

항공용 고주파 RF 모듈의 전자파 차폐 구조 연구

박상훈, 김승한*
국방기술품질원

A Study on the Electromagnetic Shield Structure of High Frequency RF Module for Aircraft

Sang Hoon Park, Seung Han Kim*
Defense Agency for Technology and Quality

요약 본 논문은 초음속 항공기에 사용되는 초고주파 UHF(Ultra High Frequency) RF 모듈의 전자파 차폐 구조에 대한 연구 결과를 제시한다. 전기, 전자기술의 발전에 따라 초음속 항공기의 이륙 및 착륙, 항로 비행, 충돌 방지, 통신에 있어 전자 장비의 역할은 증가하고 있다. 이에 따라 고주파 무선장치는 넓은 주파수 대역에 대한 지원, 소형화를 위한 초고주파 집적회로로 구현되어야 한다. 특히, 항공용 집적소자는 이를 구현함에 있어 기능과 성능의 충족도 중요하지만, 의도하지 않은 전자파 간섭으로 인한 항공기 안전 위협이 보다 중요한 설계 요소로 작용한다. 본 논문에서는 전자파에 의한 오동작 방지를 위해, 노이즈원인 RF 모듈을 감싸는 Shield Can 형태의 차폐구조를 제안하였다. 연구에 사용된 Shield Can은 Au 재질의 도체로 공기 중으로 방사하는 전자파에 비해 임피던스가 크며, 이에 따라 전자파를 흡수 전자파 방사 노이즈에 의한 영향을 감소시킬 것으로 기대되었다. 개선된 RF 모듈의 차폐 효과 검증을 위해 전기장의 입사파, 투과파의 비를 차폐 계수 SE(Shielding Effect)로 수치화하였으며, 개선 전/후 RF 모듈의 차폐 계수를 해석 비교, 분석하였다. 해석 결과 개선된 차폐 구조가 적용된 RF 모듈은 전 주파수 영역에서 기존 RF 모듈 대비 31dB 이상의 개선효과를 확인하였다.

Abstract This paper reports the electromagnetic shielding structure of ultra-high frequency (UHF) RF modules used in supersonic aircraft. With the advances in electrical and electronic technologies, the role of electronic equipment in taking off and landing supersonic aircraft, navigation, collision prevention, and communication is increasing. Accordingly, high-frequency radio devices should be implemented as ultra-high frequency integrated circuits for compacting design for wide frequency band support and aircraft interior mounting. In particular, aviation integrated devices are also crucial for implementing them, but aircraft safety threats from unintended electromagnetic interference are a more critical design factor. This paper proposes a shielding structure in the form of Shield Can that encloses the noise-caused RF module to prevent malfunctions by EM. Shield Can used in the study was expected to reduce the impact of electromagnetic radiation noise by absorbing the electromagnetic radiation, with a large impedance compared to electromagnetic waves radiating into the air as conductors, such as Au material. The shielding effect of the improved RF modules was verified by quantifying the ratio of incident and transmission waves in the electric field using the measurement-shielding factor SE (Shielding Effect). The shielding factor of the RF module before and after the improvement was measured and analyzed. As a result of the measurements, the RF modules with improved shielding structures showed improvements of 31dB over conventional RF modules over the entire frequency domain.

Keywords : RF Module, Ultra High Frequency, Shielding Effect, Radiation Noise, Electromagnetic, Supersonic Aircraft, High Frequency

*Corresponding Author : Seung_han Kim(Defense Agency for Technology and Quality)

email: seunghann@gamil.com

Received April 6, 2021

Revised April 26, 2021

Accepted July 2, 2021

Published July 31, 2021

1. 서론

전기전자 기술의 급속한 발전에 따라 항공기의 이륙 및 착륙, 항로 비행, 충돌 방지, 항공 통신에 있어 항공 전자 장비의 역할은 날로 증대하고 있다. 최신의 초음속 항공기는 임무 수행을 위해 미래 항행의 핵심 요소 CNS(Communication, Navigation, Surveillance) 항공 통신, 항법, 항공 감시 등의 기능구현을 위해 GPS 및 위성 통신을 이용함으로써 고주파 무선장치의 사용이 필수적으로 요구된다[1,2].

CNS 구현을 위한 고주파 무선장치는 보다 많고 넓은 주파수 대역을 지원할 수 있어야 하며, 장비의 소형화를 위한 초고주파 집적회로로 구현되어야 한다. 특히, 항공용 집적소자는 이를 구현함에 있어 기능과 성능의 충족성도 중요하지만, 의도하지 않은 전자파 환경과 전자장비의 오동작에 의한 항공기 안전의 위협이 보다 중요한 설계 요소로 작용 한다[3,4]. 이는 초음속 항공기의 원인불명의 간헐적 오동작은 전자기 간섭으로 인해 발생하는 것으로 추정하고 있기 때문이다.

군용 장비의 전자파 방사(Radiated Emission)에 의한 오동작 방지를 위해 전력공급시스템 변경, 내부 회로 배선 변경, Damping 저항 추가와 같은 전자파 차폐 설계 연구가 활발하게 진행되고 있다[5-8].

전자파 방사를 차단하기 위해서는 가장 일반적이고 쉬운 전자기파의 차폐 방법은 쉴드캔(Shield Can)과 같은 금속 재질로 전자파의 원천(Source)부를 둘러싸는 것이다. 완벽한 쉴드캔은 대부분의 전자파를 차폐할 수 있지만, 설계 및 제작공정의 한계로 인해 완벽한 차폐 구조를 구현하는 것은 불가능하며, 이에 따라 효과적인 방안에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 300~3,000Mhz의 UHF(Ultra High Frequency) 대역에서 통신하는 RF 모듈에 대한 전자파 차폐 구조를 설계하고, 전자기 해석을 통해 그 성능을 평가하였으며, 차폐 구조가 적용된 형상과 기존형상을 비교하고 개선안을 제시하였다.

2. 전자파 차폐구조 및 해석결과

2.1 차폐형상

차폐구조를 적용하기 위한 RF 모듈현상은 Fig. 1에서 나타낸 바와 같다. RF 모듈은 000 Mhz, 0000Mhz, 0000Mhz를 지원하는 고주파 RFIC, PMIC(Power

Management IC) 및 각종 능/수동소자가 인쇄회로 기판에 집적되어 있으며, 300~3,000Mhz 대역의 극초단파 UHF 대역에서 RF 통신 기능을 수행한다. 회로설계 및 전자기적 특성에 따라 주파수가 높을수록 전자파가 방사될 가능성이 높아지므로 본 RF 모듈은 전자파 방사를 차단하기 위한 차폐구조 설계가 요구되며[9], 적용된 RFIC의 고출력 특성에 따라 주변 부품 및 장비에 영향을 미칠 가능성을 차단할 수 있는 차폐설계가 필요하다.

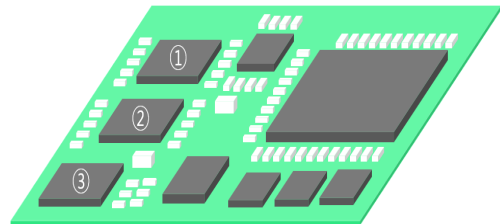


Fig. 1. RF Communication Module

전자파 차폐 구조 설계는 Fig. 2과 같은 흐름도로 진행되었다. 먼저, 기존 RF 모듈의 전자파 차폐 특성을 해석하고 이를 제안된 차폐 구조와 비교, 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 추가 개선방안을 도출, 타당성을 확인하고, 최종 개선안을 선정하였다.

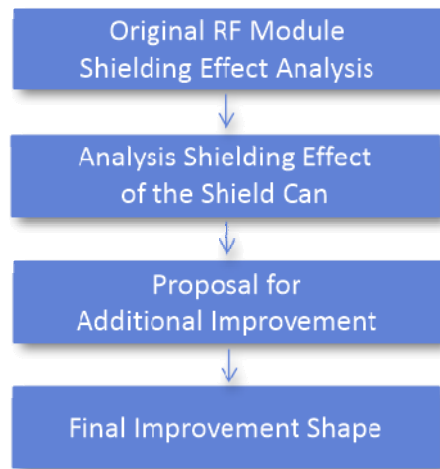


Fig. 2. Flow chart for RF Module

본 연구에서는 Fig. 1의 RF 모듈에서 발생하는 전자파를 차폐하기 위해 Fig. 3과 같이 RF 모듈을 감싸는

Shield Can을 적용하였다. Fig. 3에서와 같이 Shield Can은 모듈의 특성과 제조공정의 한계로 인해 모듈 전체를 감싸지 못하여 PCB와의 Gap이 존재한다. Shield Can은 2 μ m 두께의 Au 도체, 내부의 Epoxy 수지로 구성되며, 면당 2개 총 8개의 Bonding Wire를 사용하여 RF 모듈의 접지면(Ground)과 접속하였다.

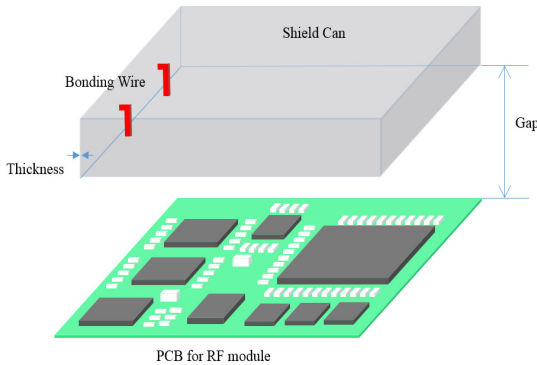


Fig. 3. RF Communication Module with Designed Shield Structure

본 연구에서는 Table 1과 같이 세 가지 구조에 대한 해석을 통해 차폐 성능을 비교하였다. A 구조는 Shield 가 적용되지 않은 RF 모듈이고, B 구조는 Fig. 3와 같이 Bonding Wire로 RF 모듈과 차폐 구조 사이의 200 μ m Gap을 가진 Shield Can 이 적용된 형태이며, C 구조는 RF 모듈과 차폐구조의 Gap이 없는 이상적 상태의 Full shield 이다.

Table 1. Shield Structure for Shielding Effect Comparison

	A Non-shield	B Designed Shield	C Ideal Shield
Gap	-	200 μ m	No-Gap
Bonding Wire	-	8 bond-wire	8 bond-wire
Shield Can	-	Applied	Applied

2.2 차폐효과 해석조건

전자파는 특정 매질을 만나게 되면 매질의 특성에 따라 반사와 흡수가 일어나면서 매질을 통과하는 에너지의 크기가 감쇠 되는데, 이 감쇠되는 정도를 차폐효과라고

한다. 차폐효과는 입사된 전자파와 투과된 전자파의 크기 비율로 Eq. 1과 같이 정의하며, E1, H1은 각각 입사파 전계, 자계를 나타내고, E2, H2는 매질을 통과하여 전달된 전계, 자계를 나타낸다[10]. 차폐 효과 Shielding Effect(이하 SE)는 값이 작을수록 입사파 대비 투과파가 작으며 차폐효과가 큰 것으로 판단할 수 있다.

$$SE(dB) = 20\log\frac{E_1}{E_2} = 20\log\frac{H_1}{H_2} \quad (1)$$

차폐효과 해석을 위해 FEM(Finite Element Method) 방식의 상용 전자기파 해석 프로그램을 사용하였으며, Fig. 4와 같이 송신 안테나(Plane Wave), 수신 안테나(Radiation Boundary)를 구성하여 입사, 투과 전기장의 비를 도출 하였다. 해석 주파수는 RFIC의 동작 주파수인 000Mhz, 0000Mhz, 00000Mhz 이며, 각 주파수, 구조별 차폐효과를 비교, 분석 하였다.

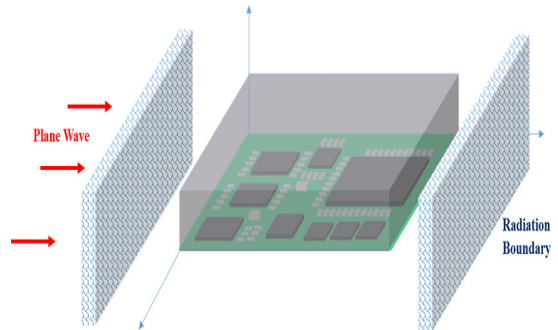


Fig. 4. Shielding Effect Analysis Condition

2.3 해석결과

Table 1에서 제시된 차폐구조에 대한 주파수 대역별 전자기 해석 결과는 Table 2와 같다. 저대역 000Mhz에서 구조 A(Non-Shield), B(Designed Shield), C(Ideal Shield)에 대한 최대 차폐효과 SE는 각각 -10.85dB, -52.27dB, -90.26dB 이며, 중대역 0000Mhz에서 구조 A, B, C에 대한 최대 차폐효과 SE는 각각 -10.85dB, -38.1dB, -84dB이다. 또한, 고대역 00000Mhz에서 구조 A, B, C에 대한 최대 차폐효과 SE는 각각 -10.8dB, -37.1dB, -83.6dB인 것을 확인할 수 있다.

Table 2에서 보여지는 바와 같이 전체적으로 주파수 대역 및 해석 구조와 관계없이 RF 모듈 중심부에서의 전계강도가 낮음을 확인할 수 있으며, 주파수 파장 특성에

Table 2. Shielding Effect Simulation Results for RF module with Shield structures

Mode	OOOMHz(Low Band)			OOOOMHz(Middle Band)			OOOOMHz(High Band)		
Result									
SE (Max.)		Result	Compare to Original		Result	Compare to Original		Result	Compare to Original
	Original	-10.85dB	-	Original	-10.8dB	-	Original	-10.8dB	-
	Shield	-52.27dB	-41.42dB	Shield	-38.1dB	-27.3dB	Shield	-37.1dB	-26.3dB
	Full shield	-90.26dB	-79.41dB	Full shield	-84dB	-73.2dB	Full shield	-83.6dB	-72.8dB

의해 주파수 대역이 높을수록 차폐효과가 낮은 것을 확인할 수 있다. 구조에 따라서는 Gap이 없는 이상적 상태의 구조 C에서 대부분의 전자파를 차폐할 수 있지만, 설계 및 제작공정의 한계로 인해 완벽한 차폐 구조를 구현하는 것은 불가능하므로 제안된 구조 B를 통해 효율적인 차폐가 가능함을 확인할 수 있다. 다음 장에서는 제안된 구조 B 형상을 최적화하여 가장 효과적인 차폐 방안에 대한 추가적인 해석을 수행하였다.

3. 전자파 차폐구조 개선

Designed Shield 구조는 RF 모듈과 Shield Can 사이의 Gap이 존재하며, 이에 따라 RF 모듈과 Shield 사이의 전기적으로 접촉하는 부분은 Bonding Wire에 한정된다. 따라서, 이상적 상태의 Ideal Shield 구조에 비해 전기적 접촉성이 떨어지며, 본 연구에서는 Bonding Wire 변경을 통해 전기적 접촉성을 개선하여 차폐 효과를 증대시키는 개선방안을 도출하였다. 전기적 접촉성을 개선하기 위한 Bonding Wire 변경은 Table 3과 같이 Bonding Wire 개수를 기존 2개에서 3,4개로 변경하는

방안, Bonding Wire의 두께를 50 μ m에서 100 μ m로 증가시켜 전기적 접촉성을 증가하는 2가지 개선방안을 도출하고 개선 형상의 타당성 및 영향성을 분석하였다.

Table 3. Proposed Shield Structure Improvement

	Number of Bonding Wire	Thickness of Bonding Wire
Original	2-Wire/Side	50 μ m
Advanced	3~4Wire/Side	100 μ m

3.1 Bonding Wire 개수 증가

기존 차폐 구조는 Fig. 5의 파란색 Bonding Wire와 같이 차폐 구조 면당 2개씩 총 8개의 Bonding Wire로 연결된 구조로, 완전하게 RF 모듈을 감싸는 Full Shield 구조에 비해 전기장 차폐에 불리하였다. 차폐 효과 개선을 위해 Fig. 5의 하늘색, 붉은색의 Bonding Wire와 같이 면당 2개에서 3, 4개로 늘리며 해석을 진행하였으며, 해석 결과를 Table 4에 정리하였다.

해석 결과 3-Wire 구조에서 SE(Max.) 값은 저대역

000Mhz, 중대역 000Mhz, 고대역 0000Mhz 각각 -55.2dB, -40.2dB, -39.5dB 이며, 기존 2-Wire Shield 구조 대비 대역별로 -2.93db, -2.1dB, -2.4dB가 개선되었다. 4-Wire 구조에서는 저대역, 중대역, 고대역에서의 최대 차폐효과 SE는 각각 -56.3dB, -42.1dB, -41.2dB로 해석되었으며, 기존 RF 모듈 대비 -4.13db, -4dB, -4.1dB가 개선됨을 확인하였다. 분석 결과 Bonding Wire 추가에 따라 RF 모듈과 차폐구조의 전기적 접촉성이 증가하며 이에 따라 전자파 차단효과가 증가하는 것을 확인하였다.

3.2 Bonding Wire 두께 증가

차폐 구조의 Bonding Wire 두께 증가를 통한 차폐 효과에 영향성을 분석하였다. Fig. 5에서 Bonding Wire 를 4개로 설정한 형상에서 Bonding Wire 두께를 기존 50 μ m에서 100 μ m로 증가시켜 차폐 효과 증가에 대한 해석을 수행하고 이를 Table 5에 정리하였다.

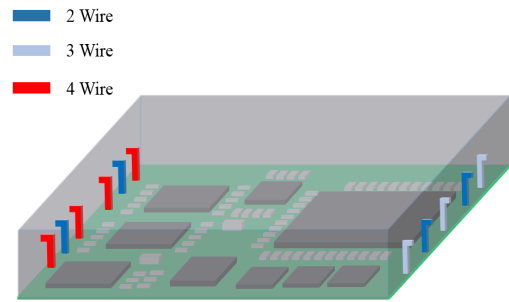


Fig. 5. Shield structure with Bonding Wires

해석 결과 Bonding Wire 100 μ m에서 SE(Max) 값은 저대역 000Mhz, 중대역 0000Mhz, 고대역 0000Mhz 각각 -57.2dB, -43.2dB, -42.1dB로 기존 50 μ m 대비 -0.9dB, -1.1dB, -0.9dB의 개선을 확인하였다. 이 결과 또한 Bonding Wire 추가에 따라 RF 모듈과 차폐 구조의 전기적 접촉성을 향상시켜 차폐율에 영향을 준 것이라 판단할 수 있다.

Table 4. Shielding Effect Simulation Results corresponding to the number of Wires

Mode	000Mhz(Low Band)		0000Mhz(Middle Band)		0000Mhz(High Band)				
Result									
		Result	Compare to 2Wire	Result	Compare to 2Wire	Result	Compare to 2Wire		
	2Wire	-52.27dB	-	2Wire	-38.1dB	-	2Wire	-37.1dB	-
	3Wire	-55.2dB	-2.93dB	3Wire	-40.2dB	-2.1dB	3Wire	-39.5dB	-2.4dB
4Wire	-56.3dB	-4.03dB	4Wire	-42.1dB	-4.0dB	4Wire	-41.2dB	-4.1dB	

Table 5. Shielding Effect corresponding to Bonding wire thickness

Test Parameter	Bonding Wire Thickness	
	50 μ m (Original)	100 μ m (Advanced)
○○Mhz (Low Band)	-56.3dB	-57.2dB
○○○Mhz (Middle Band)	-42.1dB	-43.2dB
○○○○Mhz (High Band)	-41.2dB	-42.1dB

4. 결론

본 연구에서는 UHF 대역을 사용하는 초고주파 RF 모듈의 차폐 구조에 대한 연구를 수행하였다. 초고주파 RF 모듈은 넓은 주파수 대역폭, 항공 전자장비의 소형화를 위해 사용되나, 전자파 방사가 쉽게 일어나는 특징으로 전자파 차폐 구조에 대한 연구가 필요하였다. 본 논문에서는 RF 모듈의 전자파 방사 차단을 위해 RF 모듈을 감싸는 형태인 Shield Can 형태의 차폐 구조를 제안하고 기존 RF 모듈과 차폐 효과(SE)를 비교하여 개선사항에 대한 타당성 검증을 실시하였다.

전자기 해석 결과 Shield Can 적용으로 차폐 효과를 확인할 수 있었으며, 추가 개선안으로 Bonding Wire 개수 증가, 두께 증가를 통해 전기적 접촉성을 향상시켜 차폐 효과를 증대 하였다. 개선안을 모두 적용한 최종 형상은 기존 대비 저대역 ○○○Mhz, 중대역 ○○○○Mhz, 고대역 ○○○○Mhz에서 각각 -46.35dB, -32.4dB, -31.3dB가 개선되었다.

본 연구에서 제안된 전자파 차폐 형상은 전자기 간섭에 의한 오동작을 방지하며 비행안전성, 운용성 및 신뢰성을 향상시켰다. 또한, 본 연구 결과를 통해 얻은 초고주파 영역의 전자파 차폐 기법은 유사 항공전자 장비 및 초고주파 모듈의 전자파 차폐 형상 연구에 활용 할 수 있을 것으로 판단된다.

References

[1] T. K. Lee, J. W. Lee "EMI/C trend of electronic devices on board aircraft", The Proceeding of the Korea Electromagnetic Engineering Society, Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol.18, No.1, p. 51-64, 2007.01

[2] S. Y. Kim, "Aircraft EMC technology trend", The Proceeding of the Korea Electromagnetic Engineering Society, Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol.31, No.1, p. 60-71, 2020.01

[3] S. I. Jung, "PCB design technology", Jinhan M&B, p. 280-281

[4] Seok Bae, Don-Chul Choi, Soon-Young Hyun, Sang Won Lee, "Electromagnetic shielding principle and related technology trends", Journal of the Korean Magnetics Society, The Korean Magnetics Society, Vol.23, No.2, p. 68-76, 2013.4

[5] Y. M. Kang, "Electromagnetic shielding principle and related technology trends", The Korean Institute of Electrical Engineers, The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.68, No.1, p. 31-37, 2019.1

[6] Suk Ho Seo, Ki Beom Ku, Ji Hoon Kim, Dae San Oh, "Improvement of Broadband Radiated Emission Noise in Military Tactical Vehicle by Using Additional Alternator in Engine", Journal of the Korea Academia-Industrial, Vol.21, No.9, p.397-404, 2020.9 DOI:<https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.9.397>

[7] J. H. Park, "Inverter electromagnetic wave application standards and countermeasures for military equipment", Abstract of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Conference, The Korean Institute of Power Electronics, Vol24, No 4, p.63-69, 2019.8

[8] J. H. Kim, "A Study for un-intended input blocking method of KF-X MFD touch-screen cause by external electromagnetic noise", Abstract of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences Conference, The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, p.705-706, 2020.11

[9] S. I. Jung, "PCB design technology", Jinhan M&B, p. 22-23

[10] T. W. Kim, J. H. Lee, "Electromagnetic Shielding Effectiveness of CFRP Panels, MLI, and RF Screens for Spacecraft Applications", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol.31, No.11, p. 947-955, 2020.11 DOI:<http://dx.doi.org/10.5515/KJIEES.2020.31.11.947>

박 상 훈(Sang-hoon Park)

[정회원]



- 2015년 8월 : 울산대학교 전기전자공학부 (공학학사)
- 2015년 7월 ~ 2019년 12월 : 덴소코리아 연구원
- 2019년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

전자공학, 항공공학

김 승 한(Seung Han Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 광주과학기술원 기전공학부 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 2014년 7월 : LG 전자 차세대통신연구소 선임연구원
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원 재직

<관심분야>

항공무기체계, 항공전자, 무장