

무인기용 탑재 데이터링크 안테나 시스템에 관한 연구

여수철* · 강병욱** · 배기형** · 윤창배**

Study on Data-link Antenna System for UAV

Su-Cheol Yeo* · Byoung-Wook Kang** · Ki-Hyeong Bae** · Chang-Bae Yoon**

요 약

본 논문에서는 UAV 데이터링크 시스템에 사용되는 탑재 안테나(1차링크/2차링크/위성링크)에 대해 연구하였다. 연구결과, UAV의 비행 안정성을 확보하기 위해 데이터링크는 3중링크로 구성하는 것이 이상적이나 운용 플랫폼에 맞게 통신링크를 구성해야 한다. 해외 연구개발 동향 분석결과, 탑재 데이터링크 안테나는 LOS 확보가 용이한 위치에 장착되어 운용되고 있다. 1차링크는 기본운용을 위한 지향성 안테나, 비상운용을 위한 무지향성 안테나로 구성하며, 2차링크는 UHF/C 대역에서 모노폴/다이폴 구조의 안테나를 사용한다. 위성링크는 UAV의 운용성 향상을 위해 위상배열안테나를 적용하는 추세로 발전하고 있다.

ABSTRACT

In this paper, we studied on-board antenna(primary link/secondary link/satellite link) used in UAV Data-link system. As a result, it is ideal to configure the Data-link as a triple link to secure the flight stability of the UAV, but the communication link should be configured according to the operating platform. As a result of overseas R&D trend analysis, the on-board Data-link antenna is installed and operated in a location where it is easy to secure LOS. The primary link consists of a directional antenna for basic operation and an omni-directional antenna for emergency operation. The secondary link uses a monopole/dipole antenna in the UHF/C band. Satellite link has been developed to apply phased array antenna to improve UAV operability.

키워드

UAV(Unmanned Aerial Vehicle), LOS(Line Of Sight), Data-link, Antenna System
무인기, 가시선, 데이터 링크, 안테나 시스템

1. 서 론

제2차 세계대전 이후 미국에서 군사용으로 개발된 드론은 2010년 이후 전자 제어장치 및 센서 부품의 보급화로 중국 DJI사를 중심으로 민수분야에서 판매

량이 급격히 증가하고 있다. 드론은 4차 산업혁명의 정보통신 기술과 융합되어 감시정찰, 기상연구, 항공 촬영, 항공방재, 설비감시, 물품배송, 자원연구, 경로추적, 취미활동, 수색 및 구조작업 등 다양한 분야에서 활용되고 있다[1-4].

* 교신저자 : 한화시스템

** 한화시스템 위성-데이터링크팀

(byoungwook.kang@hanwha.com, kihyoung.bae@hanwha.com, changbae.yoon@hanwha.com)

• 접수일 : 2019. 11. 04

• 수정완료일 : 2019. 12. 25

• 게재확정일 : 2020. 02. 15

• Received : Nov. 04, 2019, Revised : Dec. 25, 2019, Accepted : Feb. 15, 2020

• Corresponding Author : Su-Cheol Yeo

Dept. Satellite-Datalink Team, Hanwha Systems

Email : sc2010.yeo@hanwha.com

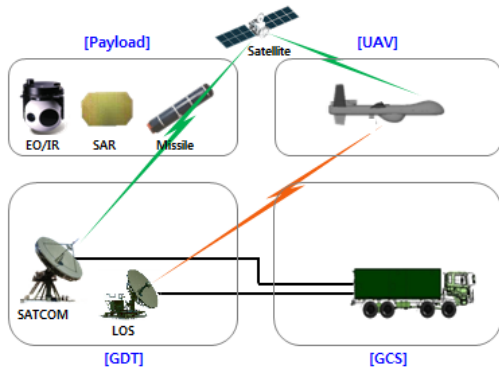


그림 1. UAS 구성요소
Fig. 1 UAS elements

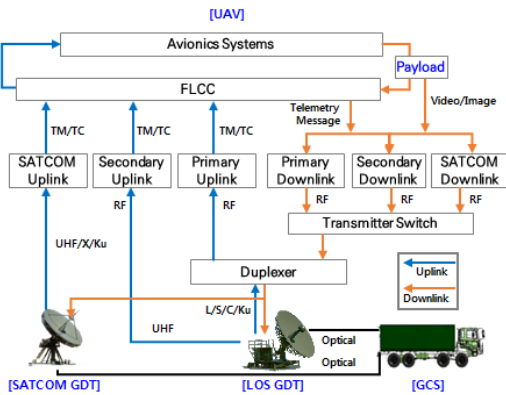


그림 2. UAS 통신구조
Fig. 2 UAS communication structure

UAS(Unmanned Aerial System; 무인항공시스템)은 그림 1과 같이 UAV(Unmanned Aerial Vehicle; 무인기), GDT(Ground Data Terminal; 지상통신장비), GCS(Ground Control Station; 지상통제소), Payload(임무장비) 등 크게 4가지 요소로 구성된다. UAV Payload를 장착하고 공중에서 임무를 수행하며, GDT는 UHF/L/S/C/X/Ku 주파수대역에서 UAV와 GCS 간 통신링크를 제공한다. GCS는 UAV 및 Payload에 TM/TC(Tele-Metry/Tele-Command; 원격측정/원격명령) 메시지를 전달하고 상태정보 및 임무결과를 수신한다. Payload는 EO/IR(Electro Optical/Infra Red; 전자광학/적외선), SAR(Synthetic Aperture Radar; 합성개구레이다), Missile 등의 장비를 UAV에 장착하

여 임무를 수행한다. UAS의 원활한 운용을 위한 비행지원장비는 발전기, 케이블, 지상점검장비 등을 사용한다.

UAS 통신구조는 그림 2와 같이 3개의 Uplink와 Downlink로 구성된다. 통신링크는 UAV의 생존성과 밀접한 관련이 있기 때문에 다중링크로 구성하는 것이 일반적이다. 특히 산악지형이 많은 우리나라의 경우, LOS(Line Of Sight; 가시선) 단절의 위험성이 높으며, 북한의 GPS 제밍에 의한 위험이 항상 존재하기 때문에 3중 링크로 구성하여 UAV의 비행 안전성을 확보하는 것이 필수적이다. UAS의 통신구조는 GCS에서 TM/TC 메시지를 Optical 경로를 통해 GDT(LOS/SATCOM)에 전달하고, 3개의 Uplink를 통해 UAV로 전송하는 구조이다. 제어명령에 따라 UAV의 FLCC(FLight Control Computer; 비행제어컴퓨터)를 제어하고, Payload 장비를 동작시킨다. 임무결과, 무장을 발사하거나 EO/IR, SAR 장비에서 획득된 정지영상/동영상을 Downlink를 통해 GCS로 전달하게 된다[5-6].

우리나라의 UAS은 해외 선진국(미국, 영국, 프랑스, 이스라엘 등)의 연구개발 동향 및 발전방향을 벤치마킹하고, 해외장비 도입을 통한 기술교역을 통해 빠르게 발전해왔다. 하지만 해외 선진국은 UAS의 핵심기술을 이전해주지 않아 원천기술 확보가 되지않고 있는 상황이다. 또한, 핵심장비, 핵심부품의 경우 EL(Export License; 수출허가서)을 받아야 수입을 할 수 있어 핵심기술 확보가 필수적이다. 본 논문에서는 데이터링크 안테나 시스템의 설계/제작/시험 경험을 바탕으로 UAV 탑재 데이터링크 안테나 3중(1차링크/2차링크/위성링크) 설계 시 검토사항에 대해 기술하였다.

II. 본 론

2.1 탑재 데이터링크 안테나 해외기술 동향

본 절에서는 선진국의 해외연구개발 동향을 바탕으로 탑재 데이터링크 안테나 3중(1차링크/2차링크/위성링크)에 대한 장착위치 및 종류를 분석하였다.

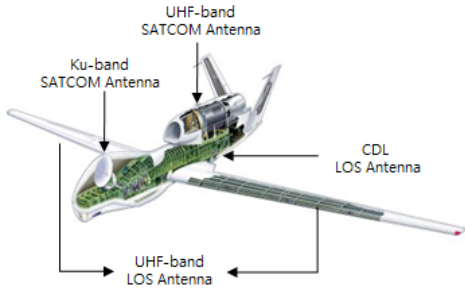


그림 3. RQ-4 안테나 종류 및 장착 위치
Fig. 3 RQ-4 antenna sort & mount position

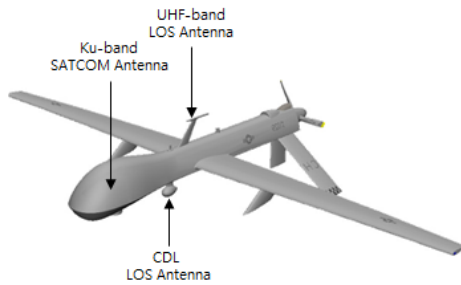


그림 4. MQ-1 안테나 종류 및 장착위치
Fig. 4 MQ-1 antenna sort & mount position

그림 3은 미군이 운용 중인 고고도 무인기(RQ-4¹⁾ Global Hawk)에 장착된 탑재 데이터링크 안테나 종류 및 장착위치를 분석하였다. 1차링크 안테나(CDL LOS Antenna)는 하부 뒷부분, 2차링크 안테나(UHF-band LOS Antenna)는 좌우 날개 하부에 1세트 로 지상과 LOS 확보가 용이한 위치에 장착되어 있다. 위성링크 안테나(Ku & UHF band SATCOM Antenna)는 위성과의 통신이 용이한 UAV 상부에 장착되어 있다. 그림 4는 미군이 운용 중인 중고도 무인기(MQ-1²⁾ Reaper)에 장착된 탑재 데이터링크 안테나 종류 및 장착위치를 분석하였다. 1차링크 안테나(CDL LOS Antenna)는 하부 앞부분, 2차링크 안테나(UHF-band LOS Antenna)는 UAV 상부 중앙에 LOS 확보가 용이한 위치에 장착되어 있다. 위성링크 안테나(Ku-band SATCOM Antenna)는 위성과의 통신이 용이한 UAV 상부에 장착되어 있다. RQ-4, MQ-1

UAV 검토결과, 1차링크/2차링크 안테나는 LOS 확보가 용이한 위치, 위성링크 안테나는 위성과의 통신이 용이한 UAV 상부에 배치하였으며, 안테나 보호를 위한 레이더 돔은 UAV의 항력을 최소화할 수 있는 유선형 구조로 설계되어 있음을 확인할 수 있다.

2.2 탑재 데이터링크 안테나 설계 검토사항

데이터링크 시스템에 사용되는 탑재 데이터링크 안테나 3종(1차링크/2차링크/위성링크) 설계 시 주요 검토사항에 대해 살펴보고자 한다.

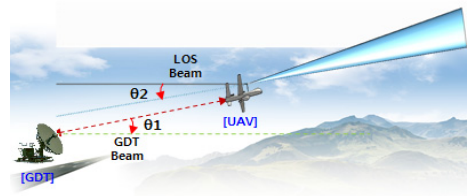


그림 5. LOS 분석
Fig. 5 LOS analysis

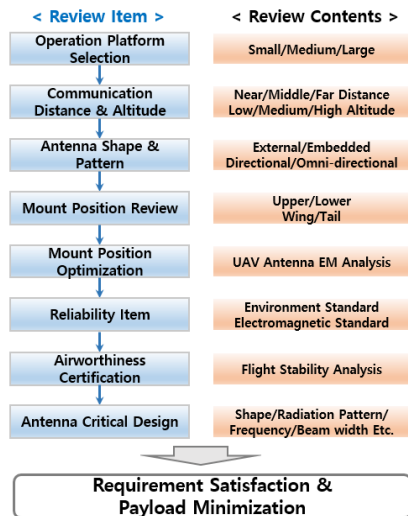


그림 6. 안테나 설계절차
Fig. 6 Antenna design procedure

탑재 데이터링크 안테나는 UAV의 생존성과 밀접한 관련성이 있기 때문에 그림 5의 LOS 분석을 통해 반드시 통신링크가 확보되는 위치에 장착해야 한다. 기존의 안테나 설계절차는 시스템 설계결과에 따라

1) <http://ko.wikipedia.org/wiki/RQ-4>
2) <http://ko.wikipedia.org/wiki/MQ-1>

안테나 요구사항이 정의되고, 이 규격을 충족하도록 설계하였다. 하지만 이러한 설계방법은 안테나 단품관점에서 요구사항을 충족하도록 설계하였기 때문에 시스템 통합 시 최적의 성능이 나오지 않는 문제점이 있다. 이러한 점을 개선하기 위해 그림 6의 안테나 설계절차를 제안하였다[7].

안테나 설계 시 장착 플랫폼 및 운용개념(통신거리, 고도)에 대한 이해가 필요하다. 안테나 주요사항은 시스템 링크버지 분석을 통해 통신거리 및 고도에 따라 안테나 이득이 정의된다. 이득을 바탕으로 운용개념을 고려한 안테나 형상 및 종류를 검토하고, 지상안테나와 LOS 분석을 통해 지향성/무지향성 방사패턴을 선정하게 된다. 일반적으로 근거리 통신은 무지향성 방사패턴, 장거리 통신은 추적(GPS 또는 RF)시스템이 적용된 지향성 방사패턴을 사용한다. 원활한 통신링크 형성을 위해서는 LOS 확보가 용이한 위치에 안테나를 장착하는 것이 좋다. 하지만 UAV에 장착되는 안테나의 종류는 수십 종이며, 주파수 간섭 및 항력 문제로 UAV 장착 안테나에 대한 EM 분석을 통해 안테나 간 성능을 고려하여 최적위치를 선정하게 된다. UAV에 장착되는 안테나는 운용환경에 따른 신뢰성 항목(환경규격, 전자기규격 등)을 충족하도록 설계해야 한다. 계절변화 및 고도변화 따른 안테나의 성능이 균일하게 유지되어야 하며, 강우, 낙뢰, 돌풍으로 인한 손상이 발생하지 않아야 한다. 또한, 감항당국이 요구하는 감항인증 규격을 충족하고 비행 안전성을 확보해야한다. 안테나 상세설계 시 운용 주파수, 이득, 빔폭, 방사패턴, 장착위치, LOS, 안테나 간 간섭 등을 종합적으로 고려하여 운용 플랫폼에 맞도록 최적 설계해야한다[8-9].

2.3 1차링크 안테나 연구

1차링크 안테나는 최대 000km의 통신거리에서 통신이 가능하며 TM/TC 명령을 전송하고, GCS에 고속 대용량의 영상을 송신하는 목적으로 사용된다. 1차링크 안테나는 기본운용을 위한 지향성 안테나 1식, 비상운용을 위한 무지향성 안테나 1식으로 구성된다. 1차링크 안테나는 UAV 운용 플랫폼에 따라 1축 안테나 2조 또는 2축 안테나 1조를 장착한다. 1축 안테나는 UAV 상/하부에 장착되어 UAV 자세(Roll, Pitch, Yaw)에 따라 상/하부 안테나를 절체하고, GPS

추적 알고리즘을 사용한다. 그림 7은 1축 안테나의 통신영역을 표시하였다. 상/하부에 장착된 1축 안테나에 의해 수평방향에 대해서는 통신 음영지역이 없으나, UAV 하부 방향으로는 음영지역이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

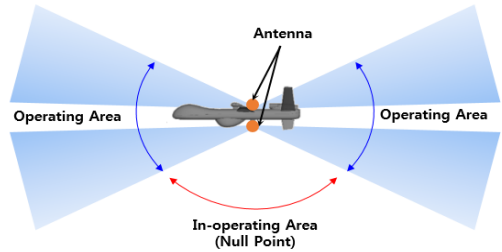


그림 7. 1축 안테나 통신영역
Fig. 7 1 Axis antenna communication area

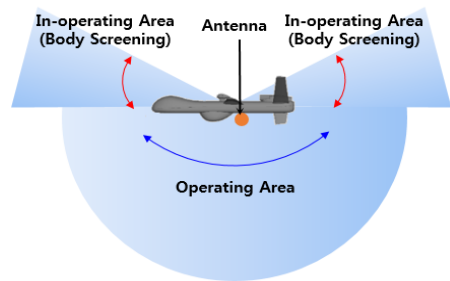


그림 8. 2축 안테나 통신영역
Fig. 8 2 Axis antenna communication area

2축 안테나는 UAV 상부 또는 하부에 장착되고 GPS 추적 알고리즘을 적용하여 GDT와 끊김 없는 통신링크를 유지한다. 그림 8은 2축 안테나의 통신영역을 표시하였다. 하부에 장착된 2축 안테나에 의해 UAV 하부 방향으로는 통신지역이 없으나, 동체 가림에 의한 통신 음영지역이 발생할 수 있음을 확인할 수 있다. 1축 안테나 및 2축 안테나의 통신 음영지역 비교분석결과, 1축 안테나는 상/하부 절체를 통해 UAV 자세 변화에 의한 영향을 덜 받지만 하부 방향으로 음영지역이 발생하고, 2축 안테나는 동체 가림에 의한 음영지역이 발생함을 확인할 수 있다. 2축 안테나의 음영지역 해소를 위해서는 안테나의 마스트를 지면과의 Clearance를 고려하여 LOS를 확보할 수 있도록 설계해야 한다.

2.4 2차링크 안테나 연구

2차링크는 C2(Command & Control; 명령 및 통제) 링크를 형성하고 TM/TC 메시지 및 소형영상을 전송한다. 일반적으로 2차링크 안테나는 UHF/C 주파수대역을 사용하며, 모노폴 구조에 그라운드를 포함하도록 설계한다. UAV 표면에 Copper Mesh 형태의 도체를 삽입하여 그라운드를 확보할 수 있으나 중량이 증가하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 다이폴 구조의 안테나를 사용하는 경우도 있으나 낙뢰 피격 시 안테나 및 통신장비의 손상을 야기할 수 있다. 그래서 시스템 운용환경을 고려하여 낙뢰가 중요한 경우에는 모노폴 구조, 그렇지 않은 경우에는 다이폴 구조가 효과적이다. 2차링크 안테나의 설계방법은 다양하기 때문에 최근 많이 적용되고 있는 Conformal 구조, CLAS(Conformal Load-bearing Antenna Skin Structure)에 대한 해외 연구개발 동향을 살펴보고자 한다. 그림 9는 꼬리날개 내장형 안테나로 다이폴 구조의 안테나가 삽입되어 있다. 그림 10은 TE³사의 Conformal 구조를 적용한 소형화된 내장형 안테나로 기존의 블레이드 안테나 대비 비행체 항력 및 RCS 성능 개선 효과를 갖는다[10].

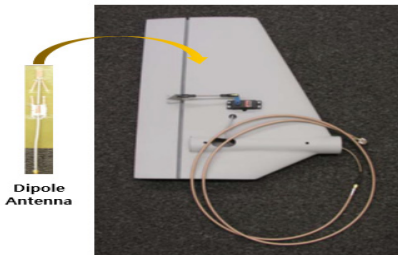


그림 9. 꼬리날개 내장형 안테나
Fig. 9 Ventral pin embedded antenna

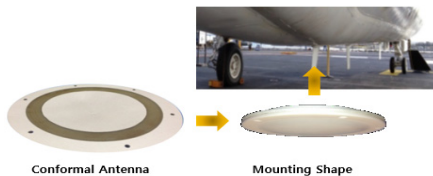


그림 10. 비행체 하부 내장형 안테나
Fig. 10 Aircraft bottom embedded antenna

2.5 위성링크 안테나 연구

위성링크 안테나는 위성과 송수신을 하며 무거운 중량으로 인해 Payload가 큰 중고도급 이상의 항공기에 제한적으로 적용된다. 현재 X/Ku/Ka 단일 주파수 대역으로 운용하고 있으며 주로 파라볼라 안테나를 사용하고 있다. 최근 해외에서 시스템 운용성 향상을 위해 위상배열안테나 시스템을 적용하고 있는 추세이다. 그림 11은 Phasor⁴⁾사의 위성통신용 위상배열안테나로 다수의 소형화된 복사소자 배열을 통해 소형/경량화 되어 있음을 확인할 수 있다.

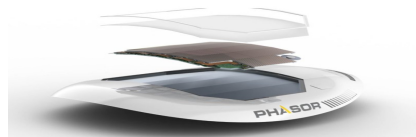


그림 11. 위성통신용 위상배열 안테나
Fig. 11 SATCOM phase array antenna

III. 결 론

본 논문에서는 데이터링크 시스템에 장착되는 드론용 탑재 안테나(1차링크/2차링크/위성링크)에 대해 연구하였다. UAV 생존성 향상을 위해 데이터링크는 3중링크로 구성하는 것이 가장 효과적이거나 운용 플랫폼에 맞도록 통신링크를 구성해야 한다. 미국의 고고도 및 중고도 무인기에 적용된 데이터링크 안테나 분석결과, 안테나는 링크별 LOS 확보가 용이한 위치에 장착되어 있음을 확인하였다. 또한, 실무경험을 바탕으로 운용 플랫폼과 시스템을 고려한 안테나 설계절차를 제시하고, 탑재 데이터링크 안테나 시스템에 대해 연구하였다. 탑재 1차링크 안테나는 기본운용으로 지향성 안테나 1식, 비상운용을 위한 무지향성 1식으로 구성하여야 한다. 탑재 2차링크 안테나는 낙뢰규격을 고려하여 모노폴 또는 다이폴 구조를 UAV 플랫폼에 맞도록 설계해야 한다. 해외 연구개발 동향 분석을 통해 Conformal 구조가 적용되고 있음을 확인할 수 있었다. 탑재 위성링크 안테나는 기존 파라볼라 안테나에서 운용성 향상을 위해 소형화된 위상배열안테나를 적용하는 추세로 발전하고 있다.

3) <https://www.te.com/Antennas>

4) <http://www.phasorsolutions.com>

References

- [1] S. Kim, "Unmanned Aircraft(Drone) Technology and Industry Outlook," *Korea Evaluation Institute of Industrial Technology Project Development Issue Report*, vol. 15-7, no. 3, July 2015, pp.51-69.
- [2] Ministry of Science and ICT, "Unmanned Vehicle Technology Roadmap," *Technical Report*, Jan. 2018.
- [3] S. Yeo, "Data-link Antenna Design for Drone Control," *Korea Institute of Electronics and Telecommunications*, vol. 13, no. 6, Dec. 2018, pp.1169-1176.
- [4] H. Nam, "A Study on the Exploration Device of the Disaster Site Using Drones," *Korea Institute of Electronics and Telecommunications*, vol. 14, no. 3, June 2019, pp.579-586.
- [5] I. Cuhadar, "Unmanned Air Vehicle System's Data Links", *J. of Automation and Control Engineering*, vol. 4, no. 3, June 2016, pp.189-193.
- [6] H. Kim, "A Study on Real-Time Position Analysis and Wireless Data-Link Transmission Technology for UAV Video Surveillance System", *Master's Thesis, Hanbat University Graduate School of Information and Communication*, 2016.
- [7] J. Choi, "An analysis of UAV link-of-sight according to mission environment," *J. of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 17, no. 6, June 2013, pp.1414-1418.
- [8] J. Kim, "Placement Optimization of Airborne Line-Of-Sight Datalink Directional Antenna in UAV," *J. of Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 51, no. 4, Apr. 2014, pp.694-700.
- [9] J. Choi, "Analysis of Optimum Antenna Placement Considering Interference Between Airborne Antennas Mounted on UAV," *J. of Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 52, no. 6, June 2015, pp.1098-1106.
- [10] D. Moorehouse, "IMPROVED UAV DATALINK PERFORMANCE USING EMBEDDED ANTENNAS," *cobham.com*, 2015.

저자 소개

여수철(Su-Cheol Yeo)



2008년 동아대학교 전자공학과 졸업(공학사)
2010년 동아대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2010년 ~ 현재 한화시스템(주) 전문연구원

※ 관심분야 : 데이터링크 안테나 시스템

강병욱(Byoung-Wook Kang)



2002년 전북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2002년 ~ 현재 한화시스템(주) 전문연구원

※ 관심분야 : 데이터링크 안테나 시스템

배기형(Ki-Hyoung Bae)



1994년 한밭대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1996년 충북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2003년 ~ 현재 한화시스템(주) 수석연구원

※ 관심분야 : 데이터링크 안테나 시스템

윤창배(Chang-Bae Yoon)



1996년 한국해양대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)

2002년 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2008년 ~ 현재 한화시스템(주) 수석연구원

※ 관심분야 : 데이터링크 시스템