

견인트랙터의 전자파 적합성(EMC) 설계 대책에 대한 연구

A Study on Design of the Electromagnetic Compatibility(EMC) for Tractor

최강삼^{*1)} . 소원용¹⁾ . 안민기¹⁾

Kangsam Choi^{*1)} . Wonyong So¹⁾ . Minki An¹⁾

[초 록]

최근 개발되고 있는 차량은 환경에 대한 개선 측면으로 EURO6 엔진 적용 및 탑승자와 보행자의 안전에 대한 장비들이 적용됨에 따라 차량에는 이를 제어하기 위한 다양한 센서 및 액추에이터가 탑재되고 있다. 전자파 환경에서의 지상 장비의 작전 운용 성능을 보장하기 위해서는 복잡한 차량 제어 시스템에 EMC(Electromagnetic Compatibility) 대책이 수립되어 장비간의 전자파로 인한 상호 간섭 없이 작동 가능해야 한다. 본 논문에서는 민수용으로 개발된 견인트랙터를 군용화 개조를 통해 MIL-STD-461G의 전자파 성능을 만족하는 설계 방안에 대해 살펴보고자 한다.

[ABSTRACT]

Recently developed ground vehicles have Euro 6 engines applied to the environment and equipment for the safety of occupants and pedestrians. Accordingly, various sensors and actuators for control are installed in ground vehicles. In order to ensure the operational performance of ground vehicles in the electromagnetic environment, EMC(Electromagnetic Compatibility) measures must be established in the complex vehicle control system. It should operate with mutual interference due to electromagnetic waves between equipment. In this study, a design method that satisfies MIL-STD-461G, the electromagnetic performance of tractor developed for civilian use is reviewed for military use.

Key Words : 전자파환경(EME, Electromagnetic Environment), 전자파 적합성(EMC, Electromagnetic Compatibility), 전자파 간섭(EMI, Electromagnetic Interference), 시험결과(Test Result)

1. 서 론

현대 무기체계 환경에서 지상 무기 체계의 전자파 환경에서 작전 운용 성능에 대한 인식이 높아지고 있으며, 체계 단위의 전자파 차폐효과에 대한 관심이 고조되고 있다.

최근 민수용으로 개발되고 있는 견인트랙터는 환경개선 측면을 위한 EURO6 엔진, 탑승자와 보행자의 안전을 위한 안전 장비 및 주행보조장치들이 적용되면서 다양한 센서 및 액추에이터들이 탑재되었다. 이로 인해 차량의 제어시스템은 복잡해지고 있는 추세이다. 이러한 민수용 트랙터를 군용화 개조를 통해서 작전운용성능을 만족시키기 위해서는 설계 단계부터 EMC(Electromagnetic Compatibility) 대책을 수립하여 전자

파 영향에 대응할 수 있도록 개발해야 한다. 그러므로 현재 무기체계에 적용하고 있는 전자파 시험의 표준 규격인 MIL-STD-461G의 목적, 규격 및 절차를 이해하는 것이 중요하며 차량에 적합한 전자파 시험절차를 수리하여야 한다. 견인트랙터는 Ground Air Force용 장비로 설정하고 복사방사 RE102, 복사내성 RS103의 2개 시험항목에 대한 시험 절차 수립 및 시험이 이루어져야 한다.



그림 1. 견인트랙터 형상
Fig. 1. Tractor Shape

1) 한화디펜스 기동/화력연구센터 기동체계팀(Combat Vehicle Systems Team, Combat Vehicle & Artillery Systems R&D Center, Hanwha Defense)
* Corresponding author, E-mail: kangsam.choi@hanwha.com
Copyright © The Korean Institute of Defense Technology
Received : March 8, 2022 Revised :
Accepted : March 20, 2022

본 논문에서는 민수용으로 개발된 트랙터의 군용화 개조를

위한 전자파 영향성을 파악 및 분석하고, 이를 개선하는 설계 방향을 제시하고자 한다.

2. 시험 단계 및 결과

시험장비(EUT, Equipment Under Test)인 견인트랙터의 전자파 특성요구조건은 MIL-STD-461G에 규정된 표1과 같으며, 차량 현상 파악 시험, 구성품 시험, 모의 시스템 구성 시험, 차량 시험의 4단계로 구분하여 각 단계별로 RE102 및 RS103 진행하여 복사방사 및 복사내성을 확인하였다.

표 1. MIL-STD-461G 특성요구조건

Table 1. MIL-STD-461G Characteristic Requirement

시험항목	주파수	기준
RE102 (복사방사)	2MHz~18GHz Electric Field	Ground Air Force
RS103 (복사내성)	30MHz~18GHz Electric Field	

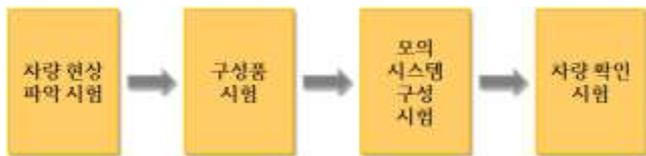


그림 2. 시험 단계
Fig. 2. Test phase

RE102 복사방사 시험은 엔진 작동, 와이퍼 작동, 에어컨 작동 및 전조등, 후미등, 비상등, 실내등 작동 상태에서 EUT에서 방사되는 전자파를 측정한다. 이 때 시험 주파수 범위는 2MHz~18GHz 이며, 측정한 수평 및 수직 방향의 전자파가 MIL-STD-461G에 규정된 시험 기준치 이내인 것을 정상으로 판정하였다.

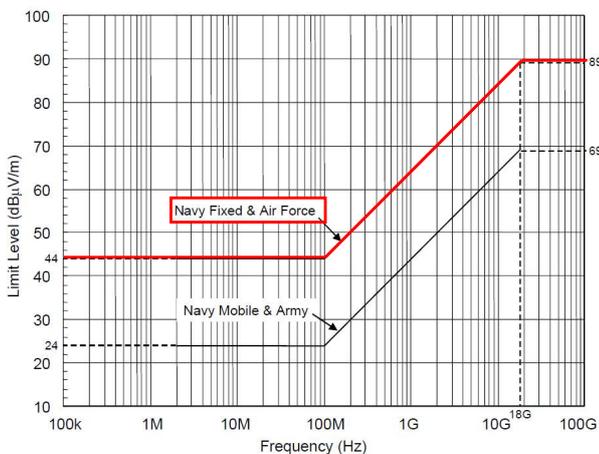


그림 3. MIL-STD-461G RE102 시험 기준
Fig. 3. MIL-STD-461G RE102 Test Limit

RS103 복사내성 시험은 엔진 작동, 와이퍼 작동, 에어컨 작동 및 전조등, 후미등, 비상등, 실내등 작동 상태에서 EUT에 30MHz~18GHz 주파수, 10V/m~50V/m 전계의 값을 주사하여 EUT의 이상 유무 확인 및 오작동이 발생하지 않음을 확인하였다.

PLATFORM		LIMIT LEVELS (VOLTS/METER)							
		AIRCRAFT (EXTERNAL OR SAFETY CRITICAL)	AIRCRAFT (INTERNAL)	ALL SHIPS (ABOVE DECK & EXPOSED BELOW DECK) AND SUBMARINES (EXTERNAL)	SHIPS (METALLIC) (BELOW DECK)	SHIPS (NON-METALLIC) (BELOW DECK)*	SUBMARINE (INTERNAL)	GROUND	SPACE
2 MHz to 30 MHz	A	200	200	200	10	50	5	50	20
	N	200	200	200	10	50	5	10	20
	AF	200	20	-	-	-	-	10	20
30 MHz to 1 GHz	A	200	200	200	10	10	10	50	20
	N	200	200	200	10	10	10	10	20
	AF	200	20	-	-	-	-	10	20
1 GHz to 18 GHz	A	200	200	200	10	10	10	50	20
	N	200	200	200	10	10	10	50	20
	AF	200	60	-	-	-	-	50	20
18 GHz to 40 GHz	A	200	200	200	10	10	10	50	20
	N	200	60	200	10	10	10	50	20
	AF	200	60	-	-	-	-	50	20

그림 4. MIL-STD-461G RS103 시험 기준
Fig. 4. MIL-STD-461G RS103 Test Limit

2.1 차량 현상 파악 시험

기 개발되어 있는 차량의 전자파 경향 및 원인을 분석하기 위해서 차량 상태에서 시험을 진행하였다. 시험소 사정 상 RE102 복사방사 시험만 진행하였으며, 전자파 노이즈를 측정하여 노이즈원과 노이즈 감소 방안에 대해서 파악할 수 있었다.

2.1.1 시험 구성

시험 구성은 그림5와 같이 엔진 및 각종 제어장치가 탑재된 차량의 캐빈 위치가 노이즈가 가장 많이 방사되는 부분임으로 캐빈의 전방, 좌측, 우측 및 차량의 후방까지 4방향에 안테나를 설치하여 방사되는 노이즈를 측정하였다.

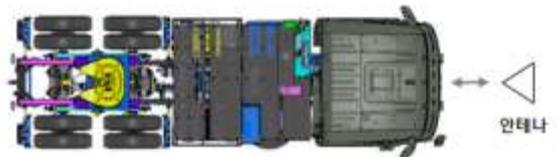


그림 5. RE102 시험 구성도
Fig. 5. RE102 Test Configuration

2.1.2 시험 결과

차량 상태에서 RE102 복사방사 시험을 진행하여 수직 방향(그림6의 붉은색 파형) 및 수평 방향(그림6의 파란색 파형)의 전자파를 측정한 결과, 시험 기준치를 초과함을 볼 수 있었다.

차량에 시동을 켜므로써 엔진 및 엔진ECU, BCM 등의 차량 제어 장치와 엔진과 관련된 센서 및 액추에이터 등이 작동하면서 발생하는 Switching 노이즈와 응축기, 와이퍼, HVAC 모터 등 DC모터에서 발생하는 ARC성 노이즈, 릴레이 및 제어기에서 발생하는 Switching 노이즈와 Chattering 노이즈 등 복

합적인 성분의 노이즈가 발생하면서 RE102의 시험 기준치를 초과한 것으로 분석되었다.

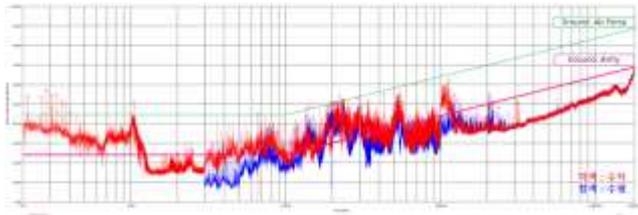


그림 6. RE102 시험 결과
Fig. 6. RE102 Test Result

2.2 구성품 시험

전자파 노이즈의 원인과 노이즈 감소 방안을 구체적으로 파악하기 위해서 차량을 구성하고 있는 각 개별의 구성품에 대해서 전원케이블을 통해서 전도되어 방사되는 전자파 성분을 측정하는 CE102 전도방사 시험과 RE102 복사방사 시험을 진행하였다.

2.2.1 시험 구성

CE102 전도방사 시험은 구성품에 투입되는 전원케이블을 대상으로 LISN(Line Impedance Stabilization Network)와 구성품인 EUT를 연결하여 HOT(High) 및 RTN(Return) 신호를 10kHz~10MHz 주파수 대역에 대해서 도선으로 전도되는 방사량을 주파수분석기로 측정하였다.

RE102 복사방사 시험은 구성품에서 전자파 노이즈가 최대 로 방사되는 방향으로 안테나를 설치하였으며, 차량 현상 파악 시험에서 방사되는 노이즈가 더 많은 수직 방향에 대해서 측정하였다.



그림 7. RE102 시험 사진
Fig. 7. RE102 Test Picture

2.2.2 시험 결과

차량의 구성품 전체를 대상으로 시험을 진행하였으며, 그림8 과 같이 CE102 전도방사 및 그림9와 같이 RE102 복사방사 시험 기준치를 초과하는 전자파 성분이 측정되는 구성품을 식별할 수 있었다.

본 논문에서는 구성품 중 하나인 응축기 모터에 대해서 분석 및 조치한 내용을 기술하였다. 응축기 모터는 DC모터로써 모터가 회전하면서 브러시와 정류자 간의 기계식 접점으로 인해서 Arc성 노이즈가 발생하여 시험 기준치를 초과한 것으로 분석되었다.

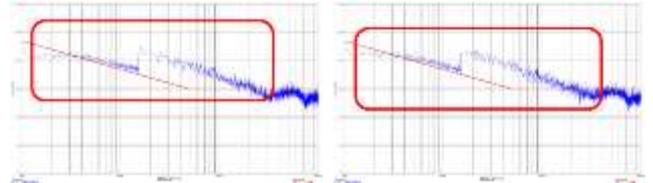


그림 8. CE102 HOT(좌), RTN(우) 시험 결과(개선 전)
Fig. 8. CE102 HOT(Left), RTN(Right) Test Result (Before enhancement)

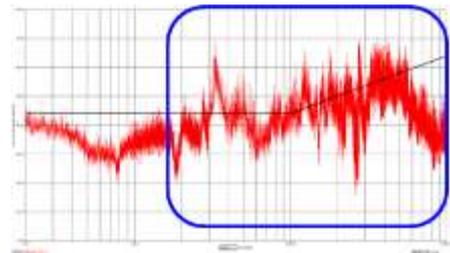


그림 9. RE102 시험 결과(개선 전)
Fig. 9. RE102 Test Result(Before enhancement)

CE102 전도방사 규격 만족을 위해 일체형 EMI 필터를 적용 하였으며, RE102 복사방사 규격을 만족 및 모터 케이블 인입 구 틈으로 방사되는 노이즈를 차단하기 위해 케이블 차폐를 적용하여 시험을 진행하였다.



그림 10. EMI 필터 및 케이블 차폐 적용
Fig. 10. Apply EMI Filter and Cable Shield

EMI필터 및 케이블 차폐를 적용 후 CE102 전도방사 시험에서 HOTA선 및 RTN선에서 방사되는 노이즈가 시험 기준치 이내임을 확인할 수 있었으며, RE102 복사방사 시험에서도 마찬가지로 시험 기준치 이내로 만족함을 확인할 수 있었다.

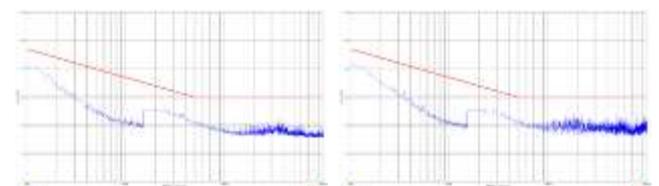


그림 11. CE102 HOTA(좌), RTN(우) 시험 결과(개선 후)
Fig. 11. CE102 HOTA(Left), RTN(Right) Test Result (After enhancement)

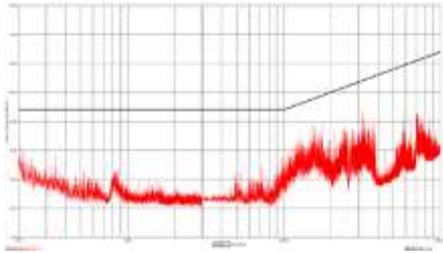


그림 12. RE102 시험 결과(개선 후)
Fig. 12. RE102 Test Result(After enhancement)

2.3 모의 시스템 구성 시험

구성품 단위에서 CE102 전도방사와 RE102 복사방사 시험을 통해서 개발된 EMI 필터를 차량에 적용하기 전, 차량의 전장시스템을 구현하여 엔진을 제외한 전자파 경향 및 구성품들이 동시에 복합적으로 작동했을 때 발생하는 노이즈에 대해서 대책을 마련하기 위해 시험을 진행하였다.



그림 13. EMI 필터 및 케이블 차폐 적용
Fig. 13. Apply EMI Filter and Cable Shield



그림 14. 모의 시스템 구성
Fig. 14. Simulation System configuration

2.3.1 시험 구성

구현된 모의 시스템은 길이가 약 2m 수준으로 각 구성품 별로 전자파가 최대 방사되는 위치를 안테나를 바라보는 방향으로 설치하였다. 안테나를 모의 시스템 전방에 설치하여 안테나 커버되는 구간만큼 구획을 나누어 이동하면서 RE102 복사방사 시험과 RS103 복사내성 시험을 실시하였다.



그림 15. RE102/RS103 시험 구성도
Fig. 15. Simulation System configuration

2.3.2 시험 결과

모의 시스템을 대상으로 RE102 복사방사 시험을 진행하여 기준치를 만족하는 결과를 얻을 수 있었으나, 2MHz~5MHz 주파수 대역에서 마진확보가 필요한 Chattering 노이즈가 발생함을 확인할 수 있었다.

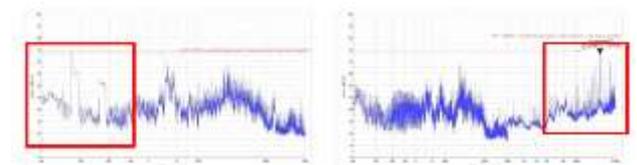


그림 16. RE102 시험 결과(Chattering 노이즈 개선 전 - 좌, 개선 후 - 우)

Fig. 16. RE102 Test Result(Before enhance chattering noise - Left, After enhancement - Right)

모의 시스템을 구성하여 작동할 때 DC모터 및 릴레이의 접점부가 붙고 떨어지는 시점에서 발생하는 Chattering 노이즈가 원인인 것으로 파악되어 접점이 불더라도 불필요한 신호가 발생되지 않도록 처리하여 노이즈를 개선할 수 있었다. 개선 결과, 수직 방향(그림16) 및 수평 방향(그림17)의 전자파를 측정하여 마진을 확보하면서 시험 기준치를 만족함을 확인할 수 있었다.

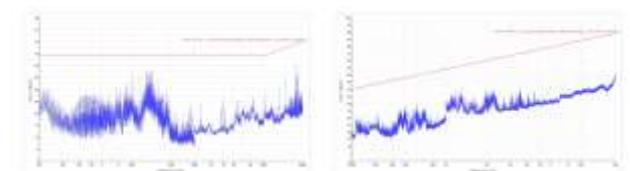


그림 16. RE102 시험 결과(수직 방향)
Fig. 16. RE102 Test Result(Vertical)

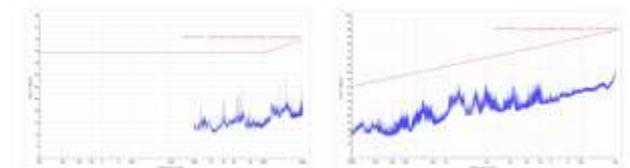


그림 17. RE102 시험 결과(수평 방향)
Fig. 17. RE102 Test Result(Horizontal)

RS103 복사내성 시험을 아래 표2와 같이 2MHz~1GHz 주파

수 대역에서는 10V/m, 1GHz~18GHz 주파수 대역에서는 50V/m로 시험을 진행하여 구성품이 정상 작동함을 확인할 수 있었다.

표 2. RS103 시험 결과
Table 2. RS103 Test Result

주파수 범위	사용 안테나	전계	시험결과
2MHz~30MHz	EFG03	10V/m	적합
30MHz~200MHz	HBA2030	10V/m	적합
200MHz~1GHz	VLA8001	10V/m	적합
1GHz~2.5GHz	ATH800M5GA	50V/m	적합
2.5GHz~7.5GHz	ATH2G10	50V/m	적합
7.5GHz~18GHz	ATH2G18	50V/m	적합

2.4 차량 확인 시험

최종적으로 구성품 시험과 모의 시스템을 통해서 수립된 전자파 적합성(EMC) 설계에 대한 유효성 검증을 위해 개발된 EMI 필터 및 수정된 회로를 차량에 적용하여 MIL-STD-461G의 RE102 복사방사 시험과 RS103 복사내성 시험을 실시하였다.



그림 18. 차량 상태 시험 사진
Fig. 18. Vehicle Test Picture

2.4.1 시험 구성

시험의 구성은 .21 차량 현상 파악 시험 단계와 동일하게 개빈의 전방, 좌측, 우측 및 차량의 후방까지 4방향에 안테나를 설치하여 2MHz~18GHz 주파수 대역에서 방사되는 노이즈를 측정 및 전계 값을 주사하여 시험을 진행하였다.



그림 19. RS103 시험 모니터링

Fig. 19. RS103 Test Monitoring

2.4.2 시험 결과

엔진 작동, 와이퍼 작동, 에어컨 작동 및 전조등, 후미등, 비상등, 실내등 작동 상태에서 RE102 복사방사 시험 실시하여 측정되는 방사되는 수직 및 수평 방향의 전자파 2가지 모두 시험 기준치 이내이므로 시험 기준을 충족함을 볼 수 있었다.

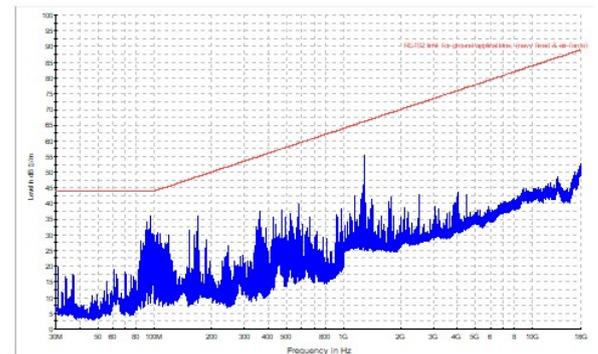
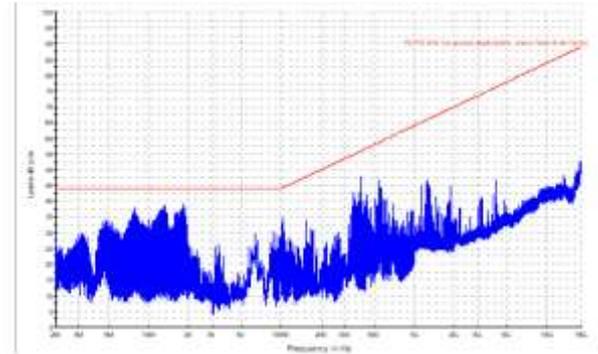


그림 20. RE102 시험 결과(위 - 수직, 아래 - 수평)

Fig. 20. RE102 Test Result

(Up - Vertical, Down - Horizontal)

RE102 복사방사 시험과 동일하게 엔진 작동, 와이퍼 작동, 에어컨 작동 및 전조등, 후미등, 비상등, 실내등 작동 상태에서 외부의 안테나를 통해 30MHz~18GHz 주파수, 10V/m~50V/m 전계의 값을 주사하여 이상 및 오작동이 발생하지 않아 시험 기준을 충족함을 확인하였다.

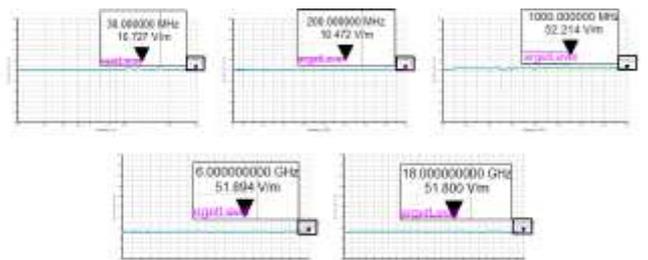


그림 21. RE102 시험 결과(수평 방향)

Fig. 21. RE102 Test Result(Horizontal)

3. 결 론

본 논문에서는 민수용으로 개발된 견인트랙터를 군용화 개조를 통하여 MIL-STD-461G, Ground Air force의 전자파 적합성(EMC) 성능을 만족시키는 시험 단계 및 그 결과에 대해서 설명하였다.

구성품 및 서브시스템 단위부터 전자파 대응 설계를 통한 전자파 성능을 만족시키는 방안도 중요하지만 이 경우 시간과 비용 상승에도 영향을 미치므로 본 논문에서는 개발 기간 및 비용 절감을 위해 민수용으로 개발된 견인트랙터를 군용화 개조를 통해서 전자파 성능을 만족시키는 방안으로써 제시하였다.

차량 현상 파악 시험, 구성품 시험, 모의 시스템 시험, 차량 확인 시험의 단계를 통해서 차량에 전자파 영향을 주는 노이즈를 측정 및 분석하였다. 이를 통해 효과적인 전자파 대응 설계 방안을 도출하였으며 단계별로 RE102 복사방사 시험 및 RS103 복사내성을 진행하여 시험 결과로 설계 방안을 입증하였다. 향후 유사한 차량 장비 개발 시 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

References

- [1] MIL-STD-461G, Requirement for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment. U.S. Department of Defense. 11, December, 2015.
- [2] 자동차 안전기준에 관한 규칙 : 전자파 적합성 기준(제69조의 2), 국토해양부, 2021.
- [3] CISPR-16, Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods, IEC, 2019.
- [4] CISPR-25, Vehicles, Boats and Internal Combustion Engines - Radio Disturbance Characteristics - Limits and Methods of Measurement for the Protection of On-Board Receivers, IEC, 2016.