광-전자파 기반 20 GHz급 펄스 샘플링 오실로스코프

20 GHz Pulse Sampling Oscilloscope Based on Electro-Optic Technique

이동준 · 강노원 · 이주광 · 강태원

Dong-Joon Lee · No-Weon Kang · Joo-Gwang Lee · Tae-Weon Kang

요 약

본 논문에서는 전자 소자 기반의 상용 오실로스코프에 의한 기존의 펄스 신호 측정 방법의 주파수 한계를 극복하기 위하여 전기광학 기반의 측정 방법을 기술하였다. 펄스폭 0.1 ps의 펄스 레이저와 광다이오드를 사용하여 20 GHz 주파수 범위에 대응되는 전자기 펄스를 발생시키고, 마이크로스트립 선로를 통해 전송되는 전자기 펄스를 검출하기 위하여 전기광학 샘플링 기법을 이용하였다. 마이크로스트립 선로 위의 매우 근접한 거리에서 광학 결정 프로브를 이용하여 비접촉식으로 펄스 신호를 검출하고, 선로의 출력단 펄스 신호를 기존의 오실로스코프로 측정하여 두 측정 결과를 서로 비교하였다.

Abstract

This paper presents an optical sampling technique which can be used to overcome the limited bandwidth of a commercial electronic sampling oscilloscope for pulsed signal measurement. Employing an ultrafast laser with 0.1 ps pulse duration, 20 GHz electromagnetic pulses were generated through a fast photodiode. These pulses were transmitted through a microstrip line and sampled with an optically triggered electro-optic system. Two sampled 20 GHz pulses - measured independently over the transmission line with a non-contacting electro-optic method and conventional electronic one through a coaxial cable - were compared.

Key words : Oscilloscope, Electromagnetic Pulse Measurement, Electro-Optic Sampling, Pump-Probe Experiment, THz Detection

I. 서 론

최근 정보 통신 산업의 눈부신 발전으로 인해 사용자가 요구하는 정보량이 비약적으로 증가하고 있다. 짧은 시간에 많은 정보량을 보내기 위해서는 고속의 광대역 신호를 사용해야 하며, 이러한 정보 전달 시스템을 구현하려면 초고속 전자 소자 및 회로의 개발이 요구된다. 따라서 전자 소자나 회로를 통해 전송되는 초고속 신호의 측정 기술이 필수적이며, 트랜지스터 등 반도체 전자 소자에 기반하는 기존의 측정 방법으로는 이러한 초고속 · 광대역 신호

의 측정 대역폭에 한계가 있어왔다. 근래에 서브-릴리미터 파장대역의 준(準) 테라헤르츠 전자 소자 기술이 크게 발전하였고, 최근에는 500 GHz까지 측정할 수 있는 벡터 회로망 분석기가 개발되었다.

근래 들어 시간 영역 전자기 신호 측정에 사용되고 있는 상용 오실로스코프는 Agilent 및 Tektronix사에서 실시간으로 20 GHz 이상의 대역까지 측정 가능한 모델을 출시하였으며, 산업체에서는 수 GHz 대 실시간 오실로스코프(주로 4 GHz 이하)가 사용되고 있다. 또한, 샘플링 오실로스코프는 100 GHz까지 개발되어 있다.

한국표준과학연구원 전자파센터(Center for Electromagnetic Wave, Korea Research Institute of Standards and Science)

· 논문 번호 : 20110630-061

· 교신저자 : 이동준(e-mail : dongjoonlee@kriss.re.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 8월 19일

초고속 전자기 펄스 측정에 있어 주파수 대역의 이러한 한계는 반도체 기반 전자 소자들의 전자기 펄스에 대한 응답 속도 및 응답 특성의 불안정성에 기인한다. 이 문제를 극복하기 위해서 수년 전부터 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)를 시작으로 영국 NPL(National Physical Laboratory), 독일 PTB(Physikalisch-Technische Bundesanstalt)등 주요 해외 측정 표준 기관에서는 초고속 펄스 발진 레이저와 전기광학(electro-optic) 효과를 사용한 전자기 펄스 평가 기술을 개발하였다^{[1]~[4]}. 이 전기광학 기반의 초고속 전자기 신호 샘플링 기법은 최근까지 눈부시게 성장하고 있는 테라헤르츠 펄스 검출 기술에 광전도 기법과 더불어 활용되고 있으며, 자유 공간상의 펄스 검출은 대역폭이 수십 THz까지 이를 수 있다고 알려져 있다^[5]. 앞에서 언급한 측정 표준기관들은 웨이퍼 형태의 전송선로 상에서 50, 70, 200 GHz까지 대역폭을 확장하여 상호 비교를 실시하여 신뢰성을 확보하고 있으며, 실제 산업체의 측정 기기에 대해 측정 및 교정 서비스를 실시하고 있다^{[1]~[4],[6]}. 최근에는 프랑스 LNE(Laboratoire National de Métrologie et d'Essais) 및 중국 NIM(National Institute of Metrology)에서도 광학 기반 오실로스코프를 개발하고 있으며^[6], 한국표준과학연구원(Korea Research Institute of Standards and Science: KRISS)에서도 최근 이 분야에 대한 연구를 시작하였다.

전자파 계측기기 교정 측면에서 전기광학 효과를 이용한 Electro-Optic Sampling(EOS) 기술의 가장 큰 장점은 광전도 방식과는 달리 완전 유전체의 광학 결정만을 사용해 선로상의 피측정 신호를 거의 왜곡시키지 않고 밀리미터와 대역 혹은 준-테라헤르츠 대역에서 집적 회로의 초고속, 광대역 신호를 측정할 수 있게 해 준다는 점이다. 산업 측면에서 우리나라는 정보 통신 산업의 기반 기술인 측정기기 및 측정 기술을 선진국에 상당 부분 의존하고 있으며, 정보 통신 핵심 기술인 초고속·광대역 집적 회로에 대한 측정 부분도 그러하다고 볼 수 있다.

KRISS에서는 광학적 펄스 신호 발생 및 검출 기술을 사용하여 수년 내에 선진국 수준인 200 GHz 대역 고정용 오실로스코프 개발 목표를 갖고 있다. 본 논문에서는 전기광학 기반 측정 시스템을 개발하고, 그 성능을 검증하기 위해 20 GHz 범위의 전기광학

기반 오실로스코프를 설계·제작하여 상용 샘플링 오실로스코프의 측정 결과와 상호 비교하였다. 이 20 GHz 대역의 전기광학 시스템은 기존의 전기적인 방법의 한계라고 여겨지는 100 GHz 이상의 초고속 시스템 구현을 가능하게 하는 새로운 개념의 측정 기반 기술 검증이라는데 의미가 있다. 또한, 100 GHz 범위 및 그보다 높은 주파수 대역의 전기광학 기반 전자기 펄스 신호 측정 시스템의 구현 방법에 대해서 간단히 언급한다.

II. 광-전자파 기반 초고속 펄스 샘플링 시스템

수십~수백 GHz 주파수에 대응되는 초고속 신호를 검출하기 위해서는 검출 대상 신호의 천이 시간(transition duration: 상승 시간과 하강 시간을 통틀어서 일컫는 용어임)보다 훨씬 짧은 샘플링 펄스가 필요하다. 전자 소자로는 이처럼 빠른 샘플링 펄스를 얻기 어려우므로 통상 펄스폭 0.1 ps의 펌프초 레이저가 사용된다. 본 논문에서는 파장 1,550 nm, 펄스폭 0.1 ps, 펄스 반복률 80 MHz인 적외선 광펄스 발생기를 샘플링 소스로 사용하였고, 전체 시스템은 그림 1과 같다.

그림 1에서 샘플링 광펄스는 초박형 광분배기(pellicle)에 의해 절반씩 분배된다. 그 중 한쪽 광펄스는 전자기 신호를 발생시키기 위한 여기(excitation) 광 경로로서 20 GHz-광검출기에 입사되어 전자기 펄스로 변환된다. 일반적으로 ps의 펄스폭을 갖

그림 1. 광-전자파 기반 초고속 펄스 측정 시스템
Fig. 1. Fast pulse measurement system based on electro-optic sampling.

그림 2. 구성된 시스템의 광학 부분
Fig. 2. Optical part of the implemented system.

은 테라헤르츠 펄스는 자유 공간에서 펄스 발생을 유도하는 미세한 여기점을 광펄스로 여기시켜야 하므로 광학적 배열 정렬도에 따라 발생하는 펄스들 사이에 편차가 발생할 수 있다.

시료의 비파괴 이미징이나 분석 등 대부분의 테라헤르츠 응용 분야에서는 기준 입사파에 대한 반사파의 상대적인 크기가 중요하기 때문에, 입사되는 펄스들 간의 편차는 그다지 중요하지 않다. 하지만 펄스 발생기로부터 나오는 펄스의 천이 시간과 진폭을 교정하는 측면에서는 동일한 특성의 펄스들을 발생시키는 것이 매우 중요하다. 이를 위해 본 논문에서는 초고속 광검출기 및 입력 펄스 변조기 등의 여기 광 경로를 광섬유 결합형으로 구현함으로써 보다 안정적인 광-전자파 변환 펄스 신호가 발생되도록 하였다.

펄스폭 0.1 ps의 광펄스를 수 미터 길이의 광섬유에 결합시키면 광섬유의 분산에 의해 펄스폭이 수 ps까지 확장될 수 있다. 본 실험에서는 약 40 μ W의 평균 출력으로 변조된 광펄스를 길이 4 m 이내의 광섬유에 인가시키므로 20 GHz-광검출기의 반응속도를 늦출 정도로 입사 광펄스가 크게 분산되지는 않는다. 이때 광검출기에 의하여 변환된 전자기 펄스는 동축 케이블을 거쳐 마이크로스트립 전송 선로를 통하여 전송되고, 선로의 출력단에 연결된 오실로스코프에 출력 파형이 표시된다. 마이크로스트립 전송 선로의 길이는 20 cm이며, 양끝에는 2.4 mm 커넥터가 장착되어 있고, 전송 손실은 20 GHz에서 3 dB, 입력 반사 계수는 약 -11 dB이다.

한편, 절반으로 분배된 다른 쪽 광펄스는 샘플링 방법으로 전자기 신호를 검출하기 위하여 기계적인 시간 지연이 가능한 경로로 전파되며, 전자기 펄스가 전송되는 선로 위의 근접한 위치에 놓인 전기광학 센서 결정을 통과한 뒤 광검출기에 결합된다. 펄스를 검출하기 위해서는 발생 경로(pump path)의 전자기 펄스와 검출 경로(probe path)의 샘플링을 위한 광 펄스가 시간 및 공간상에서 서로 중첩되어야 한다. 공간상으로는 20 GHz 펄스 신호가 전송되는 마이크로스트립 선로 위의 측정하고자 하는 지점에 전기광학 센서를 위치시키고, 시간상으로는 검출 경로상에서 검출 펄스의 이동 경로를 기계적으로 적절히 이동하여 시간 지연을 제어함으로써 전자기 펄스 신호와 이를 샘플링하기 위한 광펄스가 서로 중첩되게 한다. 광속은 일정하므로 왕복 30 cm의 거리를 이동할 수 있는 스텝 모터를 사용하면 1 ns의 시간 범위에서 시간 지연을 정밀하게 제어할 수 있다. 사용된 모터의 분해능은 200 nm이며, 이는 약 0.67 fs의 시간 분해능에 해당된다.

광분배기에서 갈라진 두 펄스가 광학 결정 센서 내의 같은 공간에서 각각 동일한 시간 지연으로 중첩될 때 전기광학 센서로부터 두 펄스에 대한 상관(correlation)된 신호가 나타나게 된다. 전기광학 결정이 전자파에 노출될 때 결정의 굴절률이 전기 광학 효과에 의해 미세하게 변조된다. 이 때 샘플링을 위한 검출용 광펄스가 전기광학 결정을 지나가도록 두 신호의 중첩 타이밍을 스텝 모터로 정밀하게 제어하면, 노출되는 전자파의 크기에 선형으로 비례하는 굴절률만큼 검출용 광펄스의 편광이 변조된다. 이 변조량은 미세하여 주변 잡음에 취약하다. 잡음을 제거하기 위하여 lock-in 증폭기로 수신할 수 있도록 전자기 펄스 발생을 위한 여기 광펄스를 낮은 주파수로 변조한다. 이 낮은 주파수로 변조된 전자파 성분만을 검출하여 마이크로스트립 선로를 따라 진행하는 측정대상 전자기 펄스와 검출 광펄스만의 상관 정도를 복조하여 추출한다.

변조된 편광 성분은 수신단 편광기를 통해 광진폭 변조로 전환되어 검출기에 의해 복조된다. 이 복조된 성분의 진폭과 위상이 검출 광이 감지한 전자기 펄스의 강도와 극성을 나타내게 된다. 검출 경로의 시간 지연을 기계적으로 조절하여 검출할 전자기 펄

그림 3. 전기광학 결정을 이용한 광 샘플링
Fig. 3. Optical sampling configuration with an EO crystal.

스에 대한 샘플링 펄스를 원하는 분해능의 시간적인 트리거링을 제어하고, 이 때 시간 변화에 따른 검출 신호는 lock-in 증폭기를 통해 수신되어 저장된다.

전기광학 센서로는 x-방향 절단면을 가진 0.3 mm 두께의 LiTaO₃를 사용하였다. LiTaO₃의 굴절률은 1,550 nm 파장에서 약 2.12이므로 검출광이 0.3 mm를 통과하는 시간은 0.212 ps이다. 이는 검출하고자 하는 펄스의 폭이 1~2 ps인 테라헤르츠 신호 분석에는 다소 느린 샘플링 시간일 수는 있으나, 본 논문에서 다루는 수십 GHz 대역의 펄스 신호 분석에는 충분히 짧은 시간 분해능이다. 전송 선로 상의 실제 측정된 결정의 배치는 그림 3과 같다.

LiTaO₃의 경우, 광결정판의 광축(optic-axis) 방향과 같은 성분의 전기장을 측정할 수 있으며 그림 3과 같이 z 방향으로 광축을 위치시키면 전송선로 상의 수직 방향(z 방향)의 전기장의 세기를 측정하게 된다. 전송선로의 수직 방향 전기장의 세기는 선로 중앙에서 가장 크므로 결정판을 그곳에 위치시키고, 선로 도체면과 0.2 mm의 간격을 두어 비접촉 방식으로 측정하였다. 마이크로스트립 선로의 전기장 분포와 LiTaO₃를 이용한 자세한 전기광학 측정 방법은 이전 논문에 기술되어 있다^[7].

III. 측정 결과

수신된 광-전자파 상관 신호를 순서대로 도시하면 초고속 신호를 매우 정밀하게 재현할 수 있다. 그림 4는 그림 3의 설정에서 1 ns 시간적 지연(300초

동안 0.3 m의 저속 기계적 지연)에 의해 검출된, 1500개의 측정치를 내삽하여 재현된 20 GHz 주파수 범위의 펄스 신호이다. 신호의 상승, 하강 시간은 각각 34.4 ps, 19.8 ps, 반치폭은 43 ps여서 약 20 GHz의 펄스 대역폭을 보이고, 첫 번째 주 펄스를 따르는 다수의 빠른 리플들이 1 ns의 검출 영역 끝까지 명확히 검출됨을 확인할 수 있다. 리플을 포함한 전체 펄스 시간이 10 ps(=3 mm) 정도의 테라헤르츠 펄스의 경우에 비해 1 ns(=30 cm)의 상대적으로 긴 지연 경로에서는 광분배기에서 최종단인 검출기의 미소 렌즈까지의 여기광 경로가 일정하지 않을 수 있기 때문에 지연단에 따른 경로 결함의 정도를 평가하여 실측한 펄스 신호에 보상하였다.

Lock-in 증폭기를 통해 측정된 위상 정보는 그림 4에서와 같이 시간 축을 따라 점선으로 도시하였다. +90°/-90°의 위상은 각각 양/음의 신호 극성을 나타내고, 위상이 바뀌는 지점은 신호가 0인 점들이다. 주 신호가 검출되기 전까지의 처음 150 ps의 구간은 위상이 잡히지 않아 안정적으로 고정(lock-in)되지 않은 경우이다. 신호 대 잡음비는 40 dB 정도이며, 향후 차분 증폭 검출과 고감도 센서 제작 및 시스템 업그레이드 등을 통해 최소 20 dB 이상 향상할 계획이다.

전기광학 방식에서와 동일한 펄스를 1 m 길이의 2.4 mm 동축 케이블로 연결하여 25 ns의 넓은 시간 축으로 2.5 GHz 대역폭의 실시간 오실로스코프로 검출한 결과를 그림 5에 보였다. 80 MHz의 펄스 반복률에 해당하는 12.5 ns 시간간격의 펄스열이 검출

그림 4. 전기-광학적 샘플링된 20 GHz 전자기 펄스
Fig. 4. Optical sampled 20 GHz EM pulse.

그림 5. 2.5 GHz 실시간 오실로스코프로 측정된 20 GHz 전자기 펄스열

Fig. 5. 20-GHz EM pulse train measured with 2.5-GHz real-time oscilloscope.

되나, 앞선 광-전자파 기반의 샘플링 기법과는 달리 수신장비의 속도가 전기적으로 빠른 신호의 시간 축상의 변화 속도보다 느려서 미세한 파형이 거의 검출되지 않을 뿐만 아니라 펄스폭도 확장됨을 볼 수 있다.

같은 펄스를 50 GHz 샘플링 오실로스코프(Technics: TDS8200)로 측정한 결과가 그림 6에 검은 색 실선으로 나타나 있다. 그림 6에서 회색 펄스는 마이크로스트립 선로에 입사되는 신호이다. 두 신호를 측정할 때 공통적으로 20 dB 감쇠기를 사용하였으므로 실제 전압의 크기는 그림 6의 10배이다. 마이크

그림 6. 상용 샘플링 오실로스코프로 측정된 20 GHz 전자기 펄스

Fig. 6. 20-GHz EM pulse measured with a commercial sampling oscilloscope.

그림 7. 20 GHz급 전자기 펄스 스펙트럼

Fig. 7. Spectra of 20 GHz EM pulse.

로스트립 선로와 그 출력단에 연결된 1 m 길이의 2.4 mm 동축케이블로 인해 신호는 입력 대비 69.7 %로 감쇠되고, 이는 3.14 dB의 전력 손실에 해당된다. 또한, 그림 4와 그림 6에서 펄스의 천이 시간은 각각 19.8 ps, 18.4 ps로서 1.4 ps 이내에서 서로 일치하였다.

그림 7은 그림 6의 펄스 신호를 주파수 영역에서 스펙트럼 분석기로 측정한 결과이다. 펄스 반폭을 80 MHz의 주파수 간격으로 스펙트럼 열이 전체 스펙트럼에 배열되고, 그 포락선이 단일 펄스로 인한 주파수 대역폭이 된다.

그림 6의 경우와 같이 동축 케이블을 통해 상용 샘플링 오실로스코프로 검출된 신호는 전송선로 통과 전후 진폭을 제외하고는 큰 편차가 없으나, 그림 4의 광학적 방법으로 검출한 신호와는 리플에서 다소 큰 차이를 보인다. 전자의 경우, 펄스 신호가 동축 케이블을 통해 전파되는 반면에 후자의 경우는 마이크로스트립 선로를 통해 전달되므로 기판 위의 도체 선로와 접지판 그리고 유전체를 고려하여 전자 기장 분포를 해석해야 하나, 기술적인 어려움이 있어 본 논문에서는 마이크로스트립 선로 상의 근접거리장(reactive near field)을 평가하였다. 이것이 그림 6의 두 가지 방법으로 얻은 펄스 파형 간의 리플 차이를 유발하였다고 생각된다.

벡터 회로망 분석기로 100 GHz 이상의 가이드된 선로 평가에서는 동축보다는 웨이퍼상(on-wafer)의 금속형 접촉식 프로브를 주로 사용하는데, 이 경우

커플링에 의한 신호 왜곡은 불가피하므로, 본 논문에서 기술한 유전체 결정을 사용한 비접촉 신호 분석방법은 100 GHz 이상 시간 영역 신호 측정에 있어서 가장 우수한 방법으로 알려져 있다.

본 논문에서는 20 GHz 주파수 대역의 펄스 신호를 전기광학 측정법으로 검출한 결과를 보였다. 개발한 펄스 측정 시스템에 대한 불확도 평가는 앞으로 수행해야 할 중요 과제이다.

100 GHz 이상의 초고속 신호의 경우도 같은 방법으로 검출이 가능하며, 향후 광검출기, 초고속 전송선로 제작 등의 시스템 업그레이드를 통해 실험적으로 검증할 것이다. 또한, 레이저의 80 MHz 반복률 신호를 분기시켜 외부 펄스 발생기와 동기시키면 광학적 전자기 펄스의 발생과정 없이 외부 펄스발생기로부터 전송된 신호를 전기광학 측정 시스템으로 샘플링할 수 있어 이를 펄스발생기 교정에도 활용할 수 있을 것이라 생각된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 초고속 · 광대역 정보 통신 시대에 대비하여 신호 측정 대역을 획기적으로 확장할 수 있는 광-전자파 기반의 샘플링 오실로스코프 기법에 대해 기술하였다. 광결정 기반 유전체 센서의 비왜곡 특성과 광학 기반의 초고속 샘플링 펄스를 활용하여 비접촉식 광-전자파 기반 오실로스코프를 구현하였고, 이를 광학적으로 발생시킨 20 GHz 대역 펄스 신호를 사용하여 상용 샘플링 오실로스코프와 비교 분석하였다. 제안된 광학 기반 펄스 샘플링 오실로스코프는 웨이퍼 형태의 전송선로 상에서 초고속 신호의 비접촉식 측정에 적합하며, 이러한 전기광학 기반 측정법을 확장하면 현재 상용 샘플링 오실로스코프로 측정이 불가능한 100 GHz 이상 대역의 신호 측정이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] D. F. Williams, P. D. Hale, T. S. Clement, and J. M. Morgan, "Calibrated 200-GHz waveform measurement", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 53, pp. 1384-1388, 2005.
- [2] N. G. Paulter, A. J. A. Smith, D. R. Larson, T. M. Souders, and A. G. Roddie, "NIST-NPL interlaboratory pulse measurement comparison", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 52, no. 6, pp. 1825-1833, 2003.
- [3] S. Seitz, M. Bieler, M. Spitzer, K. Pierz, G. Hein, and U. Siegner, "Optoelectronic measurement of the transfer function and time response of a 70 GHz sampling oscilloscope", *Measurement Science and Technology*, vol. 16, no. 10, pp. L7-L9, 2005.
- [4] M. Bieler, S. Seitz, M. Spitzer, G. Hein, K. Pierz, U. Siegner, M. A. Basu, A. J. A. Smith, and M. R. Harper, "Rise-time calibration of 50-GHz sampling oscilloscopes: intercomparison between PTB and NPL", *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 56, no. 2, pp. 266-270, 2007.
- [5] H. Ito, H. Minamide, "Ultra-broadband THz-wave generation and detection", *Conference on Optoelectronics and Communications*, pp. 528-529, 2010.
- [6] Z. Ma, H. Ma, P. Gong, C. Yang, and K. Feng, "Ultrafast optoelectronic technology for radio metrology applications", *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 21, no. 3, pp. 461-468, 2010.
- [7] D. J. Lee, J. F. Whitaker, "A simplified Fabry-Pérot electro-optic modulation sensor", *IEEE Phot. Tech. Lett.*, vol. 20, no. 10, pp. 866-868, 2008.

이 동 준

1995년 2월: 건국대학교 물리학과 (이
학사)
1996년 2월: 건국대학교 전자공학
과 (공학사)
1999년 1월: 미국 Polytechnic Univ.
전기전자공학과 (공학석사)
2008년 12월: 미국 Univ. of Michi-
gan 전기전자공학과 (공학박사)

1999년 10월~2002년 8월: 삼성전자 무선사업부 선임연구
원

2009년 2월~현재: 한국표준과학연구원 전자파센터 선임
연구원

[주 관심분야] 전기광학 기반 안테나 측정, 초고출력 측정
용 전기광학 센서 개발, 광기반 벡터회로망 분석기 제
작, 광기반 초고속 펄스 측정 시스템 개발

이 주 광

1984년 2월: 한양대학교 전자공학
과 (공학사)
1994년 8월: 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 (공학석사)
2000년 8월: 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 (공학박사)
1986년 7월~현재: 한국표준과학연
구원 전자파센터 책임기술원

[주 관심분야] 전자파 측정 표준(감쇠량, 펄스 특성), EMC
측정 표준, 광기반 초고속 펄스 측정 시스템 개발

강 노 원

1991년 2월: 서울대학교 전기공학
과 (공학사)
1994년 2월: 서울대학교 전기공학
과 (공학석사)
2004년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터
공학부 (공학박사)
1994년 3월~1999년 2월: LG산전

(주) 연구소

2004년 3월~현재: 한국표준과학연구원 전자파센터 책임
연구원

[주 관심분야] 전자파 측정 표준(안테나, 전자기장의 세
기), 초고주파 측정 시스템

강 태 원

1988년 2월: 경북대학교 전자공학
과 (공학사)
1990년 2월: 포항공과대학교 전자
전기공학과 (공학석사)
2001년 2월: 포항공과대학교 전자
전기공학과 (공학박사)
1990년 2월~현재: 한국표준과학연
구원 전자파센터 책임연구원, 센터장

[주 관심분야] 전자파 측정표준(잡음, 전력), EMC 측정표
준