

지뢰탐지 센서의 기술동향



李 俊 雄

한국과학기술정보연구원
전문연구위원, 공학박사

지뢰 제거에서 가장 중요한 요소는 지뢰의 탐지인데, 현재 이용되고 있는 장비들의 성능에는 나름대로의 장·단점들이 있어 주로 미국과 유럽에서 새로운 지뢰의 센서기술을 개발하려는 노력이 대단히 활발하게 이루어지고 있다.

캄보디아나 아프간 등 전쟁 또는 내전의 후유증으로 제거되지 않고 방치된 무수히 많은 지뢰들에 의해 민간인들의 피해가 계속되자 UN을 중심으로 한 소위 '인도적 지뢰제거' (Humanitarian Demining) 사업이 펼쳐지게 되면서 선진국을 중심으로 이 분야의 연구개발 예산이 늘어나기 시작하였다.

- 필자 주 -

지금 우리나라에서는 1953년 휴전 이후 처음으로 경의선과 동해선의 연결공사를 위한 비무장지대 내에서의 지뢰제거작업이 2002년 9월 19일 남북한의 동·서 지역에서 동시에 착공하여 12월 10일 완료되었고, 2003년 2월 5일 금강산 육로관광을 위한 육로 사전 답사가 이루어지는 등 역사적인 일들이 이루어지고 있다.¹⁾

그간 지뢰문제는 캄보디아나 아프가니스탄 등에서 주로 민간인들이 불의의 사고로 인한 피해가 보도되어 간혹 우리의 관심을 끌어오고 있으나, 언젠가 이루어질 남·북 통일을 염두에 둔다면 휴전선을 가운데 두고 남북으로 걸쳐 있는 비무장지대의 광대한 땅에 무수히 매설되어 있는 지뢰의 탐지 및 제거는 먼 나라의 문제만이 아니라는 것이 우리의 현실이다.

비무장지대의 지뢰제거는 남·북의 훈련된 병사들에 의해 가용한 최신의 장비를 동원하여 가장 안전한 방법으로 행하고 있다고는 하나, 나무나 숲이 우거진 지형에서 지뢰를 정확하게 탐지하고 이를 안전하게 제거하는 것이 여전히 위험하고 어렵다는 것은 지뢰 제거 작업 중에 북한군 병사 한 명이 부상당했다는 보도로도 알 수 있는 사실이다.²⁾

지뢰의 제거에서 가장 중요한 요소는 지뢰의 탐지인데, 현재 이용되고 있는 장비들의 성능에는 나름대로의 장·단점들이 있어 주로 미국과 유럽에서 새로운 지뢰의 센서기술을 개발하려는 노력이 대단히 활발하게 이루어지고 있다.

전술한 대로 캄보디아나 아프간 등 전쟁 또는 내전의 후유증으로 제거되지 않고 방치된 무수히 많은 지뢰들에 의해 민간인들의 피해가 계속되자 UN을 중심으로 한 소위 '인도적 지뢰제거' (Humanitarian

Demining)사업이 펼쳐지게 되면서 선진국을 중심으로 이 분야의 R/D 예산이 늘어나기 시작하였다.³⁾

이상적인 지뢰탐지는 어떠한 지형이든지간에 거의 100%에 가까운 지뢰를 신속히 찾아내되 '오경고' (False Alarm)를 최대한 줄여야 한다.

예를 들면 UN은 99.6%의 탐지성능을 요구하고 있으며, 미국은 1.25m² 당 한 번 이내의 오경고를 허용하는데, 현재의 기술로는 이러한 기준을 만족시키는 탐지장비는 존재하지 않는다.⁴⁾

지뢰와 관련된 실상

우리 나라의 경우 거의 대부분의 지뢰가 군사적인 목적으로 휴전선을 중심으로 매설되어 있고, 현재 남·북의 화해분위기가 조성되고 있다고는 하나, 군사적으로 대치하고 있는 것이 현실이기 때문에 1997

육군 무적부대 지뢰탐지 전담팀 요원들의 임진강변 유실지뢰 탐지작전 모습



전 세계적으로 매설된 지뢰 현황

국 가	매설 지뢰 (백만 개)	제거된 지뢰	지뢰지대 면적 (km ²)	제거된 면적 (km ²)	인 명 피 해
아프가니스탄	10	158,000	550~780	202	300~360/월
앙 골 라	15	10,000	미확인	2.4	120~200/월
보 스 니 아	3	49,010	300	84	50/월
캄 보 디 아	6	83,000	3,000	73.3	100/월
크 로 아 티 아	3	8,000	11,910	30	677
이 집 트	23	11,000,000	3,910	924	8,310
이 란	16	200,000	40,000	0	6,000
이 라 크	20	37,000	미확인	1.25	6,715
라 오 스	-	251	43,098	미확인	16~18/월
모 잠 비 크	3	58,000	미확인	28	1,759
소 말 리 아	1	32,511	미확인	127	4,500
수 단	1	미확인	800,000	0	700,000
베 트 남	3.5	58,747	미확인	65	180/월

년의 '인도적 대인지뢰 금지협약', 일명 오타와 협약에도 가입하지 못하고 있는 실정이다.

그렇기 때문에 국내의 실상을 언급하기에는 문제가 많지만,⁵⁾ 전술한대로 지뢰와 관련해서 통일에 대비하는 우리의 자세가 아쉬울 뿐만 아니라, 국제적으로도 인도적 지뢰제거 사업에 전혀 참여하지 않고 있다는 점은 정책적으로 재고해야 할 사항이라고 본다.

한편 인도적 지뢰제거라는 관점에서 세계적인 실상을 살펴보면 다음과 같다.⁶⁾

- 미국 국무성의 추산에 의하면 전 세계 64개 국가에 약 8천 4백만 개에서 1억 개의 지뢰가 제거되지 않고 있다.

- 이러한 지뢰로 인해서 매 달 약 2000명 정도의 인명피해가 발생하고 있다.

- 지뢰 한 개를 제거하는 데는 약 200달러에서 경우에 따라서는 1000만달러 정도가 소요된다.

- 현재 지뢰가 민간인들에게 피해를 주고 있는 나라들은 앙골라, 아프가니스탄, 보스니아-헤르체고비나, 캄보디아, 크로아티아, 이디오피아, 이라크, 모잠비크, 르완다, 소말리아, 수단, 유고슬라비아 등이다.

- 아프가니스탄, 보스니아, 캄보디아와 모잠비크에서는 약 50만 이상의 가정에서 지뢰로 인해서 가족

을 잃거나 불구가 되어 가족관계에 심대한 영향을 미치고 있다.

- 경작이 가능한 토지가 매설된 지뢰로 인하여 쓸모없는 땅으로 방치됨으로써 엄청난 사회적인 비용이 낭비되고 있다.

위의 표에는 전 세계적으로 묻혀 있는 지뢰의 분포와 현재까지 제거된 상황을 요약해 놓았다.⁷⁾

지뢰제거는 잠재적으로 대단한 위험이 내포되어 있기 때문에, 탐지하고 제거하는 소위 'demining'이 특별하게 중요하다.

수작업에 의한 지뢰제거는 대단히 위험하다. 예를 들면 매 2000개의 지뢰를 제거할 때마다 한명의 작업자가 희생되고, 민간인의 피해는 더욱 클 것으로 조사되고 있다.

미국은 2000년과 2001년에 총 1억 3천 8백만달러를 지뢰제거에 투자하였으나 이 기금으로 제거된 지뢰의 양은 빙산의 일각에 불과하다.⁸⁾

2000년 1년 동안에만 약 200,000개의 지뢰가 제거되었지만 같은 해에만 약 2백만 개의 새로운 지뢰가 매설된 것으로 추정된다.

UN의 추정에 의하면 설혹 지뢰가 새로이 매설되지 않는다 하더라도, 지금과 같은 지뢰제거속도라면 지

지뢰의 유형별 제원

유형	UXO	ATM	APM
표적	불특정	차량/전차	대인
무게	다양	6~11kg	0.1~4kg
크기	다양	13~40cm	6~15cm
용기물질	금속	금속, 플라스틱	플라스틱

구상의 모든 지뢰를 제거하는 데는 약 100년이 소요된다고 많은 전문가들이 내다보고 있다.

지뢰의 종류

지뢰에는 대전차지뢰(Antitank mine, AT)와 대인지뢰(Antipersonnel mine, AP)가 있는데, 대전차지뢰는 부피가 크고 위력은 강하지만 탐지가 용이한 반면, 대인지뢰는 부피도 작고 플라스틱 용기에 화약이 들어 있는 경우가 많아 상대적으로 찾아내기가 어렵다.

문제는 대전차지뢰의 제거를 방지하기 위하여 두 종류의 지뢰가 혼합해서 매설되는 경우가 많고, 매설된 지형 또한 바위, 모래, 흙, 개활지, 숲 등 실로 다양해서 현재 가용한 금속탐지장비로는 설혹 부피가 큰 대전차지뢰를 발견했다 하더라도 인접해서 매설되어 있을 수도 있는 대인지뢰를 탐지하지 못하면 지뢰제거 작업에 큰 위험이 뒤따르게 될 수도 있다.⁹⁾

위의 표에는 두 종류의 지뢰와 불발탄(Unexploded Objects : UXO)들의 전형적인 제원을 나타내었다. 일반적으로 UXO라 함은 불발된 포탄이나 폭탄을 의미한다.

아래 오른쪽 사진은 전형적인 대전차지뢰들의 사진인데 왼쪽의 TM-62M은 직경이 31cm나 되는 규모가 큰 지뢰로서 금속 용기에 화약이 담겨져 있다. 이 지뢰의 뇌관은 상당히 둔감해서 접근해도 위험하지 않다. 반면에 오른쪽의 TMA-2는 용기를 플라스틱으로 만든 대전차지뢰이다.

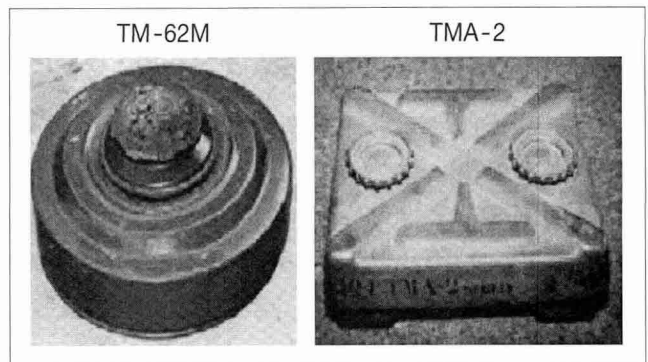
아래의 사진은 다양한 종류의 대인지뢰들의 사진인데, 이들은 크기가 작고 대개 플라스틱 용기에 화약이 담겨져 있기 때문에 만약 이런 지뢰들이 땅 속에 묻혀거나 지표상에 살포된 후 식물들로 뒤덮여 있으면 이들을 찾기가 극히 어려울 것이다.

센서의 중요성

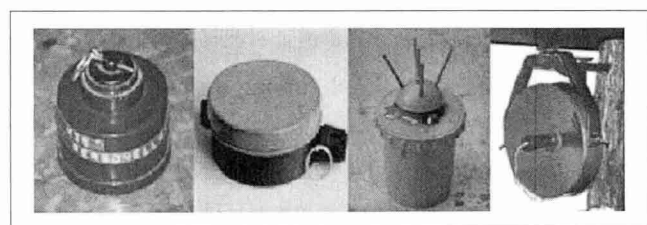
금속용기의 지뢰는 물론 금속이 아닌 용기에 화약이 담겨져 있는 소형의 대인지뢰들을 제거하기 위해서는 우선 이들을 효과적으로 탐지해야 한다.

앞에서 언급한대로 일반적으로 잘 알려진 금속탐

대전차지뢰



전형적인 대인지뢰



지기는 대형의 대전차지뢰에는 효과적이거나 기타 소형이거나 더욱이 플라스틱으로 만든 지뢰에는 효과가 없기 때문에 다양한 센서들이 연구/개발되고 있다.

여기에는 음향, IR, Laser, UV, mm파, 중성자 4극자 공명, 열중성자 분석 등 그야말로 현대 물리학의 가능한 거의 모든 탐지기술을 총 동원하여 다양한 센서들이 제안되고 있고, 일부는 실용화단계에 있는 것들도 있다.

이 글은 이들 센서들에 대한 종합적이고도 체계적인 조사를 실시하여, 이들 센서기술의 현재 수준을 알아보고, 향후의 발전 방향을 예측하여 이 분야 연구에 관심이 있는 과학자들에게 도움을 주고, 우리나라에도 조만간 닥쳐올 지뢰제거 문제뿐만 아니라, OECD 회원국답게 인도적 지뢰제거 사업에도 적극 참여할 수 있도록 정책 입안자들의 관심을 제고하기 위한 것이다.

현재 가용한 센서들¹⁾

● 화약 탐지건

현재 전 세계적으로 가장 많이 이용되고 있는 화약 탐지 센서는 개과 동물의 후각 능력을 이용하는 탐지건이다.

그 동안 탐지건은 주로 공항이나 다른 안전을 요하는 지역에서 공기 중에 포함된 미소한 양의 화약이나 마약 등의 냄새를 탐지해 왔으나, 아프가니스탄에서 처음으로 이들 탐지건이 인도적 지뢰탐지에 사용된 것이 계기가 되어 지금은 가장 널리 그리고 가장 성공적으로 활용되고 있는 방법이다.

개를 훈련시킨다는 것이 대단히 어렵고 또 장시간이 소요되고, 또한 개를 탐지작업에 사용한다는 것이 과학적인 접근은 아니지만, 이 방법은 인도적인 지뢰제거 작업을 수행하는 대부분의 기관에서 일단 다른 수단으로 지뢰제거작업을 끝낸 후에 소위 '품질관리'(Quality Control)차원에서 탐지건을 이용하여 지뢰가 확실하게 제거되었는지의 여부를 확인하는데 사용되

기 때문에 탐지건을 이용하여 지뢰 하나하나를 탐지하는 경우는 드물다.

현재 탐지건의 사용은 계속 늘어나고 있는 추세이고, 전 세계적으로 약 500마리 정도가 활동하고 있는 것으로 알려져 있다.¹⁰⁾

● 매뉴얼 방법

인도적 지뢰제거 작업에서 지뢰를 탐지하고 제거하는 작업은 우선적으로 수작업에 의존하는 경우가 많다. 지뢰를 제거하기 위해서는 우선 탐지부터 해야 하는데, 일단 탐지만 되면 이것을 제거하거나 폭파시키는 일은 비교적 용이하다.

이 경우 주로 금속탐지기에 의존하게 되는데, 탐지기의 경고음이 울릴 때마다 탐침봉으로 찢러본다든가 또는 사람이 직접 파보아야 하는데, 이때의 문제는 금속탐지기는 지뢰, 불발탄, 쇠 조각 등을 구분할 수가 없고, 특히 전투가 벌어졌던 지역에는 많은 양의 파편 조각들이 산재해 있기 때문에 실제 지뢰 한 개를 찾아내는 데는 보통 100번에서 많게는 1000번까지도 경고가 울리는 경우가 있다

● 금속탐지기

대부분의 금속탐지기는 약 100KHz의 낮은 주파수의 전자기파를 이용하는 센서를 사용한다. 이러한 센서는 땅 밑에 얇게 묻혀 있는 금속 물체를 탐지할 수 있는데, 제한적이기는 하지만 간접적으로 매설물의 깊이, 모양, 크기 등의 정보를 알아낼 수 있다.

금속을 탐지하는 또 하나의 방법은 자화 물질이 지구의 자기장을 변화시키는 특성을 이용하는 기법으로, 이 방법은 항공기나 수상 함정에서 수중의 잠수함을 수색하는데 이미 활용되고 있다.

* 자기장 센서(Magnetometer)

자기장 센서는 자성이 있는 물체가 유도(Induced) 또는 잔존자화(residual Magnetization)를 통해 지구 자기장에 미치는 변화를 탐지하여 금속 물체의 존재 여

부를 알아내는 센서이다.

이러한 장치를 자기계(磁氣計, Magnetometer)라고 하는데 불발탄과 같이 큰 자성물체를 찾아내는데 효과적이고, 수 미터 깊이의 물체도 탐지할 수 있다. 이 방법은 특히 항공기가 바다 밑의 잠수함을 찾는 데도 이용되는데, 거대한 자화물질인 잠수함이 지구 자장을 외곡 시키는 소위 Magnetic Anomaly를 탐지하여 잠수함을 찾아내는 기술이다.

* 전자기파 유도 장치

(Electromagnetic Induction Devices : EID)

우리가 보통 '금속탐지기'라고 부르는 전자기파 유도 장치는 얇게 묻혀 있는 소량(1g 미만)의 금속을 탐지할 수 있는 장치를 말한다. 이 장치는 탐지견과 더불어 현재 가장 널리 사용되고 있고, 앞으로도 당분간은 이 장치가 계속 이용될 전망이다.

EID는 탐지센서로 코일이 사용되는데, 이 코일에 시간에 따라 변화하는 전류를 흘리면 주변에 유도 자기장이 형성되고 이 일차적인 자기장은 금속물체에 유도전류(Induction Current)를 발생시켜, 이 전류가 다시 2차적인 자기장을 만든다.

이 2차 자기장이 수신 코일에 유도 전위차를 발생시켜 이것을 음향신호로 바꿔서 금속의 존재를 확인하는 장치이다.

이 2차 자기장의 세기는 물체의 종류, 방향, 모양 및 크기 등 많은 시간적 공간적 변수에 따라 변화한다.

2차 자기장은 코일의 일차 자기장에 의해 전도성 물질에 유도되는 유도전류 때문에 발생하는 것이기 때문에 전기 전도도가 낮은 금속이나 자화가 되지 않는 스테인리스강(Stainless Steel) 등은 탐지가 어려운 반면, 자성 물질은 오히려 신호가 증폭된다.

반경이 R인 원형 코일의 경우 코일로부터 거리 Z에서의 1차 자기장의 세기는 $R^2/(R^2 + Z^2)^{3/2}$ 에 비례하기 때문에 결국은 이 자기장의 세기는 거리가 멀어짐에 따라 거리의 3승에 반비례하여 급격히 감소한다.

또한 2차 자기장이 발생하여 수신 코일까지 도달해

야 한다는 점까지 감안하면, 작은 물체로부터 발생하는 신호를 여러 잡신호로부터 구별할 수 있는 장치를 제작하는 기술이 고난도임을 알 수 있다.

$Z \approx R$ 정도의 근거리에서는 코일이 작을수록 탐지 감도는 높아지나, 반경이 큰 코일보다는 탐지 깊이나 탐지 속도면에서 불리해진다.

금속탐지기는 신호를 보내는 방식에 따라서 연속주파수(Frequency Domain, 또는 Continuous Wave) 방식과 펄스(Time Domain, 또는 Pulse) 방식으로 나뉜다.

아직까지는 근거리에 있는 작은 물체를 탐지하는데 유리하다는 이유로 연속주파수 방식이 선호되고 있으나, 바닷물이나 전도성 광물질이 많이 함유된 토양에 유리한 펄스 방식으로 점차 전환되는 추세이다.

(다음호에 계속)

註

- 1) 연합뉴스, 2002. 12. 9
- 2) 중앙일보, 2002. 12. 18
- 3) www.mineactioncanada.com
- 4) Stull, S., 'LANDMARC, Making Land-Mine Detection and Removed Practical', S & TR, LLNL, Nov. 1997
- 5) '대인지뢰에 대한 정부의 입장', www.ksdn.or.kr/resource/scd14/scd140005.htm
- 6) 'Mine Fact', www.minedet.etro.vub.ac.be/groundbase/minifacts/html/minief
- 7) Paik, J., Lee, C. P., Abidi, M. A., 'Image Processing-based Mine Detection Techniques', Subsurface Sensing Technologies and Applications, 3(3), 153-202, July 2003
- 8) The UN Mine Action Service, www.un.org/depts/dpko/mine
- 9) 이준웅, '지뢰탐지의 새로운 핵심기술', 뉴스 브리프, 2003 http://analysis.kisti.re.kr,
- 10) Lark, B., Proceedings, Demining Technology-International, Exhibition, Workshop, and Training Courses, A. Sieber(Ed.), 29 Sept.-1 Oct., 1998, Ispra(VA), Italy, p101, EUR 18682(1998)
- 11) Bruschini, C., De Bruyn, K., Sahli, H., Comelis, J., 'Study on the State of the Art in the EU related to Humanitarian Demining Technology, Products and Practice', EU in Humanitarian Demining, Final Report, Brussels, July 30, 1999