

THz 화학소재의 고출력 광대역화 기술

김 동 욱
한국화학연구원
화학소재연구단

I. 서 론

0.3~30 THz(1 THz=10¹² Hz) 주파수 대역의 전자기파를 이용하는 THz 기술은 NT 기술과 IT 기술을 기반으로 의료 영상, 보안 검색, 산업 공정 감시, 환경 감시, 기초 과학, 천문학 등 IT, BT, ET 등의 분야에 응용이 가능한 융합 기술이다. THz 파는 의류, 가죽, 비닐, 종이 등을 투과하는 반면 금속, 세라믹 등은 투과하지 못하므로 옷이나 신발 내부에 감춰진 무기, 비닐 혹은 종이로 포장된 제품 등 내부 물체에 대한 정보를 얻기가 용이하다. 또한 THz 파는 기존의 자외선 분광기 등으로 관별이 어려운 폭발물 분석이 용이하고 엑스선과 달리 인체에 무해하므로, 대 테러 방지를 위한 공항 대인/대물 검색, 우편물 검색 등에 활용이 특히 유용하여 선진국들은 THz 기술 개발에 많은 관심을 갖고 있으며, 정부 지원 하에 대규모로 연구 개발하고 있는 기술이다^{[1]-[3]}.

THz 파 기술의 발전 및 산업으로의 응용을 위해서는 고출력 광대역 THz 발생 시스템의 구축이 선행되어야 하며, 따라서 이 시스템 소자에 핵심적으로 요구되는 고품질의 화학 소재 기술 개발이 시급히 필요하다. 본 고에서는 THz 대역 화학 소재의 고출력 광대역화 기술의 개발 동향에 관하여 언급할 것이며, 특히 아직은 기술 태동기에 속하는 THz 대역용 유기 소재에 관하여 연구 현황 및 전망에 대하여 논하고자 한다.

II. THz 기술의 응용 및 전망

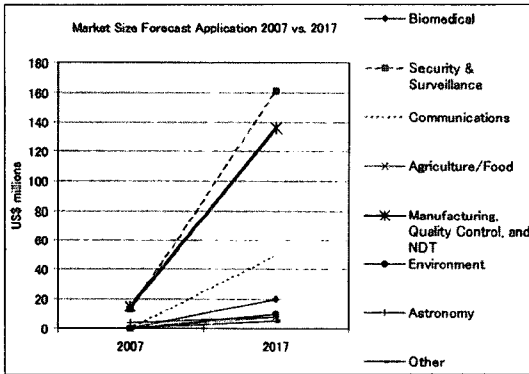
THz 파는 전파의 투과성을 지니는 최단파장 대역

의 전자기파인 동시에 광파의 직진성과 반사성을 동시에 보유한 최장파 대역의 전자기파이다. 방사능 방출로 인체에 해로운 X-ray와 달리 THz 파는 X-ray보다 100만배 약한 에너지를 지니므로 인체에 무해하다. THz 파 기술은 테라비트 광통신, THz 무선통신 등의 정보 통신 분야, 암 진단을 비롯한 각종 의료용 진단·영상 기기, 생체·의약품 분석 등의 생체/의료/약품 분야, 대테러용 폭탄류, 무기, 생화학, 방사성 물질 보안 검색 시스템, 오염원, 방사성 물질 누출 원격 검색 등의 보안/환경/안전 분야, THz 비파괴 검사 장치, 나노 산업 재료용 분석 장치, 반도체/전자 재료 평가 장치, 농작물 육성 관리 시스템 등의 산업물 분석 분야, THz 분광 분석 장치, THz 디바이스, THz 우주 영상 이미지 등의 기초 과학 분야 등 매우 다양한 분야에서 응용 가능성이 큰 것으로 평가된다^[4].

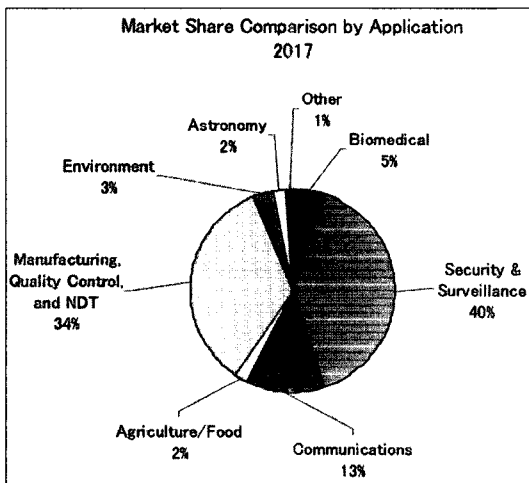
2007년 Fuji-Keizai USA Inc.에서 발간한 THz 산업 시장 전망에 따르면 THz 기술 관련 시장 규모는 현재 23.5 M\$에서 2017년 398 M\$로 매년 28% 정도의 성장세를 보이며 확대될 것으로 예측된다. 여러 다양한 응용 분야 중 특히 안전/보안검색 분야와 산업용 비파괴 검사 분야 관련 시장 규모가 크게 증가할 것으로 전망된다(그림 1). 공항 검색대, 우편물 검색대 등에서 주로 활용될 보안/검색용 시스템 관련 시장이 40%, 반도체 소자 검색, 공정 감시 등의 산업용 비파괴 검사 시스템 관련 산업이 34%를 차지할 것으로 추정된다(그림 2). 또한 암 진단, 화상 표피 세포 진단 등의 의료 영상 분야에도 THz 기술이 적용될 것으로 예측되지만 해상도 면에서 기존의 영상

기술에 비하여 뒤떨어지기 때문에 기존의 의료 영상 기술(예: MRI, X-ray, CT 등)을 보완하는 측면에서 주로 활용될 것으로 전망된다^[5].

THz 파를 이용한 분광 영상 기술은 THz 대역 고효율 장기 안정성 소재 기술, 고출력 고감도 THz 신호원 부품 소자 기술, 저가 소형의 THz 분광 이미징 시스템 기술 등의 요소 기술로 구성된다(그림 3). THz 기술이 발전되고 관련 산업이 활성화되기 위해서는 고효율·고감도 특성을 지니는 고안정성 소재 기술

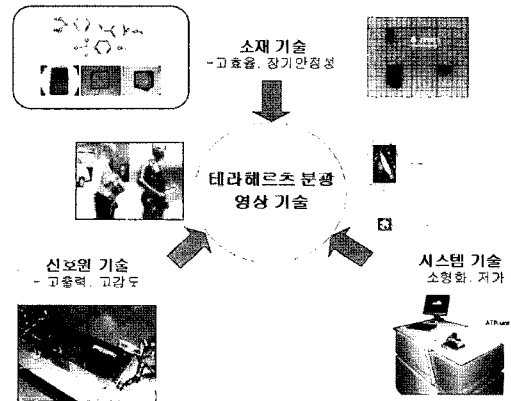


[그림 1] THz 기술의 응용 산업 분야별 시장 전망



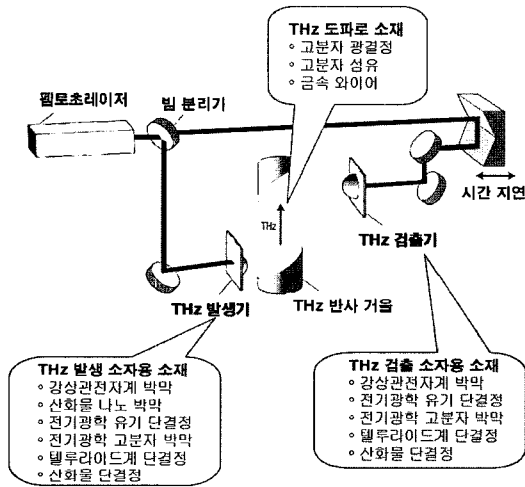
[그림 2] THz 기술의 산업 분야별 2017년 시장 점유율 예측 비교

의 개발이 우선되어야 한다. 즉, THz 대역에 적합한 무기 소재(산화물, 질화물, 반도체)와 유기 소재(유기결정, 고분자 박막 등)가 설계 합성되어야 하며, 부품 소자 공정에 적합하도록 우수한 안정성 및 고효율성을 지녀야 한다. THz 신호원 부품 소자 기술은 개발된 소재와 레이저 기술, 전자 빔 기술, 반도체 기술, 광·전자 부품 기술 등을 활용하여 고효율 광대역의 THz 파를 안정적으로 발생 그리고 검출하는 신호원 부품 소자를 개발하는 기술이다. 신호원 기술에는 여기 광원인 펄스 레이저에 의해 여기된 반도체 소자(광전도 안테나)나 비선형 광학 결정(반도체/결정 표면)을 사용한 기술, 두 대의 레이저 주파수를 이용한 차주파수에 의한 기술, 비선형 디바이스를 이용한 파라메트릭 발진기에 의한 기술, 양자 폭포 레이저(Quantum Cascade Laser)에 의한 기술, 자유 전자 레이저를 사용하는 기술 등이 있다. THz 시스템 기술은 THz 신호 발생/검출 소자, 광학 부품, 전자 부품, 소프트웨어 등을 활용하여 시료를 측정하고 검출된 THz 신호의 분석 및 데이터베이스화 할 수 있는 고성능 THz 시간 영역 분광 시스템 개발 기술이 핵심이다. THz 기술의 산업화를 조기 달성하고 타 산업 분야로의 응용을 활성화하기 위해서는 THz 시스템을 소형화하고 저가로 구현하는 것이 가장 중



[그림 3] THz 파를 이용한 분광 영상 기술의 요소 기술

요하다. 분광 시스템은 광전도 방식 혹은 전기광학 샘플링 방식에 의한 펄스파 시스템과 2파장 광혼합 방식에 의한 연속파 시스템으로 분류할 수 있다. 연속파 시스템은 저가 소형의 시스템 구현이 가능하며 고출력의 신호를 얻을 수 있는 장점이 있어 경제적 시스템 구현이 가능하다.



[그림 4] THz 분광/영상 시스템에서 필요로 하는 핵심 소재들

III. THz 대역 화학 소재의 종류 및 특성

THz 파를 이용하는 분광/영상 시스템에서 요구되는 핵심 소재들 및 시스템 적용 예를 [그림 4]에 나타내었다. THz 파 발생기(광원)와 검출기 및 도파로에 단결정, 박막, 와이어 등의 유기/무기/금속 소재들이 사용된다. 특히 THz 파의 상업적 성공을 위하여 우선적으로 개발되어야 하는 것이 THz 광원과 검출기용 소재들이다. THz 광원 및 검출용으로 사용이 가능한 결정 및 박막 형태의 유기/무기 소재들의 종류 및 특성을 <표 1>에 나타내었다.

현재 THz 파 발생 및 검출 방식 중에서 특히 전기광학 물질을 사용하는 방식이 우수한 민감도와 광대역이 가능한 장점을 지니고 있어 상당히 유망하다^[6]. 전기광학 물질을 기반으로 광정류법(optical rectification)에 의하여 THz 파를 발생하고 전기광학 샘플링(EO sampling)법으로 THz 파를 검출하는 방식이 그것이다. 텔루라이드계 결정 등과 같이 결정성 전기광학 소재를 사용하는 기존의 방식에서는 결정 격자에 기인한 포논 흡수(phonon absorption)를 필연적으로 지니고 있어 일부 대역에서의 THz 파의 발생 및 검

<표 1> THz 대역 화학소재의 종류 및 특성

구분	무기 소재		유기 소재	
	산화물	비산화물(반도체/금속)	고분자 박막	유기 결정
형상	· 박막 및 결정	· 박막 및 결정	· 무결정 박막	· 단결정
장점	· 고효율, 에피박막이 가능 · 박막/결정의 경도(硬度)가 높음	· 고효율, 에피박막이 가능 · 대구경 박막이 가능(대량/저가)	· 無 흡수 광대역 신호 발생 및 검출 · 높은 전기광학 특성(고감도) · 대량 생산 용이	· 광대역 신호 발생 · 높은 전기광학 특성(고감도)
단점	· 고난이도 제조 기술 · 고가 장비 필요	· 비교적 고난이도 제조 기술 · 비교적 고가 장비 필요	· 안정성 결여 · 고난이도 합성 기술	· 고순도화에 고난이도 기술 필요 · 대량 생산 곤란
활용 분야	· 고출력 신호원 소자 · 차주파수 방식 신호원	· 고출력 신호원 · 광스위칭, 전기광학, QCL 방식 신호원	· 무흡수 광대역 신호원 · 고감도 검출소자 · 통신용 도파로	· 소형 저출력 신호원 · 전기광학 효과 방식 신호원

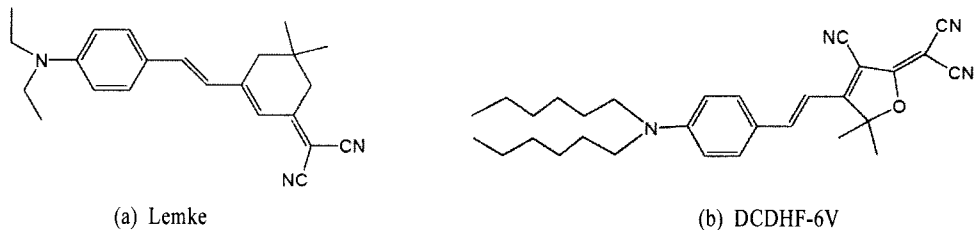
출이 불가능한 단점을 지니고 있었다. 최근에 이러한 단점을 해결하고자 하는 노력들이 많이 진행되고 있다. 전기광학 유기 소재는 이러한 특성에 매우 부합한다고 할 수 있다. 예를 들어 대표적인 전기광학 유기 소재인 DAST(4-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium) 혹은 MBANP(2- α -methylbeayl-amino)-5-nitropyridine)은 전기광학 무기 소재에 비하여 훨씬 높은 전기광학계수를 나타내고 THz 파 생성 및 검출 효율이 매우 우수한 것으로 보고되고 있다. 더욱이 전기광학 고분자 소재는 높은 전기광학 특성을 보일 뿐 아니라 무정형인 관계로 THz 대역에서 포논 흡수가 없는 장점을 지니고 있다. 전기광학 고분자를 기반으로 하는 THz 광원과 검출기는 12 THz까지 "gap-free" 스펙트럼을 나타낸다는 실험 결과도 보고된 바 있다^[7]. 또한 전기광학 고분자는 원하는 특성에 맞도록 구조 설계가 용이하고 간단한 용액 공정으로 소자 제작이 가능한 공정상의 이점도 지니고 있다. 따라서 전기광학 고분자 소재는 무흡결(gap-free) 광대역 THz 발생 및 검출에 매우 유용한 소재라고 할 수 있다. 하지만 ZnTe와 같은 무기결정 소재를 THz에 이용하는 연구는 매우 많이 진행된 것에 비하여 THz 대역 유기 소재에 관한 연구는 아직은 초기 단계라고 할 수 있다.

IV. THz 대역 화학 소재의 기술 개발 동향

렌슬러폴리텍 대학의 THz 연구센터(Center for Te-

rahertz Research, 센터장: Zhang 교수)에서는 ZnTe와 같은 비선형광학 무기단결정을 발광소자와 검출소자에 적용하여 THz 분광 영상 시스템을 구축하였다. Zhang 교수는 2003년에 미국우주항공국(NASA)의 의뢰를 받아 이 THz 시스템으로 우주왕복선의 선체를 검색하는 실험을 수행한 결과, THz 검색 기술이 엑스레이 등 다른 경쟁 기술에 비하여 훨씬 높은 정확도로 선체 결함을 진단함을 확인하는데 성공하였다. 이는 THz 파에 의한 검색 기술이 우주왕복선, 항공기, 선박 등의 선체 결함 진단으로의 활용도가 매우 높음을 실증한 예라 하겠다. 그러나 ZnTe와 같은 무기단결정은 THz 대역에서 결정 격자의 진동에 기인한 포논 흡수(phonon absorption)로 특정 주파수 대역에서 신호를 발생할 수도 검출할 수도 없는 일명 THz 갭을 지니고 있어(예: ZnTe의 경우 5.3 THz 대역에서 THz 갭을 지님) 응용에 제한을 받고 있다.

미국 메릴랜드 대학의 L.M. Hayden 교수팀은 비선형 광학 고분자 박막 소재를 THz 발광소자와 검출소자에 적용하여 THz 발생 및 검출 특성을 평가하는 연구를 수행하고 있다. 비선형광학 고분자 소재는 무정형인 관계로 포논 흡수 현상을 일으키지 않으며, 광대역 THz(0.3~30 THz)파를 발생 혹은 검출할 수 있는 장점이 있다. Hayden 교수팀은 이를 위하여 비선형 광학 특성을 나타내는 전기광학 유기분자 Lemke와 DCDHF-6V를 사용하였다([그림 5]). 이 유기분자들을 무정형 폴리카보네이트 고분자(amorphous polycarbonate: APC)에 40 중량 % 정도로 분산하고

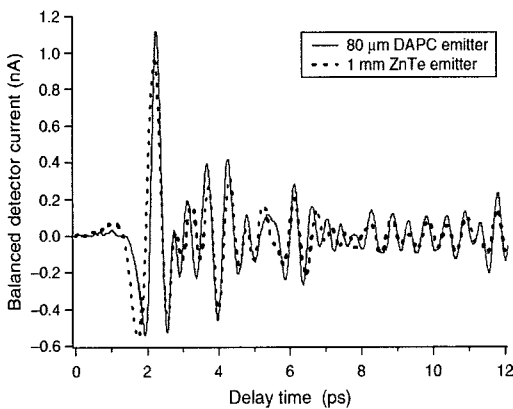


[그림 5] 미국 메릴랜드대의 Hayden 교수 연구팀에서 사용한 유기분자 구조

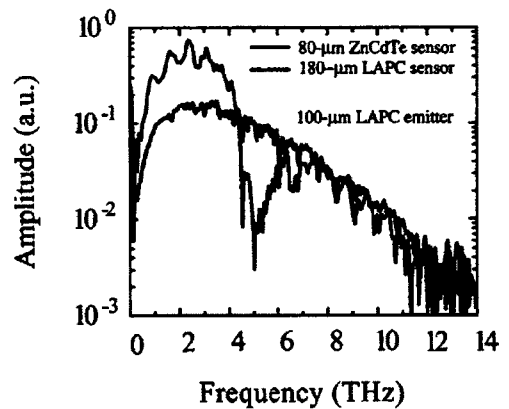
이를 용매에 녹인 용액으로부터 캐스팅하여 50~350 마이크로미터 두께의 필름을 제조하였다. 이 박막을 유리 전이온도 정도의 열을 가하고 높은 전기장에서 한 방향으로 유기분자들을 정렬하는 전기폴링을 실시하였다. 이 고분자 필름은 785 nm 파장대에서 약 50 pm/V의 전기광학계수를 나타냈으며, 이는 약 4 pm/V의 ZnTe 무기 결정보다 10배 이상 높은 값이다. Ti: Sapphire 펄스레이저로 50펨토초 800 nm 파장대 펄스파를 이 필름에 조사하여 광정류 방식(optical rectification)으로 THz 파 발생 실험을 실시한 결과, 80 마이크로미터 두께의 고분자 필름이 1,000 마이크로미터 두께의 ZnTe 결정보다 높은 에너지의 THz 파를 발생함을 확인하였다(그림 6). 또한 5 THz에서 강한 흡수 밴드를 나타내는 ZnTe 결정에 비하여 최대 12 THz 대역까지 THz 갭이 없이 매끈한 THz 신호를 발생하였다(그림 7)^{[7],[8]}. 그러나 고분자 소재는 몇 가지 단점을 지니고 있다. 우선 매우 강한 에너지의 펄스초 펄스파 조사에 의하여 고분자 소재의 성능이 시간에 따라 급격히 저하되는 단점을 지니고 있어 고분자 소재의 안정성을 향상시키는 연구가 시급히 필요한 실정이

다. 또한 비선형 광학 특성은 필름 두께에 비례하여 증가하는 바, 수백 마이크로미터 이상의 두꺼운 고분자 박막의 경우 전기폴링이 현실적으로 쉽지 않아 두께를 무한정으로 키울 수 없는 어려움이 있다. 마지막으로 전기장하에서 강제적으로 한 방향으로 배향된 분자들이 시간이 지남에 따라 조금씩 흐트러지는 경향(relaxation)이 어쩔 수 없이 일어나는 바, 이러한 경시 안정성을 향상시키는 연구도 매우 시급하다.

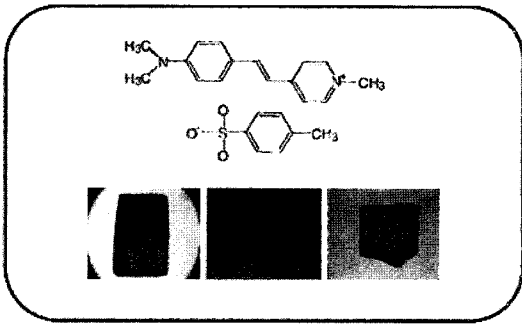
일본 동북대(Tohoku University)와 오사카대의 THz 연구그룹에서는 유기 비선형 단결정 물질인 DAST (4-dimethylamino-N-methyl-4-stilbazolium)를 THz 파 시스템에 활용하여 광대역 THz 파를 고출력으로 발생하는 실험을 수행하였다(그림 8)^[9]. DAST는 1,318 nm에서 $r_{11}=53\pm6$ pm/V, $d_{11}=1010\pm110$ pm/V의 매우 높은 전기광학 및 비선형 광학 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 또한 일반적인 유기분자가 결정성장시 대칭적으로 성장하는 것에 비하여 DAST는 비대칭적 분자 결정 성장이 용이하게 이루어져 활용도가 매우 높다. 특히 일본의 Hokushin Kogyo Inc.에서는 유기 단결정 경사 핵 성장법, 혼합 용매 성장법, 결



[그림 6] 1 mm 두께의 ZnTe와 80 μm 두께의 고분자 박막으로부터 발생된 THz 파의 비교. 고분자 박막은 DCDHF-6V를 고분자 APC에 4/6의 중량비로 섞어서 만든 박막임.



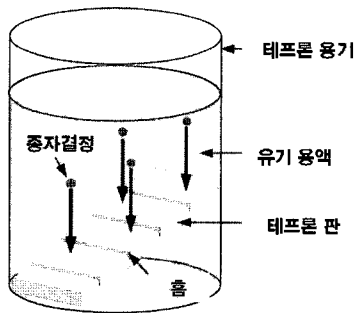
[그림 7] 80 μm 두께의 ZnTe 센서와 180 μm 두께의 고분자 박막 센서의 THz 스펙트럼의 비교. 고분자 박막은 전기광학 분자 Lemke를 고분자 APC에 4/6의 중량비로 섞어서 만든 박막임.



[그림 8] DAST 구조식과 결정 사진

정 핵 발생 온도 및 결정 성장 온도 제어법, 무흡결 결정 표면 인출법 등 THz 파 출력 및 감도 향상에 핵심적으로 사용될 수 있는 유기비선형 광학물질 DAST의 고품위 결정 성장 기술에 관한 핵심 특허를 확보하고있다([그림 9]).

동북대와 오사카 대학의 연구 그룹에서는 펨토초 레이저가 포함된 광정류 THz 발광 시스템 혹은 KTP 기반 OPO(Optical Parametric Oscillator)를 포함하는 DFG(Difference Frequency Generation) 시스템에 DAST 결정을 사용하여 THz 발광 실험을 하였다. 2~20 THz 대역의 THz 파를 발생하는데 성공하였으며, 생성된 THz 파의 최대 출력 에너지는 18.8 THz에서 110 nJ/Pulse에 이르며, 펄스 지속 시간(8 ns)을 고려하면 18.8 THz 대역에서의 THz 파의 최대 출력 파워는 13.4 W

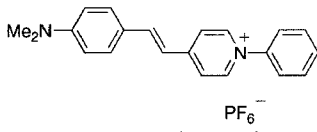


[그림 9] DAST 결정 성장에 사용된 경사 핵 성장법의 모식도

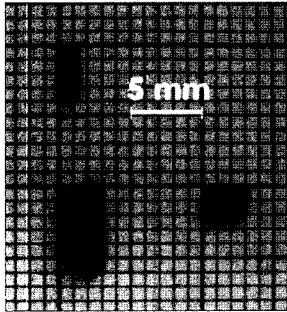
에 달한다^[10]. 또한 DAST 결정은 1,450 nm 및 1,419 nm의 펨토초 레이저에서의 안정성 실험에서 10시간 동안 생성 THz 출력에 거의 변화를 보이지 않는 안정성을 보였다. 하지만 장기 안정성에 대한 검증 연구는 아직 진행 중이다.

유럽에서는 2001년부터 3년간 이탈리아 Genoa 대학 등 6개국 10여 기관이 참여하여 'THz 브리지(Terahertz Bridge)' 사업이 실시되어 THz 광에 의한 생물학적 영향 평가, 다양한 생체 현상의 분광학적 데이터베이스 구축 등에 35억원의 연구비를 투입하였다. 특히, 영국 캠브리지에 소재하는 테라뷰(사)는 소형 THz 분광영상기를 상품화하여 제약회사 및 대학 등의 연구기관 등에 납품을 하여 THz 관련 산업의 저변 확대를 선도하고 있다. 스위스의 취리히연방공대(ETH)에서는 DAST의 피리딘 아민에 결합하는 기를 다양하게 도입하여 합성한 DAST 유도체들의 단결정 성장을 시도하였다. 그 결과 대부분의 유기분자들은 결정성장시 점대칭적인 구조를 지녀 거시적 비선형 광학 특성을 보이지 못한 반면에 DAPSH(4-dimethylamino-N-phenyl-4-stilbazoliumhexafluorophosphate)는 DAST보다 초분극률이 더 크면서 비점대칭적 분자구조로 결정 성장을 하는 것을 발견하였고 수밀리미터에 이르는 크기로 결정 성장하는데 성공하였다. 흡결을 최소화하기 위한 결정 성장에 대한 연구가 현재 진행 중이며, 이 결정을 이용한 THz 발생 및 검출 시스템 구축에 연구를 집중하고 있다([그림 10])^[11].

선진국들의 활발한 연구 개발 동향에 비하여 국내의 THz 기술 연구 노력은 많이 미흡한 편이다. 1990년대 후반부터 2000년대 초반까지 포항공대, 서울시립대, 한국해양대 등의 일부 대학에서 THz 관련 기술 개발에 관한 연구를 수행하였으나 기술 개발 수준은 세계 수준에 많이 뒤떨어진 편이며, 특히 THz 파 발생소자용 핵심 소재에 대한 연구는 거의 전무한 실정이었다. 2006년에 이르러 정부에서 THz 기술 개발에 많은 관심을 가지면서 기관 고유 사업 등으로 전자



(a) DAPSH의 구조식



(b) DAPSH의 결정 사진

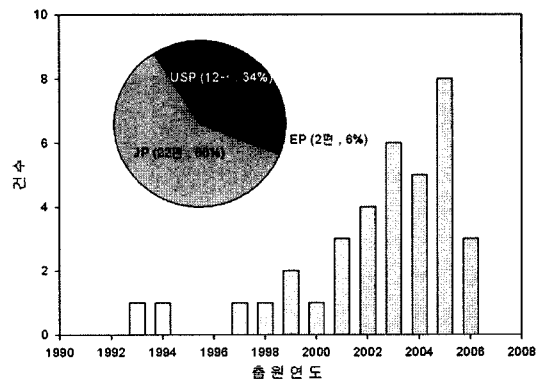
[그림 10] 스위스 ETH에서 개발한 THz 대역 유기 분자 DAPSH

통신연구원, 전기연구원, 표준연구원, 고등광기술원, 한국과학기술연구원 등에서 고출력, 고감도 THz 발생 소자 및 검출 소자, 소형 THz 분광 영상 시스템 등의 개발에 관한 연구를 수행하면서 국내에서도 THz 기술 개발이 활성화되고 있다. 하지만, 현재 시작 단계에 불과하여 세계 수준에 비추어 많이 뒤떨어진 상태이다. 특히 THz 발생 소자 및 검출 소자 기술 특히 핵심적인 고품위 THz 대역 고출력/고감도 소재에 대한 기술이 부족하여 이에 대한 집중적인 기술 개발이 선행되어야 한다. 현재 국내에서는 화학연구원, 전자통신연구원, 서울대학교, 부산대학교, 고려대학교 등에서 광통신 소자 특히 광변조기에의 응용을 목적으로 비선형 광학 특성을 나타내는 고분자 소재에 대한 개발 연구는 오랫동안 진행되어 왔으나, THz 시스템에의 적용을 목적으로 하는 개발 연구는 현재까지 전무한 실정이다. 또한, 비선형 광학 유기 단결정에 관한 연구는 고려대학교, 아주대학교 등에서 일부 진행하고 있으며, THz 시스템으로의 적용 연구는 기초 단계에 머물러 있는 실정이다.

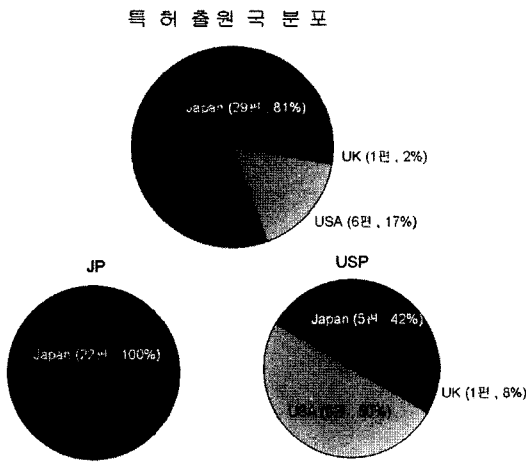
V. 특허 동향

THz 대역 화학 소재의 고출력 광대역화 기술에 대한 연도별 특허출원 경향을 [그림 11]에 나타내었다. 검색된 특허는 총 36편으로 1993년 1편을 시작으로 연 평균 2.6편의 특허가 출원되었다. 2000년까지는 출원건수가 매년 1~2편에 불과하였으나 2001년부터 출원 건수가 증가하여 2003년 6편, 2005년 8편 등으로 출원건수가 급증하는 등 최근에 들어서 THz 파 관련 특허 출원이 증가하는 추세를 확연히 알 수 있다.

[그림 12]에 나타낸 출원국별 특허 분포를 보면 일본 특허가 총 22편, 미국 특허 12편, 유럽 특허 2편으로 일본과 미국 양국 특허가 94%를 차지하여 이 분야 기술에 관한 독보적인 위치를 점하고 있다. 이에 비하여 한국에서는 관련 특허 출원이 단 1편도 없는 등 THz 파 화학 소재 기술 개발에 관한 연구 투자가 매우 부족한 상태임을 알 수 있다. 출원인의 국적별로 분석한 결과에 의하면 일본 29편, 미국 6편, 영국 1편으로 일본은 관련 기술에 대해 세계적으로 81%의 특허 출원 점유율을 보인다. 각 특허 국가별 출원국 점유율에서도 일본 특허는 100% 일본업체가 출원하였으며, 미국 특허는 일본업체가 42%, 미국업체가 50%를 차지하였다.



[그림 11] 연도 및 국가별 특허출원 동향



[그림 12] 출원국별 특허 분포

특허 출원 상위 5개 업체를 분석한 결과, 일본의 이화학연구소(RIKEN, 8편, 22%)와 동북대(Tohoku University, 5편, 14%)의 2개 기관이 특허 출원의 36%를 점유하는 것으로 나타났다. 그 뒤를 일본 기업체인 Matsushita Electric Co.가 8%의 점유율을 나타내었다. 우리나라의 정부 출연 연구소에 해당하는 일본의 이화학연구소와 대학인 Tohoku University가 특허 출원의 36%를 점유하고 있고 기업체의 특허 출원이 비교적 적다는 특허 분석 결과는 현재 THz 대역 화학 소재 기술이 아직 기술 태동기로서 대학과 연구소 중심으로 현재 기술 개발이 진행되고 있으며, 이제부터 기업들의 관심을 받고 있는 기술임을 입증한다. THz 파 기술은 정보 통신, 바이오 영상, 보안 검색, 산업물 검색 등 매우 폭 넓은 산업으로의 활용이 유망한 기술이므로 현재 태동기인 이 시점에서 우리나라가 기술 개발에 투자를 한다면 비교적 단시일 내에 기술을 선도하는 위치로 올라설 수 있다는 점을 본 특허 분석 결과는 시사하고 있다.

VI. 맺음말

THz 파 기술의 개발 및 조기 상업화를 위해서는

핵심 소재 개발, 고출력 고성능 부품 소자 기술 개발, 실제 응용에 적합한 시스템(장비) 기술 개발이 중요하며, 개별 요소 기술들이 상호 보완적으로 연구 개발이 이루어져야 한다. 핵심 소재 개발에서는 THz 물성이 우수한 재료의 개발과 물성(굴절율, 유전율, 전도도 등) 평가 결과들의 데이터베이스화가 매우 중요하다. THz 파 기반 분광 영상 기술은 소재의 THz 파 고출력화 및 광대역화를 고려함과 동시에 소재의 안정성을 확보해야 하는 기술적 어려움이 있다. 또한, 소재를 THz 파 발생 소자 시스템에 적용하는 소자 적용 기술에 대한 연구도 매우 필요한 실정이다. THz 분광 영상 기술은 향후 바이오이미징 등의 의료 영상 분야, 대테러 검색, 폭발물 검색 등의 보안 검색 분야, 산업물 비파괴 검사 분야 등의 매우 다양한 산업으로의 응용이 유망한 신기술이다. 하지만 현재 기술의 태동기에 있어 일본, 미국 등의 기술 선진국에서조차도 정부출연연구소 등이 기술 개발을 주도하고 있으며, 기업체의 연구 개발은 그리 활발하지 않은 편이다. 이는 본 기술의 관련 산업 시장이 아직 열리지 않았기 때문이며, 원천 핵심 기술의 조기 개발 및 관련 기술의 확산을 통하여 상업화를 앞당기는 노력을 해야 한다. 상업적으로 쓰이기 위해서는 부품 소재 및 시스템의 신뢰성 및 장기 안정성의 확보가 무엇보다도 중요하다. 효율성이 높고 안정성이 우수한 소재를 개발하고 소자 전문기관과의 긴밀한 협력 연구를 통하여 소자 공정에 직접 적용하여 공정 적합형 소재를 개발하고 소재의 신뢰성을 확보해야 한다. 또한 관련 업체의 검증을 통해 신뢰성을 확인하며 양산 라인에의 적용 연구를 통하여 조기 상업화를 이루는 노력이 필요하다고 하겠다.

참고 문헌

- [1] (a) 강광용, 백문철, 한석길, 이승권, 김현탁, 전자통신동향분석, 21(4), p. 118, 2006년. (b) 윤두

- 협, 박민환, 유용구, 류한철, 전자통신동향분석, 21(4), p. 129, 2006년. (c) 진윤식, 전석기, 김정일, 김근주, 손채화, 물리학과 첨단기술, p. 2, 2009년 7월/8월.
- [2] M. Tonouchi, *Nature Photonics*, vol. 1, p. 97, 2007.
- [3] B. Ferguson, X.-C. Zhang, "Materials for terahertz science and technology", *Nature Materials*, vol. 1, p. 26, 2002.
- [4] (a) D. Dragoman, M. Dragoman, "Terahertz fields and applications", *Prog. Quantum Electronics*, vol. 28, p. 1, 2004. (b) C. A. Schmuttenmaer, "Exploring dynamics in the far-infrared with terahertz spectroscopy", *Chem. Rev.*, vol. 104, p. 1759, 2004.
- [5] 시장보고서, "The terahertz technologies-R&D, commercial implication and market forecast", Fuji-Keizai USA Inc., 2007.
- [6] X. Zheng, C. V. McLaughlin, P. Cunningham, and L. M. Hayden, "Organic Broadband Terahertz Sources and Sensors", *J. Nanoelectronics & Optoelectronics*, vol. 2, p. 1, 2007.
- [7] X. Zheng, A. Sinyukov, and L. M. Hayden, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 87, p. 81115, 2005.
- [8] L. M. Hayden, *Proc. of SPIE*, 6472, 64720F-1 2007.
- [9] Y. Takahashi, H. Adachi, T. Taniuchi, M. Takagi, Y. Hosokawa, S. Onzuka, S. Brahadeeswaran, M. Yoshimura, Y. Mori, H. Masuhara, T. Sasaki, and H. Nakanishi, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, vol. 183, p. 247, 2006.
- [10] T. Yanai, H. Nakanishi, and S. Okada, JP2004-219967.
- [11] B. Ruiz, B. J. Coe, R. Gianotti, V. Gramlich, M. Jazbinsek, and P. Günter, "Polymorphism, Crystal Growth and Characterization of an Organic Nonlinear Optical Material: DAPSH", *Cryst. Eng. Comm.*, vol. 9, p. 772, 2007.

≡ 필자소개 ≡

김 동 욱



1991년: 서울대학교 섬유공학과 (공학사)

1993년: 서울대학교 섬유고분자공학과 (공학석사)

1998년: 서울대학교 섬유고분자공학과 (공학박사)

1998년~1999년: 한국과학기술연구원(KIST) 위촉연구원

1999년~2002년: Univ. Mass. Lowell 방문연구원 (Post-Doc)

2002년~현재: 한국화학연구원 화학소재연구단 책임연구원