

펄스파워의 현황과 응용

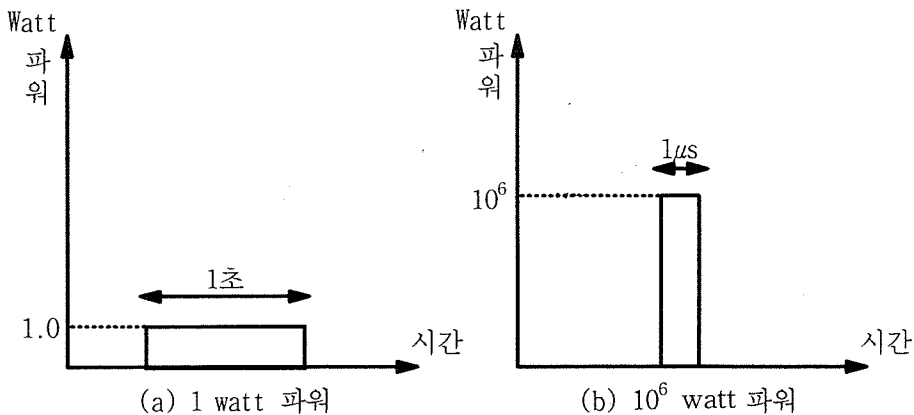
한국전기연구소
임근희

1. 서론

전기에너지를 이용한 펄스파워 발생은 고전압 또는 대전류를 고속 스위치로 전압 또는 전류를 제어하는 것이며, 고속 스위치로서는 크게 반도체 스위치, 진공 스위치, 자기펄스 압축 등이 있다. 대부분의 펄스파워 발생기는 1차 전기에너지원, 저장장치, 고속스위치 소자, 펄스성형망 및 부하로 구성된다. 펄스발생기의 성능은 전압과 전류의 크기, 펄스폭, 펄스주기와 펄스반복 회수, 스위칭 속도 등에 의해 그 성능이 정하여진다.

파워(power)란 단위 시간당의 에너지 변화량을 나타내는 물리량(dE/dt , 여기서 E와 t는 각각 에너지 및 시간)으로서 그 크기는 주어진 에너지를 어느 만큼의 짧은 시간 내에 부하에 방출하느냐에 의해 결정된다. 예를 들면, 그림 1과 같이 1J(joule)의 에너지를 1초 동안에 방출하면 1W(watt)의 파워가 되지만 $1\mu s(10^{-6}$ 초)의 짧은 시간에 방출하면 단위 시간당의 에너지 변화량이 아주 큰 1MW(10^6 Watt)에 이르는 큰 파워를 가지게 된다.

우리 주위에서 볼 수 있는 펄스파워의 예는 기계



(그림 1) 1J의 에너지를 이용한 펄스파워 발생 개념

적 펄스파워를 이용하는 망치, 화학적 펄스파워를 이용하는 폭약 또는 다이내마이트 및 전기적 펄스 파워로서는 낙뢰 등을 들 수 있다.

전기적 펄스파워 기술의 역사는 1925년으로 거슬러 올라간다. 영국의 E. Marx는 콘덴서를 병렬로 충전하여 전기를 저장한 후에 직렬로 방전하여 고전압을 발생시키는 Marx 회로를 고안하여 μs 정도의 펄스 폭을 갖는 고전압을 발생하였다.

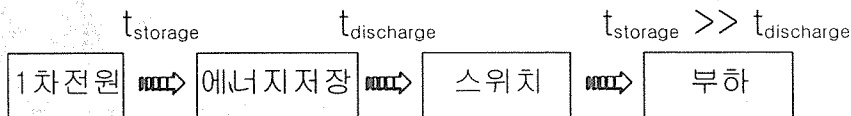
1932년 미국의 P.L. Bellasche는 이와 같이 발생한 6MV의 고전압 펄스를 이용하여 절연 파괴 시험을 행하였다. 이후의 펄스파워 기술의 발전은 비교적 느리게 진행되었다.

1962년경부터 근대적 펄스파워 기술이 등장하게 되었다. 영국의 J.C. Martin은 전송선로중의 전자파의 진행을 고려하여 동축 선로를 이용한 pulse forming line의 원리를 제안하여 μs 이하의 펄스폭을 갖는 고전압 대전류 펄스를 비교적 간단한 장치로 발생시킬 수 있게 되었다. 수 ns의

펄스폭을 갖는 MW(10^6 Watt)는 물론 GW(10^9 Watt) 나아가 TW(10^{12} Watt)에 이르는 펄스 파워 발생장치도 개발되었다. 이러한 펄스파워의 주된 목적은 flash X선 발생이었다. 세계 최초의 TW 펄스파워 발생장치는 미국의 AURORA 장치로서 10MV의 출력전압을 가진다. 펄스 파워의 전형적인 출력 파라메타는 전압 수 10kV 이상, 전류 수 kA 이상, 펄스폭 수십 ns에 이르는 정도이고, 최근에는 수 MV, MA 또는 수 에너지 MJ 이상의 펄스파워 발생장치도 어렵지 않게 찾아볼 수 있게 되었다.

2. 펄스파워 시스템의 구성과 요소 기술

전기 에너지를 이용한 펄스파워 시스템 구성은 그림 2와 같이 1차 전원, 전기 에너지저장장치, 스위치 및 부하로 구성되며



(그림 2) 펄스파워 발생 시스템

1차 전원으로서 전력회사에서 공급하는 상용 전원 또는 디젤발전기와 같은 독립전원을 사용할 수 있으며, 그 전력용량은 요구되는 펄스 파워의 빈도(pulse-power frequency)와 펄스당 에너지에 의해 결정된다.

가. 에너지 저장장치

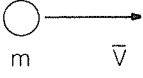
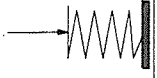





에너지저장 장치로서는 전기에너지를 저장할 수

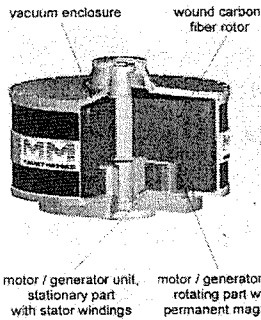
있는 인덕터(L와) 캐패시턴스(C)를 비롯하여 전지 또는 초전도 에너지 저장장치(SMES : 그림 4) 등이 사용되며, 그밖에 기계적 에너지와 화학에너지의 저장수단으로는 flywheel(그림 3)과 폭약 등이 사용되고 있다.

그 각각의 특성과 에너지 밀도는 경우에 따라 차이는 있으나 표 1과 같이 비교되고 있다.

〈표 1〉

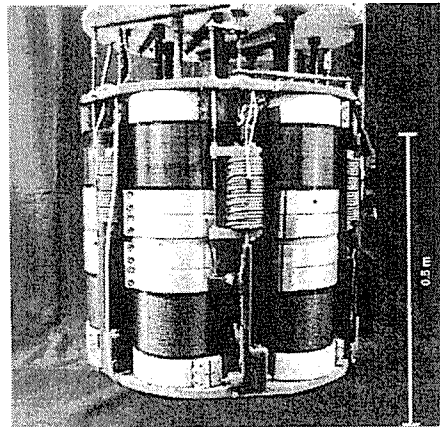
에너지 저장장치와 특성 비교

Moving object	Pressed Spring	Rotation object	Electric accumulator	Electric condenser Capacitor	Inductive Storage	Explosion
1	2	3	4	5	6	7
 $E = \frac{mV^2}{2}$ m-mass V-speed	 $E = \frac{F \cdot \Delta l}{2}$ F-elastic force Δl -deformation	 $E = \frac{J\omega^2}{2}$ J-Inertia ω -rotation speed	 $E = U \cdot I \cdot t$ U-voltage I-current t-discharging time	 $E = \frac{C U_o^2}{2}$ C-capacitance U _o -charging voltage	 $E = \frac{L I_o^2}{2}$ L-inductance I _o -charging current	 ~1000kJ/dm ³



	K3	K6	M1
Stored Energy	MJ 7.2	21	32
Max. Power	KW 150	450	900
Operat. Speed	min ⁻¹ 12,000	21,000	18,000
Diameter	m 0.66	0.66	0.78
Mass	kg 400	400	600
Putting into service	1988	1999	1999
Energy Density	MJ/t 18	54	54
Power Density	MW/t 0.4	1.1	1.5

(그림 3) Flywheel storage system



500 kJ / 100 MW Laboratory Set-Up

(그림 4) 500kJ/100MW SMES

나. 퍼스파워 스위치

펄스파워 기술의 핵심 중의 하나는 고밀도·고효율의 에너지 저장장치와 함께 축적된 에너지를 부하에 전달하는 효과적인 수단으로서 스위치를 들 수 있다. 에너지 저장장치의 종류에 따라 요구되는 스위치 종류가 다르며, 투입스위치(closing switch)와 개방스위치(opening switch)로 구별

된다. 초전도 에너지 저장장치, 인덕터, 또는 보상발전기와 같은 전류형 에너지 저장장치의 경우에는 개방형 스위치를 사용하여 펄스파워를 발생시키게 되며, 캐패시터 또는 전지와 같은 전압형 에너지 저장장치의 경우는 투입형 스위치를 필요로 한다. 개방스위치는 지금도 기술정립이 되어 있지 않은 첨단기술분야로서 선진 각국에서도 연구가 활발하게 진행되고 있다.

지금까지 개발되어 쓰이고 있는 대표적인 투입 스위치의 정격과 특성은 표 2와 같으며, 각각의 장·단점도 다음과 같이 파악되고 있다.

(1) Thyatron

Thyatron은 약 10^{-3} Torr의 저압(低壓) 개

스 방전 tube로 되어 있으며 보통 hydrogen으로 채워져 있다. 그 구성은 heating filament와 control grid로 되어 있으며 600~1000V 크기의 pulse grid 전압을 인가하여 개스의 이온화에 의해 firing된다.

<표 2> 투입스위치의 종류와 특성

Type	V_T kV	I_p kA	t_p μs	di/dt A/ μs	Q_s Coul/Shot	N_f Shots	F pps	Demension mm
Thyatron	25~160	1~80	0.5~10	$10^4 \sim 10^9$	$10^{-3} \sim 0.4$	$10^1 \sim 10^{11}$	$100 \sim 10^4$	$\Phi(100 \sim 300) \times (150 \sim 40)$
Vacuum tube	10~320	0.1~2	$10 \sim 10^3$	$(1 \sim 1.5)10^9$	$10^{-3} \sim 120$	$2 \cdot 10^9 \sim 4 \cdot 10^{11}$	$6 \cdot 10^2 \sim 10^4$	$\Phi(200 \sim 400) \times (200 \sim 800)$
Mercury Ignitron	10~75	15~300	100~5000	$2 \cdot 10^2 \sim 10^3$	10~400	$10^3 \sim 2 \cdot 10^9$	0.03~0.1	$\Phi(150 \sim 300) \times (200 \sim 500)$
Magnetic controlled low pressure pas discharge switch	15~100 5~20	1~5 100~500	50~1000 30~1000	5~100 $10^3 \sim 10^4$	1 100~600	10^5 10^4	10 0.03	$\Phi(200 \sim 300) \times (300 \sim 600)$ $\Phi(400 \sim 500) \times 100$
Triggered vacuum switch(YVS)	20~50	10~200	100~500	10^9	80~120	$(2 \sim 5)10^4$	0.1	$\Phi(110 \sim 150) \times 200$
High pressure gas Spark gap swith	30~200	1~1000	2~100	$10^4 \sim 10^9$	1~50	$10^5 \sim 10^9$	0.01~500	$\Phi(100 \sim 400) \times (200 \sim 400)$
Rotating Arc Gap Switch(RAG)	5~20	50~200	200~2000	100~2000	100~200	$10^2 \sim 10^4$	0.01~0.1	$\Phi(200 \sim 400) \times (200 \sim 300)$

● 장점

- switching on time과 recovery time이 짧음
- 따라서 pulse repetition rate가 높다.

● 기술적 제약

- Cathode의 heating filament 전류 크기 제한 때문에 펄스길이와 전류가 제한됨(즉 pulse의 전기량이 제한됨)
- 고전압에 대해서 anode voltage 값이 제한적임

- 평균전류와 펄스반복률은 anode의 heating factor에 의해 결정되어 수명은 약 10,000시간임.
- Cooling system
- filament와 hydrogen generator용 power supplu

(2) Vacuum Tube

Vacuum Tube는 heating cathode, anode 및 control grid로 구성되며 10^{-9} torr의 진공속에 내장된다. 이 switch를 제어하기 위해서는 1000

~2000V의 grid 전압과 anode 전류와 비슷한 크기의 grid 전류를 필요로 한다.

- 장점
 - Signal 재생확대가 가능
 - Pulse의 파형제어가 가능
- 기술적 제약
 - Peak current는 heating cathode에 의해 제한됨
 - 수 kW에 달하는 Cathode-heating power
 - 부하의 40~20%에 이르는 Control power
 - 2kV에 달하는 anode의 heating factor에 의해 좌우되며 수명은 10,000시간 정도임.

- 보조장치
 - heating filament의 power supply
 - 냉각장치

(3) Mercury Ignitron

Mercury Ignitron은 10^{-3} torr의 저압 수은 방전 tube로서 전압 1500~300V, 전류 50~200A의 pulse igniter에 의한 gas 방전으로 firing된다.

- 장점
 - heating cathod 없음
 - Cathode heating 문제가 없으므로 많은 전기를 제어할 수 있음(Cathode Spot가 electron source가 됨)

- 기술적 제약
 - Anode voltage는 thyratron과 같이 제한적임
 - 중금속인 수은으로 제어되므로 전류변화율이

낮아 pulse repetition rate가 낮음

- Long recovery time
- 전류 pulse의 크기와 수명(10^3 정도)

- 보조장치
 - 사용온도제어를 위한 냉각수 계통
 - 중금속인 수은 재처리 설비

(4) Magnetic controlled gas discharge switch

이 스위치는 약 10^{-3} torr의 저압 개스 방전 tube이며 hydrogen이나 helium으로 채워져 있다. Cold emission Cathode 방식이며 양전극간에 자장을 인가해야 한다.

- 장점
 - hydrogen filling에 의한 빠른 스위칭 시간 및 회복시간
 - Inductor energy storage 스위치로 사용가능
 - heated Cathode 없음

- 기술적 제약
 - 큰 전류크기 및 저전류 밀도에 의한 peak current의 제한
 - switching on/off의 난이성에 따른 anode voltage의 제한

- 보조장치
 - 자장발생장치
 - vacuum pump, gas equipment
 - 냉각장치

(5) Triggered Vacuum Switch(TVS)

TVS 10^{-9} torr의 진공 중에 3개의 전극으로 구

성되며, 진공 gap의 절연 전압 특성과 빠른 절연 회복성을 이용한다.

- 장점

- 빠른 switching on과 회복성
- Compact
- Noiseless
- fire 또는 폭발위험이 없음
- 친환경성
- 내환경성

- 기술적 제약

- 전극의 용착과 손상 때문에 100~200 Coulomb의 전기량만 제어할 수 있음
- 5~10kV의 high voltage triggering 필요
- 10^6 Coulomb의 전기량 즉, 10^3 Shot 정도의 짧은 수명

- 보조장치

- Firing system

(6) Spark gap switch

이 switch는 argon, hydrogen 또는 SF₆ 등의 고압(高壓) 개스 내에 내장되며, 고압 gas에 의한 절연내력과 회복특성을 이용한다.

- 장점

- 사용전압이 높음
- switching on 시간이 빠름

- 기술적 제약

- 한 pulse에 100~200 Coulomb의 전기량
- 고전압 firing pulse

- 10^3 Shot 정도의 수명

- 보조장치

- gas 장치

(7) Rotating Arc Gap Switch

일반적으로(20kV 이상의 고압인 경우 제외) 기중(air) 또는 고압가스 중에서 2개의 전극으로 구성되며, firing후 arc가 회전하여 전극의 손상을 최소화한다.

- 장점

- 최고 10^4 Coulomb의 전기량 제어 가능
- 고 신뢰성
- 최대수명($10^4 \sim 10^5$)
- reliable firing

- 기술적 제약

- 전극이 기중에서 동작시 사용전압이 제한적임
- 20kV 이상의 고압일 경우 gas firing이 요구됨

- 보조장치

- firing system

다. 부 하

펄스파워의 부하는 응용분야와 거의 일치하게 되는데 그 적용이 일반화되거나 널리 확대될 분야로서는 군기술과 분진의 비저항이 큰 분진제거에 탁월한 펄스형 전기집진기, 건식 탈황 탈질, 자동차의 매연저감장치 등의 환경분야와 신장결석 파쇄기 등의 의료분야, 전자성형, pulse형 ion implanter 및 전자가속기 등 제조가공업 분야등

분야가 다양하고 광범위하다.

3. 국내·외 기술개발 현황

가. 국외의 기술동향 및 수준

펄스파워기술은 스위치, 회로기술과 함께 전압을 가변시키는 펄스변압기와 기존의 스위치로 제어할 수 없는 $1\mu\text{s}$ 이내의 극단(短端)의 펄스제어가 요구될 때 리액터의 포화특성을 이용하는 magnetic pulse compression 기술까지도 포함하며, 그 재료로 사용되는 비정질코어는 미국의 Allied Signal사를 비롯하여 러시아, 일본 등에서 개발 시판되고 있으며, 국내의 중소기업인 (주)유유와 제룡산업에서는 원자재료를 수입하여 소형 전원장치 또는 비정질 변압기 코어로 재가공하여 시판하고 있다. 에너지 저장장치로서도 캐패시터가 가장 널리 사용되고 있으며, 미국의 Aerovox社와 Maxwell社에서는 고압의 Metalized film coating 기술을 이용하여 0.7kJ/kg 의 캐패시터와 에너지밀도가 1.5kJ/kg 인 고밀도 캐패시터를 상용화시킨 수준에 있다.

(1) 펄스파워를 이용한 환경기술분야

- 덴마크의 FLS社와 세계 전기집진기 시장의 선두주자로서 마이크로 펄스파워를 적용한 전기집진기를 개발하여 유럽시장을 중심으로 중국·인도 등의 시장은 물론 국내의 시멘트 설비에까지 설치운전하고 있으며, 일본의 Origin社는日立과 住友社에 상기와 유사시스템을 개발 납품하고 있다.
- 일본의 Toshiba는 펄스파워를 이용한 10MW급의 플라즈마 장치를 개발시험 운전중이며, 이탈리아의 ENEL은 $10,000\text{m}^3/\text{h}$ 급의 펄스

코로나 플라즈마 탈황·탈질 설비의 실증시험 완료했다.

- 중국 북경대 Flow rate $0.4\text{Nm}^3/\text{h}$ 급 $V_p = 40\text{kV}$ (DC bias 20kV)급 건식 탈황 탈질 연구 설비 가동 [Electric Precipitator Conf. 1993]
- 미국 Defense Science Eng. Division, Lawrence Livermore National Lab.에서 펄스 플라즈마를 이용한 배기가스와 유독가스 처리 기술 개발
- 네델란드 Binthoven univ.에서 100kV, 100ns, 1000pps 펄스파워로 개스 및 수처리 연구를 완료하였다.

(2) 펄스파워를 이용한 국방 및 항공우주분야

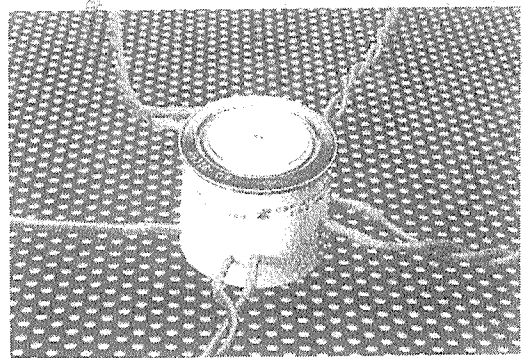
- 미국 : MIT의 1MW 170GHz 1TER Gyrotron 연구. 미해군연구소 600kW, 85~130GHz, $13\mu\text{s}$, 100Hz의 Gyrotron 개발 연구. Texas Tech. univ.의 plasma and pulsed power lab. 600keV의 Febetron 등 다양하게 연구
- 네델란드 : TNO의 pulse physics reseatch group에서 High power microwave weapons, Electrothermal gun pulse radar 시스템 연구, 무기체제용 10M~62MW의 pulse power 예상
- 러시아 : Megapulse Ltd.에서 5kV, 100kA/ μs 의 성능을 가지는 FID와 sub nano second의 Fast power generator를 개발하여 고성능 Radar 개발연구 진행.
- 프랑스 : ISL에서 반도체 sw. (Thyristor)를 이용한 100MJ Capacitor bank, 11.2kV, 2MA의 펄스파워 rail gun 시험

- 개발중. 1kg의 탄을 2.6km/초의 속도로 시험
- 독일 TZN : 33kV급 반도체 sw.를 이용한 ETC용 540kJ capacitive pulse power system 개발
- 영국 : DERA에서 3GW pulse power supply 155mm ETC 시험 개발
- 이스라엘 : SOREQ에서 5MW Inductive power supply를 이용 EML Launcher 개발 시험

- Spark gap sw. 및 14kV - 수A 반도체 스위치 생산
- 러시아
 - Ioffe 연구소 : 2000V, 270kA RSD sw.
 - VEI 연구소 : 25kV, 200kA TVS 및 HVDC용 광 트리거 SCR
 - NIEFA 연구소 : Spark gap sw. : 100kV - 2MV, 30kA~250kA Magnetic opening sw. 50kV - 50kA

(3) 퍼스파워용 스위치

- 미국
 - Livermore National Lab의 Fast Pulse Development team에서 1kV/ns rise time pulser를 개발하였음(2.5kHz, Jitter 200ps 이하)
[<http://tanstaaf.llnl.gov/ipcd.htm>]
 - Maxwell社 100kV 100kA RAG sw. 상용화
- 스위스 ABB社
 - 12kV, 60kA, 50μs Thyristor sw.
 - 12kV, 60kA, 1ms, Crow bar diode 상용화 판매중
- 프랑스
 - Thomson社 50kV급 Triggered Vacuum sw. 판매
 - International Tech. for High Pulsed Power Multigap coaxial sw. 40~90kV, 850kA, Jitter=3ns
- 영국 EEV社 3kV~180kV, 10A~100kA, 50ns~1ms, 0~80kHz Thyatron 전문 생산 업체
- 일본 Origin 전기社 전기집진기 펄스파워용



(그림 5) Pulse generator용(12kV 60kA) SCR

나. 국내의 기술동향 및 수준

- 130kV, 140μs, 200pps(가변 DC bias 0~60kV)급의 전기집진기용 반도체식 펄스파워시스템을 개발 한중에서 시험가동중.[한국중공업/한국전기연구소]
- 1MW 건식 탈황 탈질 설비 운용중(120kV, 30kW급)[한국중공업/포항공대]
- Spark gap sw.형 개발(인하대)
- ETC용 22kV급 Mechanical 투입스위치 개발 [서울대]
- 50kV, 10kA, 10μs급 Thyatron sw.를 수



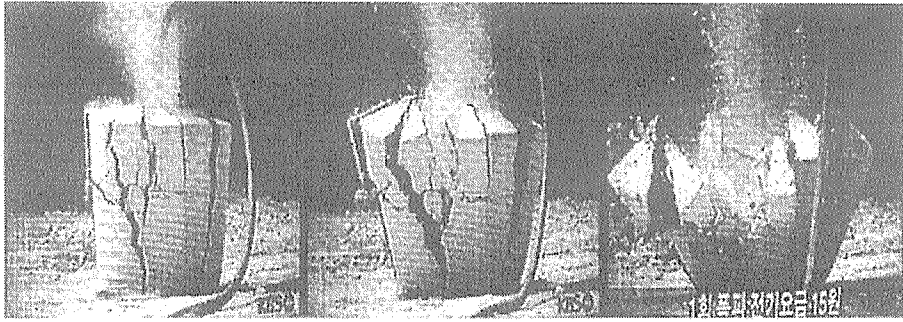
- 입 사용[살균멸균장치, 식품개발원/한국전기연구원]
- Gas pressured 트리거 방식을 이용한 20kV 급 Pseudo spark gap sw. 및 플라즈마 파압 장비 상용화[수산특장/한국전기연구원]
- MOSFET을 이용한 배기가스처리용 2kHz 20kV, 500A급, 100ns급 pulse power supply 개발[LG산전]
- 120kW, 0.5 μ s 300pps, 120kW급의 화력 발전소 플라즈마 탈황 탈질용 펄스파워 시스템 개발중.[한국전기연구원/한국중공업]
- ETC용 대용량 펄스파워시스템 개발중.(22kV, 2MJ)[한국전기연구원/국방과학연구소]
- 5kV, 500kA, Gap switch 개발 완료[한국전기연구원]

- 고전압 펄스전원을 이용한 펄스형 고체 또는 기체 레이저 의료기기 및 레이저 가공기 상용화[대신○네터프라이즈]
- 펄스 고전압을 이용한 정밀 X-ray 장치 상용화[현대방사선/한국전기연구원]
- 전기 펄스식 파압장비 상용화[수산중공업/한국전기연구원]
- 펄스 전자기식 체외 腎石 쇄석기 상용화 연구 [제주대/한국전기연구원]

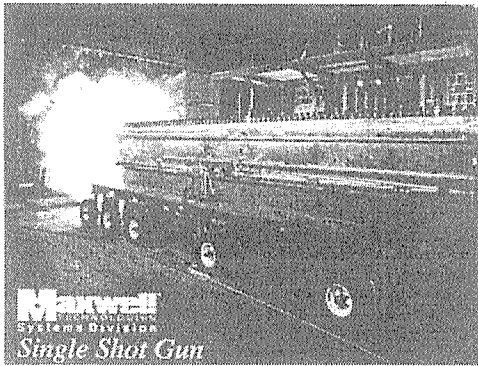
4. 응용분야

펄스파워 기술의 응용분야를 정리해 보면 다음과 같이 광범위하며, 그 요구특성 또한 매우 다양하다.

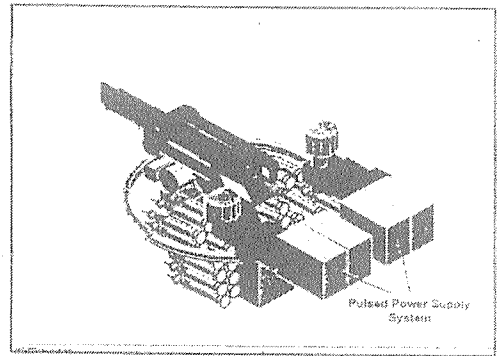
기술 분야	구체적인 예
환경 기술	<ul style="list-style-type: none"> • Ozone generator • 석탄 화력발전소 탈황·탈질, 전기집진기 • VOC 및 Dioxin제거 장치 • 디젤 자동차/기관차 NOx 제거 • 소각로 배연처리
플라즈마 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 플라즈마 핵 융합 • PSII • 전기폭파 및 암반파쇄(그림 5)
임자빔 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 펄스 이온빔 • REB
고강도전자파	<ul style="list-style-type: none"> • 레이더
기계가공	<ul style="list-style-type: none"> • 전자성형
탐사 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 지하자원 탐사용 충격파 발생
군사 기술	<ul style="list-style-type: none"> • ETC • Rail gun(그림 6) • Coil gun
대출력 레이저	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ Laser • 엑시머 Laser
신소재 제조 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 이온빔 • 전자기속기



(그림 6) 펄스파워를 이용한 전기폭파(한국전기연구소) (11kV, 500kV급)



(그림 7) Pulse power 군용기술
(미국 Maxwell)(Rail gun)



(그림 8) ETC 및 PPS Mounting

5. 結 論

펄스파워 기술이 체계화되기 시작한 것은 1970년대이며, 산업용으로서 보다는 군용 등 특수응용분야에서 사용되기 시작하였으며, 일반적인 직류 또는 교류전력과는 달리 전기에너지를 이용한 펄스파워 기술은 미개척분야가 많고 그 응용분야가 넓다.

또한, 고밀도 에너지 저장기술, 고전압·대전류 고속 스위치 기술의 발전과 더불어 그 응용분야와 기술 개발이 가속화 될 것으로 예측되고 있다.

향후 이 분야에 대한 보다 깊이 있고 체계적인 국내 기술개발과 보급을 위한 전문인력들 간의 연

구활성화와 기술교류 등이 요구하고 있는 분야라 할 수 있다.

한편, 가까운 장래에 펄스파워기술이 적용될 분야로서는 배연개스 처리 등 대기오염방지 또는 수처리 등 환경분야로 예측되며, 이에 대한 국내 중전기 업계의 관심도도 크게 높아질 것으로 기대된다.

참고문헌 및 자료

1. 과기부, 민군겸용기술개발사업중 고전압/캐패시터 개발 과제
2. パルスコロナ・プラズマ 化學方式 による火力

發電用ボイラ排ブスの新しい乾式脱硫・脱硝技術調査報告書, 日本器械功業聯合會, 1991년 5월

3. www.dsed.llnl.gov/documents/pulser_tech
4. 11th IEEE Pulsed Power Conf. record
5. www.pfc.mit.edu/itergyro.html
6. wwwppd.nrl.navy.mil/gif/gyrotron
7. www.tno.nl/instit/pml/pfs.htm

8. 11th IEEE pulsed power conf.record
9. 9th IEEE EML conf. Record
10. 9th EML conf. record
11. 12th IEEE Pulsed poer conf. record
12. 펄스파워 기술 - 국가지정연구실
[<http://ep-lab.keri.re.kr>]
13. 제3차 전열추진기술 세미나, 국방과학연구소, 1999년 10월

고효율 절전 제품을 사용합시다.

