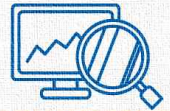


전자자 유해발굴 사업의 디지털 전환을 위한 ICT 기술 개발 이슈

정지형 · 한역수



본 보고서는 ETRI 기술정책연구본부 주요사업인 "국가지능화 기술정책 및 표준화 연구"를 통해 작성된 결과물입니다.



본 보고서의 내용은 연구자의 견해이며 ETRI의 공식 의견이 아님을 알려드립니다.

본 보고서는 ETRI 내부용으로 작성되었습니다. 내부 전략 등 비공개 내용을 포함하고 있거나, 시장조사 전문기관의 자료 인용에 따른 저작권 문제 등이 발생할 수 있으니 외부 유출을 삼가 주시기 바랍니다.



목차

핵심 요약	1
I. 연구 개요	5
1. 연구 목적	5
2. 연구 배경	5
3. 유해발굴 사업의 디지털 전환 필요성	7
II. 전사자 유해발굴을 위한 기술적 해법 탐색	11
1. 현장의 수요 분석	11
2. 전사자 유해발굴을 위한 기술적 대안의 탐색	16
(1) 현장 수요에 기반한 개발 필요 기술 도출	16
(2) ICT 기반 유해발굴 기술 구현의 방향 설정	17
(3) 지중탐지기술의 개발 방향 탐색	18
(4) 유해인식 AI 기술의 개발 방향 탐색	23
(5) 험지극복형 이동장비 개발 방향 탐색	25
3. 유해발굴을 위한 통합적 기술 개발 및 활용 전략	27
III. 유해발굴의 디지털 전환을 위한 시사점	33
참고문헌	37





[표 1-1] 유해발굴 실적 현황	6
[표 2-1] 유해발굴 작업 상황과 환경	13
[표 2-2] 유해 매물 깊이	13
[표 2-3] 유해발굴 신기술에 대한 현장 수요	15
[표 2-4] 지중탐지 관련 시장 및 기술동향 요약	19
[표 2-5] 지중탐지기술 대안별 특징 및 장단점 분석	20
[표 2-6] 지중탐지기술 개발 방향	22
[표 2-7] 유해인식 AI 관련 시장 및 기술동향 요약	23
[표 2-8] 유해인식 AI 기술 개발 방향	24
[표 2-9] 험지극복형 이동장비 관련 시장 및 기술동향 요약	25
[표 2-10] 험지극복형 이동장비 기술 개발 방향	26
[표 2-11] 개발할 수 있는 기술의 수요 충족 가능성	27
[표 2-12] 전사자 유해발굴 사업의 디지털 전환을 위한 기술 개발 우선순위	31



[그림 1-1] 현행 전사자 유해발굴 및 감식 절차	8
[그림 1-2] 발견된 유해의 실제 사례	9
[그림 2-1] 현장 수요기반 기술적 해법 탐색 Work-flow	11
[그림 2-2] 발굴현장의 작업 환경 예시	12
[그림 2-3] 유해 매몰 깊이 예시	14
[그림 2-4] ICT 기반 유해발굴 기술 구현 개념도	17
[그림 2-5] 현장 활용성과 기술개발 가능성 기반 기술 대안 분석	29
[그림 2-6] 기술 탐색 및 개발 우선순위 도출 과정	30

핵심 요약

12만 3천여 위 6.25 전사자의 유해 발굴은 국가 보훈 사업의 필수 과제인데 효과적인 지중 탐사기술 등의 부족으로 유해 탐지와 발굴에 어려움을 겪고 있다. 현재의 발굴방식을 고수한다면 유해발굴 완료까지 최대 240년 이상 소요될 것으로 보인다. 유해발굴 사업의 진척을 가로막고 있는 기술적 한계는 정확한 유해발굴 지역 예측 및 결정이 어렵다는 점이다. 이에 본 고에서는 전사자 유해발굴 사업의 디지털 전환을 위한 기술적 대안을 탐색하고 기술 개발 전략을 제안하고자 한다.

『 유해발굴 사업을 위한 신기술 개발의 필요성 』

6.25 전사자 유해발굴 사업의 진척이 느린 가장 큰 이유는 현재 전사자 유해 매몰 지점을 추정하는 방식이 매우 부정확하다는 점이다. 전사자 유해 매몰 지역을 알아내기 위해 국방부 산하 유해발굴감식단 소속 전문가들이 짧게는 1개월, 길게는 수년에 걸쳐 증언, 제보를 수집하고 전투기록을 분석함에도 그 정확성은 높지 않다. 또한 매몰 의심 지역 내 발굴 지점을 결정하기 위해서 금속탐지기를 활용해 탄피 등 유류품을 탐색하는데 유해와 유류품이 함께 발견되는 경우가 적어 효과적인 방법이 못 되는 형편이다.

발굴 지점을 결정하고 굴토에 돌입한다 해도 이미 70년 가까이 지하에서 부패가 진행되고 나무뿌리, 벌레 등에 의해 침식당한 유해를 발굴 작업자가 구별하기 어려워 발굴 중 유해 훼손 위험이 있다는 문제도 있다. 정확한 유해 매몰 지점을 파악하고, 유해 훼손 위험 없이 효과적으로 발굴을 진행하기 위한 새로운 작업 방식과 기술 활용이 요구된다.

『 유해발굴 현장의 기술 수요 분석 』

전투 중 손상을 입었고 수십 년 간 부패까지 진행된 유해를 발굴하기 위해 ICT 기술을 개발하고 활용한 사례가 없기에 기술 개발에 있어서 가장 중요한 것은 현장의 수요 분석이다. 유해발굴 전문가인 국방부 유해발굴감식단 소속 전문가 그룹에 대한 의견조사와 현장 상황 분석 등을 통해 산악 지형에서 지중 2미터에 매몰된 1센티 길이의 인골을 탐지하는 기술이 현재 가장 요구되는 기술임을 파악했다.

하지만 이러한 기술 수요는 현재 개발 가능한 기술 수준과 방향을 고려하지 않은 순수한 현장의 수요라는 한계가 있다. 또한 현장 전문가가 문제를 바라보는 시각은 기존 발굴 작업



방식에 종속적이라는 점, AI 등 최신 기술 동향에 대한 기반 지식이 부족하다는 점 등도 기술 개발 전략 구성에 제약으로 작용하는 것으로 보인다.

〈 유해발굴 현장 전문가의 기술 수요 종합 〉

구분	기술 수요 내용
매몰된 유골 탐색	<ul style="list-style-type: none"> - (탐지 분해능) 최소 1cm 이상 탐지 가능 (치아 등) - (탐지 깊이) 최대 2m, 위치 오차 0.5m이하 - (유골 인지) 동물과 인간의 뼈 구분, 부분유해 등 유해형태별 구분
HW 혐지활용성	<ul style="list-style-type: none"> - 개인호 및 교통호 내에서 운용 - 불규칙한 지형에서도 전복없이 작동 - 급경사 등판능력 40도, 장애물 30cm 이내 - 수목 및 잡목이 많은 지역에서도 탐지, 운용이 가능 - 원격 조정, 송수신 기능 (운용거리 1km 이상)
HW 운용 특성	<ul style="list-style-type: none"> - 장비 경량화 및 휴대성 용이 (완전군장 기준 5Kg, 단독군장 기준 15kg) - 내충격성과 내구성 - 전천후 운용 가능 - 배터리로 1일 24시간 이상 운용 가능

※ 출처: 국방부 유해발굴감식단 내부 자료

『 유해발굴을 위한 신기술 개발 방향 』

전사자 유해발굴을 위한 기술적 해법 탐색은 유해발굴 전문가가 제기한 애로사항과 기술 수요에 기반해 활용 가능한 기술적 대안을 찾는 것으로 시작되었다. 출연기관, 대학 등에 소속된 기술 전문가 그룹에 대한 인터뷰, 자료 조사 등을 통해 유해발굴 효율 제고를 위한 기술적 해법은 지중탐지기술, 유해인식 AI, 혐지극복형 이동장비 등 세 줄기로 파악되었다. 특히 땅을 파헤치지 않고 땅 속에 묻힌 인간의 뼈를 탐지하는 지중탐지기술이 유해발굴을 위한 기술 개발에 있어서 핵심인 것으로 의견이 모아졌다. 지중탐지기술이 더 깊은 땅 속, 더 작은 뼈까지 더 정밀하게 탐지할 수 있어야 발굴 지점을 정확하게 선정할 수 있게 된다.

개발 가능한 기술 수준과 기술 성능별 상관관계를 파악하고 통합 분석한 결과, 지중탐지 깊이와 탐지 분해능의 상반관계(trade-off)가 기술 개발에 있어서 가장 중요한 변수로 파악되었다. 본 연구에서는 분해능 확보에 더 높은 우선 순위를 둔 기술 개발 전략을 제안한다. 보다 세밀한 지중 이미지를 얻을 수 있어야 땅 속 유해 존재를 판단할 수 있다는 점, 그리고 탐지 깊이가 현장의 수요보다 조금 부족하더라도 반복적 굴토를 통해 한계 극복이 가능하다는 점에 기반한 전략 제안이다.

지중탐지를 위한 중점 개발 기술로 반사형 엑스레이와 GPR 등 2개를 제안한다. 지중탐지를 위한 대안으로 고려되었던 SAR(Synthetic Aperture Radar), 초음파 등 기술은 각각 유기물 탐지, 불균질한 매질에서의 활용성에 약점이 있다고 분석되었다.

유해인식 AI는 최근의 이미지 인식 AI 기술의 발전으로 다양한 알고리즘 활용이 가능해졌다는 점이 고무적이다. 총알, 폭발물 등에 의한 손상, 긴 세월 부패를 겪으며 발생한 손실 등에도 AI가 전자사 유해를 인식하기 위해서는 충분한 데이터의 확보, 유해 손실 부분 복원 기술 개발 등이 관건인 것으로 파악된다.

힘지구복형 이동장비 개발은 현 시점에서는 유해발굴 현장의 산악지형 등에서 활용 가능한 장비의 기능적, 형태적 요구를 구체화하는 개념 설계만 추진하는 것을 제안한다. 실제 하드웨어를 개발하기에는 개발 기간과 예산 대비 효용이 떨어질 것으로 예측된다. 이동장비는 지중탐지기술과 유해인식 AI 등 선결 기술이 구체화되고 로봇, 로버 관련 요소 기술이 성숙된 시점에서 개발 전략을 다시 고민하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

〈 전자사 유해발굴 사업의 디지털 전환을 위한 기술 개발 우선순위 〉

구분	기술개발목적 및 목표수준	기술개발내용	우선순위
반사형 엑스레이	<ul style="list-style-type: none"> •(목적) 매물 유해 탐지와 이미지 획득 •(목표) 탐지깊이 20cm, 분해능 0.3cm 	<ul style="list-style-type: none"> •HW 모듈 최적화 •탐지분해능 향상 기술 •고속화 및 입체영상 변환 	1
GPR	<ul style="list-style-type: none"> •(목적) 매물 유해 탐지와 이미지 획득 •(목표) 탐지깊이 20cm, 분해능 1cm 	<ul style="list-style-type: none"> •고분해능 레이더 시스템 •어레이 데이터 처리 기술 •영상처리 기술 	3
유해인식 AI	<ul style="list-style-type: none"> •(목적) 지중 유해의 인지 •(목표) 1cm 크기 인골 인지 	<ul style="list-style-type: none"> •손실 부분 복원 기술 •전자사 유해 특징 학습 •非유해 물질 특징 학습 •설명가능한 유해 인지 AI 	1
SAR	<ul style="list-style-type: none"> •(목적) 지상의 금속물 전투흔적 탐지 •(목표) 드론 탑재형 SAR 	<ul style="list-style-type: none"> •잡목 투과형 저주파 SAR 영상 형성 기술 •경량화 SAR 기술 	5
초음파	<ul style="list-style-type: none"> •(목적) 균일매질 하 유해 탐지 •(목표) 탐지깊이 20cm, 분해능 0.3cm 	<ul style="list-style-type: none"> •초음파 어레이 소자 기술 •초음파 신호 처리 기술 •실시간 영상 획득 기술 	5
힘지구복형 이동장비 개념 설계	<ul style="list-style-type: none"> •(목적) 힘지구복형 이동장비의 기능, 형태 관련 개념 설계 도출 •(목표) 기술적 요구 사항의 구체화 	<ul style="list-style-type: none"> •극험지 이동체 탐사 기술 개념 설계 •극험지 자율탐사 기술 개념 설계 •극험지 운용통제 기술 개념 설계 	4

※ 국방부 요구사항과 기술 개발 목표와의 부합도 등을 토대로 자체 평가한 자료임



『 전사자 유해발굴 사업의 디지털 전환을 위한 시사점 』

본 연구에서는 세계적으로 전례 없는 전사자 유해발굴의 디지털 전환을 위한 기술 개발 수요와 기술 개발 전략에 대해 살펴보았다. 본 연구에서 제시된 유해발굴을 위한 기술 개발 전략과 기술 개발 우선순위 등은 현장 전문가와 기술 전문가의 광범위하고 엄밀한 검증 전에 제시한 기술 전략 제안으로 보아야 한다. 국방부 유해발굴감식단 소속 전문가, 출연기관 및 대학의 기술 전문가 등에 의한 상세 기술 개발 기획은 추후 별도로 다시 진행될 예정이며 현 단계에서는 소수 전문가들의 아이디어 개발, 의견 조사, 토의 등을 거쳐 추진 가능하리라 생각되는 기술 개발 전략을 제안한 것이다. 현장 수요자와 기술 전문가의 전문적 식견을 통합, 조정하며 기술 개발 전략안을 개발하는 과정에서 얻어진 시사점은 다음과 같다.

우선 전사자 유해발굴이라는 매우 이례적이고 특수한 사업의 효율 개선은 발굴현장에 대한 집중적 체험과 분석이 필수적이라는 점을 지적해야겠다. 단순히 현장 전문가의 의견 수집과 분석에서 나아가 전사자 유해발굴 현장 답사, 현장 작업 병력의 의견 청취 등이 기술 개발 전략 도출에 있어서 결정적 전환점이었다. 향후 진행되어야 할 유해발굴 사업의 기술 개발 전략에 대한 상세 검토에 있어서도 현장의 특수성에 대한 체험과 적극적인 소통이 필수적일 것이다. 기술 전문가 입장에서 본 기술 개발 또는 기술 고도화가 아닌 문제 해결이 우선이라는 인식이 필요하다고 보여진다. 본 연구 과정에서는 기존 기술 고도화 관점에만 집중한 기술 개발 방향이 제시되면서 실제 유해발굴 문제해결이 불가능한 계획이 만들어지는 사태가 발생하기도 했다. 땅 속의 유해를 더 정확하게 찾는 방안을 추구하기 보다 탐지 깊이와 분해능 등 기술 특성에 대한 고민을 우선시할 경우 더 나은 성능을 가졌지만 유해 찾기에는 쓸모가 적은 기술이 개발 목표로 설정되는 우를 범할 수 있는 것이다. 한편 현장 전문가의 기술적 지식 부족과 과도한 기대로 인해 실현 불가능한 기술 수요가 제안되는 것 또한 합리적 기술 개발 전략 도출에 있어 부정적 영향을 미쳤다.

단기간 내 개발, 활용 가능한 기술이 우선 필요하기에 단기적·장기적 기술개발 전략의 구분이 필요해 보인다. 자연적 부패, 난개발 등으로 인한 전사자 유해는 현 시점에도 계속 손실되어 가고 있다. 상대적으로 많은 유해가 있을 것으로 추정되는 지역과 환경, 현 병력이 운용 가능 기술 등을 고려해 단기적 기술 개발을 추진함으로써 기존 발굴 방식과 병행해 사용할 수 있는 유해탐지 및 인식 기술을 확보하는 것이 필요하다.

마지막으로 유해발굴을 담당하고 있는 국방부와 ICT 기술 개발을 추진하는 과학기술정보통신부의 효과적인 협력이 필수적이라는 점을 강조하고 싶다. 국가적, 인도적 차원에서 기술 개발 명분이 명확하지만 담당 부처, 현장 전문가, 기술 전문가의 소통과 공통 지식 기반이라는 혁신 시스템의 필수 요건이 갖추어지지 않아 기술 개발에 난항이 예상된다. 기존 민군 협력 기술 개발이 무기체계 개발을 위한 협력이었던 것과는 달리 전사자 유해 발굴 관련 기술은 비무기체계 기술, 기반 기술 개발이라는 점에 주목이 필요하다.

연구 개요

1 연구 목적

- 전사자 유해발굴 사업의 디지털 전환에 관련된 현장 수요와 기술적 장애요인을 분석하고 활용 가능한 기술을 탐색하여 효율적 유골 탐색 기술개발 전략을 제시
- 전사자 유해발굴은 오래된 사회문제임에도 불구하고 기술적 해결책 탐색이 부족했던 분야로서 현장의 문제와 기술적 해결책 간의 간극이 매우 큰 문제
- 사회문제해결책으로서 최신 ICT 기술의 가능성을 탐색하는 과정에서 효과적인 문제 인식과 기술적 해결책 탐색 전략의 수립에 관련된 이슈를 도출

2 연구 배경

[6.25 전사자 유해발굴 사업의 의미]

- 전사자 유골을 찾아 유족 품으로 돌려보낸다는 것은 전쟁 희생자에 대한 국가적 예우라는 측면과 전사자의 넋을 기린다는 보편 윤리적 측면에서 큰 의미
- 국가를 위해 헌신한 전사자에 대한 국가의 감사와 존경의 의지를 표명하는 것은 국가 정체성 확립과 사회통합 측면에서 반드시 필요
- 한국전쟁에서는 세계 각국의 젊은이들이 희생되었는데 이들의 유골을 찾아주는 사업은 국제 사회에 대한민국의 국격을 높이고 평화의지를 선명히 보이는 일
- 비록 대한민국의 의지로 일어난 전쟁은 아니었으나 그 희생자의 유골을 발굴하고 그 명예를 되찾아 주는 일은 평화로운 종전을 위한 국가적 노력의 일환

[6.25 전사자 유해발굴 사업의 현황]

- 2000년 4월부터 국내에서는 본격적으로 한국전쟁 전사자 유골발굴 사업이 시작되었음
- 우리 정부는 1999년, 6.25 전사자기념사업회를 발족하고, 2000년 4월부터 본격 유해발굴사업을 추진해오고 있음
- 유해발굴 사업의 목적은 국가를 위해 헌신, 희생한 분들을 국가가 끝까지 책임진다는 국가 무한책임 의지를 구현함으로써 전사자들의 넋을 위로하고 명예를 고양하며, 유가족의 한(恨)을 풀어드려 사회통합의 계기를 마련한다는 것¹⁾



◎ 1999년, 6.25 전사자기념사업회에서 명시하고 있는 전사자 유해발굴사업 취지문
 「6.25 전쟁이 끝난 지금 178,000위의 유해가 국립묘지에 안장되어 있으나 참전 전사자 중 아직 돌아오지 못한 호국 용사들은 현충탑 내부에 위패만 모셔져 있다. 전사자 유해 발굴을 통해 호국영령의 넋을 추모하고 국가가 무한 책임의 의무를 이행한다는 의지를 천명하여 유가족의 아픈 상처를 치유하고, 참전국의 유해를 발굴하여 관련국에 인도함으로써 정부의 인도적 차원의 노력을 알리고자 하는데 그 의의가 있다」

- 6.25 전사자는 137,899위로 추정되며, 이 중 2018년까지 발굴된 국군 전사자 유해는 10,237구로서 12,300여 위의 유해는 유족에게 돌아가지 못하고 있음²⁾
 - 국군 뿐만 아니라 북한군, 중국군, UN군의 시신까지 함께 발굴하고 있으며 2018년 현재까지 각각 725구, 604구, 13구를 발굴
 - 발굴된 유해는 군번줄, DNA 등의 감식을 통해 신원을 확인해 유족을 찾고 있으며 2018년 7월까지 128명의 신원이 확인된 바 있음³⁾

표 1-1 유해발굴 실적 현황

구분	계	국군	UN군	북한군	중국군
계	11,579	10,237	13	725	604
2018	375	361	0	2	12
2017	479	453	0	8	18
2016	427	386	0	9	32
2015	622	561	2	22	37
2014	913	809	0	36	68
2013	736	671	0	32	33
2012	1,041	991	0	19	31
2011	1,387	1,300	1	43	43
2010	1,440	1,328	0	65	47
2009	1,284	1,143	2	67	72
2008	837	673	0	83	81
2007	534	378	0	122	34
2000~2006	1,504	1,183	8	217	96

※ 출처: 국방부 유해발굴감식단 홈페이지 참조, 저자 재정리

- 2018년 9·19 남북군사합의 이후 비무장지대 내 남북 공동유해발굴 사업이 추진되었고 2020년 사업을 통해 11월 현재 140여 구 유해발굴 및 6명 신원 확인⁴⁾

1) 최용호(2015), 6.25 참전용사 유해발굴과 호국영웅 선양 방안, 한국보훈학회지
 2) 국방부 유해발굴감식단 홈페이지(<http://www.withcountry.mil.kr>)
 3) BBC Korea, 유해발굴: 수습되지 못한 12만여 구 유해... 그들은 누구일까?, 2018.7.16.

- 9·19 남북군사합의에 따라 2020년 4월부터 강원도 철원 화살머리고지 일대 군사 분계선(MDL) 이남 지역에서 발굴 작업을 진행
 - ※ 군사합의 취지와 달리 북한측의 공동발굴협조가 없어 대한민국측 발굴단만 사업 진행
- 2020년 11월 국방부에 따르면 2020년 당해년 사업으로 유해 330점, 계급장 등 유품 17,598점을 발굴했으며 국군 67구, 중공군 64구 등 유해발굴
- 유가족과의 유전자 대조 등으로 국군 전사자 6명의 신원을 확인했으며 2019년 화살머리고지에서 발굴된 중공군 유해를 2020년 9월에 중국 측에 인도
 - ※ 2020년 9월 중국측에 117구의 유해를 돌려주었으며 중 103구가 화살머리고지 발굴 사업의 성과

3 유해발굴 사업의 디지털 전환 필요성

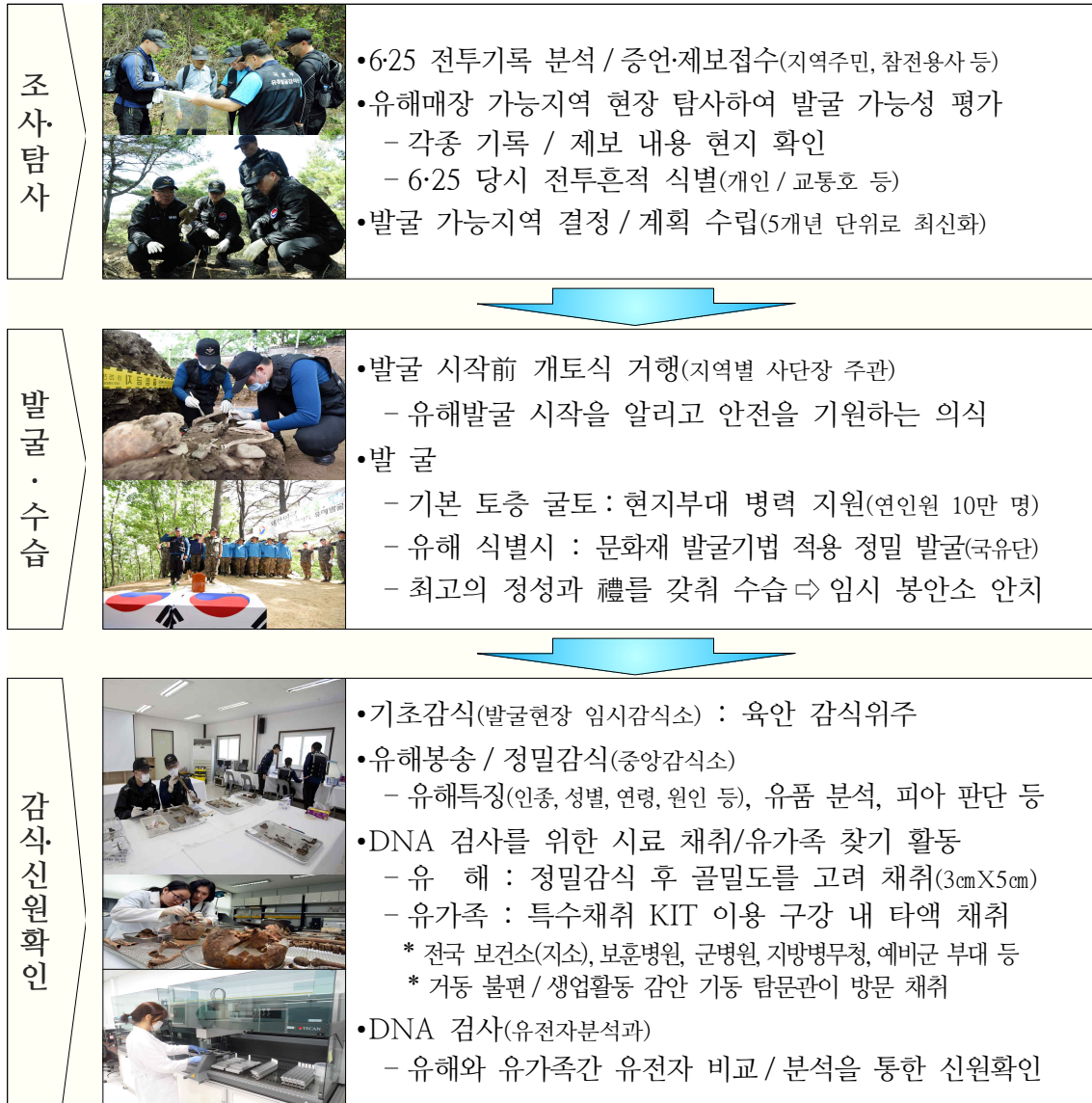
- 발굴지역 탐색, 굴토 및 유해발굴 작업의 비효율성으로 인해 향후 유해발굴 사업의 완료까지는 최대 240년 이상 소요될 수 있을 것으로 추정⁵⁾
 - 참전용사 증언, 지역민 제보, 전투기록 등을 통해 전사자 유해 매몰 지역을 추정하는데 흐려진 기억과 기록 오류 등으로 인해 정확성이 매우 낮음
 - ※ 국방부 산하 유해발굴 전문기관인 유해발굴감식단 소속 전문가들이 짧게는 1개월, 길게는 수년에 걸쳐 증언, 제보를 수집하고 전투기록을 분석하는데도 불구하고 정확성은 낮음
 - 매몰 의심 지역이 결정되면 금속탐지기를 활용해 탄피 등 금속제 유류품을 탐색하여 매몰 지점 추정 작업을 실시하지만 이 또한 정확성은 높지 않음
 - ※ 금속제 유류품은 지난 수십 년 동안 지역민, 고물상 등이 수거해 간 경우가 많으며, 탄피 등이 발견된다 해도 실제 유해 매몰지와 유류품 발견 지점이 일치하지 않는 경우도 많음
 - 즉, 발굴 대상 지점을 정밀하게 추정할 수 있는 방법이 없기 때문에 시행착오를 반복하며 굴토를 진행하고 있는 상황
 - ※ 실제 2000년 이후 발굴이 본격화된 시점부터 2018년도까지 유해발굴은 전수 대비 약 7% 수준(10,237위)이며, 발굴목표 대비 작업 성공률은 5% 미만 수준임
 - 유해발굴에 긴 시간이 소요될 경우 6.25 전사자 직계 가족들의 노령화 등으로 정작 발굴된 유해를 인도받을 유가족이 없는 경우가 발생할 가능성이 높음

4) 중앙일보, 유해 발굴, 北은 손놓고 있는데... "9·19 합의 성과"라는 軍, 2020.11.19.

5) 국방부 추정에 따르면 연평균 500구가 발굴된다는 가정 시, 전체 유해발굴 소요기간은 246년 (= 123,000/500)



그림 1-1 현행 전사자 유해발굴 및 감식 절차



※ 이미지 출처: 국방부(2020), 병영정책과 내부자료

- 이미 70년 가까이 지하에서 부패가 진행되고 나무뿌리, 벌레 등에 의해 침식당한 유해는 발굴감식 전문가가 아닌 일반 발굴 작업자가 인지, 판별하기 어려움
 - 심하게 훼손당하고 침식당한 유해는 발굴 작업에 동원된 일반 병력들은 육안으로 보더라도 유해임을 인지하기 어려워 굴토 작업 중 파손 위험이 상존
 - 현재 작업 방식은 일반 병력이 굴토 작업을 하면서 '유해로 의심되는 물체'가 발견되면 유해발굴 및 감식 전문가를 호출해 확인을 받는 방식

- 유해발굴 및 감식 전문가가 부족한 상황에서 유해 파손의 위험 속에서 골토를 진행하기에 작업의 효율을 매우 감소

그림 1-2 발견된 유해의 실제 사례



※ 이미지 출처: 작성자 직접 촬영 (2020.11.13., 경북 영천시 신녕면 화서리 일대 발굴현장)

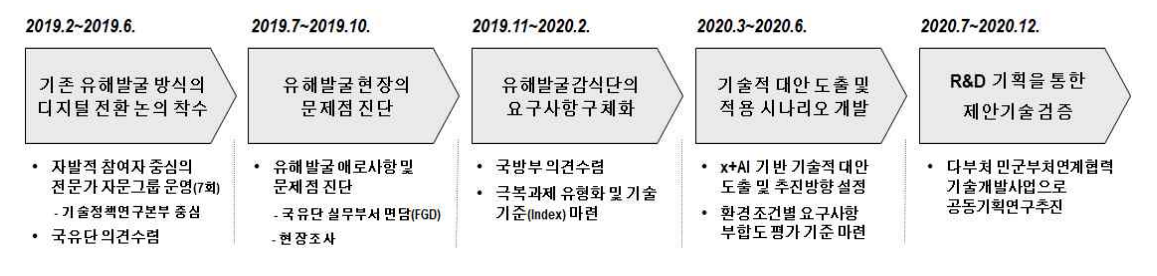
- 고되고 위험한 유해발굴 현장에 군 병력이 동원되는 상황은 병력 감소 추세 하의 대한민국 국방에는 작지 않은 부담으로 작용
 - 1개 발굴 현장에는 수 명의 유해발굴 전문가와 약 100여 명 이상의 군병력이 동원되는데 2019년도 기준으로 1년간 총 10만여 명(man-day) 병력이 동원
 - 발굴에 동원되는 군병력은 현장 인근에 있는 부대 내 일반 장병들로서 발굴 관련 훈련을 거치지 않아 발굴 효율성과 병력 안전 확보에 어려움이 있음
 - 또한 발굴 현장은 금속·비금속 지뢰가 발견되는 경우가 많아 발굴 작업자가 큰 위험에 노출되어 있는 상황
 - ※ 특히 비금속 지뢰는 금속탐지기로 사전 탐지가 어려워 큰 위험
- 엑스레이, GPR(Ground Penetrating Radar) 등 지중탐지기술, 이미지 인식 AI 등 ICT 기술을 활용해 전사자 유해발굴 작업의 효율을 제고하는 방안 개발이 필요
 - 지중탐지기술을 활용해 지하의 유해를 탐지함으로써 발굴 대상 지점을 더 정밀하게 추정할 수 있다면 유해발굴 진척 속도에는 획기적 개선이 예상
 - 이미지 인식 AI 등을 통해 기술을 활용해 유해를 인지함으로써 유해발굴 및 감식 전문가의 부담을 덜어주고 유해발굴 작업의 효율을 개선할 것으로 기대

II 전사자 유해발굴을 위한 기술적 해법 탐색

1 현장의 수요 분석

- 수십 년 간 부패가 진행된 전투원의 유해발굴을 위해 ICT 기술을 활용한 해외 사례가 없기에 기술 개발 전략에 있어서 가장 중요한 것은 현장의 기술수요 분석
 - UN 등이 전쟁 발생지에서 지뢰 제거, 전투원 유해의 고국 송환 등을 수행한 예는 있지만 오랜 세월이 지난 전사자 유해를 발굴하는 사업이 진행된 예는 없음
 - ※ 전쟁이 끝난 지 얼마 지나지 않은 지역의 경우 전투원의 유해를 발굴, 복원, 귀환시키는 작업과 70년 가까이 부패가 진행된 전사자의 유해를 찾는 작업은 매우 다른 성격의 일
 - 한국전쟁에 참전했던 UN군의 전사자 유해를 찾는 일은 국제적 관심거리임에도 불구하고 기술적 해법 탐색 노력이 부족했던 것은 전례가 없는 사업이기 때문
 - ※ 단, 발굴된 유해의 DNA 감식 등은 과학수사에 활용되어온 생명공학 기술의 발전 덕으로 보다 효과적인 기술적 해법 적용에 대한 관심이 더 높았음
 - 유해발굴을 위한 기술 탐색을 위해 유해발굴 전문가인 국방부 유해발굴감식단 소속원들로부터 현장의 상황과 애로점을 수집하고 이를 분석해 기술 수요 도출
 - ※ 유해발굴감식단은 전사자의 유해를 발굴하여 가족의 품으로 보내는 보훈사업을 수행하는 국방부 직할 부대로서 2000년 4월 육군에 의해 시작되어 2007년 국방부 소속으로 창설됨
 - 현장의 수요 파악에서의 난점은 전통적 굴토에 기반해 작업을 진행해온 발굴감식 전문가가 내놓은 애로사항이 기존 발굴 작업 방식에 종속적이라는 점
 - ※ ‘굴토를 위한 삽의 경량화’와 같은, 기존 접근 방식을 벗어나지 못한 문제인식 및 기술수요의 제기
 - 굴토방식 전환을 위한 현장 수요기반의 기술적 해법 탐색 과정은 다음과 같이 진행됨

그림 2-1 현장 수요기반 기술적 해법 탐색 Work-flow



※ 이미지 출처: 저자 작성



- (작업 현장 및 환경 조건) 험준한 산악지형, 급경사, 고지, 바위너털, 미확인 지뢰 등을 상시적 환경 조건으로 두고 산지면에 대한 전면 굴토 진행
 - ※ 전면굴토는 매물 의심 지역의 지면 전체를 일정 깊이까지 파내면서 진행하는 발굴 방식
 - 유해가 수습되지 못했던 전투가 산악지형에서 이루어진 경우가 많아 유해발굴 작업은 기본적으로 험준한 산악 지형에서 진행됨

그림 2-2 발굴현장의 작업 환경 예시



<잡목 제거 (경기 파주)>



<발굴현장 굴토 (강원 회전)>



<암반(돌산)지형 발굴현장 이동 (설악산 저항령)>



<급경사 발굴지역 (강원 인제)>

※ 이미지 출처: 국방부 유해발굴감식단 자료

- 이로 인해 발굴 작업 병력은 10kg에 달하는 장비와 식사 등 물자를 들고 매일 산을 오르내리며 수 개월간 작업을 진행해 작업 피로도가 매우 높은 편
- 2000년 이후 유해가 집중된 전투지 내 참호에 대한 발굴작업을 우선적으로 시행했기 때문에 2020년 현재 발굴은 일반 산지에 대한 전면 굴토가 대부분
 - ※ DMZ에 대한 유해발굴은 2019년 본격적으로 이루어지기 시작했는데 해당 지역에서는 참호를 중심으로 유해발굴 작업을 진행
- 즉, 각 발굴현장의 지형적 조건이 서로 매우 다르고 유해는 한 지점에 집중되어 있기 보다는 산지 곳곳에 흩어져 발견되는 경우가 많음
- 경사진 산지에 병력이 줄어 지어 모든 지면을 일정 깊이까지 파내려가는 전면굴토 방식의 발굴로 인해 사업 진척은 더욱 느려지고 있음

- 두개골, 다리 등 전신 유해가 발견되는 경우보다 손가락 뼈, 치아 등 작은 크기의 부분 유해만 발굴되는 경우가 많아 현장 인력의 유해식별에 어려움 가중
- 발굴에 앞서 매몰 의심 지역의 잡목, 수풀을 제거해 지면을 드러나게 하는 환경 정리 작업이 이루어져야 하는데 이 또한 1주 이상 병력을 동원해야 하는 작업

표 2-1 유해발굴 작업 상황과 환경

구분	남한지역 발굴현장	DMZ 발굴현장
환경 정리	100*50(m) (3개소), 100명, 1주 소요	100*50(m) (4개소), 100명, 1.5주 소요
굴토 기간	100*50(m), 100명, 2주 소요	100*50(m), 100명, 4주 소요
굴토 깊이	30~40(cm)	0.5~2(m)
발굴 방법	대부분 전면굴토 일부 개인호 및 교통호 발굴	개인호 및 교통호, 전면발굴 병행
유해 양상	완전유해 :14%, 부분유해 :86% (' 19년도 완전유해 8%, 부분유해 92%)	완전유해 : 40%, 부분유해 : 60% (' 19년도 발굴현황)

※ 출처: 국방부 유해발굴감식단 내부 자료

- (유해 발견 깊이) 유해의 대부분이 지하 1미터 이하 깊이에서 발견되고 있음
 - DMZ를 포함한 유해발굴 실적을 종합해보면 지표면에서 발굴된 유해(15%)를 포함해 깊이 1미터 이내에서 유해의 약 75%가 발견
 - ※ 지표면 출토 유해가 15%, 지표면 ~ 50cm 이하 깊이에서 발발된 유해가 30%, 50cm ~ 1m 이하 깊이에서 나온 유해가 30%, 총 합 75% 유해가 깊이 1m 이내에서 발굴

표 2-2 유해 매몰 깊이

구분	합계(%)	남한지역 발굴현장	DMZ 발굴현장
지표면 출토	15%	20%	10%
지표면 ~ 50Cm 이하	30%	40%	20%
50Cm 이상 ~ 1m 이하	30%	30%	30%
1m 이상 ~2m 이하	25%	10%	40%

※ 출처: 국방부 유해발굴감식단 내부 자료

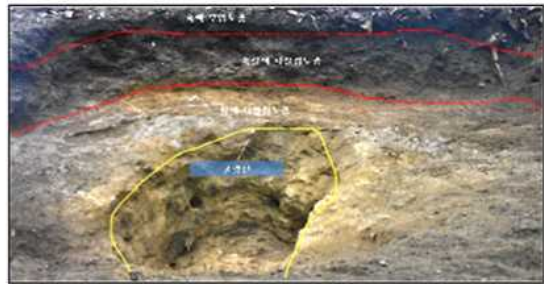


- 개인호, 교통호 등 참호에서는 최대 2미터 깊이에서 유해가 발견되기도 했으나 산지면 전면 굴토 작업 시에는 수십 센티미터 깊이에서 발견되는 경우가 많음
 - ※ 2019년 본격적으로 시작된 화살머리고지 등 DMZ 내 지역의 유해발굴 사업은 개인호, 교통화를 중심으로 유해발굴이 이루어져 최대 2미터 깊이까지 굴토
- 2020년 현재 참호를 대상으로 한 유해발굴이 많이 진척되어 향후 발굴 사업에서는 비교적 얇은 깊이에서 유해 발견이 많을 것으로 예상

그림 2-3 유해 매몰 깊이 예시



<굴토 깊이 측정 (강원 양구)>



<토층 분석 (강원 홍천)>



<DMZ 교통호 발굴 (화살머리고지)>



<DMZ 동굴진지 (화살머리고지) >

※ 이미지 출처: 국방부 유해발굴감식단 자료

- (기술수요 종합) 개발 · 활용 가능한 기술수준을 고려하지 않은 상태에서 발굴 현장의 기술 수요는 산악 지형에서 지중 2미터에 매몰된 1센티 길이의 인골 탐지
 - 현재 획득 가능 기술 또는 수년 내 개발 가능한 기술 수준을 고려하지 않은 상태에서 현장 전문가들의 애로사항 타계를 위한 기술 수요를 수집해 정리
 - (지중탐지 깊이) DMZ 유해발굴은 초기 상태이기에 최대 2미터 깊이 지하에 파묻힌 유해를 지상에서 탐지할 수 있는 기술을 요구
 - ※ 빠른 굴토를 위해 유해가 묻힌 깊이를 오차 0.5센티미터 이내의 정확도로 탐지하기를 요구

- (탐지 분해능) 치아 등 신체의 일부 유해만 발굴되는 경우가 있기 때문에 최소 1센티미터 길이의 유해를 지상에서 탐지할 수 있는 기술이 필요
- (인골 인지) 나무뿌리, 동물의 뼈, 동물의 치아, 인간의 뼈, 인간의 치아를 구분해 인지하는 기술 또는 일반병이 이들을 구분하는데 도움을 줄 수 있는 기술을 요구
- (지형적 환경 적응) 움푹파인 참호, 급경사지, 암석지대 등 다양한 환경에서 활용할 수 있고 데이터의 무선 송수신이 가능한 장비에 기술이 탑재되어야 할 것
- (잡목, 수풀 적응) 발굴지역의 잡목, 수풀 제거 등 사전적 환경 정리 작업이 없더라도 활용 가능한 기술 혹은 장비가 필요
- (HW) 험악한 지형조건, 기상 조건하에서도 활용 가능한 장비에 기술이 탑재되어야 할 것이며, 배터리로 가동 가능하고 무선 송수신이 지원되는 것이 바람직
- 아래 <표 2-3>에 소개된 기술적 요구사항이 최종적인 현장의 기술 수요로서 이후 기술 개발 방향성, 기술 목표 수준 등 R&D 전략 설정에 기본 정보로 활용되었음
- 단, 현장의 기술적 요구사항은 획득 가능한 기술 수준을 고려하지 않은 상태에서 제기되고 통합된 것으로서 실제 개발할 수 있는 기술 수준과 요구 수준은 상이

표 2-3 유해발굴 신기술에 대한 현장 수요 (획득가능 기술 수준 고려 없음)

구분	기술 수요 내용
매몰된 유골 탐색	<ul style="list-style-type: none"> - (탐지 분해능) 최소 1cm 이상 탐지 가능 (치아 등) - (탐지 깊이) 최대 2m, 위치 오차 0.5m이하 - (유골 인지) 동물과 인간의 뼈 구분, 부분유해 등 유해형태별 구분
HW 험지활용성	<ul style="list-style-type: none"> - 개인호 및 교통호 내에서 운용 - 불규칙한 지형에서도 전복없이 작동 - 급경사 등판능력 40도, 장애물 30cm 이내 - 수목 및 잡목이 많은 지역에서도 탐지, 운용이 가능 - 원격 조정, 송수신 기능 (운용거리 1km 이상)
HW 운용 특성	<ul style="list-style-type: none"> - 장비 경량화 및 휴대성 용이 (완전군장 기준 5Kg, 단독군장 기준 15kg) - 내충격성과 내구성 - 전천후 운용 가능 - 배터리로 1일 24시간 이상 운용 가능

※ 출처: 국방부 유해발굴감식단 내부 자료



2 전사자 유해발굴을 위한 기술적 대안의 탐색

(1) 현장 수요에 기반한 개발 필요 기술 도출

- 전사자 유해발굴을 위한 기술적 해법 확보는 유해발굴 전문가가 제기한 애로사항과 기술 수요에 기반해 활용 가능한 기술적 대안을 탐색하는 것으로 시작
- 기술 전문가 인터뷰, 자료 조사 등을 통해 유해발굴 효율 제고를 위한 기술적 해법을 지중탐지기술, 유해인식 AI, 험지극복형 이동장비 등 3 요소로 압축
- (지중탐지기술) 흙을 파헤치지 않거나 파헤침을 최소화하면서 지하에 매몰된 유해의 존재를 탐지할 수 있는 기술로서 유해발굴 사업의 효율 개선에 가장 핵심적 요소
 - 현재 유해발굴이 대부분 1만 제곱미터 이상의 산악 지면을 전면 굴토하는 방식으로 이루어지며, 이렇게 고되고 느린 방식으로 이루어지는 이유는 유해매몰 지점을 정확히 특정할 수 없기 때문
 - 넓은 면적의 흙을 파헤치는 작업은 발굴 지역이 사유지일 경우, 땅 소유주에게 작업 허락을 받아내기도 어려운 점이 있어 전체적인 사업 효율을 크게 저감
 - 따라서, 매몰 유해를 지상에서 탐지하는 기술을 활용할 수 있다면 증언 수집, 전투기록 분석, 현지 탐사, 전면굴토 등으로 이어지는 기존 작업에 비해 혁신적인 효율 개선이 기대됨
- (유해인식 AI) 나무뿌리 등과 유해를 구분하는 AI는 매우 한정된 자원인 발굴 및 감식 전문가의 부담을 덜어주고 유해 훼손 감소 등에 기여할 것
 - 유해의 작은 크기, 부패 진행 등으로 인해 굴토작업 중 육안으로 보고도 유해임을 인지하기 어려워 굴토작업은 더욱 느리고 조심스럽게 진행되고 있는 것이 현실
 - 유해발굴 경험과 전문지식을 가진 전문가가 부족한데도 유해 여부 판단을 위해 굴토현장 곳곳에 전문가가 상주해야 함에 따라 대규모 작업 진행이 현실적으로 제한
 - 유해를 나무뿌리, 동물뼈 등과 구분해서 판별해 주는 AI 기술이 개발된다면 한정된 전문가의 효율적 활용, 굴토작업 속도 개선 등이 가능해 질 것
- (험지극복형 이동장비) 지중탐지기술, AI 기술 등이 탑재된 장비를 이동시키고 운용하는 목적의 특수 장비가 개발된다면 병력 운용의 효율성이 제고될 것

- 유해발굴에 활용될 수 있는 기술이 개발되었다고 가정할 때, 병력 숙영지에서 발굴현장까지 장비를 이동시키는 과업이 새로운 부담으로 작용할 수 있음
 - ※ 발굴 현장 병력이 매일 1~2 시간씩 산을 오르내리며 작업을 진행하는데 새로이 개발된 장비까지 더 해지면 현장 병력 운용에 큰 부담으로 작용할 것
- 유해발굴 현장이 험악한 산지인 경우 개발된 장비는 급경사와 불규칙한 지형, 암석 등 험지에서 활용 가능한 형태를 가져야 할 것

(2) ICT 기반 유해발굴 기술 구현의 방향 설정

- 유해발굴 사업 효율을 획기적으로 개선하기 위해서는 지중탐지기술, 유해인식 AI, 험지극복형 이동장비 등의 순차적 적용과 연계가 필요

그림 2-4 ICT 기반 유해발굴 기술 구현 개념도



※ 이미지 출처: ETRI(2020), 전자사 유해발굴 및 지중투과 핵심기술개발사업 공동기획 진도보고

- (지중탐지기술) 적용될 기술은 땅 속 매물 유해를 탐지하는 지중탐지기술로서 전자파, 엑스레이, 초음파 등에 기반해 지중 유해를 감지하고 영상 데이터를 획득



- (유해인식 AI) 획득된 유해 관련 영상 데이터를 처리, 분석, 인식해 나무뿌리, 암석, 동물뼈 등과 전사자 유해를 구분해서 인지하는 AI
 - ※ 굴토 중 드러난 나무뿌리, 유해 등을 카메라로 촬영해 유해를 인식하는 AI 개발이 더 쉬울 수 있으나 유해발굴 사업의 효율 개선을 위해서는 매몰된 상태에서 유해를 인식하는 것이 가장 효과적
- (힘지극복형 이동장비) 지중탐지기술, 유해인식 AI 등을 탑재하고 급경사지, 암석지대, 잡목과 수풀 등 험지 환경에서 이동, 운용이 가능한 HW
 - ※ 기술 수요자, 기술 전문가 등과의 인터뷰를 통해 병력 숙영지에서 발굴 현장까지의 이동 보다는 발굴 현장 내 이동성, 활용성에 초점을 맞춘 장비의 개발이 더 중요하다고 결론 내림
 - ※ 가능하면 병력 1인이 부담할 수 있는 무게로 분해되도록 장비 형상을 설계하는 것이 바람직하다는 수요자 의견이 있었음
- (테스트베드 구축) 현장과 유사한 지형조건, 유해 등을 구성해 지중탐지기술과 유해인식 AI, 힘지극복형 이동장비 등의 활용성을 시험해볼 수 있는 테스트베드

(3) 지중탐지기술의 개발 방향 탐색

- (시장·기술 동향) GPR, 반사형 엑스레이, 초음파, SAR 등 지중탐지기술이 토목, 국방 등 영역에서 개발, 활용되고 있지만 전사자 유해탐지용 기술은 전례 없음
 - GPR(Ground Penetrating Radar) 기술은 지표면에 밀착된 송출기에서 전자파를 땅속으로 발사하고 그 반사파를 수신, 분석함으로써 지중의 물체를 탐지
 - 엑스레이는 고에너지 전자파로서 지표면 투과가 가능하며 반사형 엑스레이를 이용할 시에는 지중에 묻혀있는 물체의 이미지 촬영이 가능
 - 초음파를 지중으로 전달시키고 그 반사파를 분석함으로써 지중에 묻힌 물체의 이미지 획득이 가능
 - SAR(Synthetic Aperture Radar) 기술은 인공위성, 항공기 등에서 지표면에 전자파를 발사하고 그 반사파를 수신, 분석, 합성함으로써 지상의 물체를 탐지
- 현재 지중탐지기술 수준으로는 탐지 깊이 2m, 탐지 분해능 1cm 등 유해발굴 현장 전문가가 제기한 기술 수요 만족은 불가능하며 상당 기간의 기술 개발이 필수적
 - 기술 전문가 의견에 따르면 지중탐지 깊이 2m, 탐지 분해능 1cm 등의 기술 수요는 상당한 기간의 기술 개발을 거치더라도 달성 가능성이 높지 않은 것으로 파악됨

표 2-4 지중탐지 관련 시장 및 기술동향 요약




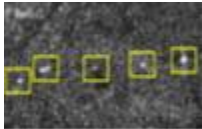
구분	내용	비고	
시장동향	GPR	<ul style="list-style-type: none"> • 2016년도 기준, 세계 GPR 시장은 3,149억원 규모이며 연 25% 성장률을 보이고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> • 건축, 토목 등에서 활용되는 전체 시장
	반사형 엑스레이	<ul style="list-style-type: none"> • 2018년도 세계 의료용 디지털엑스레이 시장 규모는 약 87억 달러로 추정 	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 판매되는 의료용 엑스레이는 대부분 디지털 엑스레이임
	초음파	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 초음파영상진단장치 시장은 2013년 기준 약 46.2억 달러 규모이며, 2020년 연평균 4.4%로 성장 전망됨 (주요 업체는 GE Healthcare, Philips Healthcare 등) 	<ul style="list-style-type: none"> • 비의료용 제품 제외
	SAR	<ul style="list-style-type: none"> • NA 	
기술동향	GPR	<ul style="list-style-type: none"> • 고해상도 지중탐지를 위해 Step Freq. GPR 기술 개발 및 고도화가 진행 중 • (국내) 2016년 ETRI에서 고속-고해상도 지중탐지가 가능한 계단식 다중주파수 방식 GPR 기술 개발에 성공 <ul style="list-style-type: none"> - 토목 등 분야에서 지중탐지기술을 제공하는 국내 회사들은 국외 GPR 탐지기를 수입해서 활용 중 • (국외) 노르웨이 3D Radar사에서 Step Freq. 고해상도 GPR 기술 개발 및 상용화 	
	반사형 엑스레이	<ul style="list-style-type: none"> • 폭발물 검색, 지뢰 탐지 등을 위한 반사형 엑스레이 기술 개발, 상용화 • 차량으로 운반하는 대형 장비 뿐만 아니라 개인이 휴대할 수 있는 소형 장비까지 활용되고 있음 	
	초음파	<ul style="list-style-type: none"> • 1999년 일본 Chiba Institute of Technology에서 지하 1m 이하에 묻혀 있는 금속판을 이미징하는 연구 발표 • (국내) 지중 초음파 영상기술 및 관련 연구개발은 전무 <ul style="list-style-type: none"> - 초음파 의료영상기술은 삼성메디슨, 알피니언 메디칼시스템(주), (주)메디아나 등을 중심으로 시스템 기술을 확보 - ETRI는 고효율 초음파 소자를 이용하여 무선 전력전송기술을 연구하였으며 매질 매칭효율을 82%의 세계적 수준의 초음파 소자 제작 기술을 보유 	
SAR	<ul style="list-style-type: none"> • 저주파-저해상도 SAR 영상 기술 연구는 세계적으로 부족 <ul style="list-style-type: none"> - 저주파 대역 SAR 영상형성 기술은 미국 NASA JPL 연구소 주도 하 RFI 필터 개발, 스웨덴-프랑스 합작 저주파 대역 수폴 관측 실험 및 SAR 영상형성이 수행 - 저주파-저해상도 영상 기반 표적탐지 기술은 국외에도 연구 사례 없음 • (국내) 아직 저주파 대역 SAR 영상형성 연구가 미비 		
종합	<ul style="list-style-type: none"> • 토목, 도시개발, 의료, 국방 등 다양한 영역에서 지중탐지기술이 개발, 활용되고 있음 • 전사자 유해를 탐지하기 위한 맞춤형 기술 개발 사례는 없음 		

※ 출처: ETRI(2020), 전사자 유해발굴 및 지중투과 핵심기술개발사업 공동기획 제안서 (참고하여 재작성)



- GPR, 반사형 엑스레이 등 지중탐지기술 대안별 특징이 달라 유해발굴 기술을 단일 기술로 특정하기 보다는 R&D 가능성, 활용범위, 발굴속도, 운용능력 등을 고려한 전략적 의사결정이 필요

표 2-5 지중탐지기술 대안별 특징 및 장단점 분석

구분	GPR	반사형 엑스레이	초음파	SAR
획득 신호 예시				
탐지 대상물	유기물, 금속	유기물, 금속	유기물, 금속	금속
탐지 깊이 (5년 후 달성가능한 수준 예상치)	~1m	~1m	~1m	~5m
분해능 (5년 후 달성가능한 수준 예상치)	10cm~	1cm~	1cm~	30cm~
탐색 면적	좁음	좁음	좁음	넓음
험지 활용성	중간	중간	중간	높음
운용에 따른 위험	낮음	높음	낮음	낮음
이미지 확보 가능성	별도 기술 개발 필요	용이	용이	용이
장점	매몰 유해 탐지	매몰 유해 촬영	물이 있는 지질에서 매몰 유해 탐지	탄피 등 탐색
단점	이미지 변환 필요, 날씨도양상태에 민감	방사선 누출 위험	균일하지 않은 지질에 적용 곤란	유기물 탐지 어려움

※ 출처: ETRI(2020), 전사자 유해발굴 및 지중투과 핵심기술개발사업 공동기획 제안서 (참고하여 재작성)

- GPR 기술은 더 깊은 지중까지 유해탐지가 가능하리라는 기대가 있으나 탐지속도가 느리고 획득된 신호를 이미지로 바꾸기 위한 별도의 변환 기술 개발이 필요

※ 반사형 엑스레이 기술은 탐지를 깊이를 늘리기 위해서는 더 강력한 엑스선을 방사해야 하고 이에 따라 방사선 누출의 위험이 더욱 커진다는 약점이 있음

- 엑스레이는 지중탐지에 있어서 고속-고해상도 이미지 촬영이 가능할 것으로 보이지만 탐지 깊이, 방사능 누출 위험 등의 측면에서 기술 개발 여지가 있음

- 초음파 기술은 콘크리트, 물 등 균일한 매질 내 물체를 탐지하는데 장점이 있어 흙, 암석 등이 혼합되어 있는 산악지대 지표면에서는 활용에 한계가 있을 것으로 보임
 - ※ 단, 수분이 많은 지질에서는 초음파 기반 지중탐지기술이 여타 지중탐지기술에 비해 지중 이미지 획득 가능성이 높을 것으로 예상
- SAR 기술은 지중탐지를 위해 장파장을 사용할 경우 탐지 분해능이 떨어져 유해탐지에는 한계가 있지만 지표면의 금속 전투흔적을 탐색하는데 장점이 있음
 - ※ 지중투과를 위해 저주파 대역을 사용하는 SAR의 영상형성 기술이 미비하고 저주파 대역의 물리적 특성 상 분해능은 매우 낮을 수 밖에 없음
 - ※ 엄밀히 보면 땅 속에 묻힌 유해의 존재를 직접적으로 탐지하는 지중탐지기술은 아니지만, 발굴 대상 지역을 파악하기 위한 사전 조사단계에서는 활용 가능
- (기술 개발 방향) 유해 탐지에 큰 강점을 가진 것으로 보이는 반사형 엑스레이, GPR 중심으로 기술 고도화를 추구하되 초음파, SAR 등 기술은 보완적으로 활용
- 산악지대에 매몰되어 부패가 진행된 유기물인 전사자 유해탐지에 강점을 가진 반사형 엑스레이와 GRP 기술을 중심으로 기술 고도화를 우선 추진하는 것이 바람직
- 반사형 엑스레이의 경우, 탐지깊이와 분해능 증가와 더불어 방사선 누출 감소와 장비 경량화를 위한 기술 고도화가 필요
 - ※ 유해발굴 전문가와 일반 병력이 반사형 엑스레이 장비를 운용할 수 있어야 하고, 방사선 누출에 따른 지표면 생태계 파괴 위험을 최소화해야 한다는 측면에서 방사선 누출 감소가 필수적
- 유해인식 AI의 활용성을 제고하기 위해서는 반사형 엑스레이를 통해 얻은 평면 이미지와 GRP의 지중탐지 신호를 입체 영상으로 변환하는 기술의 개발 또한 필요
- SAR는 탄피 등 금속재질 전투흔적 탐지를 목표로 경량화, 정밀화를 추구하고 초음파는 습지 등 특수한 지질에서의 활용을 목표로 기술 고도화를 추진해야 할 것



표 2-6 지중탐지기술 개발 방향

기술 구분		내용	
유해탐지용 중점개발기술	반사형 엑스레이	HW 모듈 최적화	•매물 유골 촬영에 최적화된 엑스레이 소스, 빔 스캔 장치, 검출기 HW 모듈 등 개발
		탐지깊이 확보 및 경량화	•HW 모듈을 험지활용 가능하도록 경량화하고, 1m 깊이 까지 유해의 정밀탐지가 가능하도록 고도화
		고속화 및 입체영상 변환	•고속 촬영을 위한 SW 개선 •유해 이미지의 3차원 변환 알고리즘 개발
	GPR	정밀·소형 레이더 시스템	•매물 유골 감지에 최적화된 고정밀·소형 지하 투과 레이더 시스템 개발
		어레이 데이터 처리	•밀집 레이더 어레이가 획득한 데이터의 실시간 처리 기술 개발
		영상 처리	•레이더 어레이에서 획득한 데이터의 입체영상 변환 기술 개발
보완기술	초음파	초음파 어레이 소자	•고출력 초음파 어레이 프로브 소자 기술
		신호 처리	•어레이 소자에서 획득한 신호처리를 위한 고속 병렬 신호처리 회로 및 신호처리 알고리즘 개발
		실시간 영상 획득	•신호를 영상으로 변환하기 위한 실시간 초음파 영상 획득 및 처리 기술
	SAR	영상 형성	•저주파 SAR 영상 형성 기법 기초 연구 •저주파-저해상도 SAR 영상 기반 표적탐지 기술 개발
		시스템 하드웨어	•저주파 SAR 하드웨어 설계 기술 •저주파 SAR 안테나 설계 기술

※ 출처: ETRI(2020), 전사자 유해발굴 및 지중투과 핵심기술개발사업 공동기획 제안서 (참고하여 재작성)

(4) 유해인식 AI 기술의 개발 방향 탐색

- (시장 · 기술 동향) 의료영상분석 AI는 활발히 개발되고 있지만 부패가 진행된 유골, 전쟁 피해자 유해를 다른 유기물과 구분하는 AI 개발 사례는 찾아보기 어려움
 - 전사자 유해인식 AI는 인간의 뼈를 나무뿌리 등 다른 유기물과 구분하기 위한 것으로 현재 개발된 기술 중 관련 기술은 엑스레이 등 의료영상분석 AI
 - 엑스레이 등에 기반한 의료영상분석 AI는 의료용 AI 중 가장 활발하게 개발되고 있는 분야이며 루닛, 뷰노, 메디컬아이피 등 뛰어난 국내 의료영상분석 AI 기업 존재
 - 하지만 유골을 다른 유기물체와 구분하는 이미지 인식 AI의 개발 사례는 찾기 어려워 유해인식 AI 개발에 있어 참고할 만한 직접적 선진 사례는 없음
 - 국내 의료영상분석 AI 기업의 기술력이 세계적 수준에 근접해 있어 유해인식 AI 개발에 활용 가능한 지식 기반은 국내에도 일정 수준 갖추어져 있다고 볼 수 있음

표 2-7 유해인식 AI 관련 시장 및 기술동향 요약

구분	내용	비고
시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> • 엑스레이, MRI 등 영상 데이터를 활용하는 AI 기반 의료영상분석 분야에서 뇌종양, 유방암, 폐암 등 특정 질병에 대한 AI 진단 정확도가 향상되면서 낙관적 시장 전망이 형성 • (AI 헬스케어 시장 규모) 2025년 국내 시장은 약 2조 4000여 억 원, 세계 시장은 약 363억 달러로 전망 	<ul style="list-style-type: none"> • AI 헬스케어 시장은 유해인식 AI와 관련된 기술인 AI 기반 의료영상분석을 포함
기술 동향	<ul style="list-style-type: none"> • (국내) 의료 영상 판독 AI 개발이 활발하며 세계적으로 두각 <ul style="list-style-type: none"> -메디컬아이피는 코로나19로 인한 폐렴을 인식하는 AI를 개발해 전 세계 무료 배포 (2020년 3월) -루닛은 2016년 유방암 인식 국제경연에서 구글, IBM, MS 등을 누르고 우승 -뷰노는 2018년 망막 질환 판독 챌린지에서 상위권을 기록했으며 엑스레이 기반 뼈 나이 판독 솔루션도 개발 • (해외) 암 진단 AI 등 의료 영상 인식 AI가 활발히 개발 중 <ul style="list-style-type: none"> -2020년 뉴욕대 의대 교수진은 뇌종양 진단에서 AI(94.6%)가 병리학 전문의(93.9%) 보다 더 나은 판단을 보였음을 발표 -구글은 2020년 1월에 답마인드, 임페리얼칼리지, 미국 노스웨스턴대 의대 등이 참여해 개발한 유방암 진단 AI가 방사선 전문의들을 능가했다고 발표 	



구분	내용	비고
종합	<ul style="list-style-type: none"> •엑스레이, MRI, CT 등 의료 영상 인식 AI가 활발히 개발되고 있는 중이며 성능 향상에 매우 낙관적 기대가 형성된 상태 •국내 기업 및 기술이 세계적 수준에 크게 뒤떨어지지 않음 •수십 년 간 부패가 진행된 유골, 전쟁피해자 유해 등을 여타 유 기물과 구분해 인지하는 AI 개발 사례는 찾기 어려움 	

※ 출처: ETRI(2020), 전사자 유해발굴 및 지중투과 핵심기술개발사업 공동기획 제안서 (참고하여 재작성)

- (기술 개발 방향) 3D 영상 변환, 손실 영상 복원 등 요소 기술 개발을 통해 부패와 유 실이 진행된 전사자 유해 인지 맞춤형 AI 기술의 획득을 지향
 - 골격 중 일부만 남은 부분 유해의 파악을 위해 지중탐지기술을 통해 획득한 유해 데이 터를 입체 영상으로 변환해 인지하고 손실 부분은 복원해 인지하는 기술이 필요
 - 전투 중 훼손, 오랜 세월 부패 등을 거친 전사자 유해가 희귀한 만큼 소량의 데이터만 으로도 학습이 가능한 인식 AI 기술 개발이 필요
 - 또한 지중에 흔히 발견되는 유해가 아닌 물질 및 물체에 대한 보조적 학습을 통해 유 해-非유해 구분 능력을 배가하는 전략적 접근이 요구

표 2-8 유해인식 AI 기술 개발 방향

기술 구분	내용
손실 부분 복원	•지중탐지를 통해 획득한 유해 이미지 데이터에서 보이지 않는 영역을 추론, 복원하는 기술 개발
전사자 유해 특징 학습	•지중탐지 데이터에서 유해 형태에 따른 특징을 학습, 비교 학습하여 검출 하는 기술 개발
非유해 물질 특징 학습	•非유해 물질 및 물체에 대한 특징 분석 및 비교학습을 통한 네거티브 학습 기술 개발
설명가능한 유해 인지	•유해 물질에 대한 증거 기반의 설명 가능하고 비교하는 학습 기술 개발

※ 출처: ETRI(2020), 전사자 유해발굴 및 지중투과 핵심기술개발사업 공동기획 제안서 (참고하여 재작성)

(5) 험지극복형 이동장비 개발 방향 탐색

- (시장 · 기술 동향) 급경사지 등 험지에서 장비를 탑재하고 이동할 수 있는 로봇, 로버 등의 장비 개발 노력은 활발하지만 현장에서의 활용 가능성은 매우 낮은 상황
 - 현장 전문가의 기술 수요는 지중탐지기술, 유해인식 AI 기술 등을 탑재한 상태에서 수목으로 덮인 급경사지를 자율이동하며 유해를 탐색할 수 있는 장비의 개발
 - 세계적으로 국방, 방재 등 분야에서 험지극복형 로봇, 로버 등 장비 개발은 활발하지만 현재 유해발굴 현장 전문가의 기술 수요에 부합하는 기술 개발 사례는 전무
 - 유해발굴용 이동장비와 군사용 로봇은 급경사지, 수풀, 암석 등 험악한 지형적 조건의 극복, 전천후 활용성과 배터리 기동 등 기술 수요가 거의 일치
 - 현재 스마트 국방, 무인 국방 등 군사용 로봇 활용에 대한 기대에도 불구하고 시장 성장이 더딘 것은 험지가동 등의 측면에서 기술적 한계가 명확한 현실 때문

표 2-9 험지극복형 이동장비 관련 시장 및 기술동향 요약

구분	내용	비고
시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> • 국제로봇연맹(IFR) 등에 따르면, 세계 로봇 시장은 연 9% 이상 성장하여 2025년 80조원 규모에 달할 것으로 추정 • 제조업용 로봇보다 군사용, 서비스용 로봇 시장이 더 빠르게 증가할 것으로 예상 	<ul style="list-style-type: none"> • 유해발굴용 험지극복형 이동장비는 국방로봇과 유사한 기술수요 충족이 필요
기술 동향	<ul style="list-style-type: none"> • 미국은 본토와 해외파병 지역에서 국방로봇을 활용 중 -9.11테러, 아프간전, 이라크전을 겪으며 감시정찰 로봇, 폭발물처리 로봇, 지뢰제거 로봇 등 수요가 증대 • 험지가동, 자율주행, 고장 시 통제, 배터리 시간 등 활용도 측면에서 군사적 측면에서의 약점들은 여전히 도전 과제 -험지이동가능한 로봇은 미국의 보스턴다이나믹스, NASA, 독일의 NimbRO Rescue 등에서 기술개발 시도 중 -정찰로봇, 지뢰탐사로봇, 폭탄처리로봇, 감시로봇 등은 대부분 원격 조작 · 제어를 기반으로 하고 있어 자율탐사기능은 매우 제한적 • (국내) 험지이동가능한 로봇, 로버 개발 시도가 KAIST, 한국생산기술연구원 등에서 진행 중이나 실제 임무 수행은 요원 -국내 험지형 로봇들은 TRL 5단계 이하 수준으로 실제 현장 활용까지는 안정성, 신뢰성 강화 등 노력이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • KAIST의 험지구조용 로봇 ‘롭해즈’, 한국생산기술연구원의 험지이동용 로봇 ‘진풍’ 등이 개발된 바 있음



구분	내용	비고
	-자율탐사형 로봇은 지뢰제거용 로봇 기술 개발 분야에서 시도되고 있으나 실외 환경에서의 자율탐사는 매우 제한적	
종합	<ul style="list-style-type: none"> • 유해발굴에 적합한 험지극복형 이동장비와 유사한 지향점을 가진 군사용 로봇 분야의 기술 개발은 매우 활발 • 험지이동, 자율탐사, 배터리 기동 등 유해발굴 관련 기술 수요를 충족시킬 수 있는 기술은 현재 국내외에 없음 	

※ 출처: ETRI(2020), 전사자 유해발굴 및 지중투과 핵심기술개발사업 공동기획 제안서 (참고하여 재작성)

- (기술 개발 방향) 험지기동로봇 등에 대한 주요국의 경쟁에도 불구하고 진척이 느린 만큼 유해발굴용 험지극복형 이동장비에 대한 기대 또한 낮추는 것이 현실적
 - 로봇, 로버 등에게 있어서 급경사지, 수풀 등 발굴현장 환경은 극복하기 어려운 제약 조건이며 수년 내 활용 가능한 기술 개발은 어렵다는 것이 관련 전문가 의견
 - 발굴현장 환경 및 관련 기술 분석 등에 기반하여 유해발굴에 맞춤형 험지극복형 이동장비 형태와 요소기술 대한 개념설계를 우선적으로 추진하는 것이 현실적 전략
 - 향후 로봇, 로버 관련 기술이 성숙되면 유해발굴에 맞춤형 험지극복형 이동장비 형태와 요소기술 대한 개념설계를 구현하는 기술 개발을 별도로 추진할 수 있을 것
 - 현재로서는 지중탐지기술과 유해인식 AI 기술을 중심으로 유해발굴 현장에서 활용 가능한 기술 개발에 집중하는 것이 합리적 접근으로 판단됨

표 2-10 험지극복형 이동장비 기술 개발 방향

기술 구분	내용
극험지 이동체 탐사 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 험지 정밀 안정 이동을 위한 로보형 이동체 설계 • 극험지 이동을 위한 보행형 이동체 설계
극험지 자율탐사 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 험지 인식 분류 기술 • 자율 탐사 경로 기술
운용통제 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 하이브리드 운용통제 아키텍처 기술 • 정적·동적 임무계획 알고리즘 기술

※ 출처: ETRI(2020), 전사자 유해발굴 및 지중투과 핵심기술개발사업 공동기획 제안서 (참고하여 재작성)

3 유해발굴을 위한 통합적 기술 개발 및 활용 전략

- 유해발굴 전문가의 기술 수요와 각 기술 분야별 전문가가 제시한 기술 개발 방향 및 목표 수준 간에 괴리가 발생해 통합적 관점의 새로운 기술 개발 전략이 필요
- 지중탐지기술, 유해인식 AI 등을 탑재할 험지극복형 이동장비는 현 시점에서는 수년의 노력으로도 개발이 어려울 것이라는 것이 기술 전문가 의견
- 유골 탐지 깊이 2m에 대한 수요는 충족시키지 못할 것으로 보이며 1cm 수준의 분해능 요구 또한 사실상 반사형 엑스레이만 충족 가능성이 있는 것으로 평가됨

표 2-11 개발할 수 있는 기술의 수요 충족 가능성

기술 수요 구분	수요 내용		개발할 기술의 수요 충족 가능성 (높음 ○, 중간 △, 낮음 ×, 해당사항없음 ·)				
			반사형 엑스레이 + 유해인식AI	GPR + 유해인식AI	초음파 + 유해인식AI	SAR + 유해인식AI	험지극복형 이동장비
매물 유골 탐색	탐지 분해능	1cm	○	×	△	×	·
	탐지 깊이	2m	×	×	×	×	·
	유골 인지	인간 뼈 인지, 부분유해 인지	△	△	△	×	·
HW 험지 활용성	- 개인호·교통호 내 운용 - 불규칙 지형 극복 - 40도 경사, 30cm 장애물 - 잡목 지역 탐지·운용 - 원격조정, 송수신기능 (운용거리 1km 이상)		·	·	·	·	×
HW 운용 특성	- 장비 경량화 및 휴대성 (5Kg~15kg) - 내충격성과 내구성 - 전천후 운용 가능 - 배터리 운용 (1일 24시간 이상)		·	·	·	·	×

※ 출처: 저자 작성

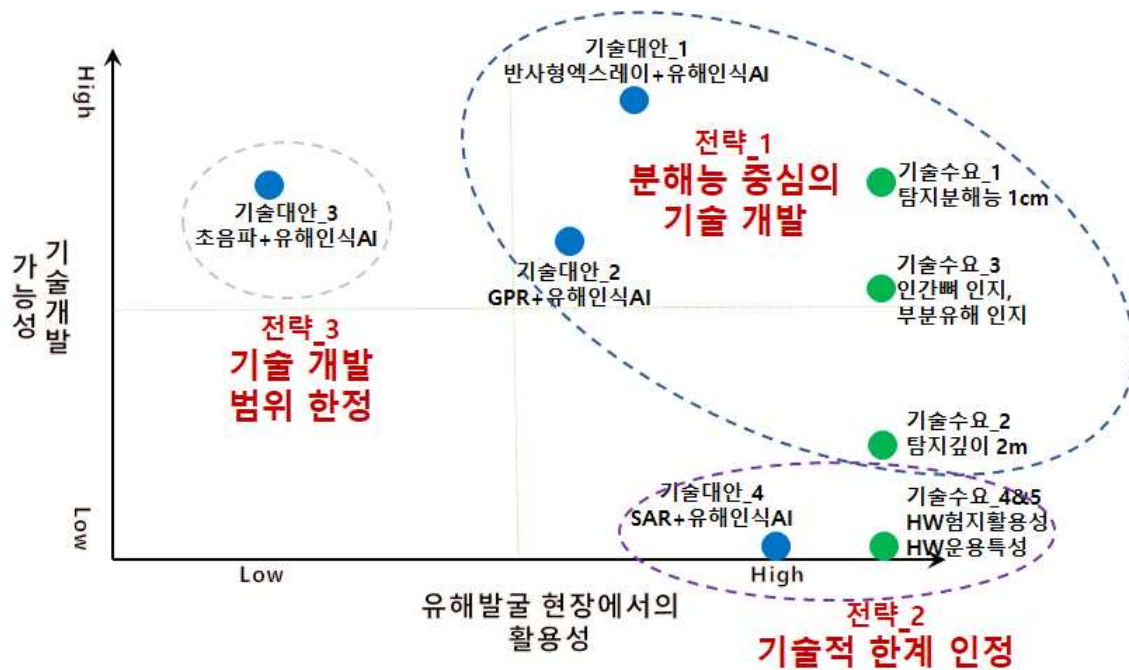
- 초음파 기반 탐지는 일반적 산악지대 지질에서는 기대 성능이 매우 낮아져 사실상 탐지 깊이와 분해능에서 수요를 충족시킬 가능성이 낮음
- 유해인식 측면에서도 AI 성능 확보를 위해서는 고품질 이미지가 필요한데 GPR 기술의 경우 유해 이미지 형성에 대한 기대가 높지 않음



- 만약 현재 가장 수요 충족 수준이 높은 반사형 엑스레이 기술 개발에만 집중한다 해도 방사선 누출에 의한 인명 피해와 생태계 파괴 위험 등의 문제가 존재
- 이러한 문제들은 현장 수요자와 기술 전문가가 각자의 관점과 지식 한계 내에서 문제를 정의하고 해결 방향을 타진한 결과로 사료됨
 - ※ 유해발굴 전문가는 문제를 정의하는 관점이 기존 발굴절차, 인력 스킬셋 등에 속박되고 기술적 해결 방식에 대한 수요 제기가 기술 지식 부족에 의해 제한
 - ※ 또한 국가적 보훈 사업 수행주체로서 가지는 문제해결에 대한 다급함이 더 해져 현시점에서 수년 내 개발이 어려운 수준의 기술 수요를 제기
 - ※ 기술 전문가는 유해발굴 사업의 효율 개선이라는 목적성에 대한 관심은 약한 상태에서 자신의 전문 분야인 기술의 고도화 관점에서 개발 방향을 제시
 - ※ 연구자로서 도전적 기술 개발 실패에 대한 부담감 또한 보수적인 기술 개발 방향을 설정하도록 한 요인
- 따라서, 유해발굴 사업의 효율 개선이라는 목표 하에 현장의 수요와 기술 특징을 재분석하고 현실적으로 가장 유효한 기술 개발 및 활용 전략에 대한 고민이 필요
- (수요와 기술적 대안의 재분석) 반사형 엑스레이와 GPR을 중심으로 유해탐지·유해인식 기술을 개발하고 신기술의 현장 활용성을 고려한 새로운 유해발굴 절차까지 제시
- SAR 기반 기술은 잡목 정리 없이 활용가능하다는 점에서 대단히 활용성이 높게 평가되었지만 기술의 물리적 한계로 인해 유해탐지 능력은 매우 부족
- SAR 기반 유해탐지에 대한 현장의 높은 기대에도 불구하고 SAR 기술은 지표면의 금속체 전투 흔적 탐지에 의한 유해매물 의심지역의 사전 탐색용으로만 활용 가능
- 험지극복형 이동장비 개발은 매우 매력적인 도전과제이지만 현재 기술 수준 파악, 실제 현장 방문 등을 거치면서 기술 개발의 난이도가 예상을 상회함을 인지
- 현장에서도 험지극복형 이동장비에 대한 기대가 매우 높았지만 현 시점의 기술개발 전략에서는 제외하는 것이 예산 투자 등의 측면에서 합리적일 것으로 판단됨
- 초음파 기반 유해탐지는 기술개발 가능성은 낮지 않지만 일반적인 산악지대의 지질에서는 활용성이 떨어지므로 우선적 기술 개발 대상은 아님
- 반사형 엑스레이와 GPR이 지중탐지 및 유해인식 AI 측면에서 현장 활용성과 기술 개발 가능성을 모두 충족시킬 수 있는 전략적 대안

- 단, 지중탐지에 있어서 분해능과 탐지깊이는 기술적 상반관계(trade-off)를 가지고 있으므로 보다 중요한 기술 특성에 집중하는 전략이 필요
 - ※ 분해능 향상을 위해서는 전자파의 파장을 짧게 만드는 것이 일반적인데 이 경우 탐지깊이는 얕아지게 되고, 탐지 깊이를 증가시키려면 전자파 파장을 길게 설정해야 하는데 이 경우 분해능은 감소
- 기술 전문가와 현장 전문가가 간과한 것은 얇은 깊이만 탐지 가능해도 탐지-굴토를 반복함으로써 유해발굴 사업의 효율 개선은 가능하다는 점
 - ※ 예를 들어 지중 20cm 깊이까지 분해능 1cm 수준으로 유해탐지·인식이 가능한 경우, 유해가 없다고 판단된 지점은 깊이 20cm까지 유해 훼손 염려없이 빠르게 굴토할 수 있으며, 이러한 탐지-굴토 작업을 반복해나가면 깊은 토층까지 효율적으로 도달할 수 있음
- 한편, 유해인식 AI의 능력은 지중탐지를 통해 획득되는 이미지의 품질과 비례하므로 분해능의 향상은 유해인식 AI의 성능도 함께 개선시킬 것으로 예상됨

그림 2-5 현장 활용성과 기술개발 가능성 기반 기술 대안 분석



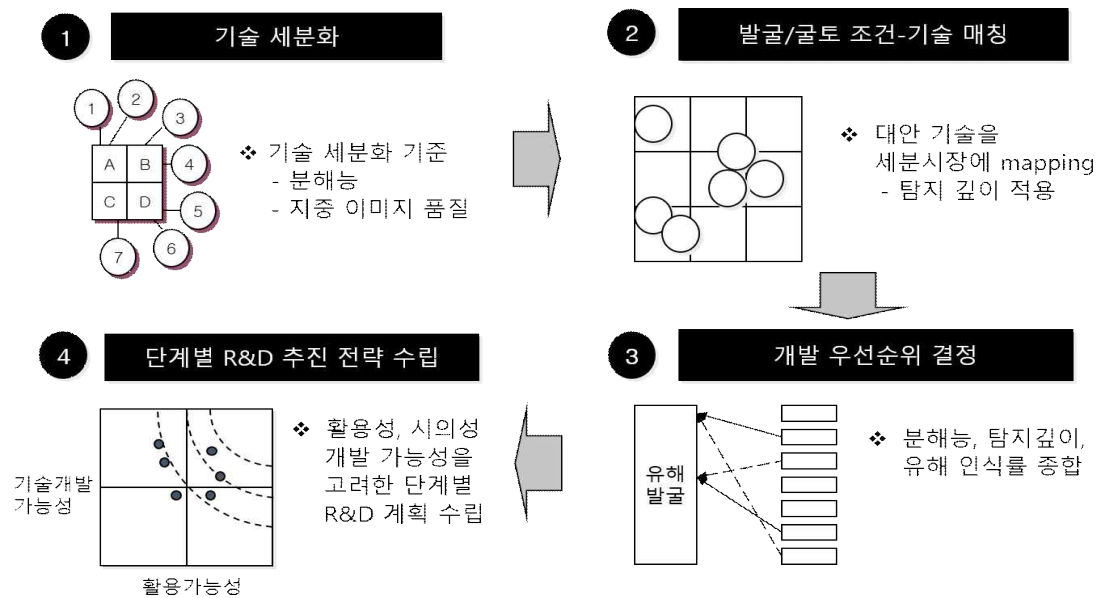
※ 이미지 출처: 저자 작성

- (통합적 기술 개발·활용 전략) 탐지깊이 보다는 분해능에 집중해서 반사형 엑스레이와 GPR 기술 고도화를 진행해 나가는 것이 합리적 기술 개발 방향



- 반사형 엑스레이와 GPR 기술을 중심으로 지중탐지 분해능 개선 및 지중 이미지 품질 향상을 목표로 기술을 고도화하는 것이 우선적인 기술 개발 방향
- 이러한 방향의 기술 개발은 향후 현장 활용 시 탐지·유해인식 작업과 굴토를 반복적으로 적용해 발굴 깊이를 확보해 나가는 작업 방식 변화가 수반되어야 함
- 미루어진 험지극복형 이동장비 개발, 얇은 탐지깊이 등으로 인해 유해발굴 사업의 효율 개선은 당초 기대보다는 줄겠지만 현재 발굴 방식에 비하면 큰 개선이 예상됨

그림 2-6 기술 탐색 및 개발 우선순위 도출 과정



※ 이미지 출처: 저자 작성

- 구체적으로 반사형 엑스레이는 탐지깊이 20cm 수준에서 분해능 0.3cm, GPR은 탐지깊이 20cm 수준에서 분해능 1cm를 목표로 우선적 기술 개발 진행을 제안
- GPR 지중탐지기술에서 획득한 지중탐지 데이터를 이미지화하고 입체영상으로 전환하는 별도의 연구 또한 병행해서 함께 진행
- 유해인식 AI를 위해 부족한 유해 데이터에도 높은 인식률을 달성할 수 있는 전사자 유해 맞춤형 이미지 인식 알고리즘을 개발하는 것 또한 필수적
- 험지극복형 이동장비에 대한 개념설계 연구는 향후 관련 기초 기술 개발에 성과가 보이면 실제 유해발굴용 장비 개발이 가능하도록 기술 개발 초기부터 병행해 진행

- SAR, 초음파 연구는 인력, 예산 등의 투자에 있어서 우선 순위를 낮추어 진행함으로써 반사형 엑스레이와 GPR 기술 개발에 대한 집중도를 유지

표 2-12 전자자 유해발굴 사업의 디지털 전환을 위한 기술 개발 우선 순위

구분	기술개발목적 및 목표수준	기술개발내용	우선 순위
반사형 엑스레이	<ul style="list-style-type: none"> •(목적) 매물 유해 탐지와 이미지 획득 •(목표) 탐지깊이 20cm, 분해능 0.3cm 	<ul style="list-style-type: none"> •HW 모듈 최적화 •탐지 분해능 향상 기술 •고속화 및 입체영상 변환 	1
GPR	<ul style="list-style-type: none"> •(목적) 매물 유해 탐지와 이미지 획득 •(목표) 탐지깊이 20cm, 분해능 1cm 	<ul style="list-style-type: none"> •고분해능 레이더 시스템 •어레이 데이터 처리 기술 •영상처리 기술 	3
유해인식 AI	<ul style="list-style-type: none"> •(목적) 지중 유해의 인지 •(목표) 1cm 크기 인골 인지 	<ul style="list-style-type: none"> •손실 부분 복원 기술 •전자자 유해 특징 학습 •非유해 물질 특징 학습 •설명 가능한 유해 인지 AI 	1
SAR	<ul style="list-style-type: none"> •(목적) 지상의 금속물 전투흔적 탐지 •(목표) 드론 탑재형 SAR 	<ul style="list-style-type: none"> •잡목 투과형 저주파 SAR 영상 형성 기술 •경량화 SAR 기술 	5
초음파	<ul style="list-style-type: none"> •(목적) 균일매질 하 유해 탐지 •(목표) 탐지깊이 20cm, 분해능 0.3cm 	<ul style="list-style-type: none"> •초음파 어레이 소자 기술 •초음파 신호 처리 기술 •실시간 영상 획득 기술 	5
험지극복형 이동장비 개념 설계	<ul style="list-style-type: none"> •(목적) 험지극복형 이동장비의 기능, 형태 관련 개념 설계 도출 •(목표) 기술적 요구 사항의 구체화 	<ul style="list-style-type: none"> •극험지 이동체 탐사 기술 개념 설계 •극험지 자율탐사 기술 개념 설계 •극험지 운용통제 기술 개념 설계 	4

※ 국방부 요구사항과 기술 개발 목표와의 부합도 등을 토대로 자체 평가한 자료임

- 이상에서 세계적으로 전례 없는 전사자 유해발굴의 디지털 전환을 위한 기술 개발에 관련된 수요와 기술적 해법, 그리고 통합적 기술 개발 및 활용 전략에 대해 살펴보았음
- 최종 제시된 ‘전사자 유해발굴 사업의 디지털 전환을 위한 기술 개발 우선순위’는 현장의 요구사항과 기술 개발 목표와의 부합도 등을 토대로 자체 평가한 자료임
 - ※ 국방유해발굴감식단 소속 현장 전문가, 출연기관 및 대학의 기술 전문가 등에 의한 상세한 기술 개발 기획은 추후 진행될 예정이며 현 단계에서는 소수 전문가들의 아이디어 개발과 토의를 통한 상호 검증을 거쳐 추진 가능하리라 생각되는 기술 개발 전략을 제안한 것
- 현장 수요자와 기술 전문가의 전문적 식견을 통합, 조정하며 기술 개발 전략안을 개발하는 과정에서 얻어진 시사점은 다음과 같음

가. 현장과의 소통이 중요

- 단순히 현장 전문가의 의견 수집과 분석 뿐만 아니라 전사자 유해발굴 현장 답사, 현장 작업 병력의 의견 청취 등이 기술 개발 전략 도출에 있어서 결정적 전환점
- 기술 전문가와 현장 전문가가 함께 실제 전사자 유해발굴 현장을 다녀오고 상황을 분석한 이후 혐지극복형 이동장비 개발 전략은 전면 수정됨
 - ※ 혐지극복형 이동장비의 실제 개발 가능성에 대한 회의적 시각은 존재했었지만 현장 답사 이후 이동장비 관련 논의가 일단락
- 또한 실제 산악지대에서 기대할 수 있는 지중탐지 수준이 높지 않음을 수용하면서 분해능에 집중하는 기술개발 전략에 대한 동의가 형성
 - ※ 탐지깊이 관련 현장 전문가의 높은 기대 수준을 기술 개발 목표로 수용하려 했지만 현장의 지질과 굴토 상황을 실제로 보고 검토한 이후 탐지깊이에 대한 기술 개발 목표 수준을 대폭 하향 조정
- 전사자 유해발굴이라는 매우 이례적이고 특수한 사업의 효율 개선은 발굴현장에 대한 집중적 체험과 분석이 필수적
- 지중탐지기술, 이미지 인식 AI, 로봇 및 로버 기술 등 각 분야 기술 전문가에게 있어 유해발굴은 매우 특수하고 제약 조건이 많은 상황
- 유해발굴감식단 소속 전문가들이 풍부한 경험을 가지고 있지만 그들이 해석하고 그들의 언어를 통해 전달된 현장의 상황은 문제의 실체를 그대로 전달하는데 한



계가 있었음

- 기술 전문가와 유해발굴감식단 소속 전문가가 함께 현장을 경험하면서 문제를 새롭게 정의하고 혁신적 해결 방향을 발견하는 과정이 필요했음
- ※ 유해발굴 뿐만 아니라 사회문제해결형 기술개발 과제 있어서 직접적인 현장 체험은 필수적 과정

나. 기술 개발이 아닌 문제 해결이 우선이라는 인식이 필요

- 기존 기술의 고도화라는 관점에서 유해발굴 관련 기술 개발 방향이 제시되면 실제 문제해결이 불가능한 계획이 만들어지는 사태가 발생
 - 반사형 엑스레이, SAR, GPR, 초음파 등 지중탐지를 위한 기술 대안별 전문가의 의견은 기존 기술의 고도화 관점에서 제시되었음
 - 이에 따라 문제해결 가능성에 대한 고려가 부족한 상태에서 기술 개발 목표 수준을 구체화하면서 최종적인 유해발굴 사업의 효율 개선에 대한 담보가 이루어지지 않았음
 - ※ <표 2-5> ‘지중탐지기술 대안별 특징 및 장단점 분석’에 나타난 탐지깊이, 분해능에 대한 기술 전문가의 예측 및 기술 개발 수준 제안은 각 요소 기술별 전문가의 식견에 기반하고 있지만 실제 유해를 탐지하면서 나타날 탐지깊이와 분해능의 상반관계에 대한 인식은 없었음
 - 땅속의 유해를 지표면에서 인지하는 일은 유해발굴 사업의 효율을 개선하려는 상위 목적을 달성하기 위한 과제의 일부분이라는 인식 전환이 필요
 - ※ (기술 개발 중심 문제 해결) 지표면에서 땅 속 유해를 탐지, 인지하기 위해 필요한 탐지깊이, 분해능에 한계가 있다면 비용을 투입해 기술 고도화해야 함
 - 단, 실제 현장에서 활용가능한 기초 기술 확보를 위해서는 선행연구 검토 등을 통한 기술 활용성 검증이 시행되어야 할 것임
 - ※ 선행연구를 통해 실제 유해를 센싱할 수 있고, 인식할 수 있는 기술·시스템에 대한 명확한 개념설계 및 검증(TRL 2단계 수준) 필요
- 현장 전문가의 기술적 지식 부족과 과도한 기대로 인해 실현 불가능한 기술 수요가 제안되면서 전체 기술 개발 과제가 무산될 수도 있는 위기가 발생
 - AI 등 최근 ICT 기술 혁신 성과에 대한 과도한 기대를 가진 현장 전문가가 매몰 유해의 탐지에 대해 매우 높은 기술적 수요를 제기
 - 기존 발굴방식과 맞물린 기술 활용에 대한 고민없이 신기술에 의한 획기적 효율 개선을 기대하면서 현실적 문제해결 방안 개발이 난항을 겪게 되었음

- 실제 성과가 담보된 유해발굴 사업의 디지털 전환을 위해서는 현장의 기술 수용 방안에 대한 혁신도 뒤따라야 한다는 인식이 필요

다. 단기·장기 기술개발 전략의 병행과 효과적 민군 협력이 요구

- 자연적 부패, 난개발 등으로 인한 유해의 손실로 인해 단기간 내 개발, 활용 가능한 기술이 우선 필요하기에 단기적·장기적 기술개발 전략의 구분이 필요
 - 상대적으로 많은 유해가 있을 것으로 추정되는 지역과 환경, 현 병력이 운용 가능 기술 등을 고려해 단기적 기술 개발을 추진함으로써 기존 발굴방식과 병행해 사용할 수 있는 유해탐지 및 인식 기술을 확보하는 것이 필요
 - ※ 현 발굴 추이를 보면 산술적으로 사업 완료시까지 향후 240년 이상 소요되나 국토개발 속도, 매장 유해의 부패 등을 고려해 보면 사실상 장기에 걸친 유해발굴 작업의 추진은 완료가 불가능
 - ※ 또한 병력 자원 감소 추세를 볼 때 발굴작업에 대한 병력 투입은 적지 않은 전력 손실임으로 신속하게 최첨단 기술을 적용하여 인력의 효율적 운영 방안을 마련해야 함
 - 장기적으로는 기존 방식으로는 파악하기 어려웠던 유해 매몰지까지 탐색할 수 있으며, 보다 다양한 환경에서 적용 가능해 국내 뿐만 아니라 국제적으로 활용 가능한 기술 개발을 추진
- 유해발굴을 담당하고 있는 국방부와 ICT 기술 개발을 추진하는 과학기술정보통신부의 효과적인 협력이 필수적인 기술 개발 과제
 - 국가적, 인도적 차원에서 기술 개발 명분이 명확하지만 담당 부처, 현장 전문가, 기술 전문가의 소통과 공통 지식 기반이라는 혁신 시스템의 필수 요건이 갖추어지지 않아 기술 개발에 난항
 - 기존 민군 협력 기술 개발이 무기체계 개발을 위한 기업과 국방부의 협력이었던 것과는 달리 비무기체계 기술, 기초 기술 개발을 위한 정부 부처 간 협력이 필요한 상황
 - ※ 지중탐지기술은 높은 확장성을 내재하고 있으므로 민·군 기술 융복합을 통하여 관계산업 경쟁력 제고 및 국방전력 강화 측면에서 다각적인 협력 필요
 - ※ 민군 활용을 위하여 부처 간 연계 협력을 통한 기술개발과 현장 적용성을 평가, 향후 사업의 내실화와 원천기술의 확장 적용 시 예산 절감이 가능함
 - ※ 기존 부처별 보유하고 있는 각종 개발계획, 실효성 검토 플랫폼 등을 공유하므로써 개발 및 실효성 검토 기간 단축이 가능함
 - ※ 4차 산업혁명 보급확산을 위해 국정과제로 추진 중이며, 민간 분야의 스마트야드 개발, 국방분야에서 제공 가능한 야전 테스트베드 활용 등 협력이 가능함



참고문헌

◆ 국내자료

BBC Korea(2018.7.16.), 유해발굴: 수습되지 못한 12만여 구 유해... 그들은 누구일까?

ETRI(2020), 전사자 유해발굴 및 지중투과 핵심기술개발사업 공동기획 제안서

ETRI(2020), 전사자 유해발굴 및 지중투과 핵심기술개발사업 공동기획 진도보고

국방부(2020), 병영정책과 내부자료

국방부(2020), 유해발굴감식단 홈페이지(<http://www.withcountry.mil.kr>)

노영석(2018). 국가폭력과 유해발굴의 사회문화사, 산지니

박선주(2006), 6.25 전사자 유해발굴, 한국보훈논총 제5권 제2호.

정지형 외(2020), Practical Use of ICT for Killed in Action Recovery and Detecting Non-metallic Mines. ICC2020.

최용호(2015), 6.25 참전용사 유해발굴과 호국영웅 선양 방안, 한국보훈학회지



저자소개

정지형 ETRI 지능화융합연구소 기술정책연구본부 경제사회연구실 책임연구원

e-mail: jhc123@etri.re.kr Tel. 042-860-5643

한역수 ETRI 지능화융합연구소 기술정책연구본부 지능화정책연구실 책임연구원

e-mail: eshan@etri.re.kr Tel. 042-860-5747

전자자 유해발굴 사업의 디지털 전환을 위한 ICT 기술 개발 이슈

발행인 이 지 형

발행처 한국전자통신연구원 지능화융합연구소 기술정책연구본부

발행일 2020년 12월 30일



www.etri.re.kr

ETRI Electronics and Telecommunications
Research Institute

34129 대전광역시 유성구 가정로 218
TEL.(042) 860-6114 FAX.(042) 860-6504

비매품/무료

93560



9 788955 192773

ISBN 978-89-5519-277-3

