

화생방 정찰과 매설물 탐지의 무인화 기법

김 병 국 · KAIST 전자전신학과 전기 및 전자공학전공, 교수
 손 희 진 · KAIST 전자전신학과 전기 및 전자공학전공, 박사과정
 김 재 성 · KAIST 전자전신학과 전기 및 전자공학전공, 박사과정
 김 경 욱 · 광주과학기술원 기전공학과, 조교수

e-mail : bkkim@kaist.ac.kr
 e-mail : hjsohn@rtcl.kaist.ac.kr
 e-mail : jskim@rtcl.kaist.ac.kr
 e-mail : jskim@rtcl.kaist.ac.kr

이 글에서는 인명 피해가 가장 빈번하게 발생하는 화생방과 지뢰를 대상으로 하는 무인화 기술에 대해 알아보려고 한다. 우선 화생방 정찰을 목적으로 하는 무인 화생방 정찰 로봇의 필요성과 관련 기술을 알아보고, 이제까지의 연구 동향 및 향후 발전 방향에 대해 간단히 소개한 후 임펄스 레이더(impulse radar)의 한 종류인 지면투과 레이더(ground-penetrating radar)를 이용한 지하 매설물, 특히 지뢰 탐지 기법에 대해 소개한다.

무인 화생방 정찰 로봇의 필요성

실제 화생방전이 발생했을 때 대응하는 절차로 광범위한 오염 지역에 대한 신속한 탐지 및 식별을 통해 오염지역을 조기 판단하기 위하여 화생방 정찰을 한다. 그 후 피해에 대비하여 안전한 화생방 집단 보호시설로의 대피를 꾀한다. 정찰을 통해 탐지된 화학작용으로부터 인명을 보호하고 전투력을 회복하기 위해 차량이나 장비, 병사 및 시설물 등에 있는 화생방 작용제를 무력화시켜 군 임무 수행의 감소영향을 최소화하는 것을 원칙으로 한다.

무인 화생방 정찰 로봇의 가장 큰 장점은 사람이 겪어야 할 위험한 일들을 로봇이 대신 처리해준다는 점에 있고, 사람의 경우 위험방지를 위해 많은 보호장비가 필요한 데에 반하여 로봇의 경우 화생방 환경하에서 별다른 보호장비 없이 안전하고 정확하게 일을 처리해준다는 점이다.

이런 방식으로 피해를 최소화시키기 위해서는 보다 신속하고 정확한 화생방 정찰이 요구되는 점을 알 수 있다.

보급로 및 기동로 위주의 정찰을 할 경우 화생방정찰차를 이용하는 데, 차량 기동이 불가능한 지역에서는 도보로 휴대용 장비를 이용하여 예상 오염지역 정찰 및 오염한계선을 결정한다. 이러한

차량정찰시스템은 승무원 보호를 위하여 생존성에 필요한 과도한 장치를 부가적으로 요구하고 있고, 기동로가 확보되지 않은 지역에서는 정찰이 제한되고 있으며, 도보정찰은 정찰 시 정찰조가 열피로 과중한 보호장비를 착용해야 하므로 군사작전에 많은 제한사항을 수반하게 된다. 또한 현재의 검사 기술로는 빠른 탐지가

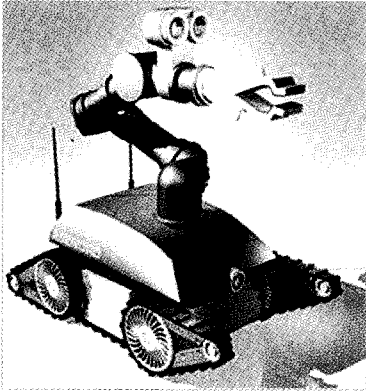


그림 1 디유하이텍의 어센드로

쉽지 않기 때문에 위험 상황에 노출되는 시간이 그만큼 커지게 되어 부가적인 위험을 감수해야 한다. 그로 인해 화생방무인정찰차 등과, 도보정찰을 하는 화학병을 대신할 무인 화생방 정찰 로봇의 개발이 이루어지기 시작하였다.

따라서 로봇을 이용해 무인 화생방 정찰 시스템을 운용하게 된다면 이러한 제한 사항을 해소해 줄 수 있고, 화생방전에서의 전투원 안전 및 전투 효율성을 제고시킬 수 있다. 실제로 국방부는 2006년 디유하이텍의 화생방 이동로봇 '어센드로' 2대를 구입하였다. 어센드로는 핵물질 생화학물질 등을 감지, 오염원 농도를 측정하고 지뢰 탐사 및 폭탄 제거 기능을 갖고 있다. 이와 같이 무인 화생방 정찰 시스템은 결코 멀리 있는 것이 아니라 지금 바로 우리 앞에 다가와 있는 것이다.

무인 화생방 정찰 로봇 관련 핵심 기술

이러한 무인 화생방 정찰체계를 확보하기 위해서는 첫째, 자율 주행 혹은 원격 조종이 가능한 이동 로봇이 기반이 되어야 한다. 화생방전이라는 특수한 상황에서 활동해야 하므로 정확한 제어는 필수적이다. 무인 화생방 정찰 로봇의 장점을 최대한 활용하기 위해서는 자율 주행이 적합하고, 원격이라 하더라도 원거리 원격 조종이 가능해야 한다.

둘째, 이동 로봇에 부착될 센서이기 때문에 센서의 소형화, 모듈화 및 저전력화 기술 또한 필요하다. 이동 로봇의 제한된 크기와 전원공급의 유한성 및 이동성을 고려해 볼 때 센서의 소형화, 저전력화는 이용 시간을 보다 길게 만들어주고, 모듈화는 여러 가지 대상 장애물들에 대하여 신속하게 효과적으로 대처할 수 있게 해준다.

셋째, 신속하고 정밀한 분석이 가능한 신 개념의 분산 복합 탐지식별 기술, 즉 실시간 센서 기술, 통신기술 및 센서정보 융합기술이 필요하다. 즉 다수의 정찰 로봇들로부터 실시간 센서 정보를 원격 사용자에게 실시간으로 전달할 수 있는 통신 기술이 필요하다. 또한 개별 센서로부터 획득된 정보들로부터 보다 의미있는 고차원의 정보를 효율적으로 생산하기 위한 센서 융합 기술이

개발되어야 한다. 끝으로 구체적 운용개념 및 구성기법에 대한 연구가 필요하다. 효율적인 화방 정찰을 위해서는 기존의 인간에 의한 방식 및 새로운 정찰 로봇에 의한 운용방식의 조화를 통한 새로운 운용방식에 대한 정립이 필수적이다.

무인 화생방 정찰 로봇 기술 연구 현황

화생방 정찰을 위해 유인 차량을 이용하는 것은 인명 피해를 줄이기 위해서는 그 활용성이 제한적이다. 따라서 무인 이동 로봇에 각종 화생방 탐지 센서를 장착하여 필요한 정보를 취합하고 이를 원격으로 전송할 수 있는 시스템이 필요하다. CBRN UGV(Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Unmanned Ground Vehicle)는 이러한 목적을 위해 개발되었다. 그런데, CBRN UGV는 기본적으로 무선 조종 방식으로 자동화된 운행은 불가능하다. 또한 센서의 크기 및 무게로 인해 장착할 센서를 사전에 선택하여야 하므로 알려지지 않은 오염 지역을 탐색하기 위해서는 각기 다른 센서를 장착한 여러 대의 로봇을 운용할 필요가 있다.

국내에서 실제로 화생방용 로봇 기술이 개발된 적이 있다. KIST에서 개발된 롬해즈의 경우 열화상 카메라, 유독가스 탐지기,

방사능 측정기 등이 장착 가능한 위험작업로봇이다. 세계로봇대회 위험작업부문에서 미국, 일본 등 로봇 선진국을 제치고 우승을 차지했을 정도로 그 성능이 검증되었다. 방사능, 화학제 등의 위험 물질이 노출된 현장이나, 폭발, 지진 등의 현장에 무선 원격 조정을 기반으로 작동 가능하며, 실제 화생방용 로봇에 적용할 기술을 많이 포함하고 있다.

한울로보틱스에서 개발된 정찰 로봇의 경우 1km에서의 원거리 원격제어가 가능하다. 원격제어가 가능하다는 장점을 이용하여 카메라, 화학물질 센서, 방사능 센서 등을 장착하여 제어한다면 화생방 정찰로봇으로 이용이 가능하다.

이러한 로봇들에 장착될 화생방 센서기술도 빠르게 개발되고 있다. 화생방전에 이용되는 센서로는 방사능 오염 측정기, 신경작용제 탐지기, 신경, 수포, 혈액, 질식가스 검출기, 유독성 가스, 산소결핍 측정기, 폭발성 가스 검출기 등이 있다. 각 센서마다 민감도, 검출범위, 센서방식, 운용 온도 등이 다르기 때문에 센서들로부터 검출된 정보를 이용해 보다 의미 있는 고차원의 정보를 생산하는 것이 무인 화생방 로봇 기술에서 응용되는 센서기술의 핵심이다. 이와 함께 보다 소형화, 경량화, 센서의 정확도 향상을 위해 국내외적으로 연구되고 있다.

또한 관측된 데이터로부터 실제로 의미 있는 분석 결과를 얻기 위해서는 실시간 센서 기술 및 센서 융합을 통한 정보 처리 기술이 필요하다. 이 중 화생방 센서의 경우 휴대용 제품으로서 외부 인터페이스가 효율적으로 개선되어 로봇과 연계가 용이해지고 있다. 이와 더불어 신속한 정보 전달을 위한 정보 전송 기술이 기반이 되어야 한다. 정보 전송 기술로 이용되는 실시간 유/무선 통신 기술의 경우 현재 여러 가지 방식이 제안되고 있으나 통신 방식에 따라 그 운용의 차이가 있으므로 화생방 정찰을 위한 효율적인 체계가 적립되어야 한다. 이러한 센서 융합, 정보 전송 기술을 기반으로 화생방 오염 환경에서 탐지, 식별, 분석 정보를 융합하여 보다 정확한 오염경로를 추적하는 기술로서 발전시킬 수 있다.

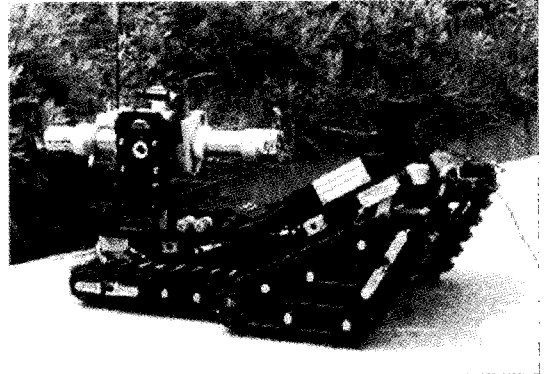


그림 2 KIST의 롬헤즈

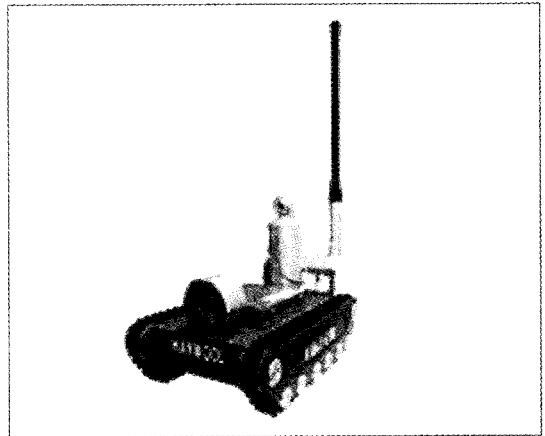


그림 3 한울로보틱스의 정찰로봇

무인 화생방 정찰 로봇의 필요성

전 세계적으로 84개국에 약 1억 2,000개의 지뢰가 묻혀 있는 것으로 알려져 있다. 이는 대인지뢰와 대전차지뢰를 합한 것으로 약 700여 종 달한다. 우리나라는 매설된 지뢰가 약 120만 개로 세계적으로 지뢰가 가장 많이 매설된 국가 중 하나이다. 지뢰에 의한 피해는 살아남은 사람도 불구로 만드는 경우가 많아 장기적인 신체적, 정신적 폐해를 일으킨다.

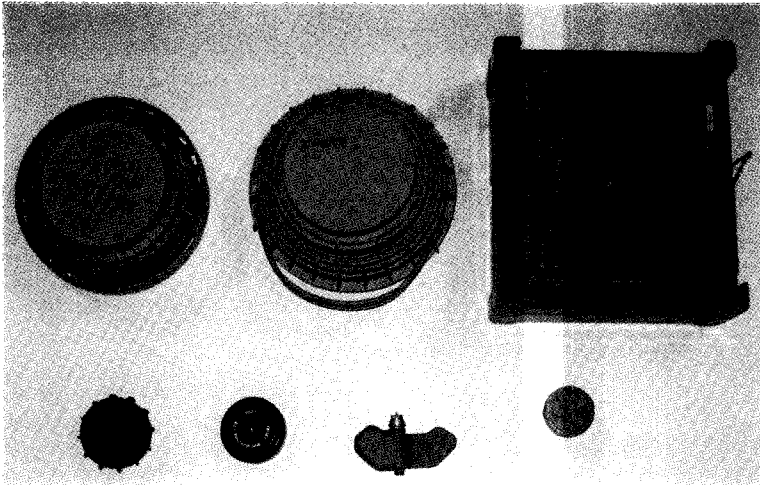


그림 4 대표적인 지뢰의 사진. 윗줄 왼쪽부터 VS-1.6, VS-2.2, TMA-5, TS-50, 지뢰모사 장치, PFM-1, M-14.

또한 매설지역은 인간의 접근을 막아 경제적으로 이용할 수 있는 땅을 황무지로 만드는 경향이 있어 전투 상황이 종료된 후에는 반드시 제거되어야 따라서 안정된 지뢰 제거기술을 개발하고 선점하는 것은 인도주의적 관점을 넘어서서 경제적으로도 매력적일 수 있다. 이러한 이유로 선진국에서는 국가가 주도하여 지뢰 제거 기술을 개발하고 있다.

매설물 탐지기법의 종류

현재 사용되거나 연구개발 중인 기술로 다음과 같은 것들이 있다.

- 탐침(manual probing method): 훈련된 병사가 지면에 엎드려 약 25cm 길이의 금속 탐침을 이용하여 지면을 쑤시며 소리나 촉감으로 탐지하는 방법이다. 이 방법은 탐지율(probabi-

lity of detection)이 약 99.6%에 이를 정도로 정확하여 현재까지 개발된 방법 중 가장 신뢰성 있는 방법이다. 그러나 체계적이지 않고 병사의 신체 상태나 감정 상태에 따라 속도와 신뢰성이 달라지며, 미탐지(miss) 시 병사에게 가해지는 위험도가 매우 크다. 따라서 이 방법은 매우 위험하고, 느리며, 비용이 높다.

- 전자기 유도(electro-magnetic induction): 금속탐지기로 알려져 있으며 가볍고 휴대가 간편하여 개인 휴대장비로 보편화되어 있다. 그러나 광물이 많이 포함된 토양에서 감도가 떨어지며 저금속 또는 비금속 지뢰에 대해서는 효율이 극히 낮다. 또한 대부분의 전투지역과 같이 탄피나 금속파편이 많은 곳에서는 허위경보율이 지나치게 높을 수 있다.

- 적외선(infrared): 물질에 따

라 열방출률(heat release rate)이 다른 현상을 이용하는 방법으로 해상도가 높다. 그러나 날씨에 영향을 많이 받으며 깊이 묻힌 매설물에 대해 효과를 기대하기 어렵다. 또한 낙엽으로 덮인 지면에서 비효율적이다.

- 지면투과 레이더(ground-penetrating radar): 초광대역 임펄스를 지면에 쏘고 돌아오는 전자파를 분석하는 기술이다. 금속지뢰와 비금속 지뢰 모두 탐지가 가능하며 속도가 빠르다. 그러나 현재까지는 작은 대인지뢰에 대해 신뢰성이 낮고 논과 같이 수분함량이 많은 곳에서는 전자파의 투과율이 낮아 비효율적이다. 이 방법에서는 또한 나무뿌리, 공기나 물주머니, 토양의 경계면 등 지하의 거의 모든 현상이 관찰 가능하다. 따라서 적절한 신호처리 기술이 개발되어 허위경보율을 낮아질 경우 가장 안정적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

- 음파(seismic detection): 지면을 진동시킨 후 공기주머니에서의 공진을 관찰하는 기술이다. 대부분의 지뢰는 그 설계 특성상 스프링이나 공이 등의 위치에 공기주머니를 가지게 되므로 신호원에서 발생된 음파가 지뢰 지역을 지나가면 지뢰에서 공진이 일어나 지뢰가 신호원처럼 진동하는 현상이 발생한다. 지면의 진동은 마이크로웨이브 레이더, 음파 마이크(acoustic micro-

phone), 레이저 등을 이용하여 측정할 수 있다. 금속과 비금속 지뢰 모두 탐지 가능하며 수분함량이 많은 곳에서 음파의 전달 특성이 좋아져 오히려 효율적이다. 잡음의 영향이 크고 지면투과 레이더에 비해 스캔 속도가 느린 것이 단점이다.

- 핵사중극 공진(Nuclear Quadrupole Resonance; NQR): 핵자기공진(nuclear magnetic resonance; NMR) 현상의 일종으로 사중극 모멘트를 갖는 원자들에서 고유하게 발생한다. NMR과는 다르게 강한 정자기 필드가 필요 없어서 지뢰 탐지에 사용된다. 지뢰에 사용되는 화약은 모두 사중극 모멘트를 갖는다. NQR에서는 0.5에서 6MHz 대역의 전자파를 이용하여 화약을 여기시킨다. 이후 전자파를 제거하면 화약이 안정된 상태로 돌아가면서 물질 고유의 전자파를 일으킨다. 따라서 NQR로 탐지할 경우 폭발물의 유무와 종류를 알 수 있다. 그러나 돌아오는 전자파가 매우 약하고 AM 라디오 주파수와 중첩되므로 잡음이 심하며 온도에 민감하다. 따라서 반복 측정을 수행하는 과정에서 수초에서 수십초가 걸릴 수 있다.

- 폭약 잔량 측정법(trace chemical): 지뢰를 찾도록 훈련된 개 또는 폭약과 반응 시 형광 반응을 일으키는 형광물질을 사용하는 기술이다. 개를 사용할 경우 개의 반응에 불확실성이 있고,

형광물질을 사용할 경우 분석시간이 길다. 지뢰의 위치를 찾는 것보다 지뢰발의 유무를 판단하는 데 적합하다.

- 기타: 박테리아 추적 등 많은 방법이 연구되고 있으나 대부분 탐지거리가 지극히 짧거나 사용 환경이 제한적이다.

지면투과 레이더

지면투과 레이더는 임펄스 레이더의 일종으로 다양한 환경에서 사용이 가능하다. 지면투과 레이더는 금속과 비금속 물체 모두에 적용 가능하고, 지면 침투 깊이가 깊으며, 지뢰 탐지에 알맞은 해상도를 가지며, 넓은 대상 지역을 빠르게 스캔할 수 있다. 따라서 신뢰성과 스캔 속도, 발전 가능성 등을 종합적으로 판단할 때 지하 매설물 특히 지뢰 탐지에 가장 알맞은 방법이라고 할 수 있다.

고성능의 지면투과 레이더를 개발하기 위해서는 고성능의 안테나가 필요하다. 지면투과 레이더에 요구되는 특성을 갖춘 적절한 안테나를 설계하고 제작하는 기술은 전체 레이더 시스템의 성능을 좌우할 수 있다. 지표투과 레이더의 안테나는 다음과 같은 전기적 특성을 가져야 한다.

- 초광대역에서 작동하고
- 분산(dispersion)이 적어 임펄스 모양의 신호를 복사할 수 있어야 하고

- 레이더 단면적(radar cross section)이 작거나 또는 다중반사(multiple reflection)를 쉽게 제거할 수 있어야 하고
- 근거리 장에서 충분한 원거리장 특성을 가져야 한다.

이러한 특성을 갖춘 안테나로서 저항성 V 다이폴이 있다. 보통 안테나는 협대역 에너지를 원거리 장으로 보내는 데 초점이 맞추어져 있어 효율을 중요시하지만, 저항성 V 다이폴은 광대역 에너지를 근거리 장으로 보내는 데 주목적이 있다. 따라서 저항성 V 다이폴은 효율이 매우 나빠 통신용으로는 사용할 수 없지만, 초광대역에서 작동하고 임펄스를 복사할 수 있으며 레이더 단면적이 작고 근거리 장에서 좋은 특성을 보이므로 지면투과 레이더용으로 적합하다.

적절한 안테나가 개발되고 나면 지면투과 레이더의 설계조건이 상당히 완화된다. 지면투과 레이더를 구현하는 가장 기초적인 방법은 벡터네트워크분석기(vector network analyzer)를 사용하여 펄스 생성기 및 주파수 샘플러로 이용하고 샘플된 데이터를 소프트웨어적으로 처리하는 것이다. 주파수 영역에서 샘플된 신호는 적절한 입력신호와 함께 시영역 신호로 변환되고, 변환된 신호를 이용하여 영상으로 도시할 수 있다. 따라서 이 방법은 하드웨어를 제작하는 절차 없이 여

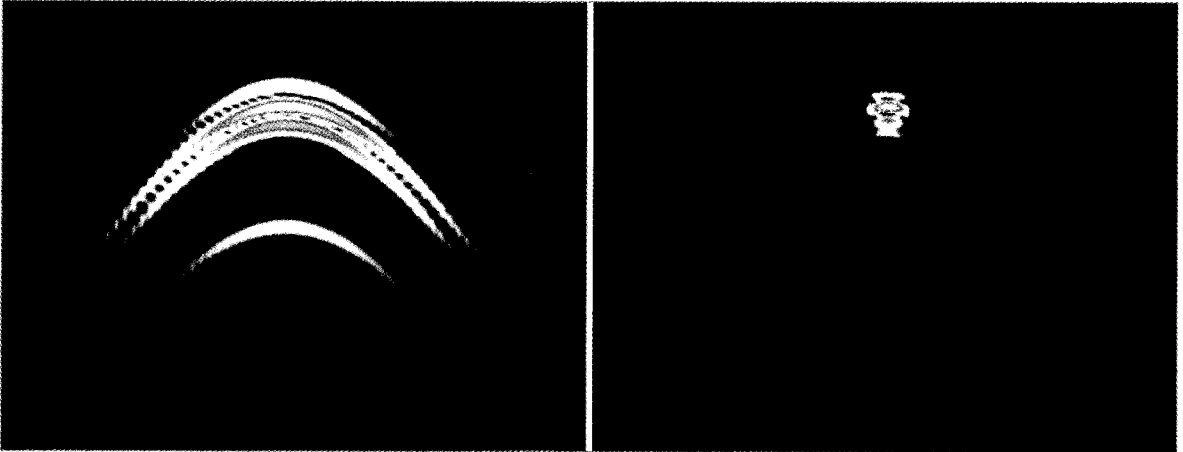


그림 5 금속 투포환의 레이더 영상(좌측)과 f-k 이동(migration) 기법을 이용하여 에너지를 한 점으로 모은 영상(우측)

러 가지 입력신호와 신호처리 기법을 처리할 수 있어 초기의 레이더 개발 단계에 적합하다.

백터네트워크분석기를 이용하여 레이더를 구현한 이후에는 신호처리를 통해 잡신호를 제거하고 처리된 신호를 영상화하는 단계이다. 잡신호는 원하는 신호 이외의 모든 신호로 정의될 수 있는데, 지면투과 레이더에서 가장 큰 잡신호는 지면으로부터의 반사이다. 지면 반사는 매설물에서 반사되는 신호에 비해 상당히 크므로 지면 반사신호를 제거하지 않으면 지면에 가까운 매설물을 관찰하기 힘들다. 이를 제거하기 위해서는 스캔지역의 평균값을 빼는 방법, 주변신호를 빼는 방법 등이 있으나 스캔 환경과 목표

대상물의 크기에 따라 그 성능이 크게 달라져 앞으로 많은 연구가 필요한 분야이다.

잡신호가 제거된 후에는 스캔 지역을 영상으로 도시한다. 도시된 영상에서 매설물의 궤적은 쌍곡선형으로 나타난다. 이러한 쌍곡선 궤적은 신호처리 기법에서 매설물의 위치 추적에 아주 중요한 단서로 작용한다. 예를 들어 영상에서 쌍곡선을 추적하여 꼭짓점을 찾아 매설물의 위치와 깊이를 알아낼 수 있다. 그러나 우리는 대부분 목표물이 영상의 한 부분에 점으로 나타나길 원한다. 이를 위해서는 신호를 이동(migration)시켜야 한다. 따라서 여러 가지 이동 알고리즘에 대한

연구가 현재 진행되고 있다.

현재 지면투과 레이더는 많은 연구와 함께 빠른 발전을 하고 있다. 선진국의 실험실 수준 연구 결과를 보면 실제 지뢰를 매설한 후 매설지역을 스캔하여 거의 가시광선으로 보는 듯한 영상을 생성하기도 하며, 생성된 영상을 바탕으로 매설물의 위치와 깊이, 그리고 종류를 알아내기도 한다. 현재 우리나라의 기술 수준은 장비와 인력 면에서 선진국에 뒤지지 않으므로, 이러한 수준의 연구는 2, 3년 내에 도달이 가능할 것으로 보이며 적절한 지원이 뒷받침될 경우 5, 6년 후에는 지면투과 레이더 분야를 선도할 수 있으리라 생각된다.