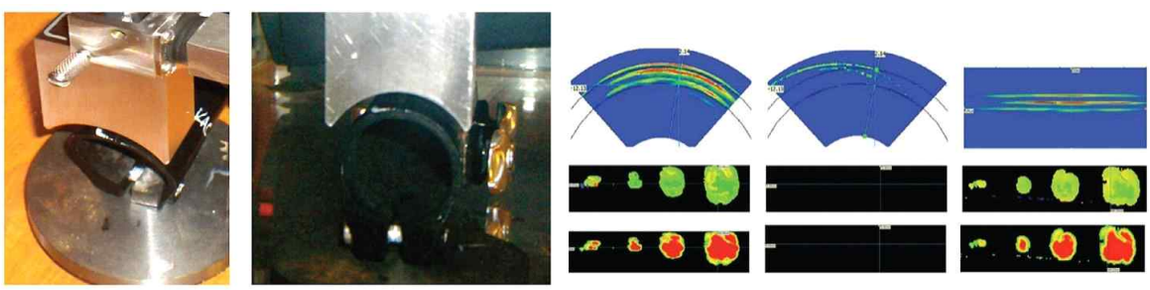
– 한국카본에서는 자동차 경량화를 위한 연속 탄소섬유 차체부품 고속 금형/성형기술 개발을 수행



출처: Kim, R. W., Kim, C. M., Hwang, K. H., & Kim, S. R. (2019). Embedded Based Real-Time Monitoring in the High-Pressure Resin Transfer Molding Process for CFRP. Applied Sciences, 9(9), 1795.

[그림 Ⅵ-6] 고속성형공정 기술 예시

- 유럽의 에어버스 사는 고속 및 낮은 생산가를 낮춘 대량생산 공정을 개발하여 여객기의 문 프레임 및 회전익기에 적용 중임
- 유럽의 GKN Fokker 사는 열가소성 수지를 이용한 대량생산 공정 개발 및 자동화 설비를 개발하고 여객기의 구조 부품 단위 개발 및 적용 중임
- 유럽의 에어버스 사와 EADS Innovation Works 사는 6축 로봇을 이용하여 항공기 구성품 단위 비접촉 비파괴 검사 시스템 장비를 개발함



출처: BERCLI Corp.

[그림 Ⅵ-7] 복잡형상 대상 신속 비파괴 검사 기술 예시

● 3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술

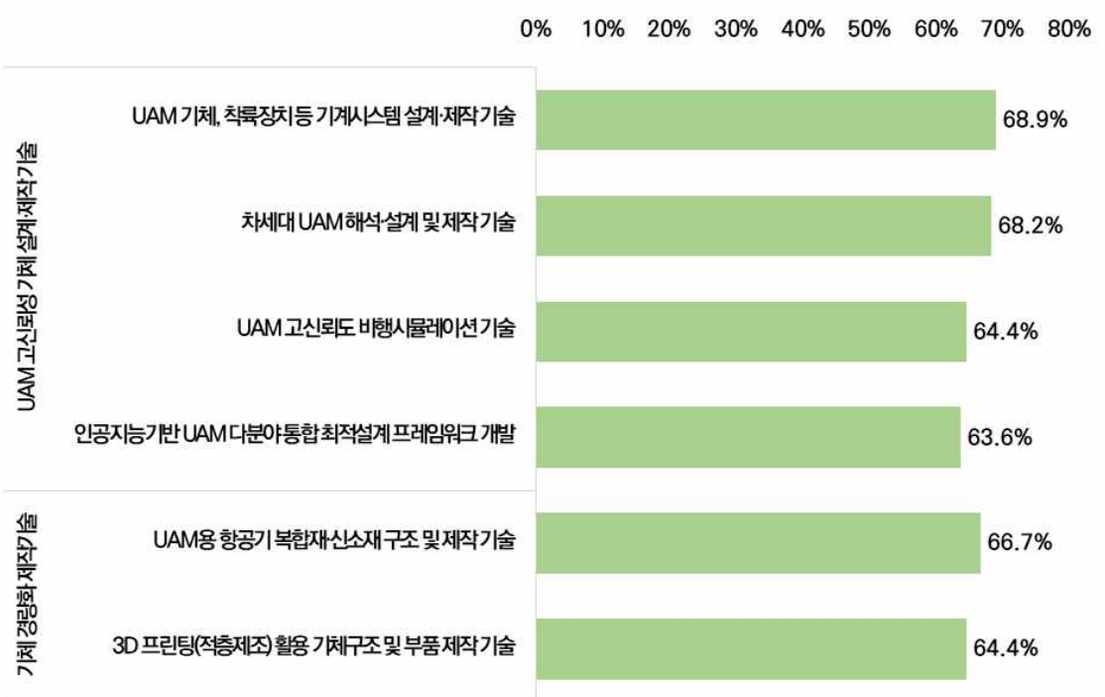
- Stratasys, 3D Systems, MarkForged(이상 미국), EOS(독일) 등의 3D 프린팅 업체와 Airbus, Boeing, GE 등의 항공우주산업체에서 Prototype 및 부품 제작을 위한 연구를 활발히 진행하고 있음
- Boeing은 2017년 최초로 FAA 인증을 받은 Titanium alloy 3D 프린팅 부품을 B787에 적용하였고, 다양한 항공우주 부품으로 대상을 확대하고 있음
- GE는 여러 부품으로 구성된 LEAP Engine의 노즐부를 3D 프린팅으로 제작하여 부품수를 줄이고 25%의 중량절감을 달성함
- Bracket 등 단순 부품에서 하중을 지지하는 구조 부품으로 적용이 확대되고 있고, 소재 측면에서도 폴리머와 금속에서 탄소섬유까지 다양해지고 있음
- Aerospace & Defence 분야에서 3D 프린팅 시장은 2020~2027년 동안 연평균성장률 16%를 기록할 것으로 전망되며(Stratview Research, 2019), GE의 경우 GE Additive를 설립하여 관련기술 연구를 확대하고 있음
- 항공부품 적용을 위한 표준화, 품질관리 및 인증 절차에 대한 기준 수립 활동도 활발히 진행되고 있으며, ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies, ISO/TC 261 Additive Manufacturing 등이 있음
- 우리나라의 경우 산발적으로 항공우주부품 제작에 대한 사례가 발표되고 있으나, 인증과 연계한 체계적인 연구는 미흡한 실정임

다. 기술수준 및 연구개발전략

■ 기체구조 분야 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 기체구조 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 기체구조 분야의 국내 기술수준은 60%대로 조사됨



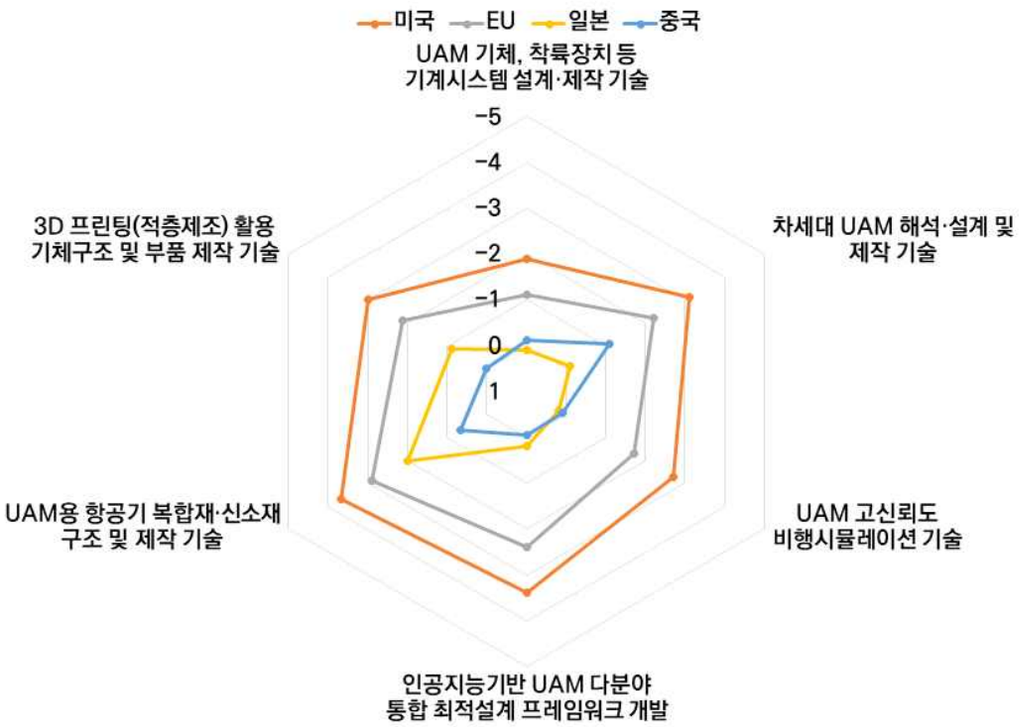
[그림 Ⅵ-8] 기체구조 분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 기체구조 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

– 미국과의 기술 격차가 2-3년 내외로 가장 많이 나며, 유럽과는 1-2년, 일본, 중국은 1년 내외의 기술격차가 나는 것으로 조사됨

〈표 Ⅵ-6〉 기체구조 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
UAM 고신뢰성 기체 설계·제작 기술	UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술	-1.90	-1.12	0.10	-0.12
	차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술	-3.10	-2.21	-0.10	-1.10
	UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술	-2.70	-1.70	0.19	0.08
	인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발	-3.40	-2.40	-0.18	0.04
기체 경량화 제작기술	UAM용 항공기 복합재·신소재 구조 및 제작 기술	-3.67	-2.89	-2.00	-0.67
	3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술	-3.00	-2.11	-0.89	0.00



[그림 Ⅵ-9] 기체구조 분야 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 기체구조 분야 국내 산업역량

– 기체구조 분야의 모든 기술은 독자생산이 가능한 것으로 조사됨

〈표 Ⅵ-7〉 기체구조 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
UAM 고신뢰성 기체 설계·제작 기술	UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술	LV 3(독자생산)
	차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술	LV 3(독자생산)
	UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술	LV 3(독자생산)
	인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발	LV 3(독자생산)
기체 경량화 제작기술	UAM용 항공기 복합재·신소재 구조 및 제작 기술	LV 3(독자생산)
	3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술	LV 3(독자생산)

● 기체구조 분야 국내 기술개발 역량

– UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술은 미착수 단계이나 그 외 기술은 대부분 기초연구수행 단계로 나타남

〈표 Ⅵ-8〉 기체구조 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

중점기술	세부기술	국내기술개발 역량
UAM 고신뢰성 기체 설계·제작 기술	UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술	LV 1(미착수)
	차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술	LV 2(기초연구수행)
	UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술	LV 2(기초연구수행)
	인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발	LV 2(기초연구수행)
기체 경량화 제작기술	UAM용 항공기 복합재·신소재 구조 및 제작 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술	LV 2(기초연구수행)

UAM 고신뢰성 기체 설계·제작 기술 연구개발전략

● 인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발

– 인공지능 기반 UAM 다분야 통합 최적설계 기술

- 국내 학계와 연구소(항공우주연구원, 국방과학연구소)에는 다학제 해석기술을 통합한 연구가 진행되었지만, 학제 별 해석 기술 정확도 수준의 차이가 큼
- 인공지능 기법을 적용한 설계와 관련하여 단일 구성품 설계 수준에 머물러 있어 다분야 통합 설계에 대한 개발은 부족한 상태임
- 무인이동체 통합설계와 관련하여 한국항공우주연구원에서는 '자율지능 무인이동체 통합설계 소프트웨어 개발'를 수행중에 있음
- 낮은 정확도의 해석기술을 보완하고, 개선을 통해 전체적인 통합해석 및 설계 기술의 적절성을 확보하고 인공지능 기법을 다분야 최적설계에 적용하기 위한 인공지능 알고리즘 최적화 및 경량화

– 다분야 해석을 위한 인공지능 기반 Data-Fusion 기술

- 국내·외에서 사용되는 인공지능 Data-Fusion 기술을 통한 각 해석분야 별 Data-Fusion 기술의 적절성 식별
- 해석기술의 정확도 및 해석소요시간 향상을 위해 다양한 수준의 해석기법의 결과 데이터와 시험데이터 등을 확보하고, 이를 적용하여 국내 UAM 운용 목적에 부합하는 인공지능 기반 Data-Fusion 기술 개발 및 고정밀 해석 수행

– SW 통합 프레임워크 및 DBMS 구축 기술

- 다분야 설계 효율성을 개선하고, SW 통합 프레임워크 개선을 위한 데이터 확보를 위해 개방형 DMBS 구축하고, 이를 통해 국내 학계 및 연구소 등에서 연구성과 교류 및 다수의 이용자를 위한 편의성 증진

● 차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술

– UAM 형상모델개발 및 성능해석 기술

- 범용적으로는 민간항공기와 같은 고정익기, 헬리콥터와 같은 회전익기의 성능해석이 주로 진행되어 왔으며, 틸트로터기, 복합형 회전익기 등과 같은 고정익 및 회전익기가 복합적으로 존재하는 경우, 비행체 개발기관이 성능해석을 자체적으로 수행한바 있음
- 다양한 UAM에 대한 범용적인 형상을 고려한 비행체 운동방정식 모델링과 전기추진 시스템 모델링 기법을 적용하는 연구는 진행 중인 상태.
- 전기추진시스템을 해석하기 위한 고신뢰도 해석기법을 개발하고, 이를 기존 성능해석 기법과 연계하여 UAM 형상 및 성능해석으로 확장할 필요가 있음

– 고정밀/고효율 항공기 공력 해석 기술

- 국내 학계 및 연구소 등에서 CFD를 통한 고정밀 UAM 해석을 수행하지만 시스템 구성품 수준에서의 해석 혹은 일반적인 회전익기에 대한 고정밀/고효율의 공력 해석이 진행되고 있는 상태. UAM과 같은 다수의 로터의 프로펠러가 있는 복잡한 형상의 전기체 해석을 위한 연구 사례는 드묾
- UAM의 비행중의 공력, 트림 해석과 유동간섭으로 인한 부가적인 효과등을 확인하기 위해서는 UAM의 전기체 형상 해석이 필수적임 UAM 추진시스템(다중, 분산 로터 및 프로펠러), 양력면, 동체가 모두 고려된 UAM 복잡한 형상에 대한 격자 자동생성 및 수치 해석 도구의 강건성을 위한 연구 필요

– UAM 기체구조 최적화 및 날개 최적형상설계 기술

- 민간항공기용 동체 구조 분석 및 최적화에 대한 연구는 이미 오래전부터 진행되어 있으며, 이를 복합재를 적용한 기체구조로 확장하여 해석기술을 개선할 필요가 있음
- UAM 동체 및 날개의 항력저감을 위해 능동유동제어와 같은 기술을 적용하여 로터/프로펠러 등의 후류와 동체사이의 간섭효과 날개면의 박리지연 효과를 모사하고 최적의 형상을 도출할 수 능동유동제어기술을 모사할 수 있는 해석 소프트웨어 확보 및 이를 이용한 형상 설계 수행

– UAM 프롭/로터 공력 및 소음진동 해석 기술

- 국내 학계와 연구소(항공우주연구원, 국방과학연구소)에는 단일 프로펠러 및 로터 블레이드 소음 최소화를 위한 해석 및 최적 형상 설계를 수행한 바 있으나, UAM 과 같이 분산추진시스템 및 가변 RPM이 적용된 회전체 공력 및 소음해석 기술은 현재 개발 중인 상태

- 다수의 로터 및 프로펠러에 의한 소음 및 음향하중 변화에 의한 동체가진을 분석하기 위해서는 비정상 공력해석의 정확도 확보가 필수적이나 비행체의 운동 모드에 따라 해석하기 위한 필요한 전산리소스의 요구도가 높음

- 유동장 근사모델링 기법 및 음원모델링을 통해 비행체 공력소음 해석을 위한 전산리소스의 요구도를 절감할 필요가 있음

– 외부교란에 대한 비행안정성 해석 기술

- 소형 무인기의 상업적 활용(드론배송) 을 위한 1m 내외의 드론형상에 대한 외풍 및 외란 환경에 대한 비행안정성 연구는 수행된 바는 있으나, UAM 수준의 비행체 크기와 다양한 형상에 대해서는 수행된 사례 없음

- UAM 운용환경 지역의 기상환경, 지형, 건물 배치 등을 고려하여 도심지역 운용에서 식별 가능한 외부교란에 대한 모델링 및 CFD 해석 수행

- 일반적인 소형 무인기 및 헬리콥터의 제어 기법 기술을 UAM 형상에 적합하도록 개선하고, 개선된 비행 제어기법이 반영된 UAM 비행 시뮬레이션을 수행하여 외부교란 상황에 대한 비행 자세 예측 및 안정성 확보여부 검증

● UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술

– 고성능 다중 모드 비행 제어를 위한 추진 시스템 모델링 및 제어 기술

- UAM은 분산추진시스템, 틸팅 시스템, Lift+Cruise, 덕티드 팬 등의 다양한 형상이 가능하고, 수직이착륙-천이-순항 비행의 다중 모드 비행형태를 가지고 있기 때문에 정형화 된 추진시스템 모델링 및 제어기법이 존재하지 않음

- UAM은 다수/다양한 추진시스템을 채택하고 있기 때문에 수직이착륙-천이-순항 등의 비행모드 전환을 위한 제어방식은 다양하게 존재하며 제어시나리오에 대한 적절성을 식별하기 위한 분석이 필요

- 비행체의 추진시스템 조건(분산추진, 틸팅, 덕티드 팬, 로터 등)의 반영하여 다물체 동역학을 고려한 추력시스템 모델링 및 비행체 제어면 분석을 통해 개별모드에 대한 적용 가능한 여러 제어 방법을 도출하고 다중 모드에 대한 최적 제어기법을 도출

– UAM 임무조건에서 다중(고정익, 회전익, 천이)모드에서의 비행체의 6자유도 동역학 시뮬레이션 기술

- UAM 임무조건 별 비행체의 추력시스템 및 제어기 적용을 통한 6자유도 동역학 운동방정식 수립

- UAM 전기체 형상에 대해서 운동모드 별 공력 데이터베이스 구축하고 이를 비행체 운동방정식 모델에 반영

- 가상 시뮬레이션 환경에서의 비행체의 자세 및 운동량을 측정하고 시험데이터와 검증을 수행

– UAM 비행안전을 위한 고정밀 비행시뮬레이션 기술

- 전 임무구간에 대한 비행체 위치, 자세에 대한 시뮬레이션 수행하고 이륙-천이, 착륙-천이 과정에의 비행체의 추진시스템 및 제어면의 입력 조건(제어기 입력), 출력결과RPM. 위상각 등) 데이터 구축

- 심한 외부 교란상황 및 비행체 고장상황에 대한 모델링을 수행하고, 비행체의 추진시스템 및 제어면 입력에 따른 실시간 궤적을 분석하고 비행체의 자세를 분석하여 위험상황이 발생할 경우, 지상 추락 혹은 도심 건물 충돌 위험도 예측, 회피경로 생성 시뮬레이션

- 비행체 Fail-safe 시뮬레이션을 위해 비행체의 이상상황 조건(특정 추진시스템 오작동)의 조건에 대한 제어기 재구성 시뮬레이션, 비행체 안정성 회복 및 비상착륙 상황 검증

● UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술

– 복합소재를 적용한 내충격 착륙장치 스트럿 설계 및 제작 시험평가

- UAM 기체 착륙장치에 대한 충격하중 시뮬레이션을 통해 복합재 스트럿 설계요구도 확보

- 복합소재 충격하중 시험을 통해 적합한 복합소재 공정결정하고 착륙장치 구조물 시험을 통한 설계 적절성 검증

– 비행체 이송지원을 위한 전기시스템 통합 설계

- UAM 비행체의 중량 및 이송속도를 고려한 전기 택싱시스템 설계하고, 착륙장치와 통합하기 위한 최적화를 수행

■ 기체 경량화 제작기술 연구개발전략

● UAM 항공기 복합재·신소재 구조 및 제작 기술

– 열가소성 복합재 성형공정, 수지이동성형 기술

- 연구소와 산업계에서 열가소성 복합재 성형공정 및 수지이동성형 기술을 기개발하였으므로 UAM 기체 구조에 적용과 대량 성형공정 개발이 가능함

– 복합재 구조 신속 비파괴 검사 기술

- 학계와 연구소에서 복합재 시편, 구성품 단위 비파괴 검사 기술 개발하였으며, 해당 기술을 활용하여 일체형, 복합형상 복합재 구조 결함 탐지 및 진단 고도화 기술 개발

– UAM용 국산 탄소섬유, 중간재 개발 및 신뢰성 평가, DB구축

- 국내 산업계에서 T700급 고탄성 탄소섬유와 소형 항공기용 복합재를 개발하였으며 한국항공우주연구원에서는 NCAMP 방법에 의한 해당 복합재 데이터베이스 구축을 수행한 바 있음 해당 경험과 기술을 기반으로 UAM용 국산 탄소섬유, 중간재의 신뢰성 평가 및 DB구축 수행 가능

– UAM용 초경량 기체의 Low TCO & 고속성형공정 기술

- 산업계와 연구소에서 타 산업분야를 위해 저비용 고속 복합재 성형 기술 개발하여 UAM 체 구조에 맞게 적용한 Low TCO, 고속성형공정 개발 가능함

● 3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술

– 금속 3D 프린팅을 이용한 항공부품 제작 기술

- 한국항공우주연구원에서는 자체 연구를 통해 기존 착륙장치 부품의 경량화 설계 및 3D 프린팅 시제작을 통해 중량절감 효과를 확인한 바 있음
- 또한 일부 소재에 대한 시편시험을 수행하여 해외 사례와 유사한 결과를 확인하였음
- 항공부품 적용을 위해서는 요구도 설정부터 인증 단계까지 체계적 절차 이행이 필요하며, UAM용 기체구조 제작 시에는 국내 3D 프린팅 업체와의 협력을 통해 이를 수행할 계획임

– 3D 프린팅 기반의 경량최적설계 기술

- 한국항공우주연구원에서는 일반 위상최적화 및 Lattice 최적화 결과를 이용하여 착륙장치 부품 제작을 수행한 사례가 있음
- 최적화 과정에서 적층 제약조건 및 제작성 향상을 고려하기 위한 추가 연구가 필요하며, 3D 프린팅 Build simulation 결과와의 연계 등을 통해 해결할 수 있는 문제임
- 재료 소모량, 프린팅 시간, Support Structure 최소화 등을 설계과정에서 고려하여, 구조성능뿐 아니라 경제성을 높일 수 있도록 부품 설계를 추진함

– 3D 프린팅 공정 표준화 및 부품 성능평가 기술

- 국내의 경우 3D 프린팅의 비행부품 적용을 위한 공정 표준화 및 인증에 대한 연구가 미흡하며, UAM 기체 적용을 위해서는 관련 기술 개발이 필요함
- 시제작을 통해 최적의 공정 파라미터 도출 및 규격화를 수행하고, 기존 부품과의 비교 평가를 통해 실제 적용 가능성을 확인함
- 한국항공우주연구원은 기체구조 및 항공부품에 대한 다양한 시험평가 기술을 보유하고 있으며, 이를 기반으로 3D 프린팅 부품에 적합한 성능평가 기술 개발을 추진함

라. 기체구조 분야 기술로드맵

■ 기체구조 분야의 단계별 기술개발 목표

● UAM용 고신뢰성 기체 설계·제작 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 다분야 최적설계를 위한 기본 프레임웍 아키텍쳐 정의 및 최적설계 알고리즘 적용
- 10% 오차수준의 정확도 수준의 UAM 개별 해석 모듈 개발
- UAM 전기추진 시스템 모델링을 위한 근사모델링 개발
- UAM 착륙장치 스트럿 설계 및 완충효율 해석 및 시험평가

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- UAM 개별 해석 모듈 정확도 개선(오차수준 5% 정확도 확보) 및 해석 자동화를 위한 인터페이스 구축
- 개발된 해석모듈의 다분야 최적설계 프레임웍 적용 및 인공지능 기술 적용
- UAM 비행체 6자유도 운동방정식 모델 개발 및 HILS/PILS 개발
- UAM 착륙장치 전기이송시스템 통합 및 시험평가

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 인공지능 기반 최적설계 프레임웍을 적용한 UAM 통합 설계 및 해석
- 비행체 임무 구간 중 운용 시뮬레이션

● 기체 경량화 제작기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 기 개발된 복합재 성형공정, 제작, 시험평가 기법 등의 UAM 구조물의 대량 생산에 적용하기 위한 개선사항 도출
- UAM 기체 제작시 적층가공기술을 적용하기 위한 적용 대상 부품 식별 및 개발 요구도 수립

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- T700급 복합재 정도의 비강도, 비강성 물성 확보 및 물성 DB 구축
- 3D 프린팅 소재 물성 DB 구축 DB 구축

- 복합재성형 및 적층가공을 적용한 구조 최적설계 및 공정 개발

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- UAM 복잡형상 구조 결함 신속 탐지 및 진단 정확도 고도화
- 구조 최적설계 및 공정 개발을 통한 제작시간 단축 및 가공품 중량 절감을 통해 비행체 제작비용 절감

기체구조 분야 세부기술로드맵

〈표 Ⅵ-9〉 기체구조 분야 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM 고신뢰성 기체 설계·제작 기술	UAM 기체, 착륙장치 등 기계시스템 설계·제작 기술	복합소재를 적용한 내충격 착륙장치 스트럿 설계														
		복합소재 일체성형기술을 적용한 착륙장치 제작 및 시험														
		비행체 이송지원을 위한 전기시스템 통합 설계														
	차세대 UAM 해석·설계 및 제작 기술	UAM 형상모델개발 및 성능해석 기술														
		고정밀/고효율 항공기 공력 해석 기술														
		UAM 기체구조 최적화 및 날개 최적형상설계 기술														
		UAM 프롭/로터 공력 및 소음진동 해석 기술														
		외부교란에 대한 비행안정성 해석 기술														
	UAM 고신뢰도 비행시뮬레이션 기술	고성능 다중 모드 비행 제어를 위한 추진 시스템 모델링 및 제어 기술														
		UAM 임무조건에서 다중모드에서의 비행체의 6자유도 동역학 시뮬레이션 기술														
		UAM 비행안전을 위한 고정밀 비행시뮬레이션 기술														
	인공지능기반 UAM 다분야 통합 최적설계 프레임워크 개발	인공지능 기반 UAM 다분야 통합 최적설계 기술														
		다분야 해석을 위한 인공지능 기반 Data-Fusion 기술														
		SW 통합 프레임워크 및 DBMS 구축 기술														

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
기체 경량화 제작 기술	UAM용 항공기 복합재 구조 소재 및 제작 기술	열가소성 복합재 성형공정, 수지이동성형 기술					■	■	■	■	■	■	■			
		복합재 구조 신속 비파괴 검사 기술						■	■	■	■					
		UAM용 국산 탄소섬유, 중간재 개발 및 신뢰성 평가, DB구축					■	■	■	■	■					
		UAM용 초경량 기체의 Low TCO & 고속성형공정 기술						■	■	■	■	■	■	■		
	3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술	3D 프린팅(적층제조) 활용 기체구조 및 부품 제작 기술						■	■	■	■	■	■	■	■	■
		3D 프린팅 소재 및 물성 평가 기술							■	■	■	■	■			
		3D 프린팅 기반의 경량최적설계 기술							■	■	■					
		3D 프린팅 공정 표준화 및 부품 성능평가 기술							■	■	■	■	■	■		

3. 동력·추진시스템 분야 기술로드맵

가. 기술 정의 및 구성

■ 기술정의

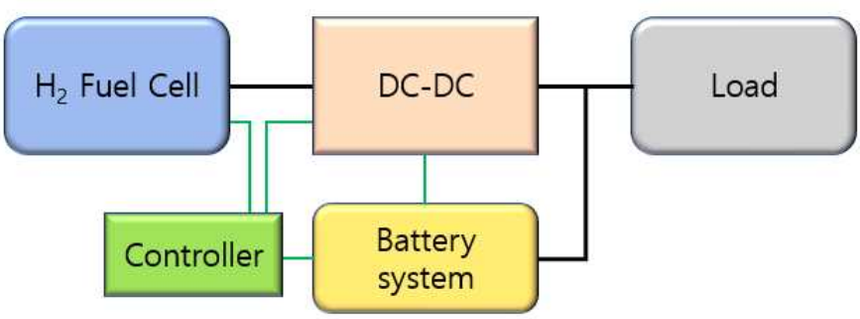
● UAM용 친환경 · 초경량 · 고성능 추진동력원

– **(UAM용 고성능 배터리팩 기술)** UAM용 경량 고성능 배터리팩 통합설계 및 제작 기술

- UAM 비행체의 운용환경을 고려한 배터리팩의 출력성능, 수명 등의 성능목표를 만족시키고, 비행체 운용시간 향상을 위한 배터리 팩 경량화 기술 개발
- UAM용 배터리팩의 안전성을 확보하기 위한 고신뢰도 배터리 방전특성 및 수명 예측기술 개발 및 통합 성능평가

– **(하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술)** UAM의 장시간 비행을 위한 추진 동력원으로써 수소연료전지와 배터리가 결합되어 상호 보완하는 전기동력 기술

- 이종 에너지원 제어 알고리즘 개발으로 추진동력에서 필요한 전력량 공급
- 배터리 충전은 수소 연료전지 전력망을 이용하여 충전 전력공급
- 초기 기동 및 긴급 고출력 대응을 위한 수소 연료전지 와 배터리 동력원 결합
- 추진동력 부하감소 시 에너지 회생을 통한 배터리 충전



[그림 Ⅵ-10] 수소연료전지/배터리 하이브리드 동력원 시스템 구조

● 도심 운항을 위한 전기추진 기술

– **(고밀도 배터리용 전기추진 기술)** 한국형 도심항공 교통 시스템의 요구조건에 부합하는 고출력 밀도의 배터리용 전기 추진 모터 형상 최적 설계 기술

- UAM의 전기동력 시스템 분석을 통한, 배터리 기반 저중량 고출력의 고밀도형 전기추진 모터 형상 최적 설계 기술

- 전기 추진 모터의 고속회전시 발생하는 구조진동과 고출력 운전시 발생하는 발열에 대응하기 위한 고속회전과 냉각을 고려한 최적 구조 설계
- 비행 시스템의 부하 구성을 고려하여 고밀도형 권선법을 적용한 모터의 출력밀도 향상 기술
- 기존 항공우주분야 시스템 개발 가이드라인과 형식증명·감항증명 만족을 위한 UAM용 고출력 모터 성능 및 신뢰도 평가기술

– **(초경량 고출력 전기동력 기반 추진 기술(수소연료전지 등))** 도심 운항에 적합한 초경량 고토크 모터. 차세대 전력반도체(SiC) 소자를 활용한 저전력·고효율·고용량 인버터 및 냉각기술 최적화를 통한 고출력 전기추진 시스템 개발 기술

- 복합소재 및 저전력·고효율·고용량의 차세대 전력반도체(SiC)을 활용한 인버터 및 모터를 포함한 도심운항용 초경량 고출력 전기추진 시스템 기술
- UAM 실 부하 및 MTOW를 고려한 영구자석형 동기모터(PMSM) 상세 손실 분석 기반의 냉각구조 최적화를 통한 고출력밀도 경량화 모터·인버터 시스템 기술
- 모터, 인버터, 배터리 통합 열관리 및 냉각구조 최적화 기술
- 초경량 고출력 전기동력 추진장치(시스템) 종합 성능을 평가하기 위한 지상통합 시험 RIG 개발 및 제작 기술
- 분산전기추진 시스템 통합설계, 감항증명을 만족하기 위한 지상통합 시험 및 성능·내구성 시험 평가 기술

기술구성

● UAM용 친환경 · 초경량 · 고성능 추진동력원

– UAM용 고성능 배터리팩 기술

- **(UAM 용 SOC/SOH 최적화 및 배터리 관리시스템 개발)** UAM 운용시나리오, 외부 환경 조건에 대한 SOC/SOH 정밀 예측 알고리즘 및 배터리 관리HW/SW 기술 개발, 배터리팩 안전관리 기술 및 냉각시스템 개발과 안전성 입증을 위한 시험평가
- **(배터리 패키징 및 소형화 기술)** UAM 적용에 적합한 배터리팩 경량화 구조설계 및 충격에 강건한 패키지 플랫폼 개발, 배터리팩 고 에너지 밀도 및 고출력(급속충전, 방전) 요구도 확보를 위한 차세대 배터리기술 적합성 분석

– 하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술

- **(하이브리드 전기추진시스템 아키텍처를 위한 시스템 모델링/해석)** UAM 비행체 하이브리드 전기추진시스템 아키텍처 모델링 기술 개발, 하이브리드 전기추진시스템 해석 및 요구 전기동력 산출 기법 개발

- **(하이브리드 전기추진시스템 통합 제어/냉각 시스템 및 전력관리 기술)** 통합 제어 전력관리 하드웨어 및 소프트웨어 기술 개발, 전력시스템 냉각 설계기술 개발
- **(하이브리드 전기추진시스템 건전성 예측 및 관리시스템)** 수소연료전지 및 배터리 데이터 취득 및 관리시스템 개발, AI 머신러닝 기술 적용 예지정비 시스템 개발
- **(하이브리드 전기추진시스템 성능 및 임무수행 모사시험 기술)** 하이브리드 전기추진 시스템 시뮬레이터 개발

● 도심 운항을 위한 전기추진 기술

– 고밀도 배터리용 전기추진 기술

- **(동력 추진 모터 최적 형상 설계)** UAM 프로파일링 형태 및 시스템 구성에 따른 동력 추진 모터 사양 분석 기술, 모터의 성능 향상을 위한 다목적 알고리즘 기반의 형상 최적 설계 기술
- **(고속회전 및 냉각을 고려한 최적 구조 설계)** 고속회전 추진모터의 전자계 성능과 회전자 응력 및 강성 간의 trade-off를 고려한 최적 설계, 다물리계 연성 해석을 기반 NVH 및 냉각을 고려한 추진 모터 최적 설계 기법 연구
- **(출력밀도 향상을 위한 고밀도 권선기술)** 모터의 공간 활용도를 극대화하는 고밀도형 신기술 권선 기법을 적용한 모터 설계 기술, 신소재 물질 특성 분석 및 권선 적용 기술 개발을 통한 동력 추진 모터의 출력밀도 향상 기술
- **(UAM용 고출력 모터 평가 기술)** 선진 협의체의 기능 안전표준 벤치마킹을 통한, 고출력 모터의 구동시스템 다물리계 해석 모델과 실험 모델 간 정합성 평가 및 불확도 산정 연구, 차량용 구동모터 규격과 감항증명 등을 인증 요건을 포함한 항공부품 규격 간의 비교 연구를 통한 구동모터 설계 신뢰도 평가 연구

– 초경량 고출력 전기동력 추진 기술(수소연료전지 등)

- **(고토크 경량형 모터 개발)** 구조적 공간 제약 하에서, FSCW·외전형·Axial Flux, Dual Stator Winding 등 출력 토크를 향상 시킬 수 있는 고토크형 모터 타입 및 토폴로지 연구개발, 경량형 고강성 소재 및 고속운전 저철손 강판 등의 고밀도 소재를 적용한 무게 저감을 통한 경량화 기술
- **(모터제어용 고효율 인버터 기술)** 고속 스위칭이 가능한 차세대 반도체 SiC 소재의 MOSFET Drivers를 적용한 고효율 인버터 설계 기술 및 고성능 센서리스 제어기술 연구 개발
- **(모터, 인버터, 배터리 통합 냉각구조 최적화 설계 기술)** 비출력 밀도 향상을 위한 냉각 효율 극대화를 위한 양면 냉각구조 설계 기술

- **(지상통합 시험 RIG 개발 및 제작)** 지상통합(모터 및 인버터, 배터리 핵심부품 연계 포함) 시험 환경 검토, 종합적 성능 평가가 가능한 RIG 설계, 실환경 모사 HIL 연계 평가기술 개발 및 제작 기술

- **(파워트레인 통합설계 및 시험평가)** 전기추진 시스템 통합설계 및 시스템 통합 성능·내구성 시험평가

〈표 Ⅵ-10〉 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
UAM용 친환경 · 초경량 · 고성능 추진동력원	UAM용 고성능 배터리팩 기술	• UAM 비행체의 운용을 위한 배터리팩의 경량화 소형화 요구도를 만족시키고 안전성을 확보하기 위한 고신뢰도 BMS 기술 확보 및 검증
	하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술	• UAM의 장시간 비행을 위한 추진 동력원으로 수소연료전지와 배터리가 결합되어 상호 보완하는 전기동력 기술 확보
도심운항을 위한 고효율 전기추진 시스템 기술	고밀도 배터리용 전기추진 기술	• 전자계 기반의 모터 특성 상세 분석 및 성능 향상을 위한 형상 최적설계,고밀도형/신소재 기반의 권선법을 적용한 출력밀도 향상, 고속회전 및 냉각을 고려한 최적 구조 설계, UAM용 고출력 모터 평가 기술
	초경량 고출력 전기동력 기반 추진 기술(수소연료전지 등)	• 토크 밀도를 향상 시킬 수 있는 신구조 토폴로지형 모터 개발, 고밀도형 소재를 적용한 모터의 무게 저감 기술 개발, SiC 소자를 이용한 고효율 인버터 기술, 지상통합 시험 RIG 개발 및 평가기술

나. 기술동향 분석

UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원 기술동향

UAM용 고성능 배터리팩 기술

– 리튬전지(LiB)는 현재까지 상용화된 2차전지 중 가장 에너지 밀도가 좋은 장점도 있으나, 과 충/방전으로 인한 화재가 발생할 가능성이 높아 냉각시스템, BMS 등 과 같은 안전 관리시스템이 필수적으로 요구됨

• 2013년 1월에 발생한 Boeing 787기의 리튬이온 배터리팩 사고의 경우, 배터리팩 내부의 셀의 과열로 발생한 전해질 누출로 인한 연쇄반응인 것으로 알려졌으며, 이를 해결하기 전까지 787기의 운항이 중지된바 있음

– UAM의 전기추진시스템은 엔진추진시스템에 비해 배기가스, 소음과 같은 환경문제에 대한 장점이 있기 때문에, UAM이 상업적으로 운용되기 위해서는 배터리의 경량화 및 소형화를 통해 높은 에너지 밀도를 확보해야함

• 현재 eVTOL 및 UAM 기체들의 배터리팩의 에너지 밀도 특성은 공개되어 있지 않으나, 비공식으로 추정된 결과는 다음과 같으며, 대체로 180~230 Wh/kg 내외임

〈표 Ⅵ-11〉 eVTOL 배터리팩 에너지 밀도(추정치)

대상	에너지 밀도(Wh/kg)	출처
Joby S-4	235	“Has Joby Cracked The Power Problem To Make Electric Air Taxis Work?”, Forbes, 2020. 11. 23
eHang 184	140	N. Polaczyk, et. al., “A Review of Current Technology and Research in Urban On-Demand Air Mobility Applications”, VFS 2019
Airbus Vahana A3	200	
Archer Maker	187	Archer Aviation Website (추정 75kWh/400)

– NASA 및 EU에서는 전기추진시스템의 광범위한 적용을 위해 상용화된 리튬전지를 비롯한 개발 중인 2차전지 기술을 포함하여 로드맵을 제시함

• NASA는 전기추진항공기의 탑승객 수 확대 및 순항거리 증가를 위한 배터리팩의 성능목표를 리튬전지를 비롯한 차세대 배터리(전고체전지, 리튬황, 리튬-에어 등) 기술을 고려하여 시기별로 제시함

• EU는 Batteries Europe 및 Battery 2030+ 로드맵을 통해 전기교통수단을 위한 주요 핵심 도전과제를 발굴하고, 2020 및 2030년에 대한 배터리팩의 주요 목표치를 제시함

TABLE 14: AIRBORNE TRANSPORT: BATTERY ELECTRIC OR HYBRID ELECTRIC AIRCRAFT WITH ENERGY BATTERY

Airborne transport: battery electric or hybrid electric aircraft with energy battery* Typical battery size: 250 to 1000 kWh					
KPI	Operating conditions	System/Pack/ Cell level	Unit	2020	2030
PERFORMANCE					
Cell/pack weight ratio (%)		Pack	%	70	80-90
Operating lifetime expectation		Pack	years		2
Charging time	Back 80% SoC		minutes		30
Gravimetric energy density (Wh/kg)	2C Discharge - 23 °C	Cell	Wh/kg		500-600
Cycle life (number of cycles)	80% DoD, 23 °C, 3 C charge, 1 C discharge	Cell	cycles	N/A	> 3,000
Hazard level**		Cell		N/A	< or = at 2
COST					
Cost		Cell	€/kWh	N/A	100-200
(€/kWh)		Pack	€/kWh	N/A	200-300
MARKET					
Typical market size	Source: Safran, Saft internal studies		GWh/year	N/A	1

*Typical use case: small-to-medium size conventional aircrafts, powered through a full electric or hybrid architecture
** EUCAR cell level safety performance

출처: "Batteries Europe – Strategic Research Agenda for Batteries 2020"

[그림 Ⅵ-11] Batteries Europe Roadmap (Airborne Transport)

● 하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술

– 두산 모빌리티 이노베이션은 2016년 말부터 드론용 연료전지파워팩을 개발해 왔으며, '19년 10월 공식 수소드론 제품 출시 (한국, 중국, 미국 시장 공동 출시)

• 두산 모빌리티 이노베이션은 연료전지 원천기술을 보유하고 있으며, 업체 최초 양산 설비를 구축하고 수소 공급 모델 구축도 완료함



출처: (주)두산모빌리티이노베이션

[그림 Ⅵ-12] 수소드론 및 비행체용 연료전지팩



출처: (주)두산모빌리티이노베이션

[그림 Ⅵ-13] 모빌리티용 연료전지팩

– Intelligent Energy 사는 1988년 설립된 연료전지 R&D 전문 회사로 분산발전용, 차량용, 가정용 연료전지를 개발하고 기술 Licensing 사업 중에 있음

• 자체 개발 드론 기체 모델 미 보유로, 기체 전문 제조회사에 자사 연료전지 모듈 판매하는 사업모델을 가지고 있음



출처: Intelligent Energy

[그림 Ⅵ-14] 수소드론

– 캐나다 Ballard사는 PEMFC 모듈/스택 개발 및 제조회사로 Telecom 및 지게차, Bus 등 사업영역에 집중하고 있음

• 비교적 고온 (45oC) 운용 가능하지만, 스택 중량이 타사대비 무거운 단점이 있음

〈표 Ⅵ-12〉 유인한공기용 연료전지 동향

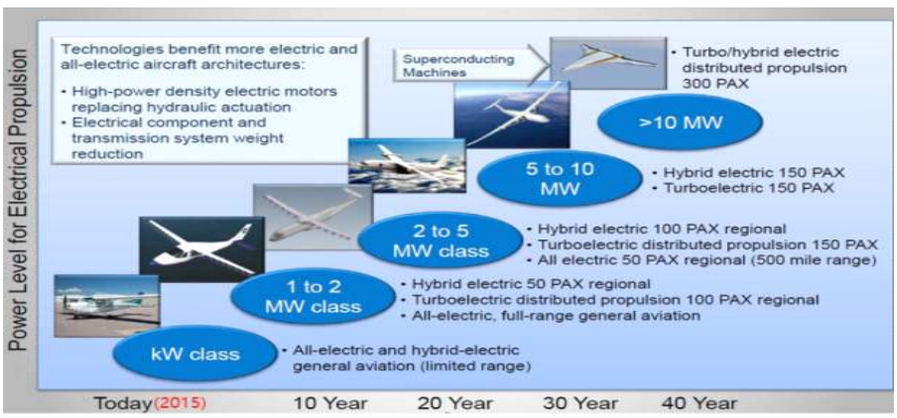
국가	기업	동향
대한민국	재료연구소	• 연료전지와 리튬이온 배터리의 하이브리드 시스템을 활용한 무인 항공기 개발 • 700W급 연료전지 시스템과 7셀의 리튬폴리머 전지를 동력원으로 활용 • 68km/h의 속도로 6시간 40분 동안 순항
미국	Boeing	• PEMFC와 리튬이온 배터리의 하이브리드시스템을 이용한 유인 소형 항공기를 개발 • 2008년 수소 연료전지로 발전한 전력과 배터리를 이용하여 1000m 고도까지 올라갔으며 순항 고도에서는 연료전지로 발전한 동력만으로 20분 동안의 순항비행 성공
미국	NASA	• ERAST(The Environmental Research Aircraft and Sensor Technology) 프로젝트를 통해 연료전지 추진 항공기를 개발 • 재생형 연료전지 시스템을 도입한 헬리오스(Helios)를 개발함 • 헬리오스는 낮 동안 태양전지 기반으로 추력을 얻고 밤에는 연료전지 기반으로 추력을 얻음
독일	Antares	• 연료전지 추진 유인 항공기 프로젝트를 통해 세계 최초로 연료전지 기술을 활용하여 추진한 유인 항공기 DLR-H2를 개발 • 수냉식 연료전지 시스템을 도입하였으며 각 11kW인 3개의 모듈로 구성 • 최대 비행시간은 5시간
유럽	Airbus	• CELINA 프로젝트를 통해서 항공용 연료전지를 개발 중 • 첫 번째 단계로 비상용 전원용도로 연료전지 시스템을 개발 • 단계적인 연구를 통해 향후 다기능 통합 시스템으로 발전시킬 계획

출처: 수소경제로드맵 1.0

도심 운항을 위한 전기추진 기술 기술동향

● 고밀도 배터리용 전기추진 기술

– NASA에서 발표한 전기항공기의 로드맵을 보면 배터리 무게와 탑승 인원에 따른 이륙 중량 문제로 인해 소형 항공기에는 순수 전기동력 추진시스템, 중대형 항공기에는 하이브리드 추진시스템을 적용하는 것을 기본으로 함



출처: 미국 항공우주국(NASA)

[그림 Ⅵ-15] 미국 항공우주국(NASA)의 항공기 전기추진 시스템 로드맵

– 에어버스는 덕트팬 2개에 30 kW급 전동기를 각각 장착하여 207 Wh/kg급 리튬이온 배터리를 167 kg 탑재하였음

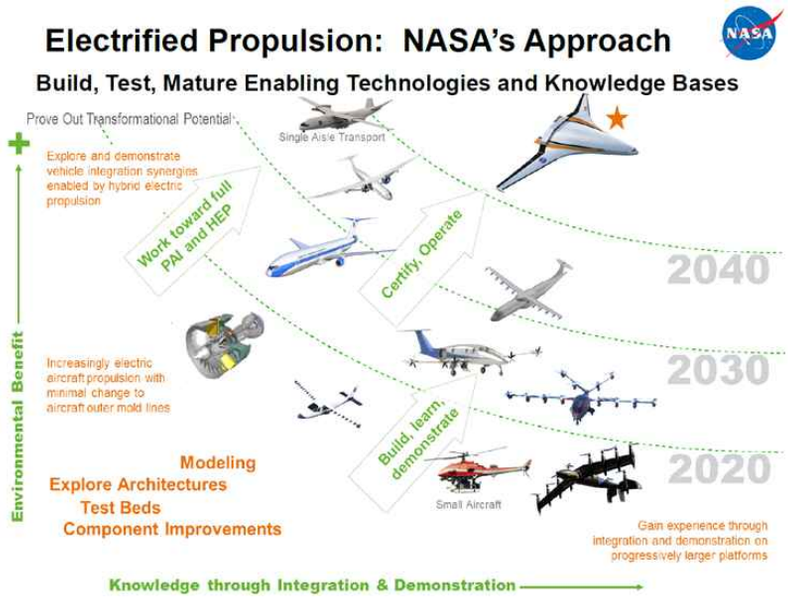
– 전기동력추진시스템을 탑재하여 비행시험까지 수행한 연구개발 결과들을 조사할 수 있으며, Eviation Aircraft사를 제외하면 2인승 경량 항공기를 대상으로 하고 있으며, 엔진으로 구동되던 기존의 비행기 동체에 전동기와 인버터, 배터리를 탑재하는 방식으로 시도하였음

모델명	 E-FAN 2.0	 ALPHA	 E-FUSION	 ALICE	 E-GENIUS	 EXTRA 330LE
제조사	Airbus	Pipistrel	Siemens	Eviation Aircraft	Stuttgart Univ.	Siemens
출력 (HP)	82 (61 kW)	68 (50 kW)	100 (75 kW)	350 (261 kW)	80 (60 kW)	349 (260 kW)
전동기 수	2	1	1	3	1	1
최고속도 (mile/h)	140	155	195	276	168	213
순항속도 (mile/h)	100	115	150	-	100	87
운항시간 (분)	45	60	60	60	150	20
날개 길이 (m)	9.4	10.5	8.3	15.2	16.8	11
동체 길이 (m)	6.4	6.5	6.7	12	8.1	7.5
탑승인원	2	2	2	11	2	2
최대이륙중량 (kg)	550	550	600	6070	950	600
기체무게 (kg)	167	350	410	-	180	410

출처: 제작사 카탈로그 등

[그림 Ⅵ-16] 전기동력 추진시스템 비행 시험 연구개발 결과

– 항공 분야에 전기동력추진시스템을 적용하는 연구는 이미 세계 각국에서 수행되고 있으며, 특히 독일의 지멘스와 미국 항공우주국(NASA) 등이 주도하고 있음



출처: NASA

[그림 Ⅵ-17] 미국 항공우주국(NASA)의 항공기 전기추진 시스템 로드맵

– Pipistrel사는 직경 1.65 m 프로펠러와 50kW급 전동기를 장착하였고, 프로펠러 회전수는 2100 ~ 2400 rpm으로 알려져 있음

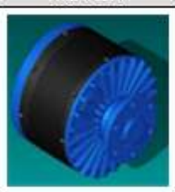
● 초경량 고출력 전기동력 추진 기술(수소연료전지 등)

– 지멘스는 75 kW급 전동기가 달린 하이브리드 모델(E-Fusion)과 260 kW급 전동기를 장착한 전동화 모델(EXTRA 330)에 대하여 비행시험을 완료하였으며, 특히 EXTRA 330에 탑재된 전동기는 무게가 50 kg으로 비출력(중량 대 출력비) 5 kW/kg을 상회할 정도로 매우 높음

– UAM에서 활용되고 있는 전기추진 구동모터에 대하여 각 회사 별 성능 지표로 다음과 같은 성능 및 사양을 가지고 있으며 고밀도, 고성능 구현을 위한 연구가 다수 진행 중에 있음

– 국내 자동차 회사인 H社의 EV용 구동모터의 최대 출력 밀도는 현재 3~4 kW/kg 수준이며, 국내외 항공 및 유인 드론 모터의 출력 밀도는 4~11 kW/kg 수준으로 항공용 전지추진 구동모터는 비교적 고출력밀도의 사양을 요구함

– 항공기용 전동기의 단기(2025년) 기술개발 방향은 출력밀도 7.5kW/kg, 30kW/L, 최대효율 93%이며, 장기(2035년이후) 기술개발 방향은 출력밀도 20kW/kg, 50kW/L, 최대효율 96%를 목표로 기술개발로드맵 수립됨

업 체		EMRAX	ROTEX	MAGicALL	SIEMENS	YASA
형 상						
모터 타입		PMSM (Axial flux)	BLDC (Outer rotor)	PMSM (Inner rotor)	BLDC (Inner rotor)	PMSM (Axial flux)
모 델		EMRAX268	REB90	75	SP260D	P400
중 량 (kg)		20~20.5	20	9~19.5	50	28.2
출 력 (kW)	Peak	230	80	75 (2 mins)	-	160
	Cont.	40~90/ 50~110	30	60	260	20~100
출력 밀도 (kW/kg)		11.2	4.0	5.45	5.2	6.7
토 크 (Nm)	Max	500	347	225	-	370
	Cont.	250	159	90	977	200
속 도 (RPM)	Max	4,500	2,200	5,000	2,500	8,000
	a few sec.	5,500	-	-	-	-

출처: 제작사 카탈로그

[그림 Ⅵ-18] 항공용 전기추진 구동모터

- 고정자 권선 최적화 설계, 절연구조 개발, 희토류 저감 설계, 듀얼 모터구조, 다양한 신구조 형상 모터 개발, 강건구조 설계 개발 등의 기술개발을 통하여 항공기용 전동기의 고효율화 및 고출력밀도화 실현 계획을 수립하고 있음

- 생산 및 제조 공법의 발전으로 모터의 출력 성능에 주요한 영향을 끼치는 고정자 권선의 점적률을 극대화하는 기술이 개발되고 있음 슬롯 면적의 50% 이상까지 점적률을 향상시킨 2세대의 평각동선 및 헤어핀 권선법에 이어, 점적률을 80% 이상 구현 가능한 MSO 기술이 개발되어 주목을 받고 있음

- 항공기용 인버터의 단기(2025년) 기술개발 방향은 출력밀도 10kW/kg, 15kW/L, 최대효율 97%이며, 장기(2035년이후) 기술개발 방향은 출력밀도 25kW/kg, 45kW/L, 최대효율 98%를 목표로 기술개발 로드맵 수립됨

- 차세대 전력반도체인 WBG 전력반도체를 적용한 인버터 시스템 개발, 인버터 부품들(필터, 파워 모듈, 회로 등)의 일체화 기술개발, 절연구조 개발, 고장진단 및 대응 알고리즘 개발, 고신뢰성 인버터 개발 등의 기술개발을 통하여 항공기용 인버터의 고효율화 및 고출력밀도화 실현 계획을 수립하고 있음

- 현재 Si 기반의 IGBT 소자는 이론치 한계에 근접하였기에 차세대 소자인 SiC를 통한 기술개발이 활발하게 연구되고 있음 일본 미쓰비시는 SiC 전력반도체를 사용한 인버터를 사용함으로써 30%의 에너지 절감과 더불어 인버터 크기를 65% 줄임



출처: 미쓰비시

[그림 Ⅵ-19] 미쓰비시 전기의 SiC 인버터

- 델파이의 800[V] 인버터는 SiC MOSFET 사용 및 중심부에 양면 냉각 기능 등이 고도로 통합된 바이퍼(Viper)전원 스위치를 통해 경쟁사의 인버터보다 무게 40%, 크기 30% 줄임



출처: 델파이

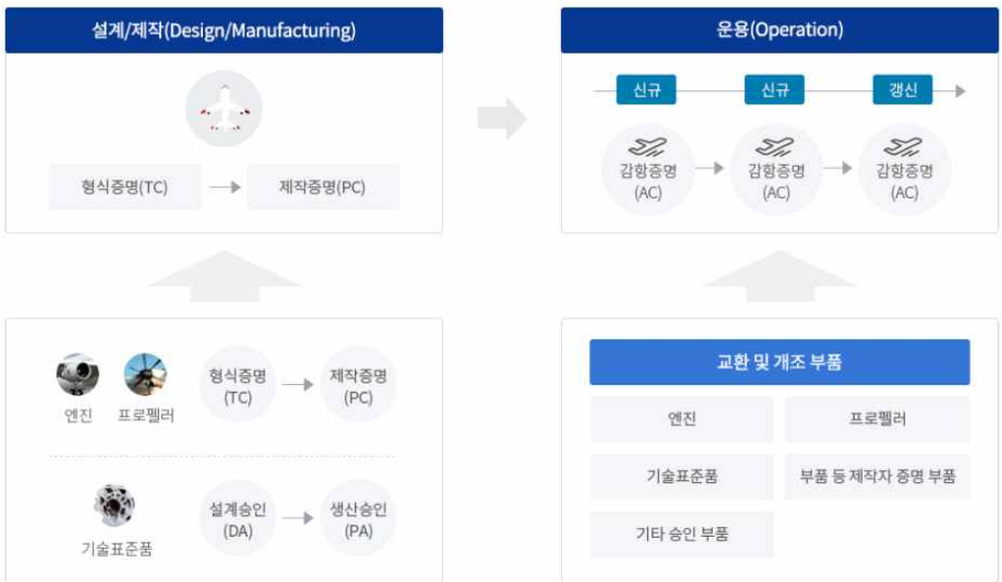
[그림 Ⅵ-20] 인버터 델파이 800[V] 인버터 및 양면 냉각 기능을 결합한 바이퍼 전원 스위치

- Sic 반도체 소자 적용을 통한 손실 최소화 및 인버터 소형화 기술은 IGBT 대비 스위칭 시 발생하는 불필요한 전력 에너지 손실을 대폭 감소시킴으로써 저저항, 모듈 소형화, 고속 동작, 주변 부품 소형화, 고온 동작, 냉각 기구의 간소화가 가능함

- 고출력의 직접 구동형 전동기 및 드라이버 설계 기술이 요구되며 UAM에서는 특히 모터 일체형 Ultra-high Power Density 인버터 기술이 필수적임

- 기존에는 단면 냉각 구조에서 보다 더 Compact한 파워 모듈 적용을 통해 출력밀도를 향상시킨데 반하여 향후에는 양면냉각 시스템 및 냉각장치 추가 장착 필요

- 항공기의 핵심부품은 국토교통부 및 항공 관련 기관들의 형식에 따라 항공기의 운항 안전성을 확인받아야 하며, 항공기용 모터의 부품 인증을 고려한 모터 평가 기술이 개발 준비되고 있음 연구개발 단계에서 HIL 평가 환경 구축을 통한 종합환경 평가 필요



출처: 항공안전기술원

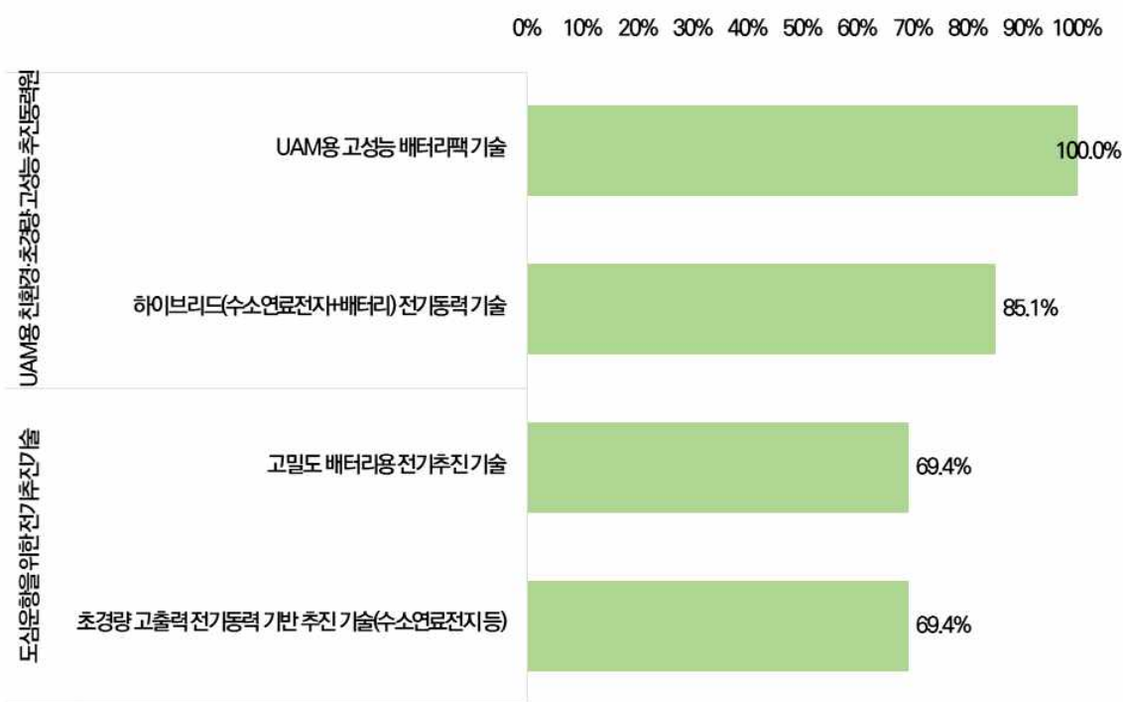
[그림 Ⅵ-21] 항공기 인증

다. 기술수준 및 연구개발전략

■ 동력·추진시스템 분야 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 동력·추진시스템 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 추진동력원 관련 기술은 세계적인 수준이나 전기추진 기술수준은 상대적으로 높지 않음



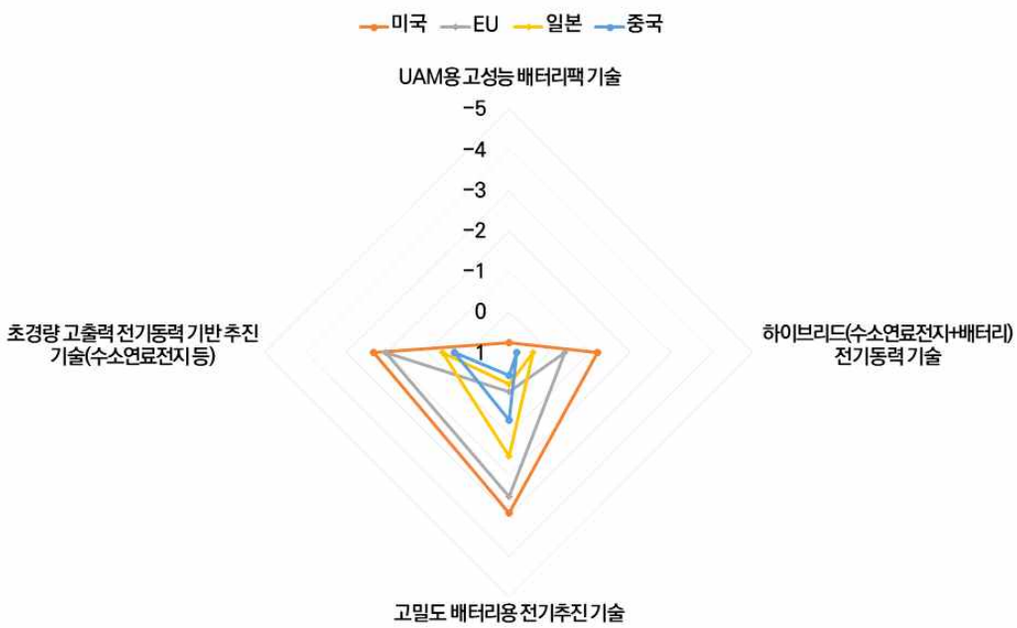
[그림 Ⅵ-22] 동력·추진시스템 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 동력·추진시스템 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

– UAM용 고성능 배터리팩 기술은 세계 최고수준이며, 그 외 기술은 미국, 유럽과는 2년 내외, 일본, 중국과는 1-2년 내외의 기술격차가 나타남

〈표 Ⅵ-13〉 동력·추진시스템 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원	UAM용 고성능 배터리팩 기술	0.75	1.95	1.75	1.55
	하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술	-1.19	-0.39	0.41	0.81
도심운항을 위한 전기추진기술	고밀도 배터리용 전기추진 기술	-2.95	-2.55	-1.55	-0.65
	초경량 고출력 전기동력 기반 추진 기술(수소연료전지 등)	-2.33	-2.03	-0.63	-0.33



[그림 Ⅵ-23] 동력·추진시스템 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 동력·추진시스템 분야 국내 산업역량

– 동력·추진시스템 분야의 모든 기술은 독자생산이 가능한 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-14〉 동력·추진 시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원	UAM용 고성능 배터리팩 기술	LV 3(독자생산)
	하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술	LV 3(독자생산)
도심운항을 위한 전기추진기술	고밀도 배터리용 전기추진 기술	LV 3(독자생산)
	초경량 고출력 전기동력 기반 추진 기술(수소연료전지 등)	LV 3(독자생산)

● 동력·추진시스템 분야 국내 기술개발 역량

– 모든 기술이 연구수행 중이며, 하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술과 고밀도 배터리용 전기추진 기술은 상용화 연구수행 중인 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-15〉 동력·추진 시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

중점기술	세부기술	국내기술개발 역량
UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원	UAM용 고성능 배터리팩 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술	LV 4(기초/응용/상용화연구수행)
도심운항을 위한 전기추진기술	고밀도 배터리용 전기추진 기술	LV 4(기초/응용/상용화연구수행)
	초경량 고출력 전기동력 기반 추진 기술(수소연료전지 등)	LV 2(기초연구수행)

UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원 연구개발전략

● UAM용 고성능 배터리팩 기술

– 배터리 패키징 및 소형화 기술

- 국내 배터리 셀 제조업의 기술적인 역량은 충분한 상태이므로, 기 개발된 ESS, 전기자동차 등의 기술을 UAM으로 확장하는 방향으로 개발이 필요
- UAM 기체프레임 내부에 배터리팩을 탑재하고 착륙 시의 발생할 수 있는 낙하충격에도 강건하게 견디기 위한 패키징 플랫폼을 개발하기 위한 배터리 팩 설계 기술 개발
- UAM 비행시간 향상을 위한 배터리의 소형화, 경량화를 위한 다양한 차세대 배터리 기술 적용 검토가 필요함

– UAM용 SOC/SOH 최적화 및 배터리 관리시스템 개발

- UAM의 경우, 기존 전기자동차와는 달리 비행 중 방전량이 많고, 또한 비행체 회송을 위한 충전시간 역시 짧기 때문에 배터리의 상태 및 수명을 정밀하게 예측하고, 비행 중 배터리팩의 안전성 확보를 위한 시스템 및 성능시험 평가 기술을 중점적으로 개발 해야됨

● 하이브리드(수소연료전지+배터리) 전기동력 기술

– 하이브리드 전기추진시스템 아키텍처를 위한 시스템 모델링/해석

- UAM의 특성상 무게대비 출력이 높은 전기동력 추진 시스템이 필요하기 때문에 수소연료전지가 부합하는 기술이며, 연료전지의 출력 응답 특성이 느리기 때문에 배터리와 하이브리드로 구성하여 UAM에 최적의 동력 기술개발이 필요함
- UAM 비행체 하이브리드 전기추진시스템 아키텍처 모델링 및 하이브리드 전기추진시스템 해석 및 요구 전기동력 산출 기법 개발 필요

– 하이브리드 전기추진시스템 통합 제어/냉각 시스템 및 전력관리 기술

- 통합 제어 전력관리 하드웨어 및 소프트웨어 및 전력시스템 냉각 설계기술 개발 필요

– 하이브리드 전기추진시스템 건전성 예측 및 관리시스템

- 수소연료전지 및 배터리 데이터 취득 및 관리시스템 및 AI 머신러닝 기술 적용 예지정비 시스템 개발 필요

– 하이브리드 전기추진시스템 성능 및 임무수행 모사시험 기술

- 하이브리드 전기추진시스템 시뮬레이터 개발 필요

도심운항을 위한 전기추진기술 연구개발전략

● 고밀도 배터리용 전기추진 기술

– 동력 추진 모터 최적 형상 설계

- 전기자동차와 같은 다양한 변수를 가지는 교통 시스템에서 운전 형태를 기반으로 단편적인 운전점이 아닌 영역 단위의 출력 성능을 사양화하고 모터의 토크, 토크리플 뿐만 아니라 효율 분포 및 사이즈 기반의 출력밀도 기준을 목표로 하는 설계 사양 정립 기술이 적용되고 있음
- 모터의 전자계 출력 특성과 기계적 특성(강도·강성)을 해석하여 설계 안정성을 분석하는 연구가 다수 진행되었으며, 전자기력에 의한 가진력 분포와 그에 따른 NVH 특성에 대한 해석 및 개선 방안을 제시하는 연구가 수행되고 있음
- 모터의 특성을 고려한 형상 변수를 최적화하는 알고리즘 개발 및 최적 설계 기술이 발전하고 있으며, 해당 기술들을 UAM 시스템에 적용한 동력 추진 모터 최적 형상 설계 기술 개발이 가능

– 고속회전 및 냉각을 고려한 최적 구조 설계

- 기체 최적 설계 공간의 정의 및 기체 시스템 MDAO 설계에 사용될 추진모터 성능 데이터베이스는 드론용 구동모터, 고정익 전기추진 모터 등으로 제한적
- Jobi Aviation과 NASA GRC는 고정익용 SCEPTOR 개발 과정에서 외전형, 내전형, Dual Rotor의 추진 모터 전자계 해석과 CFD를 이용한 개념설계를 통해 구동모터 냉각 성능을 분석
- 기존 차량용 구동모터에 비해 높은 중량 대비 출력밀도 등을 요구함에 따라 다물리계 연성 해석을 통해 열적 조건 등 설계 제한조건 별 구동모터 데이터 베이스 확보 필요
- Volocopter, Rolls Royce, Jaguar Land Rover는 전자계-기계계-음향계 주파수 도메인 연성 해석을 통해 방사계 소음 저감 등 프로펠러 및 팬과의 공진 회피 방안 연구개발
- 기계 Motion 시뮬레이션을 통해 시간 도메인 NVH 모델링 기술 연구 필요

– 출력밀도 향상을 위한 고밀도 권선 기술

- 권선 공간 활용도를 높이는 평각동선 및 헤어핀, Maximum Slot Occupation (MSO) 등 고밀도형 권선 기술의 제작 및 적용 방안이 기개발 되었으며, 권선 도체의 교류 동손에 대한 상세 손실 분석 및 도체 분할 및 최적 배치 기술에 대한 연구가 진행
- 다양한 방면에서 연구개발되고 있는 신소재에 대한 특성 분석 및 기기 적용 방안과 시스템 특성 변화에 대한 기술이 발전 중이며, 해당 권선 기술들을 활용한 UAM용 전기 추진 모터의 출력밀도 향상 기술 연구개발이 필요

– UAM용 고출력 모터 평가 기술

- 전기동력 자동차용 인버터 구동형 전동기 개별효율시험(KS R 1203), KS R1183, KS R 1181의 규격을 기반으로, 한국자동차연구원은 모터·인버터 기본성능평가와 실험적 구동시스템 모델 확보를 통해 다중 모터 기반 전기구동장치 실차모사 성능(Quality) 평가 기술 확보
- 항공기의 형식증명 및 감항증명 시, 신뢰도 평가를 위해 정량적인 신뢰도 목표 수립 및 신뢰성 검증기술 체계화 필요

● 초경량 고출력 전기동력 추진 기술(수소연료전지 등)

– 고토크 경량형 모터 개발

- UAM 추진을 위한 신구조 토폴로지를 적용한 경량형 모터 개발이 필요하며, 이를 위한 신기술 권선법 적용, 고강성 저철손 강판 기술, 고밀도형 최적설계 기술 등이 필요함 아울러, 다극 형태의 고토크형 모터에서 요구되는 높은 스위칭 주파수에 따른 SiC 전력반도체를 적용한 고전압형 제어시스템 기술과의 통합 설계기술이 필요
- 현실적인 UAM 전기추진 시스템 개발을 위해 단기(2025년) 출력밀도 5.0kW/kg, 최대효율 93%, 중기(2030년) 출력밀도 8.22kW/kg, 최대효율 96%, 장기(2035년) 중기목표 초과 당성을 목표로 연구개발 전략을 수립

– 모터제어용 고효율 인버터 기술

- 저전력·고효율·고용량의 차세대 전력반도체(SiC)을 활용한 MOSFET과 양면 냉각 기능을 갖춘 고전압 인버터는 기존보다 무게 40%, 크기 30% 줄일 수 있는 장점이 있어, UAM 전기추진 시스템에 적합하여 기술 개발이 추진됨
- 현실적인 항공기용 인버터 개발을 위해 단기(2025년) 최대효율 96%, 중기(2030년) 최대효율 98%, 장기(2035년) 98% 초과를 목표로 연구개발 전략을 수립

– 모터, 인버터, 배터리 통합 냉각구조 최적화 설계 기술

- 비출력 밀도 향상을 위해, 열원 Source와 열전달 과정의 전산해석과 CFD를 이용한 통합 냉각구조의 냉각 성능 분석 및 냉각 효율이 우수한 최적의 형상 설계 필요

– 지상통합 시험 RIG 개발 및 제작

- 배터리 또는 수소연료 전지 기반의 UAM 지상통합시험을 위한 설비는 부재하기 때문에, UAM 지상통합(모터/인버터, 배터리) 시험이 가능한 시험 방법 및 전략 수립에 따라 RIG 개발과 제작이 필요
- 시험 환경 분석, 종합적 성능 평가가 가능한 RIG 설계, 실환경 모사 HIL 연계 평가 기술 개발 및 제작기술이 필요

– 도심운항 전기추진 파워트레인 통합설계 및 시험평가

- 지상통합 시험 RIG 개발을 통해 냉각 효율이 고려된 최적의 파워트레인 통합설계 반영 및 실 운용 환경과 부하 조건을 고려한 시험평가 진행이 필요

라. 동력·추진시스템 분야 기술로드맵

■ 동력·추진시스템의 단계별 기술개발 목표

● (UAM용 친환경 · 초경량 · 고성능 추진동력원)

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- **(UAM용 고성능 배터리팩 기술)** 배터리 팩 에너지밀도 250 Wh/kg 이상 확보, 배터리 방전 요구도 8C 만족
- **(하이브리드 (수소연료전지+배터리) 전기동력 기술)** 수소 1kg 당 10kWh 이상의 수소 연료전지 출력 성능 확보, 배터리만으로 5분 비상 비행 가능하도록 배터리 성능 확보, 연료전지 출력 성능으로만 UAM이 호버링 가능하도록 전력 설계 및 제어, 15m/s 수준의 돌풍에서도 자세를 유지할 수 있는 출력 제어가 가능한 하이브리드 시스템 구성

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- **(UAM용 고성능 배터리팩 기술)** 배터리 팩 에너지밀도 450 Wh/kg 이상 확보, 배터리 팩 BMS 성능 추정 정밀도 5%
- **(하이브리드 (수소연료전지+배터리) 전기동력 기술)** 하이브리드 전기추진시스템 통합 제어/냉각 시스템 및 전력관리 기술과 하이브리드 전기추진시스템 건전성 예측 및 관리시스템 개발

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- **(UAM용 고성능 배터리팩 기술)** UAM 배터리 팩 안전성 입증을 위한 성능시험 수행

● (도심운항을 위한 전기추진기술)

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- **(고밀도 배터리용 전기추진기술)** 모터 출력밀도 4.0kW/kg, 최대효율 92%
- **(초경량 고출력 전기동력 기반 추진기술(수소연료전지 등)** 모터 출력밀도 5.0kW/kg, 최대효율 93%, 인버터 최대 효율 96%

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- **(고밀도 배터리용 전기추진기술)** 모터 출력밀도 7.0kW/kg, 최대효율 94%
- **(초경량 고출력 전기동력 기반 추진기술(수소연료전지 등)** 모터 출력밀도 8.22kW/kg, 최대효율 96%, 인버터 최대 효율 98%

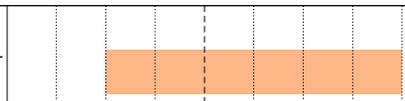
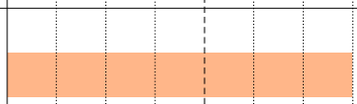
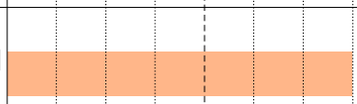
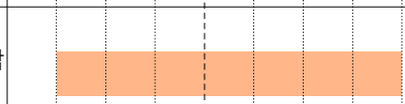
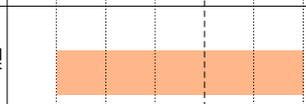
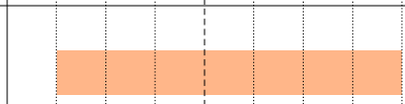
– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- **(고밀도 배터리용 전기추진기술)** 모터 출력밀도 7.0kW/kg 이상, 최대효율 94% 이상
- **(초경량 고출력 전기동력 기반 추진기술(수소연료전지 등)** 모터 출력밀도 8.22kW/kg 이상, 최대효율 96% 이상, 인버터 최대 효율 98% 이상

동력·추진시스템 분야 세부기술로드맵

〈표 Ⅵ-16〉 동력·추진시스템 분야 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM용 친환경·초경량·고성능 추진동력원	UAM용 고성능 배터리팩 기술	BMS 모듈 설계 기술														
		SOC/SOH 최적화 기술														
		배터리 패키징 및 소형화 기술														
	하이브리드 (수소연료전지+배터리) 전기동력 기술	하이브리드 전기추진시스템 아키텍처를 위한 시스템 모델링/해석														
		하이브리드 전기추진시스템 통합 제어/냉각 시스템 및 전력관리 기술														
		하이브리드 전기추진시스템 건전성 예측 및 관리시스템														
		하이브리드 전기추진시스템 성능 및 임무수행 모사시험 기술														
도심운항을 위한 전기추진기술	고밀도 배터리용 전기추진 기술	동력 추진 모터 최적 형상 설계														
		고속회전 및 냉각을 고려한 최적 구조 설계														
		출력밀도 향상을 위한 고밀도 권선기술														

		UAM용 고출력 모터 평가 기술	
	초경량 고출력 전기동력 기반 추진기술 (수소연료전지 등)	고토크 경량형 모터 개발	
		모터제어용 고효율 인버터 기술	
		모터, 인버터, 배터리 통합 냉각 기술	
		자상통합 시험 RIG 개발 및 제작	
		파워트레인 통합설계 및 시험평가	

4. 기계·전기전자 시스템 분야 기술로드맵

가. 기술 정의 및 구성

■ 기술정의

● 승객 운항안전성 확보기술

– **(UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계기술)** 도심 내 저고도 운항 및 수직 이착륙 운용 특성을 갖는 UAM의 내추락 안전성 향상을 위한 생존 가능 충돌환경조건의 수립과 생존 가능 충돌환경에서 탑승자의 생존성 극대화를 위한 UAM용 좌석 및 동체 구조물 설계, 해석, 시험평가 기술

- UAM 비행체가 비정상적인 Hard landing 상황에서 낙하 및 충돌 충격으로 인한 승객의 안전성을 확보하고 전기추진 동력원 보호과 동체의 파손 최소화를 위한 좌석 및 동체하부 구조물 설계 기술
- 충돌 충격 상황시 복합재 구조물의 파손을 예측하고, 내추락성을 확보하기 위한 최적화 기법 및 시험평가 기술

– **(UAM 비상낙하산 시스템)** 도심 내 저고도 운항을 하는 UAM의 위급상황 발생시 승객생명 보호 및 도심주변 지역 피해 예방을 위한 비상낙하산 및 완충장치 탑재장치 및 전개, 제어시스템 개발, 시험평가 기술

- UAM 비행체의 수직낙하 상황 등의 위험상황에 대응하기 위한 비상낙하산 및 완충 시스템 요구도를 분석하고 개발
- 해당 안전장치를 탑재하기 위한 전개 및 제어시스템 개발과 성능시험평가 기술

● 기체 안전장치 설계 기술

– **(UAM 상태정보 관리·건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자 시스템 기술)** UAM 기체의 이상상태 원인을 식별하고 비행중 이상상태 감지 및 예측하는 기술 개발

- UAM 비행체 운용시의 외부 환경 및 기체상태 정보데이터 획득 및 저장/전달 관리 장치 개발 및 정상운용 및 비정상 운용상황에 대한 데이터 획득

– **(All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지 장치 해석·설계 기술)** 저온 도심환경에서 비행하는 UAM의 기체표면에 과냉각된 물방울이나 눈이 부착되는 상황을 예측하기 위한 위험도 추정기술

- UAM의 날개 및 동체의 결빙/착설에 의한 외형 변화 해석과 이로 인한 비행체의 성능저하를 예측

- 결빙/착설 제거 및 방지 장치 개발

– **(All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계 기술)** 낙뢰 현상 예측을 위한 도심환경 낙뢰기상예보 모델 및 UAM 기체표면 낙뢰 피격 위험도 예측기법

- 낙뢰 피격에 의한 복합재 구조물 및 전기계통 손상을 분석하기 위한 시험 및 전산해석 기술 개발하고, 낙뢰피격에 대비하기 위한 낙뢰보호장치 개발

기술구성

● 승객 운항안전성 확보기술

– UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계기술

- **(충돌 충격 완화를 위한 좌석 및 동체 구조물 설계 기술)** 충돌에너지 흡수를 위한 복합재 구조물 설계 및 탑승객 부상 방지를 위한 좌석 설계

- **(복합재 파손 거동 정밀 예측 및 충돌과 내추락 성능 최적화 기법)** 경량 복합재 동체 UAM 구조물의 충돌 충격 보완을 위한 파손 거동 예측과 내추락성능을 확보하면서도 경량화를 확보하기 위한 구조 설계 기술개발

- **(충돌환경 구현 및 생존가능성 검증을 위한 시험평가)** UAM 기체의 수직낙하상황을 모사하기 위한 구조물 제작 충돌모사 시험장치를 개발하고 95th perctentile 탑승자 생존가능 시험평가

– UAM 비상낙하산 시스템

- **(비상낙하산 및 완충장치 탑재 및 전개를 위한 탑재장치 설계)** 비상 낙하산 전개시 UAM 동체, 로터, 프로펠러 간섭 최소화 및 비행체 안정성 확보하기 위한 위치 선정 및 형상설계, 낙하충격 절감 및 승객 부상 최소화를 위한 완충장치 탑재 위치 최적화

- **(비상낙하산 및 완충장치 전개 및 제어시스템 제작, 성능 시험평가)** 낙하산 및 완충장치 전개 시스템 개발 및 위급상황시 자동 작동을 위한 제어시스템 개발, 낙하충돌시험을 통한 낙하산 전개 및 완충장치 정상작동 검증을 위한 시험평가

● 기체 안전장치 설계 기술

– All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지 장치 해석·설계 기술

- **(결빙 운용조건 수립을 위한 UAM 체계 결빙/착설 예측 기술)** 저온환경에서 결빙/착설 발생 현상을 예측하고 비행체의 결빙/착설 위치 및 형상을 모델링 및 발달과정을 예측하기 위한 전산해석 기술

- **(결빙/착설 방지 및 제거장치 (Ice/snow protection system) 성능 해석 기술)** 결빙/착설 방지 및 제거장치 방식에 따른 표면 형상 변화 및 열전달에 의한 유동장 변화에 따른 공력성능을 예측하고 소모에너지를 고려한 성능해석 해석 기술 개발

- **(저전력/고효율의 결빙/착설 방지 장치(ice/snow protection system) 개발)** 결빙/착설 방지 및 에너지 소모 최적화를 달성하기 위한 결빙/착설 방지 시스템 개발,

– All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계 기술

- **(도심기상환경 낙뢰예보 및 UAM 기체 낙뢰피격 취약지역 예측 기술 개발)** 도심환경 낙뢰예보를 위한 도심환경 기상모델링 개발, 다양한 UAM 비행체 형상에 대한 낙뢰 피격 취약 지역 식별을 위한 전산시뮬레이션 기술 개발

- **(낙뢰 피격으로 인한 영향성 분석, 낙뢰 보호장치 개발)** 전기/열/구조 등의 다분야 전산시뮬레이션을 적용한 낙뢰 피격에 따른 복합재 재질의 파손 및 전기계통(Wire-Harness/모터/배터리 등) 의 손상 예측, 전기계통 이상 작동 및 복합재 동체파손 보호를 위한 낙뢰보호장치 개발

– UAM 상태정보 관리 · 건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자 시스템 기술

- **(UAM 외부환경 정보 및 기체 상태정보 전달저장관리 기술)** UAM 운용시의 외부환경 정보(기상, 항법) 및 기체 상태정보(추진시스템 상태, 기체 위치 및 자세)를 획득하기 위한 센서데이터 저장 및 전송장치 개발, UAM 기체 상태진단 데이터 확보를 실제 운용데이터 및 가상환경 시뮬레이터데이터를 적용한 정상 및 비정상 상태에 대한 상태정보 DB 구축

- **(UAM 건전성 분석 및 이상상황 감지기술)** UAM 상태정보 빅데이터를 활용하여 UAM 기체의 이상상태 원인을 식별하고 시계열 데이터를 적용하여 이상상태 발생 이전에 예측하여 건전성 분석 시스템 개발

〈표 Ⅵ-17〉 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
승객 운항안전성 확보기술	UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계기술	• UAM 비행체가 비정상적인 낙하 및 충돌 충격상황에서도 승객의 안전성을 확보하기 위한 구조물 설계 및 시험평가 기술
	UAM 비상낙하산 시스템 개발	• UAM 비행체 위험상황에 대응하기 위한 비상낙하산 및 완충시스템 개발을 통해 승객 생명보호
기체 안전장치 설계 기술	All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지 장치 해석·설계 기술	• 결빙 및 착설 상황에서 비행체의 비행안전성을 도모하기 위한 결빙/착설 방지 장치 기술 개발
	All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계 기술	• 낙뢰 피격시 비행체의 파손으로 인한 기체 고장 및 추락을 방지하기 위한 낙뢰 보호장치 기술 개발
	UAM 상태정보 관리 · 건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자 시스템 기술	• UAM 상태 정보 빅데이터 구축 및 빅데이터를 이용한 사고원인 분석 및 건전성 예측 기술 개발

나. 기술동향 분석

■ 승객 운항안전성 확보기술

● UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계기술

– FAA는 eVTOL 은 기존 Part 23 및 27급의 비행체와 다른 운동특성(착륙시 날개의 양력 존재 유무(Part 23) 및 Auto-rotation (Part 27))으로 인해 Emergency Landing Vector 적용시 검토가 필요하다고 언급하고, 기체(Airframe) 설계 시 충격흡수 구조 및 탑승자 안전을 위한 좌석설계의 필요성을 제시[34]

● UAM 비상낙하산 시스템

– BRS Aerospace 사는 3.5톤 이하급의 소형항공기를 위한 낙하산을 개발하고 이를 세스나 기체(162/172/182)에 적용한 바 있고 해당 낙하산 전개할 경우, 1000~1500 fpm 속도로 하강한다고 알려짐

– NASA LaRC에서는 MD-500 동체하부에 DEA(Deployable Energy Absorbing) 구조를 부착한 후 낙하시험을 수행(수직방향 최대가속도 15g)하고 충격이후 동체의 주요 구조물에는 손상이 거의 없음을 확인함



출처: (좌) BRS Aerospace, (우) J. Littell, “A Comparative Analysis of Two Full?Scale MD?500 Helicopter Crash Tests”, 2011

[그림 Ⅵ-24] UAM 비상낙하산 및 완충장치 시스템 개발

■ 기체 안전장치 설계 기술

● UAM 상태정보 관리·건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자 시스템 기술

– NTSB 보잉 Pegasus PAV 프로토타입의 시험비행중 발생한 추락사고 분석보고서에 따르면, 비행중 기체에서 발생한 공진으로 인해 제어기의 이상작동으로 모터작동을 정지시킨 것이 원인으로 결론을 내림

– 인공지능 기술을 적용하여 비행데이터로부터 이상징후를 식별하는 연구가 진행 중

34) eVTOL Crashworthiness Workshop #2, 2020. 10)

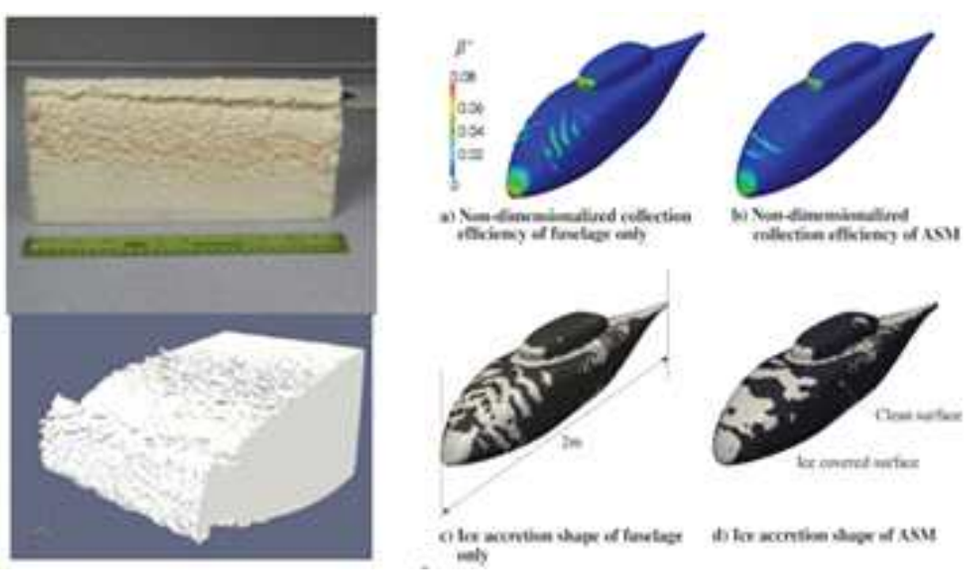
- 인공신경망을 적용하여 프로펠러의 발생 소음 데이터를 바탕으로 프로펠러 이상유무를 예측 연구 수행[35)]
- 실제 학습데이터를 바탕으로 CNN 및 LSTM 적용하여 이상징후 예측시스템을 개발하고 시뮬레이션 환경과 실험데이터로 검증 연구 수행[36)]

● All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지 장치 해석·설계 기술

– FAA는 저온 기상환경에서 비가시권(BVLOS)으로 무인기를 운용할 경우 발생할 수 있는 위험사례에 대해서 제시함

- 로터, 프로펠러에서 발생하는 결빙으로 인한 공력성능 저하, 동체표면 착설로 인해 충돌감지 센서 및 통신센서 오작동, 얼음 및 눈이 녹은 물이나 비가 전기추진시스템 내부로 유입되어 고장을 일으키는 사례[37)]

– 과냉각액적(SLD, Supercooled Large Droplet)의 접촉으로 인해 발생하는 결빙(Ice Accretion) 현상으로 인한 동체 및 날개의 형상변형에 대해서 현재 연구가 진행한 바 있음



출처: (좌) Penn State, Adverse Environmental Rotor Test Standl (우) C. Son S. Oh, K. Yee, "Ice Accretion on Helicopter Fuselage Considering Rotor-Wake Effects", Journal of Aircraft, v.54(2)

[그림 Ⅵ-25] 결빙으로 인한 비행체 형상 변형 시험 및 전산해석

– 민간항공기 및 회전익기에서 적용되는 제빙 및 방빙장치는 예시는 다음과 같음

35) G.Iannace et. al.,"Fault Diagnosis for UAV Blades Using Artificial Neural Network", Robotics 2019
36) V. Sadhu et. al. "On-board Deep-learning-based Unmanned Aerial Vehicle Fault Cause Detection and Identification"
37) AUVSI XPONENTIAL 2020

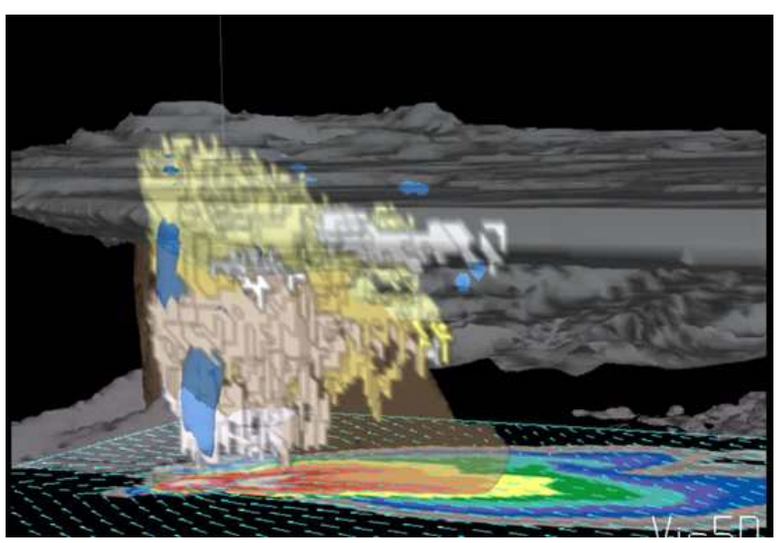
〈표 Ⅵ-18〉 Anti/De-Icing System

기술	특징
Pneumatic De-Ice Boots	(장점) 압축기 Bleed air를 이용한 팽창작용으로 얼음을 물리적으로 제거 가능 (단점) 에어포일 팽창으로 인한 공력성능 저하 우려
Weeping Wings	(장점) TKS 유체를 날개 전체 표면에 입혀 결빙방지 가능 (단점) 결빙 보호 시간이 짧음
Bleed Air Heated Surface	(장점) Bleed air를 이용하여 날개 전단부를 가열하여 제빙 (단점) 비행체 성능저하
Electrically Heated Surface	(장점) 엔진 작동유무와 상관없이 전기적 열원으로 제빙 (단점) 전력소모로 인해 넓은 영역에 적용하기 어려움
Ultra-sonic guided Wave	(장점) 진동을 통해 제빙하므로 전기 열원 대비 낮은 전력으로 작동가능 (단점) 시스템이 상대적으로 복잡함

- 따라서, UAM 기체 전기추진시스템을 고려하여 제빙시스템 적절성을 식별해야 됨

● All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계 기술

- NOAA 는 과거 기상 레이다 및 낙뢰 데이터를 활용하여, 뇌운발생 및 발달과정 예측을 위한 해석모델인 COMMAS(NSSL COllaborative Model for Multiscale Atmospheric Simulation)를 개발



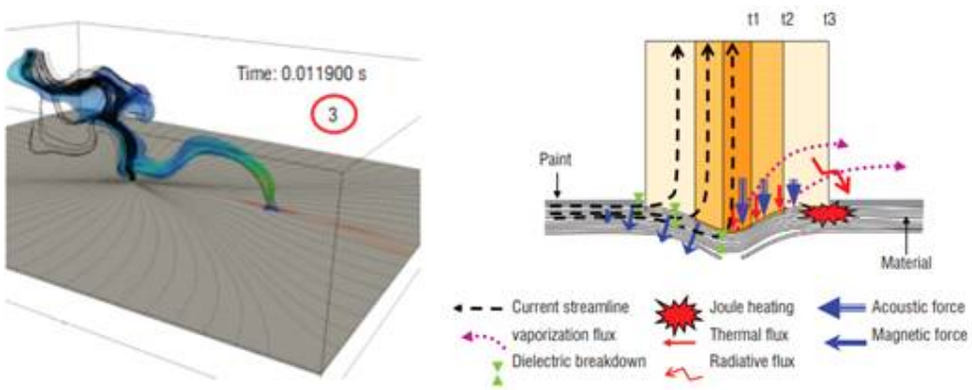
출처: COMMAS, https://www.nssl.noaa.gov/tools/simulation/ (영상 스냅샷)

[그림 Ⅵ-26] 뇌운 발생 및 발달 시뮬레이션

- EPFL, HES-SO(스위스), Leeds 대학(영국) 에서는 기상 연구 및 예측모델(WRF)에 기계학습 기법을 적용하여 낙뢰 예보를 위한 4개 기후 매개변수 모델을 개발하고 검증을 수행함[38]

38) A, Mostajabi et. al. “Nowcasting lightning occurrence from commonly available meteorological parameters using machine learning techniques, Climate and Atmospheric Science. 2019

– ONERA 에서는 비행기의 낙뢰 피격시의 피격 위치 및 구조물의 변형에 대한 전산 해석을 수행함



출처: L.. Chemartin et. al., “Direct Effects of Lightning on Aircraft Structure: Analysis of the Thermal, Electrical and Mechanical Constraints”, AerospaceLab, 2012

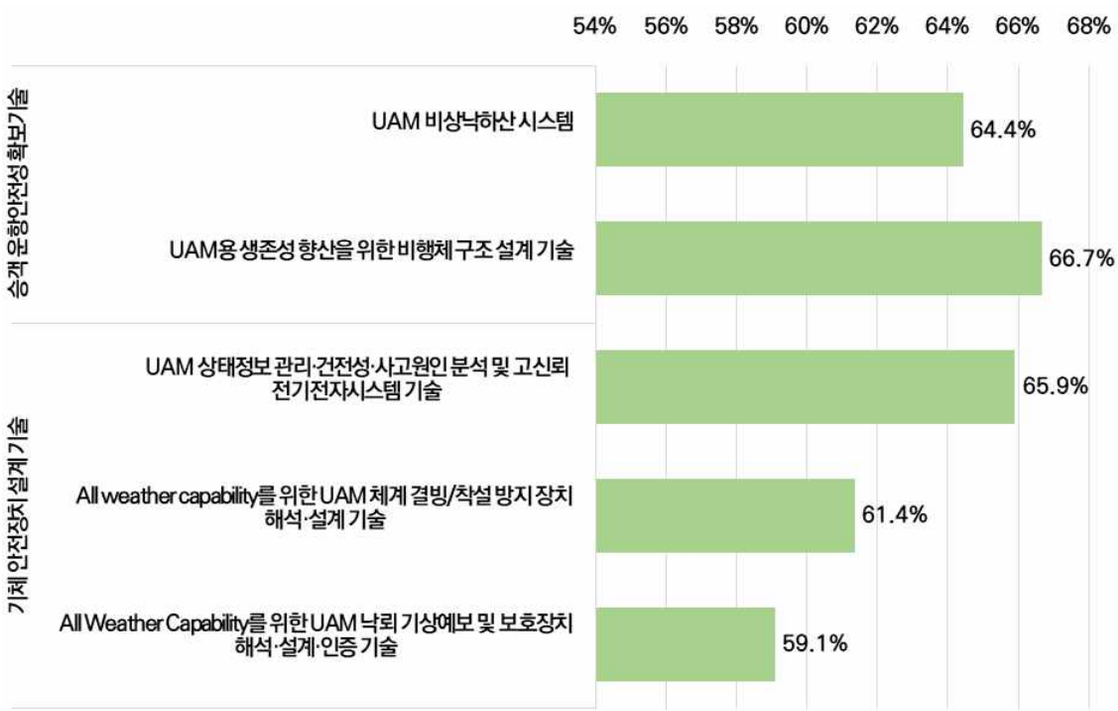
[그림 Ⅵ-27] 낙뢰 피격 시뮬레이션 및 변형 분석

다. 기술수준 및 연구개발전략

■ 기계·전기전자 시스템 분야 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 기계 · 전기전자 시스템 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 전반적으로 높은 수준의 기술수준을 보유하지 않았음



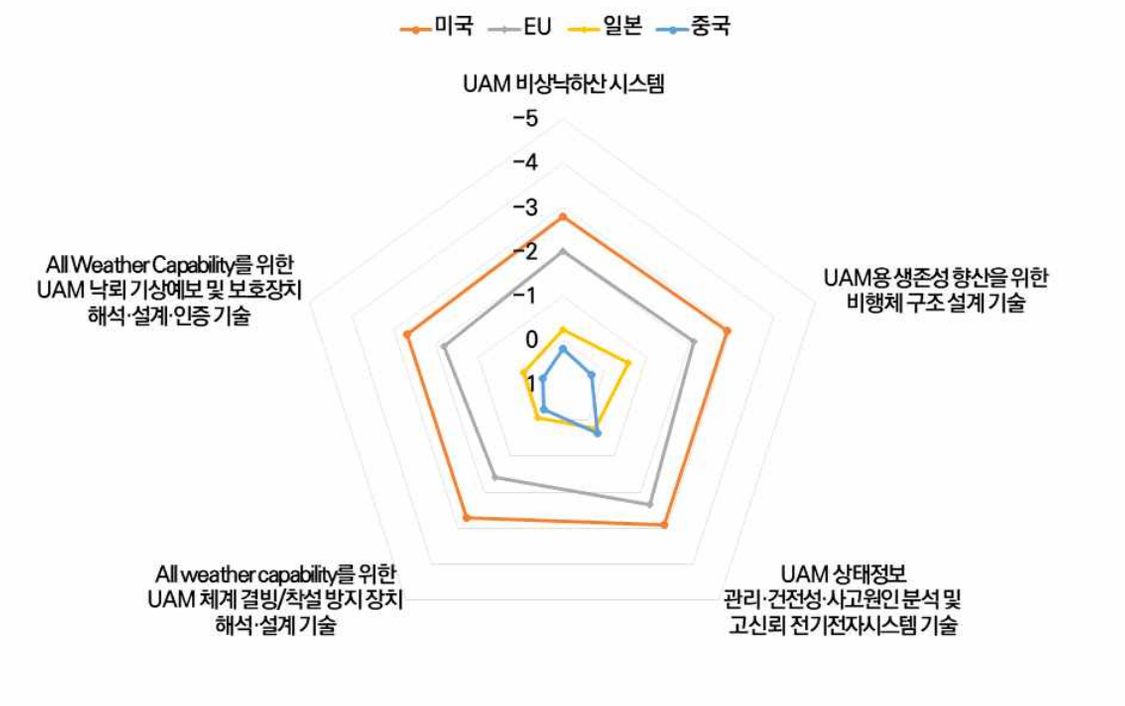
[그림 Ⅵ-28] 기계시스템 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 기계·전기전자 시스템 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

– 미국이 가장 높은 수준의 기술력을 보유하며 3년 내외의 격차가 있으며 유럽과는 2년 내외, 일본 중국과는 유의미한 차이는 없는 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-19〉 기계시스템 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
승객 운항안전성 확보기술	UAM 비상낙하산 시스템	-2.80	-2.02	-0.24	0.20
	UAM용 생존성 향산을 위한 비행체 구조 설계 기술	-2.90	-2.12	-0.57	0.32
기체 안전장치 설계 기술	UAM 상태정보 관리·건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자시스템 기술	-2.90	-2.34	-0.23	-0.34
	All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지 장치 해석·설계 기술	-2.70	-1.59	0.08	0.30
	All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계·인증 기술	-2.70	-1.81	0.08	0.52



[그림 Ⅵ-29] 기계시스템 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 기계·전기전자 시스템 분야 국내 산업역량

– UAM 비상낙하산 시스템은 전량수입을 해야하나, 그 외 기술들은 독자생산이 가능한 것으로 조사됨

〈표 Ⅵ-20〉 기계시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
승객 운항안전성 확보기술	UAM 비상낙하산 시스템	LV 1(전량수입)
	UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계 기술	LV 3(독자생산)
기체 안전장치 설계 기술	UAM 상태정보 관리·건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자시스템 기술	LV 3(독자생산)
	All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지 장치 해석·설계 기술	LV 3(독자생산)
	All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계·인증 기술	LV 3(독자생산)

● 기계·전기전자 시스템 분야 국내 기술개발 역량

– 비상낙하산 시스템은 기초/응용연구수행의 역량을 보유했으나 다른 기술들은 기초연구수행 단계인 것으로 조사됨

〈표 Ⅵ-21〉 기계시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

중점기술	세부기술	국내기술개발 역량
승객 운항안전성 확보기술	UAM 비상낙하산 시스템	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM용 생존성 향산을 위한 비행체 구조 설계 기술	LV 2(기초연구수행)
기체 안전장치 설계 기술	UAM 상태정보 관리·건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자시스템 기술	LV 2(기초연구수행)
	All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지 장치 해석·설계 기술	LV 2(기초연구수행)
	All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계·인증 기술	LV 2(기초연구수행)

승객 운항안전성 확보기술 연구개발전략

● UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계기술

– 충돌 충격 완화를 위한 좌석 및 동체 구조물 설계 기술

• 비행체 Crashworthiness 관련 연구는 국내연구소(한국항공우주연구원, 국방과학연구소 등)과 산업체(KAI, 대한항공) 등에서 수행

• UAM에 대한 객실 및 좌석 요구도를 고려하여 충돌 충격 완화 설계를 위해 연구소 및 산업계 협력하여 수행 중

– 복합재 파손 거동 정밀 예측 및 충돌과 내추락 성능 최적화 기법

• 기존 보유하고 있는 복합재 파손 예측기술을 UAM 추락 환경조건에 적응 후 수정 개발

– 충돌환경 구현 및 생존가능성 검증을 위한 시험평가

• 국내 연구소, 산업체, 인증관련기관과 협력을 통해 비행체 충돌환경 모사환경을 구축하고 이를 시험평가 방법을 수립하여 진행

● UAM 비상낙하산 시스템

– 비상낙하산 및 완충장치 탑재 및 전개를 위한 탑재장치 설계

• UAM 동체 개발 및 제작기관과의 협력을 통해 낙하산 및 완충장치를 설치하기 위한 요구도를 설계단계에서 정의

• 폭발형 전개방식 외에도 다양한 방식의 낙하산 전개방식을 검토하고 전개시 오작동 방지를 설계적용하고 있으며 완충장치의 함몰구조 및 소재등을 통해 소형/경량화 설계 수행 중

– 비상낙하산 및 완충장치 전개 및 제어시스템 제작, 성능 시험평가

- 낙하산 전개시 저고도에서 전개되므로 빠른 시간에 전개되고 주변 도심건물과의 충돌을 방지하기 위한 제어 시스템 개발
- 낙하 충돌 모사시험을 통한 낙하산 전개 및 완충장치를 정상작동 및 승객보호 여부 검증

기체 안전장치 설계 기술 연구개발전략

● UAM 상태정보 관리·건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자 시스템 기술

– UAM 외부환경 정보 및 기체 상태정보 전달저장관리 기술

- 국내외 UAM 연구기관 및 제조사와 공동연구를 통해 UAM 주요 탑재장비, 센서, 추진시스템 등의 상태정보 데이터저장 및 전송을 위한 입출력 인터페이스 표준안 설정 및 연구교류를 통한 UAM 운용 상태 데이터베이스 확보
- 고장상황 혹은 사고상황에 대한 상태정보 데이터베이스를 추가로 확보하기 위해서 UAM 운용환경을 모사하기 위한 시뮬레이터를 구축하고 시뮬레이터를 통해 정상 및 비정상 운용조건 별로 데이터베이스 수집

– UAM 건전성 분석 및 이상상황 감지기술

- 인공지능 혹은 데이터마이닝 기술을 적용하여 UAM 상태정보 데이터에 대한 분석을 수행
- 사고상황에 대한 원인을 추정하고 비행중 이상징후 발생 탐지를 위한 진단시스템을 개발

● All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지 장치 해석·설계 기술

– 결빙 운용조건 수립을 위한 UAM 체계 결빙/착설 예측 기술

- 결빙/착설 전산해석 시뮬레이션 국내 연구소 및 학교에서 수행
- 복잡한 형상의 UAM의 결빙 및 착설을 예측하기 위한 전기체 3D 모델 개발 및 형상 재구성 자동화 기술 개발 중

– 결빙/착설 방지 및 제거장치 (Ice/snow protection system) 성능 해석 기술

- 저온 기상환경 조건(온도, 습도)과 UAM 비행모드에 따른 대해서 결빙/착설 취약 영역을 예측
- 결빙/착설에 따른 비행체 형상변화 및 결빙제거 에너지 소모요구도를 고려한 성능해석

– 저전력/고효율의 결빙/착설 방지 장치(ice/snow protection system) 개발

- 국내외 UAM 산업체 및 연구기관과의 공동연구를 통해 UAM 적합한 결빙 및 착설 성능을 도출
- 저온 기상환경에서 임무를 수행할 경우, 결빙/착설 방지 과정에서의 에너지 소모 최적화를 달성하기 위한 결빙/착설 방지 시스템 개발

● All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계 기술

– 도심기상환경 낙뢰예보 및 UAM 기체 낙뢰피격 취약지역 예측 기술 개발

- 국제 공동개발을 통한 국내외 기상 데이터베이스 확보 및 도심환경 기상 예측모델을 적용한 낙뢰예보 기술 개발
- 낙뢰환경에서 운용하는 UAM에 대한 낙뢰피격 시뮬레이션 및 낙뢰피격영역분포 도출

– 낙뢰 피격으로 인한 영향성 분석, 낙뢰 보호장치 개발

- 낙뢰 피격으로 인한 동체구조물과 전기전자시스템(항법장치, 센서장비, 모터, 배터리, 인버터, Wire Harness) 의 고장을 예측하기 위해 전산시뮬레이션 수행
- 낙뢰 피격이 예상되는 지역 혹은 낙뢰피격 발생시 심각한 문제가 발생하는 위치에 대한 낙뢰보호장치를 탑재하고 보호장치의 유효성을 검증 수행

라. 기계·전기전자 시스템 분야 기술로드맵

■ 기계·전기전자 시스템 분야 단계별 기술개발 목표

● 승객 운항안전성 확보기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- **(UAM 비상낙하산 시스템)** UAM 낙하산 및 완충장치의 탑재 설계 및 동체 영향성 분석
- **(UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계기술)** UAM 기체 내충격 구조물 설계기법 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- **(UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계기술)** UAM 기체 60J/g 충돌흡수 성능 보유 내충격 구조물 설계 및 성능검증, UAM 낙하산 및 완충장치의 및 성능검증

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- **(UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계기술)** UAM 기체 비상착륙 시 95th percentile 탑승자 생존 가능 성능 검증

● 기체 안전장치 설계 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- **(UAM 상태정보 관리·건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자시스템 기술)** UAM 비행체 상태정보 획득을 위한 데이터 및 인터페이스 표준안 수립, 데이터 저장 및 전달장치 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- **(UAM 상태정보 관리·건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자시스템 기술)** 실환경 및 가상환경 기반 UAM 정상 및 비정상 상황에 대한 비행정보 데이터베이스 구축 (10만 소티 이상)
- **(All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설방지 장치 해석·설계 기술)** 저온환경 UAM기체의 결빙/착설로 인체 전기체 형상변화 모델링 및 결빙/착빙 현상 및 제빙장치 적용에 따른 성능변화 예측
- **(All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계·인증 기술)** 낙뢰예보를 위한 기상예측 모델링 개발 및 낙뢰피격 전산시뮬레이션을 통한 영향예측

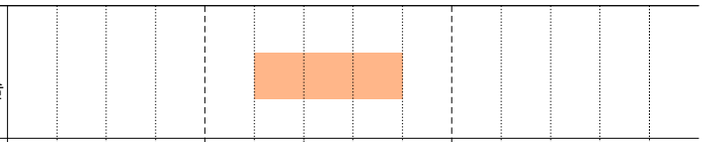
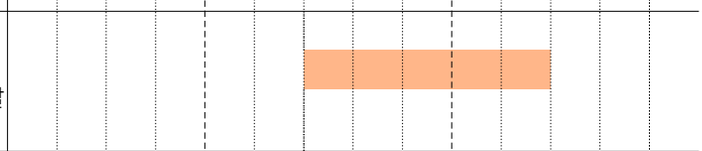
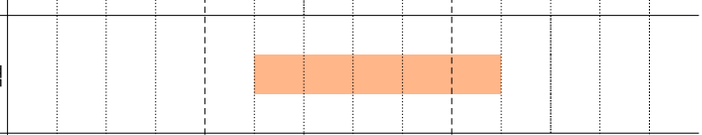
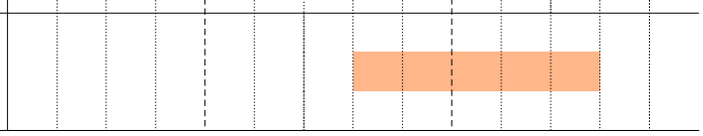
– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- **(UAM 상태정보 관리·건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자시스템 기술)** 빅데이터 기반 비행체 상태진단 및 이상징후 발생시 진단시스템 개발 (이상 징후 1초 이내 탐지)
- **(All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설방지 장치 해석·설계 기술)** 저전력/고효율 결빙/착설 방지 장치 설계 및 제작, 성능시험
- **(All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계·인증 기술)** 낙뢰피격 보호장치 개발 및 유효성 검증시험

기계시스템 분야 세부기술로드맵

〈표 Ⅵ-22〉 기계시스템 분야 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
승객 운항안전성 확보기술	UAM 비상낙하산 시스템	비상낙하산 및 완충장치 탑재 및 전개를 위한 탑재장치 설계	■	■	■											
		비상낙하산 및 완충장치 전개 및 제어시스템 제작, 성능 시험평가		■	■	■	■									
	UAM용 생존성 향상을 위한 비행체 구조 설계기술	충돌 충격 완화를 위한 좌석 및 동체 구조물 설계 기술	■	■	■	■	■	■								
		복합재 파손 거동 정밀 예측 및 충돌과 내추락 성능 최적화 기법			■	■	■	■	■	■						
		충돌환경 구현 및 생존가능성 검증을 위한 시험평가				■	■	■	■	■	■	■				
기체 안전장치 설계기술	UAM 상태정보 관리·건전성·사고원인 분석 및 고신뢰 전기전자 시스템 기술	UAM 외부환경 정보 및 기체 상태정보 전달저장관리 기술		■	■	■	■	■								
		UAM 건전성 분석 및 이상상황 감지기술				■	■	■	■	■	■	■				
	All weather capability를 위한 UAM 체계 결빙/착설 방지 장치	결빙 운용조건 수립을 위한 UAM 체계 결빙/착설 예측 기술				■	■	■								

	해석·설계 기술	결빙/착설 방지 및 제거장치성능 해석 기술	
		저전력/고효율의 결빙/착설 방지 장치개발	
	All Weather Capability를 위한 UAM 낙뢰 기상예보 및 보호장치 해석·설계 기술	도심기상환경 낙뢰예보 및 UAM 기체 낙뢰피격 취약지역 예측 기술	
		낙뢰 피격으로 인한 영향성 분석, 낙뢰 보호장치 개발	

5. 인증·시험평가 분야 기술로드맵

가. 기술 정의 및 구성

■ 기술정의

● UAM 기체 인증시험평가 기술

- **(기체 설계·제작 인증기준 및 절차 개발/수립)** UAM용 기체 제작 인증기준과 절차를 개발/수립하기 위한 기술 개발
- **(UAM 내추락성 등 안전성 인증)** UAM 기체 운항시 발생가능한 비상착륙/추락 조건에 대한 승객 안전을 확보하기 위한 비행체 안전성 입증 기준 및 평가 방법
- **(동체·날개 제작공정 등 시범인증)** UAM용 개발을 위한 복합재료를 활용한 경량 일체형 탈 오토클레이브 동체 및 날개 구조의 설계, 제작 및 인증 기술
- **(UAM 프로펠러 제작공정 및 시범인증)** 도심항공 교통수단으로 활용될 eVTOL 항공기용 프로펠러 설계/개발 및 안전성 및 신뢰성 검증을 위한 인증기술
- **(UAM용 비행체 인증을 위한 지상·비행 시험평가 기술)** UAM 기체 운항 개념 및 기체의 시스템 안전성 특성, 기상상태를 반영하여 필요되는 최소 수준의 비행성(HQ)과 이를 평가하기 위한 비행기동 연구
- **(UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계 구축)** UAM 항공기의 안전성 유지를 위해, 고장/결함 수집, 위험성평가, 설계/안전성 개선조치 등을 원활하게 수행할 수 있는 지속감항성(Continuing Airworthiness) 체계구축 및 기술개발
- **(UAM 비행체 인증시험 인프라 구축)** 항공기의 최종 조립 상태 및 기능/성능을 확인하기 위한 여러 종류의 시험을 할수 있도록 하는 시험 시설 등 구축

● UAM 기체용 소재부품 인증시험평가기술

- **(요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가·인증 기술)** 현재까지 활용되고 있는 전통적인 안전성 분석의 기법은 약 50년 전 비교적 단순한 구조의 기계적 시스템(Hardware)을 대상을 모델로 개발된 기법
- **(UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발 및 체계 구축)** 항공용 소재의 물리적, 기계적 물성의 통계처리된 설계허용치 뿐만아니라 안정화된 지속적인 제품의 검증된 생산 및 재료, 공정시스템의 구축
- **(UAM 전기동력시스템 인증(배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등))** 항공기(장비품 포함) 항행의 안전을 확보하기 위한 UAM 리튬 배터리, 수소 연료전지 인증기술

- **(UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축)** UAM 항공기에 적용되는 차세대 추진시스템의 인증 법령체계 구축 및 검증을 위한 기술기준(안), 안전성 검증 기술 및 인프라 구축

- **(UAM 안전운용을 위한 전자기(환경 기준 등) 및 무선 성능 기술기준)** UAM 비행체의 안전한 운용을 위해 비행체 무선기기류에 대한 전자기 및 무선 성능을 평가할 수 있는 기술기준 및 비행 환경에서 전자파 영향에 대해 안전한 비행을 보장하기 위한 전자기 장해 및 내성을 평가하는 기술/시스템 구축

- **(UAM 핵심부품 시험평가·인증기술 및 인프라 구축)** UAM 기체에 적용되는 부품 등에 대한 내구성, 영향성, 설계 적합성, 운용 적합성을 위한 시험평가·인증 기술 및 인프라 구축

기술구성

● UAM 기체 인증시험평가 기술

- 기체 설계·제작 인증기준 및 절차 개발/수립
  - UAM 기체 제작검사 기준 및 절차 개발
  - UAM 기체 제작사 품질시스템 평가 기준 및 절차 개발
  - UAM 기체 제작 인증관리 체계 구축
- UAM 내추락성 등 안전성 인증
  - UAM 비행체 내추락성 인증 기술
  - UAM 비행체 내추락성 안전성 입증 기준
  - UAM 비행체 내추락성 평가 기술
- 동체·날개 제작공정 등 시범인증
  - UAM 동체/날개 모듈 일체형 탈 오토클레이브 복합재 및 공정 연구
  - 일체형 탈 오토클레이브 구조 건전성을 위한 구조해석/시험 평가 기술 연구
  - 일체형 탈 오토클레이브 재료/공정/부품 등 안전성 평가를 위한 인증기술 연구
- UAM 프로펠러 제작공정 및 시범인증
  - UAM용 eVTOL항공기 프로펠러 형상 설계 및 개발
  - 수지주입 공정 방식의 복합재료 프로펠러 제작공정 구축
  - 프로펠러 안전성 입증 및 신뢰성 검증을 위한 인증기술 연구

- UAM용 비행체 인증을 위한 지상·비행 시험평가 기술
  - UAM 기체 최소 비행성등급 설정
  - UAM 비행성 평가 기동요소(MTE Mission Task Element) 설정
  - UAM 비행성 시범 평가
- UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계 구축
  - UAM 항공기 고장/결함 수집 및 분류체계 구축
  - 고장/결함 분석 및 위험성평가 기술개발 및 시스템 구축
  - UAM 항공기의 설계/안전성 개선명령 및 후속관리 체계 구축
- UAM 비행체 인증시험 인프라 구축
  - 비행체(항공기) 체계 인증시험 입증항목 도출
  - 비행체(항공기) 체계 인증시험 시설/장비 구축 및 절차 수립
  - 비행체(항공기) 체계 인증시험 시설/장비 운용(안) 수립 및 시범 운용

● UAM 기체용 소재부품 인증시험평가기술

- 요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가·인증 기술
  - UAM 항공기 및 시스템 안전설계 기법 연구
  - UAM 항공기 및 시스템 안전성 분석 기법 연구
  - UAM 항공기 및 시스템 안전성 평가 절차 연구
- UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발 및 체계 구축
  - UAM 비행체/부품 경량화 소재의 국내 인증체계 구축 연구
  - 항공용 경량소재 국내 DB 구축 등 시험 및 평가기술 연구
  - 항공선진국 수준의 소재 인증제도 연구
- UAM 전기동력시스템 인증(배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등)
  - UAM 리튬 배터리 인증기준 개발
  - 수소 연료전지 인증기준 개발
- UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축

- 차세대 추진시스템 기술기준 연구
- 차세대 추진시스템 안전성 검증 기술 연구
- 차세대 추진시스템 안전성 검증 인프라 구축

– UAM 안전운용을 위한 전자기(환경 기준 등) 및 무선 성능 기술기준

- UAM 비행체 무선기기 성능 평가 및 인증 기술기준 개발
- UAM 무선성능 시험평가 설비 및 장비 구축
- UAM 체계 전자기 환경(Electromagnetic Environment) 기준 개발
- 고강도 복사 전자기장(High Intensity Radiated Field) 시험평가 기술 개발

– UAM 핵심부품 시험평가·인증기술 및 인프라 구축

- UAM 기체 핵심부품 인증·시험 입증항목 도출 등 인증체계 구축
- UAM 기체 핵심부품 데이터베이스 구축 등 시험 및 평가기술 연구
- 기체 핵심부품 인증·시험 시설/장비 구축 및 절차 수립, 운용(안) 수립/시범운용

〈표 Ⅵ-23〉 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
UAM 기체 인증시험평가 기술	UAM 내추락성 등 안전성 인증	• UAM 항공기의 비상착륙/추락 조건에서 승객 안전을 확보하기 위한 비행체 안전성 입증 기준 및 평가 방법 개발
	동체·날개 제작공정 시범인증	• UAM용 개발을 위한 복합재료를 활용한 경량 일체형 탈오토클레이브 동체 및 날개 구조의 설계, 제작 및 인증 기술
	UAM 프로펠러 제작공정 및 시범인증	• 도심항공 교통수단으로 활용될 eVTOL 항공기용 프로펠러 설계/개발 및 안전성 및 신뢰성 검증을 위한 인증기술 개발
	UAM 비행체 인증시험 인프라 구축	• UAM 비행체 개발/인증시험에 필요한 시험시설 및 인프라 구축 및 전문적인 운용/활용 체계 구축
	UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계구축	• 인증 받은 UAM 항공기가 운용 중에도 지속적으로 감항성을 유지할 수 있도록, 고장/결함 수집, 위험성평가, 설계/안전성 개선조치 등을 원활하게 수행할 수 있는 지속감항성 체계구축 및 기술개발
	기체 제작 인증기준 및 절차 개발/수립	• 새로운 제작/생산 패러다임을 갖는 UAM 항공기기에 대한 제작/생산 인증기준 및 평가절차 개발
	UAM용 비행체 인증을 위한 지상 · 비행 시험평가 기술	• UAM 항공기 운항개념 및 기체시스템 안전성 특성, 가상상태 등을 반영하여 요구되는 최소 수준의 비행성(HQ)과 이를 평가하기 위한 비행기동 연구
UAM 기체용 소재부품 인증시험평가기술	요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가 · 인증 기술	• 신기술 항공기 설계 및 신뢰성 확보를 위한 신개념 시스템 안전 설계기술 및 시스템 안전성 평가 기법에 대한 연구
	UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증체계 구축	• UAM 항공기에 적용되는 차세대 추진시스템(연료전지, 수소, 바이오)의 인증/검증을 위한 기술기준과 안전성 검증 기술 개발 및 관련 시험시설/인프라 구축
	UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발 및 체계 구축	• UAM 비행체/부품에 사용되는 3D프린팅용 소재 인증 방안, 3D프린팅 제작공정 승인절차, 3D프린팅 제작 부품 검증절차 연구
	UAM 전기동력시스템 인증(배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등)	• 항공기(장비품 포함) 항행의 안전을 확보하기 위한 UAM 리튬 배터리, 수소 연료전지 인증기술을 개발함
	UAM 안전운용을 위한 전자기(환경기준 등) 및 무선성능 기술기준	• UAM 비행체의 안전한 운용을 위해 비행체 무선기기류에 대한 전자기 및 무선 성능을 평가할 수 있는 기술 • UAM 비행체의 비행 환경에서 전자파 영향에 대해 안전한 비행을 보장하기 위한 전자기 장해 및 내성을 평가하는 기술
	UAM 핵심부품 시험평가 · 인증기술 및 인프라 구축	• UAM 기체에 장착될 핵심 부품에 대한 안전성 확인, 데이터베이스 구축 및 인프라 구축

나. 기술동향 분석

UAM 기체 인증시험평가 기술

● 기체 설계·제작 인증기준 및 절차 개발/수립

– UAM 기체는 2016년까지 6개의 모델뿐이었지만, 최근 전세계에서 주요 OEM 및 스타트업 기업에서 약 300개 이상의 모델을 개발/제작하고 있음

• Vectored Thrust 형상: 145개, Lift & Cruise 형상: 60개, Multicopter 형상: 89개 등

– UAM 기체는 운용 효율을 높이기 위한 경량화가 필수적이며, 기존 민간항공기 대비 더욱 높은 비율의 신소재(복합소재, 3D프린팅 등)가 사용될 수 있음

– 이러한 UAM 기체의 설계/제작 특성에 따라 기존의 민간항공기에 적용하던 제작검사 및 제작인증 기준/절차로는 해당 기체에 대한 안전성, 신뢰성을 보장하는데 한계점이 노출될 수 있음

• 기존 민간항공기와 달리, UAM 기체는 대량(수백만대 수준)으로 생산될 것으로 예상되며, 이러한 규모에 따라 고품질의 기체를 비용 효율적으로 대량으로 생산하기 위한 제작 기술과 품질시스템이 요구됨

– 따라서, UAM 기체의 생산/제작 절차 및 품질을 체계적으로 검증하고 평가/관리하기 위한 UAM 맞춤형 기준 및 절차가 마련되어야 함

• 전세계적으로 UAM 기체에 대한 개발과 제작이 활발히 이루어지고 있는 상황에서, UAM 기체의 설계인증과 더불어 제작/생산에 대한 인증은 안전성과 신뢰성을 보장하는 매우 중요한 필수요건이자 시급히 해결되어야 할 과제임

– 미국/유럽 등 항공선진국들은 UAM 항공기에 대한 주도권을 확보하기 위해 인증기준과 절차를 개선하고 있으며, 실질적인 인증과제를 진행하고 있음

• (미국) UAM 항공기 인증을 위해, Safety Continuum을 적용한 전통적인 항공기 인증체계를 최대한 활용하되, 혁신성/유연성을 고려한 Special Class 활용. 현재 15개 정도의 eVTOL 인증과제를 진행하고 있으며 2023년 최초 형식증명(TC)서가 발행될 것으로 예상

* Safety Continuum : 항공기별 위험수준(Risk-Level)과 사회적 안전 기대 수준(Social Expectation)에 따라 차별화된 안전수준(Level of Safety)을 적용하는 개념

* Special Class : 기존의 항공기 기술기준을 적용하기 어려운 멀티콥터 형태의 UAM/UAS를 Special Class로 분류하고, Part 21.17(b)에 따라 별도 인증기준(Certification Basis) 수립

– (유럽) UAM 항공기 인증을 위해, 신규 항공기 분류체계(VTOL Class)를 마련하고, 형상별로 기술기준을 제정하고 있음 eVTOL 개발사 Volocopter에 설계조직승인 (DOA)를 부여하였으며, 현재 3개 기체에 대한 인증과제 진행중

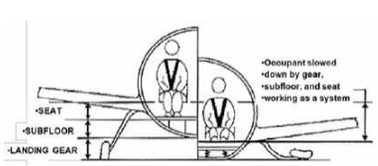
구분	eVTOL	UAS
유럽(EASA)의 주요 정책/전략	• 신규항공기 분류체계(VTOL-Class)를 마련하고, 별도 기술기준을 제정 ※ VTOL-Class : 수직이착륙이 가능하고 3개 이상 양력/추력 엔진(모터)를 보유한 비행체	• UAS의 운용방식과 위험도에 따라 차등적인 안전 정책 적용 • ①저위험(Open), ②중위험(Specific), ③고위험(Certified) ⇐ 인증대상
유럽(EASA)의 형식증명을 위한 감항기준	• VTOL-Class에 대한 별도기준 수립 * 기체: SC-VTOL-01 (2019.07) * 엔진: SC-EHPS-01 (2020.01)	• UAS 특별 설계요건만 별도 수립 * CS-UAS (2021 예정) * SC Light UAS (600kg 이하, 2020.07) ※ 유인기 기준(Part 23/27 등)과 CS-UAS을 조합하여 사용하는 형태. 단, 600kg 이하는 CS Light UAS 활용

– 우리나라도 정부의 K-UAM 로드맵(2020.06)이 발표되었으며, 현대자동차, 한화시스템, SK이노베이션 등의 국내 민간기업에서도 UAM 비행체와 핵심부품 개발을 착수함 따라서, UAM 항공기 및 부품에 대한 인증제도 구축과 안전성 확인 기술확보가 필요함

● UAM 내추락성 등 안전성 인증

– 일반적으로 항공기의 내추락성은 비상착륙/추락 등 비상상황에서 동체로 전달되는 충격 및 위협요인을 최소화하여 승객의 생존성을 향상시키기 위한 요건임

– UAM 기체는 전통적인 고정익/회전익 항공기와는 다른 착륙 및 충돌 특성을 고려해야 하며, 이를 위한 비행체 내추락 요건 및 입증방법이 강구되고 있음



• Crushable, Energy absorbing airframe
• More-rigid passenger cabin structure
• Anti plowing bulkheads/features
• Solid restraint/seat attachments to airframe, but can gimbal and stay attached in crash
• Restrain items of mass/batteries/powerplants/cargo
• Minimize post crash fire hazards

출처: NASA/FAA eVTOL Crashworthiness Virtual Meeting,(2020. 4)

[그림 Ⅵ-30] UAM 비행체 내추락 설계 특성

– 미국은 FAA, NASA 등을 중심으로 e-VTOL 등 UAM 비행체에 대한 내추락성 향상을 위한 설계개념 및 입증방법에 관한 논의가 활발히 이루어지고 있음

• 기존 항공기에 대한 내추락 요건(Part23, Part27 개별 또는 조합)에 더하여 UAM 형상 및 운용개념에 따른 개별 요건을 식별하고 적용하는 방향으로 추진 중임

• UAM 비행체의 내추락성 입증은 충돌시험 또는 시험에 기반을 둔 해석방법을 적용

– 국내의 경우 UAM 비행체 내추락성에 대한 감항요건 및 입증방법에 관한 논의가 미비한 상태이며 기존 항공기에 대한 내추락성 입증 경험 및 관련 인프라 또한 부족한 실정임

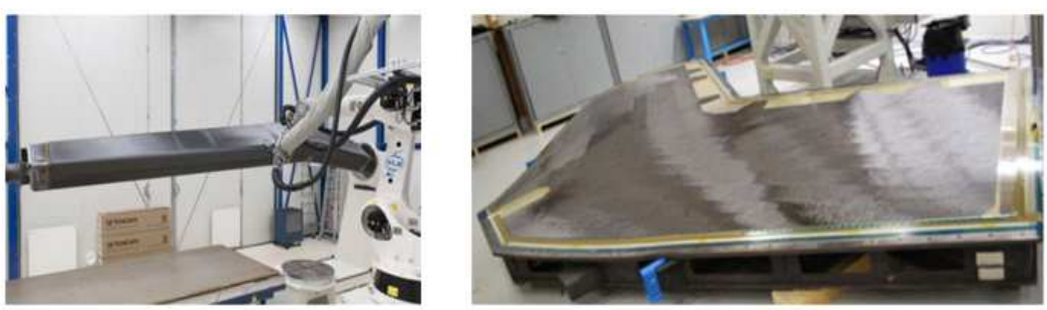
- 군 회전익항공기(수리온 등) 개발 경험을 통해 일부 항공기 내추락성에 대한 설계 개념 및 입증 경험 보유

● 동체·날개 제작공정 등 시범인증

– 보잉사와 에어버스사는 컨소시엄 형식으로 참여하여 열가소성 복합재료를 이용한 항공기 주 구조물 개발과 함께 동체 패널을 포함한 다양한 시제품을 선보이고 있음

- 보잉사는 네덜란드의 열가소성 복합재 연구소인 TPRC(Thermoplastic Research Center)에, 에어버스사는 TAPAS(Thermoplastic Affordable Primary Aircraft Structure) 프로그램에 컨소시엄 형식으로 참여

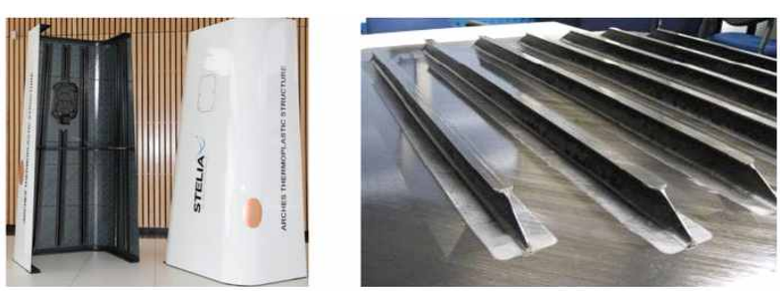
- 두 회사는 열가소성 복합재료를 이용한 항공기 주 구조물 개발을 진행 중이며, 항공기 동체 패널 및 수평미익, 엔진 파일런 스파 등 다양한 시제품을 선보이고 있음



출처: Thermoplastic Affordable Primary Aircraft Structure Program

[그림 Ⅵ-31] TAPAS 컨소시엄에서 열가소성 복합재료로 제작한 엔진 파일런 스파(좌)와 수평미익(우)

- A340 및 A380의 날개전단부는 저항용접으로 일체화된 열가소성 복합재료로 양산하고 있으며, 프랑스의 STELIA사는 2017년 자기유도 용접기술이 적용된 일체화된 열가소성 복합재료 동체 시제품을 선보임



출처: Thermoplastic Affordable Primary Aircraft Structure Program

[그림 Ⅵ-32] STELIA사의 용접일체화 동체(좌)와 자기유도 용접으로 일체화 된 스킨 스트링거(우)

– TAPAS 컨소시엄에서는 2015년 자기유도 용접으로 일체화된 열가소성 복합재료 동체 패널 시제품을 선보였으며, 스페인의 FIDAMC 연구소는 2015년 AFP 및 레이저 가열 기술을 이용하여 스킨-스트링거 일체형 패널 시제품을 선보임

- B787, A350 항공기에는 동체 프레임과 스킨을 체결하기 위한 클립을 열가소성 복합재료를 이용한 압축성형 공정으로 제작하여 열가소성 복합재료의 시장점유율을 높이는데 기여함

- 러시아 Irkut사는 수지주입 공정을 이용한 MC-21 주익스킨 모듈을 개발 하여 현재 EASA로부터 감항 인증 획득을 위해 비행시험을 진행중임



출처: Irkut社

[그림 Ⅵ-33] MC-21 복합재 주익스킨(스킨-스트링거 일체형)

● UAM 프로펠러 제작공정 및 시범인증

- 해외 항공 선진국의 프로펠러 기술은 이미 국내 항공기용 프로펠러 시장도 독점하고 있는 상황이고 최근 레저용 및 대형 드론용 프로펠러 시장은 해외 기업이 시장을 선점하고 주도하는 추세

- 해외 대표적 프로펠러 제작 회사로 미국의 Hartzell사와 독일의 MT-Propeller사의 제작 기술이 프로펠러 제작 공정 기술 선도

  • Hartzell: 내부를 스파(spar) 구조를 적용한 모노코크 형태로 구성하고, 외부 스킨으로 탄소섬유와 아라미드 섬유를 사용 RTM 방식으로 성형한 복합재 프로펠러

  • MT-Propeller : Wood(코어)-Composite(스킨) 구조로 블레이드 내부 구조는 하중 특성을 고려한 경량화 엔지니어링 우드를 사용 기계 가공을 통해 제작하며, 외부에 유리섬유를 적층하여 제작

● UAM용 비행체 인증을 위한 지상·비행 시험평가 기술

- UAM 기체는 회전익기 기반에 고정익기의 비행특성이 추가되는 형태로 예상되며, 도심지역에서 고도 1,500ft 이상(최대 4,000ft)에서 운용될 예정임 이에 따라, UAM의 이착륙 환경이 도심지역의 빌딩풍 하에 있으며, 특히 천이상태(고정익↔회전익)에서의 비행성 평가가 중요함

- 유럽 EASA 산하의 EUROCAE는 UAM 기체의 비행성 평가를 위하여 FAA AC25-5D App.E 및 ADS-33E를 차용하여 최소허용수준의 비행성 평가 방안에 대해 연구 중임

- 국내의 경우, UAM 기체의 비행성 평가연구와 경험이 부재한 상황으로 UAM 기체에 대한 비행성 평가방안 연구와 UAM 기체를 활용한 실증/평가 수행이 필요함

- UAM 운항개념에 따른 비행포위선(FE Flight Envelope) 및 예상 기상상태(AD), 시스템 안정성 분석 결과(FC)를 토대로, 각각의 비행조건별 필요한 비행성(HQ) 요구수준 설정

● UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계 구축

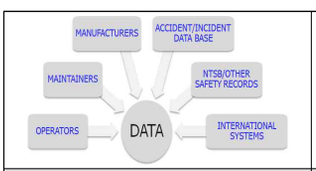
– ICAO Annex 8은 ICAO 회원국가가 이행해야하는 지속감항성에 대한 책임과 의무사항을 제시하고 있음

- 지속감항성 체계는 형식증명(TC) 등의 인증을 받은 항공기가 운용 중에도 지속적으로 감항성을 유지할 수 있도록 하는 관리체계와 기술을 의미함

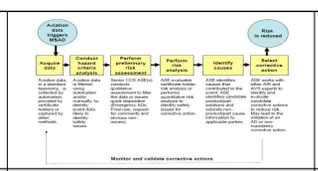
- 운용중에 발생하는 항공기의 고장정보를 수집하고 이를 위험도에 따라 분석하며, 지속적으로 감항성을 유지할 수 있도록 감항성개선지시서(AD, Airworthiness Directive) 등을 발행하는 절차

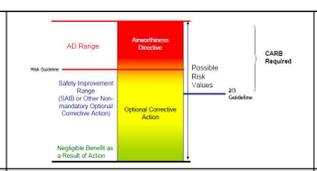
– 미국 FAA는 항공기의 지속적인 운항안전을 확보하기 위해, 고장보고 및 관리체계를 갖추고, 발생한 고장/결함에 대한 평가와 후속조치를 시스템적으로 관리하고 있음

- FAA는 소형항공기에 대한 위험분석(Risk Analysis)을 위해서 Small Airplane Risk Analysis (SARA) 기준을 개발/적용하고 있음 또한, Safety Risk Factor를 활용하여 항공기 운용과정에서의 위험평가를 수행하고, 서전에 설정한 기준에 따라 시정조치 등급을 결정하고 있음

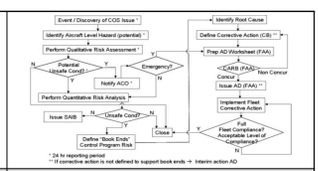


항공안전 데이터 출처


안전데이터 분석 및 관리 절차



Risk Guideline Diagram


FAA의 지속감항성 관리 프로세스

– 유럽 EASA는 '12년 2월부터 Internal Occurrence Report System(IORS)라는 통합 고장보고체계를 운영하고 있으며, 항공기/부품의 지속감항성을 유지/관리하기 위한 분석 및 후속조치 절차를 갖추고 있음

– 국내에는 양산 및 상용화 된 민간항공기가 없어, 제대로 된 지속감항성 체계를 구축/운용한 경험이 없음

- 현재 등록국가(운영국가) 수준의 지속감항성 체계를 가지고 있으며, 설계·제작국 수준의 위험성평가 기술 및 관리시스템 기반이 없음

- 국내에서 설계·제작된 UAM 항공기/부품의 안전관리를 위해 FAA, EASA와 동등한 수준의 고장보고 체계 구축과 분석기법 기술개발이 필요함

● UAM 비행체 인증시험 인프라 구축

– 미국·유럽 등 항공선진국들은 내추락, 결빙 등 비행체 수준의 시험을 위한 대부분의 시험시설/장비를 보유하고 있으며, 이를 활용한 UAM 비행체 시험이 가능함

• 미국/유럽은 비행체 레벨에서 수행 가능한 대부분의 시험시설이 구축되어 있으며, 일부 UAM 비행체 형상, 운용특성 등에 따른 시험 절차/방법에 대한 연구가 진행중임

• 일본은 드론에 대한 실내 소음시험 절차/방법 등을 연구하여 실용화 단계 진입. 그 외에 전자기 시험시설과 엔진시험시설 등을 보유하고 있음

– 국내의 경우, 환경시험시설 등 일부를 보유하고 있으나 주로 군용 또는 우주 분야에 활용 중이며 소요가 적은 내추락, 결빙풍동 등 시험시설은 전무한 실정임

• 국내에는 비행체 수준의 시험시설이 거의 없으며, 일부 구축되어 있는 시설의 경우에는 그 소요가 많아 적기에 시험 수행 불가



출처: 국방과학연구소

[그림 Ⅵ-34] 국내 연구기관 보유 주요 비행체 시험시설 사례

UAM 기체용 소재부품 인증시험평가기술 동향

● 요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가·인증 기술

– UAM 항공기 및 시스템간 복잡성이 증대됨에 따라 안전 설계기술 및 적용되는 기술에 대한 시스템의 체계적인 안전성 평가기법 연구가 필요함

– 미국/유럽의 항공기 부품 제작사 및 산업계를 중심으로 신개념 시스템 안전성 분석을 통한 설계의 적용 및 시스템 안전성 평가 절차 및 기법 연구를 지속적으로 진행하고 있음

• (미국) 2012년부터 매년 3월 MIT에서 항공우주, 철도, 자동차, 사이버 보안 분야 전문가가 참여하는 신개념 시스템 안전성평가 기법에 대한 워크숍을 진행중

• (MIT) 새로운 패러다임의 시스템적인 이론에 기반한 기법은 특정 기능이나 컴포넌트의 결함, 고장 등의 이벤트적인 원인을 분석하는 것이 아니며, 그 원인을 시스템을 포함하여 시스템에 관련된 인력, 사외, 조직, 제도, 정책 등의 복합적 형태의 상호작용을 분석하고 있음

• (일본) 2016년부터 매년 항공우주, 철도, 자동차, 사이버 보안 등 분야 전문가가 참여하는 신개념 시스템 안전성평가 기법에 대한 워크숍을 진행 중

- (유럽) 2013년부터 매년 항공우주, 의학, 항만, 사이버 보안 등 분야 전문가가 참여하는 신개념 시스템 안전성평가 기법에 대한 워크숍을 진행 중

– 산업계에서는 새로운 패러다임을 준비하고자 시스템 안전성 평가를 위한 산업표준서 개발 및 발간을 진행중

- ISO/PAS 21448 : Safety of the Intended Functionality (SOTIF)
- RTCA/DO-356A : Airworthiness Security Methods and Considerations
- ASTM WK60748 : Standard Guide for Application of STPA to Aircraft
- SAE AIR6913 : Using STPA during Development and Safety Assessment of Civil Aircraft
- SAE J3187 : Applying System Theoretic Process Analysis(STPA) to Automotive Applications

● UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발 및 체계 구축

– UAM 비행체/부품의 소재는 항공기 형식증명에 요구되는 구조 입증(structural qualification)의 일부로 입증되어야 하며, 경량 소재라 함은 UAM에 경량화를 위한 금속, 비금속 소재 총칭함

– 항공용 소재인증은 일반적으로 2~3년이 소요되며, 비행체 설계단계인 PDR 전까지 재료 물성 설계허용값 등의 데이터베이스가 확보되어야 함

- UAM 비행체/부품의 경량소재의 설계허용값은 통계적으로 처리된 물성으로 감항당국이 제시한 재료의 기준을 충족시켜야 함

- 개발된 국산 인증소재를 사용하기 위해서는 국내외 소재인증 데이터시스템에 등재하기 위한 소재인증 과정이 필요함

– UAM 항공산업 진출을 위한 핵심요인은 가격경쟁력으로 자체 설계/생산 능력과 항공용 국산 소재의 안정적 조달이 필수적임

- 비행체의 구조 효율을 개선하는 가장 효과적인 방법은 적절한 경량소재를 사용하는 것

– (복합소재) FAA는 NCMAP에 등록된 복합소재의 물성치에 대해서는 인증당국이 직접 확인한 것과 동등함을 정책적으로 인정 (AIR-2010-120-003)

- NCAMP : National Center for Advanced Materials Performance

- 1995년 NASA의 AGATE 프로그램을 통해 복합재 물성치 공유 데이터베이스 프로세스를 개발하고, 이후 전체 항공우주산업계를 위해 CMH-17(Composite Material Handbook-17), FAA, SAE(Society of Automotive Engineers)와 협조하여 NCAMP 설립

- NCAMP는 AGATE 프로그램의 경험을 바탕으로 항공기 인증에 공통적으로 적용할 수 있는 재료규격서와 함께 기초 재료물성치 데이터를 개발할 수 있는 수락 가능한 방법론을 수립함

– (금속소재) 미국은 MMPDS 데이터 핸드북에 등재되었거나 항공규격을 만족하는 시험 과정을 거쳐 생성한 소재물성만을 설계에 사용할 수 있도록 함

• MMPDS : Metallic Materials Properties Development and Standardization

– 우리나라에는 항공용 복합재료 인증제도만 마련되어 있어서, 금속소재 또는 신기술소재(3D프린팅 등)에 대한 인증체계 구축이 시급한 현실임

● UAM 전기동력시스템 인증(배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등)

– 미래 에너지원으로 주목 받고 있는 리튬 배터리와 수소연료전지의 신뢰성 확보를 위해 인증 및 시험평가 기술 개발을 추진 중이나 UAM을 위한 인증 및 시험평가 기술은 별도 개발이 필요함

• (리튬 배터리) 한국산업기술시험원(KTL)에서 리튬 배터리를 포함한 이차전지 인증을 진행 중임이나 항공 관련 인증은 부재

• (연료전지) 우리나라는 '19년에 약 200억원이 투입하여 전북 부안군에 고체고분자형 연료전지(PEMFC) 신뢰성 평가 센터 구축을 추진 중

● UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축

– 전기추진시스템은 UAM 항공기의 핵심기술로써 순수 배터리, 하이브리드, 수소연료전지 등 다양한 에너지원이 고려되고 있으며, UAM의 운용목적 및 범위 등에 따라 적절한 에너지원이 적용될 것으로 예상됨

• 예: 단거리 → 순수배터리, 중·장거리 → 하이브리드, 수소연료전지

– 그러나 왕복엔진 및 가스터빈엔진을 대상으로 하는 기존의 엔진 기술기준은 다양한 방식의 전기추진시스템의 안전성을 검증하는데 한계가 있으며, 이에 미국과 유럽은 전기추진시스템을 위한 별도의 인증체계를 마련하여 시범적용하고 있음

• 미국은 기존 항공기 인증기준에 전기추진시스템에 대한 특수설계기준을 적용

• 유럽은 SC-eVTOL 및 SC-EHPS 등 전기추진시스템에 대한 별도의 기준을 적용

– 국내의 경우 연구기관 및 업체들을 중심으로 전기추진시스템 관련 기술개발이 진행 중에 있으나 안전성 검증을 위한 인증체계와 경험이 부재한 상황임

– 따라서, 관련 제도절차 마련과 더불어 기술축적 및 인증을 위한 시험시설 등 인프라 구축이 시급한 실정임



[그림 Ⅵ-35] (좌) 프로펠러 및 전기 추진시스템 시험 (우) 분산추진시스템 시험

● UAM 안전운용을 위한 전자기(환경 기준 등) 및 무선성능 기술기준

– 미국은 FAA가 항공기에 대한 감항검증, 형식승인 뿐만 아니라 항공기 탑재기기에 대한 인증을 담당하며, 항공기 탑재 전자파 적합성 기준은 14 CFR Part 23, 25, 27, 29에서 규정하고 있으며 적용 기준은 완성된 기체에 전자파를 인가하는 방식으로 평가함

– 유럽은 유럽 항공청이 미국항공무선위원회(RTCA) DO-160G를 수용하여 EUROCAE ED-14G를 제정하고 항공기 탑재기기 조건으로 활용하고 있기때문에 미국의 세부기준과 같다고 할 수 있음

– 전통적으로 안전이 매우 중요한 항공 분야에서 기체 내·외부로부터 유입되어 안전성을 해칠 수 있는 고강도 전자기장(HIRF)에 대한 시험평가에 대한 중요성이 대두되고 있음

– 시험평가 방법으로는 크게 직접인가 방법과 낮은 레벨 시험법이 있으며, 항공기 운항 시 안전 뿐만 아니라, 시험 중 발생할 수 있는 위험에 대한 평가, 시험계획, 안전문서 등에 대한 사항도 중요한 요소로 부상하고 있음

  • (직접인가 방법) 항공기에 탑재된 안테나 등을 통해 항공기 전체의 고강도 전자기장을 직접 인가하는 방법으로 시험하며, 실질 시험이 아님에도 높은 비용과 안전문제 등의 어려움이 있음

  • (낮은 레벨 시험법) 항공기 외부에서 낮은 전자기장을 인가해 내부로 유입되는 수준을 측정한 후에 감쇄비율을 추출하여 전자기장을 계산하는 방법임

● UAM 핵심부품 시험평가 · 인증기술 및 인프라 구축

– 미국·유럽 등 항공선진국들은 내구성, 설계 적합성 등 부품 운용적합성 시험·성능평가를 위한 대부분의 기술 및 시험시설/장비를 보유하고 있으며, 이를 활용한 UAM 기체 부품 시험이 가능함

  • 미국/유럽은 비행체 및 구성품 수준에서 시험시설이 구축되어 있으며, 일부 UAM 설계 적합성, 환경 운용특성 등에 따른 시험 절차/방법에 대한 연구 진행

– 국내의 경우, 환경시험시설 등 일부를 보유하고 있으나 안전성 검증을 위한 인증체계와 경험이 부재한 상황임

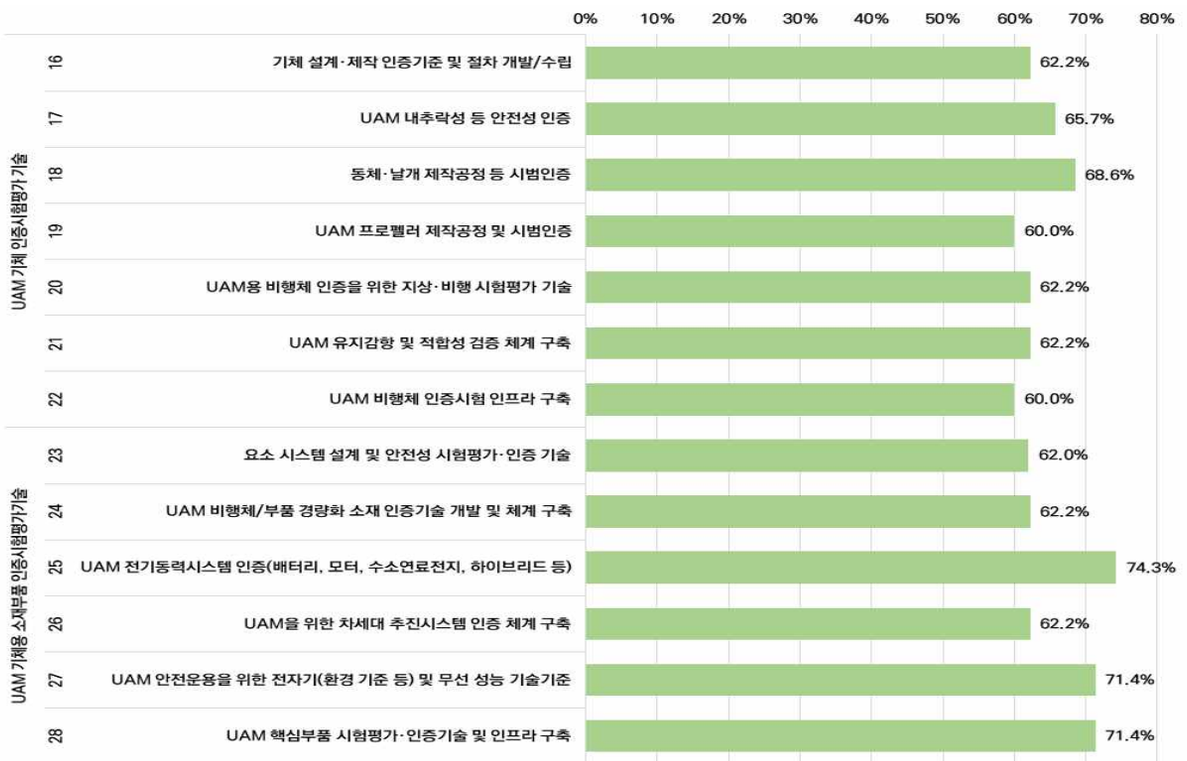
  • 따라서, 관련 제도절차 마련과 더불어 기술축적 및 인증을 위한 시험시설 등 인프라 구축이 시급한 실정임

다. 기술수준 및 연구개발전략

■ 인증시험평가 분야 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 인증·시험평가 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 인증·시험평가 분야 기술 수준은 전반적으로 유사한 수준의 기술 수준을 가지고 있음



[그림 Ⅵ-36] 인증시험평가 분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

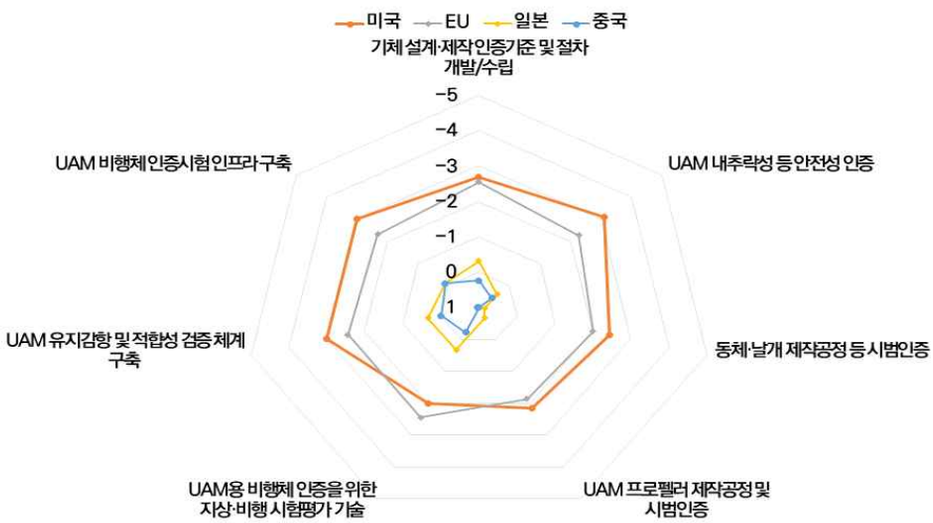
● 인증·시험평가 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

– 인증·시험평가 분야는 미국과 유럽이 주도하고 있고 이에 따라 1-3년 내외의 기술격차가 있으며 일본과 중국과는 큰 차이가 없는 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-24〉 인증·시험평가 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
UAM 기체 인증시험평가 기술	기체 설계·제작 인증기준 및 절차 개발/수립	-3.10	-2.54	-0.32	0.23
	UAM 내추락성 등 안전성 인증	-2.43	-2.29	0.40	0.57
	동체·날개 제작공정 등 시범인증	-2.14	-2.00	0.86	1.02
	UAM 프로펠러 제작공정 및 시범인증	-2.00	-1.86	0.67	1.00
	UAM용 비행체 인증을 위한 지상·비행 시험평가 기술	-3.00	-2.44	-0.33	0.22

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
	UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계 구축	-3.00	-2.44	-0.33	0.00
	UAM 비행체 인증시험 인프라 구축	-3.10	-2.32	-0.10	-0.10
UAM 기체용 소재부품 인증시험평가기술	요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가·인증 기술	-2.80	-2.36	-0.36	0.20
	UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발 및 체계 구축	-2.69	-2.36	-0.69	0.20
	UAM 전기동력시스템 인증 (배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등)	-1.57	-1.14	0.76	0.76
	UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축	-3.00	-2.56	-0.44	0.00
	UAM 안전운용을 위한 전자기(환경 기준 등) 및 무선 성능 기술기준	-1.86	-1.71	0.64	0.98
	UAM 핵심부품 시험평가·인증기술 및 인프라 구축	-2.80	-2.36	-0.36	0.20



[그림 Ⅵ-37] 인증·시험평가 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차(1)



[그림 Ⅵ-38] 인증·시험평가 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차(2)

● 인증·시험평가 분야 국내 산업역량

– UAM 내추락성 등 안전성 인증은 면허생산이나 과반 이상은 전량수입을 해야하는 수준인 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-25〉 인증·시험평가 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
UAM 기체 인증시험평가 기술	기체 설계·제작 인증기준 및 절차 개발/수립	LV 1(전량수입)
	UAM 내추락성 등 안전성 인증	LV 2(면허생산)
	동체·날개 제작공정 등 시범인증	LV 3(독자생산)
	UAM 프로펠러 제작공정 및 시범인증	LV 3(독자생산)
	UAM용 비행체 인증을 위한 지상·비행 시험평가 기술	LV 1(전량수입)
	UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계 구축	LV 1(전량수입)
	UAM 비행체 인증시험 인프라 구축	LV 1(전량수입)
UAM 기체용 소재부품 인증시험평가기술	요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가·인증 기술	LV 1(전량수입)
	UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발 및 체계 구축	LV 1(전량수입)
	UAM 전기동력시스템 인증 (배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등)	LV 3(독자생산)
	UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축	LV 1(전량수입)
	UAM 안전운용을 위한 전자기(환경 기준 등) 및 무선 성능 기술기준	LV 3(독자생산)
	UAM 핵심부품 시험평가·인증기술 및 인프라 구축	LV 1(전량수입)

● 인증·시험평가 분야 국내 기술개발 역량

– 인증·시험평가 분야의 대부분의 기술이 기초연구수행단계로 나타났으며, 그 외 기술은 기초/응용연구수행단계로 조사됨

〈표 Ⅵ-26〉 인증·시험평가 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

주요분야	세부기술	국내기술개발 역량
UAM 기체 인증시험평가 기술	기체 설계·제작 인증기준 및 절차 개발/수립	LV 2(기초연구수행)
	UAM 내추락성 등 안전성 인증	LV 2(기초연구수행)
	동체·날개 제작공정 등 시범인증	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM 프로펠러 제작공정 및 시범인증	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM용 비행체 인증을 위한 지상·비행 시험평가 기술	LV 2(기초연구수행)
	UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계 구축	LV 2(기초연구수행)
	UAM 비행체 인증시험 인프라 구축	LV 2(기초연구수행)
UAM 기체용 소재부품 인증시험평가기술	요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가·인증 기술	LV 2(기초연구수행)
	UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발 및 체계 구축	LV 2(기초연구수행)
	UAM 전기동력시스템 인증 (배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등)	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축	LV 2(기초연구수행)
	UAM 안전운용을 위한 전자기(환경 기준 등) 및 무선 성능 기술기준	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM 핵심부품 시험평가·인증기술 및 인프라 구축	LV 2(기초연구수행)

UAM 기체 인증시험평가 연구개발전략

- **(UAM 내추락성 등 안전성 인증)** 해외 내추락 관련 설계·인증사례 조사 및 분석 및 UAM 운용환경을 고려한 내추락 안전 요소 식별

  – 도심내 운용 환경에 따른 기상환경, 비상 수상 착륙과 같은 상황이 발생할 수 있으며, 배터리 적재에 따른 기체 구조물의 안전설계요소 식별 등 진행

  – 군 인증(수리온) 수행이력/자료 검토 및 시험 절차 분석, 도입방안 연구(군 협조 방안 수립 필요) 추진

  – 안전성 입증 방안에 도출(해석/시험)을 위해 산·학·연 연구단 구성을 통한 통합 연구 체계 구축 필요

  – 내추락 관련 해외 보유 시험장 비 시설과 국내 상황을 비교 및 UAM 개발 업체의 요구도 조사를 통해 국내 시험시설 장비 구축방안 도출 및 로드맵 설계 추진

- **(동체·날개 제작공정 등 시범인증)** 국외 제작사례 연구를 통한 기체 설계 및 최적화 공정 도출

  – UAM 항공기 적용을 위한 기체 설계 및 최적화, 일체형 구조물 제작기술 개발 및 공정 최적화 연구 진행

  – 구조물 안전성 입증을 위한 해석기법 및 시험 방식 연구 및 적합성 입증을 위한 인증 기술 연구 및 관련 기준 마련

  – 기술 개발 및 공정 최적화를 위한 산·학·연 컨소시엄 구성을 통한 통합 연구체계 구축

- **(UAM 프로펠러 제작공정 및 시범인증)** 수직 이착륙 eVTOL 항공기를 위한 최적화 프로펠러 설계 기술 확보 및 제작 기술 및 공정 개발 도출

  – 프로펠러 설계 및 제작 기술 연구 수행을 위한 국외 기술개발 동향 조사 및 분석하고 프로펠러 형식인증이 고려된 수직이착륙 eVTOL용 고효율 프로펠러 설계 기술 확보 추진

  – 복합재료를 활용한 프로펠러 제작기술 연구 진행 및 저비용, 대량 생산을 위한 공정 최적화 추진

  – 수직이착륙 eVTOL 항공기 사용을 위한 프로펠러 적합성 입증 기술 연구

- **(UAM 비행체 인증시험 인프라 구축)** 비행체 수준 인증시험 필요항목 및 시험시설 필요성 분석 수행하고 이에 근거한 인증시험 시설 식별/선정 필요

  – 항공선진국 및 주요국가의 비행체 수준 인증시험 항목에 대해 비교 분석, 국내 비행체 인증시험 수행 필요성 검토 및 구축 대상 시설 선정(복수 선정 가능)

- 선정된 시험설비 및 운영 체계 구축 및 시범운영을 통한 시험설비 정상 운영 여부 확인
- 지속적으로 원활한 시험설비의 운영이 가능하도록 유지보수 등을 포함한 지원체계 구축

● **(UAM 유지감항 및 적합성 검증 체계 구축)** 고장/결함 수집, 위험성평가, 설계/안전성 개선조치 등을 기반으로 하는 기본적인 지속감항성 체계와 기술을 이해하고 UAM 항공기에 적합한 기술개발 및 체계 개선 필요

- 우리나라는 양산/상용화된 민간항공기가 없어, ICAO에서 규정하는 설계국·제작국 수준의 지속감항성 체계를 구축/운용한 경험이 없음
- 새로운 개발/운용 패러다임을 가지고 있는 UAM 시대를 준비하기 위해서는 전통적인 항공기보다 효율적이고 체계적인 지속감항성 체계 및 기술개발이 필요
- 설계·제작·등록국의 지속감항성 책무와 항공기/부품 인증서 소지자, 운용자, 정비조직 등이 수행하는 역할, 절차, 요건을 분석하여 UAM 항공기의 지속감항 프로세스에 적용
- UAM 항공기에 적합한 위험분석/평가를 위한 기준과 절차를 마련하고, 개선 방안을 수립할 수 있는 기술/절차/역량 개발 필요



[그림 Ⅵ-39] 유지감항 및 적합성 검증 체계 예시

● **(기체 설계·제작 인증기준 및 절차 개발/수립)** FAA 및 EASA의 eVTOL 기체 제작인증 제도와 기존의 국내 형식증명, 제작증명 및 생산승인 제도를 비교 분석하여 UAM 기체 제작/생산 인증기준 및 절차의 주요 경향 및 주안점 도출

- 이를 통해, 국내 실정에 적합한 UAM 기체 제작검사 및 제작인증 기준/절차를 수립하고, 관련 검사지침서, 기록/보고 양식 등을 개발하고 필요시에는 시범 제작인증 과제를 수반하여 개발/수립된 제작인증 기준 및 절차에 대한 검증 진행
- FAA의 ACAIS를 이용한 인증관리(CM, Certificate Management)제도 및 EASA의 생산 조직승인(POA, Production Organisation Approval) 감독제도 사례연구와 기존의 국내 제도를 비교 분석하고 국내외 UAM 기체 제작사의 품질시스템 평가 및 제작 인증 관리 체계 구축 방안 연구 진행

* ACAIS : Aircraft Certification Audit Information System

- 해당 연구를 통하여 Risk Based Resource Targeting(RBRT) 개념을 적용한 품질시스템 평가 툴을 개발하고, 제작인증을 획득한 UAM 제작사가 해당 품질시스템을 유지할 수 있도록 정기 또는 수시로 점검/감사 할 수 있는 인증관리 체계 구축 기반 마련

● **(UAM 인증을 위한 지상·비행 시험평가 기술)** UAM 기체 운항개념에 따른 비행포위선(FE, Flight Envelope) 및 예상 기상상태(AD), 시스템 안정성 분석 결과(FC)를 토대로, 각각의 비행조건별로 필요한 수준의 비행성(HQ) 기준 도출

– 미국/유럽의 UAM 비행성 평가등급 체계 분석 및 국내외 UAM 기체별 운항방법 및 특성 분석/정리 추진하고 이를 토대로 UAM 기체의 최소 비행성(HQ) 등급 설정

– 요구되는 비행성(HQ) 평가를 위해 필요한 비행기동(MTE Mission Task Element) 연구하고 상용화 기체에 대한 비행성(HQ) 평가에 적용하는 일련의 연구 프로세스 진행

• 비행성 평가에 필요한 UAM 비행성 평가 기동요소(MTE Mission Task Element) 설정

• 비행성 실증사업을 위한 UAM 기체선정, 평가시험 수행 및 결과 분석/정리

UAM 기체용 소재부품 인증시험평가기술 연구개발전략

● UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축

– 차세대 추진시스템 기술기준 연구

• 국내를 포함하여 미국/유럽 등 항공 선진국의 차세대 추진시스템 및 구성품 관련 기술개발 동향 조사 및 분석등을 통하여 기술기준 조사 및 분석 수행

• 미국/유럽 등 항공 선진국의 차세대 추진시스템 인증 정책/제도의 제·개정 동향 조사 및 분석을 통한 기술기준(안) 도출

– 차세대 추진시스템의 안전성 검증기술 연구

• 국내외 차세대 추진시스템 및 구성품 관련 안전성 검증 사례 연구 수행

• 구성품(모터, 배터리, 수소연료전지 등) 수준 안전성 검증 방법 및 절차 연구

• 시스템 수준(장착성 포함) 안전성 검증 방법 및 절차 연구

– 차세대 추진시스템 인증을 위한 시험 인프라 구축 및 시범 운용

• 차세대 추진시스템 관련 구성품 및 시스템 수준의 검증시험 시설·장비 구축

• 시험 시설·장비를 활용한 주요 기술기준에 대한 적합성 검증 수행

• 차세대 추진시스템 관련 시험 인프라 운용체계 및 활용방안 수립

● UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발 및 체계 구축

– 항공용 복합재료 데이터베이스 공유시스템 구축

• 항공산업 발전 및 관련 공익을 위하여, 국내에 복합재 물성 데이터베이스를 구축/

공유 및 관리 시스템 구축

- 해당 데이터베이스에 복합소재의 물리적, 화학적 기계적 물성치의 관리가 포함된 공정관리문서 및 재료규격서 포함

– 항공용 경량 금속소재 인증방안 수립

- 미국, 유럽등의 인증선진국의 항공용 경량 금속소재 인증 현황 확인
- 미국의 Metallic Materials Properties Development and Standardization (MMPDS) 체계 분석을 통한 국산 금속소재 인증 방안 수립
- 항공 경량 금속소재 요구도 입증을 위한 인증시험 및 인증기술 실증

● 요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가·인증 기술

– UAM 항공기 및 시스템에 적용하기 위한 체계적인 안전설계 기법을 연구하여 항공기 운용 환경에 적절한 시스템을 도출하는 절차 마련

- 국내외 항공기 안전설계 산업 동향 분석 연구
- 위험기반 사회 수용을 위한 안전설계 기법 연구
- 개발 단계별 기능 및 신뢰성 검증 절차 수립 연구
- 신기술 항공기 시스템 안전설계 기준 연구
- MIT STAMP 참여 등 국제 협력 확대 및 국제 세미나 개최

– UAM 항공기 및 시스템에 적용되는 안전설계를 기반으로 전통적 안전성 분석 기법과 신개념 시스템 안전성 분석 기법을 체계적으로 분석하고 복잡한 시스템에 적용될 수 있는 신개념 시스템 안전성 평가를 위한 기반 마련

- 전통적 시스템안전성 분석 기법 연구
- 신개념 시스템안전성 분석 기법 연구

– UAM 항공기 및 시스템에 적용되는 시스템 안전성 평가를 위한 고려사항 및 신개념 기법 적용을 위한 절차와 안전설계가 시스템 안전에 미치는 영향성을 분석하기 위한 연구

- 신개념 시스템안전성평가 및 검증 절차 연구
- UAM 시스템 기능 및 신뢰성 검증 시험을 통한 안전성 평가 결과 분석 연구

● UAM 전기동력시스템 인증(배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등)

– UAM 장시간 비행을 위한 전기동력 관련 인증기술 개발

– UAM의 동력원이 추락 등 외부 환경에도 안전할 수 있도록하는 기준 개발

● UAM 안전운용을 위한 전자기(환경 기준 등) 및 무선성능 기술기준

– 일반 상업용 항공기(Commercial Aircraft)와 달리 전자파 잡음레벨이 높은 환경인 도심지역(Urban Area)에서 운용되는 UAM 비행체의 안전한 운용을 위해 무선기기 전자기적합성 및 성능에 대한 시험평가기술 개발

• UAM 무선통신설비에 대한 인증기준 및 시험평가 방법 개발

• 무선통신 시험평가 설비 및 장비 구축

• UAM 비행체 무선기기 기술기준 국제 표준화 추진

– 불법드론에 대응하여 전파차단장치(전파 교란 장치)의 사용이 일부 장소에서 허용됨에 따라 의도치 않은 상황에서 전파차단 장치의 영향을 받을 수 있으며, 이러한 상황을 대비한 비행체의 정상동작 검증 필요

• UAM 체계 전자기간섭 기술기준(Electromagnetic Interference Standard) 개발

• UAM 체계 고강도 복사 전자기장(High Intensity Radiated Fields) 시험평가기술 개발

• 전자기 환경 시험평가 설비 및 장비 구축

• UAM 체계 전자기환경 시험기준 국제 표준화

● UAM 핵심부품 시험평가·인증기술 및 인프라 구축

– UAM 기체에 적용되는 부품 등에 대한 내구성, 영향성, 설계 적합성, 운용 적합성을 위한 시험평가·인증 기술 및 인프라 구축

• UAM 기체 핵심부품 인증·시험 입증항목 도출 등 인증체계 구축

• UAM 기체 핵심부품 데이터베이스 구축 등 시험 및 평가기술 연구

• 기체 핵심부품 인증·시험 시설/장비 구축 및 절차 수립, 운용(안) 수립/시범운용

라. 인증·시험평가 분야 기술로드맵

UAM 인증·시험평가 분야 단계별 기술개발 목표

● **(UAM 기체 인증시험평가 기술)** UAM 기체의 안전성 확보를 위한 인증기술을 확보하고 검증·시험을 위한 국가적 인프라 구축

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• UAM 기체 인증을 위한 기술기준 연구 및 시험평가 인프라 구축

• 비행성 평가기술, 내추락성 평가기술 등의 기체인증기술 및 체계 구축

• 기체 인증 및 안전성 시험평가를 위한 핵심시설 및 인프라 구축

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• UAM 제작/생산 인증기준 개발, 지속감항성을 위한 체계구축 및 기술개발

• 기체 인증 및 안전성 시험평가를 위한 시설 및 인프라 확대 구축

• UAM 기체 인증체계 구축 및 시험평가 인프라 고도화

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• UAM 기체 인증체계의 국제적 조화(Harmonization) 및 상호인정을 위한 협력체계 구축

• UAM 기체 인증체계 국제표준화

● **(UAM 기체용 소재·부품 인증시험평가 기술)** UAM 시장의 경쟁력 확보를 위해 신소재·핵심부품에 인증기술을 확보하고 검증·시험을 위한 국가적 인프라 구축

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• UAM 소재·부품 인증을 위한 기술기준 연구 및 시험평가 인프라 구축

• UAM 비행체/부품 경량화 소재 및 3D프린팅 소재의 제작·공정 승인절차 개발

• UAM 추진시스템 및 충돌방지 시스템 인증기술 개발 및 시험인프라 구축

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• UAM 소재·부품 인증체계 구축 및 시험평가 인프라 고도화 구축

• 인공지능(AI) 기반 자율비행시스템 인증기준 및 적합성/신뢰성 확인기술 개발

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• UAM 소재·부품 인증체계의 국제적 조화(Harmonization) 및 상호인정을 위한 협력체계 구축

• UAM 소재·부품 인증체계 국제표준화

〈표 Ⅵ-27〉 인증·시험평가 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM 기체 인증시험 평가 기술	UAM 내추락 등 안전성 인증	UAM 비행체 내추락성 인증 기술														
		UAM 비행체 내추락성 안전성 입증 기준														
		UAM 비행체 내추락성 평가 기술														
	동체·날개 제작공정 시범인증	UAM 동체/날개 모듈 일체형 탈 오토클레이브 복합재 및 공정 연구														
		일체형 탈 오토클레이브 구조 건전성을 위한 구조해석/시험 평가 기술 연구														
		일체형 탈 오토클레이브 재료/공정/부품 등 안전성 평가를 위한 인증기술 연구														
	UAM 프로펠러 제작공정 및 시범인증	UAM용 eVTOL항공기 프로펠러 형상 설계 및 개발														
		수지주입 공정 방식의 복합재료 프로펠러 제작공정 구축														
		프로펠러 안전성 입증 및 신뢰성 검증을 위한 인증기술 연구														
	UAM 비행체 인증시험 인프라 구축	비행체(항공기) 체계 인증시험 입증항목 도출														
		비행체(항공기) 체계 인증시험 시설/장비 구축 및 절차 수립														
		비행체(항공기) 체계 인증시험 시설/장비 운용(안) 수립 및 시범 운용														
	UAM	UAM 항공기 고장/결함 수집														

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM 기체용 소재·부품 인증시험평가 기술	유지감항 및 적합성 검증 체계구축	및 분류체계 구축														
		고장/결함 분석 및 위험성평가 기술개발 및 시스템 구축														
		UAM 항공기의 설계/안전성 개선명령 및 후속관리 체계 구축														
	기체 설계 · 제작 인증기준 및 절차 개발/수립	UAM 기체 제작검사 기준 및 절차 개발														
		UAM 기체 제작사 품질시스템 평가 기준 및 절차 개발														
		UAM 기체 제작 인증관리 체계 구축														
	UAM용 비행체 인증을 위한 지상 · 비행 시험평가기술 개발	UAM 기체 최소 비행성등급 설정														
		UAM 비행성 평가 기동요소(MTE Mission Task Element) 설정														
		UAM 비행성 시범 평가														
	요소 시스템 설계 및 안전성 시험평가 · 인증 기술	UAM 항공기 및 시스템 안전설계 기법 연구														
		UAM 항공기 및 시스템 안전성 분석 기법 연구														
		UAM 항공기 및 시스템 안전성 평가 절차 연구														
	UAM을 위한 차세대 추진시스템 인증 체계 구축	차세대 추진시스템 기술기준 연구														
		차세대 추진시스템 안전성 검증 기술 연구														
		차세대 추진시스템 안전성 검증 인프라 구축														
	UAM 비행체/부품 경량화 소재 인증기술 개발	UAM 비행체/부품 경량화 소재의 국내 인증체계 구축 연구														

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
	및 체계 구축	항공용 경량소재 국내 DB 구축 등 시험 및 평가기술 연구														
		항공선진국 수준의 소재 인증제도 연구														
	UAM 전기동력시스템 인증(배터리, 모터, 수소연료전지, 하이브리드 등)	UAM 리튬 배터리 인증기준 개발														
		수소 연료전지 인증기준 개발														
	UAM 안전운용을 위한 전자기(환경 기준 등) 및 무선성능 기술기준	UAM 체계 전자기 환경(Electromagnetic Environment) 기준 개발														
		고강도 복사 전자기장(High Intensity Radiated Field) 시험평가 기술 개발														
		전자기환경 시험평가 설비 및 장비 구축														
		UAM 무선기기 전자기 적합성 기술기준 개발														
		UAM 비행체 무선기기 성능 평가 및 인증 기술기준 개발														
		UAM 무선성능 시험평가 설비 및 장비 구축														
	UAM 핵심부품 시험평가·인증 기술 및 인프라 구축	UAM 기체 핵심부품 인증·시험 등 인증체계 구축														
		UAM 기체 핵심부품 데이터베이스 구축 등 시험 및 평가기술 연구														
		기체 핵심부품 인증·시험 시설/장비 구축 및 절차 수립														

제2절 항행·교통관리 부문 기술로드맵

1. 항행·교통관리 부문 총괄

가. 항행·교통관리 부문의 정의 및 필요성

■ 기술정의

● UAM 비행체들이 도심 내에서 안전하게 운항할 수 있도록 하는 고도의 교통 흐름 관리 체계와 CNS 기술

– **(UAM 통합 교통관리)** 도심 환경에서 UAM 비행체들이 충돌 위험이나 혼잡함 없이 운항할 수 있는 공역 운용 체계 및 교통 흐름관리 체계의 구현과 운영에 관련된 기술

– **(UAM CNSi)** UAM 안전운항에 필요한 정보교환과 동적 정밀 궤적기반 운용이 가능한 성능기반의 항법, 협력 및 비협력 감시정보의 공유, 보안체계 하에 절차 상의 정보[39]와 사용자[40] 간에 지속적인 정보의 공유 및 교환 등을 할 수 있도록 하는 기술

■ 기술 범위

● **(UAM 통합교통관리)** UAM 통합교통관리를 위한 공역 설계와 관리와 관련된 4개의 중점기술과 16개 세부 기술로 구성되어 있음

– **(UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술)** UAM 운용 환경 및 교통관리 체계를 초기에 구체적으로 조직화하기 위한 목적으로, 가상 통합 시뮬레이션 환경에서의 검증 시험을 통해 UAM 교통관리 운용개념 및 교통체계 참여자들의 역할을 검증하며, UAM 표준 운용절차나 초기 UAM 교통관리 시스템들의 기술기준안 개발을 포함

– **(UAM 운항 위험도 저감 관리 기술)** 운항 중 발생 가능한 위험 상황을 예상하고 위험도를 평가, 저감하거나 실시간으로 위험을 식별하고 대응하는 기술로 비행계획 위험도 분석/평가/저감, 우발상황 자동 대응 기술로 구성

– **(UAM 공역설계 및 관리 스케줄링)** UAM 항공기 운용 특성 및 비행 성능 기반의 운용 공역/회랑 설계 기준 마련, 동적 공역 스케줄링 및 성능 기반 운용 모니터링으로 구성

– **(실시간 운항 정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술)** PSU등에 의해 수행될 UAM 교통관리 서비스의 자동화기술, 실시간 교통량 및 수용량 예측과 교통흐름 관리, UAM 교통관리 서비스와의 상호 운용성 및 운항 경제성 향상을 목적으로 UAM 운항 주체(운항사 등) 관점에서 비행/운항 계획을 수립하고 조정하는 기술과 교통관리서비스 제공 시스템의 기술기준 및 인증절차 획득을 포함한 교통관리 시스템의 안전성 분석/평가 기술 등으로 구성

39) 기체, PSU들, 부가정보 서비스제공업체들, 항공당국, UAM 운항사들 등
40) 위와 상동

● **(UAM CNSi)** UAM 운용을 위한 CNSi와 관련된 6개 중점기술 및 17개 세부 기술로 구성

– **(저밀도 교통관리 시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술)** CNS/ATM 기반의 여객기 운용 경험 및 기존 체계를 활용하여 UAM 운항사 관점에서의 비행계획 수립, 비행 감시 시스템 구축 뿐만 아니라 PSU 등의 이해 관계 당사자들간의 CNSi 정보활용 및 공유체계 수립을 위한 기술을 포함

– **(UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술)** UAM 운항사는 안전운항에 필요한 정보교환을 지원하기 위해, 규정 상의 요구사항을 준수하여 PSU들 및 기체 간에 지속적인 통신을 가능하도록 하는 기술로 구성

– **(UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술)** 공유정보는 탑승객 매표 정보, 부가정보 서비스업체의 데이터 수집 등 비행안전과 무관한 정보 및 공역 내 운항 정보 등 비행 안전, 보안, 성능 등과 관련된 비행안전 정보를 포함

– **(차세대 UAM용 다중 상대항법 기술)** 항법 장비는 항행안전시설 및 기체 탑재 항법 장비를 포함 성능기반항법은 저시정 상황에서도 동적 정밀 궤적기반 운용이 가능하도록 하는 기술로 구성

– **(UAM용 협력적/비협력적 감시 기술)** 협력적 및 비협력적 운항을 위한 감시는 지상 인프라, 탑재장비, 위성기반 인프라의 지원을 받아 개별 항공기의 감시능력과 안전을 강화하는 기술로 구성

– **(UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술)** 양자컴퓨팅 환경에서도 안전하도록 하는 기술, AI에 기반한 공격들로부터 보호받는 기술, AI 기반 UAM 자율검증 기술로 구성

기술개발 필요성

● **(UAM 통합 교통관리 분야)** UAM 통합 교통관리 기술개발을 통한, UAM 비행 공역/회랑의 설정, 자동화된 교통관리 체계 수립 및 시스템 구축, 운용기술 확보, 위험도 관리 체계 구축은 UAM 운용 환경 구현에 필수적

– UAM 운용을 위해서는 우선적으로 비행할 공간이 설정되어야 하며, 단계별 증대되는 교통량 수용을 위한 UAM 회랑 망 확장 및 동적 관리는 단계별 목표와 직결

– 대중 수용성을 위한 체계적인 위험도 관리 기법 개발 필요

– 본격적인 UAM 운용을 위해, 가상 통합운용 검증 시스템을 통해 초기 UAM 교통관리 운용개념 및 교통체계 참여자들의 역할 검증이 선행되어야 하며, 표준 운항 절차 및 교통관리 사업자 기술 기준, 자격 검증 체계 마련 필요

● **(UAM CNSi 분야)** UAM 안전운항을 위해 UAM 안전운항 필요 정보교환, 궤적기반 운용이 가능한 성능기반 항법, 협력 및 비협력 감시정보 공유 통한 충돌방지, 이해당사자 간 지속적인 정보 공유 환경 구현 위해 UAM CNSi 기술개발 필요

- P2P 통신, 항공통신 주파수 용량 등 현재의 민간항공 분야 통신체계는 고밀도 UAM 운항과 안전운항 및 탑승객용 대용량 정보통신 수요를 충족할 수 없어, 기존 항공통신 주파수의 활용성을 증대하고 상용 통신서비스를 활용하는 통신체계 도입을 위한 관련 기술개발 필요

- 궤적기반 운용을 위한 성능기반 항법체계의 구현과 다중 GNSS 환경 도입, 정밀 GIS 정보 등을 활용한 대체항법 구현 등을 위한 기술 개발 필요

- UAM 운항 중 충돌방지 구현을 위해 네트워크 기반의 협력적 및 비협력적 운항기체의 광역 감시정보 공유체계 도입을 위한 기술개발 필요

- UAM 운항 이해당사자들의 신속하고 정확한 의사결정 지원을 위해 UAM CNSi 획득 및 활용체계 구현을 위한 기술개발 필요

나. 기술 동향 및 수준

기술 동향

● **(UAM 통합교통관리 분야)** 미국을 중심으로 UAM 운용개념이 발표되었으며, 운용개념 안에 교통관리 체계의 구성과 참여자들의 역할이 기술되어 있음

– 운용개념의 검증 및 실증, 실증을 통한 운용 관련 데이터 확보, 필요한 요소기술 식별 등의 목적으로 National Campaign 진행 중

– NASA를 중심으로 UAM Ecosystem Working Group 등의 채널을 통해 개발자 및 다양한 이해관계자의 의견을 수렴하고 UAM Maturity Level 등 미래 청사진 제시

– 유럽 EASA 등을 중심으로 UAM 운항을 위한 공역 구분과 동적 공역 관리에 대한 개념 수립 시작 단계이며, UAM 회랑 설계에 대한 기준이나 동적 관리, 실비행 합치성 모니터링 등에 대한 본격적인 기술개발 연구는 진행된 바 없음

– 일부 교통관리 시스템 기술은 기존 ATM 기술에서 차용하여 UAM용으로 변경 적용 가능할 것이나 아직 관련 연구는 시작 단계이며, UAM 고유의 교통관리 시스템 구현 기술연구는 기초연구 시작 단계임

● **(UAM CNSi 분야)** UAM CNSi에 대한 기술개발은 국가별 주요 UAM 도입 프로그램을 통해 추진 중으로 NASA의 경우 UML-4 단계('30년경)에 NASA AAM NC의 그 결과를 발표 예정

– 미국은 UAM 안전성에 대한 대중의 신뢰도 및 이해도 향상을 위하여 NASA 주도로 UAM 업계의 시험·실증을 지원하고 국가기준 기반데이터 확보를 위해 National Campaign 실시('18~)

– 영국은 총 3,000만 UKP 규모의 자금지원을 통해 에어택시, 배송드론, 소형 전기항공기 등 새로운 항공기와 자율비행, 항공교통관리, 규정, 운항 모델, 지상 인프라의 통합 실증을 위한 Future Flight Challenge 실시('20.5~)

– 프랑스는 Choose Paris Region 기관의 자금 지원으로, DGAC(민간 항공청) 감독 하에 Pontoise 비행장 통제구역에 탑승구역, 전기충전소, 지상시설 구축 ('21년 상반기), 비행시험('21.6), 서비스 개시 ('24, 파리 올림픽)를 목표로 파리 지역의 UAM 도입 프로그램 실시('20.10~)

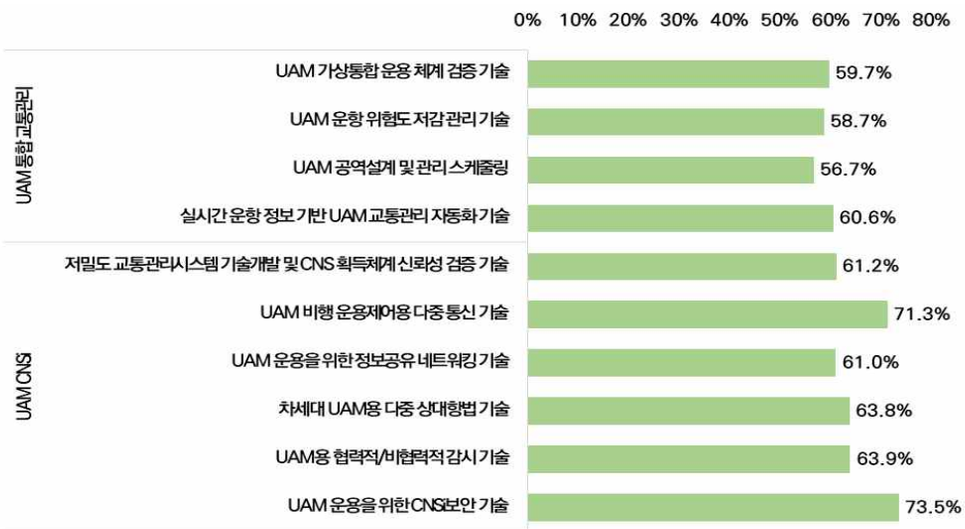
– 독일은 Lilium사의 기체를 활용하여 Dusseldorf 공항 및 Cologne/Bonn 공항 간 항공운송서비스('25) 협정체결

– 캐나다는 항공모빌리티 컨소시엄 출범('20.5) 및 AAM(Advanced Air Mobility) 벤쿠버 도입을 위한 백서 발행('20.9)과 자금투자 (총 1억 8,000만 달러) 중

기술 수준

● 항행·교통관리 부문 최고 선진국 대비 국내 기술수준

– 중점기술별로 큰 차이가 없으나 UAM CNSi 분야 기술이 UAM 통합 교통관리 보다는 높은 기술수준을 가진 것으로 보고됨



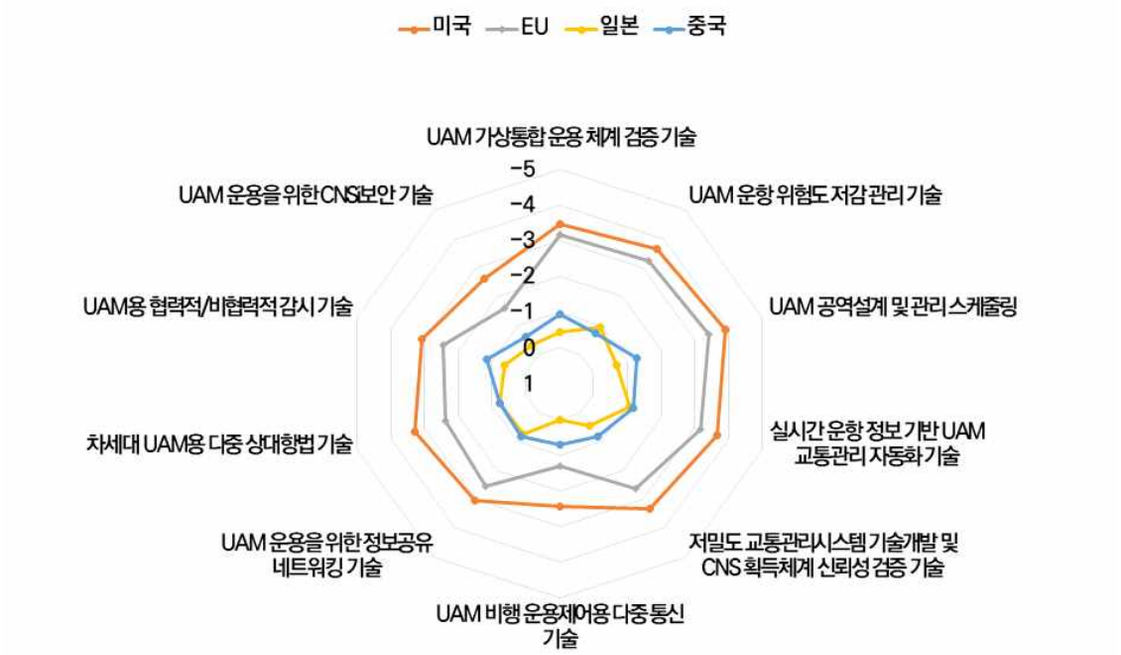
[그림 Ⅵ-40] 항행·교통관리 부문 주요분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 항행·교통관리 부문 경쟁국 대비 기술 격차

– 중점기술 수준으로 살펴볼 때, 우리나라 기준으로 미국과 유럽과 비교할 때는 3년 내외의 격차가, 일본과 중국과는 1년 내외의 격차가 나타나는 것으로 보고됨

〈표 Ⅵ-28〉 항행·교통관리 부문 주요분야-중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

주요분야	중점기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
UAM 통합 교통관리	UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술	-3.47	-3.17	-0.45	-0.93
	UAM 운항 위험도 저감 관리 기술	-3.67	-3.27	-0.93	-0.73
	UAM 공역설계 및 관리 스케줄링	-3.89	-3.42	-0.69	-1.29
	실시간 운항 정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술	-3.67	-3.18	-1.06	-1.18
UAM CNSi	저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술	-3.33	-2.65	-0.45	-0.83
	UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술	-2.44	-1.29	-0.01	-0.72
	UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술	-3.04	-2.54	-0.74	-0.84
	차세대 UAM용 다중 상대항법 기술	-3.30	-2.39	-0.78	-0.76
	UAM용 협력적/비협력적 감시 기술	-3.08	-2.46	-0.65	-1.17
	UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술	-2.63	-1.63	-0.34	-0.63



[그림 Ⅵ-41] 항행교통관리 부문 주요분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 항행·교통관리 부문 국내 산업역량

– 33건의 모든 세부기술은 독자생산이 가능한 것으로 보고됨

〈표 Ⅵ-29〉 항행·교통관리 부문 국내산업 역량

산업역량	세부기술 수	비중
LV 1(전량수입)	0	0.0%
LV 2(면허생산)	0	0.0%
LV 3(독자생산)	33	100.0%
LV 4(세계시장진출)	0	0.0%
LV 5(세계시장경쟁)	0	0.0%
총계	**33**	**100%**

● 항행·교통관리 부문 국내 기술개발 역량

– 33건의 기술 중 16건의 기술이 기초연구수행 단계이며, 10건의 기술이 기초/응용연구수행, 6건의 기술이 기초/응용/상용화연구수행, 1건의 미착수 단계로 조사됨

〈표 Ⅵ-30〉 항행·교통관리 부문 국내 기술개발 역량

산업역량	세부기술 수	비중
LV 1(미착수)	1	3.0%
LV 2(기초연구수행)	16	48.5%
LV 3(기초/응용연구수행)	10	30.3%
LV 4(기초/응용/상용화연구수행)	6	18.2%
총계	**33**	**100%**

다. 항행·교통관리 부문 기술로드맵

■ 항행·교통관리 부문 단계별 목표

● **(UAM 통합교통관리 분야)** 단계별 교통량 수용 가능한 안정적인 UAM 교통관리 체계 수립 및 운용기술 확보

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• Fixed Corridor 설계 기준 수립, 교통관리 체계 구조 설계

• 가상 통합운용 검증 환경 구축을 통해 UAM 교통관리 운용개념 및 교통체계 참여자 역할 검증

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• UAM 회랑 망 설계 및 동적 관리

• 교통관리시스템 자동화 구현, 교통관리사업자 기술 기준 수립 및 강화

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• UAM 회랑 망 확대 및 광역 교통망 구현

• UAM 운항사 및 교통관리사업자 주도의 UAM 경제성 향상 교통관리 기술 개발

● **(UAM CNSi 분야)** 안전운항 필요 정보교환, 궤적기반 운용 가능한 성능기반 항법, 협력 및 비협력 감시정보 공유 통한 충돌방지, 이해당사자 간 지속적인 정보 공유 환경 구현 등을 위한 기술개발

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• 이동통신과 지상네트워크를 이용한 네트워크 통신망 구축

• UAM 운항 관련 필요 정보교환을 위한 초기 PSU망 구축

• UAM 항로 및 vertiport 정밀접근 구현을 위한 정밀위성항법 이용체계 구축

• ADS-B 및 통신망을 활용한 감시정보 획득 및 활용체계 신뢰성 검증

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• 지상 통신망과 저궤도 위성통신망 활용한 이중 네트워크 통신망 구성

• UAM 운항 관련 필요 정보교환을 위한 PSU망 확대 구축

• 정밀위성항법체계 및 영상기반 상대항법체계 기술개발 통한 전천후 항법체계 구축

• 광대역 통신망을 활용한 감시정보 획득 및 활용체계 구축

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• 다양한 통신망 활용을 위한 다중 복합 네트워크 통신체계 구축

• 고밀도 UAM 운항 관련 필요 정보교환을 위한 PSU망 광대역 확대 구축

• 정밀위성항법체계, 영상기반 상대항법체계, 대체항법 기술개발 통한 복합항법체계 구축

• 고밀도 UAM 운항 수용을 위한 광대역 통신망 기반 감시정보 획득 및 활용체계 확대 구축

항행·교통관리 부문 기술로드맵

● 총 2건의 주요분야와 그에 따른 10건의 중점기술개발이 추진되어야 함

〈표 Ⅵ-31〉 항행·교통관리 부문 기술로드맵

주요분야	중점기술	세부기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM 통합 교통관리	UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술	UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술														
		기체조종 시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계 기술 개발														
		UAM 이착륙장(Vertiport 가상운용 시스템 기술 개발														
		UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM) 핵심기술 개발														
		UAM 운행환경 구현 기술 개발														
	UAM 운항 위험도 관리 및 저감 기술	비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술														
		비행계획 위험도 저감 기술														
		우발상황 자동 대응기술														
	UAM 공역설계 및 관리 스케줄링 기술	PBN 기반 UAM 공역설계														
		다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술														

주요분야	중점기술	세부기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM CNSi		PBN 기반 비행체 운용성능 실시간 모니터링 및 평가 기술														
	실시간 운항정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술	교통관리 자동화 기술														
		수용량 기반 교통흐름관리 기술														
		비행/운항 계획 실시간 조정 기술														
		실시간 교통 수요 및 수용량 예측 기술														
		교통관리시스템 안전성 분석/평가 및 인증 기술														
	저밀도 교통관리 및 CNSi 획득/활용체계 신뢰성 검증 기술	저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증														
		UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술														
		UAM 운항 안정성 확보를 위한 CNSi 및 이해관계자간 정보 공유체계 기술														
		CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증														
	UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술	UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술														
		UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G, 6G) 기술														
	UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술	PSU/이해당사자 간 네트워크 기술 (향후 SWIM 연계고려)														
		FIMS 망 접속 기술														
	차세대 UAM용 다중 상대항법 기술	정밀위성항법 (항로:SBAS, 접근:RTK) 기술														
		영상기반 상대항법 (기체 자세정보+영상정보+GIS 정보 활용) 기술														
		대체 무선항법기술 (정밀유도착륙 시스템 등, DME, eLORAN 등)														

주요분야	중점기술	세부기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
		복합상대항법 (정밀위성항법+영상기반 상대항법+대체 무선항법 등) 기술														
	UAM용 협력적/비협력적 감시 기술	네트워크 기반 협력적 감시기술														
		자상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술														
		비협력적·협력적 광역 감시정보 융합기술 (비협력 및 협력 센서 융합)														
	UAM 운용을 위한 CNSi 보안 기술	통신망 보안 기술														
		네트워크(데이터) 보안 기술														

2. UAM 통합 교통관리 분야 기술로드맵

가. UAM 통합 교통관리 분야 기술정의 및 구성

기술정의

- 도심 환경에서 UAM 비행체들이 충돌 위험이나 혼잡함 없이 운항할 수 있는 공역 운용 체계 및 교통 흐름관리 체계의 구현과 운영에 관련된 기술
  - **(UAM 가상통합 운용체계 검증기술)** UAM 운용을 위한 교통체계에 필수적인 요소들을 시뮬레이션 환경으로 구성하고 통합 시험을 통해 UAM 교통관리 운용개념 및 교통체계 참여자들의 역할을 검증하는 기술
  - **(UAM 운항 위험도 저감 관리 기술)** 위험도 관리: 운항 중 발생 가능한 위험 상황을 예상하고 위험도를 평가, 저감하거나 실시간으로 위험을 식별하고 대응하는 기술
  - **(UAM 공역 설계 및 관리 스케줄링)** UAM의 비행 공간인 공역/회랑을 설정하고 관리하는 기술
  - **(실시간 운항정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술)** UAM의 안전한 운항을 지원하는 UAM 교통관리 서비스 제공과 활용에 필요한 기술 일체

기술구성

- UAM 통합 교통관리 분야는 UAM 가상통합 운용체계 검증기술, UAM 운항 위험도 저감 관리기술, UAM 공역설계 및 관리 스케쥴링, 실시간 운항 정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술로 구성
  - **(UAM 가상통합 운용체계 검증기술)** 초기 UAM 교통관리 개념 검증, 표준 운항 절차 및 초기 교통관리사업자 자격 검증 체계 마련을 위한 가상 통합운용 검증 시스템 구현하는 기술 포함
  - **(UAM 운항 위험도 저감 관리기술)** 지상/공중 위험 식별 및 위험도 평가, 분석, 저감 기술, 운항중 발생할 수 있는 다양한 우발상황 식별, 데이터 기반 상황 예측, 분석, 대응 관련 기술 포함
  - **(UAM 공역설계 및 관리 스케줄링)** UAM 운용 회랑(Corridor) 및 회랑이 포함될 UAM 운용 공역의 설계, 설정/생성, 관리와 관련된 기술, UAM 비행체 운항 성능에 따라 공역을 구분하고 운항 성능 기준에 맞춘 비행을 수행하는 지 여부를 모니터링하는 기술 포함

– **(실시간 운항 정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술)** UAM 운용 공역, 회랑 및 이착륙장 주변의 교통량과 수용량 예측, 교통량-수용량 균형으로 원활한 교통흐름을 유지하는 UAM 교통흐름 관리 기술, UAM 교통관리 서비스와의 상호 운용성 및 운항 경제성 동시 향상을 목적으로 하는 UAM 운용 주체의 비행/운항 계획 수립 및 실시간 조정 기술 ,UAM 교통관리시스템 및 UAM 운항 안전성 분석 및 평가, PSU 사업자 자격 기준 수립/강화 및 인증 관련 기술 포함

〈표 Ⅵ-32〉 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술	UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가	• 가상 통합운용 통제시스템(IOCS) 설계 및 구현 기술 • 실시간 데이터 공유 기술 • 3차원 영상 생성 기술
	기체조종 시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계 기술	• 기체 운동모델링 기술 • 가변형 조종석 Cockpit 기술 • SVO(Simplified Vehicle Operation) 기술
	UAM 이착륙장(Vertiport) 가상 운용 시스템 기술	• Vertiport 통합운항정보 모사시스템 • Vertiport 통합운용 모사시스템
	UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM) 핵심기술	• UATM 핵심기술 연구 및 초기 PSU 시작품 개발 • PSU 네트워크 탐색 및 정보 공유 기술 • UATM 가상 트래픽 생성 기술 • ATC 정보 공유 체계 및 UAM 운항 보조 데이터 제공 모의 • UAM 교통 모의 시스템 통합 및 UAM 표준 운용절차 수립
	UAM 운항환경 구현 기술 개발	• 소음해석 기술 • 도심 국소기상 예측 기술 • 3차원 지형데이터 생성 기술
UAM 운항 위험도 저감 관리 기술	비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술	• 지상 위험식별 및 위험도 분석 기술 • 공중 충돌 위험 식별 및 위험도 분석 기술 • 비행계획 위험도 통합분석 기술
	비행계획 위험도 저감 기술	• 지상 평가 위험도 저감 기술 • 공중 충돌 평가 위험도 저감 기술 • 준실시간 비행계획 재생성 기술
	우발상황 자동 대응기술	• 탑승객 디스트레스 상황 대응 기술 • 기상악화로 인한 착륙 상화 대응 기술 • 비협력 비행체 출현 상황 대응 기술 • 버티포트 폐쇄 상황 대응 기술 • 항법기능 상실 상황 대응 기술 • PSU 네트워크 고장 상황 대응 기술 • ATC 통제구역 비계획 진입 상황 대응 기술 • 개별 항공기 고장 상황 대응 기술 • 모든 항공기 강제 착륙 명령 상황 대응 기술

중점기술	세부기술	기술명세
UAM 공역설계 및 관리 스케줄링 기술	PBN 기반 UAM 공역설계	• 공역별 비행체 운용성능 요구도 도출 기술 • 정적 공역 설계 기술 • 동적 공역 설계 및 관리 기술
	다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술	• 정적 회랑 생성 기술 • 동적 회랑 생성 및 관리 기술 • 회랑 운영 스케줄링 기술
	PBN 기반 비행체 운용성능 실시간 모니터링 및 평가 기술	• 비행체 운용성능 평가 기술 • 비행체 운용성능 실시간 모니터링 기술
실시간 운항정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술	교통관리 자동화 기술	• 비행계획 관리 및 처리 • 전략적(운항 전) 충돌 관리 (De-confliction) • 전술적(운항 중) 충돌 관리 • 비행계획 대비 실비행 합치성 모니터링(Conformance Monitoring) • 비상상황 식별 및 대처 기술 • ATM-UATM-UTM 상황 공유 및 연동 기술
	수용량 기반 교통흐름관리 기술	• 실시간 항공교통 흐름 모니터링 기술 • 전술적 이착륙 스케줄링 기술 • 시간 기반 운항 스케줄 관리 기술
	비행/운항 계획 실시간 조정 기술	• 임무관리 기술 • 경로 계획 및 재계획기술 • 실시간 상황 인지 및 고정밀 의사결정 기술 • (On-demand 서비스 대응용) 수요기반 임무 배치 기술
	실시간 교통 수요 및 수용량 예측 기술	• 공역 수용량 예측 기술 • 이착륙장 주변 교통량/수용량 예측 기술 • 디지털트윈 환경 구현 기술 • IoT 기반 통신 및 DB 연동기술 • 실시간 확률기반 시뮬레이션 및 예측 기술
	교통관리시스템 안전성 분석/평가 및 인증 기술	• UAM 운항 안전성 평가/분석 기술 • 교통관리시스템 실시간 운영 안전성 평가/분석 기술 • 교통관리시스템 인증 기준 및 평가 기술 • PSU 사업자 자격/기술 기준 강화 및 평가 인증 기술

나. 기술동향 분석

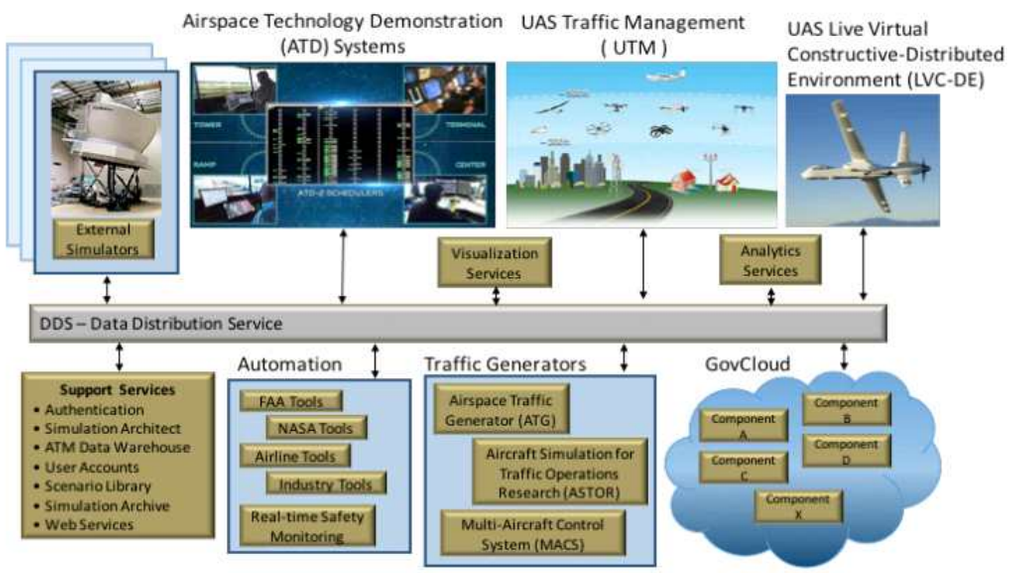
UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술 기술 동향

● **(UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가)** 조종석 시뮬레이터와 공항 출·도착 관리 등 일부 기술의 개발 경험은 보유하고 있으나, UAM 운용안전성, UAM 이해당사자 자격 검증과 운용 절차 훈련 등 통합운용 검증 기술은 기초연구 시작 단계임

– NASA는 최근 AAM NC (Advanced Air Mobility National Campaign)의 운용환경 검증을 목표로 다른 목적과 범위를 갖는 다양한 기존 구축 시뮬레이션 시스템들을 연결하여 UAM에 활용할 목적으로 SNTB(SMART-NAS Test Bed) 구현하고 있음

– UAM 운용안전성 검증을 위한 인프라 및 기술은 NASA 이외에는 조종사 훈련, 자율비행 기술 검증 등 기체 시뮬레이터 중심으로 개발·운용중

– 기체 시뮬레이터, 교통관리 시뮬레이터 등 UAM 종사자의 개별운용 검증 위주로 기술개발



출처: www.nari.nrc.nasa.gov

[그림 Ⅵ-42] UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가 기술 (NASA SMART-NAS)

● **(기체조종 시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계 기술)** 기체 시뮬레이터 기술은 주로 국방 분야 중심으로 발전해왔으며, 수행된 대규모 프로젝트로는 주로 한국형 헬리콥터 및 공군 전술훈련용 KF-16 시뮬레이터 등 군수용 훈련용 시뮬레이터 개발에 주로 집중

– FAA AC120-40B Level D급 비행성능 및 조종성 요구도를 만족하는 T-50 전술훈련 시뮬레이터 비행역학 모델을 개발

– '08년부터 '12년까지 ㈜한국항공우주산업에서는 "한국형 헬기 민군겸용 핵심 구성품 개발" 과제에 참여하며 한국형 헬기 구성품 자체의 개발뿐만 아니라 훈련체계(시뮬레이터, 정비훈련장비 등)의 구축/개발도 함께 수행

– 한국항공우주산업은 민항기 시뮬레이터 분야에 진입하기 위해 캐나다 CAE와 6개월에 걸쳐 공동 Working Group을 운영한 바 있음('15~'16)



출처: http://evtol.com

[그림 Ⅵ-43] 기체조종 시뮬레이터 기술 (B737 시뮬레이터(좌), 슬로베니아 Nervtech社(우))

● **(UAM 이착륙장(Vertiport) 가상 운용시스템 기술)** 국내 공항을 위주로 접근관제 이벤트 분석, 유지보수자 교육 등을 위한 제한적 기능을 갖춘 가상 공항운용시스템에 대한 운용경험이 있으며, 대부분 해외에서 시스템을 도입하여 운용

– 서울접근관제 및 인천관제탑 관제 이벤트 분석, 소프트웨어 사전 검증, 유지보수자 교육 등을 위한 서울접근관제시스템(ARTS) 테스트베드 구축('18년)

– 테스트 베드에서는 서울접근관제시스템의 운영 중인 대부분의 기능을 검증 할 수 있으며, 다수의 관제석이 설치되어 있어 다양한 환경을 시뮬레이션 수행 가능

– 서울접근관제시스템의 개량 사업이 진행 중으로(~'22.6), A-CDM 고도화를 위해 '21년까지 출도착관리시스템(AMAN/DMAN)이 개선될 예정으로 해당 신규 기능들 또한 테스트 환경에 동일하게 구현 예정



출처: 인천국제공항공사

[그림 Ⅵ-44] UAM 이착륙장 가상 운용시스템 예시 (서울 접근 관제시스템 테스트베드)

● **(UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM) 핵심기술)** 미국 NASA에서는 2000년대 초반부터 대규모 항공교통 시뮬레이션 시스템들을 구축하여 항공교통관리 연구개발에 활용해옴

– 최근 제각각 다른 목적과 범위를 갖는 다양한 시뮬레이션 시스템들을 연결하여 활용할 목적으로 SNTB (SMART-NAS Test Bed)를 구현

– 국내에서는 High Fidelity 항공교통 시뮬레이션 시스템을 구축하여 국내 운용 조건에 맞는 항공기 시간 기반 스케줄링 기법을 개발하고 공항 실데이터를 연동하여 실시간 운용이 가능한 출도착 관리 시스템으로 구현하여, 인천공항 및 제주공항에서 현장 시범운용 수행



출처: 한국항공우주연구원 구축 항공교통 시뮬레이션 시스템

[그림 Ⅵ-45] UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM) 가상운용환경

● **(UAM 운항환경 구현 기술개발)** 국내에서는 ICT 선진국으로서 여러 업체/기관에서 가상물리시스템 제작 및 운용에 필요한 기본적인 S/W 및 H/W는 다수 보유 중이나, 핵심기술 부분은 해외 기업의 기술에 많이 의존

– 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능(머신러닝) 등 가상물리시스템의 요소기술 관련 프레임워크 또는 플랫폼 도구 등의 개발 활발히 진행

– 요소기술 관련 역량을 가상물리시스템 제작/운용을 위한 통합기술로의 융합 활용사례는 찾아보기 어려움

UAM 운항 위험도 저감 관리 기술 동향

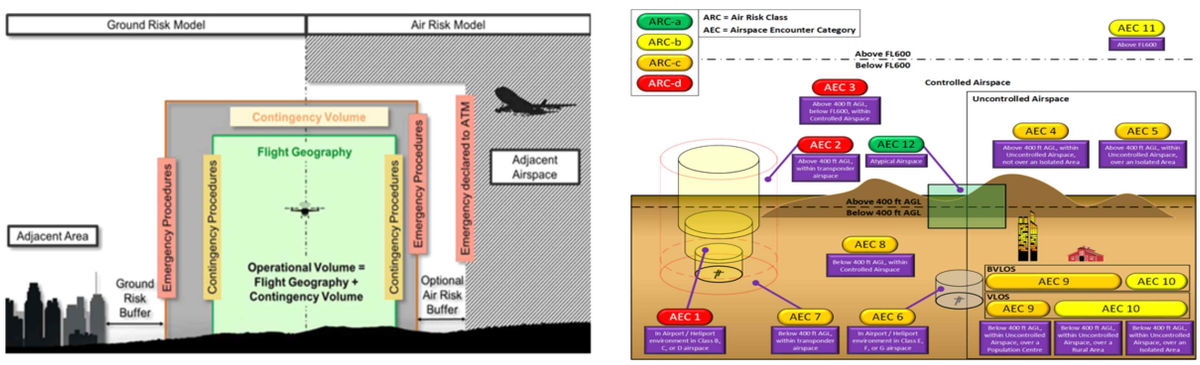
● **(비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술)** 비행계획의 경로를 따라 지상 및 해당 공역 상황 등을 고려한 충돌 위험을 분석하여 식별된 위험을 저감하는 기술에 대해 도입을 위한 초기 단계의 연구가 진행 중

– UAM 운항조건들(기체성능, 운항일정(time window), 안전운항 인프라(경유 회랑 및 목적지 vertiport 등) 수용능력, 항로상 기상조건 및 소음 제한 기준, 공역 제한사항 등)과 지상 및 공중충돌 위험들을 자동으로 식별/분석/평가하여 비행 전 de-confliction 수행을 위한 초기 단계의 기술개발 진행 중

〈표 Ⅵ-33〉 비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술

비행 계획 위험도 분석 세부 기술	세부 기술 설명
지상 위험 식별 및 위험도 분석	• 비행계획 상의 운항조건에 따른 지상 충돌 시 위험도 분석
공중 충돌 위험 식별 및 위험도 분석	• 비행계획 공역에서의 비행규칙, 관제 서비스 등에 따른 충돌위험 식별 및 공역 내 운항 비행체와의 충돌 위험도 분석
지상위험 및 공중 충돌위험 자동 평가 기술	• 식별된 지상 및 공중충돌 위험의 종합하여 비행계획의 위험도 분석

출처: JARUS SORA



출처: JARUS SORA(좌), Advisory Circular Subject on Remotely Piloted Aircraft Systems Operational Risk Assessment(AC 903-001) from Transport Canada(우)

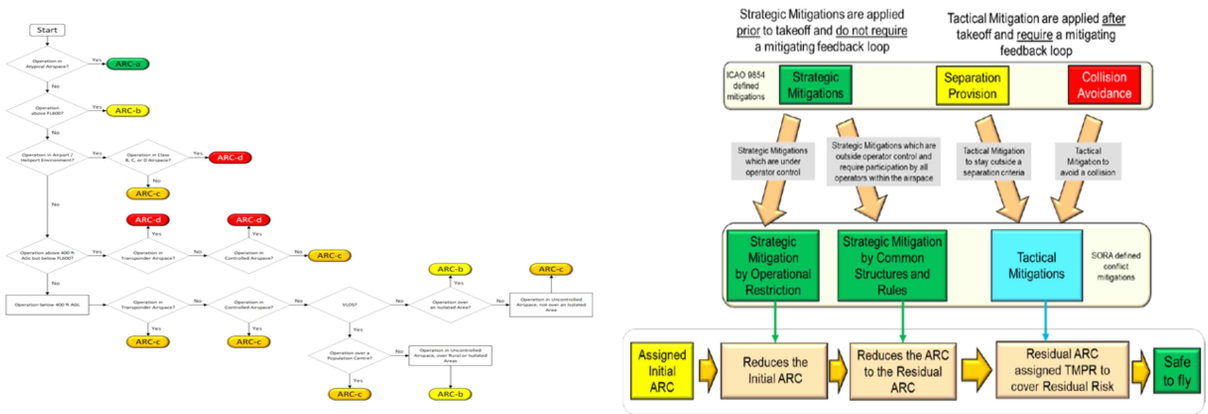
[그림 Ⅵ-46] SORA 시맨틱 모델 개념 및 공중 충돌위험 분석 위한 공역 분류

● **(비행계획 위험도 저감 기술)** UAM 운항조건들, 안전운항 인프라 수용능력, 항로상 기상조건 및 소음제한 기준, 공역제한사항 등과 식별된 지상 및 공중충돌 위험들을 회피할 수 있는 비행계획 재생성 기술 개발 중

〈표 Ⅵ-34〉 비행계획 위험도 저감 세부 기술

비행 계획 위험도 저감 세부 기술	세부 기술 설명
지상 평가 위험도 저감 기술	• 비행계획 항로 상의 지상 궤적부분의 제한사항(거주지 소음기준, 시각소음기준 등)을 고려한 항로 재생성 기술
공중 충돌 평가 위험도 저감 기술	• 비행계획 항로 상 공역에서의 비행규칙, 관제 서비스 등에 따른 식별된 충돌위험을 고려하여 새로운 운항 공역으로의 항로 재생성 기술
준실시간 비행계획 재생성 기술	• 지상 및 공중충돌 위험 저감을 위한 4D 항로 재생성 기술

출처: JARUS SORA



출처: JARUS SORAnada

[그림 Ⅵ-47] 공중 위험도 분석 절차 및 식별 위험 저감 절차

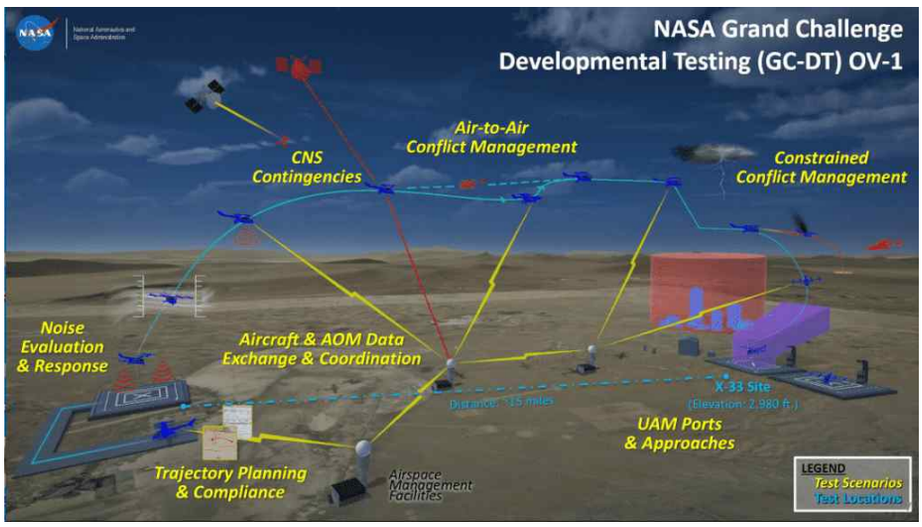
● **(우발상황 자동 대응기술)** UAM 우발상황 및 비정상 상황에 대한 대응기술 연구는 상황들에 대한 초기 식별 작업이 진행 중

– 일상적인 UAM 운항 중 발생할 수 있는 우발상황 및 비정상 상황 자동 대응 기술 개발에 대한 필요성이 대두되고 있음

〈표 Ⅵ-35〉 우발 상황 자동 대응기술

비행 계획 위험도 저감 세부 기술	세부 기술 설명
우발상황(Contigency) 자동 대응기술	• 탑승객 디스트레스 상황(Passenger in Distress), 기상악화로 인한 착륙 상황(Weather Restricts Landing), 비협력 비행체 출현 상황(Non-cooperative Aircraft), 버티포트 폐쇄 상황(UAM Aerodrome Closure) 등에 대한 대응 기술
비정상 상황(off-nominal) 자동 대응기술	• 항법기능 상실 상황(Loss of Navigation), PSU 네트워크 고장 상황(PSU Network Outage), ATC 통제구역 비계획 진입 상황(Unplanned Entry into Actively ATC-controlled Airspace), 개별 항공기 고장 상황(Individual Aircraft Failure), 모든 항공기 강제 착륙 명령 상황(All Aircraft Land) 등에 대한 대응 기술

출처: NASA UAM Vision ConOps UML 4



출처: NASA AAM NC

[그림 Ⅵ-48] NASA AAM NC의 우발상황 시나리오 개념도

UAM 공역설계 및 관리 스케줄링 기술동향

- **(PBN기반 UAM 공역설계)** UAM 운항을 위한 공역 구분과 동적 공역 관리에 대한 개념 수립 시작 단계

  – 초기 UAM용 항로는 기존 시계비행 항공기들의 항로 설계 기준을 적용할 수 있을 것으로 보이나, 성장기 이후로도 지속 가능한 UAM 교통 체계를 위해서는 UAM 동시 운용 용량, 회랑 망 구성, UAM 항공기의 항법 및 비행 성능을 다각도로 고려한 공역/회랑 설계 및 관리 기술 연구 필요

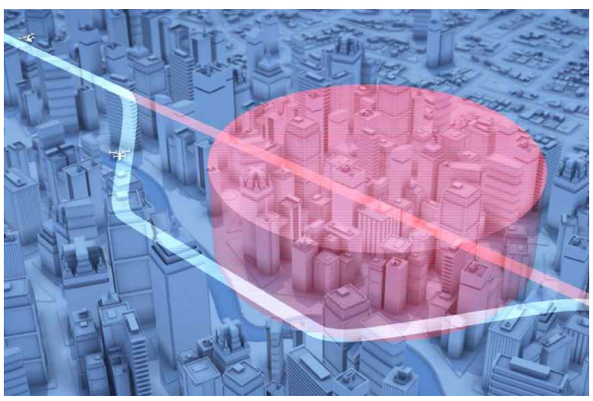


출처: "U-Space Concept of Operations", SESAR Joint Undertaking, 2019

[그림 Ⅵ-49] UAM과 UAS의 운항을 고려한 비행 공역 구분 개념도

● **(다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술)** 기존 ATM에서 활용되고 있는 기술 및 방법론 활용 가능할 것으로 보이나 동적 관리, 실비행 합치성 모니터링 등에 대한 본격적인 기술개발 연구는 진행된 바 없음

– 동적 회랑 자동 생성 및 관리와 관련한 기존 ATM의 동적 공역 관리 기법 적용가능



출처: "Urban Air Traffic Management Concept of Operatins", EmbraerX, 2020

[그림 Ⅵ-50] 동적 공역 관리 서비스 개념도

● **(PBN기반 비행체 운용성능 실시간 모니터링 및 평가 기술)** 비행체 운용성능 실시간 모니터링 UAM 운항을 위한 비행 공역 구분과 동적 공역 관리에 대한 개념 수립 단계에 불과

– PBN 기반의 비행체 운용 성능 실시간 모니터링과 관련한 기존 ATM의 4D 궤적 예측 및 모델링 기술

■ 실시간 운항정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술 기술동향

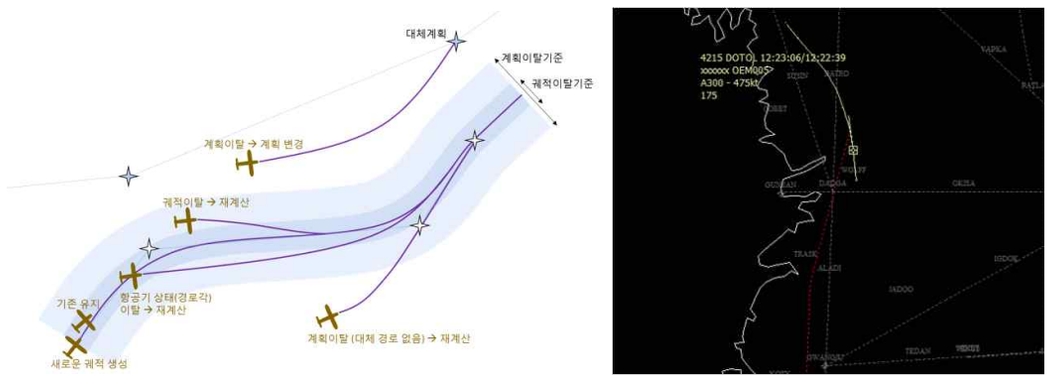
● **(교통관리 자동화 기술)** 기존 ATM에서 개발, 구현된 기술을 차용하여 UAM용으로 변경 적용 가능한 일부 기술 존재하며, 변경 적용을 위한 연구 수준은 기초연구 단계임

– 비행계획 관리 및 처리, 전략적/전술적 충돌 관리, 비행계획 대비 실비행 합치성 모니터링 등이 적용가능할 것으로 보임

〈표 Ⅵ-36〉 적용 가능한 기존 ATM 관련 기술 예시

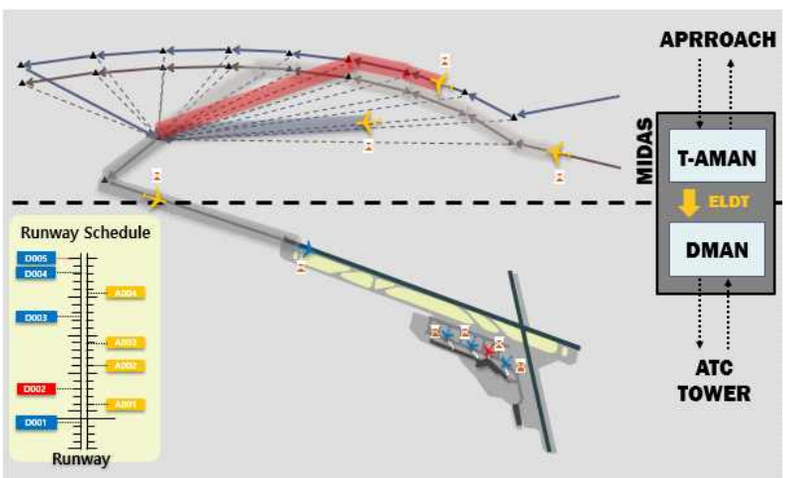
UAM 교통관리 자동화 세부 기술	기존 ATM 기술
비행계획 관리 및 처리, 비행계획 대비 실비행 합치성 모니터링	• 항공관제시스템의 FDP (Flight Data Processor) 및 SNET (Safety Nets)
전략적/전술적 충돌 관리	• 출도착 관리 시스템 (AMAN, DMAN), TBO에서의 주요지점 통과 시간 스케줄링 및 속도/고도 프로파일 생성 등

– UAM 운용 중 교통관리 차원에서의 비상상황 식별 및 대처, ATM-UATM-UTM 상황 공유 및 합동 대처을 위한 정보 공유 및 대처 방안 절차 개발 등은 신규개발 필요



출처: 오은미 외, “도착관리시스템을 위한 항적 자료 기반 궤적 예측 연구”, 한국항공우주학회 2014 추계학술대회, 2014년 11월

[그림 Ⅵ-51] 4D 궤적 예측 및 실비행 합치성 모니터링 예시



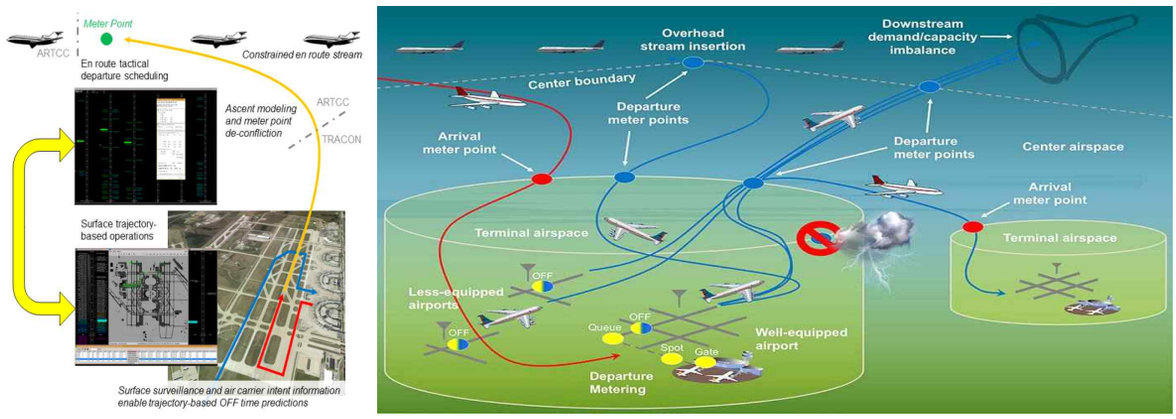
출처: 전대근, “항공기 출도착 통합 스케줄링 기술”, 한국항행학회 무인 이동체용 항행 및 관제 최신 기술 워크샵, 인천대, 2017. 8. 31, “항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구” (국토교통부 항공안전기술개발 사업, 2014-2020, 주관연구기관: 한국항공우주연구원) 연구 성과 중 일부

[그림 Ⅵ-52] 항공기 이착륙 시간 스케줄링 관련 – 제주공항 대상의 출도착 통합관리 시스템 개념도



출처: “항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구” (국토교통부 항공안전기술개발 사업, 2014-2020, 주관연구기관: 한국항공우주연구원) 연구 성과 중 일부

[그림 Ⅵ-53] 인천공항 및 제주공항 대상의 출도착 관리 시스템 개발 사례

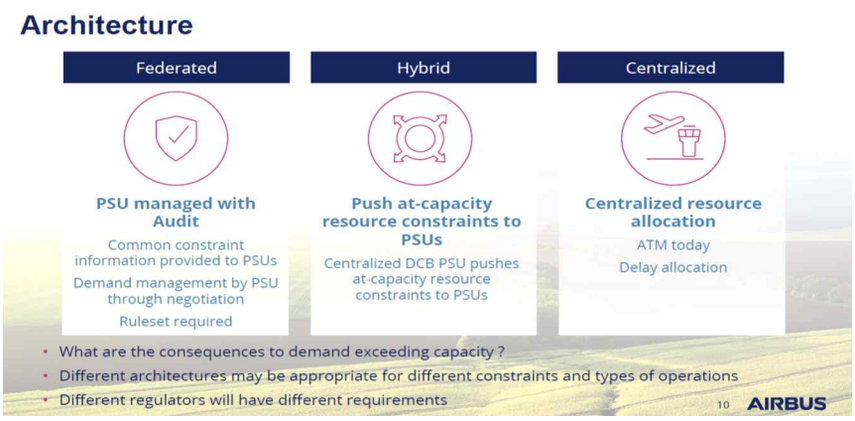


출처: (左) NASA, PDRC(Precision Departure Release Capability), (右) NASA, ATD-2 (Airspace Technology Demonstration 2)

[그림 Ⅵ-54] 기존 ATM의 전략적/전술적 충돌 관리, 교통 흐름 관리를 위한 시간 기반 스케줄링 개념도

● **(수용량 기반 교통흐름 관리 기술)** 기존 ATM에서 개발, 구현된 기술을 차용하여 UAM용으로 변경 적용 가능하나, 세부 기술의 변경 적용에 앞서 교통흐름 관리 체계 구현을 위한 구조에 대한 연구 시작 단계

– UAM의 운용개념에 맞는 DCB(Demand-Capacity Balancing)를 위한 정보의 생성/관리 주체와 적용 주체의 구분 및 구조에 대한 논의가 진행되고 있음



출처: Antony Evans, 'Demand Capacity Balancing', NASA UAM ecosystem WG meeting, November 10, 2020.

[그림 Ⅵ-55] Demand-Capacity Balancing을 위한 정보 생성/관리 및 공유 구조 예시

● **(비행/운항 계획 실시간 조정 기술)** 기존 ATM 체계에서 항공사들의 운항 스케줄 수립 및 관리 기술에 해당하나 UAM용으로 적용하기 위해 새로운 기술 개발 필요

– UAM에서는 기존 ATM에 비해 상황이 급변할 수 있으므로 실시간 운항계획 조정 기능이 확대되어야 하며, 하나의 관제기관에서 통합 관리하지 않는 분산형 체계이므로 PSU들이 제공하는 정보를 기반으로 다양한 상황 판단과 고도화된 의사결정 기술이 필요함

● **(실시간 교통 수요 및 수용량 예측 기술)** UAM 교통 시뮬레이션 및 디지털 트윈 환경 기반의 교통 수요, 수용량 예측 등 새로운 기술 개발이 필요하며 현재 기초연구 단계임

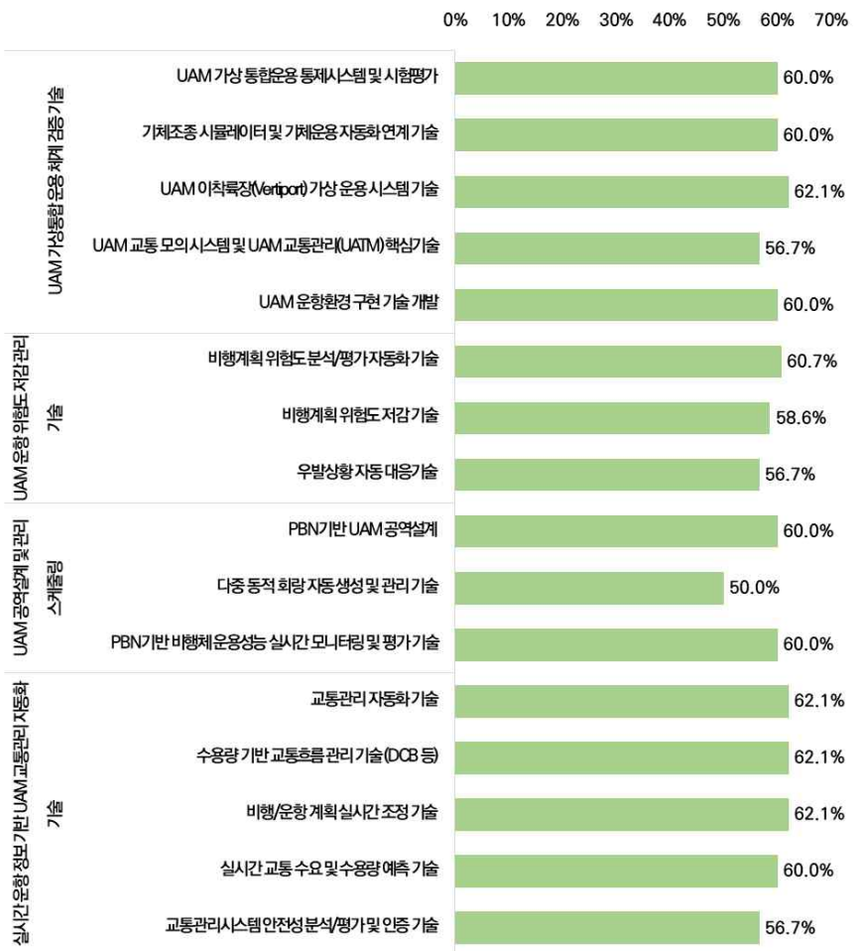
● **(교통관리시스템 안전성 분석/평가 및 인증 기술)** UAM 교통관리 시스템 안정성 분석/평가 및 인증 기술은 교통관리시스템 인증기준, PSU 자격 인증시험 등 인프라 확보 필요

다. 기술수준 및 연구개발전략

UAM 통합 교통관리 분야 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● UAM 통합 교통관리 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– UAM 통합 교통관리 분야의 기술수준은 전반적으로 유사한 수준으로 나타남



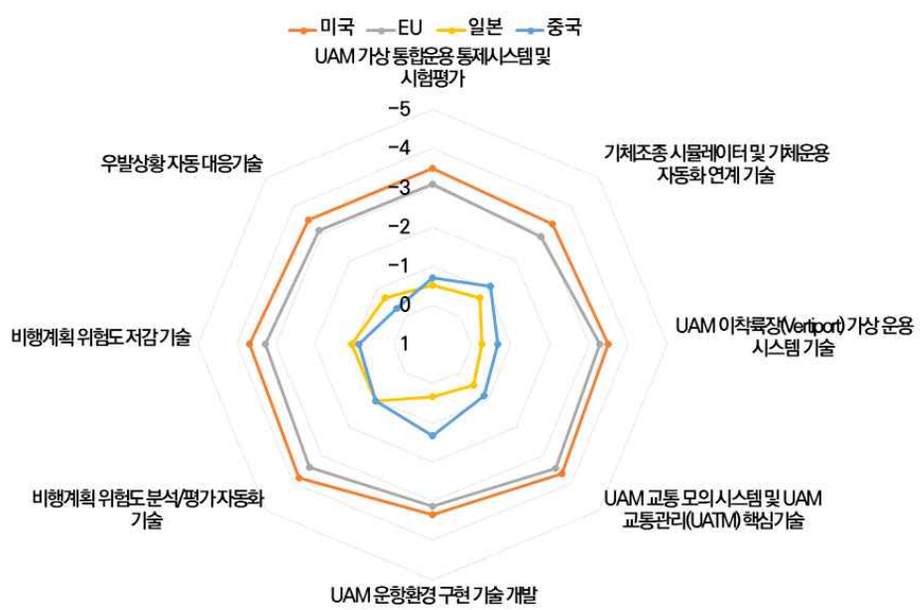
[그림 Ⅵ-56] UAM 통합관리 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● UAM 통합관리 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

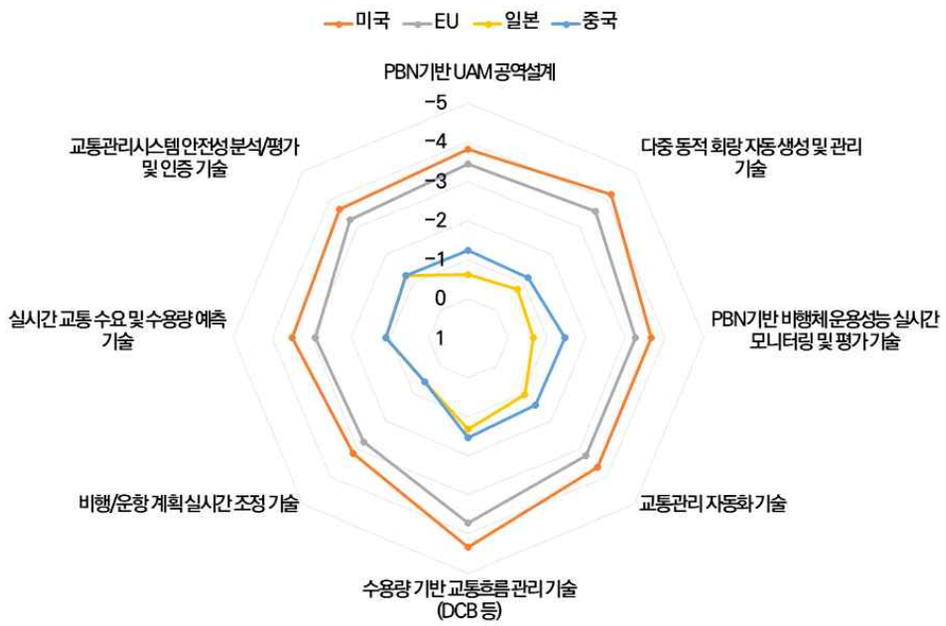
– 미국과 유럽이 높은 수준의 기술력을 보유했으며 이들과 3-4년의 기술격차가 있는 것으로 나타났으며 일본과 중국은 1년 내외의 기술격차가 있는 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-37〉 UAM 통합관리 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술	UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가	-3.50	-3.10	-0.50	-0.70
	기체조종 시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계 기술	-3.33	-2.90	-0.70	-1.10
	UAM 이착륙장(Vertiport) 가상 운용 시스템 기술	-3.50	-3.27	-0.27	-0.67
	UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM) 핵심기술	-3.67	-3.47	-0.47	-0.87
	UAM 운항환경 구현 기술 개발	-3.33	-3.13	-0.33	-1.33
UAM 운항 위험도 저감 관리 기술	비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술	-3.83	-3.43	-1.03	-1.03
	비행계획 위험도 저감 기술	-3.67	-3.27	-1.07	-0.87
	우발상황 자동 대응기술	-3.50	-3.10	-0.70	-0.30
UAM 공역설계 및 관리 스케줄링	PBN기반 UAM 공역설계	-3.83	-3.43	-0.63	-1.23
	다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술	-4.17	-3.57	-0.77	-1.17
	PBN기반 비행체 운용성능 실시간 모니터링 및 평가 기술	-3.67	-3.27	-0.67	-1.47
실시간 운항 정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술	교통관리 자동화 기술	-3.67	-3.23	-1.03	-1.43
	수용량 기반 교통흐름 관리 기술 (DCB 등)	-4.33	-3.73	-1.33	-1.53
	비행/운항 계획 실시간 조정 기술	-3.17	-2.77	-0.57	-0.57
	실시간 교통 수요 및 수용량 예측 기술	-3.50	-2.90	-1.10	-1.10
	교통관리시스템 안전성 분석/평가 및 인증 기술	-3.67	-3.27	-1.27	-1.27



[그림 Ⅵ-57] UAM 교통 통합관리 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차(1)



[그림 Ⅵ-58] UAM 교통 통합관리 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차(2)

● UAM 통합 교통관리 분야 국내 산업역량

– 모든 기술이 독자생산을 할 수 있는 산업역량이 있는 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-38〉 UAM 통합 교통관리 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술	UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가	LV 3(독자생산)
	기체조종 시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계 기술	LV 3(독자생산)
	UAM 이착륙장(Vertiport) 가상 운용 시스템 기술	LV 3(독자생산)
	UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM) 핵심기술	LV 3(독자생산)
	UAM 운항환경 구현 기술 개발	LV 3(독자생산)
UAM 운항 위험도 저감 관리 기술	비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술	LV 3(독자생산)
	비행계획 위험도 저감 기술	LV 3(독자생산)
	우발상황 자동 대응기술	LV 3(독자생산)
UAM 공역설계 및 관리 스케줄링	PBN기반 UAM 공역설계	LV 3(독자생산)
	다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술	LV 3(독자생산)
	PBN기반 비행체 운용성능 실시간 모니터링 및 평가 기술	LV 3(독자생산)
실시간 운항 정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술	교통관리 자동화 기술	LV 3(독자생산)
	수용량 기반 교통흐름 관리 기술 (DCB 등)	LV 3(독자생산)
	비행/운항 계획 실시간 조정 기술	LV 3(독자생산)
	실시간 교통 수요 및 수용량 예측 기술	LV 3(독자생산)
	교통관리시스템 안전성 분석/평가 및 인증 기술	LV 3(독자생산)

● UAM 통합 교통관리 분야 국내 기술개발 역량

– 과반 이상의 기술들이 기초연구수행 단계이며, 1/4의 기술이 기초/응용연구수행 단계이나 다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술은 미착수 단계인 것으로 조사됨

〈표 Ⅵ-39〉 UAM 통합 교통관리 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

중점기술	세부기술	국내기술개발 역량
UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술	UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가	LV 2(기초연구수행)
	기체조종 시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계 기술	LV 2(기초연구수행)
	UAM 이착륙장(Vertiport) 가상 운용 시스템 기술	LV 2(기초연구수행)
	UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM) 핵심기술	LV 2(기초연구수행)
	UAM 운항환경 구현 기술 개발	LV 3(기초/응용연구수행)
UAM 운항 위험도 저감 관리 기술	비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술	LV 2(기초연구수행)
	비행계획 위험도 저감 기술	LV 2(기초연구수행)
	우발상황 자동 대응기술	LV 2(기초연구수행)
UAM 공역설계 및 관리 스케줄링	PBN기반 UAM 공역설계	LV 2(기초연구수행)
	다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술	LV 1(미착수)
	PBN기반 비행체 운용성능 실시간 모니터링 및 평가 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
실시간 운항 정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술	교통관리 자동화 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	수용량 기반 교통흐름 관리 기술 (DCB 등)	LV 2(기초연구수행)
	비행/운항 계획 실시간 조정 기술	LV 2(기초연구수행)
	실시간 교통 수요 및 수용량 예측 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	교통관리시스템 안전성 분석/평가 및 인증 기술	LV 2(기초연구수행)

UAM 가상통합 운용 체계 검증 기술 연구개발전략

● **(UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가)** UAM 종사자의 운용절차, 자격조건 등 운용능력 확보를 위해 가상-현실 연동 운영환경에서의 K-GC 운용안전성 검증 플랫폼 개발

– 통합운용검증 시스템 자원 및 상태를 모니터링, 시나리오 생성 및 시험절차 실행, 통합 시험 데이터 저장 및 운용성능 평가 등 운용시험 전반에 걸친 통제 기술개발 및 시스템 개발

– 통합운용검증 플랫폼 연동을 위한 모듈별 API 설계 및 가상물리시스템 구현을 위한 실시간 공유·전송하기 위한 자료구조 설계 및 네트워크 구현

– 운용환경에 대한 영상정보를 운용자별 시각으로 전달 및 도시하기 위한 3차원 영상생성

● **(기체조종 시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계)** UAM 가상통합운용 환경 내에서 기체 조종 시뮬레이터를 통한 최적의 조종방식 선정을 통해 조종사의 조종성 증대를 도모하는 방향으로 개발추진

- 조종방식 및 계기에서 보여지는 다양한 정보들은 각기 유형 및 조합에 따라 조종사의 조종성에 대해 막대한 영향을 끼칠 수 있기 때문에 최적의 조종방식 선정은 필수적

- 이에 UAM 가상통합운용 환경 내에서 기체 조종 시뮬레이터를 통한 최적의 조종방식을 찾는 방식으로 개발

● **(UAM 이착륙장(Vertiport) 가상 운용 시스템)** UAM 기체의 운항 단계별 마일스톤을 생성하고 관리, 공유하며 이를 통해 UAM 교통에 있어 4차원 항적관리(4DT)를 이행할 수 있는 시스템과 절차가 필요

- UAM 이착륙장 가상운용 시스템은 UAM의 이착륙장 출발, 도착 단계 및 이착륙장 내 출발 준비 상황에 대한 세부 마일스톤 생성

- 이에 따른 주요 자원배정 계획을 수립, 공유하여 종합적인 UAM 운용상황에 대한 이착륙장 운용 시뮬레이션 환경 요구

● **(UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM))** 새로운 운송 수단으로써 기술 기준 및 운용 규칙 전반을 마련하고 관련된 시스템과 기체를 검증해야 하나, 비행이라는 운용 특성상 실증에 따르는 위험이 크며, UAM 종사자, PSU 등 새로운 주체들과 교통환경을 가정해야 하므로 이러한 복합적인 환경은 시뮬레이션에 의존하여 구현할 수밖에 없음

- 새로운 주체들의 기술 기준과 운용 절차 수립을 위한 항공교통 시뮬레이션 시스템 구축이 필수적임

- 기존의 항공교통체계는 항공교통관제사에 의해 통제되는 반면, UAM은 완전 자동화된 교통관리 체계를 갖추어야 할 것으로 예측됨에 따라, 기존 항공기와 UAM간의 안전성을 확보하기 위해 UAM 교통관리 핵심기술의 개발이 필요함

- 특히 Corridor 및 Vertiport등 운용 공간을 공유하는 UAM의 운용 특성상 PSU는 UTM의 USS나 기존의 항공관제기관과도 차별화된 역할을 수행해야함에 따라, 이를 위한 기술기준 및 검증 절차 마련을 위해서는 PSU의 역할에 해당하는 UAM 교통관리 핵심기술 개발이 필요

● **(UAM 운항환경 구현 기술 개발)** UAM 교통체계의 핵심요소인 이착륙장(Vertiport) 운용시스템에 요구되는 핵심기술 개발에 주력 후 UAM 운용성 검증을 위한 시스템 통합하는 방향으로 추진

- UAM 기체 운항 스케줄을 생성, 관리 및 공유하는 이착륙장 운항정보 관리 시스템 개발

- 이착륙장 운영현황 모니터링과 자원배정을 위한 이착륙장 운영 시스템을 개발

- 이해관계자와 운항 전반에 걸친 운영계획을 협력적으로 수립하기 위한 이착륙장 협력적 의사결정 지원 시스템 개발

UAM 운항 위험도 저감 관리 기술 연구개발전략

- **(비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술)** 비행계획 위험도 분석 자동화 기술 개발 통한 준실시간 비행계획 승인 시스템 구축

  – UAM 운항조건들[41]과 지상 및 공중충돌 위험들을 자동으로 식별/분석/평가하여 비행전 de-confliction 수행 기술 확보

- **(비행계획 위험도 저감 기술)** 식별된 비행계획 항로 상의 지상위험 및 공중충돌위험을 회피하는 비행계획 항로 재생성 기술 확보

  – UAM 운항조건들과 식별된 지상 및 공중충돌 위험들을 회피할 수 있는 비행계획(운항 일정 및 항로 등) 재생성 기술 확보

- **(우발상황 자동 대응기술)** 비교적 자주 발생하는 우발상황에 대비하기 위한 표준 운용절차서(SOP) 및 매우 드물게 발생하는 비정상상황 대비계획, 절차 및 자동대응 기술개발

  – 우발상황(Contingency Scenarios), 탑승객 디스트레스 상황(Passenger in Distress), 기상 악화로 인한 착륙 상황(Weather Restricts Landing), 비협력 비행체 출현 상황(Non-cooperative Aircraft), 버티포트 폐쇄 상황(UAM Aerodrome Closure) 대응 기술개발

  – 비정상 상황(Off-nominal Scenarios), 항법기능 상실 상황(Loss of Navigation), PSU 네트워크 고장 상황(PSU Network Outage), ATC 통제구역 비계획 진입 상황(Unplanned Entry into Actively ATC-controlled Airspace), 개별 항공기 고장 상황(Individual Aircraft Failure), 모든 항공기 강제 착륙 명령 상황(All Aircraft Land) 대응 기술개발

UAM 공역설계 및 관리 스케줄링 연구개발전략

- **(PBN 기반 UAM 공역설계)** UAM 운용 공역 및 회랑은 UAM 운용을 위해 우선적으로 설정되어야 하므로, 시급성하게 추진해야 함

  – UAM 운용 공역 및 회랑 설계 기술 확보, 비행체 별 운용 개념에 따른 비행 공역 분리, 항공기 항법 및 운항 성능에 따른 회랑 설정 및 설계 기술 확보

- **(다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술)** 정적 회랑 설정, 동적 회랑 생성 및 회랑 운용 스케줄링 기술 확보

  – 지상 장애물, 공중 충돌 위험, 교통량 수용 및 분석, 기상 조건 등을 고려한 UAM 운용 회랑 설정 기술 및 운용 환경에 따라 동적으로 회랑을 생성하거나 변경하는 등의 관리 기술 확보

41) 기체성능, 운항일정(time window), 안전운항 인프라(경유회랑 및 목적지 vertiport 등) 수용능력, 항로상 기상조건 및 소음제한 기준, 공역제한사항 등

● **(PBN기반 비행체 운용성능 실시간 모니터링 및 평가 기술)** UAM 운용 안전 유지를 위해, 비행 예정이거나 비행 중인 항공기의 운용 성능이 UAM 공역의 운용성능 요구도 부합여부를 실시간으로 모니터링하고 평가하는 기술 및 시스템 구축

– 기존 항공교통관리 체계에서의 지상 시스템 기반 항공기 운항 상태 모니터링 및 평가 기술 활용 가능

– CNSi의'UAM 협력적/비협력적 감시 기술' 및 'UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술'의 기술 개발을 통한 UAM 감시/통신 정보 적용 필요

■ 실시간 운항 정보 기반 UAM 교통관리 자동화 연구개발전략

● **(UAM 교통관리 자동화 기술)** 기존 항공교통관리 분야 기술의 차용 및 변형을 통해 선제적 기술 확보하고 성장기 ('30-) 및 성숙기 ('35-) 진입에 따른 장기적 관점의 기술 개발 필요

– 비행계획 관리 및 처리, 전략적 및 전술적 충돌 예측 및 관리, 실비행 합치성 모니터링 등을 단계적으로 확보하는 방안 마련 및 추진 필요

• 초기('25-) : UAM 운용 개념에 부합하는 교통관리 기술 확보

• 성장기 ('30-) : 교통량 증가 대비 운항 안전성 확보를 목표로 한 교통관리 자동화 시스템 구축 기술 확보

• 성숙시 ('35-) : 호출형 서비스 등 UAM 운용 형태 확장에 대비한 유연하고 탄력적인 교통관리 자동화 기술 확보

– 수용량 기반 교통흐름 관리 기술, 비행/운항 계획 실시간 조정 기술 등의 세부 기술 과의 연계를 통해 교통관리 자동화 시스템 구현 기술로 통합 필요

● **(수용량 기반 교통흐름관리 기술)** 기존 항공교통관리 분야 기술의 차용 및 변형을 통해 선제적 기술 확보하고 기존 항공교통교통관리 분야 기술과의 차별성 반영 필요

– 운용 공역의 공유를 위한 교통흐름관리에 있어, 다자화된 교통관리 주체(PSU)들이 동일한 운용 공간 내의 교통관리 서비스를 제공하는 UAM의 운용 개념 특성을 고려해야 함

• 실시간 교통흐름 모니터링, 전술적 이착륙 스케줄링 등

● **(비행/운항 계획 실시간 조정 기술)** UAM 운용 주체 (운항사 등)의 비행/운항 계획 수립 및 조정을 위한 기술로써, UAM 운항사 주도의 기술 개발 추진

– UAM 운용자로서, UAM 교통 관리 체계에 수용되기 위해 교통관리 서비스와의 상호 운용성 유지 및 향상 필요

• UAM 교통관리 서비스의 사용자이자 수용자인 UAM 운용 주체로서, 자율적인 비행/운항 계획 수립 및 조정 필요

- ‘UAM 교통관리 자동화 기술’, ‘수용량 기반 교통흐름 관리 기술’과의 연계 필요 - 교통관리 체계의 구성 및 서비스에 대한 주요 정책을 획득하여 가이드라인으로 설정

● **(실시간 교통 수요 및 수용량 예측 기술)** 기존 항공교통관리 분야 기술의 기본 방법론 차용을 통해 선제적 기술 확보 가능

– 수용량 설정의 공간적 범위인 UAM 운용 공역, 회랑 및 이착륙장 주변 공역의 특성과, UAM 운용 특성이 기존 항공교통관리 체계에서와 상이한 부분이 있으므로 기존 항공교통 체계에서의 교통 수요 및 수용량 예측 기술의 기본 방법론을 차용하되, UAM용으로 변형, 정립 필요

● **(교통관리시스템 안전성 분석/평가 및 인증 기술)** UAM의 운항 안전성 및 실시간 UAM 교통관리 시스템의 운용 안전성 평가/분석, 교통관리시스템 인증 기준 수립 및 시험 평가 기술 개발 추진

– 가상통합운용 검증 기술에서의 초기 UAM 교통관리시스템 기술 기준 수립 이후, 기술 발전 및 운용 환경 성숙에 따라 고도화된 교통관리시스템의 인증 기준 및 PSU 사업자 기술 기준 강화, 인증 체계 확보

라. UAM 통합 교통관리 분야 기술로드맵

UAM 통합 교통관리 분야의 단계별 기술개발 목표

● UAM 가상통합 운용체계 검증 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 초기 UAM 교통관리 운용개념 및 교통체계 참여자 역할 검증
- 표준 운항절차 및 초기 교통관리 사업자 기술 기준 및 자격 검증 체계 마련

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 도심내 복잡도가 높은 UAM 운용환경(UML3)에서의 교통관리 성능 검증 및 자율비행(Level2) 기술 검증
- 기체/교통관리/이착륙장 자동화 통합검증 환경 제공

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 도심내 복잡도가 높은 UAM 운용환경(UML4)에서의 교통관리 성능 검증 및 완전자율비행(Level3) 기술 검증
- 기체/교통관리/이착륙장 완전 자동화 통합검증 환경 제공

● UAM 운항 위험도 저감 관리 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 비행계획 위험도 분석 자동화 기술개발과 이를 통한 준실시간 비행계획 승인

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 식별된 지상 및 공중 위험을 회피할 수 있는 비행계획 재생성

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 비교적 자주 발생하는 우발상황에 대비하기 위한 표준 운용절차서(SOP) 수립
- 자동대응 기술개발 및 매우 드물게 발생하는 비정상상황 대비계획, 절차 및 자동대응 기술개발

● UAM 공역 설계 및 관리 스케쥴링

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- Fixed Corridor 설계 기준 수립

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• UAM 운용 공역 설정 기준 수립 및 회랑 망 설계

• Dynamic Corridor 설계 및 동적 운용 기준 수립

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• 교통량 증대 및 On-Demand 서비스 수용을 위한 Corridor 동적 스케줄링 기술 확장

• 이종 교통체계 연결을 위한 광역 교통망 구현

● **실시간 운항 정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술**

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• 통합 교통관리 체계 구조 설계

• ATM-UATM-UTM간 정보 공유 체계 및 비상 대응 절차 마련

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• 교통관리시스템 자동화 구현, 교통관리시스템 및 사업자 기술 기준 수립/강화

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• UAM 운항사 및 교통관리 사업자 주도의 UAM 경제성 향상 기술 개발

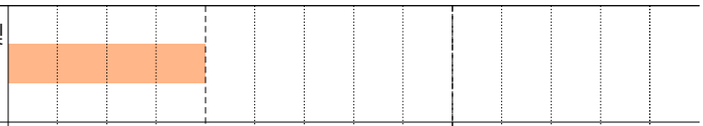
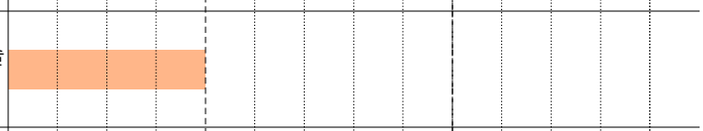
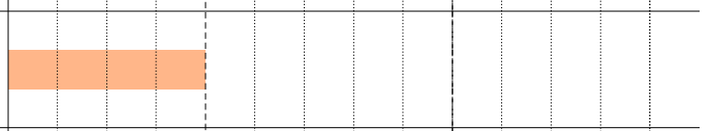
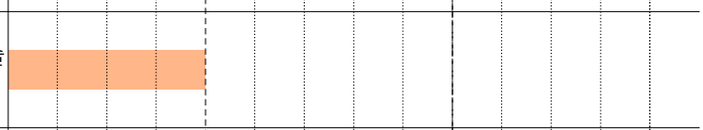
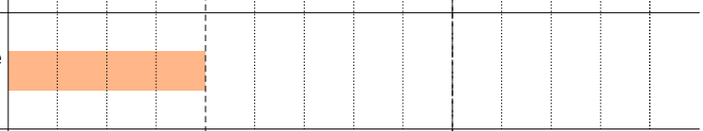
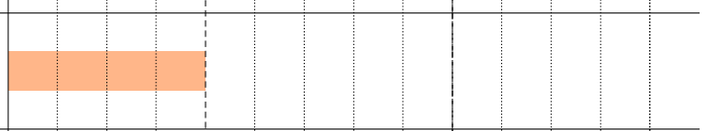
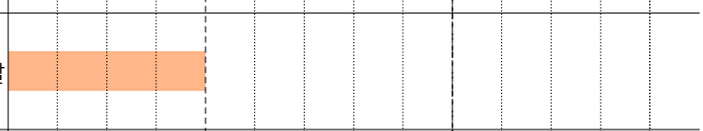
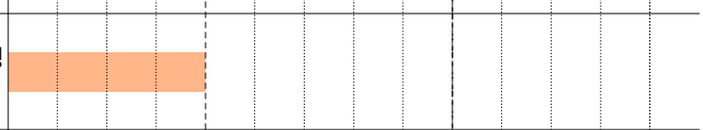
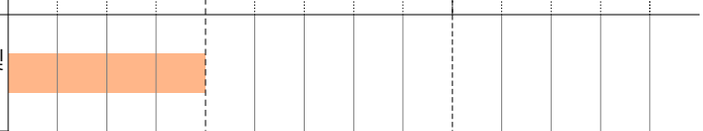
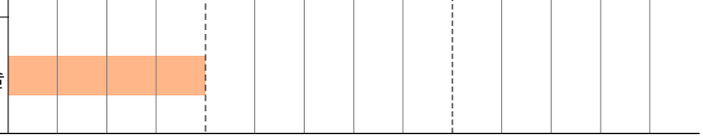
• UAM 운항 자동화 향상에 따른 교통관리 지원

UAM 통합 교통관리 분야 세부기술로드맵

● 4개 중점기술 및 16개 세부 기술로 구성

〈표 Ⅵ-40〉 UAM 통합 교통관리 분야 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM 가상통합 운용 검증	UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가	UAM 가상 통합운용 통제시스템 및 시험평가														
		기체조종 시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계 기술														
		UAM 이착륙장 가상 운용 시스템 기술														

		UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리(UATM) 핵심기술	
		UAM 운항환경 구현 기술 개발	
	기체조종 시뮬레이터 및 기체운용 자동화 연계 기술	기체 운동모델링 기술	
		가변형 조종석 Cockpit 기술 개발	
		SVO(Simplified Vehicle Operation) 기술 개발	
	UAM 이착륙장 가상 운용(Vertiport) 시스템 기술	이착륙장 운항정보 관리 시스템 개발	
		이착륙장 운영 시스템 개발	
		이착륙장 협력적 의사결정 지원 시스템 개발	
	UAM 교통 모의 시스템 및 UAM 교통관리 (UATM) 핵심기술	PSU 교통관리 기술 연구 및 모사 시스템 개발	
		UAM 가상 트래픽 생성 기술 개발	
		ATC 정보 공유 체계 및 UAM 운항 보조 데이터 제공 모의	
		UAM 교통 모의 시스템 통합 및 UAM 표준 운용절차안 개발	
	UAM 운항환경 구현 기술 개발	소음해석 기술	
		도심 국소기상 예측 기술	
		3차원 지형데이터 생성 기술	

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM 운항 위험도 관리 및 저감 기술	비행계획 위험도 분석/평가 자동화 기술	지상 위험식별 및 위험도 분석 기술														
		공중 충돌 위험 식별 및 위험도 분석 기술														
		비행계획 위험도 통합분석 기술														
	비행계획 위험도 저감 기술	지상 평가 위험도 저감 기술														
		공중 충돌 평가 위험도 저감 기술														
		준실시간 비행계획 재생성 기술														
	우발상황 자동 대응기술	탑승객 디스트레스 상황 대응 기술														
		기상악화로 인한 착륙 상화 대응 기술														
		비협력 비행체 출현 상황 대응 기술														
		버티포트 폐쇄 상황 대응 기술														
		항법기능 상실 상황 대응 기술														
		PSU 네트워크 고장 상황 대응 기술														
		ATC 통제구역 비계획 진입 상황 대응 기술														
		개별 항공기 고장 상황 대응 기술														
		모든 항공기 강제 착륙 명령 상황 대응 기술														

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM 공역설계 및 관리 스케줄링	PBN 기반 UAM 공역 설계	공역별 비행체 운용성능 요구도 도출 기술														
		정적 공역 설계 기술														
		동적 공역 설계 및 관리 기술														
	다중 동적 회랑 자동 생성 및 관리 기술	정적 회랑 생성 기술														
		동적 회랑 생성 및 관리 기술														
		회랑 운영 스케줄링 기술														
	PBN기반 비행체 운용성능 실시간 모니터링 및 평가 기술	비행체 운용성능 평가 기술														
		비행체 운용성능 실시간 모니터링 기술														
		4D 궤적 계획 부합도 모니터링 기술														
실시간 운항정보 기반 UAM 교통관리 자동화 기술	교통관리 자동화 기술	비행계획 관리 및 처리														
		전략적(운항 전) 충돌 관리														
		전술적(운항 중) 충돌 관리														
		비행계획 대비 실비행 합치성 모니터링														
		비상상황 식별 및 대처 기술														
		ATM-UATM-UTM 상황 공유 및 연동 기술														

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
	수용량 기반 교통흐름 관리 기술 (DCB 등)	실시간 항공교통 흐름 모니터링 기술					■	■	■	■	■					
		전술적 이착륙 스케줄링 기술					■	■	■	■	■	■	■			
		시간 기반 운항 스케줄 관리 기술					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	비행/운항 계획 실시간 조정 기술	임무관리 기술			■	■	■	■	■							
		경로 계획 및 재계획기술			■	■	■	■	■	■	■					
		실시간 상황 인지 및 고정밀 의사결정 기술					■	■	■	■	■	■	■			
		(On-demand 서비스 대응용) 수요기반 임무 배치 기술										■	■	■	■	■
	실시간 교통 수요 및 수용량 예측 기술	공역 수용량 예측 기술					■	■	■	■	■					
		이착륙장 주변 교통량/수용량 예측 기술					■	■	■	■	■					
		디지털트윈 환경 구현 기술			■	■	■	■	■							
		IoT 기반 통신 및 DB 연동기술			■	■	■	■	■							
		실시간 확률기반 시뮬레이션 및 예측 기술					■	■	■	■	■	■	■			
	교통관리시스템 안전성 분석/평가 및 인증 기술	UAM 운항 안전성 평가/분석 기술			■	■	■	■	■	■	■					
		교통관리시스템 실시간 운영 안전성 평가/분석 기술					■	■	■	■	■	■	■			
		교통관리시스템 인증 기준														

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
		및 평가 기술														
		PSU 사업자 자격/기술 기준 강화 및 평가 인증 기술														

3. UAM CNSi 분야 기술로드맵

가. 기술 정의 및 구성

기술정의

● UAM 안전운항에 필요한 정보교환과 동적 정밀 궤적기반 운용이 가능한 성능기반의 항법, 협력 및 비협력 감시정보의 공유, 보안체계 하에 절차 상의 정보[42]와 사용자[43] 간에 지속적인 정보의 공유 및 교환 등을 할 수 있도록 하는 기술

– **(저밀도 교통관리 시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술)** UAM 운항고도 및 비행단계를 고려한 seamless 데이터 통신링크 구현, 성능기반 비행 단계별 항법시스템 구현, 통신링크 기반 감시정보 획득, 운항정보 및 감시정보의 효율적인 공유 등 교통관리을 위한 기술

– **(UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술)** 비행단계에 따라 지대지(V2V), 공대공, 공대지 형태의 통신 경로를 구성. 운항 공역에 따라 ATC 통제를 따르기 위해 UAM 조종사와 ATC 간 통신을 위한 장비를 포함하는 기술

– **(UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술)** 비행안전과 무관한 정보 및 공역 내 운항정보 등 비행안전, 보안, 성능 등과 관련된 비행안전 정보를 PSU 네트워크, SWIM 등의 정보 네트워크를 통해 이해당사자들과 공유하는 기술

– **(차세대 UAM용 다중 상대항법 기술)** 탑재장비 능력과 정밀보정 정보 등 외부 제공 정보를 기반으로 최소 분리간격 유지, 장애물 회피, 실비행 합치성, 비상착륙 등 안전운항 수행하는 기술

– **(UAM용 협력적/비협력적 감시 기술)** 협력적 및 비협력적 운항을 위한 감시는 지상인프라, 탑재장비, 위성기반 인프라의 지원을 받아 개별 항공기의 감시능력과 안전 강화하는 기술

– **(UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술)** 통신망 해독, 해킹 등으로부터 안전하고 여러 상황에 대한 자율검증 기술

기술구성

● UAM CNSi 분야는 저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술, UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술, UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술, 차세대 UAM용 다중 상대항법 기술, UAM용 협력적/비협력적 감시 기술, UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술 6개의 중점기술로 구성

42) 기체, PSU들, 부가정보 서비스제공업체들, 항공당국, UAM 운항사들 등
43) 기체, PSU들, 항공당국, 부가정보 서비스제공업체들, UAM 운항사들, 기타 이해당사자들 등

– **(저밀도 교통관리 시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술)** CNS/ATM 기반의 여객기 운용 경험 및 기존 체계를 활용하여 UAM 운항사 관점에서의 비행계획 수립, 비행 감시 시스템 구축 뿐만 아니라 PSU 등의 이해 관계 당사자들간의 CNSi 정보활용 및 공유체계 수립을 위한 기술을 포함

- UAM의 초기 상용화를 위한 감시기반 구축 및 기체, 지상간 데이터 공유 그리고 안전운항을 위한 지상항법시설의 개발기술이 포함되며, UAM 본격 상용화를 위한 상용 이동통신망 적용과 이해관계자간 데이터 공유체계 기술 포함

- UAM 운항시 필요한 CNSi 기술개발과 실증 관제시스템 모사를 통해 CNSi 정보 품질확보 등 기술체계 확립 및 관제시스템을 통한 안전요소 발굴 등 감시체계 선도적 구현을 위한 기술 포함

– **(UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술)** 통신 경로는 비행단계에 따라 지대지(V2V), 공대공, 공대지 형태로 구성되며 사용 주체에 따른 기체상태 모니터링용, 조종사의 안전운항정보 통신용, 탑승객 인포테인먼트용 통신링크 포함

- 운항 공역에 따라 ATC 통제를 따르기 위해 UAM 조종사는 ATC와의 통신을 위한 장비를 구비해야 함

- UAM 운항을 위한 TC(Telecommand) 및 TM(Telemetry), 기체 건전성 모니터링, PSU와의 교통관리 관련 정보교환, 승객을 위한 인포테인먼트 및 비상용 통신을 지원하는 시스템 포함

- 안전성을 확보하기 위해 제어 전용 C 대역 CNPC(Control and Non-Payload Communications), 5G/6G 이동통신, LEO 광대역 위성통신 등의 다중링크 구성

- 항상 안정적인 정보교환이 가능하도록 각 UAM 기체의 링크별 상태(장치, 무선채널 등)를 반영한 다중링크 제어 및 다중망과의 연동기술 포함

– **(UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술)** 공유정보는 탑승객 매표 정보, 부가정보 서비스업체의 데이터 수집 등 비행안전과 무관한 정보 및 공역 내 운항 정보 등 비행안전, 보안, 성능 등과 관련된 비행안전 정보를 포함

- 비행안전과 무관한 정보 및 공역 내 운항 정보 등 비행안전, 보안, 성능 등과 관련된 비행안전 정보를 PSU 네트워크, SWIM 등의 정보 네트워크를 통해 이해당사자들과 공유 포함

- 드론 및 UAM 교통관리를 위하여 국가가 관리하게 될 FIMS망과 비행계획, 기체 등록, 기체 안전등의 정보를 상호 교환할 수 있는 접속기술 포함

– **(차세대 UAM용 다중 상대항법 기술)** 항법 장비는 항행안전시설 및 기체 탑재 항법장비를 포함 성능기반항법은 저시정 상황에서도 동적 정밀 궤적기반 운용이 가능하도록 하는 기술로 구성

- UAM 항법 시스템은 비행 전 과정에 걸쳐 적용되는 GNSS/INS와, 재밍과 기만 등에 의한 GNSS 성능 저하 및 불용 상황에 대비한 대체항법을 모두 결합하고, 각 장치의 데이터를 융합(fusion)하여 항법 데이터(위치, 속도, 자세 등)를 생성하는 기술 포함

- 대체항법은 비전 센서나 레이더 고도계, LiDAR를 이용한 영상기반 항법, eLORAN과 SoOP 등 지상기반 무선항법, 그리고 GNSS 수신기의 정확도를 보장할 수 없는 Vertiport 주변에서 UAM 기체의 접근과 이착륙을 지원하기 위한 전용 RF 인프라 기반 정밀측위와 5G/6G 기반 정밀측위 등으로 구성

- 항법 데이터의 무결성 감시와 장치의 결함 검출 등을 통해 복합항법 구성 장치들의 건전성을 감시하고, 결함/이상이 발생한 장치를 발견하면 해당 장치를 분리하거나 장치의 복원(healing)을 시도하는 기술도 포함

– **(UAM용 협력적/비협력적 감시 기술)** 협력적 및 비협력적 운항을 위한 감시는 지상 인프라, 탑재장비, 위성기반 인프라의 지원을 받아 개별 항공기의 감시능력과 안전을 강화하는 기술로 구성

- 네트워크 기반 협력적 감시 기술은 UAM을 포함한 비행체(항공기, sUAS 등)가 통신 링크를 이용해 자신의 상태 정보(위치, 속도 등)를 각각의 교통관리체계(PSU, ATM, UTM 등)에 보고하고, 타 교통관리체계는 UAM 운항공역 부근의 비행체에 대한 정보를 PSU에 제공. 또한 UAM 비행체들에 대한 상태 정보 역시 ATM 또는 UTM에 제공하도록 하는 기술 포함

- 감시정보는 PSU에 의해 활용하고 공유되지만, 비행 중 위험식별 및 보고 등을 위해 다수의 항공기 간, 지상/위성 인프라 간에 직접적인 정보교환 수행하는 기술 포함

- UAM 기체는 이륙/항행/돌발/착륙 등의 모든 상황에서 PSU가 제공하는 주변 비행체 정보와 자신에 탑재된 장애물 탐지용 센서(레이다, EO/IR 센서 등) 데이터를 융합해 동적·고정 장애물을 탐지하고 이들과의 충돌을 회피할 수 있도록 하는 기술 포함

– **(UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술)** 양자컴퓨팅 환경에서도 안전하도록 하는 기술, AI에 기반한 공격들로부터 보호받는 기술, AI 기반 UAM 자율검증 기술로 구성

- 통신망 보안 기술은 기존 암호체계를 적용했을 때와 달리 양자컴퓨팅 환경에서도 통신망 해독 위험이 없고 해킹으로부터 안전하도록, UAM 통신 당사자간 양자역학 원리에 기반하여 암호키를 분배하는 기술과 UAM 통신 당사자간 양자내성암호에 기반하여 통신 데이터 기밀성과 무결성을 제공하는 기술로 구성

- 네트워크(데이터) 보안 기술은 AI에 기반한 공격 조기탐지와 자동대응 기술과 UAM 하드웨어/소프트웨어 동작 상황에 대해 UAM 스스로 정상/비정상 유무를 검사하고 보고하는 AI 기반 UAM 자율검증 기술로 구성

〈표 Ⅵ-41〉 UAM 통합 교통관리 분야 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술	저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증	• UAM 무선통신 체계구축 기술개발 및 신뢰성 검증 기술 • UAM GNSS 항법시스템 기술개발 및 신뢰성 검증 기술 • RF 링크 신뢰성 검증 요구도 수립 기술 • 감시획득체계 및 획득정보 신뢰성 검증 기술
	UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술	• 운항사 중심 UAM CNSi 운용개념(안) 수립 • UAM 종합운용통제 요구사항(안) 및 절차 수립 • 개발운항사 중심 UAM 운용통제 시스템 구현/시연
	UAM 운항 안정성 확보를 위한 CNSi 및 이해관계자간 정보 공유체계 기술	• 기존 ATM시설에 의한 UAM 감시정보 획득체계 신뢰성 기술 • 기체 안전 운항을 위한 운항 정보 공유 기술 • 지상 UAM 항법시스템 기술 • 상용망 데이터 통신 감시정보 신뢰성 및 연동 기술 • 감시정보 공유 시뮬레이션 및 검증 기술
	CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증	• CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증 • 운항경로 CNSi 기술 • Vertiport CNSi 기술 • UAM 실증 관제시스템 구현 기술
UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술	UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술	• C대역 UAM C2 데이터링크 기술 • C대역 UAM C2 통신 네트워크 기술
	UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G, 6G) 기술	• UAM 통신을 위한 5G망과의 연동기술 • UAM 통신을 위한 LEO 위성망과의 연동 기술
UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술	PSU/이해당사자 간 네트워크 기술 (향후 SWIM 연계고려)	• Collaborative Decision Making (V-CDM) 핵심 기술기반 PSU 정보공유 기술 • 기관별(VP관리자, 운항사업자, PSU) 데이터 및 정보 자동연계 기술 • 비상상황 발생시 대응 자동화 기술 • 기체 센서 및 지상CNSi 공유 및 저장기술 • 센서 통합기술 • 정보공유 데이터 표준화 • PSU와 이해당사자간 정보공유(DB) 기술 • 연계 정보망(SWIM 등)인터페이스 기술
	FIMS 망 접속 기술	• PSU-FIMS 연동기술 • PSU-FIMS 간 실시간 검색 및 정보 동기화 서비스 기술
차세대 UAM용 다중 상대항법 기술	정밀위성항법 (항로:SBAS, 접근:RTK) 기술	• 다중위성군 다중주파수 정밀위성항법 및 무결성 기술 • GNSS 보강 정보 생성 및 전달 기술 • 주변 반사체에 의한 GNSS 다중경로 신호 억제 기술
	영상기반 상대항법 (기체 자세 정보+영상정보+GIS 정보 활용) 기술	• 위성항법 불용 환경에서의 (카메라/레이다/라이다/IMU) 센서 및 GIS 정보 기반 항법 기술
	대체 무선항법기술 (정밀유도착륙 시스템 등, DME, eLORAN 등)	• 위성항법 불용 환경에서의 대체 무선항법 기술 • SoOP (Sgnals of OPportunity) 이용 측위 기술 • Vertiport 주변 정밀항법 기술 • Vertiport 정밀유도 이착륙 기술
	복합상대항법 (정밀위성항법+영상기반 상대항법+대체 무선항법 등) 기술	• 다중센서 결합 복합 항법 기술 • 복합 항법 무결성 감시.관리 (절체/분리/복원) 기술

중점기술	세부기술	기술명세
UAM용 협력적/비협력적 감시 기술	네트워크 기반 협력적 감시기술	• 협력적 장애물 탐지 기술 • 지상-UAM간 무선링크 기술
	지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술	• 전자식 빔제어 능동배열안테나 및 집적화 기술 • 중장거리 탐지가 가능한 고출력/고감도 송수신기 칩 기술 • 다중 표적 탐지, 추적, 식별을 위한 레이다 신호처리 기술
	비협력적·협력적 광역 감시정보 융합기술 (비협력 및 협력 센서 융합)	• UAM 운항을 위한 시각인지 및 레이더 등 이종센서 멀티모달신호 처리 기술 • 이종센서를 활용한 비협력적 장애물 탐지 기술 • 이륙/항행/돌발/착륙 상황別 정밀 복합센서, 관제정보 연동 기술
UAM 운용을 위한 CNSi 보안 기술	통신망 보안 기술	• 양자암호 모듈을 이용한 P2P 통신 암복호화 기술 • VPN 등을 이용한 이해당사자간 네트워크 보안기술
	네트워크(데이터) 보안 기술	• UAM Safety 보장을 위한 능동 사이버보안 위협탐지 기술 • 고신뢰성 단일정보(One Source Information) 생성 기술 • 보안등급에 따른 정보 접근통제 및 보호기술

나. 기술동향 분석

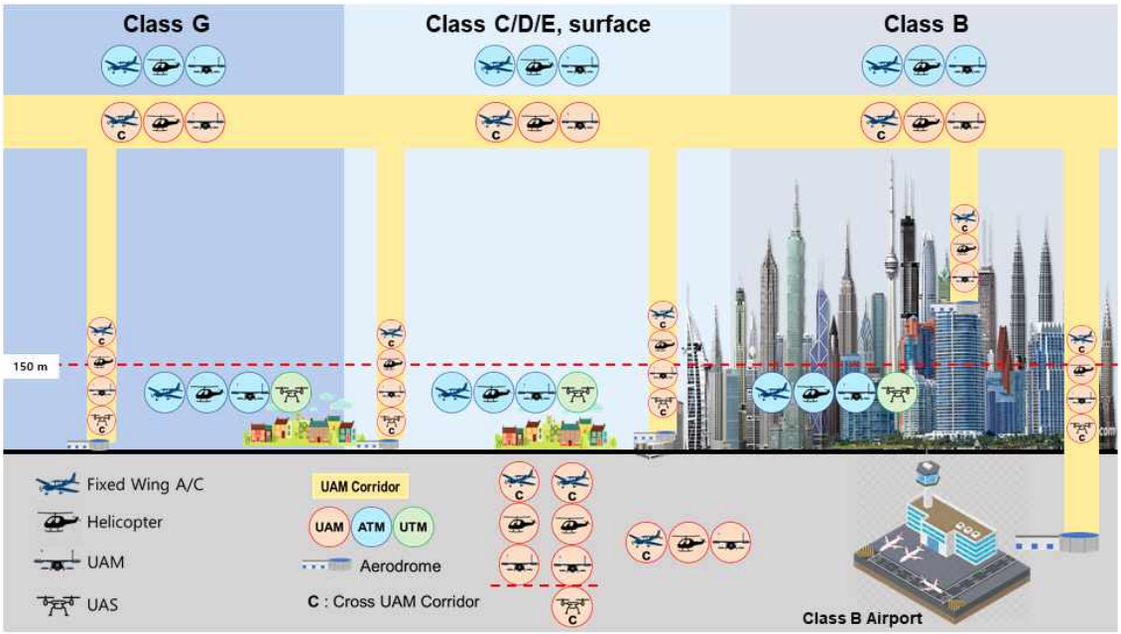
■ 저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술 동향

● **(저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증)** UAM CNSi에 대한 기술개발은 국가별 주요 UAM 도입 프로그램을 통해 추진 중으로 NASA의 경우 UML-4 단계(2030년경)에 NASA AAM NC의 그 결과를 발표 예정

- **(미국)** UAM 안전성에 대한 대중의 신뢰도 및 이해도 향상을 위하여 NASA 주도로 UAM 업계의 시험·실증을 지원하고 국가기준 기반데이터 확보를 위해 National Campaign 실시('18~)
- **(영국)** 총 3,000만 UKP 규모의 자금지원을 통해 에어택시, 배송드론, 소형 전기항공기 등 새로운 항공기와 자율비행, 항공교통관리, 규정, 운항 모델, 지상 인프라의 통합 실증을 위한 Future Flight Challenge 실시('20.5~)
- **(프랑스)** Choose Paris Region 기관의 자금 지원으로, DGAC(민간 항공청) 감독 하에 Pontoise 비행장 통제구역에 탑승구역, 전기충전소, 지상시설 구축 ('21년 상반기), 비행시험 ('21.6), 서비스 개시 ('24, 파리 올림픽)를 목표로 파리 지역의 UAM 도입 프로그램 실시('20.10~)
- **(독일)** Lilium사의 기체를 활용하여 Dusseldorf 공항 및 Cologne/Bonn 공항간 항공운송서비스('25) 협정체결
- **(캐나다)** 항공모빌리티 컨소시엄 출범('20.5) 및 AAM(Advanced Air Mobility) 벤쿠버 도입을 위한 백서 발행('20.9)과 자금투자 (총 1억 8,000만 달러) 중

〈표 Ⅵ-42〉 CNSi 획득 및 활용체계 신뢰성 검증 기술

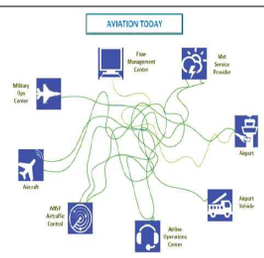
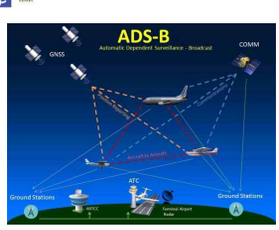
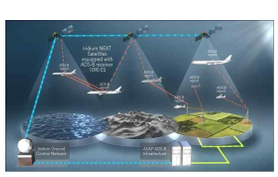
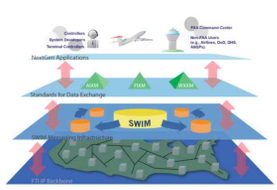
CNSi 획득 및 활용체계 신뢰성 검증 기술 세부 기술	세부 기술 설명
UAM 무선통신 체계구축 기술개발 및 신뢰성 검증 기술	• 상용 무선망기반 UAM 통신체계 및 멀티링크 단말장치 개발 • UAM V2V 통신체계 개발 및 실용성 평가 • 3차원공간 통신 품질 및 신뢰성 모의측정 시스템 개발 및 검증•
UAM GNSS 항법시스템 기술개발 및 신뢰성 검증 기술	• GNSS 항법 수신기별 성능 검증 및 신뢰성 평가 기술 • GNSS 항법 수신기와 센서융합 항법장치 성능 비교 평가 기술 • GNSS 신호품질 모니터링 및 수신환경 분석 기술 • UAM PBN 항법 요구도 개발 및 항법성능 평가 기술 • UAM GNSS 항법시스템 기술개발 및 신뢰성 검증
RF 통신(자체,상용,복합) 신뢰성 분석 및 검증 절차 수립 기술	• RF 링크 신뢰성 검증 요구도 수립 • RF 링크 표준 시험절차 및 평가절차 수립 • RF 링크 시스템 설계 획득 • 3D 공간기반 RF 링크 품질 및 신뢰도 분석
감시획득체계 및 획득정보 신뢰성 검증 기술	• 비협력 감시정보 획득체계 및 획득정보 신뢰성 검증 • 협력 감시정보 획득체계 및 획득정보 신뢰성 검증 • 통신링크 기반 감시정보 획득체계 및 획득정보 신뢰성 검증 • 비협력/협력/통신링크기반 통합 감시정보 신뢰성 검증



출처: FAA UAM ConOps

[그림 Ⅵ-59] UAM 운용을 위한 CNSi 획득 및 활용체계 신뢰성 검증

〈표 Ⅵ-43〉 UAM의 CNSi 시스템의 개발 미래상

AS-IS	TO-BE
• Point-to-Point 통신 • 단일 GNSS 위성군 (GPS) • 전용 장비에 의한 감시 (레이더, ADS-B 등)	• 다중 통신망 통신 (필요 데이터 공유) • 다중 GNSS 위성군(GPS, GLONASS, Galileo, Beidou) • 통신망에 의한 광역 감시
  	   

● (UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술) 주요국들은 UAM 생태계에서의 Player들의 역할과 책임을 담은 운용개념을 연구 및 발표하고 있고 국내에서는 유사 기술 개발을 경험을 통해 UAM 관련 기술개발 중임

– (해외 동향) 조종사, Vertiport, 운항사, USS 등 이해관계 당사자 및 정부 당국 간 역할과 책임을 담은 도심형 항공 교통 관리(UATM)의 운영 컨셉을 발표하였으며, 호주 멜버른 지역에서 기존 ATM 체계가 UAM 비행체의 운항 대수에 따른 수용 가능성을 시험하기 위한 시뮬레이션 연구를 수행

- 도심형 항공 교통 관리 운용 개념 수립을 위해 ACT 운용 전문가, ATM 절차 및 공역설계 전문가, ATM 교통 흐름 관리 전문가, UAM 개발자, UTM 기술 전문가, 헬기 조종사, 안전관리 전문가, 정부, 항공사, 공항 등 이해관계 전문가들이 참여함

- 호주 멜버른 지역을 대상으로 1) UAM 운영을 위한 기존 헬기 경로 활용, 2) UAM 전용 corridor 활용, 3) UAM 전용 corridor 활용 및 교통 흐름 관리 수행 등 총 세가지 시나리오에 대한 비행시간, 지연, 다른 항공기와의 충돌에 대해 시뮬레이션 연구를 수행

- 연구 결과, UAM 전용 corridor를 활용하였을 경우 기존 헬기 경로를 활용한 경우보다 충돌 가능성 및 평균 비행시간을 감소시키는 결과를 보였으며, UAM 교통 흐름 관리를 추가 수행할 경우 vertiport의 지상 지연을 줄여 가장 효율적인 운용 결과를 보임

- 따라서, UAM의 실용화를 통한 성공적인 상업적 운용을 위해서는 UAM CNSi 기반의 정보 획득 및 활용체계 기술을 활용한 운항사 관점에서의 운용통제시스템 및 운용 절차 개발이 필요하며, 가상의 UAM 운용 시나리오에 대한 운용통제 및 이해 당사자 간의 정보교환 체계의 검증 필요



출처: Urban air traffic management "Concept of Operation" Version 1

[그림 Ⅵ-60] The Air services High-Fidelity Tower Simulator, Embraer-X UATM Concepts

– (국내 동향) 현재 국내 UAM CNSi 관련 운항통제 체계 구축 관련 연구는 미진한 실정이나, 대형 여객운송사업자를 중심으로 CNS/ATM 분야에서는 관련 정보를 기반으로 주요 운용 시스템 구축 및 실제 운용이 활발히 이루어지고 있어, 이러한 CNS/ATM 체계의 구축 및 운용경험을 기반으로 한 UAM CNSi 운용통제 개념수립과 절차개발을 위한 연구가 필요함

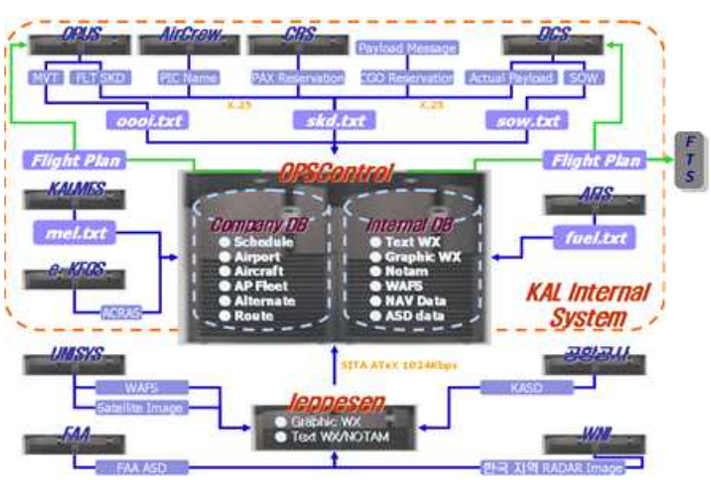
- 다년간의 여객운송 경험을 보유한 대한항공의 CNS/ATM 운용 시스템 구축 및 실제 운용 현황을 5가지 분야로 구분하여 소개함

〈표 Ⅵ-44〉 UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술에 대한 예시(표, 설명)

구분	분야	주요내용	비고
CNS/ATM	비행계획/절차 수립	• 비행 계획 시스템으로 Jeppesen社의 OpsControl을 도입하여 운용 중으로 기상 및 운항에 필요한 항공 정보 등의 외부 data 뿐만 아니라 운항사 내부의 여객운송, 수하물, 비행스케쥴 데이터와 유기적인 인터페이스 시스템을 구축하여 운영 중	
	비행감시	• CNS/ATM 환경에서 다양한 감시 data를 수집/활용하고 있으며, 자체 비행감시 및 모니터링 시스템을 구축하여 운항사 중심의 비행감시를 수행 중 • 항공기 실시간 위치 정보를 기반으로 비행계획 대비 운항 경로 오차를 감시하여 운항관리사에게 Alert를 제공하며, 적정 연료량 및 출/도착 지연 현황 등 안전 운항을 위한 모니터링 시스템을 구축 운용	

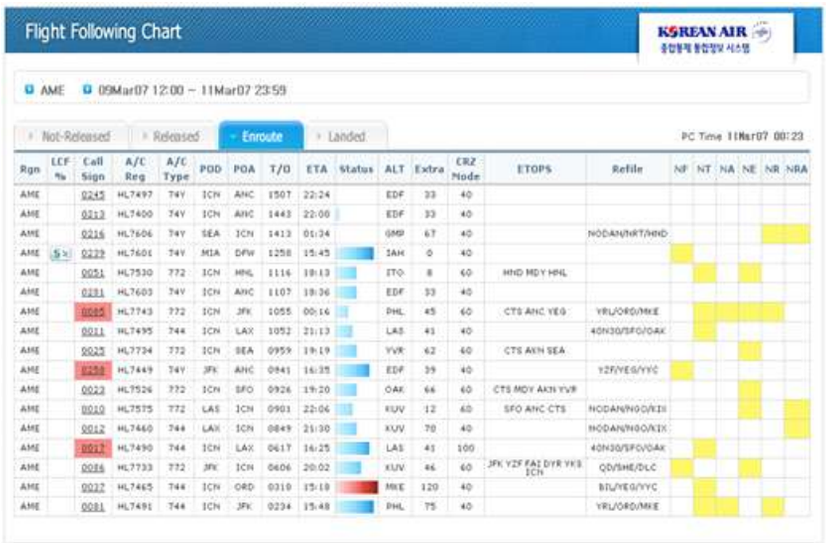
구분	분야	주요내용	비고
CNS/ATM	통신체계 활용	• 현 CNS/ATM 운용 환경에서 운항사는 지상 종합통제센터와 항공기간 원활한 통신망을 구축하여 항로 변경, 기상 상황 변화, 기체 결함 등과 같은 비정상 운항에 대응할 수 있는 통신 체계를 갖추고 있음 • EMS (응급의료헬기) 운항을 위한 통신 체계는 VFR Radio 및 위성전화 등의 Voice 통신 기반의 통신 체계를 구축/운용	
	의사소통체계 활용	• 자체적인 비정상 상황에 대비한 의사 결정 시스템인 IROPS/DSS (Decision Supporting System) 을 운영 중에 있으며, 신속하고 정확한 의사 결정을 통해 비정상 운항에 대응	
	운항스케쥴 관리	• Sabre 社의 스케줄 관리 패키지 시스템을 도입하여 운영 중. 실시간 비행 스케줄 관리 시스템인 AirOps를 중심으로 승무원 스케줄 관리시스템 AirCrews와 시즌 운항 스케줄 관리 시스템인 AirFlite 그리고 각종 운항사의 필요 시스템과 데이터 공유 시스템을 구축하여 운항 스케줄을 관리 중에 있음	

출처: ㈜대한항공



출처: ㈜대한항공

[그림 Ⅵ-61] CNS/ATM 비행계획 시스템 데이터 공유 체계 개념 예시



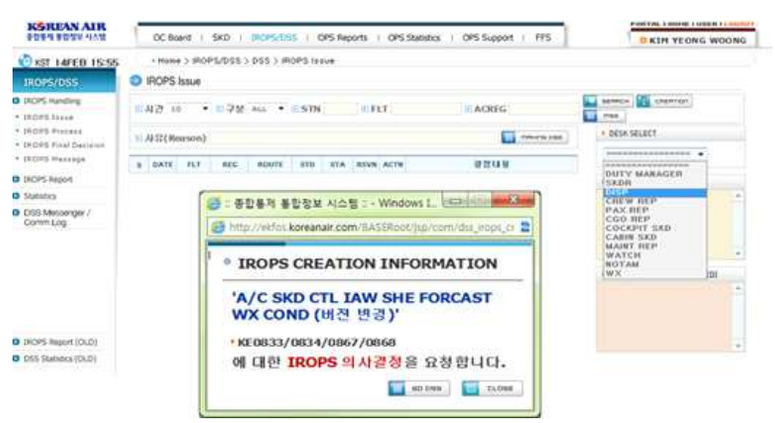
출처: ㈜대한항공

[그림 Ⅵ-62] 데이터 기반 비행감시 및 모니터링 시스템



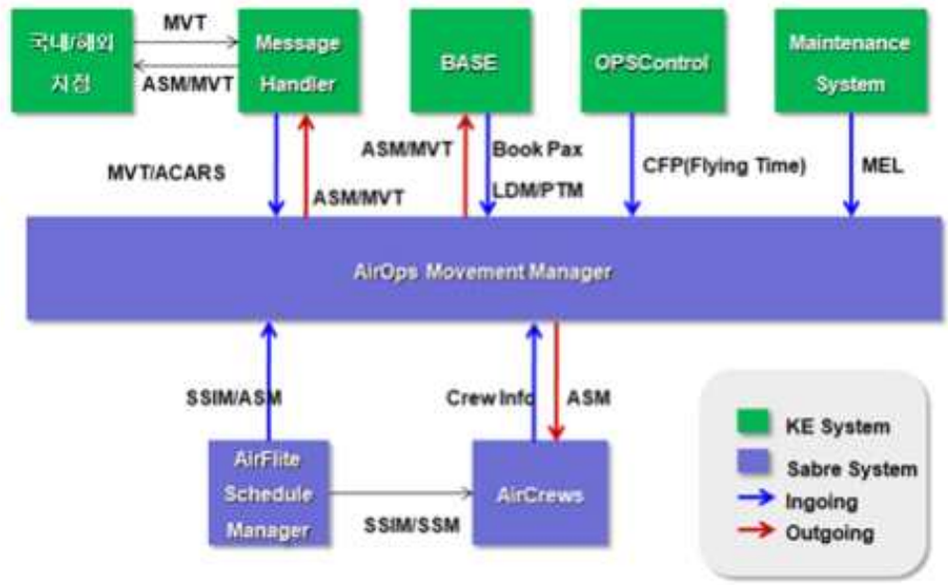
출처: ㈜대한항공

[그림 Ⅵ-63] 응급의료헬기 통신 체계



출처: ㈜대한항공

[그림 Ⅵ-64] 의사결정 지원 시스템



출처: ㈜대한항공

[그림 Ⅵ-65] 운항스케쥴 관리 시스템 구성도

● **(UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술) 미국 주도로** 운항시나리오에 따라 UAM 운항사를 포함 이해관계자간 데이터 공유를 위한 운용개념을 수립 중

– **(해외동향)** 미 FAA는 UAM 교통관리체계 및 참여자들의 역할 등을 담은 운용 개념을 발표하고, NASA 중심으로 운용 개념 실현을 위한 실증 추진

• 기존 항공교통관리(ATM)에서 개발, 구현된 기술 중 UAM용으로 변경 적용 가능한 일부 기술이 있으나, 변경 적용을 위한 연구는 기초연구 단계

– **(국내동향)** 기존 ATM 기술 중 관련 기술은 기 확보하고 있으나, 국제적 공통성 및 국내 특수성을 종합적으로 고려하여 운영 개념 정립 후 연구 추진 전망

● **(UAM 운항 안정성 확보를 위한 CNSi 및 이해관계자간 정보 공유체계 기술)** 주요국은 운항시나리오에 따라 UAM 이해관계자간 정보교환을 위한 운용개념을 수립하고 있음

– **(해외동향)** NASA는 UAM 운용을 위해 PSU 간, 항공기 간, PSU와 항공기 간에 필요한 데이터(위치정보, 충돌회피, 스케줄링 등)를 공유하는 운영개념 발표

• **(미국)** NASA는 AAM(Advanced Air Mobility) National Campaign의 첫 단계(NC1)로서 UAM 운영 중 다양한 위험 상황에 대한 시나리오를 도출하여 대처 할 수 있도록 지상 인프라 및 기술을 연구 진행 중

• **(유럽)** EASA 또한 U-SPACE 프로젝트를 추진하고 있으며 공역 구분을 통해 유·무인기에 대한 안정적 서비스를 제공하기 위해 다양한 테스트와 시스템 연구 중

• **(기타)** EmbraerX에서는 조종사, Vertiport, 운항사, USS 등 이해관계 당사자 및 정부 당국 간 역할과 책임을 담은 도심형 항공 교통 관리(UATM)의 운영 컨셉을

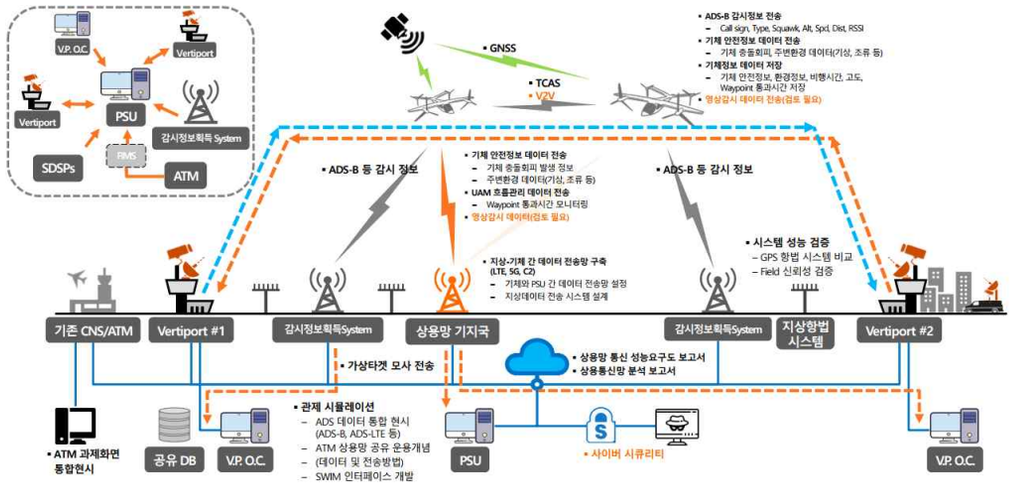
발표하였으며, 호주 멜버른 지역에서 기존 ATM 체계가 UAM 비행체의 운항 대수에 따른 수용 가능성을 시험하기 위한 시뮬레이션 연구를 수행

– **(국내동향)** 한국형 K드론시스템 R&D개발 ('17.04 ~ '22.12 / 245억원)을 통해 UTM 시스템을 선제적으로 구축하고, 이를 기반으로 UAM 통합관제 시스템인 UATM 체계로 확장 추진

〈표 Ⅵ-45〉 UAM vertiport 및 PSU 간 데이터 활용 및 공유체계 기술에 대한 예시

구분	주요내용	비고
기존 ATM 시설에 의한 UAM 감시정보 획득기술	• 기존 CNS/ATM 분석을 통한 감시정보 획득방안 도출 • UAM 감시정보 획득 시스템(ADS-B 등) 구축 • UAM 감시정보의 관제화면 현시 및 검증 • UAM 관제화면과 ATM 관제화면 연동 및 검증	
기체 안전 운항을 위한 운항 정보 공유 기술	• UAM 기체 안전운항을 위한 정보 및 정보 획득체계 정의 • UAM 예상항로의 각 Waypoint에서 데이터 전송방안 설계 • UAM 기체 정보와 지상 정보 시뮬레이션 등을 위한 DB 구축 • UAM 기체 안전운항을 위한 정보 공유체계 검증	
지상 UAM 항법시스템 기술	• 지상항법 시스템 개발을 위한 기본 및 상세 설계도 작성 • 지상항법시스템 시제품 개발(HW/SW) • 지상항법 시스템 성능 검증 및 신뢰성 평가 • 지상항법 시스템 실증노선 내 구축 및 시험 평가	
상용망 데이터 통신 감시정보 신뢰성 및 연동 기술	• 상용망 데이터 공유 체계 및 정상/비정상 운용개념 수립 • 감시데이터 연동을 위한 시스템 인터페이스 체계 수립 • AFTN, SWIM 등 ATM과 UAM 감시정보 연동기술 개발 • ATM과 UAM 감시정보 연동기술 신뢰성 검증	
UAM Vertiport 및 PSU 간 감시정보 연계 기술	• 감시정보 연계 데이터 정의 및 공유를 위한 인터페이스 표준화 • 연계시나리오 분석을 통한 시뮬레이션 시스템 설계 • 감시정보 공유 DB 서버 구축(사이버 보안 등) • 감시정보 공유 DB 서버 검증	

– 서울도심 항공을 비행 시 UAM에 사용되는 상용망 통신망 기술(LTE, 5G 등) 및 위성 항법은 국내 기술로 충분히 상용화 시킬 수 있는 수준으로 식별되며, 비상상황 발생 등에 대해 보완 및 추가 가능한 시스템 연구개발 진행 중



[그림 Ⅵ-66] UAM vertiport 및 PSU 간 데이터 활용 및 공유체계 기술에 대한 예시

● **(CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증 기술)** 현재 미래 UAM 환경에 가장 적합한 CNSi 인프라 기술은 정의되어 있지 않으며 각국이 법률, 기술 및 운영 환경에 맞게 표준을 설정하고 기술을 개발하고 있는 단계임

〈표 Ⅵ-46〉 CNS 기술 대안

Communication	Navigation	Surveillance(Air)	Surveillance(Ground)
5G Cellular 5G Satellite Integration Bluetooth L-DACS C Band DME Whitespace Laser Communications LEO (Commercial) VDL Mode 2 VDL Mode 3 UWB MIMO Frequency Management	Barometric Pressure Altitude Radar Altimetry Altimetry with Broadcast References GNSS only GNSS + INS/IRS (FOG/MEMs) GNSS + PNT Nav GNSS + eLoran GNSS + GBAS (LAAS) GNSS + WAAS GNSS + RF mapping GNSS + SAR/ISAR LIDAR Machine Vision IR RF Beacon Sensor Fusion	ACAS-X, TCAS ADS-B UAT2 Dedicated Short Range Communications FLARM (European) LIDAR FMCW RADAR in GHz Range K Band RADAR Acoustic Detection RF Detection 5G Cellular	Advanced Doppler Range Gating Radar Bistatic Radar Army Ground Based Sense and Avoid IR Sensing Lasergate Monitoring Machine Vision Holographic RADAR K Band FMCW RADAR UWB MIMO Mode C/S Multi-Lateration Acoustic Detection RF Detection 5G Cellular

출처: Reliable, Secure, and Scalable CNS Options for UAM

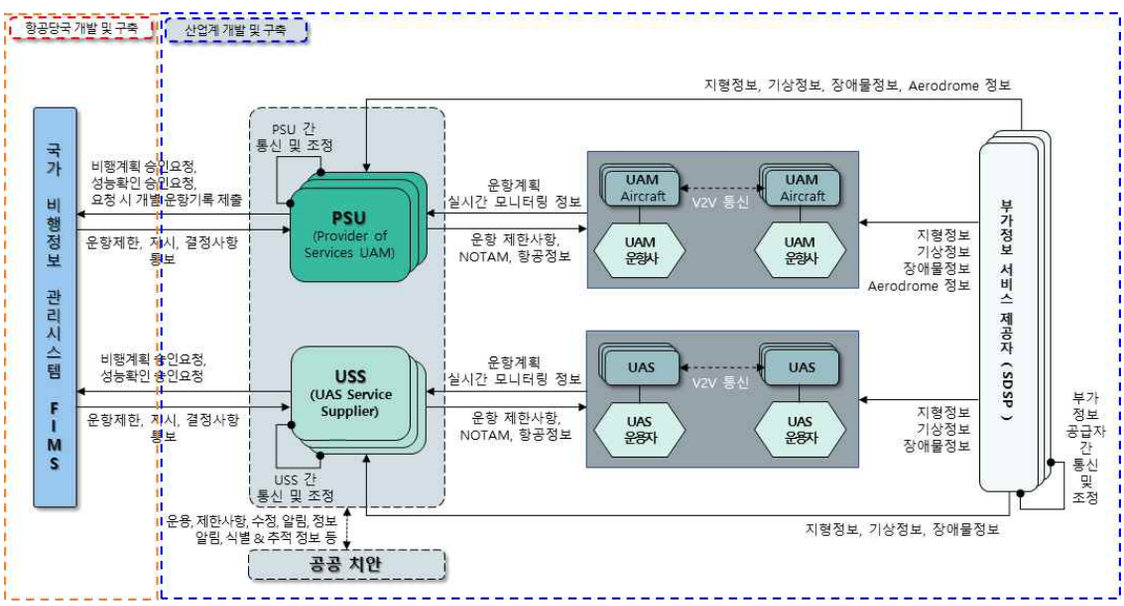
– **(해외동향)** 주요국은 자국의 기술수준과 운용환경에 따라 표준 설정 및 기술개발을 추진 중임

• EASA가 제시한 〈U-Space Traffic Management Operations〉에서 나타나 있듯 항법과 감시에서 요구되는 정보를 식별하고 이를 기체와 지상 간 송수신하기 위해

적합한 데이터 링크 기술의 선정과 검증이 필요함을 알 수 있음

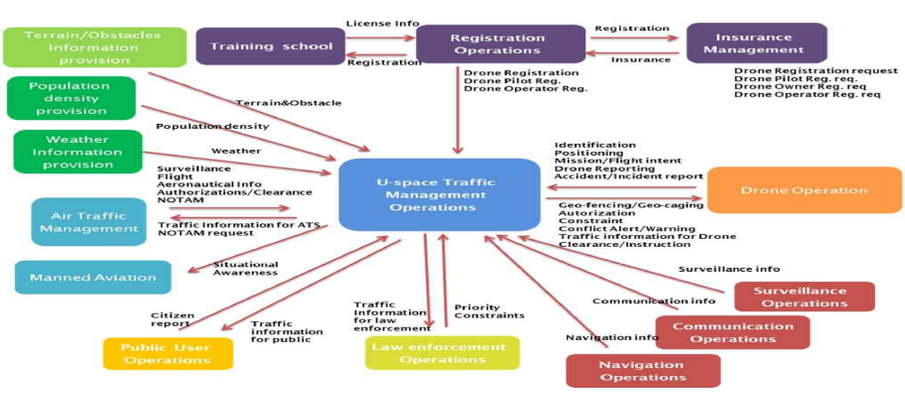
– **(국내동향)** ’17년도부터 고도 150m 이하 저고도에서 운항하는 무인기의 교통관리를 위해 UTM 시스템 연구개발을 수행하고 있으며, 연구개발 완료 후 확보된 기술을 기반으로, 서비스 고도화 기능이 확대한 UATM 서비스를 위한 연구가 진행될 것으로 예상함

- 국내 UAM 서비스를 상용화하기 위한 기술 표준을 설정하기 위해 이에 대한 검증에 활용될 기술 및 표준을 개발하는 것이 중요함
- K-UAM Grand Challenge 수행을 위해서는 UAM CNSi 인프라에서 생성되는 정보 요소를 식별하여야 하며, 그 품질을 평가하기 위한 기준의 정의가 선행되어야 함
- 위의 표와 같이 UAM에 활용 가능할 것으로 예상되는 기술 대안을 검토하여 국내 환경에 가장 적합한 기술 대안을 선정하고 검증하는 활동도 요구됨



출처: FAA UAM ConOps v1, NASA UAM ConOps V1

[그림 Ⅵ-67] UTM 및 UAM 교통관리시스템 구성도



출처: U-Space CORUS

[그림 Ⅵ-68] U-Space Traffic Management Operations

UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술동향

● **(UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술)** 통신 안전성을 확보하기 위해 다중 통신망 구성이 필수적으로 요구되고 있으며, 상용 통신망의 경우 항공 안전망으로의 활용하기 위한 검증 시작 단계에 있음

– **(ITU-R)** WRC-12에서 UAM 포함 UAS 비행운용 및 제어 전용으로 글로벌하게 활용 가능한 주파수로 5030-5091MHz 주파수를 분배함

– **(미국)** 주로 직접접속(Point-to-Point, P2P)기반의 RPAS 제어용 통신 기술 개발 및 표준화가 진행 중이며, 지상 네트워크 및 위성 기반의 RPAS 제어용 통신 기술 개발 및 표준화는 시작 단계임

• NASA는 2016년부터 Collins Aerospace社와의 공동연구 개발을 통해, P2P기반의 RPAS 제어용 통신 모뎀 프로토타입 개발 및 비행시험 완료(NextGen 프로젝트의 일부). 다수 RPAS를 동시 지원하는 네트워크 기반의 RPAS 제어용 통신 기술 개발은 시작 단계임

• RTCA(항공무선기술 표준화단체)에서는 RPAS 관련 표준화를 위해 특별위원회 SC-228을 결성하고, 작업그룹 WG2에서 제어용 통신 기술에 대한 표준화가 진행 중이고 NASA에서 개발한 모뎀 프로토타입의 지상 및 비행 성능 평가 결과를 바탕으로 RPAS 제어용 통신 기술에 관한 최소성능요구사항표준(MOPS)인 DO-362A를 제정한 바 있음 상기 표준에는 주로 P2P기반의 기술이 고려되었음

* 현재 3단계 표준화가 시작되었으며, 3단계 표준화 적용 범위에 UAM을 포함하였으며 네트워크 기반의 기술 또한 고려될 예정임

• FAA는 MITRE 연구소와 함께 RPAS 제어용 통신 주파수를 효율적으로 사용하기 위한 동적 채널 할당 방안 연구를 진행 중이며, 연구 결과를 바탕으로 동적 채널 할당 시스템 프로토타입을 개발 중에 있음

– **(유럽)** 주로 위성 기반의 RPAS 제어용 통신 기술 개발 및 표준화가 진행 중이며, 지상 기반의 RPAS 제어용 통신 기술은 미국 RTCA 표준을 유럽 표준으로 준용할 예정임

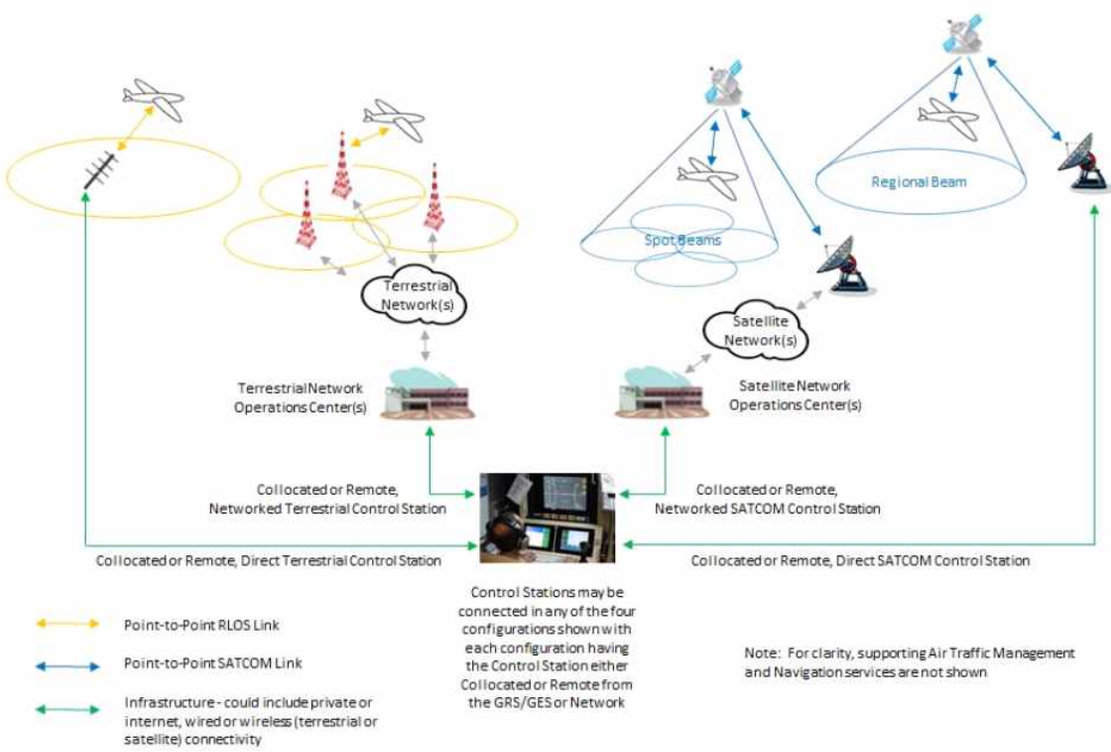
• Thales에서 위성 네트워크 기반의 RPAS 제어용 통신 기술 개발을 진행하고 있음

• EUROCAE(항공기술 표준화단체)는 RPAS 관련 표준화를 위해 작업그룹 WG105를 결성하고, Thales의 개발 기술을 바탕으로 위성 기반의 RPAS 제어용 통신에 대한 MOPS 표준 개발을 진행 중임

– **(ICAO)** RPAS 패널을 통해 무인기 관련 국제표준화를 진행 중에 있으며, 특히 작업그룹 WG2에서는 RPAS 제어용 통신에 대한 국제표준(SARPs)를 개발하고 있음

• 기술중립적 RPAS 제어용 통신 기술 SARPs 표준 개발을 완료하고, 현재 기술세부적 RPAS 제어용 통신 기술 SARPs를 개발 중에 있음

• 개발 중인 기술세부적 RPAS 제어용 통신 기술 SARPs에 포함될 국제표준 기술에는 미국 RTCA와 유럽 EUROCAE에서 개발하고 있는 지상 및 위성 기반 RPAS 제어용 통신 기술 표준을 채택할 예정임



출처: 미국 RTCA DO-377 문서

[그림 Ⅵ-69] UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술

● **(UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G, 6G 등) 기술)** C대역 전용 통신망 및 다중망 연동 기술은 전세계적으로 연구 초기 단계임

– (3GPP) 현재 3GPP에서는 4G LTE 및 5G를 통해 항공통신 요구도 변경을 위한 노력이 진행되고 있으며, 이동통신링크는 도심환경에서의 UAM 운용을 위한 유용한 통신링크로서 주목 받고 있음

• 2018년 Release 15 표준화 단계에서 드론 지원을 위한 LTE 시스템 고도화 표준화를 완료한 바 있으며, 2019년 Release 16 표준화 단계에서 다수 드론의 안정적 관리를 위한 드론 식별 체계 표준화를 진행한 바 있음 현재는 Release 17 표준화 단계로써 드론 특화 서비스 최적 지원을 위한 표준화가 진행 중이며, 조만간 UAM 지원을 위한 표준화가 진행 될 것으로 전망됨

– **(미국)** NASA는 UAM 환경에 필요한 통신링크 연구를 하고 있으며, 스페이스X와 같은 기업도 통신기술 강화를 위한 노력을 하고 있음

• NASA AAM NC에서는 LTE, 5G 등 이동통신링크 활용에 대한 연구를 지속하고 있으며, 한국 K-UAM GC와 5G UAM 활용에 대한 협력을 추진하고 있음

- RTCA SC-228에서는 현재 GSMA(GSM Association)와 GUTMA(Global UTM Association)의 협력 아래 결성된 AJCA(Aerial Connectivity Joint Activity)의 결과물을 바탕으로 LTE/5G 등 상용 이동통신망을 RPAS/UAM 비행운용 및 제어용 링크로 안정적으로 사용하기 위한 MOPS 표준 개발을 위한 표준화를 시작함

- 우주기업 스페이스 X는 1만 2000대의 인공위성으로 전 세계 어디서나 1Gbps급 (미국) 초고속 인터넷을 저렴하게 제공하는 것을 목표로 하는 스타링크 프로젝트를 발표한 바 있음

  * 2019년 처음으로 통신 위성 60기를 발사한 것으로 시작으로, 현재 1000개 이상의 위성을 발사하여 미국 북부 지역과 캐나다에서 시범 서비스를 시작함

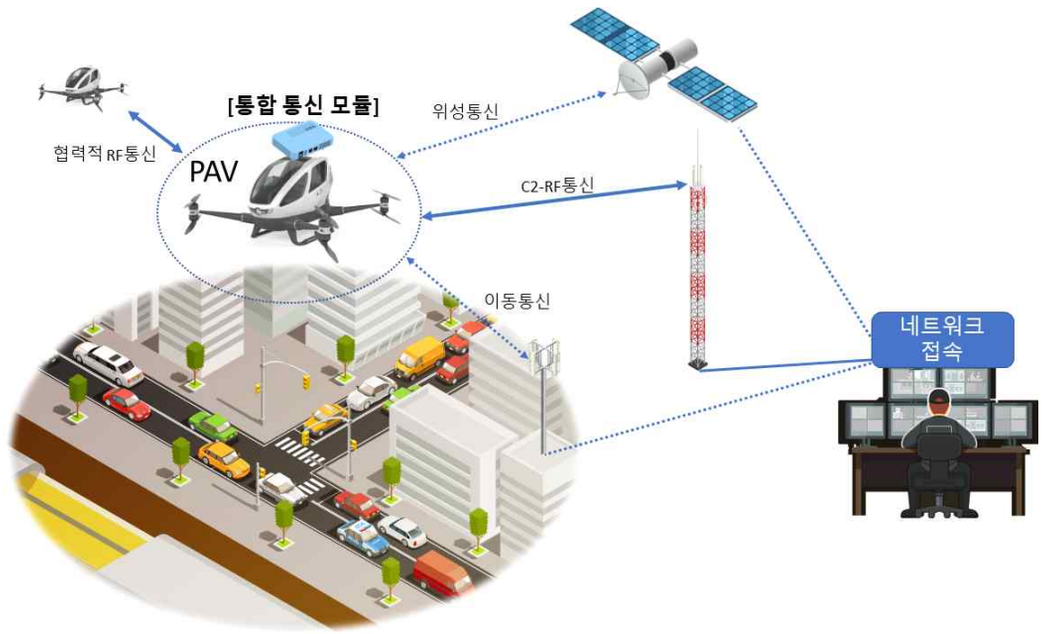
– **(유럽)** UAM을 포함한 저고도 유럽 교통관리체계인 U-Space 구현을 위해 LTE, 5G 등 이동통신 인프라 활용 방안 연구에 관한 다양한 EU 프로젝트가 진행 중임

- EUROCAE WG105에서는 미국 RTCA SC-228과 공동으로 LTE/5G 등 상용 이동통신망을 RPAS/UAM 비행운용 및 제어용 링크로 안정적으로 사용하기 위한 MOPS 표준 개발을 위한 표준화를 시작함

〈표 Ⅵ-47〉 UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G/6G) 기술 특징

주파수 대역	주요 통신 기술	특징	비고
이동통신 대역	4G LTE	• 4K 영상 이상 광대역 서비스 제공 어려움 • 통신 지연으로 실시간 드론 제어 어려움	현재는 주로 저고도 소형 비가시권 드론 제어/임무용으로 활용하나, 기술 고도화에 따라 중고도 이상 지원 가능 예상
	5G/6G	• 4K급 이상 영상 전송 가능 • 초저지연 서비스로 실시간 제어 및 정밀 항법 가능 • 통신서비스 이용료 발생	
제어 전용 대역	미국 RTCA 표준 기반	• 글로벌 RPAS 제어용 주파수 • 주로 관제공역 RPAS 대상 • ICAO 국제표준 준용 대상 • 운용 반경 크고 (수십 km) 이용료 낮음 (예상) • ETRI에서 국제표준 준용 시제품 개발 완료 • 채널 할당 방안 마련 필요	주로 중고고도 중대형 RPAS 제어용
위성 통신 대역	상용 위성통신 기술	• 언제 어디서나 통신 서비스 가능 • 통신 지연으로 실시간성 요구 드론 서비스 지원 제약 • 통신 서비스 이용료 및 장비 가격 비쌈 • 향후 서비스 예정인 Space X의 스타링크와 같이 차세대 저궤도 위성통신 기술의 경우 저비용의 저지연, 초고속 서비스 제공 가능 예상	주로 중고고도 중대형 RPAS 제어/임무용이나, 차세대 저궤도 위성통신 기술의 경우 UAM에 적용 가능 예상

출처: 통신학회논문지 정보와통신 2020년 6월호 "드론 무선 통신 기술"



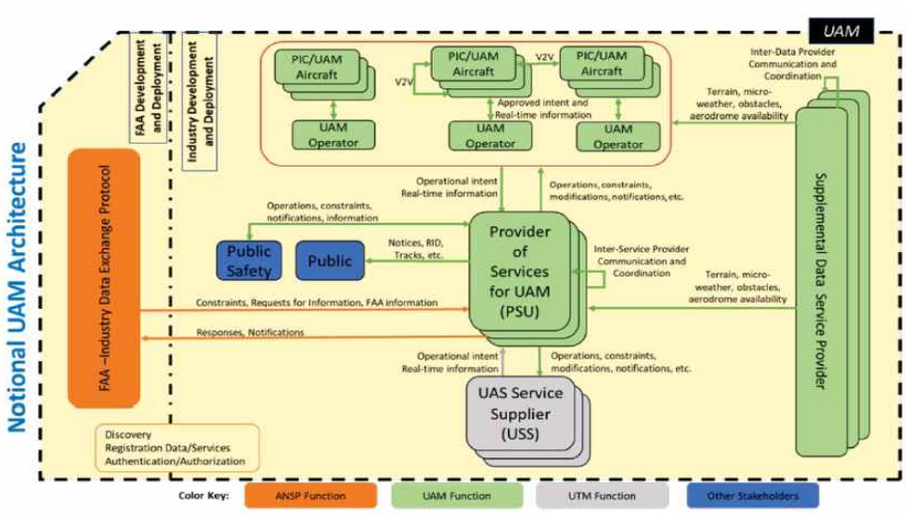
[그림 Ⅵ-70] UAM 가용 후보통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G/6G)링크 기술

UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술 기술동향

● PSU/이해당사자 간 네트워크 기술

– (미국) FAA는 이해당사자가 운항을 위해 필요한 정보를 요청시 PSU 네트워크를 통해 서로 소통할 수 있도록 지원

- PSU는 SDSP(Supplemental Data Service Provider)를 통해 UAM 운항과 관련된 날씨, 지형 및 장애물 회피데이터를 필요로 하는 이해 당사자에게 정보제공
- (NASA UML-4) PSU는 기존 ATM에서 지원하는 서비스(Communications, Separation, Sequencing, Information exchange 등)를 모두 제공

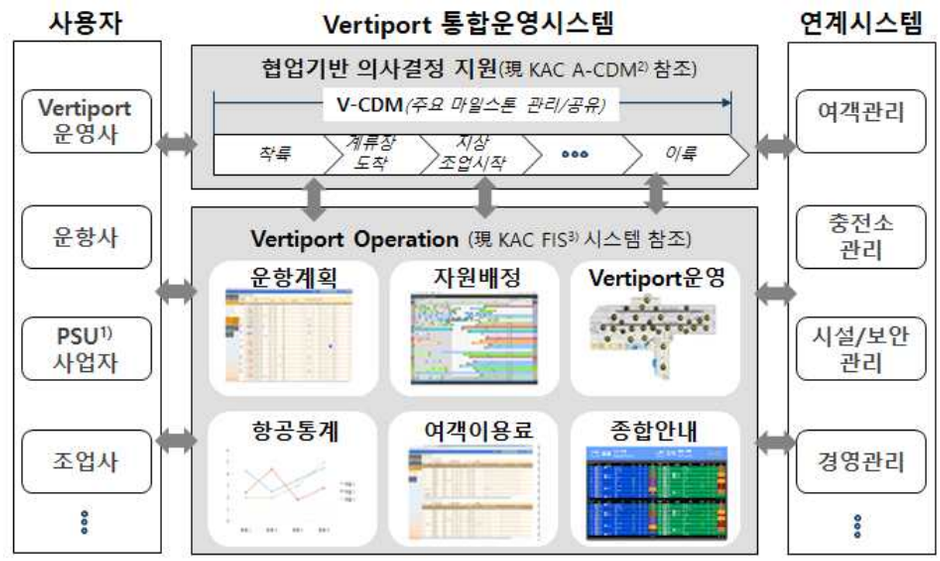


출처: FAA UAM Conops v1.0

[그림 Ⅵ-71] NASA UML-4

– (A-CDM) 효율적 의사결정 및 운영효율 향상을 위해 現 공항 운영 시스템 활용

• 현재 한국 및 유럽 등에서 운영중인 A-CDM(협력기반 의사결정 지원 시스템)을 기반으로 UAM 운항시 운항사 Vertiport 운영사 PSU 등이 의사결정을 위한 정보 공유 시행



출처: 한국공항공사

[그림 Ⅵ-72] Vertiport 통합운영시스템

● FIMS 망 접속 기술

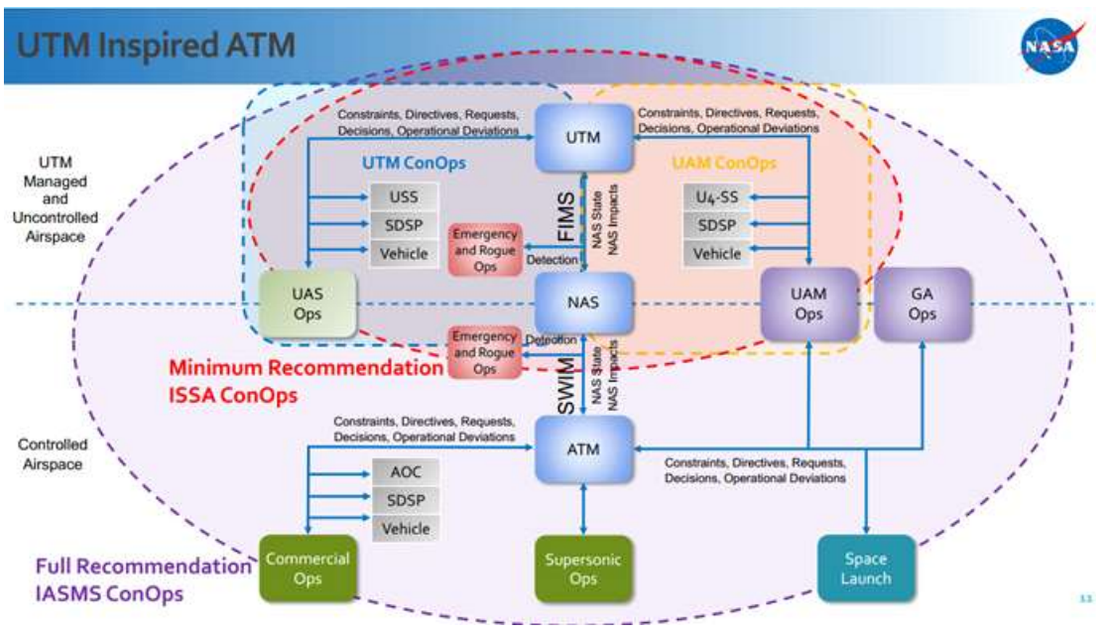
– (미국) FAA는 UTM 운용개념에서 제시된 FIMS 와의 구조를 기반으로 하여 UAM과 PSU 그리고 USS 사업자 간의 정보 연계 체계를 구축

• FAA 및 산업체간 정보교환 프로토콜 (FAA-Industry Data Exchange Protocol)은 필요 관련 정보 요청 시 NAS 정보교환 시스템(NAS Data Exchange) 거쳐 SWIM 인터페이스를 통해 ATM 망 요청 정보와 연계 하여 요청자에게 PSU 네트워크를 경유하여 자료를 제공

– (유럽) U-Spacs는 기존 ATM과 FIMS 간 데이터 연계 체계 SWIM 활용

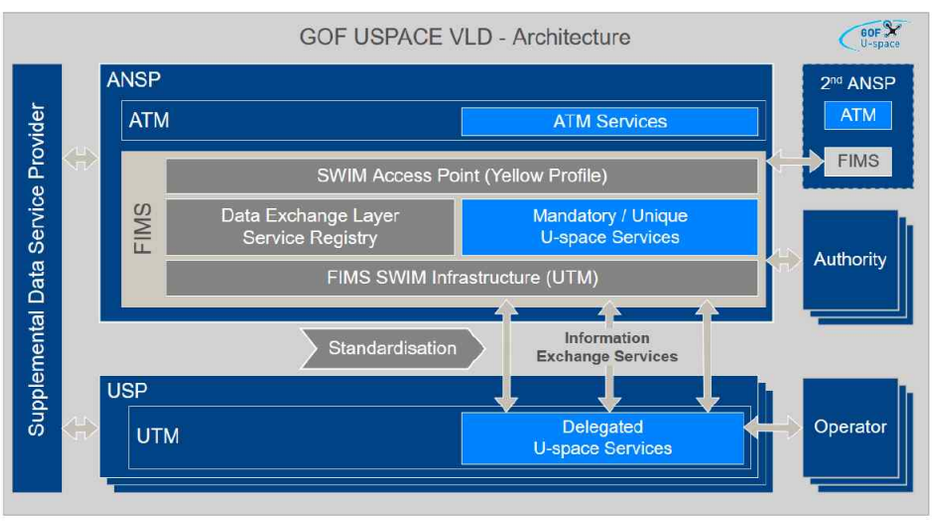
• U-Space UAM 데모 Test 시 SWIM을 활용해 FIMS와 UTM 시스템간 인터페이스 연결 및 ATM과의 정보 연계에 활용 관련 기술을 기반으로 하여 UAM에 확장되어 적용

• SWIM은 항공교통관리(ATM)에서 분리되어 있던 다양한 정보(항공,기상,비행정보 등)를 상호 호환이 가능하도록 중앙집중형 데이터 관리체계로 ICAO 주관으로 국제기술 표준화가 진행 중



출처: NASA AAM Crosscutting Working Group(ISSA/IASMS ConOpsDiscussion)

[그림 Ⅵ-73] FAA UTM/UAM FIMS 망 접속 기술 예시



출처: Initial view on Principles for the U-space architecture

[그림 Ⅵ-74] GOF USPACE VLD

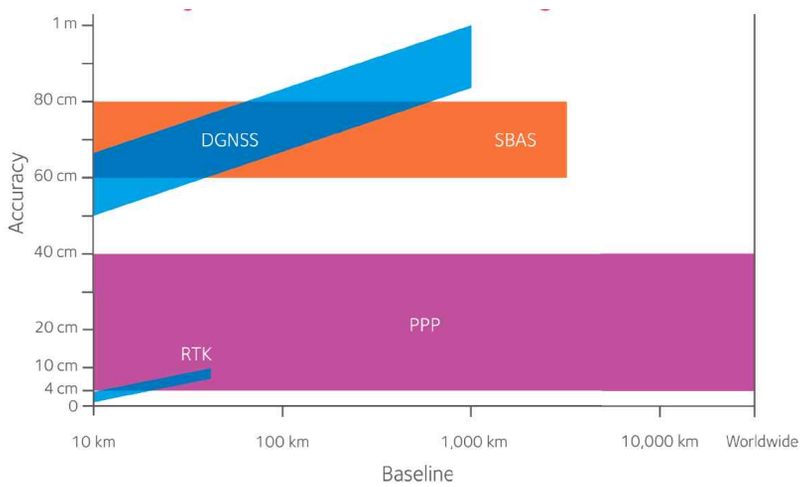
■ 차세대 UAM용 다중 상대항법 기술동향

● 위성기반 위성항법 보강(SBAS, Satellite Based Augmentation System) 기술

– 전공역 항행 안전 운항을 위하여 광역 위성항법 보강시스템(SBAS, Satellite-Based Augmentation System) 서비스가 제공되고 있음

– 전 세계적으로 5개의 시스템이 현재 운용 중이고, 한국도 2022년 이후 서비스를 목표로 KASS (Korea Augmentation Satellite System)을 개발/구축 중임

- SBAS의 경우 정지궤도 위성으로 GNSS와 같은 주파수로 보정정보를 전달하고, 모든 정보 수신에 약 120-300초가 소요됨 유럽의 EGNOS 기준으로 수평 3m, 수직 4m 내외(95%) 균일한 위치정확도 서비스를 제공하며, 정확성 외에도 보호수준 등 항행에 적합한 무결성 정보를 비롯하여 가용성, 연속성 성능 지표를 함께 제공



출처: www.novatel.com Novatel CORRECT

[그림 Ⅵ-75] 기저선별 위성항법 보정시스템 위치정확도 비교

- 반송파 보정정보를 이용한 PPP와 PPP-RTK의 경우 그 정확도는 5-40cm 수준이고, 정지궤도 통신위성링크를 이용할 경우 전공역에서 활용이 가능하며, Network RTK의 경우 (신호수신 환경에 따라 차이가 있으나) 초기화 시간이 수초~1분 이내이고 그 정확도는 1-2cm 수준임

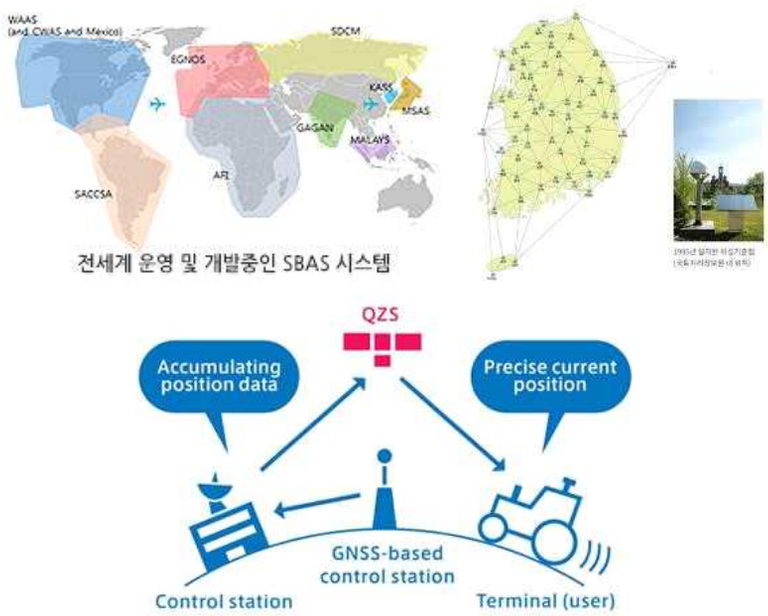
〈표 Ⅵ-48〉 외국의 SBAS 시스템

구분	WAAS	EGNOS	MSAS	GAGAN
국가	미국	유럽	일본	인도
주관기관	미연방항공청	유럽우주청, 유로컨트롤	국토교통성	인도항공공사
운용개시	2003	2011	2007	2015
사용위성	INMARSAT 등 3기	INMARSAT 등 3기	MTSAT 1기	GSAT 3기

출처: 항공우주연구원 KASS 사업단

〈표 Ⅵ-49〉 반송파 기반 위성항법 보강 기술에 대한 예시

구분	Network RTK	PPP	PPP-RTK
예시	VRS, FKP (대한민국 서비스 중)	IGS, NOVATEL PPP서비스	QZSS CLAS (일본), RTX (Trimble), SPARTAN, Geo++



출처: 전세계 SBAS 시스템 현황(항공우주연구원 KASS 사업단), VRS Network RTK 기준국 현황 (국토지리정보원), 일본 QZSS CLAS PPP-RTK 서비스 (qzss.go.jp)

[그림 Ⅵ-76] 정밀위성항법 기술에 대한 예시

● 지상기반 위성항법 보강(GBAS, Ground Based Augmentation System) 기술

– GBAS 기술의 경우 별도의 통신링크를 이용하여 가시 GNSS 위성별 의사거리 보정정보 및 무결성 정보를 제공하여 기준국으로부터 150 km 이내에서 수십 cm 수준의 위치정확도의 서비스 제공할 수 있으나, 기준국으로부터 멀어질수록 위치정확도는 떨어짐

– RTK 기술의 경우에는 별도의 통신링크를 통해 GNSS 위성으로부터 수신된 RTK 기준국의 의사거리와 반송파 위상측정치 정보를 제공해 공통오차를 제거하고 미지정수를 결정할 수 있게 함으로써 RTK 기준국으로부터 10 km 이내에서 수 cm급의 위치정확도 제공 가능

– 도심에서도 다중 GNSS 이정을 활용할 수 있기 위한 다중 GNSS 보정정보 생성 및 L1, L2, L5 등 다중주파수 GNSS 항법신호를 활용하는 연구가 진행되고 있음

● 영상기반 항법 기술

– 재밍 또는 기만 등에 의한 위성항법 불용 환경에서 비행경로 상의 지형지도와 영상 카메라 또는 고도계 센서를 이용하여 자신의 위치를 추정하는 기술

  • 지형지원항법(TAN: Terrain-Aided Navigation)/지형참조항법(TRN: Terrain-Referenced Navigation), 비전지원항법(vision-aided navigation), 공간정보·기체자세정보·영상정보 기반 상대항법, PAPI 착륙 유도 기술로 구분

– TAN/TRN은 고도계 센서를 이용해 측정된 지형 정보를 디지털 고도지도 (DEM: Digital Elevation Map) 데이터와 비교하여 차량의 위치를 추정

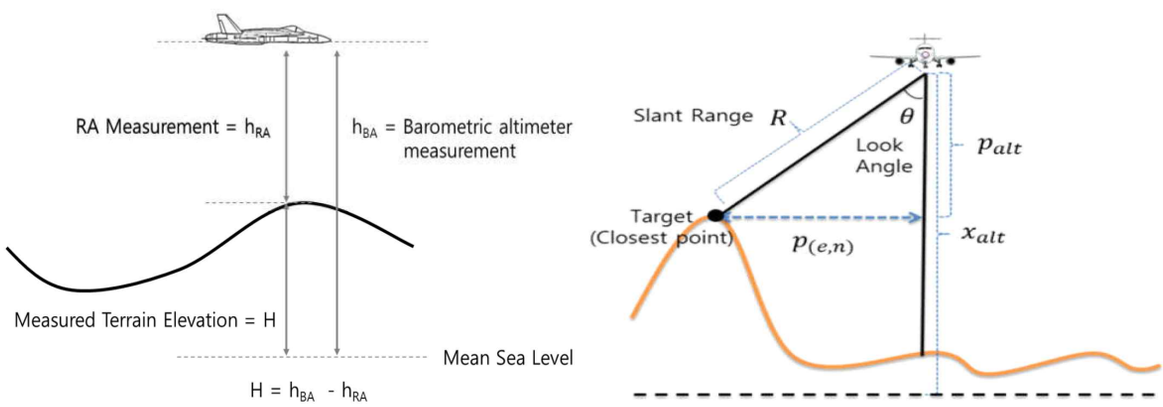
- 고도계 센서로는 기압계, 레이더 고도계, 간섭계 레이더 고도계가 있으며, 처리 방법으로는 일괄 처리(batch processing)와 순차 처리(sequential processing) 방식 존재
- 레이더 고도계는 고도가 높아지면 측위 오차가 커지는 단점이 있어 이를 보완하기 위해 Honeywell이 2000년대에 간섭계 레이더 고도계를 이용한 정밀지형지원항법(PTAN: Precision Terrain Aided Navigation)을 개발

* Honeywell 브로셔에 따르면 PTAN은 약 1.5km 고도까지 약 3m 위치 정확도, 약 9km까지는 30m의 정확도를 보임

- 간섭계 레이더 고도계를 이용한 TRN에 대한 연구가 활발히 수행었으며, 최근에는 TRN에 기계학습을 적용하는 시도도 이루어지고 있음

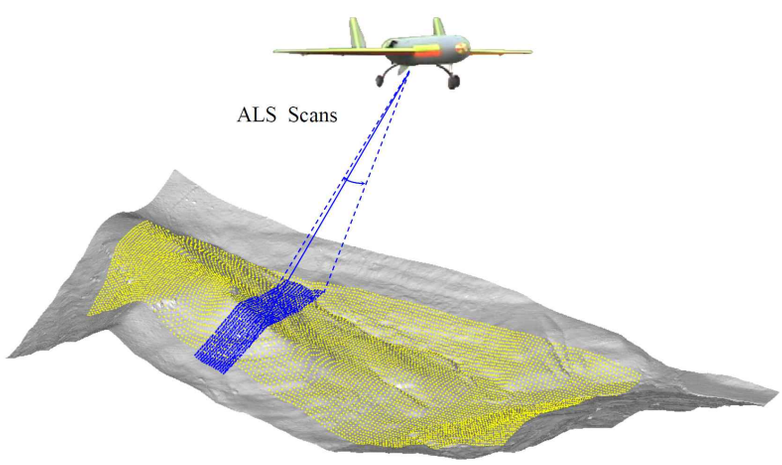
– 비전지원항법(Vision-Aided navigation)은 현재의 영상 센서 화면과 2D로 렌더링된 지형 모델 사이의 상관성을 찾아 현재 위치를 추정하는 기술

- 야간 운항을 위해서는 EO 외에 IR 카메라를 이용한 비전지원항법에 대한 연구도 필요



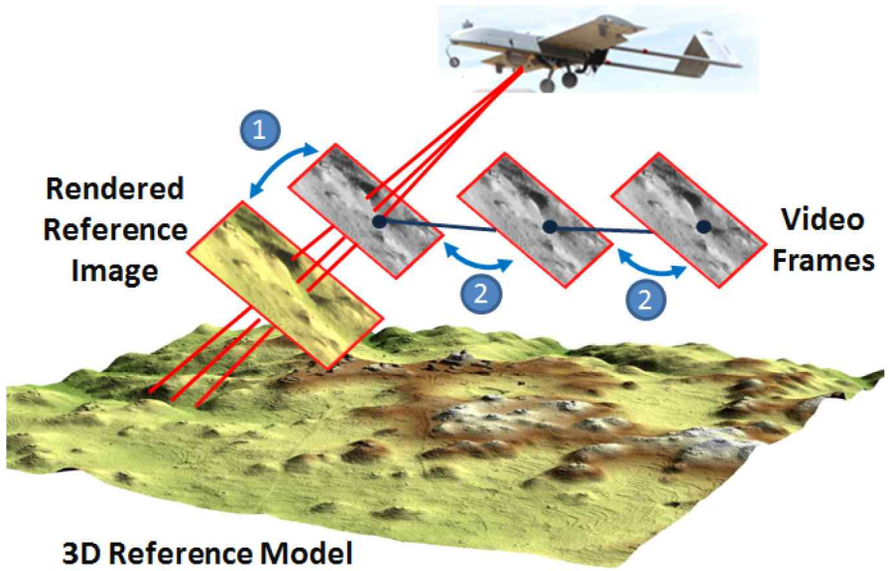
출처: 'Accurate Measurement Calculation Method for Interferometric Radar Altimeter-Based Terrain Referenced Navigation', Sensors, 2019

[그림 VI-77] 레이더 고도계 이용 TRN(좌), 간섭계 레이더 고도계 이용 PTAN(우)



출처: 'Assured UAS Navigation with Airborne Laser Range Scanners for Various Phases of Flight', IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2018

[그림 VI-78] LiDAR 이용 TRN-영상기반 상대항법 기술에 대한 예시(그림, 설명)



출처: 'Precise vision-aided aerial navigation', in IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2014

[그림 Ⅵ-79] 영상지원항법-영상기반 상대항법 기술에 대한 예시(그림, 설명)

● 대체 무선항법기술

– eLORAN (첨단 지상파항법시스템)

- eLORAN은 장거리무선항법체계의 일종인 LORAN-C를 개량한 것으로서 데이터 채널을 추가하여 보정정보, 주의정보, 무결성 신호정보를 제공
- eLORAN은 90-110 kHz 주파수의 고출력 송신기를 사용하고, 저주파신호를 사용함으로써, 전파 교란과 위장신호에 강하며, GNSS 항법보다 정확도가 떨어지나 항로용으로는 사용이 가능할 것으로 보임
- '21년 현재 해양수산부에서 시범서비스 준비 중

– SoOP (Sgnals of OPportunity) 이용 측위 기술

- 라디오, 텔레비전, 셀룰러 이동통신과 같은 다양한 시스템의 무선신호들을 활용하여 위치를 추정하는 기술로, AOA(angle-of-arrival, TOA(time-of-arrival), TDOA(time difference of arrival) 등의 기법을 적용하며, 재밍 및 스푸핑과 같은 적대적인 간섭에 강함
- BAE Systems는 SoOP 측위에 의해 사용자의 위치를 몇 m 내의 오차로 계산하였다고 발표
- 고층 건물과 복잡한 인공 구조물이 특징인 조밀한 도시 환경에서 GNSS는 다중경로 효과, 간섭 또는 안테나 가려짐으로 인해 성능이 저하되거나 신호가 완전히 손실될 수 있음

– Vertiport 주변 정밀항법 및 정밀 이착륙 유도 기술

- GNSS 수신기의 정확도를 보장할 수 없는 Vertiport 주변에서의 정밀무선항법과 UAM 기체의 정밀 이착륙을 지원하기 위한 기술로, 이와 관련하여 5G 기반 정밀측위, UWB 등 RF 기반 정밀측위, 마커 활용 착륙 지원 기술이 존재

* (5G 기반 정밀측위) 광대역 신호 특성과 다중빔 능력을 갖는 5G 시스템을 기반으로 한 정밀측위 기술로, 통신과 정밀측위가 동시에 가능함

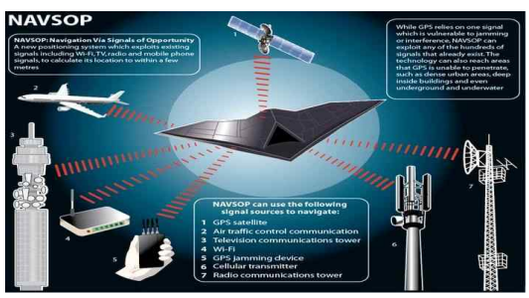
** (RF 기반 정밀측위) 지상에 설치된 다수의 RF 수신(또는 송수신) 장치와 비행체에 탑재된 송신(또는 송수신) 장치 간의 전송시간 차를 이용해 비행체의 위치를 추정하는 기술로, TDoA(time-difference-of-arrival) 또는 ToF(time-of-flight) 기법 적용. UWB 신호 기반 측위 기술은 현재 주로 실내 측위에 많이 활용되고 있음

*** (마커 활용 착륙) 드론의 착륙 지원을 위한 주야간용 마커 설계 및 이를 이용한 이착륙 기술 개발이 활발히 진행됨



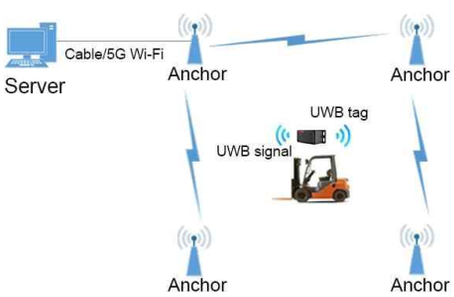
eLORAN 시스템

출처: https://www.youtube.com/watch?v=OBk4wXCplfA



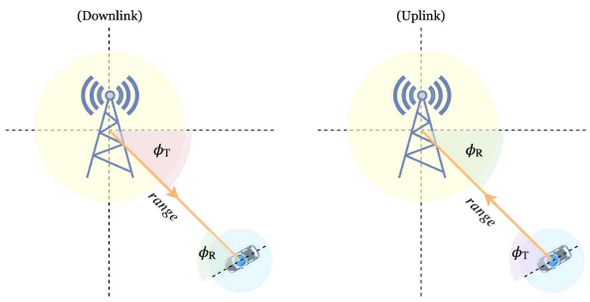
BAE Systems의 NAVSOP
(Navigation via Signals of Opportunity)

출처: https://www.baesystems.com/en/product/navigation-via-signals-of-opportunity-navsop



UAB 정밀측위 시스템 구조

출처: https://www.uwbleader.com/info/forklift-indoor-precise positioning-system-22774978.html



5G 기반 이동체 측위

출처: 'Vehicular Positioning Using 5G and Sensor Fusion', KTH Royal Institute of Technology, 2019

[그림 Ⅵ-80] 대체 무선항법 기술에 대한 예시(그림, 설명)

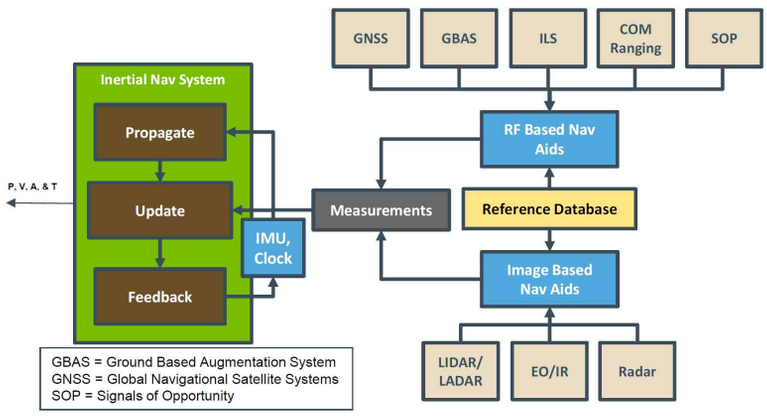
● 복합상대항법 기술

– 다중센서 결합 복합항법 기술

• 기본적인 IMU와 GNSS 수신기 외에 GNSS의 성능저하 또는 불용 상황에 대비한 대체항법 장치들을 결합하고, 각 장치의 데이터를 융합(fusion)한 최종 항법 데이터(위치, 속도, 자세 등)를 실시간으로 생성하는 기술로, 다양한 형태의 복항항법 기술이 항공기, 드론 등에 적용됨

– 복합 항법 무결성 감시.관리 (절체/분리/복원) 기술

• 항법 데이터의 무결성 감시와 장치의 결함 검출 등을 통해 복합항법 구성 장치들의 건전성을 감시하고, 결함/이상이 발생한 장치를 발견하면 해당 장치를 분리하거나 장치의 복원(healing)을 시도하는 기술로 이와 관련한 다양한 연구가 진행됨



출처: UAS CNS Architecture Concept for Controlled Air Space, Boeing, 2017

[그림 Ⅵ-81] UAS 복합항법 구조 (예시)

UAM용 협력적/비협력적 감시 기술동향

● 네트워크 기반 협력적 감시기술

– (ASTM) '20.2월 ASTM F38 표준그룹에서 무인기 시스템의 원격 식별 및 추적을 위한 드론 식별 표준인 F3411-19 (Standard Specification for Remote ID and Tracking) 제정. 식별 정보에는 무인기 ID, 위치, 속도, 시스템 정보 및 비상상황 정보를 포함함

- 식별정보(식별 ID, 위치정보 등)를 실어 나르는 메시지를 정의하고 통신(Wi-Fi, Bluetooth 등) 프레임에 담는 방법 제시
- 총 7가지 메시지 유형 정의 (Basic ID, Location/Vector, Authentication, Self-ID, System Info., Operation ID, Message Pack)
- 드론의 식별정보를 확인하고 감시할 수 있는 수단으로 Wi-Fi, bluetooth와 같은 비면허대역 무선통신기술을 이용하는 방송 기반의 remote ID 기술과 이동통신망과 같은 네트워크 기반의 Remote ID 기술 표준을 제시함
- 네트워크 기반 Remote ID에서는 무인기가 각각의 통신링크를 통해 자신의 식별정보 (ID, 위치, 속도 등)을 각각의 Remote ID 서비스 사업자에게 보고하고, Remote ID 사업자들 간의 무인기 정보를 교환하는 기술 표준을 제시함
- Airmap, Kittyhawk 등의 UTM 서비스 사업자를 목표로 하고있는 업체를 중심으로 네트워크 기반의 Remote ID 솔루션 개발이 활발히 진행 중이며, DJI, 인텔 등의 업체는 DJI's Aerospace 및 Open Drone ID와 같이 비면허대역 방송 기반의 Remote ID 솔루션 개발을 진행 중에 있음

– (3GPP) '19년 말 표준화 완료 예정인 Release 16의 표준화 아이템으로 드론 식별 및 인증 표준화가 진행 중

- FAA 산하 드론 식별 ARC 보고서에서 권고한 요구사항을 표준화에 반영

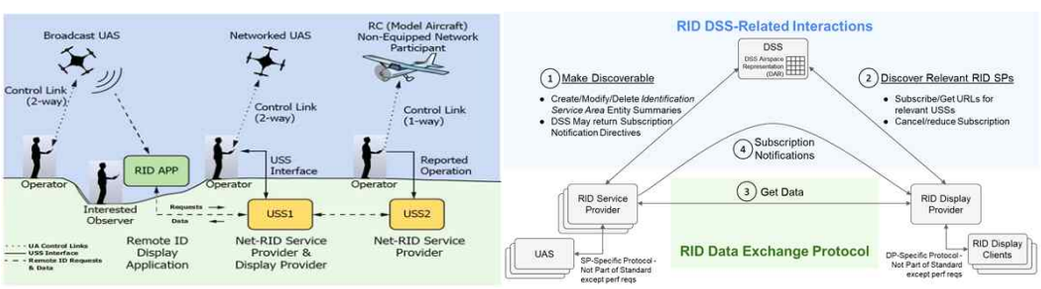
• UTM에 초기 인증을 위한 식별 및 개인 정보 제공, UTM에 지속적인 드론 위치 정보 제공, 비가시권에서 식별 정보 방송, 경찰 등 법집행 당국에 위치 및 식별 정보 제공, 법집행 당국에서 운용 중인 드론의 직접 관리 지원 등의 요구사항을 포함함

– (ASTM) ASTM F.38에서는 무인기(sUAS) 교통관리체계(UTM) 서비스 사업자(USS)가 자신의 무인기와 각각의 통신링크를 통해 획득한 데이터 정보를 타 USS와 교환하고, ATM 등 타 교통관리체계와 교환하기 위해 FIMS와 연동하기 위한 표준화를 진행 중임

• 정보 교환을 위한 데이터 포맷, USS-USS간 API, USS-FIMS간 API 등의 상호운용성 확보를 위한 표준화 진행 중

– (EUROCAE) WG105에서 유럽의 네트워크 Remote ID 개념인 E-Identification 관련 MOPS 표준인 ED-282 개발 진행 중

• ED-282에서 정의하고 있는 E-Identification 시스템은 e-Registration, Monitoring, e-Identification, Tactical 또는 Dynamic De-confiction, Tracking, Emergency Management, Traffic Information 및 DAA 서비스를 제공하는 것을 목표로 하고 있음



[ASTM Remote ID 개념] [서비스 사업자 간 데이터 교환]

출처: ASTM F3411

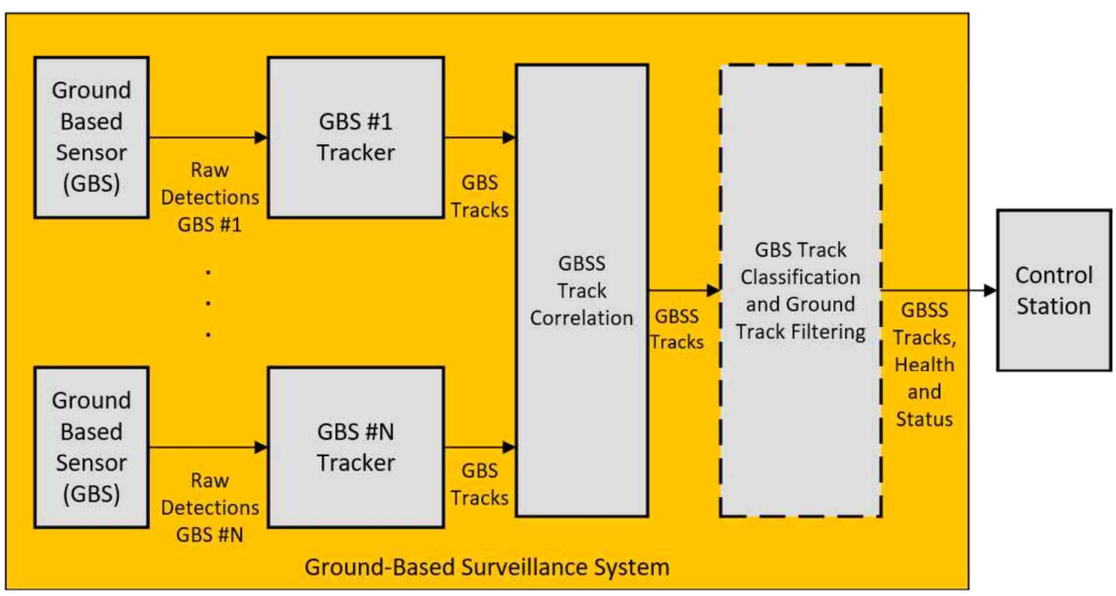
[그림 Ⅵ-82] 네트워크 기반 협력적 감시기술에 대한 예 (Remote ID 개념 및 데이터 교환)

● 지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술

– 미국 RTCA에서는 관제 공역에서 유인기와 통합 운용되는 원격조정 무인기(RPAS: Remotelt Piloted Aircraft Sysyem)의 공중충돌 회피를 지원하기 위한 항공교통감시용 지상기반 감시시스템(GBSS: Ground Based Surveillance Systems)에 관한 최소운용성능표준(MOPS: Minimum Operational Performance Standards)인 DO-381를 2020년 3월에 제정함

• 상기 표준에서 정의한 감시시스템은 ADS-B와 같은 협력적 센서는 포함하지 않고 레이다, 라이다, EO/IR 등과 같은 비협력적 센서를 포함하며, 현재는 레이다만이 비협력적 intruder를 위한 DAA 시스템의 감시 요구사항을 만족하기 때문에 레이다를 중심으로 표준이 작성되어 있음

- 향후 기술의 발전으로 레이다 외의 다른 센서가 DAA 시스템의 감시 요구사항을 만족하게 되면 이를 고려한 개정 작업이 이루어 질 수 있음
- MOPS에 정의된 GBSS용 레이다는 RCS가 작고 저고도로 비행하는 항공기를 감지하기 위한 것이라는 점에서 항공 교통 관제에서 사용하는 일반적인 기본 레이더와는 차이가 있음
- MOPS에는 GBSS용 레이더의 성능, 환경 요구사항, 검증방법 등이 명시되어 있음
- 지상 감시시스템은 지상감시센서(GBS, Ground Based Sensor), 추적기, 추적필터로 구성되며 지상제어국(GCS)으로 추적정보, 상태정보를 제공



출처: 미국 RTCA DO-381 표준문서

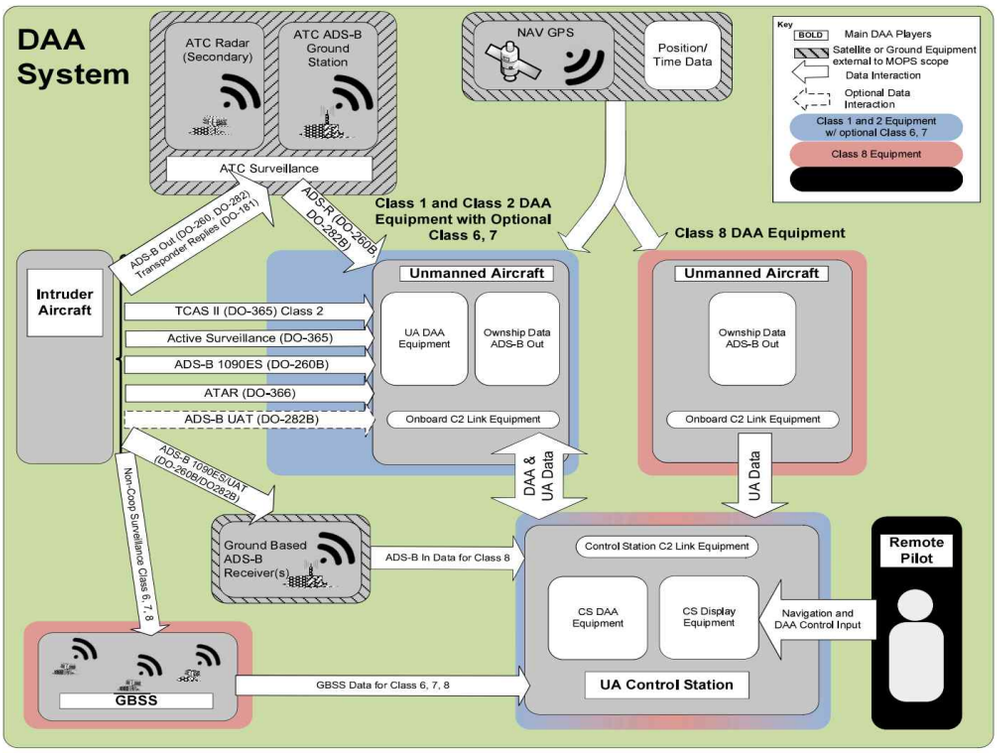
[그림 Ⅵ-83] RPAS DAA를 지원하는 다중센서 GBSS 블록 다이어그램

– DO-381이 UAM 지상 감시시스템을 위한 성능표준으로 이용될 수도 있으나 향후 UAM을 위한 별도의 MOPS가 추가로 제정될 가능성도 배제할 수 없음

● 비협력적·협력적 광역 감시정보 융합기술(비협력 및 협력 센서 융합 등)

– 미국 RTCA에서는 관제 공역에서 유인기와 통합 운용되는 원격조정 무인기(RPAS)의 공중충돌 회피를 위한 DAA(Detect And Avoid) MOPS인 DO-365를 2017년 5월에, 이후 이의 개정확장판인 DO-365A를 2020년 3월에 제정함

- UA(Unmanned Aircraft)와 CS(Control Station) DAA 프로세서는 입력된 다양한 감시 데이터를 처리



출처: 미국 RTCA DO-365A 표준문서

[그림 Ⅵ-84] UA(Unmanned Aircraft)와 CS(Control Station) DAA 프로세서

- RTCA SC 147과 SC 228 WG1은 ACAS Xr (UAM과 같은 rotorcraft를 위한 DAA) MOPS를 개발할 계획임

- K-UTM 사업에서 드론 운용자가 UTM에 지속적인 드론 위치 정보를 제공하고 UTM으로부터 타 드론 정보를 확인할 수 있는 기술 개발 진행

〈표 Ⅵ-50〉 협력적 및 비협력적 감시 방법 (RPAS DAA vs. UAM)

구분	RPAS DAA	UAM (추정)
협력적 감시	ADS-B In/Out, 능동 감시(active surveillance) 또는 TCAS II	네트워크/A2A링크 기반 감시, ADS-B In(/Out)
비협력적 감시	ATAR(Air-to-Air Radar), GBSS, (온보드 EO/IR)	lower SWaP ATAR, GBSS, 온보드 EO/IR

UAM 운용을 위한 CNSi 보안 기술

● 통신망 보안 기술

- UAM 도입 초기에는 VPN과 같은 기존의 암호체계를 활용한 통신망 보호가 사용될 것으로 예상되고, 도입 중반 이후에는 기존 암호체계와 달리 통신망 해독 위험이 없고 해킹으로부터 안전한 양자암호와 양자내성암호 체계가 UAM에 도입될 것으로 예상됨

• 기존의 비행체와는 달리 UAM은 도심 상공에서 승객을 싣고 빠르고 안전하게 이동하는 것을 목적으로 하므로, 공공 안전과 함께 양자암호와 같이 절대적으로 안전한 통신 및 네트워크 보안 기술이 UAM 성패를 좌우하는 키 챌린저가 될 것임

〈표 Ⅵ-51〉 UAM 통신망 보안의 핵심기술

기술	내용	설명	예시
양자암호	양자키 분배	양자통신 원리에 기반하여 UAM 통신 당사자간 암호키 분배	UAM-UAM, UAM-교통관리시스템 사이에서 제3자의 도청이나 감청이 불가능하여 암호키를 알 수 없음
양자내성암호	데이터 암호	UAM 통신 당사자간 기밀성과 무결성을 보장하는 데이터 암호화 기술	양자컴퓨터에 의한 기존 암호체계의 해독 위험과 달리, UAM-UAM, UAM-교통관리시스템 통신망에 절대적 안전성 제공



출처: 배경그림(현대엠엔소프트)

[그림 Ⅵ-85] UAM 통신망 보안 기술 개념도

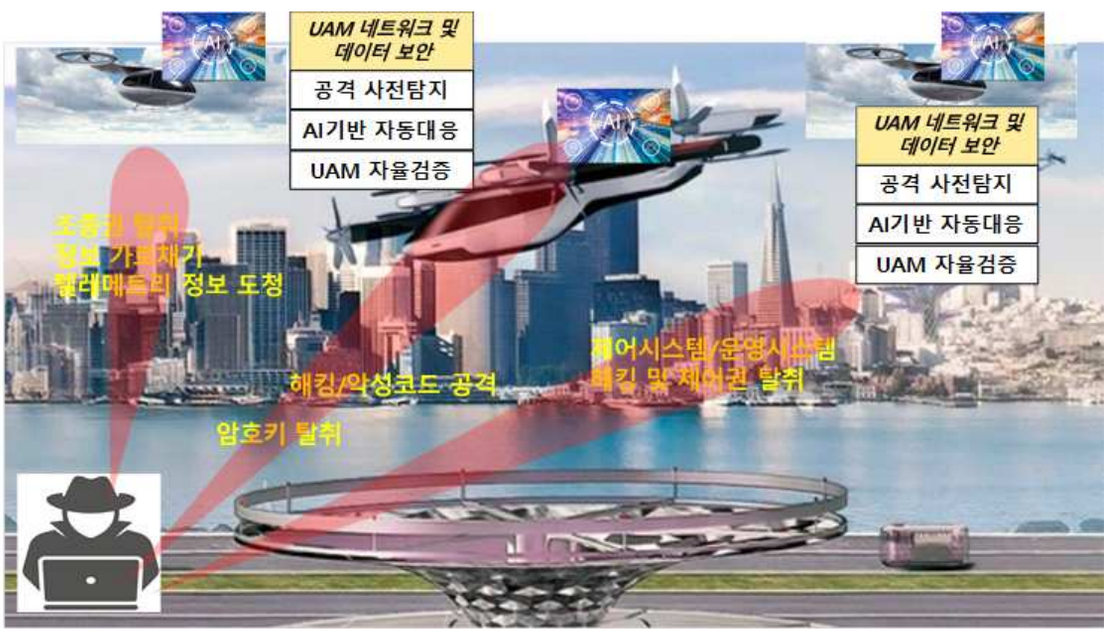
● 네트워크(데이터) 보안 기술

– UAM 네트워크 침해 위협, 정보 변조 위협은 데이터 암호, 인증, 네트워크 보안 등의 ICT 정보보호 기술로 보호될 수 있으나, 예측하지 못한 공격으로부터 UAM 네트워크와 데이터를 보호하기 위해서는 인공지능과 블록체인 기반 사이버 보안 기술이 향후 UAM 보안 기술의 중심이 될 것으로 예상됨

• 국내에서는 ETRI를 중심으로 UAV 시스템에 비인가 접속 및 비정상 실행을 방지하는 보안 플랫폼을 구축하는 연구가 진행 중이나, 향후 UAM 도입시 UAM 하드웨어/소프트웨어 동작 상황에 대해 UAM 스스로 정상/비정상 유무를 검사하고 보고하는 AI 기반 UAM 자율검증 기술 개발로 전환 필요

〈표 Ⅵ-52〉 UAM 네트워크(데이터) 보안의 핵심기술

기술	내용	설명	예시
AI 기반 사이버보안	네트워크 위협 탐지 및 대응	UAM 특성상 공격에 대한 사후대응 보다는 AI에 기반한 공격 조기탐지와 자동대응 필요	예측하지 못한 위협으로부터 UAM 네트워크와 사람, 재산 보호
UAM 시스템 자율검증	데이터 보호 및 안전 운행	UAM 스스로 HW/SW의 정상/비정상 유무를 감시	UAM 비행시스템에 신뢰환경 구축하고 능동적으로 위협을 감시하여 항상 안전한 UAM 운행 가능



출처: 배경그림(현대자동차)

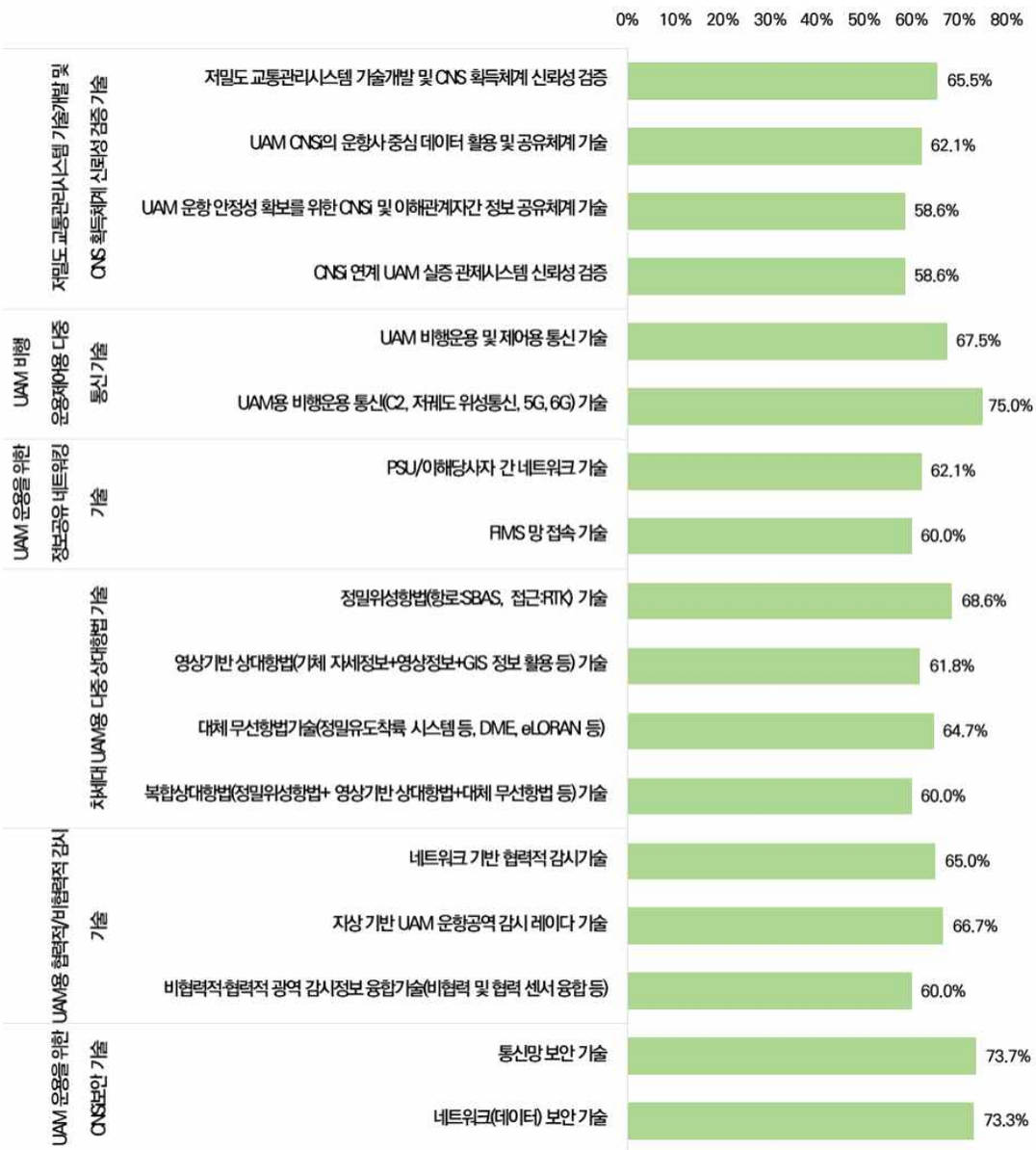
[그림 Ⅵ-86] UAM 네트워크(데이터) 보안 기술 개념도

다. 기술수준 및 연구개발전략

UAM CNSi 분야 기술수준

● UAM CNSI 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 전반적으로 유사한 수준의 기술을 가진 것으로 나타남



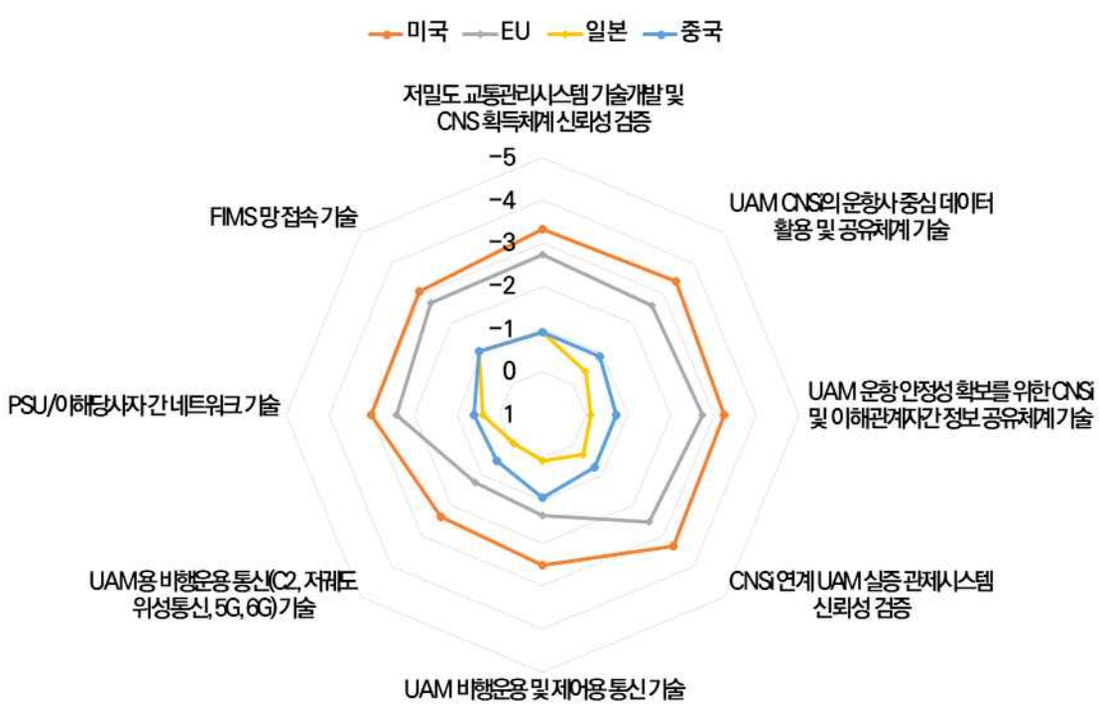
[그림 Ⅵ-87] UAM CNSi 분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● UAM CNSi 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

– 미국이 가장 높은 기술수준을 보유하여 3년 내외의 기술격차가 나타나며, 유럽과는 2년 내외, 일본 중국과는 1년 내외의 기술격차가 나타남

〈표 Ⅵ-53〉 UAM CNSi 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술	저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증	-3.33	-2.73	-0.93	-0.93
	UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술	-3.42	-2.62	-0.42	-0.92
	UAM 운항 안정성 확보를 위한 CNSi 및 이해관계자간 정보 공유체계 기술	-3.25	-2.73	-0.13	-0.73
	CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증	-3.33	-2.53	-0.33	-0.73
UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술	UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술	-2.50	-1.36	-0.07	-0.93
	UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G, 6G) 기술	-2.38	-1.23	0.05	-0.52
UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술	PSU/이해당사자 간 네트워크 기술	-3.00	-2.40	-0.40	-0.60
	FIMS 망 접속 기술	-3.08	-2.68	-1.08	-1.08
차세대 UAM용 다중 상대항법 기술	정밀위성항법(항로:SBAS, 접근:RTK) 기술	-2.86	-2.02	-1.02	-1.02
	영상기반 상대항법(기체 자세정보+영상정보+GIS 정보 활용 등) 기술	-3.14	-2.14	-0.81	-0.89
	대체 무선항법기술(정밀유도착륙 시스템 등, DME, eLORAN 등)	-3.36	-2.52	-0.61	-0.44
	복합상대항법 (정밀위성항법+영상기반 상대항법+대체 무선항법 등) 기술	-3.86	-2.86	-0.69	-0.69
UAM용 협력적/비협력적 감시 기술	네트워크 기반 협력적 감시기술	-2.88	-2.29	-0.71	-1.14
	지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술	-3.38	-2.66	-0.66	-1.23
	비협력적·협력적 광역 감시정보 융합기술(비협력 및 협력 센서 융합 등)	-3.00	-2.43	-0.57	-1.14
UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술	통신망 보안 기술	-2.50	-1.50	-0.21	-0.50
	네트워크(데이터) 보안 기술	-2.75	-1.75	-0.46	-0.75



[그림 Ⅵ-88] UAM CNSi 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

● UAM CNSi 분야 국내 산업역량

– UAM CNSi 분야의 모든 기술은 독자생산 역량을 보유한 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-54〉 UAM CNSi 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술	저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증	LV 3(독자생산)
	UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술	LV 3(독자생산)
	UAM 운항 안정성 확보를 위한 CNSi 및 이해관계자간 정보 공유체계 기술	LV 3(독자생산)
	CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증	LV 3(독자생산)
UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술	UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술	LV 3(독자생산)
	UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G, 6G) 기술	LV 3(독자생산)
UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술	PSU/이해당사자 간 네트워크 기술	LV 3(독자생산)
	FIMS 망 접속 기술	LV 3(독자생산)
차세대 UAM용 다중 상대항법 기술	정밀위성항법(항로:SBAS, 접근:RTK) 기술	LV 3(독자생산)
	영상기반 상대항법(기체 자세정보+영상정보+GIS 정보 활용 등) 기술	LV 3(독자생산)
	대체 무선항법기술(정밀유도착륙 시스템 등, DME, eLORAN 등)	LV 3(독자생산)
	복합상대항법 (정밀위성항법+영상기반 상대항법+대체 무선항법 등) 기술	LV 3(독자생산)
UAM용 협력적/비협력적 감시 기술	네트워크 기반 협력적 감시기술	LV 3(독자생산)
	지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술	LV 3(독자생산)
	비협력적·협력적 광역 감시정보 융합기술 (비협력 및 협력 센서 융합 등)	LV 3(독자생산)
UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술	통신망 보안 기술	LV 3(독자생산)
	네트워크(데이터) 보안 기술	LV 3(독자생산)

● UAM CNSi 분야 국내 기술개발 역량

– 기초연구수행, 기초/응용연구수행, 기초/응용/상용화연구수행이 비슷한 비중으로 나타남

〈표 Ⅵ-55〉 UAM CNSi 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

중점기술	세부기술	국내기술개발 역량
저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술	저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술	LV 2(기초연구수행)
	UAM 운항 안정성 확보를 위한 CNSi 및 이해관계자간 정보 공유체계 기술	LV 2(기초연구수행)
	CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증	LV 2(기초연구수행)
UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술	UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G, 6G) 기술	LV 4(기초/응용/상용화연구수행)
UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술	PSU/이해당사자 간 네트워크 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	FIMS 망 접속 기술	LV 2(기초연구수행)
차세대 UAM용 다중 상대항법 기술	정밀위성항법(항로:SBAS, 접근:RTK) 기술	LV 4(기초/응용/상용화연구수행)
	영상기반 상대항법 (기체 자세정보+영상정보+GIS 정보 활용 등) 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	대체 무선항법기술 (정밀유도착륙 시스템 등, DME, eLORAN 등)	LV 3(기초/응용연구수행)
	복합상대항법 (정밀위성항법+영상기반 상대항법+대체 무선항법 등) 기술	LV 2(기초연구수행)
UAM용 협력적/비협력적 감시 기술	네트워크 기반 협력적 감시기술	LV 4(기초/응용/상용화연구수행)
	지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술	LV 4(기초/응용/상용화연구수행)
	비협력적·협력적 광역 감시정보 융합기술 (비협력 및 협력 센서 융합 등)	LV 3(기초/응용연구수행)
UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술	통신망 보안 기술	LV 4(기초/응용/상용화연구수행)
	네트워크(데이터) 보안 기술	LV 4(기초/응용/상용화연구수행)

저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술 연구개발전략

- **(저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증)** K-UAM 초기 UAM 교통관리 기본 서비스 및 K-UAM CNSi 기술요구도에 부합하는 항로이탈 모니터링을 위한 항공감시정보 획득 및 활용체계 신뢰성 검증

- **(UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술)** 운항사 중심의 CNSi 정보 활용 및 공유방안 연구를 통한 운항사 UAM의 종합 운항통제시스템 구현

  – UAM의 실용화를 위해서는 각 이해관계자 관점에서 전반적인 운용개념을 구체화하고 이를 바탕으로 CNSi 정보활용 및 공유방안을 도출하는 것이 중요

  – 특히 운항사 관점에서 UAM 운용개념을 구체화하기 위해서는 기존 여객기 운항통제체계의 운용경험을 적극 활용할 필요

  – CNS/ATM 체계의 운용 절차 및 메뉴얼 등을 기반으로 한 UAM CNSi 정보활용 및 공유방안 연구와 이를 이용한 UAM 운항통제시스템의 구현이 필요

- **(UAM 운항 안정성 확보를 위한 CNSi 및 이해관계자간 정보 공유체계 기술)** UAM 운항관련 이해관계자(PSU, Vertiport, 운항사 등) 간의 안정적 정보공유를 위한 'UAM Veriport 및 PSU 간 데이터 활용기술과 공유체계' 구축

  – UAM 서비스의 경우 설계부터 실증까지 안전사고를 방지하기 위해서 다양한 시뮬레이션 등을 통한 검증절차가 선행되어야 하고, 기존 공항 및 항행장비 관련 전문기관이 주체가 되어 연구개발을 수행

  – 연구과제와 관련한 국내외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구개발 경험을 보유한 국내외 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안 모색

  – 기존 항공기 탑재 시스템 및 항행안전시설의 적용기술 등을 활용해 저고도 도심지 비행에 적합한 UAM 맞춤형 시스템 도출

- **(CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증)** UAM의 이착륙 단계와 순항 중 CNSi를 통해 획득된 정보는 UATM 등의 관제시스템을 통해 정밀하고 정확한 상황인식정보를 생성할 수 있어야 하며, 운항사, 이착륙장 운영자, ATC 등 다양한 이해당사자에게 공유하도록 추진

  – CNSi 정보의 정확성과 실증노선 운항 안전을 검증 할 수 있는 실증용 관제시스템의 구축 및 데이터 신뢰성 검증을 그 목표로 설정

  – 연구기간 동안 인구 밀집지역, 인구 비밀집지역, 해안, 공항주변 등 다양한 UAM 운항 환경을 고려한 실증노선에 요구되는 CNSi 정보요소를 식별하고 CNSi 장비를 개발 및 실증 노선에 전개하며, 획득된 정보를 실증 관제시스템에 연동하여 정보의 신뢰성을 검증

- ATM 시스템과의 정보교환을 통해 초기적인 ATM-UATM 통합 운영환경과 Network Operation 방안을 검토

UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술 연구개발전략

● **(UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G, 6G) 기술)** UAM의 비행운용 통신 요구사항에 적합하게 각 상용망의 고도화 연구 개발은 민간에서 주도적으로 추진하고, 각 상용망의 항공망 인증을 위한 기술기준 마련 및 다중망간 연동 기술 개발은 정부 주도로 추진하는 정부·민간 공동 연구개발이 필요

- 국제적으로 기존에 구축되어 있는 LTE/5G 상용이동통신망을 활용하여 무인기 비행운용 통신을 지원하기 위한 기술개발 및 표준화가 기존 이동통신 단말 및 네트워크 민간 장비 업체 주도로 활발히 진행 중임

  • 그러나 기존에 구축되어 있는 상용이동통신망의 경우 150m 이상의 고도에서 안정적인 통신품질 제공이 어렵기 때문에, 150m 이상의 상공에서도 안정적인 통신 품질 제공을 위한 기술 개발 및 최소성능요구사항 마련이 필요한 상황임

- Space X의 스타링크 등 선진국을 중심으로 저궤도 위성을 이용하여 저비용의 저지연 및 초고속 위성 서비스 계획 중임

  • 그러나 UAM의 비행운용 통신용으로 적합성 여부 검증 및 안정적 통신 품질 제공을 위한 최소성능요구사항 마련이 필요한 상황임

- 다중 통신망을 통해 끊김없이 비행운용 통신 서비스를 제공하기 위한 다중 망간 연동 기술에 대한 기술은 국제적으로 아직 미확보된 상태임

● **(UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술)** UAM 비행운용 및 제어용 통신 네트워크 기술은 민간이 주도적으로 기술확보가 어려운 분야로, 정부 주도로 국내 기존 ICT 분야의 Know-How을 활용하여 선제적으로 기술개발을 진행함으로써 선진국과 경쟁 가능 예상

- 국제적으로 UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술은 미국 NASA와 같이 정부 주도로 민간업체와 협력하여 공동기술 개발이 진행되고 있으며, 특히 지상 네트워크 관련 기술 개발 및 표준화가 시작 단계로 국내의 핵심기술의 표준 반영을 위한 선제적 대응이 요구됨

  • 관련 기술 개발을 선도하고 있는 미국 또한 직접접속(P2P)기반의 무인기 제어용 통신 기술 개발 및 표준화는 활발히 진행 중이나, 지상 네트워크 기술개발 및 구축 경험은 미비한 상태

- 국내의 경우, 선진국과 동등 수준의 지상 제어용 통신링크 기술 개발을 진행한 바 있으나, 통신 네트워크 기술 개발은 진행한 바 없음

  • '15년 다부처공동기획사업 (국토부, 미래부, 해수부, 행자부, 국민안전처 참여)의 일환으로

현재 과기정통부 주관으로 ETRI에서 고신뢰성을 가지는 무인항공기 제어용 통신장비를 개발함

- 상기 과제를 통해 ETRI는 선도적으로 제어용 통신 링크 기술을 개발하여 미국 RTCA 표준에 국내 기술 반영을 추진한 바 있음
- 상기 사업을 통해 핸드오버 등을 지원을 위한 일부 무인기 제어용 통신 네트워크 구조에 대한 연구 또한 진행한 바 있으나, 실제 네트워크 구축을 위한 연구개발은 미 포함
- 기존의 항공 분야와 다르게 ICAO 및 미국 RTCA 등에서 한국이 국제 표준을 선도할 수 있는 좋은 기회이므로 관련 분야를 선도하고 있는 미국 NASA와 기술개발 및 시험결과 공유 협력 추진

UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술 연구개발전략

- **(PSU/이해당사자 간 네트워크 기술)** 기체 및 인프라 개발과 함께 연계하여 개발 추진 필요
  - (PSU/기체) UAM 생태계 및 초기 상용화 시기를 고려하여 운항안전과 기체 운영 효율성을 고려하여 상호 네트워크 기술 개발
  - (PSU/이해당사자) 정보공유 식별을 우선으로 하고 표준화를 기반으로 정보연계체계를 구축하며, 안정된 정보공유를 위하여 사이버 보안 등을 필수로 고려
  - (효율적 의사결정) 現 공항에서 활용중인 효율적 의사결정 지원 시스템 A-CDM(Airport - Collaborative Decision Making) 기술을 Vertiport 프로세스에 맞게 적용
- **(FIMS 망 접속 기술)** FIMS 기술은 전 세계 기준으로도 초기 개발 단계이나 향후 공역 안전과 국가 관리를 위하여 필수적인 시설으로 예상됨에 따라 UAM의 운항 성격을 식별한 후에 개발 추진
  - (ATM 연계) 저고도 내 안전한 비행 환경 구성을 위해 ATM 데이터 소스 수신을 통해 PSU또는 관계기관 정보 요청 시 FIMS를 통한 데이터 전달
  - (연계정보) 안전한 저고도 비행환경 조성을 위해 비행장치 통합관제, PSU 사업자 관리, 비행정보 데이터 통합관리(ATM 등), 응급상황 발생 시 대응 관련 정보 연계
  - (사이버보안) 사이버 보안 강화를 위해 통신 체계에 대한 사전 시뮬레이션을 통한 보안 안전성 검증 및 보안 가이드 라인을 마련하여 위험 인지, 분석 및 위험수준 완화 등 보안 관리 체계 연구

차세대 UAM용 다중 상대항법 기술 연구개발전략

- **(정밀위성항법(항로:SBAS, 접근:RTK) 기술)** UAM 비행항로에서의 정밀위성항법의 경우 서비스 개시 예정인 KASS를 활용해 요구성능 만족 가능

  – 2022년부터 서비스를 개시하는 KASS(SBAS)는 수평방향 기준 1m(95%)의 정확도를 제공하고, 또한 APV-I(16m[H], 20m[V])에서 CAT-I(16m[H], 4m[V])로 개선하기 위해 2중 주파수로 확장이 계획되어 있으므로 비행항로에서는 이러한 KASS 인프라를 활용하는 것으로 충분

    • KPS MLS & CLS 서비스를 2035년부터 제공할 계획이며, 이를 이용하면 수평방향 기준 수 cm(95%)의 정확도 제공

    • UAM을 위한 GNSS 항재밍 기술은 적용 필요성 확인 후 개발 추진

- **(영상기반 상대항법(기체 자세정보+영상정보+GIS 정보 활용 등) 기술)** 위성정밀항법의 성능 열화/불용 시에 대비해 기상과 조명 환경, 시간(주·야간)에 관계없이 비행항로와 vertiport 에서의 요구 성능 만족과 low SWaP-C를 주요목표로 영상기반 항법 기술의 국내 연구개발을 추진하고, 관련 분야 연구 역량을 보유한 국외대학과의 공동연구 병행

  – 지형지원(참조)항법은 국내에서도 국방용으로 연구개발이 진행된 바 있으나, UAM의 vertiport와 같은 환경에서의 영상기반 항법 기술 개발은 이루어지지 않음

  – 기상과 조명 환경, 시간(주·야간)에 관계없이 동작하면서 low SWaP-C 특성을 갖는 센서(예: 정밀 고도/거리 측정이 가능한 레이다) 개발도 포함해 추진

- **(대체 무선항법기술(정밀유도착륙 시스템 등, DME, eLORAN 등))** 비행항로에서의 항법 요구성능을 만족하고 low SWaP-C 특성을 갖는 eLORAN 수신기 기술개발과 RF 기반의 vertiport 정밀 착륙유도 기술의 국내 연구개발 추진

  – 국내에서 eLORAN 인프라를 위한 기술 개발이 진행되고 현재는 시범 서비스를 제공하는 단계이나, UAM에서의 이용에 적합한 수신기 개발 추가로 필요

  – Vertiport 주변 정밀무선항법을 위해 5G 기반 정밀측위 기술을 활용할 수 있을 것이나, UAM의 vertiport와 같은 환경에서의 정밀 착륙 유도 기술 개발은 이루어지지 않음

  – 5G 기반 정밀측위 기술의 경우 vertiport에서의 정밀무선항법으로 활용하기 위해 필요한 추가기술 식별 후 개발 추진

  – SoOP 이용 측위 기술은 적용 필요성 확인 후 개발 추진

- **(복합상대항법(정밀위성항법+영상기반 상대항법+대체 무선항법 등) 기술)** IMU와 GNSS, 대체항법 장치 항법 데이터가 모두 융합되고 항법 데이터 무결성과 HW 건전성 감시 등을 결합한 강건한 복합항법 기술 국내 연구개발 추진

  – 이중/삼중화 구조의 IMU와 GNSS 복합 항법 장치는 이미 실용화되어 활용되는 수준이나,

대체항법 장치를 포함한 항법 데이터의 융합 및 무결성 감시와 통합 장치 관리 기술 등은 연구 필요

- 영상기반 항법 및 대체 무선항법 기술 개발 일정과 연계하여 추진 필요

■ UAM용 협력적/비협력적 감시 기술 연구개발전략

● **(네트워크 기반 협력적 감시기술)** UTM에서의 네트워크 기반 협력적 감시 기술 개발 경험을 바탕으로 국내 독자적으로 UAM에 확장 적용하는 연구 개발 전략 적용 필요

- 현재 K-UTM 사업에서 드론 운용자가 UTM에 지속적인 드론 위치 정보를 제공하고 UTM으로부터 타 드론 정보를 확인하는 수준의 기술 개발은 진행되었으나, UTM 서비스 사업자간 식별 및 감시 정보를 교환하고 ATM과의 정보를 교환하는 기술 개발은 초기 단계임

- 특히 ASTM, RTCA 등 산업표준을 준용하여 표준화된 데이터 포맷의 식별 및 감시 정보를 타 PSU와 교환할 뿐만 아니라, ATM 및 UTM 등 타 교통관리체계와도 FIMS를 통해 교환할 수 있는 기술개발 필요

● **(지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술)** RTCA DO-381를 참고하고 UAM의 실제 운용 개념과 시나리오, enroute 및 vertiport 환경 등을 종합적으로 고려하여 UAM에 적합한 지상 기반 감시 레이다의 요구사항과 기술규격을 정의하고 기존의 드론 탐지 레이다 기술 개발 경험과 역량을 바탕으로 정부 주도로 국내 연구개발 추진

- 불법드론 위협의 증가에 따라 저고도 비행 드론을 감시하기 위한 드론 탐지 시스템 개발이 국내에서도 활발히 진행되었고, 이에 따라 타 국가와 비교해도 기술수준이 낮지 않는 것으로 판단되나, RPAS의 지상 감시 시스템 표준인 RTCA DO-381을 만족하는 감시 레이다 등에 대한 연구 및 기술개발은 아직 시작하지 않은 상태임

- RTCA 등의 관련 표준화 동향을 주시하고 UAM용 지상 기반 감시 레이다에 대한 표준화 제/개정 작업 진행 시 표준화와 연계해 기술개발 추진

- 지상 기반 감시 레이다는 UAM의 안전운항을 위한 지상 인프라에 해당되므로 정부 주도로 연구개발을 추진

● **(비협력적·협력적 광역 감시정보 융합기술(비협력 및 협력 센서 융합 등))** 이종센서 멀티 모달신호 처리에 의한 비협력적 비행체 및 고정 장애물 탐지 기술과 이륙/항행/돌발/착륙 상황別 복합센서 및 협력적 감시 정보 연동 기술의 국내 연구개발을 추진하고, ACAS Xu 및 DAA 분야 연구 경험과 역량을 보유한 국외대학과의 공동연구 병행

- 국내에서 RPAS를 위한 비협력적·협력적 감시정보 처리와 DAA에 대한 연구가 일부 진행되었으나, 국내외 모두 UAM을 위한 비협력적·협력적 감시 및 DAA 관련 연구는 아직 본격적으로 시작되지 않음

- RTCA 등의 관련 표준화와 연계하여 추진하고 UAM의 자율화 수준 발전(조종사 탑승, 지상원격조종, 자율조종)에 따라 단계적으로 고도화 추진

UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술 연구개발전략

- **(통신망 보안 기술)** 양자컴퓨터에 의한 기존 암호체계의 해독 위험이 가시화됨에 따라, 해킹이나 악의적 불법행위로부터 UAM을 안전하게 운용하기 위해 UAM 통신망에도 양자암호와 양자내성암호(PQC) 도입이 필요함
  - 양자암호는 양자통신을 이용해서 UAM 이해 당사지간 암호키를 가지는 양자 암호키 분배를 의미
  - 양자내성암호는 UAM 이해 당사자간 통신 암복호를 위해 양자컴퓨팅에서도 해독되지 않는 새로운 암호시스템임
- **(네트워크(데이터) 보안 기술)** UAM 탑승객 뿐만 아니라 지상의 사람과 재산을 보호하기 위해, UAM 네트워크와 데이터 보안 체계도 사이버 공격에 대한 사후대응에서 AI에 기반한 공격 조기탐지와 자동대응으로 전환 필요
  - AI 기반 사이버보안은 새로운 공격이나 제로데이 위협으로부터 UAM 네트워크를 능동적으로 탐지하고 보호할 수 있고 네트워크 연결이 손상되었을 때에도 작동할 수 있음
  - 블록체인 기술을 사용하여 UAM 데이터와 비행 로그를 안전하고 정확하게 저장할 수 있고, 사고 발생시 객관적인 제 3자 검증이 가능함

라. UAM CNSi 분야 기술로드맵

UAM CNSi 분야의 단계별 기술개발 목표

● 저밀도 교통관리시스템 기술개발 및 CNS 획득체계 신뢰성 검증 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- UAM 운항고도 및 비행단계를 고려하여 가용한 CNSi 장비별 분석 및 K-UAM 적용 위한 CNSi 설계 및 개발
- UAM CNSi 정보요소 식별 및 품질 평가 기준 정의, 기존 항행안전시설 연계 방안 검토, 실증 관제시스템 기본 요구사항 정의 및 시스템 모사
- 유인 항공 체계의 안전운항을 위해 구축된 기존 항행안전시설과 연계하여 UAM 운항 특성에 맞는 UAM CNSi 환경을 구현

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- CNSi 장비에 대한 UAM 운항고도별 및 비행단계별 성능 평가
- 상용 통신망 품질확보, CNSi 시제품 개발, 외부 시스템과 연동방안 마련, 실증 관제 시스템 모사 고도화
- CNSi에서 제공된 정보의 정확도, 가용성과 무결성을 실시간으로 모니터링 할 수 있고, 정확한 UAM 운항 상황 정보를 제공하는 PSU 환경 구현

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 실증노선에서의 CNSi 통합성능 평가 및 기존 CNS 시스템과의 비교검증을 통한 UAM CNSi 획득 및 활용체계 신뢰성 검증
- CNSi 장비 실증 노선 전개, 실증 관제시스템 외부 시스템 연계 환경 구현 및 종합 실증을 통한 CNSi 정보 평가
- 궁극적으로 UAM 기체의 자율비행을 지원하고 최적의 운항 스케줄 생성 및 사전적 흐름관리를 수행하는데 필요한 정보를 제공하는 CNSi 환경 구현

● UAM 비행 운용제어용 다중 통신 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- UAM 비행항로 및 vertport에서의 LTE/5G 망의 통신품질(3D 커버리지, QoS, latency 등) 향상 기술개발, UAM/UAS 전용 C대역 C2 링크 기술은 RTCA/ICAO의 표준화와 연계 개발 및 C2 링크 동적채널 할당 기술 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• UAM/UAS 전용 C대역 C2 지상 네트워크 기술개발 및 구축, 제어·관리·비행운용·승객용 통신링크의 가용도와 전송품질 개선을 위한 5G, C2 및 저궤도 위성통신망 연동기술 개발

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• UAM 수요 증가 및 승객의 다양한 요구에 따라 급증할 데이터 트래픽을 수용하고 보다 안정적인 UAM 통신 인프라 구축을 위해 6G 이동통신망의 UAM 통신 활용 기술 개발과 전용 C2 네트워크 고도화 및 6G, C2, 저궤도 위성 통신망 등 3개 이상의 통신망을 활용한 다중 복합 UAM 통신 인프라 구축

● **UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술**

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• 초기 상용화 UAM 안전 및 교통 관리를 위하여 V-CDM 핵심 기술 개발, 기체 센서 및 지상 CNSi 공유 및 연계 정보망 인터페이스 기술 개발

• PSU-FIMS 연계 기술 개발 등으로 이해관계자 정보공유 항목 식별 및 실증

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• UAM 성장기 24개의 버티포트와 22개의 노선에서 효율적 운항과 노선의 안정적 확장이 가능한 이해관계자간 정보공유 시스템 운영

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• 전 공역에서 1,090대 이상의 기체가 52개 이상의 버티포트를 Mixed Corridor에서 드론 및 민항기와 유연하게 비행할 수 있는 자동화된 이해당사자간 공유 시스템 활성화

● **차세대 UAM용 다중 상대항법 기술**

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• vertiport에서의 GNSS 다중경로 신호 제거 및 타 장비로부터의 간섭 경감 기술 개발과 반송파 기반 정밀위성항법의 무결성·가용성·연속성 기초기술 연구

• 비행항로와 vertiport에서 모두 이용 가능한 지형지원/참조항법 기술 개발

• UAM용 eLORAN 수신기 및 RF 기반의 vertiport 정밀 착륙유도 기술 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• vertiport에서의 정밀위성항법을 위한 GNSS 다중경로 신호 제거 기술 고도화와 반송파 기반 정밀위성항법의 무결성·가용성·연속성 기술 연구

- 비행항로와 vertiport에서 모두 이용 가능한 지형지원/참조항법 기술 및 RF 기반의 vertiport 정밀 착륙유도 기술 고도화 및 복합항법 기술 개발

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- vertiport에서의 정밀위성항법을 위한 GNSS 다중경로 신호 제거 기술 추가 고도화
- 반송파 기반 정밀위성항법의 무결성·가용성·연속성 기술 연구, 복합항법 기술 고도화

● **UAM용 협력적/비협력적 감시 기술**

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- UAM을 위한 네트워크 기반 협력적 감시 기술 개발
- 지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술 개발, 비협력적·협력적 감시정보 융합 기술 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- UAM을 위한 네트워크 기반 협력적 감시 기술 고도화
- 지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술개발
- 원격조종 UAM을 위한 비협력적·협력적 감시정보 융합 기술 고도화

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 6G 네트워크 기반 협력적 감시 기술 개발
- 지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 성능 개선 및 저가화 개발
- 자율 운항 UAM을 위한 비협력적·협력적 감시정보 융합기술 고도화

● **UAM 운용을 위한 CNSi보안 기술**

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- ICT 정보보호 기반 데이터 암호, 인증, 네트워크 보안 기술을 활용하여 UAM 네트워크 침해 위협, 정보 변조 위협에 대응
- UAM 운행상황에 대한 정상 유무 감시과 UAM 동작 상황에 대한 통합 감시를 제공하는 UAM 교통관리 통합 보안 기술 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 새로운 공격이나 제로데이 위협으로부터 UAM 네트워크를 능동적으로 탐지하고 보호하며 네트워크 연결이 손상되었을 때에도 작동할 수 있는 AI 기반 사이버 공격 사전탐지 및 자동대응 기술 개발

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 해킹이 원천적으로 불가능한 양자암호와 양자컴퓨팅 환경에서도 안전한 양자내성 암호 기반 UAM 통신 보안 체계를 개발하여, 도심에서 UAM 비행으로 인한 사람들의 불안감과 사이버보안 위험을 해소
- 사람, 시설, 공공분야 모두에게 안전하고 신뢰할 수 있는 UAM CNSi 환경 제공

UAM CNSi 분야 세부 기술로드맵

● 6개 중점기술 및 17개 세부 기술로 구성

〈표 Ⅵ-56〉 UAM CNSi 분야 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
저밀도 교통관리 및 CNSi 획득/활용 체계 신뢰성 검증 기술	CNSi 획득 및 활용체계 연구개발 및 정보 신뢰성 검증 기술	UAM 무선통신 체계구축 기술개발 및 신뢰성 검증 기술	■	■	■	■										
		UAM GNSS 항법시스템 기술개발 및 신뢰성 검증 기술	■	■	■	■										
		RF 링크 신뢰성 검증 요구도 수립 기술	■	■	■	■										
		감시획득체계 및 획득정보 신뢰성 검증 기술	■	■	■	■										
	UAM CNSi의 운항사 중심 데이터 활용 및 공유체계 기술	운항사 중심 UAM CNSi 운용개념(안) 수립	■	■												
		UAM 종합운용통제 요구사항(안) 및 절차 수립		■	■											
		개발운항사 중심 UAM 운용통제 시스템 구현/시연		■	■	■										
	UAM 운항 안정성 확보를 위한 CNSi 및 이해관계자간 정보 공유체계 기술	기존 ATM시설에 의한 UAM 감시정보 획득체계 신뢰성 기술	■	■	■	■										
		기체 안전 운항을 위한 운항정보 공유 기술	■	■	■	■										
		지상 UAM 항법시스템 기술	■	■	■	■										
		상용망 데이터 통신 감시정보 신뢰성 및 연동 기술	■	■	■	■										

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
		이해관계자 간(관제기관, PSU, 운항사 등) 정보연계 시뮬레이션 및 검증 기술														
	CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증	CNSi 연계 UAM 실증 관제시스템 신뢰성 검증														
		운항경로 CNSi 기술														
		Vertiport CNSi 기술														
		UAM 실증 관제시스템 구현 기술														
		법제도, 주파수 확보 및 사업화 방안														
UAM 비행 운용제어 용 다중 통신 기술	UAM 비행운용 및 제어용 통신 기술	C대역 UAM C2 데이터링크 기술														
		C대역 UAM C2 통신 네트워크 기술														
	UAM용 비행운용 통신(C2, 저궤도 위성통신, 5G, 6G) 기술	UAM 통신을 위한 5G망과의 연동기술														
		UAM 통신을 위한 LEO 위성망과의 연동 기술														
UAM 운용을 위한 정보공유 네트워킹 기술	PSU/이해당사자 간 네트워크 기술	Collaborative Decision Making (V-CDM) 핵심 기술기반 PSU 정보공유 기술														
		기관별(VP관리자, 운항사업자, PSU) 데이터 및 정보 자동연계 기술														
		비상상황 발생시 대응 자동화 기술														
		기체 센서 및 지상CNSi 공유 및 저장기술														
		센서 통합기술														
		정보공유 데이터 표준화														

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
		PSU와 이해당사자간 정보공유(DB) 기술														
		연계 정보망(SWIM 등)인터페이스 기술														
	FIMS 망 접속 기술	PSU-FIMS 연동기술														
		PSU-FIMS 간 실시간 검색 및 정보 동기화 서비스 기술														
차세대 UAM용 다중 상대항법 기술	정밀위성항법 (항로:SBAS, 접근:RTK) 기술	다중위성군 다중주파수 정밀위성항법 및 무결성 기술														
		GNSS 보강 정보 생성 및 전달 기술														
		주변 반사체에 의한 GNSS 다중경로 신호 억제 기술														
	영상기반 상대항법 기술	UMA을 위한 지형참조 항법 기술														
		공간정보 및 영상 센서 데이터 기반 상대항법 기술														
		PAPI 활용 기술														
	대체 무선항법기술 (정밀유도착륙 시스템 등, DME, eLORAN 등)	SoOP (Sgnals of OPportunity) 이용 측위 기술														
		RF 기반 vertiport 정밀 항법 기술														
		RF 기반 vertiport 정밀 착륙유도 기술														
	복합상대항법 기술	다중센서 결합 복합 항법 기술														
		복합항법 무결성 모니터링 및 통합장치 관리 기술														
UAM용 협력적/비 협력적 감시 기술	네트워크 기반 협력적 감시기술	협력적 감시 정보 교환을 위한 상호운용성 확보 기술														

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
		UAM 기체간 및 UAM-지상간 정보 교환 데이터링크 기술														
	지상 기반 UAM 운항공역 감시 레이다 기술	전자식 빔제어 능동배열안테나 및 집적화 기술														
		중장거리 탐지가 가능한 고출력/고감도 송수신기 칩 기술														
		다중 표적 탐지, 추적, 식별을 위한 레이다 신호처리 기술														
	비협력적·협력적 광역 감시정보 융합기술(비협력 및 협력 센서 융합)	감시용 이종센서 멀티모달 데이터 처리 기술														
		이종센서를 활용한 비협력적 비행체 탐지 기술														
		이륙/항행/착륙 상황별 복합센서 및 협력적 감시정보 연동 기술														
UAM 운용을 위한 CNSi 보안 기술	통신망 보안 기술	양자암호 모듈을 이용한 P2P 통신 암복호화 기술														
		VPN 등을 이용한 이해당사자간 네트워크 보안기술														
	네트워크(데이터) 보안 기술	FCC 탑재용 커널 파티셔닝 기술을 적용한 보안 RTOS														
		UAM Safety 보장을 위한 능동 사이버보안 위협탐지 기술														
		고신뢰성 단일정보(One Source Information) 생성 기술														
		보안등급에 따른 정보 접근통제 및 보호기술														

제3절 인프라 부문 기술로드맵

1. 인프라 부문 총괄

가. 인프라 부문의 정의 및 필요성

■ 기술정의

● UAM 서비스 구현을 위해 필요한 물리적인 지상지원 인프라 기술을 의미하며 인프라 부문에서는 3가지의 주요분야를 포함

– **(버티포트 구축 및 운용 시스템)** 도심 내 안정된 UAM 서비스 구현을 위해 필요한 운영 중심의 버티허브와 입지, 수요별 버티포트·버티스탑 건설을 위한 건설 기준 최적화 기술

– **(버티포트 보조설비 시스템)** 안전하고 효율적인 도심형 버티포트 운용을 위해 디지털 인프라(사이버 보안)과 안전적인 통신환경을 구축하고 고효율 자동화 충전시스템과 절전형 버티포트 에너지 소모 최적화 기술

– **(특화도시)** 버티포트를 포함한 UAM 관련 인프라 시설, 철도, 모빌리티 등 스마트 교통과 연계하여 도시 내 상업·업무, 산업·물류, 주거·여가 등 다양한 도시기능이 집적된 스마트시티 관련 제반기술

■ 기술 범위

● 버티포트 구축 및 운용 시스템

– 도심 내 안정된 UAM 서비스를 위해 운영 중심의 버티허브(기체충전, 정비 등)와 입지, 수요별 버티포트·버티스탑건설(모듈형)을 위한 건설기준 최적화

– 버티포트 무인 자동화 운용 장비·시스템 및 안전·비상상황 관리 시스템 개발

• 버티포트 구조설계 모듈화·표준화, 버티포트 정밀이착륙 유도·자동화 통합 운용 시스템, 원격 감시 및 통합 관리 시스템, 인공지능 기반 보안검색 최적화

● 버티포트 보조설비 시스템

– 안전하고 효율적인 도심형 버티포트 운용을 위해 디지털 인프라(사이버보안)와 안정적인 통신환경을 구축하고, 고효율 자동화 충전시스템과 절전형 버티포트 에너지 소모 최적화 기술 및 물리적 자산 개발

• 통신네트워크 등의 사이버보안, 단일 버티포트 에너지 최적화, 지역·도시 단위의 전력 그리드 연계형 에너지 최적화, 경량형 고압 충전설비 자동화

● 특화도시

– 버티포트 등 UAM 관련 인프라 시설 및 철도, 모빌리티 등 스마트교통과 연계하여 도시 내 상업·업무, 산업·물류, 주거·여가 등 다양한 도시기능이 집적된 스마트시티

• UAM에 특화된 스마트시티·인프라 계획·설계·조성 및 스마트시티 솔루션 도입·적용 방안 마련을 위하여 첨단교통, 통신·테이터 기술 등이 융합된 새로운 차원의 토지 이용 및 도시계획 개념

기술개발 필요성

● 버티포트 구축 및 운용 시스템

– 단계별 수요증가를 고려한 버티포트 입지, 기존 교통체계와의 연계, 건축구조물 건전성 확보와 턴어라운드 타임 단축을 위한 포트 운용시스템의 무인·자동화, 소규모 포트 원격 제어 네트워크를 통한 경제적인 포트 확장 등의 기술개발 필요

• 도심 이동시간 단축을 위한 seamless 흐름 확보를 위해 기존 분리·격리 방식의 공항 보안 검색과 상이한 보안 검색 기술개발 필요

● 버티포트 보조설비 시스템

– 시나리오 단계별 충전시간 단축을 위한 고전력 충전형 충전 장치 및 시스템, 에너지 소모 절감 최적화, 지역·도시 단위의 전력그리드 연계 관리 등의 기술개발 필요

● 특화도시

– 도시 교통체계와의 연계, 무인·자동화를 위한 기존 스마트시티 플랫폼과의 융복합을 통해 지속적인 UAM 발전을 지원할 수 있는 기술개발 필요

나. 기술 동향 및 수준

■ 인프라 부문 기술 동향

● 버티포트 구축 및 운용 시스템의 기술 발전 현황

– 새로운 항공분야인 UAM은 기준과 전례가 부재함에 따라 버티포트 관련 기준을 FAA와 EASA가 각기 기존 헬리포트 기반의 관련 기준 및 기술개발 추진

• 감항당국의 기준 준비와 병행하여 산업표준 단체(ASTM, EUROCAE, SAE)도 버티포트, 충전 장치·설비, 이착륙 절차 등에 대한 기준·절차 준비 중

– Uber Elevate는 지상 Uber 서비스의 DB 분석을 통해 다양한 UAM 사업화 사례를 도출하고 이에 적합한 기체, 지상인프라, 운용 플랫폼 사양을 제안

• 효율적 Port 운영을 위해 기존 공항 ICT 기술을 적용할 것으로 판단되며 특히 이해관계자(PSU, 운항사, 정부기관 등)간 협업 기반 의사결정(CDM) 및 VODB (Vertiport Operation DB) 체계 구축을 통해 효율적 운항계획, 자원 배정등을 통합 운영 시스템 개발 추진

● 버티포트 보조설비 시스템의 기술 발전 현황

– 자동차·철도 산업의 전기 기술 기반으로 항공용 충전 기술기준을 수립 중이며, 지역 도시 단위의 급격한 에너지 소모 최적화를 위한 도시 그리드 연계 등의 기술개발 추진

• 산업표준화 단체(SAE, EUROCAE) 주도로 충전, 에너지관리 기술기준을 수립 중이며, 자동차 산업 중심의 급속 경량 충전 장비 및 도시단위의 에너지 관리 기술 개발 추진

– 안전한 이착륙 운용을 위한 유도·주변관제·통신 및 무인·자동화 추세인 인프라의 사이버 보안 강화를 위한 관련 기준 및 기술개발 추진

● 특화도시 기술의 기술 발전 현황

– 기존 스마트시티 플랫폼을 UAM 같은 3차원 교통체계로 도시 공간이용 및 도로 등 도시 구조 재편, 도시 인프라의 디지털전환, 도시서비스(솔루션)차원에서 혁신하고 융복합하는 기술 개발 추진

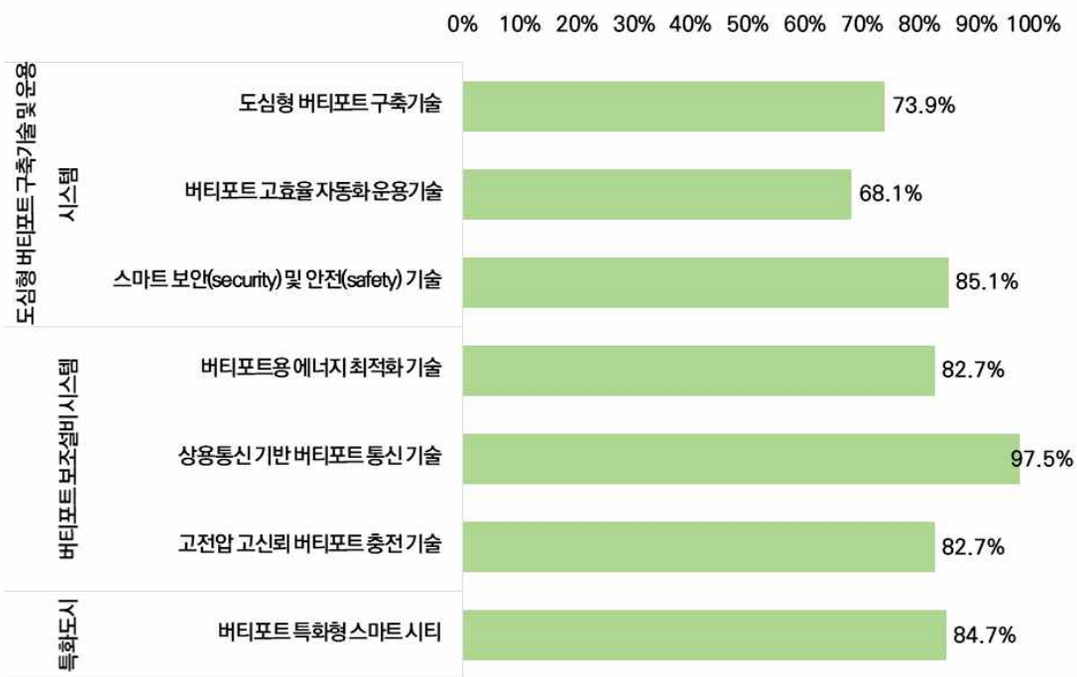
• 도시내 적용된 UAM 버티포트의 성격과 기능, ConOps, 지역의 입지에 따른 도시 모델 유형화 및 유형별 도시공간구조 설계를 통해 UAM에 특화된 스마트시티·인프라 계획·설계·조성 및 스마트시티 솔루션 개발 검토

• 수도권 3기 신도시 등 신규 도시 개발에 UAM 교통체계 반영을 위한 정책 논의 중

인프라 부문 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 인프라 부문 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 중점기술별로 국내 기술 수준을 살펴보면 도심형 버티포트 구축기술과 버티포트 고효율 자동화 운용기술은 다소 경쟁력이 떨어지나 상용화통신 기반 버티포트 통신기술 수준은 세계적인 수준이며, 그 외 기술도 높은 수준의 경쟁력을 보유한 것으로 나타남



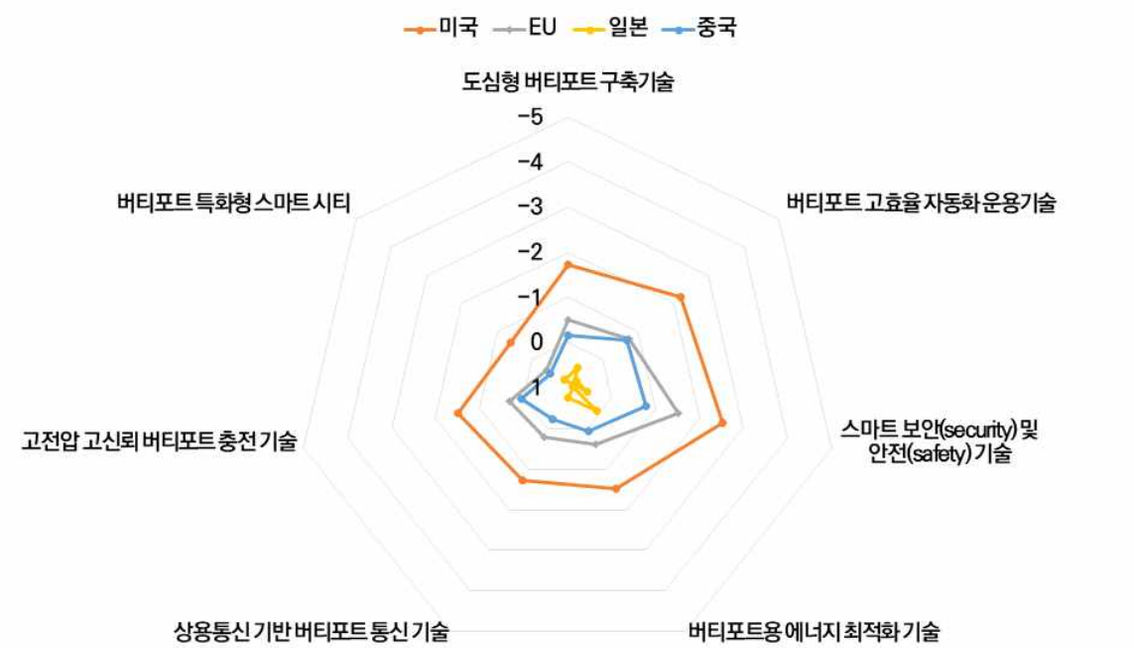
[그림 Ⅵ-89] 인프라 부문 주요분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 인프라 부문 세부기술별 경쟁국 대비 기술 격차

– 미국과의 격차는 2년 내외, 유럽과 중국과는 1년 내외의 기술격차가 나타나며 일본보다는 1년 내외로 기술수준이 앞선 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-57〉 인프라 부문 주요분야-중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

주요분야	중점기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
도심형 버티포트 구축기술 및 운용 시스템	도심형 버티포트 구축기술	-1.72	-0.50	1.22	-0.17
	버티포트 고효율 자동화 운용기술	-2.22	-0.76	0.76	-0.69
	스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술	-2.52	-1.52	0.56	-0.78
버티포트 보조설비 시스템	버티포트용 에너지 최적화 기술	-1.48	-0.41	1.19	-0.07
	상용통신 기반 버티포트 통신 기술	-1.28	-0.22	1.50	0.22
	고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술	-1.50	-0.33	1.11	-0.06
특화도시	버티포트 특화형 스마트 시티	-0.61	0.39	1.83	0.50



[그림 Ⅵ-90] 인프라 부문 중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 인프라 부문 국내 산업역량

– 독자생산은 14건, 면허생산은 3건, 세계시장진출과 전량수입은 1건으로 조사됨

〈표 Ⅵ-58〉 인프라 부문 국내산업 역량

산업역량	세부기술 수	비중
LV 1(전량수입)	1	5.3%
LV 2(면허생산)	3	15.8%
LV 3(독자생산)	14	73.7%
LV 4(세계시장진출)	1	5.3%
LV 5(세계시장경쟁)	0	0.0%
총계	**19**	**100%**

● 인프라 부문 국내 기술개발 역량

– 기초/응용연구 수행은 8건, 기초연구수행은 7건, 미착수는 4건으로 조사됨

〈표 Ⅵ-59〉 인프라 부문 국내 기술개발 역량

기술개발 역량	세부기술 수	비중
LV 1(미착수)	4	21.1%
LV 2(기초연구수행)	7	36.8%
LV 3(기초/응용연구수행)	8	42.1%
LV 4(기초/응용/상용화연구수행)	0	0.0%
총계	**19**	**100%**

다. 인프라 부문 기술로드맵

■ 인프라 부문 단계별 목표

● 버티포트 구축 및 운용 시스템 분야

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 환경 영향성 및 기존교통 연계성을 고려한 버티포트 입지 평가 기준 제시
- 도심 버티포트 구축을 위한 구조물 설계 표준화·모듈화 및 상태감시 기술 확보
- 시범 운항 서비스를 위한 통합 운항 지원 시스템 구축 및 정보공유 기술 개발
- 안전한 이착륙 지원을 위한 정밀이착륙 유도 및 지원설비 핵심기술 개발
- 수요 증가 대비 버티포트 에어사이드 무인·자동화 기술 개발
- Seamless 도심 교통체계 구축을 위한 차세대 신속 보안검색 핵심기술 개발
- 안전한 이착륙 서비스 제공을 위한 다양한 안전 시스템 개발 및 적용

– (~'30) 성장기 기술개발 목표

- On-demand 서비스 실현을 위한 도심 맞춤형 Hub & Spoke 모델 수립
- 지역·도시 단위 다수 버티포트의 통합 운항 지원 및 정보공유 시스템 구축
- 서비스 지역 확대를 위한 다수 소형 버티포트 원격 제어 기술 개발
- 버티포트 야간·악시계 운용을 위한 안전한 이착륙 지원 시스템 구축
- 버티포트 에어사이드 무인·자동 운용 시스템 구축을 통한 턴어라운드 타임 단축
- 이용시간 단축을 위한 차세대 보안검색 시스템 개발 및 시범 적용
- 버티포트 수익성 향상을 위한 안전 및 비상관리 시스템 무인·자동화 기술 적용

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 다양한 수직이착륙 항공기의 혼합 서비스가 가능한 버티포트 인프라 개조
- 안전성 향상을 위한 증강현실 기반의 다수 버티포트 원격 통합 제어 시스템 구축
- 무인 비행 서비스 도입에 따른 관련 운항 시스템 및 관리체계 전환

● **버티포트 보조설비 시스템 분야**

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 버티포트 에너지원 최적화 핵심기술 개발
- 버티포트 근접운항 지원을 위한 지상 CNSi 기술개발 및 시범 적용
- 디지털 인프라 보안 강화를 위한 UAM 사이버보안 핵심기술 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 지역·도시 단위의 버티포트 에너지원 최적화 시스템 구축
- 도시 전력 그리드와 연계한 지역 버티포트 에너지 소모 최적화 시스템 구축
- UAM 사이버보안 시스템 구축
- 수용증가에 따른 충전시간 단축을 위한 급속충전 시스템 구축
- 정비성 및 운용성 향상을 위한 배터리 관리 핵심 기술 개발

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 안전성 및 수익성 증가를 위한 배터리 관리 시스템 구축
- 전기 수요 증가에 따른 도시·국가 단위의 버티포트 에너지 관리 시스템 구축
- 다양한 전기항공기 형상에 대비한 에너지 공급 시스템 구축

● **특화도시 분야**

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- UAM 특화형 도시 인프라(버티포트, 복합환승시설, 에너지관련 시설 등) 및 적용 기술 개발
- 디지털트윈 시뮬레이션 분석기능을 활용한 UAM 교통체계의 도입시 도시·교통계획, 환경·교통관련 제영향평가, 건축물 배치 등 도시조성·계획 기술 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- UAM 특화형 스마트시티 솔루션(빅데이터 및 ICT 기술을 활용한 도시서비스) 기술 연계
- UAM의 특화도시내 비행경로 및 스마트 교통수단과 환승연계, 신규 건축물 개발시 UAM 항로 영향분석 등 디지털트윈을 활용한 도시 관리·운영

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- UAM 특화형 인프라와 솔루션 등 스마트시티 기술 연계를 통해 교통, 환경, 에너지, 안전, 교육, 생활SOC 등 도시전체를 융합하는 UAM 특화형 스마트시티 플랫폼 구축

- UAM, 버스, 철도, 택시, 카셰어링, 마이크로모빌리티 등 다양한 스마트 모빌리티를 연계한 MaaS 플랫폼 구현
- UAM 및 도시데이터, 디지털트윈을 활용한 도시운영관리 및 신산업 창출 연계
- 스마트시티 해외 수출 모델 UAM 특화 적용 및 국내 기체 동반 패키지형 수출

인프라 부문 기술로드맵

● 총 3건의 주요분야와 그에 따른 7건의 중점기술개발이 추진되어야 함

〈표 Ⅵ-60〉 인프라 부문 기술로드맵

주요분야	중점기술	세부기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
버티포트 구축 및 운용 시스템	도심형 버티포트 구축	버티포트 대상지(환경, 교통 등) 평가 기술			■	■	■	■	■	■						
		버티포트 구조설계 표준화, 모듈화 및 구조물 상태감시 기술	■	■	■	■	■									
	버티포트 고효율 자동화 운용 시스템	UAM 이착륙장(Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술	■	■	■	■	■	■								
		증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 원격 컨트롤 시스템							■	■	■	■	■			
		버티포트 정밀이착륙, 유도 및 안전 등화 시스템 기술			■	■	■	■	■	■						
		버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비(토잉카 등) 기술			■	■	■	■	■							
		다중 에너지원 관리를 위한 EMS(Energy ManagemetSystem) 구축							■	■	■	■	■			
	스마트 보안(security) 및 안전(safety) 시스템	워킹-스루 보안검색 및 소형화 기술			■	■	■	■	■	■	■					

주요분야	중점기술	세부기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
		실시간 신원확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술														
		버티포트 안전 및 비상상황 관리 시스템 기술														
버티포트 보조설비 시스템	버티포트 에너지 최적화 기술	버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술														
		버티포트 에너지 소모 최적화 기술														
	상용통신 기반 버티포트 통신 기술	버티포트 근접 운항 통제를 위한 5G 기술을 활용한 무선통신네트워크 기술														
		버티포트 통신 사이버보안 기술														
	고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술	호환형 고전압 급속충전 설비 경량화 및 자동화 기술														
		기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술														
		배터리 교체 시스템 및 프리컨디셔닝 기술														
특화도시	버티포트 특화형 스마트 시티	UAM 융복합형 스마트시티 조성(교통체계, 시설물, 도시운영관리 등) 기술														
		디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술														

2. 버티포트 구축 및 운용 시스템 기술로드맵

가. 기술 정의 및 구성

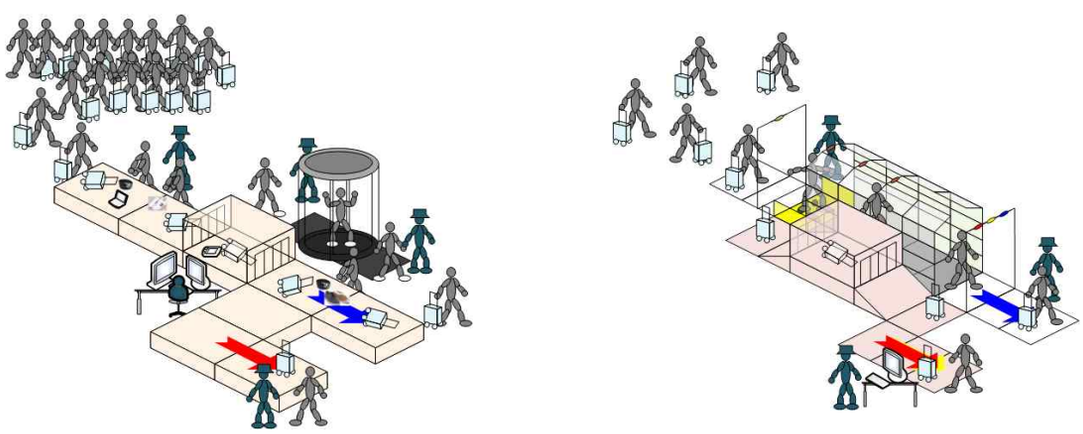
기술정의

● 스마트 보안(security) 및 안전(safety) 시스템

– **(버티포트 안전 및 비상상황 관리 시스템)** 버티포트 내 안전확보 및 비상상황 발생 시 즉각적 상황 공유를 위한 자동화 시스템 기술 및 운항사, PSU, 버티포트간 SMS 네트워크 체계 기반으로 위험 예지 및 다양한 사고 사례 공유를 통한 사고 예방 기술

– **(실시간 신원확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술)** 탑승예약 승객정보와 실제 버티포트에서 UAM을 탑승하려는 사람의 신원 일치여부를 확인 및 행동탐지기법을 '부정감성 감시/추적기술'과 '빅데이터 처리기술', 인공지능(AI)'기술과 융합하여 항공보안검색 방안으로 활용하는 기술

– **(워킹-스루 보안검색 및 소형화 기술)** 사람이 터널형 장치를 보행속도로 자연스럽게 통과하면 사람이 몸에 지닌 물품을 자동적으로 탐지하고 분석하여 문제가 있는지 없는지를 판단하여 알려주는 인간친화형 차세대 스마트 보안검색 시스템



출처: 국토부 스마트 보안검색시스템 구축보고서 자료

[그림 Ⅵ-91] 차세대 워킹-스루 보안검색 기술 적용 전후 비교 개념도

● 도심형 버티포트 구축기술

– **(버티포트 구조설계 표준화, 모듈화 및 구조물 상태감시 기술)** 버티포트 유형별 구조적 안전성 확보를 위한 구조설계 기준, 시공 효율화를 위한 모듈화 기술, 버티포트 구조적 안전성 확보를 위한 상태감시 기술

• (설계) 전용 신축구조 설계뿐만 아니라 버티포트 증축 및 기존 건물 옥상 버티포트 구축을 위한 안전하고 합리적인 버티포트 구조설계를 위한 기술로 UAM기체 비상착륙시 버티포트 안전성 확보를 위한 충돌시뮬레이션 해석 기술

- (시공) 버티포트 구조물 품질확보 및 공기단축을 위한 모듈화 시공 기술과 이용자 수요 증대에 따른 버티포트 적층형 확장 시공기술
- (유지관리) 버티포트의 구조안전성을 실시간 감시할 수 있는 센싱 및 상태평가 기술로 모니터링 자료를 빅데이터화하여 인공지능에 의한 자동 분석 기술

– **(버티포트 대상지(환경, 교통 등) 평가 기술)** 버티포트 입지선정을 위한 환경 및 교통 영향 평가기술

- (환경영향 평가) 버티포트 이착륙 시 기체 소음, 시각적 불안요소, 기체 이착륙을 위한 항로, 고도제한 등 환경을 평가하기 위한 기술
- (교통영향 평가) 버티포트 최적 입지 선정을 위한 이용자 수요, 주변지역 교통 영향을 평가하기 위한 기술



출처: Deloitte Insight 2018

[그림 Ⅵ-92] 도심형 버티포트 유형

● 버티포트 고효율 자동화 운용 시스템

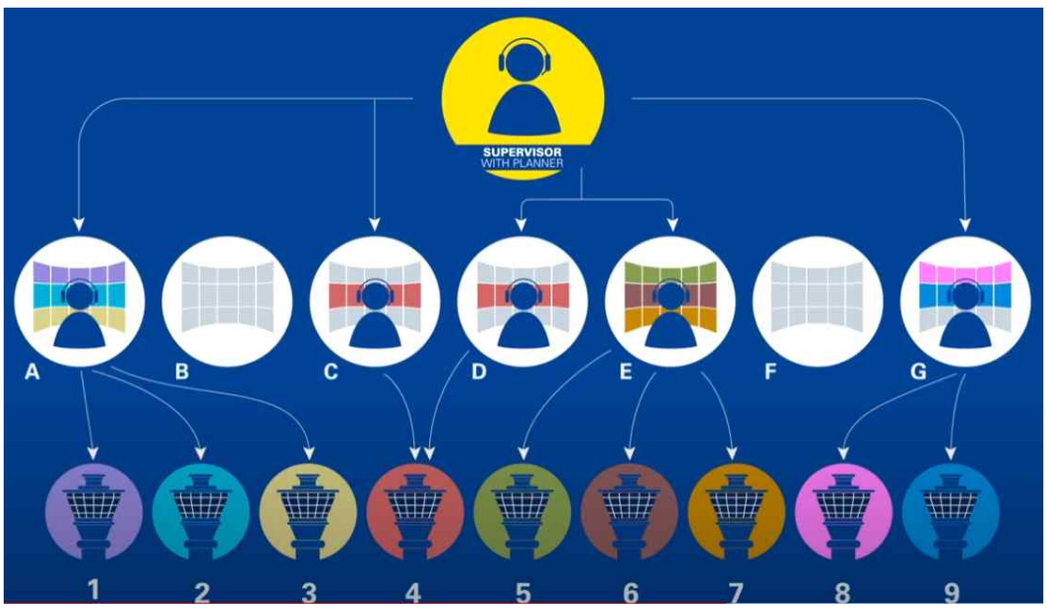
– **(UAM 이착륙장(Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술)** 효율적 버티포트 운영을 위해 시스템 자동화 연계를 통해 운항관리 시간 및 운영인력 최소화를 위한 기술

– **(버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비(토잉카 등) 기술)** 버티포트 소요인력 절감을 통한 경제성 확보와 자동화를 통한 안전성·운용성 향상을 위해 에어사이드 지상작업(토잉, 충전)의 무인자동화 기술

– **(버티포트 정밀이착륙, 유도 및 안전 등화 시스템 기술 (지상항법 분야))** UAM 기체의 자율화 발전을 지원하기 위해 주야간 및 저시정 상황에서도 안전한 이착륙이 가능한 인프라의 정밀이착륙 지원 기술

– **(증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 원격 컨트롤 시스템)** 소형 버티포트 상주 운용인력 절감을 통한 경제성 확보를 위한 원격 포트 제어 기술 및 안전성 향상을 위한 운용 데이터와 시각 정보를 통합한 증강현실 기반의 디지털 원격 제어 기술

– **(다중 에너지원 관리를 위한 EMS(Energy Management System) 구축)** UAM 기술 발전에 따른 eVTOL 동력원 다양화(배터리 기반에서 다양한 하이브리드 형태로 파생) 및 기존 헬리콥터와의 병행 운용을 지원하기 위한 버티포트 안전성 확보 기술



출처: SESAR Website

[그림 Ⅵ-93] 원격 포트 제어 개념(SESAR Digital technologies for Tower)

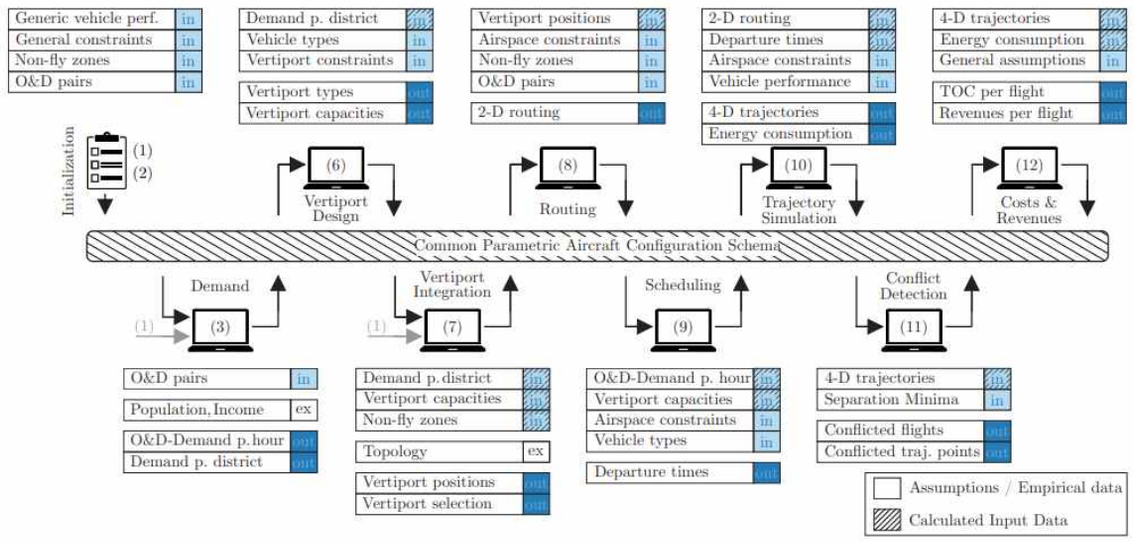
기술구성

● 도심형 버티포트 구축 기술

– 버티포트 입지선정을 위한 환경 및 교통영향 평가기술로 구성

- 용도지역별 소음, 시각적 불안요소 등을 고려한 접근항로 평가 프로세스 및 항로·고도 제한 등 규제사항 평가를 통한 입지선정 프로세스 개발
- Multi-Agent 시뮬레이션 기법을 이용한 UAM 이용자 수요추정 모형 기술 및 SP(Sated Preference) 분석을 이용한 버티포트 이용자 특성(성별, 나이, 수입 등) 분석 기술 개발
- 버티포트 도입 시 도시 내 통행시간, 지체시간 등 변화를 분석할 수 있는 기술 개발
- UAM 기체, 이용자 수, 운영 특성 등 종합적인 도시항공 교통시스템 분석을 위한 시뮬레이션 프로세스 표준화 기술 개발
- UAM 이용자 수요, 주변 교통영향 분석, 운영비 분석 결과를 바탕으로 버티포트 최적 입지를 선정하기 위한 표준 업무 프로세스 정립

– 버티포트 유형별 구조적 안전성 확보를 위한 구조설계 기준, 시공 효율화를 위한 모듈화 기술, 버티포트 구조적 안전성 확보를 위한 상태감시 기술구성



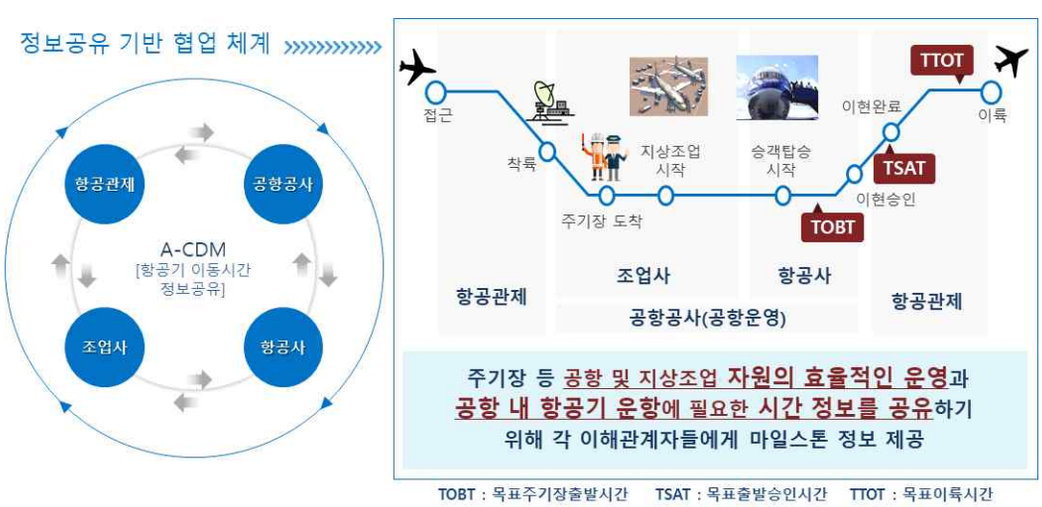
출처: MDPI 2020

[그림 Ⅵ-94] 버티포트 입지선정을 위한 교통영향 평가 요소

- 버티포트 구조설계 합리화, 시뮬레이션 충돌해석, 설계하중 및 고안전성 확보를 위한 적정 안전율 설정 기술
- 버티포트 내구 수명 확보를 위한 구조부재 최적화 설계 기술 및 수요 증대에 따른 공기단축·품질확보를 위한 모듈화 시공 및 적층형 확장 시공기술
- 구조 취약부 실시간 센싱, 버티포트 통합 실시간 감시, 감시자료 빅데이터 구축, 인공지능 기반의 상태 분석/평가 및 비상대처 기술

● 버티포트 고효율 자동화 운용 기술

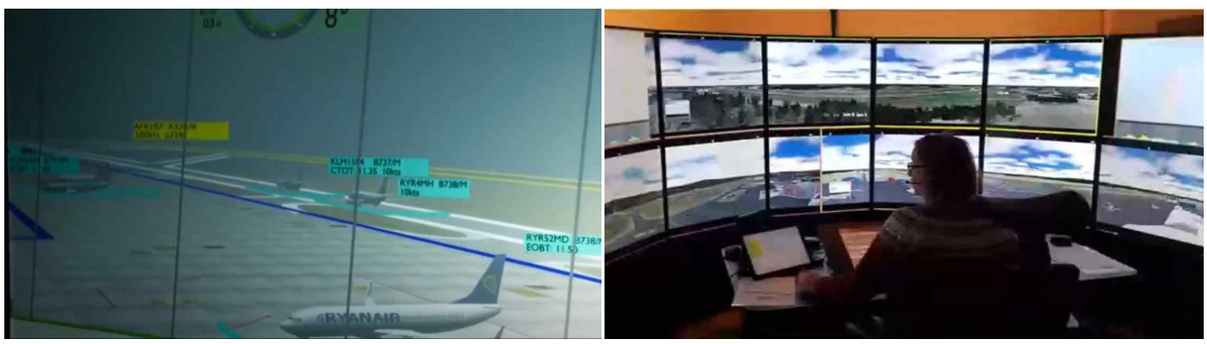
– UAM 안전성과 경제성을 충족시킬 수 있는 인프라의 통합 무인화, 자동화 및 고효율화에 필요한 기술로 구성



출처: 한국공항공사

[그림 Ⅵ-95] 항공기 자동화 실시간 정보 연동 시스템 사례

- 운용 고효율화 및 신속화를 위한 버티포트 내부 운용 주체들간의 실시간 정보 연동, 의사결정 및 정보 시현 시스템 구축 및 자동화와 버티포트 외부 운용 주체들과의 실시간 정보 연동 시스템 기술
- 실시간 포트 감시, 감시데이터 실시간 전송·분석·데이터화, 데이터·시각정보의 실시간 통합 시현의 디지털 증강현실 구현과 다수 포트의 통합 원격 관리 시스템 기술



출처: SESAR Digital Academy Webinar 2020

[그림 Ⅵ-96] 디지털 증강현실 및 다수 포트 원격 관리 사례

- 시뮬레이션 기반의 정밀이착륙 인프라 설계, 이착륙 기체의 시각적 항행정보 제공, 버티포트용 정밀이착륙 지원 설비 및 비정상 이착륙 상황에 대한 경고 시스템 기술
- 에어사이드 무인자동화 설계, 로보틱스 기반의 고전압 무인자동 충전, 자동 충전형 소형 무인자동 토잉카 및 포트 운용 시스템과 연동된 에어사이드 무인 관리 시스템 기술
- 다양한 에너지원(유류, 배터리, 연료전기) 저장·보관, 지역·도시 전력그리드와 연계한 비상전력 사용, 다중 에너지원 사용에 대비한 화재 감지·경보·진압 기술

● 스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술

– 다종 보안검색 장비 통합형 워킹-스루 시스템, 실시간 보안 위협 감지용 동작탐지 시스템 및 다양한 리소스 통합운용을 통한 비상상황 대처 시스템 기술로 구성

- 보안검색 소요시간 단축 및 절차 간소화를 위한 신발검색, 보행검색, 휴대 수화물 검색의 통합 실시간 검색 기술
- X-선을 사용하지 않고 보안검색을 할 수 있는 유해성 차단 기술과 금속 및 다양한 위험물질 탐지의 보안검색 정확도 향상 기술, 인적오류 최소화를 위한 통합 검색 시스템 기술
- 공항 대비 소규모인 버티포트에 적합한 보안검색 시스템 모듈화, 소형화 기술 및 다수 소형 버티포트의 통합 원격 보안검색 시스템 기술
- CCTV를 이용한 안면인식 기술, 지문 등 생체인식 기술, 행동탐지에 따른 부정감정 탐색기술 및 의심 이용객에 대한 연속 감시·추적과 탑승장 진입 통제 기술

• 에너지저장장치(배터리 등) 관리·감시·이상 판정 기술, 에어사이드·랜드사이드 비상상황 감시·관리·대처 시스템 기술, 고전압 충전시스템 관리 기술 및 다양한 버티포트 구성원 간의 무인·자동 안전관리시스템 네트워크 기술

〈표 Ⅵ-61〉 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
도심형 버티포트 구축	버티포트 대상지(환경, 교통 등) 평가 기술	• 버티포트 최적 입지 선정을 위한 환경(소음, 고도제한 등) 및 교통(이용자 수요, 주변 교통 영향도) 영향을 정량적으로 분석하여 최적의 버티포트 입지를 선정하는 기술
	버티포트 구조설계 표준화, 모듈화 및 구조물 상태감시 기술	• 버티포트 유형별 구조적 안전성 확보를 위한 구조설계기준 정립 및 시뮬레이션 충돌해석 기술, 품질향상 및 공기단축을 위한 모듈화 시공 기술, 버티포트 구조적 안전성 확보를 위한 상태감시 기술을 포함함
버티포트 고효율 자동화 운용 기술	UAM 이착륙장(Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술	• 효율적 버티포트 운영을 위해 PSU 및 이해관계자간 유기적 정보연계 체계 구축을 위해 필요한 정보에 대한 실시간 공유 체계 구축(VODB) 및 공유 정보를 활용해 다양한 부가적 제공을 통해 협업기관간의 효율적 의사결정지원(V-CDM)을 통해 Turn Around Time 최소화 및 자동화 연계 체계 구축 기술
	증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 원격 컨트롤 시스템	• 다수 제어센터와 다수 포트 간의 원격 제어 기술 및 안전성 향상을 위한 운용 데이터와 시각 정보를 통합한 증강현실 기반의 디지털 원격 제어 기술
	버티포트 정밀이착륙, 유도 및 안전 등화 시스템 기술	• 기존 항공기 안전운항을 위해 사용되는 검증된 안전시설의 기술 개념을 착안하여 도심 내 환경과 수직이착륙하는 기체 특성에 맞게 개발하여 야간 및 악기상환경 속에서도 안전하게 항공기 유도 및 조종사에게 시각적 안내를 위한 기술
	버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비(토잉카 등) 기술	• 수요증가에 따른 에어사이드 자상작업(토잉, 충전)의 위험감소 및 인력절감을 위한 무인자동화 기술
	다중 에너지원 관리를 위한 EMS(Energy Management System) 구축	• 버티포트 운용 다양화를 위한 다종 항공기 비상상황 관리 시스템 및 진압 장비 기술
스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술	워킹-스루 보안검색 및 소형화 기술	• 보안검색 정확도 향상 및 이용객 편이성 확보를 위한 다종 보안기술의 통합 시스템 기술
	실시간 신원확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술	• 생체정보를 활용한 신원확인시스템 및 부정감성 인식기술의 탑승객 보안 관리 기술
	버티포트 안전 및 비상상황 관리 시스템 기술	• 에어사이드·랜드사이드 안전·비상 관리 및 에너지저장장치·고전압 안전·비상 관리 기술

나. 기술동향 분석

도심형 버티포트 구축 기술동향

● Uber Elevate 버티포트 설계

– Dallas와 Frisco 지역 구축을 위한 버티포트 설계 수행

- 편의성 확보, 교통 연결성, 직관적 사용자 경험, 운용성, 모듈화 구축, 환경적 악영향(소음 등) 최소화 등의 디자인 원칙 적용
- UAM 단독 교통수단이 아닌 기존 도시교통체계에 통합되어 상호 운용성을 확보할 수 있는 방향으로 설계
- 구조설계 기준으로 승객 4인, 조종사 1인이 탑승할 수 있는 기체에 헬리포트 기준을 적용하여 UAM 기체 특성을 반영하지 못한 단점 존재



출처: Connect Evolved 2019

[그림 Ⅵ-97] Uber 버티포트 설계안 모델링

● Singapore 버티포트 설계 및 가설

– 볼보콥터와 스카이포트는 싱가포르에 수직 이착륙장 설계 수행

- 이착륙 용이성 확보를 위해 수변공간에 입지를 확보하고 배터리 교환시설, 승객 체크인, 보안 측면의 시설물을 1차원 평면상에 설계
- 볼보포트(VoloPort)를‘더 플로트 마리나 베이(the Float Marina Bay platform)’에 가설 및 전동수직이착륙기 보로콥터 2X의 시험비행을 실시



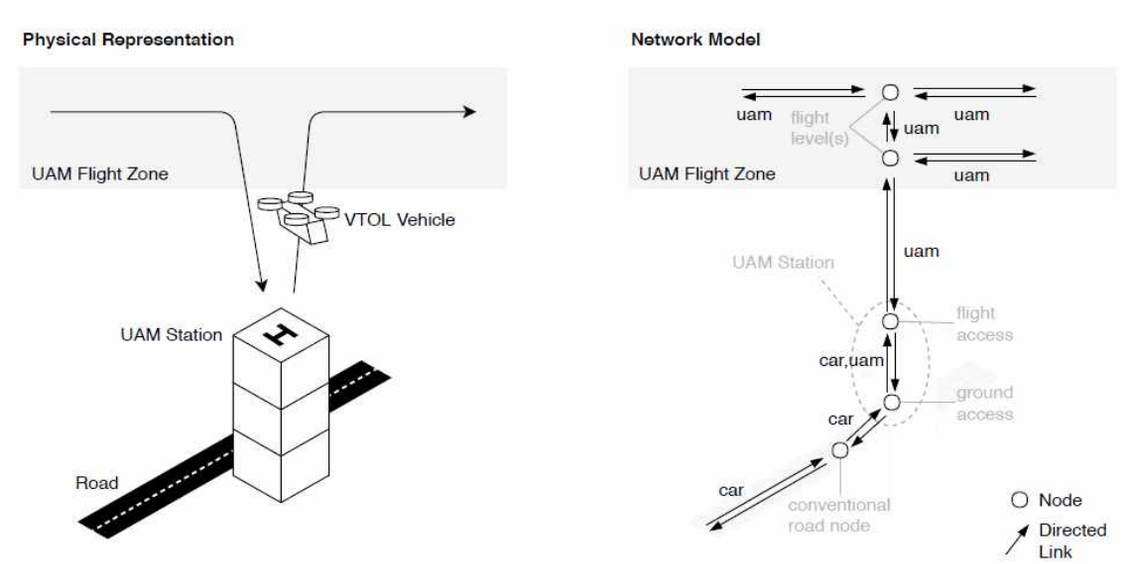
출처: Volocopter 2019

[그림 Ⅵ-98] Singapore 기체 이착륙장

● 독일의 버티포트 입지선정을 위한 이용자 수요 및 교통영향 분석

– 시뮬레이션 모형을 활용하여 버티포트 구축에 따른 교통시스템 영향권 분석

- 버티포트, eVTOL, 교통 네트워크 특성화 모델링을 통한 도시교통 영향성(통행시간, 지체시간, 통행비용) 종합적 분석
- 다수의 인프라, 기체, 항로 조건을 반영하여 교통 영향(정체감소), 운영비 측면에서 버티포트 구축효과를 극대화하기 위한 입지선정 분석 방법 제시



출처: ARC 2018

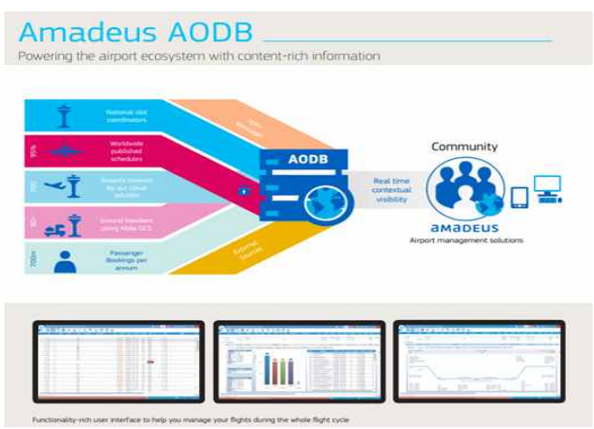
[그림 Ⅵ-99] Singapore 기체 이착륙장함부르크 버티포트 입지선정을 위한 교통영향(시뮬레이션) 분석

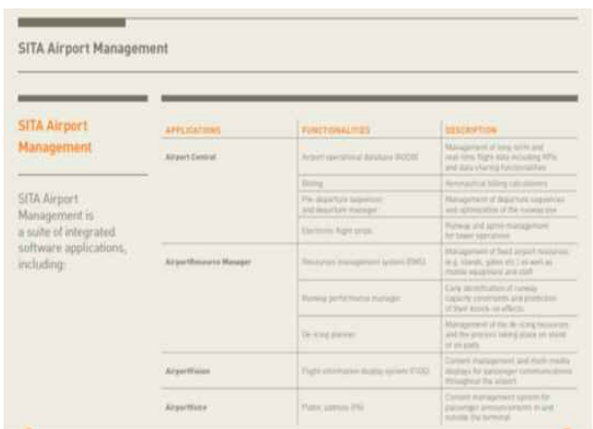
버티포트 고효율 자동화 운용 기술동향

● UAM 이착륙장(Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술

– 기존 AODB(Airport Operational Data Base)형태의 이해관계자간 정보 공유 형태에서 APOC(Airport Operational Coordination Center)의 통합운영 플랫폼을 구축하여 공항에서 활용될 수 있는 모든 Data Fact 기반 운영 체계로 서비스 전환 중

• (AODB) 공항 운영을 위한 데이터베이스로서 관련정보에 대해서 실시간적으로 정보를 요청자에게 제공하며 관련 정보들을 공항운영정책에 맞게 서비스 개발

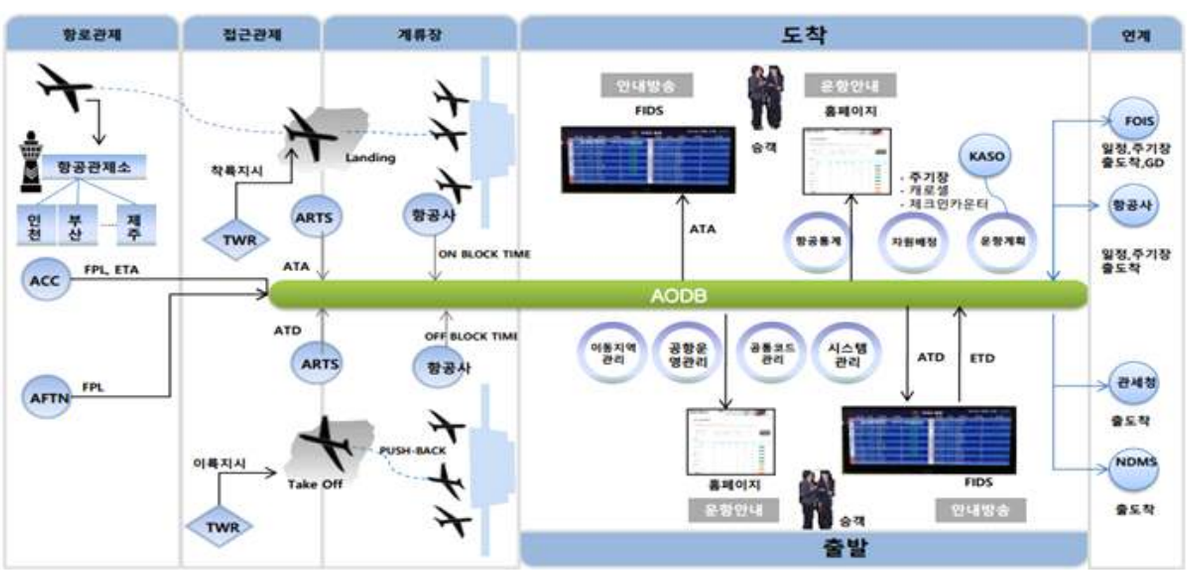




출처: amadeus & SITA 홈페이지

[그림 Ⅵ-100] 공항운용정보시스템(AODB) 사례

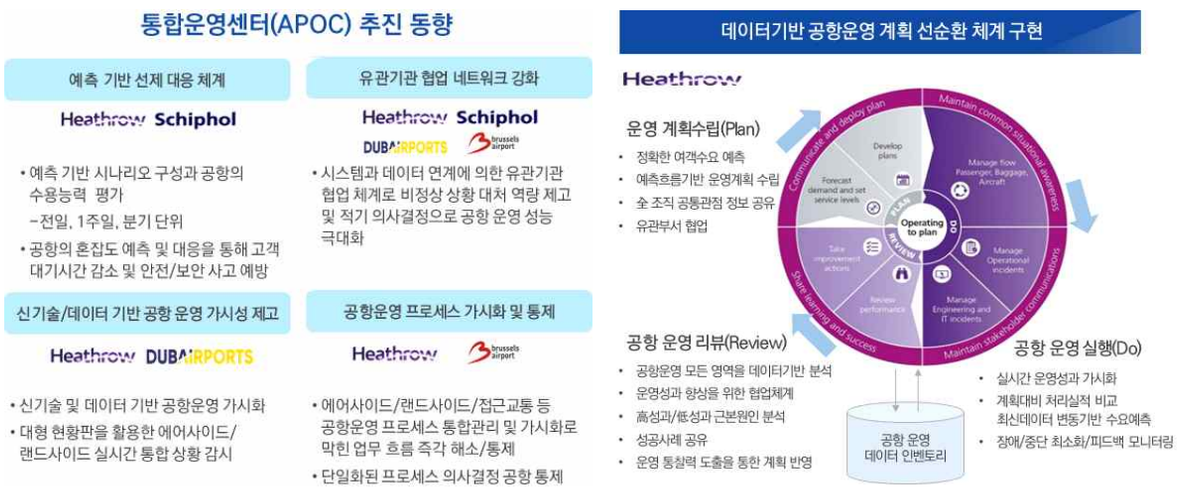
• (FIS) 통합운항정보시스템은 공항운영 필수시스템으로서 운항일정, 자원배분, 공항운용, 이동지역 관리 등 공항 운영을 위한 모든 정보를 한곳에서 관리하는 시스템



출처: 한국공항공사

[그림 Ⅵ-101] 공항 통합운항정보시스템 개념

– APOC의 주요 기술적 사항으로 A-CDM(Airport Collaborative Decision Making)을 예로 들 수 있는데 항공기 도착, 조업, 출발 등 운항과정에서 발생하는 이동시간, 관제 상황, 목표 출발 시간에 대한 정보를 공유함에 따라 각 협력기관과의 효율적인 의사결정 서비스를 제공



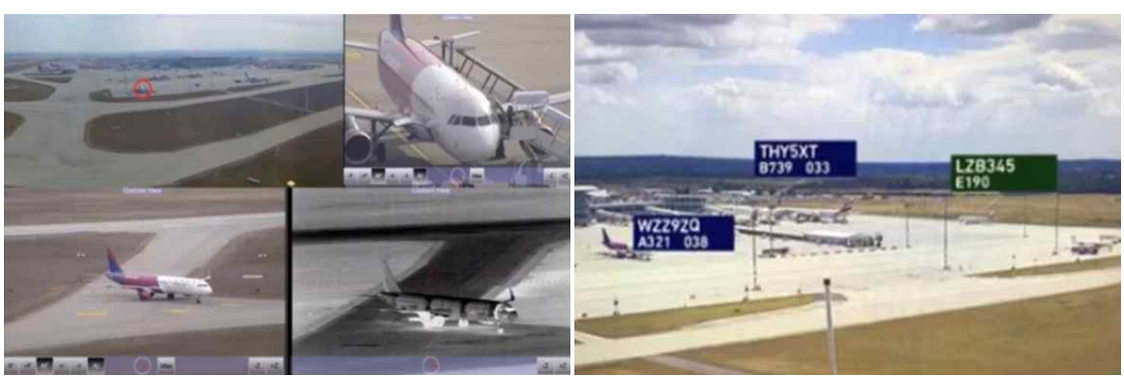
출처: Passenger Terminal Conference(2019)

[그림 Ⅵ-102] 통합운영센터(APOC) 추진 해외사례

● 증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 원격 컨트롤 시스템

– EU SESAR 프로그램을 통해 원격 공항 관제에 대한 연구가 진행 중

- SESAR 1 사업('08~'16)을 통해 원격 공항 관제의 핵심기술과 가능성을 연구하고 스웨덴 Ornskoldsvik 공항에서 단일 공항 원격 관제 시현('14)
- SESAR 2020 W1 사업('16~'20)을 통해 다수의 공항을 원격제어 가능한 RTC(Remote Tower Centre)를 스톡홀롬에 설치한 뒤 스웨덴(20개 공항), 노르웨이(15개 공항) 등과 연동한 기술개발과 실증 수행
- SESAR 2020 W2 사업('20~'24)을 통해 다수의 RTC와 다수의 공항을 연결하는 기술과 증강현실 기반의 기술개발 추진 중



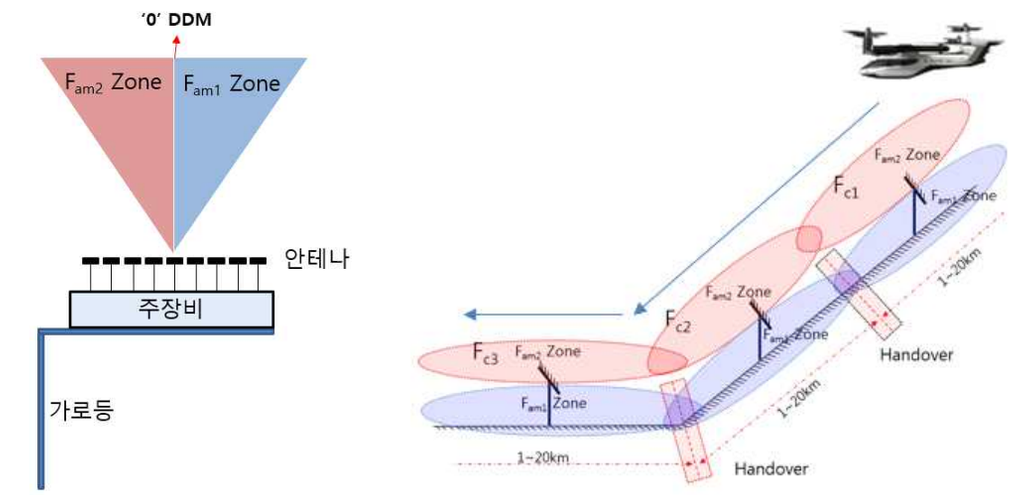
출처: SESAR Digital Academy Webinar 2020

[그림 Ⅵ-103] 헝가리 부다페스트 공항의 증강현실 기반의 디지털 관제 사례

● 버티포트 정밀이착륙, 유도 및 안전 등화 시스템 기술

– UAM 기체 개발에 전 세계가 참여중이나 아직 기체의 정밀 착륙 및 유도를 위한 항법 장치 개발 및 기준은 연구가 미비하며 UAM용 항행시설(항법장치) 기술개발 개념 제시 수준

• 한국공항공사(KAC)는 항공기에서 착륙시에 사용하는 LLZ/DME 컨셉을 활용하여 UAM용 항행시설(항법장치)에 대한 개념을 제시하고 연구개발 준비 중

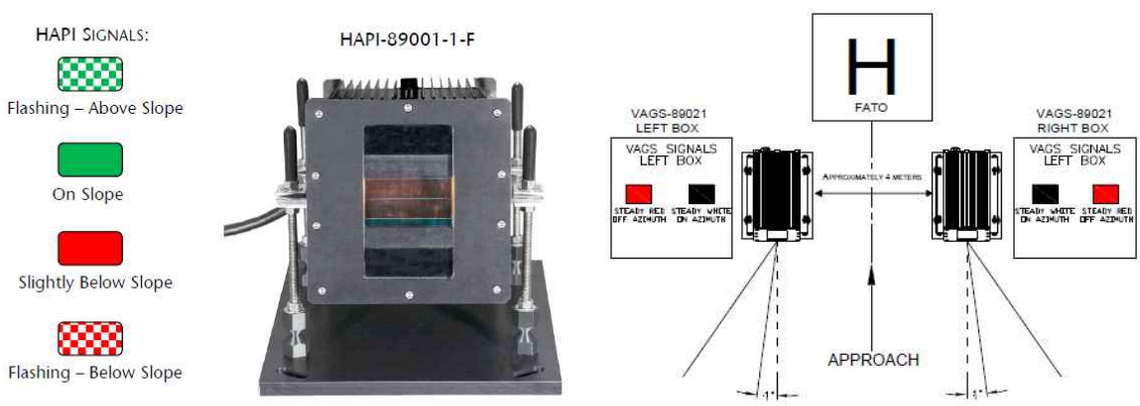


출처: KAC UAM용 항행시설(항법장치) 관련기술 특허출원 자료 발췌

[그림 Ⅵ-104] UAM용 항행시설(항법장치)에 대한 개념

– UAM 기체의 안전한 이착륙 및 지상이동을 보조하기 위한 시설로써, 현재 버티포트 전용 등화 시설에 관한 국제적인 기준은 미수립 상태이나 공항 및 부동산 소유주 등 인프라 소유 주체 간 기준 수립을 위한 활발한 논의 진행 중

• 헬리패트 같은 경우 진입각지시등과 동일한 기능의 HAPI 장치를 통해 안전한 착륙 각도 제공 및 기능 조정을 통해 기체 착륙 경로 안내 기능까지 제공이 가능함



출처: (美) Point Heliport Lighting HAPI LED

[그림 Ⅵ-105] 항공등화 장보 사례

● 버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비(토잉카 등) 기술

– 버티포트 에어사이드 지상작업 무인자동화를 위한 항공기 지상이동, 충전(또는 배터리 교체), 항공기 층간이동 등을 위한 개발이 진행 중

• 미국 Moonware社는 Uber社와 공동으로 항공기 지상이동(토잉 및 푸쉬백)을 위한 소형 무인자동화 토잉카 개발 추진 중

• 미국 Cogan社, Black&Veatch社와 같은 vertiport 설계사들은 고압 급속충전이 가능한 충전설비의 산업용 로봇 기술을 적용한 무인자동화 연구 진행 중



출처: Moonware Website

[그림 Ⅵ-106] 무인자동 토잉카 사례

● 다중 에너지원 관리를 위한 EMS(Energy Management System) 구축

– 배터리, 연료전지 등 신에너지원 화재사고 발생 증가에 따라, 명확한 원인 규명 및 근본적 재발방지 대책 수립을 위한 기술 연구 진행

• 전지 구성요소 중 가연성 액체로 되어 있는 전해질을 고체 전해질로 바꾸어 온도 변화와 외부 충격에 따른 화재 및 폭발 위험 감소시키는 기술(전고체 배터리)

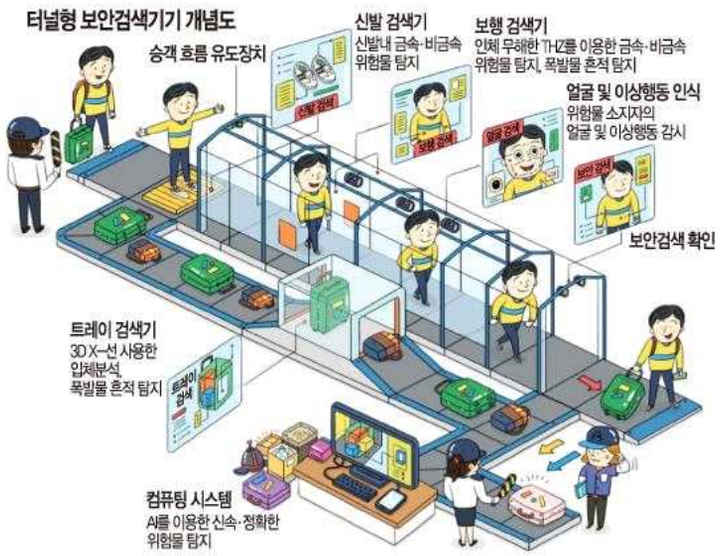
– 연료전지 수소 누설에 따른 안전 확보 연구 및 화재 안전성 등에 대한 국내외 안전기준 적합성 평가와 고전압 및 전자파 안전성 확보 방안 연구 진행 중

■ 스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술동향

● 워킹-스루 보안검색 및 소형화 기술에 대한 기술동향

– 워킹-스루 보안검색 방안 및 소요기술은 정의되어 있으며 국내 독자개발을 위한 기획연구 추진 중

• 승객흐름 유지기술, 신발검색(차세대 대인 검색기술), 트레이검색(지능형 휴대수화물 검색기술) 등의 다양한 핵심기술 국내 독자 개발 중



출처: 국민일보

[그림 Ⅵ-107] 워킹-스루 보안검색 개념도

● 실시간 신원확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술에 대한 기술동향

– 얼굴인식 및 지문을 이용한 자동출입국심사시스템 ('08.6)

• 19세 이상 대한민국 국민은 주민등록증 발급 시 등록한 지문정보 등을 활용하며, 외국인은 입국시 등록한 지문 및 얼굴 등 생체정보 활용

– 마스크 착용상태에서도 안면인식 가능기술 개발 ('21.1)

• 다양한 상황의 알고리즘 분석 연구를 통해 마스크 착용에도 안면인식이 가능한 정도의 99% 정확한 AI 안면인식 기술 개발 (KERI, 한국전기기술원)

– 안면인식을 이용한 스마트패스 사업 추진 ('19, 인천국제공항공사)

• 공항체크인부터 보안검색, 출국심사, 항공기 탑승까지 출입국 전 프로세스에 생체인증(안면인식)을 적용하여 최상의 여객서비스와 향상된 보안체계를 제공

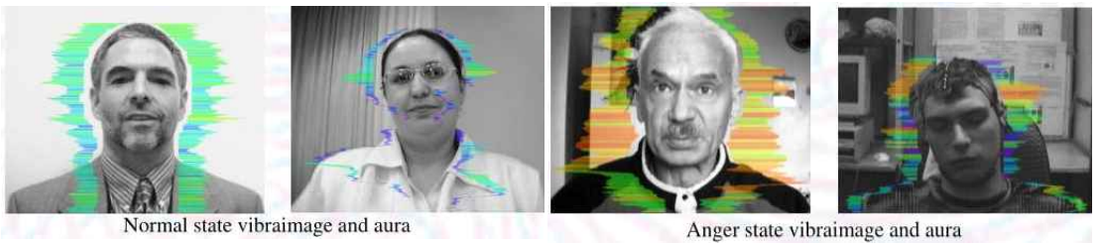
– 탑승객셀렉팅 시스템 개발 및 운영 (이스라엘)

• 엘알 이스라엘 항공납치사고(1969년) 이후 물리적 보안검색보다 탑승객의 행동/행태, 생각을 관팡하는 것에 더 중점을 둠

• 행동탐지요원(Behavior Detection Officer), 행동패턴인식(Behavior Pattern Recognition), 비정상행동탐지(Abnormal Behavior Detection)등의 발생에 영향

– 바이브라이미지(Vibra Image) 기술 개발('98, 러시아)

• 얼굴의 미세한 진동, 진동횟수 등 생체신호를 수집하고 이를 형상화하여 사람의 심리상태를 진단하는 기술



출처: 트위터

[그림 Ⅵ-108] 사람의 감정상태를 측정하는 바이브라이미지

● 버티포트 안전 및 비상상황 관리 시스템 기술에 대한 기술동향

– 비상벨 및 지능형 CCTV, 방송 시스템 연계를 통해 비상상황 발생 시 관련 상황 전파 및 실시간 상황공유를 통한 문제해결

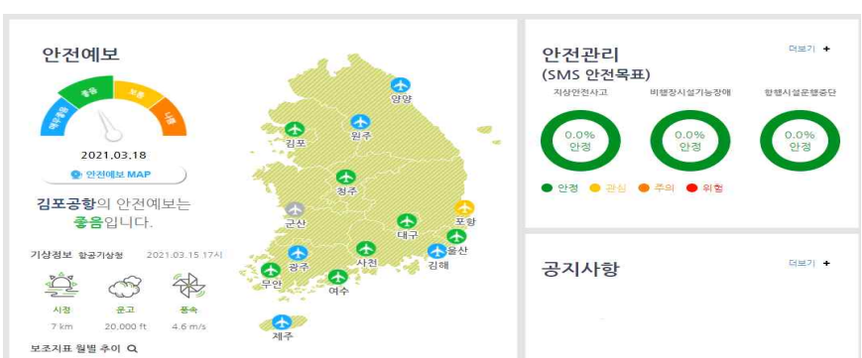
- (공항) 공항 청사 내 비상상황 발생 시 승객이 비상벨을 누르면 CCTV가 자동으로 주변지역 체크 및 상황을 종합상황실에 전달하게 되고 근무가자 방송시스템을 활용해 발생된 상황에 대한 대응, 상황전파를 통한 대피 업무 수행

- 출입통제 및 보안지역에 대해서는 CCTV(열화상), 레이더, 라이다 센서 등을 이용해 24시간 중앙통합감시체계 운영

– 공항공사, 지상조업사, 협력기관, 운항사 등 각 공항별 안전예보를 통해 안전목표 설정 및 산업안전, 안전점검, 항행안전시설, 공항안전시설, 운영증명 등 안전목표 달성을 위해 필요한 모든 행위에 대한 안전관리 추진

- 안전목표 달성을 위해 세부 안전지수 및 안전지표 수립 및 지표별 경,중에 따라 가중치를 달리 적용하여 안전수준 관리

- 안전관리를 위해 필요한 외부환경정보 (기상정보 등) 연계를 통해 SMS 시스템 내에서 실시간으로 관련 자료 참조를 통해 계획 및 수행 추진



출처: 한국공항공사 K-SMS (안전관리시스템)

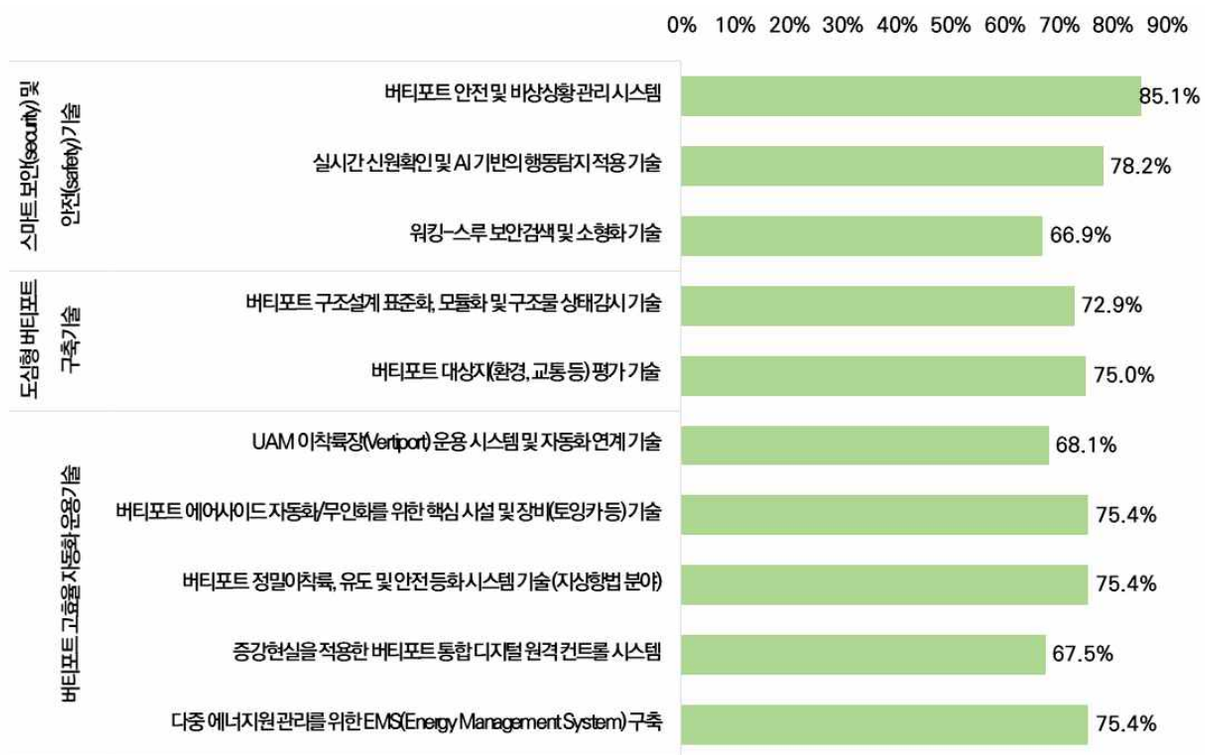
[그림 Ⅵ-109] 유사 SMS(안전관리시스템) 사례자료

다. 기술수준 및 연구개발전략

■ 버티포트 구축 및 운용 분야 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 버티포트 구축 및 운용 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 버티포트 안전 및 비상상황 관리 시스템은 세계적인 수준에 근접했으나 그 외 기술들은 60~70% 수준으로 나타남



[그림 Ⅵ-110] 버티포트 구축 및 운용 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

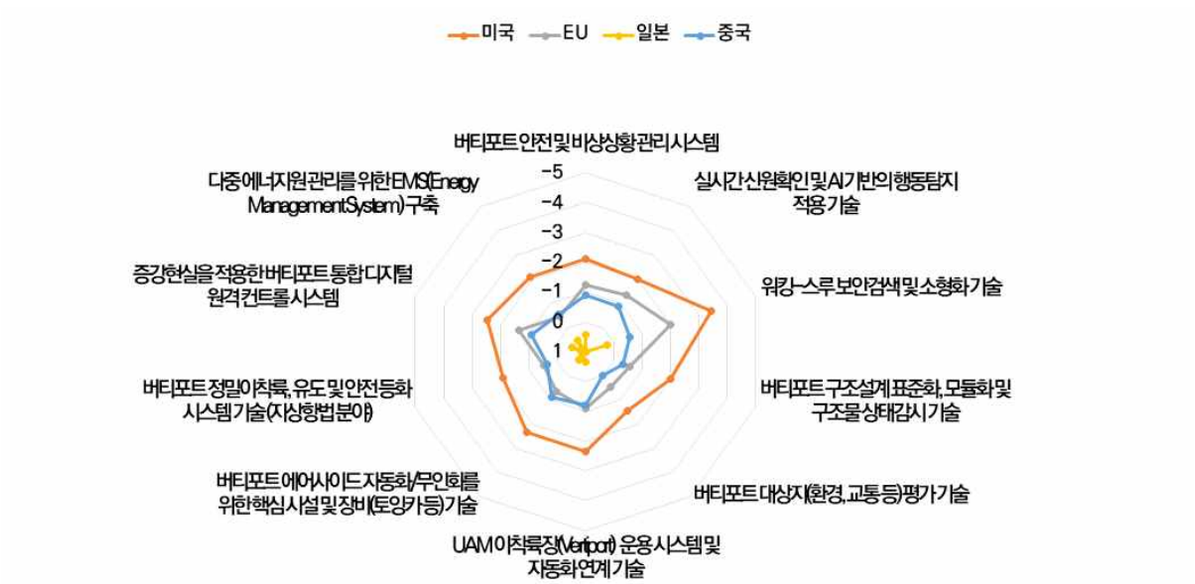
● 버티포트 구축 및 운용 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

– 미국의 기술수준이 가장 높고 기술격차는 2-3년 내외로 나타났으며 유럽과는 중국은 1년 내외이며 일본보다는 다소 앞선 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-62〉 버티포트 구축 및 운용 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술	버티포트 안전 및 비상상황 관리 시스템	-2.11	-1.22	0.44	-0.89
	실시간 신원확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술	-2.00	-1.33	1.00	-0.89
	워킹-스루 보안검색 및 소형화 기술	-3.44	-2.00	0.22	-0.56

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
도심형 버티포트 구축기술	버티포트 구조설계 표준화, 모듈화 및 구조물 상태감시 기술	-2.00	-0.56	1.00	-0.33
	버티포트 대상지(환경, 교통 등) 평가 기술	-1.44	-0.44	1.44	0.00
버티포트 고효율 자동화 운용기술	UAM 이착륙장(Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술	-2.33	-0.89	0.67	-0.78
	버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비(토잉카 등) 기술	-2.33	-0.67	0.67	-0.89
	버티포트 정밀이착륙, 유도 및 안전 등화 시스템 기술 (지상항법 분야)	-1.89	-0.44	0.89	-0.33
	증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 원격 컨트롤 시스템	-2.44	-1.33	0.56	-0.89
	다중 에너지원 관리를 위한 EMS(Energy Management System) 구축	-2.11	-0.44	1.00	-0.56



[그림 Ⅵ-111] 버티포트 구축 및 운용 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 버티포트 구축 및 운용 분야 국내 산업역량

– 대부분의 기술이 독자생산과 면허생산이 가능하나 일부 전량수입 수준의 산업역량을 가진 기술이 있음

〈표 Ⅵ-63〉 버티포트 구축 및 운용 분야 세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술	버티포트 안전 및 비상상황 관리 시스템	LV 3(독자생산)
	실시간 신원확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술	LV 3(독자생산)
	워킹-스루 보안검색 및 소형화 기술	LV 2(면허생산)
도심형 버티포트 구축기술	버티포트 구조설계 표준화, 모듈화 및 구조물 상태감시 기술	LV 3(독자생산)
	버티포트 대상지(환경, 교통 등) 평가 기술	LV 3(독자생산)
버티포트 고효율 자동화 운용기술	UAM 이착륙장(Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술	LV 1(전량수입)
	버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비(토잉카 등) 기술	LV 2(면허생산)
	버티포트 정밀이착륙, 유도 및 안전 등화 시스템 기술 (지상항법 분야)	LV 3(독자생산)
	증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 원격 컨트롤 시스템	LV 3(독자생산)
	다중 에너지원 관리를 위한 EMS(Energy Management System) 구축	LV 3(독자생산)

● 버티포트 구축 및 운용 분야 국내 기술개발 역량

– 과반이상의 기술이 기초연구수행이나 기초/응용연구수행이 가능한 것으로 나타났으나 절반 가까이의 기술이 미착수 단계임

〈표 Ⅵ-64〉 버티포트 구축 및 운용 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

중점기술	세부기술	국내기술개발 역량
스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술	버티포트 안전 및 비상상황 관리 시스템	LV 3(기초/응용연구수행)
	실시간 신원확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술	LV 2(기초연구수행)
	워킹-스루 보안검색 및 소형화 기술	LV 2(기초연구수행)
도심형 버티포트 구축기술	버티포트 구조설계 표준화, 모듈화 및 구조물 상태감시 기술	LV 1(미착수)
	버티포트 대상지(환경, 교통 등) 평가 기술	LV 2(기초연구수행)
버티포트 고효율 자동화 운용기술	UAM 이착륙장(Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술	LV 1(미착수)
	버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비(토잉카 등) 기술	LV 1(미착수)
	버티포트 정밀이착륙, 유도 및 안전 등화 시스템 기술 (지상항법 분야)	LV 2(기초연구수행)
	증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 원격 컨트롤 시스템	LV 1(미착수)
	다중 에너지원 관리를 위한 EMS(Energy Management System) 구축	LV 2(기초연구수행)

스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술 연구개발전략

- **(버티포트 안전 및 비상상황 관리시스템 기술)** 항공연료 기준의 시스템과 전기자동차 수준의 저용량 배터리 관리 기술을 고전압 고용량 배터리 등 차세대 항공용 에너지저장장치 용도로 개발 및 인증 확보 필요
  - 경량·소형화를 추구하는 항공용 에너지저장장치 최초 상용화에 따른 내추락성·내구성 DB 부재를 고려한 안전 및 비상 관리시스템 기술 확보 필요
  - 승객 안전을 확보하기 위해 버티포트 내 안전구역 지정 및 실시간 감시를 위한 통합 감시시스템 (지능형CCTV, 레이더 등 센서, 비상벨 등) 구축을 통해 중앙감시 센터에서 통합 감시 및 비상상황 발생 시 즉각적 대처가 가능할 수 있도록 시스템 구축
    - BMS(Building Management System)와 BIM(Building Information Modeling) 연계를 통한 시설물 정보의 버티포트 건물 전체적 통합 관리(시설 운영, 관리 ,보안, 통제)를 통해 운영 효율 극대화
    - 시설물 감시용 CCTV 설치 및 비대면 출입통제, 위치기반(모바일) 보안관리시스템 기반의 지능형 보안 관리 체계 구축 및 LBS(Location Based System)기술 기반의 위기 상황 발생 시 버티포트 근무자 및 승객에게 즉시 상황전파
- **(워킹-스루 보안검색 및 소형화 기술)** 워킹-스루 보안검색 시스템 개발에 필요한 핵심 기술 중 일부 국내 독자개발 착수 및 통합 개발을 위한 기획 추진
  - '21년부터 차세대 대인검색 및 지능형 휴대수화물 검색기술 개발에 착수함
  - 워킹-스루 보안검색 시스템화를 위한 보족 기술 개발과 통합을 위한 기획 추진 중
- **(실시간 신원확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술)** 실시간 신원확인시스템은 이미 다양한 분야에서 개발 및 적용 중이므로, 버티포트 운영에 적합한 신원확인시스템 개발 필요
  - 타인의 신분증 또는 위조된 신분증을 이용할 수 없도록 반드시 안면인식, 지문 등 생체 정보를 활용한 신원확인시스템 개발 필요
  - 신속한 탑승 및 경제적인 버티포트 운영을 위하여 물리적인 방식에 의존하는 보안검색을 지양하고, 빅데이터 및 인공지능(AI) 기반 부정감성 인식기술을 활용한 탑승객 셀렉팅 기술 개발 필요

도심형 버티포트 구축기술 연구개발전략

- **(버티포트 구조설계 표준화, 모듈화 및 구조물 상태감시 기술)** 기존 헬리포트 기반의 버티포트 구축 및 운용 기준 연구와 함께 기존 회전익기와 다른 특성을 갖는 벡터 추진형 기체 특성 분석을 통한 추가 요구도 연구 착수하고 UAM 기체 비상착륙시 버티포트의 안전성을 확인하고 이를 구조설계 기준에 반영하기 위해 시뮬레이션 충돌해석 기술 개발

- FAA·ASTM과 EASA·EUROCAE는 기존 헬리포트 기반의 설계 및 운용 기준 초안을 작성 중이며, NASA는 AAM NC에서 취소된 과거 버티포트 기준 분석을 통한 보완사항 연구 중

- 단계별 이용객 증가로 인한 버티포트 확장 또는 기존 건물 옥상에 버티포트를 구축을 위한 적측형 구조 설계 및 부재 단위중량 최소화 기술 개발

- UAM기체의 잦은 이착륙 및 계류장 이동으로 인한 충격·피로하중은 구조물의 내구수명을 단축시키므로 버티포트 내구 수명 확보를 위한 충격·피로 영향을 고려한 버티포트 설계 기술 개발

- 도심지내 건설되는 버티포트는 대형장비 활용으로 인한 교통통제 등 주거민이나 유동인구의 생활불편을 최소화하기 위한 모듈화 시공기술 개발

- 이용객 증가로 인한 버티포트 확장이 필요한 경우, 도심내 토지확보가 어려운 환경을 고려한 적층형 확장 시공기술 개발

- 버티포트 안전사고 및 이상 거동을 사전에 감지하고, 구조성능 감소를 판단하기 위한 버티포트 센싱 및 상태평가 기술 개발

● **(버티포트 대상지(환경, 교통 등) 평가 기술)** 도심 및 기존 교통체계와 분리·격리되어 있는 공항 중심으로 이착륙 시설 입지선정, 환경 및 교통영향 평가기술 개발 및 버티포트 구축에 따른 환경 악영향 최소화와 편익 최대화가 가능한 입지선정 기술 및 표준절차 개발

- 도심 상용 헬기 인프라는 환경 악영향성(소음) 및 프라이버시 침해 등의 이유로 대부분 인구밀집지역 외부에 위치하여 대중 교통체계와 연계성이 낮음

- 기존 도시 대중교통체계 및 환승 교통체계와 유기적으로 통합 가능하고 확장 가능한 버티포트 영향권 분석 기술 개발

- 이용자 편의성 최대화 및 버티포트 수익 모형을 고려한 버티포트 입지조건 분석 프로세스 업무 표준화 기술 개발

■ 버티포트 고효율 자동화 운용기술 연구개발전략

● **(UAM 이착륙장(Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술)** UAM 체계와 유사할 것으로 예상되는 공항운영 시스템을 활용하여 공항 운영사와 민간 IT기업이 협업하여 국내 자체 개발을 목표로 하여 시스템 개발 필요

- 현 공항 운영시스템(AODB, A-CDM 등)을 분석하여 기본적인 UAM 이착륙장 운영시스템 컨셉 도출 작업을 착수 병행하여 UAM 이착륙장 업무 시나리오 작업을 통해 UAM 특성을 도출

– 고려사항으로 PSU 및 이해관계자간 정보 연계체계(사이버보안 포함) 구축을 위해 해당 과제 추진사와 협업을 통해 공유 정보 데이터 포맷 등 통일화가 필요

● **(버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비 기술)** 초기 인프라 구축 단계에서 데이터 기반의 통합운용관리 시스템화하고 이에 필요한 핵심장비 무인자동화 추진

– 기존 공항 및 헬리포트 에어사이드의 수작업 형태 지상조업 일부를 자동 및 원격 운용하려는 시도가 진행 중

– 수작업 형태의 에어사이드 작업 중 지상유도의 데이터 기반 통합관리(스마트공항의 일환) 및 반자동 원격토잉 등의 기술개발 및 일부 시험적용 진행

– 버티포트 자동화 운용시스템(예, VCDM)과 에어사이드 지상작업 운용시스템 연계에 따른 데이터 기반의 자동화 시스템 구축

– 기체 지상이동을 위한 무인자동화 장치(토잉카) 및 지원장비(충전) 및 로보틱스 기반의 고전압 자동충전 장비 등의 기술개발과 인증

● **(버티포트 정밀이착륙, 유도 및 안전 등화 시스템 기술 (지상항법 분야))** LLZ의 기술 개념을 적용하여 재밍 등 GPS 활용 불가 상황에서도 정밀 착륙을 유도하는 UAM용 항법장치의 개발이 필요

– (정밀이착륙) 현재 민간 항공기 착륙에 활용되는 LLZ 시설은 항공기에게 활주로 중심선 정보를 제공하는 항행안전시설이며 정보오차가 거의 없는 시설로 저시정, 악기상 등 조종사 시야 확보가 불가능한 상황에서도 정밀한 착륙이 가능

  • 국내·외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구개발 경험을 보유한 국내·외 기관과의 협력을 통한 기술개발 방안 모색

  • 기존 공항 및 항행안전시설을 운영하는 이해관계자들과의 긴밀한 협업을 통해 UAM용 항법장치 개발에 필요한 테스트베드 구축 및 충분한 실증 진행

– (항공등화) 저시정, 악기상 등 조종사 시야 확보가 불가능한 상황에서도 불빛을 활용해 조종사가 안정적으로 접근경로 유도 및 착륙할 수 있도록 안내하는 필수 시설임

  • (시각적 고도정보 제공 등화시스템) 저시정 및 기상악화 상황에서도 UAM 기체가 수직으로 안전하게 이착륙 하기 위해서는 조종사가 착륙장 주변 환경 및 고도 정보에 대한 인식이 필요하며 이를 위해 기존 등화 기술을 활용해 Vertiport에 적용 필요

  • (접근기체 고도정보 안내시스템) UAM 기체 조종사가 Vertiport 접근 시 정상적 고도로 접근하고 있는지에 대해서 인지 할 수 있도록 계기 장치 외에 별도로 UAM 전용 접근기체 고도 정보 안내용 시스템 연구 개발 필요

- 도심 주변 고층 건물 및 환경적 영향에 따라 GPS 부정확 현상 발생 시 기체 안전 확보를 위해 現 HAPI 기술 개념을 활용해 Vertiport 착륙 접근경로 내 안전하게 접근할 수 있도록 보조적 안내 시스템 개발

- 기존 헬리패트와 다르게 UAM 같은 경우 도심 지내 협소 공간 설치 및 주변 건물 등에 빛 공해와 같은 환경적 요소를 반영된 개발

● **(증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 원격 컨트롤 시스템)** EU SESAR의 접근 전략을 참조하되 공항 대비 제한된 예산, 공간과 증가한 복잡도를 감당 할 수 있는 버티포트 환경에 적합한 시스템 개발

– 일반 공항의 원격 제어 기술은 이미 EU 주도 SESAR 사업을 통해 다수의 제어센터가 다수의 공항을 원격 제어하는 시스템 기술까지 개발하여 실증 단계에 착수

– 가상증강현실 기반의 디지털 원격제어 핵심인 운항정보 DB화, 버티포트 시각정보 실시간 확보 및 데이터화, 기술 개발

– 단계적(제어와 제어대상의 1:1 원격제어 → 1:다수 원격제어 → 다수:다수 원격제어) 버티포트 원격제어 기술개발 및 실증

● **(다중 에너지원 관리를 위한 EMS(Energy Management System) 구축)** 배터리의 상태, 충전용량, 수명등을 예측하여 모터 구동 시 배터리가 공급할 수 있는 최대 에너지를 계산해내고, 감속 시에는 회생되는 에너지를 제한하는 체계 가 요구됨

– 배터리의 과충방전으로부터 배터리를 보호함과 동시에 배터리의 사용 범위를 최적화하여 열적, 전기적 손상을 입지 않도록 균형화

– 신뢰성 있는 전기적 데이터의 측정 시스템이 기본 되어야 함 전기적인 데이터를 통해 화학적 특성을 유도 및 추출해야 하므로 보다 정밀한 측정 데이터가 필요함

라. 버티포트 구축 및 운용 분야 기술로드맵

■ 버티포트 구축 및 운용 기술 단계별 기술개발 목표

● 스마트 보안(security) 및 안전(safety) 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- Seamless 교통체계 구축 및 사용자 친화적 보안검색을 위한 워킹-스루 핵심기술 개발
- 생체정보(안면인식, 지문 등)를 이용한 실시간 탑승객 신원확인 시스템 핵심기술 개발
- 최초 상용화를 위한 안전·비상상황 감시·판단 및 대처 기준·절차·시스템 개발
- 버티포트 안전관리를 위한 중앙집중형 통합관리시스템 설계

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 빅데이터 및 인공지능(AI) 기반 부정감성 인식기술을 활용한 탑승객 셀렉팅 기술 적용
- 이용시간 단축을 위한 버피포트용 소형 워킹-스루 보안검색 시스템 개발 및 시범 적용
- 버티포트 수익성 향상을 위한 안전 및 비상관리 시스템 무인·자동화 기술 적용
- 운항사, PSU, 버티포트 간 SMS 네트워크 시스템 구축

● 도심형 버티포트 구축기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 소음, 시각, 도로제한, 기체 항로, 기상상황 등 요소들을 고려한 종합적인 환경 영향성 분석을 통한 입지 평가 기준 제시
- 버티포트 내구수명 확보 및 단면 최적화 구조설계 기준 제시
- UAM기체와 버티포트 충돌해석 시뮬레이션 기술 확보
- 도심 버티포트 구축을 위한 구조물 설계 표준화·모듈화 시공 기술 확보
- 버티포트 구조취약부 센싱, 상태감시·평가 기술 확보 및 시스템 구축

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- UAM 이용자 수요, 편의성, 연계 교통, 버티포트 운용 효율성, 도시 내 교통체계 변화 등을 고려한 버티포트 입지 평가 기준 제시
- 수요 증대에 따른 버티포트 적층형 확장 설계 및 시공 기술 확보
- 버티포트 모니터링 자료 빅데이터 구축 및 A.I. 분석 기술 확보

● 버티포트 고효율 자동화 운용기술

– (~’25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 現 공항운영 시스템을 기반하여 UAM 전용 AODB 아키텍처 및 필요 연계 정보 도출
- UAM 이착륙장 전용 AODB 및 이해관계자간 정보연계를 위한 사이버보안체계 구축
- 안전한 이착륙 서비스 제공을 위한 안전시스템(항공등화) 기준 마련 및 시제품 개발
- 수요 증가 대비 버티포트 에어사이드 무인·자동화 핵심기술 및 장비 개발

– (~’30) 상용화 기술개발 목표

- 기존 정보공유 형태에서 협력적 의사결정(APOC) 단계 구축을 위한 모델 수립
- UAM 이착륙장 자동화 연계 고도화를 통해 APOC 체계 구축
- 지역·도시 단위 다수 버티포트의 통합 운항 지원 및 정보공유 시스템 구축
- 서비스 지역 확대를 위한 다수 소형 버티포트 원격 제어, 증강현실 적용 및 디지털화 핵심 기술 및 시스템 개발
- K-UAM GC를 통해 안전시스템 성능점검 및 다양한 UAM 기체별 적용 가능한 완제품 개발
- 안전한 이착륙 서비스 제공을 위한 안전시스템(지상항법) 적용
- 버티포트 에어사이드 무인·자동 운용 시스템 구축을 통한 턴어라운드 타임 단축
- UAM 기체 원격 컨트롤 및 무인비행 체계 도입을 위한 안전 인프라 확충

– (~’35) 대중화 기술개발 목표

- 안전성 향상을 위한 증강현실 기반의 다수 버티포트 원격 통합 제어 시스템 구축
- 다양한 수직이착륙 항공기의 혼합 서비스가 가능한 버티포트 인프라 개조

버티포트 구축 및 운용 분야 기술로드맵

● 총 3건의 중점기술과 그에 따른 10건의 세부기술개발이 추진되어야 함

〈표 Ⅵ-65〉 버티포트 구축 및 운용 분야 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
도심형 버티 포트 구축	버티포트 대상지 (환경, 교통 등) 평가 기술	버티포트 환경 영향성(음향, 시각 소음 및 가상) 평가 및 개선을 위한 핵심 기술														
		버티포트 대상지 선정의 기술 기준														
	버티포트 구조설계 표준화, 모듈화 및 구조물 상태감시 기술	버티포트 구조설계 표준화(기준) 기술														
		버티포트 모듈화 시공 기술														
		버티포트 실시간 모니터링 상태평가 기술														
버티 포트 고효율자동화 운용 기술	UAM 이착륙장 (Vertiport) 운용 시스템 및 자동화 연계 기술	이착륙장(Vertiport) 운용 시스템														
		포트 계류시간 정보 공유를 통해 각 협업기관의 효율적 의사결정 지원 시스템 개발														
		이해관계자(포트관리자, 운항사업자, PSU)실시간 데이터 및 정보연계														
		플랫폼(여객정보)-FATO(운항 정보) 간 연계기술														
	증강현실을 적용한 버티포트 통합 디지털 원격 컨트롤 시스템	원격 실시간 버티포트 감시 시스템 및 데이터 관리 기술														
		증강현실을 적용한 버티포트 운항정보 실시간 통합 시현기술														
		실시간 감시화면, 증강현실기반의 운항정보, 상황별절차/정보 등 다중정보통합 및 실시간 시현 기술														
	버티포트 정밀이착륙, 유도 및	광학 시뮬레이션을 통해 도심지 환경에 적합한 UAM 항공등화 설계														

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
	안전 등화 시스템 기술															
		항공등화, 진입각지시 등 (이·착륙 기체 시각적 고도 정보제공)														
		진입표면, 장애물제한 표면 접근 기체 최저고도 알람 정보 제공														
		GPS 활용 불가 상황에 대비한 지상 정밀 유도용 항법시스템 설계 및 구축														
	버티포트 에어사이드 자동화/무인화를 위한 핵심 시설 및 장비(토잉카 등) 기술	충전형 무인자동 견인(towing) 차량 기술														
		무인자동견인(towing)차량 충전장치 및 관리기술														
		다수 무인자동견인(towing) 통합 관리 기술														
	다중 에너지원 관리를 위한 EMS (Energy Management System) 구축	다중 에너지원 관리를 위한 EMS(Energy Management System) 구축														
		정전 등에 대비한 비상동력계통 EPS(EmergencyPowerSystem)구축														
		다중 화재진압용 소화용액, 소화장비 및 관련 시스템 구축														
		배터리, 수소연료등 미래형 에너지원 화재감시 및 자동알람 시스템 구축														
스마트 보안 (security) 및 안전 (safety) 시스템	워킹-스루 보안검색 및 소형화 기술	고신뢰성 터널형 검색기 주요 구성품 기술														
		워크-스루 보안검색을 위한 신체검사 영상획득, 처리 및 판별을 위한 소프트웨어 기술														
		워크-스루 보안검색장비의 실증 및 인증기술														

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
	실시간 신원확인 및 AI 기반의 행동탐지 적용 기술	고신뢰성 안면인식 및 실시간 신원확인 솔류션 기술														
		AI/ML 기반의 안면인식 (동공, 표정, 체온) 및 행동탐지(불안, 초조)를 통한 보안기술														
	버티포트 안전 및 비상상황 관리 시스템 기술	버티포트 안전 및 비상 관리 체계화, 자동화 기술														
		운항사, PSU, 버티포트 간 SMS (Safety Management System) 네트워크기술														

3. 버티포트 보조설비 시스템 기술로드맵

가. 기술 정의 및 구성

■ 기술정의

● 상용통신 기반 버티포트 통신 시스템

– **(버티포트 근접 운항 통제를 위한 상용망(5G 등) 기술을 활용한 무선통신 네트워크 기술)** 버티포트 및 주변 지역의 안정적 통제역할 수행 및 이해관계자간 효율적 커뮤니케이션을 위한 상용통신망 기술

– **(버티포트 통신 사이버보안 기술)** 버티포트 운용을 위해 필요한 필수 정보들에 대해서 안전하고 신뢰성 높은 통신 서비스를 제공하기 위한 다양한 통신설비 및 보안 시스템 구축 기술

● 버티포트용 에너지 최적화 기술

– **(버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술)** UAM 이착륙장에서 미래 에너지(신재생 에너지 등)을 활용하여 UAM 기체의 안정적 충전과 시설운영을 지원하고, 최적의 이착륙장의 설치위치 선정을 위한 에너지원 최적화 기술

– **(버티포트 에너지 소모 최적화 기술)** 단일·다수 버티포트 단위의 에너지 수요 정의, 관리방안 도출 및 다수·다종 버티포트의 최적화 관리시스템 기술

● 고전압 고신뢰 버티포트 충전 시스템

– **(호환형 고전압 급속충전 설비 경량화 및 자동화 기술)** 기존 항공 또는 자동차 산업에서 사용하지 않던 MW급 고출력 배터리의 안전한 관리 및 운용에 필요한 고신뢰 설비와 시스템 기술

– **(기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술)** 기체에 장착된 배터리시스템의 충전 시 배터리의 수명을 진단하여 사용자에게 알릴 수 있는 충전기 및 제어 방법 제공 기술

– **(배터리 교체 시스템 및 프리 컨디셔닝 기술)** 기체에 장착된 배터리시스템을 충전하는 방식 대신 배터리 교체 시스템을 이용하여 기체에 충전이 완료된 여분의 배터리시스템으로 교체하는 방식의 기술

■ 기술구성

● 버티포트용 에너지 최적화 기술

– 버티포트 규모별(소·중·대형)· 단계별(단일, 도시, 지역) 에너지 사용 최적화 기술, 에너지원 다양화 기술 및 타 에너지 시스템과의 연계기술로 구성

• 고밀도·고안전 에너지저장장치(ESS), 고효율 전력관리 시스템, 다종 에너지원(재생,

연료전지, 수전) 통합 및 지역·도시 에너지망(스마트그리드) 연계형 최정확 기술

- 단일 버티포트 단위의 에너지 수요(기체 충전, 건물 냉난방, 전기차 충전 등) 관리 시스템 구축 및 최적화 기술(스케줄링, 시퀀싱 등) 개발

● 상용통신 기반 버티포트 통신 시스템

– 5G 이동통신 네트워크 기반의 버티포트·운항경로에 대한 CNSi 구축, 통신사업자와 버티포트 Server간 알고리즘 구축 및 UATM 시스템 연동

- 도심 내 통신 인프라, 기술 수준 등을 고려하여, 5G 기반의 이동통신망, 운용 공역 내 위치별(수직/수평/도심/비도심 등), 상황별 신호품질 등 제반 적합성을 검정하고, UAM기체의 물리적특성(속도, 위치, 기동 등)을 고려하여 디지털(음성/문자) 통신망 구축

- 안정적 서비스 제공을 위해 사이버 보안체계가 선제적으로 구성되어야 하며, 통신 우선순위 또한 높게 설정하여 통신지연 등 문제요소 최소화 필요

● 고전압 고신뢰 버티포트 충전 시스템

– 배터리 기반 기체의 배터리 장착형과 교체형에 따른 안전한 급속 충전, 수명관리, 예방정비 및 교체 배터리 보관, 관리, 자동교체 등의 배터리 관리 기술

- 기체 장착형 배터리의 MW급 고전압 급속충전 시스템, 장착 배터리 사용정보 분석 기반의 수명관리, 예방정비 및 로보틱스 기반의 무인자동 충전 기술

- 교체형 배터리의 버티포트내 안전한 보관·감시, 충방전 관리 및 로보틱스 기반의 무인 자동 교체 시스템 기술

〈표 Ⅵ-66〉 버티포트 보조설비 시스템 분야 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
버티포트 용 에너지 최적화 기술	버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술	• 기존 송전망 이용 및 초급속 충전서비스 제공을 위한 안정적 에너지 발전, 저장 기술을 도입
	버티포트 에너지 소모 최적화 기술	• 단일·다수 버티포트 운용 관리를 통한 에너지 수요 분산과 에너지 공급망 구축 비용 절감 기술
상용통신 기반 버티포트 통신 기술	버티포트 근접 운항 통제를 위한 상용망(5G 등) 기술을 활용한 무선통신네트워크 기술	• 상용통신 사업자의 5G 통신기술을 활용해 UAM 운항관련 이해관계자 (PSU, Vertiport, 운항사 등) 간의 안정적 정보공유 및 운항 통제를 위한 관제 시스템과 연계 기술
	버티포트 통신 사이버보안 기술	• 버티포트 통신 시스템을 위한 계층별 사이버보안의 정책 및 기술 선정을 통해 기밀성, 무결서, 가용성 분석이 가능하도록 국제표준에 준하는 보안 체계 기술

중점기술	세부기술	기술명세
고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술	호환형 고전압 급속충전 설비 경량화 및 자동화 기술	• 다양한 형태의 UAM 기체를 안전하게 급속 충전할 수 있는 설비 및 로보틱스 등의 기술을 적용한 자동화 시스템 기술
	기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술	• 배터리 사용 이력 빅데이터 구축 및 이를 기반으로 개별 배터리 수명 진단 및 정비 관리 기술
	배터리 교체 시스템 및 프리컨디셔닝 기술	• 교체형 배터리 장착 UAM 기체 지원을 위한 안전한 관리, 사전 운용준비, 신속한 교체 기술

나. 기술동향 분석

■ 버티포트 에너지 최적화 시스템 기술동향

● 버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술에 대한 기술동향

– 안정적 UAM 기체 충전(급속) 및 도심 내 친환경적 요소를 고려하여야 함

• 면적 및 비용, 효율성 등에 대한 이해가 필요하며, 도심지내 좁은 공간내에서 고용량, 초고속 충전을 위해서는 기체 1대 충전을 위해서는 최소 1MW 이상 규모로 설계되어야 함

〈표 Ⅵ-67〉 친환경 에너지 유형별 전력 규모 비교

구분	태양광	연료전지	지열
필요 면적 (통상적)	4,000평	60평 (연료전지시설 제외)	950평
예상 소요 비용	약 13억	약 50억	부지 지질조사 분석 후 적용여부 판단가능
장단점	• 공사비: 低 / 필요면적: 高 • 20년 이상 발전 수명 • 발전 이용률 : 低(상대적)	• 공사비: 高 / 필요면적: 低 • 발전 이용율 : 高 • 열, 전기 에너지 획득	• 지속적 에너지원 • 지열 발전 한정적 가능 • 땅의 침전 가능성 등
공통/기타	• 전력 1MW/h당 Co2 발생량은 0.424(Co2Ton/MWh)이며, Ton당 탄소거래 가격은 약 30,000원 정도 됨		

출처: 한국공항공사, 한화시스템 2020년 UAM WG 연구 자료

– 기존 전력망 활용 시 고밀도의 전력을 안정적으로 제공하기 위해서는 에너지 저장장치(ESS, Energy Storage System) 구성은 필수적 요소임

• 효율적 버티포트 운영을 위해서는 야간 非운영 시 심야 전력을 활용해 저렴하게 ESS 내 UAM 기체 충전을 위해 필요한 에너지를 비축하여 활용

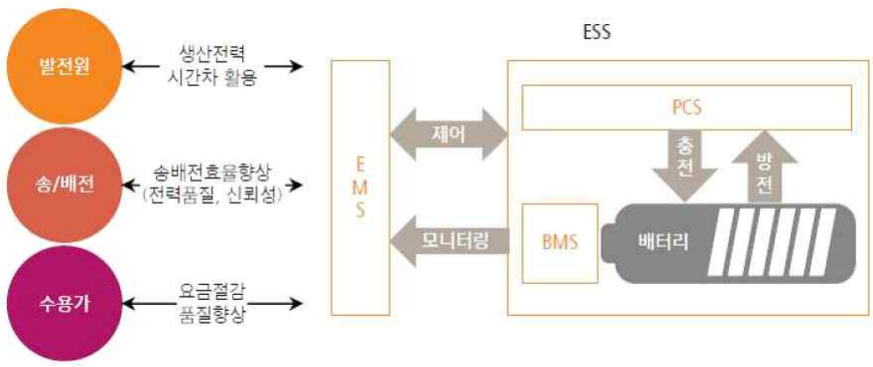
• 최근들어 초급속(아이오닉5) 충전이 가능한 전기 자동차 판매가 시작됨에 따라 기존 급속충전 설비 대비 최대 5배 가량 높은 고전압이 사용됨으로 인해 다수의 차량 충전 시 블랙 아웃 등의 위험이 예상됨



출처: 한화 제공

[그림 Ⅵ-112] 1MW(메가와트) 전력규모

• 이에 따라 높은 에너지 밀도의 충전 설비 시설은 반드시 ESS 설비 구축이 필수



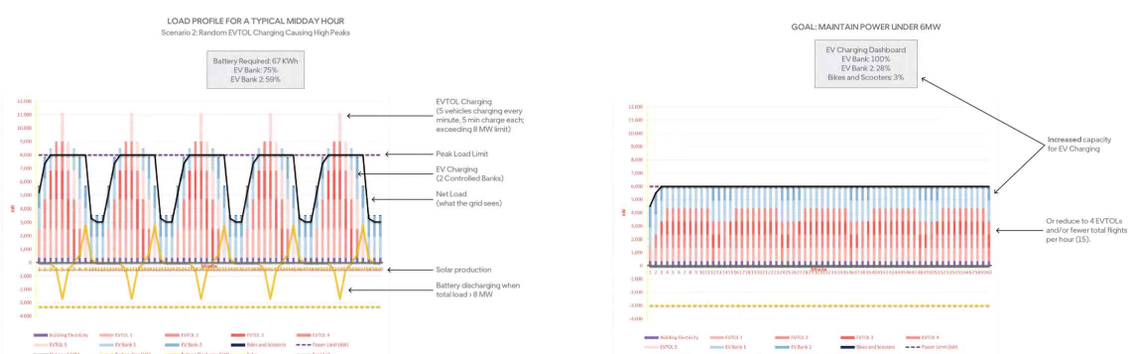
출처: 이차전지, 삼성증권(2019)

[그림 Ⅵ-113] 에너지 저장장치(ESS) 구성도

● 버티포트 에너지 소모 최적화 기술에 대한 기술동향

– Uber 등은 달라스 도심에 버티포트 구축 준비를 하면서 도심 전력망 영향성 및 신규 발전소 구축 수요 최소화를 위해 버티포트 단위의 에너지 소모 최소화 연구

• 버티포트에서 필요한 다양한 전력 수요(UAM 기체, 버티포트 자체, 전기자동차 및 전기스쿠터 등)를 에너지 공급관리를 통해 최적화 방안 제시



출처: Uber ConnectEvolved 보고서(2019)

[그림 Ⅵ-114] Uber 달라스 버티포트 에너지 사용 연구 사례

■ 상용통신 기반 버티포트 통신 기술동향

● 버티포트 근접 운항 통제를 위한 5G 기술을 활용한 무선통신네트워크 기술

– 이동통신사를 중심으로 5G 기술이 상용화되었으나, UAM 예상운항고도에 따른 Coverage, 신호품질, 보안성 등에 대해 적합성 검증 진행

– UAM CNSi를 위한 전용 시설은 없으나 상용통신망(이동/위성)을 활용하여 드론에 ADS-LTE 장비를 부착하여 고도, 위치 등을 탐지할 수 있는 기술수준으로 식별됨



출처: SKT

[그림 Ⅵ-115] 5G의 성능을 활용한 다양한 국내외 사례

– 미국 NASA는 AAM(Advanced Air Mobility) National Campaign의 첫 단계(NC1)로서 UAM 시범운용을 2020년 후반 비행시험을 수행하고 있으며, 현재 시뮬레이터 인프라를 통해 eVTOL 운용성능 시험 중

– 이를 통해 UAM 안전성에 대한 대중 신뢰도 향상을 위해 비행시험 전 기체와 지상 인프라 운용성능을 지상 가상통합검증 환경을 통해 사전 검증

● 버티포트 통신 사이버보안 기술

– 유럽은 '18년 이후 EUROCAE의 European Cyber security for aviation Standards Coordination Group (ECSCG) 활동을 통해 무인자동화에 따른 사이버보안 규정과 기술 개발 중

• ECSCG는 EC와 EASA에 사이버 보안관련 조언을 담당하며 EU 내 타 표준화 기구간의 사이버 보안 업무분장과 기술개발을 주도

– 미국은 FAA가 항공분야 사이버보안의 기준이 될 수 있는 규정화를 진행 중이며 ASTM F44 그룹을 중심으로 MOC를 구체화 중

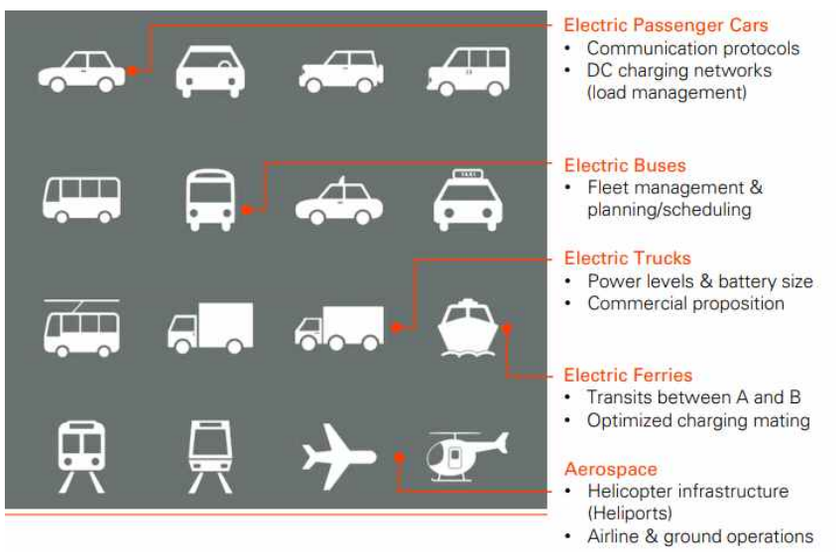
• FAA는 '17년 조직개편을 통해 'Policy & Innovation Division(AIR-600)' 산하에 사이버보안 담당부서를 신설하여 항공분야 사이버보안을 관리 중

고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술동향

● 호환형 고전압 급속충전 설비 경량화 및 자동화 기술/배터리 교체 시스템 및 프리 컨디셔닝 기술

– 고전압 급속충전에 필요한 기술 및 운용 기준을 기존 산업(전기자동차, 전기철도, 전기선박 등) 표준을 기반으로 도출 중

• 기존 규정에 항공용 특성(경량화, 건물 옥상 설치 등)을 추가하는 방식으로 접근하며 이를 구현하기 위한 기술개발(공냉식 고전압 충전 기술 등) 중



출처: EUROCAE, WG112

[그림 Ⅵ-116] UAM용 고전압 급속충전 기술개발 방안

● 기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술

– EUROCAE WG-112 주도로 배터리의 상태를 정의하는 기준을 세우고 이를 측정 또는 예측할 수 있는 방안의 표준화 진행 중

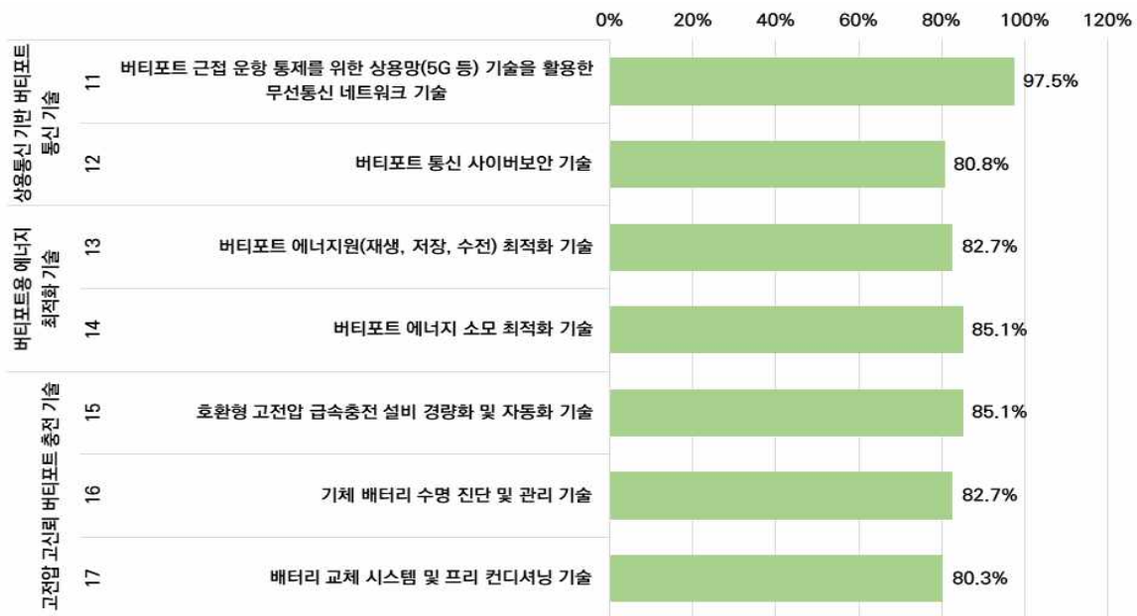
• EUROCAE ED-289 'GUIDANCE ON DETERMINATION OF ACCESSIBLE ENERGY IN BATTERY SYSTEMS FOR EVTOL APPLICATIONS' 기준을 통해 SOC(State of Charge), SOF(State of Function), SOH(State of Health), SOP(State of Power)에 대한 정의와 예측(측정) 방안 표준화 추진

다. 기술수준 및 연구개발전략

■ 버티포트 보조설비 분야 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 버티포트 보조설비 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 버티포트 근접 운항 통제를 위한 상용망(5G) 기술을 활용한 무선통신 네트워크 기술은 세계적인 수준이고 다른 기술들도 높은 수준의 기술수준을 보유한 것으로 나타남



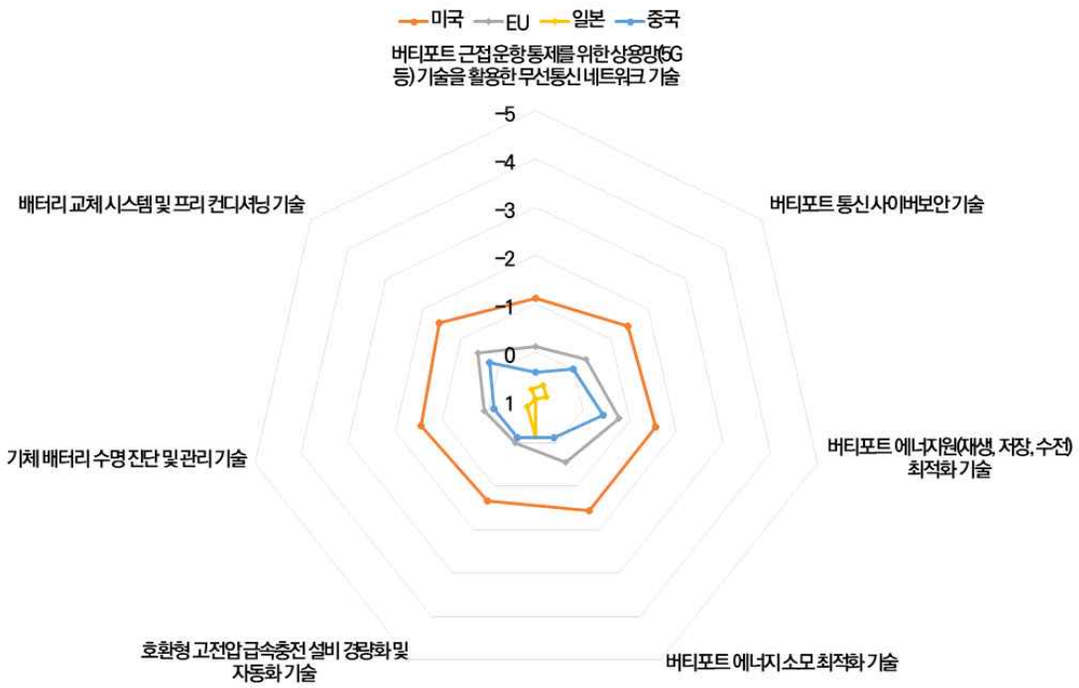
[그림 Ⅵ-117] 버티포트 보조설비 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 버티포트 보조설비 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

– 미국이 선도국이며 1년 정도의 기술격차가 나타나며 그 외 국가들과는 큰 차이가 없음

〈표 Ⅵ-68〉 버티포트 보조설비 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
상용통신 기반 버티포트 통신 기술	버티포트 근접 운항 통제를 위한 상용망(5G 등) 기술을 활용한 무선통신 네트워크 기술	-1.11	-0.11	1.78	0.44
	버티포트 통신 사이버보안 기술	-1.44	-0.33	1.22	0.00
버티포트용 에너지 최적화 기술	버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술	-1.56	-0.78	1.00	-0.44
	버티포트 에너지 소모 최적화 기술	-1.56	-0.44	1.22	0.11
고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술	호환형 고전압 급속충전 설비 경량화 및 자동화 기술	-1.33	0.00	1.33	0.11
	기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술	-1.44	-0.11	1.22	0.11
	배터리 교체 시스템 및 프리 컨디셔닝 기술	-1.56	-0.56	1.00	-0.22



[그림 Ⅵ-118] 버티포트 보조설비 분야 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 버티포트 보조설비 분야 국내 산업역량

– 거의 모든 기술이 독자생산이 가능하고 일부 기술은 면허생산 수준의 산업역량을 갖춘 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-69〉 버티포트 보조설비 중점기술-세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
상용통신 기반 버티포트 통신 기술	버티포트 근접 운항 통제를 위한 상용망(5G 등) 기술을 활용한 무선통신 네트워크 기술	LV 3(독자생산)
	버티포트 통신 사이버보안 기술	LV 3(독자생산)
버티포트용 에너지 최적화 기술	버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술	LV 3(독자생산)
	버티포트 에너지 소모 최적화 기술	LV 3(독자생산)
고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술	호환형 고전압 급속충전 설비 경량화 및 자동화 기술	LV 2(면허생산)
	기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술	LV 3(독자생산)
	배터리 교체 시스템 및 프리 컨디셔닝 기술	LV 3(독자생산)

● 버티포트 보조설비 분야 국내 기술개발 역량

– 대부분의 기술이 기초/응용연구수행 단계이며 일부 기술은 기초연구수행 단계임

〈표 Ⅵ-70〉 버티포트 보조설비 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

중점기술	세부기술	국내기술개발 역량
상용통신 기반 버티포트 통신 기술	버티포트 근접 운항 통제를 위한 상용망(5G 등) 기술을 활용한 무선통신 네트워크 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	버티포트 통신 사이버보안 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
버티포트용 에너지 최적화 기술	버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술	LV 2(기초연구수행)
	버티포트 에너지 소모 최적화 기술	LV 2(기초연구수행)
고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술	호환형 고전압 급속충전 설비 경량화 및 자동화 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	배터리 교체 시스템 및 프리 컨디셔닝 기술	LV 3(기초/응용연구수행)

상용통신 기반 버티포트 통신시스템 연구개발전략

● **(버티포트 근접 운항 통제를 위한 상용망(5G 등) 기술을 활용한 무선통신 네트워크 기술)** 연구과제와 관련한 국내·외 기술 인프라 현황 및 관련 연구개발과제 수행현황 등을 조사하여 충분한 연구개발 경험을 보유한 국내·외 기관과의 협력을 통한 기술의 차별화 방안 모색

– UAM 서비스의 경우 전 세계적으로 참고 대상이 없기 때문에 설계부터 실증까지 안전사고를 방지하기 위해서 다양한 시뮬레이션 등을 통한 검증절차가 선행되어야 하고, 기존 공항 및 항행안전시설을 운영하는 이해관계자들과 긴밀한 협업을 통해 現 운항통제 체계에 대한 이해와 UAM에 적용방안 파악

– UAM의 물리적 특성(이동속도, 선회시 안테나 방향 등)과 버티포트 주변 지형지물의 특성을 고려한 AP위치 및 음영지역 제로화를 위한 상용통신시설 운영노하우 활용



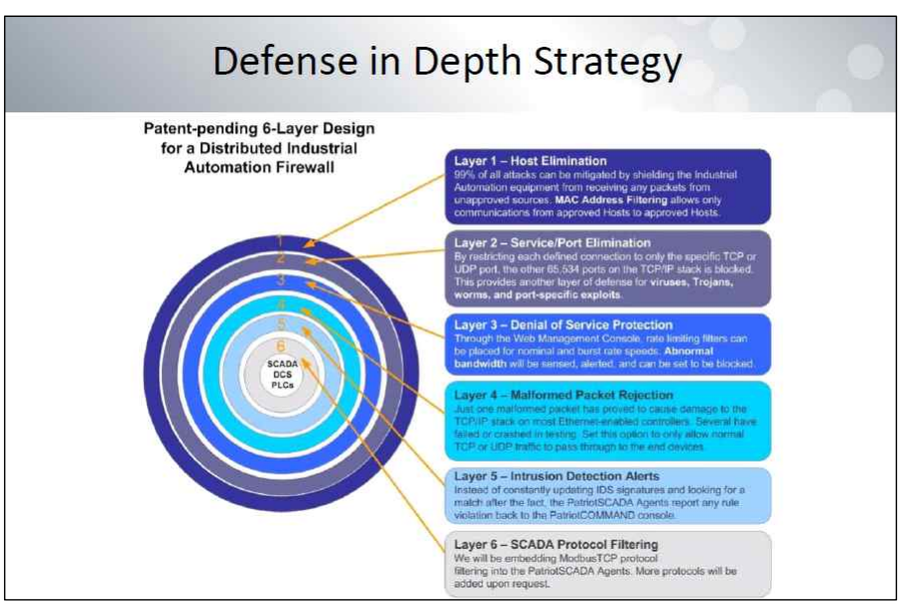
출처: SKT

[그림 Ⅵ-119] 기업 전용 Private 5G 서비스 제공

● **(버티포트 통신 사이버보안 기술)** 산업제어시스템(ICS)을 위한 심층 방어(defense-in-depth) 사이버보안 기술

– 공항이나 발전소 등 사회 주요기반시설은 일반적인 정보기술(IT) 시스템과 달리 직접 시설을 제어하거나 관리하는 기능을 포함하기 때문에, 사이버 위협 발생시 막대한 물적/인적 피해가 발생

– 따라서 주요기반시설의 사이버보안 정책은 일반적인 기업에서 사용하는 정보시스템 보다 훨씬 고도화된 보호 정책이 필요하며, 미국, 영국 등 사이버보안 선진국은 이러한 주요 사회기반시설을 사이버위협으로부터 보호하기 위해 심층방어(defense-in-depth) 개념을 적용하여 계층화된 정보보호 전략을 수립하여 운영 중임

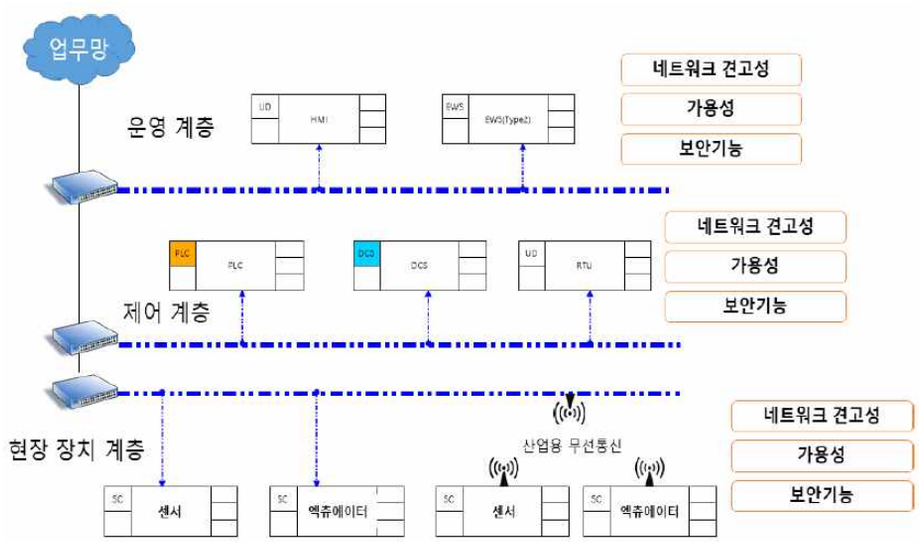


출처: dts-solution.com

[그림 Ⅵ-120] 사이버보안의 심층방어 개념

– 버티포트 역시 공항과 같은 주요 산업제어시스템으로 분류할 수 있으므로, 외부 또는 내부에서 발생할 수 있는 사이버위협으로부터 시스템을 보호하기 위해 각 계층별로 사이버 보안 프로세스 및 전략을 정의하여, 가장 효율적인 사이버방어 효과를 창출해야함

- 사이버 보안 개념은 정책, 물리보안, 네트워크 보안, 호스트 보안, 응용 및 데이터 보안에 이르는 여러 계층으로 이루어져있음
- 이에 버티포트 적용시 통신시스템 구성 항목을 분석하여, 각 계층별 보안 전략을 수립하고 이에 맞는 보안장비 및 기술 적용이 필요
- 국내에서는 한국전자통신연구원 부설 국가보안기술연구소에서 한국정보통신기술협회에 “ICS 보안 요구사항” 표준을 2017년도에 등록하였으며, 이 표준에서도 산업제어 시스템의 사이버보안을 위해 운영 계층, 제어 계층, 현장장치 계층의 3계층으로 구분하고 각 보안사항을 정의



출처: itfind

[그림 VI-121] 운영 계층, 제어 계층, 현장장치 계층

– 버티포트 통신 시스템을 위한 계층별 사이버보안의 정책 및 기술 선정을 위해서는 사이버 위험관리프레임워크 기반의 위험 평가가 선행되어야 한국제 표준 NIST SP 800-37 rev2를 기반으로 한 위험관리 프레임워크에서는 각 사이버자산에 대한 기밀성, 무결성, 가용성을 분석하고, 발생 가능한 위협에 대한 평가 및 관리를 수행하는 국제 표준 프레임워크를 구축할 수 있음

– 사이버보안 항목별로 분류, 보호, 탐지, 대응, 복구 프로세스를 반복적으로 관리하여, 여러 계층별 수행되는 사이버보안 기술이 연결되어 수행될 수 있도록 제공한버티포트 통신시스템도 기체에 대한 관리 뿐만 아니라 여러 체계와의 연동을 수행하는 복잡도가 높은 시스템이므로, 사이버 위험관리프레임워크 기술을 적용하여 전순기에 걸쳐 보안 항목이 지속적으로 관리될 수 있도록 설계되어야 함



출처: 미국표준기술연구소

[그림 Ⅵ-122] 사이버 위험관리 프레임워크 개념도

버티포트 에너지 최적화 기술 연구개발전략

● 버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술

– 배터리 기반의 심야전기 저장, 태양열/풍력 재생발전, 수소연료전지 등 다양한 에너지원과 수전을 통합 운용

- 전기버스, 전기트럭의 고속 충전을 위한 400kW급 고속충전설비 상용화가 시작되고 있으나 수냉방식으로 충전 케이블의 무게와 길이에 제한이 있어, UAM에서 고려하고 있는 1MW급 충전을 위한 추가 기술개발 필요
- 기체당 100kWh 이상일 것으로 추정되는 배터리를 버티포트 전력망에 연결하여 통합 운용하는 V2V(vehicle to vertiport) 기술 개발
- 수소연료전지를 이용한 피크 전력 보완, 재생발전 전기의 저장 등을 위한 시스템 기술 개발

● 버티포트 에너지 소모 최적화 기술

– 버티포트에서 소모해야 하는 다양한 전력수요를 분석하고 이를 다수 버티포트와 연동하여 관리할 수 있는 기술개발

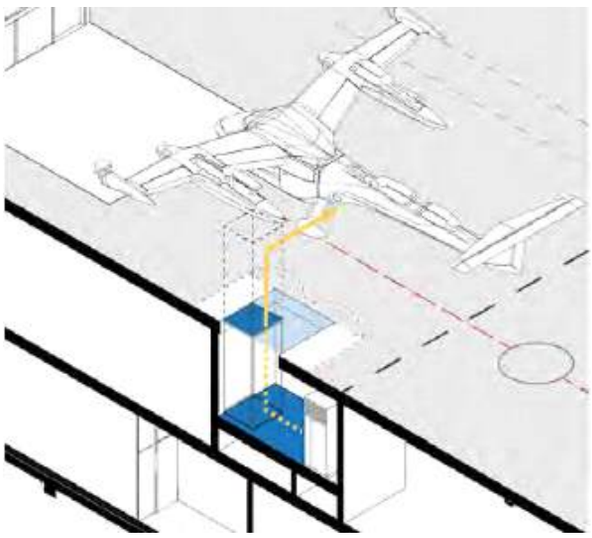
- 버티포트 자체 운용, 버티포트 환승을 위한 전기차, 전기스쿠터, 전기킥보드 등의 전력사용을 관리하여 통합 에너지 소모를 최적화할 수 있는 기술개발
- 다수 버티포트와 지역 전력망을 통합 관리하여 추가 발전소요량(추가 발전소 건설 수요 최소화)을 최적화할 수 있는 기술개발

고전압 고신뢰 버티포트 충전 시스템 연구개발전략

● 호환형 고전압 급속충전 설비 경량화 및 자동화 기술/배터리 교체 시스템 및 프리컨디셔닝 기술

– 수냉식 400kW급 전기자동차 충전용 기준과 장비가 상용화 단계이며 1MW급 충전을 위한 산업표준과 기술개발 예정

- 전기자동차 산업에서 사용하고 있는 수 종의 충전단자 규정과 같은 혼선을 피할 수 있는 UAM용 충전단자 산업표준화 우선 추진 필요
- 기존 도심 건물에 공급되는 220V나 380V 전력을 이용한 고속 충전설비 기술개발
- 충전설비 자동화 이전 충전설비에서 기체까지 수작업으로 충전케이블을 연결할 수 있도록 충분히 긴 고전압 경량 충전케이블 기술개발
- 로보틱스 기술 등을 적용한 충전단자 무인자동화 연결 기술 개발



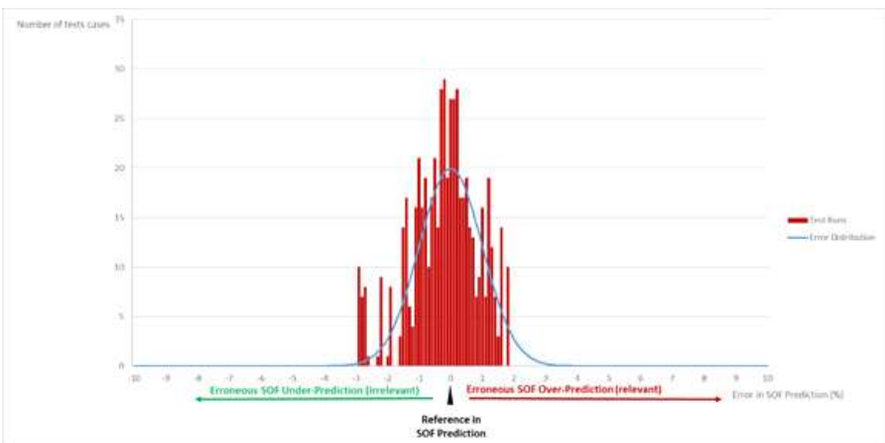
출처: Uber ConnectEvolved 보고서(2019)

[그림 Ⅵ-123] 버티포트 충전 자동화 개념도

● 기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술

– 배터리 사용 여부(SOF 등)를 판단할 수 있는 기술 개발을 통해 배터리 관리 및 조종사에게 정확한 정보 전달 기술 확보

• 국내 배터리 전문기업과의 협력을 통한 배터리 상태 예측 및 측정 기술 개발



출처: EUROCAE ED-289(초안)

[그림 Ⅵ-124] SOF 예측기술 개발 사례

라. 버티포트 보조설비 시스템 분야 기술로드맵

■ 버티포트 보조설비 시스템 분야의 단계별 기술개발 목표

● 상용통신 기반 버티포트 통신 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 위험 평가를 통해 버티포트 통신 시스템 계층별 사이버 보안 정책 및 기술 선정
- 상용통신 네트워크 적합성 평가를 통한 디지털 통신 방안 구체화 및 알고리즘 설계
- 운항통제를 위한 다양한 정보(CNSi 등) 획득 및 관리시스템 구축

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- UAM 기체 자동·자율화에 따른 대용량 데이터 공유가 가능한 통신시스템 구축
- 사회 주요기반시설 수준의 고도화된 사이버보안 정책 수립

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 6G 등 미래형 통신기술 기반의 UAM 통신체계 구축
- 사이버보안 기술 발달에 따른 시스템 유지 및 개량

● 버티포트용 에너지 최적화 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 다양한 UAM 기체에 대한 충전 스팩 분석을 통해 에너지원 최적화 설계
- 고밀도, 고안전 ESS 및 전력사용 극대화를 위한 시스템 개발
- 단일 버티포트 에너지 관리 최적화 기술 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 친환경 기반 저에너지 소모 및 고안전형 에너지 최적화 기술 개발
- 단일 버티포트 에너지 관리 최적화 시스템 실증 및 적용
- 지역 전력망과 연계한 다수 버티포트 에너지 관리 최적화 시스템 기술 개발

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 지역단위의 다양한 에너지원을 통합한 에너지 관리 시스템 적용
- 지역 전력망과 연계한 다수 버티포트 에너지 관리 최적화 시스템 실증 및 적용

● **고전압 고신뢰 버티포트 충전 기술**

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 한국형 UAM 기체 충전설비 구축 및 운용 기준 마련
- 수백 kW급 급속충전 설비 기술 개발
- 버티포트 충전장비의 무인자동화 기술 개발
- 배터리 성능·수명관련 기술기준 수립 및 예측 기술개발
- 교체형 배터리 관리, 보관 등을 위한 규정화 및 기술개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 버티포트 충전장비의 무인자동화 시스템 적용 및 운용
- 배터리 성능·수명 예측 및 진단 솔루션 개발 및 실증
- 교체형 배터리 관리, 보관 시스템 적용 및 운용

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 배터리 성능·수명 예측 및 예방정비 기술 개발

버티포트 보조설비 시스템 분야 세부기술로드맵

● 총 3건의 중점기술과 그에 따른 10건의 세부기술개발이 추진되어야 함

〈표 Ⅵ-71〉 버티포트 보조설비 시스템 분야 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
버티포트 에너지 최적화 기술	버티포트 에너지원(재생, 저장, 수전) 최적화 기술	고밀도 고안전 ESS 및 전력사용 극대화를 위한 PCS(전력제어장치) 기술														
		다양한 에너지원(재생, 연료전지, 수전) 기반의 저에너지 소모 및 고안전형 에너지 최적화 기술														
		도시전력망(스마트그리드) 연계형 광역 버티포트 에너지 최적화기술														
	버티포트 에너지 소모 최적화 기술	단일 버티포트내 UAM 기체, 전기차, 운용설비의 에너지 관리 시스템 기술														

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
	버티포트 에너지 소모 최적화 기술	지역 및 도시단위의 다수 버티포트 에너지 소모 최적화 기술							■	■	■	■				
상용통신 기반 버티포트 통신 시스템	버티포트 근접 운항 통제를 위한 상용망(5G 등) 기술을 활용한 무선통신 네트워크 기술	5G 이동통신 네트워크 적합성 시험을 통한 통신사업자과 버티포트 Server간 알고리즘 구축	■	■	■	■	■									
		버티포트 및 운항경로에 대한 CNSi획득 및 UAM관리시스템구축	■	■	■	■	■									
	버티포트 통신 사이버보안 기술	전파 간섭 없이 기체 운용 가능한 통신설비 구축	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
		버티포트 운영에 대한 사이버 보안시스템 구축	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
		EMP(Electronic-MagneticPulse Protection)기술적용	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
고전압 고신뢰 버티포트 충전 시스템	호환형 고전압 급속충전 설비 경량화 및 자동화 기술	공냉형 MW급 급속 충전 핵심 기술						■	■	■	■					
		고전압 급속 충전의 안전성 및 신속성 확보를 위한 자동화기술						■	■	■	■					
		충전장비 산업 표준화							■	■	■	■				
	기체 배터리 수명 진단 및 관리 기술	ESS(Energey Storage System) 구축을 위한 BMS(Battery Management System) 구축									■	■	■	■		
		기체 배터리 정보 후처리를 통한 수명 및 정비수요 예측 기술										■	■	■	■	
	배터리 교체 시스템 및 프리컨디셔닝 기술	버티포트 연계형 배터리 교체 시스템										■	■	■	■	■
		UAM용 급속 및 비접속식, 교체식 충전기술										■	■	■	■	■
		배터리 프리컨 디셔닝 기술										■	■	■	■	■

4. 특화도시 기술로드맵

가. 기술 정의 및 구성

기술정의

● 버티포트 특화형 스마트 시티 기술

– **(디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술)** UAM 교통체계가 적용·운영되는 도시의 3D 모델링을 기반으로 UAM 운용 환경과 관련된 항로, 경관, 소음, 바람 등 미세기후 같은 현실 데이터를 가상공간에서 분석 시뮬레이션하고 그 결과를 피드백하여 문제를 해결하는 기술

– **(UAM 융복합형 스마트시티 조성(교통체계, 시설물, 도시운영관리 등) 기술)** UAM의 진출입, 이착륙, 환승 연계 등 버티포트와 UAM 교통체계가 정상적으로 작동 및 운용이 가능하도록 도시내 스마트 교통체계, 통신, 에너지, 디지털도로, 센서 등 도시기반 시설물, 안전· 방재· 환경· 공공서비스· 디지털트윈 같은 도시 운영·관리를 위한 기존 스마트 시티 플랫폼과 UAM 관련 기술들을 융복합하는 기술

기술구성

● 디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술

– 특화도시 디지털트윈 플랫폼 구축 기술

• UAM 교통체계가 적용·운영되는 도시의 3D 모델링을 기반으로 UAM 운용 환경과 관련된 항로, 경관, 소음, 바람 등 미세기후 같은 현실 데이터를 가상공간에서 분석 시뮬레이션하고 그 결과를 피드백하여 문제를 해결하는 기술

• UAM 특화형 도시계획 수립 및 인허가 활용을 위한 UAM 항로의 소음·바람 등 환경 영향 등 사전분석 및 버티포트 등 UAM 인프라의 입지· 경로 적정성 검증 시뮬레이션 기술

– 특화도시 내 UAM 기체 소음·바람 등 환경영향 데이터 3차원 모델링 기술

• 도시 내 UAM의 경로, 빈도에 따른 기체 소음·바람에 대하여 도시 내 환경영향을 분석하고 분석결과를 디지털트윈 기술을 활용하여 3차원으로 모델링 및 가시화하는 기술

– UAM 특화도시내 환경영향 분석기술

• UAM 특화도시내 소음·바람 등 환경요소의 계획 기준 및 요구도와 도시내 UAM의 경로, 빈도 등 운항 관련 적합성 판별을 위한 환경영향 분석 기술

• 특화도시 조성이후 운영·관리차원에서 신규 건축·시설물 등 개발에 대한 UAM 인프라의 입지·경로 적정성 검증 및 UAM 관련 소음·바람·항로 영향에 대한 회피 방안 제공 기술

〈표 Ⅵ-72〉 도시내 용도지역별 소음 기준

구분			환경기준 [dB(A)]	구분			환경기준 [dB(A)]
일반 지역	전용주거	낮	50	도로변 지역	주거	낮	65
		밤	40			밤	55
	일반주거	낮	55		상업	낮	70
		밤	45			밤	60
	상업	낮	65		공업	낮	75
		밤	55			밤	70
	공업	낮	70				
		밤	65				

출처: 환경부

〈표 Ⅵ-73〉 특화도시 분야 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
버티포트 특화형 스마트 시티	UAM 융복합형 스마트시티 조성(교통체계, 시설물, 도시운영관리 등) 기술	• UAM 스마트시티 플랫폼 구축 • UAM 스마트시티 인프라 결합 • UAM 스마트시티 솔루션 제공
	디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술	• UAM 특화도시 디지털트윈 구축 및 기체 소음·바람 3D modeling • 도시 내 UAM 기체 소음·바람 요구도 및 환경영향 분석

● UAM 융복합형 스마트시티 조성(교통체계, 시설물, 도시운영관리 등) 기술

– 기존 스마트시티 플랫폼의 고도화 및 도시운영관리 솔루션 기술

• 기존 스마트시티 플랫폼의 고도화를 통한 UAM 기술·운항체계 등 플랫폼 융복합 기술

• 도시내 안전·방재·환경·공공서비스·디지털트윈 활용 등 도시운영·관리 솔루션 기술

– UAM 교통체계·인프라 융복합 기술

• 버티포트와 UAM 교통체계가 스마트시티 내에서 정상적으로 작동 및 운용이 가능하도록 도시내 스마트 교통체계(MaaS) 계획·운영 기술

• UAM의 진출입, 이착륙, 환승 연계 등 버티포트와 도시내 통신, 에너지, 디지털 도로 등 도시인프라를 융복합하는 기술

나. 기술동향 분석

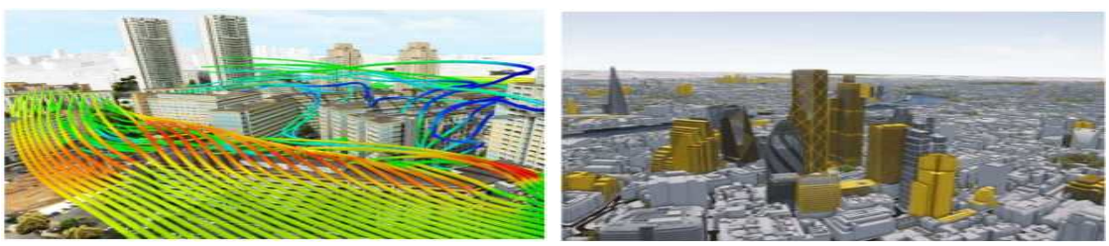
■ 버티포트 특화형 스마트시티 기술동향

● 디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음·바람 영향 분석 기술동향

– (국내 동향) 서울시, 인천시 등 지자체 구축 및 LH 등의 개발사업 지구 단위로 구축

• 서울시는 21년 상반기 중 디지털트윈 구축 완료 예정, 인천시 관내 3차원 공간지도는 구축된 상황으로 UAM 등 관련 분석을 위한 플랫폼 시스템 구축 R&D사업 진행중

– (해외 동향) 싱가폴 등은 국가차원에서 도시의 디지털트윈을 구축·활용



출처:Wired 출처:PlaceTech

[그림 Ⅵ-125] Virtual Singapore Project(좌), VU. CITY의 런던 3D 모델(우)

● UAM 융복합형 스마트시티 조성 기술에 대한 국내외 기술·정책 동향

– (기술동향) 국내 및 해외 스마트시티는 현재까지 UAM 자체에 대한 특화보다는 MaaS 차원에서 스마트시티 운영 플랫폼내 공유택시, 무인셔틀 등 자율주행차, 마이크로 모빌리티 같은 신교통수단으로써 향후 반영해야할 기술로 논의

– (국내) 3기 신도시 등 신규 공공택지의 스마트시티 계획 연계와 관련하여 UAM 교통체계의 적용 등 스마트시 기술의 고도화 및 관련 신규 기술 확보 추진, 정부, 지자체, 관련 기관과 거버넌스 구축 등 UAM 특화형 스마트시티 적용 검토 중

• 인천시 UAM 실증특화도시 협약('20.11, 인천시-LH-인천국제공항공사-인천경제청-인천도시공사)

• 3기 신도시 스마트시티 기본전략 및 적용방안 수립 용역('21.3, LH)을 통해 UAM 등 신교통 수단등 신도시 스마트시티 기술·서비스 선정 및 적용 기술 개발 등 전략수립 방향 제시

– (해외) 미국·유럽 및 싱가포르 등은 공항주변 버티포트 설치 및 국가차원의 스마트시티 조성 및 실증, 리빙랩 사업을 추진하고 있으나 현재까지 UAM 기술에 대한 융복합 및 기술이 반영된 도시계획 차원의 가시화된 프로젝트는 없는 상황

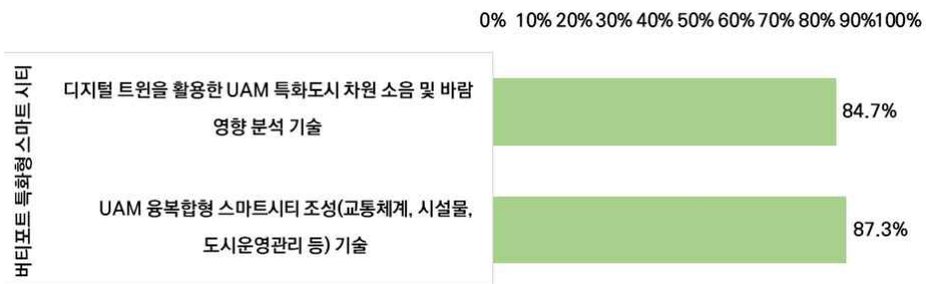
• 현대차가 싱가포르 주롱산업구역내 글로벌혁신센터를 조성중이나 UAM에 특화된 도시차원 프로젝트는 아님

다. 기술수준 및 연구개발전략

■ 특화도시 분야 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 특화도시 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 특화도시 분야의 기술은 세계적인 수준에 근접한 것으로 나타남



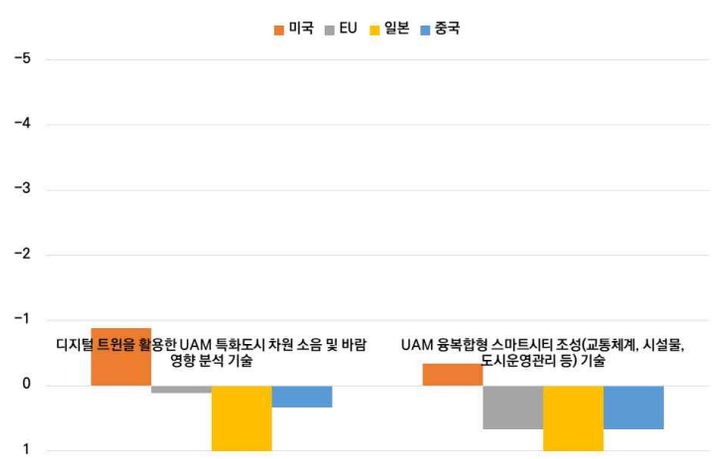
[그림 Ⅵ-126] 특화도시 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 특화도시 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

– 미국과는 1년 내외의 기술격차가 있는 것으로 나타나나 그 외 국가들과는 큰 차이가 없거나 국내 기술수준이 더 높은 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-74〉 특화도시 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
버티포트 특화형 스마트 시티	디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술	-0.89	0.11	1.67	0.33
	UAM 융복합형 스마트시티 조성 (교통체계, 시설물, 도시운영관리 등) 기술	-0.33	0.67	2.00	0.67



[그림 Ⅵ-127] 특화도시 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 특화도시 분야 국내 산업역량

– 특화도시 분야의 기술은 높은 수준의 산업역량을 보유한 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-75〉 특화도시 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
버티포트 특화형 스마트 시티	디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술	LV 3(독자생산)
	UAM 융복합형 스마트시티 조성 (교통체계, 시설물, 도시운영관리 등) 기술	LV 4(세계시장진출)

● 특화도시 분야 국내 기술개발 역량

– 모든 세부기술이 기초/응용연구수행이 가능한 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-76〉 특화도시 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

주요분야	세부기술	국내기술개발 역량
버티포트 특화형 스마트 시티	디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM 융복합형 스마트시티 조성 (교통체계, 시설물, 도시운영관리 등) 기술	LV 3(기초/응용연구수행)

버티포트 특화형 스마트시티 기술 연구개발전략

● **(UAM 융복합형 스마트시티 조성(교통체계, 시설물, 도시운영관리 등) 기술)** UAM에 특화된 스마트시티 조성을 위하여 기존 스마트시티 기술의 고도화를 통해 UAM 운용체계가 결합된 도시 계획·조성 및 관리·운영과 관련한 혁신기술개발 필요

– UAM 특화형 스마트시티 기본방향 설정 및 융합대상 스마트시티 기술·서비스 리스트 작성

– UAM과 스마트시티 플랫폼 융복합 관련 기술·서비스 적용 기준과 사업 계획 수립

– UAM 특화형 스마트시티 적용 관련 기술·서비스의 운영·관리 방안 및 단계적 확산 전략 수립

– UAM 특화형 스마트시티 기술·서비스 도입·적용에 따른 물리적 공간구조의 변화 검토

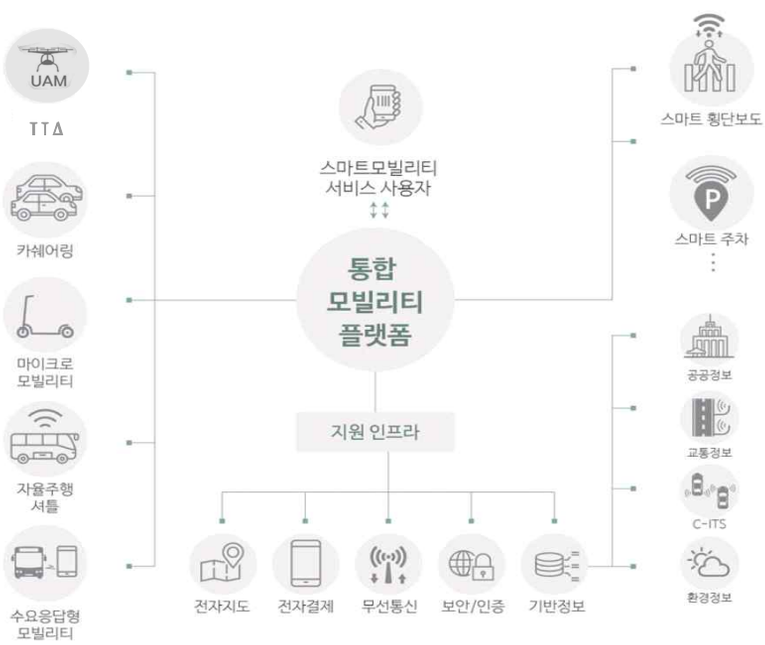


출처: LH, 해외 스마트시티 수출 모델 개발 관련 내부자료, 2020

[그림 Ⅵ-128] 스마트시티 고도화 및 UAM 특화 전략

– UAM과 버스, 철도, 택시, 카셰어링 등 다양한 교통수단을 연계한 MaaS 등 스마트 모빌리티 플랫폼 구축 연구 등을 통해 스마트시티 솔루션 기술 개발 및 고도화

• ICT 기술을 통해 UAM 교통체계와 도시내 인프라 간 상호 연계를 통해 스마트시티 데이터를 효율적으로 통합 관리하여 도시내 UAM을 활용한 스마트시티 신서비스를 창출하고 신산업 발전과 연계



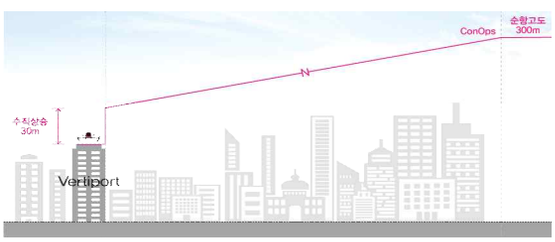
출처: LH, 스마트시티 플랫폼 관련 내부자료 재구성, 2020

[그림 Ⅵ-129] UAM 통합 모빌리티 플랫폼 (예시)

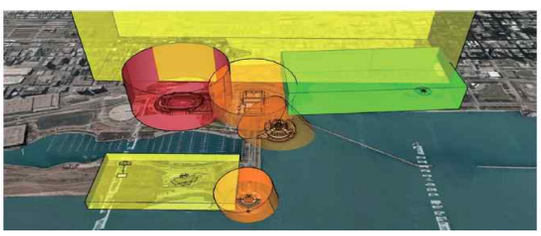
● **(디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술)** 디지털트윈 3D 모델링 및 시뮬레이션과 도시 요구도 특화계획 수립을 통해 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술 개발

– (디지털트윈 3D 모델링 및 시뮬레이션) ConOps에 따른 고도제한, 공중회랑 및 입체 공중이용계획, 소음·바람 등 환경영향의 3D 모델링 및 시뮬레이션 결과의 디지털트윈 플랫폼 탑재

- 도시내 UAM 기체의 운항 경로와 빈도수에 대하여 기체 소음 영향 데이터를 분석하여 3차원 모델링 및 도시 내 이착륙구간 소음 피해 저감방안 제시 등 K-ConOps 설정 기준 마련
- 도시내 주요 바람통로 및 도시풍 발생지역을 파악하고 UAM 운항으로 인한 미기상의 변화 등에 대하여 기상모델을 활용하여 분석하여 결과 시각화 및 저감방안 제시



출처: LH 내부자료, 2021

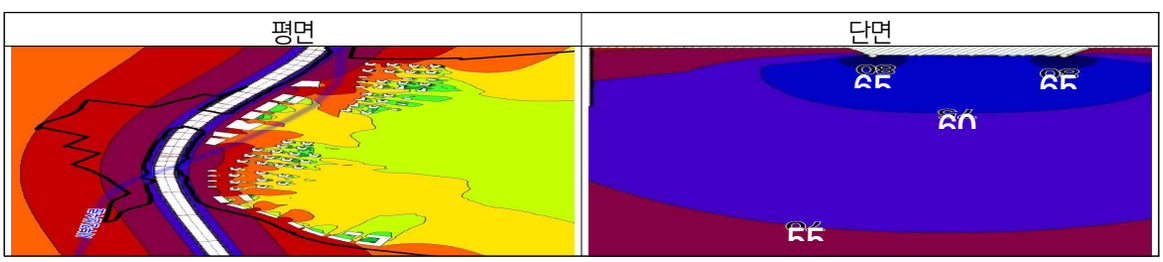


출처: 서울의미래, 도전받는 공간, 서울연구원, 2016

[그림 Ⅵ-130] 도심버티포트와 ConOps에 따른 건축공간 간섭영향 시뮬레이션(좌), 드론을 위한 입체공중이용계획(우)

– (도시 요구도 및 특화계획 수립) UAM 특화도시내 환경수준 요구도 및 비행경로, 버티포트 입지의 적정성 등 검토, 지역 내 버티포트 수 및 입지 등에 대한 최적 대안 결정시 디지털트윈을 활용하여 분석결과 도출

- 지역 인구분포를 고려하여 버티포트 위치 선정에 직접적으로 활용할 수 있고 UAM을 사용한 이동시간 계산, 소음에 노출되는 인구수, 소음 축소를 위한 UAM 항로 계획 등에 활용 가능
- 도시 내 UAM 기체 항로 주변 신축 건축물 계획·설계 시뮬레이션을 통한 도시·건축 계획 측면 관리를 위한 가상 테스트 베드로 활용
- 사전 환경성 검토, 환경 영향성 평가 등 특화도시 조성을 위한 인허가 진행시 분석 결과 활용



출처: 신도시 조성시 고속도로 소음 모델링 및 영향분석 가시화 자료를 통해 UAM 소음영향 예시자료 재구성, LH 내부자료, 2021

[그림 Ⅵ-131] UAM 항로 주변 소음 모델링 (예시)

라. 특화도시 분야 기술로드맵

■ 특화도시 분야 단계별 기술개발 목표

● 버티포트 특화형 스마트 시티

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- **(UAM 특화형 스마트시티 도시계획 기술·기준)** UAM 운항의 안전성, 지역사회 수용성, 접근성, 확장성 등을 고려한 도로·철도 등 도시공간의 골격 및 구성 체계, 토지이용 등 도시계획 수립을 위한 계획·설계 기술·기준과 가이드라인 마련 및 ConOps(운항기준)을 감안하여 UAM 기체 운항의 안전성 확보 및 건축물 등의 고도제한, 간섭 등 영향 발생 등이 적은 지역으로 선정하기 위한 버티포트 입지선정 기술 개발

- **(UAM 특화형 스마트시티 인프라 개발)** UAM 기체의 도심 운항과 관련한 버티포트 등 수직이착륙장 및 철도, 버스, 공유택시, 무인셔틀, 자율주행차 같은 스마트모빌리티 등 광역교통차원의 연계를 위한 복합환승시설의 개발과 접근, 환승 편의성 확보를 위한 계획 가이드라인 마련과 UAM 주기장 및 MRO관련 시설, UAM 운항 관련 데이터의 수집·분석을 위한 빅데이터센터, 5G 등 UAM 전용 통신 인프라, 전기·수소 충전 등 에너지 관련 시설, 기타 관제·방재 등과 관련한 시설의 개발과 도시공간상 도입·배치

- **(UAM 특화도시 디지털트윈 구축 및 환경영향 요소 3차원 모델링)** UAM 특화도시의 디지털트윈 구축 및 UAM 기체의 항로, 빈도수, 소음, 바람(미세기후)의 환경영향 관련 3D 모델링 기술 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- **(UAM 특화형 스마트시티 솔루션 개발)** 도시 빅데이터 및 ICT 기술을 활용한 스마트시티 솔루션 기술의 고도화를 통하여 UAM 운항 안전성과 시민 이용에 편의성, 응급의료·방재 대응, UAM 및 도시 인프라의 효율성 등을 높일 수 있는 UAM에 특화된 도시서비스 기술 개발, UAM 및 충전시설과 관련한 연료전지 등을 활용하여 5G통신 및 ICT·자동제어기술과 연계를 통해 스마트시티 내 분산된 소규모 발전설비를 가상발전소(VPP)로 통합·운영 및 각종 재난이나 응급의료 등 필요시 스마트시티내 도시데이터, 도시 디지털트윈과 연결을 통해 UAM을 활용할 수 있는 UAM 특화형 스마트시티 솔루션 개발

- **(UAM 특화형 스마트시티 플랫폼 개발)** UAM 운항과 제반 도시혁신 요구도를 스마트시티의 교통, 안전, 환경, 에너지, 통신, 공공시설, 생활SOC 등 도시의 공간, 시스템, 서비스 플랫폼에 적용시키는 고도화 기술

- **(환경영향 분석 기술 및 저감방안 등 도시조성 계획·기술 개발)** 특화도시내 UAM 비행경로,

소음, 바람 등의 도시내 환경영향 가시화 및 분석 기술 개발, UAM 관련 환경영향 등 3D 모델링 요소의 특화도시 디지털트윈 탑재, UAM 항로와 도시·건축 계획 간섭여부 확인 및 환경영향 저감방안 등 관련 계획의 조정을 위한 디지털트윈 시뮬레이션을 통해 UAM 운항에 특화된 도시계획·설계 기술·기준과 가이드라인 수립

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- **(UAM 특화형 스마트시티 플랫폼 고도화 및 도시 운영·관리)** UAM 운항이 도시내 스마트 교통 서비스로 안착되어 철도, 버스, 택시, 차량공유, 마이크로모빌리티 등과 연계 같은 MaaS 차원의 스마트시티 플랫폼 운영·관리 기술의 고도화, 디지털트윈 기술을 활용한 UAM 운항상 항로 안전성 모니터링, 도시·건축 개발 저촉여부 검증 및 소음바람 등 환경영향에 대한 사전 시뮬레이션 등 스마트시티 플랫폼의 도시관리·운영 기술 개발 및 고도화
- **(UAM 특화형 스마트시티 및 국내 기체 패키지형 수출 모델 개발)** 스마트시티 해외 수출모델에 UAM 특화도시 계획 및 도시관리·운영 체계 반영, 국내 UAM 기체와 한국형 스마트시티가 해외시장에 동반 진출할 수 있는 패키지형 수출모델 개발
- **(UAM 특화도시 디지털트윈의 스마트시티 플랫폼 결합)** 특화도시의 관리·운영 측면에서 디지털트윈을 통한 UAM의 교통서비스 차원의 연계, UAM 항로의 안전성 유지 관련 도시내 건축·시설물의 신규 개발 계획 간섭여부 및 소음 등 환경영향의 사전검토 등에 활용할 수 있는 스마트시티 플랫폼 고도화 기술 개발

특화도시 분야 세부기술로드맵

● 총 1건의 중점기술과 그에 따른 2건의 세부기술개발이 추진되어야 함

〈표 Ⅵ-77〉 특화도시 분야 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
버티포트 특화형 스마트 시티	UAM 융복합형 스마트시티 조성(교통체계, 시설물, 도시운영관리 등) 기술	UAM 특화형 스마트시티 플랫폼											■	■	■	
		UAM 특화형 스마트시티 인프라 구축									■	■	■			
		UAM 특화형 스마트시티 솔루션										■	■	■		
	디지털 트윈을 활용한 UAM 특화도시 차원 소음 및 바람 영향 분석 기술	UAM 융합형 디지털트윈 기체 소음·바람 3D modeling 기술								■	■	■	■			
		UAM 기체운행에 따른 도시내 요구도 및 환경영향분석 기술										■	■	■		

제4절 서비스 부문 기술로드맵

1. 서비스 부문 총괄

가. 서비스 부문의 정의 및 필요성

■ 기술 정의

● 새로운 도심항공교통 수단으로서 운송·운용시스템 구축, 안전한 운항을 위한 운항정보 공유, 효율적인 정비시스템 구축 등 안전하고 경제적인 UAM 생태계 구축에 요구되는 기술

– **(운송·운용시스템)** UAM 운송사업자가 사업을 영위하기 위한 인력과 조직, 그리고 사업계획/전략과 이를 뒷받침할 각종 운송·운용 인프라(사업장, 자본, IT, 각종 시스템) 및 기술

– **(운항정보 수집분석 및 공유 시스템)** UAM의 안전한 운항 및 사용자 편의성을 증진시키기 위해 도심 데이터가 실시간으로 연계되는 3차원 BaseMap 구축을 통한 지도 및 기상정보 등 운항 보조정보 공유 기술

– **(운영자격 체계)** UAM 종사자(조종사, 관제사, 정비사, 이착륙장 운용자, 운항사 등) 자격제도와 운송사업자 인허가 법/제도 및 UAM 종사자의 인력체계 구성을 위한 기술

■ 기술 범위

● 운송·운용 시스템

– UAM 운송사업자가 그 사업을 영위하기 위해서는 인력과 조직, 그리고 사업계획/전략과 이를 뒷받침할 각종 운송·운용 인프라 구축

– UAM 운용안전성 향상을 위해 조종사의 업무부담을 감소시키는 UAM 조종 단순화/자동화 기술

– 악천후, 야간 등 비행환경에서도 UAM 운항이 가능하고, 조종사 피로도를 저감할 수 있는 단순하고 자동화된 조종편의 기술

– 시스템 고장정보 데이터베이스 구축을 통해 정확하고 신속한 정비서비스 제공 기술

– 인공지능 기술을 활용한 기체 부품·시스템 고장 등 이상징후 사전탐지 및 정비 기술

● 운항정보 수집분석 및 공유 시스템

– 도심 데이터(영상, 객체, 기상 등) 취득을 통한 3차원 지도구축·제공 서비스 기술

• 도심 데이터 취득을 통한 3차원 지도구축 및 구체화

- 비행경로 설정에 따라 장애물 등 사고발생 요소를 사전에 감지할 수 있는 데이터 기반의 비행 시뮬레이션 기술 개발

– UAM의 운항고도와 현존 또는 발생 가능한 장애물 관리를 위해 UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계 구축

- 지차제의 건축물대장 DB와 연계
- 운항안전성 검토 대상여부 인지 시스템 개발

– 도심기상정보 수집/공유를 위해 UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로 설정 모듈 개발

- 저고도 빌딩숲에서의 대기흐름, 안개, 비, 눈 등을 예측하여 UAM 운항의 안전을 극대화하며 동시에 에너지소모를 최소화하는 비행항로 설계
- 기상관측데이터, 기상예측툴 [예시: Weather Research Forecast (WRF)], 도심건물/대기경계층해석 프로그램을 통합하여 거시지역 및 장기예측이 가능한 플랫폼 개발
- UAM 기체 크기보다 작은 와류(gust)까지 계산이 가능한 고해상도 기상예측 툴을 multi-nesting 기법을 이용하여 10m 혹은 그 이하의 scale까지 공기흐름 계산 가능한 통합툴 개발

● 운용자격 체계

– 사업 진입(업계자율, 인허가, 신고 등), 사업 유지 조건(안전수칙 등) 등에 관한 규제 및 기준

- 현행 법령 연구 (항공운송사업법, 항공안전법, 항공보안법 및 하위 관계 법령)
- UAM 사업에 맞는 관련 법, 시행규칙, 시행령/고시(안) 마련 및 교통관리사업자 인허가 법/제도 연구
- 교통관리사업자 인/허가 이후 지속적인 안전관리를 위한 안전관리시스템(SMS) 개발과 교통관리시스템 인증기술 개발

– 조종사, 정비사, 관제사 등의 운영인력 교육/훈련 및 인증, 관리를 위한 제도 수립

기술개발 필요성

● 신개념 도심항공모빌리티의 안전하고 편리한 운송·운용 서비스를 위해 서비스 초기 예약서비스, 운항관리, 수화물 안전 등 운항사 운영시스템 국내개발이 필수적

– 현재 항공사의 운영시스템은 전량 외국산 제품을 사용하면서 다양한 항목의 비용을 지출중이며, 시스템 도입과정에서 상당한 비용의 구축비용을 항공사가 부담하는 등 매년 유지보수 비용과 시스템 개선을 위한 상당한 비용 지출

- 외국 업체에 지불하는 일련의 비용은 국부유출임과 동시에, 항공사의 원가를 상승시키는 요소로 작용

- 더불어, 운항사 내부 시스템은 승객의 개인정보를 다룰 뿐만 아니라 국가기관들과의 정보연계를 통해 보안대책 및 테러방지 차원의 조치들을 선제적으로 적용해야 하므로 국내법규정에 정통한 국내업체의 주도 필요

- 탑승객 소유의 수하물이 아닌 위탁 수하물을 처리하기 위해서는 수하물 관련 정보가 시스템을 통해 공유되어 이해관계자간 실시간 공유가 필요

- 이 과정에서 발생 가능한 Human Error를 줄이고 효율을 높이기 위해서는 전과정 혹은 대부분의 과정이 자동화로 진행될 필요가 있으며, 수하물의 특성에 맞는 적정한 보호장치를 갖출 필요가 있음

● UAM 조종사 업무저감 기술은 단계별 시나리오 중 자율비행과 연계되며 조종사가 탑승하여 조종하는 초기 상용화 단계에서의 조종사 업무부담을 감소시켜 운용안전성을 향상시킴과 동시에 조종단순화(SVO) 기술은 UAM 자율비행과 직접적으로 연계된 이유로 기술개발이 필요

- 악기상 및 야간비행 제한으로 운용성 제약 이슈는 이용자의 편리성과 사업자의 수익성 극대화를 위해 에어택시의 전천후 운용이 필요하나, 환경적/기술적/사회적 제약으로 에어택시 운용이 일부 환경조건 또는 운용 시간대가 제약될 수 있으므로 기술적 극복 필요

● MRO 이슈는 안전한 도심항공모빌리티 서비스 제공을 위해 필요한 에어택시의 감항성 유지와 직접적으로 관련된 이슈로서, MRO 조직, 자격기준, 장소 및 정비등급, 감독기관 등의 제반 MRO 감독 및 관리 체계에 대한 법규제 정비와 지능형 정비기술 필요

● 안전한 운항 및 사용자 편의성을 증진시키기 위해서는 UAM 운항정보가 실시간으로 연계되는 UAM 운항정보 공유 기술이 필요

● 도심에서의 안전한 운용을 위해 UAM의 운용경로 설정, 운용계획, 에너지 효율 등을 고려하기 위해 인공지능(Artificial Intelligence) 기반의 기상 예측 및 경로 설정 모델에 대한 연구가 요구되며, 단계별 시나리오 중 UAM 도심운용을 위한 도심정밀지형과 정밀 기상정보 제공과 연계되며, 운항에 필요한 부가정보 제공을 위한 기술개발이 필요

- UAM의 안전한 운항 및 사용자 편의성을 증진시키기 위해서는 도심 데이터가 실시간으로 연계되는 3차원 BaseMap 구축을 통한 지도서비스 필요하며, 이를 통해 비행경로 등을 설정하여 가상 비행을 하는 등 사전 시뮬레이션을 통해 사고를 예측·감지할 수 있는 기술 필요

- UAM과 유사한 고도에서 운항하는 VFR(Visual Flight Rule)을 따르는 항공기의 경우, 장애물과 1,000ft(또는 1,500ft)를 회피하여 운항하도록 규정이 수립되어 있으며, 장애물 제한표면 관리를 통한 항공운항에 영향을 미치는 공항 주변 장애물 식별 및 관리 필요

- 비행안전과 운임 경제성 향상을 위해 도심기상예측이 필수적이며, 기존 기상관측망은 12km 해상도의 한계점을 가진 관계로 UAM 서비스를 위해서는 보다 업그레이드된 관측시스템과 예측툴의 연계기술이 요구됨

- 저고도 도심기상 예측을 위해 Mixed corridor 비행항로의 기상조건 실시간 예측과 비행안전을 위한 빌딩숲 비행 위험지역 탐지가 필요

- On-demand 자율비행기술 개발을 위한 실시간 고해상도 기상데이터 예측이 요구되며, Big-data를 이용한 고해상도 데이터 예측으로 보다 안전한 비행항로 설계 가능

● UAM 사업자 및 조종사, 정비사, 관제사 등 운영인력 교육/훈련 및 인증, 관리를 위한 제반 요건을 법규제화 필요

- 운송사업체 설립에 필요한 최소한의 요건(자본금, 조직, 사업계획 등)을 법으로 정의함으로써, 면허 발급에 필요한 객관적 기준을 제시해야만 적합한 사업자들의 시장진출 보장 가능

- 사업자로 하여금 운항증명 발급에 필요한 절차를 이해하도록 하고, 법적 기준에 맞는 운송사업계획을 수립할 수 있도록 관련 감독기관으로서 제도적 기준 제시 필요

- 가용 조종사, 정비사, 관제사 등의 인원수를 월등히 초과하는 수요가 발생되어 수급 불균형 우려

- 조종사, 정비사, 관제사 수요 예측을 통해 대학교 및 항공교육기관과 연계한 단기/중기적 수급방안 마련 필요

나. 기술 동향 및 수준

기술 동향

● 운송·운용 시스템 기술 발전 현황

– Joby 등은 수직이착륙 군용기인 헤리어와 F35 전투기의 제어 경험을 바탕으로 고정익기와 회전익기의 제어방식을 통합한 통합비행제어 방식을 제안하여 조종 단순화를 달성

– 전세계 에어택시의 공통적 특징은 전기동력 및 복합소재 구조물로서, 위 특징은 정비 수요를 줄이는 장점도 있지만, 고전압 전기동력 시스템 및 복합소재 구조물의 점검·정비·수리 등의 기술복잡도는 증가 예상

– 비용 효과적인 MRO 서비스 개발을 위해 볼로콥터 등 에어택시 OEM들은 MRO 서비스 사업자, 운항사업자, 감항당국과 협력 중

● 운항정보 수집분석 및 공유 시스템 기술 발전 현황

– 미국 NASA AAM NC 프로그램은 UAM의 안전한 도심운용을 위해 도심 국소 위험기상 정보 수집 및 정보 처리, AI 기반 기상정보를 실시간으로 이해당사자들에게 배포하여 위험기상으로 인한 UAM 사고 미연 방지하는 연구 수행 중

● 운용자격 체계 기술 발전 현황

– 미국의 경우, 2018년 미국 헬리콥터 협회와 North Dakoda는 '18년~'36년 사이에 미국에서만 7천여명의 헬리콥터 조종사와 4만여명의 정비사가 부족할 것이라는 연구 결과를 발표

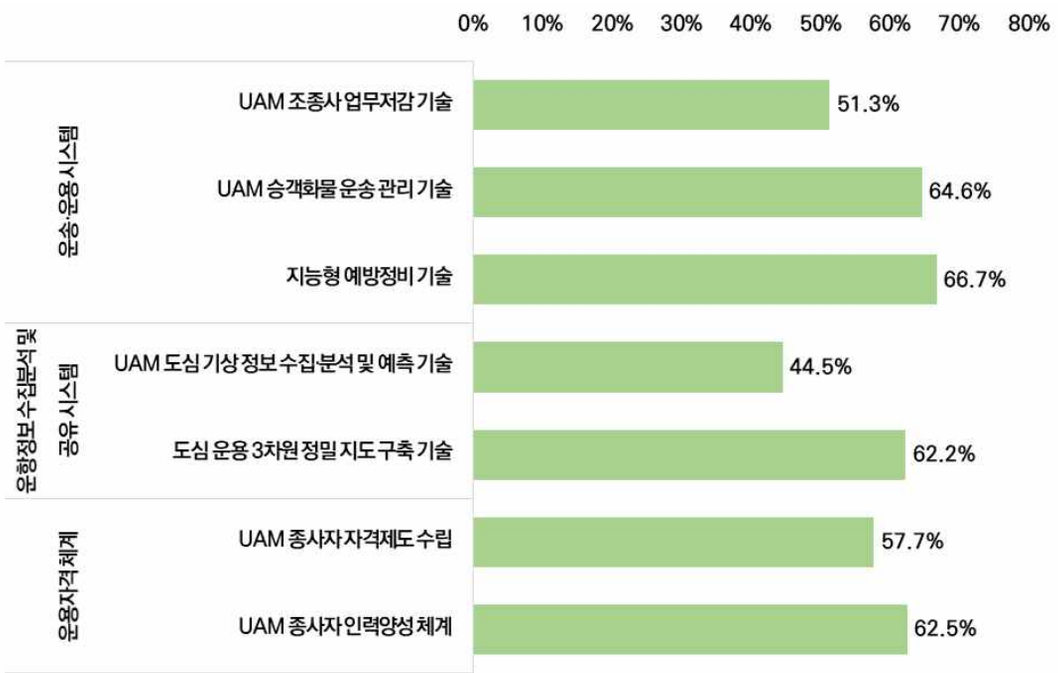
– 신규 회전익기 개발을 위해서는 다수의 회전익기 분야의 엔지니어가 필요하나 정작 회전익기 전문가 교육이가능한 미 정부지원의 Vertical Lift Research Centers of Excellence (VLRCOE)는 연10~20명의 대학원생만을 배출하고 있어 근 시일내 전문인력 부족이 심각할 것으로 예상

– 회전익기 분야의 전문인력(대학원생 이상) 교육을 위해 '21년부터 미 행정부 R&D 투자 우선순위로 지정된 eVTOL 분야에 대한 VLRCOE를 기존 3군데에서 6군데 이상으로 확대하는 방안을 미국내에서 논의 중

서비스 부문 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 서비스 부문 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 서비스 부문 기술 수준은 전반적으로 큰 차이가 없으나, 도심 운용 3차원 정밀 지도 구축 기술이 경쟁력이 다소 낮은 것으로 보고됨



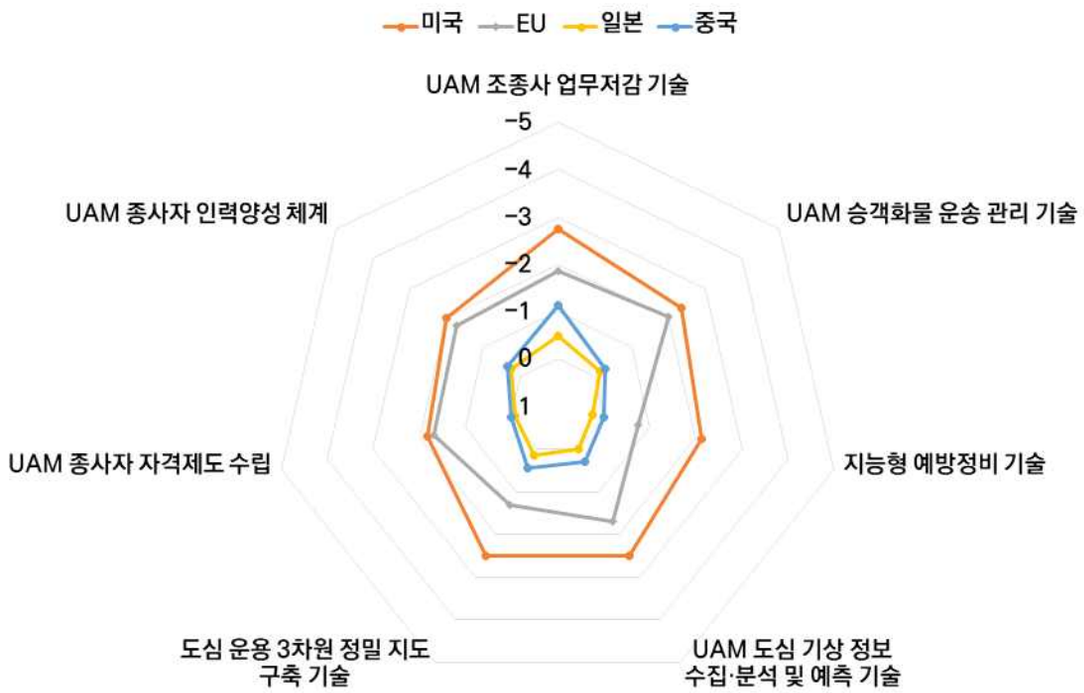
[그림 Ⅵ-132] 서비스 부문 분야 중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 서비스 부문 세부기술별 경쟁국 대비 기술 격차

– 미국과 유럽과의 격차는 2년 내외의 격차가 있으나 일본과 중국과의 격차는 1년 내외로 조사됨

〈표 Ⅵ-78〉 서비스 부문 주요분야-중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

주요분야	중점기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
운송·운용 시스템	UAM 조종사 업무저감 기술	-2.75	-1.88	-0.50	-1.13
	UAM 승객화물 운송 관리 기술	-2.34	-2.02	-0.17	-0.29
	지능형 예방정비 기술	-2.13	-0.75	0.25	0.00
운항정보 수집분석 및 공유 시스템	UAM 도심 기상 정보 수집·분석 및 예측 기술	-2.50	-1.70	0.00	-0.30
	도심 운용 3차원 정밀 지도 구축 기술	-2.50	-1.30	-0.14	-0.44
운용자격 체계	UAM 종사자 자격제도 수립	-1.82	-1.68	0.07	0.00
	UAM 종사자 인력양성 체계	-2.00	-1.75	-0.25	-0.38



[그림 Ⅵ-133] 서비스 부문 주요분야 중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 서비스 부문 국내 산업역량

– 서비스 부문 국내 산업역량은 독자생산은 12건, 전량수입은 3건, 면허생산은 2건으로 보고됨

〈표 Ⅵ-79〉 서비스 부문 국내산업 역량

산업역량	세부기술 수	비중
LV 1(전량수입)	3	17.6%
LV 2(면허생산)	2	11.8%
LV 3(독자생산)	12	70.6%
LV 4(세계시장진출)	0	0.0%
LV 5(세계시장경쟁)	0	0.0%
총계	**17**	**100%**

● 서비스 부문 국내 기술개발 역량기술 수준

– 기초연구수행은 7건, 미착수는 6건, 기초/응용연구수행과 기초/응용/상용화 연구수행이 2건으로 보고됨

〈표 Ⅵ-80〉 서비스 부문 국내 기술개발 역량

기술개발 역량	세부기술 수	비중
LV 1(미착수)	6	35.3%
LV 2(기초연구수행)	7	41.2%
LV 3(기초/응용연구수행)	2	11.8%
LV 4(기초/응용/상용화연구수행)	2	11.8%
총계	**17**	**100%**

● 운송·운용시스템

- UAM 승객·화물 운송관리 기술, UAM 조종사 업무저감 기술, UAM 지능형 예방정비 기술 등 UAM 운송·운용시스템 기술은 미국 NASA AAM NC 프로그램이 선도하고 있으며, 국내 기술은 선도국 대비 약 60% 수준으로 약 2.5년의 기술격차를 보임

- UAM 운항사 운영시스템과 UAM 화물 운송 모니터링기술 등 UAM 승객·화물 운송관리 기술은 면허생산이 가능한 산업역량을 보유하고 있으며 기초/응용연구를 수행 가능한 기술개발 역량 보유

- 조종 단순화/자동화 기술 및 Synthetic Vision 등 UAM 조종사 피로도 저감 기술은 해외로부터 수입에 의존하고 있지만 독자개발이 가능한 역량과 기초연구가 가능한 기술개발 역량 보유

- 데이터 기반 예방정비 기술과 인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술 등 지능형 예방정비 기술은 독자적으로 기술 및 시스템을 구축할 수 있는 역량을 보유하고 있지만 관련 기술개발 연구실적은 없음

● 운항정보 수집분석 및 공유 시스템

- UAM 도심운용 3차원 정밀지도 구축 기술과 UAM UAM 항로 장애물 관리 기술 등 UAM 운항정보 기술은 미국이 세계시장을 선도하고 있으며, 국내 기술은 선도국 대비 약 68% 수준으로 약 2.5년의 기술격차를 나타냄

- UAM 도심운항을 위한 도심 데이터 수집·제공 기술, 3차원 공정정보 생성 기술, 도심 3차원 지도구축 등 도심운용 3차원 정밀지도 구축 기술은 현재 해외로부터 수입에 의존하고 있지만 국내 독자적 개발이 가능한 역량 보유하고 있으며, 관련 기술의 기초연구를 수행하였음 특히, 도심 데이터 수집·제공 기술은 일부 상용화 연구를 수행하였음

- UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계와 UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로 설정 모듈 등 UAM 보조정보 제공 기술은 국내 독자개발이 가능한 산업역량을 보유하고 있지만 관련 기술의 연구개발 실적은 없음

● 운용자격 체계

- UAM 운용자 법·제도와 UAM 종사자 인력양성 등 UAM 법·제도는 미국과 유럽연합(EU)이 선도하고 있으며, 국내 기술은 선도국 대비 약 60% 수준으로 약 2년의 기술격차를 나타냄
- UAM 운송사업자 법인설립· 면허·운항증명 발급에 필요한 법제도 및 교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증, UAM 종사자 자격제도 등 UAM 운용자 법·제도 기술은 미국 FAA와 유럽 EASA를 중심으로 활발하게 진행중에 있으며, 국내에서는 UAM 관련 제도 진행현황을 참고하여 독자적 제도를 수립할 수 있는 역량 보유하고 있으며, 일부 기초연구 수행경험이 있음
- UAM 종사자 교육훈련 체계와 UAM 전문인력 양성센터 구축 등 UAM 종사자 인력양성 기술은 기존 항공종사자 양성시스템과 유사한 방식으로 UAM 인력을 양성할 수 있는 국내 독자적 역량을 보유하고 있으며, 일부 기초연구 수행경험이 있음

다. 서비스 부문 기술로드맵

■ 서비스 부문 단계별 기술개발 목표

● 운송·운용시스템

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• UAM 조종자격 취득 기회 확대를 위한 조종 단순화/자동화 기술 확보

• 운항사 운영 시스템 구축

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• UAM 운항사 운영시스템 구축

• 화물 운송 안전성 확보

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• UAM 야간비행을 통한 운용성 확장

• 인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술을 통한 정비시간 단축 및 정비비 절감

● UAM 운항정보 수집분석 및 공유시스템

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• UAM 도심운용 기반 3차원 공간정보 생성

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• UAM의 안전한 도심운항을 위한 도심 데이터 수집·제공

• UAM 운항을 위한 도심 3차원 정밀지도 구축

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계 구축

● 운용자격 체계

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• 운항 안전성 확보를 위한 UAM 종사자 자격제도 및 전문인력 양성체계 구축

• UAM 운송사업자 법인설립· 면허·운항증명 발급에 필요한 법제도 수립

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• UAM 종사자 자격제도·교육훈련체계 구축

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• 교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증

• UAM 전문인력 양성센터 구축

서비스 부문 기술로드맵

● 총 3건의 주요분야와 그에 따른 16건의 중점기술개발이 추진 되어야 함

〈표 Ⅵ-81〉 서비스 부문 기술로드맵

주요분야	중점기술	세부기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM 운송·운용 시스템	UAM 승객·화물 운송 관리 기술	운항사 운영 시스템 개발	■	■	■											
		화물 운송 Safety 기술				■	■	■	■	■						
	UAM 조종사 업무저감 기술	UAM 조종 단순화/자동화 기술	■	■	■	■	■									
		야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술	■	■	■											
	지능형 예방정비 기술	데이터 기반 예방정비 분석 기술 및 시스템 구축				■	■	■	■	■						
		인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술						■	■	■	■	■				
UAM 운항정보 수집 분석 및 공유 시스템	도심운용 3차원 공역 공간 정보 생성 및 관리 기술	도심 데이터 수집·제공 기술	■	■	■	■	■									
		UAM 도심운용 기반 3차원 공간정보 생성 기술	■	■	■	■										
		UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축				■	■	■	■							
		UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계				■	■	■	■	■						
	UAM 도심기상 정보 수집 분석 및 예측 기술	UAM 도심기상예측과 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발	■	■	■	■	■									
		UAM 특화 기상 정보 관리 시스템			■	■	■	■	■	■						

주요분야	중점기술	세부기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
운용자격 체계	UAM 종사자 자격제도 수립	UAM 특화 법·제도·기준연구														
		교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증기술														
		UAM 종사자 자격제도 구축														
	UAM 종사자 인력양성 체계	UAM 전문인력양성센터구축														
		UAM 종사자 교육훈련체계 구축														

2. 운송·운용시스템 기술로드맵

가. 기술 정의 및 구성

기술정의

- UAM 승객화물 운송 관리 기술
  - **(운항사 운영 시스템 개발)** UAM 탑승예약, 운항정보 교환, 운항관리, 전산시스템 등 UAM 운항사 운영기술
  - **(화물 운송 Safety 기술)** 화물/수하물의 운송을 위탁한 자의 운영 시스템과 UAM 운항사 또는 그에 준하는 사업자의 플랫폼 시스템과의 화물/수하물 관련 데이터 실시간 연계 기술
- UAM 조종사 업무저감 기술
  - **(UAM 조종 단순화/자동화 기술)** 조종사의 상황인지, 의사결정 등의 일련의 절차를 자동으로 수행하여 UAM 조종을 단순화하는 기술
  - **(야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술)** 안전한 조종에 요구되는 비행정보를 가상/증강현실 등으로 구현한 비전시스템 기술
- 지능형 예방정비 기술
  - **(데이터 기반 예방정비 분석 기술 및 시스템 구축)** 수집/생성 데이터 분석을 통해 시스템 상태 모니터링 및 고장예측 및 정비시스템 구축
  - **(인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술)** 딥러닝 기반 UAM 기체의 부품/시스템의 상태감시 및 고장탐지

기술구성

- UAM 운송·운용시스템 분야에는 크게 ① UAM 승객·화물 운송 관리 기술 ② UAM 조종사 업무저감 기술, 그리고 ③ 지능형 예방정비 기술의 세 가지 중점기술로 구분할 수 있음
- UAM 승객·화물 운송관리 기술
  - UAM 운항사 운영 시스템 개발
  - 화물 운송 Safety 기술

- UAM 조종사 업무저감 기술
  - UAM 조종 단순화/자동화 기술
  - 야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술
- 지능형 예방정비 기술
  - 데이터 기반 예방정비 분석 기술 및 시스템 구축
  - 인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술

〈표 Ⅵ-82〉 서비스 부문 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
UAM 승객·화물 운송관리 기술	운항사 운영시스템 개발	• UAM 탑승예약, 운항정보 교환, 운항관리, 전산시스템 등 UAM 운항사 운영기술
	화물 운송 Safety 기술	• 화물/수하물의 운송을 위탁한 자의 운영 시스템과 UAM 운항사 또는 그에 준하는 사업자의 플랫폼 시스템과의 화물/수하물 관련 데이터 실시간 연계 기술
UAM 조종사 업무저감 기술	UAM 조종 단순화/자동화 기술	• 조종사의 상황인지, 의사결정 등의 일련의 절차를 자동으로 수행하여 UAM 조종을 단순화하는 기술
	야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술	• 안전한 조종에 요구되는 비행정보를 가상/증강현실 등으로 구현한 비전시스템 기술
지능형 예방정비 기술	데이터 기반 예방정비 분석 기술 및 시스템 구축	• 수집/생성 데이터 분석을 통해 시스템 상태 모니터링 및 고장예측 및 정비시스템 구축
	인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술	• 딥러닝 기반 UAM 기체의 부품/시스템의 상태감시 및 고장탐지

나. 기술동향 분석

UAM 승객·화물 운송관리 기술동향

● UAM 운항사 운영시스템 개발에 대한 기술동향

– UAM 운항사는 UAM을 운용하는데 필요한 기술로서 UAM 기체 조종사 및 승무원에 대한 관리를 하는 시스템을 고려해야 함

– 조종사 및 승무원을 관리하는 시스템은 조종사 및 승무원의 업무 스케쥴 및 근태를 관리하는 부분에서 업무를 위한 교육 및 최소 자격 취득을 위한 훈련, 수당 및 피로도 (Fatigue) 관리를 할 수 있는 시스템이 필요

• 조종사와 승무원의 업무 스케쥴 관리는 최대한 자동화 기반으로 운용되도록 관리하여, 특정 업무 시간에 도달할 경우, 조종사와 승무원의 피로도를 자동으로 알림을 줄 수 있도록 관리되어 인적재해를 유발하지 않도록 하는 것이 현행기술 방향

– UAM 운항에서도 인력 및 화물 수송을 위해서는 최소한의 기존 항공운송사업자에 준하는 관리 시스템을 보유해야 함

– 인적수송을 위해서는 탑승자 이전에 수송을 기대하는 여행객(상용, 여행)을 대상으로 하는 영업적인 부분과 탑승권을 취득한 후 탑승자를 관리하는 운송적인 부분을 관리할 수 있는 시스템이 필요

• 최근 여객 운송 관리 시스템은 여행객(상용, 여행)과 운용사와의 접점을 모두 온라인(Online) 상에서 이루어지도록 시스템을 준비중

• 여정을 위한 필수적인 정보, 즉 일정, 운임 (규정 포함), 제공하는 서비스에 대한 정보를 온라인 상에 노출하고 여행객은 이를 온라인상에서 확인, 선정 및 구매 후 탑승을 위해 UAM 출도착장에 나타날(show-up) 것이며, 이는 Data 기반의 디지탈화 추세에 따른 여행객과 운항사의 접점으로서 앞으로는 모든 대고객 접점은 디지털화 예상

• UAM의 물리적인 제한조건 상, 다수의 여행객이 아닌 매우 소수의 여행객이 움직이는 만큼, 기존 항공사에 비해 보다 더 개인화(personalization) 추세 예상

• 코로나 이전부터 국내외에 가속화되고 있던 고객 로얄티(loyalty) 관리시스템에 대한 고도화는 코로나로 인하여 보다 더 중요시 됨

• UAM 탑승 여행객에 대한 재탑승 유도 및 UAM 시장 활성화 및 안정화하기 위해서는 개인화를 고려한 여행객 관리 필요

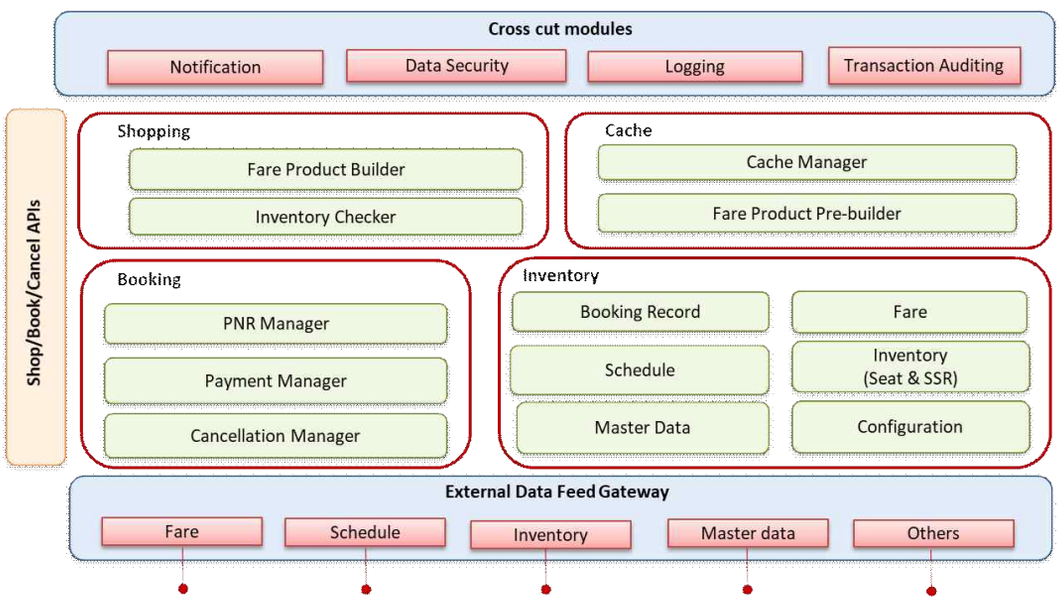
– UAM 운항은 또한 국내 항공사들의 국내선 여객 관리 시스템을 참조하여 이에 준하는 운송 및 보안 프로세스를 검토하는 것이 유용할 것으로 판단되며, 효과적인 UAM 여객 운항을 위하여 아래와 같은 관리요소가 고려되어야 함

- 출발지와 도착지에 대한 운항 스케쥴 관리, 각급 스케쥴에 따른 운임고지 및 운임 관리, 출발전 탑승 지원 관리
- 승객은 예약 시점에 한 번의 예약정보를 입력 (Single Data Entry)
- 운영사는 이를 기반으로 내부의 운송시스템, 회계 및 수입정산 시스템과에 필요한 정보 연계
- 체크인 시점에도 예약정보를 기반으로 관계기관과의 보안정보 송/수신 자동화함으로써 승객입장에서는 추가적인 절차없이 기체에 탑승하고 목적지까지 여행할 수 있는 환경 구축
- 운항관리 시스템의 경우 기체 추적감시 화면에 단순히 기체의 편명과 위치 정보뿐만 아니라, 속도, 고도, 출도착 (예정) 시간 등 다양한 정보가 표출될 수 있게 하고, 동시에 기상정보 및 장애물 정보 등을 포함한 Layer를 중첩하여 담당자가 통합적인 정보를 획득할 수 있도록 통합된 시스템 방식으로 변화 중

〈표 Ⅵ-83〉 UAM 운항사 운영시스템 개발 기술

시스템	기능	주요특징	비고
예약영업 시스템	탑승객의 예약정보 수집	• Mobile Device & Web Page 기반 • 다른 교통수단과의 연계	
	운항 스케쥴	• 국내 운항 노선에 대한 관리 • 출발지-도착지에 대한 정의 및 관리	별도 시스템이 없어도 여객 관리 시스템에서 스케쥴 관리 가능
	기본 운임 관리	• 각 운항 노선에 대한 운임 설정	수입 관리 지원
	변동 운임 관리	• 특정 상황 및 조건에 따른 변동 운임 관리	개인화 지원 가능 프로모션 지원
	발권 관리	• 여정에 대한 공지 및 판매 관리 • 선정된 여정에 대한 티켓 발급 등 관리	판매 영업 지원
	고객 관리	• 탑승객 이력 및 정보 관리	개인화 지원 가능
	매출 최적화 관리(RM)	• UAM 운항 노선 및 운임에 따른 매출 최적화 관리	AI/ML 도입 가능
	부가 수입 관리	• 노선 여정 외 서비스 판매 지원 관리 예: 도착지 대중교통 연계 서비스 등	부가서비스 가능
	웹/모바일 관리	• UAM 운항사의 서비스를 모바일로 접근 및 연계할 수 있도록 API 지원 및 관리	온라인 지원
	데이터 관리	• 운항사의 업무중 발생한 데이터 관리 • 데이터 이력 관리를 위한 보관 주기 및 이전하여 관리할 수 있도록 지원	분석 기반 지원
체크인 시스템	탑승수속 시스템 보안검색 정보 취급	• 탑승객 확인 (체크인) • 탑승객 개인 정보 확인 • 탑승객 정보 공항과 연계	예약정보와 개인정보를 자동 연계하여 추가적인 Data 입력 방지

스케줄링 시스템	운항스케줄 편성 스케줄별 승무원·기체 배정 승무원·기체 운항 이력관리	• Rule Engine 에 기반한 자동 스케줄 편성 • 예약영업, 비행계획, 추적감시 시스템과의 연계	
추적/감시 시스템	실시간 기체 위치 추적	• 지도정보에 기상 및 항로상 제한사항 등을 통합하여 표출	
비행계획 시스템	항로, 비해시간, 필요한 Battery Level 계획	• 기상정보를 바탕으로 최적 운항경로/시간대 설정	
조종사·정비사 피로도 저감을 위한 시스템	조종사·정비사의 근무시간/형태에 따른 피로도 측정 및 관리	• 피로수준에 따라 적합한 휴식시간 보장 등의 대응책 제시 • 스케줄 시스템에 해당 정보 연계	사고예방을 위한 시스템



[그림 Ⅵ-134] 운항사 예약영업시스템 개발 기술 구성도

● 화물 운송 Safety에 대한 기술동향

– 스마트 공항 및 위탁 수하물 기술 진화

- 공항운영 개념으로 '기초 공항 운영' 이었던 1.0에서 2.0(자동화), 3.0(디지털화)을 지나 Connectivity와 고객의 요구사항에 Active하게 대처할 수 있는 4.0으로의 진화 등이 논의되고 있음

- 이런 스마트/디지털화와 연계하여 IATA에서는 Fast-travel Program의 일환으로 각종 셀프 서비스를 제시하고 있으며 특히 수하물 관련 Self Bag-drop 및 위치 추적 시스템이 지속 언급되고 있음

- 또한, 연구계에서도 수하물 위치 추적 등 첨단 ICT 기술을 접목해 여객에게 수월성 및 고품질, 고도화된 서비스 개발/제공이 중요하다는 의견도 제시 되고 있음 (ETRI, 스마트 공항 진화 동향과 유망 서비스 발굴, 2018년 12월)

- UAM에서도 화물 배송 및 여객의 위탁 수하물 등의 처리에 있어 실시간성, Monitoring, 개방성 요소의 확보가 필요한 바 본 기술에 대한 검토 및 로드맵 수립의 가치가 있음

– 위탁 수하물 추적 기술/시스템 및 정보 연계 기술 현황

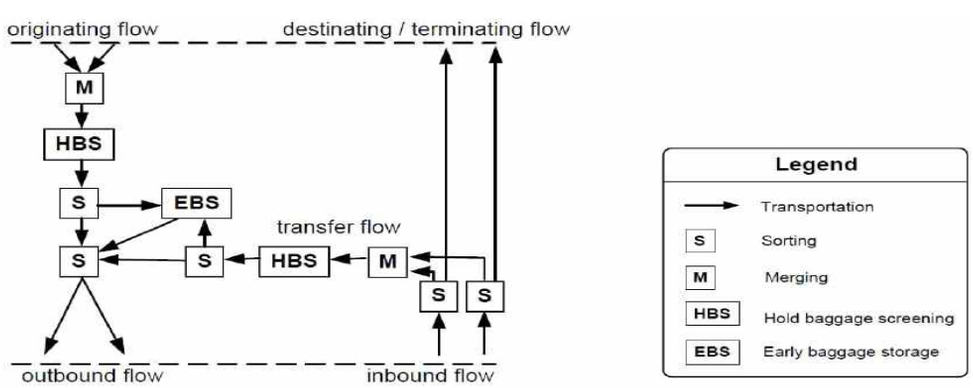
- 지금의 항공 교통 기반 수하물 시스템은 바코드 인식 기반 하에 공항의 BHS (Baggage Handling System) 과 운항사의 시스템 연계로 제공되고 있음

- BHS에서는 단계별로 아래와 같은 기능을 아래 Flow에 맞춰 제공 필요함

〈표 Ⅵ-84〉 BHS 단계별 기능

구분	설명
출발 시스템	• 체크인 시스템으로 주로 수하물의 크기와 무게를 계측 • 가장 복잡한 공항 운영 시스템 중 하나 • 대부분 수작업으로 수행(부분적 반자동 장비 활용) • 여객기 일정에 따른 분류 메시지를 전송하는 역할
환승 시스템	• 복잡하고 긴급한 처리가 요구됨 • 전자태그의 손실 및 파손을 대비해야 함 • 환승 수하물에 대한 다양한 선행 처리과정이 요구됨 • 국제선간 환승과 국내선 환승으로 구분
조기 수하물 처리 시스템	• Early Bag Storage System • 추가적인 보안 요구사항의 발생 가능성 존재 • 수하물 분류와 저장을 위한 공간 점유 비용이 증가
도착 시스템	• 도착 및 환승 수하물이 혼재되어 있음 • 도착 수하물 투입대와 수취대로 구성 • 투입대: 수하물처리시설 내로 투입되는 벨트 컨베이어 • 수취대: 도착 여객이 수하물을 수취하는 케로셀

출처: 한서대학교. 공항수하물자동처리시스템 등 공항운영 기술개발 기획보고서. 2012.8



출처: 한서대학교. 공항수하물자동처리시스템 등 공항운영 기술개발 기획보고서. 2012.8

[그림 Ⅵ-135] 현행 항공 BHS 시스템의 Flow

• 또한 이러한 BHS과 연계해 Baggage Tag의 호환성을 유지하기 위해 IATA에서는 아래와 같은 표준 프로토콜의 제시하고 있음

〈표 Ⅵ-85〉 Baggage Tag의 IATA 표준 프로토콜

구분	IATA	기술 범위와 내용
Baggage Tag	IATA Resolution 740 (IATA License Plate)	License Plate Number(LPN) : 10 digit 1 digit(tag 등급), 3 digit(항공사 티켓 번호), 6 digit (일련번호), LPN은 Baggage strip으로 프린트되어 한 개의 bag에 부착
Baggage Tag에 대한 RFID 표준	IATA Recommended practice RP1740C	초고주파 태그와 인식기는 ISO 18000-6C 프로토콜의 표준을 충족
Baggae Service message	IATA Recommended pratice RP1745	DCS(Departure control system) BRS(Baggage Reconciliations System) BSM(Baggage Service Message) 사이에 데이터 교환이 가능하도록 정의

출처: 한서대학교. 공항수하물자동처리시스템 등 공항운영 기술개발 기획보고서. 2012.8

• IATA는 19년 연차총회에서 RFID 기반 항공 수하물 추적 시스템 전세계적인 도입 지원안 만장일치로 결의, 실시간 추적할 수 있는 첨단 수하물 상태 알림 표준을 이행할 것 촉구한 바 있음

• IATA에 따르면 RFID 인식률은 99.98%로 바코드보다 월등히 높으며 수하물 사고율 최대 25% 낮출 수 있다고 알려져 있음

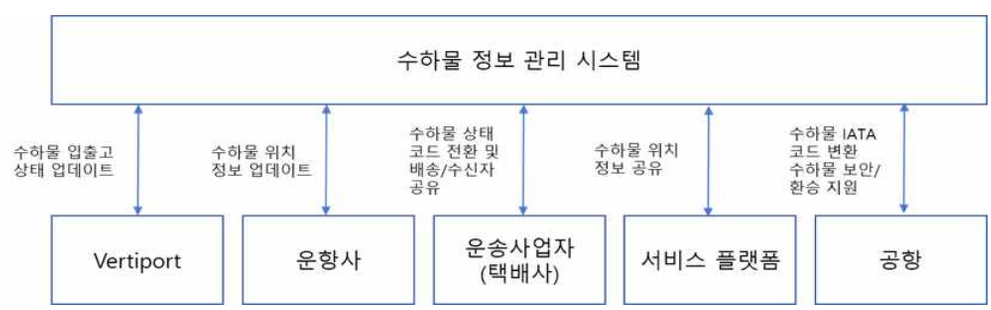
• 델타항공에서는 SITA의 수하물 추적 기술을 활용해 위탁 수하물 추적 시스템을 도입한 바 있음

– 수하물 정보 관리/연계 시스템 구축

• UAM Value chain 내 위탁 수하물을 실시간 공유하기 위해서는 공항, Vertiport, 운항사, Platform사업자, 화물 운송 사업자 간 수하물 정보를 공유하기 위한 기술 및 시스템 구축이 필요함

• 이와 같은 체계를 마련하기 위해서는 현재 항공에서 쓰이고 있는 IATA 기반의 표준과 같이 모두가 공통적으로 인식할 수 있는 분류 체계 또는 각 사업자들이 활용하고 있는 수하물 분류 체계를 연동할 수 있는 시스템이 필요함

• 다양한 사업자가 실시간 정보를 확인할 수 있는 수하물 정보 관리 시스템이 필요함, 이때 수하물 정보 관리 시스템의 운영 주체는 추후 논의

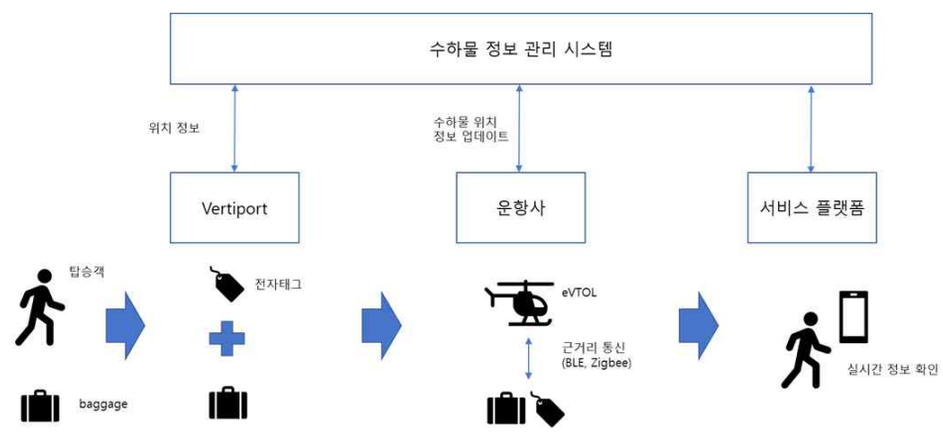


출처: SKT

[그림 Ⅵ-136] 수하물 정보 관리 시스템 (예시)

– 수하물 자동 인식 및 위치 추적 기술

- UAM은 RFID와 같은 전자태그 방식을 적극 활용하고 Vertiport, eVTOL 내에 구축된 Network와의 접속성 및 '수하물 정보 관리 시스템'을 통해 실시간성으로 수하물의 종류, 위탁 요청자, 현재 위치, 상품 종류 등을 확인할 수 있어야 함
- 이 때의 RFID의 통신 방식은 WiFi, Zigbee, BLE 등을 활용할 수 있으며 위탁 수하물에 전자 태그가 부착되어 위탁 수하물과 함께 이동하게 됨
- RFID 기술을 활용함으로 인해 End to End 추적 기능 강화, 하역작업 개선, 데이터 일관성 제고 등의 효과를 기대할 수 있음
- 이는 화물 운송용 UAM Use Case, UAM과 UAM 간 환승, UAM과 기존 항공 교통과의 환승 등에 있어 유용하게 활용할 수 있고, 이 모든 과정은 '서비스 플랫폼'을 통해 고객에게 실시간적으로 공유되어야 함



출처: SKT

[그림 Ⅵ-137] 탑승객 위탁 수하물 처리 Flow

UAM 조종사 업무저감 기술동향

UAM 조종 단순화/자동화에 대한 기술동향

– NASA는 AAM NC(Advanced Air Mobility National Campaign) 프로그램을 통해 UAM 기체조종을 단순화/자동화하여 누구나 쉽게 조종할 수 있는 기술 연구 수행중

– Honeywell社의 UAM 기체 SVO(Simplified Vehicle Operation) 연구

- 시뮬레이션 검증환경을 통해 비행시험 시간 및 비용을 단축시키고 단순화된 기체 운용(SVO) 기술 검증
- 실제 항공기 운동 모사할 수 있도록 시뮬레이터 구성하여 비행제어 기능을 테스트 및 개선
- 디스플레이, 조종 스틱, Honeywell 작동기(Actuator), 소형 FBW(Fly By Wire) 비행제어컴퓨터(FCC), 비행제어법칙 등으로 시뮬레이터 구성



출처: http://evtol.com

[그림 Ⅵ-138] 조종 단순화/자동화 기술 검증환경 (Honeywell社)

● 야간비행을 위한 Synthetic Vision에 대한 기술동향

– 최근 Embraer社는 eVTOL 기체에 대해 Synthetic Vision을 포함한 조종사 업무부담을 감소시킬 수 있는 조종보조 기술을 시뮬레이터 환경을 통해 검증

• Embraer社는 브라질 Sao Jose dos Campos에 위치한 eVTOL 시뮬레이터를 이용한 첫 비행 수행

• 시뮬레이터 운용을 통해 자체 개발 eVTOL 프로토타입의 비행테스트 가속화, 비행조건, 비행제어 매개변수, 인증 가능한 조종방식, FBW 비행제어 통합, 궁극적으로 완전자율 비행이 가능한 Human-Machine Interface(HMI) 구현



출처: Embraer社, http://evtol.com

[그림 Ⅵ-139] UAM 항공기의 Synthetic Vision 기술 검증 시뮬레이션

■ 지능형 예방정비 기술동향

● 데이터 기반 예방정비 분석 및 시스템 구축에 대한 기술동향

– GE社는 데이터 기반 정비 소프트웨어(ABM, Analytics Based Maintenance) 소프트웨어 개발

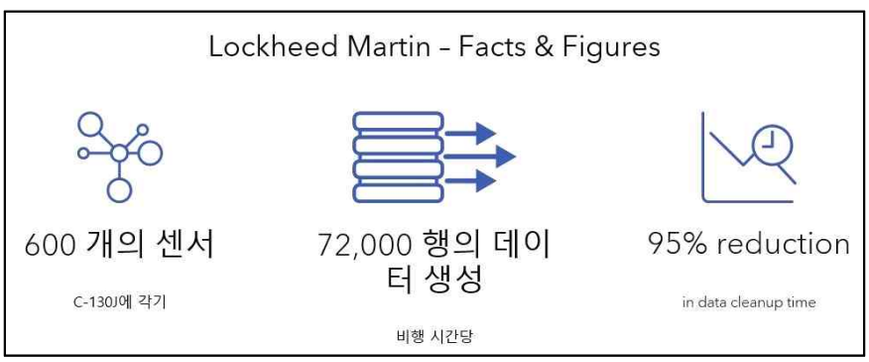
• 항공기에 다수의 센서를 장착하고 데이터 수집

• 수집된 데이터(온도, 진동 등의 운전 변수, 비행시간, 속도 등의 운항 데이터 등)를 분석하여 시스템 상태 모니터링 및 잠재적 문제 예측

– 에미레이트 항공에서는 GE의 ABM을 도입하여 항공기에 설치된 각 엔진을 실시간으로 모니터링하여, 문제를 조기에 발견하고 고장이 발생하기 전 엔진을 정비하여 사고를 미연에 예방

• 2019년 5월 기준, 에미레이트 항공은 계획되지 않은 유지보수를 50% 절감하였고, 엔진의 "온 윙 타임"을 20% 늘렸다고 발표

– 국내에서는 대한항공이 아마존웹서비스(AWS)의 클라우드를 도입하여 항공기 정비, 고객 정보 관리시스템에 머신러닝, 빅데이터 등의 기술을 적용중

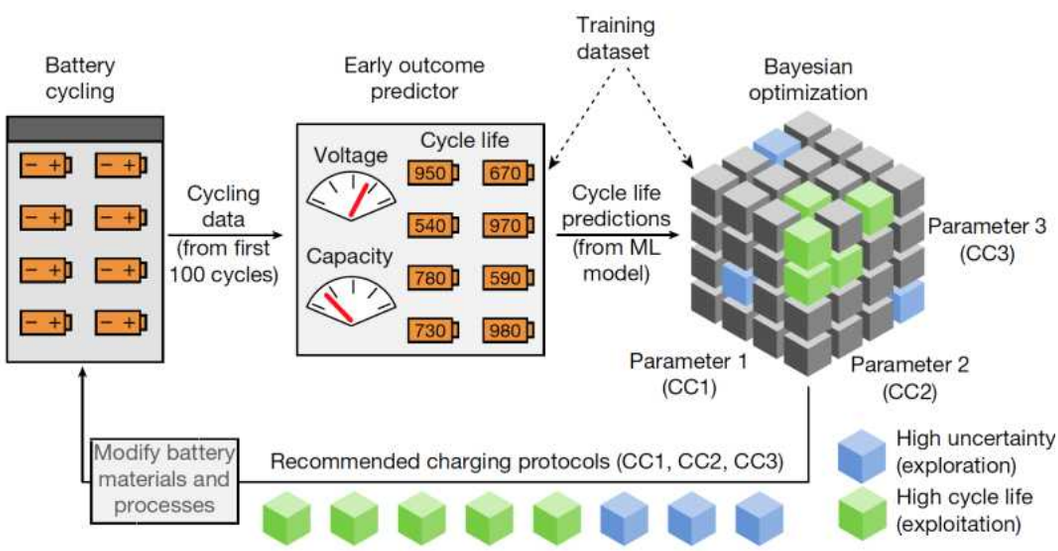


출처: 한국항공우주연구원 미래전략보고서('20.12)

[그림 Ⅵ-140] 데이터 기반 예방정비 분석 및 시스템 구축 (Lockheed Martin社)

● 인공지능 기반 정밀 고장탐지에 대한 기술동향

– 한국항공우주연구원에서는 인공지능 기반 고장진단 및 식별 연구와 관련하여 소음을 통한 부품의 고장진단 및 감지기술을 개발 중이며, 본 기술을 고도화하여 UAM 적용 가능성 검토 중



출처: 한국항공우주연구원 미래전략보고서('20.12)

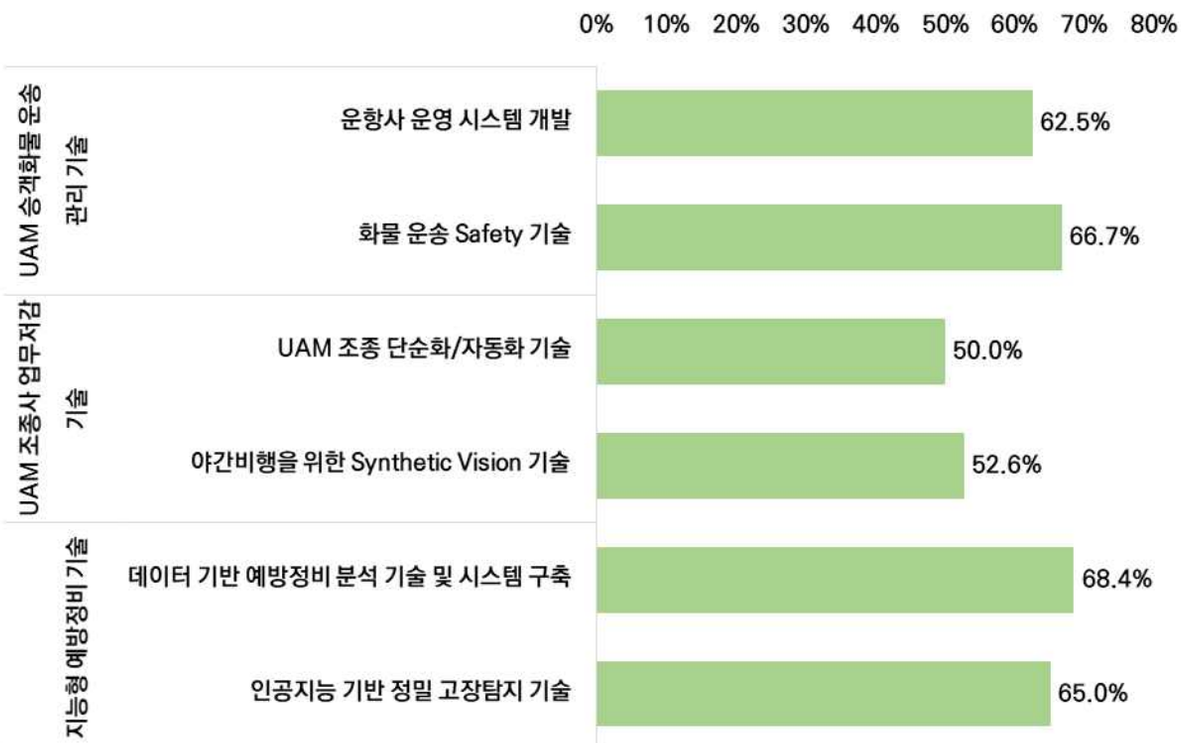
[그림 Ⅵ-141] 인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술적용 예시

다. 기술수준 및 연구개발전략

■ 운송·운용시스템 분야 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 운송·운용시스템 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 대부분의 기술수준이 유사하나, UAM 조종사 업무저감 기술은 다소 낮은 것으로 나타남



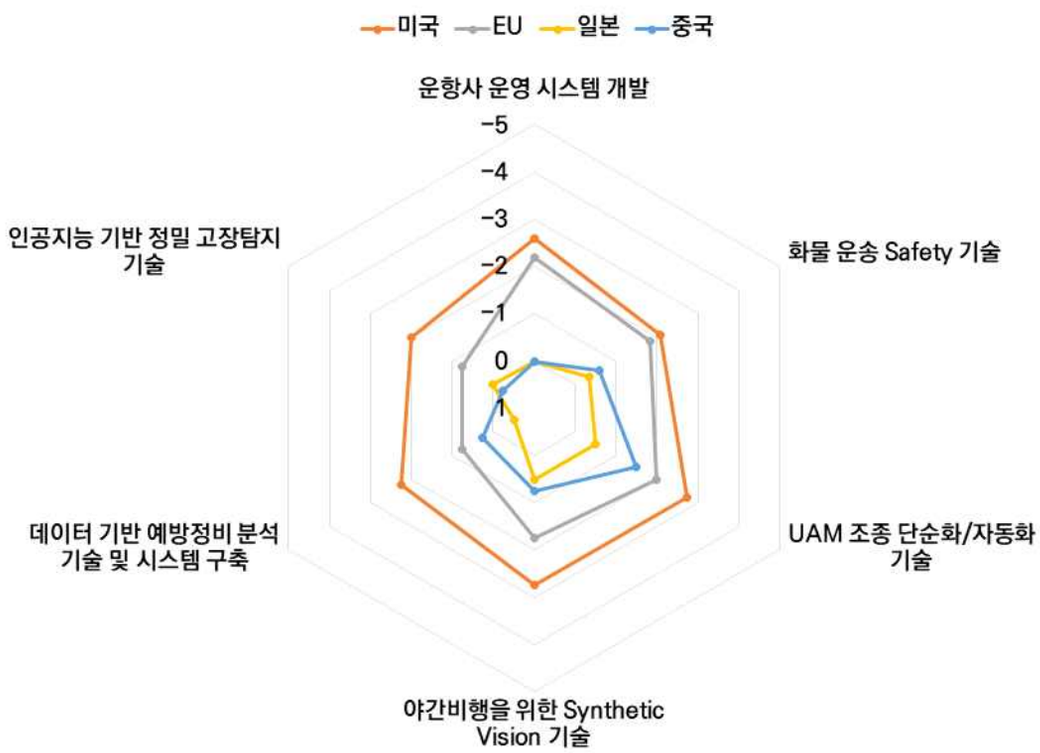
[그림 Ⅵ-142] UAM 운송·운용시스템 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 운송·운용시스템 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

– 미국의 기술수준이 가장 높으며 2-3년의 기술격차가 나타나며, 유럽과는 2년 내외, 일본과 중국과의 기술격차는 크지 않은 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-86〉 운송·운용시스템 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
UAM 승객화물 운송 관리 기술	운항사 운영 시스템 개발	-2.60	-2.20	0.00	0.00
	화물 운송 Safety 기술	-2.08	-1.83	-0.33	-0.58
UAM 조종사 업무저감 기술	UAM 조종 단순화/자동화 기술	-2.75	-2.00	-0.50	-1.50
	야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술	-2.75	-1.75	-0.50	-0.75
지능형 예방정비 기술	데이터 기반 예방정비 분석 기술 및 시스템 구축	-2.25	-0.75	0.50	-0.25
	인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술	-2.00	-0.75	0.00	0.25



[그림 Ⅵ-143] UAM 운송·운용시스템 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 운송·운용시스템 분야 국내 산업역량

– 절반의 기술의 산업역량은 전량수입 수준이며 그 외 기술은 면허생산과 독자생산 수준의 역량을 가진 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-87〉 운송·운용시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
UAM 승객화물 운송 관리 기술	운항사 운영 시스템 개발	LV 2(면허생산)
	화물 운송 Safety 기술	LV 3(독자생산)
UAM 조종사 업무저감 기술	UAM 조종 단순화/자동화 기술	LV 1(전량수입)
	야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술	LV 1(전량수입)
지능형 예방정비 기술	데이터 기반 예방정비 분석 기술 및 시스템 구축	LV 2(면허생산)
	인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술	LV 1(전량수입)

● 운송·운용시스템 분야 국내 기술개발 역량

– 절반이상의 기술이 기초연구수행 단계이며, 그 외 기술들은 기초/응용연구수행과 기초/응용/상용화연구수행 단계인 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-88〉 운송·운용시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

주요분야	세부기술	국내기술개발 역량
UAM 승객화물 운송 관리 기술	운항사 운영 시스템 개발	LV 3(기초/응용연구수행)
	화물 운송 Safety 기술	LV 4(기초/응용/상용화연구수행)
UAM 조종사 업무저감 기술	UAM 조종 단순화/자동화 기술	LV 2(기초연구수행)
	야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술	LV 2(기초연구수행)
지능형 예방정비 기술	데이터 기반 예방정비 분석 기술 및 시스템 구축	LV 3(기초/응용연구수행)
	인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술	LV 2(기초연구수행)

■ 운송·운용 시스템 연구개발전략

● 운항사 운영 시스템 개발에 대한 기술연구개발 전략

– 현재 항공운송사업자들이 사용하는 주요 운송·운용 관리시스템들은 모두가 해외 Vendor 제품임

– 해외 제품 도입 시 주변시스템을 국내업체들이 개발 후 연계하는 과정에서 일정 수준의 Know-How 및 기술역량을 축적하였으므로 자체개발에 대한 가능성은 충분하다고 판단됨

– 단계적인 독자개발 제품 공급전략 도모

• 시한성 및 개발실패시의 충격을 완화하기 위해 초기 단계에서 국내업체와 해외 Vendor와 협업 방식 채택

• 궁극적으로는 국산화 제품을 UAM 운송사업자에 공급하고, 향후 제품을 해외에 역수출하는 전략 추진

● 화물 운송 Safety 기술에 대한 기술연구개발 전략

– 항공 업계에서의 BHS 기술은 크게 아래 4가지로 분류할 수 있음

• 수하물 처리 시스템, 항공화물 처리 시스템, 여객 체크인 시스템, 수하물 트랙킹 시스템

– 컨베이어, 분류기, 고속시스템을 포함한 대용량의 제어/운영 시스템은 소수 외국회사에 의해 공급중인 상황임(독일의 G社, 네덜란드의 V社 등이 시장 장악 중)

– UAM 내 Vertiport에서는 상용화 초/중기에는 공항 수준의 대규모 수하물 물리적 처리가 필요하진 않을 것으로 예상되기에, 상기 4개의 기술 중 '수하물 트랙킹 시스템'에 우선순위를 두어 S/W 및 시스템을 집중 개발하고, 자동 인식 및 추적을 위한 전자태그와 근거리 통신 기술 또한 표준화 완료 및 대량 생산 가능 상태로 기술 난이도가 크지 않아 자체 기술 개발은 가능할 것으로 판단됨

– 국내 상용화 이전 자체 설계 및 개발 완료 추진

• 수하물 정보 관리 시스템의 경우 산업 내 Player간 주고 받을 Data 종류와 그 format이 우선 정의가 되어야 시스템 개발이 가능하고, 사업화 이후에 변경이 용이하지 않게 상용화 이전부터 설계/구현이 완료되어 서비스 제공 추진 필요

• 이를 위해 현재의 항공교통에서 사용하는 Data Format(수하물 Id체계)과 Interface를 참고하여 UAM에 맞게 정의가 필요하고, NASA/FAA의 시스템 구현 내용도 필요시 참고로 반영함. 이와 같은 작업은 국토부 및 연구계 주도로 정의될 필요가 있고 실제 구현은 산업계의 노하우로 개발 추진함

• RFID 및 인식기, 그리고 이를 위한 통신 방식은 현장에서 수하물 트래킹을 담당할 Vertiport 사업자와 운항사업자가 기술 개발 추진하되, 이 정보를 활용하게 될 플랫폼 사업자(고객), 지상 운송 사업자의 Requirement를 사전 반영하여 개발 추진함

■ UAM 조종사 업무저감 기술 연구개발전략

● UAM 조종 단순화/자동화에 대한 기술연구개발 전략

– 비행조종 방식을 단순화하여 조종사 편의를 제공하는 기능으로 해당 기술의 최고수준을 보유한 미국 대비 국내는 약 50% 수준

– 단계별로 자동화하는 전략으로 궁극적으로는 조종사 개입을 최소화한 완전 자율화를 목표로, 상용화를 위해 아래의 항목에 대한 영향성을 고려한 단계적 기술개발 추진

• 기체와 조종사 자격에 대한 기준 수립, 비용, 단순화 정도(Level of Man-Machine Interface)

● 야간비행을 위한 Synthetic Vision에 대한 기술연구개발 전략

– 안개, 야간 등 악기상 비행상황에 대해 조종사에게 가상영상을 제공하여 조종 안전성을 향상시키기 위한 기술로서 국내는 기술개발 경험이 거의 없으며, 기술의 최고수준을 보유한 미국 대비 국내는 약 20% 수준

– 국내 기술수준이 낮은 점을 감안하여 초기에는 해외협력을 통해 Synthetic Vision 관련 기술을 강화하여 국내개발 역량을 갖추고 이후 단계별 자율비행 단계와 연계하여 국내 독자개발 추진

■ 지능형 예방정비 기술 연구개발전략

● 데이터 기반 예방정비 분석 및 시스템 구축에 대한 기술연구개발 전략

– 한국항공우주연구원은 인공위성 및 무인기의 데이터 기반 이상진단 및 경고기술에 대해 인공지능 심층신경망기반의 알고리즘 개발 경험이 있으며, 기술 고도화를 통해 UAM에 확대 적용

– 예방정비를 위한 데이터베이스 구축 및 인공지능 기반 정비소요 예측 알고리즘 개발

• 예측하고자 하는 정비 품목에 대한 정비 데이터베이스 우선 구축

• 국내 항공사로부터 획득한 통합 정비 DB 및 관련 데이터 분류가 필요하나 UAM 기체는 현재 개발단계로 운용 데이터베이스 획득이 현실적으로 불가능

• 따라서, 인공지능 기반 UAM 데이터를 예측하여 구축하는 것이 가장 현실적이며, 사업초기에 진행하는 것보다 기술이 통합된 이후에 계획 전략으로 추진

– UAM 운용 빅데이터 처리 및 정비 소요예측 기술

• UAM 운용에 따른 획득 데이터베이스 DB 구축 필요

• 운용환경 및 정비 소요예측을 위한 인공지능 기반 알고리즘 개발 및 운용자 활용 플랫폼 개발/구축

● 인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술연구개발 전략

– 인공지능 기술을 이용한 시스템 고장탐지 및 수명예측 기술은 최근 MIT/Stanford 연구팀의 데이터베이스 공개로 인해 가속화 될 것으로 예상

– 한국항공우주연구원은 기존의 위성 및 무인기에 대한 배터리 상태감시 및 수명예측에 인공지능 기술을 활용하는 연구 수행 중

• 이상진단 결과를 이용한 의사결정과의 통합방법에 대해 항공우주연구원에서 연구를 수행한 바 있음

• 이와 연관하여 이상 단계를 설정하여, 각 단계별 의사결정 방안에 대한 사람-인공지능 상호관계 고려 체계화 추진

– UAM 시스템 및 부품에 대한 상태감시 및 수명예측 기술을 확보하고 UAM 운용안전성 향상시킴으로써 UAM 대중수용성 확보

라. UAM 운송·운용시스템 분야 기술로드맵

■ 운송·운용시스템 분야 단계별 기술개발 목표

● UAM 승객화물 운송 관리 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• 해외 라이선스 기반 운송·운용 관리시스템의 초도 Version 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• 독자 라이선스 모델 완성과 시스템 고도화(Hosting 방식/라이선스 방식 병행)를 통해 운송·운용 관리시스템 완전 국산화

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• 운송·운용 관리시스템 해외 판매 추진

● UAM 조종사 업무저감 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• 조종방식 단순화 기술 및 Synthetic Vision 구현을 위한 정밀 지형데이터 구축

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• 조종방식을 단순화/자동화에 따른 조종자격 취득절차 간소화

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• UAM 전천후(악천후, 야간) 운용 및 기체가 조종권을 갖는 완전 자동화

● 지능형 예방정비 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• 예방정비를 위한 데이터베이스 구축 및 인공지능 기반 정비소요 예측 알고리즘 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• UAM 운용 빅데이터 처리 및 정비소요 예측

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• UAM 운용데이터 기반 정비소요 완전 자동화

UAM 운송·운용시스템 분야 세부기술로드맵

● 3개 중점기술 및 6개 세부기술로 구성

〈표 Ⅵ-89〉 운송·운용시스템 분야 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM 승객·화물 운송 관리 기술	운항사 운영 시스템 개발	예약영업 수입관리 및 운송 시스템 개발														
		운항관리 시스템 개발														
		조종사·정비사 피로도 저감을 위한 시스템														
	화물 운송 Safety 기술	수하물 정보 관리/연계 시스템														
		수하물 자동 인식 및 위치 추적 기술														
UAM 조종사 업무저감 기술	UAM 조종 단순화/자동화 기술	DAA(Detect and Avoid) 신뢰성 향상 기술														
		위성항법(GPS) 불용환경 극복 기술														
		이착륙 자동화 기술														
	야간비행을 위한 Synthetic Vision 기술	실시간 데이터 공유 기술														
		실시간 데이터 고속 처리를 통한 디스플레이 제공 기술														
		가상/증강현실 구현 기술														
지능형 예방정비 기술	데이터 기반 예방정비 분석 기술 및 시스템 구축	UAM용 센서 기반 정비 진단관리 기술														
		UAM용 센서 기반 실시간 Health Monitoring 기술														
		UAM용 데이터 기반 예방정비 시스템 기술														
	인공지능 기반 정밀 고장탐지 기술	기체 데이터 분석을 위한 AI 알고리즘														
		인공지능 기반 기체 검사시스템 개발														

3. 운항정보 수집분석 및 공유시스템 기술로드맵

가. 기술 정의 및 구성

기술정의

- **(도심 운용 3차원 정밀 지도 구축)** 기술 실제 도시 형상과 동일한 3차원 지도를 구축하여 도심항공교통(UAM) 운항을 위한 핵심 인프라 활용
  - **(도심 데이터 수집·제공 기술)** 도심에서 생성되는 다양한 데이터를 수집,, 가공, 제공하는 기술
  - **(UAM 도심운용기반 3차원 공역·공간정보 생성기술)** 실시간 데이터를 3차원 지도를 기반으로 가공하여 표출하는 기술
  - **(UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축)** 실제 도심 형상과 동일한 3차원 지도를 구축하고 현상정보를 표출하는 기술
  - **(UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계)** 도심 형상정보를 기반으로 비행고도에 따른 장해물 관리체계 구성
- **(UAM 도심 기상 정보 수집·분석 및 예측 기술)** 교통, 기상, 환경 등 도시에서 발생하는 실시간 데이터를 3차원 지도와 연계하여 제공하는 기술
  - **(UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발)** 관측데이터와 고정밀 기상 시뮬레이션으로 Big-data를 구축하여 안전 및 에너지효율을 반영한 운항경로 설정
  - **(UAM 특화 기상 정보 관리 시스템)** 이동식 및 고정식 관측자료의 실시간 수집·처리·품질관리 분배 시스템 개발 및 구축

기술구성

- 도심항공교통(UAM) 운항관리에 필요한 정밀한 위치, 형상정보와 실시간 연동이 필요한 현상정보 등으로 구성
  - 도시의 형상정보, 현상정보 등 3차원 공간정보 수집·가공·분석을 통한 정보 제공
  - 기상·재난·소음·통신(전파간섭 등) 정보를 연계한 높은 해상도의 종합 공간정보 제공
  - 실제 도시와 동일한 형상정보(건물, 시설물 등) 및 현상정보(교통·기상·환경 등) 표출

〈표 Ⅵ-90〉 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
도심 운용 3차원 정밀 지도 구축 기술	도심 데이터 수집·제공 기술	• 도심에서 생성되는 다양한 데이터를 수집,, 가공, 제공하는 기술
	UAM 도심운용 기반 3차원 공간정보 생성 기술	• 실시간 데이터를 3차원 지도를 기반으로 가공하여 표출하는 기술
	UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축	• 실제 도심 형상과 동일한 3차원 지도를 구축하고 현상정보를 표출하는 기술
	UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계	• 도심 형상정보를 기반으로 비행고도에 따른 장해물 관리체계 구성
UAM 도심기상 정보 수집 분석 및 예측 기술	UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발	• 관측데이터와 고정밀 기상 시뮬레이션으로 Big-data를 구축하여 안전 및 에너지효율을 반영한 운항경로 설정
	UAM 특화 기상 정보 관리 시스템	• 이동식 및 고정식 관측자료의 실시간 수집·처리·품질관리 분배 시스템 개발 및 구축

나. 기술동향 분석

■ 도심운용 3차원 정밀지도 구축 기술동향

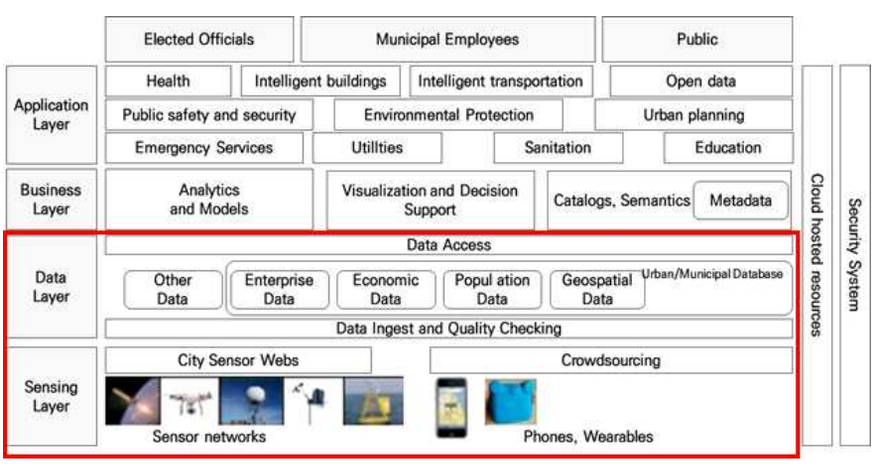
● 도심 데이터 수집·제공에 대한 기술동향

– (기존) 도심데이터는 공간·속성으로 분류 되며, 공간데이터는 직접측량(GNSS·광파기 등), 간접측량(항공영상)을 통해 수집되고 있고, 속성데이터는 지자체(광역·지방) 주체로 분야별(건축물, 지하시설물, 기반시설 등)로 분리 수집 및 관리되고 있음

- (공간) 항공·위성을 활용한 원격탐사(Remote Sensing) 방식으로 도심의 표면적 정보(객체)를 수집
- (속성) 국가·지자체에서 운영하는 정보시스템(UPIS·KRAS·KOPSS 등)을 통해 수집·제공하고 있으며, 공개데이터의 경우 국가공간정보포털(NSDI)을 통해 제공

– (동향) 기존 방식의 데이터 수집·제공의 경우 빠르게 변화하는 도시의 정보에 대응이 어렵기 때문에 다변화하고 있으며, 공간데이터는 간접측량(드론영상·지상라이다 등)을 통해 수시갱신 체계로 나아가고 있으며, 속성데이터의 경우 기존 시스템과의 연계, 수집체계의 다양화를 통해 취득 중

- (공간) 드론·지상라이다를 활용한 고정밀 공간정보(LOD2.0 이상)를 통해 디지털트윈 기반 가상세계 구축이 가능함
- (속성) 원격탐사(위성·항공·드론 등), 센서(환경·CCTV 등)을 통한 취득 및 크라우드소싱을 통한 취득



출처: OGC. 2015. OGC Smart Cities Spatial Information Framework.

[그림 Ⅵ-144] 스마트시티 구성요소 중 데이터 취득 분야

● UAM 도심운용 기반 3차원 공역·공간정보 생성에 대한 기술동향

– (취득) 3차원 공간정보 생성을 위해 원격탐사(위성·항공·드론 등) 및 라이다를 통한 정보취득

• (원격탐사) 센서(RGB·NIR 등)를 통해 취득 사진을 정사영상·DEM·DSM·포인트클라우드로 생성하여 직관적인 분석이 가능한 결과물 산출

• 정사영상: 기하학적 왜곡과 경사왜곡이 제거된 연직 영상 및 사진의 한 종류

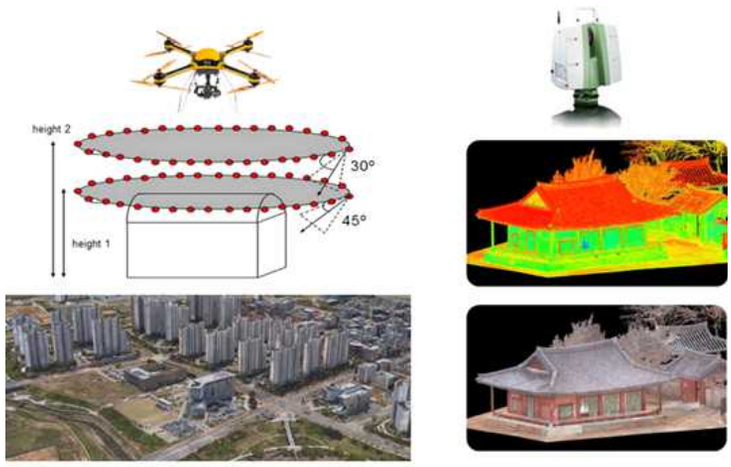
• (라이다) 지상에 장비를 거치하여 대상체를 레이저로 투사하여 얻어진 포인트클라우드로 생성하여 3차원 공간모델 생성

– (생성) 취득한 영상 또는 포인트클라우드를 목적에 맞는 상용S/W를 활용하여 정사영상·DEM·DSM·포인트클라우드로 생성

〈표 Ⅵ-91〉 UAM 도심운용 기반 3차원 공간정보 생성 기술

구분	산출물	설명	SW
드론	정사영상, DEM, DSM, 포인트클라우드	• 드론을 활용하여 엄밀수직사진 및 경사촬영사진을 통해 3차원 모델링 • (장점) 대규모 지역에 대해 촬영 및 3차원모델링이 가능 • (단점) LOD수준 별 촬영의 기간 및 데이터처리 시간의 차이가 발생	Pix4d, ContextCapture, Photoscan, Photomesh 등
라이다	포인트클라우드	• 대상체를 패쇄영역이 생기지 않도록 측량계획을 수립하여 레이저를 통한 포인트클라우드를 통한 3차원 모델링 • (장점) 드론대비 고정밀 3차원 모델링 가능 • (단점) 지상거치에 따른 수직구조체의 경우 상단부분 제작 불가능	Cyclone, 3D reshaper 등

출처: 자체작성



출처: 한국국토정보공사

[그림 Ⅵ-145] 드론을 활용한 도심3차원정보 구축

〈표 Ⅵ-92〉 LOD별 활용 분야

LOD 구분	LOD 구성	활용 분야	비고
LOD0	 DTM+영상	위치 조회, DATA MASH-UP, 영상 기반 변화 분석, 스마트 농업, 기상 표현, 지형 관련 분석 (경사도, 경사향 등)	위치/지형 기반 분석
LOD1	 건물 외곽	도시계획, 일조권 분석, 전파 분석, 바람 시뮬레이션 비행 시뮬레이션, 재난 시뮬레이션 (침수, 위험물 확산 등)	광역 도시 단위 분석 시작, 건물 단위 분석,통계정보 표출
LOD2	 건물 상세	LOD1 분석 정밀도 증가, 도시 설계, 도심 관제, 도심 열 분석, 일조건 분석, 전파 분석, 3차원 내비게이션	현실세계 기반 도시 설계, 관제 분야 증가 분석 정확도 증가
LOD3	 창문표현	LOD2 분석 정밀도 증가, 세무 서비스, 태양전지 에너지 효율 분석, 창문 객체 활용 일조, 소음 분석, AR용 모델 데이터	일조 관련 기능 강화, 현실성 강화 정밀도 증가
LOD4	 실내표현	LOD3 분석 정밀도 증가, 사람 시야 기반 관련 서비스(게임, 조망, 사생활 침해), VR/AR(문화재, 관광 등 디지털 문화 공간 지원), 시설물 단위 재난(지진, 화재, 대피 시뮬레이션 등) 재해 시뮬레이션 거주 공간 기반 분석(일조, 소음, 창 에너지 분석 등), 3D 지적 및 부동산 관련 서비스 무인 이동체(자율주행, 드론, 이동형 로봇, 물류) 지원 실내 및 지하 내비게이션 보행 환경 분석(휠체어, 유모차 등, ICT 공간 인프라 GEO-IoT 스마트 빌딩, 스마트 제조 분야	개인 생활 공간 응용 서비스 영역 증가

출처: 사공호상 외(2017)

● UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축에 대한 기술동향

– 도시·사회 문제의 진단·예측·대응을 위해 가상도시 인프라(디지털트윈) 및 데이터 기반의 스마트시티 구축 중

• (공간) 항공·드론을 활용하여 도시를 3차원 모델링을 통해 실제 도시와 동일한 수준으로 구축

• (속성) 교통, 환경, 에너지 등 도시에서 생성·관리되는 데이터를 표준화 및 연계

– 지형, 지상, 지하, 각종 시설물 및 건물(실내외) 등 도시 3차원 모델링 및 가시화

• (사용기술) BIM, MMS, 드론, 라이다, AR/VR 등

– 도시의 동적(실시간) 데이터 수집 및 처리

• (사용기술) 센서, 빅데이터, 인공지능, 사물인터넷, 가상 시뮬레이션, 네트워크 등

〈표 Ⅵ-93〉 디지털트윈 구축 주요 기술

구분	기술내용
공간정보	• 물리적 환경과 가상공간을 연결하는 인터페이스가 되는 기반기술 • 공간정보 데이터의 수집, 구축, 처리 기술
사물인터넷(IoT)	• 인간, 사물, 서비스 세 가지 분산된 환경 요소에 대해 상호 협력적으로 지능적 관계를 형성하는 사물-공간 연결 기술
센서기술	• 센서 장비를 이용하여 미세먼지, 화재, 지진 등 실시간 감시 및 데이터 취득 기술
네트워크	• 실시간 데이터 전송 및 공유의 기반기술로 스마트시티의 사이버 안전성(보안) 확보, 이종 플랫폼 연계·통합기술, 유무선 통신네트워크 기술
클라우드컴퓨팅	• 도시에서 생성되는 다양한 인프라 정보의 저장·공유·처리 기술
빅데이터	• 각종 도시에서 생성되는 대규모 데이터의 수집·가공·통합관리를 위한 데이터 처리 기반기술 및 분석기술
인공지능(AI)	• 발생가능한 도시문제를 사전에 인지, 신속대응 등 피해를 최소화할 수 있는 대안을 제공하고, 도시 관리 업무의 효율성을 향상시킬 수 있는 학습기반 인공지능 기반기술

출처: 한국국토정보공사



출처: 한국국토정보공사

[그림 Ⅵ-146] UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축 기술

● UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계에 대한 기술동향

– 공항 주변 장애물 관리와 운항

• 장애물제한표면 관리를 통한 항공운항에 영향을 미치는 공항주변 장애물 식별 및 관리 중

• UAM과 유사한 고도에서 운항하는 VFR(Visual Flight Rule)을 따르는 항공기의 경우, 장애물과 1,000ft(또는 1,500ft)를 회피하여 운항하도록 규정이 수립되어 있음

• IFR(Instrument Flight Rule)을 따르는 항공기의 경우, 주로 고고도 비행을 하며, 이착륙 시에는 장애물제한표면 및 비행절차 표면을 통해 장애물로부터 위험을 방지하고 있음

UAM 도심기상 정보 수집·분석 및 예측 기술동향

● UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발에 대한 기술동향/UAM 특화 기상 정보 관리 시스템

– 미국 NASA AAM NC 프로그램에서 위험기상 정보를 배표하여 UAM 사고를 미연에 방지하는 연구를 수행 중이나 저해상도 기상정보에 국한되어 있음

– 고해상도 대기흐름을 수치적으로 모사하기위한 Large-eddy Simulation의 개발은 1963년에 제안되어 70년대 이후 지속적으로 개발 및 연구됨

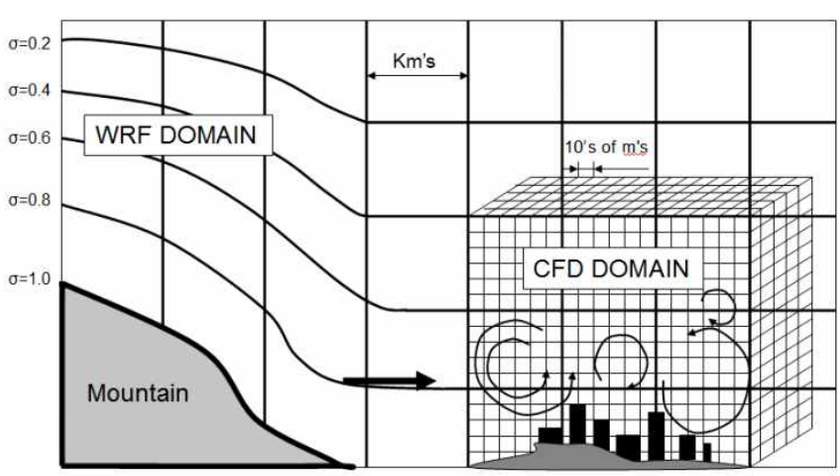
– 하지만 LES 모델이 전산적으로 고사양의 자원을 요구하여 과거에는 한정된 분야에서 사용되었고 최근에 들어서야 난류 모의를 위한 수치모델로 다양한 분야에 대해 사용되기 시작하여 대기 분야에서도 활용되고 있음

• 최근의 잦은 기상이변에 따른 사회적, 보건학적 피해의 증가의 따라 고해상도 도시기상 수치모델의 개발이 요구되고 있어 최근에는 도시 내 공원 및 녹지의 효과가 도시기상에 미치는 영향에 대한 다양한 관측 및 분석이 시도되고 있음

• Li(2012)는 구조적인 특징과 열적인 특징에 따라 건물과 건물 사이의 공간에서 나타나는 흐름의 변화와 오염물질 확산에 대해서 분석함 LES 모델을 통한 난류 정보는 대기경계층 연구에서도 사용되며, 산출된 난류 정보 등을 활용하여 중규모 이상의 기상수치 모델의 개선에 활용함

• Leblebici와 Tuncer (2015)는 WRF(기상예측모델)와 LES의 결합을 시도하였으나 현재 도시를 대상으로 한 연구는 초기단계임

• 따라서 고해상도 도심기상을 모사하여 운항경로를 설정하는 연구는 아직 수행된 바 없음



출처: Leblebici와 Tuncer (2015), Wind Power Estimations using OpenFoam Coupled with WRF

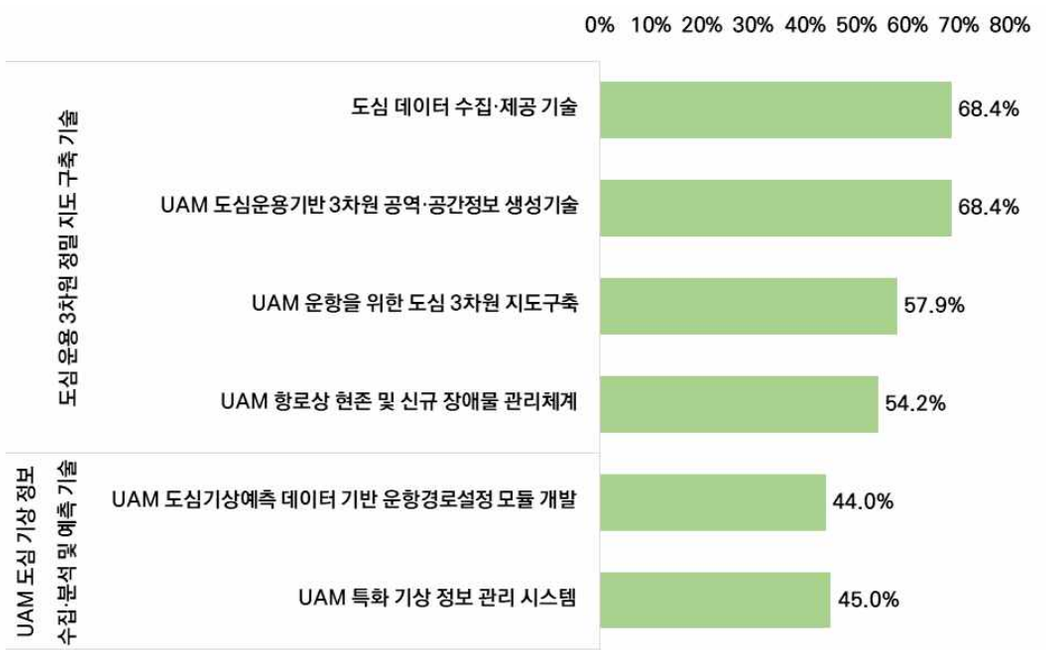
[그림 Ⅵ-147] UAM 도심기상예측 모듈 개발 기술 예시

다. 기술수준 및 연구개발전략

■ 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 도심 데이터 수집·제공 기술과 UAM 도심운용기반 3차원 공역·공간정보 생성기술은 70%에 준하는 기술수준을 보이고 있으나 그 외 기술들은 다소간 낮은 기술 수준 인 것으로 나타나며, 특히 UAM 도심기상 정보 수집·분석 및 예측 기술은 더 낮은 기술 수준을 가진 것으로 나타남



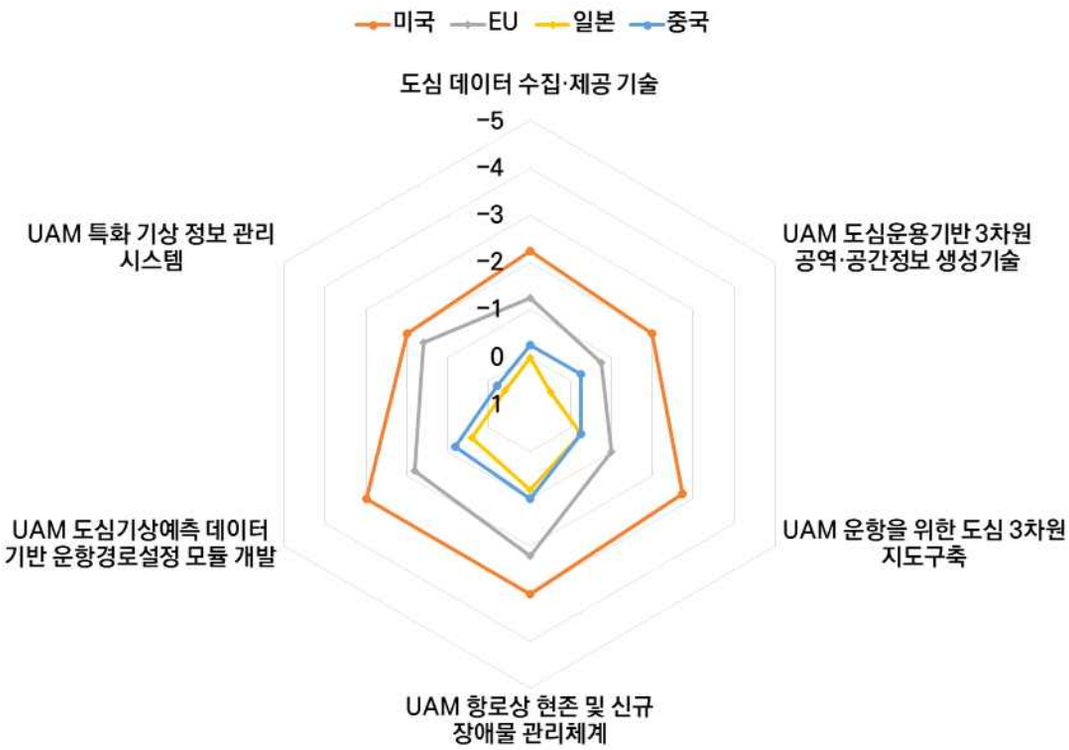
[그림 Ⅵ-148] 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

– 전반적으로 미국이 선도하고 있고 미국과는 2-3년 내외의 기술격차가 있으며 유럽과는 1-2년 내외의 기술격차가 있으나 일본, 중국과는 큰 차이가 나지 않는 것으로 조사됨

〈표 Ⅵ-94〉 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 경쟁국 대비 국내 기술격차

주요분야	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
도심 운용 3차원 정밀 지도 구축 기술	도심 데이터 수집·제공 기술	-2.25	-1.25	0.00	-0.25
	UAM 도심운용기반 3차원 공역·공간정보 생성기술	-2.00	-0.75	0.50	-0.25
	UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축	-2.75	-1.00	-0.25	-0.25
	UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계	-3.00	-2.20	-0.80	-1.00
UAM 도심 기상 정보 수집·분석 및 예측 기술	UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발	-3.00	-1.80	-0.40	-0.80
	UAM 특화 기상 정보 관리 시스템	-2.00	-1.60	0.40	0.20



[그림 Ⅵ-149] 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 경쟁국 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 국내 산업역량

– 모든 기술이 독자생산이 가능한 산업역량이 있는 것으로 조사됨

〈표 Ⅵ-95〉 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 경쟁국 중점기술-세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
도심 운용 3차원 정밀 지도 구축 기술	도심 데이터 수집·제공 기술	LV 3(독자생산)
	UAM 도심운용기반 3차원 공역·공간정보 생성기술	LV 3(독자생산)
	UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축	LV 3(독자생산)
	UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계	LV 3(독자생산)
UAM 도심 기상 정보 수집·분석 및 예측 기술	UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발	LV 3(독자생산)
	UAM 특화 기상 정보 관리 시스템	LV 3(독자생산)

● 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 국내 기술개발 역량

– 1건의 미착수 단계인 기술이 있으나 대부분의 기술이 기초연구수행 단계 이상의 기술 개발 역량을 가진 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-96〉 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

중점기술	세부기술	국내기술개발 역량
도심 운용 3차원 정밀 지도 구축 기술	도심 데이터 수집·제공 기술	LV 4(기초/응용/상용화연구수행)
	UAM 도심운용기반 3차원 공역·공간정보 생성기술	LV 2(기초연구수행)
	UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축	LV 2(기초연구수행)
	UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계	LV 1(미착수)
UAM 도심 기상 정보 수집·분석 및 예측 기술	UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발	LV 2(기초연구수행)
	UAM 특화 기상 정보 관리 시스템	LV 2(기초연구수행)

도심운용 3차원 정밀지도 구축 기술 연구개발전략

● 도심 데이터 수집·제공에 대한 기술

– 3차원 정보 구축을 위한 데이터 취득(드론, 라이다 등), 실시간 정보 수집을 위한 센서, IoT 등 센서정보 연계 기술 필요

• (기술수준) 드론, 라이다 등 기술적인 부분은 전세계적으로 발달되었으나, 국가정책(국산드론 활성화 등)에 의한 외산장비 사용에 대한 검토 필요

● UAM 도심운용 기반 3차원 공간정보 생성에 대한 기술

– 취득된 데이터에 따라 3차원 공간정보 생성에 대한 기술 수준은 상용S/W의 발달로 기술개발의 필요는 적으나, 공간 및 속성데이터의 연계를 위한 각종 데이터의 표준화 및 공간정보 연계 기준 마련 필요

• (기술수준) 3차원 공간정보 생성에 필요한 상용S/W의 성능(수준)은 발달되었으나, 향후 지속적인 개발·구축을 위한 국산S/W 개발 검토 필요

● UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축에 대한 기술

– (구축·갱신) 데이터 정밀도 제고기술, 기존데이터 통합기술(기존 3차원 공간정보, BIM 데이터 변환기술 등), 자동인식 및 인공지능 기술, 실시간 갱신기술 등

– (분석) 3차원 환경분석 기술, 알고리즘, 빅데이터 분석, AI적용 선도기술, 시공간 분석 기술 등

– (가시화) 다양한 디바이스(모바일 등)에 적용 가능한 기술, VR/AR 중심 가시화 기술, 빠른 영상 처리 기술

– (초연결) 가상물리시스템(CPS), 데이터 가상객체 연결기술, Geo-IoT 관련 기술, 유관 분야 연계 및 융합 기술 등

– (보안) 공간데이터 암호화 기술, 데이터 보안 관련 기술 등

● UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계에 대한 기술

– UAM의 운항고도와 현존 또는 발생 가능한 장애물의 관리체계 수립

- 현존하는 물건에 대한 GIS DB에 한계가 있음 (단, 도심지의 경우 안전한 UAM 운항을 위해 LX가 정밀 측량을 수행할 예정)
- 향후 장애물(신규건물, 송전선 등) 신규 발생 시, 운항고도 및 항로가 계속 변경되어야 하는 한계가 있음
- 장애물이 운항안전에 영향을 미치는지 판단할 수 있는 근거가 부족
- 지자체가 신규 물건 건축 승인 시 UAM과 인과관계를 판단할 수 있는 제도 부족가 부족하므로, 지자체의 건축물대장 관리체계와 연계, 즉 운항안전성 검토 대상임을 인지(Trigger or Identify)할 수 있는 제도 수립

– 지차제의 건축물대장 DB와 연계 및 운항안전성 검토 대상여부 인지 시스템 개발

UAM 도심기상 정보 수집·분석 및 예측 기술 연구개발전략

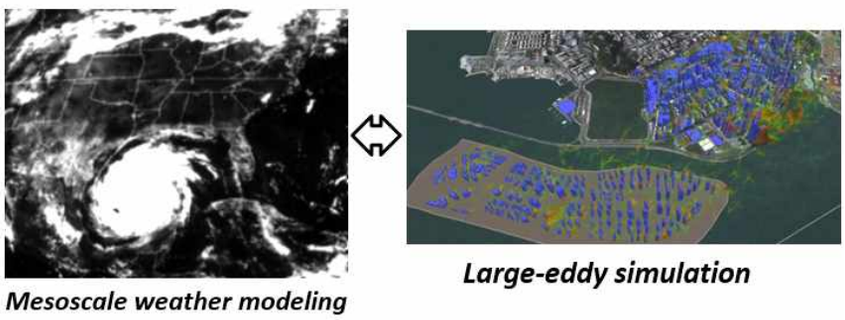
● UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발에 대한 기술/UAM 특화 기상 정보 관리 시스템

– 기상예측모델(예시: E3SM, WRF)을 이용한 국소지역 대기모사는 해상도의 한계로 미시스케일 기상예측 구현은 불가능함

- 기상예측툴은 압축성유체 지배방정식을 사용하기 때문에 셀(공간차분, dx)이 작은 도심영역에서 저속유동은 matrix-stiffness 증가를 유발시켜 수치적 불안정이 발현됨. 이 때문에 시간차분(dt)이 비현실적으로 작아지고 (dt~10^{-5}sec) 필요이상의 multi-nesting 단계가 요구되어 오차도 증가함
- 기존 기상예측모델은 multi-nesting 기법을 이용하여 1km 해상도 수준 내에서 대기현상을 예측하고 있으나 정확한 도심 건물형상을 반영한 시뮬레이션은 불가능함

– 한국과학기술원에서는 도심건물로 생성된 와류를 모의하는 LES툴과 기상예측툴을 연계하여 고해상도 시뮬레이션을 수행하고 있음

- 기상예측툴과 LES를 연계할 때 거시스케일 물리량이 LES 도메인으로 oscillation 없이 전달되도록 수치적 뎀핑을 이용함



출처: 한국과학기술원 차세대 항공모빌리티 연구실

[그림 Ⅵ-150] 기상예측툴과 LES를 연계

- 저고도에서 대기유동뿐만 아니라 안개 및 구름을 예측하는 LES코드를 보유하여 기상예측툴과 연계 중임

– 현재 도심에서 건물풍, 안개, 결빙 등의 현상을 고려한 저고도 운항경로설정 연구결과는 미미한 상태임

- 기상예측툴 WRF를 개발한 NCAR 소속 Matthias Steiner의 Urban Air Mobility Opportunities for the Weather Community BAMS 논문(2019)에 의하면 기존의 기상예측툴은 도심내부의 유동을 정확히 모사할 수 있는 체계가 준비되지 않아 새로운 페라다임의 예측툴 개발이 즉시 요구된다고 제안

- 특히 난류나 바람의 강도의 예측이 부정확할 경우 eVTOL의 바테리 잔량으로 이동가능한거리를 예측하기 어려움. 이는 On-demand 서비스에서 매우 중요한 기술로써 출발지점에서 도착지점으로 이동하기 위한 에너지소비량을 계산해야 하는데 이때 정확도 높은 고해상도 대기장 예측이 요구됨

– 기상관측 정보망과 LES를 연계한 고해상도 기상 데이터 생성

- 기상관측망 정보가 동기화된 고해상도 LES모델의 수치적 연동 수행

- LES 도메인 축소 등을 고려한 계산효율성 향상 도모 (대상: UAM 실증 지역)

– Exascale computing 구현을 위한 알고리즘 개발

- 기존 LES 계산을 GPU기반으로 병렬화할 경우 속도가 10배 향상됨

- 초고속 LES 계산을 위해 MPI/MP/GPU 3단 병렬아키텍처를 혼합한 exascale computing 알고리즘을 구현하여 계산속도를 100배 이상 향상

– UAM 기상관측망 증설 및 응용연구

- 항로를 따라 관측소 증설위치 최적화

- 기상관측 드론을 활용하여 풍황, 기압, 온도 등 기상데이터 수집

- CFD 시뮬레이션을 통한 버티포트의 기상관측 센서 (Sonic, LiDAR 등) 위치 최적화

- 결빙조건 식별
- 선비행한 UAM 센서로 기상데이터 수집 및 자료동기화 연구
- UAM에 장착된 LiDAR 데이터를 이용하여 근거리 건물와류 등과 같은 난류식별 기술을 개발하여 비행안전 확보

– 저고도 도심기상예측 Big-data 구현

- Exascale computing 알고리즘이 적용된 기상예측툴과 LES를 연계하여 버티포트를 중심으로 고해상도 LES 계산을 수행하고 출발지점과 도착지점 구간은 저해상도 기상모델을 사용하여 기상예측 속도 초고속화 구현
- UAM 이착륙 실증지역의 wind-rose를 참조한 3차원 고해상도 LES 시뮬레이션 데이터와 LiDAR 데이터로 Big-data 구축
- 기상 Big-data로 머신러닝을 이용하여 4차원-시공간 기상예측
- Big-data 통계를 이용하여 강수 및 결빙조건 예측 및 비행위험구간 지도 생성

– 운항경로설정 모듈개발

- Fixed corridor 및 On-demand 항로를 설정하기 위해 UAM 비행안전구간을 Big-data로 수립
- 기상예측 데이터를 이용하여 안전 및 에너지효율을 고려한 항로를 실시간 수립
- UAM에 장착된 LiDAR 등의 센서 데이터로 강한 건물풍 및 안개 또는 결빙 기상조건 등을 사전에 식별하여 안전한 항로 재수립하는 알고리즘 개발
- 기상예측 데이터 기반으로 UAM 이착륙 결정 알고리즘 개발 및 제어에 필요한 데이터 제공
- 기상으로 인한 비상착륙 알고리즘 개발

라. 운항정보 수집분석 및 공유 시스템 분야 기술로드맵

■ 운항정보 수집분석 및 공유 시스템 분야 단계별 기술개발 목표

● 도심 운용 3차원 정밀 지도 구축 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- (H/W) 도심데이터 수집을 위한 3차원 모델링 센서(RGB, 라이다 등) 탑재한 드론 개발
- (기준) 3차원 공간정보 구축의 품질 기준 및 표준 마련
- (갱신) 실시간 도심데이터 구축 및 갱신에 대한 기준 마련
- (S/W) 상용소프트웨어를 활용한 3차원 공간정보 구축 시스템 마련
- (연구) 국산 S/W 기반 3차원 공간정보 구축 체계 연구
- (구축) 데이터 정밀도(품질) 진단, 데이터 통합 기술 등 개발
- (시각화) GIS기반 3차원 공간정보 표출 시스템 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- (H/W) 3차원 공간정보 수집 드론의 국산화 및 안정화
- (센서) 실시간 도시정보 수집을 위한 센서(기상, 위험물체 인식 등) 개발
- (S/W) 국산 S/W 기반 3차원 공간정보 구축 시스템 고도화
- (분석) 3차원 공간정보 기반 운항안전 시뮬레이션 분석
- (연계) 유관분야 데이터 연계 및 융합 기술

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- (AI) 인공지능 기반 3차원 공간정보 자동생성 기술 개발
- (초연결) 가상물리시스템, 데이터 가상객체 연결 기술 개발

● UAM 도심 기상 정보 수집·분석 및 예측 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 기술로드맵

● 3개 중점기술 및 5개 세부기술로 구성

〈표 Ⅵ-97〉 운항정보 수집분석 및 공유시스템 분야 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
도심운용 3차원 정밀지도 구축 기술	도심 데이터 수집·제공 기술	데이터 수집시스템 개발														
		3차원 공간정보 품질기준 및 표준 마련														
		센서 개발														
	UAM 도심운용 기반 3차원 공역·공간정보 생성 기술	3차원 공간정보 구축 시스템														
		인공지능 기반 공간정보 자동생성·갱신 기술														
	UAM 운항을 위한 도심 3차원 지도구축	GIS기반 3차원 공간정보 표출 시스템														
		데이터 연계 및 융합 기술														
	UAM 항로상 현존 및 신규 장애물 관리체계	건축물대장 DB와 연계 네트워크 구축														
		운항안전성 검토 대상 여부 인지 시스템 개발														
UAM 도심기상 정보 수집 분석 및 예측 기술	UAM 도심기상예측 데이터 기반 운항경로설정 모듈 개발	기상관측망을 연계한 도심기상예측														
		저고도 도심 기상 예측 및 운항 경로 설정														
		고해상도 도심 기상 및 결빙 조건 예측														
	UAM 특화 기상 정보 관리 시스템	이동식 및 고정식 관측자료의 실시간 수집·처리·분배 시스템 개발 및 구축														
		UAM 운항 전주기 관측·실황·예측 정보의 실시간 표출·분석 시스템 개발 및 구축														
		기상정보 검증 및 평가 시스템 개발 및 구축														

4. 운용자격 체계 분야 기술로드맵

가. 기술 정의 및 구성

기술정의

● **(UAM 종사자 자격제도 수립)** UAM 운송 및 교통관리 등 UAM 관련 사업을 하기 위해 필요한 사항, UAM 종사자 자격제도 구축 및 운영, 자격제도와 연계한 UAM 종사자 교육훈련체계 구축, UAM 전문인력양성 인프라 구축에 대한 법·제도화

– **(UAM 종사자 자격제도 구축)** UAM의 안전한 운항을 위하여 조종, 정비, 관제 등 UAM 운영 관련 업무에 종사하는 사람에 대한 자격 취득 기준, 절차, 방법, 자격유지 등 자격체계를 법·제도화 하는 기술

– **(UAM 특화 법·제도·기준연구)** UAM 운송사업자 법인설립·면허·운항증명 발급에 필요한 기준, 방법, 절차를 마련하고 이를 법제도화하는 기술

– **(교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증기술)** 자격 및 교통관리시스템 인증기술 도심공역에 대한 UAM 교통관리 업무를 맡은 민간 교통관리사업자에 대한 인허가 제도 및 교통관리시스템 인증 기준을 법·제도화 하는 기술

● **(UAM 종사자 인력양성 체계)** UAM 종사자 자격과 연계하여 체계적인 UAM 운영 인력 양성을 위해 국가 감독하에 운영되는 교육훈련 체계 및 인프라 관련 사항을 법·제도화

– **(UAM 전문인력양성센터 구축)** UAM분야 전문 인력 양성 및 저변확대를 위한 인프라 구축, 교육과정개발 및 전문인력양성 사업 개발 운영에 대한 법·제도화

– **(UAM 종사자 교육훈련 체계 구축)** UAM 종사자 양성을 목적으로 필요한 지식과 기량에 대한 교육훈련을 수행할 수 있도록 교육과정, 교육운영, 필요 시설 및 인력, 교육기관 지정 및 관리 등 교육훈련체계 대한 법·제도화

기술구성

● **(UAM 종사자 자격제도 수립 기술)** UAM 운송사업자 법인설립· 면허·운항증명 발급에 필요한 법제도 개발, 교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증기술, UAM 종사자 자격제도 구축으로 구성됨

– UAM 운송사업자 법인설립· 면허·운항증명 발급에 필요한 법제도 개발

• UAM 운영사업자 법인설립 기준

• UAM 운영사업자 면허신청/발급절차

- UAM 운영사업자 운항 증명신청 및 발급 절차

– 교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증기술

- 교통관리사업자 인허가 법/제도 연구: 민간 교통관리사업자 인허가를 위한 법/제도 마련, PSU 최소요건 및 인허가 점검표, 인허가 후속관리 방안
- 교통관리사업자 안전관리시스템(SMS) 적용 연구: PSU 인/허가이후 지속적인 안전관리를 위한 안전관리시스템
- 교통관리시스템 인증기술: PSU가 사용하는 통신/감시 및 관제시스템 등 통합된 교통관리시스템의 안정성과 적절성을 확인하기 위한 기준, 인허가 점검표, 후속 관리 방안

– UAM 종사자 자격제도 구축

- 종사자 자격종류: UAM 종사자 자격도입이 필요한 업무영역 선정
- 자격증명 취득 기준, 절차, 방법: 자격시험 응시에 필요한 적정 수준의 경력(응시자격), 자격취득 절차, 자격증 발급 및 유지, 항공영어, 신체검사 기준 마련
- 자격 종류별 평가 기준 및 방법: UAM 종사자 자격종류별 필요한 지식과 기량에 대한 평가 방법 마련
- UAM 종사자 자격관리시스템 구축: UAM 종사자 자격 전반을 관리할 수 있는 전산시스템 구축(또는 기존 항공자격관리시스템 고도화)·운영

● **(UAM 종사자 인력양성 체계)** UAM 종사자 교육훈련체계 구축 및 UAM 전문인력양성센터 구축으로 구성됨

– UAM 종사자 교육훈련체계 구축

- 전문교육기관 지정·관리: UAM 종사자 양성을 위한 전문교육기관(Approved Training Organization) 지정·관리 기준 및 법적근거 마련
- 통합 교육관리시스템 구축: UAM 종사자 전문교육기관 관리 및 UAM 종사자 인적정보 통합 관리를 위한 전산시스템 구축(또는 항공교육훈련통합관리시스템 고도화)·운영
- 교육훈련기법: UAM 종사자 교육훈련 품질보증을 위한 교육훈련 기법 개발
- 시뮬레이터 개발·운영: UAM 운항 안전에 직접적으로 관련된 종사자(조종, 관제) 교육훈련용 모의훈련장치(Simulator) 개발

〈표 Ⅵ-98〉 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
UAM 종사자 자격제도 수립	UAM 특화 법 · 제도 · 기준연구	• UAM 운영사업자 법인설립 기준 • UAM 운영사업자 면허신청/발급절차 • UAM 운영사업자 운항 증명신청 및 발급 절차
	교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증기술	• 교통관리사업자 인허가 기준 및 절차 • 교통관리 사업자 안전관리 시스템(SMS) • 교통관리 시스템 인증기술
	UAM 종사자 자격제도 구축	• 종사자 자격종류 • 자격증명 취득 기준, 절차, 방법 • 자격 종류별 평가 기준 및 방법 • UAM 종사자 자격관리시스템 구축
UAM 종사자 인력양성 체계	UAM 종사자 교육훈련체계 구축	• 전문교육기관 지정 및 관리 기준 마련 • 전문교육기관 교육관리시스템 구축 • UAM 종사자 자격별 교육훈련기법 개발 • 조종, 관제 시뮬레이터 개발
	UAM 전문인력양성센터구축	• UAM 전문인력양성센터 구축 • UAM 전문인력양성센터 인프라 구축 • UAM 관련 교육과정 개발·운영·보급 • UAM 연구 및 개발 전문가 양성 지원

나. 기술동향 분석

UAM 종사자 자격제도 수립 기술 기술동향

● UAM 특화 법·제도·기준연구에 대한 기술동향

– 새로운 사업영역에 걸맞는 신규 법제도 개발 필요

- UAM 운송사업자에 대한 법, 규정, 지침이 전무한 상태
- 기존 항공운송사업자에 대한 법, 규정을 참조하여 UAM 운송사업에 맞는 새로운 법제도 개발 필요

– 사업자의 자격

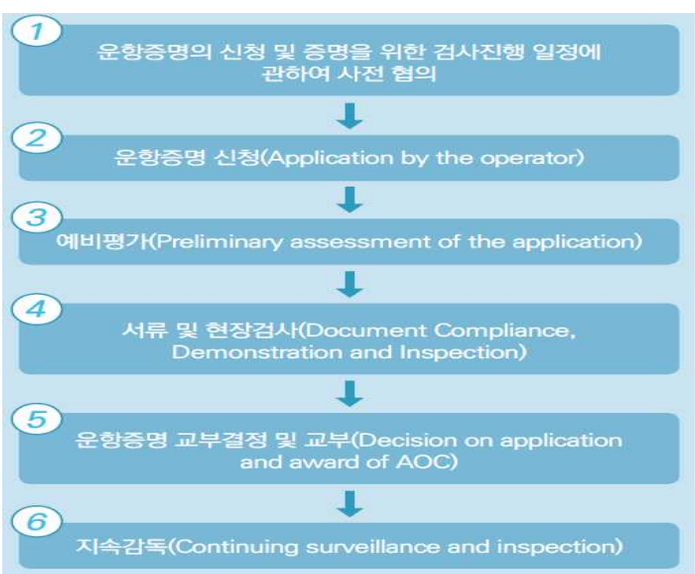
- 면허 발급을 위한 적정 자본금 및 사업계획에 대한 객관적 심사 기준 제시
- UAM 사업자 환경의 급격한 변화 또는 사업초기 불안정한 수익성을 감안한 운영자금에 대한 요건을 자본금에 포함되도록 하는 보완책 마련

– 운항증명 절차

- 구체적인 운항증명 발급 절차 (시점, 기간, 내용 등) 수립
- 사업자가 준비해야할 사항과 면허발급기관에서 수행할 각종 점검항목을 체크리스트화

〈표 Ⅵ-99〉 UAM 운송사업자 법인설립·면허·운항증명 발급에 필요한 법제도 기술에 대한 예시

법규	주요내용	주관 부처
UAM 운송사업법	사업자 자격 및 면허 발급 기준 정의	국토부
UAM 운항증명 발급절차	운항증명 발급 절차 및 점검 내용 정의	국토부



[그림 Ⅵ-151] UAM 운송사업자 운항증명 발급 절차

● 교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증에 대한 기술동향

– K-UAM 로드맵에 따르면 UAM은 2025년부터 국내 상용화를 착수하고 2030년부터 본격 상용화를 계획

• 이에 따라 FAA가 마련한 UAM ConOps 1.0과 K-UAM 로드맵에서는 도심공역의 UAM 교통관리 업무를 민간 교통관리사업자(PSU)가 수행하는 것으로 정의

– 현재 국내 교통관리업무는 정부와 공공기관을 위주로 수행되어 민간 교통관리사업자 도입을 위한 인허가 제도와 활용하는 시스템에 대한 인증방안이 미흡

– PSU는 비행계획접수, 비행경로검토, 비행허가, 비행추적/모니터링, ATM/UTM 정보교환 등 UAM 운항에 필수적인 역할을 수행하므로 인허가와 해당 시스템의 인증 등 안전관리가 필요

● UAM 종사자 자격제도에 대한 기술동향

– **(해외)** 해외 각국의 주요기업은 UAM과 관련하여 프로토타입을 공개하거나, 상용화를 위한 연구단계이므로 별도의 UAM 종사자 자격제도 운영하지 않음

• UAM 상용화를 위한 시험비행 등 연구개발 단계에서는 각 국가별 항공청에서 별도의 비행승인을 받아 진행하며 조종사가 필요한 경우 기존 항공종사자 자격 보유자를 활용하기도 함

– 미국 키티호크(Kittyhawk)는 보잉(Boeing)의 혁신 부서인 넥스트(NeXt)와 제휴하여 미래형 이동 서비스 키티호크 플라이어(Flyer), 코라(Cora)를 제공할 예정

• 키티호크 플라이어(Kittyhawk Flyer)는 1인승 초경량 비행기로 FAA 규정에 따르면 조종사 면허가 필요 없음

• 코라(Cora)는 승객 2명을 태운 채 자율비행하는 드론 택시로 ’21년 뉴질랜드에서 첫 상용화에 들어가는 것을 목표로 삼고 있으며, 조종사 면허가 필요 없음

– (국내) ’20년 5월 한국형 도심항공교통(K-UAM) 로드맵 발표를 통해 자율비행 발전단계에 따른 조종자의 업무 역할 세분화 및 자격화 방향을 제시

• UAM 정비는 MRO 기준 마련 및 정부 인가 추진안을 제시하였으나 관제(항행서비스 제공), 운항관리 분야에 대한 종사자 기준은 제시하지 않음

〈표 Ⅵ-100〉 국내 드론관련 주요계획 내 드론안전정책 유형화

드론 안전정책 유형	드론산업 발전 기본계획('17~'26)	드론분야 선제적 규제혁파 로드맵('19)	제3차 항공정책기본계획 (2020~2024)	도시의 하늘을 여는 한국형 도심항공교통 (K-UAM) 로드맵(2020)
조종자 자격제도 개선	• 자격제도 고도화 (성능·위험도 기반의 무인기 분류체계 정립과 연계)	• 성능·위험도 분류에 따른 조종자 자격 기준 마련 • 드론 비행기록 및 조종자 자격 관리 시스템 마련	• 고위험(중·대형) 드론은 조종자격 취득 후 운용하도록 제도 개선	• 자율비행 발전단계에 따라 조종사 임무·역할과 요구능력, 책임범위를 규정하고 정식 자격부여
종사자 자격제도 마련	-	-	• 무인항공기 운용 종사자 자격증명 검토	• 운송자격체계 마련 • 리스, MRO, 운항·서비스, 인프라 운영 등 사업자 기준 마련

〈표 Ⅵ-101〉 UAM 종사자 자격제도 기술

기술명	요소기술	기술의 범위
UAM 종사자 자격제도	종사자 자격종류	UAM 종사자 자격도입이 필요한 업무영역 선정
	자격증명 취득 기준, 절차, 방법	자격시험 응시에 필요한 적정 수준의 경력(응시자격), 자격취득 절차, 자격증 발급 및 유지, 항공영어, 신체검사 기준 마련
	자격 종류별 평가 기준 및 방법	UAM 종사자 자격종류별 필요한 지식과 기량에 대한 평가 방법 마련
	UAM 종사자 자격관리시스템 구축	UAM 종사자 자격 전반을 관리할 수 있는 전산시스템 구축(또는 기존 항공자격관리시스템 고도화)·운영

UAM 종사자 인력양성 체계 기술동향

● UAM 종사자 교육훈련체계에 대한 기술동향

– UAM 상용화를 위한 연구개발, 인증 단계이므로 UAM 종사자에 대한 교육훈련 관련 법·제도는 미비되어 있음

- NASA의 경우 Vertical Motion Simulator(VMS) 등을 운영하고 있으나 종사자 양성 목적이 아닌 Ride Quality 연구 등 UAM 개발에 활용하고 있음
- UAM 상용화 단계에 진입하면 이에 맞는 교육훈련체계를 마련하여 제도화 될 것으로 전망



출처: NASA/Dominic Hart.

[그림 Ⅵ-152] 교육훈련체계 예시

〈표 Ⅵ-102〉 UAM 종사자 교육훈련체계 기술

기술명	요소기술	기술의 범위
UAM 종사자 교육훈련체계	전문교육기관 지정·관리	UAM 종사자 양성을 위한 전문교육기관(Approved Training Organization) 지정·관리 기준 및 법적근거 마련
	통합 교육관리시스템 구축	UAM 종사자 전문교육기관 관리 및 UAM 종사자 인적정보 통합 관리를 위한 전산시스템 구축(또는 항공교육훈련통합관리시스템 고도화)·운영
	교육훈련기법	UAM 종사자 교육훈련 품질보증을 위한 교육훈련 기법 개발
	시뮬레이터 개발·운영	UAM 운항 안전에 직접적으로 관련된 종사자(조종, 관제) 교육훈련용 모의훈련장치(Simulator) 개발

● UAM 전문인력양성센터 구축에 대한 기술동향

– UAM 상용화를 위한 연구개발, 인증 단계이므로 UAM 종사자 양성을 위한 별도의 전문인력양성센터를 구축하여 운영하지 않음

〈표 Ⅵ-103〉 UAM 전문인력양성센터 구축 기술

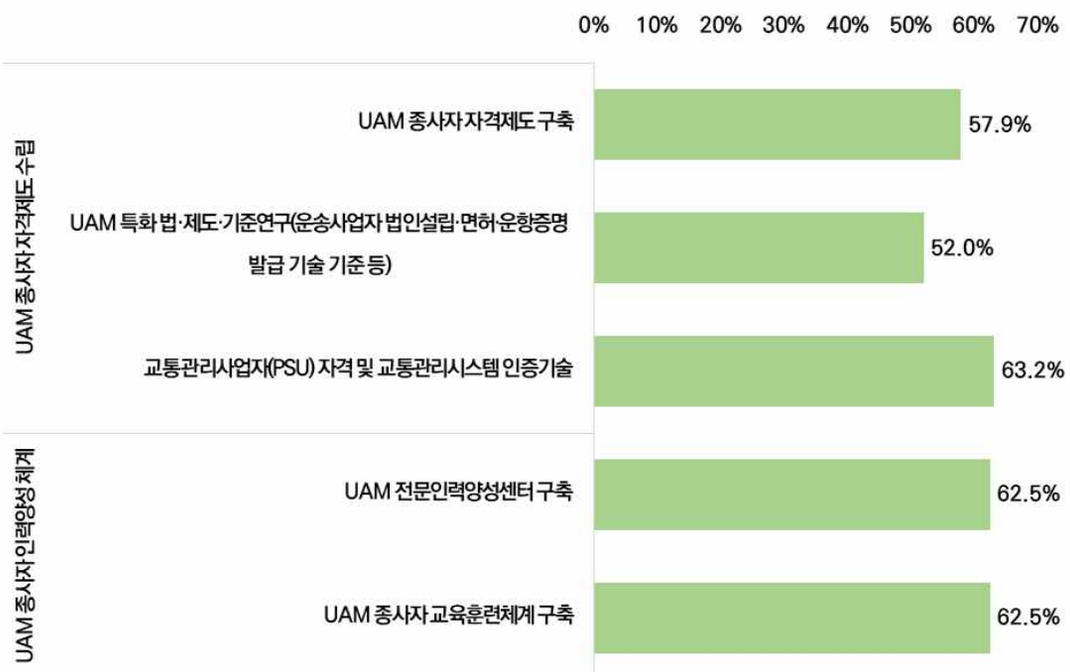
기술명	요소기술	기술의 범위
UAM 전문인력양성센터 구축	UAM 전문인력양성센터 인프라 구축	UAM 전문인력양성을 위한 장비, 시설 구축
	UAM 관련 교육과정 개발·운영·보급	UAM 종사자 전문성 유지, 저변확대를 위한 교육과정 개발·운영
	UAM 연구 및 개발 전문가 양성 지원	UAM 연구 및 개발 전문가 양성을 위한 교육지원 사업 발굴 및 운영 방안 마련

다. 기술수준 및 연구개발전략

■ 운용자격 체계 분야 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 운용자격 체계 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 운용자격 체계 분야에서는 전반적으로 높지 않은 수준의 기술을 보유한 것으로 나타남



[그림 Ⅵ-153] 운용자격 체계 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 운용자격 체계 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

– 미국 유럽이 높은 기술수준을 보유했으며 이들과는 2년 내외의 기술격차가 있는 것으로 나타나며, 일본 중국과는 큰 차이가 없음

〈표 Ⅵ-104〉 운용자격 체계 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
UAM 종사자 자격제도 수립	UAM 종사자 자격제도 구축	-1.50	-1.75	0.00	0.00
	UAM 특화 법·제도·기준연구(운송사업자 법인설립·면허·운항증명 발급 기술 기준 등)	-2.20	-1.80	0.20	0.00
	교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증기술	-1.75	-1.50	0.00	0.00
UAM 종사자 인력양성 체계	UAM 전문인력양성센터 구축	-2.00	-1.75	-0.25	-0.50
	UAM 종사자 교육훈련체계 구축	-2.00	-1.75	-0.25	-0.25



[그림 Ⅵ-154] 운용자격 체계 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 운용자격 체계 분야 국내 산업역량

– 모든 기술이 독자생산의 산업역량이 있는 것으로 조사됨

〈표 Ⅵ-105〉 운용자격 체계 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
UAM 종사자 자격제도 수립	UAM 종사자 자격제도 구축	LV 3(독자생산)
	UAM 특화 법·제도·기준연구(운송사업자 법인설립·면허·운항증명 발급 기술 기준 등)	LV 3(독자생산)
	교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증기술	LV 3(독자생산)
UAM 종사자 인력양성 체계	UAM 전문인력양성센터 구축	LV 3(독자생산)
	UAM 종사자 교육훈련체계 구축	LV 3(독자생산)

● 운용자격 체계 분야 국내 기술개발 역량

– 모든 기술이 미착수 단계인 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-106〉 운용자격 체계 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

중점기술	세부기술	국내기술개발 역량
UAM 종사자 자격제도 수립	UAM 종사자 자격제도 구축	LV 1(미착수)
	UAM 특화 법·제도·기준연구(운송사업자 법인설립·면허·운항증명 발급 기술 기준 등)	LV 1(미착수)
	교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증기술	LV 1(미착수)
UAM 종사자 인력양성 체계	UAM 전문인력양성센터 구축	LV 1(미착수)
	UAM 종사자 교육훈련체계 구축	LV 1(미착수)

UAM 종사자 자격제도 수립 연구개발전략

● UAM 특화 법·제도·기준연구에 대한 기술연구개발 전략

– UAM 운송사업자는 새롭게 시장에 출연하는 사업영역으로 관련 법이 제정되지 않은 미지의 영역임

• 새로운 업종에 맞는 시장친화적인 법규정을 새롭게 제정하여 시대상에 맞는 최적의 행정기준 수립이 필요함

– 다만, UAM 기체의 운항환경을 감안할 때, 현행 항공운송사업자에 적용되는 법·규정 등이 적절한 Reference가 될 수 있다고 판단됨

– 따라서, 현행 유사법규를 참고하여 UAM 사업영역에 맞는 UAM 사업법, UAM 운항증명 발급 절차를 공포하는 것을 목표

● 교통관리사업자(PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증에 대한 기술연구개발 전략

– 교통관리사업자 인허가 법/제도 연구

• 민간 교통관리사업자 인허가를 위한 법/제도 마련

• PSU 최소요건 및 인허가 점검표

• 인허가후 후속관리 방안

– 교통관리사업자 안전관리시스템(SMS)

• PSU 인/허가이후 지속적인 안전관리를 위한 안전관리시스템

– 교통관리시스템 인증기술

• PSU가 사용하는 통신, 감시 및 관제시스템 등 통합된 교통관리시스템의 안정성과 적절성을 확인하기 위한 기준

• 인허가 점검표, 후속 관리방안

● UAM 종사자 자격제도 구축에 대한 기술연구개발 전략

– UAM 종사자 자격제도는 인적 요소의 관리 및 전문성 강화를 통한 사고 예방을 위해 운용됨

– 그러나 자격의 종류, 업무범위, 자격에서 요구하는 지식과 기량의 수준에 따라 UAM 서비스 사업자의 인건비 등 비용에 영향을 줄 수 있어 UAM 서비스 시장 활성화에 장애요소가 될 수 있음

– 따라서 UAM 자동화단계, UAM 운용에 적용되는 기술 수준을 반영한 자격제도를 구축하여

UAM 사고예방과 서비스 시장 활성화간 적절한 균형 모색 필요

- 또한 UAM 시장형성 단계에서부터 UAM 서비스사업자가 충분한 인력풀을 활용할 수 있도록 신규 UAM 종사자 자격취득외에 기존 항공종사자 자격 보유자가 UAM 종사자 자격을 취득할 수 있도록 제도적 장치를 마련해야함
  - 기존 항공종사자(조종, 관제, 정비, 운항관리) 자격제도에 조종, 항행서비스, 버티포트 운영 등 UAM 운용에 적용되는 기술수준을 반영하여 UAM 종사자 자격제도를 간소화시키는 방향으로 구축
  - 국가자격으로 관리가 불필요한 종사자 자격은 제외하고 필수적인 종사자 자격은 업무범위, 취득절차, 자격유지 등 필수적인 사항을 명확히 정의하되 자격 체계는 단순화 필요
- UAM 운용 자격요건에 대해 기존 항공기, 헬리콥터 사업용/운송용 자격 제도에 한정 등급을 추가하는 방식 혹은 자격 종류로 eVTOL를 추가하여 기종별 한정 등급 발부하는 방안 검토
  - 현재까지 공개된 eVTOL 기종은 100여 개 이상이며, 정부의 다기종 관리·감독 부담 경감을 위해서 안전성이 인증된 개별 기체에 대해 민간차원의 한정등급 취득이 타당해 보임
- UAM 운영이 국가간 비행을 전제할 경우 국제기준(ICAO ANNEX 1)의 국내규정 반영이 필수적이므로 UAM 관련 규정에 대한 지속적 모니터링 필요

UAM 종사자 인력양성 체계 기술 연구개발전략

- UAM 종사자 교육훈련체계 구축 연구개발 전략
  - UAM 비행 매뉴얼, 항행서비스 제공 등 UAM 운용 기준을 반영하여 UAM 종사자 종류별 교육과정 개발 등 교육체계 마련 필요
  - 국가의 감독하에 지정 관리되는 교육과정과 민간에서 자체적으로 운영하는 교육에 대한 구분이 필요하며, UAM 종사자 교육을 시행하는 기관에 대한 명확히 구분
  - 조종, 관제(항행서비스 제공) 분야 인력 양성에 필요한 기량의 교육 및 인력양성 비용 절감을 위해 교육훈련용 시뮬레이터 개발 필수
- **(UAM 상용화)** 전문 인력확보는 어려우므로 UAM 종사자 종류에 따라 항공사, 항행서비스 제공 기관 등 기존 민간항공분야의 항공종사자 인력을 적극 활용해 UAM 종사자 인력을 양성

- UAM 운용 방식은 現 항공기 운영방식이 간소화된 형태로 구현될 가능성이 높으므로 기존 항공종사자 인력을 대상으로 UAM 운영에 필요한 지식과 기량에 대한 교육을 시행하여 UAM운영 인력양성 가능

- 또한 이 시기에 UAM종사자 인력 양성을 위한 교육훈련체계 마련, 하여 제도화 필요

● **(UAM시장 활성화)** UAM 운용관련 핵심적인 분야는 정부의 감독하에 인력양성이 이뤄질 수 있도록 표준 교육체계를 마련하고, 민간분야에서 교육체계가 확산될 수 있도록 제도적 기반 마련

- 현재 국가의 감독하에 운영되는 전문교육기관(Approved Training Oraganization)체계를 적용하고 교육과정, 내용 등은 UAM 기술개발 단계를 적용하여 국가에서 마련

- 이외 교육부분은 UAM 서비스 기관에서 자체적으로 운영하도록 유도

● **(UAM시장 확대)** UAM 서비스 제공시장 운영이 국가간 비행을 전제할 경우 국제민간항공기구(ICAO)의 표준과 이행방식이 나오면 이를 국내법에 반영

● UAM 전문인력양성센터 구축에 대한 기술연구개발 전략

- UAM 교육훈련체계 마련시기에 맞춰 인력양성센터 구축

  • UAM 종사자에 대한 교육전반이 이뤄질수 있도록 설비, 인프라 등 마련 필요

- UAM 시장 활성화를 위해 종사자 전문성 유지를 위한 법정교육과정, UAM 운영 분야별 직무교육, 감독관 교육과정을 개발·운영을 통해 핵심적인 교육은 공공분야에서 수행 필요

- 이외 초중고생 또는 일반 국민을 대상으로한 체험교육 등 기초교육과정을 개발· 운영하여 UAM저변 확대 및 UAM 수용성 제고 필요

- UAM시장 활성화를 위해 정부주도의 조종인력양성사업을 한시적으로 운영하여 민간분야에 UAM 전문인력 원활히 공급

- 이외에도 UAM 전문 엔지니어 양성을 위한 교육지원 사업 발굴 및 운영 방안 마련하고 기존 항공 관련 학과가 개설된 대학에 UAM 관련 전문과정을 신설할 수 있도록 유도

- 기존 항공우주공학과 함께 운항·서비스·인프라 등 다양한 분야 전문 커리큘럼 개발 및 보급 확대, 주요 연구기관 및 공공기관 등 기관 내 교육기능 과정 추가(기관간 협력)

라. 운용자격 체계 분야 기술로드맵

■ 운용자격 체계 분야 단계별 기술개발 목표

● UAM 종사자 자격제도 수립

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 사업면허 발급 기준에 대한 법 제도화
- 운항증명 신청 및 발급 시 근거가 될 세부요건 법제화
- UAM 종사자 종류, UAM 종사자 종류별 업무범위 확정
- UAM 종사자 종류별 적정수준의 경력(응시자격) 기준 마련
- UAM 종사자별 필요 지식의 종류 및 범위, 지식의 평가 방법 마련
- UAM 종사자의 항공영어구술능력 수준, 평가방법, 유지방안 도출
- UAM 운영을 위한 표준 무선통신 수행 능력 수준, 평가방법, 유지방안 도출
- UAM 종사자별 업무 수행을 위한 적정 신체기준 및 검사 방법, 유효기간 도출
- UAM 종사자별 자격발급, 자격유지 조건 및 기간 도출
- UAM 종사자 자격제도 관련 국제기준 모니터링 및 국내 반영

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 업계의 Feedback 수집 및 제도 개선 항목 발굴
- 업계와 정부 공동의 거시적 개선전략 확정
- UAM 종사자 자격관리시스템 구축
- UAM 기술 개발 및 발전에 따른 UAM 종사자 자격제도 개선사항 발굴 및 적용
- UAM 종사자 자격제도 관련 국제기준 모니터링 및 국내 반영

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 안전성 향상 및 시장 친화적인 개정안 공포
- UAM 종사자 자격제도 유지 관리

● **UAM 종사자 인력양성 체계**

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 사업면허 발급 기준에 대한 법 제도화
- UAM 종사자별 교육과정(지식,기량) 마련
- UAM 종사자별 교육평가 방법 마련
- UAM 종사자 교육에 필요한 인력, 시설 및 장비 기준 마련
- UAM 종사자 교육평가 방법 마련
- UAM 전문인력양성센터 구축 타당성 연구
- UAM 인력양성관련 국제기준 모니터링 및 국내 반영

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 업계의 Feedback 수집 및 제도 개선 항목 발굴
- 업계와 정부 공동의 거시적 개선전략 확정
- UAM 종사자 기량 교육을 위한 모의훈련장치(시뮬레이터) 개발
- UAM 종사자 전문교육기관 지정기준, 점검 기준 마련 및 제도화(법 개정)
- UAM 인력양성사업 운영
- 전문인력양성센터 구축을 위한 법 개정
- UAM 전문인력양성센터 구축 및 운영
- UAM 인력양성관련 국제기준 모니터링 및 국내 반영
- UAM 기술 개발 및 발전에 따른 UAM 교육훈련체계 개선사항 발굴 및 적용

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 안전성 향상 및 시장 친화적인 개정안 공포
- UAM 기술 개발 및 발전에 따른 UAM 교육훈련체계 개선사항 발굴 및 적용
- UAM 종사자 자격제도 유지 관리
- UAM 전문인력양성센터 운영

운용자격 체계 분야 기술로드맵

● 2개 중점기술 및 5개 세부기술로 구성

〈표 Ⅵ-107〉 운용자격 체계 분야 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM 종사자 자격제도 수립	UAM 특화 법·제도·기준 연구 (운송사업자 법인설립·면허·운항증명 발급 기술 기준 등)	UAM 운영사업자 법인설립 기준	■	■	■	■										
		UAM 운영사업자 면허신청/발급절차	■	■	■	■										
		UAM 운영사업자 운항 증명신청 및 발급 절차	■	■	■	■										
	교통관리사업자 (PSU) 자격 및 교통관리시스템 인증기술	교통관리사업자 인허가 기준 및 절차				■	■	■								
		교통관리 사업자 안전관리 시스템(SMS)					■	■	■							
		교통관리 시스템 인증기술						■	■	■						
	UAM 종사자 자격제도 구축	종사자 자격 종류	■	■	■											
		자격증명 취득 기준, 절차, 방법	■	■	■											
		자격 종류별 평가 기준 및 방법	■	■	■											
		UAM 종사자 자격관리시스템 구축	■	■	■											
UAM 종사자 인력양성 체계	UAM 종사자 교육훈련체계 구축	전문교육기관 지정 및 관리 기준 마련	■	■	■											
		전문교육기관 교육관리시스템 구축	■	■	■											
		UAM 종사자 자격별 교육훈련기법 개발	■	■	■											
		조종, 관제 시뮬레이터 개발	■	■	■	■	■									
	UAM 전문인력양성센터구축	UAM 전문인력양성센터 인프라 구축	■	■	■											
		UAM 관련 교육과정 개발·운영·보급	■	■	■											
		UAM 연구 및 개발 전문가 양성 지원	■	■	■											

제5절 핵심기술 부문 기술로드맵

1. 핵심기술 부문 총괄

가. 정의 및 필요성

기술정의

- 대중들이 도심 내 UAM 서비스를 수용할 수 있도록 UAM 운용의 안전성과 쾌적함을 확보하는 핵심기술
  - **(자율비행)** 조종 단순화 기술과 완전 자율비행이 가능하도록 하는 모든 기술
  - **(기체소음진동 저감)** 운용환경에 대한 영향을 최소화하기 위한 기체 발생 소음 저감기술과 승객이 안락함을 느낄 수 있도록 하는 진동 저감 기술

기술 범위

- 자율비행기술은 UAM 비행체의 조종을 최대한 단순화하기 위한 자동화 기술에서 조종사 없이 스스로 비행이 가능한 자율비행기술을 모두 포괄
  - UAM의 초기단계에서는 조종사가 탑승하나, 조종에 필요한 기능들을 최대한 자동화해 조종사의 피로도와 다양한 기상조건과 비행상황에서 사고 가능성을 최소화
  - UAM의 자동화 수준이 높아짐에 따라, 조종사가 비행체에 탑승하지 않고 지상에서 비행상황을 감시하는 역할로 전환이 가능한 Leve l4* 수준의 자율화가 필요

    * 무인기의 자율수준은 Lv1(원격조종), Lv2(자동경로비행), Lv3(자동충돌회피), Lv4(감독하 자율비행), Lv5(완전자율비행) 등으로 구성

  - 자율비행기술은 비행체에 탑재되는 비행컴퓨터 플랫폼, 탑재 소프트웨어 플랫폼, 자율비행 알고리듬, 항법 및 충돌회피 센서 및 알고리듬 및 지상과의 안정적인 디지털 네트워크 통신 등의 기술로 구성
- 기체 소음 및 진동저감 기술은 기체로부터 발생하는 소음을 저감하기 위한 기술, 객실 내 승객이 체감하는 소음 수준을 낮추기 위한 기술을 포함
  - 도심 운용조건을 고려한 프롭로터의 강건설계, 저소음/진동저감 설계기술, 다중 프로펠러의 저소음 설계 및 능동제어 기술을 통해 UAM 기체의 소음 발생 수준을 낮춤
  - 객실 내 소음저감을 위해 음장최적화 기반 기술을 개발하여 승객 편의성을 향상시킴

기술개발 필요성

- 자율비행기술을 통해 UAM 비행체가 운항할 수 있는 시간과 공간의 확장이 가능하고, 비행체 운용비용을 절감시킬 수 있으며, 악기상이나 비상상황 발생 시 안전성 등의 개선이 가능

  – 자율비행기술은 단계별 시나리오 중 조종사 운용비용 절감을 가능케 할 가장 핵심적인 기술임 비행체가 자동화됨에 따라, 조종사의 피로도가 대대적으로 감소할 수 있어, 비행가능시간*이 확대될 것으로 예측.

  * 수직이착륙이 가능한 헬리콥터의 경우, 조종사 1인당 일일 평균 비행시간이 1.5시간 정도에 머물러 있어, 비싼 운용비용의 한 원인. 자율비행기술을 통해 1단계 SVO에서는 6시간 이상의 조종시간 확보, 이후 자율비행을 통해 1인당 비행시간을 12시간 이상으로 확대가 가능

  – 비행체에 탑재되는 다양한 탐지센서를 통해, 악기상이나 돌발상황에서 주변의 구조물이나 타 비행체에 대한 상황인지가 대대적으로 개선될 수 있으며, 기체고장이나 난기류 등에 의해 비행체의 기동이 불안정한 상황에서도 안전하게 대처할 수 있는 능력확보가 가능해 UAM에 대한 대중들의 신뢰확보를 가능케 할 것으로 기대됨

- 운항 중 지상에 전달되는 소음과 이착륙장 및 주변 소음, 객실 내 승객이 체감하는 소음을 낮추는 것은 UAM의 도심 내 운용을 위해 반드시 필요

  – 전기동력으로 추진되는 프로펠러 시스템에서 가장 주요한 소음원은 프로펠러 소음원이며, 이를 저감하기 위한 형상, 배치 등의 설계가 필요

    • 객실 내의 과도한 소음 노출은 승객의 불쾌도(Annoyance)를 증가시키기 때문에 이를 줄이기 위해서 객실 내의 음장을 예측하고, 이를 감쇠시키기 위한 능동소음제어 기술의 개발이 필수적임

    • 비행체의 소음 모델링 및 해석기술 등을 통해 이착륙장 주변의 소음공해 예측 및 저감기술 확보가 필요

나. 기술 동향 및 수준

■ 기술 동향

● NASA는 조종사가 탑승하나 최대한 자동운용(SVO, simplified vehicle operation)을 거쳐, 원격으로 조종/감독하는 'Safety Pilot'을 거쳐 완전 자동화의 단계로 발전하는 자율비행계획을 수립해 연구개발을 수행



[그림 Ⅵ-155] Overview of the Piloted Aircraft Path

– 각 자율비행의 기술수준 단계별로 탑승안락도(flight quality), 조종성능, 비행안전성 등을 평가할 수 있는 시뮬레이터 등을 개발

– 하니웰(미) 등은 UAM용 eVTOL기체의 초기형 통합 비행 제어 컴퓨터를 개발해 판매 중

* 하니웰 제품은 Fly-by-wire와 레이더기반 충돌회피 등이 구현된 낮은 수준의 제품이나, 향후 지속적인 up-grade가 예상

● NASA, Joby aviation, Volocopter, EHang 등은 기체발생 소음 저감을 UAM의 도심 내 운용을 위한 중요기술로 설정하고, 저소음 프롭 추진 시스템 개발을 진행 중임

– Joby aviation은 다중 프로펠러에서 발생하는 소음을 줄이기 위해 개별 회전속도를 제어하며, 배치 설계를 다양화하는 등의 기술을 개발하고 있으며, 관련 특허를 공개함

– 한국항공우주연구원은 OPPAV 사업을 통해 프로펠러 형상 최적화를 수행함

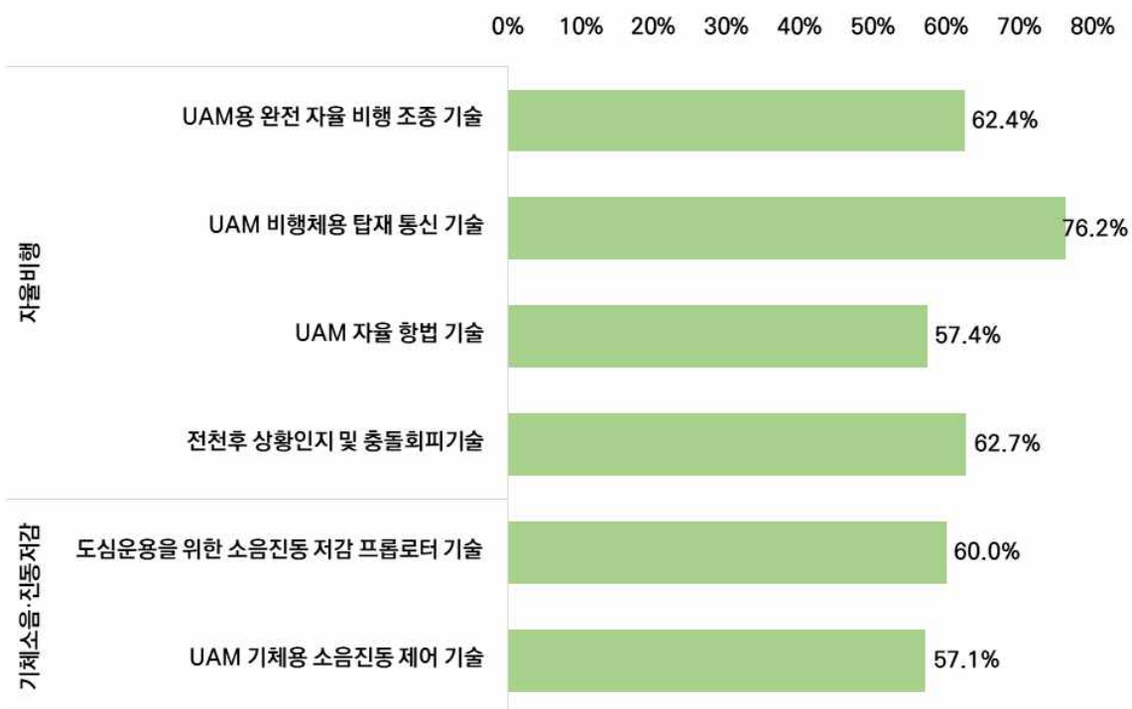
■ 핵심기술 부문 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 핵심기술 부문 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 세부기술별로 큰 차이는 없으나, 상대적으로 SW 분야의 국내 기술 수준이 경쟁국 대비 낮은 것으로 조사됨

〈표 Ⅵ-108〉 기체부품 부문 주요분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술수준

주요분야	중점기술	국내 기술수준
자율비행	UAM용 완전 자율 비행 조종 기술	62.4%
	UAM 비행체용 탑재 통신 기술	76.2%
	UAM 자율 항법 기술	57.4%
	전천후 상황인지 및 충돌회피기술	62.7%
기체소음·진동저감	도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술	60.0%
	UAM 기체용 소음진동 제어 기술	57.1%



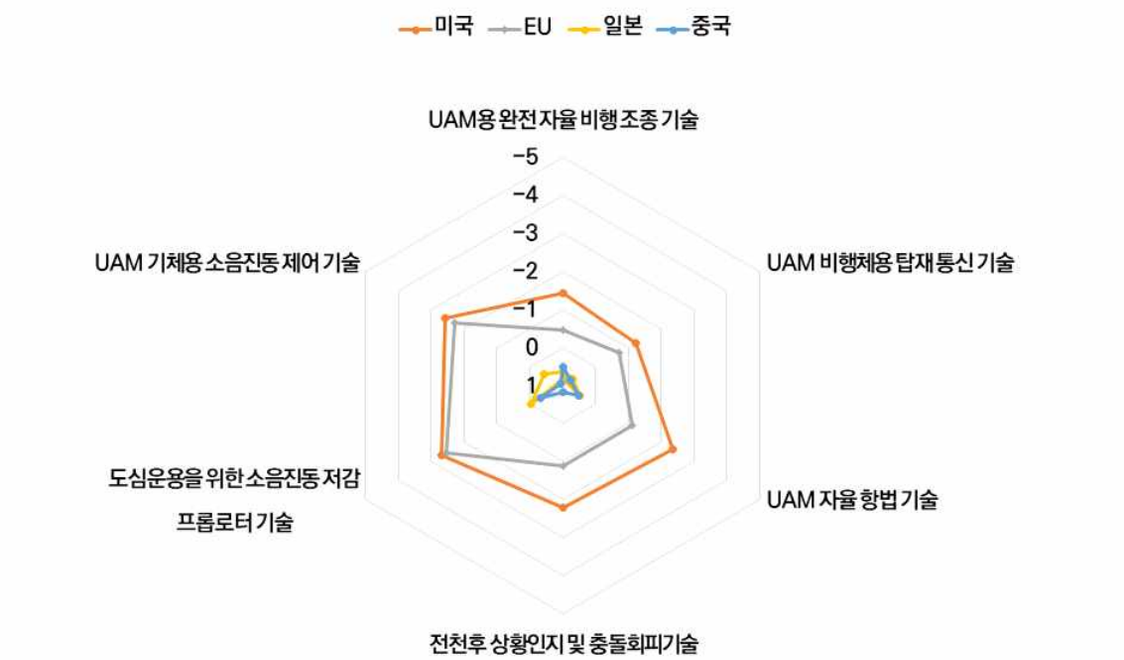
[그림 Ⅵ-156] 기체부품 부문 주요분야-중점기술별 최고 선진국 대비 국내 기술수준

● 핵심기술 부문 세부기술별 경쟁국 대비 기술 격차

– 미국과 유럽이 선두권으로 1~2년 내외의 기술격차가 나고, 일본, 중국보다는 앞선 기술 수준을 가진 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-109〉 핵심기술 부문 주요분야-중점기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

주요분야	중점기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
자율비행	UAM용 완전 자율 비행 조종 기술	-1.44	-0.44	0.65	0.50
	UAM 비행체용 탑재 통신 기술	-1.23	-0.70	0.68	0.75
	UAM 자율 항법 기술	-2.34	-1.13	0.47	0.49
	전천후 상황인지 및 충돌회피기술	-2.20	-1.13	1.16	0.82
기체소음·진동저감	도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술	-2.67	-2.52	0.06	0.33
	UAM 기체용 소음진동 제어 기술	-2.57	-2.29	0.43	0.93



[그림 Ⅵ-157] 핵심기술 부문 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 핵심기술 부문 국내 산업역량

– 면허생산은 17건, 전량수입과 독자생산은 각 2건으로 조사됨

〈표 Ⅵ-110〉 핵심기술 부문 국내산업 역량

산업역량	세부기술 수	비중
LV 1(전량수입)	2	9.5%
LV 2(면허생산)	17	81.0%
LV 3(독자생산)	2	9.5%
LV 4(세계시장진출)	0	0.0%
LV 5(세계시장경쟁)	0	0.0%
총계	**21**	**100%**

● 핵심기술 부문 국내 기술개발 역량

– 기초/응용연구수행이 11건, 기초연구수행이 7건, 미착수가 3건으로 조사됨

〈표 Ⅵ-111〉 핵심기술 부문 국내 기술개발 역량

기술개발 역량	세부기술 수	비중
LV 1(미착수)	3	14.3%
LV 2(기초연구수행)	7	33.3%
LV 3(기초/응용연구수행)	11	52.4%
LV 4(기초/응용/상용화연구수행)	0	0.0%
총계	**21**	**100%**

다. 핵심기술 부문 기술로드맵

■ 핵심기술 부문 단계별 기술개발 목표

● **(자율비행 분야)** SVO단계에서 원격운항감시를 거쳐 완전자율비행까지를 구현

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 비행체 조종을 최대한 자동화한 SVO를 구현하고 실증을 통해 안전성과 신뢰성 등을 입증

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 자율비행이 적용된 비행체 구현
- 지상에서 유인 조종사가 모니터링하는 Level4급 자율비행단계를 구현

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 단일 조종사가 다수의 UAM 비행체를 감독하는 완전자율단계의 자율비행기술을 확보
- 비행시험을 통한 자율비행 시스템을 실기체 적용 준비를 완료

● **(기체 소음 진동 저감 분야)** 150m 거리에서 60dBA 이하, 객실 내 72dBA 이하 달성

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 도심운용조건에 적합한 프롭로터 형상 도출 및 해석적인 성능확인
- 프롭로터 허브 진동 30% 감소
- 전기체(승객 4인승) 적용 시 150m 거리에서 70dBA 이하 소음수준 달성
- 승객실 진동 수준 0.15g 이하 달성
- 객실내 소음 수준 80dBA 이하 달성

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 도심운용조건에 적합한 프롭로터 형상 개발 및 시험을 통한 성능확인
- 프롭로터 허브 진동 50% 감소
- 전기체(승객 4인승) 적용 시 150m 거리에서 65dBA 이하 소음수준 달성
- 승객실 진동 수준 0.1g 이하 달성
- 객실내 소음 수준 77dBA 이하 달성

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- 도심운용조건 및 비상상황에 적합한 프롭로터 형상 도출
- 프롭로터 허브 진동 60% 감소 달성
- 전기체(승객 4인승) 적용 시 150m 거리에서 60dBA 이하 소음수준 달성
- 승객실 진동 수준 0.07g 이하 달성
- 객실내 소음 수준 72dBA 이하 달성

핵심기술 부문 기술로드맵

● 총 2건의 주요분야와 그에 따른 6건의 중점기술개발이 추진되어야 함

〈표 Ⅵ-112〉 핵심기술 부문 기술로드맵

주요분야	중점기술	세부기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
자율비행	UAM용 완전 자율 비행 조종 기술	비행체용 Vertiport 접근 및 자동 이착륙 기술														
		UAM용 Integrated Flight Deck System														
		완전 자율비행을 위한 UAM SW 플랫폼 기술														
		자율비행시스템 무결성 확보를 위한 핵심 알고리즘 및 센서 시스템 기술														
		완전자율비행 탑재 알고리즘 개발 및 실증기술														
	UAM 비행체용 탑재 통신 기술	UAM 비행체용 온보드 다중매체 통신모듈 기술														
		UAM 비행체용 다중링크 (5G, C대역, LEO위성) 통신 기술														
		UAM 재밍, 스푸핑 등 전파기반 불법공격 대응기술														
		UAM 비행체용 보안통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안 기술														

주요분야	중점기술	세부기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
자율비행	UAM 자율 항법 기술	UAM 운용을 위한 영상(라이다 등) 대기센서, 통합센서 기술														
		위성항법 불용 환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체항법-상대항법 복합기술														
		센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작 기술														
		악기상/시계제한 상황에서 정밀이착륙을 위한 정밀복합항법기술														
	전천후 상황인지 및 충돌회피 기술	UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술														
		UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템														
		UAM 영상감시 기술														
기체소음·진동 저감	도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터기술	도심 운용조건을 고려한 프롭 로터 시스템 성능 강건설계 (robust design) 기술														
		UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술														
		UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술														
	UAM 기체용 소음진동 제어 기술	UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술														
		객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술														

2. 자율비행 분야 기술로드맵

가. 기술 정의 및 구성

기술정의

- **(UAM용 완전 자율 비행 조종 기술)** UAM 기체에 탑재되어 비행체를 이륙지점부터 착륙지점까지 스스로 비행하고, 기체를 관리하며, 승객에 편의와 안전운항정보를 제공하기 위한 탑재전자 하드웨어/소프트웨어 시스템 및 관련 기술
  - **(비행체용 Vertiport 접근 및 자동 이착륙 기술)** 정밀 자동이착륙을 위한 주변환경인식, 유도제어 및 자율비행제어기술
  - **(UAM용 Integrated Flight Deck System)** UAM의 안전한 자율비행을 구현하기 위한 통합 아키텍처를 가진 UAM용 Avionics 개발
  - **(완전 자율비행을 위한 UAM SW 플랫폼 기술)** OS/미들웨어 등의 운영체계, 응용프로그램 개발 지원 툴(SDK), 신뢰성입증을 위한 SITL, 탑재HW/SW의 각 구성품들 간의 데이터 교환 표준화 기술
  - **(자율비행시스템 무결성 확보를 위한 핵심 알고리즘 및 센서 시스템 기술)** UAM 기체 건전성 실시간 모니터링 및 고장대처 기술개발
  - **(완전자율비행 탑재 알고리즘 개발 및 실증기술)** 비행체 유도/항법/제어 알고리즘의 고도화 및 구현 기술
- **(UAM 비행체용 탑재 통신 기술)** 도심 내에서 다양한 기상환경, 전파환경에서도 강건한 통신상태를 유지하기 위해 다중*방식과 복합경로를 이용한 통신기술, 전파 및 사이버 공격에 강건한 통신네트워크 구성기술 등으로 구성
  - **(UAM 비행체용 온보드 다중매체 통신모듈 기술)** UAM 비행체의 항법, 제어, 센서, 인포테인먼트 등의 다중 항공전자 시스템 간의 실시간 및 신뢰성 있는 데이터 전달과 네트워크 장치의 고장 및 장애 발생시 이를 효율적으로 관리 극복할 수 있는 고속 이더넷 백본 네트워킹 기술
  - **(UAM 비행체용 다중링크 (5G, C대역, LEO위성) 통신 기술)** UAM 비행체의 광대역 기반의 안전하고 신뢰성 있는 통신과 공중에서의 비행체 이동의 끊김없는 통신 서비스 제공을 위한 상용 및 전용 통신, 위성을 결합한 다양한 무선통신 링크를 지원하는 C2 (Command & Control) 및 서비스 데이터 통합 통신 기술
  - **(UAM 재밍, 스푸핑 등 전파기반 불법공격 대응기술)** 각종 재밍 및 스푸핑 등 UAM 체계 내 불법 공격 상황에 대한 감지 및 대응 기술 개발

- **(UAM 비행체용 보안통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안 기술)** UAM 식별장치를 통한 방송 및 네트워크 방식의 UAM 식별 기술, 운항 데이터의 무결성 기술 개발과 해킹 방지를 위한 보안 플랫폼 기술 개발 및 데이터 수집 및 복구 기술 개발

● **(UAM 자율 항법 기술)** 다양한 지형조건, 기상상황, 전파환경 등에 의한 센서정보의 왜곡과 외부의 전파공격 등에 의한 센서 불능 상태 등을 극복하고, 비행체의 안전하고 자율적인 비행에 필요한 항법정보를 제공하는 기술

- **(UAM 운용을 위한 영상(라이다 등), 대기센서, 통합센서 기술)** UAM 운용을 위한 영상기술 개발 및 이를 통합하는 기술 개발

- **(위성항법 불용 환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체항법-상대항법 복합기술)** 위성항법 불용 환경의 도심 지역과 vertiport 이착륙에 활용할 수 있는 항법기술

- **(센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작 기술)** 센서 불용 및 고장에도 기능할 수 있는 항법장치 제작 기술

- **(악기상/시계제한 상황에서 정밀이착륙을 위한 정밀복합항법기술)** 도심 내 vertiport 운영을 위해 환경변화에 강인한 정확한 위치 추정정보 획득 및 정밀 이착륙을 위한 정밀 복합항법기술

● **(전천후상황인지 및 충돌회피기술)** 비행경로와 비행체의 주변에 존재하는 고정 및 이동 물체를 탐지해 충돌을 막는 탐지센서 및 회피알고리듬 기술

- **(UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술)** 다중 탑재 센서에서 획득된 데이터를 융합하여 장애물을 탐지 및 식별, 추적하는 기술

- **(UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템)** UAM 기체 주변의 모든 장애물을 탐지하여 충돌회피를 위한 실시간 정보를 제공하는, UAM 기체 탑재용 소형 레이다 핵심 기술

- **(UAM 영상감시 기술)** UAM의 안전한 도심운용을 위해 필요한 영상항법을 통한 상황인지 및 충돌회피 기술

■ 기술구성

● UAM용 완전 자율 비행 조종 기술

- UAM용 Integrated Flight Deck System

  • UAM 센서 통합 기술, UAM 멀티디스플레이 개발과 개발된 통합 자율비행시스템에 대한 지상시험과 비행시험을 통해 효율성을 입증하고, 자율화 수준을 평가하며, 안전성과 신뢰성을 보장하는 시험평가기술로 구성

– 완전 자율비행을 위한 UAM SW 플랫폼 기술

• OS/미들웨어 등의 운영체계, 응용프로그램 개발 지원 툴(SDK), 신뢰성입증을 위한 SITL, 탑재HW/SW의 각 구성품들간의 데이터 교환 표준화 기술 등으로 구성

– 완전자율비행 탑재 알고리듬 개발 및 실증기술

• 비행과정 전 구간에 대한 자율비행기술과 기체관리, 승객지원 및 안전보장을 위한 알고리듬을 개발하고, 이를 SW로 제작해 시험 입증하는 기술

– 비행체용 Vertiport 접근 및 자동 이착륙 기술

• 정밀 자동이착륙을 위한 주변환경인식, 유도제어 및 자율비행제어기술

– 자율비행시스템 무결성 확보를 위한 핵심 알고리즘 및 센서 시스템 기술

• 탑재전자 하드웨어 시스템과 탑재비행 소프트웨어 그리고 자율비행, 기체관리, 승객지원 핵심 알고리듬 등으로 구성되며, 통합자율비행시스템의 자율화 수준을 평가하고, 안전성과 신뢰성을 보장하기 위한 시험평가 기술 등으로 구성

* 탑재전자하드웨어는 비행제어컴퓨터, 항법·탐지·기상센서, 비행체 상태모니터링 센서, 센서정보처리장치, 비행지도/기상정보/교통관리 DB, 전자장비간의 네트워크 등으로 구성

• 소형드론의 단일보드 컴퓨터구조, 대형여객기 등의 탑재 컴퓨터 다중화 아키텍쳐 등을 고려해 운용 안전성과 경제성 확보가 가능한 최적의 HW 아키텍처를 구현하고, 이에 대한 안정성·신뢰성을 입증

* 탑재소프트웨어는 탑재컴퓨터를 구동하기 위한 OS/미들웨어 등의 운영체계, 응용프로그램 개발 지원 툴(SDK), 신뢰성입증을 위한 SITL, 탑재HW/SW의 각 구성품들간의 데이터 교환 표준화 기술 등으로 구성

* 소형드론의 PX4, 아두파일롯 등과 유사한 공통오픈SW, UAVCAN 등을 확장한 시스템 내부 통신 규약 등으로 구성

* 최신 항공기들이 제공하는 3D비행지도(moving map), 기상 실시간 및 예보 정보, 전자비행배낭(Electronic Flight Bag, 비행상태, 기체상태 등을 기록하고 제공), 통합상황인지 향상을 위한 비전기술, 실시간 교통정보 처리 기술 등을 포함

● UAM 비행체용 탑재 통신 기술

– 다양한 상황과 위치에서 통신무결성을 보장하기 위해, 다중통신을 지원하는 탑재 통신 모듈, 다양한 경로를 이용한 네트워크 구성을 위한 메시-토폴로지 기술, 전파 및 사이버 공격 대응기술 등

– UAM 비행체용 온보드 다중매체 통신모듈 기술

• UAM 비행체 고속 백본 및 데이터 제어 버스 기술, 실시간 및 서비스품질(QoS) 지원 고속 트래픽 전달 기술, 고장 및 장애 극복 다중화 트래픽 관리 기술로 구성

– UAM 비행체용 다중링크(5G, C대역, LEO위성) 통신기술

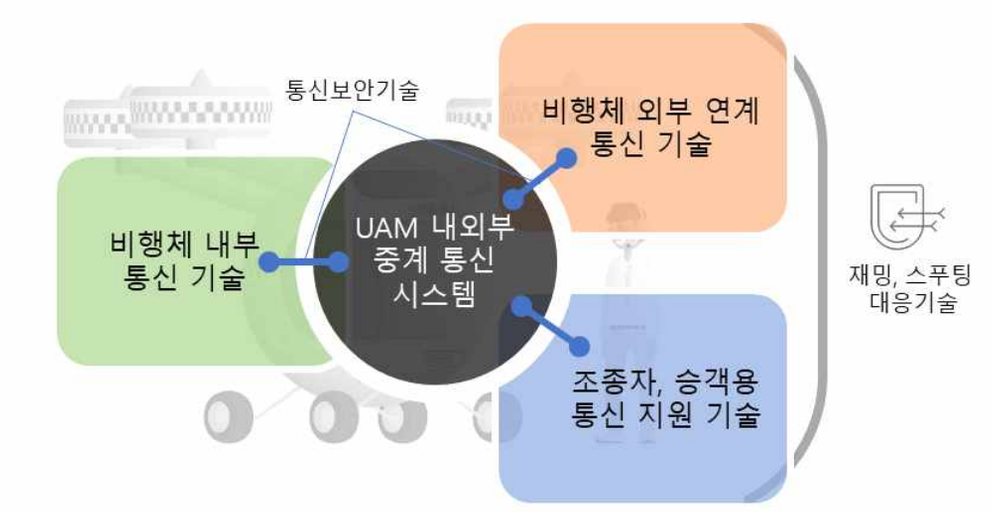
• C대역, 5G/6G, LEO 위성 통신장치 데이터링크 및 통합단말 기술, UAM 비행체를 위한 다중링크 공간 네트워크 기술, UAM 다중링크 지원 비행체 컨포멀 안테나 기술로 구성

– UAM 비행체용 보안 통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안 기술

• UAM 비행체 식별 및 감시 기술, UAM 통신 및 네트워크 보안 기술, UAM 데이터 분석 및 포렌식 기술 등으로 구성

– UAM 재밍, 스푸핑 등 전파기반 불법공격 대응기술

• UAM 비행체의 재밍 등 전파 방해 위협 요소 회피 기술, UAM 비행체 간 실시간 상호 검증 기반 스푸핑 등 감지 기술, 적응형 보안 기술, 보안 메커니즘 세분화를 통한 고신뢰 보안 플랫폼 기술 개발 등으로 구성



[그림 Ⅵ-158] 탑재 통신시스템 정의

● UAM 자율 항법 기술

– UAM기체의 자율비행에 요구되는 기체의 위치와 자세, 운동량을 산출하기 위해 요구되는, 센서하드웨어기술, 데이터 처리기술, 센서 불용 및 고장 상황시 대응 기술 등

– 악기상, 전파복잡환경 등의 다양한 기후조건, 비행장소 등에 구애받지 않는 강건한 위성 항법 기술개발

– 위성항법, 관성항법, 대체항법 등을 복합해 이종센서를 결합한 통합 항법 장치 하드웨어 제작 기술

– 위성항법 불용 환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체항법-상대항법 복합기술

• GNSS 신호 단절 또는 왜곡 시 분리 및 대응 기술, 영상, 라이다 등을 이용한 대체 항법으로 구성

– UAM 운용을 위한 영상(라이다 등) 대기센서, 통합센서 기술

• 이종 센서의 신호 간섭 및 기하학적 배치를 고려한 하드웨어 설계, 제작 기술, 집적 설계를 통한 소형/경량의 하드웨어 개발 및 제작 기술, 제작품의 기능/성능에 대한 시험 및 평가 기술로 구성

– 센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작 기술

• 각종 센서 정보를 결합한 복합항법 알고리즘 개발 기술, 센서 불용 및 고장 발생 시 비선형 특성에 대응 가능한 필터 개발 기술, 관성측정장치의 고장 검출 및 분리, 이종 센서 간 정보 감시를 통한 고장 검출 및 분리로 구성

– 악기상/시계제한 상황에서 정밀이착륙을 위한 정밀복합항법기술

• 이종 센서의 신호 간섭 및 기하학적 배치를 고려한 하드웨어 설계, 제작 기술, 집적 설계를 통한 소형/경량의 하드웨어 개발 및 제작 기술, 제작품의 기능/성능에 대한 시험 및 평가 기술로 구성

● 전천후상황인지 및 충돌회피기술

– UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술

• 깊이정보기반 실시간 경로 최적화 기술, 다중 장애물 인식 및 회피 기술로 구성

– UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템

• 원거리/全방향 감시 및 소형비행체 탐지가 가능한 레이다 반도체칩 기술, UAM 기체 탑재 전용의 레이다 패키징 및 시스템 기술, Low RCS 장애물 탐지 및 다중 추적을 위한 신호처리 기술로 구성

– UAM 영상감시 기술

• 기상악화, 야간 등의 상황 등을 포함해 UAM기체 주변의 고정구조물 및 이동 비행체 등을 탐지하고, 충돌 등을 방지하기 위한 센서 및 알고리듬 기술 등

– UAM 영상항법을 통한 상황인지 기술

• 3차원 영상항법을 위한, 센서융합 기반 영상 항법 기술, 단안 카메라 기반 위치 측위 기술, 영상 기반 야간 위치 추정 기술, 영상기반 의미지도 작성 및 위치 추정 기술

• 통합상황인지를 위한 영상내 객체 인지 및 상태 추정, 주변 상황정보 인지 및 추정 기술, 디지털 맵(Digital Map)내 UAM 위치 인식 기술

• UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템 기술

* UAM 기체 주변의 모든 장애물을 탐지하여 충돌 회피를 위한 실시간 정보를 제공하는, UAM 기체 탑재용 소형 레이다의 핵심 요소기술

* 원거리/全방향 감시 및 소형비행체 탐지가 가능한 레이다 반도체칩 기술

* UAM 기체 탑재 전용의 레이다 패키징 및 시스템 기술

* Low RCS 장애물 탐지 및 다중 추적을 위한 신호처리 기술

• 다중 센서 융합을 통한 충돌회피 기술

* 깊이정보기반 실시간 경로 최적화 기술, 다중 장애물 인식 및 회피 기술, 착륙가능위치 추정 및 자율 이착륙 기술

〈표 Ⅵ-113〉 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
UAM용 완전 자율 비행 조종 기술	UAM용 Integrated Flight Deck System	• UAM 센서 통합 기술 • UAM 멀티디스플레이 개발 • 개발된 통합 자율비행시스템에 대한 지상시험과 비행시험을 통해 효율성을 입증하고, 자율화 수준을 평가하며, 안전성과 신뢰성을 보장하는 시험평가기술
	완전 자율비행을 위한 UAM SW 플랫폼 기술	• OS/미들웨어 등의 운영체계, 응용프로그램 개발 지원 툴(SDK), 신뢰성입증을 위한 SITL, 탑재HW/SW의 각 구성품들간의 데이터 교환 표준화 기술 등
	완전자율비행 탑재 알고리즘 개발 및 실증기술	• 비행과정 전 구간에 대한 자율비행기술과 기체관리, 승객 지원 및 안전보장을 위한 알고리듬을 개발하고, 이를 SW로 제작해 시험 입증하는 기술
	비행체용 Vertiport 접근 및 자동 이착륙 기술	• 정밀 자동이착륙을 위한 주변환경인식, 유도제어 및 자율비행제어기술
	자율비행시스템 무결성 확보를 위한 핵심 알고리즘 및 센서 시스템 기술	• 자율비행을 위한 고장진단 및 대처, 안전성 및 신뢰성 보장 기술 • 비행제어컴퓨터, 항법・탐지・기상센서, 비행체 상태모니터링 센서, 센서정보처리장치, 비행지도/기상정보/교통관리 DB, 전자장비간의 네트워크 등
UAM 비행체용 탑재 통신 기술	UAM 비행체용 온보드 다중매체 통신모듈 기술	• UAM 비행체 고속 백본 및 데이터 제어 버스 기술 • 실시간 및 서비스품질(QoS) 지원 고속 트래픽 전달 기술 • 고장 및 장애 극복 다중화 트래픽 관리 기술
	UAM 비행체용 다중링크 (5G, C대역, LEO위성) 통신 기술	• C대역, 5G/6G, LEO 위성 통신장치 데이터링크 및 통합 단말 기술 • UAM 비행체를 위한 다중링크 공간 네트워크 기술 • UAM 다중링크 지원 비행체 컨포멀 안테나 기술
	UAM 비행체용 보안통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안 기술	• UAM 비행체 식별 및 감시 기술 • UAM 통신 및 네트워크 보안 기술 • UAM 데이터 분석 및 포렌식 기술
	UAM 재밍, 스푸핑 등 전파기반 불법공격 대응기술	• UAM 비행체의 재밍 등 전파 방해 위협 요소 회피 기술 • UAM 비행체 간 실시간 상호 검증 기반 스푸핑 등 감지 기술 • 적응형 보안 기술, 보안 메커니즘 세분화를 통한 고신뢰 보안 플랫폼 기술 개발

중점기술	세부기술	기술명세
UAM 자율 항법 기술	위성항법 불용 환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체항법-상대항법 복합기술	• GNSS 신호 단절 또는 왜곡 시 분리 및 대응 기술 • 영상, 라이다 등을 이용한 대체항법
	UAM 운용을 위한 영상(라이다 등) 대기센서, 통합센서 기술	• 이종 센서의 신호 간섭 및 기하학적 배치를 고려한 하드웨어 설계, 제작 기술 • 집적 설계를 통한 소형/경량의 하드웨어 개발 및 제작 기술 • 제작품의 기능/성능에 대한 시험 및 평가 기술
	센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작 기술	• 각종 센서 정보를 결합한 복합항법 알고리즘 개발 기술 • 센서 불용 및 고장 발생 시 비선형 특성에 대응 가능한 필터 개발 기술 • 관성측정장치의 고장 검출 및 분리 • 이종 센서 간 정보 감시를 통한 고장 검출 및 분리
	악기상/시계제한 상황에서 정밀이착륙을 위한 정밀복합항법기술	• 악기상, 전파복잡환경을 비롯한 다양한 기후환경조건에서 정밀이착륙을 위한 3차원 인지, 착륙유도 기술
전천후 상황인지 및 충돌회피기술	UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술	• 깊이정보기반 실시간 경로 최적화 기술, 다중 장애물 인식 및 회피 기술
	UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템	• 원거리/全방향 감시 및 소형비행체 탐지가 가능한 레이다 반도체칩 기술 • UAM 기체 탑재 전용의 레이다 패키징 및 시스템 기술 • Low RCS 장애물 탐지 및 다중 추적을 위한 신호처리 기술
	UAM 영상감시 기술	• 3차원 영상항법을 위한 센서융합 기반 영상 항법 기술, 단안 카메라 기반 위치 측위 기술, 영상 기반 야간 위치 추정 기술, 영상기반 의미지도 작성 및 위치 추정 기술 • 통합상황인지를 위한 영상내 객체 인지 및 상태 추정, 주변 상황정보 인지 및 추정 기술, 디지털 맵(Digital Map)내 UAM 위치 인식 기술

나. 기술동향 분석

UAM용 완전 자율 비행 조종 기술

● 탑재전자하드웨어는 기존 항공용을 개조해 사용하거나, eVTOL용 항전시스템에 대한 연구개발시제품이 개발을 시도

– 하니웰사(美)는 UAM용 항전시스템에 대한 연구를 수행하기 위한 전담조직을 '20년에 신설한 바 있으며, 레이더 기반의 충돌회피가 가능한 시제품을 출시

• 하니웰사의 플라이트덱은 Vertical Aerospace사의 eVTOL인 VX-X2에 우선 공급될 전망

– Joby사(美)는 자사의 eVTOL에 Garmin사(美)의 G3000 플라이트 덱(flight deck)을 채택해 기존 항공용 항전시스템 적용 가능성을 시험 중

• G3000은 세스나, 엠브레어 등의 소형비즈니스제트기에 채택된 모델로 Joby사가 FAA인증을 조기에 획득하기 위해 채택한 것으로 판단

• 안전인증을 목표하지 않은 Airbus의 Vahana 시제기는 자사에서 개발한 "alpha two" flight deck을 채택

– 소형드론용 비행조종컴퓨터로 ARM프로세서가 장착된 싱글보드컴퓨터 기반으로 초소형 관성센서가 내장되고, 위성항법센서, 통신모뎀, BLDC모터 등과 연동되는 Pixhawk 등이 상용화되어 판매되고 있으나, 유인용으로 사용되기에는 항법정밀도, 안전성, 신뢰성이 미흡

– 군용기나 대형여객기는 이더넷, 실시간운영체계(RTOS)인 VxWorks 등이 적용된 분산형 IMA(integrated modular avionics)가 적용되고 있으나, UAM용 eVTOL에 적용되기 위해서는 보다 경제성을 담보한 시스템이 요구

● 탑재소프트웨어로는 PX4, 아두파일롯 등의 전용SW가 개발되어 소형드론에 활용되고 있으며, ROS를 적용한 탑재SW나 혹은 각 회사별로 자체 개발한 in-house 제품이 소형드론에 활용되고 있으며, 항공용으로는 전문 항공전자시스템회사별로 자사의 고유한 제품군을 보유

– 소형드론용으로 publish-subscribe 디자인 패턴을 이용한 메시지 기반 메타 운영체제인 ROS/ROS2, 혹은 uORB 기반 모듈 기술을 활용한 PX4 등이 오픈소스 프로그램으로 활용

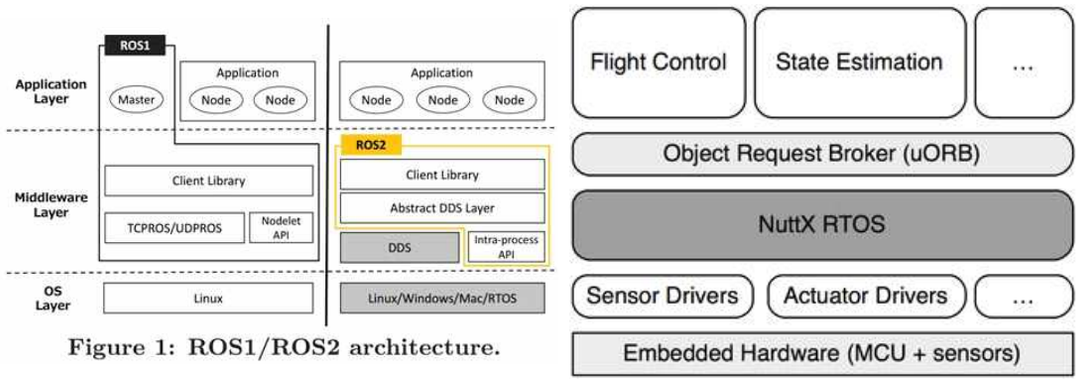


Figure 1: ROS1/ROS2 architecture.

[그림 Ⅵ-159] ROS 및 PX4 SW시스템 구성

– 기존 항공기에 적용된 항공전자시스템(Avionics)나 Flight Deck들은 각 회사별로 자체 개발한 SW를 사용

– 시스템 내 데이터 통신을 위한 표준규약으로 기존 자동차에 사용되던 CAN 통신을 무인항공기에 적용하는 UAVCAN에 대한 표준화 작업이 진행 중

● 자율비행기술은 무인항공기와 여객항공기, 군용전투기 등의 분야에서 활발하게 연구되어 왔으나, 승객을 태우고 자율적으로 비행하는 UAM에 특화된 연구들은 매우 부족

– 소형드론에 대한 위성항법기반의 경로비행(waypoint navigation)은 상용화가 완료되었으나, 자동이착륙, 난기류 등의 악기상 극복, 위성항법불능시, 영상항법 등의 대체항법에 대한 연구는 초보적인 수준

• 이스라엘 스타트업인 사이텍(Sightec)은 위성항법GNSS신호가 없는 상황에서 영상으로 위치를 확인해 항행할 수 있는 기술을 개발해 시연('21.02.21, 로봇신문)

• 스카이디오사(美)는 AI기술 기반으로 탑재된 카메라 영상으로 충돌회피와 실내 비행이 가능한 소형드론을 개발해 판매(skydio.com)

• 국내에서는 과기정통부의 무인이동체원천기술개발사업에서 자율비행 Level4(인간감독 자율비행human on the loop)를 달성을 목표로 자율계획, 능동비행제어, 상태감시 등을 적용한 자율비행기술을 개발 중

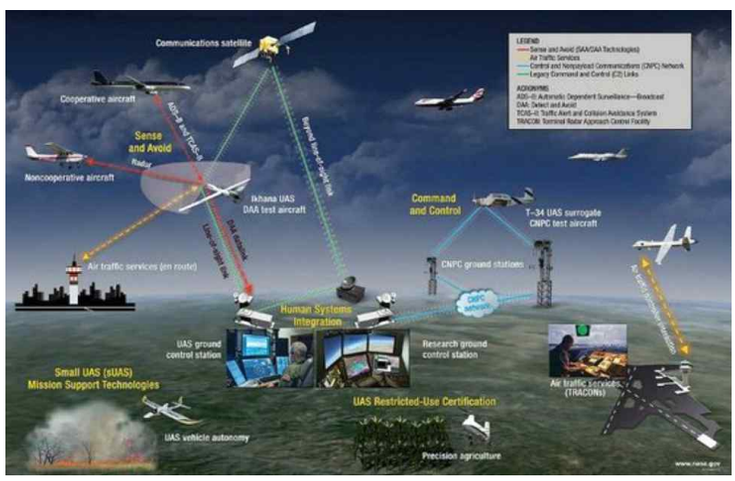
– 드론의 자동이착륙, 상승 및 하강, 순항 등의 비행 과정의 자율화 기술은 다양한 연구가 진행되고 있으나, 악기상 등에 의한 시계제한 및 돌풍 상황에서의 정밀이착륙 등에 대한 연구는 정밀도 향상이 필요

• 항우연은 수직이착륙형 틸트로터 무인기(TR-60)을 이용해 이동하는 선박에 정밀 이착륙 기술을 개발해 시범비행에 성공

UAM 비행체용 탑재 통신 기술

● C대역, 5G/6G, LEO 위성 통신장치 데이터링크 및 통합단말 기술

– ITU-R WRC-12 및 WRC-15에서 무인기를 위한 지상 및 위성 제어 전용 주파수가 국제적으로 분배되었으며 국제적 무인기 제어용 통신 주파수로 활용이 가능한 5,030~5,091㎒ (61㎒) C대역에서 동작하는 다수 무인기 제어용 무선통신기술 표준화 및 모뎀에 대한 기술 개발이 진행 중임

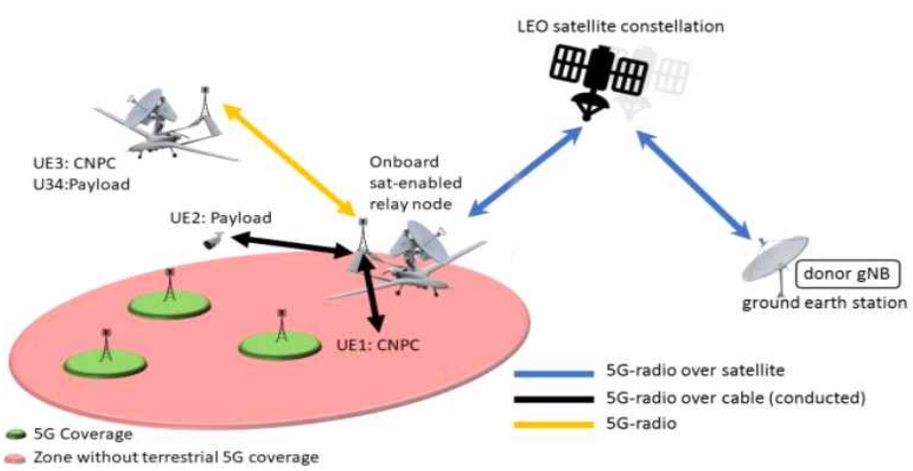


출처: NASA

[그림 Ⅵ-160] 무인항공기 통신링크 관리

– 5/6G와 LEO 위성 장치 통합 네트워크

- LEO 위성을 사용하는 BLOS (beyond line-of-sight) 링크를 통해 UAM과 5/6G를 원활하게 통합할 수 있게 하는 릴레이 네트워크 개발 연구가 진행 중임
- UAM에 탑재된 저복잡도 위성 지원 릴레이 노드는 LEO 위성을 통해 5/6G를 지상 기지국 NodeB로 전송을 하고, 온보드 장치 (FC)의 경우 릴레이 노드를 지상국으로 삼는 네트워크 구성



출처: N. Hosseini, H. Jamal, J. Haque, T. Magesacher, and D. W. Matolak, "UAV Command and Control, Navigation and Surveillance: a Review of Potential 5G and Satellite Systems," in Proc. IEEE Aerospace Conference, Mar. 2019, Pp. 1-10.

[그림 Ⅵ-161] 5/6G와 LEO 위성의 통합 구성도

- KT는 통신 기술(3G/4G/5G/WiFi)별 무인항공기 통신기술 적합성 테스트를 통한 고안전성 무인비행장치 항공망 요건 및 운용 요건 도출, 무인비행장치를 위한 실험 사이트 지역 시험망 구축 업무를 2017년부터 수행 중이며, 2020년 국토교통부와 서울시가 주관하는 드론택시 공개비행 시연에서 4G 이동통신을 기반으로 무인비행체 교통관리 체계인 K-드론시스템(UTM)을 선보임

- (OneWeb) Intelsat은 2017년 초에 LEO HTS OneWeb을 인수하였고, FCC에서 Ku 대역 주파수를 확보함 퀄컴이 무선 접속 기술을 개발하고 있으며 이동성을 제공하는 저가 단말을 확보하기 위해서 Kymeta사의 지분을 확보함 2017년에 5G에서 이동통신 망의 커버리지를 확장하기 위해서 FCC에서 C대역을 신청

● UAM 비행체를 위한 다중링크 공간 네트워크 기술

- 스마트항공, 플라잉택시, 드론 등 다양한 공간 이동체 기반 통신서비스 제공을 위한 지상-비지상 네트워크를 연결하고 3차원공간에서의 통신망 토폴로지 관리 및 공간 네트워킹 기술 개발에 대한 연구가 시작됨

- NASA는 2016년 Rockwell Collins사와의 공동연구 개발을 통해, 주/보조 통신 링크를 갖는 1단계 무인기 제어용 통신 기술 개발 완료(NextGen 프로젝트의 일부)되었으며, L대역(960~977㎒) 기반 제어용 통신 모듈 시제품 개발완료 후, C대역(5,030~5,091㎒) 기반 무인기 통신링크 채널 모델 및 제어용 통신 모듈 시제품 개발 완료함 국가공역으로의 무인기의 안정적 진입을 위해 다중링크 네트워크 시스템 연구를 진행중임

- UAM 비행체간 상태정보교환 V2V 무선링크 기술

  • 다수의 UAM 혹은 PAV 운영을 위해서는 기체들 간 안정적인 통신기술에 기반한 커넥티드 체제 구현이 필요함. 커넥티드 체제 내 UAM 간 통신 기술에 기반한 커넥티드 체제 구축을 통해 V2V 협력적 감시를 가능하게 하며 IoT, 클라우드 인프라는 이러한 통신 인프라와 디지털 인프라에서 수집된 정보들을 분석하고 다시 전송하여 UAM의 자율비행이 가능하도록 하는 연구가 진행 중

  • 이와 함께 다양한 충돌 상황들을 PAV 스스로 인식하고 센서들을 이용하여 회피할 수 있는 기술, 관제사의 도움없이 이착륙하는 기술, PAV 운항 환경을 스스로 인식하여 비행하는 자율 비행 기술 등이 다양하게 개발되고 있음

● UAM 통신 및 네트워크 보안 기술

- 육군 중앙수사단은 UAM과 같은 유·무인 항공기용'한국 암호모듈 인증제도'로 검증된 암호모듈이 탑재돼 외부로부터의 해킹, 재밍을 차단할 수 있어 수사보안적인 측면에서도 문제가 없을 뿐 아니라 HD급 고화질 영상과 사진을 촬영할 수 있어 현장감식 수사력 향상에 많은 도움이 될 것으로 기대

● UAM 비행체의 재밍 등 전파 방해 위협 요소 회피 기술 개발

– 대역확산(Spread Spectrum, SS) 시스템은 재밍공격에 대비한 항재밍 시스템으로 전술 군사 시스템에서 개발되었지만 그 효용성 때문에 이동통신, 위성통신, 그리고 근거리 통신 분야에서 활발히 활용되고 있음

– GPS 전파교란 대응기술은 크게 안테나 기반 대응기술과 수신기 기반 대응기술로 구분해 기술개발이 진행 중

● UAM 비행체 간 실시간 상호 검증 기반 스푸핑 등 감지 기술 개발 및 지능형 고정밀 네트워크 기술 개발

– GPS 스푸핑 탐지 및 복원을 위하여 비행체에 전용의 장치를 내장하는 방법을 통해 센서 정보와 카메라에서 수집되는 영상 정보를 비교하여 GPS 스푸핑을 탐지가 가능함

• 비행체에서 GPS 스푸핑을 탐지하기 위해서는 GPS에서 수신된 위치 정보에 해당하는 값과 비교할 수 있는 정보를 드론 내부에서 별도로 생성해야 함

• 이를 위해 3차원 방향과 속도를 측정할 수 있는 IMU 센서와 비행체에 장착된 카메라를 사용하여 해당 정보를 생성해야 함

• GPS 스푸핑된 비행체를 원래 위치로 복원하는 방법은 드론에서 촬영된 카메라의 이미지와 저장된 IMU 센서값을 사용하여 시간대 별로 이미지를 촬영하고, 촬영된 이미지마다 IMU에서 측정된 순간 속도 및 위치를 저장하여 촬영된 순서대로 비행체 내부에 보관함으로써 가능

– Wi-Fi 연결 방식 비행체의 경우, 비행체가 AP가 되고 이러한 AP가 암호화 없이 개방되어 있어 악의적인 사용자도 연결이 가능하다는 보안의 취약점이 존재하며, 이를 해결하기 위해 비행체와 조종자 사이에 무선 네트워크 암호화를 수행하는 장치를 설치하고 해당 장치에 침입 탐지 및 회피 기술을 추가하여 악의적인 사용자에대한 공격을 탐지 및 방지하는 것임

• 사용자 간 중간 장치로 별도의 컴패니언 보드를 사용하며, 비행체와 컴패니언 보드의 무선 암호화 방법은 WPA2를 사용하고, 내부에는 공격 여부를 확인하기 위한 Kisnet wireless 침입 탐지 시스템과 공격을 회피하기 위한 이동 표적 방어(Moving Target Defense) 기술 등을 사용하고 있음

UAM 자율 항법 기술

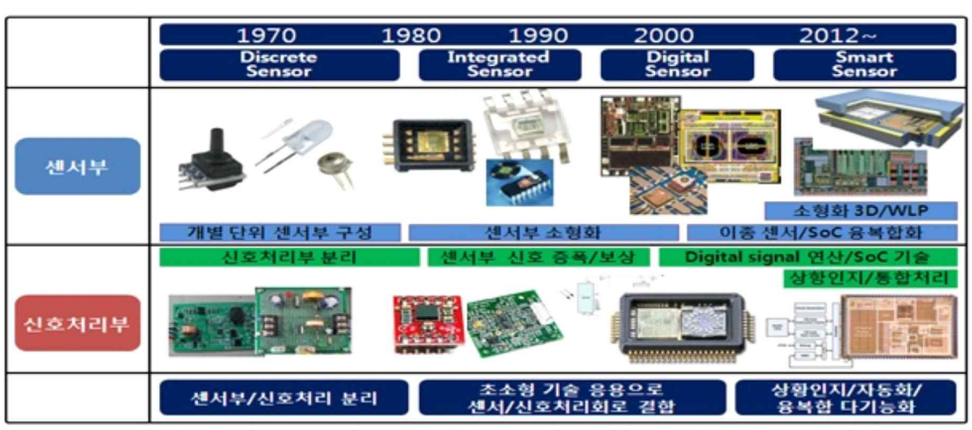
● 위성항법 불용환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체항법 기술, 이종 센서 등을 사용한 통합항법기술, 센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작 등이 중요한 연구 주제로 부상

● UAM용 센서는 그 안정성과 정확성이 유인 항공기 수준의 고성능 센서가 적용되어야 함. 이러한 고성능 이종 센서 간의 결합은 해외에서도 초기 단계이며 관성센서와 GNSS 수신기, 자력센서 등이 모듈형태로 결합한 제품이 개발되는 중임

〈표 Ⅵ-114〉 적용분야에 따른 센서 비교

구분	자동차용	가전기기용	산업용	항공기용
정확성	1~5%	5~20%	0.1~1%	0.1~1%
온도범위	-40~120도	-10~50도	0~60도	-55~70도
진동	2~25g	1~5g	0~5g	0.5~10g
파워변동	±50%	±10%	±10%	±10%
EMC	대	소	중	소
가격($)	10~10	1~10	10~100	100~1000

– 산업계의 이종센서의 집적화 및 소형 경량화는 이미 많은 부분에서 성과를 내고 있으며 센서부에서 소형화 3D WLP(wafer level packaging), 이종센서 SOC(system on chip) 등이 개발 되었고 신호처리부는 상황인지 자동화, 융복합 통합처리 칩이 개발됨



출처: 지식경제부 보도자료, 2012.12.15.

[그림 Ⅵ-162] 센서의 발전 과정

– 항공 및 군수용의 고성능 센서의 경우는 MEMS 관성센서의 발달로 6축, 9축의 센서 칩이 개발되고 있으나 그 신호의 미세함과 노이즈의 저감 필요성 때문에 많은 제약을 받음

● 위성 항법 불용 환경에서 항법 성능 향상을 위한 기술개발과 자동착륙정확도 향상을 위한 센서융복합 연구는 활발하게 진행되나, 신뢰성 향상을 위한 redundant IMU 사용이나 고장 발생 시에도 착륙 정확도를 유지하기 위한 연구는 초기 단계임

– MEMS redundant IMU (RIMU)에 대한 제작 및 성능 향상기법에 대한 연구는 최근 3년간 활발하게 이루어지고 있음

- 고성능 IMU에 대한 하드웨어 제작 및 오차보상 기술은 미국(honeywell) 등 선진국과 중국 등 UAV 강국을 중심으로 선행 개발되고 있으며, 국내에서는 서울대와 세종대를 중심으로 활발하게 진행되고 있음

● 현존 유무인기의 GNSS 의존성 및 GNSS 전파 공격 취약성을 보강하기 위한 기술 개발 등이 시도

- GNSS는 en route에서 UAM 운항을 위한 기본적인 항법/측위 기술로 사용되고 있으나, 2010년 이후 약 2100여대의 항공기가 GNSS 교란에 피해(국회교통위원회, 2020)를 입음

- 유인기는 전통적 항행시설인 VOR, DME 등을 활용하거나, 선박의 경우 eLORAN 등의 대체 항법 사용을 대안으로 사용하고 있으나, 상기 대체항법들의 경우, 중량이 크고 대형 장비들이므로 UAM에 적용되어 GNSS 재밍과 기만을 대응하기에는 한계가 있음

● 기존 유인기에 탑재된 센서는 긴 수명주기, 유지보수성, 다양한 환경에서 내성 검증 등으로 신뢰성을 검증받았으나, 중량-가격 및 자율비행시스템과의 연동 등에서 한계가 존재

- 긴 수명 주기와 다양한 신뢰성 테스트를 만족한 센서에 한하여 유인기 탑재가 가능하므로, 신기술 적용에 한계가 있음

- 저고도 운항 시 유인기는 대부분 시계 비행을 수행하므로, 기존의 경우 영상 센서에 비하여 전파 항법 센서에의 의존성이 큼

- 최신 센서 기술의 UAM 탑재시 운항을 위한 신뢰성 평가 및 인증 절차 미비

  • 다양한 센서와 최신 기술이 무인기나 UAM에는 유인기에 비하여 상대적으로 유연하게 탑재 가능하고 임무시 주로 저고도 비행을 수행하므로 영상 센서나 대기 센서의 역할이 중요

  • 그러나, UAM의 운항 조건에 부합하는 센서의 신뢰성 검사 기법이나 기술 성능의 인증 절차가 미비하여 그 사용 및 적용이 실험적이고 제한적임

- RIMU 활용한 고장 검출 및 항법 재구성에 대한 연구를 활발하게 진행하고 있음 다만 고성능 시스템 보다는 MEMS 급의 중저급 센서 위주의 개발이 진행되어 lever arm 등 고정밀 항법을 위해 보상되어야 하는 오차는 연구가 미비

● 외부 환경요인에 의한 항법 장치의 저하에 따른 운용 안정성 위협되고 있어, 이에 대한 대응기술의 중요성이 대두

- UAM의 주된 운항 영역인 복잡한 도심 환경에서는 외부 구조물에 의한 신호 차단과 간섭, 전자파, 자기장 등에 의한 센서 성능 저하로 인해 항법 장치의 성능 저하가 예상되며, 이는 UAM 운용 안정성에 심각한 위협을 초래할 수 있음

- 탑재 센서들은 UAM 운항 환경을 고려하여 양산되지 않았기 때문에 단위 센서의 성능

향상을 위주로 개발되었으며, UAM 운항 조건을 반영한 안정성 평가 절차가 도입되지 않음

- UAM 운항시 단위 센서의 불용 및 고장 가능성이 내재되어 있음에도 불구하고, 기능 보완을 위한 이종 센서간 단순 결합 형태로 탑재되는 경우가 대부분

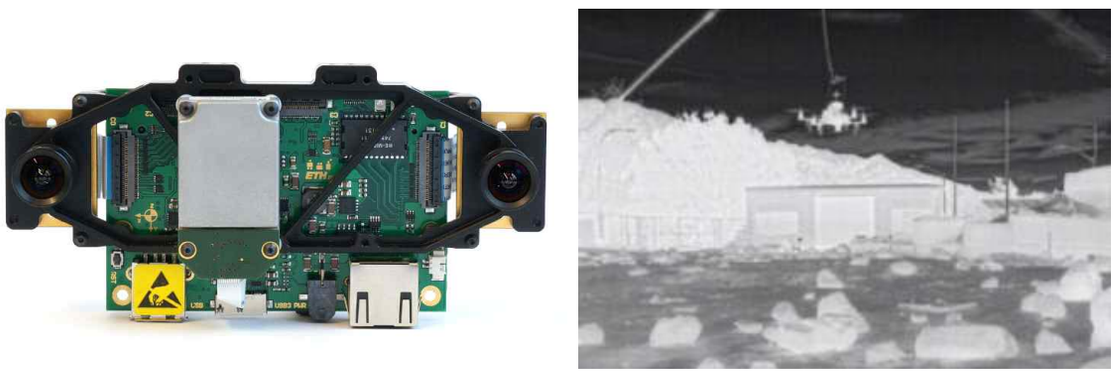
전천후상황인지 및 충돌회피 기술동향

- 영상항법을 통한 항법기술은 GNSS 불용환경이나, 정밀 이착륙 등에 활용을 목적으로 다양한 연구가 진행

- 영상합법 기술은 드론 자체에 탑재된 온보드 센서 (ex. 카메라, 기압계, 라이다, 관성 항법 장치 등) 만을 사용하여 공간상에서 드론의 현재 3차원 위치를 측정하는 기술로써, 사용되는 센서 조합 및 융합 알고리즘에 따라 다양한 센서 융합 기술이 개발되었음

- 그중, 영상과 IMU정보를 융합하여 위치를 추정하는 기술인 VIO(Visual Inertial Odometry)은 최근들어 추정 정확도가 급격히 상승하고 있으며, Google ARCore (Google Tango) 및 소형 무인 드론 등 다양한 분야에서 3차원 자가 위치 측위 알고리즘으로 널리 사용 및 응용되고 있음 그러나 야간비행시는 위치 추정이 힘들고, 이미지와 IMU 센서간의 정확한 칼리브레인션 정보 없이는 추정성능이 저하될 수 있어 사용시 주의가 필요함

- 야간비행을 위해 열화상 카메라 및 Lidar를 이용한 항법기술이 연구되고 있음 Lidar 센서의 경우 무거운 무게로 인해, 비교적 크기가 큰 드론에 국한되어 사용되고 있음



출처: (a) Skybotix (b) Delaune, Jeff, et al. "Thermal-inertial odometry for autonomous flight throughout the night." 2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2019.

[그림 Ⅵ-163] 영상항법 기술 예시 VIO 센서 모듈(좌), 영화상 카메라 기반 측위 기술(우)

- 고성능의 GPU를 활용한 딥러닝 기반 상황인지 알고리즘이 다수 개발되고 있음 그러나 무인드론에서 실시간으로 처리 가능한 알고리즘에 대한 연구는 최근들어 시작되고 있음

- 무인 드론의 자율비행을 위해 심층학습을 이용한 주행가능 공간 인지 연구 및 자율비행 기술 및 딥러닝 기반 착륙 장소 탐색등의 알고리즘이 개발되었으나, 대학에서 검증하는 수준에 그치고 있음

● UAM을 위한 충돌회피 기술

– 무인 드론의 충돌회피 및 경로생성 기술은 3차원공간에서 경로를 생성해야 하므로 2차원 이동로봇보다 많은 계산이 필요함 또한 단시간 비행시간으로 인해 이동거리를 최소화 해야하므로, 무인 드론에 장착 가능한 저사양의 컴퓨터에서도 빠르게 최적의 경로 계산이 가능한 알고리즘 위주로 발전해왔음

– 홍콩과학기술대의 연구진들은 다항식으로 표현되는 경로를 2차계획법(Quadratic optimization)을 통해 최적화기반의 지역 경로생성 알고리즘을 제안하였으며(아래 그림 좌측), 경로생성을 위해 i7CPU급의 컴퓨터에서 0.2초미만의 시간 소요되기 때문에 실시간 경로생성이 가능하다는 장점이 있으나, 복잡한 수학적인 문제를 지속적으로 풀어야하고, 또한 실시간 최적화 소프트웨어 툴의 성능에 크게 의존한다는 단점이 있음

– 딥러닝 기반 자율비행 드론 레이싱은 드론에 장착된 단안카메라를 통해 관측된 이미지에서 CNN(Convolution Neural Network)통해 관측된 물체의 중심점이동하기 위한 경로를 생성하며 비행하는 기법임 이러한 기법은 경로생성시 고성능의 CPU가 장착된 컴퓨터가 필요하지 않다는 장점이 있으나, 오랜학습시간이 필요하고 현재까지는 비교적 정형화 된 환경에서만 검증되고 있다는 단점이 있음

● UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술 동향

– 기존 항공기에서는 충돌을 방지하기 위한 ACAS(Airborne Collision Avoidance System)가 장착되어 있어 상호 충돌을 방지할 수 있는 시스템을 사용 중이며, 소형 무인드론의 경우 Lidar, Stereo Camera, Sonar, Radar와 같은 센서들을 단일 또는 통합하여 장애물을 인식하고 회피가 가능한 기술들을 선보이고 있음

– 항공기의 경우 빠른 속도(약 800 km/h)로 운항되므로 먼 거리를 탐지할 수 있는 레이더를 주로 사용하며, 소형 무인드론은 상대적으로 느린 속도 (약 60 km/h)로 비행하므로 상대적으로 센서의 탐지거리가 짧아도 탐지 및 회피 비행이 가능

– UAM의 경우 소형 무인드론에 비해서 빠른 비행 속도를 가질 것으로 예상되며, 이를 위해서는 UAM에 적합한 탐지거리, 전력소모, 무게를 갖는 장애물 탐지 센서의 개발, 복합/다중 센서의 데이터 결합기술, 획득한 데이터 기반 충돌회피를 위한 경로생성/재설정 기술 개발이 요구됨

– 항공기의 경우 지상으로부터 관제 정보를 받아 각 항공기가 항로 내에서 공중 충돌 없이 비행이 가능하며, 소형 무인드론의 경우 미국 UTM (Unmanned Aircraft System Traffic Management) 과 한국 KUTM (Korea UTM) 사업을 통해서 다수의 소형 무인드론의 운용 시 발생할 수 있는 교통문제에 대해서 해결하고자 함

- UAM의 경우 항공기의 공역과 소형 무인 드론이 비행 가능한 G 공역을 모두 사용하고 있기 때문에 협력적 장애물과의 교통 문제 및 충돌을 방지하기 위해서는 항공기의 관제를 담당하는 주체인 ATC (Air Traffic Control)와 무인드론을 관리하는 UTM 주체와의 정보 공유 및 관리가 필요하며, UAM들 간의 원활한 비행을 위해서 UAM의 관제를 담당할 주체 또한 필요함

● UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템 동향

- 2019년 Honeywell 社는 NASA와 함께 UAM용 레이다를 항공기에 탑재하여 장애물과 지형 탐지 테스트를 진행하였으며 다수 eVTOL 개발사의 기체 탑재 계획을 발표함

- 2020년 텍사스 오스틴 대학에서는 소형 레이더와 카메라를 융합하여 카메라의 탁월한 각도 해상도를 활용하여 카메라 감지 대상에서 도착하는 신호와 레이더의 거리신호를 융합한 솔루션을 발표함

- 2017년 Ecodyne社는 UAV 기체 탑재형 레이다를 발표하였는데, 지상의 지형 (가로수, 전력선, 울타리)을 구분하고 소형 드론을 탐지할 수 있다고 발표

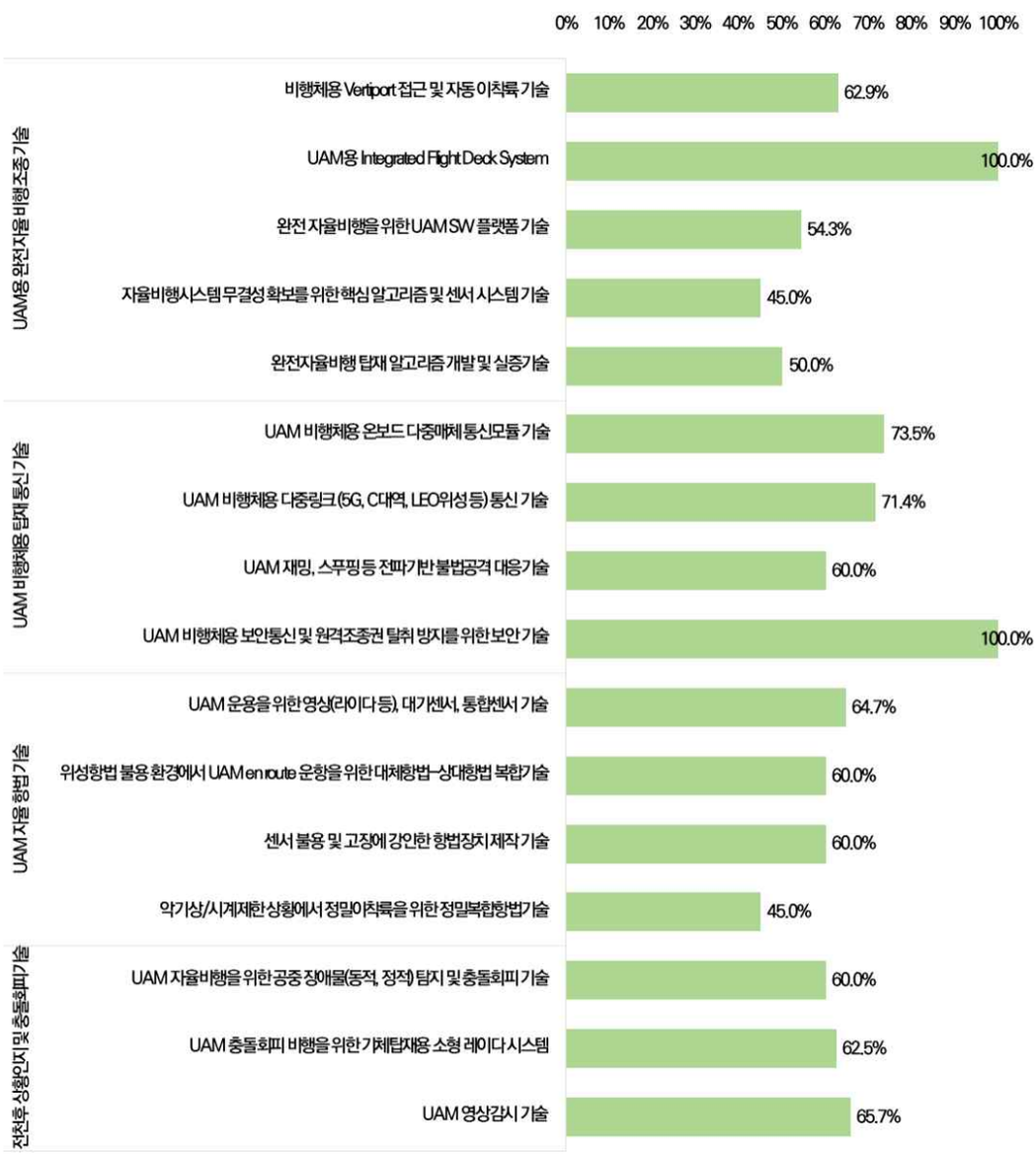
- 국내에서는 2018년부터 전자통신연구원에서 소형 드론탐지 레이다, 휴대형 인명탐지 레이다를 개발하고 있으며, 그동안 전량 수입에 의존해 왔던 레이다 RF칩 (FMCW, IR-UWB, CW 방식)의 국산화를 진행하고 있음

다. 기술수준 및 연구개발전략

■ 자율비행 분야 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 자율비행 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 자율비행 분야의 기술수준은 전반적으로 편차가 크며, UAM용 Integrated Flight Deck System과 UAM 비행체용 보안통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안 기술은 세계 최고 수준으로 조사됨



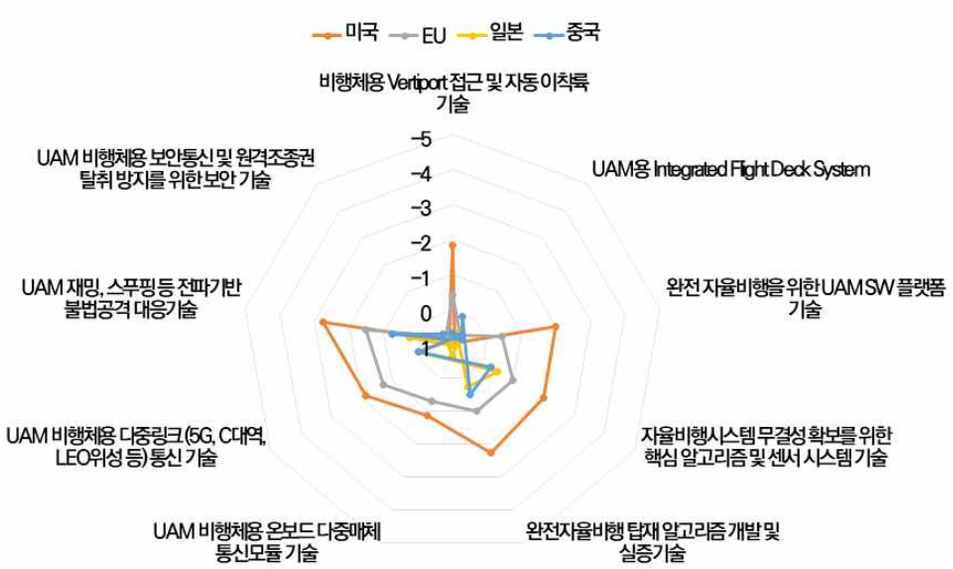
[그림 Ⅵ-164] 자율비행 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 자율비행 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

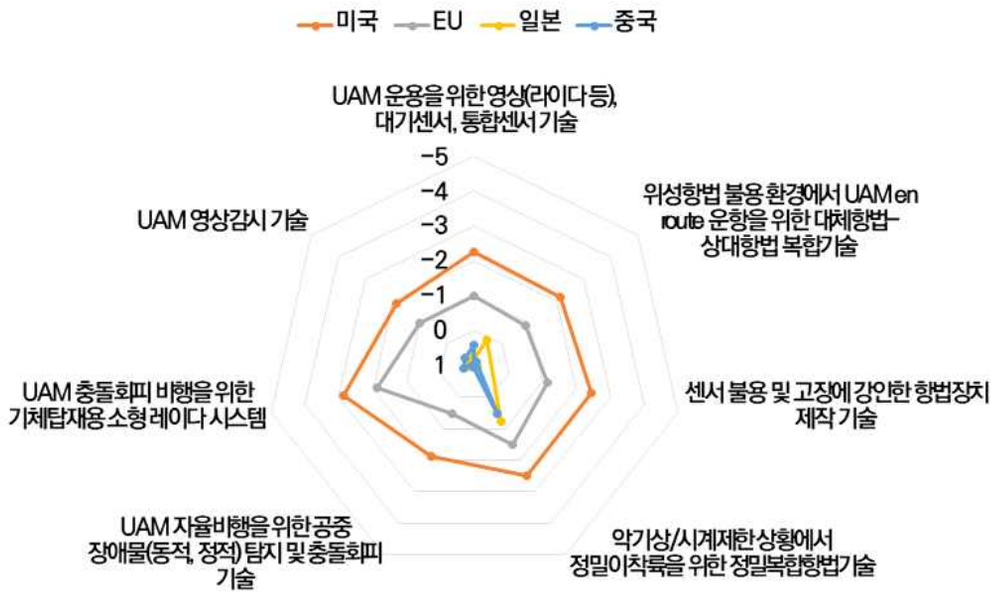
– 일부 기술을 제외하면 미국이 가장 높은 수준의 기술력을 보유하고 있으며 미국과는 2년 내외, 유럽은 1년 내외, 일본과 중국과는 크게 차이가 나지 않거나 한국이 앞선 기술수준을 나타내고 있음

〈표 Ⅵ-115〉 자율비행 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
UAM용 완전 자율 비행 조종 기술	비행체용 Vertiport 접근 및 자동 이착륙 기술	-1.86	-0.43	1.31	0.64
	UAM용 Integrated Flight Deck System	0.91	0.63	0.70	0.63
	완전 자율비행을 위한 UAM SW 플랫폼 기술	-2.00	-0.43	2.00	2.00
	자율비행시스템 무결성 확보를 위한 핵심 알고리즘 및 센서 시스템 기술	-2.00	-1.00	-0.50	-0.25
	완전자율비행 탑재 알고리즘 개발 및 실증기술	-2.25	-1.00	-0.25	-0.50
UAM 비행체용 탑재 통신 기술	UAM 비행체용 온보드 다중매체 통신모듈 기술	-1.14	-0.71	1.36	1.86
	UAM 비행체용 다중링크 (5G, C대역, LEO위성 등) 통신 기술	-1.86	-1.29	0.98	1.31
	UAM 재밍, 스푸핑 등 전파기반 불법공격 대응기술	-2.75	-1.50	-0.25	-0.75
	UAM 비행체용 보안통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안 기술	0.85	0.69	0.63	0.58
UAM 자율 항법 기술	UAM 운용을 위한 영상(라이다 등), 대기센서, 통합센서 기술	-2.29	-1.00	0.71	0.38
	위성항법 불용 환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체항법-상대항법 복합기술	-2.14	-0.86	1.02	1.02
	센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작 기술	-2.43	-1.14	0.90	1.07
	악기상/시계제한 상황에서 정밀이착륙을 위한 정밀복합항법기술	-2.50	-1.50	-0.75	-0.50
전천후 상황인지 및 충돌회피기술	UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술	-1.88	-0.50	1.84	1.13
	UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템	-2.88	-1.88	0.84	0.70
	UAM 영상감시 기술	-1.86	-1.00	0.81	0.64



[그림 Ⅵ-165] 자율비행 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차(1)



[그림 Ⅵ-166] 자율비행 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차(2)

● 자율비행 분야 국내 산업역량

– 대부분의 기술이 면허생산 수준의 산업역량을 갖춘 것으로 나타고 있으며 일부 기술은 전량 수입 수준인 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-116〉 자율비행 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
UAM용 완전 자율 비행 조종 기술	비행체용 Vertiport 접근 및 자동 이착륙 기술	LV 3(독자생산)
	UAM용 Integrated Flight Deck System	LV 2(면허생산)
	완전 자율비행을 위한 UAM SW 플랫폼 기술	LV 2(면허생산)
	자율비행시스템 무결성 확보를 위한 핵심 알고리즘 및 센서 시스템 기술	LV 2(면허생산)
	완전자율비행 탑재 알고리즘 개발 및 실증기술	LV 1(전량수입)
UAM 비행체용 탑재 통신 기술	UAM 비행체용 온보드 다중매체 통신모듈 기술	LV 2(면허생산)
	UAM 비행체용 다중링크 (5G, C대역, LEO위성 등) 통신 기술	LV 2(면허생산)
	UAM 재밍, 스푸핑 등 전파기반 불법공격 대응기술	LV 2(면허생산)
	UAM 비행체용 보안통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안 기술	LV 2(면허생산)
UAM 자율 항법 기술	UAM 운용을 위한 영상(라이다 등), 대기센서, 통합센서 기술	LV 2(면허생산)
	위성항법 불용 환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체항법-상대항법 복합기술	LV 2(면허생산)
	센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작 기술	LV 2(면허생산)
	악기상/시계제한 상황에서 정밀이착륙을 위한 정밀복합항법기술	LV 2(면허생산)
전천후 상황인지 및 충돌회피기술	UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술	LV 2(면허생산)
	UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템	LV 1(전량수입)
	UAM 영상감시 기술	LV 3(독자생산)

● 자율비행 분야 국내 기술개발 역량

– 대부분의 기술이 기초연구수행이나 기초/응용연구수행 단계인 것으로 나타나며 일부 기술이 미착수 단계인 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-117〉 자율비행 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

중점기술	세부기술	국내기술개발 역량
UAM용 완전 자율 비행 조종 기술	비행체용 Vertiport 접근 및 자동 이착륙 기술	LV 1(미착수)
	UAM용 Integrated Flight Deck System	LV 3(기초/응용연구수행)
	완전 자율비행을 위한 UAM SW 플랫폼 기술	LV 2(기초연구수행)
	자율비행시스템 무결성 확보를 위한 핵심 알고리즘 및 센서 시스템 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	완전자율비행 탑재 알고리즘 개발 및 실증기술	LV 2(기초연구수행)
UAM 비행체용 탑재 통신 기술	UAM 비행체용 온보드 다중매체 통신모듈 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM 비행체용 다중링크 (5G, C대역, LEO위성 등) 통신 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM 재밍, 스푸핑 등 전파기반 불법공격 대응기술	LV 2(기초연구수행)
	UAM 비행체용 보안통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안 기술	LV 2(기초연구수행)
UAM 자율 항법 기술	UAM 운용을 위한 영상(라이다 등), 대기센서, 통합센서 기술	LV 2(기초연구수행)
	위성항법 불용 환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체항법-상대항법 복합기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작 기술	LV 1(미착수)
	악기상/시계제한 상황에서 정밀이착륙을 위한 정밀복합항법기술	LV 2(기초연구수행)
전천후 상황인지 및 충돌회피기술	UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM 영상감시 기술	LV 3(기초/응용연구수행)

UAM용 완전 자율 비행 조종 기술 연구개발전략

● 탑재 전자 HW시스템은 탑재컴퓨터, 항법센서, 통신모듈, 탐지센서, 기상센서 등의 장비들을 내부네트워크로 연결해 구성해야 해 국가적인 전자기술의 집약이 필요

– 국내에는 군용기·여객기용 탑재전자시스템 개발 및 생산 경험이 없어 관련 기술역량이 부족

– 소형드론에 사용되는 탑재조종컴퓨터는 국내에서 자체 제작해 사용하기도 하나, 사용되는 CPU, 관성센서, 위성항법센서, 통신모듈 등은 대부분 해외제품을 사용

- 대부분의 소형드론 생산기업들은 오픈아키텍처인 Pixhawk 제품 혹은 호환 가능한 제품군을 구매해 사용하고 있어, 국내 개발 기술은 높지 않은 편

– 국내에서 개발된 CPU와 영상프로세서(GPU/NPU 등), 군용 국산 센서 및 통신모듈 등을 사용해 한국형 eVTOL 탑재전자HW시스템을 개발하는 것을 적극적으로 고려

- 국내에서 스마트폰에 대한 세계적인 기술력은 보유, ARM계열의 CPU를 자체생산하고, 영상처리용 NPU나 지능형반도체 등이 개발되고 있어 탑재전자HW시스템을 자체 개발할 수 있는 역량은 충분한 편이며,

- 군용 항법센서나 통신모듈 등이 국내자체 개발되어 실용화되어 있어, 관련 제품군들을 UAM용으로 개조개발해 활용하는 방안도 적극적으로 고려할 필요가 있으나, 경량화, 저전력화 및 경제성 확보 등이 주요 과제

● 탑재SW는 소형드론에서 시도되는 공개SW개발프로젝트와 군용기나 여객기와 같이 각 회사들의 자체SW시스템 등이 모두 시도될 가능성이 있어, 국내에도 국제 공동개발 프로젝트 참여 등을 통해 자체 개발역량을 확보하는 것이 필요

– 국내 민수용 드론은 기업별로 자체개발한 SW나, 표준화된 공개SW인 PX4, 아두파일롯, ROS/ROS2 등을 중심으로 연구개발과 실기체 적용이 수행 중

- 드론기업들이 자체SW 개발 및 적용이나 혹은 오픈-아키텍처SW 활용 등을 통해 국내 기술역량은 일정정도 확보

- PX4등을 공개프로젝트로 개발하는 Dronecode 등에 국내 연구진이 참여해, SW의 신규개발이나 업데이트 등에도 일정정도 기여

– 탑재SW는 핵심부품들을 UAM에 장착하기 위한 기본 플랫폼의 역할을 담당하고 있어, UAM기체와 부품간의 생태계 조성을 위한 공개적인 표준화-규격화가 필요

- 자동차의 차내 네트워크 프로토콜인 CAN(controller area network)을 드론에 적용하는 UAVCAN등을 UAM으로 확대 발전하는 방안 등을 고려

● 자율비행기술은 국내에서 자체연구 및 제품개발이 가능한 충분한 기술역량과 경험을 보유하고 있어, UAM용 관련기술을 확보해 국내외 기체에 적용

– 정밀이착륙, 자율/자동비행, 충돌회피 등에 대한 국내 연구역량과 경험을 집약해 국산화 기술 및 제품을 개발

– UAM기체의 건전성 등을 실시간으로 모니터링하고, 이를 바탕으로 비행영향성을 평가 후에, 고장 등에 대처하는 기술 등은 국내 연구경험 등이 부족해 관련 연구에 대한 집중적 투자가 필요

– UAM 안전 운항을 위한 항법센서 및 추정필터 고성능화, 자율비행시스템의 신뢰도를 위한 다중화 및 고장 식별, 제거, 허용 제어 기법, 모델기반 소프트웨어 개발 및 인증 기술 등을 집중적으로 개발

- 완전자율비행을 위한 알고리듬의 복잡도가 증가함에 따라, 소프트웨어의 무결성을 담보하기가 어려워짐. 따라서, 소프트웨어 개발 모델을 바탕으로 직관적인 알고리즘 개발 및 구현이 가능한 모델기반 소프트웨어 개발 기술 확보 필요

● 유무인 항공기의 자율비행기술은 점점 더 AI와 데이터 기반으로 발전하고 있어, 초기부터 자율비행데이터를 확보하고, 이를 표준화해 국내 연구진 등에 공개할 수 있는 연구개발 체계를 수립

– 표준화된 데이터를 생산할 수 있는 비행 및 지상시험 모니터링 체계를 구축하고, 이를 바탕으로 다양한 상황에 대한 비행시험 혹은 모사시험 등으로 데이터를 확보

* 구글의 Waymo, 테슬라의 자체 자율주행 HW/SW플랫폼등과 같이 지속적인 운항을 통해 다양한 데이터를 확보하는 것이 자율비행에서 중요한 요소로 작용

UAM 비행체용 탑재 통신 기술 연구개발전략

● C대역, 5G/6G, LEO 위성 통신장치 데이터링크 및 통합단말 기술개발

– 상용통신(5G/6G, LEO 위성) 및 C대역 C2 통신 통합 통신모뎀 기술 개발

- 다중통신 대역 지원 소프트웨어 정의 라디오 통신 모뎀 기술 개발
- 다중링크 통신지원 소형 통신 단말장치 개발

– 신뢰성 C2 통신지원 데이터링크 통합통신 모뎀 연동 기술 개발

- 고신뢰성 및 보안성 강화 지원 C 대역 지상무선국 통신 기술 개발
- C2 (Command & Control) 데이터링크 고신뢰성 데이터교환 기술 개발

● UAM 비행체를 위한 다중링크 공간 네트워크 기술

– 다중링크 통신망을 기반으로 끊김없는 안정적 통신링크 보장을 위한 다중 통신망간 핸드오버 기술 개발

- UAM 통합단말 기반 다중링크 통신망 모니터링 및 다중 접속 기술 개발
- 다중링크 이종망간의 데이터 전송 연동 기술 개발

– UAM 비행체 통합 통신 제어 및 온보드 라우팅 기술 개발

- 상용통신(5G, LEO위성) 및 C대역 다중대역 네트워크 라우팅 기술 개발
- UAM 비행체간 V2V 무선링크 및 데이터 전송 기술 개발

● UAM 통신 및 네트워크 보안 기술

– 해킹, 비인가 접속 및 비정상 실행을 방지하는 UAM 보안 플랫폼 기술 개발

• 양자난수기반 UAM 비행체 통신 암호화 모듈 개발

• 독립적 양자난수로부터 공통 암호화 키를 생성하기 위한 UAM 암호화키 분배 기술 개발

• UAM용 통신망과 원격제어시스템을 위한 양자난수 기반 암호화모듈 개발 및 KCMVP 인증

– UAM 시스템 동작 상황에 대해 스스로 정상/비정상 유무를 검사하고 보고하는 UAM 자율 검증 기술 개발

• UAM 비행체 악성코드 탐지 및 대응 기술 개발

• 머신러닝 기술 기반 UAM 시스템 실시간 보안 위협 데이터 검증 기술 개발

● UAM 비행체의 재밍 등 전파 방해 위협 요소 회피 기술

– UAM 환경에 최적화된 대역 확산 통신 기술 기반 전파 방해 회피 기술 개발

– 각종 전파 교란 상황에서 UAM 비행체 및 지상관제소간의 통신 연결성을 유지하기 위한 다중 매체 통신 기술 개발

• 재밍 상황에서 고가용성 통신 연결을 지원하기 위한 다양한 매체 기반 통신 기술 연구 및 개발

– 통신 수율 및 채널의 신뢰성을 극대화하기 위한 매체 선별 기술 개발

● UAM 비행체 간 실시간 상호 검증 기반 스푸핑 등 감지 기술

– 지능형 GDSN(Global Data Synchronization Network) 개발 및 운영 플랫폼 기술 개발

– UAM 비행체 간 상호 검증을 위한 분산 장부 메커니즘 기술 개발

● 적응형 보안 기술, 보안 메커니즘 세분화를 통한 고신뢰 보안 플랫폼 기술 개발

– 광대역 UAM 운용 환경에서 보안 상황을 효율적으로 관리하기 위한 권역 기반의 적응적 보안 기술 개발

– 보안 메커니즘 세분화를 통한 고신뢰 보안 플랫폼 기술 개발

UAM 자율 항법 기술 연구개발전략

- 위성 항법 불용 환경에서 항법 성능 향상을 위한 기술은 선진국 대비 기술 상용화 부분에서 뒤져 있어, 기존 개발 기술의 기반 위에 최적화를 위한 연구개발이 진행될 경우 빠르게 상용화가 가능

  – GNSS에 독립적인 광역 측위 및 대체 항법 기술 개발

    • 지상에 구축된 해상용 eLORAN 인프라를 활용하고, 경량·소형화된 수신장치 개발 등 절대좌표 산출을 위한 대체항법기술 개발 필요

    • 5G, LTE 등 SoOP (Signal of Opportunity) 측위기술 개발을 통한 비항법용 신호를 활용한 새로운 대체 무선항법 신호 기술 개발 필요

  – 협업 측위 및 지형참조항법 기술 개발

    • 전파를 이용한 대체항법 기술 이이에도 다수의 항법 체계와의 협업, 또는 지형, 건물 및 도로 정보를 활용한 지형참조항법 기술의 개발이 필요

- 위성항법, 관성항법 및 대체항법 등을 결합해 UAM에 적용이 가능한 저가·저전력·경량의 복합항법, 대체항법 기술 및 제품을 경제성과 신뢰성을 고려해 개발

  – UAM의 안전한 기동을 위하여 관성측정장치, GNSS 수신기, 자력계, 기압계, 영상센서, LiDAR 센서가 필요하며 각 센서의 기술 수준은 많이 발전되었으나 센서들의 통합 배치에 따른 전자기적, 물리적 간섭에 대한 국내 연구는 부족

  – 이종센서들을 집적 설계를 통한 소형/경량의 하드웨어 개발 및 양산이 가능한 제작기술 확보가 필요

    • 현재 많은 발전이 이루어진 관성센서 외의 GNSS 수신기, 자력계, 기압계 센서는 모듈화 기술은 UAM에 적용 가능한 수준으로 기술 수준을 높이는 연구가 필요함

    • 집적화 또는 모듈화 된 센서들과 집적화하기 어려운 영상센서, LiDAR 센서를 함께 컨트롤할 수 있는 통합 컨트롤러의 개발이 필요하며, 통합된 센서 시스템을 UAM 에 적용하기 위해서는 소형 경량화 제작 기술이 필수적

  – 제작품의 기능/성능에 대한 시험 및 평가 기술수준 및 연구개발이 필요하며, 많은 연구가 진행된 무인기의 동적특성을 식별하고 이를 이용하여 UAM의 동특성에 맞는 표준화된 모사 시험장비 개발을 수행

  – 운용 시나리오 모사기술 및 평가 표준화를 위하여 무인기의 동적특성을 모사하는 시험기술을 개발하고 모사된 시험기술을 정량적인 시험결과를 도출하고 시험방안을 표준화 해야함

● 센서 고장 상황 판별 및 고장 상황에서 안정적인 항법을 수행하기 위한 소프트웨어 기법에 대한 기술연구개발 전략

– 센서의 고장 및 불용시에도 대응 가능한 무인 비행체 개발을 위해서는 GNSS 또는 INS/GNSS에 의존하는 기존 시스템으로는 성능에 한계가 있으며 다중 센서를 이용한 통합 항법을 통해서 구현 가능

– 고성능 IMU를 활용한 고장 검출 및 항법 분야에 대한 국내 서울대, 세종대, 건국대, 경일대, 중앙대 등의 학계에서 진행된 연구결과는 선진국 수준에 근접한 상황

– 관련 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 상용화 된 사례가 작은 만큼 향후 소형드론이나 화물용 중형무인항공기 등에서 충분한 실증연구가 필요

– 다만 소프트웨어 구현 및 실제 적용에 있어 산업계와의 협업이 중요하며, 이러한 응용연구를 통해 상용화 조기 달성 가능

■ 전천후 상황인지 및 충돌회피 기술 연구개발전략

● 저고도에서 운항하는 UAM기체는 소형드론, 유인헬리콥터, 소형비행기 등과 동일한 고도에서 비행이 불가피해 영상항법을 통한 주변 지상구조물 및 이동물체에 대한 지속적인 상황인지가 필요

– 영상기반 3차원 위치 추정 기술은 빠른 추정과 높은 정확도를 제공하는 영상 관성 항법 VIO알고리즘이 주를 이루고 있고, 관련 제품이 출시되고 있다는 점을 미루어볼 때, 해당 기술에 대한 원천기술 확보가 중요

– 근거리 탐지에 적합한 영상 센서, 원거리 탐지에 적합한 레이다/라이다 센서, 항법 센서 등을 포함하는 이종 센서 데이터를 융합하여 탐지율을 향상시키는 비협력적 탑지 기술이 중요

• 현재의 영상항법은 주로 주간을 기준으로 개발되어 왔으므로, 높은 신뢰성 확보를 위해서는 야간비행을 위한 Lidar 혹은 열화상 카메라 기반 측위 알고리즘 개발에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할것임

– 영상정보를 이용해 사전에 주어진 디지털 지도상에서 UAM 자신의 위치를 추정하는 기술 및 주변 상황 인지 기술은 비상상황시 UAM 시스템의 대처능력을 향상

• 전자 지형 지도를 구축하고 지형 정보에 저장된 고도 데이터를 이용하여 회피경로 생성에 반영

● 운항안전을 확보하기 위해서는 UAM기체와 타 비행물체간의 충돌회피기술은 우선적으로 확보가 필요

– 기존의 최적화 기술은 비교적 빠르고 정확한 경로를 생성하나 다수의 동적 장애물이 존재하는 상황에서는 적용이 제한적

– 앞서 언급한 문제 해결을 위해, 충돌회피 기술은 실시간 최적화 기술과 딥러닝 기반의 최신전략을 융합하는 접근법이 필요

– 충돌회피 기술은 자율비행 및 정밀항법 등의 기술과 연동해 개발하는 것이 필요

• 장애물과의 상대거리 및 상대속도에 따른 위험도를 평가하고 그 결과에 따른 단계별 충돌 경고 및 회피 기동 로직을 설계하여 가능한 급기동 지양

• 회피 기동 이후에 타 비행체 등과의 2차 충돌을 방지하고 정상 상태 비행으로 회귀할 수 있도록 실시간 경로 재설정 기술을 적용

● UAM 충돌회피를 위한 반도체 소자 기반의 소형 레이다 시스템 및 관련 기술을 적극적으로 개발

– UAM용 기체 탑재용 레이다는 수 km 내에서 충돌감지, 이착륙보조, 기상관측 등의 기능을 수행해야 하는 레이다로서 ① 가볍고 작으며 저전력이어야 하며 ②모든 방향을 감시할 수 있어야 하고 ③ 정확한 장애물 위치 추적이 가능해야 하므로, 이에 필요한 반도체 칩, 소형 패키징, 고감도 신호처리 기술을 개발

• UAM 기체 탑재 레이다용 반도체 칩 기술은 할당 대역에서의 FMCW CMOS 송·수신 칩 기술, 상하/전후/좌우 全방향 장애물 감시를 위한 전자식 빔 제어 칩 기술, 이동 타겟 추적 및 실시간 업데이트를 위한 고속신호처리 칩 기술 포함

• UAM 레이다 패키징 및 시스템 기술은, 위상배열안테나와 송·수신배열칩을 정합하고 레이돔을 결합한 소형/경량 패키지 기술, 全방향 감시를 위한 섹터別 레이다 할당 및 섹터간 타겟 핸드오버 기술, 운항속도/타겟위치/타겟경로를 종합한 Data Association 및 맵 렌더링 기술 포함

• 새, 소형 드론과 같은 Low RCS (Radar Cross Section) 장애물 탐지 및 다중 추적을 위한 펄스 누적 기반 신호처리 기술, 탐지확률 증대를 위한 Low Threshold CFAR (Constant False-Alarm Rate), Track-Before-Detect 기술, 능동위상배열 안테나 기반의 간섭 저감/회피를 위한 어댑티브 빔포밍 기술 포함

라. 자율비행 분야 기술로드맵

■ 자율비행 분야 단계별 기술개발 목표

● UAM용 완전 자율 비행 조종 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 기존 소형드론, 군용무인기, 유인항공기에 사용된 탑재전자HW시스템, SW시스템, 자율비행 등을 개조개량해 UAM기술 실증기에 적용해 비행성능과 자율비행수준 등을 평가
- 버티포트 정밀 이착륙 및 상승·순항·접근의 전 비행과정에 대한 자동비행을 기술실증하고, 돌발상황과 기상악화 등에 대응 가능여부를 판단할 수 있는 기술기반을 구축
- 오픈소스로 개발된 탑재SW 등을 기반으로, UAM에 적용가능한 SW플랫폼과 기타 HW장치를 제어하기 위한 드라이버, 데이터 교환을 위한 프로토콜 등에 대한 시범연구를 완료

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 자율비행을 구현하기 위한 탑재전자컴퓨터(avionics) HW/SW와 탑재 센서, 전기작동기 등을 포함하는 공통표준플랫폼을 구현
- 공통표준플랫폼을 바탕으로, 이착륙, 악기상, 다수 비행체와의 충돌회피 등의 구현된 자율비행기술을 개발하고 비행시험을 완료
- UAM기체의 지상 및 비행 실증시험 체계를 구축하고, 정밀이착륙 및 운항 전과정에 대한 자율비행 데이터 플랫폼을 구축해 연구자 및 개발기업에 제공

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- UAM용 통합탑재항전시스템 개발완료 및 상용화
- 자율비행 성능평가 시스템 구축 완료 및 서비스 착수

● UAM 비행체용 탑재 통신 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- 5G/LTE, C대역, 위성통신별로 독립된 UAM 통신장치를 개발하고, 재밍 등의 전파공격에 대한 강건성 등을 입증
- UAM 통신시스템에 대한 사이버 공격에 대한 시나리오, 대응방안 등을 수립

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• 5G/LTE, C대역, 위성통신을 통합한 UAM 통신장치를 개발해, UAM의 비행시기, 환경조건, 비행장소 등등에 대한 통신무결성, 강건성 등을 입증

• UAM 통신시스템 사이버 공격에 대한 대응체계를 구축해 신뢰성을 입증

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• 다중대역 UAM 통신장치를 비행체에 탑승하기 위한 인증, 신뢰성 등을 입증하고 양산에 착수

● **UAM 자율 항법 기술**

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• 관성측정장치, GNSS 수신기, 자력계, 기압계, 영상센서, LiDAR 등 각종 센서의 개별 성능평가플 개발으로 이종 센서의 모듈화 설계 기술 및 패키징 설계 기술 등을 확보

• 개발 센서들의 고장 유형 및 오차 식별 및 상호보안적인 특성 파악, 소프트웨어 시뮬레이터를 통하여 상호보완적인 센서들을 결합하는 소프트웨어 알고리즘 개념 설계 완료 등

• GNSS 와 복수의 센서(관성 센서/자력계/기압계/영상신호/LiDAR)에 대한 특성 파악 및 오차 보상 기법, 각종 센서의 불용 및 고장 발생에 대한 유형 분석, GNSS 신호 단절 또는 왜곡에 대한 특성 및 증상 분석 등의 센서 불용 및 고장 대응 항법 SW기술 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• 다양한 환경에서 적용 가능하기 위해, IMU 간 융합을 통한 redundant IMU 불규칙 오차 추정 기법, 고장 상황 별 고장 모드 판단을 통한 항법 재구성, 고장에 강인한 융합 필터링 기법 등이 적용된 GNSS 불용 시 다른 성능을 갖는 redundant IMU에 최적화된 다중 센서 융합 항법알고리즘 개발

• 이종센서별 고장검출 및 분리 알고리듬 개발 및 성능평가 완료

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• 이종센서 복합형 소형, 정밀 항법센서 시스템 개발 완료 및 상용화

● **전천후 상황인지 및 충돌회피기술**

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• 센서융합 기반 영상항법, 영상 내 객체 인식 및 상태 추정, 깊이정보 기반 실시간 경로 최적화 등에 대한 기술 확보를 완료

- UAM 자율비행을 위한 장애물 탐지, 탐지 정보 경보 및 안전한 회피 경로 추천 기술 등을 개발

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- 영상기반 야간 위치 추정, 단안 카메라 기반 깊이 이미지 추정, 영상기반의 지도 작성 및 위치 추정, 착륙가능 위치 추정 및 자율 이착륙 기술 등으로 영상기반 인식 기술의 성능을 향상
- 광대역 FMCW 송수신기 칩 기술, 레이다 분산 기술, 전자식 스위칭/빔제어 안테나 기술, 非시계 조종을 위한 고정/이동 장애물 실시간 맵 렌더링 기술 들을 확보

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- On-Device AI 프로세싱, Cloud 연계 반도체 기술 등이 적용된 탑재 소형 레이더 시스템을 구현
- 주변상황 인식 및 추정, 복수 단안카메라 기반 영상 항법, 디지털맵내의 UAM위치 인식, 다중 장애물 이동경로 예측 및 회피 기술 등을 확보해 운항안전성을 향상

자율비행 분야 세부기술로드맵

〈표 Ⅵ-118〉 자율비행 분야 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM용 완전 자율 비행 조종기술	비행체용 Vertiport 접근 및 자동 이착륙 기술	정밀 자동이착륙을 위한 주변환경인식	■	■	■	■	■	■								
		정밀 자동이착륙 유도제어 및 자율비행 제어기술			■	■	■	■	■	■	■					
	UAM용 Integrated Flight Deck System	UAM 통합항법전자시스템 최적설계 기술개발	■	■	■	■										
		UAM 통합항법전자시스템 HILS(hardware in the loop) 기술			■	■	■	■								
		UAM 통합항법전자시스템 비행시험 기술						■	■	■	■	■	■			
	완전 자율비행을 위한 UAM SW 플랫폼 기술	UAM 탑재 SW 플랫폼 개발	■	■	■	■	■	■	■							
		탑재 SW용 데이터 프로토콜 표준규격화		■	■	■	■	■	■							
	자율비행시스템 무결성 확보를 위한 핵심 알고리즘 및 센서 시스템 기술	기체 건전성 실시간 모니터링 기술				■	■	■	■	■	■					
		데이터 기반 기체 건전성 지능형 예지 기술				■	■	■	■	■	■					

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
		승객과 비행환경을 고려한 고장대처 기술														
	완전자율비행 탑재 알고리즘 개발 및 실증기술	비행체 유도/항법/제어 기술 고도화														
		고장허용제어 구현기술														
		모델기반 소프트웨어 개발 및 인증기술														
UAM 비행체용 탑재 통신 기술	UAM 비행체용 온보드 다중매체 통신모듈 기술	UAM 비행체 고속 백본 및 데이터 제어 버스 기술														
		실시간 및 서비스품질(QoS) 지원 고속 트래픽 전달 기술														
		고장 및 장애 극복 다중화 트래픽 관리 기술														
	UAM 비행체용 다중링크 (5G, C대역, LEO위성) 통신 기술	C대역, 5G/6G, LEO 위성 통신장치 데이터링크 및 통합단말 기술														
		UAM 비행체를 위한 다중링크 공간 네트워크 기술														
		UAM 다중링크 지원 비행체 컨포멀 안테나 기술														
	UAM 재밍, 스푸핑 등 전파기반 불법공격 대응기술	UAM 비행체의 재밍 등 전파 방해 위협 요소 회피 기술 개발														
		시간 상호 검증 기반 스푸핑 등 감지 기술 및 지능형 고정밀 네트워크 기술 개발														
		적응형 보안 기술, 보안 메커니즘 세분화를 통한 고신뢰 보안 플랫폼 기술 개발														
	UAM 비행체용 보안통신 및 원격조종권 탈취 방지를 위한 보안 기술	UAM 비행체 식별 및 감시 기술														
		UAM 통신 및 네트워크 보안 기술														
		UAM 데이터 분석 및 포렌식 기술														
UAM 자율 항법 기술	UAM 운용을 위한 영상(라이다 등) 대기센서, 통합센서 기술	이종 센서를 결합한 통합 항법 장치 하드웨어 소프트웨어 제작 기술														
		다중 센서를 활용한 항법 장치의 고장 검출 및 분리 기술														
		센서 불용 및 고장 대응 통합 항법 소프트웨어 기술														

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
	위성항법 불용 환경에서 UAM en route 운항을 위한 대체항법-상대항법 복합기술	GNSS 신호 단절 또는 왜곡 시 분리 및 대응 기술														
		영상, 라이다 등을 이용한 대체항법														
	센서 불용 및 고장에 강인한 항법장치 제작 기술	이종 센서를 결합한 통합 항법 장치 하드웨어 제작 기술														
		다중 센서를 활용한 항법 장치의 고장 검출 및 분리														
		센서 불용 및 고장 대응 통합 항법 소프트웨어 기술														
	악기상/시계제한 상황에서 정밀이착륙을 위한 정밀복합 항법기술	전천후 착륙지 마커 탐지 및 추적 기술														
		영상/RF/mmWave 기반 측위 기술														
		정밀 이착륙을 위한 유도 및 제어기술														
전천후 상황인지 및 충돌회피 기술	UAM 자율비행을 위한 공중 장애물(동적, 정적) 탐지 및 충돌회피 기술	다중 탑재센서를 활용한 장애물(동적, 정적, 기상 등) 탐지 및 식별, 추적, 회피 기술														
		지상물 및 지형 데이터 베이스 (전자 지형 지도) 구축 및 처리														
		장애물 충돌 방지(회피) 시스템 연동 기술														
	UAM 충돌회피 비행을 위한 기체탑재용 소형 레이다 시스템	소형 레이다 탑재用 광대역 FMCW 송수신기 칩 (반도체) 기술														
		능동배열안테나 소형집적화 및 전자식 빔제어 전방향 감시 기술														
		소형 비행물체 탐지/식별 및 실시간 궤적추적 고속 신호처리 기술														
		非시계 조종을 위한 고정체/비행체 장애물 실시간 맵 렌더링 기술														
	UAM 영상감시 기술	3차원 영상항법 기술														
		영상항법 기반 상황인지 기술														
		UAM을 위한 충돌회피/경로생성 기술														

3. 기체 소음진동 저감 분야 기술로드맵

가. 기술 정의 및 구성

기술정의

- **(도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터기술)** UAM 운용개념을 기반으로 성능요구도(영역) 도출하고 이를 달성하기 위한 일정한 성능의 프롭로터 형상 설계기술
  - **(도심 운용조건을 고려한 도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터기술 성능 강건설계(robust design) 기술)** UAM 도심운용 개념에서 요구되는 성능을 일정 확률로 만족시킬 수 있는 프롭로터 형상을 강건설계 기법으로 설계하는 기술
  - **(UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술)** 프롭로터 시스템의 동특성을 나타내는 전달함수를 기반으로 개별 블레이드 피치 조종을 통한 고조화 조종을 통해 프롭로터 진동을 제어하는 기술
  - **(UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술)** UAM 다중 프로펠러 저소음화를 위한 형상(익형, 플랫폼) 설계 및 최적화 기술UAM 다중 프로펠러 저소음화를 위한 형상(익형, 플랫폼) 설계 및 최적화 기술
- **(UAM 기체용 소음진동 제어 기술)** UAM용 비행체의 동체에서 발생되는 진동을 감지하고, 진동을 저감시키기 위한 최적의 제어 입력을 계산하여 작동기를 구동해 동체에서 발생된 진동을 상쇄시키는 시스템을 설계하는 기술
  - **(UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술)** UAM용 비행체의 동체에서 발생되는 진동을 감지하고, 진동을 저감시키기 위한 최적의 제어 입력을 계산하여 작동기를 구동해 동체에서 발생된 진동을 상쇄시키는 시스템을 설계하는 기술
  - **(객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술)** UAM 객실내부로 전달되는 소음을 예측하여 소음원의 주파수 특성, 강도변화에 따른 위해성을 최소화 시킬 수 있도록 객실 내 좌석환경 음장을 최적화 할 수 있는 시스템 설계하는 기술

기술구성

- 도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터기술
  - 도심 운용조건을 고려한 도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터기술 성능 강건설계(robust design) 기술
    - UAM 도심운용개념을 기반으로한 성능요구도(영역) 도출 기술
    - UAM 도심운용 임무형상을 분석하여 비행체 요구성능 및 운용범위를 도출

- 개념설계 단계의 비행체 형상을 정의하고 이를 토대로 분석이 필요
- 운용범위 내 일정한 성능을 낼 수 있는 프롭로터 형상 강건설계 기술
- 강건설계 기법을 조사하여 프롭로터 형상설계에 적합한 기법 선정 혹은 개발
- 목적함수, 제약조건, 설계공간 및 요구도 범위 설정을 포함한 설계 문제 정의
- 강건설계 기법을 통한 형상 설계
- Off-design 조건에서 프롭로터 성능해석 기술
- 설계 프롭로터 형상에 대해 운용조건으로 성능해석 수행하여 설계결과 검토
- Off-design 조건에서 성능해석을 수행하여 프롭로터의 강건성 확인

– UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술

- 개별 블레이드 조절 허브시스템 설계
- 각각의 블레이드 별로 피치 조절이 가능한 허브 시스템 설계
- 블레이드 동특성 최적화 설계
- 블레이드 단면 최적 설계를 통한 운영 조건에서의 공진주파수 이격 최대화
- 프롭로터 능동 진동 제어 알고리즘 개발
- 도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터기술 동특성을 분석하고, 블레이드 피치 조절에 따른 반응을 예측하여 블레이드 피치 조절에 따라 진동을 제어하는 알고리즘 개발

– UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술

- UAM 다중 프로펠러 저소음화를 위한 형상(익형, 플랜폼) 설계 및 최적화 기술
- 요구도에 맞는 추력 및 소음에 적합한 프로펠러의 외형 형상(익형, 플랜폼) 설계
- 다중 프로펠러에서 발생하는 소음을 저감하기 위한 형상 최적화
- UAM 다중 프로펠러 저소음화를 위한 운용조건 및 배치 최적화 기술
- 비행조건 및 모드별 요구 추력을 발생하면서 저소음화할 수 있는 운용조건 선정
- 다중 프로펠러간의 간섭, 다중 프로펠러와 동체간의 간섭에 의한 소음 최소화를 위한 프로펠러 배치 최적화
- UAM 다중 프로펠러 저소음화를 위한 능동 소음 저감 기술

- Take-off, Cruise, Descent 비행 조건별 소음변화에 따른 능동 소음 저감
- 운용조건 별 회전속도 및 조종각 제어를 통한 능동소음 저감

● UAM 기체용 소음진동 제어 기술

– UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술

- 능동 진동제어 알고리즘
- 센서 신호 처리 및 제어 명령 생성을 수행하는 알고리즘
- 작동기/센서 배치 최적화 기술
- 최적의 성능을 발휘하기 위한 작동기 및 센서 위치 선정 최적화
- 능동 진동제어 시스템 설계 기술
- 센서, 제어기, 작동기 연결을 위한 와이어링, 데이터 통신, 개발 시험, 입증 시험 등의 시스템 설계

– 객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술

- UAM 객실내 소음장 모사를 위한 해석기법 개발
- UAM 비행조건 별 내부 전파 소음 예측을 위한 저주파 대역을 비롯한 고주파 대역에도 적용이 가능한 FEA, SEA 기법 개발
- 객실내부 내장재의 흡/차음 효과 분석을 위한 3차원 임피던스 경계조건 모델링
- UAM 비행조건에 따른 소음 위해성 계량화를 위한 분석기법 개발
- UAM 객실내부 소음의 주파수 및 시간별 소음도 크기 변화에 따른 불쾌도(Annoyance) 기여인자 도출
- UAM 객실능동소음제어를 통한 음장최적화 기법 개발
- 음장최적화를 위한 능동소음제어 신호처리 알고리즘 개발
- 다수/다종 Microphone 및 Loudspeaker 배치 최적화 기술

〈표 Ⅵ-119〉 중점기술 약표

중점기술	세부기술	기술명세
도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술	도심 운용조건을 고려한 프롭·로터 시스템 성능 강건설계(robust design) 기술	• UAM 도심운용개념에서는 프롭로터의 운용조건(고도, 속도), 운용방법(피치, 회전속도)가 영역형태로 정의되므로 이러한 범위전체에서 요구성능을 일정확률로 만족시킬 수 있는 프롭로터 형상을 강건설계 기법으로 설계하는 기술
	UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술	• 프롭로터 시스템의 동특성을 나타내는 전달함수를 기반으로 개별 블레이드 피치 조종을 통한 고조화 조종을 통해 프롭로터 진동을 제어하는 기술
	UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술	• UAM용 다중프로펠러에서 발생하는 소음을 줄이기 위해 프로펠러 운용조건, 배치, 형상을 최적화하고 능동제어 기술을 적용하여 소음을 줄이는 기술
UAM 기체용 소음진동 제어 기술	UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술	• UAM용 비행체의 동체에서 발생되는 진동을 감지하고, 진동을 저감시키기 위한 최적의 제어 입력을 계산하여 작동기를 구동해 동체에서 발생된 진동을 상쇄시키는 시스템을 설계하는 기술
	객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술	• UAM 객실내부로 전달되는 소음을 예측하여 소음원의 주파수 특성, 강도변화에 따른 위해성을 최소화 시킬 수 있도록 객실 내 좌석환경 음장을 최적화 할 수 있는 시스템 설계하는 기술

나. 기술동향 분석

■ 도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터기술 기술동향

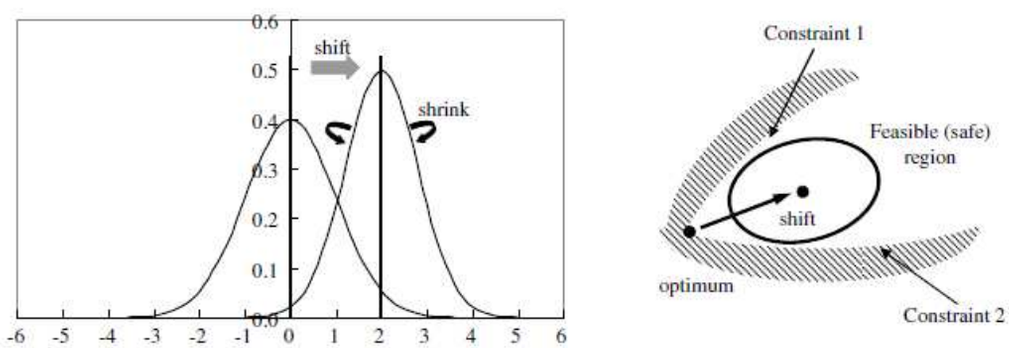
● 도심 운용조건을 고려한 프롭 로터 시스템 성능 강건설계(robust design) 기술

– 강건설계 기법은 1980년대 후반에 Taguchi 가 생산공정에서 발생하는 오차를 설계변수에 확률론적으로 정의하는 방법을 최초 제안함[44]

– DeLaurentis and Mavris는 불확실성을 고려하는 강건설계 방법론으로 고속 민간수송기를 설계함[45]

– 전상욱 등은 항공기 날개의 운용과 생산의 불확실성을 고려하기 위하여 Monte-Carlo 시뮬레이션과 신경망 기법을 조합하여 강건설계를 수행함[46]

– 전상욱 등은 운용시 불확실성을 고려하여 동축반전 UAV 강건설계를 수행함[47]



a) Shift and shrink for objective function　　b) Shift for constraints

출처: Jun, S., Yee, K., Lee, J., and Lee, D., "Robust Design Optimization of Unmanned Aerial Vehicle Coaxial Rotor Considering Operational Uncertainty," Journal of Aircraft, Vol. 48, No. 2, Mach-April 2011.

[그림 Ⅵ-167] 강건설계에서 목적함수의 이동 및 분포범위 축소에 따른 제약조건 만족 예시

● UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술

– 개별 블레이드 조절 허브 시스템 설계

• 독일 ZFL에서는 CH-53 로터 시스템에 개별 블레이드 조종 허브를 적용하여 비행 시험을 수행함[48]

44) Taguchi, G., Taguchi on Robust Technology Development, ASME Press, New York, 1993.
45) DeLaurentis, D. A., and Mavris, D. N., "Uncertainty Modeling and Management in Multidisciplinary Analysis and Synthesis," AIAA Paper 2000-4222000.
46) Jun, S., Jeon, Y., Rho, J., Kim, J., Kim, J., and Lee, D., "Reliability-Based and Robust Design Optimization with Artificial Neural Network," 6th World Congresses of Structural and Multidisciplinary Optimization, The International Society for Structural and Multidisciplinary Optimization, Daejoen, Korea, May-June 2005.
47) Jun, S., Yee, K., Lee, J., and Lee, D., "Robust Design Optimization of Unmanned Aerial Vehicle Coaxial Rotor Considering Operational Uncertainty," Journal of Aircraft, Vol. 48, No. 2, Mach-April 2011.
48) Uwe T.P. Arnold, 'Recent IBC flight Test Results from the CH-53G Helicopter', 29th ERF, 2003,

- 미국 Karem사는 TR36XPO Tilt-prop 시스템에 개별 블레이드 조종 개념을 적용함[49)]
- 미국 Joby사는 2020년 공개된 특허를 통해 프로펠러의 Pitch와 RPM 조절을 통해 항공기 자세를 제어한다고 기술. 이는 스와시플레이드가 구현될 수 없는 Linkage Mechanism Tilt 형상을 고려할 때, 개별 블레이드 피치 조절 허브 시스템이 적용되었을 것으로 판단함[50)]

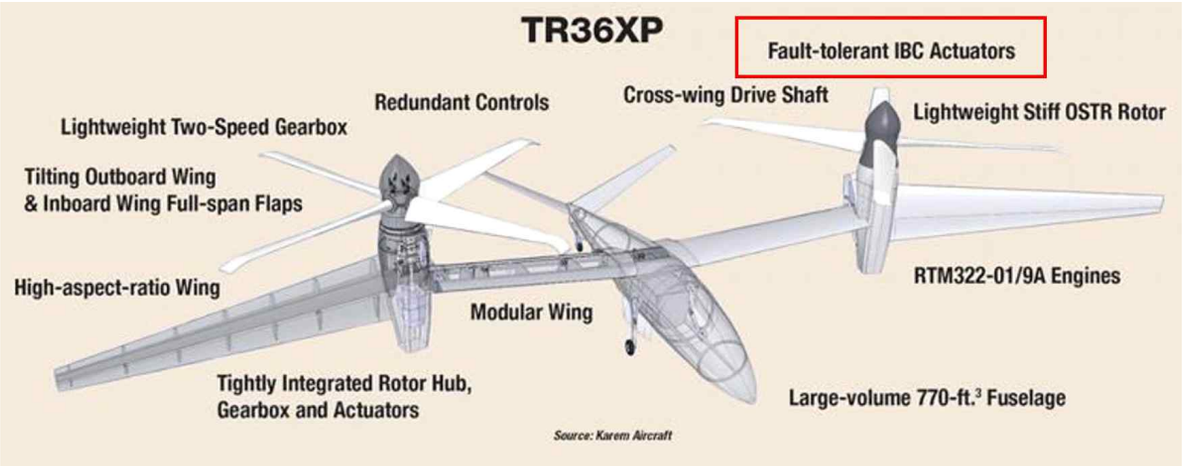
– 블레이드 동특성 최적화 설계

- Boeing, Sikorsky 등 해외 선진 항공 업체에서는 로터 회전 운영수에 따른 블레이드 동특성 최적화 기술을 보유하고 있음
- 한국항공우주연구원에서는 프롭 블레이드 구조 설계 시 최적화 설계 기법을 적용 중임

– 프롭로터 능동 진동 제어 알고리즘 개발

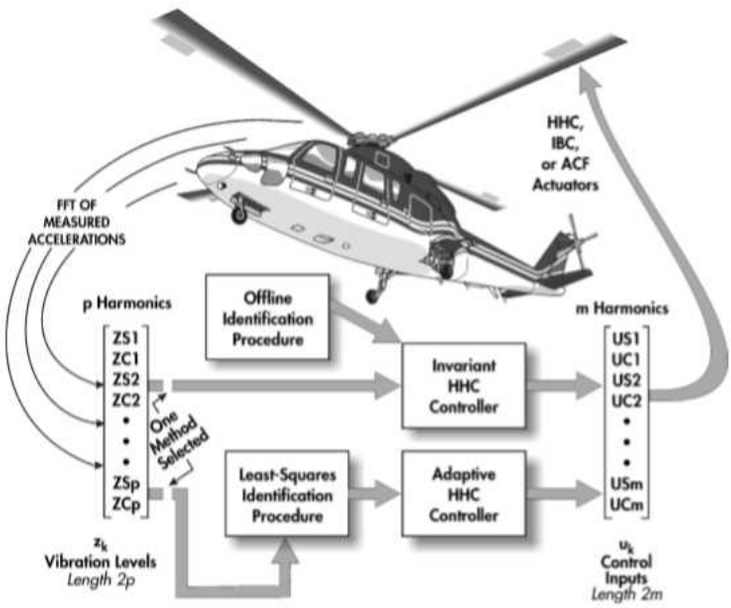
- Boeing은 NASA, US Army, DARPA, US Air Force, UCLA, University of Maryland와 공동 연구를 통해 개별 블레이드 플랩 조절을 통한 고조화 조종 방법(Smart Material Actuated Rotor Technology, SMART)을 지상 회전시험 및 풍동시험을 수행하여 진동 저감 수준을 확인[51)]
- 한국(항우연, 건국대)을 포함한 독일(DLR), 네덜란드(NLR), 미국(NASA/AFDD), 프랑스(ONERA), 일본(JAXA) 6개국은 블레이드 능동 비틀림 제어를 통한 회전영역 고조화 조종을 통해 진동/소음 저감 성능을 확인하고 이와 관련한 해석/시험을 수행함[52)]
- 한국항공우주연구원에서는 능동 플랩과 능동 거니플랩을 통한 진동 및 소음 저감 가능성을 확인하는 연구 결과 획득[53)]

49) vtol.org/files/dmfile/JMR_Karem-Vertiflite.pdf
50) US Patent, Aircraft control system and method, US2020/0333805 A1(Oct, 22, 2020)
51) F. K. Straub, V. R. Anand, T. S. Birchette and B. H. Lau, 'SMART Rotor Development and Wind Tunnel Test', 35th ERF, 2009.
52) M. J. Smith, J. W. Lim, B. G. Wall, J. D. Baeder, R. T. Biedron, D. D. Boyd Jr., B. Jayaraman, S. N. Jung, B. Y. Min, 'An Assessment of CFD/CSD Prediction State-of-the-Art Using the HART II INternational Workshop Data', Conference Paper, 2012
53) 김덕관 외, '소음저감을 위한 능동제어 로터 국제협력 연구', 한국항공우주연구원, 2016.



출처: globalsecurity.org/military/systems/aircraft/tr36.htm

[그림 Ⅵ-168] 개별 블레이드 조절 허브 시스템에 대한 예시



출처: Dan Patt, Li Liu, Jaganath Chandrasekar, Dennis S. Bernstein and Peretz P. Priedmann, "Higher-Harmonic-Control Algorithm for Helicopter Vibration Reduction Revisited", Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 28, No. 5, Sep-Oct 2005

[그림 Ⅵ-169] 능동 진동 제어 알고리즘에 대한 예시

● UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술

- UAM 다중 프로펠러 저소음화를 위한 형상(익형, 플랜폼) 설계 및 최적화 기술
- 미국, 유럽 각국 UAM 개발사에서는 저소음을 고려한 프롭 추진 시스템을 개발중에 있음
- 최근 Joby aviation에 공개한 특허자료를 살펴보면 저소음화를 위한 익형, 플랜폼 설계를 진행한 것을 알 수 있음
- 국내 경우, 한국항공우주연구원에서 개발 진행 중인 OPPAV 사업에서도 프로펠러 형상 최적화를 수행한바 있음

– UAM 다중 프로펠러 저소음화를 위한 운용조건 및 배치 최적화 기술

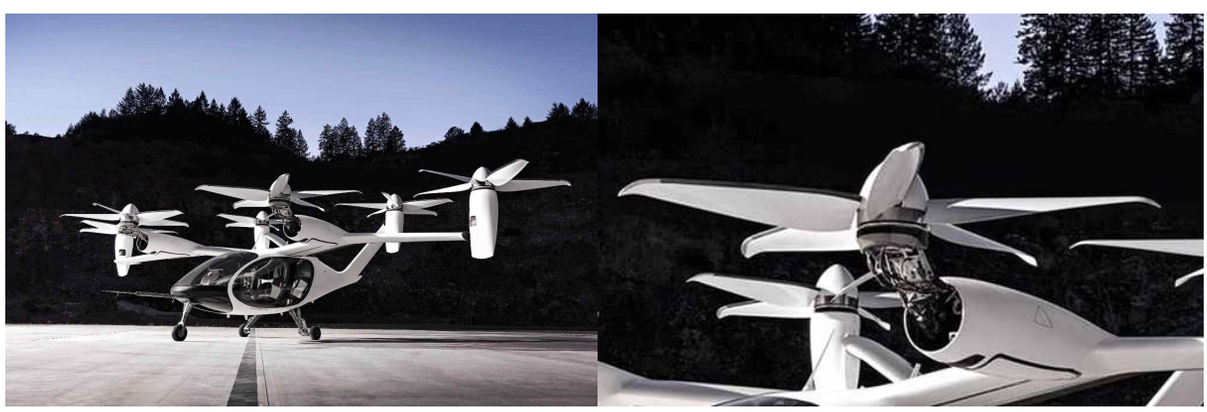
• Joby aviation 공개자료에 따르면 다중프로펠러에서 발생하는 소음을 줄이기 위해 비행 조건별로 각각 프로펠러를 회전속도를 다르게 하고 있음 이는 회전수에 따른 주파수 특성을 고려하여 소음을 저감하는 기술임

• Joby, Volocopter 등 국외 업체에서 개발하는 UAM 프로펠러의 경우 프로펠러 후류와 동체 또는 다른 프롭간의 간섭 소음을 줄이기 위해 프로펠러 위치를 선정함

– UAM 다중 프로펠러 저소음화를 위한 능동 소음 저감 기술

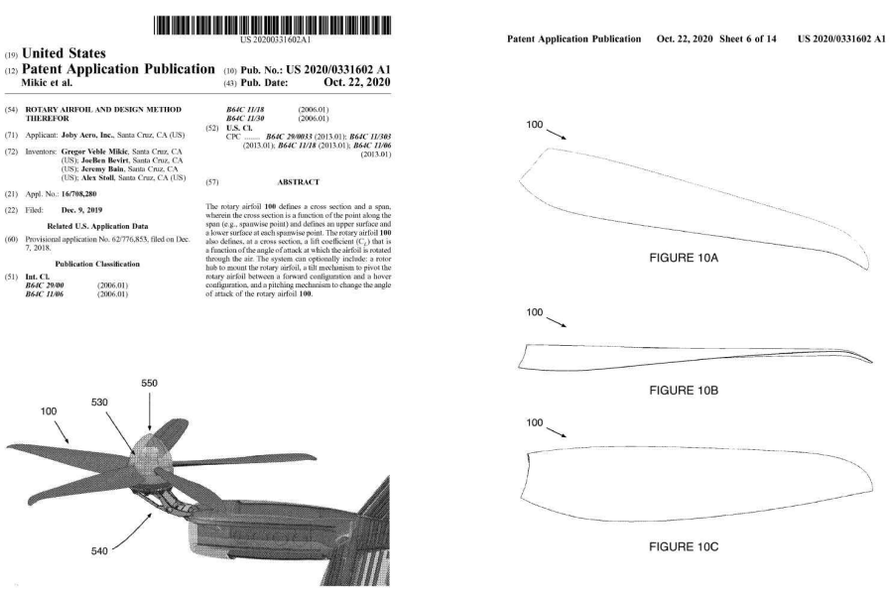
• 국외 선진국에서 능동 소음 저감을 위한 피치각 및 조종각 능동 제어 기술은 특허 또는 연구개발을 진행된 바 있으나 상용제품에 보편적으로 적용되고 있지는 않음

• Joby aviation은 피치각을 일부 제어하거나 프롭 블레이드 간격을 비등각격하는 기술을 2020년 특허자료로 공개함



출처: Joby aviation 홈페이지 (https://www.jobyaviation.com

[그림 Ⅵ-170] UAM 다중프로펠러 형상



US 20200331602A1

(19) United States

(12) Patent Application Publication

Mikic et al.

(10) Pub. No.: US 2020/0331602 A1

(43) Pub. Date: Oct. 22, 2020

(54) ROTARY AIRFOIL AND DESIGN METHOD THEREFOR

(71) Applicant: Joby Aero, Inc., Santa Cruz, CA (US)

(72) Inventors: Gregor Veble Mikic, Santa Cruz, CA (US); Joelben Bevirt, Santa Cruz, CA (US); Jeremy Bain, Santa Cruz, CA (US); Alex Stoll, Santa Cruz, CA (US)

(21) Appl. No.: 16/708,280

(22) Filed: Dec. 9, 2019

Related U.S. Application Data

(60) Provisional application No. 62/776,853, filed on Dec. 7, 2018.

Publication Classification

(51) Int. Cl.
B64C 29/00 (2006.01)
B64C 11/06 (2006.01)
B64C 11/18 (2006.01)
B64C 11/30 (2006.01)

(52) U.S. Cl.
CPC B64C 29/0033 (2013.01); B64C 11/301 (2013.01); B64C 11/06 (2013.01); B64C 11/18 (2013.01); (2013.01)

(57) ABSTRACT

The rotary airfoil 100 defines a cross section and a span, wherein the cross section is a function of the point along the span (e.g., spanwise point) and defines an upper surface and a lower surface at each spanwise point. The rotary airfoil 100 also defines, at a cross section, a lift coefficient (C_L) that is a function of the angle of attack at which the airfoil is rotated through the air. The system can optionally include: a rotor hub to mount the rotary airfoil, a tilt mechanism to pivot the rotary airfoil between a forward configuration and a hover configuration, and a pitching mechanism to change the angle of attack of the rotary airfoil 100.

100
530
550
540

Patent Application Publication Oct. 22, 2020 Sheet 6 of 14 US 2020/0331602 A1

100

FIGURE 10A

100

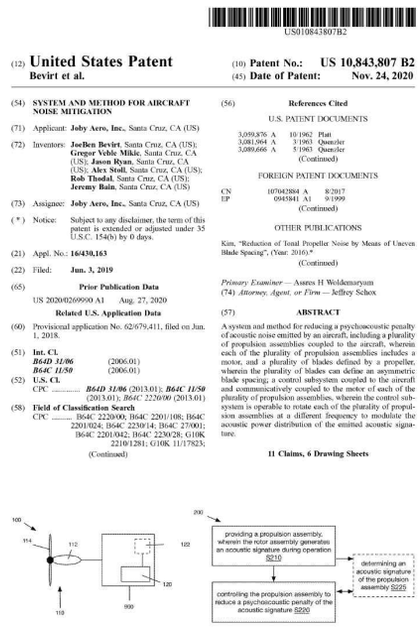
FIGURE 10B

100

FIGURE 10C

출처: Joby Aero, "Rotary Airfoil and Design Method Therefor", US 2020/0331602 A1, 2020.10

[그림 Ⅵ-171] 다중프로펠러 형상 특허 기술



US010843807B2

(12) **United States Patent**
Bevirt et al.

(10) **Patent No.: US 10,843,807 B2**
(45) **Date of Patent: Nov. 24, 2020**

(54) **SYSTEM AND METHOD FOR AIRCRAFT NOISE MITIGATION**

(71) Applicant: **Joby Aero, Inc.**, Santa Cruz, CA (US)

(72) Inventors: **JoeBen Bevirt**, Santa Cruz, CA (US); **Gregor Veble Miklic**, Santa Cruz, CA (US); **Jason Ryan**, Santa Cruz, CA (US); **Alex Stoll**, Santa Cruz, CA (US); **Rob Thodal**, Santa Cruz, CA (US); **Jeremy Bain**, Santa Cruz, CA (US)

(73) Assignee: **Joby Aero, Inc.**, Santa Cruz, CA (US)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

(21) Appl. No.: **16/430,163**

(22) Filed: **Jun. 3, 2019**

(65) **Prior Publication Data**

US 2020/0269990 A1 Aug. 27, 2020

Related U.S. Application Data

(60) Provisional application No. 62/679,411, filed on Jun. 1, 2018.

(51) **Int. Cl.**
B64D 31/06 (2006.01)
B64C 11/50 (2006.01)

(52) **U.S. Cl.**
CPC ***B64D 31/06*** (2013.01); ***B64C 11/50*** (2013.01); *B64C 2220/00* (2013.01)

(58) **Field of Classification Search**
CPC B64C 2220/00; B64C 2201/108; B64C 2201/024; B64C 2230/14; B64C 27/001; B64C 2201/042; B64C 2230/28; G10K 2210/1281; G10K 11/17823;
(Continued)

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,059,876 A 10/1962 Platt
3,081,994 A 3/1963 Quenzler
3,089,666 A 5/1963 Quenzler
(Continued)

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

CN 107042894 A 8/2017
EP 0945841 A1 9/1999
(Continued)

OTHER PUBLICATIONS

Kim, "Reduction of Tonal Propeller Noise by Means of Uneven Blade Spacing", (Year: 2016).*
(Continued)

Primary Examiner — Asares H Woldemaryam
(74) *Attorney, Agent, or Firm* — Jeffrey Schox

(57) **ABSTRACT**

A system and method for reducing a psychoacoustic penalty of acoustic noise emitted by an aircraft, including a plurality of propulsion assemblies coupled to the aircraft, wherein each of the plurality of propulsion assemblies includes a motor, and a plurality of blades defined by a propeller, wherein the plurality of blades can define an asymmetric blade spacing; a control subsystem coupled to the aircraft and communicatively coupled to the motor of each of the plurality of propulsion assemblies, wherein the control subsystem is operable to rotate each of the plurality of propulsion assemblies at a different frequency to modulate the acoustic power distribution of the emitted acoustic signature.

11 Claims, 6 Drawing Sheets

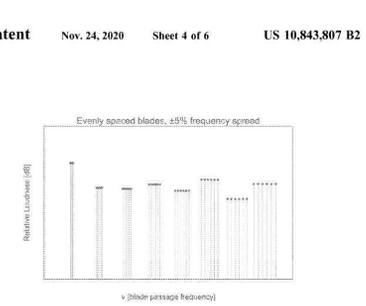


FIGURE 9

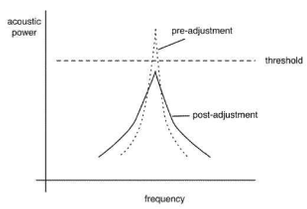


FIGURE 10

출처: Joby Aero, "System and Method for Aircraft Noise Mitigation", US 10,843,807 B2, 2020.11

[그림 Ⅵ-172] 다중프로펠러 소음저감 특허 기술

UAM 기체용 소음진동 제어 기술 기술동향

UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술

– 능동 진동제어 알고리즘

- 미국의 Parker-LORD는 헬리콥터 및 틸트로터 항공기에 적용되는 능동 진동제어 시스템을 공급하고 있음
- 미국의 Sikorsky는 진동제어 시스템에 대한 자체 소프트웨어를 개발하여 적용한 바 있음
- 한국항공우주산업(주)과 한국항공우주연구원에서 소형무장헬기 연계 민수헬기 국외업체 이전 기피 핵심기술 개발 과제를 통해 헬리콥터 진동제어 시스템용 알고리즘을 개발하고 있음

– 작동기/센서 배치 최적화 기술

- Parker-LORD는 헬리콥터용 능동 진동제어 시스템에 대한 최적화 기술을 보유하고 있음
- 한국항공우주연구원에서 소형무장헬기 연계 민수헬기 국외업체 이전 기피 핵심기술 개발 과제를 통해 헬리콥터 진동제어 시스템용 작동기/센서 배치 최적화를 진행 중임

– 작동기/센서 배치 최적화 기술

- Parker-LORD는 헬리콥터용 능동 진동제어 시스템 설계/제작/시험평가 기술을 보유하고 있음

• 한국항공우주산업(주)는 소형무장헬기 연계 민수헬기 국외업체 이전 기피 핵심기술 개발 과제를 통해 시스템 설계 기술을 개발하고 있음

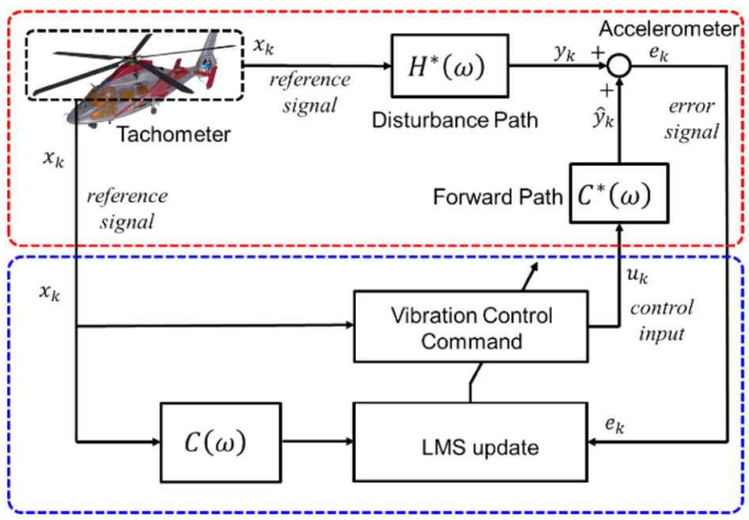


Fig. 5 Fx-LMS algorithm

출처: Kim, D.-H., Kwak, D.-I., and Song, Q., "Demonstration of Active Vibration Control System on a Korean Utility Helicopter," International Journal of Aeronautical and Space Sciences, Vol. 20, No. 1, 2019, pp. 249-259.

[그림 Ⅵ-173] 능동 진동제어 알고리즘에 대한 예시

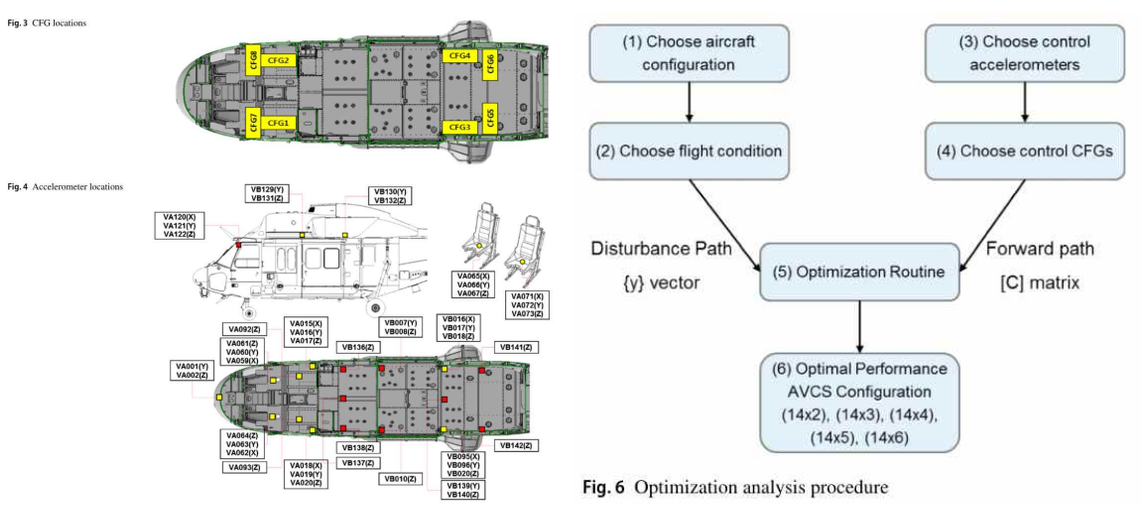


Fig. 6 Optimization analysis procedure

출처: Kim, D.-H., Kwak, D.-I., and Song, Q., "Demonstration of Active Vibration Control System on a Korean Utility Helicopter," International Journal of Aeronautical and Space Sciences, Vol. 20, No. 1, 2019, pp. 249-259.

[그림 Ⅵ-174] 작동기/센서 배치 최적화에 대한 예시

● 객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반 기술

– UAM 객실내 소음장 모사를 위한 해석기법 개발

• Sikorsky 에서는 SEA(Statistical Energy Analysis) 기법을 적용하여 회전익 객실 소음에 대한 예측 및 검증을 수행한 바 있음

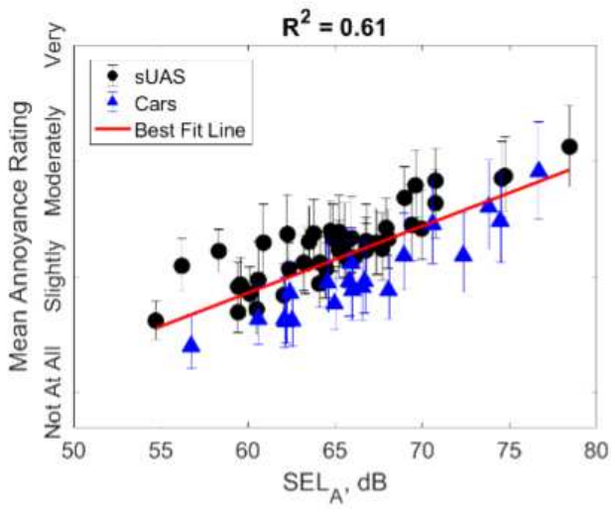
- 현대자동차는 200~1kHz 주파수 대역 실내소음(Cabin Noise) 예측을 위한 FE-SEA 하이브리드 해석모델을 개발한 바 있음
- DLR/Onera 는 헬리콥터 실내소음 전파 해석을 위한 전달손실 시뮬레이션 및 최적화 연구를 수행한 바 있음(2014)

– UAM 비행조건에 따른 소음 위해성 계량화를 위한 분석기법 개발

- NASA 는 소형 무인기(sUAS)소음과 일반 도로교통 소음원을 이용하여 5-Scale 불쾌도 검사(Subjective Response) 시험을 통해 동일한 소음도의 경우 소형무인기의 불쾌도가 높음을 확인함

– 객실능동소음제어기술

- Ultra-PCS 는 터보프롭 항공기(Bombardier Q400)에서 발생하는 프로펠러 소음의 제어하기 위한 능동소음진동제어 시스템 개발하여 납품한 바 있음
- 현대자동차는 저주파 대역 타이어 소음으로 인한 차량내부 소음을 저감하기 위해 RANC(Road-noise Active Noise Cancellation) 기술을 개발하여, 제네시스 차량에 적용함



출처: Andrew W. Christian, "Initial Investigation into the Psychoacoustic Properties of Small Unmanned Aerial System Noise", 23rd AIAA/CEAS Aeroacoustic Conference 2017

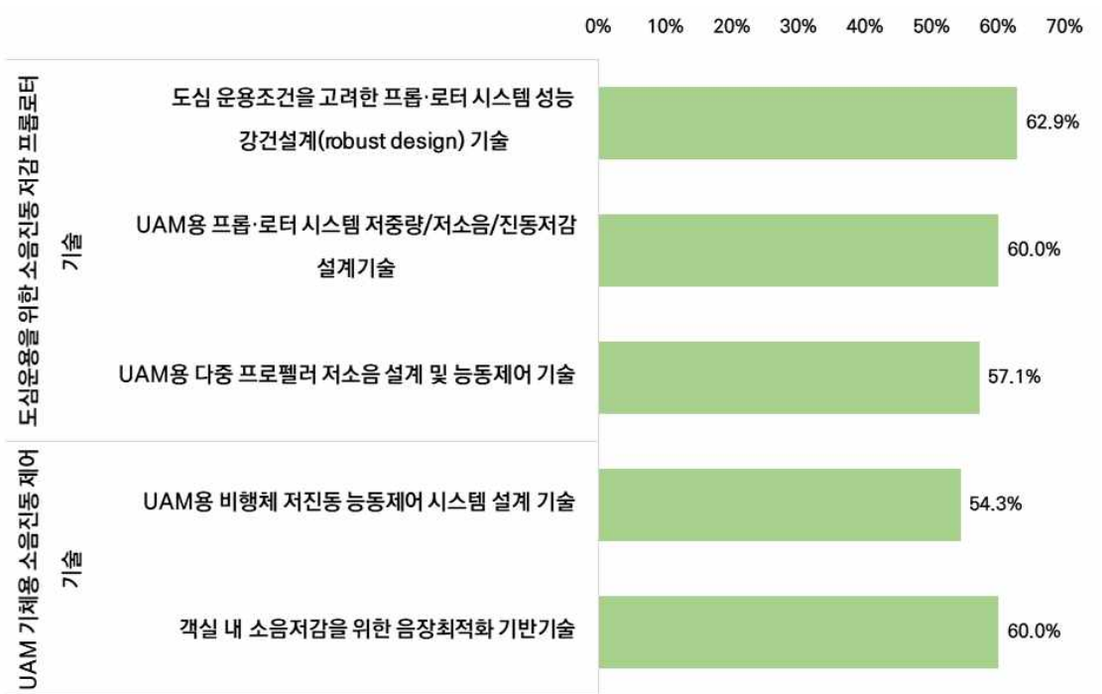
[그림 Ⅵ-175] 전기추진시스템 로터소음에 대한 위해성 분석

다. 기술수준 및 연구개발전략

■ 기체 소음진동 저감 분야 국내 기술수준 및 경쟁력 분석

● 기체 소음진동 저감 분야 세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

– 기체 소음진동 저감 분야의 기술은 전반적으로 낮은 수준의 기술을 가진 것으로 나타남



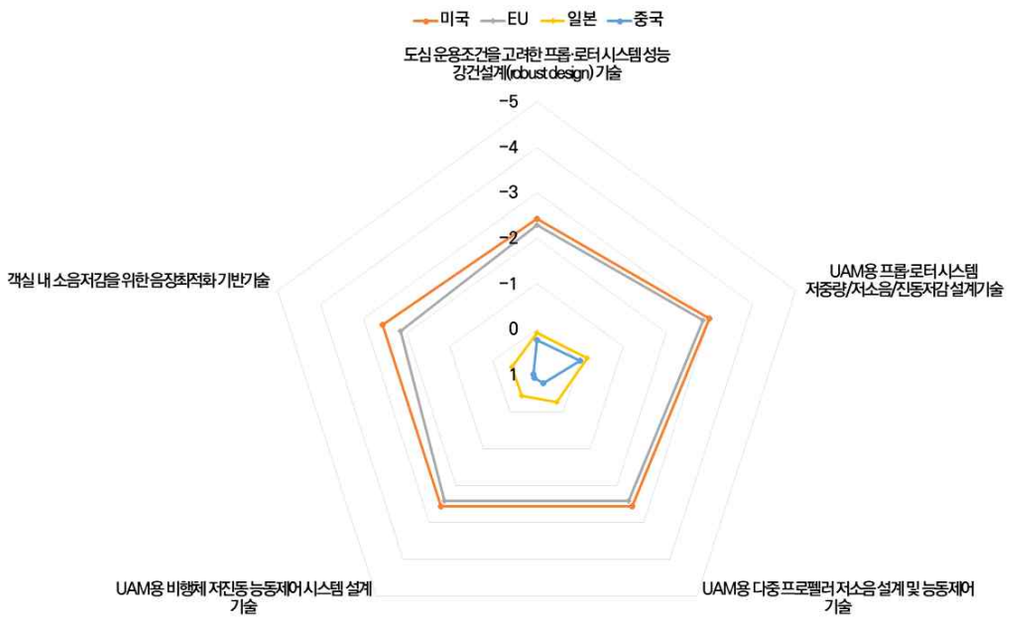
[그림 Ⅵ-176] 기체 소음진동 저감 분야 중점기술-세부기술별 최고 선진국 대비 국내 기술 수준

● 기체 소음진동 저감 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술 격차

– 미국과 유럽이 높은 기술수준을 가지고 있으며 이들과는 2-3년 내외의 기술격차가 나며 일본과 중국과는 큰 차이가 없는 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-120〉 기체 소음진동 저감 분야 중점기술-세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

중점기술	세부기술	경쟁국(년)			
		미국	EU	일본	중국
도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술	도심 운용조건을 고려한 프롭·로터 시스템 성능 강건설계(robust design) 기술	-2.43	-2.29	0.07	0.24
	UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술	-3.00	-2.86	-0.17	0.00
	UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술	-2.57	-2.43	0.26	0.76
UAM 기체용 소음진동 제어 기술	UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술	-2.57	-2.43	0.43	0.93
	객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술	-2.57	-2.14	0.43	0.93



[그림 Ⅵ-177] 기체 소음진동 저감 분야 세부기술별 경쟁국 대비 국내 기술격차

● 기체 소음진동 저감 분야 국내 산업역량

– 모든 기술의 국내 산업역량은 면허생산 수준인 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-121〉 기체 소음진동 저감 분야 중점기술-세부기술별 국내 산업역량

중점기술	세부기술	국내 산업역량
도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술	도심 운용조건을 고려한 프롭·로터 시스템 성능 강건설계(robust design) 기술	LV 2(면허생산)
	UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술	LV 2(면허생산)
	UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술	LV 2(면허생산)
UAM 기체용 소음진동 제어 기술	UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술	LV 2(면허생산)
	객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술	LV 2(면허생산)

● 기체 소음진동 저감 분야 국내 기술개발 역량

– 일부 기술이 미착수 단계이나 대부분의 기술이 기초/응용연구수행 단계인 것으로 나타남

〈표 Ⅵ-122〉 기체 소음진동 저감 분야 중점기술-세부기술별 국내 기술개발 역량

중점기술	세부기술	국내기술개발 역량
도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술	도심 운용조건을 고려한 프롭·로터 시스템 성능 강건설계(robust design) 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술	LV 3(기초/응용연구수행)
	UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술	LV 3(기초/응용연구수행)
UAM 기체용 소음진동 제어 기술	UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술	LV 2(기초연구수행)
	객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술	LV 1(미착수)

도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술 연구개발전략

- **(도심 운용조건을 고려한 프롭로터 시스템 성능 강건설계(robust design) 기술)** UAM 운용개념을 기반으로 성능요구도(영역) 도출하고 이를 달성하기 위한 일정한 성능의 프롭로터 형상 설계
  - 한국항공우주연구원에서 OPPAV 1인승 비행체를 개발하고 있음
  - OPPAV 1인승 비행체의 형상과 운용개념, 임무형상을 기반으로 비행체 요구성능 및 운용범위를 도출
  - 현재 학계 및 산업계에서 사용하고 있는 강건설계 도구 및 방법론 조사 및 성능요구도를 기반으로 설계문제 정의
  - 운용조건 및 운용방법의 범위를 고려할 수 있는 확률론적 기법 검토
  - UAM 운용범위를 고려한 프롭로터 강건설계 기법 개발 및 강건설계 수행
  - 설계 프롭로터 형상에 대해 운용조건으로 성능해석 수행하여 설계결과 검토, 결정론적으로 도출된 해석결과를 통해 확률론적으로 설계한 결과를 분석
  - Off-design 조건에서 성능해석을 수행하여 프롭로터의 강건성 확인, 강건성 확인할 수 있는 방법론 개발
- UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술 UAM 비행체의 유상하중 증가, 구조안전성 증가 및 승객실의 진동 감소를 통한 승차감 향상을 위하여 저중량 프롭로터 시스템을 설계하고, 최적 설계를 통해 블레이드 동특성을 최적화하며, 능동 진동 저감 피치 제어 알고리즘을 개발
  - 개별 블레이드 조절 허브 시스템 설계
  - 한국항공우주연구원에서는 헬리콥터 무베어링 허브 개발 과제를 성공적으로 수행한 바 있음
  - 또한, 한국항공우주연구원에서 자체 개발하는 다양한 수직이착륙 항공기의 프롭로터 허브 시스템을 독자 설계/개발하고 있음
  - UAM용 프롭 로터 시스템 개발 시 독자적으로 개별 블레이드 조절 허브 시스템 설계가 가능하다고 판단됨
  - 블레이드 동특성 최적화 설계
  - 한국항공우주연구원에서는 자체 개발하는 수직이착륙 항공기의 프롭로터 블레이드를 독자 설계/개발하고 있음
  - 현재 블레이드 중량 최적화 기법을 적용하여 여러 블레이드 설계에 적용하고 있음

- UAM용 도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터기술 개발 시에는 국내 복합재 제작 업체와 협력하여 독자 개발이 가능한 수준임

● **(프롭로터 능동 진동 제어 알고리즘 개발)** 한국항공우주연구원은 기존 연구개발을 통해 축소 모델 수준에 대한 능동 진동 제어 알고리즘을 개발하였음

- 또한 대형공격헬기 절충교역을 통해 해외선진업체의 능동진동제어 기술 이전을 받은 바 있음

- UAM용 프롭로터 능동 진동 제어 알고리즘 개발 시에는 헬리콥터 로터와의 차이점을 식별/분석하여 프롭로터에 맞게 국내 독자 개발이 가능함

● **(UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술)** 국내 학계와 연구소(항공우주연구원, 국방과학연구소)에는 항공기 프로펠러 형상 설계를 보유하고 있으나 소음 저감을 목표로 한 형상설계는 많지 않음

- 헬리콥터 로터 블레이드, 틸트 프롭 소음저감을 위한 형상설계 기술 일부 확보하고 있음

- UAM 저소음화에 특화한 다중 프로펠러 익형 및 플랫폼을 설계/해석 자동화 소프트웨어와 최적설계기법을 이용하여 확보 가능함

● **(UAM 다중 프로펠러 저소음화를 위한 운용조건 및 배치 최적화 기술)** 일반적인 프로펠러 설계기술은 보유하고 있지만 저소음화를 위한 다중 프로펠러의 운용조건 및 배치 최적화 기술은 사례 없음

- 전기체 성능/소음 예측 프로그램을 이용하여 다중프로펠러에 요구되는 추력과 출력 범위 내에서 소음을 줄일 수 있는 피치각 및 회전속도를 선정할 수 있음

- 성능, 소음, 최적화 프로그램을 이용하여 소음에 최적화된 다중 프로펠러 위치를 결정할 수 있으며, 전산해석 및 시험평가를 통해 검증할 수 있음

● **(UAM 다중 프로펠러 저소음화를 위한 능동 소음 저감 기술)** 한국항공우주연구원에서는 헬기 로터 블레이드 능동소음 저감 기술을 확보하고 있으며. 한국항공우주산업(주)는 '소형무장헬기 연계 민수헬기 국외업체 이전 기피 핵심기술 개발과제'를 통해 능동 진동저감 기술을 확보하였음

- 헬리콥터 로터 능동제어 기술과 소음 해석/시험기술을 활용하여 다중 프로펠러 능동 소음 기술개발을 추진함

- 작동기를 이용한 프로펠러 피치 제어 또는 동적 변화를 이용하여 운용조건 별 최적 작동 범위를 선정하고 해석 및 시험을 통해 작동성 및 소음저감 효과를 확인할 수 있음

UAM 기체용 소음진동 제어 기술 기술수준 및 연구개발전략

● UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술

– 능동 진동제어 알고리즘

- 한국항공우주산업(주)과 한국항공우주연구원에서 소형무장헬기 연계 민수헬기 국외업체 이전 기피 핵심기술 개발 과제를 통해 헬리콥터 진동제어 시스템용 알고리즘을 개발하고 있음
- 타코미터 신호 처리 부분을 제외한 알고리즘 소프트웨어는 국내에서 개발하여 LCH (Light Civil Helicopter)에 적용하고 있어 기술 수준은 미국의 Parker-LORD, Sikorsky 대비 90% 수준임

– 작동기/센서 배치 최적화 기술

- 한국항공우주연구원에서 소형무장헬기 연계 민수헬기 국외업체 이전 기피 핵심기술 개발 과제를 통해 헬리콥터 진동제어 시스템용 작동기/센서 배치 최적화를 진행중으로 미국의 Parker-LORD 대비 90% 수준임
- UAM용 능동 진동제어 시스템을 기존 헬리콥터와 유사하게 구성할 경우, 기존 기술을 적용하여 국내독자개발 가능함

– 능동 진동제어 시스템 설계 기술

- 한국항공우주산업(주)는 소형무장헬기 연계 민수헬기 국외업체 이전 기피 핵심기술 개발 과제를 통해 시스템 설계 기술을 개발하고 있음
- 하드웨어 장착 설계, 시스템 기능시험, 비행 시험 기술은 확보하였으나, 제어기 자체의 인증 시험 및 제어기-작동기 통신 등 일부 기술은 국외 업체에서 수행하였음
- UAM용 능동 진동제어 시스템 개발 시에는 국내 항전 장비 업체와 협력하여 독자 개발이 가능한 수준임

● 객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술

– UAM 객실내 소음장 모사를 위한 해석기법 개발

- 자동차 혹은 헬리콥터의 엔진 및 기어박스의 소음으로 인한 객실소음 모사해석은 수행된바 있으나 전기추진시스템의 주파수 대역에 대한 해석기법은 현재 eVTOL 관련기업에서 개발을 진행 중인 상황

– UAM 비행조건에 따른 소음 위해성 계량화를 위한 분석기법 개발

- 소음 위해성과 관련하여 국내에서 다른 교통소음원(자동차, 철도, 비행기)에 대한 주파수 및 불쾌도 해석은 진행된 바 있어, 위해성 계량화에 대한 기술수준은 충분한 상황임

- 다만, UAM 과 같은 새로운 교통수단에 대해서는 대상음원 구축 및 노출-반응 시험 수행하기까지에는 시간이 소요될 것으로 예상됨

- UAM 비행조건(이륙, 착륙, 순항, 천이)에서 발생하는 소음생성 해석 결과를 바탕으로 가상음원을 생성하고 이를 이용하여 위해성 계량 연구를 수행함

– 객실 능동소음제어기술

- 능동소음 제어기술은 능동 진동제어 시스템 설계와 마찬가지로 독자개발이 가능한 수준임

라. 기체 소음진동 저감 분야 기술로드맵

■ 기체 소음진동 저감 분야 단계별 기술개발 목표

● 도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

- **(도심 운용조건을 고려한 프롭 로터 시스템 성능 강건설계(robust design) 기술)** 도심운용조건에 적합한 프롭로터 형상 도출 및 해석적인 성능확인
- **(UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술) 프롭로터 허브 진동 30% 감소**
- **(UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술)** 전기체(승객 4인승) 적용 시 150m 거리에서 70dBA 이하 소음수준

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

- **(도심 운용조건을 고려한 프롭 로터 시스템 성능 강건설계(robust design) 기술)** 도심운용조건에 적합한 프롭로터 형상 개발 및 시험을 통한 성능확인
- **(UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술)** 프롭로터 허브 진동 50% 감소
- **(UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술)** 전기체(승객 4인승) 적용 시 150m 거리에서 65dBA 이하 소음수준

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

- **(도심 운용조건을 고려한 프롭 로터 시스템 성능 강건설계(robust design) 기술)** 도심운용조건 및 비상상황에 적합한 프롭로터 형상 도출
- **(UAM용 프롭·로터 시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술)** 프롭로터 허브 진동 60% 감소
- **(UAM용 다중 프로펠러 저소음 설계 및 능동제어 기술)** 전기체(승객 4인승) 적용 시 150m 거리에서 60dBA 이하 소음수준

● UAM 기체용 소음진동 제어 기술

– (~'25) 상용화 기반 마련 기술개발 목표

• **(UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술)** 승객실 진동 수준 0.15g 이하 달성

• **(객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술)** 객실내 소음 수준 80dBA 이하 달성

– (~'30) 상용화 기술개발 목표

• **(UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술)** 승객실 진동 수준 0.1g 이하 달성

• **(객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술)** 객실내 소음 수준 77dBA 이하 달성

– (~'35) 대중화 기술개발 목표

• **(UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술)** 승객실 진동 수준 0.07g 이하 달성

• **(객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술)** 객실내 소음 수준 72dBA 이하 달성

기체 소음진동 저감 분야 세부기술로드맵

〈표 Ⅵ-123〉 기체 소음진동 저감 분야 세부기술로드맵

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
도심운용을 위한 소음진동 저감 프롭로터 기술	도심 운용조건을 고려한 프롭로터 시스템 성능 강건설계(robust design) 기술	UAM 도심운용개념을 기반으로한 성능요구도(영역) 도출 기술		■												
		운용범위 내 일정한 성능을 낼 수 있는 프롭로터 형상 강건설계 기술			■	■										
		Off-design 조건에서 프롭로터 성능해석 기술					■									
	UAM용 프롭로터시스템 저중량/저소음/진동저감 설계기술	개별 블레이드 조종 허브 설계		■	■	■										
		블레이드 동특성 최적화 설계		■	■	■	■									
		프롭 로터 능동 진동 제어 알고리즘 개발		■	■	■	■	■								
	UAM용 다중 프로펠러 저소음	UAM 다중 프로펠러 저소음화를 위한 형상(익형, 플랫폼) 설계 및 최적화 기술		■	■	■	■									

중점기술	세부기술	요소기술	상용화 기반 마련				상용화					대중화				
			22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
UAM 기체용 소음진동 제어 기술	설계 및 능동제어 기술															
		UAM 다중 프로펠러 저소음화를 위한 운용조건 및 배치 최적화 기술														
		UAM 다중 프로펠러 저소음화를 위한 능동 소음 저감 기술														
	UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술	능동 진동제어 알고리즘														
		작동기/센서 배치 최적화 기술														
	UAM용 비행체 저진동 능동제어 시스템 설계 기술	능동 진동제어 시스템 설계 기술														
	객실 내 소음저감을 위한 음장최적화 기반기술	UAM 객실내 소음장 모사 기술														
		UAM 비행조건에 따른 소음 위해성 계량화														
		객실 능동 소음제어 기술														

한국형 도심항공교통 기술로드맵

발행처 국토교통과학기술진흥원 • 한국연구재단

주소 경기도 안양시 동안구 시민대로 286(관양동) 송백빌딩 /
대전광역시 유성구 가정로 201

홈페이지 www.kaia.re.kr / www.nrf.re.kr

자료배포문의처 Tel 031-389-6313

공동연구기관 전략컨설팅집현(주)

ISBN 978-89-94071-45-9

※ 한국형 도심항공교통 기술로드맵은 저작권 법에 따라 보호를 받는 저작물입니다. 무단전제와 무단복제를 금하며, 전부 또는 일부를 인용하려면, 반드시 저작권자의 서면동의를 받아야 합니다.