

전자기파 기반 폭발물 탐지 기술 동향 및 발전방향 연구

노건희*, 심행근**, 손정수**

*육군공병학교 / 건양대학교 방위산업학과

e-mail: Latero92@outlook.kr

** 건양대학교 방위산업학과

e-mail: hanggeun@konyang.ac.kr, funnybs@naver.com

A Study on Trends and Future Directions of Electromagnetic Wave-Based Explosive Detection Technologies

Geonhui Roh*

Engineer School, Republic of Korea Army / Department of Defense Industry, Konyang University

Hanggeun Shim, Jungsu Son

** Department of Defense Industry, Konyang University

폭발물 탐지 기술은 군사적, 인도주의적 측면에서 필수적인 기술로, 병력 및 장비의 방호, 민간인의 안전을 보호하기 위해 발전해왔다.

본 논문에서는 전자기파 기반 폭발물 탐지 기술을 중심으로 MD(Metal Detector) 방식, GPR(Ground Penetrating Radar) 방식, THz(Terahertz) 방식의 탐지원리, 장·단점, 그리고 활용 분야를 비교·분석한 결과 단일 기술로는 다양한 조건에 폭발물을 탐지하는데에는 한계가 있음을 확인할 수 있었다.

이에 따라 최근 연구동향은 탐지기술 복합화, AI 기반 지능화, 무인화를 중심으로 발전하고 있다. 특히 MD와 GPR을 복합한 탐지기술은 비숙련자의 탐지기술을 증가시켰고, AI 기술 적용은 운용자의 실수를 최소화하고 탐지 정확도를 높이는 방향으로 연구가 진행 중이다.

향후 폭발물 탐지 기술은 복합탐지 고도화, AI 기반 지능화, 무인화를 중심으로 발전할 것으로 전망된다. 이러한 발전을 통해 폭발물 탐지 정확성이 증가되고, 인원의 생명 보호를 가능하게 할 것이다.

1. 서론

술임을 말하고 있다.

1.1 폭발물 탐지기술의 군사적 필요성

군사 작전에서 지뢰와 같은 폭발물들은 육안으로 식별하기가 어렵기 때문에 피아를 구분하지 않고 병력과 장비에 피해를 유발하는 주요 요소이다.

실례로 2차 세계대전 당시 쿠르스크 전투에서 소련군은 전략적인 우위를 가지기 위해 약 40만 개의 지뢰를 매설하고 활용하여 독일군의 공세를 효과적으로 저지하였다. 이는 전장에서 지뢰가 얼마나 위협적인지를 보여주는 대표적인 사례이다.

2차 세계대전 뿐만 아니라 현대에는 급조폭발물의 등장으로 전장에서의 폭발물 위험은 더욱 증가하였다. 급조폭발물은 재래식 지뢰보다 훨씬 불규칙하고 예측이 어렵기 때문이다. 실례로 2010년부터 2020년까지 10년간 작전 중 사망한 미군과 영국군 5,413명 중 2,640명이 급조폭발물에 의해 사망하였으며, 이는 전체 사망자의 약 48.7%에 해당한다. 이러한 데이터는 폭발물 탐지기술이 병력의 생존과 군사적 작전의 성패에 있어 중요한 기

1.2 폭발물 탐지기술의 인도주의적 필요성

폭발물 탐지 기술은 군사적인 목적 외에도 반드시 필요한 기술이다. 폭발물은 전쟁이 끝난 후에도 오랜 기간 동안 잔류하여 지역사회와 주민들에게 부정적인 영향을 준다. 전 세계적으로 2021년 한 해 동안 지뢰 및 기타 폭발물로 인한 사망 및 부상자는 11,102명이며 이 중 1,407명은 아동이었다.

단순히 신체적인 부상 및 사망뿐만 아니라 폭발물로 인한 인프라 파괴, 경제발전 저하, 식량공급 차질 등을 고려한다면 폭발물 탐지기술은 인도주의적으로 반드시 필요한 기술이라 말할 수 있다.

2. 본론

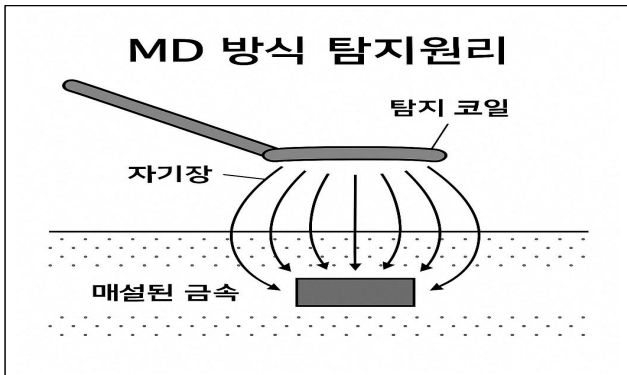
2.1 전자기파 기반 폭발물 탐지기술

폭발물 탐지기술은 다양한 원리를 이용하여 연구개발이 이루어지고 있으며 현장에서 활용되고 있다. 이러한 다양한 폭발물 탐지기술들 중 전자기파 기반 탐지기술을 중점으로 다루었다.

전자기파 기반 탐지 기술은 물질 내·외부의 전자기적 특성을 이용하여 폭발물을 탐지하는 방식이며 전자기파를 이용하는 기술은 MD 방식, GPR 방식, THz 방식 등이 있다.

2.1.1 MD방식 폭발물 탐지

MD 방식은 전자기파를 생성하여 탐지범위내에 자기장을 만들어내고 금속재질에 따른 자기장의 변화를 인식하여 탐지하는 방식이다. 다른 기술에 비하여 운용난이도가 낮아 운용자의 숙련도가 낮아도 탐지가 용이하고 휴대가 용이하여 야외에서도 운용이 가능하다. 다만 금속재질 이외의 다른 물질은 탐지가 제한된다는 단점이 있다.



[그림 1] MD방식 탐지원리

2.1.2 GPR방식 폭발물 탐지

GPR 방식은 전자기파를 지표면에 방출하여 재질의 경계면에서 반사되는 신호의 속도와 강도를 분석하여 탐지하는 기술이다. 금속 및 비금속 모두 탐지가 가능하다는 장점을 가지고 있으나 신호를 해석하기 위해서는 운용자의 숙련도가 높아야 하며 토양의 함수율과 구성성분에 따라 탐지율이 변화된다는 단점이 있다.



[그림 2] GPR방식 탐지원리

2.1.3 THz방식 폭발물 탐지

테라헤르츠파 방식은 주파수 0.1~10THz(테라헤르츠)에 해당하는 전자기파를 물질에 방출하면 흡수되거나 반사되는 신호를 이용하여 탐지하는 방식이다. 다양한 재질을 탐지할 수 있고 정밀한 영상을 획득할 수 있으나 장비가 대형 및 고가이고 습도 및 분진 등 다양한 요소에 의해 탐지율이 변화되어 통제된 환경이 아니면 사용하기에 제한된다는 특성을 가지고 있다.



[그림 3] THz방식 탐지원리

[표 1] 전자기파 기반 탐지기술 비교

구분	MD	GPR	THz
탐지원리	금속으로 인한 자기장 변화	전자기파의 반사파 분석	THz의 흡수 및 반사 스펙트럼 분석
장점	운용난이도 낮음, 휴대성 우수	금속 및 비금속 탐지 가능	정밀 탐지, 다양한 재질 탐지
단점	비금속 물질 탐지 불가	운용난이도 높음	고가 및 대형, 통제된 환경 필요
응용분야	지뢰 탐지, 공항 검색	지중 시설물 탐지, 문화재 탐지, 지뢰 탐지	공항 검색

2.2 폭발물 전자기파 기반 탐지기술 동향

앞에서 설명한 단일 탐지기술은 장점 및 단점이 명확하다. 이러한 부분을 극복하기 위해 다양한 기술을 다양한 기술을 융합하고, 인간의 오류를 최소화하며, 무인화를 지향하는 방향으로 발전하고 있다.

2.2.1 복합 탐지기술 적용

복합탐지기술의 예는 미군에서 운용하는 HSTAMIDS (Handheld Standoff Mine Detection System)이다. 이 장비는 MD방식과 GPR 방식을 결합하여 MD 방식의 단점인 비금속 물질 탐지 제한을 극복하고, GPR의 단점인 토양의 상태에 따른 탐지율 변화와 높은 운용 난이도를 MD 방식을 통해 극복하였다. 아프가니스탄과 이라크 등의 작전에서 실전 배치되었으며, 비금속 지뢰 탐지 성능을 크게 향상시켰고, 오탐률을 약 30%까지 감소시키는 효과를 보였다.

2.2.2 AI 기술의 적용

아직 연구단계이지만 최근에는 폭발물 탐지 과정에 인공지능을

적용하여 탐지 정확도를 높이려는 시도가 이루어지고 있다. 빅데이터를 기반으로 신호를 분석 및 학습하여 운용자에게 경고를 해주는 방식으로 적용되고 있다. GPR 신호의 해석 난이도와 환경에 따른 발생가능한 운용자의 실수를 최소화 가능할 것으로 전망된다.

2.2.3 무인화 기술 적용

지금까지는 기술의 한계로 사람이 직접 탐지장비를 들고 위험한 현장에 탐지 임무를 수행하였다. 그러나 근본적으로 폭발물 탐지 과정은 높은 위험을 수반하기 때문에, 인명 피해를 줄이기 위한 무인화 기술의 적용이 필수적으로 요구되고 있다. 미 육군은 폭발물 제거 임무에 TALON 로봇을 투입하고 있으며 한국에서도 폭발물 탐지 및 제거로봇을 개발을 완료하여 현장에 투입할 예정이다



[그림 4] 폭발물 탐지 및 제거로봇

2.3 폭발물 탐지기술 발전방향

2.3.1 복합 탐지기술 고도화

이미 PRS-20K와 같이 복합 탐지기술이 고도화 되고 있지만 미래에는 전자파와 기반 기술뿐만 아니라 다양한 기술들이 3중 이상으로 적용되어 탐지의 정확도를 향상하는 방안이 필요하다. 또한 이를 위해서는 각종 센서들의 소형화, 고기능화가 필요하다.

2.3.2 AI 기반 무인 폭발물 대응 시스템 구축

AI 기반 무인 탐지 시스템의 확대가 필요하다. 단순 탐지 보조를 넘어, 사람이 관여하지 않아도 탐지 - 판단 - 제거 - 보고까지 전 과정을 완전한 인공지능으로 폭발물 현장에서 임무를 수행하며 사람의 생명 보호와 폭발물 대응 체계 효율성 향상이라는 두 목표를 동시에 달성하게 될 것이다.

3. 결론

폭발물 탐지기술은 군사적, 인도주의적 목적에서 모두 필수적인 분야로, 생명과 안전, 군사적 작전 성공과 직결되는

중요한 분야로 자리잡고 있다

향후 폭발물 탐지기술은 단순한 성능 향상을 넘어, 복합화·지능화·무인화·된 형태로 발전이 필요하다. 그리고 단순히 기술 개발뿐 아니라 정책적, 제도적 지원이 병행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Action on Armed Violence, "Improvised Explosive Devices: Past, Present and Future," AOAV, pp. 1-18, 10월, 2020년.
- [2] Action on Armed Violence, "Explosive Violence Monitor: 2021" AOAV, pp. 9-15, 1월, 2022년.
- [3] 정병민, 장유신, 한승훈, "펄스 유도 방식의 금속탐지기 코일 설계", 한국전자과학회논문지, 제 26권 4호, pp. 389-396, 4월, 2015년.
- [4] 이현기, 마정목, "초해상화 기반 CNN을 이용한 GPR 영상에서의 지뢰 분류", 한국산학기술학회논문지, 제24권 제3호, pp. 91-97, 3월, 2023년
- [5] 김근주, 김정일, "관세국경 여행자 검색 장비의 현황과 THz 검색 장비의 발전 방향", 관세무역연구, 제1권 제3호, pp. 83-105, 9월, 2024년.
- [6] 최진두, 김수현, 류성윤, 권원식, 김경수, "테라헤르츠 분광학 기반의 실시간 폭발물 검출을 위한 신호 디노이징 및 왜곡 보상", 한국정밀공학회 2012년도 춘계학술대회논문집, pp. 689-690, 2012년