

테라헤르츠 분광학 기반의 실시간 폭발물 검출을 위한 신호 디노이징 및 왜곡 보상 Denoising and Degradation Compensation for In situ Explosives Detection via Terahertz Time-domain Spectroscopy

*최진두¹, #김수현¹, 류성윤¹, 권원식¹, 김경수¹

*J. Choi¹, #S.H. Kim(soohyun@kaist.ac.kr)¹, S.Y. Ryu¹, W.S. Kwon¹, K.S. Kim¹

¹한국과학기술원 기계공학과

Key words : Terahertz time-domain spectroscopy, Explosives detection, THz pulse denoising

1. 서론

최근 20년간 세계를 대상으로 한 폭발물을 이용한 테러리즘과 무자비한 공격들이 끊이지 않음에 따라, 폭발물의 효과적 검출의 필요성이 크게 대두되었다. 특히, 공항이나 항만의 수하물이나 우편물 검색을 위하여 실시간 폭발물 검출능력이 시급하다고 할 수 있다.

테라헤르츠(THz)파의 안전성, 투과성, 그리고 폭발물과 같은 유기화합물에 대한 고유의 분광정보를 바탕으로 테라헤르츠파를 이용한 폭발물 검출에 대한 연구가 현재 활발히 진행 중이다.^{1,2}

본 연구에서는 테라헤르츠 분광학을 이용한 실시간 폭발물 검출을 위해 테라헤르츠 신호의 디노이징 및 왜곡 보상 실험을 수행하였다. 혼합 폭발물의 검출 및 성분 분석 결과를 제시한다.

2. 시영역에서의 신호 오차 보상

흔히 사용되는 마이크로파와 비교했을 때, 테라헤르츠파의 펄스 세기는 매우 작다. 이에 따라 여러 원하지 않는 노이즈가 섞여 테라헤르츠 신호의 판별을 어렵게 만든다.

이산 웨이블릿 변환을 이용하여 펄스 모양인 테라헤르츠 신호의 효과적 표현 및 노이즈 제거가 가능하다.³ 그림 1은 RDX 시료를 투과한 테라헤르츠 신호와 노이즈가 제거된 신호를 보여준다.

3. 주파수영역에서의 신호 오차 보상

테라헤르츠 분광 시스템의 광학 부품들에 의한 반사로 인해 테라헤르츠 신호에는 여러 반사파가 포함되어 있다. 예탈론 효과로 불리는 이 현상은

주파수영역에서의 테라헤르츠 신호에 많은 요동을 야기하며 피크 검출을 불가능하게 만든다.

웨이블릿 전력 스펙트럼 계산법을 이용하면 이를 적절히 제한시켜 효과적 피크 검출을 가능하게 만들 수 있다.⁴ 그림 2는 RDX에 대한 원본 흡광도와 예탈론 효과가 보상된 흡광도를 보여준다.

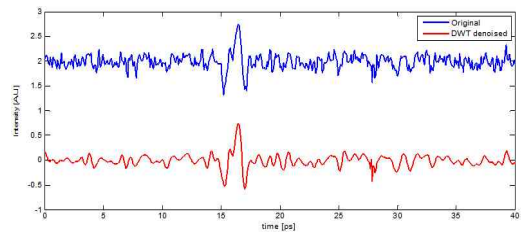


Fig. 1 Original (blue) and denoised via discrete wavelet transform (red) THz pulse of RDX

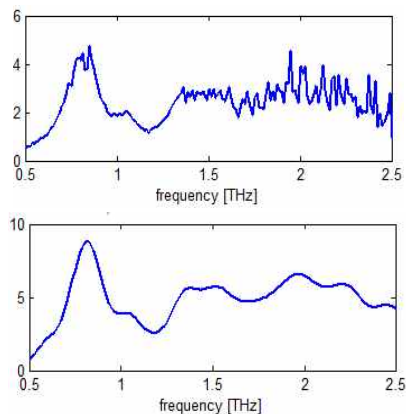


Fig. 2 Original (top) and denoised via Wavelet Power Spectrum Estimation Technique (bottom) THz absorbance spectrum of RDX

4. 대기에 의한 신호 왜곡 처리

테라헤르츠파는 수분에 강하게 흡수된다. 따라서 측정 환경의 수분 함유량에 따라 획득한 신호의 왜곡 정도가 달라진다. 수분에 의해 흡수되는 과정을 선택적으로 제거하는 wavelength selection을 통하여 대기에 의한 신호 왜곡을 최소화하였다.

또한, 혼합 폭발물의 성분 분석에 있어 각 성분이 보다 잘 검출되도록 각 기준 스펙트럼들의 직교성과 독립성을 높이는 방향으로 wavelength selecting을 하였다.

5. 실험 결과

두 가지의 환경(1. 높은 신호 대 잡음비와 대기 중 수분 함유량이 1% 미만인 조건 2. 낮은 신호 대 잡음비와 수분함유량이 38%인 조건)에서 폭발물 검출을 시도하였다. 그림 3은 첫째와 둘째 환경에서의 Composition B-3의 검출 및 성분 분석 결과를 나타낸다. 둘째 환경에서 획득한 신호로부터 wavelength selection이 이루어진 후 다시 성분 분석을 한 결과 또한 도식화하였다.

Composition B-3 뿐만 아니라 Pentolite, PTX-2의 혼합 폭발물 검출과 성분 분석을 실시하였으며, 각 성분의 실제 조성도와 실험으로 얻은 조성도의 오차를 표 1에 나타내었다.

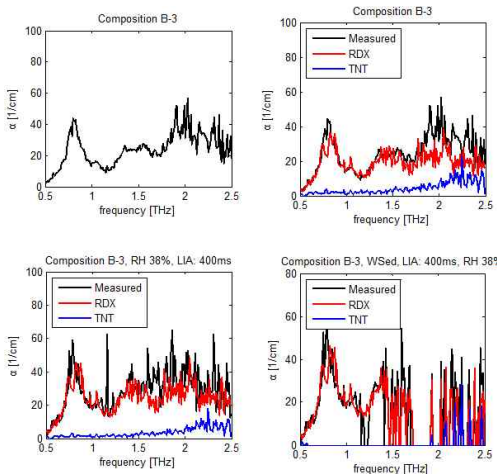


Fig. 3 Composition B-3 (top left), component analysis of Composition B-3 in fair conditions (top right), realistic conditions (bottom left), and realistic conditions with wavelength selection (bottom right)

Table 1 Comparison of concentration ratio error

Composition B-3			
Error (%)	Fair conditions	Realistic conditions	(Realistic) wavelength selected
PETN	-	-	-
RDX	11.48	26.23	11.48
TNT	17.95	41.03	17.95
Pentolite			
PETN	1.59	31.75	17.46
RDX	-	-	-
TNT	2.70	54.05	29.73
PTX-2			
PETN	34.78	4.35	26.09
RDX	25.45	43.64	5.45
TNT	27.27	104.55	40.91

6. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 실시간 폭발물 검출과 효과적인 성분 분석에 대한 실험을 수행하였다.

첫째 환경에서 얻은 성분 분석 결과보다 실제 야외 환경과 비슷한 둘째 환경에서 얻은 결과가 정확성이 떨어진다는 것을 확인하였다. 이때 wavelength selection을 이용하여 분석 정확도를 상당 수준 높일 수 있다는 것을 확인하였다.

그러나 본 연구에서는 wavelength selection을 휴리스틱하게 접근하여서 최적의 조건을 찾는 데 명확한 해답을 제시하지 못하였다. 또한, 추후에는 단순히 수분 피크를 제거하는 것이 아니라, 수분 흡광도를 기준 스펙트럼으로 사용하여 수분 함유량까지 계산하는 것이 타당하다고 생각된다.

참고문헌

1. Federici, J. F. et al., "THz Imaging and Sensing for Security Applications – Explosives, Weapons and Drugs," *Semiconductor Science and Technology*, **20**, S266-S280, 2005.
2. Davies, A. G. et al., "Terahertz Spectroscopy of Explosives and Drugs," *Materials Today*, **11**, 18-26, 2008.
3. 최진두 외, "주성분 분석과 테라헤르츠 분광학을 이용한 유해물질 검출", 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집, 2011.
4. Moulin, P. et al., "IEEE Transactions on Signal Processing," **42**, 3126-3136, 1994