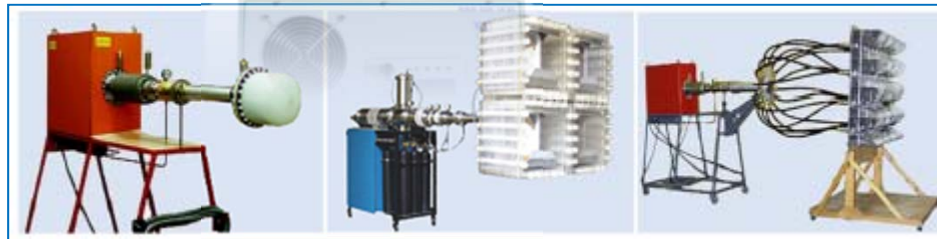


비핵 고출력 전자파 무기류의 종류와 특징



KTI 개발 Drones 격추장비



Russia Tomsc Institute 개발 이동형 비핵 EMP발생기

미 공군 연구소 개발 95THz, Active Denial System
대 테러 무기. 2초안에 피부가 타 들어가는 느낌을 줌



1. 비 핵 고출력 전자파 발생 장치

용어 정의

Marks generator : 컨덴서, 저항 그리고 방전 갭을 이용하여 높은 전압을 Pumping 시키는 고압 발생장치

Vircator : VIRtual CATHode oscillATOR : 고압 여진 진공관으로 주파수 가변 가능하고 출력은 100MW- GW. 주파수 범위는 소출력은 1GHz-40GHz이고, 대출력은 5GHz 대역폭

FCG : Flux Compression Generator

초 전도체 인덕터를 감고 dc를 인가한 상태에서 내(외)부에서 폭약을 폭발시키면, 코일이 순간적으로 이동하면서 자속을 축적시켜 펄스를 발생시키는 장치

Gyrotrons : TWT 진행파관의 일종으로 20-250GHz 또는 THz를 발생시킬 수 있는 진공관으로 주파수 가변이 가능하고 출력은 1-2 MW 출력

기타 고출력 MW 신호 발생원:

Klystron tube, Magnetron, Reflex triodes, BWO: Backward Wave Oscillator,

FEL: Free Electron Laser, RDG: Relativistic Diffraction Generator,

MILO: Magnetically Insulated Line Oscillator

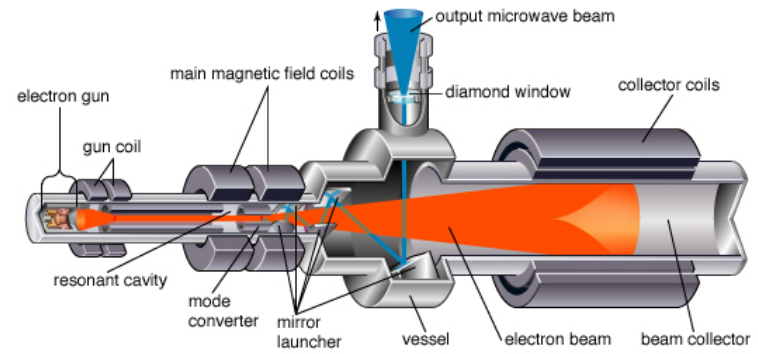
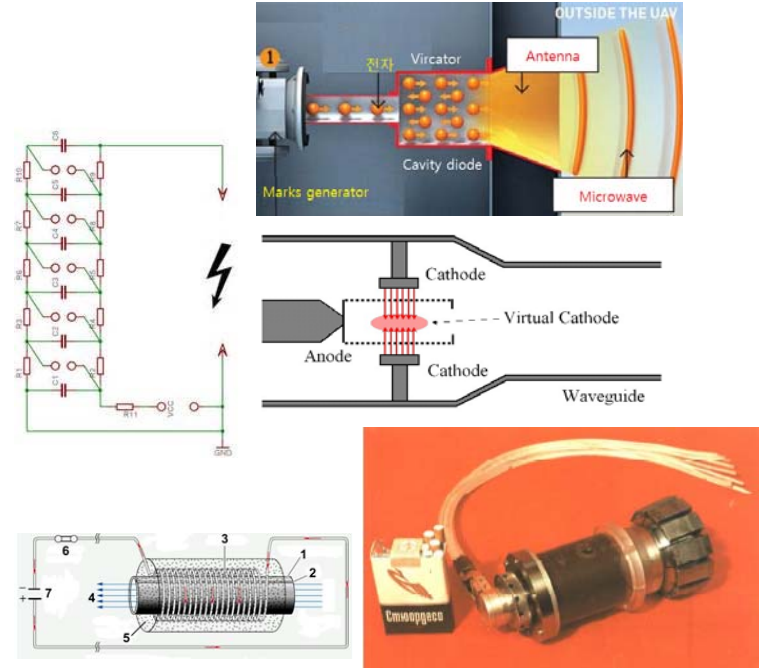
-SWE: Shock Wave Emitter

-HPEM : High Power Electro-Magnetic

-IEMI (Intended Electro Magnetic Interference);

전기.전자기에 간섭, 혼란 및 손상 시키기 위해 테러 또는 악의적 목적으로 의도적으로 만들어내는 전자기파

-EMP : HEMP, HPEM 등 고출력 전자기파의 총칭

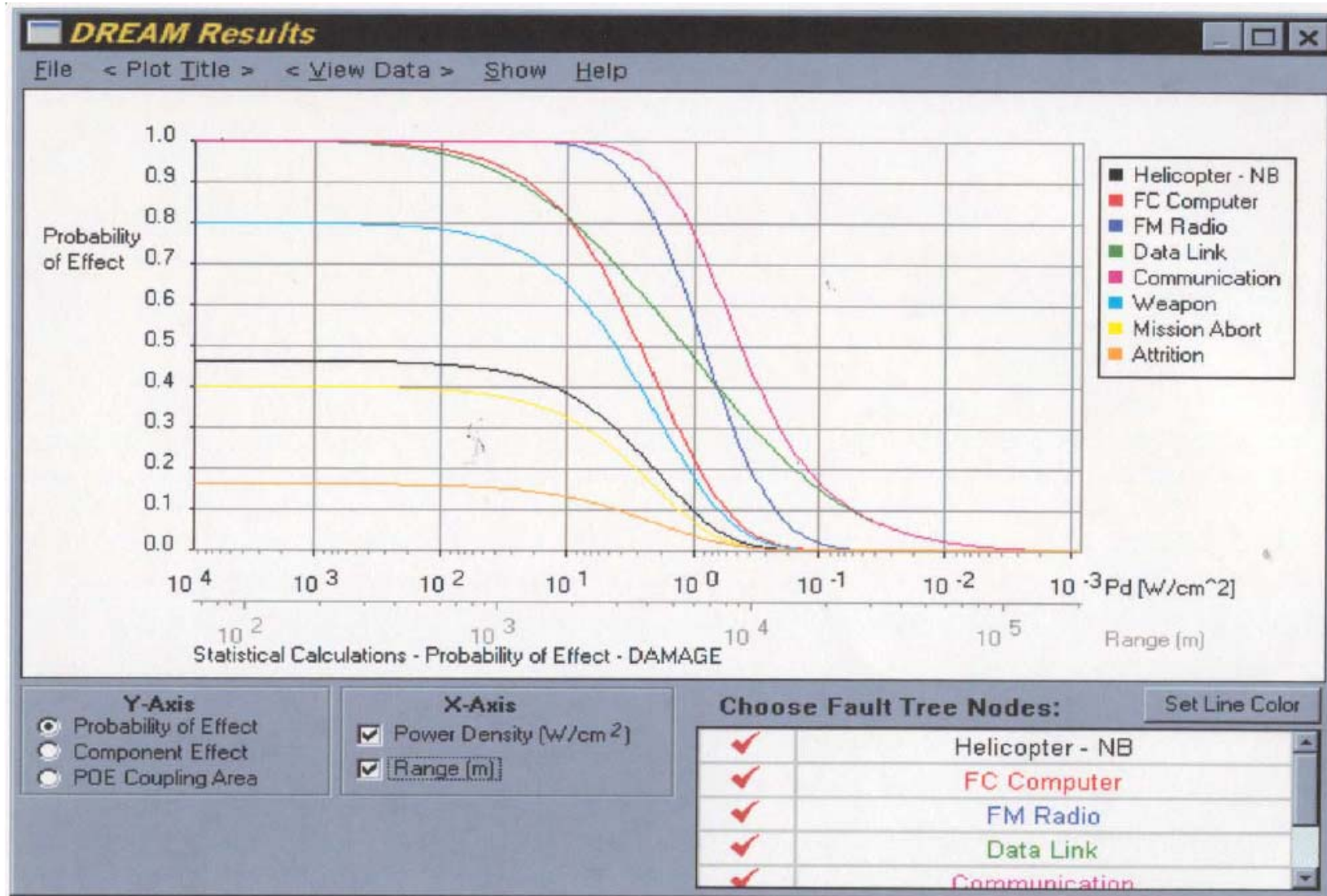


본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락없이 무단 사용을 금합니다.

1-1. 비 핵 고출력 전자파가 미치는 영향 정의

	Level	영향 정도	정 의
	5	손상/ damage	하드웨어, 소프트웨어 또는 Firmware의 교체가 요구됨
	4	오동작/ Upset	System reset과 같은 외부로 부터 도움이 필요함
	3	장애/ Disturbance	인과 관계가 명확한 영향이 관측되나 자동으로 복구됨
	2	간섭/ Interference	전자파 조사 시 순간적인 영향이 관측됨
	1	무영향/ No effect	
	0	영향 모름/ Unknown	

1-2. 목표물의 종류별 전력밀도에 따른 손상 확률



본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락없이 무단 사용을 금합니다.

1-3. HPM 무기류 주파수 및 출력 요구조건

HPM weapon sources are

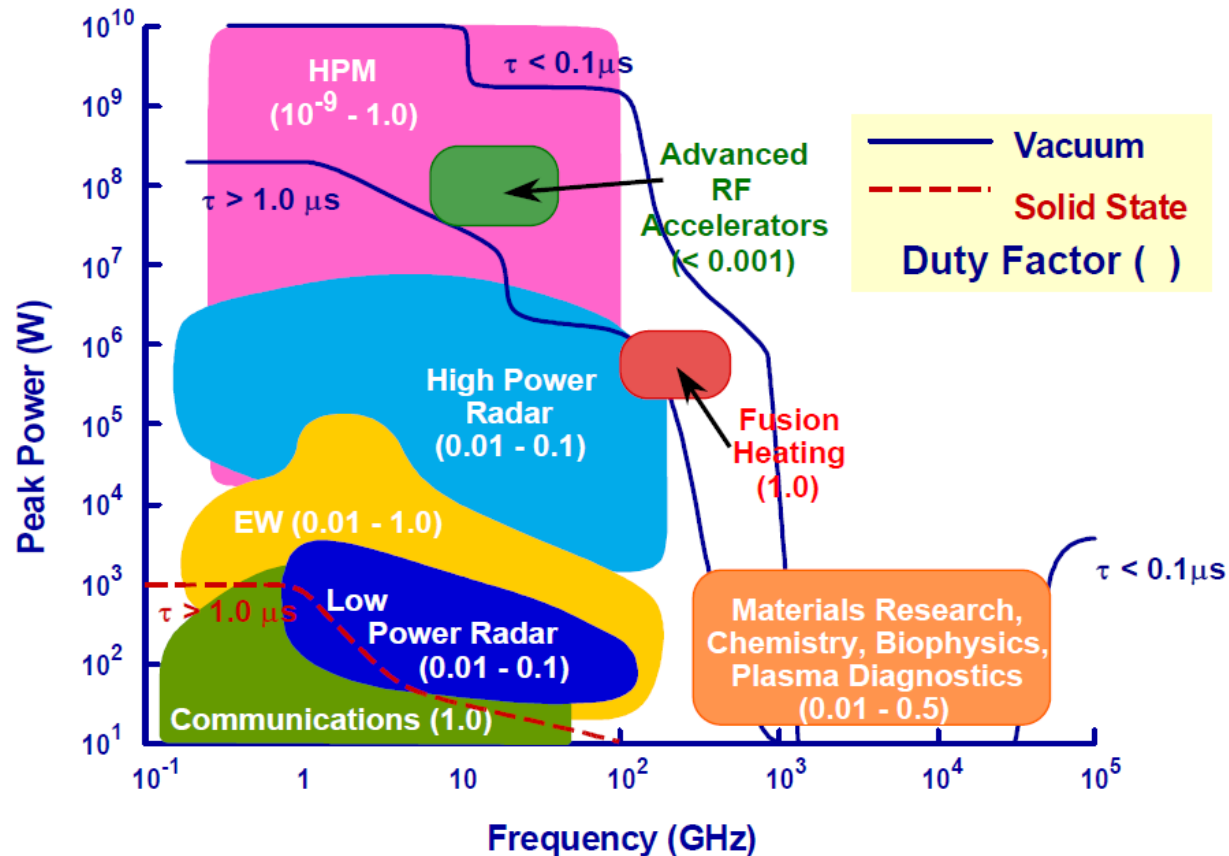
- **Designed to produce electromagnetic interference or damage with:**
 - peak radiated power level of 100 MW or more (100 kV/m), or
 - pulsed radiated energy of 1 Joule per pulse.
- **Generally categorized as belonging to one of two types:**
 - **Narrowband:** frequencies above 300 MHz and below 300 GHz, usually between 1 GHz and 35 GHz; frequency bandwidth less than 10% of the carrier frequency.
 - **Wideband or Ultra-wideband (UWB):** frequency bandwidth is greater than 10% of the mean frequency (e.g., system which extends from 10 MHz to few GHz).

원전: "HPM Technology and effect" University of Maryland

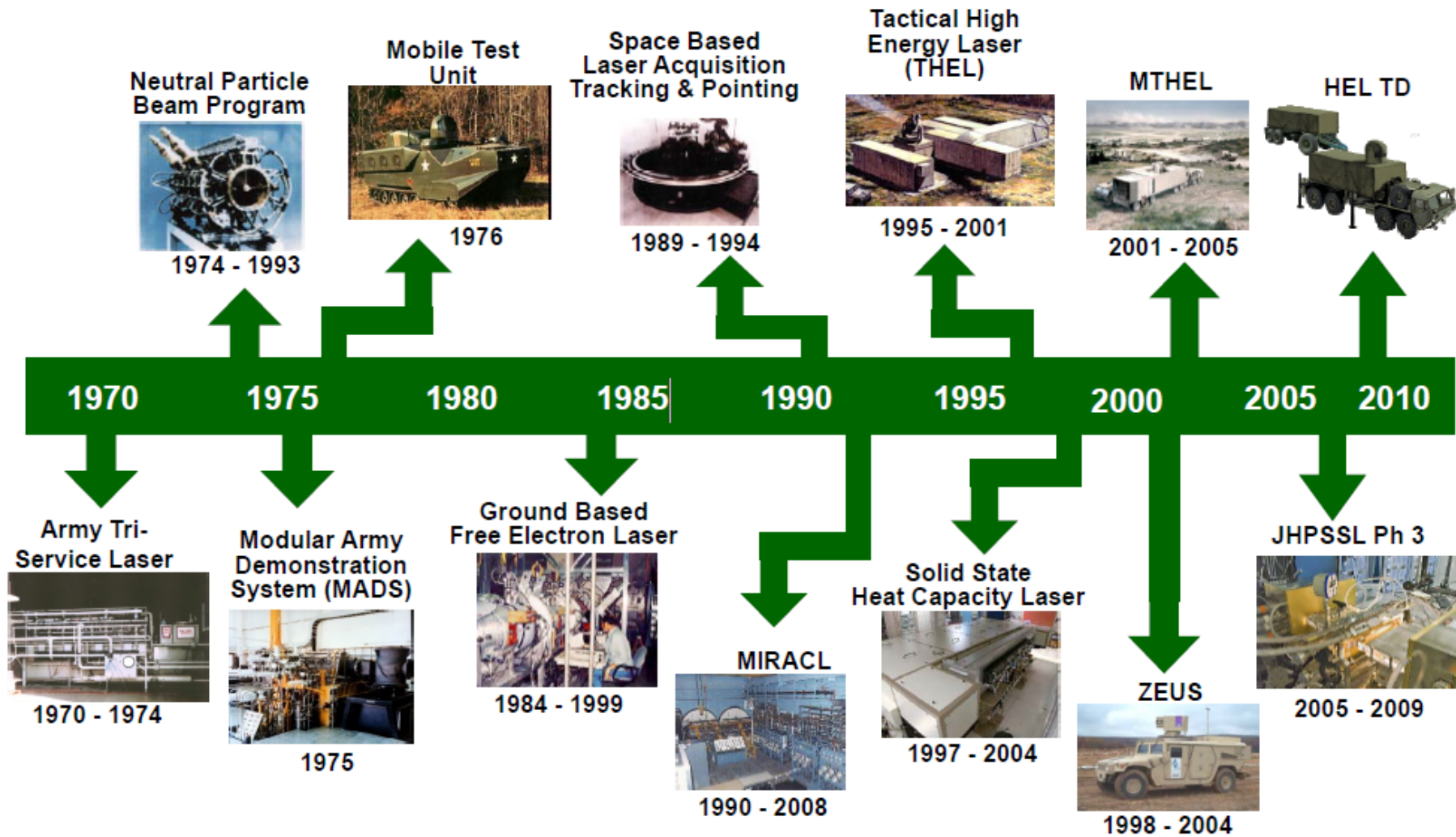
1-4. 현대역 HPM 발생원에 민감도

Strongest effects observed for 300 MHz < f < 3 GHz (1 meter > λ > 10 cm)

- Pulsed modulation is more effective than CW with pulse duration 100 nsec < τ < 1 μsec
- $P_{av} = P_p \times \tau \times P_{RF}$ 여기서, P_{RF} 은 펄스 반복 주파수 (Pulse Repetition Frequency)

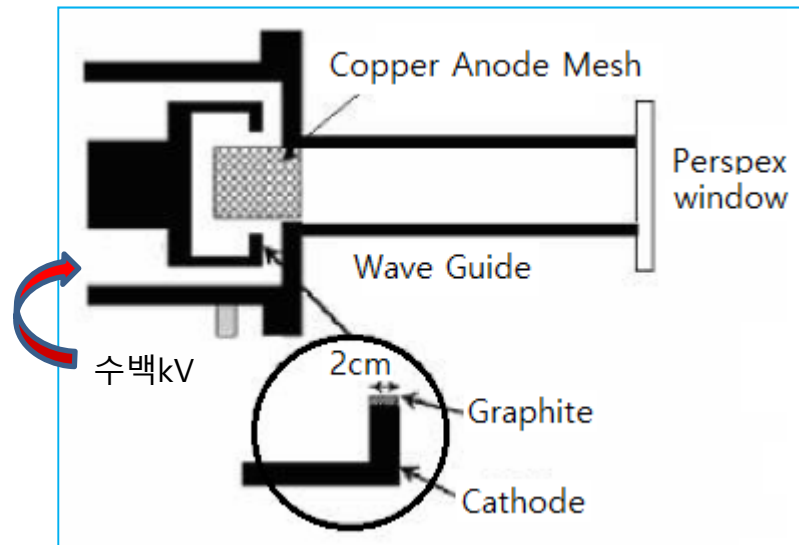


2. 미 육군 Directed Energy Beam Program



본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락없이 무단 사용을 금합니다.

3. VIRCATOR 동작원리



- 전자빔 다이오드와 도파관으로 구성됨
- 전자빔은 Anode와 Cathode사이에 고압 펄스 인가시 다이오드 갭에서 가속되며, 가속된 에너지는 Cathode를 통해 방사된다.
- Cathode는 얇은 포일이나 금속막으로 만들어짐
- 만약 주입전류가 Anode와 Cathode간 면적에 의한 공간 충전전류(I_1) 이상이 되면 동작된다.
- 이때 동축형 VIRCATOR의 경우 I_1 은 다음 식으로 표현

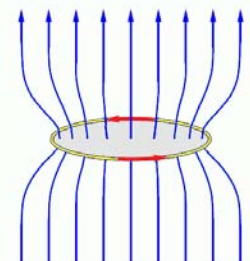
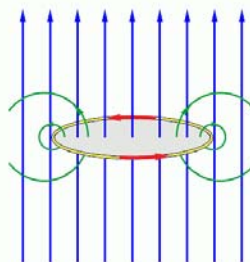
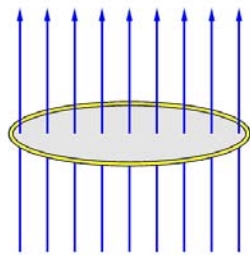
$$I_1 = \frac{4\pi\epsilon_0 m_0 c^3 (\gamma^{2/3} - 1)^{3/2}}{e[1 + 2 \ln(R/r_b)]}$$

- r_b =전자빔의 반지름, R = Drift column radius,
- γ =Relativistic factor, e 와 m_0 =전하량과 정지질량
- Virtual cathode는 Anode에서 나오는 전자를 반사시켜 2개의 전극 사이에 발진이 일어나는데 이 전자파가 Cathode를 통해 방풍유리를 향해 방사되도록 하는 구조.
- 반사에 의한 발진 주파수 = $f_r = \frac{v}{4d}$
- d =간격, v =전자의 속도

3-1. 폭발물 이용한 자속압축 펄스발생기(FCG) 동작원리

개발자 : 1951년 Russia Sakharov, 중요성 : 핵탄두 기폭장치로 사용,

기본 원리;



초전도체로 된 코일루프에 9개의 자속이 외부에서 인가되었다고 할 때 만일, 코일의 크기를 갑자기 줄여 5개의 자속이 흐르는 면적으로 하면, 축소된 코일의 물리적 변화로 전류(붉은 색)가 발생 될 것이고, 이 전류에 의해 새로운 자장이 생성된다.

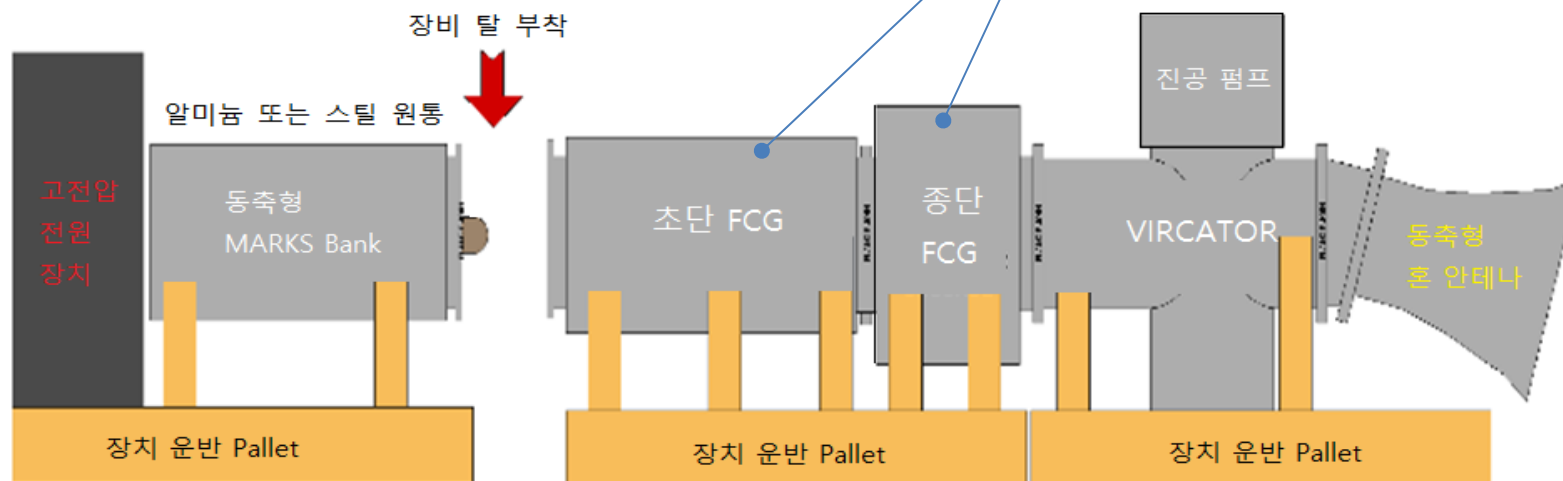
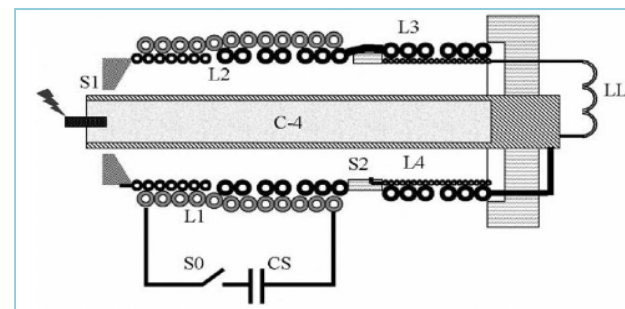
즉, 코일내부 4개의 새로 생성된 자속과 기존 5개에 추가되어 9개의 압축된 자속과 코일에 전류를 생성해 준다. 일 예로 외부 자속은 MA(예:1500uF, 5kV) 전류를 흐를 때 발생된 매우 큰 값이고, 코일의 크기를 줄이거나 키우는 것은 외부 또는 내부에서 폭약을 폭발시켜 순간적인 물리적 변화를 일으켜 일어난다.

만일 30kG(3Tesla) 가 초기값으로 주어질 때 자유공간에서 약 2.4 MA/m의 자장을 얻을 수 있다. 러시아에서 개발된 DEMG의 경우 300MA, 12us파형 발생에 성공. 고속개폐 스위치 성능, 자화 플라즈마의 초기 가열방식, Cascade방식으로 고출력 구현.

EPFCC는 Hollow tube형, Helical 형, Strip line형 등 매우 다양한 종류가 있다.

EPFCC의 장점 : 염가로 구현이 가능하고 매우 큰 펄스를 만들어 낼 수 있음
단점 : 한번 사용 후 파괴되어 재 사용이 불가능

4. Marks Generator + FCG + VIRCATOR 복합형 E-BOMB



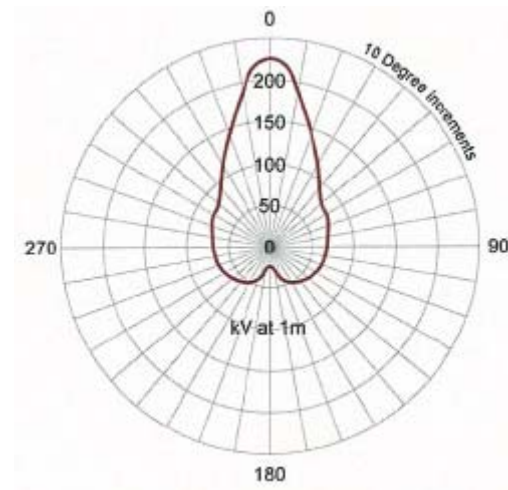
본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락없이 무단 사용을 금합니다.

5. Marks Generator를 이용한 MIL STD 464C 측정장비

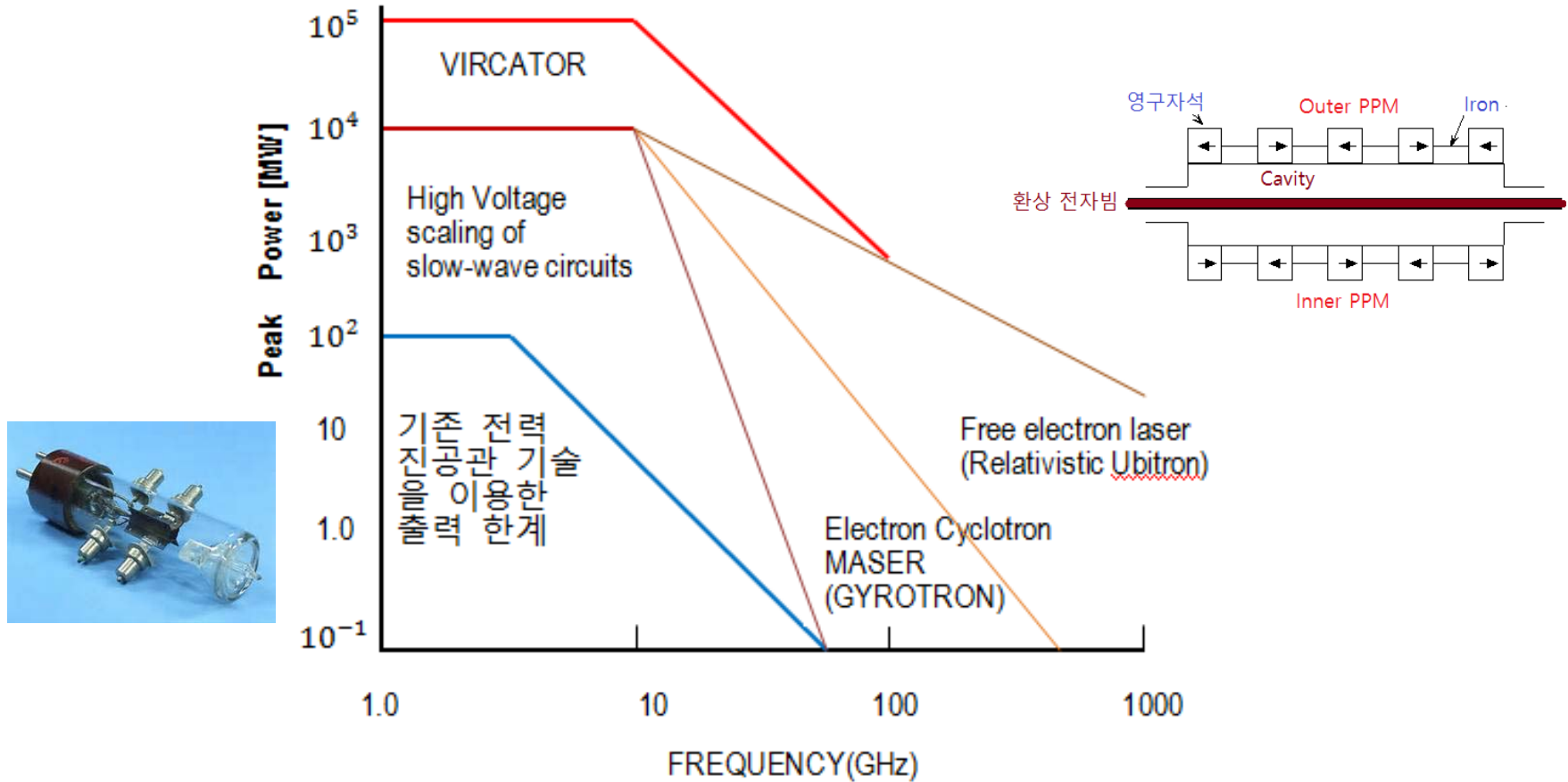


APELC, USA

- 전계강도: 20-250kV/m at 1m
- 주파수 : 250, 400MHz
- 조사각도 : +/-15도
- 펄스 반복도 : 0.1-200Hz



6. 비핵 전자기파 주요 발생장치의 출력 비교

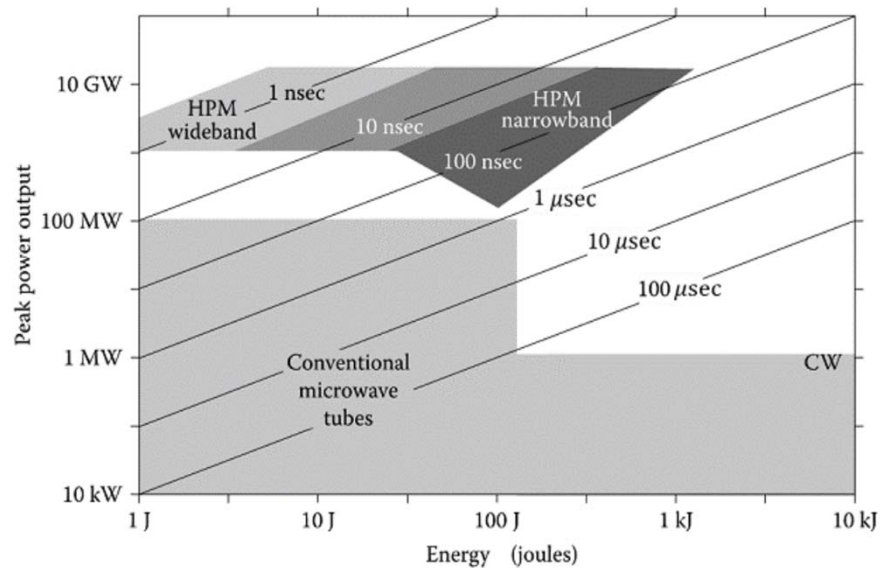


초 고전력 전자기파 발생원의 에너지 비교 (< 100ns)

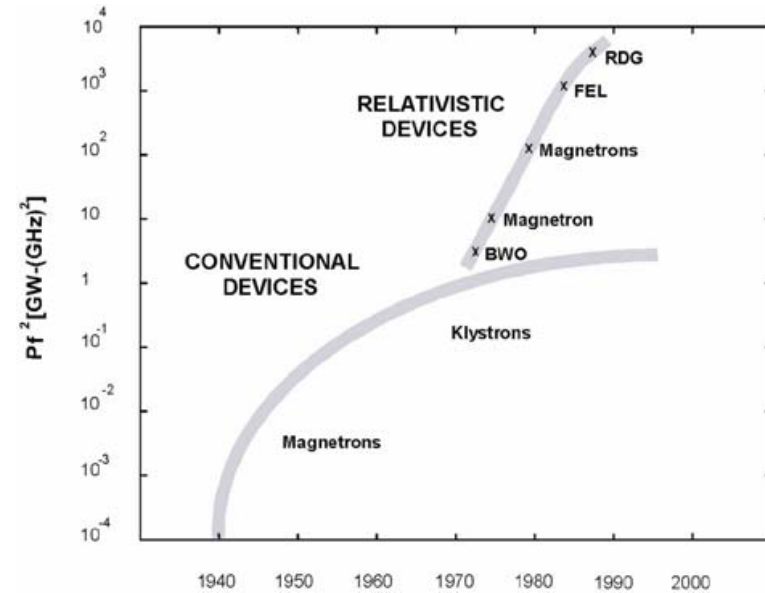
7. 비핵 전자기파 주요 발생장치의 출력 비교

◆ Relativistic klystron	● Magnetron
● MILO	● Multiwave device
■ BWO	● TWT
● FEL	● Vircator

BWO: Backward wave oscillator, FEL: Free Electron Laser,
 RDG: Relativistic Diffraction Generator, MILO: Magnetically Insulated Line Oscillator



연속, 펄스 마이크로파 발생원의 최대 전력과 에너지, 협대역/광대역



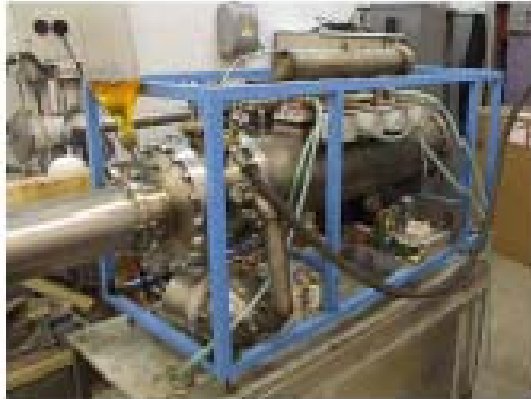
고출력 HPM 발생 소자 개발 년도

8. 비핵 고출력 전자기파 발생장치(VIRCATOR)의 특징(1)

HEMP, E1(비교대상)	VIRCATOR																								
<p>-전계 : 50kV/m</p> <p>-전력 : 6.6MW/ m²</p> <p>-파형 ;</p> <p>단 펄스 : 20/500-550ns, 5000A</p> <p>중 펄스 : 1.5/3000-5000us,250A</p> <p>장 펄스 : 0.2/20-25s, 1,000A</p> <p>-주파수 범위;</p> <p>MIL STD : ~150MHz</p> <p>IEC STD : ~ 300MHz</p>	<p>-전치 발전기 전류 : 1-10kA</p> <p>- 가능 출력 : 170kW-40GW/ 주파수 범위에 따라 출력 달라짐</p> <p>- 전자기기 손상 거리 : 800m-1km at 1GW(265KW, 3.5kA)</p> <div data-bbox="1064 630 1937 1029" style="border: 1px solid black; padding: 5px;">  </div> <table border="1" data-bbox="1064 1037 1937 1308"> <thead> <tr> <th colspan="2">Inductive Power Storage VIRCATOR</th> <th colspan="2">Capacitive Power Storage VIRCATOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Voltage pulse (300 ns), kV</td> <td>400</td> <td>Voltage pulse (100 ns), kV</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>Current, kA</td> <td>12</td> <td>Current, kA</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Power eradiation, MW</td> <td>350</td> <td>Power eradiation, MW</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Duration of eradiated pulse, ns</td> <td>200</td> <td>Duration of eradiated pulse, ns</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>Output frequency, GHz</td> <td>3.1</td> <td>Output frequency, GHz</td> <td>3.1</td> </tr> </tbody> </table> <p>Russia Tomsk Poly technical Institute 개발 제품 제원</p>	Inductive Power Storage VIRCATOR		Capacitive Power Storage VIRCATOR		Voltage pulse (300 ns), kV	400	Voltage pulse (100 ns), kV	600	Current, kA	12	Current, kA	18	Power eradiation, MW	350	Power eradiation, MW	500	Duration of eradiated pulse, ns	200	Duration of eradiated pulse, ns	80	Output frequency, GHz	3.1	Output frequency, GHz	3.1
Inductive Power Storage VIRCATOR		Capacitive Power Storage VIRCATOR																							
Voltage pulse (300 ns), kV	400	Voltage pulse (100 ns), kV	600																						
Current, kA	12	Current, kA	18																						
Power eradiation, MW	350	Power eradiation, MW	500																						
Duration of eradiated pulse, ns	200	Duration of eradiated pulse, ns	80																						
Output frequency, GHz	3.1	Output frequency, GHz	3.1																						

9 . 기타 비핵 고출력 전자기파 발생장치, 예;

Gyrotrons, Vircators and Back ward wave tube 기반 비핵 전자기파 발생장치, 러시아내 다른 연구소



10. 이동형 비핵 고출력 전자기파 발생장치, 예 1



러시아 Tomsc, Institute of High Current Electronics 개발 장비
소형, 광대역, 고출력 1GW까지, 가격 \$40k-60k from IHCE



미국 Sandia 연구소, Raytheon technology 개발 95GHz 단방향 비핵전자기파 발생기

11 . 기타 비핵 고출력 전자기파 발생장치, 예;2



12 . 비핵 고출력 전자기파 영향 분석

HEMP, UWB, EBOMBS



Impact →	1	2	3	4	5
Probability ↓	Negligible	Minor	Moderate	Significant	Severe
(91%-100%)	6	5	2	2	1
(51%-80%)	9	9	12	4	2
(11%-50%)	8	6	8	6	7
(21%-40%)	14	9	8	9	2
(1%-20%)	11	9	2	2	2

PROJECT THREAT MATRIX

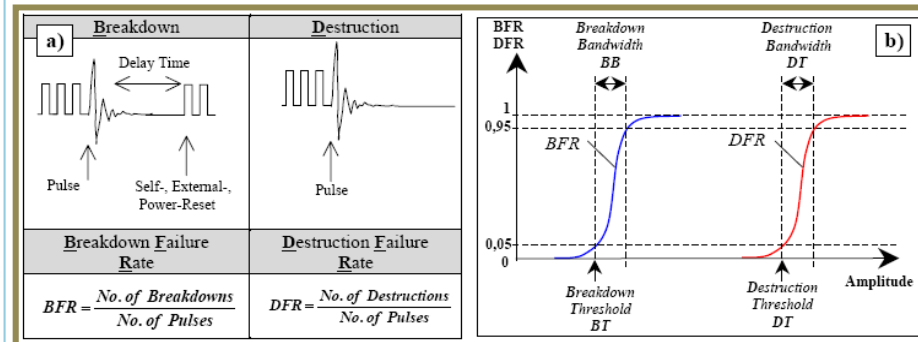
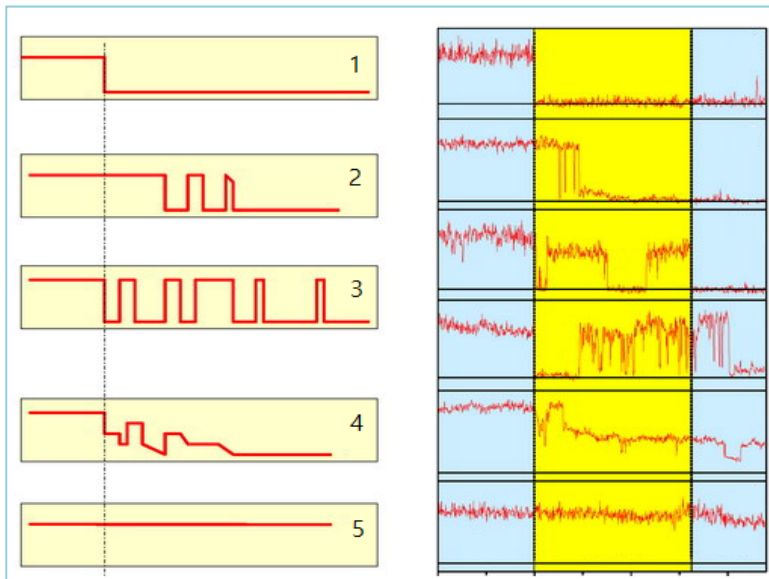
Impact →	1	2	3	4	5
Probability ↓	Negligible	Minor	Moderate	Significant	Severe
(91%-100%)	1	1	1	2	2
(61%-80%)	1	1	1	2	
(41%-60%)					
(21%-40%)			1		
(1%-20%)					

PROJECT OPPORTUNITY MATRIX

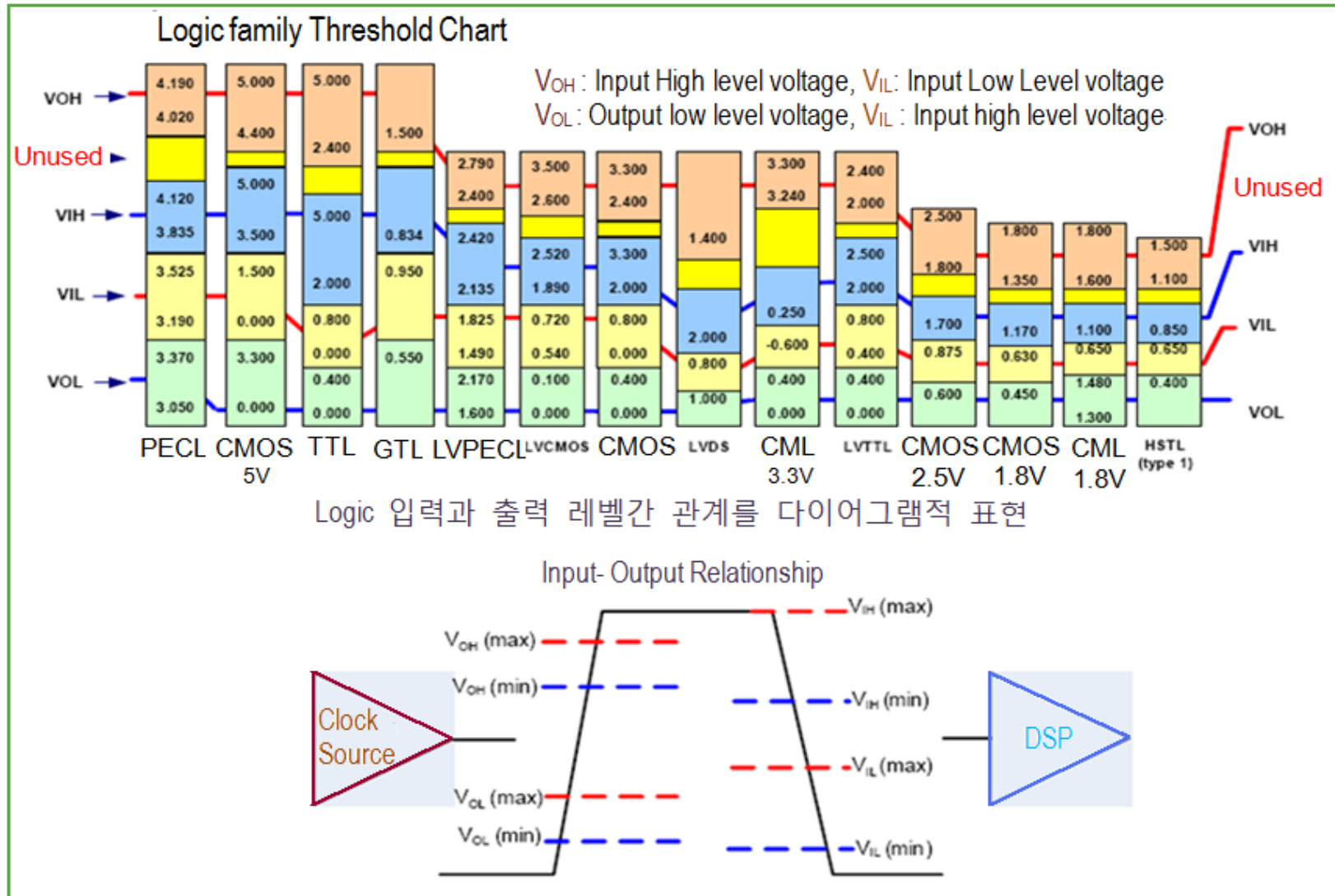
본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락없이 무단 사용을 금합니다.

12-1 . 비핵 고출력 전자기파(HPEM) 영향 레벨, IEC 61000-4-36

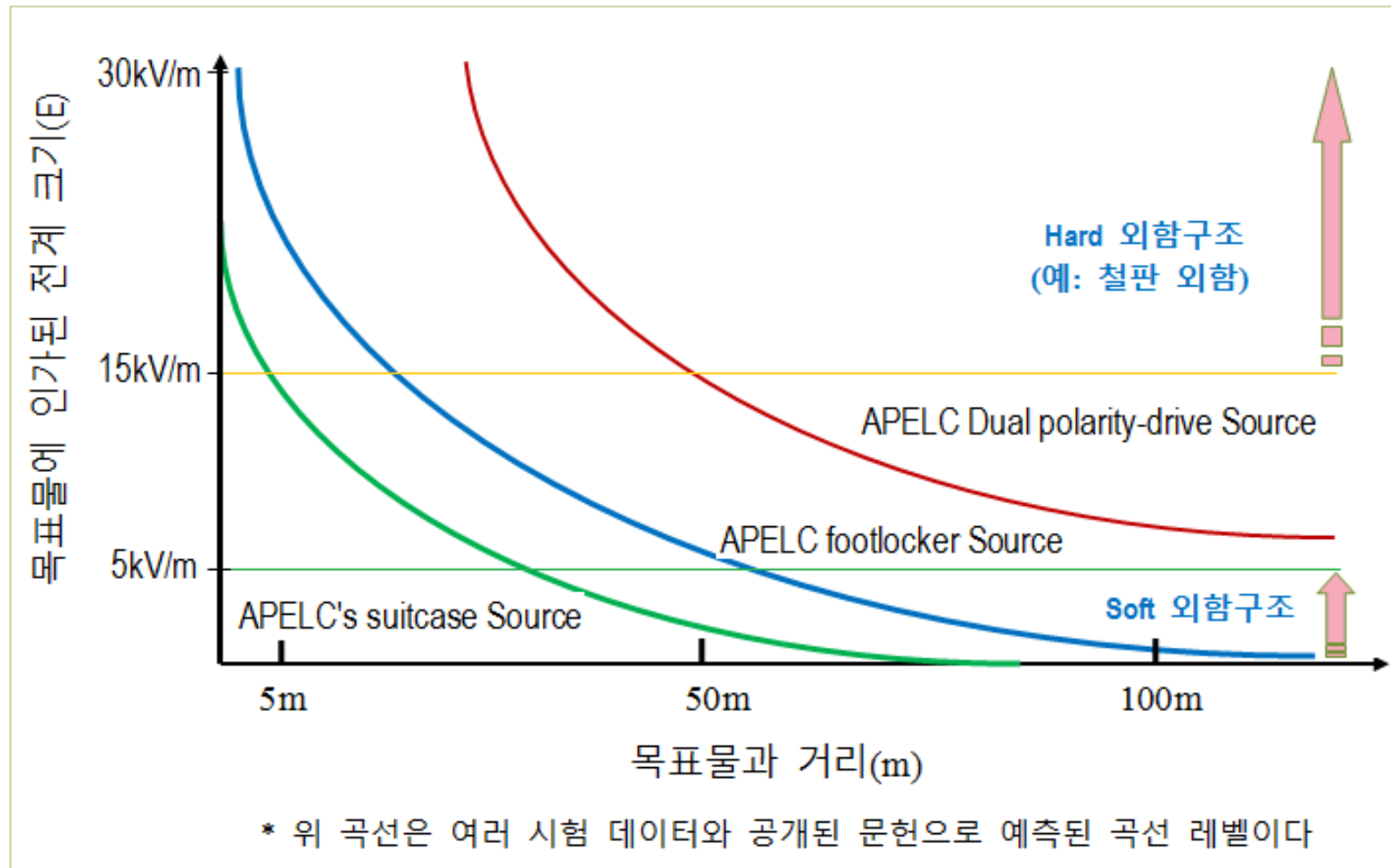
레벨	구분	상세 분류	
	6	영구적인 기능손상	HW, SW적 손상으로 복구할 수 없는 기능손상 또는 성능저하
	5	계속되는 기능 저하	운용자 복구가 요구되는 일시적 기능저하 또는 성능저하
	4	일시적인 성능 저하	운용자의 조작 없이 간섭이 발생되더라도 자동 복구되는 기능 또는 성능저하
	3	성능 저하	해당장비의 성능과 효율을 저하시키는 간섭발생
	2	허용 범위간섭	간섭이 허용범위에서 일어나나 기본기능에 영향 없음
	1	Normal	장비 사양대로 정상 동작 수행



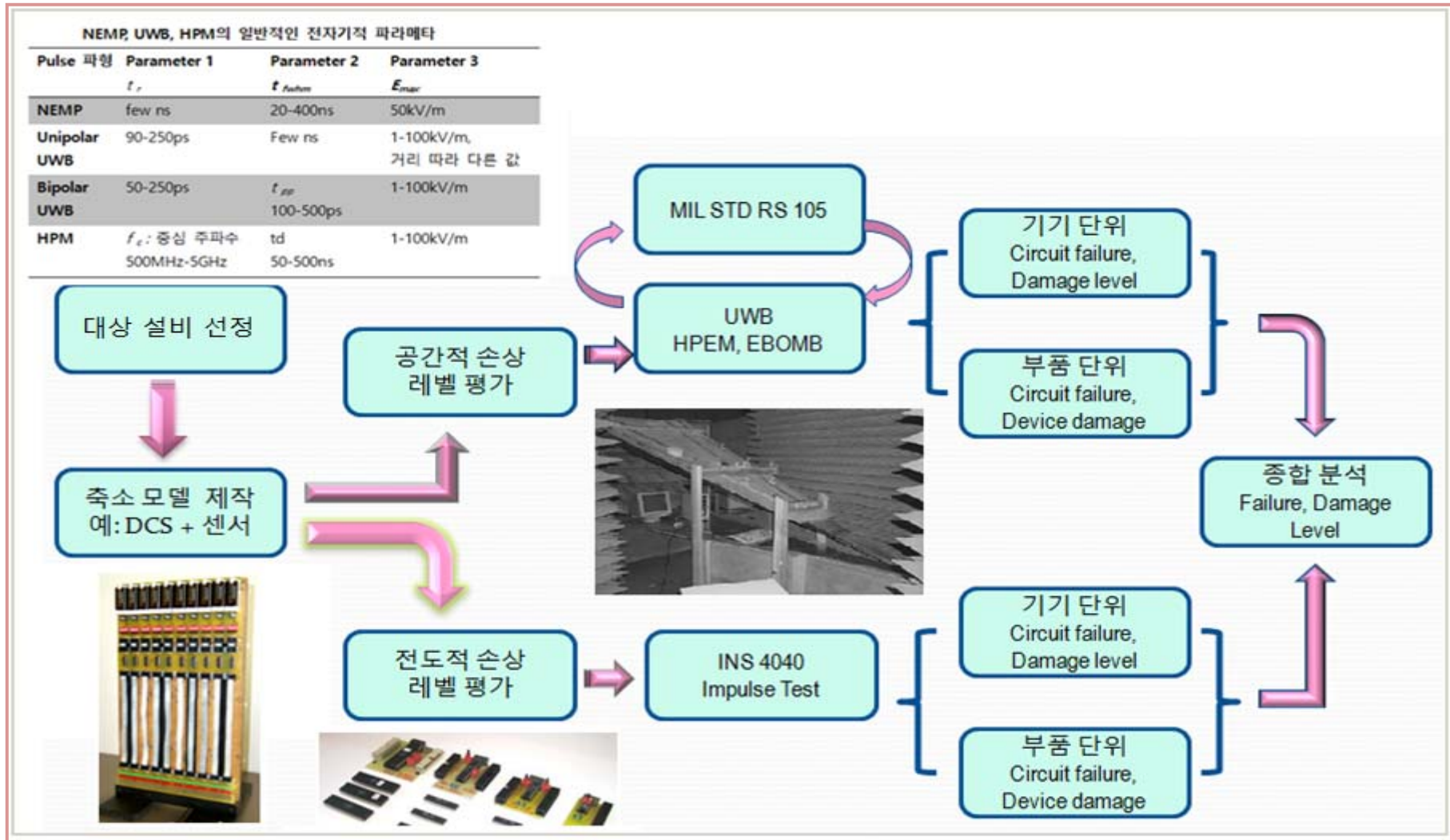
12-2 . 비핵 고출력 전자기파(HPTEM) 영향 레벨, IEC 61000-4-36



12-3 . 외함 구조에 따른 기기 영향

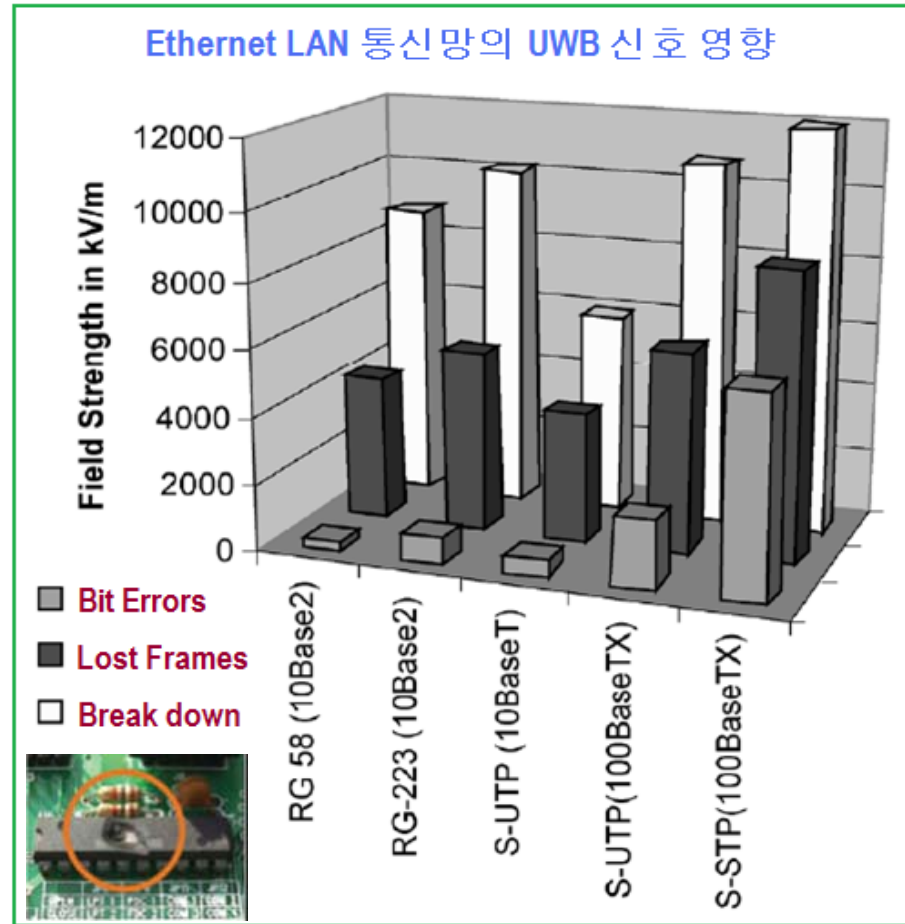
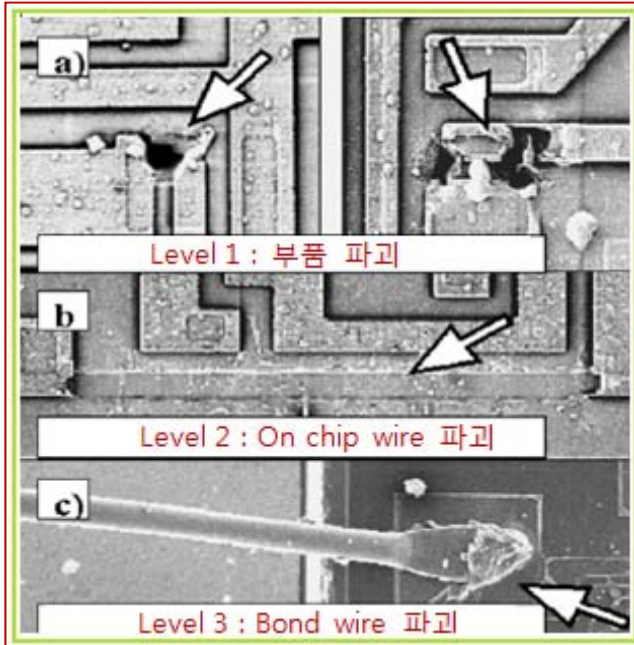
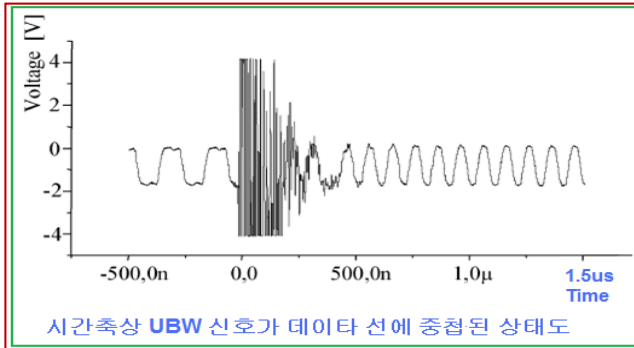


13 . 비핵 고출력 전자기파 영향 분석 절차



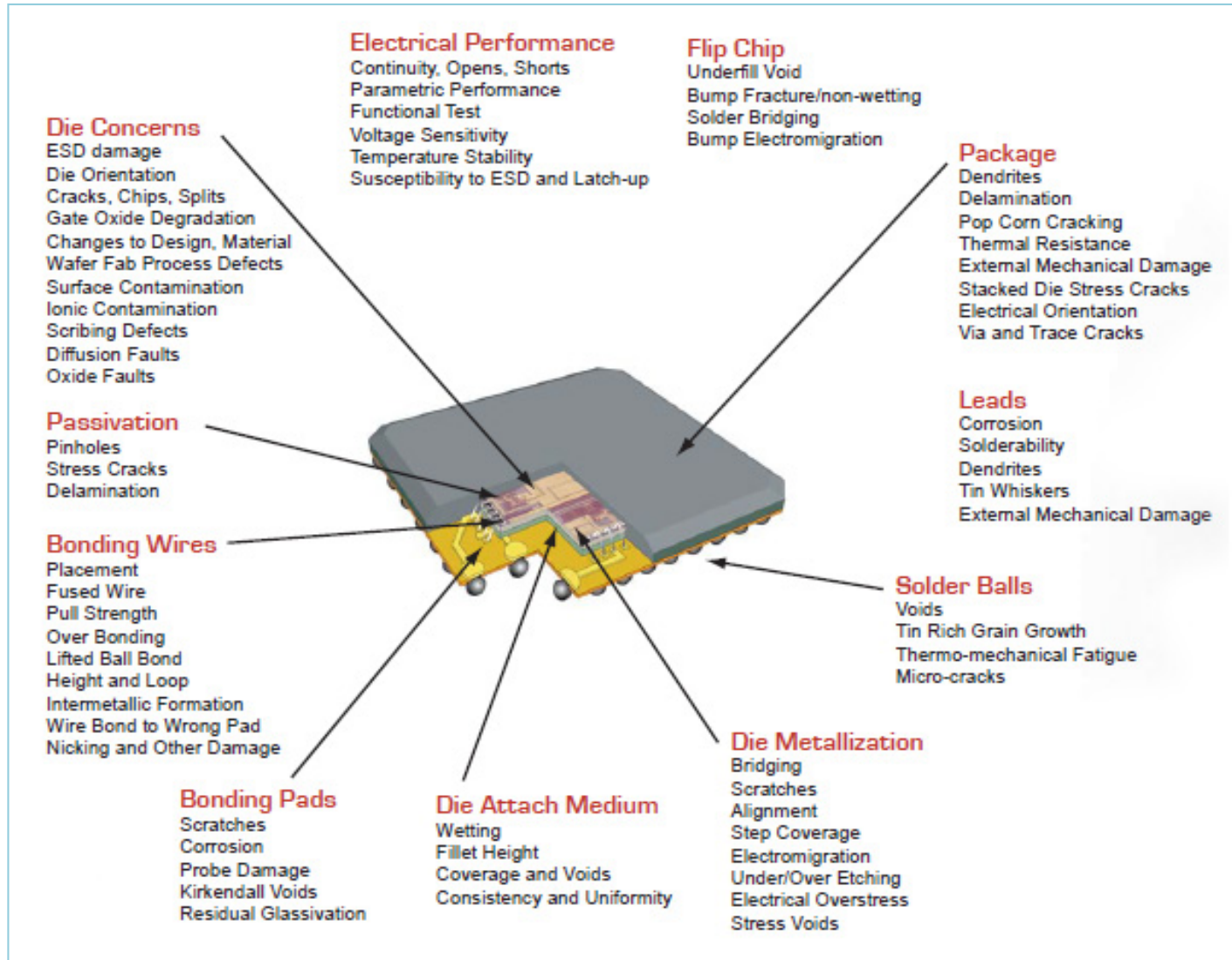
14 . 비핵 고출력 전자기파에 의한 통신방식 별 영향

시험적으로 1GW(265kW, 3.5kA)의 경우 800-1000m까지 손상



본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락없이 무단 사용을 금합니다.

14-1 . 비핵 고출력 전자기파에 집적회로 손상



15 . 노트북, PC 등의 CW 전자기파의 영향

1) 80MHz- 1GHz 대역에서 주파수를 CW신호를 선형적으로 증가시키면서 시험한 결과 동영상 정비, 전원 꺼짐 현상 등이 나타났으며, 150V/m에서는 시스템 에러가 발생하였다.

시료	인가 시험 전계 CW (80MHz -1GHz 대역)		
	90V/m	120V/m	150V/m
Desk Top #1 단품	동영상 정비, PC전원 꺼짐	동영상 끊김현상	-
Note book #1 단품	영향 없음	영향 없음	동영상 정지
	영향 없음	동영상 정지, 동영상 끊김 현상	시스템 에러
Note book #2	영향 없음	영향 없음	노트북 전원 꺼짐
	영향 없음	노트북 전원 꺼짐	노트북 전원 꺼짐

2) 1-4GHz 대역에서는 본체의 재부팅, 동영상 정비 등의 문제가 발생했으며, 데스크탑 #1의 경우 150V/m에서 컴퓨터 메인보드가 손상되었다.

시료	1-4GHz 대역 인가전계/ CW		
	100V/m	150V/m	200V/m
Desk Top #1 단품	본체 재 부팅, 모니터 전원 꺼짐	메인 보드 손상 At 2.2GHz	X
Desk Top #1 단품	동영상 정비	동영상 정지 후 재 부팅	동영상 정지
Note book #2	동영상 끊김 현상	동영상 끊김 현상	동영상 끊김현상

* 위 시험자료는 미래창조과학부 산하 국립 전파연구원 시험자료 인용

16 . 핵, 비핵, 연속파(CW) 전자기파 영향의 차이점 비교

구분	기기 영향 비교	주파수 대역 비교
<p>핵 전자기파 HEMP</p>	<ul style="list-style-type: none"> -폭발 고도에 따라 피해범위가 매우 넓다. -150MHz(MIL), 300MHz(IEC) 대역에서 큰 에너지 분포 -10ns 이상 상승시간(E1) -E3는 지구 자계를 교란 시켜 지상의 송배전 트랜스가 포화되어 화재가 발생할 수 있음 - E1은 50kV/m로 정량화 됨 	<p>The graph shows Spectral Density [(V/m)/Hz] on a log scale from 10^{-3} to 10^{-1}. Frequency ranges from 10kHz to 1-10GHz. HEMP is shown as a green line with a $1/\omega$ slope. MIL STD is a pink line with a $1/\omega^2$ slope. IEC 61000 -2-13 is a blue line with a $1/\omega$ slope. HPEM is shown as red vertical bars. Labels include '일반 EMI환경 레벨^{b)}', '핵폭발^{a)}', and '현대역 HPEM^{a)}'.</p>
<p>비핵 전자기파 HPEM</p>	<ul style="list-style-type: none"> -피해 범위가 좁다(단 방향) -피해를 줄 수 있는 거리가 출력에 따라 다르나 수백m-1km 범위 - 비교적 높은 주파수 대역에서 광대역 특성을 가진다. -같은 출력 대비 CW 신호보다 기기 영향이 크다. -펄스성 신호로 단발성 혹은 반복성 특징을 갖는다. 	<p>Top: 'Injected waveform to POE' showing a 20 ns HEMP pulse. Middle: '시간축 CW' (time-domain CW) and '주파수 축' (frequency spectrum) showing a narrow peak. Right: 'MC 1 VIRCATOR' graph showing B_z (MG) vs t (μs) with a peak at approximately 26 μs.</p>
<p>연속파, CW</p>	<ul style="list-style-type: none"> -CW란 약간의 고조파 성분을 제외하고 1개의 주파수 성분 -HEMP, HPEM 신호가 임펄스성 신호인 반면 CW는 단일 주파수로 연속적 신호 인가가 가능 - 단발성, 반복성 신호에 비해 기기 오동작 가능성은 낮다. 	

17 . MIL STD 882 준거 기기 오동작 피해 범주 구분

구분	간략 기술	범 주
I	대형 재난 Catastrophic	-사망에 이르는 인명피해가 예상되는 재난 -복구가 불가능한 영구 손상되는 재난 -\$1M(백 만불) 이상 금전적 손해가 예상되는 재난 -범과 규정에 따라 복구 할 수 없는 환경 파괴
II	중대 재난 Critical	-부분 영구 손상 -최소3명 이상이 병원에 가야 되는 재난 -\$200k-1M 금전적 손해가 예상되는 재난 -범과 규정에 따라 복구가 가능한 환경 파괴
III	약한 재해 Marginal	-1명 이상 부상을 입거나 일을 할 수 없는 수준 -\$10k-\$200k 범위 내 금전적 손해가 예상되는 재해 -관련 법이나 규정에 없이 환경손상을 완화 할 수 있는 수준의 재해
IV	무시 가능한 수준 Negligible	-작업에 지장이 있거나 지연 되는 재해수준 -\$2,000 - \$10,000 범위 금전적 손해가 예상되는 재해 -법이나 규정을 벗어나지 않는 최소한 환경재해
<p>기기 오동작 영향;</p> <ul style="list-style-type: none"> -시스템 오동작 -성능저하(Degraded operation) -시스템 상태 오동작 -긴급 조치가 요구되지 않는 영향 		

18 . 고출력 전자기파 피폭 시 일반건물의 차폐도 분포

IEC 61000-4-36 참조

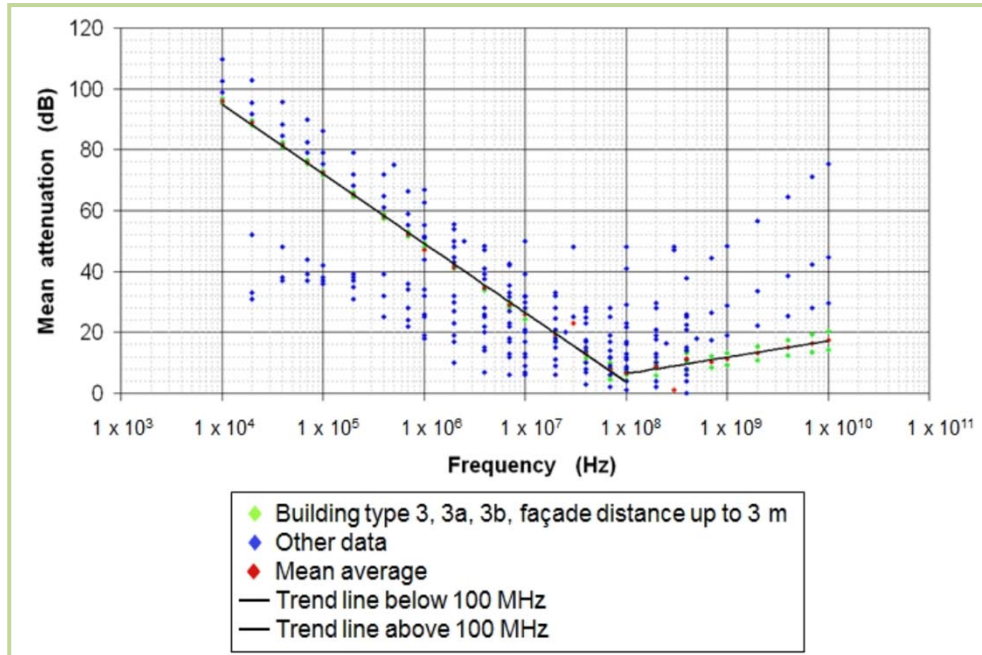


Table C.1 – Shielding effectiveness measurements for various power system buildings and rooms

Description	Shielding (dB)
Wood building	2
Room under wood roof	4
Wood building, room 1	4
Concrete, no re-bar	5
Wood building, room 2	6
Concrete and re-bar, room 1	7
Concrete and re-bar, room 2	11
Concrete and re-bar, room 3	11
Concrete and re-bar, room 4	18
Metal building	26
Concrete and re-bar, well protected room	29

Figure C.1 일반적인 비보호 저층빌딩의 전계감쇠량 통계 값

19 . MIL STD 464C HPM 시험기준

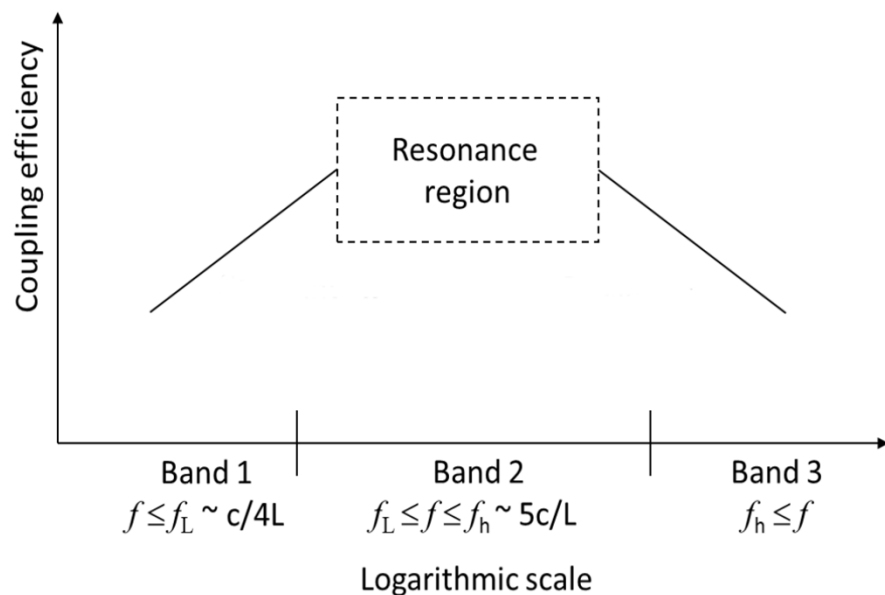
Table B.2 – Hypoband/narrowband HPM environment

Frequency range (MHz)	Electric field (kV/m at 1 km)
2 000 to 2 700	18,0
3 600 to 4 000	22,0
4 000 to 5 400	35,0
8 500 to 11 000	69,0
14 000 to 18 000	12,0
28 000 to 40 000	7,5

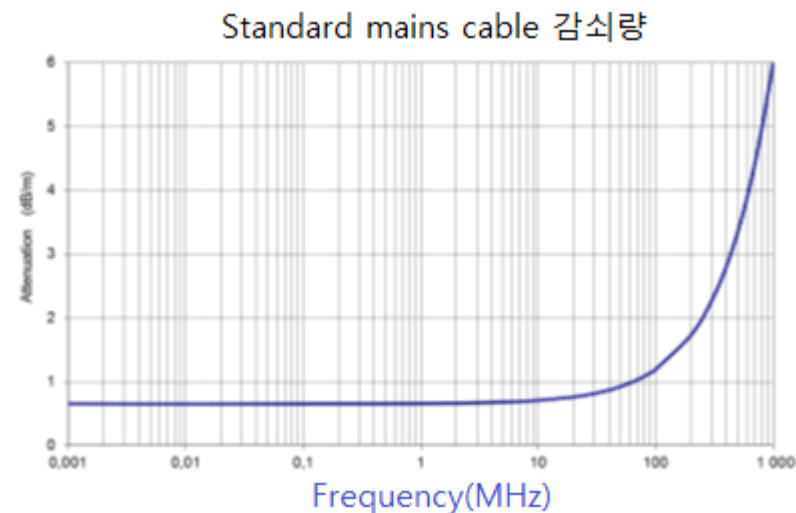
Table B.3 – Hyperband/wideband HPM environment

Frequency range (MHz)	Broad-band electric field distribution (mV/m/MHz at 100 m)
30 to 150	33 000
150 to 225	7 000
225 to 400	7 000
400 to 700	1 330
700 to 790	1 140
790 to 1 000	1 050
1 000 to 2 000	840
2 000 to 2 700	240
2 700 to 3 000	80

20 . 케이블 길이 별 Field to cable 결합량



a) 케이블 길이 별 Field to cable 결합량



b) 10m 길이의 표준 전력 케이블의 감쇠량

f_L 은 IEMI의 최저 주파수, L 은 케이블 길이, f_h 은 가장 높은 주파수이고 케이블 길이에 의한 공진 주파수 대역을 제외하면 대략 20dB 기울기를 갖는다.

21 . 차폐실내 공간, 전도 결합량 측정 장비 구성

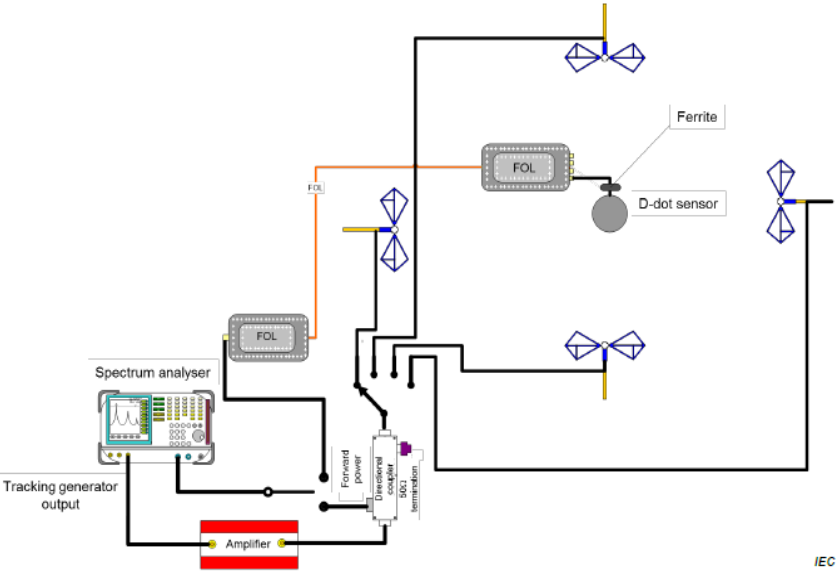


Figure E.1 - LLSC reference field measurement set-up

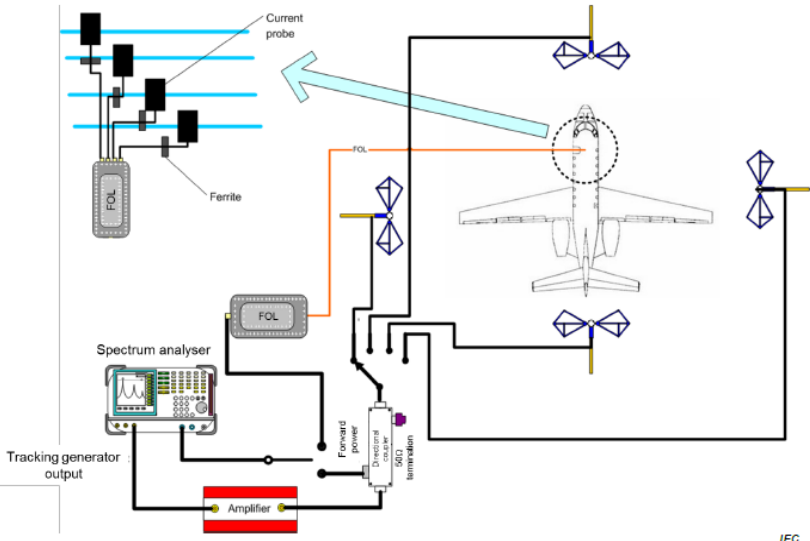


Figure E.2 - LLSC induced current measurement set-up

22 . 차폐실 내.외부간 전달함수(1)

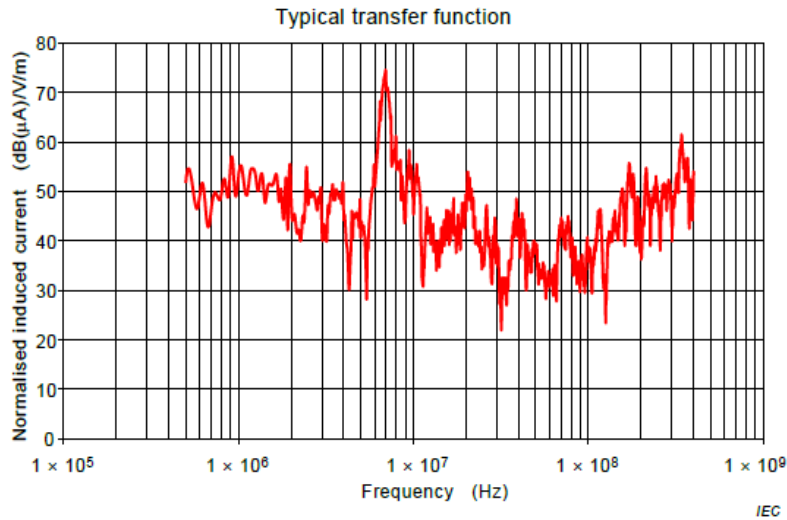


Figure E.3 – Typical LLSC magnitude-only transfer function

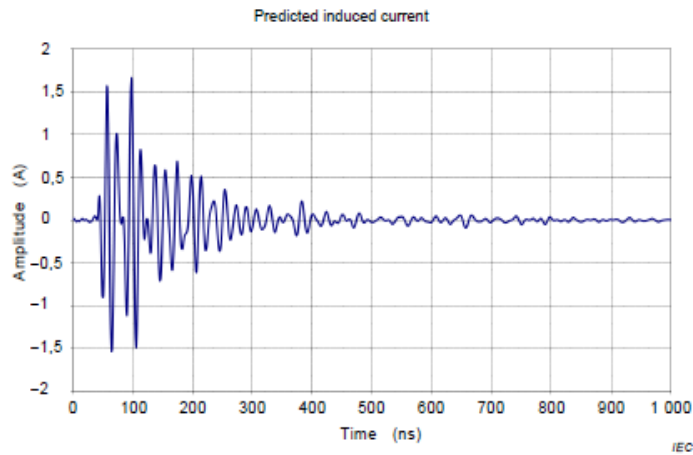


Figure E.7 – Predicted current

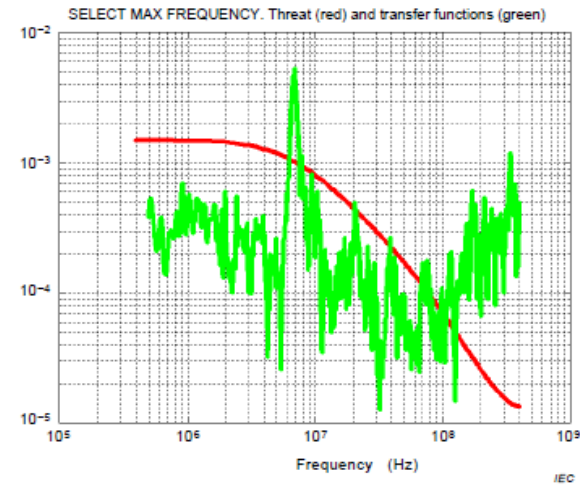
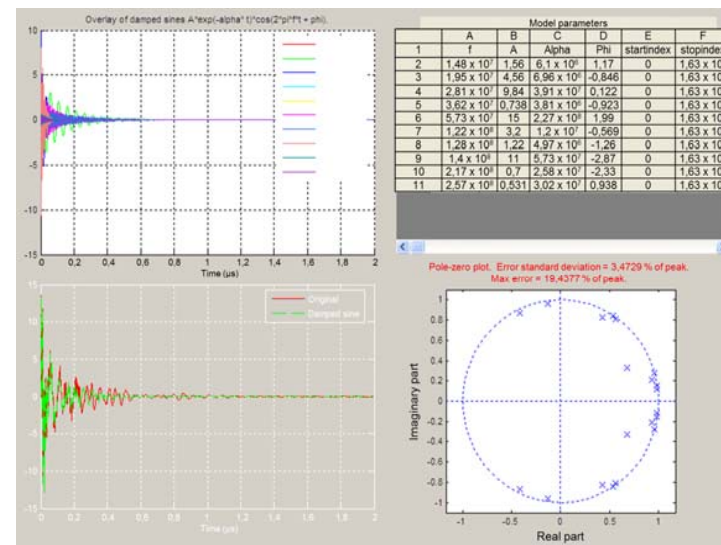


Figure E.6 – Overlay of transfer function and threat (frequency domain)



22 . 차폐실 내.외부간 전달함수(2)

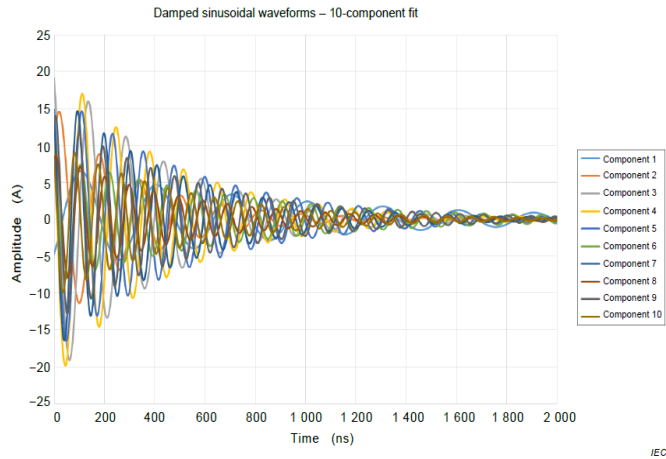


Figure E.9 – Damped sinusoidal waveforms – Ten-component fit

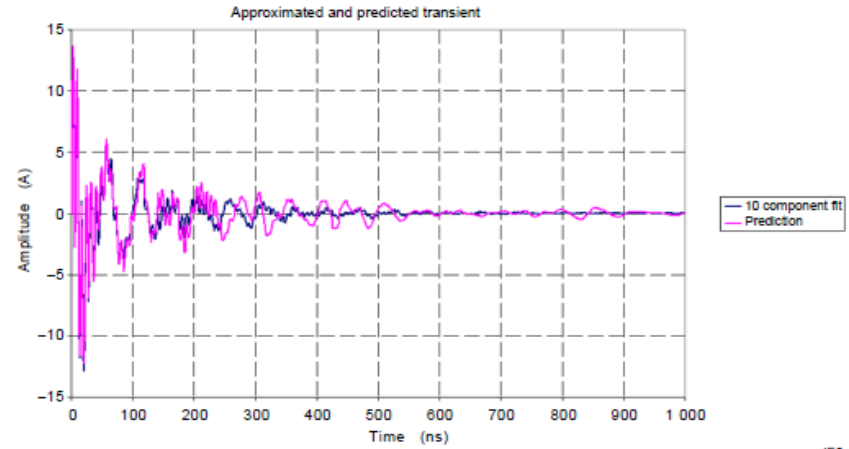


Figure E.10 – Approximated and predicted transient

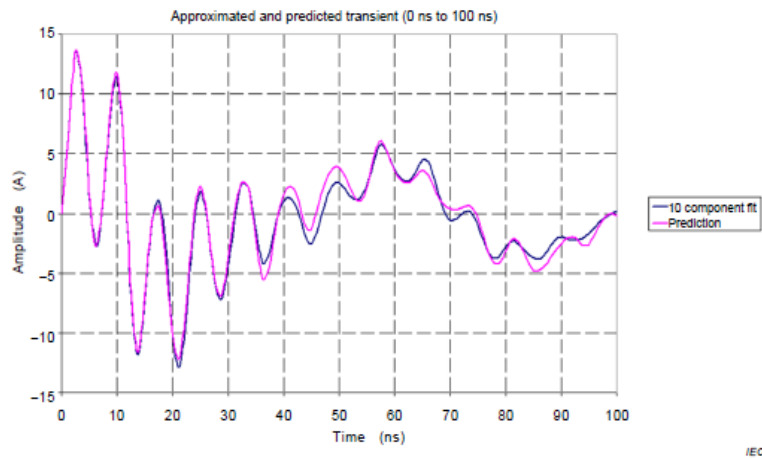


Figure E.11 – Approximated and predicted transient (0 ns to 100 ns)

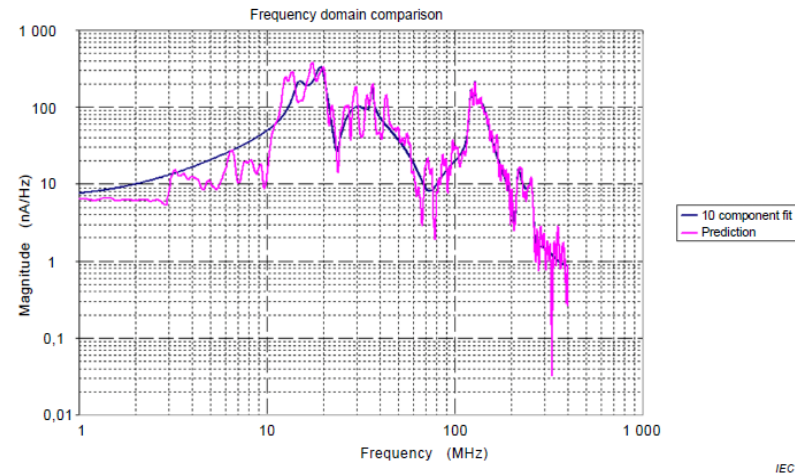


Figure E.12 – Approximation and prediction transient – Frequency domain comparison

본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락없이 무단 사용을 금합니다.

23 . 전원 및 신호선의 전자파 주입 방법과 필요전력

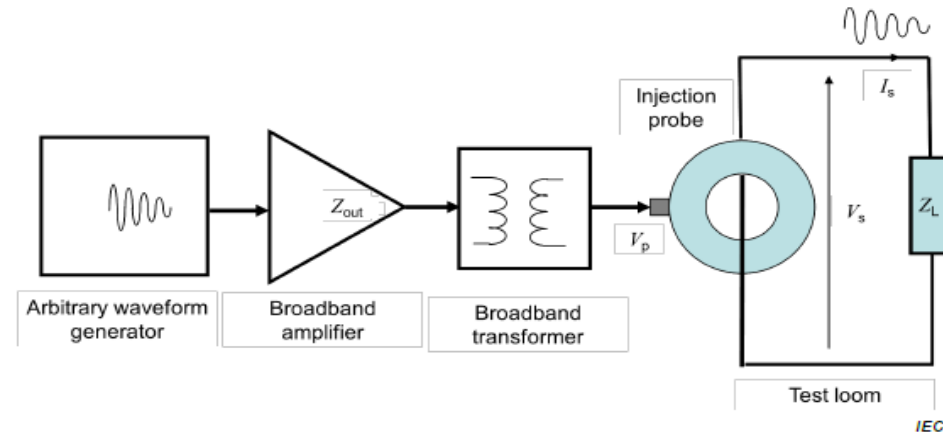


Figure E.14 – Complex injection set-up

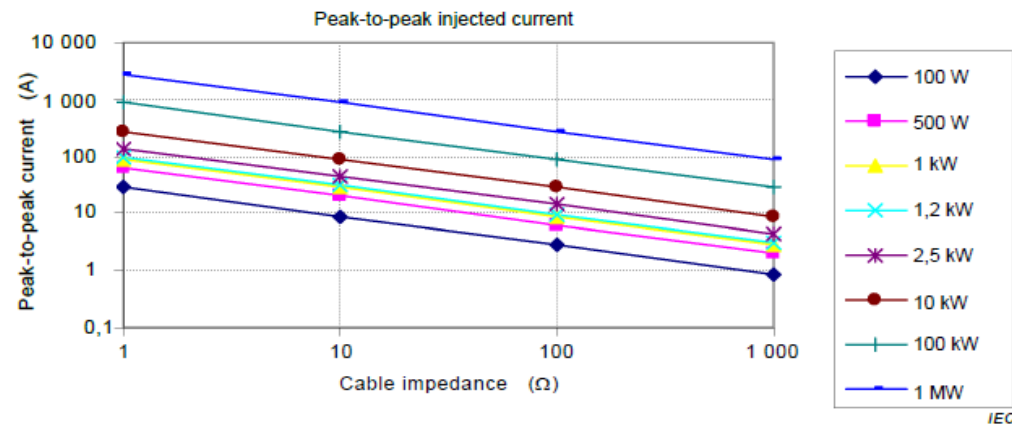


Figure E.15 – Amplifier requirements for various current levels

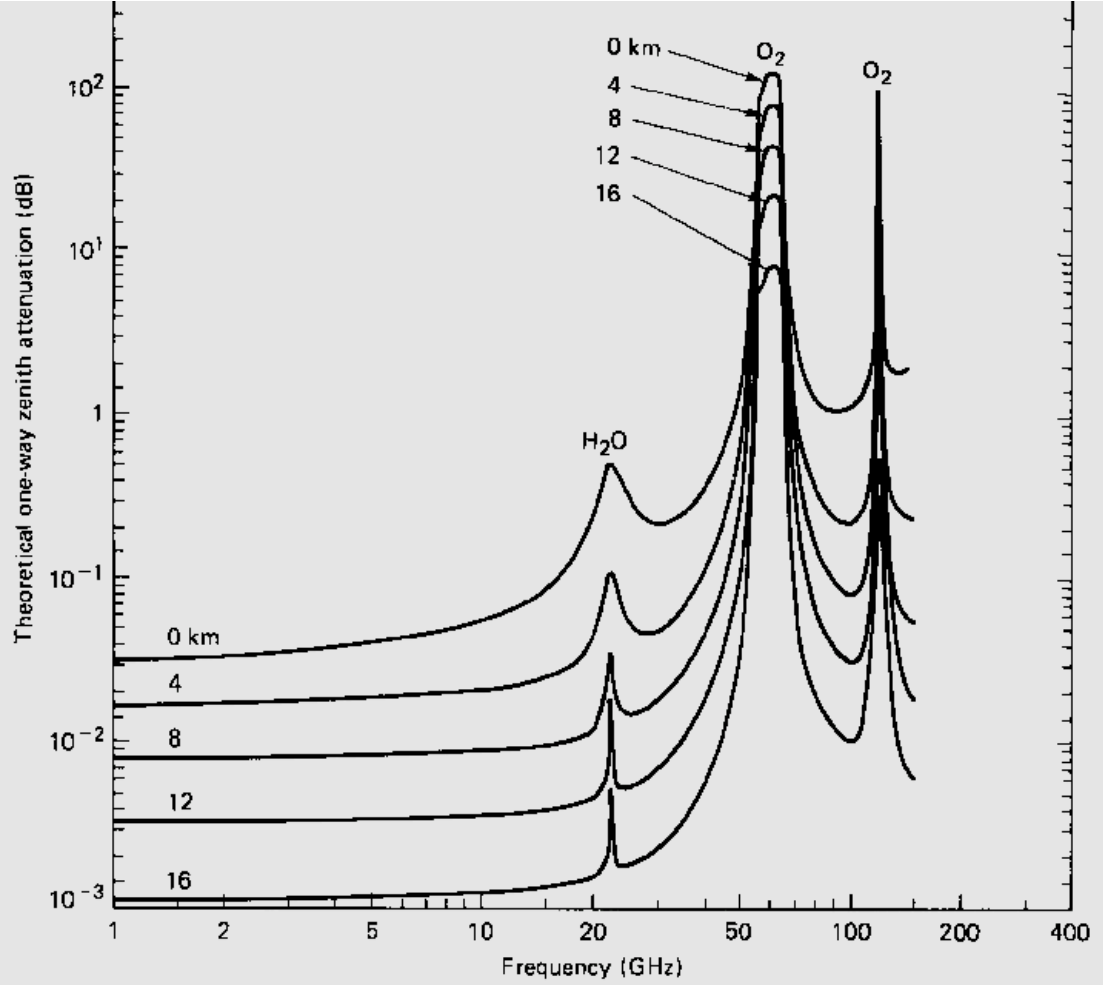
24 . Terra W급 Marx Generator



미 공군 Shiva Star fast capacitor Bank, 10 Million W Joules에너지 저장능력, 120 kV펄스, 10 Million A, Terra W급

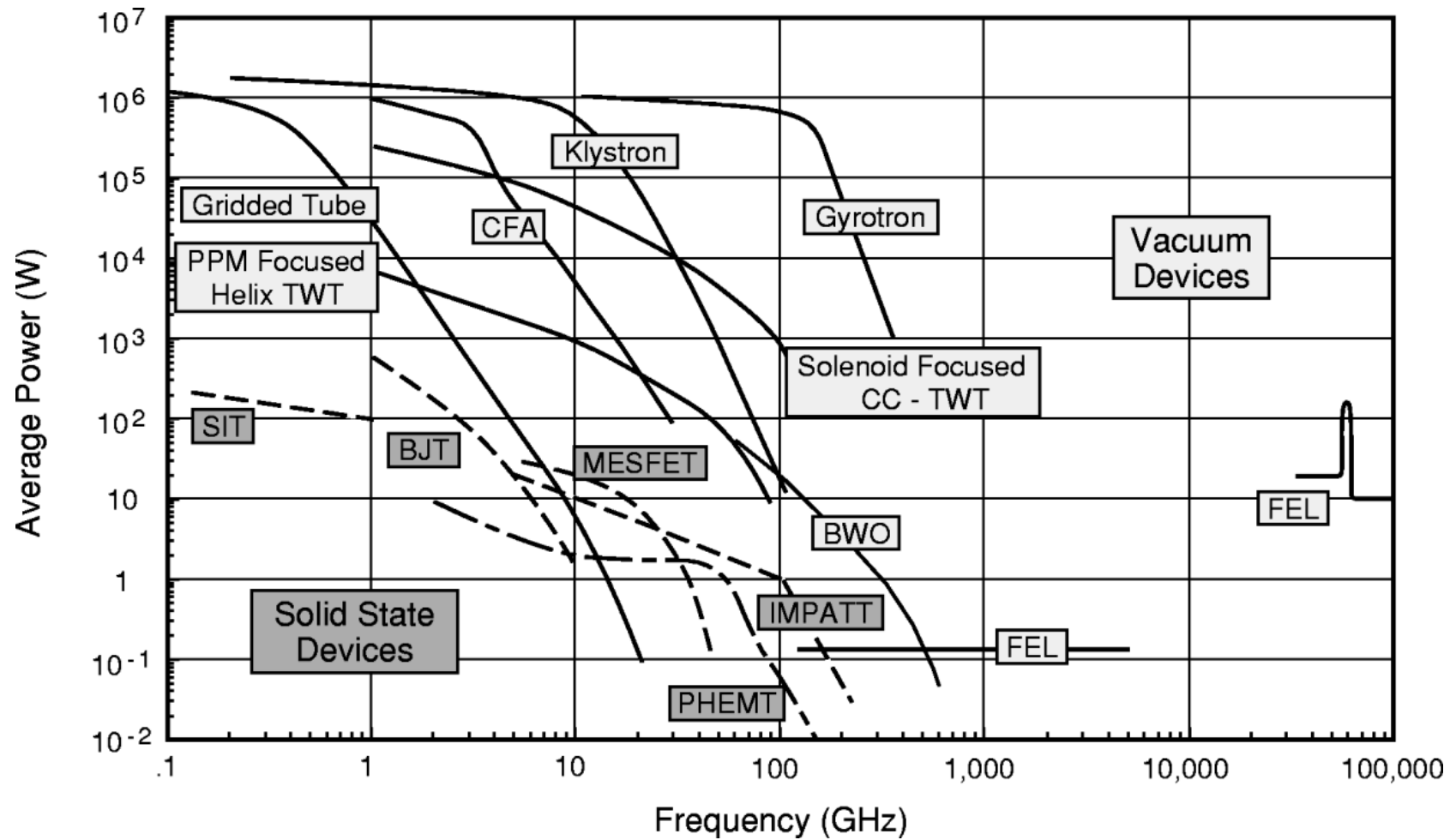
본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락없이 무단 사용을 금합니다.

25 . HPEM 신호의 수중에서 감쇠량



본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락없이 무단 사용을 금합니다.

26 . HPEM Sources의 종류별 출력 비교



본 자료의 저작권은 한국기술연구소에 있으므로 허락없이 무단 사용을 금합니다.