



Received: 2018/11/22
Revised: 2019/01/18
Accepted: 2019/02/25
Published: 2019/03/21

***Corresponding Author:**

Bong-Yeol Choi

Tel: +82-51-400-5222

Fax: +82-51-400-5210

E-mail: bychoi@komeri.re.kr

MIL-STD-461 RS105 시험방법 연구

Study on MIL-STD-461 RS105 Test Method

최봉열*, 박세훈, 한장훈, 김종우, 김정식

한국조선해양기자재연구원

Bong-Yeol Choi*, Se-Hun Park, Jang-hoon Han, Jong-Woo Kim, Jung-Sik Kim

Korea Marine Equipment Research Institute

Abstract

본 논문에서는 핵폭발 시 발생하는 전자기펄스로 인한 간섭에 대해서 전기전자기기의 감응성(Susceptibility)을 평가하는 RS105 시험을 연구하였다. MIL-STD-461 RS105의 시험구성, 시험방법 및 실제 측정결과에 대해서 연구하였으며, 전자계해석을 통한 이론적인 값과 실제 검증을 통해 규격에서 요하는 파형을 검증하였다. 규격에서 요구하는 5개의 포인트에서 시험요구치인 50 kV/m ~ 100 kV/m 범위에 적합한 파형을 검증하였으며, 펄스 상승시간 및 FWHM 값 역시 만족함을 확인하였다.

In this paper, RS105 test to evaluate the susceptibility of electrical and electronic equipment to electromagnetic interference caused by a nuclear explosion was studied.

The test configuration, test method and actual measurement results of MIL-STD-461 RS105 were studied and EMP waveform was validated by measurement and electromagnetic field analysis.

EMP waveforms in the range of 50 kV/m to 100 kV/m and the pulse rise time and the FWHM value were verified at five points required by the MIL-STD-461.

Keywords

RS105(RS105),
Radiated Susceptibility(복사 감응성),
EMP, Electro-Magnetic Pulse(전자기펄스),
Transient electromagnetic field(과도 전자기장)

본 논문은 해군과학기술학회 2018 추계학술대회 발표논문을 기반으로 작성되었습니다.

1. 서론

현대 산업사회는 근래들어 급속한 발전을 이루고 있다. 그 중 과학기술 분야의 발전은 IT, 자동차, 방위산업 및 항공우주분야와 같은 최첨단 기술이 필요한 산업분야에서 두드러지고 있다. 이러한 최첨단 기술은 인류의 풍요로움과 편리한 생활을 영위하는 원동력임은 분명하지만 과거에는 인식되지 않았던 다양한 문제점을 발생시키고 있으며, 그 중 하나가 바로 전자기적합성(EMC, Electro-Magnetic Compatibility)이다.

전자기적합성이란 전기전자제품이면 당연히 발생하게 되는 전자기파로 인한 기기간 상호문제에 대한 영향성 평가이다. 전자기적합성은 크게 전자기장해(EMI)와 전자기감응성(EMS)으로 구분되며, 전자기파가 존재하는 환경에서의 전기회로 또는 시스템이 의도하지 않은 전자기잡음의 방출을 통해서 주변에 존재하는 타기기에 해로운 영향을 끼칠 수 있기 때문에 방출되는 레벨을 규제하는 것이 EMI(전자기장해, Electro-Magnetic Interference) 항목이며, 반대로 주변에 존재하는 타기기에 방출되는 의도하지 않은 전자기잡음에 제품이 노출되었을 때 영향을 받지 않고 정상동작해야 하므로, 인위적인 전자기잡음 레벨을 생성시킨 후 제품을 노출시켜서 영향성을 평가하는 것이 EMS(전자기감응성, Electro-Magnetic Susceptibility) 항목이다.

본 논문의 주제인 RS105 시험은 EMS에 해당되는 EMP(Electro-Magnetic Pulse) 분야 중 하나이며, 핵폭발시 발생하는 전자기펄스로 인한 간섭에 대해서 전기전자기기의 감응성(Susceptibility)을 평가하는 것이 목적이다. 한국조선해양기자재연구원은 본 시험분야의 국제공인시험기관으로써 보다 정확한 평가를 제공하기 위해 연구하고 있으며, 본 논문에서는 RS105 시험구성, 평가방법, 시험절차 및 최종파형에 대한 검증을 소개

하며, 해군 함정에 대한 적용에 대한 의견을 제시하고자 한다.

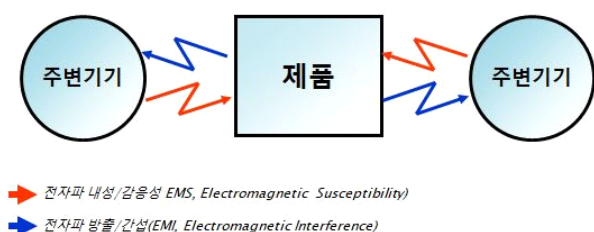


Fig. 1. EMC(Electro-Magnetic Compatibility)

2. 본론

2.1 RS105 적용 범위

RS105 시험이 포함된 MIL-STD-461 Series는 미국 국방부 군용 EMC 기준이며, 1968년 MIL-STD-461A를 시작으로 현재는 2015년 12월에 개정된 MIL-STD-461G가 있다. MIL-STD-461은 기타 상업용 기준과 달리 법적 요건이 아니고 계약당사자의 요건을 따르기 때문에 규격 내에 정의된 시험한계치에 대한 절충이 가능하며, 더 나아가 제품특성을 고려하여 허용한계에 대한 만족을 면제 받는 것도 가능하다. 이러한 활동을 Tailoring이라고 하며, MIL-STD 시험분야에서 중요한 이슈 중에 하나이다.

RS105 시험은 규격 내에서 L 요건으로 구분된다. L 요건이란, 규격 세부사항에 시험필요성이 언급된 품목에 대해서만 제한적으로 진행이 필요하다는 의미이다. 그래서 모든 품목이 RS105 시험을 진행할 필요는 없으며, L 요건으로 언급된 해당 플랫폼은 수상함, 잠수함, 육군 항공기(정비구역 포함), 해군 항공기, 해군 지상장비가 해당된다. 수상함의 경우, 외부환경, 데크 상부, 노출된 데크 하부에 적용할 수 있다.

2.2. RS105 시험 구성

RS105 시험에 필요한 시험장비는 다음과 같다.

a. Transverse electromagnetic (TEM) cell, parallel plate transmission line or equivalent

TEM Cell 방식은 전계생성을 위한 효율이 좋으나 Cell 크기에 제한적이어서 대형기기에 대한 시험진행이 힘들다. 반면 parallel plate transmission 방식은 대형기기 시험

이 문제되지는 않지만 영구설치에 적합하기 때문에 한국 조선해양기자재연구원에서는 Fig. 2와 같이 TEM cell 방식이나, parallel plate 방식이 아닌 Triangular transmission line 방식을 채택하고 있다. 이는 규격에서 언급한 방식이 필수요건이 아니며, 요구되는 EMP 레벨을 형성할 수 있다면, 비용 측면이나 시험영역의 크기를 고려한 다양한 방식을 규격에서 허용하기 때문이다. 이러한 bounded wave 방식의 EMP test system은 전계 편파가 수직이며, 형성된 전계가 균일하고, 파형 왜곡이 적고, 구축비용 대비 성능이 효율적인 장점을 가지고 있다. 또한 금속 재질의 접지판을 사용하기 때문에 Ground 영향이 적다는 점도 강점이다.

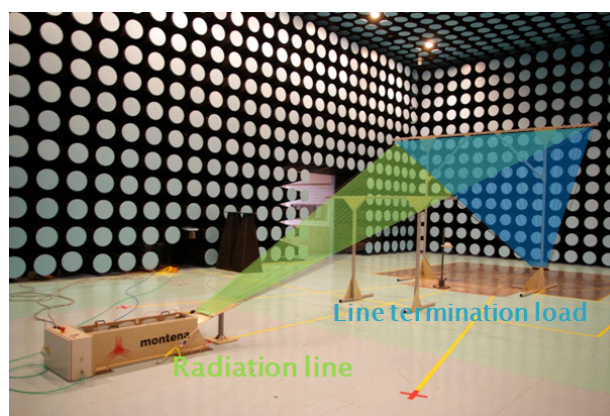


Fig. 2. Triangular transmission line (KOMERI Site)

b. Transient pulse generator, monopulse output, plus and minus polarity

EMP를 발생시키는 본 장비는 guided-wave 방식이며, 110 Ω의 line impedance를 가진다. 발생기 구성은 Marx와 peaking을 조합하였으며, 규격에서 요구되는 double exponential 형태의 출력 파형을 발생시킨다. Marx generator 내부 절연은 SF6 gas를 사용하며, Spark gap 동작을 위한 절연은 N2 gas를 사용한다.

c. Storage oscilloscope, 700 MHz, single-shot bandwidth, variable sampling rate up to 1 GSa/s

d. D-dot sensor probe(B-dot sensor probe)

RS105 시험에 사용되는 파형은 ns 단위의 펄스이므로, 일반적인 전계 모니터링 프로브 대신 real-time으로 측정이 가능한 time-domain 필드 프로브를 사용한다.

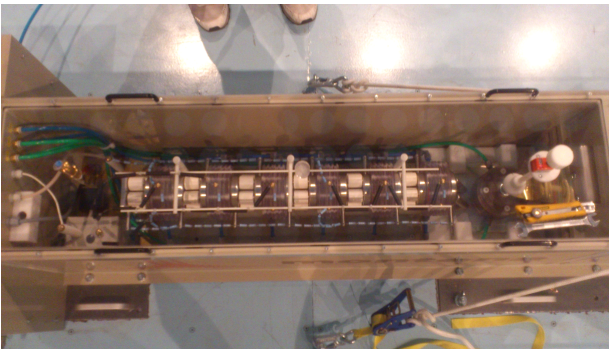
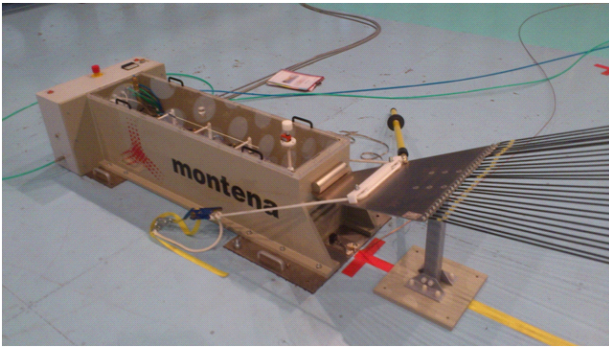


Fig. 3. Marx generator (KOMERI Site)

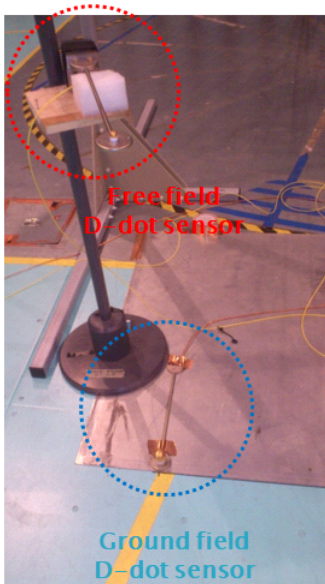


Fig. 4. Free field D-dot sensor and Ground D-dot sensor

- e. Terminal protection devices
- f. High-voltage probe, 1GHz bandwidth
- g. LISNs
- h. integrator, time constant ten times the overall pulse width

Time domain 프로브를 사용하기 때문에 미분된 값을 적분기를 통해서 원래의 측정값을 계산해 주어야 한다. 한국조선해양기자재연구원에서는 Free field d-dot sensor를 통해 측정된 값에 대해 oscilloscope의 적분 기능을 사용하며, Ground field d-dot sensor의 측정값은 passive integrator를 사용하여 파형을 검증하고 있다.

상기 언급된 장비들로 구성하여 시험을 위한 최종 구성은 Fig. 5와 같다.

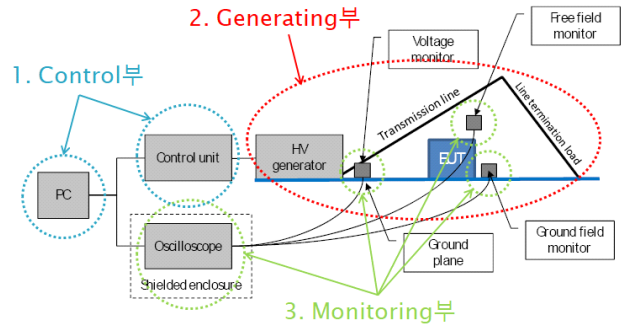


Fig. 5. RS105 test system

2.3 RS105 시험 파형 및 검증

MIL-STD-461 RS105에서 규정하고 있는 시험파형은 Fig. 6과 같다.

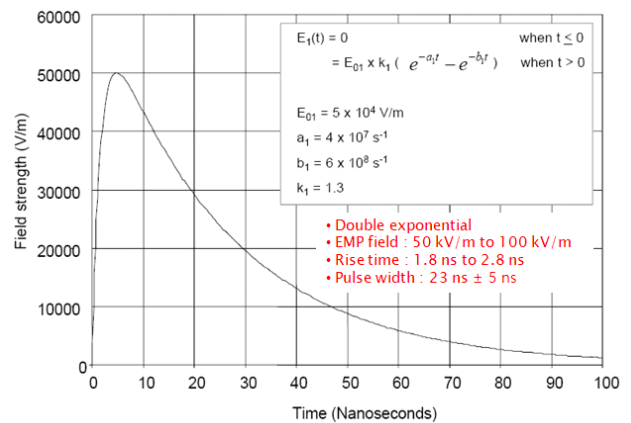


Fig. 6. RS105 test waveform

이중 지수의 형태를 띠고 있으며, 전계레벨은 최소 50 kV/m, 최대 +6 dB인 100 kV/m까지 규정하고 있다. 상승시간은 1.8 ns ~ 2.8 ns이며, 펄스폭(반치전폭, Full width half maximum)은 18 ns ~ 28 ns를 요구하고 있다.

시험파형은 사전교정을 통해 해당 파형이 규격에 적합한지 검증을 해야 하며, Fig. 7은 규격에서 요구하는 시험 영역에서의 5군데 검증 포인트이며, 시험영역의 중앙, 각

모서리 부분을 의미한다.

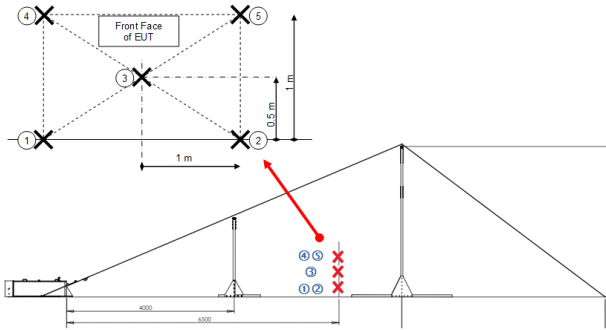


Fig. 7. RS105 test system

파형 검증의 핵심은 형성된 EMP 파형을 측정하는 D-dot 센서이며, 전계가 형성되면 센서에 유도되는 전하는 측정 시스템의 임피던스를 통해 흐르게 되고, 이 때 생성된 전류는 센서의 등가 면적 Aeq 및 전하 전위의 첫 미분에 비례하게 된다. 센서의 등가회로는 Fig. 8과 같으며, 수식 (1)과 같이 표현이 가능하다.[2]

$$i(t) = C_s \frac{\partial u(t)}{\partial t} + \frac{u(t)}{R_s} = A_{eq} \frac{\partial D(t)}{\partial t} \quad (1)$$

여기서, R_s 는 센서에서 보여지는 저항을 나타내며, C_s 는 센서의 정전용량, A_{eq} 는 등가면적을 의미하며, D 는 전기변위를 나타낸다.[2]

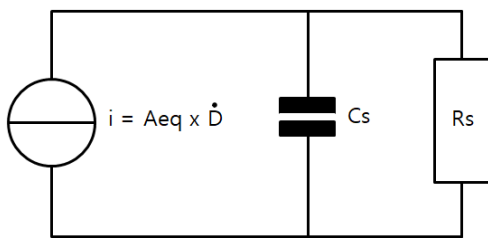


Fig. 8. Equivalent circuit of the sensor

라플라스 변환을 사용하면, 수식 (2)와 같이 표현할 수 있다.[2]

$$A_{eq} s D(s) = C_s s u(s) + \frac{u(s)}{R_s} \quad (2)$$

여기서, $s = j\omega, |s| = |j\omega| = \omega, \omega = 2\pi f$ 이다.

따라서, 센서 응답은 수식 (3)과 같이 표현할 수 있으며, 전체 시험시스템의 응답을 time domain에서는 수식 (4),

최종적으로 RS105 test system에서의 전계값은 수식 (5)와 같다.[2]

$$u_{out}(s) = \frac{R_s A_{eq} s D(s)}{s R_s C_s + 1} \quad (3)$$

$$u_{out}(t) = \frac{R_s A_{eq} D(t)}{R_s C_s} \quad (4)$$

$$u_{out}(t) = \frac{R_s A_{eq} \epsilon_0 E(t)}{R_s C_s} \quad (5)$$

여기서, 자유공간을 가정하여 $D = \epsilon_0 E$ 이 된다.

한국조선해양기자재연구원의 RS105 test system은 10 m method anechoic chamber에 설치되어 운용되고 있으며 Fig. 9와 같이 Hs1 = 0.6 m, Hs2 = 1.1 m, Ls5 = 2.5 m의 시험영역(RS105 기준)을 가지고 있다.

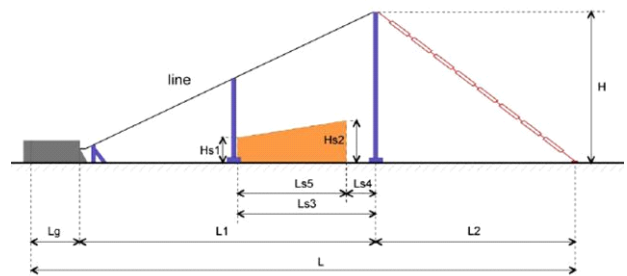


Fig. 9. Test zone of RS105 test system (KOMERI Site)

Fig. 10은 전자계해석프로그램을 사용하여 RS105 test system의 전계형성 분포를 나타내며, MIL-STD-461에서 요구하는 50 kV/m ~ 100 kV/m를 만족함을 보여준다.

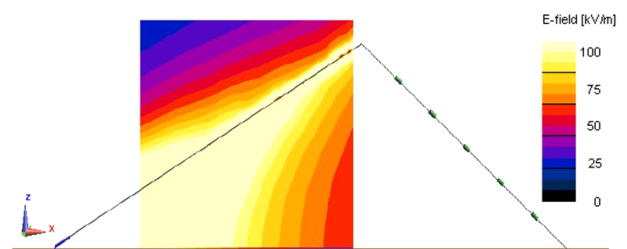


Fig. 10. EMP field simulation

Fig. 11은 한국조선해양기자재연구원에서 검증한 각 포인트별 파형이며, Table 1은 각 파형의 세부측정값을 나타내고 있으며, 규격에서 요구하는 허용오차를 만족함을 알 수 있다.

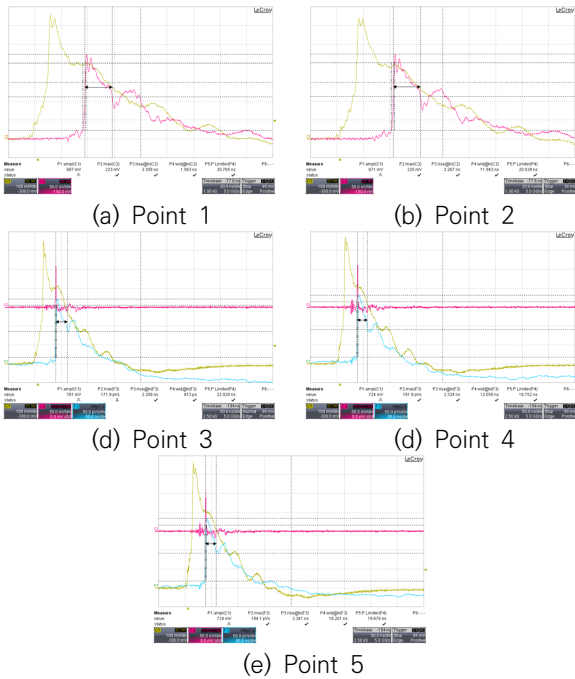


Fig. 11. Verification of waveform

Table 1. How to determine the boundary of the survey.

Point	Amplitude	Rise time	FWHM
1	60.4 kV/m	2.31 ns	20.8 ns
2	60.9 kV/m	2.27 ns	20.5 ns
3	50.8 kV/m	2.31 ns	21.3 ns
4	51.7 kV/m	2.32 ns	18.8 ns
5	52.2 kV/m	2.34 ns	19.7 ns

실제로 측정된 결과를 보면 Fig. 6에서 보여지는 이상적인 이중 지수 형태가 아닌 일부가 왜곡되어진 파형임을 알 수 있으며, 이는 RS105 test system이 운용되는 환경의 차이에 기인한다. Fig. 12와 같이 야외시험장의 경우가 파형왜곡이 적으며, semi-anechoic chamber의 경우에는 chamber 크기 및 부착된 흡수체의 종류 및 크기에 따라 영향 받음을 알 수 있다.

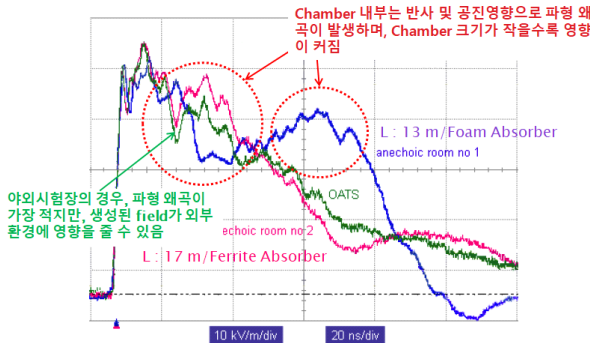


Fig. 12. Comparison of waveform according to site

3. 결론

본 논문에서는 MIL-STD-461 RS105의 시험구성, 시험방법 및 실제 측정결과에 대해서 알아 보았으며, 전자계 해석을 통한 이론적인 값과 실제 검증을 통해 규격에서 요하는 파형을 살펴 보았다. 규격에서 요구하는 5개의 포인트에서 시험요구치인 50 kV/m ~ 100 kV/m 범위에 적합한 파형을 검증하였으며, 펄스 상승시간 및 FWHM 값 역시 만족함을 확인하였다. 한국조선해양기자재연구원은 semi-anechoic chamber에서 시험을 진행하므로 파형 왜곡이 발생하였으며, 다른 환경의 site를 보유하고 있는 기관과의 비교시험을 통해 시험결과에 대한 보완이 필요하다고 판단된다. 더불어 Triangular transmission line 방식이므로, 현재규격에서 요구하는 1/3 h 조건에 의해 시험영역이 제한되고 있기 때문에, 추후 연구 및 검증을 통해 test zone 확대를 도모하고자 한다. 또한 해군 함정의 경우에는 MIL-STD-461G 버전에서 exposed below deck 개념의 도입되어 해당 구역 중 하나인 bridge에 위치한 중요 통신기기, 제어기기에 대한 RS105 시험 적용 여부가 중요해질 것으로 예상되어진다. 기존 노후화된 통신, 제어기기에 대한 전면 적용 또는 신규 도입장비에 대한 선택 적용인지에 대해서는 신중한 결정이 필요하며, 한국조선해양기자재연구원에서는 관계기관과의 정보 교류를 통해 공인시험기관으로서의 정확한 시험 및 결과를 제공하고자 한다.

참고문헌

- [1] Henry W. Ott, Electromagnetic Compatibility Engineering, Wiley, 2009.
- [2] Bertrand Daout, "Electric field sensor and intergrator equations", Technical notes - TN09-12, montena emc sa.
- [3] MIL-STD-461G: 2015 Department of Defense interface standard, Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment
- [4] MIL-STD-464C: 2010 Department of Defense interface standard, Electromagnetic environmental effects requirements for systems