

테라헤르츠 대역의 응용 서비스에 관한 고찰

허재두 | 이상미 | 이창화 | 강석근

산호세주립대, 한국전파진흥원, (주)에드모텍, 경상대학교

요약

본고에서는 차세대 WPAN의 신기술로 각광받고 있는 테라헤르츠의 물리, 화학, 의공학 뿐만 아니라 마약, 폭발물 등을 감지하고 공항 수하물 검색 등 미래 융합형 기술로 매우 광범위한 응용이 기대되는 위험 우편물 감지 서비스, 반도체 웨이퍼 불순물 및 전자회로 불량검사 및 생체의학응용 서비스에 대해 알아본다.

및 기초 과학기술 등 전반적인 응용 및 산업분야에서 새로운 기술적인 한계를 극복하기 위한 방안으로 융·복합기술에 대한 관심이 고조되고 있다. 본 논문에서 제시하는 테라헤르츠 응용기술은 대표적인 융합기술로 인식되면서 그 동안 비어있던 주파수대역인 테라헤르츠 영역을 이용하여 앞으로 유망한 응용기술과 해당 서비스를 적시에 지원하는 기술 개발 경쟁이 활발히 전개되고 있다. 본 논문에서는 새로운 동력기술로 각광받고 있는 테라헤르츠 주파수 대역을 이용하는 WPAN 및 그 응용서비스에 대해 알아본다.

I. 서론

테라헤르츠(이하 THz) 파는 빛과 마이크로파의 중간 영역에 속하는 전자파로서, 최근 들어 크게 각광받고 있는 광원이다. 미국 MIT에서는 2003년에 이미 테라헤르츠파 기술을 미래를 바꿀 10대 신기술 중의 하나로 선정한 바 있고, 일본에서도 '정부가 앞으로 10년 동안 집중 개발해야 할 10대 기간기술' 중의 하나로 선정한 바 있다. 테라헤르츠파는 물리, 화학, 생물학, 의학 등의 기초과학뿐만 아니라, 마약, 폭발물, 생화학무기 등을 감지하고 공항 수하물을 검색하며 산업 구조물을 비파괴 검사하는 등 산업, 국방, 보안 등의 분야에서 광범위하게 활용될 것으로 기대되고 있다[1,2].

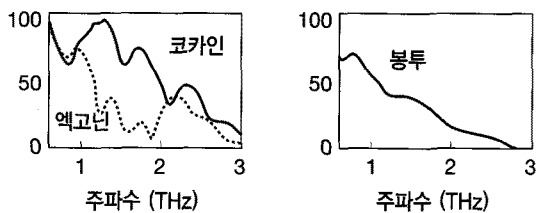
테라헤르츠 기술의 근간이 되는 연구 인프라는 테라헤르츠 레이저공학, 테라헤르츠 전자공학, 그리고 테라헤르츠 광공학 분야로 구분된다. 최근 IT, 의(공)학 및 생명공학기술, 보안 및 감시기술, 환경기술, 에너지기술, 천문우주기술

II. THz 응용 서비스

2.1. 위험 우편물 검사 서비스

개인 보안상 전 세계적으로 검열이 법적으로 금지되어 있는 관계로, 조사영장 없이 함부로 봉투와 같은 우편물을 개봉하는 것은 불가능하다. 하지만, 봉투를 개봉하지 않고 마약, 각성제와 같은 불법 약물과 폭약, 각성제와 같은 위험물질을 검출하는 것이 종래의 X선 검사와 같은 기술로는 어렵다[3]. 지금까지 유효한 검출 방법이 없으므로 현재까지는 약물 검사 없이 우송되어 유통되었을 가능성이 매우 크며 더욱 문제인 것은 이러한 상황조차 정확히 파악되지 못하고 있다는 점이다. 하지만 불법약물과 위험물질의 사용은 범죄와 테러행위로 직결될 수 있는 만큼, 개봉하지 않고 검출하는 것이 자칫 큰 실수를 범할 수 있는 세관, 국제우편국 및 경찰 검역 활동 등의 현장에서는 절대적으로 필요하다.

그동안 일본에서는 대표적인 약 20종의 마약, 각성제, 폭발약에 대하여 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform, FFT) 적외선 분광 광도계를 사용하여 테라헤르츠파 분광 스펙트럼을 측정하였다. 측정용 시료는 위험물질을 폴리에틸렌 분말로 15% 정도로 희석하여 정제(pellet) 제조기에 의하여 팔렛을 (직경 13 mm, 두께 1.5 mm) 제조하였다. 검출기에는 Si bolometer를 사용하였다(그림 1). 여기서 가로축은 주파수를, 세로축은 투과율을 나타낸다. 각각의 금지(불법) 약물은 특징적인 고유 스펙트럼 구조를 가지고 있는데 특히, 0.5 ~ 3 THz 영역에서 스펙트럼 형태에 의한 성분 정량분석이 가능함을 알 수 있다. 폭발물을 포함한 다른 측정시료에 대하여는 같은 방식의 측정을 실행하여 제각기 다른 스펙트럼을 나타내는 것을 확인하였다. 여기에 비하여 봉투의 투과 스펙트럼에서는 두드러진 특징이 나타나지 않으며 투과율도 3 THz에서는 거의 0에 근접하는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 사실로부터 3 THz 이하의 주파수대역 측정에 의하여 금지 약물 등 봉투 내부에 들어 있는 물질의 판별이 가능함을 알 수 있다.



(그림 1) 금지 약물 봉투에 대한 테라헤르츠 투과 스펙트럼

또한, 봉투 내부의 약물 검출 실험으로 약물을 15 mm × 15 mm의 폴리에틸렌 포대에 넣고 국제 우편용 봉투 속에 넣어, TPO 광원을 사용하여 분광 이미징 실험에 의하여 검출하였다. TPO 광원은 발진 파장 1064 nm의 Q-switch Nd:YAG 레이저로부터 펌핑 광을 비선형 광학 결정 MgO : LiNbO₃에 조사하여, non colinear 위상정합 조건이 만족되는 경우에 발생하는 파라메트릭 발진에 의하여 테라헤르츠파를 발생시킨다. 이때, 테라헤르츠파의 파장제어 및 선폭을 좁게 조정하기 위하여 비선형 광학결정 내부에 발생하는 아이들러(idler)파에 대응하는 공진기 구조를 사용된다[4].

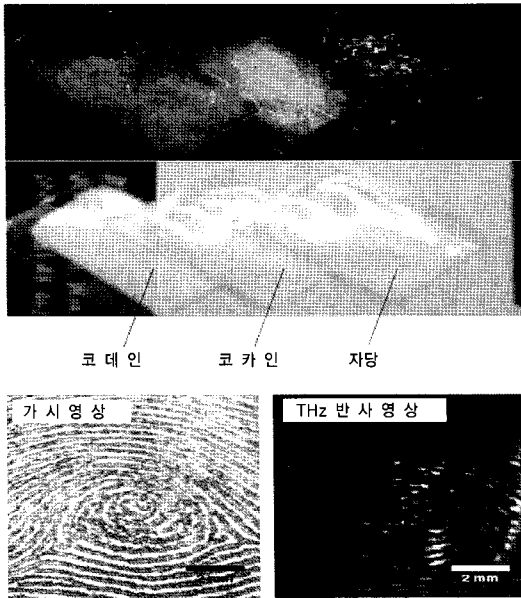
파장제어에는 회전 스테이지를 사용하여 펌핑파와 공진기

내부의 아이들러파의 주파수 스펙트럼의 상대각을 변화시킴으로써 발생하는 테라헤르츠파의 주파수를 제어할 수 있다. 실험시 펌핑파의 반복 횟수, 펄스폭 및 출력은 40 Hz, 25 ns, 1.5 W로서, 이때 발생하는 테라헤르츠파의 펄스폭 및 피크 출력은 각각 약 10 ns 및 약 10 mW 정도이다. TPO 광원으로부터 방사되는 테라헤르츠파는 세로 방향으로 공간적으로 확장되면서 출력되는 관계로, 원통형 렌즈(cylindrical lens)를 사용하여 평행 광원으로 변경시킨 다음 테라헤르츠파를 초점거리 100 mm의 플라스틱 렌즈를 이용하여 시료에 조사하였다. 실험에 사용한 약물은 합성 마약 MDMA, 각성제 메탄페타민 그리고 참고 시약으로는 아스피린이 사용되었다. 데이터 처리는 흡수 피크뿐만 아니라 스펙트럼 데이터 전체의 정보를 유용하게 활용할 수 있는 주성분 분석법을 사용하였다[5]. 이는 측정 스펙트럼 데이터를 이미 알고 있는 지문 스펙트럼과 조합시키고 최소 2승법 피팅을 실시하여 각 화상 픽셀로부터 얻어진 약물 성분의 기여를 산출한 후, 공간분포적으로 표현한다(그림 2). 위에서부터 MDMA, 아스피린, 메타페스타인고, 개개 성분의 2차원 분포 추출이 가능하다. 또한, 이 방법은 여러 가지 물질이 혼재되어 있는 경우에도 적용 가능한 것으로 알려져 있다.

2.2. THz파의 산란과 흡수 분말 및 수분 함량 검사 서비스

앞서 2.1절에서 테라헤르츠파를 이용하여 지금까지 검출이 어려웠던 봉투의 비파괴 분석이 가능하다는 것을 살펴보았다. 그러나 배달되는 우편물은 하루에 수십만 통 이상으로 대량이고, 개개의 우편물을 분광 측정하여 불법 약물과 위험 물질의 검출을 실시한다는 것은 실질적으로 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 약물의 은폐 가능성을 단시간에 점검하여 의심이 가는 봉투만을 선별하고, 분광분석을 통하여 성분을 정량화하는 2단계 검사를 제안한다. 통상적으로 금지(불법) 약물과 분말의 형태로 우송되는 전형적인 입자의 직경은 (수백 μm 정도) 테라헤르츠파의 파장과 같은 정도이다. 이 경우 분말은 산란체로 간주할 수 있기 때문에 테라헤르츠파를 조사할 경우의 산란광 강도에 의하여 분말의 유·무를 판별할 수 있다. 한편, 테라헤르츠파로 볼 경우 봉투 등의 종이 표면은 충분히 평탄하다고 간주할 수 있기 때문에 투과성을 높이기 위한 산란 측정에 방해가 되지는 않

는다. 이 방법은 단일 주파수의 테라헤르츠파에서도 판정할 수 있기 때문에 신속한 검사가 가능하다. 이런 차폐 (screening) 방법의 원리 실증 및 최적의 광학계 검토를 목적으로, 투과 및 반사에 의한 2종류의 산란광 검출 실험이 진행되고 있다.



(그림 2) 테라헤르츠를 이용한 마약 감지결과

이러한 실험에서는 테라헤르츠파 광원으로서 TPO 광원을 사용하고, 검출기에는 액체 헬륨을 사용하여 냉각시킨 Si 볼로미터가 사용된다. 볼로미터로부터의 신호는 전치증폭기 (pre-amplifier)를 통하여 잠금증폭기(lock-in amplifier)로 전달되어, 테라헤르츠파 여기용의 Nd:YAG laser의 펄스신호에 동조시켜 잠금(lock-in) 검출한다. 실험시 레이저의 반복 횟수는 49 Hz, 잠금증폭기의 시정수는 100 ms 정도가 사용된다. 또한, 투과법에서는 충분한 신호 대 잡음비가 얻어지지 않기 때문에, 테라헤르츠파의 주파수를 1.5 THz(파장 200 μm)에 고정하여 측정한다. 측정시료는 체를 사용하여 분말 직경에 해당하는 크기로 분리한 bulk-dose 결정분말을 봉투에 넣어 사용하며 보통 참조시료로서는 봉투만 있는 경우를 측정한다.

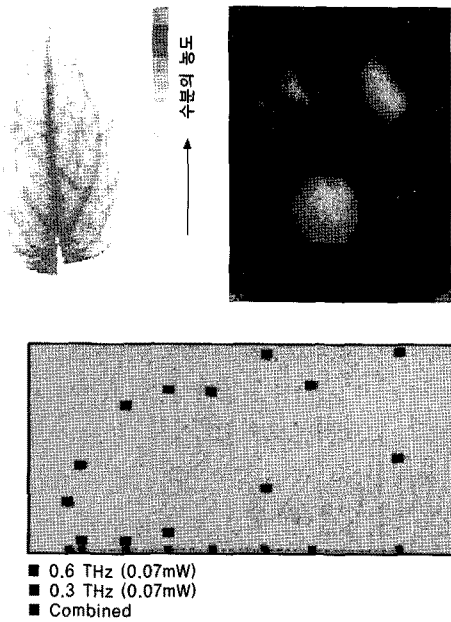
이러한 분석 결과, 양쪽의 경우 분말이 들어 있는 봉투로부터의 산란광의 신호강도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이

경우 투과계에서 발생하는 테라헤르츠 광의 편광 및 직접광과 산란광의 광 경로 차이를 이용하여 산란광을 분리 추출하지만, 직접광의 제거가 용이하지 않고, 시료의 두께가 증가할수록 흡수에 의한 산란광의 강도를 감소시키는 경향이 있어서 상대적으로 S 값은 작아진다. 여기에 비해, 반사계에서는 직접광을 효과적으로 제거할 수 있고, 산란광의 분리도 용이하여 두께가 있는 시료에 대해서도 흡수에 의한 강도의 감소가 일어나지 않아서 투과계와 비교하여 S 값은 약 10배 정도 강해진다. 또 약하긴 하지만 광원파장(주파수)의 존성도 확인되는데, 이는 시료에 의한 흡수와 산란의 입경 의존성 영향 때문이라고 판단된다. 특히, 서로 다른 종류의 수지가 포함되는 경우 서로 다른 파장에 의해 색깔이 다르게 나타나므로 밀가루 제조 공정에서의 불순물 검출 등 품질관리 면에서 매우 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 모든 폭발물이나 마약은 테라헤르츠 영역에서 독특한 신호특성을 보이므로 감시 및 보안 분야에 유용하게 사용할 수 있다. 이러한 신호특성은 투과 스펙트럼을 통하여 수많은 화학물질로부터 식별을 가능하게 한다. 특히, 불법 마약이나 폭발물 등을 무해한 물질로부터 구분해 낼 수 있다. 3.0 THz의 주파수를 가진 테라헤르츠 파는 종이봉투를 쉽게 투과하므로, 테라헤르츠 다중 스펙트럼 영상 및 성분 패턴 인식 영상 등을 이용하면 봉투를 열지 않고도 쉽게 내용물을 확인할 수 있다.

또한, 테라헤르츠 양자폭포레이저를 이용하면 실시간 영상을 볼 수도 있다. (그림 2)는 폴리에틸렌 조각에서 추출한 지문에 대한 영상분석 사례이다. 지문의 골과 골 사이 간격은 약 500 μm 이며 이 정도의 해상도로는 봉투 내부의 편지글씨도 읽을 수 있다. 테라헤르츠 카메라의 초점배열(focal plane array, FPA) 기술 개발 또한 커다란 기술적 진전을 가져왔다. 테라헤르츠 카메라는 안개와 연기 속에서도 배경 조명 없이 뚜렷한 상을 얻을 수 있다. 즉, 수동형의 서브 테라헤르츠 카메라는 실리콘 광자결정으로 구성된 SBD 어레이와 헤테로다인 검출기를 이용하여 500 GHz 주파수에서 작동하며 공항의 검색장치에 적용될 예정이다. 능동형의 테라헤르츠 카메라는 바이오 메트릭스를 포함한 더욱 많은 분야에 적용이 가능할 것으로 예상된다.

일부 보안감시 응용분야에서는 상당한 거리에서의 원격 감지 기능을 요구한다. 그러나 테라헤르츠 파는 환경에 민

감하기 때문에 원거리에서의 능동형 센싱 방식은 적합하지 않다. 최근에는 플라즈마를 이용한 원격조정 테라헤르츠 발생장치가 관심을 모으고 있다. 이것은 강력한 펄스 레이저 빔이 물체에 조사되어 에어 플라즈마를 일으켜서 테라헤르츠 파를 발생시키고, 시편으로부터의 반사파를 THz-TDS와 유사한 방법으로 검출 가능하기 때문이다.



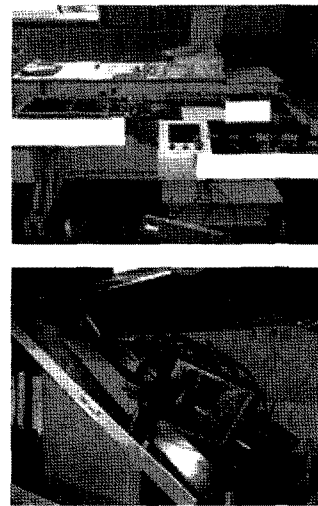
(그림 3) THz 광원 산란 강도비의 입경 의존성

2.3. THz 천문광학기기 분야 응용 서비스

다음으로, 천문광학분야에 적용하기 위해 반사계를 기본으로 실제기기 탑재모델을 검토하였다. 현존 기술과 차이점 중의 하나는 액체 헬륨 냉각용 볼로미터 검출기를 상온 검출기로 교체하는 것이다. 이렇게 하여 상대적으로 감도가 낮은 상온 검출기에서도 충분한 신호 대 잡음비(SNR)를 얻기 위하여 광원은 펄스 광원 대신 연속파 광원을 사용한다. 연속파 광원에는 후진파발전기 광원과 최근에는 테라헤르츠 레이저 등이 사용되지만 장기적, 연속적 사용에도 견디는 신뢰성, 유지보수, 소형화 등을 고려하여 밀리미터파 다이오드 광원과 체배기를 결합한 광원을 채용하는 추세이다. 이런 다이오드 광원은 지금까지 밀리미터파를 넘어선 주파수 영역에서는 충분한 강도를 가지는 것이 없었기 때문에,

전파천문학을 위한 대형 망원경(ALMA 계획)용의 국부발전기로서 이용하기 위하여 상용 광원의 개발이 추진되어 왔고, 신호 강도 및 신뢰성이 좋은 광원이 계속해서 출시되고 있다. 현 단계에서 검토되고 있는 제품은 주파수 0.3 THz의 광원(파장 1 mm, 출력 26 mW) 및 0.6THz의 광원(파장 0.5 mm, 출력 0.07 mW)이다. 또한, 검출기로서는 초전형 DLATGS 검출기를 사용한다. 이 검출기의 크기는 약 2mmφ이다. 여기서는 출력이 약한 0.6 THz 쪽이 대조비가 오히려 선명하고, 작은 입경에서 감도가 점차 약해지는 것을 확인하였다. 두 가지 경우, 대조비의 차이는 검출기 수광부에서의 테라헤르츠파를 압축할 때의 빔 직경과 검출기 강도의 주파수 의존성 등의 영향을 고려하였다. 또 입자 크기에 의한 변화는 산란강도가 입자 크기에 의존하므로 실질적인 용도에서는 광원강도가 다소 낮더라도 파장이 짧은 광원을 사용하는 것이 효과적이라는 것을 알 수 있다.

이상의 결과를 바탕으로 현재 프로토타입 모형에 탑재하는 차폐부의 개발이 진행되고 있다.



(그림 4) 프로토타입 시험기기 구성

(그림 4)는 프로토타입 제작을 위한 시험기기의 구성을 나타낸 것이다. 여기에는 광학조정을 간단하게 하고 광학부품의 수를 줄이기 위하여 포물면경으로 구축한 입사 광학계를 렌즈로 대체할 예정이다. 향후, 검출 광학계에도 렌즈계를 채용할 예정이다. 또한, 현재 사용 중인 초전검출기는 응답

시간이 수십 ms 정도로 길기 때문에, 시정수가 수십 μ s인 다이오드 검출기의 채용을 검토 중이다. 또한 광원으로는 주파수가 약 0.55 THz에서 출력이 0.7 mW 정도인 것을 새롭게 도입할 예정이다. 이와 같은 개선을 통하여 최종적인 사양을 만족하는 프로토타입의 구축을 목표로 하고 있다.

2.4. 반도체 웨이퍼의 불순물 및 전자회로 불량 검사 서비스

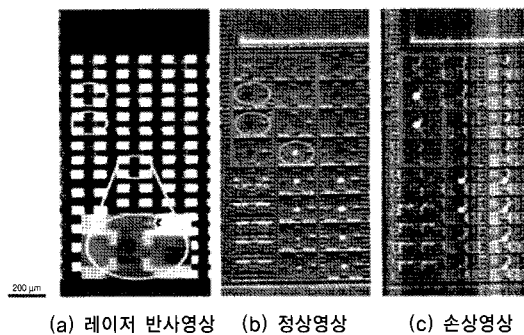
테라헤르츠 이미징 기술은 반도체 웨이퍼의 불순물 주입량에 따른 n형 및 p형 반도체 변화를 측정하는 경우에도 유용하게 사용될 수 있다. n형 실리콘 웨이퍼 시료에서 떼어낸 칩의 오른쪽에 보른 주입량을 변화시켜가면서 이온 주입한 후에 열처리하고, 나머지 반쪽 부분을 캐리어 밀도가 다른 p형으로 바꾼 시료에 테라헤르츠파를 조사하여 영상을 얻을 수 있다. 캐리어의 밀도 차에 의한 농도 이미지를 얻을 수 있기 때문에 Drude 모델과 조합하여 일반 실리콘 웨이퍼의 불순물 농도나 이동도의 불균일성 매핑이 가능할 것으로 판단된다. 1 테슬라(Tesla) 정도의 자장을 인가하여 테라헤르츠 홀 효과를 사용한 n-GaAs의 불순물 농도와 이동 후의 불균일성의 영상에 대해서는 미국의 Bell 연구소 연구그룹에 의하여 수행되었다. 또한 이미지를 취할 경우, 시료를 이차원적으로 이동시키는 방법에서는 많은 측정시간이 소요된다. 빔의 단면적이 큰 테라헤르츠파를 발생시켜 시료에 조사하고 어레이 구조의 광스위치로 검출하면 시간소요 문제는 개선이 가능하다. RP의 Zhang 연구그룹은 전기-광학 결정을 사용하고 포켈스 효과에 의한 검출법과 CCD 카메라를 결합하여 실시간 이미징이 가능한 방법을 제안한 바 있다.

소재분석에 대해서는 실리콘 태양전지, 나노복합재료, 폴리머 및 유전체 박막 등의 매우 많은 사례가 있으며, 이는 곧 새로운 산업의 응용을 선도할 수 있다고 판단된다. 테라헤르츠 기술이 반도체산업에 응용될 경우 더욱 그 가치를 발하는데, THz-TDS는 이미 반도체 웨이퍼에서 전하이동도, 전도도, 캐리어 밀도 및 플라즈마 진동 등의 여러 가지 특성을 분석하는 데에 적용되고 있다. 또한 영상기능은 이온 주입된 실리콘의 도핑농도 분포를 영상화하는 등의 독특한 분야에서 기능을 발휘한다.

반도체 산업에서 불량분석은 나노와 같은 차세대 집적회로를 개발하는 데 가장 중요한 요소기술 중의 하나이다.

LTEM은 불량이 일어난 부분을 감지하는 데 새로운 돌파구를 제공할 수도 있다. (그림 5)는 MOSFET의 사례를 보인 것이다. 세 개의 그림에서 원으로 표시한 것은 의도적으로 집속 이온빔(FIB; Focused Ion Beam)을 이용하여 손상을 입힌 부분이며, 일반적인 MOSFET의 영상(b)와 THz 발광에 의한 영상(c)를 비교하면 손상된 MOSFET에서 결함 부분이 확연히 다르게 나타나는 것을 알 수 있다.

테라헤르츠 영상은 비파괴 분석에서 현재까지 최적의 기술로 손꼽히며 우주왕복선 표면 절연체의 분석 등에도 적용되었다. 이 기술로는 단일 패널의 공극과 같은 결함을 감지해 낼 수 있으므로 단순 검사도구로서도 활용이 가능하다. 테라헤르츠 파가 수분에 매우 민감한 특성을 이용하면, 과일, 신선도나 야채류의 수분 함유량 등 음식이나 농산물 등을 검사할 때에도 유용하게 사용될 수 있다.



(그림 5) MOSFET의 손상 검출

2.5. THz 생체의학 응용 서비스

1990년대에 처음 개발된 이후 THz-TDS(time domain spectroscopy) 기술은 생물분자, 의료진단, 암세포, DNA, 단백질과 박테리아 등 다양한 분야의 재료들에 적용되어왔다 [8,9]. 그런데 자주 혼돈되는 것 중의 하나는 이 테라헤르츠 분광에 의해 얻어진 정보가 적외선 분광으로 얻은 것과 무엇이 다른가 하는 것이다. 그 예는, 테라헤르츠 분광으로 일부 유·무기 물질에서 분자간의 진동정보를 관찰할 수 있다는 것이다[7]. 반면, 적외선 분광으로는 분자내부의 진동정보 밖에 얻을 수 없다. 분자간의 진동 정보를 통해 거대 생물 분자의 동력학 및 인체에 대한 다양하고 많은 정보를 얻을 수 있다.

단백질, DNA 및 다른 생물분자와 여러 가지 암에 대한 연구는 전 세계적으로 매우 지대한 관심을 야기하고 있다. 현재로서는 아직 실제 적용에 어려움이 예상되지만 교배에 의한 DNA와 변형에 의한 DNA를 구분하여 라벨-프리 DNA칩을 개발하는 연구에 진전을 보이고 있으며, 이 외에도 많은 생물 분자학에 적용되고 있다. 그동안 테라헤르츠 분광학 및 테라헤르츠 영상을 이용한 암 진단 사례가 여러 차례 있었다[7]. 테라헤르츠파의 흡수는 물과 같은 극성분자에 민감하여 정상세포에 비해 수화수준(hydration level)이 다른 암 세포에서 비정상적인 반사특성을 보이므로, 그 차이를 검출하는 것이다. 피부암의 경우는 THz-TDS의 반사에 의해 영상을 만드는데 수평 및 수직 해상도가 각각 350 μm 및 40 μm 에 달하며 피부 침투깊이는 밀리미터 수준까지 영상화할 수 있다. 얼음의 경우는 물보다 테라헤르츠파의 투과율이 높으므로 암 진단에서 시편을 동결시키는 경우도 있다.

생의학 분야의 응용에 있어서 가장 큰 장애요인은 물과 같은 극성액체에 대한 투과율이 낮은 점이다. 이로 인해 용액 내의 용질(solute)에 대한 정보를 얻는 데에 많은 어려움을 준다. 이를 해결하는 방안으로 개발된 것에는 테라헤르츠 시간영역 감쇄 전반사 분광학(time domain attenuated total reflection spectroscopy, THz TD-ATR)이 있다[7]. 도브 프리즘(Dove prism)을 테라헤르츠 빔의 경로에 두어 프리즘 표면에 에바네스cent파를 형성시킨다. 테라헤르츠 파와 시편 간의 상호작용에 의해 발생한 반사 및 위상의 변화는 TDS 신호를 이용하여 감지하고 분석할 수 있다. 이 방법으로 수화물 등에서 용질분자의 동적인 특성을 연구할 수 있게 된다[7]. 수화된 물 분자(hydrated water molecule)는 생물분자의 표면에서 10^{-7} 초 수준의 이완시간(relaxation time)이 존재하는데, 내부에서의 이완시간은 수 피코초($\sim 10^{-12}$) 수준에 이른다. 그러므로 테라헤르츠 주파수범위에서 유전률을 측정하면, 수화 수(hydration number)를 측정할 수 있으며, 이는 TD-ATR이 생의학분야의 연구에 매우 필요한 것임을 알 수 있다.

테라헤르츠 펄스 분광(THz-TPS)의 중요한 특징은 세기뿐만 아니라 순간적인 전기장이 동시에 측정되는 것이다. 이는 펄스 분광 성분의 위상과 크기 둘 다 결정될 수 있음을 의미한다. 크기와 위상은 시료의 흡수계수와 굴절률에 직접 관계되어 Kramers-Kronig 분석 없이 복소 유전율을 얻을 수

있다. 테라헤르츠 펄스 분광은 생물학적 재료들에 대한 테라헤르츠 복사 반응을 위해 사용된다. 물은 생물학 조직의 주성분이기 때문에 테라헤르츠 유전(dielectric) 반응은 매우 중요하며 가간섭성과 테라헤르츠 펄스 분광의 감도 또한 분석에서 매우 중요한 요소 가운데 하나이다.

III. 결론 및 고찰

본 논문에서는 초고속 근거리기술의 테라헤르츠 응용서비스에 대해 살펴보았다. 지금까지 이론적·실험적으로만 진행되어 왔던 테라헤르츠 영역에 대해 WRC-11에서도 주파수 할당 필요성을 제기하고 있고, IEEE802.15에서도 표준화를 진행하고 있다. 또한, 이동 무선통신의 증가에 따라 일정 할당 주파수 부족을 해소하고 무선통신에서 간섭없는 깨끗한 주파수 대역을 확보하여 국민에게 안전하고 건강한 삶과 그린 IT 국가경쟁력을 강화하기 위한 창의적인 미이용 주파수대역 활용에 관한 연구가 절실한 실정이다. 즉, - 테라헤르츠파는 마이크로파와 광파사이에 위치하는 전자기파로 아직 개발되지 않은 또는 미이용 대역의 전자자원에 대한 회수 재배치 등 주파수 할당 기본연구(안)을 마련하는 추세이고, - 각국에서는 BT, ET, IT 및 NT 등의 차세대 미래 무선통신 산업분야의 대역별 응용이 가능한 핵심 기반기술의 중장기적 테라헤르츠 주파수 정책 수립 중에 있으며, - 미국, 유럽, 일본 등 주요 기술 선진국은 핵심소재와 소자/부품기술, 테라헤르츠 이미지 센싱기술 등의 분야에서 산업적응을 위한 방안을 선행 연구 중이다.

향후 주요 테라헤르츠 관련 대부분의 초고주파 소자 및 부품은 궁극적으로 미이용 테라헤르츠 주파수 대역에서 동작하는 것을 목표로 하고 있으며, 이러한 테라헤르츠 기술은 현재까지 개발되어온 전자소자, 광소자와 관련 부품 및 소재 기술에 비하여 훨씬 어려운 기술적인 사양과 공정이 요구되므로 앞으로 향후 다양한 응용분야와 폭넓은 산업적 이용 가능성과 이에 따른 거대한 서비스 시장개척 및 발굴이 가능할 것으로 기대되므로 테라헤르츠 응용관련 연구가 매우 중요할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] P. H. Siegel, "Terahertz technology in biology and medicine," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 52, pp. 2438-2446, 2004.
- [2] P. H. Siegel, "Terahertz technology," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, pp. 910-928, 2002.
- [3] M. Tonouchi, *Terahertz Technology*, Ohmsha, Tokyo, 2006.
- [4] N. Nagai, T. Imai, R. Fukasawa, K. Kato, and K. Yamauchi, "Analysis of the intermolecular interaction of nanocomposites by THz spectroscopy," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 85, pp. 4010-4012, 2004.
- [5] 장선호, 이민경, 강광용, "Emerging technologies series II: Tera-hertz (THz) wave," *IT SoC Mag.*, 제24호, pp. 10 - 21, 2008. 4.
- [6] 허재두, "테라헤르츠 WPAN 표준동향," *TTA IT Standard Weekly* 2009-41호, 2009. 10.
- [7] 윤두협, 유용구, 광민한, 류한철, 이승권, 정세영, "테라헤르츠 이미징과 안전·보안분야 응용," *전자통신동향분석*, 제21권 제6호, pp. 146 - 156, 2006. 12
- [8] 강광용, 백문철, 한석길, 이승권, 김현탁, "테라헤르츠 광전자공학," *전자통신동향분석*, 제21권 제4호, pp. 118 - 128, 2006. 8.
- [9] 이상미, 이창화, 허재두, "테라헤르츠와의 근거리 응용 서비스에 관한 고찰," *통신학회학술대회*, 2009. 11

약 력



허 재 두

1987년 경북대학교 전자공학학사
 1990년 경북대학교 전자공학석사
 2000년 경북대학교 정보통신박사
 1987년 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원
 2009년 산호새주립대 교환교수
 관심분야: 그린 WPAN, 센서네트워크, 홈네트워크, Eco Computing



이 상 미

1983년 경북대학교 전자공학학사
 1985년 경북대학교 전자공학석사
 1990년 경북대학교 전자공학박사
 1991년 ~ 2003년 한국전자통신연구원 기업정보화 팀장
 2003년 ~ 2005년 한국과학기술기획평가원 연구위원
 2006년 ~ 현재 한국전파진흥원 책임연구원
 관심분야: 영상신호처리, HDTV/3DTV 영상 시스템



이 창 화

1987년 경북대학교 전자공학과 학사
 1989년 경북대학교 전자공학과 석사
 1989년 ~ 2000년 한국전자통신연구원 선임연구원
 2000년 ~ 현재 (주)에드모텍 대표이사
 관심분야: 초고주파시스템, 초소형 레이더, 스마트미터링



강 석 군

1988년 경북대학교 공학사
 1993년 경북대학교 공학석사
 1999년 경북대학교 공학박사
 2003년 ~ 현재 경상대학교 부교수, 경상대학교 공학연구원(책임)
 관심분야: 무선통신시스템, 테라헤르츠파 기술

