

헬기 운항안전 향상을 위한 북미지역의 개발 동향

Development Trends of North America to Enhance the Flight Safety of Helicopter

오경륜*, 최 석*, 박중용*

Kyung-Ryoon Oh*, Seok Choi*, and Joong-Yong Park*

요 약

본 논문에서는 헬기운항안전 향상을 위한 북미대륙의 활동들을 소개하였다. 북미지역에서는 2009년 기준으로 전세계 민간헬기의 49%가 운용되고 있어, 이 지역에서의 헬기 운항안전을 위한 개발동향은 여타 헬기 운용 지역에도 상당한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 대규모 헬기가 운용되는 멕시코만의 헬기 운항안전을 위한 개발 사례와 미국 연방항공청(FAA, Federal Aviation Administration)의 NextGen 프로그램 및 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)의 항공시스템블록업그레이드(ASBU, Aviation System Block Upgrades) 계획 실행을 위한 캐나다 계획 분석을 통해 헬기 관련 인프라 구축 동향 및 향후 헬기 운항안전 증진을 위해 나아갈 바와 기대효과에 대해 정리하였다.

Abstract

In this paper, the activities of North America to enhance the flight safety of helicopter were introduced. In North America, by 2009, 49% of worldwide civil helicopters are in operation. The development trends of North America to enhance the flight safety of helicopter are expected to have a significant impact to the other helicopter operating areas. The analysis of the case of Gulf of Mexico where large fleet of Helicopter in operations, FAA's NextGen program, and the Canadian plan to comply with the ICAO's Aviation System Block Upgrades plan shows the direction of helicopter avionic development for enhancing the flight safety of helicopter.

Key words : Helicopter Avionics, helicopter Operation Status in Gulf of Mexico, NextGen, Flight Safety of Helicopter, Aviation System Block Upgrades

I. 서 론

2009년 기준으로 북미 지역(미국, 캐나다, 멕시코)에서는 전세계 민수헬기의 49.3%(16,962대)가 운용중에 있다. 이는 유럽연합 지역의 2.5배에 달하며 방송, 교통, 어업, 경찰, 산불진화, 응급의무수송, 농업,

연근해석유시설, 지진, 운송, 관광 등 다양한 분야에서 운용되고 있다.[1]

헬기의 전천후 운용특성으로 고정익 항공기에 비해 운용성이 높다. 미국 산림소방당국의 자료를 보면 2012년에 고정익은 26,299시간, 헬기는 40,904시간 운용되었다. 2012년까지 10년간의 운항기록을 보면 고

* 한국항공우주연구원 회전익기체계팀(Korea Aerospace Research Institute Rotorcraft System Team)

· 제1저자 (First Author) : 오경륜(Kyung-Ryoon Oh, tel : +82-42-860-2825, email : bigoh@kari.re.kr)

· 접수일자 : 2013년 11월 12일 · 심사(수정)일자 : 2013년 11월 12일 (수정일자 : 2013년 12월 25일) · 게재일자 : 2013년 12월 30일

<http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2013.17.6.798>

정익은 총 248,681시간으로 년 평균 24,868시간 운용되었고, 헬기는 총 345,883시간으로 년 평균 34,588시간 운용되었다. 10년간 평균사고율은 고정익의 경우 2.81이고 헬기의 경우는 4.91이다. 사고율은 사고건수를 총 비행시간으로 나누어 100,000을 곱한 수치이다.[2]

고정익 대비 헬기의 지난 10년간 운용시간은 헬기가 1.39배 많으며 이에 따른 사고율은 1.75배, 치명사고율은 2.89배 많다. 헬기 사고의 경우 치명사고율이 상대적으로 높음을 알 수 있다.

국내에서 1996년~2005년 사이에 발생한 항공기 사고를 분석해 보면 총 36건의 사고 중에 9건의 고정익 항공기 사고를 제외한 27건의 헬리콥터 사고들이 조종사 상황인식과 관련되었으며, 사고원인별로는 조종사과실이 21건, 정비과실이 1건, 기체결함이 1건, 기타 4건으로 나타났다. 사고의 74.1%인 20건은 비행중이거나 기동 중에 발생하였고, 착륙 중 사고는 14.8%인 4건, 나머지 3건은 지면에 착륙된 상태에서 일어났는데 이것은 헬리콥터의 특성과 고정익 항공기에서는 볼 수 없는 장애물과의 충돌 등 부주의로 인해 발생한 사고로 분석되었다.[3]

헬기 사고율 감소를 위한 국제적인 노력으로 2006년 결성된 국제헬기안전팀(IHST, International Helicopter Safety Team)은 2016년까지 헬기사고율 80% 감소를 목표로 헬기사고 원인 등에 대한 조종사 숙지 훈련을 강화하고 있다.[1]

본 논문에서는 대규모 헬기가 운용되는 멕시코만의 헬기 운항안전을 위한 개발 사례와 FAA의 NextGen 프로그램 및 국제민간항공기구(ICAO)의 항공시스템블록업그레이드(ASBU) 계획 실행을 위한 캐나다 계획 분석을 통해 헬기 관련 인프라 구축 동향 및 향후 헬기 운항안전 증진을 위해 나아갈 바와 기대효과에 대해 정리하였다.

II. 멕시코만의 헬기 운용 현황

멕시코만에는 900개의 유전이 있으며 35,000여명의 인력이 미국 GNP의 약 3%를 생산하는 곳이다. 이곳에서는 매일 150만배럴의 원유와 780만입방피트의

천연가스가 생산된다.

2008년 기준으로 멕시코 만에서는 13개 운송업체에서 500여대 이상의 헬기를 운용하고 있으며, 고층 등으로 인해 2008년에 2,936,772명의 탑승객을 실어 날랐다. 이를 위해 하루 평균 3,400~3,500회 비행이 이루어졌다. 이러한 비행은 미 대륙으로부터 3,800곳의 근해 착륙장 간에 이루어졌으며 주로 시계비행(VFR, Visual Flight Rules) 운용기반이며, 야간 비행의 경우 제한된 계기비행(IFR, Instrument Flight Rules)을 사용한다. 2008년 한 해 동안 13개 운송업체의 누적 비행시간은 410,321시간이며, 누적비행회수는 1,245,770회로 평균 비행시간은 20분 내외이다.

멕시코 만에서의 헬기 사고 주요 원인은 장애물 충돌, 동력상실, 부적절한 절차 등이다.[4] 그동안 멕시코만에서의 헬기운용의 문제점은 지상에 설치된 레이더가 헬기가 운용되는 지역까지 도달하지 못해 헬기들은 격자시스템을 기반으로 분리간격을 지켜야 했다. 관제사들은 이 지역의 레이더 정보가 없어 헬기가 음성통신으로 보고하는 위치를 기반으로 격자시스템을 기반으로 제한적인 음성통신을 통한 관제만을 할 수 있었다.

격자시스템 기반의 운항은 한 헬기가 목적지에 착륙했다는 음성통신 보고가 있을 때까지 경로상의 격자들은 폐쇄된다.[5]

이를 해결하기 위해 FAA는 NextGen 프로그램의 일환으로 이 지역에 ADS-B(Automatic Dependant Surveillance-Broadcast)를 도입하게 되었으며, 2010년 초기 운영에 돌입하였다. ADS-B도입을 통해 멕시코만 공역 효율이 증대되었으며 향상된 통신/감시/기상



그림 1. 멕시코만의 격자시스템
Fig. 1. Grid system in Gulf of Mexico.

보고능력 등을 통해 관제사와 조종사간 주변상황인식이 향상되었고 운항결정에 있어 기상으로 인한 영향이 완화되었으며 궁극적으로는 이 지역에서의 헬기 운항안전이 강화되었다. 관제사와 조종사 간 주변상황인식이 향상된 결과로 목적지까지의 직선비행이 가능하게 되어 비행시간이 단축되었다.

NextGen 프로그램을 통한 이 지역의 ADS-B 도입에 따른 구체적인 효과로는 공역의 분리간격 축소와 조종사 업무의 감소를 들 수 있다.

2010년 본격적으로 ADS-B가 도입되면서 기존 15분 시차분리간격(약 120NM)이 5NM(9km) 분리간격으로 운용될 수 있게 되었다.

멕시코만의 근해 유전지역에 헬기운송서비스를 제공하는 PHI사(Petroleum Helicopters, Inc.)는 Sikorsky사와 유전시추선 헬리포트에 자동착륙할 수 있는 S-92 헬기용 H/W 및 S/W 개발을 시작하였으며, 그 결과에 대해 2013년 5월 FAA로부터 승인을 받아 2013년 11월 13일 첫 서비스에 들어갔다. 이로부터 착륙까지 17단계의 조종사 의사결정 행위가 필요했던 기존 절차는 새로운 장비(ADS-B, 자동항법장치, FMS(Fight Management System), FCC(Flight Control Computer), 기상레이더, 전파고도계, GPS 등) 및 절차의 도입으로 6단계로 줄어들어 조종사 업무가 약 60% 경감하게 되었다.[6]

시추선에 설치되는 ADS-B 장비는 1090ES (Extended Squitter) 데이터 링크 안테나, 통신실, UAT(Universal Access Transceiver) 데이터 링크, VHF 통신링크, 바람 센서, 자동기상관측 시스템(AWOS, Automated Weather Observing System) 등이다. AWOS에 의해 수집된 정보는 전화/위성통신 망을 통해 FAA 관련시설로 전송되어 분석된 후 다시 시추선으로 전송되어 부근의 항공기에 제공된다.[5]

III. FAA의 NextGen 프로그램

NextGen 프로그램은 기본적으로 세계2차대전 이후 60여 년간 사용해온 지상기반시스템의 항행안전 시스템을 위성기반시스템의 시설로 전환하는 것이다. 이러한 전환발전을 통해 항공 미래 수요를 충족하여 하늘과 공항에서의 정체를 피할 수 있을 것으로 예상된다.

기상예측, 데이터 네트워크, 디지털 통신 및 GPS 등을 활용하여 공항의 인프라가 개선되며, 특정의사 결정 책임의 지상으로부터 조종석으로의 전환 등을 포함한 새로운 절차들이 개발될 예정이다.

NextGen 프로그램을 통해 더 많은 항공기가 더 가까이 더 많은 직선경로를 비행할 수 있으며 이를 통해 항공기 지연을 줄이고 탄소배출량, 연료소비 및 소음 감소를 통해 환경과 경제적인 이익을 제공할 것으로 기대된다.

NextGen에 구현된 기술과 절차들에 대한 검증을 위해 FAA의 NextGen 통합연구소인 윌리엄 J. 휴즈 기술센터를 포함한 미국 내 22곳에서 시범운용프로젝트가 진행 되고 있다.

다음은 FAA의 NextGen AVS(Aviation Safety) 사업 계획(2012)에 제시된 항행안전시설에 대한 구축계획으로, 엔진 및 연료 관련 항목은 제외하고 헬기 관련 내용을 간추려 정리하였다.(표 1. 참조)

기존의 항공기 운항 감시정보 획득 주요장비인 레이더를 대체할 수 있는 ADS-B는 GPS를 이용하여 항공기의 정확한 위치를 결정하고 위치정보를 공유하며, ADS-B 장비를 장착한 항공기의 조종석 화면에 부가적인 비행정보를 제공한다.

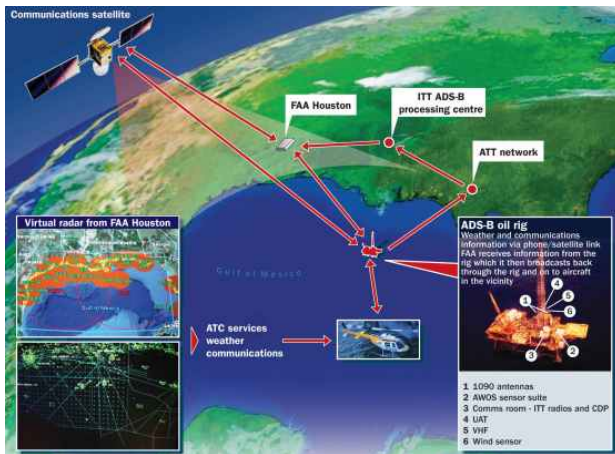


그림 2. 멕시코만에서의 ADS-B를 이용한 관제 기상정보와 통신시스템

Fig. 2. ATC Weather and communications with ADS-B in the Gulf of Mexico

표 1. NextGen의 항공안전 활동 개요 [7]
Table 1. Overview of AVS Activities for NextGen

항전장비 지원도구	성능개요	대상 항공기	적용 대상 지역	상태
성능기반항해(PBN ¹⁾)				
RNAV ²⁾ / RNAV2	항로 및 절차의 효율증대	여객수송기, 비즈니스기, 일반항공기, 헬기	미국 전역	이용 가능
좁은 경로의 RNP ³⁾	좁은 경로를 포함한 정밀한 이착륙과 접근절차 지원	여객수송기, 비즈니스기, 헬기	주요 공항	이용 가능
경로운용 항행 표준	PBN능력 강화	여객수송기, 비즈니스기, 일반항공기, 헬기	미국 전역	개념 연구
ADS-B 능력				
ADS-B out	항공교통감시의 개선 및 자동화 처리 개선지원	여객수송기, 비즈니스기, 일반항공기, 헬기	미국 전역	이용 가능
ADS-B in 응용				
탐재 및 지상 CDTI	주변 항공기 운영 상황 인식 향상	여객수송기, 비즈니스기, 일반항공기, 헬기	미국 전역	이용 가능
항전장비 안전 강화				
FIS-B	조종석에 기상 및 항공운항정보 제공	일반항공기, 헬기	미국 전역	이용 가능
EFB	기존 지면정보를 디지털정보화하여 제공	여객수송기, 비즈니스기, 일반항공기, 헬기	미국 전역	이용 가능

NextGen의 기상정보는 부처 간 노력의 결과로 제공되는 서비스로, FIS-B(Flight Information Service-Broadcasting)를 통해 미국 공역시스템 사용자들에게 신속하고 비용효율적인 접근방법으로 적시에 정확한 기상정보가 제공된다. 공통기상정보 공유는 항행주체(조종사, 관제사 등)간 협력적 의사결정을 지원하게 된다.

NextGen 디지털정보를 운반하기 위해 SWIM(System Wide Information Management)이라는 네트워크가 구축되어 국가 공역 사용자들 간 비용 효율적인 실시간 데이터 교환 및 공유가 가능하게 되었다.

기존 음성통신으로 수행되었던 관제사와 조종사 간 업무가 CDTI(Cockpit Display of Traffic

Information)를 통해 관제사가 디지털 정보의 형태로 조종사에게 지침 및 허가를 보낼 수 있게 되었으며, ADS-B in 기능이 CDTI와 결합하여 주변의 항공교통 흐름을 조종사가 용이하게 파악할 수 되었다.

EFB(Electronic Flight Bag)는 기존의 지면에 인쇄된 다양한 항공운항정보들을 디지털화하여 조종사에게 제공하며, 다양한 기능들과 결합되어 조종사 업무를 경감해준다. Honeywell사가 주축이 되어 개발한 최초의 EFB가 유나이티드 항공사의 747-400S에 장착되어 비행 시험 후 부가형식증명을 받았다.[8]

IV. 캐나다 ASBU 이행계획

항공기 운항안전에 초점을 유지하면서 공역의 글로벌한 상호운용성을 배가하기 위한 ICAO의 노력으로 ASBU 계획이 2010년 수립되어 2012년 11월 ICAO 12차 항행회의에서 공식 채택되었다.

ASBU는 시간단계별 목표와 성능개선분야를 제시하고 있다.[9][10]

■ 시간단계별 목표

- Block 0 : 현재 가능한 수준

- Block 1 : 2018년부터 글로벌하게 도입 가능한 수준

- Block 2 : 2023년부터 글로벌하게 도입 가능한 수준

- Block 3 : 2028년이후 글로벌하게 도입 가능한 수준

■ 성능개선분야

- 그린 공항

- 글로벌 상호운용 가능 시스템 및 데이터 : 글로벌 상호운용 시스템 및 글로벌 정보 관리를 통한 달성

- 최적 수용능력 및 유연한 비행 : 글로벌 상호협력 ATM을 통한 달성

- 효율적인 비행경로 : 궤적기반 운용(TBO, Trajectory Based Operation)을 통한 달성

우리나라도 ICAO에서 제시한 ASBU 구현 및 도입을 위해 국내 사정을 반영한 이행계획을 수립하고 관련 인프라 구축을 위한 투자계획을 수립하여 제시된 ASBU 단계별 업그레이드 계획의 목표달성을 위한 계획을 준비하여야 한다. 또한 정부는 산업체가

1) PBN : Performance Based Navigation
2) RNAV : Area Navigation(지역항법)
3) RNP : Required Navigation Performance

ASBU 초기운영계획 목표시점의 단계별 목표에 부합하는 제품을 시장에 출시할 수 있도록 ASBU 관련 내용을 R&D 투자로드맵에 반영하여야 한다. 국내 이행계획 수립을 위해 ICAO ASBU 계획이행에 대한 캐나다의 지역특성을 반영한 이행계획을 검토해 보도록 하겠다.

ICAO의 ASBU계획 이행을 위해 캐나다는 2012년부터 2019년까지의 자국 내 이행계획을 수립하였다. 성능기반항행(PBN), 통신, 감시, 항공교통관리(ATM, Air Traffic Management), 항공정보관리(AIM, Aeronautical Information Management), 항공기상 등 6개의 분야별 이행로드맵이 제시되었다. 각 분야별 헬기와 관련된 특징을 간략히 정리하면 아래와 같다[11].

PBN 분야는 2013년에 자국 내 공역을 PBN 규격으로 전환하고 2017년경 공역을 재구성할 예정이다. 2019년까지 PBN분야는 ICAO 제시한 Block 0 수준의 이행을 완료될 것으로 예상된다.

통신분야에서는 위성을 이용한 SATCOM이 VHF 통달거리를 벗어나는 북극지역에 데이터 및 음성통신을 담당하게 되며, HF를 이용한 음성 및 데이터 통신도 VHF 백업으로서 존속하게 된다. 2019년까지 통신분야는 Block 0 수준의 이행을 완료될 것이며, 원격통신 site의 설계부분은 Block 1 수준이 완료 될 것이다.

감시부분에서 데이터 퓨전 시스템은 전 기간에 걸쳐 사업이 진행되어 Block 0 수준이 완료될 것이며, 해양에서의 ADS-B는 2012년부터 이행되고 있다. 전체적으로 Block 0 수준이 완료될 것이다.

ATM 분야에서는 헬기 항전장비 관련한 특이점은 없다. 2019년까지 ATM분야는 Block 0 수준의 이행을 완료될 것이다.

AIM 분야에서는 지형 및 장애물에 대한 데이터 구축이 2014년부터 시작된다. 이 데이터가 완성되면 헬기 운항안전 향상에 상당한 기여를 할 것으로 예상된다. 2019년까지 AIM분야는 Block 0 수준의 이행을 완료될 것이며, 지형 및 장애물 데이터 구축은 Block 1 수준이 완료될 예정이다.

항공기상 분야에서는 항공기상정보 수집 및 분석을 위한 인프라 구축을 중심으로 2019년까지 Block 1 수준의 이행을 완료될 것이다. 이를 통해 제공되는

항공기상 정보는 헬기 운항안전 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

V. 결 론

ASBU의 성공적인 이행을 위해서 ICAO는 적기에 SARPs(Standards and Recommended Practices)를 회원국 및 산업체에 배포하여 관련 법제와 관련 기술 향상을 도모하는 주체로서의 역할을 이행하여야 한다. 각 회원국들과 운용자는 ICAO에서 제시한 SARPs 구현에 필요한 실제소요시간을 감안하여 각 회원국 또는 지역에 적합한 법제화를 시행하여야 하고, 이행계획을 수립하고 필요시 관련 인프라 구축을 위한 투자계획을 수립하여야 한다. ASBU와 관련한 전세계 이해당사자들은 ASBU가 ATM 현대화 계획의 근간이 되므로 미래를 위한 ATM을 준비하여야 한다. 즉, 제시된 ASBU 단계별 업그레이드 계획의 목표달성을 위한 ATM 계획을 준비하여야 한다. 산업체는 ASBU에서 계획한 초기운영계획 목표시점의 단계별 목표에 부합하는 제품을 시장에 출시하여야 한다. 서비스 제공자 또는 운용자는 ASBU 계획에 근거하여 관련 조직개편뿐만 아니라, 자원관리, 자본투자, 훈련계획 등을 마련하여야 한다. 이러한 각 관련 주체의 준비를 통해 글로벌한 ATM 시스템의 성능강화를 이행할 수 있다.

국내 헬기사고 원인을 분석해 보면 조종사의 주변 상황인식을 높일 수 있으면 많은 사고를 줄일 수 있음을 알 수 있다.[3] 헬기 비행안전을 위한 헬기 항전장비의 발전방향 중 하나는 바로 조종사의 주변상황인식을 높이는 것이다.

헬기의 운항안전을 강화하기 위한 항전장비는 통합과 개방형구조 개념을 기반으로 소형 경량화 되어가고 있다. 헬기 항전장비의 발전은 헬기 운항안전을 강화시키고 궁극적으로는 민수시장에서의 헬기 경쟁력을 좌우하는 요소로 반영될 것이다.

국내에서는 그동안 항공우주부품기술개발사업을 통해 항전장비 R&D에 꾸준한 투자를 해 왔다. 또한 T-50 고등훈련기, 수리온 등의 체계개발사업을 통해 항전분야에서 많은 경험을 쌓았다. 항공기 체계 전체를 대상으로 하는 항전시스템 통합개발의 기회

는 국내에서 독자적인 항공기 체계를 개발하기 전에는 쉽사리 주어지지 않을 것으로 예상되나, 통합/개방형 구조 개념에 기반을 둔 항전모듈개발의 국내 개발 제품은 세계시장에서 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 국가 R&D 차원에서 체계적인 지원과 항전부품 및 모듈에 대한 공인인증 체계를 구축한다면, 수조원 이상의 예산이 소요되는 신규 항공기 체계 개발의 초기 수요에 의존하지 않고도 경쟁력 있는 항전부품 및 모듈 개발이 가능할 것이다. 항공우주부품기술개발사업을 통해 정비부품 국산화 등 국내 수요뿐만 아니라, ICAO에서 제시한 ASBU 단계별 목표에 맞춰 시장에 진입할 수 있는 항공우주부품 아이템을 발굴하여 장기적으로 지원한다면 세계시장 진출도 가능 할 것이라 예상된다.

Reference

[1] IHST. IHST's mission, presentations, safety tools [Internet]. Available: <http://www.ihst.org>

[2] US Forest Service. US Forest Service FY2012 Aviation Safety Summary [Internet]. Available: http://www.fs.fed.us/fire/av_safety/assurance/fy_safety_reports/

[3] Sung-Ho Choi, etc, "A Study on the Effects of Helicopter Pilot's Working Career to Situation Awareness", *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Flight Operation*, Vol. 17, No 5, pp.71-76, Mar. 2009.

[4] Helicopter Safety Advisory Conference. 2012 Gulf of Mexico Offshore Helicopter Operations & Safety Review [Internet]. Available: <http://www5.verticalgateway.com/hsac/Home.aspx>

[5] FAA. The Gulf of Mexico Grid System [Internet]. Available: https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aim/aim1001.html

[6] Rotor & wing magazine, pp.40-43, Dec. 2013.

[7] FAA. AVS Wrok Plan for NextGen 2012 [Internet]. Available: https://www.faa.gov/nextgen/media/avs_nextgen_workplan_2012.pdf

[8] Rick Berckefeldt, ADS-B In rail Procedures, in *Proceeding of AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations conference*, Indianapolis, 2012

[9] CANSO. Background on the GANIS and an Introduction to the Aviation System Block Upgrades [Internet]. Available: <https://www.canso.org/cms/showpage.aspx?id=3303>

[10] ICAO, Avionics Roadmap, in the proceeding of 12th Air Navigation Conference, Montreal Canada, Nov. 2012.

[11] NAV Canada. The Air Navigation System Plan [Internet]. Available: <https://www.navcanada.ca/EN/media/Publications/ANS-Plan-EN.pdf>

오 경 륜 (Kyung-Ryoon Oh)



1995년 2월 : 인하대학교 항공우주 공학과(공학사)
 1998년 8월 : 인하대학교 항공우주 공학과(공학석사)
 2006년~ 현재 : 한국과학기술원 항공우주공학전공 박사과정
 2002년 3월 ~ 현재 : 한국항공우주

연구원 선임연구원

관심분야 : CNS/ATM, Avionics, Collision Avoidance

최 석 (Seok Choi)



1993년 2월: 부산대학교 항공우주 공학과(공학사)
 1995년 2월: 부산대학교 항공우주 공학과(공학석사)
 2004년 7월 ~ 현재 : 한국항공우주 연구원 선임연구원

관심분야 : 체계설계/체계요구도

수립/SE 분야

박 중 용(Joong-Yong Park)



1991년 2월 : 서울대학교 항공공학과(공학사)
 1993년 2월 : 서울대학교 항공우주 공학과(공학석사)
 2003년 8월 : 아주대학교 시스템 공학과(공학박사)
 2004년 7월 ~ 2012년 2월 : 한국항공

우주연구원 선임연구원

2012년 3월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 책임연구원

관심분야 : 시스템엔지니어링, 시스템 안전성, ATM, safety critical system