

군용 무인 이동체 배선장치 커넥터에서 트위스트 케이블 핀 배치 최적화 방안

Pin Distribute Method of Twist Cable at Military Unmanned Vehicle Wiring Unit Connector

은희현* · 노동규 · 광규민 · 김재승 · 이철
엘아이지텍스원 유도무기1연구소.개발단.2팀

Hee-hyun Eun · Dong-gyu Roh · Gyu-min Kwak · Jae-seung Kim · Chul Lee
Precision Guided Munition R&D Group 2 Team, LIG NEX1, co. Ltd., Daejeon, 34127, Korea

[요 약]

현재 국내에서 개발 중인 군용 무인 이동체들은 다양한 임무를 수행하기 위하여 탑재 장치들이 많아지고 있으며 이 탑재 장치 간 인터페이스 케이블도 증가되고 있다. 또한 협소한 무인 이동체 내부 공간 문제로 탑재 장치들은 소형화, 집적화가 요구되고 있다. 상기 두 가지 이유로 커넥터도 소형 커넥터를 선정해야 하며, 이는 핀 간 거리가 가까워져 이로 인해 노이즈에 취약하게 된다. 본 논문에서는 케이블 트위스트가 풀리는 커넥터 핀에서 노이즈 원 종류에 따라 생성되는 자기장이 주변 핀에 얼마만큼의 영향을 미치는지 분석하여 최적 핀 배치 설계의 가이드를 제시하였다. 첫째, 핀과 핀 사이에 누화 보다 자기장에 의한 영향이 크다. 둘째, +, - 노이즈원과 1칸 근접 시 +, - 사이 양옆의 자기장 분포가 강하다. 셋째, +, - 노이즈원과 2칸 근접 시 노이즈원과 원 신호 사이 핀을 공 핀으로 놓은 경우보다 그라운드 핀으로 설정 시 자기장 분포가 개선된다. 넷째, 노이즈원이 Tx±, Rx± 와같이 차동모드 통신인 경우 Tx±, Rx± 배치에 따라 민감 신호 최적 배치 영역을 제시하였다.

[Abstract]

Currently, unmanned military vehicles under development in Korea have more devices to carry out various missions, and interface cables between them are also increasing. In addition, due to a small space problem inside the unmanned vehicle, devices are required to be miniaturized and integrated. For two reasons, connectors also need to be selected, which makes them vulnerable to noise due to the closer distance between the pins. In this paper, we analyzed how much the magnetic field produced by noise at the connector pin where cable twist is released affects the surrounding pin and presented the guide for optimal pin placement. First, the effect of magnetic field is greater than the crosstalk between pin and pin. Second, the magnetic field on both sides between + and - is strong when approaching one step with noise source. Third, the magnetic field strength is improved when setting the ground pin as the ground pin between the noise and the original signal when approaching the A noise source and the two steps. Fourth, in the case of a differential mode communication, the optimal placement area of the sensitive signal was presented according to positions Tx± and Rx±.

Key word : Military connector, Military unmanned vehicle, Twist cable, Missile cable.

<https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.4.245>



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 17 July 2020; Revised 23 July 2020

Accepted (Publication) 16 August 2020 (30 August 2020)

*Corresponding Author; Hee-Hyun Eun

Tel: +82-42-826-7640

E-mail: heehyun.eun@lignex1.com

1. 서론

현재 국내에서 개발 중인 군용 무인 이동체들은 다양한 임무를 수행하기 위하여 탑재 장치들이 많아지고 있으며 이 탑재 장치 간 인터페이스 케이블도 증가되고 있다. 또한 협소한 무인 이동체 내부 공간 문제로 탑재 장치들은 소형화, 집적화가 요구되고 있다. 상기 두 가지 이유로 커넥터도 소형 커넥터를 선정해야 하며, 이는 핀 간 거리가 가까워져 이로 인해 노이즈에 취약하게 된다. 구체적으로 커넥터에 트위스트 케이블 연결 작업 시 트위스트가 풀리며 이 영역 근처 주변 신호가 노이즈원이 되어 이 노이즈원의 자기장이 트위스트가 풀린 케이블 영역에 쇄교하고 유도전류 즉 노이즈를 야기 시킨다. 이는 늘어나는 통신 라인과 소형 커넥터 사용에 대한 요구사항이 증대됨에 따라 커넥터 핀 배치가 통신 품질에 영향을 주게 된다[1],[2]. 본 논문에서는 전자기장 해석 소프트웨어인 HFSS(ANSYS 社T)를 사용하여 핀과 핀 사이에 쇄교하는 자기장 세기를 분석하여 네 가지 케이스로 핀 배치 가이드라인을 제시하고자 한다. 첫째, 핀과 핀의 사이에 근단누화(NEXT; near end cross talk)와 원단누화(FEXT; far end cross talk) 중 근단누화 측면과 핀과 핀 사이에 쇄교하는 자기장 세기 중 어느 것이 더 dominant한지에 대해 분석하였다. 둘째, 노이즈원과 원신호 핀이 1칸으로 근접 하는 여러 가지 케이스 별로 분석하였다. 셋째, 노이즈원과 2칸 떨어진 핀의 케이스를 분석하였다. 넷째 차동모드 Tx+, Tx-, Rx+, Rx- 통신을 노이즈원으로 가정하여 케이스 별로 분석하였다.

II. 관련 연구

2-1 이론적 배경

커넥터 케이블 작업 시 트위스트가 풀린 영역을 노이즈원의 자기장이 얼마만큼 쇄교하는지 그리고 트위스트가 풀리는 커넥터 핀에서의 누화를 비교 분석하였다.



그림 1. 트위스트 케이블

Fig. 1. Twisted cable

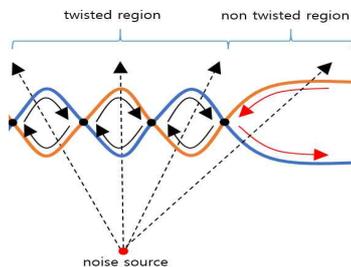


그림 2. 트위스트 케이블 유도전류

Fig. 2. Twisted cable inductive current

트위스트 케이블은 그림 1과 같이 두 개의 케이블이 서로 꼬여져 있다. 트위스트 케이블을 확대하면 그림 2와 같이 폐 경로로 이루어진 면들이 있고 이 면들에 인접한 케이블이 노이즈원이 되어 자속을 생성하고 이 자속이 폐 경로 면들에 쇄교하게 되면 폐 경로에는 패러데이 전자기유도 법칙에 의하여 그림 2의 화살표와 같이 유도 전류가 흐르게 된다. 이때 발생한 유도전류는 그림 2의 검은점에서 서로 반대방향이므로 상쇄되어 강도가 약해진다. 그러나 커넥터 케이블 작업을 위해 트위스트가 풀리는 영역은 유도 전류가 상쇄되지 않아 원 신호를 왜곡시키고 파형을 무너트리게 된다.

누화는 커넥터 핀 영역에서 dominant한 근단누화를 분석하였다. 여기서 누화란 그림 3과 같이 두 개의 회로나 케이블이 충분히 가까울 때, 전기 신호의 파장 크기에 비례해서 일어나는 전기적 간섭 현상을 말한다. 즉, 인접 케이블의 인덕티브, 캐패시티브 커플링에 의해 원치않는 에너지가 교류되는 현상을 의미한다[3].

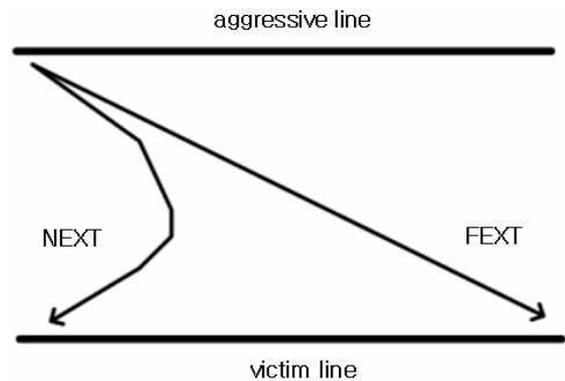


그림 3. 누화

Fig. 3. Cross-talk



그림 4. 커넥터 모델링(D38999-series III)

Fig. 4. Connector modeling(D38999-series III)

2-2 모델링

트위스트 케이블과 인터페이스되는 커넥터는 밀리터리 커넥터 100핀, D38999-Series III[5]를 선정하였다. 해석은 경우에 따라 100핀을 전부 해석 또는 상하, 좌우 대칭 구조인 커넥터를 4등분하여 일부만 해석하였다. 그림 4는 D38999-series III의 모델링 그림이다.

2-3 커넥터 Crosstalk & 자기장 분석

앞서 2-1절에서 설명한 근단누화와 쇄교 자기장에 의한 잡음 증가는 것이 더 원 신호에 영향이 큰지 커넥터 핀에서 분석하였다. 근단누화는 s-parameter를, 자기장은 노이즈 핀의 자기장이 원 신호 케이블에 얼마만큼 쇄교하는지를 분석하였다 [4]. 그림 5에 노이즈 핀(37, 38번)과 원 신호 핀(17, 18핀)을 표현하였다. 노이즈 핀에 인가되는 신호는 주파수 성질을 같으며 TTL 레벨이 높은 임의의 Tx, Rx 통신으로 가정하였으며, 원 신호 핀에 인가되는 신호도 Tx, Rx 통신으로 가정하였다. 핀 간 근단누화는 그림 6의 -50 dB 수준, 노이즈 핀에서 원 신호 핀에 자기장을 얼마만큼 인가하는지는 그림 7의 -29.2 dB 수준으로 분석되었다. 커넥터 핀과 핀사이는 근단누화 보다 자기장에 의한 유도기전력이 더 큰 역할을 함을 알 수 있다. 설드가 자기장을 차폐해주는 케이블과는 반대의 결과이다. 위의 결과를 토대로 본 논문에서는 자기장만을 분석하였다.

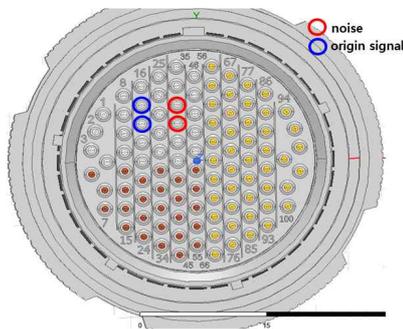


그림 5. 노이즈 핀과 원 신호 핀
Fig. 5. Noise signal pin & origin signal pin

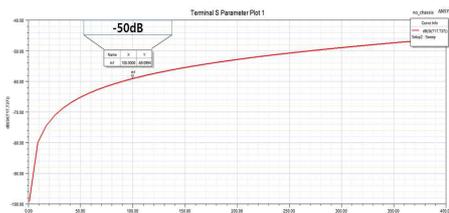


그림 6. 핀 간 누화 분석
Fig. 6. Pin to pin cross talk analysis

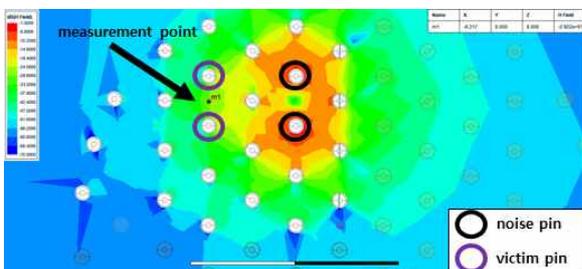


그림 7. 노이즈 핀에 의한 원 신호 핀 자기장 영향 분석
Fig. 7. Analysis of origin signal pin magnetic field effects by noise pin

2-4 근접 핀(1칸) 간 케이스별 자기장 분석

군용 무인 이동체는 협소한 내부 공간 문제로 탑재 장치가 소형화 되어야하며 이에 따라 커넥터 선정도 여유 핀 즉 공핀을 할당 할 수 있는 커넥터를 선정할 수 없다. 따라서 노이즈 원이 유력한 신호와 근접하여 민감 신호 핀이 근접하여 배치하는 경우가 많다. 그림 8과 표1과 같이 인접 핀 간, GND 배치 등 여러 가지 핀 배치 별 케이스를 분석하였다. 자기장 측정 위치는 원 신호 +, - 핀 사이이다.

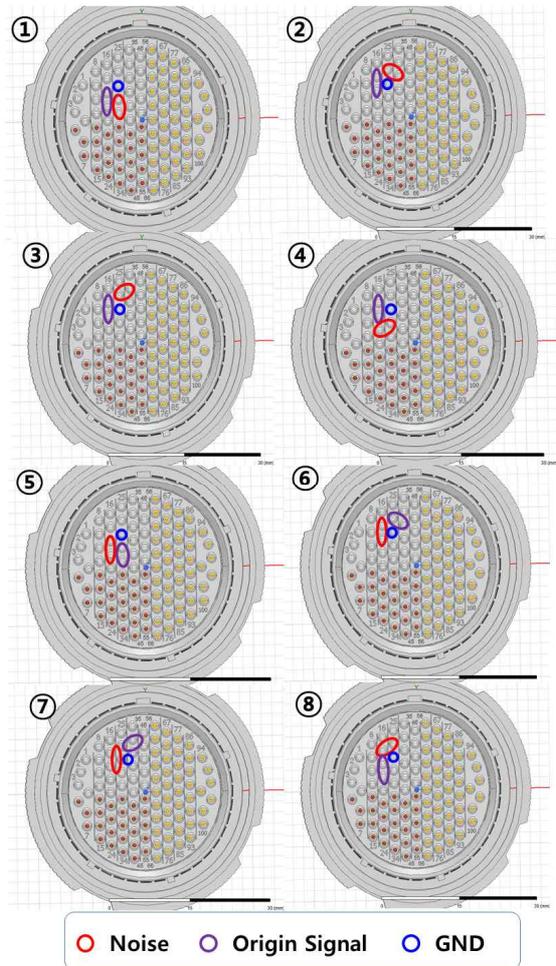


그림 8. 근접 핀(1칸) 간 자기장 해석 케이스
Fig. 8. Magnetic field analysis cases by close pin interfaces

아래 표 1과 같이 근접 핀 간 best 케이스는 7, 8번 케이스이며 이는 노이즈 핀과 원 핀이 대각선 배치로 원 신호 +, - 핀 사이 영역이 노이즈 핀으로부터 가장 멀리 위치하기 때문이다. 7, 8번 케이스 다음으로 6번 케이스가 좋은 결과를 보였다. 이는 RS422 통신은 차동모드로 두 위상이 반대이며, 자기장의 밀도가 +, -의 가운데에서 양 옆으로 퍼져 나가는 형태이기 때문이다.

근접한곳에 그라운드(ground, GND)가 위치할 경우 이더넷에 더 큰 노이즈가 생성되어 효과적이지 못함을 확인 하였다.

표 1. 근접 핀(1칸) 간 케이스 별 자기장 분석 결과

Table 1. Magnetic field analysis result by close pin interfaces

case	pin number					field strength [dB]
	noise pin		origin signal		GND	
	Tx+	Tx-	Tx+	Tx-		
1	18	19	28	29	-	-24.3
	18	19	28	29	27	-20.7
2	17	18	26	37	-	-32.5
	17	18	26	37	27	-31.2
3	17	18	26	36	-	-35.3
	17	18	26	36	27	-31.2
4	17	18	19	28	-	-34.7
	17	18	19	28	27	-32.1
5	28	29	18	19	-	-25.3
	28	29	18	19	27	-19.2
6	26	37	17	18	-	-41.7
	26	37	17	18	27	-31.7
7	26	36	17	18	-	-56
	26	36	17	18	27	-39.6
8	18	19	17	26	-	-54
	18	19	17	26	27	-46.4

2-5 근접 핀(2칸) 간 케이스별 자기장 분석

근접 핀(2칸) 거리에 따라 자기장 분포를 해석하였다. 2칸 거리의 경우 커넥터 좌우, 상하 대칭 구조이므로 4/4분면에서 해석하였다. 해석을 위한 핀 설정은 그림 9와 같다.

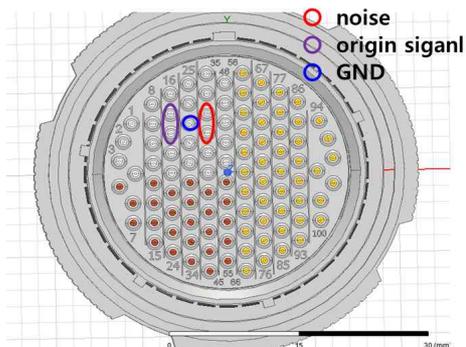


그림 9. 근접 핀(2칸) 간 자기장 해석 케이스

Fig. 9. Magnetic field analysis case by close pin interfaces

표 2. 근접 핀(2칸) 간 자기장 분석 결과

Table 2. Magnetic field analysis result by close pin interface

case	pin number				GND	field strength [dB]
	noise pin		origin signal pin			
	Tx+	Tx-	Tx+	Tx-		
1	17	18	37	38	-	-29.2
2	17	18	37	38	GND 27	-39.5

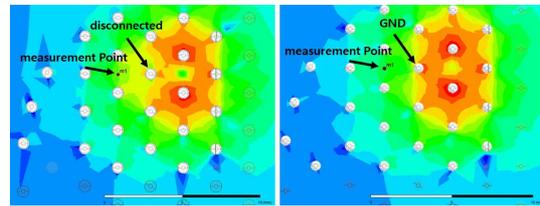


그림 10. 근접 핀(2칸) 간 자기장 분포 - 왼쪽(케이스 1), 아래쪽(케이스 2)

Fig. 10. Magnetic field plot by close pin interfaces - left (case 1), right(case 2)

표 2와 같이 결과는 중간 핀에 그라운드기가 있는 경우 약 10 dB 개선되는 것을 확인하였다. 그림 10에서와 같이 그라운드 미 적용 시 자기장을 attraction 하지 못하여 측정 위치까지 넓게 퍼지며, 그라운드 적용 시 그라운드 핀이 자기장 path의 실드 역할을 하여 그라운드 핀 위치에서 자기장 세기가 높아지며 측정 위치에서는 자기장 세기가 낮아짐을 알 수 있다.

2-6 차동모드 Tx±, Rx± 통신 자기장 분석

본 절에서는 RS422 통신과 같이 Tx +, -와 Rx +, -를 모의하며, 커넥터 전체를 해석 하였다. 그림 11은 통신 라인을 배치할 수 있는 4가지 케이스이며 +, - 라인은 전류의 흐름이 반대이지만 위상에 따라서 서로 반대의 경우도 될 수 있으므로 본 절에서는 위상 0, 45, 90도 경우만 해석하였다.

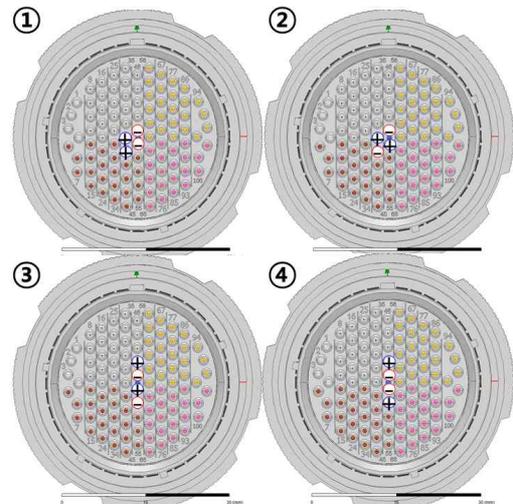


그림 11. RS422 Tx ±, Rx ± 위치 별 자기장 해석 케이스

Fig. 11. Magnetic field analysis cases by RS422 Tx ±, Rx ± location

그림 12에서 핀 배치에 따라 자기장이 강한 영역과 약한 영역이 존재함을 확인할 수 있다. 상기 각각 영역 핀에 노이즈 민감한 신호를 배치 하는 경우의 자기장 크기를 표 3에 작성하였다. 케이스 3번의 경우 자기장이 강한영역과 약한 영역이 뚜렷히 구분되는 것을 알 수 있다. 이더넷, 전압, 전류 센싱 신호 등 노이즈에 취약한 신호를 케이스 3번과 같이 배치한다면 노이즈를 최소화 할 수 있을 것이다.

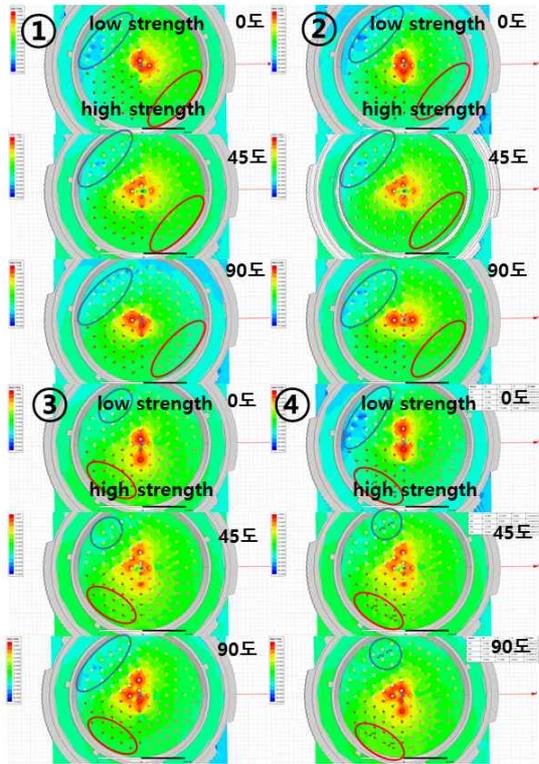


그림 12. 차동모드 RS422 통신 라인 배치 별 자기장 분포
 Fig. 12. Magnetic field plot by differential mode RS422 communication cable pin case

표 3. 차동모드 RS422 통신 라인 배치 별 자기장 분포 결과
 Table 3. Magnetic field analysis result by differential mode RS422 communication cable pin case

case	pin number				phase	field strength [dB]	
	Tx+	Tx-	Rx+	Rx-		good	bad
1	40	50	51	61	0	-56.1	-37.8
					45	-45.5	-38.5
					90	-44.7	-49.1
2	40	50	61	51	0	-50.9	-43.3
					45	-45.7	-37
					90	-47	-37.7
3	49	50	51	52	0	-55.5	-34.3
					45	-56.4	-33.3
					90	-57.5	-38.6
4	50	49	52	51	0	-45.6	-44.8
					45	-42.2	-33.5
					90	-44.6	-32.3

현재 국내에서 개발 중인 군용 무인 이동체들은 다양한 임무를 수행하기 위하여 탑재 장치들이 많아지고 있다. 이에 따라 탑재 장치 간 통신 라인이 증가되고 있다. 협소한 무인 이동체 내부 공간의 문제도 탑재 장치들이 소형화, 집적화가 요구

되며 이에 따라 탑재 장치 간 전기적 인터페이스를 위한 커넥터의 크기도 소형화가 요구되고 있다. 통신 케이블은 노이즈에 강한 트위스트로 설계 되지만 커넥터 연결 작업 시 트위스트가 풀리게 되며 주변 신호가 잡음이 되어 원 신호에 노이즈를 야기 시킨다. 과거에는 핀 배치 설계 시 설계자의 경험에 의해 설계를 하였으나 상기 문제들로 인하여 통신 품질 문제가 대두되었다.

본 논문에서는 트위스트가 풀리는 커넥터 핀에서 노이즈원 종류에 따라 생성되는 자기장이 주변 핀에 얼마만큼의 영향을 미치는지 분석하여 최적 핀 배치 설계의 가이드를 제시하였다.

첫째, 커넥터 핀에서는 근단누화 보다 자기장에 의한 영향이 크다.

둘째, +, - 의 노이즈원과 1칸으로 근접할 시 +, - 사이 양옆의 자기장의 분포가 가장 강하여 그 위치에 민감 신호 배치 시 좋지 않음을 확인하였다.

셋째, +, - 의 노이즈원과 2칸으로 근접할 시 노이즈원과 원 신호 가운데 핀을 공핀으로 놓은 경우보다 그라운드 핀으로 설정 시 자기장 분포가 개선됨을 확인하였다.

넷째, 노이즈원이 Tx ±, Rx ± 와같이 차동모드 통신이 노이즈이 되는 경우 Tx ±, Rx ± 배치에 따라 민감 신호 최적 배치 영역을 제시하였다.

향후 교류 전원 등 다양한 노이즈원을 모의하여 커넥터 핀 영역에서 최적의 핀 배치에 대한 연구가 지속되어야 한다.

References

- [1] J. S. Ahn, "Mixed-mode s-parameter measurement system of twisted pairs," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 22, No. 6, pp. 888-894, June. 2018.
- [2] J. H. Han, "Improved signal transfer characteristics due to pin structure change of high-speed input / output connector," in *The Korean Institute of Electrical Engineers 2017 Conference*, Wonju-si: Korea, pp. 43, 2017.
- [3] J. H. Kim, "Design of UTP LAN cable with enhanced alien crosstalk characteristic," *The Journal of Korean Institute of Communication Sciences*, Vol. 37, No. 12, pp. 1115-1121, Dec. 2012.
- [4] D. E. Bockelman, "Combined differential and common-mode scattering parameters: theory and simulation," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 43, No. 7, pp. 1530-1539, July 1995.
- [5] U.S. Military connector specifications[Internet]. Available : en.wikipedia.org/wiki/U.S._Military_connector_specifications



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, EMI/EMC, WPT 등



노 동 규 (Dong-Gyu Roh)

2001년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학석사)
2007년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원 유도무기1연구소 수석연구원
※관심분야 : 유도탄 체계, EMI/EMC 등



곽 규 민 (Gyu-Min Kwak)

2012년 5월 : 버지니아공대 전자공학과 (공학사)
2012년 2월 ~ 현재 : LIG넥스원 유도무기1연구소 선임연구원
※관심분야 : 유도탄 체계, EMI/EMC, WPT 등



김 재 승 (Dong-Gyu Roh)

2016년 2월 : 아주대학교 기계공학과 (공학석사)
2016년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 유도무기1연구소 선임연구원
※관심분야 : 유도탄 체계, 구조, 진동 등



이 철 (Chul Lee)

1999년 2월 : 한양대학교 기계설계공학과 (공학석사)
1999년 3월 ~ 현재 : LIG넥스원 유도무기1연구소 수석연구원
※관심분야 : 유도탄 체계, 유도무기 시험평가, WPT 등