

항공기 탑재 전자기기의 EMI/C 기술 동향

이택경·이재욱

한국항공대학교 항공전자
및 정보통신공학부

요약

항공 기술의 발달로 인해 항공기는 우리 일상이 가까게 느껴지며, 다양한 기능을 가진 최첨단의 전자장비 등이 갖추어지게 되었다. 이러한 전자 장비의 내부 혹은 외부의 전파에 의한 전자파 간섭 현상을 일으키게 되며 심각한 경우 항공기기의 오동작을 유도한다. 따라서 항공기의 안전 운항에 필수적인 탑재 전자 장비의 전파 방해 방지를 위하여 항공기 탑재 전자기기의 전자파 장해 및 내성에 관한 국제 기술 규격의 동양 분석 및 불요 전자파 발생 인자의 파악과 대책이 필요하며 또한 전자파 장해 기준과 측정 방법의 표준화가 요구되는 현 시점에서, 본문에서는 항공기에 탑재되는 전자기기의 EMI/C 기술 동향에 대해서 언급하고자 한다.

I. 서론

항공 산업이 발달함에 따라 항공기의 운항이 대부분 항법 전자 장치에 의존하게 되었으며, 항공기의 이륙 및 착륙, 항로 비행, 충돌 방지, 항공 통신 등에 있어서 항법 전자 장치의 역할은 날로 증대하고 있다. 최근 개발된 항공기에서는 더욱 고도화된 항법 전자 장치와 기체내의 각종 편의를 위한 전자 장치들이 추가됨으로써 항공기 탑재 전자 장치의 종류가 다양해지고 고집적화 되고 있다. 현재 구축되고 있는 미래 항행의 핵심 요소인 CNS(Communication, Navigation, Surveillance)에서는 항공 통신, 항법, 항공 감시 등에 GPS 및 위성 통신을 이용함으로써 이

를 위한 위성 항행 장치들이 추가되고 있다. 또한 항공기 탑승자들에 의한 이동 통신 및 위성 통신, 노트북 등의 사용이 요구됨에 따라 이들과 항법 전자 장치들 간의 상호 간섭을 방지하기 위한 대책이 요구되고 있다.

항공기 내 탑재 전자 장치들이 급증함에 따라 항공기 내의 전파 환경 보호는 항공기 안전 운항에 중요한 문제점으로 부각되고 있다. 항공 산업이 발달한 국가를 중심으로 항공기 탑재 기기의 전자파 장해 현상을 방지하거나 불요 전자파로부터 탑재 기기의 정상적 동작을 보장하기 위한 전 세계적인 기준을 마련하고 있으며, 그 관심도 날로 증대되어 새로운 기준들이 발표되고 있다. 대부분의 국가에서는 항공기 탑재 전자 기기로부터 불요 전자파 복사를 방지하기 위한 규제를 실시하고 있다. 미국에 본부를 둔 RTCA(Radio Technical Commission for Aeronautics)에서는 항공기의 CNS/ATM(Communications, Navigation, Surveillance, and Air Traffic Management) 시스템 전반에 관한 권고안을 작성하고 있으며, 전자파 환경에 대한 기준과 측정 방법을 제시하고 있다. 일반적인 전자기기에 관한 전자파 장해(EMI)의 측정 방법 및 허용 기준치 등에 관하여 국제적으로는 IEC/CISPR, 유럽의 CENELEC-EN, 미국의 FCC-CFR, 일본의 VCCI, 영국의 BS 등의 규격이 제정되어 시행되어 오고 있다. 항공기 탑재 전자기기에 대해서는 각국의 이러한 규격을 만족함과 동시에 RTCA, MIL-STD 등의 기준을 적용하여 규제하고 있다. Boeing, Airbus 등 항공사에서는 RTCA의 기준을 기반으로 하여 자체적인 EMI 제한 요구 조건을 마련하고 있다.

우리나라에서는 전자 산업이 고도 성장함에 따라 전자파 장해로 인한 각종 사고를 예방하기 위하여 전자파관리법(1989. 12. 30. 법률 제4193호)에 전자파 장해 방지에 관한 규정이 신설됨에 따라 EMC 기준과 전자파 장해 검정에 관한 절차, 대상 기기 등을 정한 전자파장해검정 규칙을 제정(1990. 9. 3)함으로써 EMI 제도가 도입되었고, 2000년 1월 1일부터는 EMS 제도를 추가 시행해 오고 있다. EMC 규격은 나라마다 약간의 차이가 있으나 일반적으로 국제전자파장해특별위원회(CISPR)에서 발간되는 규격을 자국의 규격으로 채택하고 있으며, 우리나라 EMC 기준(정통부고시)도 국제적 표준 규격과 적절하게 조화를 이루고 있다.

항공기 탑재 전자 장비의 EMC 규격에 관해서는 우리나라의 규격이 마련되어 있지 않으며, 국제적인 규격에 대한 연구가 미비한 실정이다.

본 고에서는 “항공기 탑재 전자기기 EMI/C 기술 기준”에 대한 국제적인 동향을 기술하고, 항공기 탑재 기기의 불요 전자파 방사, 전자파 내성 및 전자파 간섭 현상을 정확히 기술하기 위한 측정 방법에 관해 국제 기구의 권고 문서를 중심으로 살펴보도록 하겠다. 특히 RTCA 및 MIL-STD에서 규정하는 기준을 상호 비교하고, 이를 바탕으로 항공기 제작사의 기술 기준을 검토하였다.

II. 항공기 탑재기기 EMC 기준

2-1 항공기 탑재 전자 장치

항공기에 탑재되는 전자 기기들은 통신, 항법, 항공감시 등의 기능을 수행하기 위한 CNS/ATM 장치들로 구성되어 있다. 통신 장비로서 HF, VHF, SAT-COM(Satellite Communication) 수신기가 있으며, 항법 장치로서는 ADF(Automatic Direction Finding), VOR(VHF Omni-Range), ILS(Instrument Landing System), DME(Distance Measuring Equipment), GPS(Global Po-

sitioning System), 수신기 등이 있으며, 감시 장치로는 레이더 및 전파 고도계(RA: Radar Altimeter)가 있다. 또한 항공 관제를 위한 ATC/S(Air Traffic Control)와 TCAS(Traffic and Collision Avoidance System) 수신기 등이 탑재되어 있다. 항공기의 대표적인 탑재 기기의 종류와 사용 주파수는 <표 1>과 같다.

2-2 항공기 탑재 전자기기 EMC 기준

항공기 탑재 전자기기의 EMC 기준은 항공기 안전 운항에 중요한 영향을 미치는 요소이므로, 항공기 제작 또는 항공기 탑재 전자기기의 생산에서 매우 중요하게 취급되고 있다. 미국에 본부를 둔 RTCA(Radio Technical Commission for Aeronautics)는 항공기의 CNS/ATM(Communications, Navigation, Surveillance, and Air Traffic Management) 시스템 전반에 관하여 권고안을 작성하기 위한 민간 비영리 기구로서, FAA(Federal Aviation Administration)의 정책 프로그램의 기초를 제공하고, 항공 산업체에 개발, 투자,

<표 1> 항공기 탑재기기

구분	장비명	주파수
Communication	HF receiver	2 MHz~30 MHz
	VHF receiver	118 MHz~137 MHz
	SATCOM receiver	1,530 MHz~1,559 MHz
Navigation	ADF receiver	190 kHz~1,750 kHz
	VOR receiver	108 MHz~118 MHz
	ILS-Loc receiver	108.1 MHz~112 MHz
	ILS-G/S receiver	329 MHz~335 MHz
	MKR receiver	75 MHz
	DME	962 MHz~1.212 GHz
	GPS receiver	1,575.42 MHz
Surveillance	Radar Altimeter receiver	4,250 MHz~4,350 MHz
ATM	ATC and TCAS receiver	1.09 GHz

사업 결정 등의 자료를 제공하고 있다. RTCA의 문서인 DO-160은 항공기 탑재 장비의 환경 조건과 시험 절차를 규정하고 있다. 여기서는 탑재 장비가 항공기 운항 시 이상 없이 성능을 나타내기 위한 환경 조건을 규정하고 있다. 이러한 환경에는 기온, 고도, 충격 등을 비롯하여 다양한 조건이 포함되며, 전자파 방사, 내성을 비롯하여 전기 충격이나 번개 등이 있다. 항공기 탑재기기 EMC에 관하여 DO-160에서는 RF 에너지 방사(Emission of Radio Frequency Energy) 및 RF 내성(Radio Frequency Susceptibility)에 관하여 기준과 측정 방법을 규정하고 있다.

군사용 장비의 정상적 성능을 위한 기준인 MIL-STD에서는 전자파 장해에 관하여 매우 엄격한 기준을 제시하고 있으며, 항공기 탑재 전자기기의 개발에서도 MIL-STD의 기준을 중요한 기준으로 사용하고 있다. MIL-STD 461은 군사용 장비의 전자파 간섭에 관한 규정을 포함하고 있다.

항공사인 Boeing과 Airbus에서는 개발하는 항공기에서 RTCA의 규정과 각국의 전자파 장해 기준을 만족하도록 하기 위하여 전자파 장해에 관한 문서를 발간하고 있다. 이들에서는 탑재 장비에 대한 전자파 장해의 등급에 대한 규정과 기준, 시험 절차 등이 포함되어 있다.

대부분의 국가에서는 전자파 장해에 관한 자국의 표준안을 가지고 있으며, 국가별로 BS(British Standard), NF(French Standard), VDE(German Standard), VCCI(Japanese Standard), FCC(USA Standard), GOST(Russian Standards) 등이 있다. 이들 각국의 표준안은 국제 기구인 CENELEC(European Union) 또는 CISPR(International Special Committee on Radio Interference) 등의 표준안과 조화를 이루도록 많은 노력을 하고 있다. 많은 국가에서는 국제 표준안인 CISPR, CENELEC-EN, FCC-CFR 등을 사용하고 있다. 항공기 탑재 장비가 아닌 경우에 이러한 각국의 표준안에 의하여 규제를 받지만 이러한 장비의 항공기 탑재 시에 적용

할 수 있는 산업 표준은 마련되어 있지 않다. 이러한 경우에는 항공기 탑재 항법 및 통신 장비의 성능을 유지하도록 DO-160의 기준에 기초하여 전자파 장해에 관한 기존의 기준을 비교하여야 한다. 각국의 규정은 <표 2>에 나타나 있다.

2-3 탑재기기 EMC 구분

전자파 장해 현상에 관한 전자파 적합성(EMC: Electromagnetic Compatibility)은 크게 전자파 방출(Emission)과 전자파 내성(Immunity)으로 구분할 수 있다. 전자파 방출은 EMI(Electromagnetic Interference)로 나타내고, 전자파 내성은 EMS(Electromagnetic Susceptibility)로 나타낸다. 이들은 각각 전도에 의한 것과

<표 2> 각국의 전자파 표준^[1]

Country	CENELEC member	International applicable standards	Specific national standards
Australia	NO	CISPR	AS
Austria	YES	EuroNorm and CEI(Susc. Ass.)	OVE
U.S.A	NO	-	ANSI/FCC
China	NO	CISPR	GB
Denmark	YES	EuroNorm (1996)	Nothing until 96
France	YES	EuroNorm and CEI	NF
Germany	YES	EuroNorm	DIN/VDE (more severe)
Japan	NO	CISPR	VCCI
Russia	NO		GOST and others
Korea	NO		

복사에 의한 것으로 나눌 수 있다.

불요 전자파 방출에 관해서는 전도 방출(CE: Conducted Emission)과 복사 방출(RE: Radiated Emission)로 구분되고, 전자파 내성은 전도내성(CS: Conducted Susceptibility)과 복사 내성(RS: Radiated Susceptibility)으로 구분된다. 항공기 탑재 전자기기의 전자파 장애에 관하여 DO-160에서는 이들 네 가지의 장애에 관하여 구분하고 이들에 대한 기준을 제시하고 있으며, MIL-STD에서도 이와 같이 구분하고 있다.

Ⅲ. 항공기 탑재기기 불요 전자파 복사 기준

3-1 복사 구분 및 카테고리 정의

본 장에서는 항공사 및 각 표준화 그룹별로 방사 요구 조건(Emission Requirement)과 이와 관련되는 측정 절차(Test Procedure)에 관하여 언급하고 RTCA에서 구분하는 카테고리를 설명한다. 먼저, 적용할 대상의 주파수 범위 및 다양한 방사의 구분을 할 필요가 있다. 이것은 항공사 및 각 표준화 그룹별로 조금씩 다르나 그 근간은 Military Standard와 크게 다르지 않으며 그 방사 및 내성 구분은 <표 3>과 같다.

3-2 Conducted Emission

1) Airbus사

가. CISPR Standards

전 세계 많은 국가들의 규제 조건의 기본으로 사용되는 CISPR는 전자파 방사(Electromagnetic Emissions, Conducted and Radiated Limits) 및 인증 시험 방법에 관한 권고 사항을 제시하는 국제 표준화 기구이다. 각 전자장비마다 해당되는 CISPR 카테고리는 다음과 같다.

CISPR 11 : Industrial, Scientific and Medical Equipment

CISPR 13 : Sound and Television Broadcast Recei-

<표 3> Emission and susceptibility requirements^[6]

Requirement	Description
CE101	Conducted Emissions, Power Leads, 30 Hz to 10 kHz
CE102	Conducted Emissions, Power Leads, 10 kHz to 10 MHz
CE106	Conducted Emissions, Antenna Terminal, 10 kHz to 40 GHz
CS101	Conducted Susceptibility, Power Leads, 30 Hz to 150 kHz
CS103	Conducted Susceptibility, Antenna Port, Intermodulation, 15 kHz to 10 GHz
CS104	Conducted Susceptibility, Antenna Port, Rejection of Undesired Signals, 30 Hz to 20 GHz
CS105	Conducted Susceptibility, Antenna Port, Cross-Modulation, 30 Hz to 20 GHz
CS109	Conducted Susceptibility, Structure Current, 60 Hz to 100 kHz
CS114	Conducted Susceptibility, Bulk Cable Injection, 10 kHz to 200 MHz
CS115	Conducted Susceptibility, Bulk Cable Injection, Impulse Excitation
CS116	Conducted Susceptibility, Damped Sinusoidal Transients, Cables and Power Leads, 10 kHz to 100 MHz
RE101	Radiated Emissions, Magnetic Field, 30 Hz to 100 kHz
RE102	Radiated Emissions, Electric Field, 10 kHz to 18 GHz
RE103	Radiated Emissions, Antenna Spurious and Harmonic Outputs, 10 kHz to 40 GHz
RS101	Radiated Susceptibility, Magnetic Field, 30 Hz to 100 kHz
RS103	Radiated Susceptibility, Electric Field, 2 MHz to 40 GHz
RS105	Radiated Susceptibility, Transient Electromagnetic Field

vers and Associated Equipment(Including Video Tape)

CISPR 22 : Information Technology Equipment

나. EN(EuroNorm) Standards

EN은 CENELEC(European Committee for Electric Standards)에 의해서 탄생되었으며, 유럽에서는 주요한 표준화로 자리잡고 있다. 주요한 전자파 방사(electromagnetic emission)에 관한 제한 요건은 CISPR

<표 4> CISPR 11-conducted emissions^[1]

Standard	CISPR 11	CISPR 11
Class	A(Non-domestic)	B(Domestic)
150 kHz~500 kHz	79 dBuV	66~56 dBuV
500 kHz~5 MHz	79 dBuV	56 dBuV
5 MHz~30 MHz	73 dBuV	60 dBuV

<표 5> CISPR 13-conducted missions(Quasi-peak)^[1]

Standards	CISPR 13
Category	TV set and video tape, FM receivers
150 kHz~500 kHz	66~56 dBuV
500 kHz~5 MHz	56 dBuV
5 MHz~30 MHz	60 dBuV

<표 6> CISPR 22-conducted emissions(Quasi-peak)^[1]

Standards	CISPR 22	CISPR 22
Class	Class A (Non-domestic)	B(Domestic)
150 kHz~500 kHz	79 dBuV	66~56 dBuV
500 kHz~5 MHz	79 dBuV	56 dBuV
5 MHz~30 MHz	73 dBuV	60 dBuV

과 거의 유사하며, 그 비교를 <표 7>에 표시한다.

다. VDE(Verband Deutscher Elektrotechniker) Standards

VDE 표준은 German Trade Association에 의해서 탄생되었으며 독일에서 작동되는 모든 전자장비 및 부품에 관한 복사 및 전도에 관한 규제를 담당하고 있다. 주요한 전자파 방사(electromagnetic emission)에 관한 제한 요건은 CISPR과 매우 유사하며 그 비교는 <표 8, 9>에 제시된다.

라. FCC(Federal Communications Commission) Standards

FCC 표준은 Federal Communications Commission에

<표 7> EN and CISPR references^[1]

Cross Reference	Part
EN55011 ↔ CISPR 11	Industrial, Scientific and Medical Equipment
EN55013 ↔ CISPR 13	Sound and Television Broadcast Receivers and Associated Equipment(including video tape for example)
EN55014 ↔ CISPR 14	Electrical Motor Operated Equipment and Thermal Appliances
EN55022 ↔ CISPR 22	Information Technology Equipment

<표 8> VDE and CISPR references^[1]

Cross Reference	Part
VDE 0871 ↔ CISPR 11	Industrial, Scientific and Medical Equipment
VDE 0872-13 ↔ CISPR 13	Sound and Television Broadcast Receivers and Associated Equipment(including video tape for example)
VDE 0875-1 ↔ CISPR 14	Electrical Motor Operated Equipment and Thermal Appliances
VDE 0878-3 ↔ CISPR 22	Information Technology Equipment

<표 9> VDE 0871-conducted emissions(Quasi-Peak)^[1]

Standard	VDE 0871	VDE 0871
Class	A(Non-domestic)	B(Domestic)
150 kHz~500 kHz	66 dBuV	54 dBuV
500 kHz~30 MHz	60 dBuV	48 dBuV

의해서 제정되었으며, 미국내에서 작동되는 모든 전자장비 및 부품에 관한 복사 및 전도에 관한 규제를 담당하고 있다. CFR(Code of Federal Regulations)은 주파수의 의도적인 또는 우발적인 사용에 관한 내용을 담고 있으며, 그 중에서 특히 EMC와 관련된 부분은 Part 15(Radio-Frequency Devices)와 Part 18(Industrial, Scientific and Medical Equipment)이다.

- FCC CFR Part 15

이 부분은 통신 장비(Communication Devices, 의도적인 주파수 사용)와 컴퓨팅 장비(Sub-part J)들로부터의 방사에 관한 규제를 다룬다. 위에서 언급된 컴퓨팅 장비들은 10 kHz보다 큰 비율에 해당하는 타이밍 신호(timing signal)와 펄스 및 모든 디지털 기술을 사용하는 컴퓨터를 비롯한 전자 장비로 정의된다. 특히, 이 부분을 다시 두 개의 그룹으로 구분하면,

Class A : Use in Commercial, Industrial and Business Environment

Class B : Use in a Residential Environment

으로 나눌 수 있다.

<표 10> FCC-CFR Part 15 sub-part J - conducted emissions(Quasi-Peak)^[1]

Standard	FCC Part 15	FCC Part 15
Class	A(Non-domestic)	B(Domestic)
450 kHz~1,705 kHz	60 dBuV	48 dBuV
1,705 kHz~30 MHz	70 dBuV	48 dBuV

마. 표준화 비교

앞서 언급한 표준화들은 측정될 장비와 측정할 안테나 사이에 요구되는 거리가 일정하지 않았다. 일반적으로 사용되는 거리는 30 m, 10 m 그리고 3 m이며, DO160/ED14 표준화는 접지면(Ground Plane)으로부터 약 몇 cm위에 위치한 장비로부터 1 m 거리에서 측정하도록 규정한다. 이러한 거리 개념은 복사되는 전자계의 wave impedance 측면에서 중요한 요소가 된다. 전도 방사 레벨의 기본 요구 사항들은 DO160/ED14 Section 21 카테고리 A와 Z에 의해서 요구되는 사항들과 같으며, [그림 1]과 [그림 2]에서 표현된 두 개의 곡선이 항공기 탑재 회로에 연결되는 전력선(Power Supply)에 대한 전도 방사 제한(Conducted Limitation)과 연결 케이블(Interconnecting Cable) 또는 신호선(Signal Cable)에 대한 방사 제한을 나타내고 있으며, 이 그림은 Boeing사에서 제공하는 곡선과 일치하며 단지, 단위가 Boeing사에서는 dBuA를 사용한다는 것이 다른 점이다.

<표 11> Comparison of national and international standards for conducted emission limits^[1]

Frequency Ranges (MHz)	CISPR 11-22 Cl. A	CISPR 11-22 Cl. B	CISPR 13	VDE 0871 Cl. A	VDE 0871 Cl. B	FCC Part 15 Cl. A	FCC Part 15 Cl. B	DO 160/ED 14 Sec. 21 Supply	DO 160/ED 14 Sec. 21 Signal
0.15~0.5	79	66 to 56	66 to 56	66	54	60	48	62 to 56	82 to 76
0.5~1.7	79	56	56	60	48	60	48	56 to 51	76 to 71
1.7~5	79	56	56	60	48	70	48	51 to 46	71 to 66
5~30	73	60	60	60	48	70	48	46	66

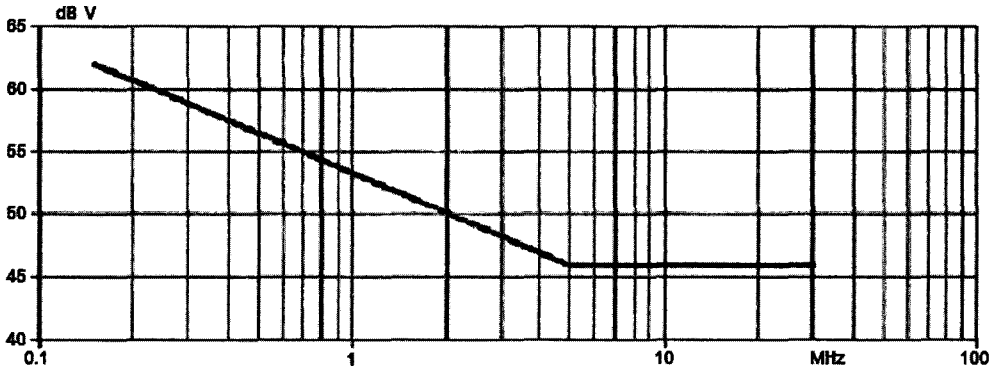


Figure A6-1: Conducted limitations for supply lines - Narrow band Limitations are given in dB μ V induced on the power supply interfaced with a Line Impedance Stabilization Network.

[그림 1] Conducted limitations for supply lines^[1]

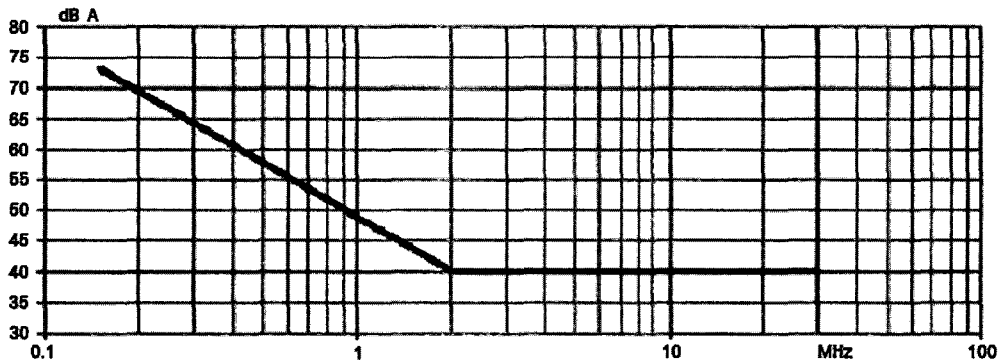


Figure A6-2: Conducted limitations for interconnecting lines - Narrow band Limitations are given in dB μ A induced on the line and measured with a current probe.

[그림 2] Conducted limitations for interconnecting lines^[1]

2) Boeing사

일반적으로 항공기내에 처음으로 검증된 전자 장비가 장착되는 경우에는 방사측면에서 살펴볼 때 장착할 장비가 기존에 장착되어 있으며, FAA승인이 된 시스템에 부정적인 영향을 주는지 여부를 판단하는 실험을 이행하게 된다. 이 때 주로 두 개의 경우가 언급되는데, 첫 번째가 엔진이 동작하지 않는 상태에서 장착할 장비를 동작시킨 후 다른 장비 및 시스템(〈표 12〉참고)의 동작 여부를 모니터링하는 것이

고 두 번째가 엔진을 동작시킨 후 위의 과정을 반복하는 것이다. 즉, 정량적인 전력 레벨을 취급하는 것보다는 정성적으로 시스템의 동작 여부로 Pass/Fail을 판단하고 있다. 그러나 각 전자장비의 자체의 성능(방사 제한)을 주파수별로 특정 짓는 과정은 RTCA의 규격과 거의 일치하며 단지 주파수를 자체 내에서 추가적으로 확장하여 적용하고 있다.

3) RTCA

<표 12> Radiated and susceptibility tests^[2]

Item	System	Test Condition
1	No. 1 VOR Receiver	Check receiver operation at 3 different frequencies between 108.00 MHz and 117.95 MHz. Monitor receiver audio, flags and pointers.
2	No. 2 VOR Receiver	Check receiver operation at 3 different frequencies between 108.00 MHz and 117.95 MHz. Monitor receiver audio, flags and pointers.
3	LH LOC/GS Receiver	Check receiver operation at 3 different frequencies between 108.00 MHz and 117.95 MHz. Monitor receiver audio, flags and pointers
4	CENTER LOC/GS Receiver	Check receiver operation at 3 different frequencies between 108.00 MHz and 117.95 MHz. Monitor receiver audio, flags and pointers

Radio Frequency의 방사에 관하여 언급하고 있는 부분은 Section 21의 Emission of Radio Frequency Energy이며, 테스트의 목적은 장착할 장비가 앞으로 언급될 수준 이상으로 원하지 않는 RF 잡음을 방사하는지 또는 방사하지 않는지를 결정하기 위한 것이다. 또한 장비가 해당하는 주파수 범위 내에서 동작 가능하고, 제시된(허용 범위의) 수치를 초과하는 간섭 신호는 항공기의 버스(Aircraft Bus) 또는 다른 전자장비에 정상적으로 연결된 어떤 전원 선로에도 나타나지 않아야 한다.

가. 장비의 카테고리

카테고리의 구분은 주로 장비와 항공기 RF Receiver에 연결된 안테나 사이의 거리 및 위치에 의해서 정의된다.

- 카테고리 B

간섭 신호가 허용 가능한 레벨로 제어가 되도록 한 상태에서 동작이 가능한 장비를 카테고리 B로 식별한다.

- 카테고리 L

항공기의 창문 및 RF수신기 안테나로부터 멀리 위치해 있는 장비 및 Interconnected Wiring에 대해서 정의되며, 이 범주에 속하는 것으로 항공기의 전자장비 설치실 및 기기실에 위치한 장비 및 이와 관련된 Interconnecting Wiring이다.

- 카테고리 M

항공기상에서의 열린 틈(Aperture)이 전자파 현상으로 볼 때 중요하게 작용하나 RF 수신기의 안테나로부터 직접적으로 보이는 거리에는 위치하지 않은 장비 및 Interconnected Wiring에 대해서 정의되며 이러한 범주에 속하는 것으로 화물 수송기의 조종실내 또는 승객실에 위치한 장비 및 이와 관련된 Interconnecting Wiring이다.

- 카테고리 H

RF 송수신 안테나가 직접 바로 보이는 위치에 있는 경우에 해당하며 특히, 항공기 바로 외부에 위치한 장비에 대해서 적용된다.

위에서 제시된 카테고리 별로의 Conducted RF Interference는 Boeing사에서 사용하는 규격인 [그림 3]과 [그림 4]와 동일하며 Airbus사, Boeing사 및 RTCA에서 제시하는 각 카테고리별 CE(Conducted Emission)의 허용 레벨은 거의 같은 특성을 보인다.

4) Military Standards

CE102에 해당하는 주파수는 10 kHz에서 10 MHz까지이며 RTCA/DO-160D의 주파수 범위는 150 kHz에서 30 MHz까지이다. 군수용 규격의 CE102에 대응하는 민수용(상용) 규격은 다음의 <표 13>과 같으며,

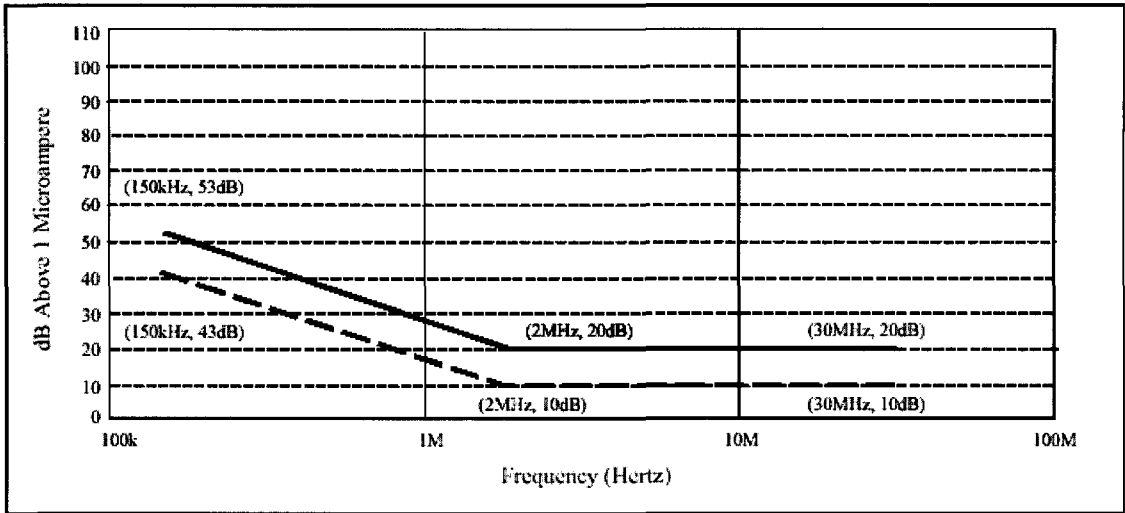


Figure 8.4-2. RF Narrowband Conducted Emissions For Power Wiring

[그림 3] Conducted emissions for power wiring(power supply)^[2]

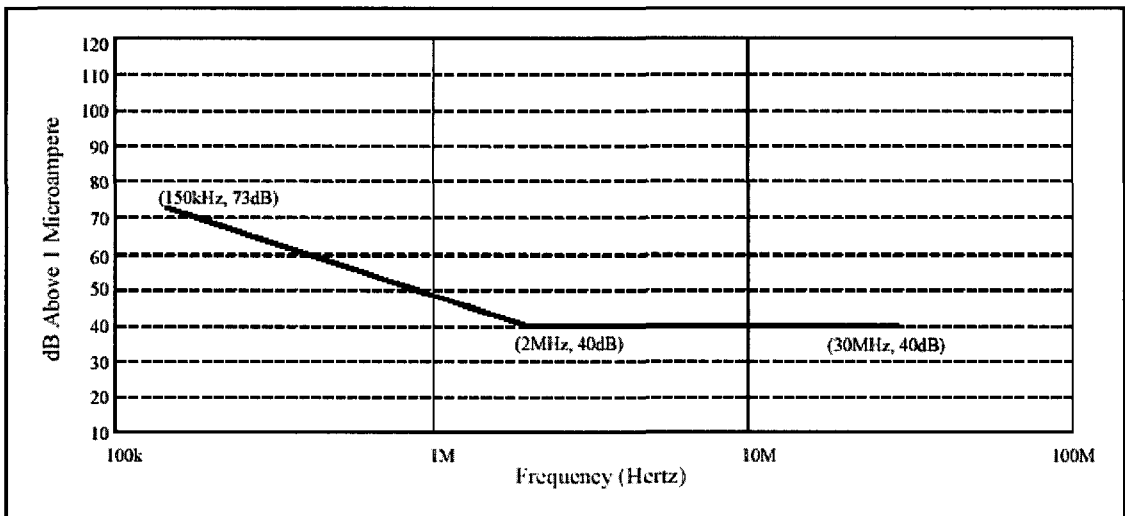


Figure 8.4-4. RF Narrowband Conducted Emissions For Interconnecting Cables

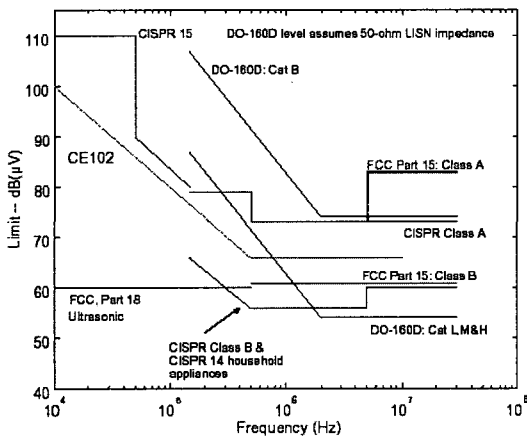
[그림 4] Conducted emissions for interconnecting(signal) cables^[2](Airbus사의 conducted emission과 일치)

CISPR 및 상용 규격의 전도 방사 제한 레벨은 [그림 5]와 같이 표현된다. 이 때 DO-160D는 CE102의 일

반적인 규격을 대부분 만족하는 또 다른 대체 규격으로서 작용할 수 있음을 보여준다.

<표 13> CE102 comparison with commercial standards^[5]

Test Parameter	CE102	CISPR 11, 14, 15, 16, 22	DO-160D: 21	C63.4-FCC	Comments
Equipment Type / Platform	All mains-connected equipment All Platforms	11: ISM 14: motor-operated & thermal appliances for household use, electric tools 15: Lighting equipment 16: unrestricted (no limits) 22: ITE	Airborne equipment	non-I.S.M. equipment, except TV & FM receivers, (≤ 600 V)	general coverage
Frequency Range					Only limited commercial coverage below 150 kHz
Methodology	-----				
Set-up	EUT on benchtop (usually on ground plane) Power leads only	similar to CE102, but usually not on ground plane	similar to CE102, but only grounded benchtops Power & intercon. leads	similar to CISPR	much similarity
Sensors	MIL-LISN meas. port thru 20 dB attenuator	CISPR-LISN meas. port	LISN meas. port, or current probe	CISPR-LISN meas. port or voltage probe	
Limits		Acceptable 150 kHz & above. Requires tailoring below 150 kHz	Acceptable 150 kHz & above.	Acceptable 150 kHz & above, class B only	Comparable



[그림 5] CE102(10 kHz to 10 MHz) limit and commercial^[5]

3-3 Radiated Emission

1) Airbus사

가. CISPR Standards

<표 14> CISPR 11 - radiated emissions(Quasi- Peak)^[1]

Standard	CISPR 11	CISPR 11
Class	A(Non-Domestic)	B(Domestic)
Measurement istance	30 Meters	10 Meters
30~230 MHz	30 dBuV/m	30 dBuV/m
230 MHz~1 GHz	37 dBuV/m	37 dBuV/m

<표 15> CISPR 13 - radiated emissions(Quasi- Peak)^[1]

Standard	CISPR 13	CISPR 13	CISPR 13
Category	TV set and Video Tape Channels below 300 MHz	TV set and Video Tape Channels below 3 GHz	FM receivers
Measurement Distance	3 Meters	3 Meters	3 Meters
Local Oscillator	57 dBuV/m	56 dBuV/m	60 dBuV/m
30~300 MHz	52	NA	52
300 MHz~1 GHz	56	56	56

<표 16> CISPR 22 - radiated emissions(Quasi- Peak)^[1]

Standard	CISPR 22	CISPR 22
Class	A(Non-Domestic)	B(Domestic)
Measurement Distance	30 Meters	10 Meters
30~230 MHz	30 dBuV/m	30 dBuV/m
230 MHz~1 GHz	37 dBuV/m	37 dBuV/m

나. VDE Standards

<표 17> VDE 0871 - radiated emissions(Quasi- Peak)^[1]

Standard	VDE 0871	VDE 0871
Class	A(Non-Domestic)	B(Domestic)
Measurement Distance	30 Meters	10 Meters
30~41 MHz	34 dBuV/m	34 dBuV/m
41~68 MHz	30 dBuV/m	34 dBuV/m
68 MHz~174 MHz	34 dBuV/m	34 dBuV/m
174 MHz~230 MHz	30 dBuV/m	34 dBuV/m
230 MHz~470 MHz	34 dBuV/m	34 dBuV/m
470 MHz~760 MHz	45 dBuV/m	46 dBuV/m
760 MHz~1 GHz	< 59 dBuV/m	46 dBuV/m

다. FCC(Federal Communications Commission) Standards

<표 18> FCC-CFR Part 15 Sub-part J - radiated emissions(Quasi-Peak)^[1]

Standard	FCC Part 15	FCC Part 15
Class	A(Non-Domestic)	B(Domestic)
Measurement Distance	10 Meters	3 Meters
30~88 MHz	40 dBuV/m	40 dBuV/m
88~216 MHz	43 dBuV/m	43 dBuV/m
216 MHz~960 MHz	46 dBuV/m	46 dBuV/m
960 MHz~1 GHz	50 dBuV/m	54 dBuV/m

라. 표준화 비교

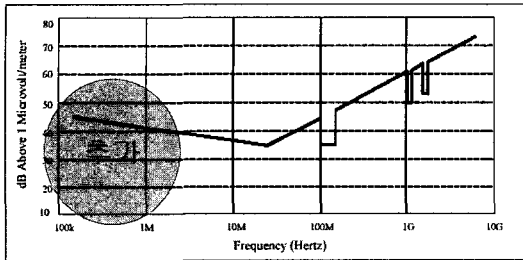
<표 19>에서 보여지는 바와 같이 다른 상용 규격들에 비해서 DO-160D가 일반적으로 가장 엄격한 규격을 적용하고 있음을 알 수 있다.

2) Boeing사

주의 사항 : [그림 6]은 추가적인 주파수 범위 150 kHz~2 MHz를 제외하면 DO-160D 최신 버전의 카테고리 M과 일치하며 [그림 7]은 추가적인 주파수

<표 19> Comparison of national and international standards(normalized to 1 meter) for radiated emission limits^[1]

Frequency Ranges (MHz)	CISPR 11-22 Cl. A	CISPR 11-22 Cl. B	CISPR 13	VDE 0871 Cl. A	VDE 0871 Cl. B	FCC Part 15 Cl. A	FCC Part 15 Cl. B	DO 160/ED 14 Sec. 21 Cat. A
30~41	60	50	62	64	54	60	50	36
41~68	60	50	62	60	54	60	50	38
68~88	60	50	62	64	54	60	50	41
88~174	60	50	62	64	54	63	53	43
174~216	60	50	62	60	54	63	53	49
216~230	60	50	62	60	54	66	56	50
230~300	67	57	62	64	54	66	56	51
300~470	67	57	66	64	54	66	56	51
470~760	67	57	66	75	66	66	56	56
760~960	67	57	66	89	66	66	56	60
960~1,000	67	57	66	89	66	70	64	62



Break Points for RF Radiated Narrowband Emissions Limits

Frequency Range(MHz)	Amplitude(dBuV/m)	
	Start	Stop
0.15 ~ 25	45	35
25 ~ 100	35	45
100 ~ 250	34	34
150 ~ 1,020	47	61
1,020 ~ 1,100	50	50
1,100 ~ 1,525	61	63.5
1,525 ~ 1,680	53	53
1,680 ~ 6,000	64	73

[그림 6] RF narrowband radiated emissions limits^[2]
(LRUs with Shipsets < 10)

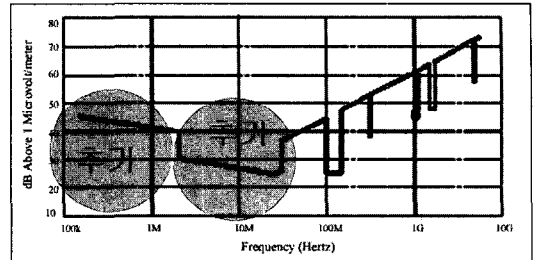
범위인 150 kHz ~ 2 MHz와 HF Notch 특성을 제외하고는 DO-160D 최신 버전의 카테고리 H와 일치한다.

3) RTCA

앞서 Boeing사에서 언급한 바와 같이 [그림 6]과 [그림 7]은 RTCA/DO-160D에서 주어진 카테고리에서의 방사 제한 레벨과 거의 일치한다.

4) Military Standards

RTCA/DO-160D는 모든 항공기 탑재 장비를 다루는 산업 규격으로서 측정방법은 Military Standards와 거의 같으며 단지 몇 개의 세밀한 부분에서 차이점을 가지고 있다. 예로서 군수용 규격인 경우에는 측정을 위해 사용되는 안테나가 주파수별로 정해져 있



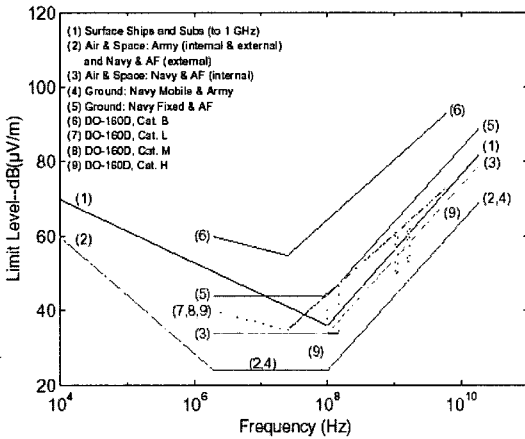
Break Points for RF Radiated Narrowband Emissions Limits

Frequency Range(MHz)	Amplitude(dBuV/m)	
	Start	Stop
0.15 ~ 2	45	40
2 ~ 25	30	25
25 ~ 30	25	26
30 ~ 100	36	45
100 ~ 150	25	25
150 ~ 320	47	53
320 ~ 340	38	38
340 ~ 1,020	53	61
1,020 ~ 1,100	45	45
1,100 ~ 1,525	61	63.5
1,525 ~ 1,680	48	48
1,680 ~ 5,020	64	72
5,020 ~ 5,100	57	57
5,100 ~ 6,000	72	73

[그림 7] RF narrowband radiated emissions limits^[2]
(LRUs with Shipsets >= 10 or Outside Fuselage)

는 반면에 민수용 규격인 RTCA/DO-160D는 특별히 안테나 타입을 정하고 있지 않다. 또한 군수용 규격이 Multiple Antenna Location을 정의하는 반면에 RTCA/DO-160D 규격은 정의하고 있지 않다. 이러한 몇 가지의 미묘한 차이점을 감안한 군수용 규격과 RTCA/DO-160D의 허용 방사 레벨을 나타낸 것이 [그림 8]이다.

[그림 8]에서 협대역 방사인(곡선 7)을 제외하고



[그림 8] RE102(Electric Field, 10 kHz to 18 GHz) and DO-160D^[5]

는 RTCA/DO-160D, Section 21을 만족하여 승인된 항공기 탑재 전자장비 중 어느 것도 군수용으로 사용될 수 없음을 알 수 있다. 그 이유는 주파수 적용 범위(Frequency Coverage)와 허용 레벨의 모양 및 값의 차이로 인해서이다. 따라서 곡선 7이 낮은 주파수와 높은 주파수의 양 끝쪽에서 차이를 허용한다면 곡선 1, 3과 5에 비해서 군수용으로 받아들여질 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 항공기 탑재기기의 전자파 장애를 방지하기 위한 국제적인 기술 기준을 조사하고, 전자파 장애의 종류별로 기준을 비교, 검토하였다. 항공기 EMC에 관한 국제적인 기술기준으로서 RTCA의 DO-160의 기준과 MIL-STD를 비교 검토하였으며, 항공기 제작사인 Boeing 및 Airbus에서 적용하는 기준을 검토하였다. 불요전자파 방출 및 전자파 내성에 관한 탑재기기의 카테고리 구분에 관한 규정을 조사하고 이를 바탕으로 EMC 기준을 분석하였다. 불요 전자파 방출과 관련하여 카테고리별로 구분하

여 CE 및 RE의 기준을 DO-160과 MIL-STD 및 CISPER 등과 비교하였다.

참 고 문 헌

- [1] Airbus Industrie, Service Information Letter, "Recommended procedure to assess the electromagnetic compatibility of a new cabin equipment", Revision, Oct. 1999.
- [2] Boeing, "EMI/RFI test plan-Honeywell/ACSS 751-7800-10004 ATDL transponders & 4066010-910 TCAS", Feb. 2003.
- [3] RTCA/DO-160D, "Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment", Jul. 1997.
- [4] MIL-STD-464A, "Department of defense interface standard-Electromagnetic environmental effects requirements for systems", Dec. 2002.
- [5] MIL-STD-461E, "Results of detailed comparisons of individual EMC requirements and test procedures delineated in major national and international commercial standards with military standard- engineering practice study", Mar. 2001.
- [6] MIL-STD-461E, "Requirement for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment-department of defence interface standard", Aug. 1999.
- [7] Clayton R. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, John Wiley & Sons., Inc., 1992.
- [8] M. P. Robinson, T. M. Benson, C. Christopoulos, J. F. Dawson, M. D. Ganley, A. C. Marvin, S. J. Porter, and D. W. P. Thomas, "Analytical formulation for the shielding effectiveness of enclosures with apertures", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 40, no. 3, pp. 240-248, Aug. 1998.

≡ 필자소개 ≡

이택경



1983년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)

1985년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1990년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1990년 5월~1991년 4월: Univ. of Texas at Austin, Post-Doctoral Fellow

1991년 9월~1992년 2월: 한국과학기술원 정보전자연구소 연구원

2001년 7월~2002년 7월: Univ. of Illinois, Urbana Campaign, Associate Visiting Research Professor

1992년 3월~현재: 한국항공대학교 전자정보통신 컴퓨터공학부 교수

[주 관심분야] 마이크로파, 안테나, 전자파 해석, 레이다

이재욱



1992년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)

1994년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1998년 3월~2004년 2월: 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 전파기반연구그룹

2004년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부, 전자 및 항공전자 전공, 조교수

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 능,수동소자 해석 및 설계, EMI/EMC 대책기술, 고출력 증폭기 및 고출력 안테나 설계