

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2020.20.4.35
JIIBC 2020-4-5

소형 추적 레이더 와이어 하네스 설계

Wire Harness Design of Compact Tracking Radar

김홍락*, 김윤진**, 우선걸**, 안세환**

Hong-Rak Kim*, Youn-Jin Kim**, Seon-Keol Woo**, Se-Hwan An**

요약 소형 추적 레이더는 여러 구성품들이 유기적으로 연결되어 있어서 와이어 하네스 설계가 매우 중요하다. 구동부 위인 김발을 지나서 안테나와 초고주파수신기로 연결되는 배선은 연결되는 path에 따라서 전기적 특성에 영향을 준다. 또한 김발의 구동 성능에도 영향을 미친다. 디지털 신호가 많은 신호처리부 및 서보부와 연결되는 케이블은 전자파 노이즈에 의하여 신호처리부의 CPU가 오동작을 하지 않도록 대책을 마련해야 한다. OO GHz 대역의 신호전송을 위한 케이블은 온도, 진동, 충격에 대한 설계가 반영되어야 한다. 좁은 공간에 와이어 하네스를 설계하기 위해서는 커넥터의 크기를 최소화 해야 한다. 본 논문에서는 소형 추적 레이더의 와이어 하네스 설계에 고려해야 할 사항들에 대하여 설명하고 설계 방안을 제시하였다.

Abstract The small tracking radar is a very important component of the wire harness design because the components are organically connected. In addition, the cable connected to the signal processing unit and the servo unit having a large number of digital signals should be prepared to prevent the CPU of the signal processing unit from malfunctioning due to electromagnetic noise. Cables for signal transmission in the OO GHz band must reflect the design of temperature, vibration, and shock. To design a wire harness in a small space, the size of the connector must be minimized. The issues to be considered are described and the design plan is presented.

Key Words : Cable, Wire Harness, EMI, AWG

1. 서론

소형 추적 레이더 시스템은 유도탄의 앞에서 표적을 탐지/추적 하는 호밍센서의 역할을 수행한다. 최소한의 공간에 설치가 되어야 하기에 각 구성품들의 최적 형상 배치가 매우 중요하다. 또한 각 구성품들은 와이어 하네스를 통하여 유기적으로 연결되어 있다. 와이어 하네스는 전원, 낮은 주파수의 신호, 높은 주파수의 신호들이 분

포되어 있어서 와이어 하네스를 설계시 고려해야 할 내용들이 있다. 최근 차량에 여러 멀티미디어 및 편의시설들로 인하여 와이어 하네스에 대한 비중이 높아지고 있다. 특히 MCU의 사용으로 발생하는 고주파 대역의 전도 방출과 RFI가 매우 심각한 문제로 대두되고 있다.^{[1][2][3]} 이러한 문제를 해결하기 위하여 전자파 노이즈의 소스와 전달 경로를 분석하여 해결을 해야 한다. 또한 구성품과 구성품사이의 신호전달에 있어서 크로스 토그로 인한

*정회원, LIG넥스원(주) 탐색기/광학연구소 (교신저자)

**정회원, LIG넥스원(주) 탐색기/광학연구소

접수일자: 2020년 3월 23일, 수정완료: 2020년 7월 28일

게재확정일자: 2020년 8월 7일

Received: 23 March 2020 / Revised: 28 July, 2020 /

Accepted: 7 August, 2020

*Corresponding Author: hongrak.kim@lignex1.com

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

RFI를 최소화하고 방사내성을 최대화 하기 위하여 Twisted-Wire Pairs를 적용을 해야 한다.^{[4][5][6][7]} 복잡한 구조의 시스템에서는 와이어 하네스의 라우팅 경로에 따라서 신호의 path를 최적화 하고 전원에 대한 손실도 최소화 할 수 있기 때문에 와이어 하네스 라우팅 알고리즘이 탑재된 어플리케이션을 이용하기도 한다.^{[8][9]} 신호 처리부에서 각각의 구성품을 제어하기 위하여 기존에는 개별 제어신호들을 Twisted-Wire Pairs를 이용하여 설계를 하였다. 제어신호들이 많을 경우 와이어 하네스가 복잡해 지는 단점이 있었다. 최근에는 개별 제어신호들을 직렬통신을 이용하여 와이어하네스를 경량화를 한다.^{[10][11]} RS-422, LVDS 등의 Differential Signaling을 사용하면서 신호전송 케이블의 굵기또한 줄어 들수 있게 되어 30 AWG 이상의 케이블을 사용함에 따라서 Nano D-sub Connector를 적용하여 와이어 하네스를 더욱 최적화 할 수 있게 되었다. 본 논문에서는 앞에서 언급된 와이어 하네스 설계에 대하여 상세히 설명한다.

II. 소형 추적레이다 와이어 하네스

추적 레이다는 여러 구성품들이 유기적으로 연결이 되어 서로 필요한 정보를 주고 받고, 전원을 공유한다. 그림 1은 추적 레이다의 블록도 이다.

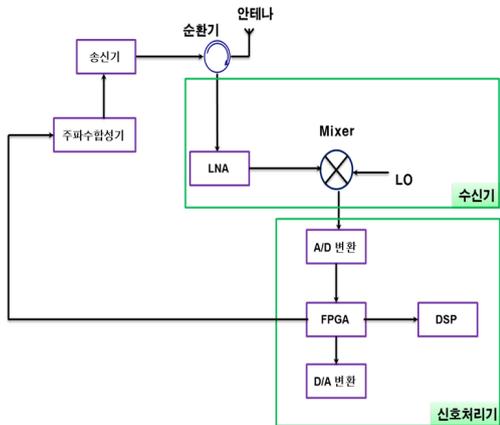


그림 1. 추적레이다 블록도
Fig. 1. Tracking Radar Block Diagram.

그림1의 신호처리기에서 각 구성품으로는 전원신호와 제어신호들이 연결이 된다. 주파수합성기, 송신기, 수신기와 서로 다른 전원을 사용하는 구성품 사이의 전이차로 인한 잡음, 디지털 버스 신호들의 패스 길이에 따른

잡음, 디지털 신호들 사이의 크로스톡 등을 최소화 하기 위하여 RS422 UART 통신으로 연결되어 있다. 전원신호는 허용 전류를 고려하여 마이크로 D-sub 및 나노 D-sub 커넥터를 이용하여 설계하였다. 그림 2는 D-sub 커넥터의 종류에 따른 규격을 보여주고 있다. 커넥터와 케이블 제조 기술의 발달로 점점 소형, 경량화 되고 있음을 보여 준다. 최근 대부분의 신호들의 전류는 크지 않아 소모전류가 낮아져서 nano D SUB 커넥터의 몇 개 핀으로 전원을 할당할 수 있을 정도 이다. nano D sub 커넥터는 MIL-DTL-32139를 기준으로 제작되고 와이어 AWG는 30 AWG 이며 1A까지 허용된다.



	D SUB SD ESCC.3401.01	D SUB HD ESCC.3401.02 (26way)	Micro-D ESCC.3401. 029 & 077	Nano-D * MIL-DTL 32139
Pitch	2.74	2.41	1.27	0.635
Dimensions (mm)	53.04x12.55	39.14x12.55	30.1x7.82	14.61x3.18
Surface (mm ²)	665	491	234	46.5
Weight (g)	13	7.6	3.6	0.5
Wire Awg	28 to 20	26 to 22	28 to 26	30
Removable	Y	Y	N/Y	N
Screwlocks size	4-40 UNC	4-40 UNC	2-56 UNC	0-80 UNF
Work. Volt. (Vrms)	300	250	150	250 *
Rated current (A)	3 to 7.5	3 to 5	1.5 to 2.5	1 *

그림 2. D SUB 커넥터
Fig. 2. D SUB Connector

높은 주파수의 RF 신호 및 아날로그 신호는 특성에 맞는 낮은 손실의 동축케이블(Coaxial Cable)을 적용하였다. 손실의 최소화 하기 위하여 특정 형태로 고정미 필요한 RF 신호는 Semi Rigid RF 케이블로 설계를 하였고 김발과 같은 회전체와 신호가 연결이 필요한 RF 신호들은 낮은 손실의 RG178 사이즈의 RF 케이블로 설계하였다. 그림 1의 송신기에서 순환기로 전달되는 수백 와트 이상의 신호는 케이블로 전달하기에는 손실이 너무 클 수 있다. 또한 순환기는 김발에 장착된 회전하는 안테나에 조립되어 있기 때문에 회전이 가능해야 한다. 김발의 회전을 통하여 안테나로 고풍력 신호를 전달하기 위하여 로터리 조인트를 설계하였고 송신기와 로터리조인트 사이에는 도관관으로 고풍력 신호가 전달될 수 있도록 설계 하였다.

1. 디지털 신호 및 전원신호 설계

디지털 신호와 전원신호는 구성품의 사이즈를 고려하여 하나의 커넥터에 분리 설계로 진행하였다. 별도의 커넥터 설계할 경우 전원과 신호의 분리가 용이하지만 넓은 공간이 필요하고 비용이 늘어난다는 단점이 있다. 전원과 신호를 분리 설계를 하기 위하여 여유핀을 고려하

여 컨넥터를 선정하였다. 또한 허용되는 전원과 신호의 전류량을 고려하여 컨넥터를 선정하였다. 전류가 0.5A 이하로 소요되는 구성품에는 nano D-SUB 컨넥터를 적용하고 그 이상 수 암페어가 요구되는 구성품에는 Micro D-SUB 컨넥터를 적용하였다. 표1은 케이블 굵기에 따른 허용전류를 보여주고 있다. 26AWG가 약 3.5A까지 허용이 되고 있으나 온도에 따른 손실, 컨넥터 허용치 및 구성품들의 소모전류를 고려하여 2~3 와이어에 할당을 하고 전원의 return도 함께 할당하여 twisted-wire pairs로 설계하였다. 그림 2는 배선도를 보여주고 있다. +15V와 -15V의 전원은 각각 두 핀씩 할당하였고 twisted-wire pairs로 되어 있다. 신호처리기와 정보를 주고 받기 위하여 RS-422 TX와 RX로 할당되어 있다. 전원에 할당된 케이블을 고려하여 신호선도 동일한 26AWG로 선정하였다. 한쪽의 컨넥터에는 케이블이 달려있는 것으로 선정하였고 반대쪽은 솔더컵 타입으로 선정하여 그림3의 배선도에 따라 케이블 작업이 진행된다. 그림 4는 케이블이 달려있는 선정된 컨넥터를 보여주고 있다.

표 1. 와이어 케이블 규격
 Table 1. Wire cable Specification

Size	Conductor Diameter	Outer Diameter	Insulation Thickness	Conductor Resistance	Electric Current	Length per Roll
30AWG	0.3mm	0.8mm	0.05mm	331Ω/km	0.8A	590m
28AWG	0.32mm	1.1mm	0.08mm	227Ω/km	1.2A	590m
26AWG	0.44mm	1.2mm	0.15mm	123Ω/km	3.5A	590m
24AWG	0.58mm	1.3mm	0.2mm	97Ω/km	5A	590m
22AWG	0.72mm	1.6mm	0.3mm	88Ω/km	8.7A	590m
20AWG	0.92mm	1.7mm	0.5mm	62Ω/km	13A	590m
18AWG	1.2mm	2.1mm	0.55mm	39Ω/km	22A	590m
17AWG	1.45mm	2.7mm	0.58mm	30Ω/km	30A	590m
16AWG	1.53mm	3.0mm	0.8mm	24Ω/km	35A	590m
15AWG	1.7mm	3.2mm	0.85mm	20Ω/km	45A	200m
14AWG	1.75mm	3.5mm	0.9mm	15Ω/km	55A	200m
13AWG	2.2mm	4.0mm	0.9mm	12Ω/km	100A	100m
12AWG	2.5mm	4.5mm	1mm	9Ω/km	88A	100m
11AWG	2.65mm	5.0mm	1.05mm	5.9Ω/km	120A	100m
10AWG	3mm	5.6mm	1.2mm	5.3Ω/km	140A	100m
8AWG	4.4mm	6.3mm	1.2mm	4Ω/km	190A	100m
6AWG	5.2mm	8.5mm	1.65mm	1.2Ω/km	230A	100m

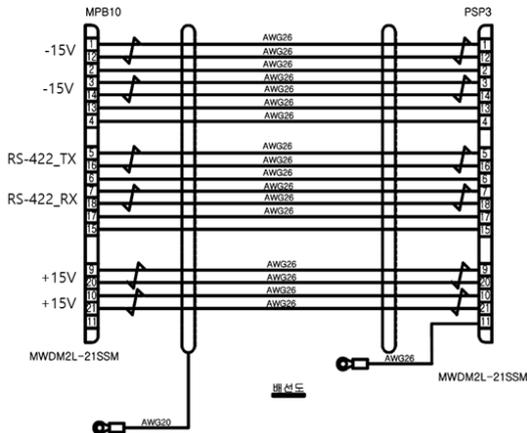


그림 3. 배선도
 Fig. 3. Wiring Diagram

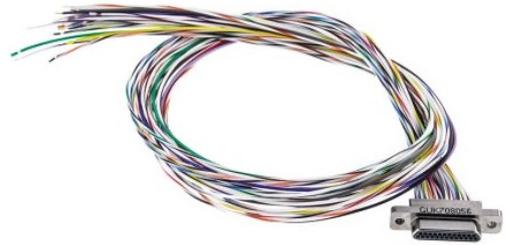


그림 4. 21핀 마이크로 D 컨넥터
 Fig. 4. 21W Metal Shell Micro D Connector

소형 게이지 와이어는 피로에 약해서 이를 최소화하기 위해 솔더컵에 케이블이 납땜이 되면 점착제인 Adhesive로 몰딩을 처리한다. 그림 5는 Adhesive 몰딩 처리한 결과를 보여주고 있다. 그 후에 테이퍼진 메탈 브레이드 처리 및 수축튜브를 통한 마무리를 하게 된다. 그림 6은 제작된 케이블을 보여준다.



그림 5. Adhesive 몰딩 처리
 Fig. 5. Adhesive Molding treatment



그림 6. 제작된 케이블
 Fig. 6. Fabricated cables

와이어 하네스를 설계시 주변온도를 고려하여 와이어 전류 부하로 인한 온도 상승이 최대 도체 온도 정격을 초과하지 않도록 해야 한다. 주변의 온도가 급격히 상승하여 공기의 전도로 인하여 케이블의 온도가 상승할 수 있을 경우 그림 7과 같이 특수 단열 테이핑이 요구되기도 한다. 개개별 케이블은 단열피복으로 보호되어 있으나 컨넥터와 연결되는 부분은 피복이 벗겨져 있어 외부 열에 취약할 수 있어서 컨넥터 부분부터 밴딩 되는 부분까지 단열 처리를 하였다.



그림 7. 단열 처리된 케이블
Fig. 7. Fabricated cables

신호처리기로부터 주파수합성기쪽으로 짧은 시간에 많은 정보를 보내기 위해서는 LVDS를 적용한다. LVDS는 낮은 전압의 상태에서 신호를 빠르게 전달하기 위하여 differential Signaling을 적용하고 있다. 그림 8은 LVDS 규격을 보여 주고 있다. 고속의 신호전송에 유리하며 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- High speed : 0 Hz ~ 3Gbps
- Long reach $\pm 100\text{mV}$ 수신 문턱전압(10m 까지 허용)
- Low power : 3.5mA 제한전류소스, 350mV 스윙
- Noise tolerance : 공통 모드 노이즈 제거

그림 9는 배선도를 보여주고 있다. 니블 단위로 데이터를 빠르게 전송하기 위하여 신호가 할당되어 있다. 상당히 높은 주파수의 신호로 전달되기 때문에 RFI 대책으로 멀티 쉴드가 요구된다. 그림 10는 적용되는 케이블 구조를 보여주고 있다. 쉴드된 twisted-wired pairs 케이블이 더블 쉴드를 통하여 외부와 차폐를 하고 있다.

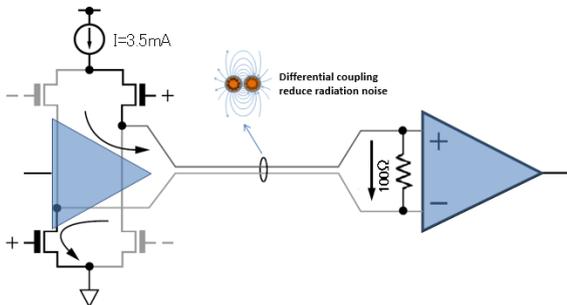


그림 8. LVDS 규격
Fig. 8. Specification of LVDS(low voltage differential signaling)

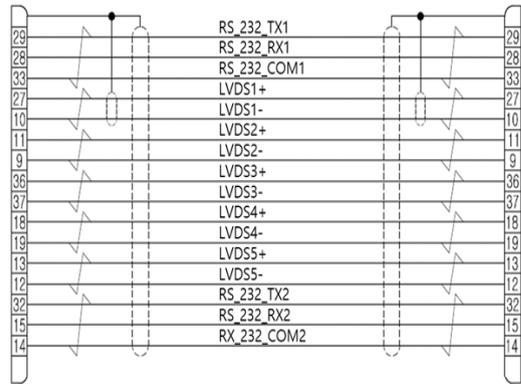


그림 9. LVDS 배선도
Fig. 9. LVDS Wiring Diagram



그림 10. 멀티 쉴드 케이블
Fig. 10. Multi Shield Cable

2. RF 신호 케이블 설계

RF 신호를 위한 케이블 설계에 있어서는 목적에 따라서 SMA, SSMA, SSMB, BNC, MCX, MMCX 등 다양한 종류가 있다. 각각의 허용 주파수범위와 임피던스, Coupling method, size 및 허용 규격에 대하여 표 2에서 나타내고 있다. SMA 컨넥터는 18GHz까지 사용가능하므로 Ku 대역의 높은 주파수는 SMA를 적용하게 된다. SMA가 공간적으로 많이 필요할 경우에는 조금 사이즈가 작은 SSMA를 적용하기도 한다.

표 2. 컨넥터 별 규격
Table 2. Specification by connector

Type	Bandwidth (GHz)	Impedance	Size	Coupling Method	Specification
BNC	6	50 Ω 70 Ω	Miniature	Bayonet	MIL-STD-348 MIL-C-39012
MCX	6	50 Ω	Subminiature	Snap-on	CECC 22220
MMCX	6	50 Ω	Micro-miniature	Snap-on	CECC 22000
SMA	18	50 Ω	Subminiature	Threaded	MIL-STD-348 MIL-C-39012
SSMA	36	50 Ω	Subminiature	Threaded	MIL-STD-348
SSMB	12.4	50 Ω	Subminiature	Snap-on	MIL-STD-348

6GHz 이하의 낮은 주파수에 대해서는 신호의 수가 많아져 SMA 혹은 SSMA를 적용할 경우 공간을 많이 필요하게 된다. 특히 Coupling method 특성상 전용 공구인 토크 렌치를 적용하여 체결을 해야 하기 때문에 전용 공구가 동작할 수 있는 공간을 충분히 마련해야 한다. 충분한 공간 마련이 힘든 경우 간편히 체결할 수 있는 Snap-on 의 MCX 혹은 MMCX를 적용할 수 있다. 분리시의 간단한 전용도구를 이용하여 규격의 토크로 쉽게 분리할 수 있으며 체결에 대한 횟수 규격도 몇 만번으로 충분하며 진동, 충격 규격도 MIL 규격을 충족한다. 그림 11은 MCX와 MMCX 커넥터를 보여주고 있는 SMA 컨넥터와는 달리 PUSH하여 체결하고 사이즈가 작기 때문에 소형화에 용이하다.

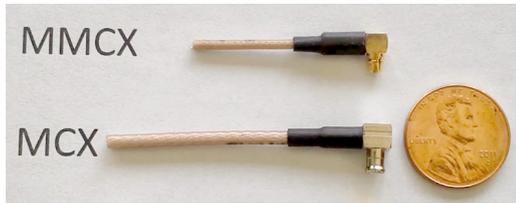


그림 11. MCX 및 MMCX 컨넥터
 Fig. 11. MCX and MMCX Connector

높은 주파수의 신호는 손실 및 RFI를 고려하여 동축 케이블을 적용하여 설계를 한다. flexible 한 RG316, RG178 사이즈를 적용하여 설계를 하였고 주파수가 높고 손실을 보다 적도록 고려하기 위한 신호는 semi-rigid cable을 적용하여 설계하였다. 3D 모델링을 통하여 최적의 경로를 설정하여 설계를 하고 설계된 도면을 기반으로 제작을 하였다. 그림 12는 제작된 케이블이다. Flexible SMA 케이블은 원하는 형태로 쉽게 path를 변경해서 진행할 수 있다는 장점이 있지만 Semi-rigid 케이블에 비해서 손실 및 RFI에 대한 특성에 단점이 있다.



Flexible SMA 케이블 Semi-rigid SMA 케이블

그림 12. SMA cable 제작
 Fig. 12. SMA cable production

짧은 경로의 일정한 손실을 유지하기 위해서는 그림 12와 같이 Semi-rigid 케이블로 설계 및 제작을 하였다. 이때 경로에 대한 정확한 측정 후 제작이 필요하므로 3D 모델에서 경로를 잡아서 도면화 후 제작을 하게 된다. 또한 휘어져야 하는 부분은 전용틀을 이용하여 규정에 맞게 제작하였다. 제작 후에는 VSWR(Voltage Standing Wave Ratio) 규격이 만족하는지 측정을 해야 한다.

추적 레이다는 안테나가 2축 김발에 달려 서보제어를 통하여 표적으로 지향하게 되어 있다. 김발의 구동각도에 따라서 케이블이 서보제어에 미치는 영향이 크다. 또한 김발의 구동각에 따라서 케이블의 벤딩이 발생하여 신호의 손실이 증가될 수 있다. 이러한 영향을 최소화 하기 위하여 케이블의 경로에 대하여 3D 모델을 통한 최적 경로 설계가 중요하다. 그림 13은 케이블의 최적 경로 설계를 보여주고 있다. 김발의 회전에 따라서 케이블의 영향을 최소화 되는 경로를 설계 하였다.

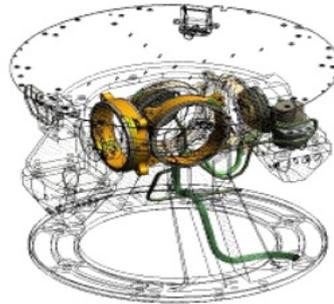


그림 13. 케이블 패스 3D 시뮬레이션
 Fig. 13. Cable Path 3D Simulation

3. RF 신호 케이블 온도시험

그림 14는 RF 신호 케이블의 온도에 따른 성능변화를 보기 위한 온도 시험 프로파일을 나타내고 있다. 충분한 온도 안정화를 위하여 2시간 안정화후 VSWR을 측정을 한다.

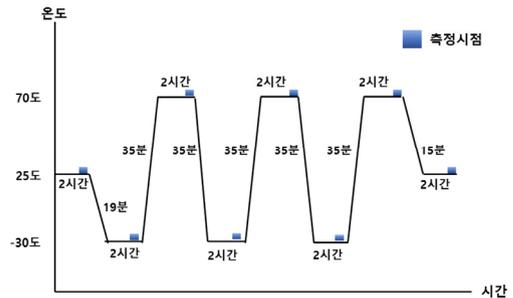


그림 14. 온도시험 프로파일
 Fig. 14. Temperature Test Profile

표 3. 시험 결과

Table 3. Test Result

주기	온도	VSWR
START	25°C	1.3854
1주기	-32°C	1.4034
	71°C	1.3235
2주기	-32°C	1.3933
	71°C	1.3381
3주기	-32°C	1.3719
	71°C	1.3003
END	25°C	1.3289

표3은 온도시험 프로파일의 결과이다. RF 케이블의 VSWR이 온도에 따라서 규격범위 안에 들어옴을 알수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 소형 추적 레이더 시스템의 케이블 설계에 대하여 설명하였다. RFI의 영향을 최소화 하기 위한 케이블 설계와 소형화 설계를 위한 컨넥터 선정 및 케이블 규격설정에 대하여 설명을 하였으며 김발과 같이 구동되는 부분에 설계되는 케이블에 대하여 3D 모델링을 통하여 케이블 설계에 대하여 설명하였다. RF 케이블의 경우 경로와 주파수에 따라서 컨넥터와 케이블 설계에 대하여 설명하였다. 또한 고온환경에 노출되는 케이블의 보호를 위한 설계에 대하여 설명을 하였다. 또한 온도 시험을 통하여 RF 케이블의 성능을 확인하였다.

References

- [1] Jaewon Lee, "Effects of the shielding of High Voltage Cables and Connectors for EV Vehicle the Radioactive Noise of the Vehicle", The Korean Society of Automotive Engineers, 2019.11, 1197-1197(1 pages)
- [2] Hu Luoquan, Zhao Runsheng, Xie Haijun, "Statistics and appraisal on the radiated emission measurement between 30 MHz and 1 000 MHz", China Radio, vol. 12, pp.56-58, 2008.
- [3] Ott, Henry W., "Noise Reduction Techniques in Electronic Svstems". John Wiley & Sons, pp. 296 - 305, New York, U.S.A., 1992.
- [4] Sergio A. Pignari and Giordano Spadacini, "Influence of Twist-Pitch Random Non-Uniformity on the Radiated Immunity of Twisted-Wire Pairs", IEEE 2011
- [5] Giordano Spadacini, "Transmission-Line Model for

Field-to-Wire Coupling in Bundles of Twisted-Wire Pairs Above Ground," IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, VOL. 56, NO. 6, DECEMBER 2014

- [6] C. Jullien, P. Besnier, M. Dunand, and I. Junqua, "Advanced modeling of crosstalk between an unshielded twisted pair cable and an unshielded wire above a ground plane," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 55, no. 1, pp. 183-194, Feb. 2013.
- [7] S. A. Pignari and G. Spadacini, "Plane-wave coupling to a twisted-wire pair above ground," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 53, no. 2, pp. 508-523, May 2011.
- [8] Zaoxu Zhu, "On the development of a heuristic routing application for the automatic wire harness design in the aircraft," 52nd AIAA, 4 - 7 April 2011, Denver, Colorado
- [9] Kazunari Yoshida, "Improvement of ductility of aluminum wire for automotive wiring harness by alternate drawing", ICTP 2014, 19-24 October 2014.
- [10] yoo-nam Kim, Deokgyu Lee, youngil Kim, "Lightweight Wire Harness using multi-serial communication". The Korean Society of Automotive Engineers Proceedings of the Autumn Conference, 1992.11, 319-330
- [11] Seungho Jin, youngil Kim, "Design and evaluation of vehicle body domain E/E architecture for simplified wiring", The Korean Society of Automotive Engineers Proceedings of the Autumn Conference, 2017.5, 644-647
- [12] C.D. Taylor and J.P. Castillo, "On the response of a terminated twisted wire cable excited by a plane-wave electromagnetic field, " IEEE Trans. Electromagn. Compat.,1980, 22(1):16-19.

저 자 소 개

김 흥 락(정회원)



- 1995년 2월 : 대구대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학사)
- 1997년 8월 : 대구대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1997년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 밀리미터파 신호처리기, 전원공급기, 밀리미터파 탐색기 등

김 윤 진(정회원)



- 1997년 2월 : 서울대학교 전기공학부 (공학사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 (공학석사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 밀리미터파 탐색기 시스템 등

우 선 결(정회원)



- 2001년 2월 : 광운대학교 전자공학부 (공학사)
- 2003년 2월 : 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2007년 7월 : 광운대학교 전파공학과 (공학박사)
- 2007년 8월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 레이더 신호처리, 밀리미터파 탐색기 등

안 세 환(정회원)



- 2004년 2월 : 송실대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2006년 2월 : 송실대학교 정보통신공학과(공학석사)
- 2007년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주요관심분야 : 초고주파 회로 설계, 마이크로파 송수신기, 밀리미터파 탐색기