

## I. 서 론

19세기 마르코니에 의해 최초의 무선통신 기술이 시연된 이래 지금까지 무선통신 기술은 상당히 빠른 속도로 발전되어져 왔다. 이때 사용된 무선통신 방식은 펄스(Pulse) 기술에 의존한 단순한 부호전송 기술이었고 현재까지도 많은 분야에 적용되어 사용 중이다.

그러나 현재는 연속파(Continuous Wave)를 이용한 무선통신 시스템이 전체 무선통신 시스템의 대부분을 차지하고 있다. 우리가 매일 사용하는 무선 기술인 라디오, 텔레비전, 무선전화기 등은 모두 연속파를 이용한 시스템이다. 연속파를 적용한 시스템의 특징은 특정 주기의 연속파(특정 주파수)를 사용하여 안정적인 통신환경을 구축한다는 점이며 지금까지 이 분야에 많은 기술개발이 이루어져 대부분 보편화된 기술들이 적용되고 있다. 하지만 이 기술의 단점은 특정 주파수를 적용하다 보니 동일한 주파수를 사용하면 서로 충돌이 생기게 되므로 특정 소(小)출력 무선통신 시스템이나 허가된 주파수(Industrial, Medical, Scientific) 대역 이외의 주파수를 사용하기 위해서는 반드시 사전에 주파수를 할당 받아야 한다. 이러한 문제점으로 인해 현재 미국의 FCC(Federal Communications Commission)에서는 "Spectrum Refarming"이라고 하여 주파수를 재이용하는 기술에 많은 노력을 기울이고 있다.

임펄스(Impulse) 응용기술은 기존의 연속파 기술의 한계점을 해결하고 새로운 부가가치를 창조할 수 있는 대안으로 최근 부각되고 있다. 이 기술은

최초의 무선통신에 적용되었던 모스부호를 이용한 통신방식을 그대로 응용한 것으로 기존에 문제점으로 인식되던 여러 가지 기술적인 한계가 거의 극복되어지고 있는 추세이다. 또한 해마다 관련 기술에 대한 워크샵이 열리고 있고, 새로운 국제적 표준 제정을 위한 기술표준화협회(Working Group)도 운영 중이다.

한편 임펄스 신호 발생기는 그 적용분야에 따라 펄스 폭 및 주파수를 변조하여 순간적인 펄스 에너지를 방사시킴을 주목적으로 한다. 그 응용분야에 따라 설계적인 측면에서 펄스 크기, 펄스 폭, 펄스 상승시간 및 펄스 반복주파수 등 4 가지 요소에 중요한 관점을 두고 있으며, 장치의 상용화 측면에서 크기, 무게, 전력소비량, 제품단가 및 장치수율 등이 중요한 요소로 결정된다.

특히 스위칭 소자, 다이오드 및 주회로 구성에 따라 미세한 입력 직류전압을 받아 캐패시터나 인덕터에 에너지를 충전시켜 요구되는 펄스 크기[수 V~KV], 펄스 상승시간 및 펄스 반복주파수[수 KHz, MHz, GHz, THz]로 한순간에 아주 짧은 펄스 폭[ $\mu\text{s}$  ( $10^{-6}$ ), ns( $10^{-9}$ ), ps( $10^{-12}$ )]형태로 변환시킬 수 있어 설계 및 제작기술의 중요성이 요구된다.

본 논문에서는 임펄스 신호발생기 구성에 있어서 각 펄스 대역별 스위칭 소자분류와 그 응용분야, 그에 따른 주 회로 구성 예와 실제 국내외 기술 동향 및 전망을 검토하고자 한다.

## II. 본 론

이 장에서는 앞서 서론에서 언급한 것처럼 임펄

스 신호발생기 구성에 있어서 각 펄스 대역별 스위칭 소자분류와 그 응용분야 및 실제 국내외 기술 동향 및 전망을 검토하고, 한국전기연구원이 그동안 수행하였던 연구개발의 실 응용 예를 제시하였다.

## 2-1 임펄스 제너레이터용 스위칭 소자

[1] D1 :

<표 1> 임펄스 제너레이터용 스위칭 소자

물리적 현상에서 본 스위칭소자군 : Opening S/W (OS), Closing S/W (CS)	반도체 접합형태, 1-Diode 2-Transistor 3-Thyristor	스위칭 파라메타, One unit/Many stack					응용 분야
		펄스폭 [ns]	펄스 반복 주파수 [KHz]	최대전류 [KA]	최대전압 [KV]	펄스 하강시간 [ns]	
Bipolar Modulator Thyristor [CS]	Deep Diffusion of Impurities, 4 Layers with Blocking in Reverse	30~100	1~20	0.2~6	0.8~2.5/30	500~20000	D1
	Deep Diffusion of Impurities, Two Electrodes Dynistor	10~40	2~20	0.1~2	0.8~1.5	500~20000	
	Deep Diffusion of Impurities, 5 Layers with Reverse Conductivity	5~50	2~20	0.1~0.5	1.5~2.5/10	500~20000	D2
Delayed Ionization Devices [CS]	Deep Diffusion of Impurities, Diode, Silicon Avalanche Shapers	0.05~0.2	1~200	0.02~2	1.5~15/50	5~20	D3
	Deep Diffusion of Impurities, Two Electrodes Transistor	0.1~0.2	1~20	0.02~2	1.5~15/50	500~5000	D4
	Deep Diffusion of Impurities, Two Electrodes Thyristor-Dynistor	0.2~0.4	1~20	0.2~5	1.5~15/50	500~20000	D5
Drift Step Recovery Devices	Deep Diffusion of Impurities, Diodes, Drift Step Recovery Diodes	0.5~10	5000	0.02~2	0.5~2/400		D6
	Deep Diffusion of Impurities, Three Electrodes Drift Step Recovery Transistor	2~10	5000	0.005~0.1	1.5~15/50		D7
	Deep Diffusion of Impurities, Three Electrodes Drift Step Recovery Thyristor	2~10	100	0.005~0.1	1.5~15/50		D8
	Epithaxy Grow + Shallow Diffusion, Diodes, Drift Step Recovery Diodes	0.1~0.4	100000	0.001~1	0.1~0.4/10		D7
	Epithaxy Grow + Shallow Diffusion, Three Electrodes Drift Step Recovery Transistor	0.3~1	100000	0.001~0.04	0.1~0.4		D8

① 호일을 이용한 폭발장치(EFI : Exploding Foil Initiators)의 구동용 스위치로서 사용하고 있으며 주로 토목공사 및 광산 등에서 사용되고 있다.

② 리니어 액셀레이터(Linear Accelerators)에서 클라이스트론(Klistrons) 여기장치로서 사용하고 있다. SLAC(Stanford Linear Accelerator, CA, USA)와 NLC(Next Linear Collider - International Project on

Super Accelerator, 2002-2012)에서 검토하고 있으며, 국내 포항공대 가속기센터에서도 검토한 바 있다.

③ 마이크로웨이브 장치용(마그네트론, TWT, Klistron) 펄스레이더 모듈레이터로 사용할 수 있으며 페어차일드, TWR, 웨스팅하우스, 보잉사 등에서 관심을 보이고 있다.

④ 의료용 심장 충격장치로서 사용될 수 있으며 미국 Physio사에서 반도체 스위칭 방식을 이용한 의료용 심장 충격장치를 개발 중에 있다.

⑤ 수질오염 방지장치에 적용되고 있으며 UV램프용 코로나 방전 스위치로서 사용하고 있다.

[2] D2 : 소 전력에서는 아주 빠른 펄스 상승시간(5~10 ns)을 가지며, 레이저의 광학용 샷터에 널리 사용되고 있다.

[3] D3 : 피코 초 (ps :  $10^{-12}$  sec.) 발생기의 중단에 주로 사용되고 있다.

[4] D4 : 피코 초 (ps :  $10^{-12}$  sec.) 발생기의 중단에 사용되고 있으며 주로 구형파 발생장치용 스위치로서 이용된다.

[5] D5 : 수 KV, 수십 KA의 전력을 100~500 ns의 펄스 폭으로 스위칭하는 소자로서 턴-온 시간이 매우 짧고 턴-온 상태에서 전도율이 매우 높으며 스위칭 손실이 작다. 그러나 구동회로가 복잡하다.

[6] D6 : 나노 초 (ns :  $10^{-9}$  sec.) 및 피코 초 (ps :  $10^{-12}$  sec.) 발생기의 중간 및 중단 스위치로 사용되며 고주파영역에서 많은 호응을 받고 있다.

[7] D7 :

① 고주파 영역에서 주로 사용되고 있다.

② 구동회로가 간단하고 가격이 저렴하여 CRT Display 용으로 100 KHz 이상의 고주파 영역에서 사용이 가능하다.

③ 수십 ~수백 KHz의 반복주파수로 10 KW 이상의 평균전력을 감당할 수 있어 화학적 리액터에서 플라즈마를 발생하는 제너레이터에 사용되고 있다. (Research Triangle Institute, NC, USA)

[8] D8 : Modulator Thyristor와 Drift Step Recovery Diode의 특성을 결합한 소자로서 ns, ps 임펄스 제너레이터에 사용되고 있다.

## 2-2 micro, nano, pico-sec 임펄스 제너레이터 응용분야

[1] P1 : D1의 ②~⑥에서 언급한 바와 같이  $\mu$ s 임펄스 제너레이터에서 사용하고 있으며, 여러 스택을 다층 결합시켜 용량을 증대할 수 있다.

① 여러 스택을 직병렬로 다층 결합시켜 하나의 대용량 스위치로 구동이 가능하다.

② 한 부하에 대해서 각 스위치에 PFN(Pulse Forming Network)를 만들어 결합하여 사용이 가능함.

③ 코로나방전 세척시스템(Corona Discharge Cleaning System)의 임펄스 제너레이터용으로서 수질오염 방지장치에 적용되고 있으며, 한 예로 일반적으로 한 개의 대용량 임펄스 제너레이터가 대면적화학적 리액터를 여기시키는 것보다 작은 용량의 임펄스 제너레이터를 개별적으로 배치 여기시켜, 수질오염을 방지하기 위한 코로나방전을 효과적으로 할 수 있다.

이는 특히 장치의 대용량화에서 문제가 되고 있는 열손실 문제를 해결(신뢰성 ; 장치의 몇 개가 고장이 나더라도 가능하고 보수유지가 쉬워 장치의 가동을 지속적으로 할 수 있음)을 손쉽게 대응할 수 있다. (대용량 Phased Array Radar)

[2] P2 :

① 현재 코로나 방전 매연처리 시스템과 집진 시스템의 시장은 매우 밝다. 그러나 이들 시스템에서

〈표 2〉 micro, nano, pico-sec 임펄스 제너레이터 응용 분야

임펄스 제너레이터 형태	냉각방식 [수냉, 공냉]	평균 전력 용량[W]	펄스폭[ns]	제너레이터 파라메타				응용 분야
				펄스 상승 시간[ns]	최대 피크 전력[MW]	펄스 반복 주파수 [kHz]	최대 출력 전압[kV]	
$\mu$ s 임펄스 제너레이터[MPG]	공냉	>1k	500 ~ 20000	100~300	0.1~10	0.5~5	1~10	P1
		<1k	100 ~ 1000	40~80	0.1~5	0.5~20	1~5	
ns 임펄스 제너레이터[NPG]	수냉	>100	10 ~ 40	5~15	1~30	0.3~5	20~100	P2
		<100	2 ~ 5	0.8~1.5	10~100	0.1~1	20~100	
	공냉	<100	10 ~ 40	3~15	0.2~5	0.3~5	5~15	
		<100	0.5 ~ 5	0.4~2	0.1~10	0.5~50	1~30	
ps 임펄스 제너레이터[PPG]	수냉	>10	0.2 ~ 1	0.05~0.15	0.1~2	10~25	5~30	P3
	공냉	<10	0.2 ~ 1	0.05~0.15	0.1~10	0.5~5	1~20	
High Freq. 임펄스 제너레이터 [HFPG]	수냉	>20	0.2 ~ 4	0.1~2	0.1~1	100~1000	0.5~7	P4
	수냉	<20	0.2 ~ 2	0.1~0.5	0.0002 ~ 0.1	100 ~50000	0.1~1	

가장 문제가 되고 있는 부분은 매연(집진)처리효율과 더불어 장치의 소형·경량화 및 에너지 절약 부분이다. 특히 현재 전 세계의 연구개발 동향은 평균 에너지 소비량이 작으면서도 대용량 임펄스를 효과적으로 생성할 수 있는가에 모든 연구개발에 집중되고 있는 실정이며, 그와 더불어 장치의 신뢰성 및 효율성 증대를 위한 연구를 꾸준히 하고 있다.

② High Spatial Resolution, Low Clutter 및 고신뢰성 Form, Time Position을 갖는 차세대 레이더(초광대역 레이더 : Ultra Wide Band Radar)용 고주파(~50 KHz) 임펄스 제너레이터(펄스 폭 5 ns 이하) 개발분야에 적용하고 있다. 현재 전 세계에서 미국의 몇 개 회사만이 이와 관련된 연구를 진행 중에 있으며, 미국 SRI사(CA, USA)에서 가장 높은 피크 전력을 갖춘 임펄스 레이더 시스템(Airborne Foliage Penetrating Radar)을 보유하고 있다.

③ 초 광대역 방해전파 발생기(Ultra Wide Band Jammer)에 적용 가능하다. 임펄스 방해전파 발생기

는 광대역 스펙트럼 폭을 제공하고 다른 초 광대역 시스템과 스펙트럼상 비교 분석을 해보면 Seep Frequency나 White Noise로 나타나 전파추적이 불가능하며, 정해진 채널을 통하여 훨씬 높은 피크 전력을 송수신이 가능하다.

④ 현재 FET 소자로서 사용하고 있는 레이저용 광학 샷터에 적용 가능하며 kV 단위로 펄스 폭을 1 ns~10 ns 구동할 시에는 더욱 효능가치가 크다.

⑤ 전자제품 테스트 장치(ANSI/IEEE C62.41, IEC801 Standard)에 적용 가능하다.

⑥ 의료용 응급장치(심장 충격장치, 물리치료장치 등)에 적용 가능하다.

현재 DEI(Colorado, USA), Belhke(Germany) 등에서 생산 공급하고 있는 RF POWER MOSFET (DE475-501N44A) 및 구동회로 (DEIC420, IXDD-404PI 등)들은 가격이 매우 높아 장치의 경제성에 문제가 되고 있다.

[3] P3 : PPG는 NPG와 그 응용분야가 거의 동일하다.(P2 ②~⑥ 참조) '90년대 초에 출현한 GaAs

전력용 반도체소자(BASS, BOSS)는 현재 거의 세계 시장이 암흑기에 빠져 있으며, 이 분야에서 가장 많이 생산하였던 PSI(CA, USA)사도 1998년에 도산하였고 영국의 Kentech사에서 현재 새로운 개념의 소자를 시도하고 있다. 이 분야에 적용하고자 하는 소자가 새로 출현하고 있지만 그나마 시작품 정도에 지나지 않는다.

[4] P4 : 한국전기연구원에서는 '98년 9월 부터 현재까지 UWB 통신과 관련 하여 구동회로, 주 회로

개발 및 응용분야에 대해서 꾸준히 연구를 시도해 왔다. 또한 이 분야에 있어서 미국 TDS(Time Domain Corporation, Huntsville, AL, USA)는 주로 UWB 통신용 Chip Module 시작품을 출시하고 있으며, 미국 FCC에서는 1~4 GHz 대에서의 UWB 펄스통신을 적극 검토하고 있고 2002년 5월에 이 부분 첫 학술대회(May 20~23, 2002, Wyndham Baltimore Inner Harbor Hotel, Baltimore, Maryland)가 미국에서 개최되었다.

### 2-3 관련 외국 연구기관

<표 3> 관련 외국 연구기관

응용분야	관련 제너레이터 개발 연구기관
I. Optical Shutters (OS)/ Pumping Techniques (OPT)	1. Quantum Technology.USA, (SD-SW)*. 2. Ultralaser. USA 3. Light Age. USA 4. ADVANCED LASER & FUSION TECH, INC. CA. 5. Lambda Physik. USA. 6. Fast Pulse Lasermetrics. USA. 7. ILC. USA.
II. Ground Penetrating Radars (GPR)	관련 제너레이터 개발 연구기관 1. Cleveland Geosurveys LTD. UK. 2. Pulse-Ekko. (Canada), (EE)*. 3. GEOSIGMA. SWEDEN, (EE)*. 4. ISSI, SOUTH AFRICA, (EE)*. 5. GSSI. USA, (EE), (ED-SW)*. 6. Stanford Research Institute USA, (EE)*.
	관련 방위산업 개발 연구기관 1. Earth Search Sciences Inc. USA. 2. LOCKHEED MARTIN. USA, (ED)*.
	관련 제너레이터 개발 연구기관 1. Electronic Power System Division. USA. 2. Westinghouse Corporation. USA. 3. Grumman Corporation, USA. 4. Electromagnetic Sciences Inc. USA. 5. PRIMEX. PHYSICS INTERNATIONAL. USA, (ED)*. 6. Naval Research Laboratory. USA,(EE)*. 7. University of New Mexico. USA. 8. E&G Salem. USA
III. Conventional Radars (CR)	

III. Conventional Radars (CR)	<p style="text-align: center;">관련 방위산업 개발 연구기관</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hughes. USA, (PG).</li> <li>2. Philips Laboratory. USA, (PG)*.</li> <li>3. Los Alamos National Laboratory. USA, (PG-ED)*.</li> <li>4. Army Space Missile Defense Command. USA, (PG)*.</li> <li>5. Army Research Laboratory. USA, (ED)*.</li> <li>6. DERA Ministry of Defence U.K., (PG)*.</li> <li>7. Fairchild. USA.</li> <li>8. Changsha Yinhe Advanced Technology Development Corporation. China</li> </ol>
IV. Ultra-Wide Band Communications (UWB)	<p style="text-align: center;">관련 스위칭 소자 개발 연구기관</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Time Domain Corporation, USA.</li> <li>2. Loral Frequency Systems. USA.</li> </ol>
	<p style="text-align: center;">관련 제너레이터 개발 연구기관</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Multi Spectral Solutions Inc. USA.</li> <li>2. Lawrence Livermore National Lab. USA.</li> <li>3. Metelics. USA</li> </ol>
V. Special Medical Applications (SMA)	<p style="text-align: center;">관련 제너레이터 개발 연구기관</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. University of Wuerzburg, Germany.</li> <li>2. Interstitial, Inc. USA.</li> <li>3. McKesson BioServices, US Army, Medical Research Detachment. USA.</li> <li>4. Genetronics, Inc. USA.</li> </ol>
VI. Pollution Control (PCNTR)	<p style="text-align: center;">관련 제너레이터 개발 연구기관</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Southwest Research Institute, USA.</li> <li>2. TOSHIBA CORPORATION. Japan.</li> <li>3. Soreq NRC. Israel, (EE)*.</li> <li>4. POSTECH. Korea.</li> <li>5. CLEAN EARTH TECHNOLOGIES, LLC. USA.</li> <li>6. Technische Universiteit Eindhoven Netherlands.</li> </ol>
VII. Electronic Disruption (ED)	<p style="text-align: center;">관련 스위칭 소자 개발 연구기관</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. E - Systems/Raytheon. USA, (EE)*.</li> </ol>
	<p style="text-align: center;">관련 제너레이터 개발 연구기관</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. David Sarnoff Research Center. USA.</li> <li>2. Sandia National Lab. USA, (CR-EE)*.</li> </ol>
	<p style="text-align: center;">관련 방위산업 개발 연구기관</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Boeing Corp. USA, (CR)*.</li> <li>2. U.S.Navy High Voltage Laboratory. USA</li> </ol>
VIII. Swithes(SW)	<p style="text-align: center;">관련 스위칭 소자 개발 연구기관</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reynolds Industries International, USA.</li> <li>2. Voltage Multipliers Inc. USA.**</li> <li>3. Power Technology Services. USA.</li> <li>4. Pulse Power Physics. USA.</li> <li>5. Pulse Science Inc. USA.</li> <li>6. Australian National University. Australia.</li> <li>7. ADVEC Corp. USA.</li> </ol>

VIII. Swithes(SW)	8. Energy Compression Research. USA. 9. Behlke Gmbh. Germany
	관련 제너레이터 개발 연구기관
IX. Water Purification & Food Processing. (WP&FP)	1. Direct Energy Inc. USA. 2. AVTECH ELECTROSYSTEMS. USA. 3. Hewlett Packard. USA. 4. Textronics. USA. 5. North Star Research Corporation. USA. 6. Texas Tech University. USA. 7. DIVERSIFIED TECHNOLOGIES, INC. USA. 8. Instrument Research Company. USA. 9. Stanford Linear Accelerator Center - SLAC. USA. 10. Farr Research. USA. 11. Kentech Instruments LTD. UK. (ED)*.
	관련 제너레이터 개발 연구기관

\* Capital letters in brackets after the name of a country of company origin mean that this company is interested in other type of application additionally to the general one. In particular, (PG-SW) stands for need in switches in the form of pulse generators, or (SD-SW) - additional need in semiconductor devices for switch utilization.

#### 2-4 임펄스 제너레이터 응용 예

이 절에서는 한국전기연구원에서 그동안 개발했던 사례를 중심으로 MPG(Micro Pulse Generator), NPG(Nano Pulse Generator), PPG(Pico Pulse Generator), HFPG(High Frequency Pulse Generator)의 개발현황을 제시하고자 한다.

앞서 언급한 것처럼 각 임펄스 제너레이터는 그 응용분야(부하조건)에 따라 정해지며, 장치 사양에 따라 사용 스위칭 소자도 다양하다.

##### 2-4-1 식음료 저온 살균용 MPG

오늘날 식품공업에서 식품의 보전성을 향상시키기 위하여 대부분 가열조작 또는 건조, 냉동 등의 물리적 방법이나 식품보전제의 첨가에 의한 화학적

<표 4> UWB 응용분야에 따른 세계시장

응용분야	세계시장
Optical Shutter	\$10,000,000
Ground Penetrating Radar	\$12,500,000
Conventional Radar	\$37,500,000
Quality Assurance Systems	\$10,000,000
Distance Detection and Control	\$10,000,000
Ultra-wide Band Communications	\$10,000,000
Pollution Control	\$10,000,000
Electronic Disruption	\$50,000,000
Water Purification and Food Processing	\$50,000,000
Special Medical Applications	\$10,000,000
Total	\$210,000,000

방법을 사용하고 있다. 그러나 식품의 보전성을 향

상시키기 위하여 전통적으로 사용되어온 가열 처리법은 열에 의한 영양성분의 파괴, 텍스처 및 색깔의 변화, 향기성분의 손실 등 품질손실을 피할 수 없다.

최근에 소비자들이 먹는 식품에 대해서 맛과 향 그리고 색상 등을 보다 중시하는 경향이 있으며 건강에 대한 관심이 커지면서 신선한 식품에 대한 수요가 점차 증대되고 있다.

이에 따라 과거와 다른 새로운 식품 보전법이 연구되고 있으며 그 중에서 식품에 거의 손상을 주지 않는 여러 가지 비가열처리기술이 개발되고 있다. 현재 식품산업에서 개발되고 있는 비가열 처리 기술에는 고전압 펄스 전기장, 진동 자기장, 이온화 조사, 광펄스, 초고압, 초음파 등을 이용하고 있다. 이와 같은 여러 방법 중에서 고전압 펄스 전기장에 의한 미생물의 불활성화는 처리중 온도가 거의 상승하지 않고 처리시간이 짧으며 연속처리가 가능하여 처리후에 식품의 물리적, 화학적 및 영양학적 특성들이 거의 변하지 않기 때문에 최근 관심이 집중되고 있는 신기술이라 할 수 있다. 고전압 펄스를 이용한 전기장에 의한 미생물의 불활성화는 주로 electric field strength(전계강도), 펄스의 처리수(pulse의 treatment time), 주파수, 파형 및 식품의 전기 저항값에 크게 영향을 받으며 특히 반고형 식품보다는 액상식품이 미생물의 불활성화에 더욱 효과적인 것으로 알려지고 있다. 이런 측면에서 고전압 펄스를 이용한 전기장 처리 기술은 미생물을 효과적으로 살균하여 기존의 식품에 비해 품질이 개선되거나 또는 영양소나 관능적 특성이 우수한 고품질의 식품을 제조하는 기술로 기존의 살균 공정과 비교하여 품질과 저장 수명에 있어서 획기적 개선 효과를 가져오면서 살균효과도 결합할 수 있는 신살균 기술이라 할 수 있다.

본 연구에서는 고전압 펄스 전기장의 전기에너지를 이용한 고효율의 농산물 및 식품 가공기술을 개발하기 위하여 본 연구를 수행하고자 하는 것이며

기존의 방법들인 Ohmic heating, Microwave heating, High Voltage Arc Discharge에서 발생하는 열적인 문제와 부산물에 의한 화학적 성분 변화를 최소화할 수 있는 펄스 전계 인가방식을 이용한 전기장치를 개발하는 데에 그 목적이 있다. 개발하고자 하는 시스템은 전체 프로세스를 구성하기 위해 5가지의 주요 요소기술이 개발되어야 하며 그것은 고전압 펄스 발생장치, 처리용 챔버, 냉각기, 펌프, 각종 측정 및 보호장치이다.

이에 따라 1차년도에는 펄스전원장치의 시스템을 구현하기 위한 기본 요소기술 구현에 주력하였으며, 각 요소기술로서 커패시터 충전용 고압 전원장치부(PS), 커패시터 방전용 스위치로 사용한 Thyatron SW 및 구동회로부(PG), 25 kV 1 kA급의 Electrode를 포함하고 그의 절연구조를 지니고 있는 살균 처리 챔버(Ch.)를 개발하였다. 개발하는 기술을 설계하기 위해서 커패시터 충전용 전원장치의 스택설계, 제어기 설계, 고압 변압기의 구조설계, 정류회로의 선정, 싸이라트론 구동회로 설계, 펄스파형 성형회로 설계, 살균용 챔버 설계가 각각 제작에 앞서 이루어졌으며 이후 설계한 각 요소부분에 대해 설계내용의 검증과 시작품 제작에 앞서 필요한 시스템의 기능 구현을 위해 각 요소부분의 제작과 함께 이의 성능 시험이 이뤄졌다. 그리고 이를 토대로 각 요소의 제작을 통해 기능구현과 함께 전체 시스템의 조합을 통한 시작품 제작을 하였다.

각 요소부분의 구체적인 개발내용을 살펴보면, 먼저, 커패시터 충전용 고압전원장치부는 출력측의 고압 펄스전원을 만들기 위한 입력 고압 직류전압을 공급하는 장치이며 일반 상용전원에서 고압으로 승압하는 장치이다. 커패시터 충전용 고압전원장치부는 IGBT를 이용한 고주파 인버터 스택으로 구성하여 장치 크기를 최소화 하고자 하였다. 인버터 장치의 제어기를 전용 제어 IC를 이용하여 제작하고 고압 직류 전원을 얻을 수 있는 기능이 구현되는지



시험하였다. 또한 고압 직류를 얻기 위해서 필요한 고압 변압기와 정류부의 제작을 위해 보빈 등의 각 구조물을 제작하였으며 고압 펄스전압의 형상을 만들기 위한 펄스성형회로 역시 원하는 사양대로 제작하였다. 싸이라트론은 입력 직류전원을 통해 축적된 에너지를 짧은 시간동안 부하로 전달하는 기능을 수행한다. 그리고 부하로 전달되는 파형은 효율을 높이기 위해 원하는 형태로 펄스성형회로를 통해 모양을 조절할 수 있으며 바라는 펄스폭에 따라 소자를 설계하였다. 싸이라트론 구동회로는 각 싸이라트론 소자의 정격에 맞추어 구동펄스의 전압기울기, 전류기울기 등을 조절하여야 하며 이에 맞도록 설계 내용대로 실제, 제작 구동시험을 하였다. 살균용 챔버는 고압 전계를 식품에 가하기 위한 기구이며 이의 형상과 구조에 따라 살균효율과 특성이 많이 달라지므로 이의 구조설계가 중요하다. 살균용 챔버는 먼저, flow형의 챔버제작을 통해 형상에 따른 살균효율과 특성을 규명하고자 하였다.

2차년도는 1차년도에 소용량으로 제작한 장치의 시험결과를 토대로 대용량급의 장치를 설계, 제작, 시험하는 것이 주된 연구 내용이며 1차년도에서 발견된 수정사항을 모두 반영하고 장치의 대용량화에 따른 각종 요소들의 새로운 설계사항과 요소 기술 시험결과를 토대로 장치의 성능을 한 단계 발전시키는 것이 주된 부분이다. 본 과제에서 개발하고자 하는 장치는 50 kV급 2.5 kA의 펄스 발생장치를 제작하여 이를 이용하여 연속처리가 가능한 구조로 설계한 챔버에 직접 전계를 가하여 식품처리를 하고자 하는 것이다. 장치의 구성요소를 살펴보면, 각 요소부분의 기능은 1차년도의 설계자료를 기본으로 하였으나 용량과 성능 및 펄스의 간격과 주파수 등은 2차년도의 목표치 사양에 맞도록 모두 변경하였으며 이에 따라 각 소자들의 정격과 용량을 설계, 제작하였다. 제작한 장치는 처리의 효율성을 높이기 위해 병렬처리할 수 있도록 두 대를 제작하였으며

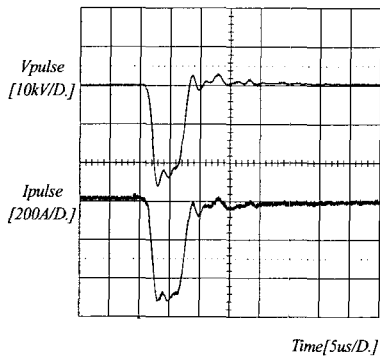
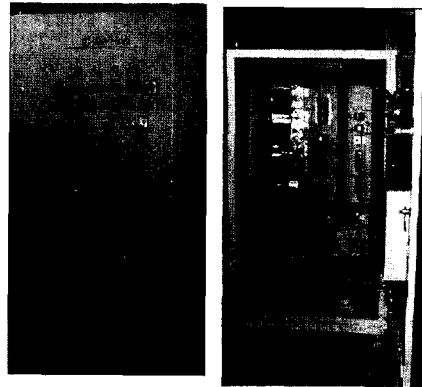
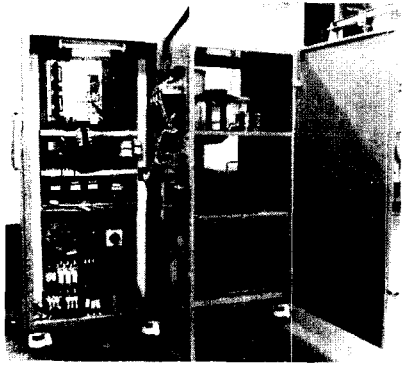
처리용량을 보다 높이면서도 펄스 정격이 과다하게 커지지 않도록 여러 가지 파라미터를 고려하여 챔버를 설계 제작하였다.

인버터 스택은 50 kW급의 용량을 가지도록 대용량화하여 구성하였으며 인버터의 출력단에 연결되는 공진회로는 충전동작에서 최대 전류 정격을 견딜 수 있게 제작하였다. 고압 변압기는 용량 증대에 따른 손실분으로 인한 열적인 스트레스를 충분히 견딜 수 있도록 절연유의 용량을 역시 증대시켰다. 펄스의 폭은 살균특성에 영향을 주지 않으면서 최소화하도록 하였으며 이를 위해 전극간의 arc 발생이 이뤄지지 않는 범위에서 전계를 보다 증대시켰다.

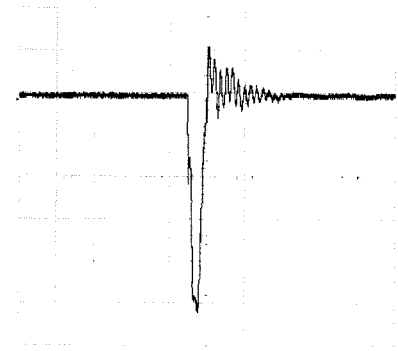
3차년도의 주된 연구내용은 저온 살균용 고압 전원장치를 상용화 수준까지 끌어올리는 것이며 이를 위해 요소기술의 신뢰성 확보와 경제성 검토가 이뤄졌다. 따라서 연구, 개발한 장치를 상용화하기 위해서 장치의 신뢰성 확보와 장치 가격의 저가화 그리고 장치의 수명을 합리적인 수준으로 끌어올리는데 주력하였다. 이미 1, 2차년도를 통해 기술의 원리는 검증이 이뤄졌고 전계 처리한 식품의 살균 가능성 확인은 이미 이뤄졌으므로 다양한 응용분야를 발굴하기 위한 노력을 역시 병행하였다. 실제, 장치를 상용화하기 위한 적합한 적용분야를 찾기 위하여 다양한 시료시험을 통한 데이터 구축을 하였다. 장치의 상용화를 목적으로 전원장치는 보다 고효율이며 수명이 길고 경제적인 면을 고려하여 전력용 반도체 소자를 이용하여 새로운 장치를 개발하였다. 살균 처리를 위한 챔버 역시 보다 제작이 간편하고 간단한 구조가 될 수 있도록 1, 2차년도와 다른 구조로 제작 시험하였으며 각종 펌프와 냉각기 시스템은 무균 처리를 위해 폐회로로 처리가 될 수 있게 구성하였다.

#### <1차년도>

- ▶ 저온 살균처리 방식을 위한 펄스형 고압발생



[그림 1] 1차년도 시작품사진(상), 출력파형(하)



Vo : 10 kV/div, time[2us/div]

[그림 2] 2차년도 시작품사진(상), 출력파형(하)

### 전원장치 기본 설계

1) 25 kW급 펄스형 고효율 고압발생 전원장치  
주회로 설계·제작 연구

입력 : 3상 220 V, 출력 : 25 kV, 1000 A

장치 효율 : 85 % 이상

펄스 형태 : Exponential & Square Wave Type

펄스 폭 : 10  $\mu$ sec 이하 (펄스 폭 조절 가능)

펄스 주기 : 5 Hz ~ 300 Hz

사용 스위치 : Thyatron (진공관)

2) Treatment Chamber 기본설계 기술

Batch Type, Flow Type & Coaxial Type 설계 방  
안 연구

<2차년도>

▶100 kW급 (50 kW×2대) 저온살균용 고압펄스  
형 전원장치 및 T/C 개발

1) 100 kW급 펄스형 고효율 고압발생 전원장치  
설계 및 제작 기술 연구

출력 : 50 kV, 2500 A

장치 효율 : 90 % 이상

펄스 형태 : Square Wave Type

펄스 폭 : 10  $\mu$ sec 이하, 펄스 주기 : 5 Hz ~ 300  
Hz

살균처리 온도 : 55  $^{\circ}$ C 이하

사용 스위치 : Thyatron (진공관)

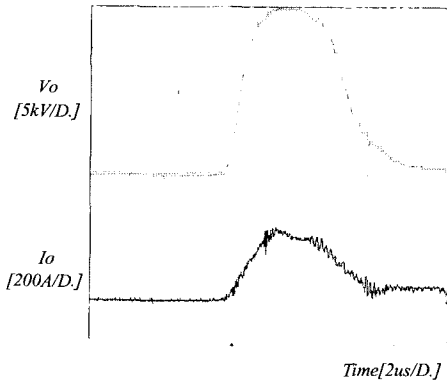
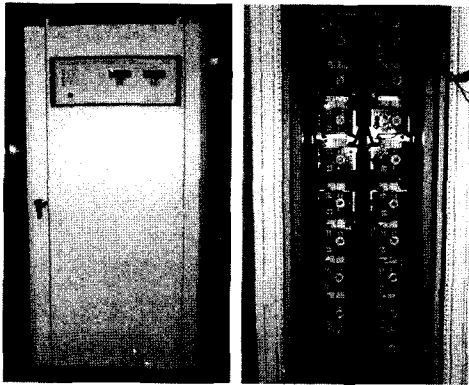
2) 주전원 장치 병렬 운전 연구

3) 부하정합 연구

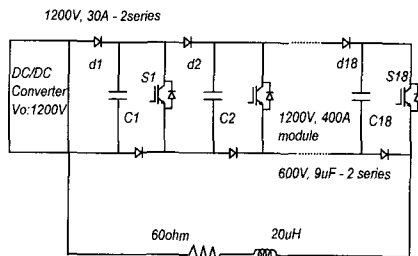
4) Treatment Chamber 설계 및 제작

<3차년도>

▶ 전력용 반도체 소자 IGBT (1200 V 400 A ×



[그림 3] 3차년도 시작품사진(상), 출력파형(하)

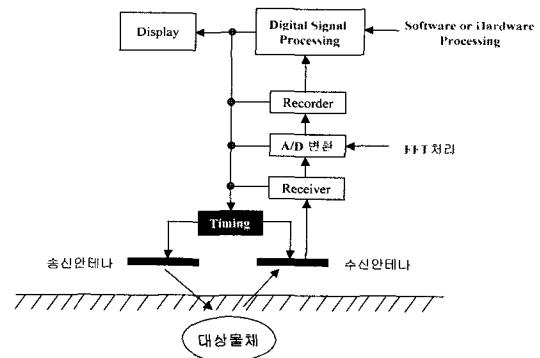


[그림 4] IGBT 직렬결선 및 소자 전압 밸런스 회로

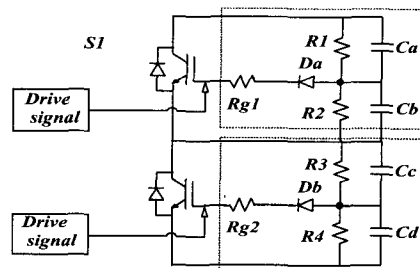
36개 직렬 구동)를 이용한 저온 살균용 고압펄스형 전원장치 연구

2-4-2 지반탐사 레이더용 NPG

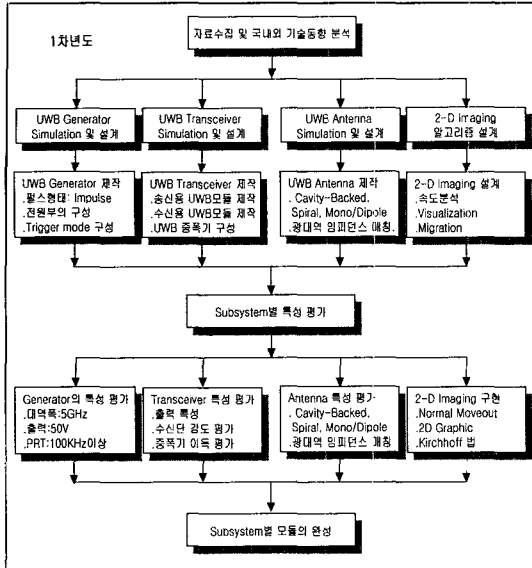
초광대역(UWB)의 특성인 대역폭이 수 GHz인 스펙트럼 성분을 이용하므로써 콘크리트 내부의 균열 여부 및 상태, 철근의 배치 상태, 콘크리트의 두께 측정이 가능하며 이를 실시간으로 영상화함으로써 비전문가도 빠른 시간내에 진단을 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. UWB를 이용한 전자파의 물질 투과 특성 및 반사 특성에 의해 탐사 대상을 영상화하는 기법인 NDT(non-Destructive Testing)는 현재 대부분 외국의 기술을 도입하여 제공하는 실정이며, 관련 분야에 대한 연구가 국내에서는 미진한 상태



[그림 5] UWB NDT의 구성도

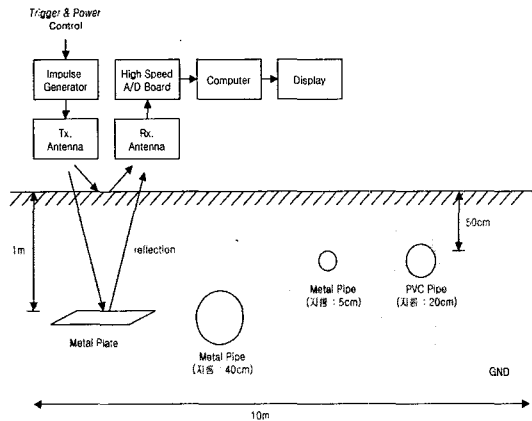


▶ 1차년도 목표 (2002년 7월 현재 수행중)



[그림 6] UWB 지반탐사레이더 기술개발 체계도

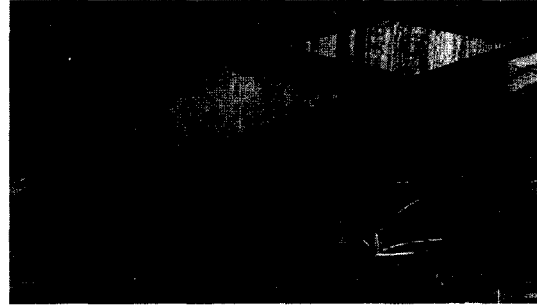
GPR 시험장(1)



[그림 7] UWB 지반탐사레이더 Test Site

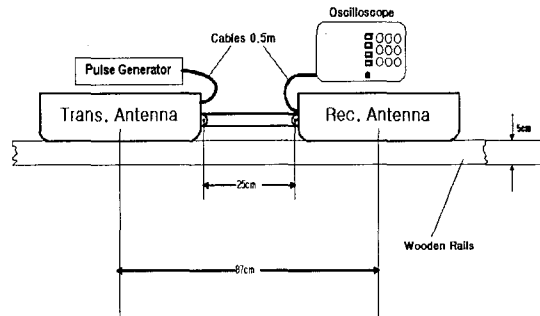
에 있어서 관련 기술의 상용화 개발이 전무한 실정이며, 또한 최근에는 대형 건축 구조물의 붕괴 사고나 각종 개발 공사시에 발생하는 안전사고 등의 증가로 국가적인 손실 및 국민의 불안이 가중되고 있

GPR Antenna

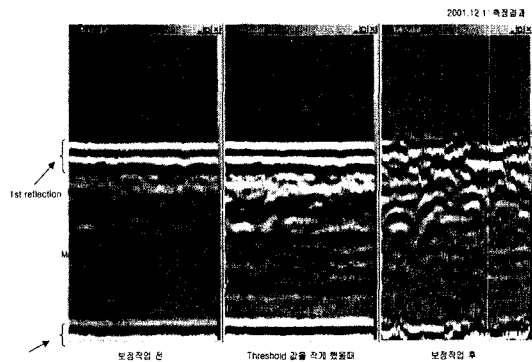


[그림 8] UWB 지반탐사레이더 안테나

측정 조건



GPR 시험결과

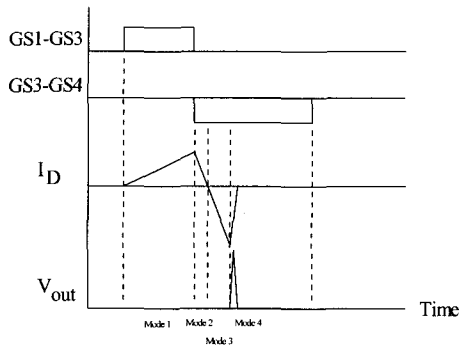
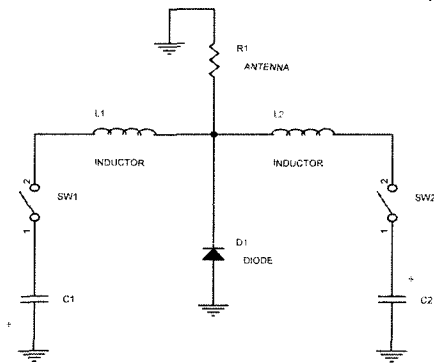


[그림 9] UWB 지반탐사레이더 실제 구성도 및 측정 결과

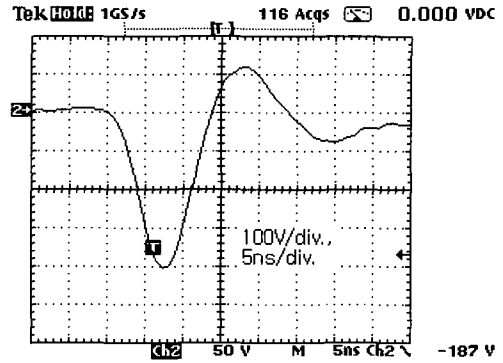
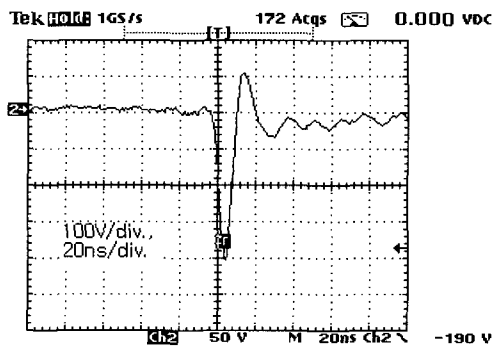
으며 이에 따라 각종 구조물 및 공사현장에 대한 사전/사후 안전진단 등이 적극적으로 요구되고 있는

제작한 NPG 주회로 및 실험파형

▶ GPR용 NPG 주회로 및 동작모드



▶ GPR용 NPG 실험파형



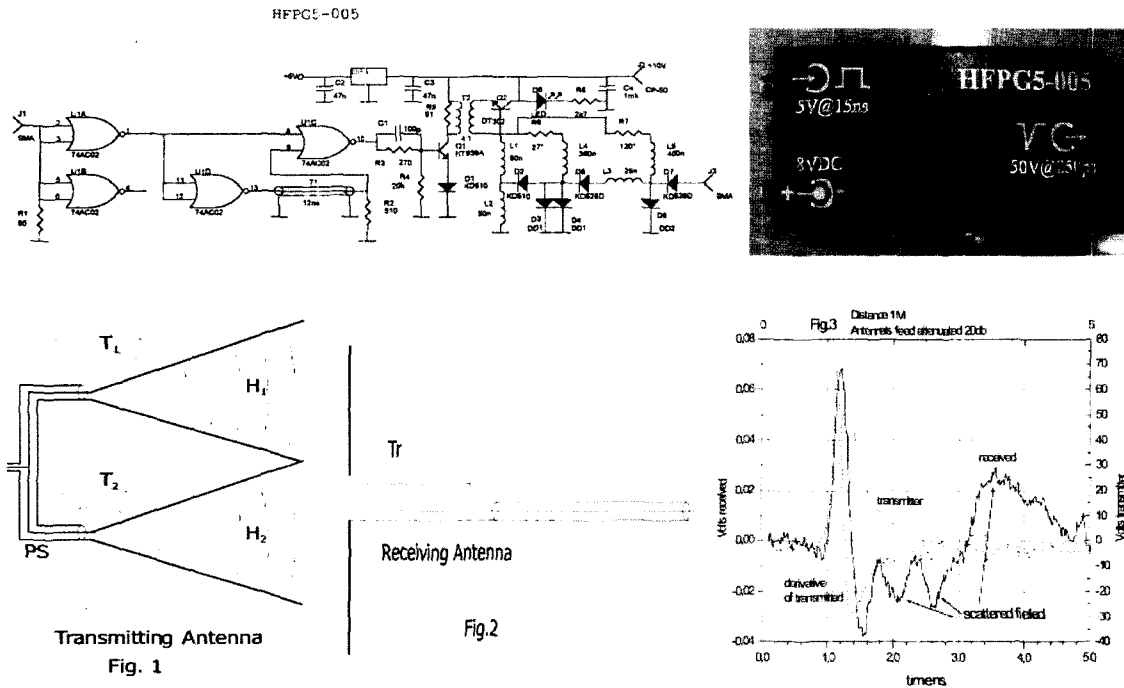
[그림 10] UWB 지반탐사레이더용 NPG 주 회로 및 출력 파형

상황이다. 본 연구, 개발에서는 각종 구조물의 내부 상태를 UWB를 이용하여 비파괴적으로 진단할 수 있는 NDT 진단장비의 개발을 통하여 국내 기반기술 확보 및 다(多)응용 NDT진단장비를 개발하고자 하였다.

2-4-3. UWB 통신용 HFPG

UWB 통신용 목적으로 HFPG를 한국전기연구원 은 연세대학교, 러시아 연구진 및 참여기업이 공동으로 1999년 9월에서 2001년 3월까지 공동연구를 수행하였다. 공동연구 개발한 HFPG의 사양은 펄스폭(P<sub>wd</sub>) 250~450 pico-sec, 펄스반복주파수(P<sub>REF</sub>) 10 MHz(최대 20 MHz), 펄스크기(P<sub>AMP</sub>) 50~80 V 이며 [그림 11]은 개발한 시작품 사진과 출력 파형을 보여주고 있다.

현재로서 문제점은 고속으로 스위칭할 수 있는 신뢰성 높은 전력용 반도체 소자 개발과 무선으로 방사된 수신단 파형의 신호처리기술, 실장기술 및 장치의 효율상승(현재 25%)이다. 물론 그와 더불어 해결해야 할 문제(고신뢰성 UWB 안테나 설계 및 제작기술, 표준화 및 규제화 등)들이 산재해 있는 것은 사실이나 언제나 그렇듯이 그동안 대학(원)의



[그림 11] UWB 통신용 주회로, HFPG 장치사진 및 출력 파형

교과 일부분에 소개기술로 출발한 UWB 통신기술이 2002년도에는 드디어 전 세계가 관련 요소기술에 초미의 관심을 두고 상용화에 박차를 가하고 있다는 사실이다.

### III. 결 론

각 펄스 대역별 스위칭 소자분류와 그 응용분야 및 실제 국내외 기술 동향 및 전망을 검토하고, 한국전기연구원이 그동안 수행하였던 연구개발의 실용예를 제시하였던 바 정리하던 다음과 같다.

첫째, 임펄스 신호발생기용 스위칭 소자로는 전세계에서 다양하게 연구 개발되어 왔다. 여기에서는 이와 관련된 스위칭 대역 및 용량별로 사용 가능한 전력용 반도체를 소개하고 그 응용분야 및 개발현황을 분석하였다.

둘째, 다양한 임펄스 발생기( $\mu$ s, ns, ps Generator)의 응용분야와 기존 시장영역을 신기술로 대체할 수 있는 전망을 제시하였다.

셋째, 관련 요소 기술과 응용분야를 연구하는 외국 연구기관을 조사·분석하였다.

넷째, 그동안 수행하였던 실용장치를 구성한 예를 제시하고 이에 대한 요소기술을 검토하였다.

끝으로 차세대 무선통신의 꽃으로 예상되는 UWB 통신기술은 이제 국내에서도 그 서막이 열렸지만 거의 10년 이상 준비해온 선진 외국에서도 아직 그 연구가 진행중인 것으로 봐서 실용화를 위해서는 짚고 넘어가야 할 문제들이 많은 것으로 사료된다. 그러나 UWB 통신의 매력을 생각한다면 메모리, CDMA 최대강국인 국내기술진들이 힘을 합한다면 다시 한번 더 전 세계가 놀랄 수 있는 시대가 곧 열릴 것으로 전망된다.

≡ 필자소개 ≡

유 등 옥



1979년~1983년: 성균관대학교 전기공학  
(공학사)

1983년~1985년: 연세대학교 전력전자  
(공학석사)

1991년~1997년: 성균관대학교 전력전자  
(공학박사)

1985년 11월~1991년 8월: 한국전기연구  
소 전력전자연구부 연구원

1991년 9월~1998년 8월: 한국전기연구소 전력전자연구부  
선임연구원

1998년 3월~1999년 7월: 한국전기연구소 전력전자연구부 고  
주파응용팀장

1998년 9월~현재: 한국전기연구소 전력전자연구부 책임연구  
원

1999년 9월~현재: 한국전기연구원 산업전기연구단 책임연구  
원

2000년 1월 1~현재: 대한전기학회 전력전자연구회 총무간사

2000년 1월 1~현재: 전력전자학회 평의원, 학술이사

1997년~현재: 산업기술평가원 심사위원

1997년~현재: 에너지 절약 기술 과제 심사위원

1989년~현재: IEEE 정회원