

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.2.27>

JIIBC 2022-2-5

적외선 영상 호밍센서 고속 영상신호처리기의 전자기파 내성 설계

Electromagnetic Susceptibility design of High-Speed Image Signal Processing Unit for Small Infrared Image Homing sensor

김홍락*, 박진호*, 김경일*, 전효원*, 신정섭**

Hong-Rak Kim*, Jin-Ho Park*, Kyoung-Il Kim*, Hyo-won Jeon*, Jung-Sub Shin**

요약 소형 적외선영상 호밍센서는 지상의 표적에 대하여 주야간 적외선 영상처리를 통하여 표적을 식별하고 주요 표적에 대하여 표적을 탐색, 탐지하여 추적하는 적외선 영상센서를 보유한 유도무기의 눈에 해당된다. 유도무기 내부에 여러 구성품들과 함께 전원과 통신 라인을 함께 사용하기 때문에 전자기파 간섭에 대한 부분이 매우 중요하다. 특히 케이블로 연결되어 있는 전원과 통신 라인을 통한 CE(Conducted Emission)의 영향이 매우 중요하다. 케이블을 통하여 유도무기 다른 구성품들에 전기적 영향을 직접적으로 줄 수 있다. 본 논문에서는 케이블을 통하여 입력되는 전원과 통신 라인에 대한 전자기 간섭 회피를 위한 EMI 필터와 케이블 설계에 대하여 설명한다. 또한 설계된 EMI 필터 제작 후 MIL-STD-461G의 CE102 시험을 통하여 설계 만족에 대하여 설명한다.

Abstract The small infrared image homing sensor is the eye of a guided weapon that has an infrared image sensor that identifies a target on the ground through day and night infrared image processing and searches, detects, and tracks the target. Inside the guided weapon since the power supply and communication line are used together with various components, the part against electromagnetic wave interference is very important. In particular, the effect of CE (Conducted Emission) through the power and communication lines connected by cables is very important. Through this method, it is possible to directly affect other components of the guided weapon. In this paper, the EMI filter and cable design for avoiding electromagnetic interference to the power input through the cable and the communication line are described. Also, the designed EMI filter is manufactured After the CE102 test of MIL-STD-461G, design satisfaction will be explained.

Key Words : Infrared, Image Signal Processing Unit, FPGA, CPU

*정회원, LIG넥스원(주)

*비회원, 국방과학연구소

접수일자 2022년 3월 8일, 수정완료 2022년 3월 30일

게재확정일자 2022년 4월 8일

Received: 8 March, 2022 / Revised: 30 March, 2022 /

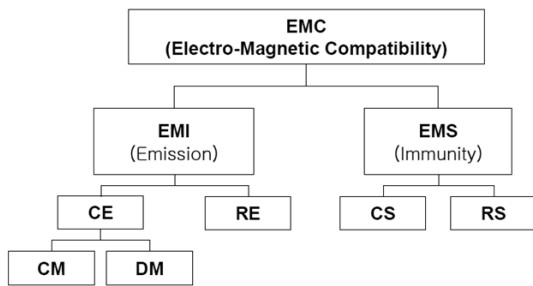
Accepted: 8 April, 2022

**Corresponding Author: hongrak.kim@lignex1.com

Dept. of RF & IIR Seeker R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd. Korea

1. 서 론

전기, 전자 기기에 전류가 흐르면 이 전류의 주위에는 전계와 자계가 유도된다. 전위차에 의해 생긴 전계는 시간적으로 변화하면 그 주위에 전자계가 발생한다. 전자파는 의도와 상관없이 여러 매질의 경로를 통하여 다른 기기에 장애를 주게 되며 다른 기기에 전달되면 성능의 저하나 오동작의 원인이 된다. 본 논문의 대상 장비인 적외선 영상 호밍센서는 유도무기에 탑재되어 지상의 표적에 대하여 주야간 적외선 영상을 입력받아 표적을 식별하고 주요 표적에 대하여 표적을 탐색, 탐지하여 추적하는 적외선 영상 추적시스템이다. 입력되는 영상을 통하여 실시간으로 표적을 식별하고 탐지 및 추적을 하기 위해서는 유도무기 내부의 타 시스템과의 전자기파 간섭 회피가 매우 중요하다.



- EMI : Electromagnetic Interference
- EMS : Electromagnetic Susceptibility
- CE(RE) : Conducted(Radiated) Emission
- CS(RS) : Conducted(Radiated) Susceptibility
- CM : Common-Mode
- DM : Differential-Mode

그림 1. EMC의 분류
Fig. 1. Classification of EMC

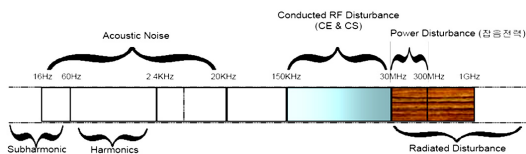


그림 2. 규제 주파수대역
Fig. 2. Regulated frequency band

그림 1은 EMC의 분류를 보여주고 있다. EMC는 EMI와 EMS로 나누어지며 그 하부에 CE(전도 방사), RE(복사 방사), CS(전도 내성), RS(복사 내성)으로 이루어지며 그림 2에 규제 주파수대역에 대하여 보여주고 있다.

또한 군용 장비는 MIL-STD-461G에 해당 장비 분류에 따라서 시험 방법과 규격이 정해져 있다. 전도 방사와 전도 내성의 경우 영상 호밍센서는 유도무기로부터 전원을 받고 통신 라인으로 정보를 주고 받는 케이블을 통하여 이루어진다. 또한 케이블은 유도무기 내의 여러 장비에 연결되어 있기 때문에 다른 장비가 오동작을 할 수 있는 잡음을 제공해서는 안되고 다른 장비로부터 전달되는 잡음에 의하여 오동작을 해서는 안 된다. 이를 위해서는 영상 신호처리기의 전원회로에 대한 노이즈 저감을 위한 회로설계와 EMI 필터 설계가 중요하다.^{[1][2][3]} 전원 시스템의 고효율화, 고밀도화 및 슬림화를 위한 전원 회로 기술 또한 중요하다.^[4] 영상 신호처리기의 고속 스위칭 회로의 원활한 전원공급을 위하여 고속 스위칭 전력 반도체 적용으로 전력 밀도가 증가하여 전도성 또는 복사성 전자기 간섭 노이즈의 발생이 증가하고 있다.^[5]

영상신호처리기는 획득된 적외선 영상을 RS170 아날로그 영상 신호로 변환하여 유도무기의 다른 시스템으로 전송을 한다. 이때 외부 환경이나 타 시스템에 의한 영향으로 영상이 훼손되지 않도록 설당 처리한 케이블을 이용하기도 한다.^{[6][7]}

고속 영상신호처리에 사용되는 CPU, FPGA, DDR 등의 소자들이 부하증가로 고열이 발생된다. 열적 안정성을 확보하기 위하여 히트 싱크를 사용하여 방열을 하기도 한다. 이러한 국부적인 히트 싱크들은 전자기파를 외부로 방사시키는 안테나 역할을 할 수 있어서 이러한 부분에 대해서도 대책이 필요하다.^[8]

영상신호처리기가 다른 장치와 인터페이스 케이블에서의 Return Ground의 임피던스도 EMC 대책에 중요하다.^[9]

본 논문에서는 CE, RE, CS, RS 4가지 규격을 충족하기 위한 설계를 제시하고 시험을 통하여 결과를 확인하였다.

II. EMC 설계

1. 복사 방사, 복사 내성 설계

복사 방사는 전자 장치에서 의도하지 않은 전자기 에너지를 방사하는 것을 의미하며 영상처리기 내부의 영상 처리보드와 전원보드의 전원과 신호선에 의하여 DM(Differential Mode) noise와 CM(Common Mode) noise가 발생된다. 그림 3은 두 모드 노이즈의 경로를 보여 준다.

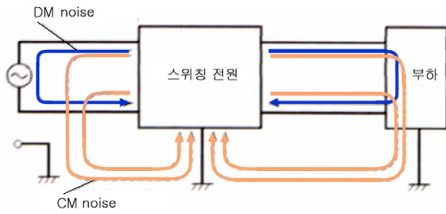


그림 3. DM 노이즈와 CM 노이즈 경로
 Fig. 3. DM noise and CM noise path

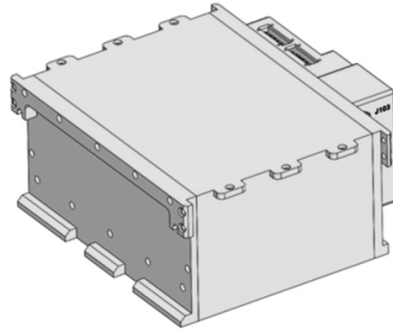


그림 5. 영상신호처리장치
 Fig. 5. Image processing unit

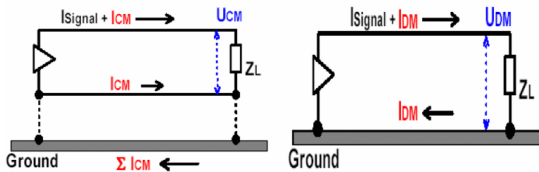


그림 4 CM 모드 전류와 DM 모드 전류 흐름
 Fig. 4. Common Mode and Differential Mode Current flow

그림 4는 모드별 전류 흐름을 보여 준다. DM 모드 noise는 스위칭 회로에서 발생하는 노이즈로 입, 출력단에 전달된다. CM 모드 noise는 장비의 히트싱크, 트랜스포머의 커패시턴스 패턴의 영향 등으로 DM Mode로 변환될 수 있다. 노이즈의 발생을 적게 해야만 전자기파의 영향을 최소화할 수 있고 CM 모드 전류를 억제해야만 노이즈를 저감할 수 있다. 이를 위해서 통신라인은 Differential Signaling으로 설계를 하였다. Differential signaling 구조는 differential pair의 각 line에 크기는 같고 위상이 180도 차이가 나는 신호를 입력하고 두 신호의 차를 전송하는 방법이다. single ended signaling 구조에 비해 신호선이 하나 더 필요하다는 단점이 있지만 수신단에서 differential pair의 차이를 검출하기 때문에 동위상이며 같은 크기의 CM 노이즈는 differential pair에 인가되면 쉽게 제거될 수 있다. 이렇게 발생된 노이즈는 여러 경로를 통해서 복사되어 다른 장비에 영향을 줄 수 있다. 이러한 CM 모드 노이즈와 DM 모드 노이즈를 최소화하는 설계가 기본적으로 필요하고 노이즈가 외부로 복사되어 나가지 못하도록 차폐구조로 설계가 필요하다.

그림 5는 영상신호처리장치를 보여주고 있다. 모든 부위가 차폐 구조로 이루어져 있어서 복사 방사는 차단하고 복사 내성에 강인하도록 설계하였다.

2. 전도 방사, 전도 내성

전도 방사에 대한 시험규격 및 방법은 MIL-STD-461G의 CE102에 제시되어 있다. 전원선으로부터 유출되는 방사량에 대한 것으로 전도 방사를 최소화 하기 위해서는 EMI 필터 설계가 매우 중요하다. EMI 필터는 입력쪽 임피던스와 출력쪽 임피던스에 따라서 크게 4가지 타입으로 나누어 진다.

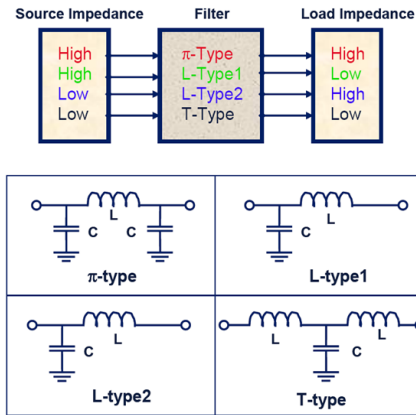


그림 6. 임피던스 별 EMI 필터 타입
 Fig. 6. EMI Filter type by impedance

EMI 필터를 선정시 그림 6과 같이 입력 임피던스가 크고 출력 임피던스도 클 경우 파이 타입이 적절하다. 본 논문의 영상신호처리기의 경우 파이 타입으로 EMI 필터를 설계 및 제작 하였다.

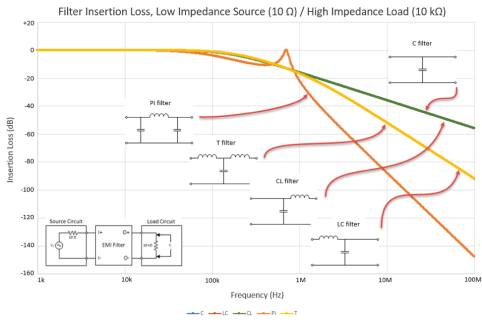


그림 7. 필터의 삽입 손실
Fig. 7. Filter Insertion Loss

파이 파이프 필터는 그림 7과 같이 입력 임피던스와 출력 임피던스가 높은 때 높은 주파수 대역에서 보다 효과적인 노이즈 감쇄를 구현할 수 있다.

그림 8은 설계된 필터 블록도를 보여준다. 기본적인 파이 타입의 필터에 CM 노이즈 억제를 위한 CM Choke L1, 높은 주파수 영역의 DM, CM 노이즈를 억제하기 위한 Y 캐패시터, 낮은 주파수 영역의 DM 노이즈 제거를 위한 X 캐패시터로 이루어져 있다.

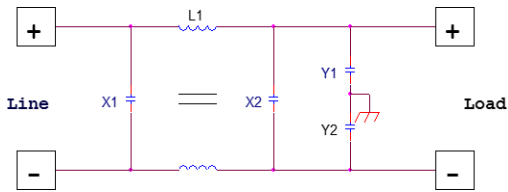


그림 8. 설계된 필터 회로 블록도
Fig. 8. Designed filter circuit block diagram

저주파 영역에서 노이즈 레벨이 높을 경우 CM 코일과 DM 코일의 임피던스가 저주파 영역에서 높아야 하고 X, Y 캐패시터의 용량이 커야 한다. 반대로 고주파 영역에서 노이즈 레벨이 높을 경우 CM, DM 코일의 권선 분포용량 적어야 하며 Y, X 캐패시터의 인덕턴스가 적게 설계해야 한다. CE 102를 충족하기 위하여 EMI 필터의 각 용량은 예상되는 신호처리부에서 사용되는 신호들의 주파수 대역 분석을 통하여 적절한 값으로 코일과 X, Y 캐패시터 값을 선정하고 시뮬레이션을 통하여 설계치를 확인한다. 이후 제작이 되면 신호처리부와 연동하여 CE 102 시험 절차에 따라서 시험을 수행하여 측정된 결과를 기반으로 코일 및 X, Y 캐패시터 값을 조정하게 된다.

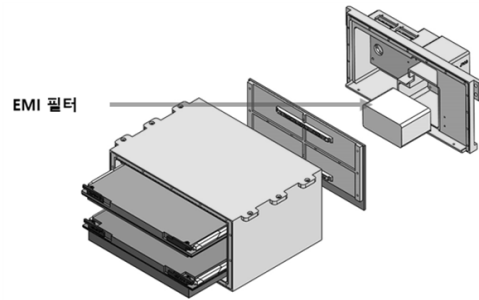


그림 9. 신호처리부
Fig. 9. Signal processing unit

그림 9는 전자신호처리부의 형상을 보여주고 있다. 영상신호처리보드와 전원보드는 케이스에 차폐구조로 이루어져 있으며 외부 전원과 모기판 사이에는 EMI 필터가 배치되어 있다.

DC-DC Converter 또는 고속의 Clock trace의 경우 공통모드의 높은 주파수의 노이즈가 존재하는데 이때는 PCB의 Power Plane을 분할하여 Noise를 격리하는 것이 매우 중요하다. 이때 Power plane들 사이에 노이즈 커플링이 발생하는 것을 주의해야 한다. 이 경우 페라이트 비드와 커패시터를 이용하여 파이형 필터를 사용하면 노이즈가 커플링 되는 것을 방지할 수 있다.

III. 측정 결과

MIL-STD-461G의 CE102의 측정은 그림 10,11과 같이 설치하여 무반향 챔버로 이루어진 측정 시설에서 측정된다.

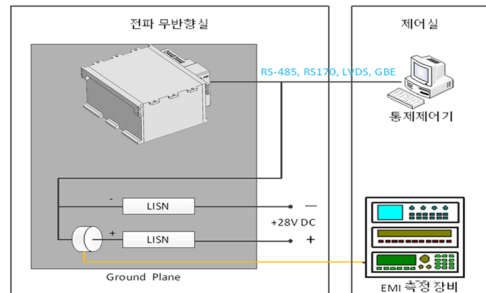


그림 10. CE102 시험 구성도
Fig. 10. CE102 Test Configuration



그림 11. CE102 시험 사진
 Fig. 11. CE102 Test Picture

그림 12는 MIL-STD-461G의 시험 규격을 보여주고 있다.

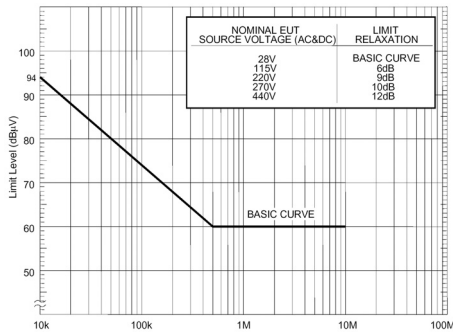


그림 12. CE102 시험 규격
 Fig. 12. CE102 Test Specification

그림 13은 측정 결과를 보여주고 있다. BASIC CURVE와 함께 표시하였으며 만족된 결과가 측정되었다.

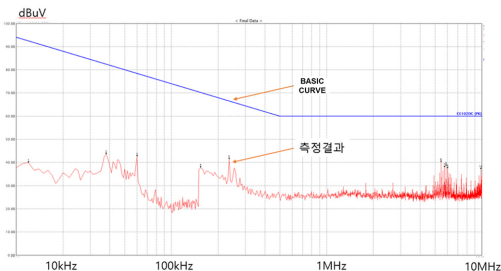


그림 13. CE102 측정 결과
 Fig. 13. CE102 Test Result

추가적으로 RE102 측정을 통하여 복사방사에 대한 특성도 확인하였다. 그림 14는 RE102에 대한 측정결과로 만족한 결과를 도출하였다.

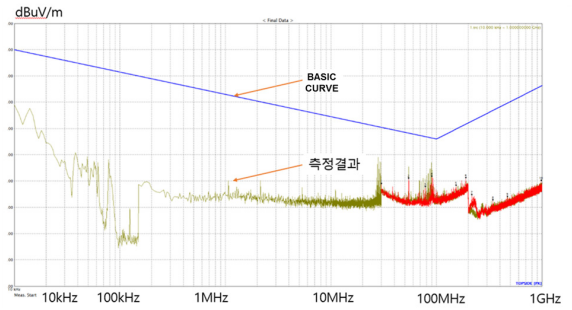


그림 14. RE102 측정 결과
 Fig. 14. RE102 Test Result

IV. 결 론

본 논문에서는 적외선 영상 호밍센서 고속 영상신호처리기의 전자기파 간섭 설계를 진행하였다. 특히 케이블로 연결되어 있는 전원과 통신 라인을 통한 CE(Conducted Emission)의 영향을 최소화하기 위하여 EMI 필터와 Differential Signaling 케이블 설계를 진행하였다. 또한 설계된 EMI 필터의 시뮬레이션과 제작 후 MIL-STD-461G의 CE102 시험을 통하여 설계 만족에 대하여 확인하였다.

References

- [1] Yuan Dengke, 'EMI Power Filter Design for Control System of DC Converter in Electric Vehicle', 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICECE.2010.1261>
- [2] Liu Nan, 'A Common Mode and Differential Mode Integrated EMI Filter', 2006 CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference DOI: <https://doi.org/10.1109 / IP EMC.2006.4777979>
- [3] Santichai Boonruang, 'Optimal Damping Circuits of Pi-filters for EMI filter Designs', 2018 15th International Conference on Electrical Engineering / Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology DOI: <https://doi.org/10.1109/ECTICon.2018.8619970>
- [4] Jong-Hae Kim, Jae-sun Won, 'Power EMI Filter Technolog trend', THE KOREAN INSTITUTE OF POWER ELECTRONICS, KIPE MAGAZINE 24(4), 2019.8, 56-62(7 pages)
- [5] Jeon-guk Kim, 'Active EMC filter technology and

research trends', THE KOREAN INSTITUTE OF POWER ELECTRONICS, KIPE MAGAZINE 24(4), 2019.8, 50-55(6 pages)

- [6] Seong-jin Cho, Yong-gi Sim, 'Protection Design for EMI and Indirect Lightning Effect for RS-170a Video Signal', 2019 The Korea Navigation Institute.
DOI: <https://doi.org/10.12673/jant.2019.23.5.444>
- [7] G. Bhooma et al., "Effectiveness of various shield termination methods of cables," in 2016 International conference on electromagnetic interference & compatibility (INCEMIC), Bangalore: India, pp. 1-4, Dec 2016.
- [8] Byeong-In Choi, Sung-Hoon Choa, 'EMI Reduction Filter Design using Heat Sink', Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol.57, NO.12, December 2020
DOI: <https://doi.org/10.5573/ieie.2020.57.12.3>
- [9] Namgyun Kim, Doojin Lee, 'EMI countermeasure with ground impedance changing', The Korean Society Of Automotive Engineers, 2020.11, 626-627 (2 pages)
- [10] Bo DUAN, Wendi WANG, "Floating-point Mixed-radix FFT Core Generation for FPGA and Comparison with GPU and CPU", 2011 IEEE 978-1-4577-1740-6/11
- [11] J.Diaz, et.al, "FPGA-based real-time optical flow system", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (TCSVT), 2006, Vol.16, Issue.2, pp.274-279
- [12] T.Saegusa, T.Maruyama, Y.Yamaguchi, "How fast is an FPGA in image processing?", FPL 2008, pp.77-82.
- [13] Jongbok Lee, "Design and Simulation of ARM Processor using VHDL", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 18, No. 5, pp.229-235, Oct. 31, 2018.
DOI : <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.5.229>
- [14] Jong-Pil Lee, Ill-Keun Rhee, "Development of High Resolution Target Simulator with Dual Sampling Clock Rates", Journal of Korean Institute of Information Technology 12(12), 2014.12, 31-39
- [15] Choi Jeong Hyun, Jo Han Moo, Yun Seok Jae, Ryu Dong Wan, "A Design of the Integrated Software Architecture for Missile System Test Set", Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences , 2014.11.214-215
- [16] Jongbok Lee, "A Study On Statistical Simulation for Asymmetric Multi-Core Processor Architectures", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC) Vol. 16, No. 2, pp.157-163, Apr. 30, 2016

저 자 소 개

김 홍 락(정회원)



- 1995년 2월 : 대구대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학사)
- 1997년 8월 : 대구대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1997년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 적외선 영상 신호처리 기, 전원공급기 등

박 진 호(정회원)



- 2006년 2월 : 부경대학교 전자정보공학부(공학사)
- 2008년 2월 : 부경대학교 정보통신공학(공학석사)
- 2008년 2월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주요관심분야 : 적외선 영상시스템, 디지털 신호처리

김 경 일(정회원)



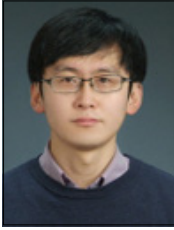
- 2007년 2월 : 충남대학교 메카트로닉스 (공학사)
- 2009년 2월 : 충남대학교 메카트로닉스 (공학석사)
- 2009년 2월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 선임연구원
- 주 관심분야 : 적외선 영상처리 등

전 효 원(정회원)



- 2006년 2월 : 충남대학교 메카트로닉스 (공학사)
- 2008년 2월 : 충남대학교 메카트로닉스 (공학석사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 임베디드 제어시스템 등

신 정 섭(정회원)



- 2003년 2월 : 충남대학교 컴퓨터과 학(이학사)
- 2005년 2월 : 충남대학교 컴퓨터과 학(이학석사)
- 2006년 12월 ~ 2012년 4월 : 국방 과학연구소 선임연구원
- 2013년 5월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원

- 주 관심분야 : 적외선 영상처리 등