

유도탄 탄내케이블 브레이드 제거에 따른 고찰

Study on the Removal of the Cable Braid Inside the Missile

은희현* · 김지민 · 이민형 · 정재원
LIG넥스원 유도무기1연구소

Hee-hyun Eun* · Ji-min Kim · Min-hyoung Lee · Jae-won Jung
PGM 1st R&D Center, LIG NEX1, Co. Ltd., Daejeon, 34127, Korea

[요 약]

오늘날 북핵문제는 한반도와 동북아시아에 심각한 안보 위협 요인으로 대두되고 있다. 이에 따라 우리 군은 휴전선에서 수백 Km 떨어진 상공에서도 평양 등 북한 지휘부 건물과 핵시설을 정밀 타격할 수 있는 장거리 공대지 유도탄의 해외 도입과 국내 개발을 추진하고 있다. 본 논문에서는 장거리 공대지 유도탄 개발을 위한 여러 설계 요소 중 유도탄 경량화를 위한 탄내케이블 브레이드를 제거하고 이에 따른 성능을 예측 및 분석하였다. 브레이드 제거에 따른 탄내케이블 문치 내부의 누화 (cross-talk) 및 군사 EMI 규격인 MIL-STD-461F의 내성(conduction susceptibility) CS114 및 방사(radiated emission) RE101 규격을 적용하여 시뮬레이션을 통해 브레이드 제거 가능성을 분석하였다.

[Abstract]

The North Korea nuclear issue is now posing a serious security threat to the Korea and Northeast Asia. Accordingly, the South Korean military is pushing for the introduction of long-range air-to-surface flights and the development of domestic nuclear facilities that can precisely hit North Korea headquarters building and nuclear facility even hundreds of kilometers above the border. In this paper, we removed the cable braid for securing the weight of the missile among several design elements for long-range air-to-surface missile development and estimated and analyzed the resulting performance. The possibility of braid removal was analyzed in terms of crosstalk inside the cable and CS114, RE101 of MIL-STD-461F.

Key word : Air-to-surface missile, Missile cable, Missile weight loss, Electromagnetic interference, Conductive Susceptibility, Radiated emission.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.2.105>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 15 March 2018; Revised 26 March 2018

Accepted (Publication) 13 April 2018 (30 April 2018)

*Corresponding Author; Hee-Hyun Eun

Tel: +82-42-826-7640

E-mail: heehyun.eun@lignex1.com

I. 서론

최근 북한의 잇단 핵실험 및 ICBM 발사로 동북아시아는 군비 경쟁의 소용돌이에 휘말리고 있다. 이에 우리 군은 휴전선에서 200 km 떨어진 대전 상공에서도 평양 등 북한의 주요 핵심 시설을 타격할 수 있는 공대지 유도탄의 도입 및 국내 개발을 추진하고 있다. 공대지 유도탄은 비행중인 항공기에서 지상표적에 대하여 발사하는 유도탄으로, 항속거리가 3000 km인 전략폭격기에 장착 시 유도탄 사거리 포함 3000 km 이상을 비행하여 지상표적에 명중하는 전략 무기이다. 또한 공대지 유도탄은 임무 항공기 및 조종사의 생존성을 보장할 수 있다. 이러한 장거리 공대지 유도탄의 국내 개발 사업은 현재 국내 F-15K 장착용 유도탄인 타우러스급 수준의 무기체계를 2020년 이후에 획득하는 사업으로, 국방과학연구소 주관 연구개발로 2018년에 착수한다[1]. 장거리 공대지 유도탄 설계 분야는 체계설계/통합, 체계시험평가, 기체, 추진기관, 영상 탐색기, 유도조종, 탄두, 발사체계, 임무계획체계 등이 있다. 항공기 장착 유도탄은 중량이 제한적이며 이러한 개발 분야에서 공통적으로 경량화, 소형화 등의 설계 조건들이 주어질 것으로 예상된다. 본 논문에서는 유도탄 체계설계/통합 분야에서 경량화를 할 수 있는 방안 중 하나인 탄내케이블 경량화에 대하여 연구하였다. 여기서 탄내케이블이란 유도조종장치, 위성항법장치, 관성항법장치 등 임무를 위해 유도탄 내부에 탑재되는 장치들 사이에 전기적 인터페이스를 위한 케이블이다. 유도탄은 항공우주산업의 한 분야로써 유도탄 완성품과 구성품단위에서도 엄격한 신뢰성을 보장하여야 한다. 탄내케이블의 신뢰성을 보장하기 위한 설계상 요구 조건들은 전기적 안정성, 구조적 안전성, 내열성, 체계 조립성 등이 있다. 본 논문에서는 탄내케이블의 최외각 실드인 브레이드를 제거하여 경량화하고 브레이드가 제거됨에 따른 성능을 전기적 안정성 측면에서 연구하였다. 전기적 안정성 측면에서 성능 변화를 전자기장 시뮬레이션 해석 소프트웨어인 HFSS(ANSYS 社)를 사용하여 분석하였다. 첫째, 탄내케이블 내부 케이블들 간의 누화, 둘째 전자기파 간섭 미국 군사 규격인 MIL-STD-461F[2]의 CS114 규격으로 탄내케이블의 전자기파 내성 분석, 셋째 MIL-STD-461F의 RE101 규격으로 유도탄 레벨에서 브레이드 제거에 따른 성능을 분석하였다.

II. 브레이드 영향성 분석

2-1 설계 검토 항목

일반적으로 케이블은 실드를 통해 방사되는 전자기파를 차단하여 주변 전자기기에 미치는 영향을 줄이고 반대로 외부에서 인가되는 전자기파를 차단하여 신호의 왜곡을 최소화한다.

유도탄의 실드는 그림 1과 같이 편조 실드(braid shield, 이하

브레이드)를 적용하며, 이는 95%이상의 차폐율 및 굽힘 등에 강한 특성을 가진다.

브레이드의 유무에 따른 전자기적 영향성을 파악하기 위한 조건은 표 1과 같다. 첫 번째, 탄내케이블 중 인접 케이블 간 누화 특성을 파악하며[3], 두 번째, 전자기 내성 성능을 파악하며, 세 번째, 탄내케이블의 전자기 방사 성능을 파악한다. 탄내케이블은 유도탄 내부에 장착되므로 전자기 방사 성능은 유도탄 레벨에서 분석하였다.

2-2 모델링

브레이드 유무에 따른 탄내케이블 성능 모델링과 시뮬레이션은 ANSYS 社의 전자기장 해석툴인 HFSS으로 수행하였다.



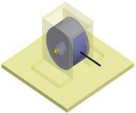
그림 1. 케이블 브레이드
Fig. 1. Cable braid.

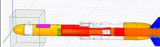
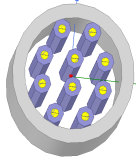
표 1. 설계 검토 항목

Table 1. Design review category.

	category	explanation
1	cable internal crosstalk analysis	<p>cable internal crosstalk analysis</p>
2	cable conduction susceptibility	<p>analysis of cable conduction susceptibility by applying and electromagnetic field externally</p>
3	cable radiated emission	<p>electromagnetic field radiated emission analysis at missile lever</p>

표 2. 모델링 및 파라미터
Table 2. Modeling and parameter.

	category	standard	modeling
1	missile internal cable	length	200 mm
2		ea	10 ea
3		cable material	copper
4		insulator	teflon
5		american wire gauge	22
6		braid material	aluminium
7		braid thickness	1 mm
8	missile	missile model	haeseong
9		missile skin material	aluminium
10F		missile skin thickness	3 mm
11	bulk current injection probe	F-130A-1	



벌크 전류 인가 프로브는 fischer 社의 전자기장 인가 장비인 F-130A, 방사시험을 위한 유도탄은 국방과학연구소와 LIGNEX1에서 개발한 함대함 유도탄 해성으로 하였다. 표 2에 각 모델링과 파라미터를 정리하였다.

2-3 시뮬레이션 및 분석

1) 탄내케이블 내부 누화

탄내케이블의 내부 누화는 NEXT (near-end crosstalk), FEXT (far-end crosstalk) 두 가지 누화를 시뮬레이션 하였다. 여기서 누화란 두 개의 회로나 도선이 충분히 가까울 때, 전기 신호의 파장 크기에 비례해서 일어나는 전기적 간섭 현상을 말한다. 즉, 인접 케이블에 인덕티브, 캐패시티브 커플링에 의해 원치 않는 에너지가 교류되어 버리는 현상을 의미하며, 그림2는 누화의 NEXT, FEXT를 나타냈다.

탄내케이블의 브레이드는 커넥터와 접지되어있어 케이블 간의 누화를 낮춰주는 역할을 하므로 브레이드를 제거함에 따라 누화 성능이 어떻게 감소하는지 확인할 필요가 있다. 주파수 대역은 0.01 MHz ~ 200 MHz 대역으로 하였다. 시뮬레이션 결과 그림3의 모델링에서 최 외곽 케이블 사이에 누화의 가장 큰 성능 저하가 일어났으며, 본 논문에서는 이중 3번 케이블을 노이즈 소스 라인, 1번 케이블을 노이즈를 인가받는 라인으로 설정하여 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션 결과는 그림 4에서 보는바와 같이 저주파 대역에서는 NEXT, FEXT 각각 최대 -96.8 dB에서 -73.3 dB로 성능

이 저하됨을 알 수 있다. 하지만 -73.3 dB는 기존 신호의 약 $2 * e^{-4}$ 으로 정상 신호 대비 0.002% 크기의 노이즈가 되어 인접한 케이블 신호에 영향을 주는 것이다. 실제 탄내 신호레벨이 50 V 이하이므로 브레이드 제거에 따른 누화문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

2) 탄내케이블 내성

탄내케이블 내성 시뮬레이션은 MIL-STD-461F의 CS114 규격에 준하여 시뮬레이션을 진행하였다. CS114의 한계치는 그림 5의 빨간색 영역으로 하였으며 이에 해당하는 주파수 대역에 따른 인가 노이즈는 그림 6의 curve 5와 같다.

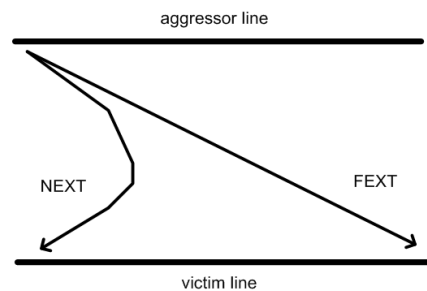


그림 2. 누화(NEXT, FEXT)
Fig. 2. Crosstalk(NEXT, FEXT).

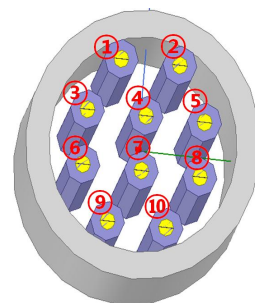


그림 3. 케이블 모델 & 넘버
Fig. 3. Cable model & Number.

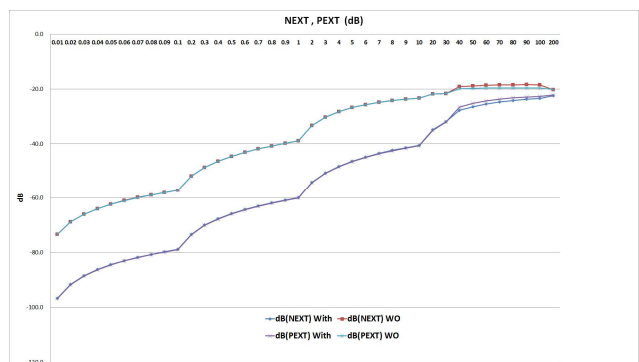


그림 4. 브레이드 유무에 따른 NEXT, FEXT 성능
Fig. 4. Performance of NEXT, PEXT depending on braid.

LIMIT CURVE NUMBERS SHOWN IN FIGURE CS-114-1 AND LIMITS								
PLATFORM FREQUENCY RANGE	AIRCRAFT EXTERNAL OR SAFETY (EXTERNAL)	AIRCRAFT INTERNAL	ALL SHIPS (ABOVE DECK) AND SUBMARINES (EXTERNAL)**	SHIPS (METALLIC) (BELOW DECK)	SHIPS (NON-METALLIC) (BELOW DECK)	SUBMARINE (EXTERNAL)	GROUND	SPACE
4 kHz to 1MHz	N	-	77 dBμA	77 dBμA	77 dBμA	77 dBμA	-	-
	A	5	5	2	2	2	1	3
10 kHz to 2 MHz	N	5	3	2	2	2	1	2
	AF	5	3	-	-	-	-	2
2 MHz to 30 MHz	A	5	5	5	2	4	1	4
	N	5	5	5	2	4	1	2
30 MHz to 300 MHz	AF	5	3	-	-	-	-	2
	A	5	5	5	2	2	2	4
300 MHz to 200 MHz	N	5	5	5	2	2	2	3
	AF	5	3	-	-	-	-	2

KEY: A = Army
 N = Navy
 AF = Air Force

* For equipment located external to the pressure hull of a submarine but within the superstructure, use SHIPS (METALLIC) (BELOW DECK)
 ** For equipment located in the hangar deck of Aircraft Carriers

그림 5. CS114 한계치
 Fig. 5. CS114 limits.

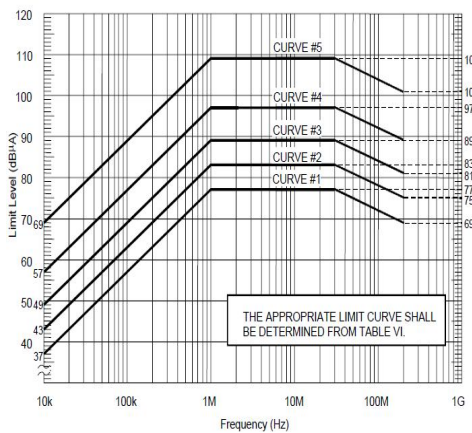


그림 6. CS114 한계치 곡선
 Fig. 6. CS114 limits curve.

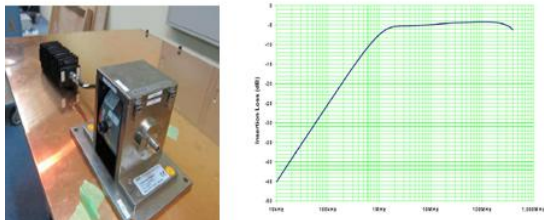


그림 7. 벌크 전류 인가 프로브(좌), 삽입손실(우)
 Fig. 7. Bulk current injection probe(left), insertion loss(right).

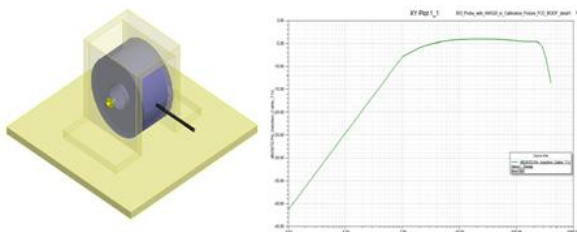


그림 8. 모델링 : 벌크 전류 인가 프로브(좌), 삽입손실(우)
 Fig. 8. Modeling : Bulk current injection probe(left), insertion loss(right).

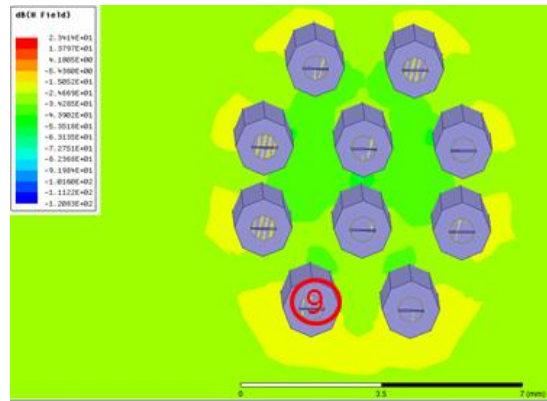


그림 9. 노이즈 인가 시 각 케이블의 자기장
 Fig. 9. Magnetic field of cable when noise is applied.

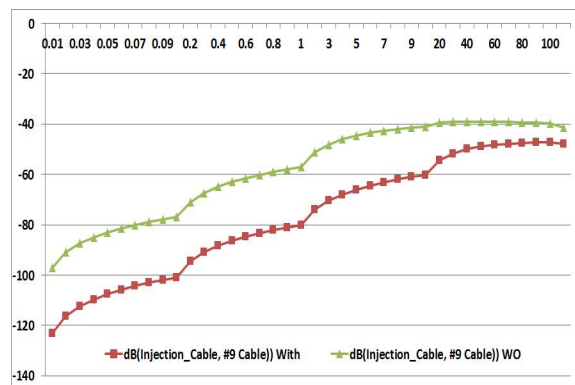


그림 10. 브레이드 유무에 따른 유도기전력 비율
 Fig. 10. Performance of induced electromotive force ratio depending on braid.

CS114의 시뮬레이션을 위한 순서는 아래와 같다.

- 1st : F-13A(FCC社, bulk current injection probe) 선정 및 모델링한다.
- 2nd : F-13A의 실제 calibration 데이터와 모델링 데이터를 비교 및 확인 한다.

그림 7은 calibration 구성 및 삽입 손실 그래프, 그림 8은 모델링 및 삽입손실 시뮬레이션 그래프를 통해 실제 모델의 삽입 손실 그래프와 모델링 삽입손실 그래프가 유사함을 확인하였다.

- 3rd : 브레이드 유/무 및 주파수별 인가되는 노이즈에 따른 케이블의 유도기전력 비율을 시뮬레이션하여 확인한다.

브레이드를 적용한 경우, 브레이드 양 끝을 커넥터에 접지하였으나, 커넥터와 케이블 사이 10 mm 부분은 브레이드를 적용하지 않았다. 이는 실제 케이블을 커넥터와 연결 시 핀과 커넥팅작업을 위하여 오픈 되는 영역을 모의한 것이다.

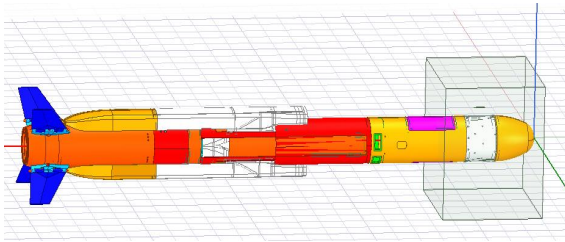


그림 11. 해성 유도탄 모델링 및 해석 범위
 Fig. 11. Haeseoung missile modeling and range of analysis.

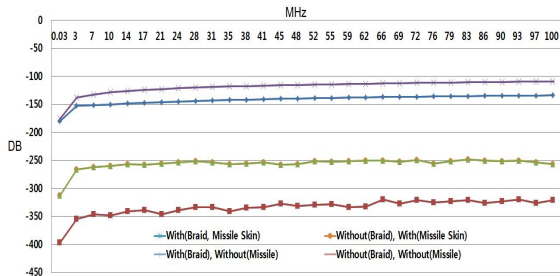


그림 12. 브레이드 유무에 따른 방사 비율
 Fig. 12. Performance of radiated emission ratio depending on braid.

시뮬레이션에서 입력은 bulk injection probe이며 본 논문에서 언급된 결과는 그림 9에서 볼 수 있듯이 가장 많은 유도기전력(자기장 밀집)을 발생시키는 최외각 케이블 중 9번 케이블로 하였다.

CS114 시뮬레이션의 결과는 그림 10과 같다. 가로축은 MHz단위이며 세로 축은 dB 단위이다. 브레이드 유무에 따라 케이블에 유기되는 유도기전력은 주파수가 낮을수록 차이가 많이 났으며 최대 -123 dB에서 -97 dB로 약 26 dB의 성능 저하를 알 수 있다. 앞선 탄내케이블 내부 누화에서와 같이 -100 dB 영역에서 10 ~ 20 dB차이는 탄내 신호레벨을 근거로 근사화하면 유의차가 없다고 판단된다. 또한 유도탄 레벨에서 EMI 시험 시 시험 대상 케이블은 유도탄과 발사통제장치가 연결되는 케이블이며 탄내케이블은 시험 대상이 아니므로 시험을 통과하는데 문제는 없다. 하지만 본 논문에서 CS114의 내성 성능을 비교한 이유는 탑재장비들이 노이즈 소스가 되어 케이블에 노이즈를 인가 할 경우도 고려해야 했기 때문이다.

3) 탄내케이블 방사

탄내케이블 방사 시뮬레이션은 유도탄 시스템 레벨에서 시뮬레이션을 하였으며, 유도탄 모델은 해성 함대함 유도탄으로 하였다. 시뮬레이션의 조건은 브레이드 유무(유도탄 제외), 브레이드 유무(유도탄 포함) 4가지로 하였으며, 케이블 길이는 200 mm, 케이블 양단에 유도조종장치를 각각 인터페이스 하였다. 유도조종장치의 위치는 실제 장착 위치인 전방 동체부(그림 11의 박스 내부 하얀색 스킨영역)에 장착하였다. 해석의 범위 또한 전방동체부만 하였다. 그림 11은 해성 유도탄이며 박스

영역은 해석영역을 보여준다.

시뮬레이션 결과는 그림 12와 같다. 먼저 유도탄 미 적용 시 대부분의 주파수 대역에서 약 25 dB의 성능 저하를 보였으며, 유도탄 적용 시 브레이드 유무에 따른 성능은 최대 89 dB의 성능 저하를 예상 할 수 있었다. 유도탄이 존재함으로써 케이블에서 방사되는 대부분의 노이즈를 유도탄 스킨이 차폐하는 것을 알 수 있으며, 앞선 탄내케이블 내부 누화와 내성에서와 같이 수십 dB의 성능 저하가 있어도 그 크기가 $1 * e^{-17}$ 에서 $1 * e^{-13}$ 로의 성능 저하는 무시할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 체계설계 분야에서 탄내케이블 경량화에 대하여 연구하였다. 실제 유도탄 탄내케이블의 브레이드 유무를 측정 결과 기존 중량의 75% 수준으로 감소되며 수십 kg의 탄내케이블 무게를 고려하면 수 kg의 중량을 줄일 수 있다.

검토항목으로 브레이드를 제거함에 따라 탄내케이블 내부 케이블간의 누화, 탄내 케이블의 내성 성능, 탄내케이블의 방사 성능을 시뮬레이션하여 분석하였다.

첫째, 탄내케이블 내부 누화는 NEXT, FEXT 각각 최대 -96.8 dB에서 -73.3 dB로 성능 저하가 있었지만 기준신호가 5 kV인 경우 1 V만큼의 영향을 주는 것이며 실제 탄내 신호 레벨은 50 V이하 이므로 브레이드를 제거하여도 문제가 없을 것으로 판단된다.

둘째, 탄내케이블 내성은 MIL-STD-461F의 CS114 규격으로 시뮬레이션 하였으며, 앞선 누화 결과와 같이 최대 -123 dB에서 -97 dB로 성능 저하가 있었지만 역시 브레이드를 제거하는데 문제가 없을 것으로 판단하였다.

셋째, 탄내케이블 방사 시뮬레이션은 탄내케이블 단독(브레이드 적용/미적용) 및 유도탄 포함(브레이드 적용/미적용) 4가지 조건으로 수행하였으며, 결과는 유도탄 적용 시 유도탄 스킨이 차폐막의 역할을 하여 브레이드를 제거하여도 문제가 없을 것으로 판단하였다.

본 논문에서 브레이드의 영향성을 탄내케이블 단독으로 해석하였다. 향후에는 유도탄 탑재장비들과 인터페이스하여 실제 아날로그, 디지털, 전원 신호등을 모의하는 연구가 필요하다.

References

[1] Defence acquisition program administration. Result of 98 national defense project committee, [internet]. Available: http://www.dapa.go.kr/user/boardList.action?command=view&page=14&boardId=I_626&boardSeq=O_26254&titleId=null&id=dapa_kr_04020000000&column=null&search=.

[2] MIL-STD-461F, Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment, 2007.
[3] J. H. Kim, S. J. Lee, and S. K. Oh, "Design of UTP LAN cable

with enhanced alien crosstalk characteristic," *The Journal of the Korean Institute of Communication Sciences*, Vol. 37, No. 12, pp. 1115-1121, 2012.



은 희 현 (Hee-Hyun Eun)

2011년 8월 : 충남대학교 전자공학과(공학사)
2013년 5월 : 세메스 S.LSI 공정
2013년 9월 ~ 현재 : LIG넥스원 유도무기1연구소 선임연구원
※관심분야 : 유도탄 체계, EMC, WPT 등



김 지 민 (Ji-Min Kim)

2011년 2월 : 강원대학교 전기전자공학과 (공학사)
2014년 2월 : 강원대학교 전기전자공학과 (공학석사)
2014년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원유도무기1연구소 선임연구원
※관심분야 : 유도탄 체계, EMC 등



이 민 형 (Min-Hyoung Lee)

2011년 2월 : 항공대학교 항공우주공학과 (공학사)
2013년 8월 : 항공대학교 항공우주공학과 (공학석사)
2013년 4월 ~ 현재 : LIG넥스원유도무기1연구소 선임연구원
※관심분야 : 유도탄 체계, 진동해석 및 계측 등



정 재 원 (Jae-Won Jung)

1997년 2월 : 동아대학교 전기공학과 (공학사)
1999년 2월 : 부산대학교 전기공학과 (공학석사)
2000년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원유도무기1연구소 수석연구원
※관심분야 : 유도탄 체계, EMC 등