

노이즈 필터 도면 표준화 방안에 관한 연구

이지혁[†]

국방기술품질원

A study on the standardization of Noise Filter drawings

Lee, JiHyeog[†]

Defense agency for Technology and Quality(DTaQ)

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study was to propose a standard form of noise filter drawing, which is widely used in the field of weapon systems, to define the essential specification which is not standardized at the existing drawings and to employ the reference for manufacturing and qualification test.

Methods: To do that, it identifies the improvements to analyze 19 noise filter drawings, studies the principle of noise filtering to find the essential part of the spec. and reviews the MIL-STD-220C and KS IEC 60939, which is the widely used as a formal spec. pertaining to the noise filter. Throughout the study, a standard form is developed to standardize the attenuation characteristics and find eight crucial metrics to specify the noise filter.

Results: The results of this study are as follows: The standardized drawings can be used as the qualification test of the item and the manufacturing and engineering documents to make the noise filter, which are also applicable to the reference document to review KDS(Korea Defense Standard) drawings.

Key Words : Noise Filter, EMI(Electromagnetic Interference)

● Received 10 August 2018, 1st revised 14 September, accepted 14 September 2018

† Corresponding Author(sangcal@dtaq.re.kr)

© 2018, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<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.

1. 서 론

노이즈 필터 모듈은 전원을 공급하는 모든 전자 장비의 전원공급장치의 필수 구성품으로 교류 입력 전원의 전자파 잡음을 제거하고 시스템의 정상동작을 보장해 주는 장비이다. EMI필터라고도 불리는 이 장비는 전력 변환 회로에서 쓰이는 파워 컨버터나 PWM(Pulse Width Modulation) 인버터 내의 스위칭 소자들이 만들어 내는 전도성 노이즈(Conducted Emission, CE) 및 방사성 노이즈(Radiated Emission, RE)를 제거하는 기능을 수행한다[1]

위의 전도성 및 방사성 노이즈들은 전자기기의 성능에 영향을 끼칠 뿐만 아니라, 기기의 오작동을 일으키는 주된 원인이 되고 있으며 보다 이상적인 전력 파형을 제공하기 위하여 스위칭 주파수는 점점 더 높아지고, 회로 내에서 더 많은 스위칭 소자들이 쓰이기 때문에, 이러한 소자들에 의한 노이즈 문제를 해결하는 것은 점점 더 중요한 요소가 되었다[2]. 이 기능 발휘가 고장이 날 경우 체계장비의 전자기적합성(Electro-Magnetic Compatibility, EMC) 시험 규격을 만족하지 못하기 때문에 중요성은 이루 말할 수 없으며 체계장비 전원품질 수준 확보에 필수적이며 유도전자, 기동화력, 함정, 항공 등 모든 분야에 사용되는 가장 범용적인 부품이라고 할 수 있으며 전원 품질을 확보하기 위한 필수적인 부품이다.

따라서 이러한 노이즈를 효과적으로 줄이는 것은 제품의 전자기적합성(Electromagnetic Compatibility, EMC) 테스트 통과 목적뿐만 아니라 제품의 고성능화의 측면에서도 반드시 필요한 일이 되고 있다[3]. 노이즈 필터는 공통 모드(Common Mode)와 차동 모드(Normal Mode)의 노이즈를 감소시키는 기능을 수행하는데 노이즈 필터의 성능을 평가하기 위하여 보통 전도성 노이즈를 측정하게 되며 이와 같이 측정된 전도성 노이즈는 동일한 노이즈 입력에 대해서 회로의 입력 임피던스 및 측정에 필요한 장비인 LISN(Line Impedance Stabilization Network) 특성에 따라서 달라지므로, 노이즈 필터 자체의 성능 지표로 사용하기가 모호한 면이 있다[4].

따라서 노이즈 감쇠 성능을 정확하게 분석하기 위해서는 전도성 노이즈 자체보다는 차동모드와 공통모드의 삽입 손실(감쇠 특성)을 측정하는 것이 일반적인 방법이다[4]. 따라서 이러한 감쇠특성을 나타내기 위해 설계된 회로의 저항이나 커패시터의 값들을 규정하고, 부수적인 성능 요구조건을 규제함으로써 노이즈 필터의 고유 성능을 나타내는 표준안을 연구하는 것이 필요하다 하겠다.

이를 위해 국내외 노이즈 필터 제조업체에서 배포하는 성능 사양 기술 자료를 수집하여 분석한 후 공통된 성능 요구조건을 추출하고자 사례연구를 수행하였으며, 노이즈 필터 관련 EMI 성능 요구조건을 규제하는 민수 규격인 KS C IEC 60939(Complete filter unit for radio interference suppression)을 분석하여 공통된 성능이 KS 규격에 요구하는 내용인지를 검토한 후 필수 요구성능을 도출하였고, 국방 규격 도면 주기란에 필수 성능 요구사항을 반영하는 노이즈 필터 도면 표준안을 제안하였다.

본 연구의 목적인 노이즈 필터 도면 국방 규격 제정시 표준안을 제안하였고, 기존 사례연구에서 분석된 노이즈 필터의 도면 문제점을 분석 후, 민수용 규격 등을 검토하여 필수적인 성능 요구조건을 도출하고자 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 전자기파 노이즈

전자파는 전기와 자기의 시간적 변화량에 따른 방사(Radiation)가 일어나면서 공기와 같은 경계조건(Boundary Condition)에 따라 전파해 나가는 파동현상으로 Figure 1과 같이 전기력과 자기력이 파동을 그리면서 일정한 방향으로 전파된다[5].

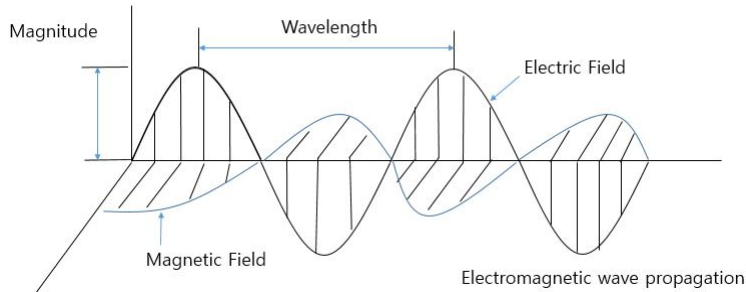


Figure 1. Electromagnetic wave propagation

이 때 전기의 힘이 미치는 공간을 전계(Electric Field)라 하고, 자기의 힘이 미치는 공간을 자계라고 하는데 전계 강도는 단위거리당의 전위차로 표현될 수 있으며, 자계강도는 전선에 전류가 흐를 때 단위 길이당 전류의 양으로 표현한다[5].

$$\text{전계강도}(E) = \frac{V}{d} (V/m) \quad \text{Equation (1)}$$

$$\text{자계강도}(H) = \frac{I}{2\pi r} (A/m)$$

그러므로 전자파는 전계와 자계의 시간적 변화에 따라 발생할 수 있기 때문에 통신용 등으로 인위적으로 발생하는 전자파도 있으나 부수적으로 발생된 전자파가 그 자체의 장비 또는 타 장비의 동작에 영향을 주어 뜻하지 않는 오동작으로 일으키는 경우도 있다. 이와 같이 “전기, 기계적인 이유로 시스템에서 발생하는 불필요한 신호”를 전자파노이즈라고 하며 대부분의 전기, 전자기기에 영향을 주게 된다.

이와 같이 타 기기에 전자기적 영향을 주는 것을 전자파간섭(Electro-Magnetic Interference, EMI)이라 하며 전자파에 의하여 영향을 받는 것을 전자파민감성(Electro-Magnetic Susceptibility, EMS)이라고 한다. 또한 전자파 환경 내에서 전자기적 교란을 초래하지 않고 주어진 기본 성능을 정상적으로 발휘할 수 있는 능력을 전자기적합성(Electro-Magnetic Compatibility, EMC)이라 부른다[6].

노이즈는 발생 원인이 다양하게 존재하며, 발생원에 의해 발생한 노이즈를 식별하는 것이 첫 번째로 수행할 일이 되며 특히 전원선에 의해 발생하는 노이즈는 회로의 기생성분(parasitic inductance & capacitance)에 의한 노이즈 성분이다. 노이즈필터의 경우도 노이즈 제거용으로 인덕턴스와 초크 부품을 사용하기 때문에 인덕턴스 노이즈가 발생하게 되며 노이즈 필터 앞단의 SMPS(Switching Mode Power Supply)와 같은 디바이스에서 발생하는 스위칭 전류의 급격한 변화는 큰 전압 발생을 야기하며 이것이 노이즈 발생 원인이 된다[5].

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt} [V] \quad \text{Equation (2)}$$

이상적인 회로선의 임피던스는 0Ω이나 실제 회로는 Figure 2와 같이 인덕턴스와 커패시턴스가 존재하게 되며 이로 인해 공진(resonance)이 일어날 수 있다[6].

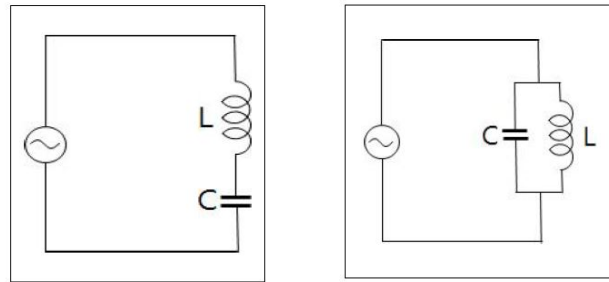


Figure 2. Series/Parallel resonance circuitry

2.2 전도성 노이즈

노이즈의 전달 경로는 공중에서 전달되는 복사 노이즈(Radiated Noise)와 전송 선로(Transmission Line)를 통해 전달되는 전도 노이즈(Conducted Noise)로 구분된다[2]. 복사 노이즈는 전자파를 방사하는 다른 전자 장비에 의해 발생하는 경우가 일반적이며 공기를 통해 전달된다. 전도 노이즈는 일반적으로 전원선(Power Line)에서 발생하며 Figure 3 과 같이 LINE과 접지 간을 전달하는 비대칭잡음(Common Mode noise, CM noise)과 LINE 간을 왕복하는 대칭잡음(Normal Mode noise, NM noise)이 있으며 특수한 경우를 제외한 두 가지 종류의 노이즈가 항상 존재한다[2].

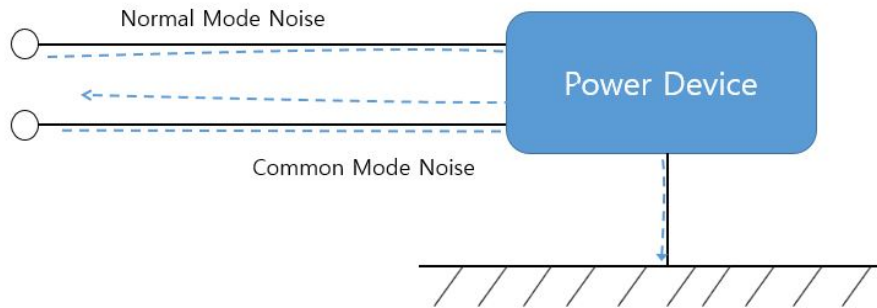


Figure 3. The conductive noise due to power electronics

전도 노이즈가 발생하는 가장 큰 원인은 전원 입력부를 제어하는 트랜지스터의 스위칭에 기인하며 스위칭으로 발생하는 노이즈는 10kHz이상으로 통상적인 교류 전원 주파수 60Hz에 비해 고주파 신호의 특성을 가지고 있으므로 고주파 신호 제거를 위해 노이즈 필터는 low-pass filter의 형태를 가지게 된다[3].

스위칭으로 인해 발생하는 전도 노이즈는 디지털 회로의 Clock 신호의 간섭을 일으키고 주파수를 변화시켜 기기의 오작동을 초래할 수 있으므로 세계 각국에서는 국제무선장애특별위원회(International Special Committee on Radio Interference, CISPR) 규격에 준하여 각국의 상황에 맞게 규격을 제정하고 있으며 전도성 노이즈에 대한 대표적인 규격으로는 미국 연방통신위원회(Federal Communication Committee, FCC)의 part 15와 독일의 전기기술 협회(Verband Deutscher Elektrotechniker, VDE) 규격이 있다[8][9].

FCC part 15에서는 450kHz~ 30MHz의 범위에서 노이즈 레벨을 제한하고 있으며 군사용 규격으로는 표준서

MIL-STD-461C에서 전도성 방사 기준치인 CE03을 명시하여 노이즈 레벨 기준을 표현하고 있다. 주파수 대역별로 10kHz ~ 150kHz 사이는 NM이 그 이상은 150kHz는 CM이 주된(dominant) 영향을 미치게 된다. MIL-STD-461C를 살펴보면 CE03에서 15kHz에서 50MHz까지의 전도 방사 허용 기준치를 명시하고 있다[8][10]. MIL-STD-461F의 경우는 보다 세분화하여 CE101(30Hz ~ 10kHz), CE102(10kHz ~ 10MHz), CE106(10kHz ~ 40GHz)의 세 분야에 걸쳐 전원선 뿐만 아니라 안테나 터미널에 대해서도 허용 기준치를 명시하여 요구하고 있다[11].

2.3 노이즈 필터링 원리

NM 노이즈 필터링 원리는 권선에 전류가 흐르게 되면 페라이트 코어에 magnetic flux가 발생하게 된다. 그 결과 페라이트 코어의 고주파에 대한 높은 임피던스 값을 가지게 되어 NM noise가 감소되는 효과가 발생한다[1][2].

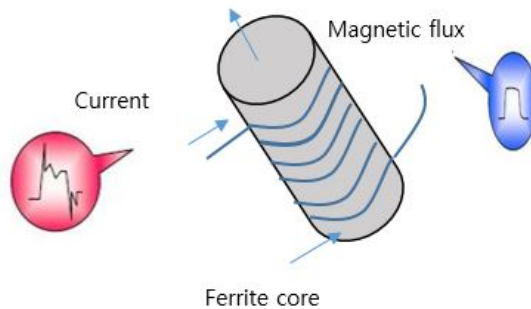


Figure 4. Normal Mode Noise Filtering

CM 노이즈는 두 개의 coil이 같은 방향으로 페라이트 코어에 감겨 있을 때, CM 전류에 의해 발생된 magnetic flux가 축적되고 그 결과 임피던스 값이 증가하여 CM 노이즈에 대한 필터링 효과를 가지게 된다[1][2]. 페라이트 코어는 산화철계의 자성체 세라믹의 총칭이며 자기특성에 따라 소프트, 하드 페라이트로 나눈다[12]. 페라이트 코어는 저주파의 경우 투자율이 높아 잘 통과하고 고주파의 경우 높은 임피던스를 가져 잘 통과시키지 않는 특성을 가지고 있으며 저주파용으로는 망간-아연계 페라이트가, 고주파용으로는 구리-아연계 또는 니켈-아연계 페라이트가 적합하다[12].

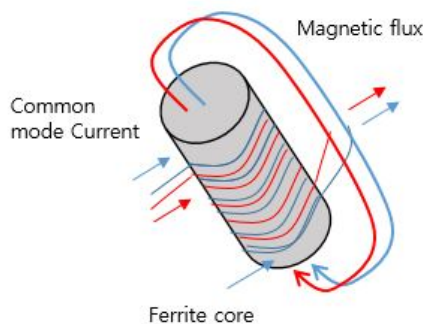


Figure 5. Common Mode Noise Filtering

노이즈 필터는 일반적으로 Figure 6와 같은 등가회로로 표현된다. Cx1과 Cx2는 NM 노이즈를 제거하기 위해 사용되며 Lc는 Common mode choke로 하나의 코어에 서로 다른 방향으로 winding된 형태로 CM 노이즈를 제거하는 기능을 수행한다[7]. Ld는 Ferrite core에 전선을 winding한 인덕터로 페라이트 코어의 임피던스에 의해 NM 노이즈를 제거한다. Cy는 NM과 CM 노이즈 모두를 감소시키나 다른 부품에 비해 효과는 크지 않으며 고주파 신호를 제거하기 위해 사용되는 Bypass Capacitor와 동일한 기능을 수행한다.

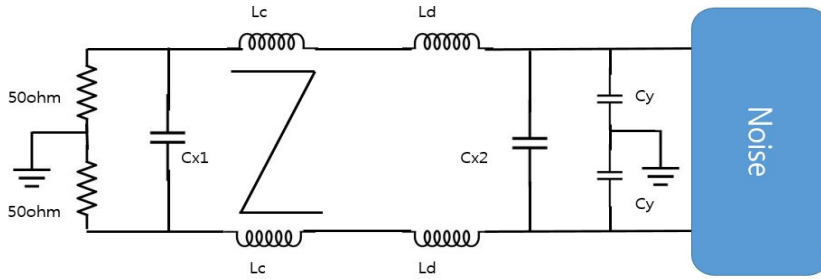


Figure 6. Noise Filter Circuit Topology

노이즈 필터에 의해 감쇠(attenuation)되는 양은 Insertion Loss(IL)로 표현될 수 있으며 IL은 회로에서 필터를 연결할 때 측정된 출력 전압과 필터를 연결하지 않고 측정한 출력 전압의 비로 정의된다[13].

$$Insertion\ Loss(IL) = 20\log\frac{E1}{E2} \quad (3)$$

E1 = 필터를 설치하고 측정한 회로의 출력 전압

E2 = 필터를 제거하고 측정한 회로의 출력 전압

IL(또는 감쇠)은 필터의 감쇠특성을 표현하는 주요한 지표로서 Figure 7과 같은 형태를 가진다[14]. Figure 7과 같이 고주파 신호를 감쇠하고 저주파 신호를 통과하는 전형적인 low pass filter 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있다[15].

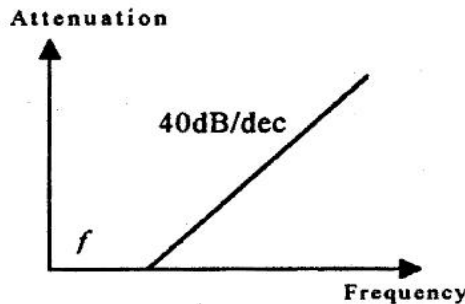


Figure 7. IL Characteristics of atten. vs. freq.[9]

3. 사례 연구

3.1 군사용 도면 주기란 검토

자료명이 노이즈 필터인 19종의 도면을 국방표준정보체계에서 검색하여 검토한 결과, 노이즈 필터 특성을 기술한 주기란이 상이하게 작성되어 있으며 표준화된 양식은 존재하지 않는 것으로 파악되었다. 이는 규격작성기관이 국방품질관리소, 국방과학연구소, 소요군 등 작성기관과 작성자에 따라 기술방법이 다르기 때문인 것으로 판단된다. 감쇠 특성 등 비교적 상세하게 나열한 도면이 있는 가 하면 Figure 10과 같이 제작업체 주소 등만 표기되어 해당 제품의 성능과 품질을 파악하는 것이 불가능한 수준의 도면도 있는 것으로 나타났다.

몇 가지 사례를 대표적으로 소개하면 다음과 같다.

주기

- 본 도면은 회로카드조립체,DA전원용에 사용되는 노이즈필터(LF1)도면임.
- 전기적특성
 - 절연내압 : 500VAC, 1분 / 권선-권선간, 권선-케이스
 - 절연저항 : 50MΩ최소, DC500V, 1분 / 권선-권선간, 권선-케이스
 - 인덕턴스

단자번호	측정주파수	최대	표준	최소
1-3	1kHz	13.5mH	9.0mH	6.3mH
2-4		13.5mH	9.0mH	6.3mH

- 모든치수는 참고치수임.

Figure 8. Noise Filter(5XXXXXXX), ADD

주기

- 특성
 - 1)Filter Circuit : L-6.0mH min
Cx-0.1uF ±20%
Cy-3300pF ±20%
R-1M ohm 1/2 W
 - 2)사용전압: 250VAc 50 / 60Hz
 - 3)사용전류: 50A 250V Ac
 - 4)사용온도: -25 ~ 85 C
- 배선
 - 1)입력부: 모렉스콘넥터2P,전선길이 165.0
 - 2)출력부: 나동선 압착단자?4.0, 전선길이 185.0
- 주요 특성치를 만족하는 동등 이상품 대체 가능함

Figure 9. Noise Filter, AVR(A5XXXXXXX)

주 기

- 부품번호 UF20SBS
 제조회사 (주)유니온전자통신
 주 소 경기 부천 원미구 춘의동00-1
 연 락 처: 032-668-9560
- 모든치수는 제품식별을 위한 참고치수임
- 동등이상품 사용 가능

Figure 10. Noise Filter(N2XXXXXXX)

주 기

- 동일기번 (한국사의 부품번호 HP1-P36
 또는 동등 이상품을 사용할것
 주소 : 경기도 화성군 남양면 북양리 215-6
 전화 : 0339) 356-7114
- 특성
 - 2-1 정격전압 : 250V
 - 2-2 정격전류 : 3.6A
 - 2-3 상승온도 : 40℃최대
 - 2-4 무게 : 17.5g
 - 2-5 절연저항 : 300MΩ / 500VDC
- 본 도면의 모든치수는 참고치수임

Figure 11. Noise Filter(5XXXXXXX)

국방 관련 도면노이즈 필터 19종의 규격 작성 관리기관은 국방과학연구소, 국방기술품질원, 해군본부, 방위사업청 총 4기관으로 나타났으며, 도면 주기란에 작성된 성능 요구조건의 빈도수를 Figure 12와 같이 파악하였다. 분석 결

과, 정격전압과 제안된 공급원의 경우 19종 모두 기재되어 높은 빈도수를 가지는 것으로 나타났으며, 정격전류도 18 종에 기재되어 있었다. 그러나, 노이즈 필터의 가장 중요한 특성으로 판단되는 감쇠특성은 6종에만 기재되어 전체 분석대상 도면의 33% 이하만이 성능 요구사항으로 기재되어 있었으며 표기 방식도 그래프의 형태를 띠는 경우도 있었으며 표의 형태로 표기하거나 아예 주파수 범위에서 가장 낮은 값을 기재하는 경우도 있는 등 표기방식이 표준화되어 있지 않은 점이 문제점으로 분석되었다. 또한 노이즈 필터의 품질과 관련되어 있는 내전압도 10회로 전체 도면의 절반 수준에 그쳤으며, 누설전류의 경우 KS C IEC 60936에도 주요 요구사항으로 기재되어 있는데도 불구하고 국방 분야 도면에는 6회 정도로 약 33% 이하만이 성능 요구사항으로 기재하고 있음으로 나타났다.

이상 국방 분야 도면 분석결과, 상대적으로 빈도수가 높은 정격전압이나 정격전류의 경우 주요한 요구사항으로 채택하는 것이 합리적이거나, 무조건적으로 높은 빈도수를 가지는 요구사항에 대해서 필수 요구사항으로 선정하는 것은 국내의 규격이나 해외의 민수부품의 사례연구를 통해 판단하는 것이 합리적으로 생각하여 추후 민수분야와 규격에 관한 연구를 수행한 후 최종 성능 요구사항을 결정하였다.

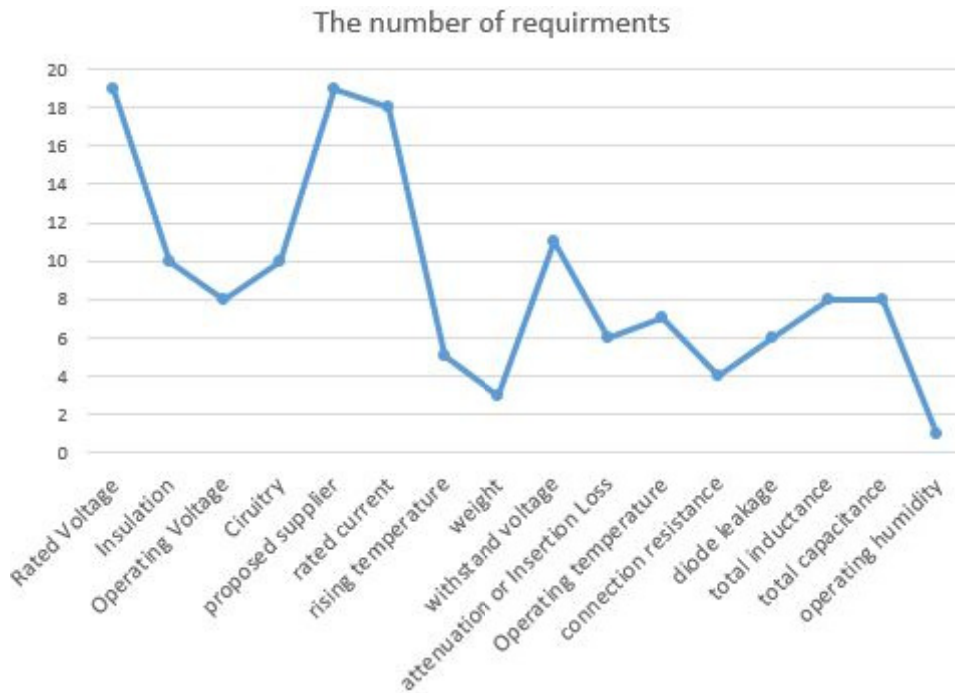


Figure 12. The number of requirements on 19 Korea Defense Standard drawings

3.2 해외 사례 분석

EMI 필터 전문 벤더(vendor)인 애로우 일렉트로닉스(Arrow Electronics)와 마우저(Mauser Inc.) 등에서 공급하는 10 여종의 EMI 필터 기술자료 분석결과 앞의 민수용 사례와 동일한 사양을 제시하고 있는 것으로 나타났다. 몇 가지 산업체에서 사용되고 있는 EMI 필터의 성능 사양을 소개하면 다음과 같다[16][17].

- cut-off frequency
- Insertion loss
- high frequency rejection.

Figure 4. USBFxxW6 typical attenuation

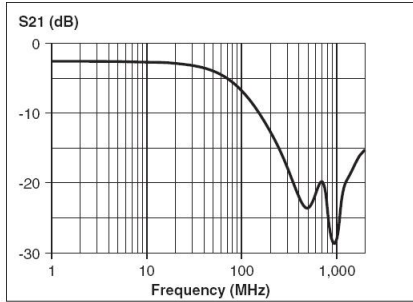


Figure 5. Measurement configuration

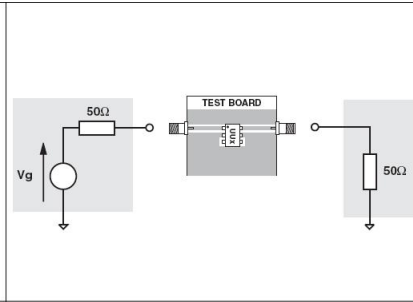


Figure 13. USBFxxW6 EMI filter technical specification[16]

USB 포트에 사용되는 EMI 필터로 FCC가 정한 규격을 만족하도록 설계되어 있다. 성능 사양은 감쇠특성 그래프, 측정방법, 차단 주파수, 삽입 손실 및 고주파 역압도로 구성되어 있다. USB 포트는 기본적으로 Differential signaling으로 설계되어 있기 때문에 Common mode noise의 효과가 크지 않기 때문에 수십 pF의 Cy 커패시터가 사용되고 있다.

아래는 Panasonic이 생산한 DC chip EMI filter 성능 사양이다[18].

Part Number	Rated Voltage (V DC)	Capacitance (pF) ⁽¹⁾	Tolerance (%)	Characteristics ⁽²⁾	Rated Current (A DC)	DC Resistance (mΩ)	25 dB Attenuate Frequency (MHz)	15 dB Attenuate Frequency (MHz)
EXCCET220U	50	22	±20	YB	2	50 max.	800 to 1000	600 to 1000
EXCCET470U	50	47	±20	YB	2	50 max.	450 to 550	350 to 1000
EXCCET101U	50	100	±20	YB	2	50 max.	300 to 450	200 to 900
EXCCET271U	50	270	±20	YB	2	50 max.	200 to 300	80 to 700
EXCCET471U	50	470	±20	YB	2	50 max.	100 to 220	50 to 700
EXCCET102U	50	1000	±20	YB	2	50 max.	65 to 200	30 to 700
EXCCET222U	50	2200	±20	YB	2	50 max.	35 to 180	15 to 700
EXCCET103U	50	10000	±20	YB	2	50 max.	15 to 120	15 to 700

(1) Please inquire to us about the particular capacitance value, on a range of 22 to 10000 pF.
 (2) Characteristics YB: Maximum capacitance is ±10 % over the temperature range of -25 °C to +85 °C in reference to +20 °C.
 ● Category Temperature Range -40 °C to +85 °C

■ Attenuation Characteristics (Reference Data)

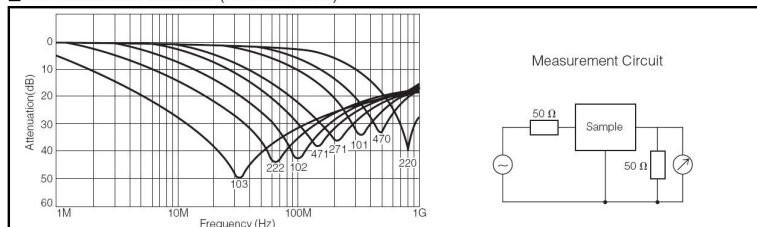


Figure 14. Panasonic EMI Filter Specification[18]

감쇠특성은 DC bias 유무에 따른 성능 정보를 제공하고 있다. 해당 필터는 L-C타입 형태로 설계되어 토로이드 형태의 common-mode choke가 삽입되지 않기 때문에 소형으로 제작이 가능한 특징이 있다.

TDK-lambda사에서 제작한 USB나 LVDS 디바이스에 적용되는 노이즈 필터의 성능 사양의 경우는 CM 모드의

임피던스와 DC 저항을 나타내어 다른 제조사와 특징을 보이고 있었으며[19], 해당 필터의 differential signaling에 적용되는 특징으로 series choke가 적용되지 않는 특징을 가지고 있다[20]. International Rectifier 사의 경우는 해당 제품의 데이터 시트에 MIL-STD-461C의 CE03 전류 리플 요구사항을 성능 요구조건으로 규정하고있으며 감쇠 특성은 36dB 이상 @200kHz로 기술되어 있어 주파수 범위 내에서 최소값을 표기한 특징이 있다[21]. Hybrid 형태의 회로 특성 때문에 Pb free 솔더관련 솔더링 온도를 규정하고 있으며 MIL-PRF-38534 규격을 준수하도록 설계되어 있다[21]. On semiconductor의 경우는 타 업체와 유사하나 DC bias 유무에 따른 성능 정보를 제공하고 있으며 차단 주파수(cut-off frequency) 내 삽입손실에 대한 주파수 특성을 그래프 형태로 보여주고 있으며[22] 페라이트 코어를 적용하여 설계하는 통상적인 노이즈 필터와는 달리 L-C 타입 형태로 설계되어 토로이드 형태의 common-mode choke가 삽입되지 않기 때문에 소형으로 제작이 가능한 장점이 있는 것으로 분석되었다. 무라타 공업소의 EMI 필터의 경우는 타업체와 비교시, 성능 요구조건 표기시에 큰 특징을 찾아볼 수는 없었으나 일반적으로 cut-off 주파수는 10MHz 이상으로 비교적 높은 것으로 나타났다[23].

해외업체의 자료 조사 결과, 국내 업체에서 제시한 성능 요구조건에서 표기법에서 차이가 있으나 몇 가지 사양에 관련해서는 공통된 부분이 있는 것으로 나타났다. 국방 분야에서 빈도수가 높은 요구사항들은 해외 제품에서 공통적으로 나타났으며 특히 감쇠특성, 내전압, 다이오드 누설전류의 경우 모든 업체에서 표기하고 있었으며, 회로도와 부품별 인덕턴스와 캐패시턴스를 표기하여 제작된 제품에 대한 신뢰도가 높은 것을 파악할 수 있었다. 따라서 국방 분야에서 빈도수가 높은 정격전압, 정격전류, 절연저항 등과 해외업체에서 모두 기재된 감쇠특성, 내전압 등의 요구사항 등을 종합하여 도출된 공통된 8가지 사양을 정리하면 아래 Table 1와 같다. 도출된 8가지 요구사항들은 국내에서 가장 널리 활용되고 있는 KS C IEC 60939 규격 적용 여부를 검토한 후 최종 도면 표준안에 반영 여부를 결정하였다.

Table 1. 8 Common Specifications of noise filter

Spec.	Description
Rated Voltage	000 V
Rated Current	000 A
Total Capacitance.	000 F
Total Inductance	000 H
Entire Resistance	000 Ohm
Insulation	000 MOhm more
Diode leakage currnet	000 mA less
Temperature	00 ~ 00℃
Attenuation	Attenuation table

3.3 세부 검토기준 제안

노이즈 필터는 민수용으로는 현재 지식경제부 산하 기술표준원에서는 IEC 60939 규격을 번역하여 KS C IEC 60939(Complete filter unit for radio interference suppression)를 제정, 노이즈 필터 품질인증 시험절차와 기준으로 사용하고 있다[24]. 본 장에서는 위의 규격을 바탕으로 향후 노이즈 필터 기술검토 요청이 있을 경우 성능 요구사항에 대한 세부 검토기준으로 활용하고자 본 장을 작성하였다.

3.3.1. 주기란 표시

표시되는 정보는 일반적으로 상대적 중요성에 근거하여 위치순으로 나타낸다.

- | | | | |
|---------|---------|---------|-----------------------|
| 1) 제조원 | 2) 형식명 | 3) 정격전압 | 4) 정격전류 |
| 5) 정격온도 | 6) 기호범주 | 7) 제조년월 | 8) 소자의 정전 용량 및 인덕턴스 값 |

해당 제조원과 형식명은 명확히 표현하여야 하며 필요하다고 판단되는 항목은 IEC 60939 규격에 따라 가능한 많이 표시하도록 한다.

3.3.2. 정격 및 특성

권장 기후는 최고 및 최저 사용온도 그리고 정상상태 습도 시험 기간으로 구분되며 최저 사용 온도는 -55°C , -40°C , -25°C 및 -10°C 이며 최고 사용 온도는 70°C , 85°C , 100°C , 125°C 로 나눈다. 정격 온도는 40°C 이상이며 정상 상태 습도시험 기간은 10일, 21일, 56일로 나눈다.

정격 정전 용량은 KS C 0803에 주어진 권장값을 따르며 특수한 경우를 제외하고는 허용오차는 $\pm 20\%$ 이다. 장치의 전기적 충격의 해가 누설 전류가 나타날 경우, 허용차와 정전 용량값에 주의해야 한다. 특히 세라믹 커패시터가 사용될 경우, 정전 용량의 온도와 전압특성에 주의해야 한다.

정격 인덕턴스는 최소값이나 허용차의 값으로 표현될 수 있다. 정격 인덕턴스의 권장값은 KS C 0803에서 선택할 수 있으며 허용차는 $\pm 25\%$, $-25\%/+50\%$, $-25\%/100\%$ 이다.

정격 전압은 교류 노이즈 필터의 경우 50, 125, 250, 380, 440, 480V이며 직류 노이즈 필터의 경우 50, 160, 250, 500V로 나뉘며 일반적으로 연결될 전원 시스템의 공칭전압 이상의 정격전압을 가지도록 선택된다.

3.3.3. 절연 저항

IEC 90939-15에 명시된 직류 전압으로 측정한다. 정격전압이 10V 미만일 경우 측정 오차는 10% 이내이며, 10 ~ 100V의 경우 1V 오차가 허용되며 100 ~ 500V 이내는 15V 오차가 허용된다.

개별 규격에 달리 규정되지 않은 경우, 전압을 60 ± 5 초 동안 인가한 후 저항을 측정한다. 검사 방법은 단자 간, 내부 절연 및 외부 절연 측정으로 구분되기 때문에 측정점을 규정하는 것이 필요하며 도면 상에서 표기하는 것이 권장된다.

단일 커패시터 필터의 경우 온도별 시상수 값은 IEC 60939의 표4에 따라 만족하여야 하나 일반적인 노이즈 필터는 단일 커패시터를 가지는 경우가 드물고 페라이트에 의한 기생 커패시턴스 효과를 무시할 수 없기 때문에 표준안에는 시상수 값을 요구사항에 포함하는 것은 적절하지 않다고 판단하여 제외하였다.

3.3.4. 내전압

내전압 시험은 일반적으로 직류에 대해서 수행하며 해당 도면에서 시험 회로를 규정하는 것이 권고되나 그렇지 못할 경우 IEC 60939에 규정된 다음의 시험회로를 사용한다.

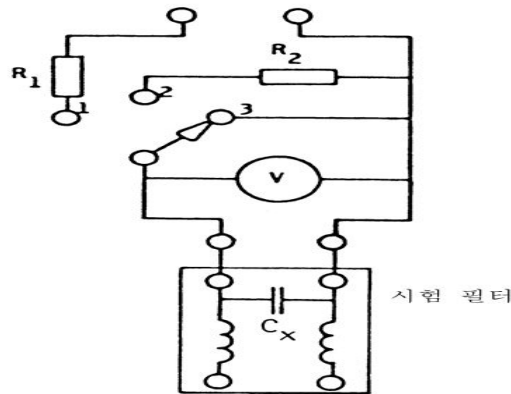


Figure 15. Test method for withstand voltage test[14]

전압계의 저항은 10,000Ω/V 이상이어야 하며 저항 R1, R2는 충방전 전류를 제한하기에 충분한 값을 가져야 한다. 내전압 측정은 절연저항과 같이 세 지점에서 측정하여야 하며 아래 Table 2와 같다.

Table 2. Observatory Points

Obeservation	Description
A between terminal	terminal to terminal or terminal to center point at which the load current through elements is on
B internal Insulation	Between terminals, which is on by the load current, and case(only metallic) or the ground pad and the terminals
C external Insulation	Between the metallic case or plate and terminals, which is on by the load current, or case(only insulated) and the metallic plate

전압 시험에 인가되는 시험전압은 IEC 60384-14의 시험법에 따라 수행하며 품질 인증용 시험인 경우 시험 전압은 1분간 인가되어야 한다. 직류 시험인 경우 충전과 방전 전류는 0.05A를 넘지 않아야 한다.

3.3.5. 누설전류

노이즈 필터는 전원을 공급선에 연결되어 노이즈를 제거하는 부품으로 때로는 고전압을 운용하는 장비에 부착되어 있기 때문에 안전(safety)은 매우 중요한 부분이다. 누설전류는 수 mA도 건강한 사람에게 영향을 미치며 무의식적인 반응으로 인한 간접적인 위험을 유발할 가능성이 있다. 보다 높은 전류는 더 위험한 결과를 초래할 수 있다. 때문에 누설전류를 제한하기 위해 개스킷과 같은 절연조치나 보호접지와 같은 상태를 확인해야 한다. 또한 기계적 및 열적 위험을 회피하기 위해 기계적으로 안정되어 있고 날카로운 모서리나 점이 없도록 가공되어야 한다.

누설전류는 접지와 선로와 연결된 Cy 커패시터가 가장 주된 원인으로 알려져 있으며 때문에 접지로 흐르는 누설 전류를 제한하기 위해 사용용량을 제한하고 있다. 최대 누설전류는 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$I_{max} = N \times 2\pi f \times C_y \times V \times 1.2 \text{ Equation (4)}$$

N은 Cy 커패시터의 수이며 V는 접지와 선로 사이에 걸리는 전압을 의미한다. 1.2는 허용 오차값 20%를 반영한 값으로 220V 60Hz 4,700pF의 Cy 커패시터의 경우 0.47mA이며 400Hz의 경우 3.12mA가 된다.

3.3.6. 온도 상승

측정은 정격 교류전류 또는 교류전류의 실효값과 같은 직류전류를 인가한 후 시험을 실시한다. 열평형 상태가 된 후, 전자파 장애 방지기기 부품의 온도는 인덕터 권선의 저항 변화를 평가함으로써 얻어진다. IEC 60939 규격에서는 구리와 알루미늄의 경우 온도 상승식이 주어지며 내부 인덕터의 허용 동작온도와 연계하여 검토가 필요하다.

만약 필터의 규격이 운용 온도가 -25 ~85도이고 온도 상승이 30도라면 정격 전류가 필터에 흐르게 되면 필터 내부 코일은 30도 상승한다는 의미이다. 사용 조건으로 볼 때는 주위 온도가 55도 이내 이어야 한다. 만약 주위 온도가 70도라면 필터 내부 온도는 100도로 상승하게 된다. 만약 커패시터의 허용 온도가 85도 라면 특성의 변화(전류 감소)가 예상되며 온도 상승으로 인한 커패시터가 파괴될 위험이 있기 때문에 부품 선정과 관련하여 검토가 필요한 항목이다.

3.3.7. 전압강하

전압 강하는 IEC 60939 규격에는 명시되지 않는 규격이나 필수적인 성능 요구조건이다. 전압 강하가 일정 범위를 넘어서면 전원을 공급받는 전자회로가 저전압 동작조건 이하의 전압을 공급받게 되어 동작을 하지 않을 수가 있기 때문이다.

필터에서 전압 강하는 인덕터의 저항으로 발생하며 통상 전압 강하는 정격전압의 1% 이내로 설계하는 것이 바람직하다. 전압 강하가 심하면 필터 내부의 온도 상승을 가져오고 필터 내부 가열은 장비의 손상을 가져올 수 있다. 설계 기준은 저전압 조건에서 노이즈 필터의 전압 강하가 일어난 전압이 구동 회로 동작에 문제가 없도록 규격이 지정되어야 한다.

3.3.8. 감쇠특성

노이즈 필터는 단품개념에서는 감쇠특성이라는 용어를 사용하고 제품에 적용될 경우에는 삽입손실로 표현하는 것이 일반적이다. 필터의 감쇠특성을 측정하는 방법은 IEC 60939 규격에서는 개별 규격에 나타내도록 규정하고 있다. 측정방법은 CISPR17과 MIL-STD-220B가 있으며 측정방법에 따라 감쇠특성이 달라진다. 동일한 회로에 대해 서로 다른 결과가 도출되는 이유는 시험 방법이 상이하며 임피던스 정합 방법에 따른 차이와 DC Bias 등에 따라 차이를 보이기 때문이다. CISPR17은 Balun을 사용하여 임피던스를 정합시키고 위상을 변환하여 측정하는 방식이다. 이는 실제 적용된 환경에서의 특성을 감안한 측정방법이라 하겠다.

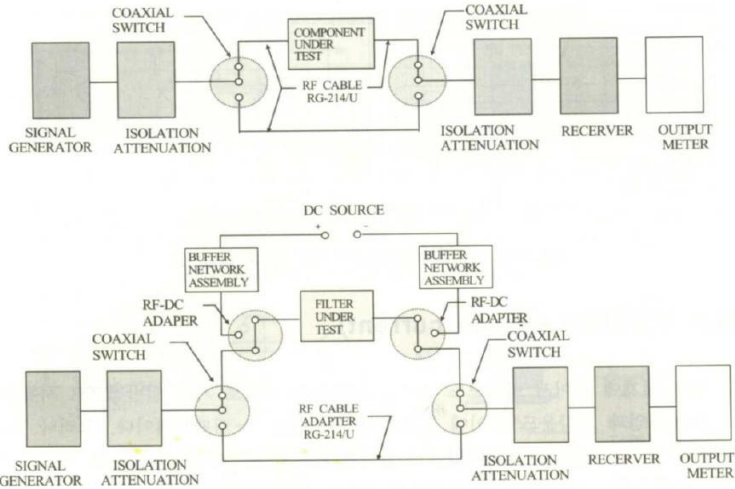


Figure 16. MIL-STD-220B IL Test Method[14]

MIL-STD-220B는 정특성과 동특성 측정에 대해 제시하고 있다. 특히 동특성은 DC Bias를 인가하여 측정하므로 동작 중 전류가 흐르면 코일의 인덕턴스가 변화되므로 실제특성을 측정하기 위한 방법이다[14].

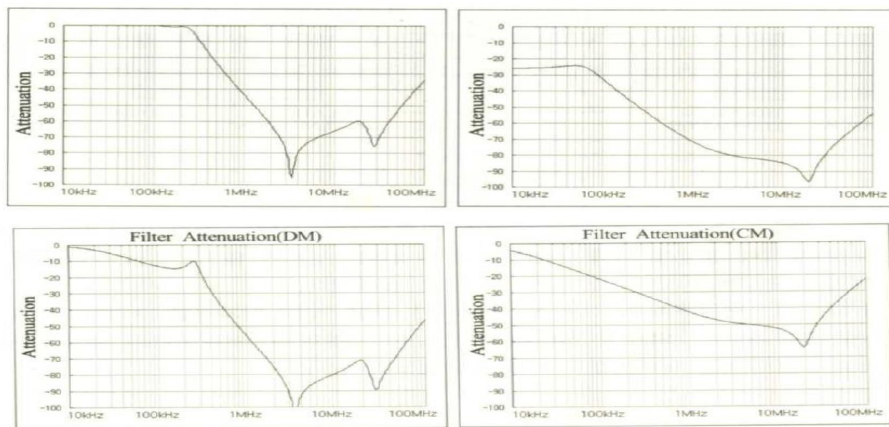


Figure 17. Typical Common Mode(CM) and Normal Mode(NM) Noise Curve[15]

위의 두 방법 중에 무엇이 우위에 있다고 주장하기는 어려우며 대상 필터의 감쇠특성을 나타내기 위해서는 측정방법과 기준을 명시하는 것이 필요하다. 또 다른 문제는 감쇠특성을 도면에 Text 형태로 명기하기 위해서는 그래프를 해석할 수 있을 정도의 값을 표 형태로 표현하는 작업이 필요하다. 적정한 데이터의 수는 감쇠특성 그래프에 의존하며 감쇠특성 그래프를 복구할 수 있을 정도의 데이터가 도면에 명기되어야 한다.

Figure 17에서 입출력 임피던스가 다른 경우의 삽입손실은 차이를 보일 수 있기 때문에 삽입손실 측정방법이 정의되어야 한다. 실제의 경우 주파수별로 임피던스는 상이하므로 다른 결과를 얻을 수 있으며 이것은 특정 주파수에서는 필터를 적용하기 전보다 나쁜 결과를 가져 올 수 있다.

3.4 도면 표준안 제안

이상 표준 규격 검토결과와 사례연구를 통하여 아래와 같이 노이즈 필터 도면 표준안을 제안하고자 한다.

□ 노이즈필터 2장중 1번째 주기

□ 노이즈필터 2장중 2번째 주기

주기

1. 본 도면은 교류용 단상 전원에 사용되는 60Hz 노이즈 필터 설계도임.
2. PCB 재질: FR-4 Epoxy
3. 성능 요구조건
 - 1) 정격 전압/전류: 250VDC/20A
 - 2) 누설전류: 1.0mA 이하
 - 3) 전압강하: 28VDC, 1A인가 시 1V 이하
 - 4) 상승온도: 최대 45°C 이내
 - 5) 동작온도: -25°C ~ 85°C
 - 6) 내전압: 800VDC±20% 이내
 - 7) 절연저항: 100MΩ 이상(측정점 표시)
 - 8) 감쇠특성: 주파수별 감쇠량은 도표 이상일 것(측정 기준: MIL-STD-220B)

주파수(MHz)		0.01	0.1	1	5	10	20	30	40	50
감쇠 율(dB)	NORMAL MODE	00	00	00	00	00	00	00	00	00
	COMMO N MODE	00	00	00	00	00	00	00	00	00

4. 모든 덧살과 날카로운 모서리 제거할 것
5. 본 도면의 모든 치수는 참고치수임
6. 제안된 공급원
 - 1) 제조회사: (주)동OOO
 - 2) 부품번호: SO-OOO
 - 3) 주소: 경기도 OOO OOO OOO
 - 4) 전화: OOO-OOO-OOO

주기

1. 커패시턴스(측정전압:1V, 측정주파수:1kHz)
 - 1) C1, C2, C3, C6: 1uF±20%
 - 2) C4, C5: 4.7nF±20%
2. 인덕턴스(측정전압:1V, 측정주파수:1kHz)
 - 1) L1: 14 ~ 30mH
 - 2) L2, L3: 168 ~ 360uH
3. 서지 흡수기
 - 1) 품번: DOOOO
 - 2) 제조원: AOOOO

본문의 세부 검토기준안을 근거로 노이즈 필터에 대한 필수적인 성능 요구조건에 대해 도출할 수 있었으며 특히 감쇠특성은 그래프의 형태로 나타내어야 하나 도면 주기란에 감쇠 특성 그래프를 추가하는 것이 제한된 상황을 고려하여 감쇠 특성 표의 형태로 나타내되 log 스케일로 특성 곡선을 재현할 정도로 충분한 계수 데이터가 제시되어야 하는 것으로 제안하였다. 또한 성능 특성 표기시 CISPR17 또는 MIL-STD-220B 등의 규격을 인용하여 표준 측정법을 명기하는 등 데이터 신뢰성을 유지하도록 하였다.

군수용 도면 및 민수용 사양 검토결과 표준화된 성능 표기 방법은 존재하지 않으나 공통적으로 요구하는 사양이 있음을 확인할 수 있었으며 공통된 요구 사양에 대한 표준 규격 연구를 통해 관련 근거를 확보 할 수 있었다. 위와 같은 연구를 통해 총 8가지의 공통된 성능 요구사항을 도출하였으며 해당 요구사항에 대한 표기법 또한 통일화시켜 위와 같이 도면 주기란에 적용하는 것으로 노이즈 필터 표준화 도면(안)을 제안하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 국방 분야 무기체계 개발시 필수적인 노이즈 필터에 대하여 규격화가 되었으나 천차만별로 작성된 성능요구조건에 대한 실태를 분석하고, 민수 사례 연구, 규격 요구성능 분석을 통하여 국방 규격화시 도면 표준안을 제안하고자 하였다. 기존 노이즈 필터 도면은 주기란에 전압강하, 누설전류 등의 단순 제원으로 기술되어 노이즈 필터의 고유 특성인 감쇠 특성을 파악하기가 곤란한 단점이 있었다. 특히 국방 분야에서도 널리 사용되고 있는 노이즈 필터의 도면 19종에 대한 검토결과, 세부 성능 요구사항 항목들, 표기방법 등이 상이하여 표준화된 방법이 부재하였다. 또한 상세 사양 표기방법 중 특정 도면은 정격 전압, 누설전류만 표기되어 있는 도면이 있는가 하면 감쇠특성, 온도특성 등의 비교적 자세한 사양이 기술되어 있는 도면도 있었다. 또한 도면에 대한 형상통제관리기관이 상이한 사유로 해당 도면 주기란의 성능요구조건 작성 순서도 다른 등 국방 분야 노이즈 필터의 도면 표준안에 대한 필요성이 있다 하겠다.

해당 분야 표준안 작성을 위해 우선 민수용으로 제작되고 있는 노이즈 필터에 대한 제조사 사양 및 데이터 시트를 분석하였다. 분석 결과, 국내용과 외국산 제품에서 일부 차이는 있었으나 공통된 성능 요구사항이 있음을 확인하였고, 9가지 공통 성능 요구사항을 도출하였다. 또한 민수용에서 널리 사용되고 있는 KS C IEC 60939의 필수 요구성능을 검토하였고, 또한 군사용 규격인 MIL-STD-220B에서 삽입손실 측정법을 등을 비교하여 노이즈 필터 도면 표준안 제정시 국방 분야에 적합한 감쇠 특성 곡선을 표기하기 위한 최적의 방법을 도출하고자 하였다.

해당 표준안은 이제까지 시도되지 않은 노이즈 필터에 대한 도면 표준안을 제안하여 향후 국방 분야 무기체계 개발시 필수적으로 적용될 노이즈 필터 규격화시 참고자료로 활용되고자 하였으며 해당 제작업체에 배포하여 도면 제작시 기초자료로 활용효과가 있을 것으로 기대된다. 또한 양산단계 품질보증시 검사자료로서의 활용성이 있는 등 실제 현장에서 도움이 되고자 하였다. 향후 노이즈 필터에 대한 사양 중 현장 제작업체에서의 애로사항 등을 파악하여 개선 발전시킨다면 더욱 효과적인 활용 방안이 될 것으로 기대하며 무기체계에서 공통적으로 사용되거나 필수적인 부품에 대해서는 이와 같은 표준안 제정에 대한 연구는 더욱 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Arrow Electronics Homepage, www.arrow.com/Official_Site/Shop.
- B. S. Kim. 2014. "The modeling and optimization of EMI Filter using S-parameter." Master Thesis, SKKU, Oct.
- B. S. Shin. 2014. "Noise Reduction Technique for Electronic Medical Device." Master Thesis, AJU, Aug.
- C. David K. 1989. *Field and wave electromagnetics*. New York: Addison-Wesley.
- Department of Defense(DoD). 1986. "Electromagnetic Emission and Susceptibility Requirements For the control of Electromagnetic Interference." MIL-STD-461C, Aug.
- Department of Defense(DoD). 2007. "Electromagnetic Interference characteristics requirement for equipment." MIL-STD-461F.
- Department of Defense(DoD). 2000. "TEST METHOD STANDARD METHOD OF INSERTION LOSS MEASUREMENT." MIL-STD-220B, Jan.
- Department of Defense(DoD). 2009. "TEST METHOD STANDARD METHOD OF INSERTION LOSS MEASUREMENT." MIL-STD-220C, May.
- Federal Communication Commission(FCC). 2015. "Radio Frequency Device." Code of Federal Regulation, Titel 47, Part 15(47 CFR 15).
- International Rectifier, www.irf.com/product/HiRel-Products/.
- J. H. Lee. 2018. "A study on the standardization of Noise Filter." DTaQ-18-5683-R.
- Korean Agency for Technology and Standards. 2003. "Complete filter units for radio interference suppression- Part 1: Generic specification." KS C IEC 60939-1.
- Mouser Electronics Hoempate, www.mouser.com.
- M. S.Zainal, M. Z. M. Zenu. "Reduction of conducted emission noise using various power supply filters." In *Applied Electromagnetics*. 2003. APACE 2003. Asia-Pacific Conference on, pp. 100-103. IEEE.
- Murata Manufacturing Co., www.murata.com/en-global/products/emc/ferrite/basic/reason.
- Murata Manufacturing Co., www.murata.com/en-global/products/emc/emifil.
- On Semiconductor, www.onsemi.com/PowerSolutions/.
- Panasonic Homepage, na.industrial.panasonic.com.
- TDK-Lamda Homepage, product.tdk.com/info/en/products/emc/emc/power-line/.
- TDK-Lamda Homepage, product.tdk.com/info/en/products/emc/guidebook/eemc_product_08.pdf.
- Verband Deutscher Elektrotechniker. 1991. Radio interference suppression of radio frequency equipment. DIN VDE 0871.
- Wllamowski. 2011. *Power electronics and motor drives*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Woonyoung Co.,Ltd., "The Noise Filter Technical Report." woonyoung.com
- Y. J. Son. 2016. "Improvement of FFX Batch-I Military satellite-ES EMI interference." DTaQ-16-4676-R.

