JANT 한국항행학회논문지
Journal of Advanced Navigation Technology

항공 우주 해상

J. Adv. Navig. Technol. 22(5): 351-358, Oct. 2018

항공용 모터 조립체의 전자기 간섭 감쇠 방안

Electromagnetic Interference Suppression Method of Motor Assembly for Aircraft Application

김 지 흥 · 유 홍 균 · 박 범 준 · 박 영 주*
국방과학연구소

Jee-Heung Kim · Hong-Kyun Ryu · Beom-Jun Park · Young-Ju Park*
Agency for Defense Development

[요 약]

본 연구에서는 개발된 모터 조립체의 누설 잡음신호 감쇠 방안을 시험을 통해 제안한다. 개발된 장치는 항공기 외부에 장착되어 안테나를 회전시키기 위한 장치로서 전자기 간섭 측면에서 MIL-STD-461F의 RE102 요구규격을 충족해야한다. RE102 시험결과를 통해 장치의 누설 잡음신호가 전원 및 제어 케이블을 통한 외부 유입과 모터 회전에 의해 발생됨을 확인하였다. 그리고 회전을 위해 내·외부의 물리적 차폐가 어려운 부분에서 잡음신호가 누설됨을 확인하였다. 누설 잡음신호에 대한 감쇠를 위해 장치 동작을 고려한 전기적 접지 보강, 전기적 차폐 구조를 적용하여 시험을 수행했고 규격 충족 여부를 확인하였다. 최종적으로 잡음누설 경로에 맞물리는 형태를 갖는 원형 주름 초크 구조와 전도성 그리스를 함께 적용하여 요구규격을 충족함을 확인하였다.

[Abstract]

In this study, we propose a method of suppressing the leakage noise signal of motor assembly through the test. The motor assembly is mounted on outside of the aircraft to rotate an antenna and must satisfy RE102 requirement on MIL-STD-461F in terms of electromagnetic interference. It is confirmed by RE102 test result hat the leakage noise signal of the equipment occurs due to external influx through the power and control cable and rotation of the motor. And it is ascertained that the part where internal/external physical shielding is difficult to rotate is the leakage path. To reduce the leakage noise signal, the electrical ground reinforcement and the electric shielding structure considering the operation of the equipment is applied and it is verified that the requirement is satisfied. Finally, we verified that required specification are met by applying circular corrugated choke with interlocking shapes and conductive grease to the noise leakage path.

Key word : Electromagnetic interference(EMI), RE102, Radiation emission, Electric shielding, Electrical grounding.

https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.5.351

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(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 23 August 2018; **Revised** 1 October 2018
Accepted (Publication) 24 October 2018 (30 October 2018)

***Corresponding Author; Young-Ju Park**

Tel: +82-10-6209-9359
E-mail: longpole89@gmail.com

Ⅰ. 서 론

군용으로 개발된 전자장비들은 장비의 신뢰성 확보와 타 장비들과의 전자파 간섭을 최소화하기 위해 미국 최신 군사표준서 MIL-STD-461F의 관련 요구규격들을 충족시켜야 한다[1]. 규격서는 전자파의 전달 경로인 방사(radiation)와 전도(conductive)조건에서 방출(emission)과 감응성(susceptibility)에 대한 규격을 규정하고 있다.

모터의 경우, 외부로 돌출되어 회전하는 샤프트(shaft)부분은 내·외의 물리적 차폐가 불가능하여 내부 잡음신호의 누설로 인해 방사잡음(RE; radiation emission) 관련 요구규격을 충족시키기 어렵다. 이는 해당 부분에 금속 베어링(bearing) 또는 부싱(bushing)을 적용하여 접지 확보를 통해 누설 잡음신호 레벨을 감쇠시킬 수 있지만 마찰로 인해 부품과 모터에 마모 및 파손이 발생할 수 있다는 단점이 있다. 일반적으로 모터에 적용하는 전자파 간섭 제거 방안으로는 모터의 동작시 내부에서 발생하는 잡음 신호의 누설을 방지하기 위한 금속 재질의 하우징(housing)과 엔드 캡(end-cap) 적용, 하우징 표면의 전류 흐름을 고려한 벤트 홀(vent hole) 형상변경 및 배치, 인덕턴스(inductance) 및 잡음 발생 제거를 위한 전원선 배치 및 전원을 통한 잡음 인입 방지용 필터 적용 등이 있다. 그리고 PWM (pulse width modulation) 제어방식의 DC (direct current)모터의 경우 스위칭 회로에 대한 튜닝을 통한 잡음신호 감쇠 방안이 적용된다[2]-[4].

본 연구에서는 항공기 외부에 장착되어 안테나를 회전시키기 위해 개발한 모터 조립체(이하 '장치')의 누설 잡음신호 감쇠방안을 시험을 통해 제안한다. 개발된 장치는 정밀한 회전 제어와 항공기 장착을 고려하여 경량 및 소형, 저소비전력 특성을 갖는 직접구동(direct drive) 방식의 모터를 적용하였다. 장치는 타 장치들과의 전자기 적합성(EMC; electromagnetic compatibility)을 위해 내·외부가 차폐된 금속 하우징을 적용하였으며, 전원으로부터 입력되는 잡음신호 차단을 위해 전원부에 EMI (electromagnetic interference) 필터를 설치하였다. 내·외부의 물리적 차폐가 불가하여 전자파 누설에 취약한 회전부에 대해서는 시험적 분석을 통해 전기적 차폐 방안을 구상 및 적용하였으며, 요구되는 RE102시험 요구규격을 충족하였다.

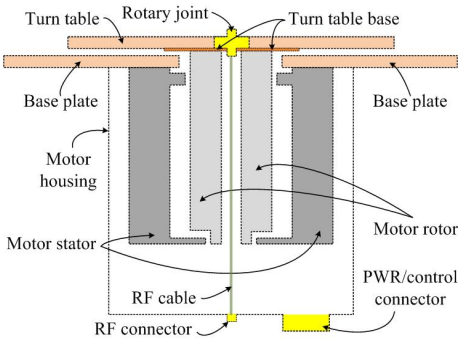


그림 1. 장치의 단면도
Fig. 1. Cross section view of the equipment.

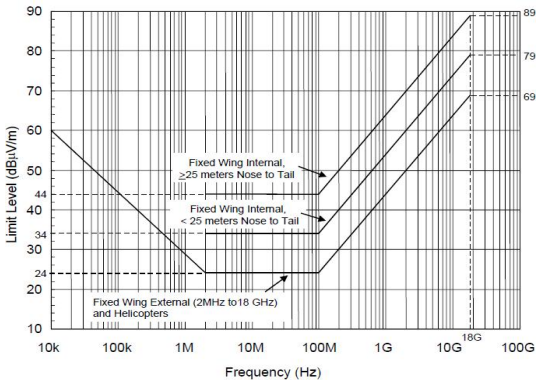


그림 2. 항공기 및 우주시스템의 RE102 제한치
Fig. 2. RE102 limits for aircraft and space system applications.

논문의 구성은 2장에서 장치의 형상과 RE102시험구성에 대해 설명하고 3장에서 RE102시험결과와 분석 내용을 기술하였다. 4장에서는 요구 규격을 충족시키기 위한 누설 잡음신호 감쇠방안과 시험결과, 5장에서는 4장의 시험결과에 대한 분석 내용을 기술하였다. 그리고 마지막 6장에서는 결론을 맺었다.

Ⅱ. 모터 조립체의 형상 및 RE102 시험 구성

그림 1은 본 연구에서 개발한 장치의 개략적인 단면도를 보여준다. 장치의 모터는 모터 하우징(motor housing)과 베이스 플레이트(base plate) 내부에 위치하며, 고정자(stator)와 회전자(rotor)로 구성된다. 모터의 고정자 내부에는 회전자가 위치하며 고정자는 베이스플레이트와 연결된다. 회전자는 베이스 플레이트 중심의 빈 공간을 통해 턴테이블 베이스(turn table base)와 연결된다. 회전자 내부 중심의 빈 공간에는 턴테이블(turn table)에 체결된 로터리 조인트(rotary joint)로부터 모터 하우징 하단의 RF (radio frequency) 커넥터를 연결하는 RF 케이블이 위치한다. 턴테이블은 턴테이블 베이스와 체결되어 회전자와 함께 회전하게 된다. 장치의 전원 및 제어는 하단에 위치한 전원 및 제어 커넥터(PWR/control connector)로부터 입력받는다.

RE102 시험은 시험 대상 장치(EUT; equipment under test) 및 관련 케이블에서 방출되는 전기장의 세기가 요구규격 이하임을 확인하는 시험으로, 그림 2는 항공기 및 우주시스템에 적용되는 장치들에 대한 RE102 제한치를 보여준다. 장치는 공군용 항공기의 외부에 장착되는 장치이므로 주파수 범위에 대해 고정익 외부(fixed wing, external)의 제한치를 충족해야한다.

그림 3은 RE102 시험구성을 보여준다. 장치는 회전시 안전을 위해 고정치구 내에 고정하였다. 그리고 장치의 상단 턴테이블에는 안테나 조립체를 체결하고 RF케이블로 연결하였다. 장치 우측 2단 랙 상단에는 장치에 대한 전원공급과 회전 제어를 위한 모터제어 장치가 위치하며, 장치 하단의 전원 및 제어 커넥터와 전원 및 제어 케이블로 연결된다. 그리고 장치 하단에 위치한 RF 커넥터는 50 Ω termination 을 사용하여 정합하였다.

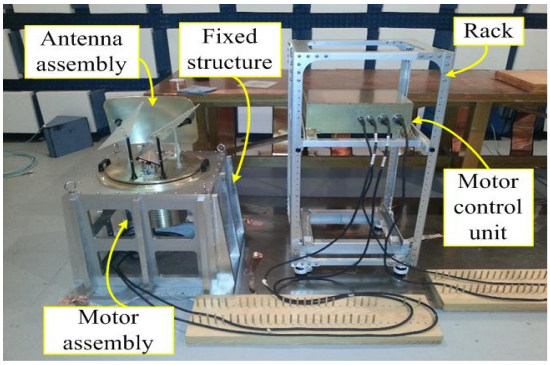


그림 3. RE102 시험구성
Fig. 3. Configuration of the RE102 test.

Ⅲ. 모터 조립체의 잡음신호원 분석

장치의 RE102 시험 수행 전, 장치에 전원이 인가된 상태에서 측정한 주위 잡음(ambient noise)이 요구 규격 이하이고 시험 대상 외 장치 및 케이블들이 RE102 요구 규격을 충족하는 것을 확인하였다. 장치의 RE102 시험은 장치의 출력 잡음신호가 최대가 될 수 있도록 장치 최대 동작 조건인 200 RPM (revolution per minute) 을 기준으로 하였다.

그림 4는 수직편파, 2 ~ 1000 MHz 주파수 대역에 대한 장치의 RE102 시험결과를 보여준다. 시험결과를 보면 11 MHz 부근, 70 ~ 200 MHz 사이, 400 MHz 부근에서 잡음신호가 요구 규격을 초과했고 40 ~ 200 MHz, 360 MHz 부근에서는 요구되는 마진을 충족하지 못했다. 요구규격 충족을 위해서는 잡음신호가 발생하는 부분을 확인한 후, 적합한 전기적 차폐방안을 적용해야한다. 장치의 잡음신호원은 전기 신호가 입력되는 모터와 전원 및 제어 케이블이 위치한 모터 고정부 하단으로 구분할 수 있다. 모터의 경우 회전시 잡음신호가 발생할 수 있으며, 전원 및 제어 케이블은 외부 잡음신호의 유입경로가 될 수 있다.

우선 외부 입력 신호에 의한 영향을 확인하기 위해 전원 및 제어 케이블이 위치한 부분을 전기적으로 차폐한 후, RE102 시험을 수행하였다. 그림 5(a), (b)는 슬립링(slip ring)을 적용한 장

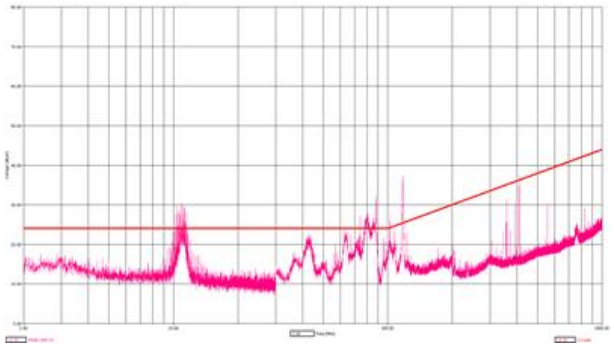
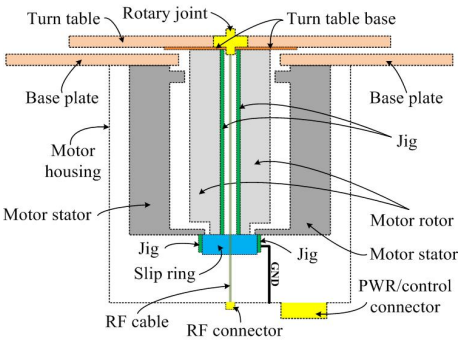
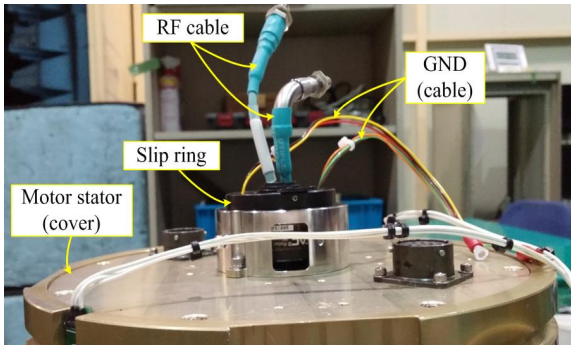


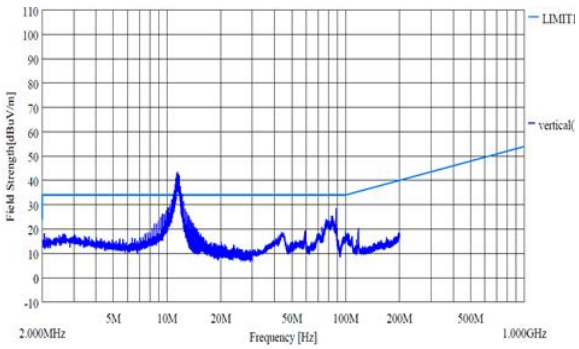
그림 4. RE102 (수직편파, 2 ~ 1000 MHz) 시험결과
Fig. 4. RE102 test result. (Vertical polarization, 2 ~ 200 MHz)



(a) Cross section view of the equipment with slip ring



(b) Picture of the equipment with slip ring

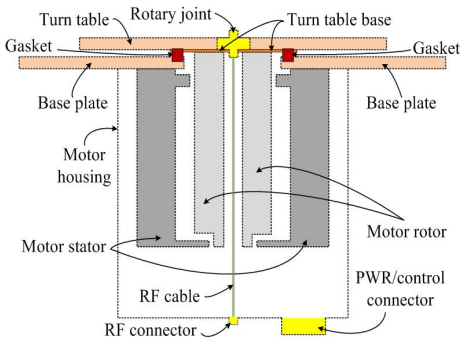


(c) RE102 test result (vertical polarization, 2 ~ 1000 MHz)

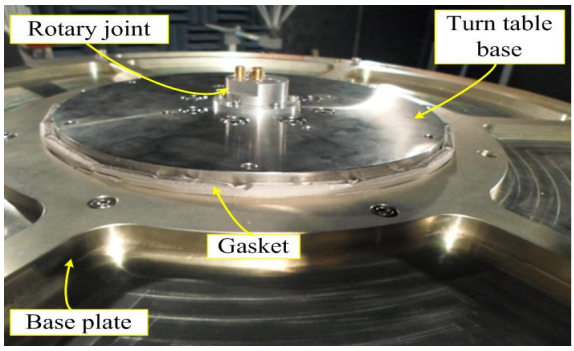
그림 5. 슬립링 적용 형상 및 시험결과
Fig. 5. Configuration and test result of the equipment with slip ring.

치의 단면도와 사진을 보여준다. 슬립링은 지그(jig)를 통해 모터와 전원 및 제어 신호선이 위치한 부분을 전기적으로 차폐할 수 있도록 설치되어 전원 및 제어 신호선을 통해 입력된 외부 신호가 모터를 통해 외부로 누설되는 것을 방지한다.

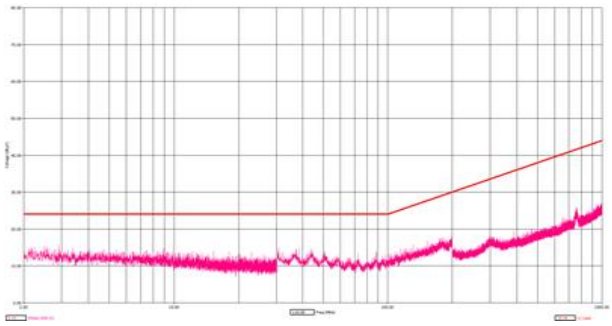
그림 5(c)는 슬립링이 적용된 장치의 수직편파, 2 ~ 200 MHz 주파수 대역에 대한 RE102 시험결과를 보여준다. 시험결과를 보면 70 ~ 200 MHz 사이, 400 MHz 의 잡음신호는 세기가 감소하여 요구 규격을 충족했지만, 11 MHz 부근의 잡음신호 세기는 적용 전과 동일하게 변화가 없는 것을 확인할 수 있다.



(a) Cross section view of the equipment with conductive gasket



(b) Picture of the equipment with conductive gaskets



(c) RE102 test result (Vertical polarization, 2 ~ 1000 MHz)

그림 6. 전도성 가스켓 적용 형상 및 시험결과
Fig. 6. Configuration and test result of the equipment with conductive gaskets.

시험결과를 통해 70 ~ 200 MHz 사이의 잡음신호원은 전원 및 제어 케이블 부분이며, 케이블을 통해 외부로부터 유입되는 잡음신호가 존재함을 알 수 있다.

다음은 모터의 회전에 의한 잡음신호 영향을 확인하기 위해 베이스 플레이트와 턴테이블 사이를 차폐하여 RE102 시험을 수행했다. 그림 6(a), (b)는 턴테이블 베이스와 베이스 플레이트 사이에 전도성 가스켓을 적용한 단면도와 사진을 보여주고, 그 전도성 가스켓이 적용되지 않은 시험결과(그림 4)와 슬립링을 적용한 시험결과(그림 5(c))들과 비교하면 잡음신호의 세기가 전반적으로 감소하여 시험 주파수 전 대역에서 요구 규격을 충족함을 확인할 수 있다.

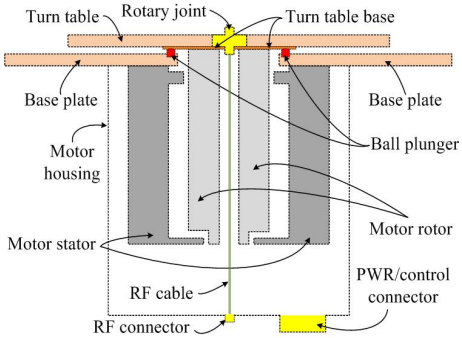
위의 두 시험결과를 통해 장치의 잡음신호는 외부 입력과 내부 발생이 원인이며, 잡음신호의 누설 경로는 모터의 회전을 위해 물리적 차폐가 어려운 턴테이블과 턴테이블 베이스 부분임을 확인하였다. 따라서 장치에 요구되는 RE102 규격 충족을 위해서는 해당 지점에 대한 전기적 차폐 방안을 적용해야한다. 확인 시험에서 적용했던 전도성 가스켓을 이용한 차폐방안은 모터 회전에 의한 마모로 인해 적용이 어렵다.

다음 장에서는 장치의 동작을 고려한 잡음신호의 누설경로에 대한 전기적 차폐 방안과 시험결과에 대해 기술하였다.

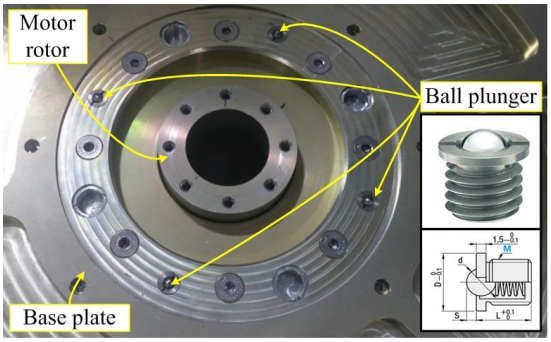
Ⅳ. 누설 잡음신호 감쇠를 위한 방안 적용

4-1. 볼 플랜저를 적용한 방안

그림 7(a), (b)는 볼 플랜저(ball plunger)를 적용한 장치의 단면도와 사진을 보여준다. 볼 플랜저는 원통형 하우징의 한쪽 원형 개구면에 구형 금속 볼(ball)이 위치하고 하우징 내부에 스프링이 위치하여 볼을 외부로 밀어주는 구조를 갖는다. 볼 플랜저는 베이스 플레이트 내측에 90 ° 간격으로 총 4곳에 설치했고,

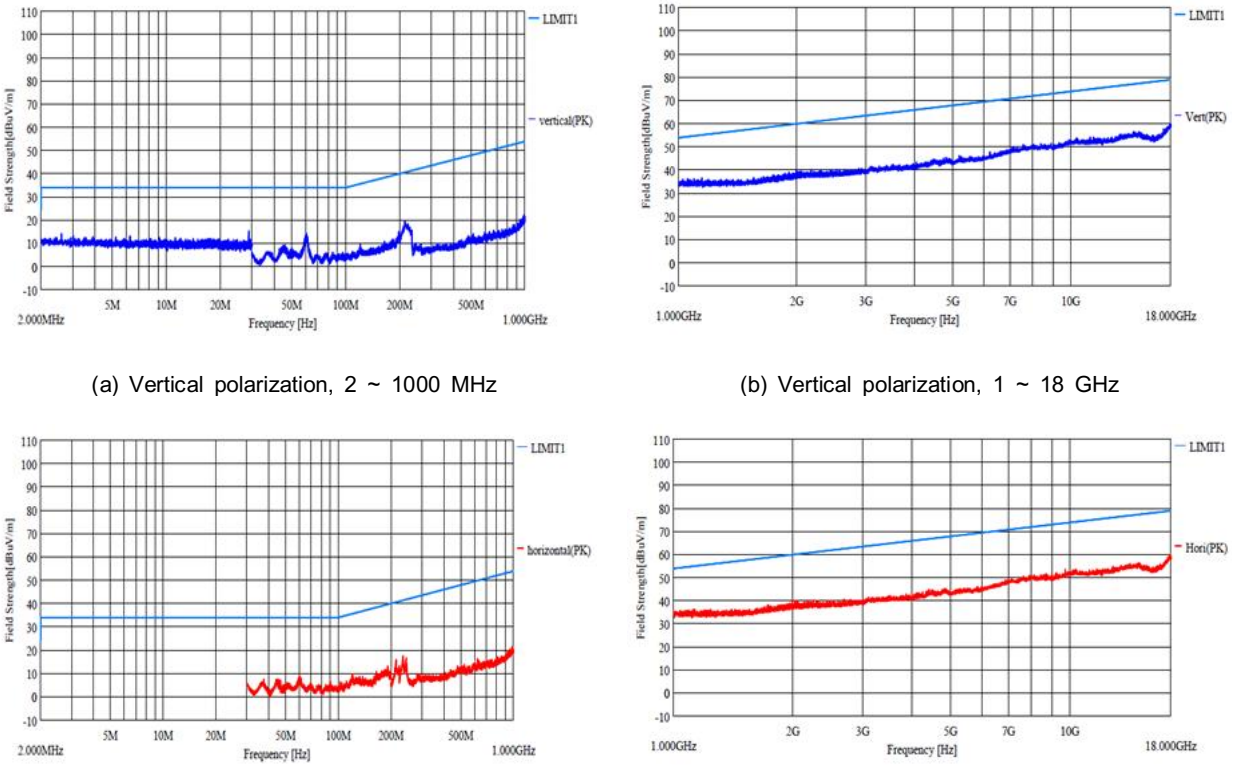


(a) Cross section view of the equipment with ball plunger



(b) Picture of the equipment with ball plunger

그림 7. 볼 플랜저 적용 형상
Fig. 7. Configuration of the equipment with ball plunger.



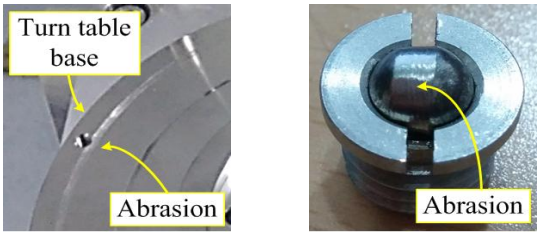
(a) Vertical polarization, 2 ~ 1000 MHz

(b) Vertical polarization, 1 ~ 18 GHz

(c) Horizontal polarization, 30 ~ 1000 MHz

(d) Horizontal polarization, 1 ~ 18 GHz

그림 8. 볼 플랜저를 적용한 장치의 RE102 시험결과
Fig. 8. RE102 test results of the equipment with ball plunger.



(a) Turn table base

(b) Ball plunger

그림 9. 턴테이블 베이스와 볼 플랜저의 마모
Fig. 9. Configuration of abrasion of turn table base and ball plunger.

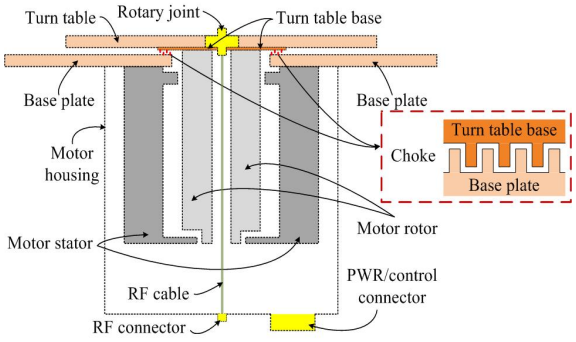
볼 플랜저의 볼을 턴테이블 베이스와 맞닿도록 설치하여 턴테이블이 회전할 때에도 턴테이블과 턴테이블 베이스 사이의 접지가 유지될 수 있도록 하였다.

그림 7(a), (b)는 볼 플랜저를 적용한 장치의 단면도와 사진을 보여준다. 볼 플랜저는 원통형 하우징의 한쪽 원형 개구면에 구형 금속 볼(ball)이 위치하고 하우징 내부에 스프링이 위치하여 볼을 외부로 밀어주는 구조를 갖는다. 볼 플랜저는 베이스 플레이트의 내측에 90 ° 간격으로 총 4곳에 설치했으며, 볼 플랜저의 볼을 턴테이블 베이스와 맞닿도록 설치하여 턴테이블이 회전할 때에도 턴테이블과 턴테이블 베이스 사이의 접지가 유지될 수 있도록 하였다.

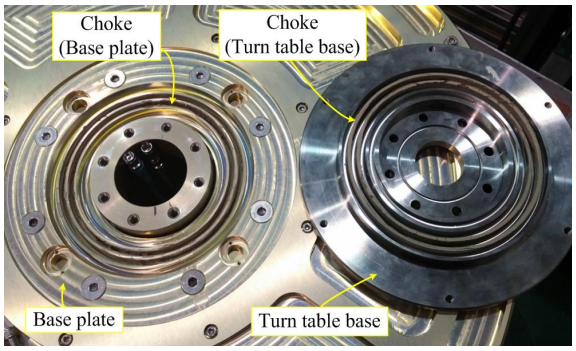
그림 8은 볼 플랜저를 적용한 장치의 RE102 시험결과를 보여준다. 측정은 안테나의 제한으로 인해 수직편파는 2 MHz ~ 18 GHz, 수평편파는 30 MHz ~ 18 GHz에 대해 수행하였다. 시험결과를 보면 수직·수평편파 모두 전 주파수 대역에서 규격을 충족함을 확인할 수 있다. 그러나 장치의 회전시 볼 플랜저와 턴테이블의 접촉부위에 마모가 발생하게 된다. 그림 9는 약 90 분 회전 후 턴테이블과 볼 플랜저의 마모 상태를 보여준다. 따라서 볼 플랜저를 적용한 방안은 잡음신호 감쇠에 효과적이지만, 장치에 파손이 발생할 수 있기 때문에 적용하기 어렵다.

4-2 원형 주름 초크 구조를 적용한 방안

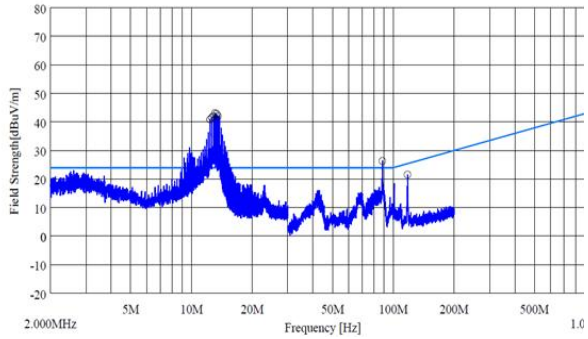
다음은 잡음 누설경로의 외부 개구면적을 최소화하고 누설경로의 길이를 증가시켜 외부로 누설 잡음신호의 세기를 감소시키기 위한 원형 주름 초크(corrugated choke) 구조를 적용하였다. 그림 10(a), (b)는 원형 주름 초크가 적용된 장치의 단면도와 형상을 보여준다. 원형 주름 초크는 턴테이블 베이스와 베이스 플레이트의 중심부에 각각 구성했으며, 회전시 마찰이 발생하지 않도록 간격을 갖고 맞물린 형상으로 결합된다.



(a) Cross section view of the equipment with circular corrugated choke



(b) Picture of the equipment with circular corrugated choke



(c) RE102 test result (vertical polarization, 2 ~ 1000 MHz)

그림 10. 원형 주름 초크 적용 형상 및 시험결과
Fig. 10. Configuration and test result of the equipment with circular corrugated choke.

그림 10(c)는 원형 주름 초크 구조가 적용된 장치의 수직편파, 2 ~ 200 MHz 주파수 대역에 대한 RE102 시험결과를 보여준다. 시험결과를 보면 3 MHz 이하와 10 MHz에서는 잡음신호 세기가 잡음신호 감쇠방안이 적용되지 않는 시험결과(그림 4)보다 증가하여 요구 마진 및 규격을 충족하지 못했다. 그리고 기존 11 MHz 부근에서 발생했던 잡음신호는 약 15 MHz로 주파수를 이동하여 발생했다. 40 ~ 200 MHz 사이의 잡음신호는 전체적으로 세기가 감소했지만, 90 MHz 과 120 MHz 부근에서

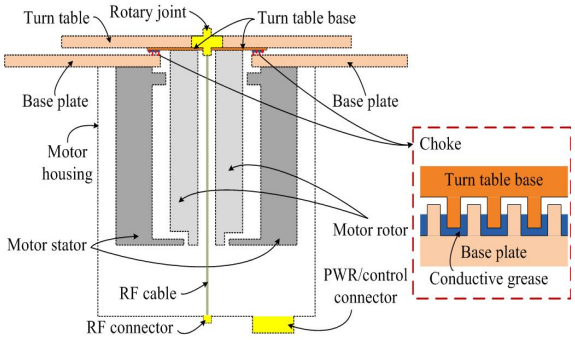


그림 11. 원형 주름 초크와 전도성 그리스 적용 단면도
Fig. 11. Cross section view of the equipment with circular corrugated choke and conductive grease.

각각 요구 규격과 마진을 충족하지 못했다.

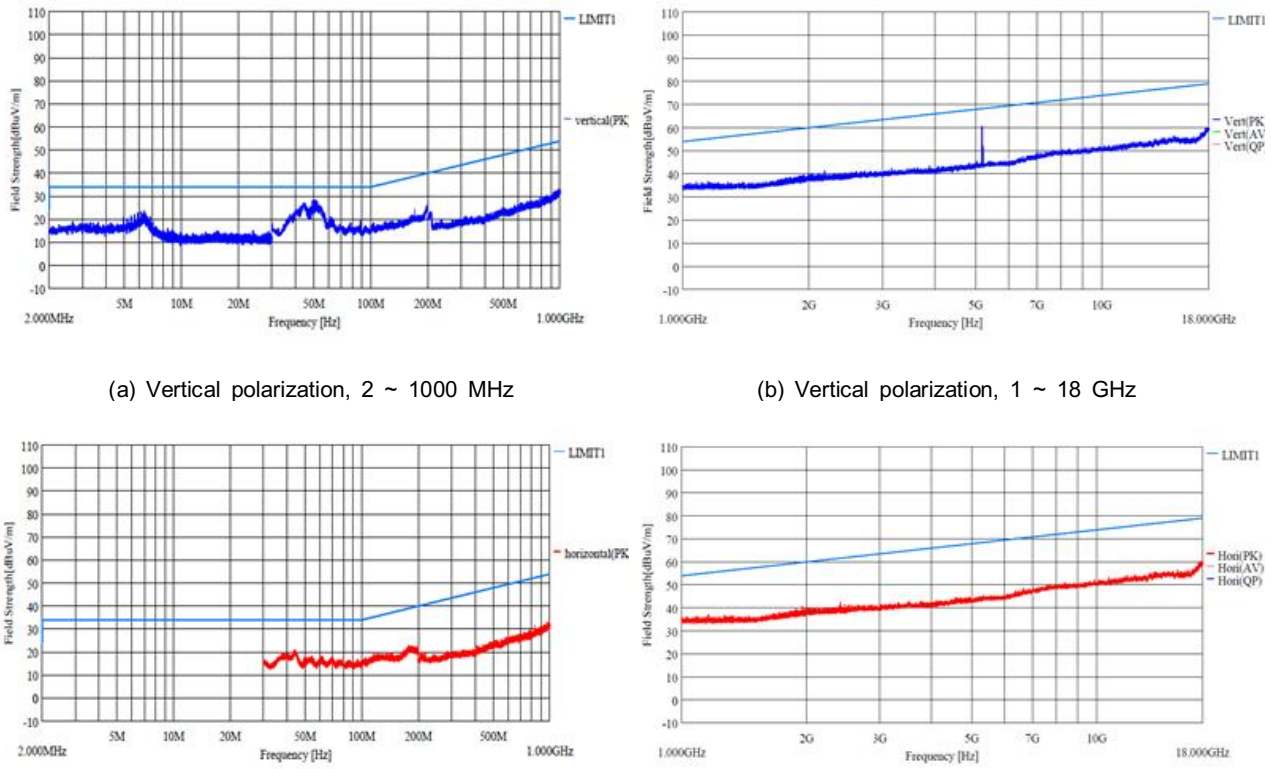
4-3 원형 주름 초크 구조와 전도성 그리스를 적용한 방안

다음은 잡음 누설경로에 대한 완전한 전기적 차폐를 위해 이전 장에서 구성한 원형 주름 초크 내부에 전도성 그리스(conductive grease)를 적용하였다. 적용된 전도성 그리스는 항공용 제품에 요구되는 환경규격을 충족하고, 장시간의 교환주기를 갖는 제품(Chemtronics社의 CW7100[5])을 사용하였다. 그림 11은 원형 주름 초크 내부에 전도성 그리스가 적용된 장치의 단면도를 보여준다. 적용된 전도성 그리스는 베이스 플레이트의 초크부분에 위치하며 턴테이블 베이스의 초크와 연결되어 잡음 누설경로를 전기적으로 차폐하게 된다.

그림 12는 원형 주름 초크와 전도성 그리스를 적용한 장치의 RE102 시험결과를 보여준다. 측정은 안테나의 제한으로 인해 수직편파는 2 MHz ~ 18 GHz, 수평편파는 30 MHz ~ 18 GHz에 대해 수행하였다. 시험결과를 보면 수직편파의 5GHz 부근의 주파수에서 잡음신호 세기가 증가하지만 요구 마진 이하의 세기를 충족하며, 수직·수평편파 모두 전 주파수 대역에서 규격을 충족함을 확인할 수 있다.

Ⅴ. 시험결과 분석 및 적용 방안

이상으로 장치의 잡음신호 감쇠를 위한 방안들과 그 결과에 대해 기술하였다. 장치의 운용을 위해 고려해야할 성능과 함께 RE102 요구규격을 충족하는 방안은 원형 주름 초크와 전도성 그리스를 적용한 방안임을 시험결과를 통해 확인하였다. 표 1에는 적용한 잡음신호 감쇠방안들과 그 결과를 정리하였다. 전기적 접지를 보강하기 위해 적용했던 볼 플랜저의 경우 요구규격은 충족했지만, 장치와 부품에 마모가 발생하여 적용이 불가하다. 전기적 차폐를 위해 적용한 원형 주름 초크 구조는 요구규격을 충족하지 못했지만, 원형 주름 초크에 전도성 그리스를 적용하여 요구규격을 충족하였다.



(a) Vertical polarization, 2 ~ 1000 MHz

(b) Vertical polarization, 1 ~ 18 GHz

(c) Horizontal polarization, 30 ~ 1000 MHz

(d) Horizontal polarization, 1 ~ 18 GHz

그림 12. 원형 주름 초크와 전도성 그리스를 적용한 장치의 RE102 시험결과
Fig. 12. RE102 test results of the equipment with circular corrugated choke and conductive grease.

표 1. 잡음신호 감쇠방안 및 시험결과
Table 1. Method for reducing noise signal and the test result.

Section	Method	RE102 test result
Electrical grounding	Ball plunger	Fail, abrasion
Electrical shielding	Circular metal choke	Fail
	Circular metal choke, conductive grease	Pass

Ⅵ. 결 론

본 연구에서는 공군용 항공기에 장착하여 안테나를 회전시키기 위해 개발한 장치에 대한 누설 잡음신호 감쇠방안을 시험을 통해 제안하였다. 시험을 통해 누설 잡음신호원이 외부 입력 케이블을 통한 유입과 모터 회전에 의해 발생됨을 확인하였다. 그리고 누설경로가 회전을 위해 내·외부의 물리적 차폐가 불가능한 부분임을 확인하였다. 장치의 동작을 고려한 누설 잡음신호 감쇠방안으로 우선 전기적 접지 보강을 위한 볼 플랜저를 적용하였다. 시험결과는 요구조건을 충족했지만, 부품과 장치에 마모가 발생하여 적용이 불가하였다. 다음 누설경로에 대한 전기적 차폐 보강을 위해 누설경로에 원형 주름 초크 구조를 적용했지만, 요구규격을 충족하지 못했다. 그러나 원형 주름 초크 구조에 전도성 그리스를 함께 적용하여 누설경로를 전기적 차폐함으로써 요구규격을 충족할 수 있었다.

본 연구에서 제안한 모터의 전자기 간섭 감쇠 방안은 모터가 적용된 다양한 장치에 적용하여 내·외부의 전기적 차폐를 통해 전자기 간섭 요구 조건을 충족할 수 있을 것이라 판단된다.

References

[1] MIL-STD-461F, DOD Interface Standard, Requirements for the Control of Electromagnetic Interference, Dec. 2007.

[2] Y.S. Kim, Y.S. Yoon, H. Jung, J. H. Gohng and S. H. Lee, “Study of EMI suppression method applied on DC motor driver of power tail gate,” *Transactions of the Korea Society of Automotive Engineers*, Vol. 16, No. 1, pp. 1-7, 2008.

[3] Q Hou, Y Zhou, X Peng and L Zhang, “Suppression methods for electromagnetic interference of the DC motor,” in *Proceeding of the 2015 International Industrial Informatics and Computer Engineering Conference*, Shaanxi: China, pp. 187-190, 2015.

[4] Johanson Dielectrics, INC. DC Motor Design with X2Y® Technology [Internet]. Available: https://www.johansondielectrics.com/x2y-dc-motor-filtering-basics

[5] Chemtronics, CircuitWorks Silver Conductive Grease, CW7100 datasheet, Feb. 2017.

김 지 흥 (Jee-Heung Kim)
2009년 8월 : 한국항공대학교 항공전자 및 전자공학과 (공학사)
2012년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
2012년 3월 ~ 9월 : 한국항공대학교부설 항공전자연구소 연구원
2012년 10월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원
※관심분야 : 초고주파 수신기, 안테나 및 레이돔, EMI 등

유 홍 균 (Hong-Kyun Ryu)
2005년 2월 : 목원대학교 정보통신공학과 (공학사)
2007년 2월 : 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
2012년 8월 : 충남대학교 전파공학과 (공학박사)
2012년 10월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원
※관심분야 : 안테나 및 레이돔

박 범 준 (Beom-Jun Park)
1994년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학사)
2000년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
2015년 8월 : 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
2001년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원
※관심분야 : 초고주파 수신기, 주파수 합성기 등

박 영 주 (Young-Ju Park)
1993년 2월 : 성균관대학교 전기공학과 (공학사)
1997년 2월 : 성균관대학교 전기공학과 (공학석사)
2017년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
1997년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원
※관심분야 : 초고주파 소자 및 증폭기, 전자전용 광대역 안테나 등