

## 세상을 바꾸는 빛 - 테라헤르쯔 파

한국원자력연구소

정 영 옥

### 미래의 삶을 바꿀 10대 기술

미국 메사추세츠공과대학(MIT)에서 발간되는 100년 전통의 ‘테크놀로지 리뷰(Technology Review)’ 지에서는 최근 2004년 2월호에서 “우리의 세상을 바꿀, 떠오르는 10대 기술(10 Emerging Technologies That Will Change Your World)”을 선정하여 발표하였다. 한국어 번역기, 합성생물학, 나노 전선, 베이시안 기계 학습에 이어 5번째로 소개된 기술은 일반인들에게 다소 생소한 ‘티-광선(T-ray)’이었다. 티-광선은 테라헤르쯔 파를 의미하는 약자이다. ‘세상을 바꿀 기술’이 가지는 파급효과와 의미를 감안하면 테라헤르쯔 파 기술의 잠재력과 가능성이 우리의 일반적인 인식과 이해의 정도를 넘어서고 있음을 알 수 있다. 더욱 우리를 놀라게 하는 것은, 2005년 1월에 발표된 자료(1월 9일 일본 오미우리 신문)에서 일본 정부가 향후 10년간 국가 전략적으로 집중 추진할 ‘10대 근간 기술’ 중에서 가장 우선적 과제로 선정한 것이다. 불과 1년의 시차를 두고 미국과 일본 등 세계 최고 선진국은 테라헤르쯔 기술을 미래의 기술에서 10년 이내에 완수해야할 국가 기간 기술로 빠르게 인식전환을 하고 있다. 과연 테라헤르쯔 파는 무엇이며, 왜 중요한가? 이번 기회를 통하여 테라헤르쯔 파에 대한 이해를 돕고, 우리의 기술 수준 및 전망에 대해서 소개하는 기회를 마련하였다.

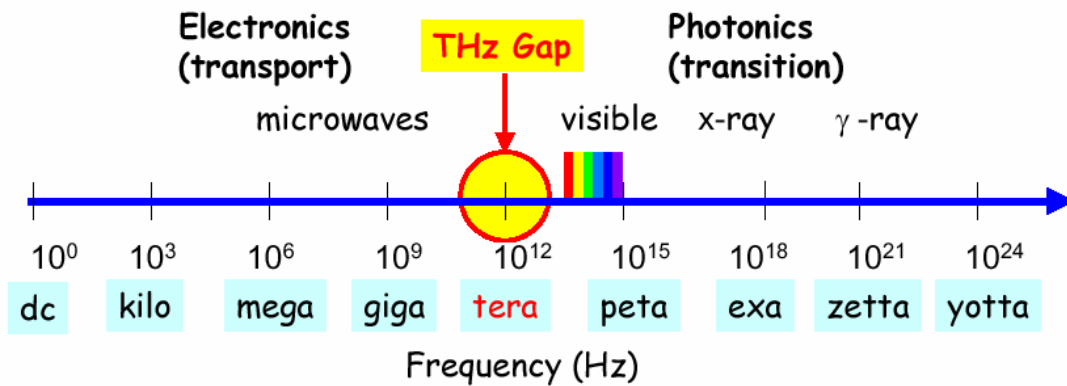


Fig. 1. 전자기파의 주파수 대역 중 테라헤르쯔 영역. 이 대역은 발생시키기가 어려워서 THz 갭(gap)이라고 불리어지고 있음.

### 테라헤르쯔 파 - 미래의 의료 영상 기술

테라헤르쯔 파는 Fig. 1에서 나타나 있는 바와 같이 빛의 영역 중에서 주파수로는  $10^{12}$  헤르쯔, 파장으로는 수 백 마이크로미터, 에너지로 표현하면 수 십 밀리전자볼트(meV)인 대역을 지칭한다. 흔히 알려져 있는 원적외선에 포함되는 영역이다. 테라헤르쯔 파가 우리에게 유용한 이유는 다음과 같이 간단히 설명될 수 있다. 모든 물질은 빛 또는 전자기파로 그 구

조나 특성을 분석할 수 있다는 사실은 잘 알려져 있다. 특히, 자연계의 대부분을 형성하는 생물체나 분자 형태의 물질은 분자 운동의 특성이나 약한 결합으로 인해서 매우 낮은 (1~100 meV) 에너지의 빛으로 구조나 특성을 잘 분석할 수 있다. 반도체나 초전도체의 경우도 내부 미세 에너지 밴드가 대개 위의 에너지 영역을 지닌다. 즉, 테라헤르쯔 파는 우리를 둘러싸고 있는 많은 물성과 생명체를 탐구하는데 가장 유용한 도구가 된다. 최근, 생물 및 의과학, 반도체, 초전도체, 우주과학, 원자력, 군사 분야 등에서 테라헤르쯔 파를 이용한 새로운 기술 개발이 활발히 이루어지고 있다. 특히, 우리의 관심을 끄는 것은, 테라헤르쯔 파를 이용하여 인간 생체에서 암 조직과 건강한 조직을 구분하여 영상화하는 기술이 개발되었으며, 더 나아가서 Fig. 2와 같이 건강한 조직이 암으로 변하는 전 단계인 전암 (前癌) 조직까지도 확인 가능함을 보여주었다. 그리고, x-선과는 달리 테라헤르쯔는 에너지가 낮아서 생명체와 물질에 전혀 손상을 주지 않는 또 다른 장점이 있다. 최근 발표되는 자료에서는 x-선 검사 때 발생하는 피검자에 대한 방사선 피폭이 결코 안전한 수준이 아님을 보여준다. 이러한 점을 종합해보면, 테라헤르쯔 파를 이용하여 생명체에 전혀 무해하면서도 높은 분해능으로 원하는 생체조직의 정보까지 확인할 수 있는 의료영상 기술이 곧 현실화될 것이라는 점을 알 수 있다. 앞에서 소개한 테크놀로지 리뷰 지에서도 이러한 점을 인정하여 선정한 것으로 발표하였다.

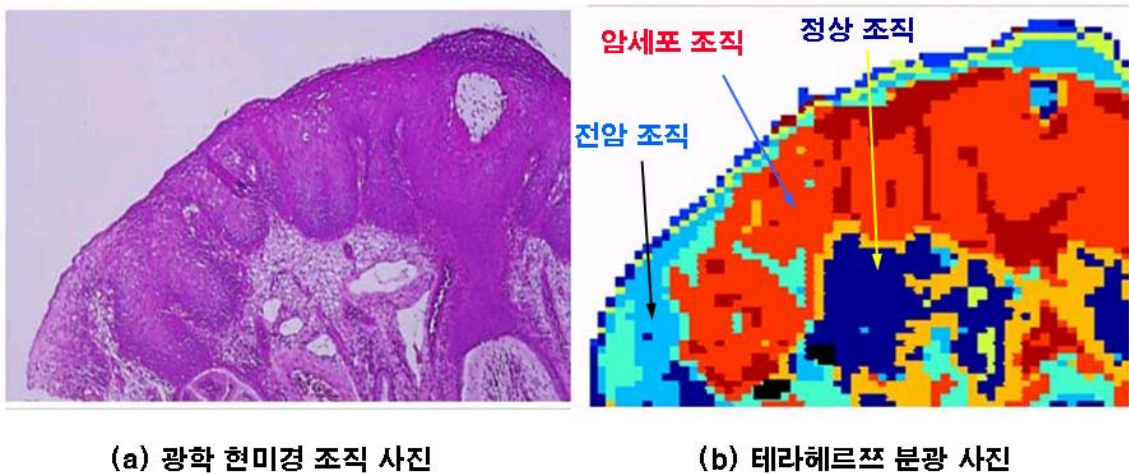


Fig. 2. 자궁경부 조직의 광학현미경 사진과 테라헤르쯔(원적외선) 분광 사진. 원적외선 미세분광 사진에서는 암세포와 정상조직의 구별뿐만이 아니라, 전암상태의 초기 변형 조직도 구분할 수 있어 암 발병 이전에 사전 치료할 수 있는 가능성을 보여주고 있다 (M. Diem, Hunter College, City University of New York, USA).

### 테라헤르쯔 파를 발생시키는 기술

그럼에도 불구하고, 테라헤르쯔 영역이 이제까지 불모지로 남아있었던 가장 주된 이유는, 예전에는, 높은 출력이면서 넓은 대역의 테라헤르쯔 파를 발생시키는 쓸만한 광원을 개발하기가 힘들었기 때문이다. 즉, 마이크로파 영역과 광학 파장 영역의 중간에 있는 이 대역에서는 강한 빛을 발생시키는 좋은 방법을 찾지 못했었다. 그러나, 최근 약 10년을 통하여 다양한 테라헤르쯔 광원이 개발되어 사용되고 있으며 지속적인 기술 개발이 이루어지고 있다. 그 대표적인 예로 다음의 3가지가 있다.

- 테라헤르쯔 자유전자레이저
- 방사광 가속기
- 극초단 레이저펄스에 의한 테라헤르쯔 광원

앞의 두 가지는 출력 특성이 우수하나, 일반적으로 장치의 크기가 거대하여 보급에 어려움이 있었다. 극초단 레이저에 의한 테라헤르쯔 발생 장치는 소형이지만 출력이 낮은 단점이 있다.

가장 이상적인 테라헤르쯔 광원, 소형 자유전자레이저

일찍이 자유전자레이저는 테라헤르쯔 파 대역의 가장 이상적인 광원으로 인정되었다. 그 이유로, 고출력의 레이저 광원 이므로 다른 광원에 비하여 출력 강도가 최소 수 만배에서 백만 배에 이를 정도로 강하고, 분광 특성이 우수하며 자유롭게 파장을 선택할 수 있다는 점 등 때문이다. 하지만 자유전자레이저는 개발비용과 기술의 난이도가 높고 장치의 크기가 거대하여 많이 개발되지 못한 단점이 있었다. 한국원자력연구소에서는 이러한 문제점에 주목하여, 실험실 규모의 소형 테라헤르쯔 자유전자레이저 개발에 성공하였다. Fig. 3과 같이 장치의 크기가 불과  $2 \times 3 \text{ m}^2$  정도이며, 100~1,000 마이크로미터의 아주 넓은 파장대역에서 레이저를 발생시킬 수 있다. 이 장치는, 출력 특성과 시스템 크기에 있어서 이제까지 다른 광원이 가졌던 한계를 극복할 수 있는 새로운 가능성으로, 응용 연구의 활성화에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대를 모으고 있다.

## 첨단 테라헤르쯔 응용연구 기반 구축

최근 국제적으로 급격히 늘어가고 있는 테라헤르쯔 파장 영역의 응용 연구에 우리도 적절히 대처하기 위해서는, 현재 개발된 소형 자유전자레이저를 이용한 고성능의 응용 연구 장치를 개발하고, 생물 및 물성 등 핵심 분야의 기초 연구를 수행하여 그 기반을 다질 필요가 있다. 본 연구팀은 자유전자레이저에서 발생된 테라헤르쯔 레이저빔을 응용 연구 실험실로 전송하는 진공의 전송광학계와 다양한 고감도 측정 시스템을 자체 개발하여 구축하였다. 전송된 테라헤르쯔 레이저빔은 공간적으로 회절한계에 근접하며, 파장선평이 퓨리어변환 한계에 근접하는 우수한 특성을 가지고 있다. 약 10~30 ps의 극초단 펄스구조이며 첨두 출력은 약 1 kW이다. 이러한 특성의 테라헤르쯔 레이저빔으로 높은 신호대 잡음비(S/N 비)를 얻을 수 있어, 기존의 분광학 연구는 물론이고 생물이나 물성의 미세 분광 영상을 측정할 수 있는 기반을 구축하였다. 이는 미국, 유럽에 이어서 세계에서 3번째로 구축된 테라헤르쯔 자유전자레이저 응용 연구 시설이며, 앞으로 점증하는 국내의 테라헤르쯔 응용 연구를 활성화시키고 세계적인 경쟁력을 확보하는 첨병이 되는 국가 기반 장치이다. 특히, 최근에 이 장치를 이용하여 동물 샘플의 테라헤르쯔 투과 영상을 측정하는데 성공하는 등(Fig. 4, 5 참조), 우리 광원의 우수성을 이용한 세계적인 경쟁력을 가지는 연구가 가능함을 확인하였다. 이번 기회를 통하여 국내의 관련 연구진의 관심을 유도하고, 공동 연구를 활성화시킬 수 있는 계기가 되기를 진심으로 바란다.

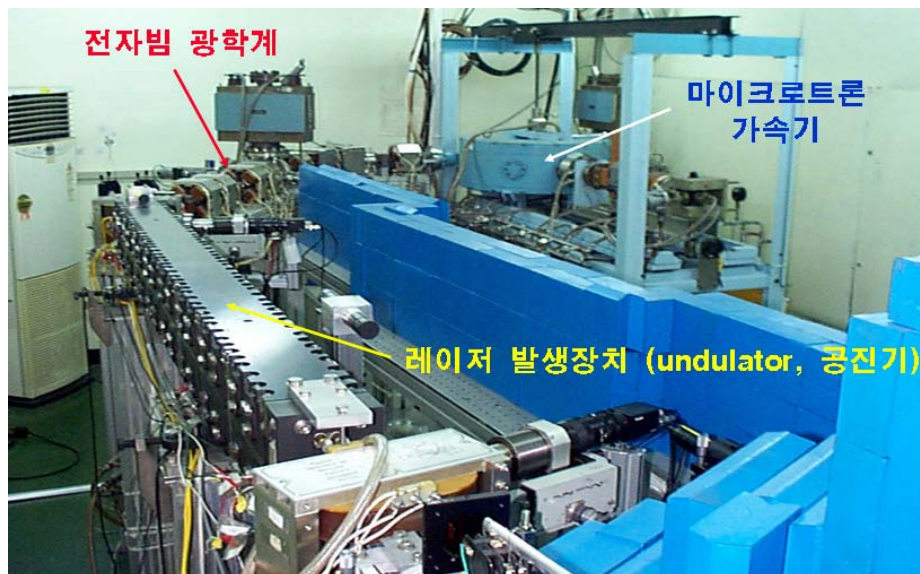


Fig. 3. 한국원자력연구소에서 개발한 소형 테라헤르쯔 자유전자레이저

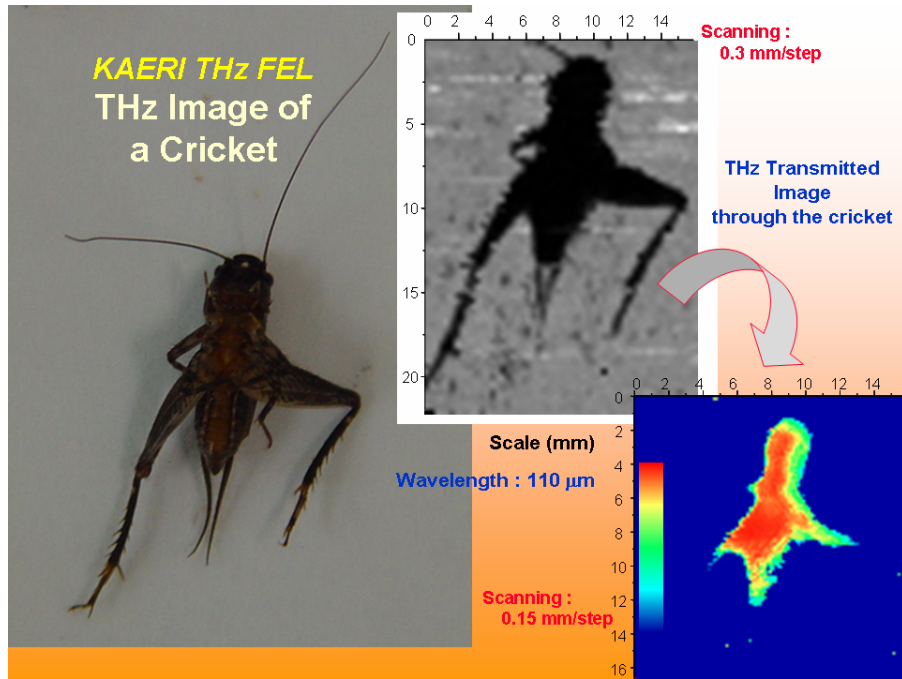


Fig. 4. 한국원자력연구소의 테라헤르쯔 자유전자레이저로 측정한 귀뚜라미의 테라헤르쯔 투과 영상 측정 결과.

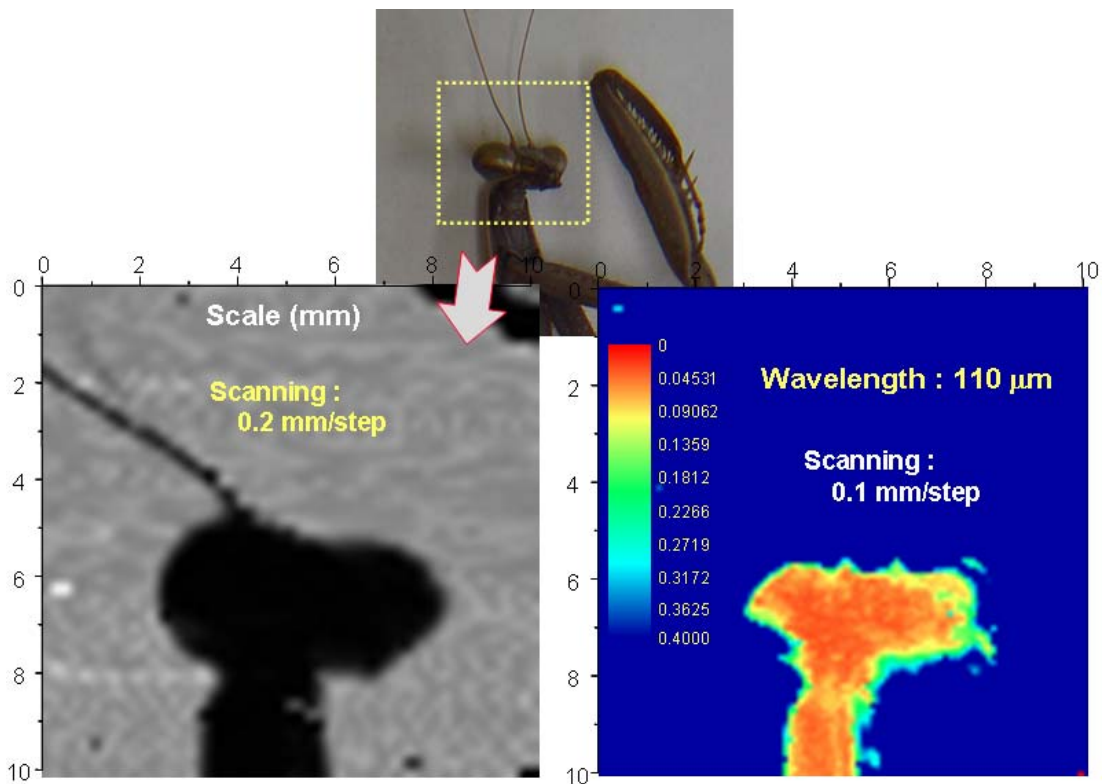


Fig. 5. 한국원자력연구소의 테라헤르쯔 자유전자레이저로 측정한 사마귀 머리 부분의 테라헤르쯔 투과 영상 측정 결과.