

국민의 내일을 위한 정부혁신

보다 나은 산림청

AI 기반 임도 설계 및 유지관리 최적화 기술개발 기획보고서

2025.12.



산림청

Kofpi 한국임업진흥원
Korea Forestry Promotion Institute

요약

I 사업개요

1 사업추진 배경

- 한국은 국토의 63%가 산림임에도 불구하고 목재 자급률은 17%로 매우 낮아, 국산 목재 경쟁력 향상을 위해 임도의 첨단화 필요
 - 2023년 기준 전체 목재수급량은 2천 6백만^m에 달하나 자급률은 17.4%로, 목재 자급률 제고를 위해서는 벌채 및 목재 운송 단계에서 생산성 제고가 요구
 - 임도 기반의 산림자원 접근성은 국내 목재산업의 생산성에 직결되나, 현재 임도 인프라 부족으로 목재생산 기반 전환 지연되는 현실
 - 현재 임도의 수작업 중심 체계 및 인력 부족·고령화 문제로 인해, 정책적·제도적 수단만으로는 근본적 문제 해결에 한계

임도로부터 거리 (m)	목재수확면적(ha)		목재생산량(^m)	
100m 미만	1,132	50.4%	118,136	50.7%
100~200m	552	24.6%	58,128	24.9%
200~300m	212	9.4%	25,450	10.9%
300~400m	136	6.0%	14,731	6.3%
400~500m	59	2.6%	4,757	2.0%
500m 이상	157	7.0%	11,802	5.1%
총계	2,248	100%	233,004	100%

자료 : 산림기술경영연구소('20), '목재생산비용 절감을 위한 기반시설 효율화 기술 개발'

2 사업추진 필요성

- 임도는 목재생산 효율성에 직결되는 핵심 산림경영 인프라로, 자원의 이동과 순환을 최적화할 수 있는 최적화된 임도 구축이 시급
 - 벌채 및 목재 수확 작업에 임도를 활용한 기계장비 투입 시 인력수집 대비 약 70~80%의 예산절감 효과 (국립산림과학원 '20)
 - AI 기반의 임도 측량·설계 기술은 임도 신설 과정을 효율화할 뿐만 아니라, 자재 운송 거리를 최적화하여 목재 산업을 효율화할 수 있음
 - GIS 및 알고리즘 기반 노선 자동화 기술은 운송비 46.85% 절감 (Akay et al., 2021)
 - 캐나다 BC주는 LiDAR 기반 임도 설계 도입 후 벌채당 \$1.57/^m비용을 절감



[AI활용 데이터 기반 노선선정 및 설계]



[AI활용 데이터 기반 유지관리]

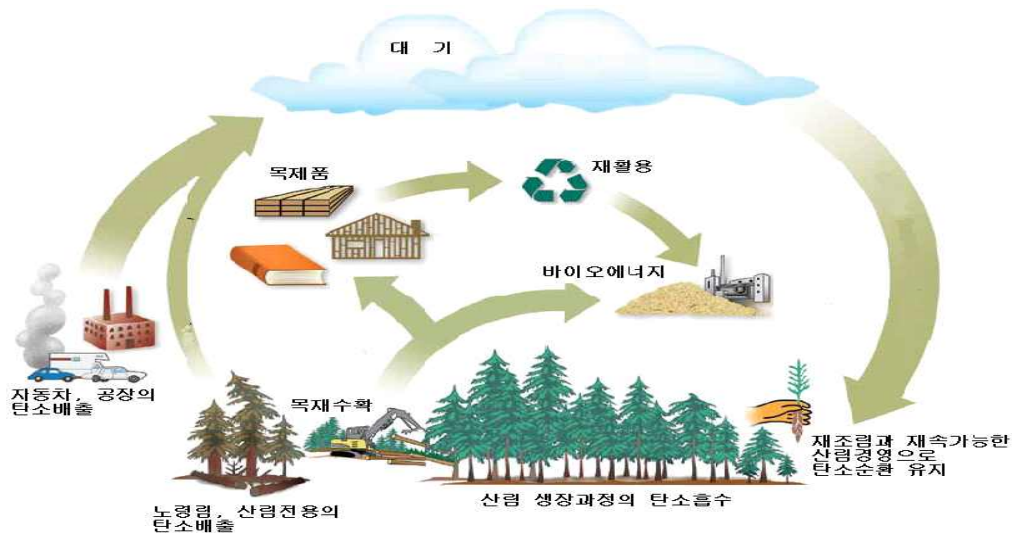
II

대내외 환경분석

1 경제·사회 동향

- 임도는 목재 등 산림자원을 조성 및 수확하는 활동에서 인적·물적 자원의 통로로 기능하는 산림순환경영의 필수 인프라임
- 산림순환경영은 산림을 조성하고, 나무를 수확·가공하여 목재로 활용한 후 다시 조림하는 산림자원 순환체계의 실현을 의미함

<임업·임산업의 탄소순환계>



자료 : 한국농촌경제연구원, 기후변화에 대응한 목재수급 정책과제, 2011.11

- 임도는 간선임도, 작업임도, 산불진화임도 등으로 나뉘며, 각 임도는 산림 자원 관리 및 재해 대응에서 중요한 기능을 지님
- 간선임도는 산림 지역에 대한 접근성을 개선하고 목재 운송을 위한 산림 내 주요 경로로 활용되며, 특히 외부 도로망과 산림 내 구역을 연결함
 - 작업임도는 목재 수확을 위한 임시 도로로 활용되며, 주로 벌목 작업이 이루어지는 특정 구역에 설치되어 차량 및 장비의 접근을 지원함
 - 산불진화임도는 산불예방·진화 및 산림재해에 신속한 대응을 위해 설치됨





2 정책동향

- 산림청은 '임도의 체계적인 확충과 관리로 산림산업의 경쟁력 강화'를 비전으로 제5차 전국임도기본계획('21~'30)을 수립함
- 산림청은 임도밀도 목표 달성을 위해 유형별 임도에 대한 신설 계획('21~'30년)을 수립 하였으며, 총 11,783km 임도가 신설될 예정임
- 산림청은 AI 기반 임도 설계 및 시공, AI 기반 정밀 계획 및 스마트 유지관리 기술개발 등 추진(산림과학기술 R&D 중장기 로드맵, 산림청, 2024.)

3 국내외 연구 동향

- 해외에서는 첨단기술 기반 임도 신설, 유지관리 체계가 상용화되고 있으나, 국내에서는 기초·정책 연구가 시작되는 단계
 - 국내에서는 산림청 주도로 지상·공중의 센서 장비를 이용한 산림·임도 DB 구축, 3D 모델링 및 활용 방안 연구 등이 추진되었으나, 현재까지 상용화 사례 전무
- 국토부는 도로환경 개선 및 노면 위험요소 저감 등 유지관리 목적의 데이터 기반 기술을 개발하고 있으나 임도는 일반 도로와 근본적인 차이가 있음
 - 임도는 일반 포장도로 대비 지형 기복이 크고, 자연환경(토양, 강수량, 식생) 영향을 직접적으로 받아, 수집하는 데이터의 형태와 알고리즘 개발에서 다른 방식이 요구됨

<임도 신설·유지관리 분야 기술동향(실용화 중심)>

	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 임도 신설, 유지관리 등 효율성 제고를 위한 AI 등 첨단기술의 상용화는 전무 ▶ 산림조합 및 엔지니어링 업체 등 임도 현장은 '95년에 상업화된 '오솔길 임도' 프로그램과 Auto-CAD 프로그램을 병행해서 사용 중
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ '00년대 이후 ALS(항공), TLS(지상) 등 원격탐사 기술을 산림데이터 구축에 적용 ▶ 토목분야에서 사용되고 있던 센서기반 경사지 계측시스템인 Smart-Pole을 도입하여 임도에 발생하는 피해 통계 및 대응책 개발에 활용 중 ▶ 국유림 중심으로 임도를 활용하는 PODs(잠재적 산불 운영구획) 및 PCLs(진화 경계 후보지) 시스템 구축, 소방 접근로의 사전 확보 및 도로별 유지보수 우선순위 결정에 활용
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 민간회사(Softree)가 '24년 캐나다 산림 임도의 최적화된 노선 계획 및 디자인을 위한 소프트웨어를 개발, 지방 정부 및 임업회사 등에 공급 중 ▶ 지방정부가 연료차단대형 도로관리 구간을 지정하여 정기 점검 및 연소물 제거 ▶ B.C주 Vernon 시에서는 SenseNet 시스템을 통해 AI를 활용한 산불 조기 감지 및 대응 체계를 도입
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Friuli Venezia Giulia 지방 정부는 임도 유지관리 활용 목적으로 '12년 Siteco 社の 차량에 카메라·LiDAR·GPS를 장착한 시스템을 도입 ▶ 사르데냐 지역 당국은 '22년 IoT 기반 산불 조기감지 센서 도입. 장치를 나무에 부착해 혼연 단계 화재 탐지, 클라우드 기반 경보 시스템과 연동, 수 분 내 알림 전송

4 기술수요 분석

- 최근 5년 간 접수된 기술수요조사서 30건을 분석한 결과, 임도 사업에 첨단기술을 적용하기 위한 기술 수요들이 제안됨
 - 임도 설계에 있어 재해 예방, 효율성 제고 등을 목표로 LiDAR, 3D 스캐닝, 머신러닝, 기상모델링 등 다양한 첨단 기술을 융합한 기술이 제안됨
 - 유지관리 분야에서도 첨단 기술을 적용하여 효율성을 증대시키고, 산불 등 산림재해 예방 및 대응 체계를 강화하는 것에 초점을 맞춘 기술들이 제안됨

5 기술수준 조사

- AI 기반 임도 신설 및 관리 기술 분야에서 선진국 대비 3~4년 내외의 기술 격차가 있어 R&D를 통한 경쟁력 확보가 필요
 - AI 기반 임도망 계획 및 노선 선정, 산불 대응 임도 설계 기술의 수준은 67~68% 수준으로, 미국과 약 4년의 기술 격차가 있는 것으로 조사됨
 - AI 기반 임도 유지보수 예측 및 관리 기술은 68.6%로 약 5년의 기술 격차 존재

Ⅲ

사업 타당성 검토

1 사업추진의 시급성

- (현장수요 측면) 임도 신설·유지관리 사업을 효율적으로 시행·관리하기 위한 과학 기술의 활용이 필요함
 - 산림 선진국들은 첨단기술로 임도를 최적화, 목재 생산성을 극대화하는 가운데, 국내에는 수작업 중심 체계로 효율화 한계
 - 산촌 인구가 고령화되는 가운데, 임도 관리 인력 또한 태부족

2 정부지원의 필요성

- 임도는 목재생산 효율성에 직결되는 핵심 산림경영 인프라로, 자원의 이동과 순환을 최적화할 수 있는 최적화된 임도 구축이 시급함
 - 임도는 산림경영·자원 활용·재해 대응을 위한 핵심 기반시설로, 체계적인 유지관리 없이 신설만으로는 그 효과가 제한적
 - 본 연구개발을 통해 AI 기반 설계, 유지관리 기술을 적용하면 기존 임도 사업의 운영 효율성을 극대화할 수 있음
 - 정부 및 지자체의 임도 관련 사업이 과학적 데이터에 기반하여 운영될 수 있으며, 사업 평가 및 의사결정의 객관성을 확보할 수 있음

3 기존사업과의 차별성 및 연계성

- NTIS 검색 결과, 임도 설계·유지관리 관련 분야의 연구개발을 핵심 목표로 하는 국가 R&D 사업은 본 사업이 최초
 - 유사한 사업은 수행된 바 없으며, 과제단위 연구에서 3D 기반 임도망도를 구축, 또는 데이터를 임도 설계·시공에 활용하는 방안을 연구한 사례는 존재
 - 그러나 3D 데이터를 기반으로 임도 노선 기획, 설계, 유지관리 등 기능을 지닌 AI 기반 시스템을 개발하는 실용화 연구는 수행된 바 없음
 - ☞ AI 기술을 기반으로 임도 노선 기획, 설계, 유지관리 등 현장에서 직접적으로 활용되는 응용 시스템을 개발하는 R&D 사업은 본 사업에서 최초로 추진

4 정책 및 상위계획과의 부합성

- 동 사업은 산림산업 인프라로 기능하는 임도의 체계적인 신설 및 관리에 기여하기 위한 R&D로 정부의 정책 방향과 부합성이 매우 높음
 - 본 사업의 추진 내용은 제5차 과학기술 기본계획, 제1차 국가 연구개발 중장기 투자전략 등 정부 상위계획과 연계성을 확보하고 있음

IV 사업 기본방향 및 추진전략

1 사업 기본방향

- 본 사업은 AI·LiDAR 등 첨단기술을 적용해 임도의 산림경영 지원 기능을 극대화하여 국내 산림산업의 경쟁력 제고에 기여하는 R&D 사업으로 기획
- 전문가 의견수렴을 통해 임도 사업 전주기에서 임도의 기능 및 R&D를 통한 문제 해결이 요구되는 영역을 정의하고, 기본 방향 및 내역사업을 구성

<임도 사업 전주기 R&D 영역 모식도>

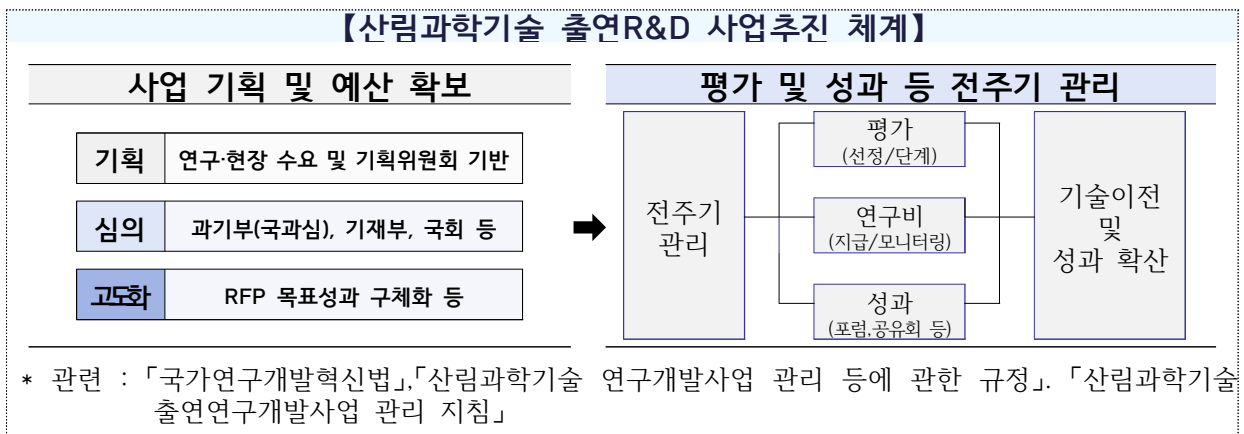


2 사업 추진전략

- R&D 성과의 안정적인 현장 적용을 위한 단계별 전략 수립
- 사업 기본방향에 따라 내역사업을 구분하여 추진하되, 각 사업별 특성을 반영한 세부적인 전략을 수립 후 추진

추진 체계	내역사업	기간	'26년 예산	비고
		AI 기반 임도 노선 선정 및 설계 최적화 기술개발	4년	1,250백만원
	AI 기반 임도 유지관리 및 활용 기술개발	4년	1,250백만원	

- 사업추진 절차 및 관리체계



3 비전 및 목표

<AI 기반 임도 설계 및 유지관리 최적화 기술개발 사업 체계도>

목표	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 목재생산성 향상과 산림작업 효율화를 위한 AI 기반 첨단 임도 기술 적용 ▶ AI 기반의 과학적 임도 신설·운영 체계 구축으로 산림경영 인프라 고도화
----	--

중점 추진 분야 및 세부 내용	중점분야	추진 세부내용
	AI 기반 임도 노선 선정 및 설계 최적화 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> - (총괄) 목재생산형 임도 신설을 위한 AI 데이터 표준화 기술 개발 - (세부1) AI 기반 목재 운반 효율 중심 광역 임도망 배치 시스템 개발 - (세부2) AI 기반 임도 노선 선정 알고리즘 개발 - (세부3) 3D 시뮬레이션 기반 임도 설계 최적화 기술 개발
	AI 기반 임도 유지관리 및 활용 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> - (총괄) 목재생산 임도 유지관리 및 활용 고도화 - (세부1) AI 기반 임도 유지보수 예측관리 기술 개발 - (세부2) 임도 훼손지 복구를 위한 비탈면 안정화 기술 개발 - (세부3) 목재 운송 및 탄소 저감 연계 임도 활용 모델 개발

추진 체계	내역사업	기간	'26년 예산
	AI 기반 임도 노선 선정 및 설계 최적화 기술개발	4년	1,250백만원
	AI 기반 임도 유지관리 및 활용 기술개발	4년	1,250백만원

수혜자	
직접 수혜	간접 수혜
산림청, 국유림관리소, 지방자치단체 산림 정책 담당자, 임도 설계·시공 관련 기관 및 기업	산림 현장 인력, 목재 운반 작업자, 국민(목재생산업 및 목재산업 등 관련 산업 생산성 향상)

성과지표				
목재 운반 효율 향상률	목재 생산비 감소률	접근성 증가를 통한 벌채 가능면적 확대율	목재 자급률 향상	목재(HWP) 기반 NDC 탄소중립 목표 기여도
30% 이상	10%	10% 이상	17% → 25%	5%

목재생산 임도 신설 최적화 및 지능형 유지관리·활용 시스템의 현장 적용 및 보급

기대 효과	임도 전주기를 AI 기반으로 통합 고도화하여, 목재 생산성 10% 이상 향상 임도 운영의 디지털 전환을 통해 산림산업의 과학화·자동화 수준 제고
-------	--

기대 성과				
	<벌채 접근성 향상을 위한 최적 노선 도출>	<AI 기반 자동설계로 임도 신설 효율화>	<센서·AI 기반 임도 유지관리·품질 계측>	<임도 안정성 진단 체계 구축>

4 내역사업

① (내역1) AI 기반 임도 노선 선정 및 설계 최적화 기술개발

- (총괄) 목재생산형 임도 신설을 위한 AI 데이터 표준화 기술 개발
 - 드론·LiDAR 기반으로 산림지형, 토양, 수목정보 등 수집 및 표준화
 - 세부과제별로 개발되는 임도망 계획, 노선 선정, 설계 알고리즘을 통합 탑재한 소프트웨어를 개발, 테스트베드 기반 실증
 - 1차년도 임도 신설 예정지 대상 테스트베드 지정, 총괄·세부과제 수행 후, 4차년도에 실제 시공으로 현장 보급 가능성 검증 및 보완 연구 수행
 - * 시공성, 산불취약도 등 변수를 고려한 전문가 판단으로 선정(상세설명 : 참고9)
- (세부1) AI 기반 목재 운반 효율 중심 광역 임도망 배치 시스템 개발
 - 경제림 입목 현황, 목재 운반 효율성 등 고려 임도망 계획 알고리즘 개발
 - 목재생산성과 접근성을 모두 반영한 경제적 임도망 배치안 제안 시스템 개발
- (세부2) AI 기반 임도 노선 선정 알고리즘 개발
 - 벌채 가능지역, 수종, 임목밀도, 지형 등을 반영한 공간정보 DB 구축
 - 벌채 접근성, 작업기계 진입 가능성, 목재 운반 거리 등을 종합 고려한 AI 기반 임도 노선 자동 추출 알고리즘 개발
- (세부3) 3D 시뮬레이션 기반 임도 설계 최적화 기술 개발
 - AI 기반 사면 안정성, 배수 조건, 시공 가능성 정량분석
 - 설계 효율성과 안전성이 높은 임도 설계안 자동 제안 시스템 구축

② (내역2) AI 기반 임도 유지관리 및 활용 기술개발

- (총괄) 목재생산 임도 유지관리 및 활용 고도화
 - 1차년도 국유림 기설 임도 대상 테스트베드 지정, 총괄·세부과제 수행 후, 4차년도 기존 유지보수 체계 대비 효율성 검증 등 실증·보완 연구 수행
 - * 지형조건, 기술적용성 등 변수를 고려한 전문가 판단으로 선정(상세설명 : 참고9)
- (세부1) AI 기반 임도 유지보수 예측·관리 기술 개발
 - 드론 및 LiDAR 등 센서 부착 차량을 활용한 실시간 임도 DB 표준화 및 임도 모니터링 운용체계 개발
 - 임도 품질 상태 진단 및 유지보수 시점·우선순위 예측 기술 개발
- (세부2) 임도 훼손지 복구를 위한 비탈면 안정화 기술 개발
 - 사면 붕괴 위험 진단 및 예측을 통한 비탈면 안정화 기술 개발
 - 기 구축 임도 구조물의 안정 진단 및 복구 기술 개발
- (세부3) 목재 운송 및 탄소 저감 연계 임도 활용 모델 개발
 - 운송비 및 탄소배출 최소화를 위한 정책 시나리오 및 실행지침 수립
 - 경제·환경 파급효과 평가로 인센티브·규제 설계, 임도 운영 가이드라인 제안

5 성과목표 및 소요예산

① 성과목표 및 지표

- 성과목표 : 목재생산성 향상과 산림작업 효율화를 위한 AI 기반 첨단 임도 기술 적용, AI 기반의 과학적 임도 신설·운영 체계 구축으로 산림경영 인프라 고도화
- 성과지표 및 평가 방안

성과지표명	목표치				측정방법
	'26	'27	'28	'29	
임도망 배치 의사결정 소요시간 단축	-	25%	40%	50%	- AI 임도망 추천 시스템 적용 전·후 의사결정 절차 소요시간(분) 비교
임도 노선 자동추출 알고리즘 정확도	80%	90%	95%	95%	- 테스트베드 노선 실측 대비 자동노선 정합성 비교
임도 설계 소요시간 단축	-	15%	30%	30%	- 현장 실증 기반 설계 수행시간(시간) 및 기술 미적용 시 평균 소요기간 비교
임도 설계 자동화 도구 시제품 개발	-	-	1	2	- 현장 배포가능한 소프트웨어 형태로 개발 - 시제품 기능시험 및 공인테스트 보고서 등
유지보수 필요 구간 예측 탐지율	70%	80%	90%	95%	- 알고리즘 기반 자동화 계측 결과와 현장진단 정확도 비교
기술 미적용 임도 대비 사면 안정성 상승	-	15%	30%	60%	- 기술 미적용 사면의 안정 상태와 테스트베드 실증 대상지의 사면 안정성 비교
손상 임도 복구 소요기간 단축	-	20%	40%	60%	- 기술 미적용 시 평균적인 복구 소요기간과 테스트베드 실증 결과를 전문가 평가 기반으로 분석
임도 활용 모델 정책 반영률	-	25%	75%	100%	- 개발한 정책모델 대비 산림청, 지자체 등 정책 수요기관·부서에 제안 및 증빙자료 제출 건수

② 소요예산

내역사업명	구분	'26	'27	'28	'29	합계
AI 기반 임도 노선 선정 및 설계 최적화 기술개발	국비	12.5	16.7	16.7	16.7	62.5
AI 기반 임도 유지관리 및 활용 기술개발	국비	12.5	16.7	16.7	16.7	62.5
합계	국비	25.0	33.3	33.3	33.3	125.0
	계	25.0	33.3	33.3	33.3	125.0

목 차

I. 사업개요	1
1. 사업추진 배경	1
2. 사업필요성	3
II. 대내외 환경분석	5
1. 경제·사회 동향	5
2. 정책동향	9
3. 국내외 연구 동향	13
4. 기술수요 분석	16
5. 기술수준 조사	29
III. 사업 타당성 검토	31
1. 사업추진의 시급성	31
2. 정부지원의 필요성	31
3. 기존사업과의 차별성 및 연계성	32
4. 정책 및 상위계획과의 부합성	33
IV. 사업 기본방향 및 추진전략	34
1. 사업 기본방향	34
2. 사업 추진전략	34
3. 비전 및 목표	36
4. 내역사업	37
V. 성과목표 및 소요예산	39
참고1. 내역사업별 상세 설명자료	40
참고2. 임도 현황 및 관련 정부 기본계획	42
참고3. 임도 현장 전문가 의견 설문조사 결과	44
참고4. 예산 산출 근거	45
참고5. 해외 임도 기술과 차별성	47
참고6. 테스트베드 선정 프로세스	48
참고7. 기술 활용·확산 계획	49
참고8. 임도 현황 및 본 R&D 사업의 산림청 기본계획 기여 역할	50
참고9. R&D 사업의 경제적 타당성(B/C) 분석	51
참고10. 과제제안요구서(RFP)	53

I. 사업개요

1 사업추진 배경

□ 한국은 국토의 63%가 산림임에도 불구하고 목재 자급률은 17%로 매우 낮아, 국산 목재 경쟁력 향상을 위해 임도의 첨단화 필요

○ 2023년 기준 전체 목재수급량은 2천 6백만^m에 달하나 자급률은 17.4%로, 목재 자급률 제고를 위해서는 벌채 및 목재 운송 단계에서 생산성 제고가 요구

* 주요국 목재자급률: 미국 71%, 독일 53%, 일본 42%, 한국 17%

<우리나라의 목재수급량(2023년 기준)>

구분	자급률(%)			전체			국산재			수입재		
	원목	총목재	소계	원목	부산물	제품	소계	원목	부산물	소계	원목	제품
전체	64.1	17.4	26,608	5,808	895	19,905	4,618	3,723	895	21,990	2,085	19,905
제재용	27.1	16.4	4,440	2,675	-	1,765	726	726	-	3,714	1,949	1,765
합판용	-	-	1,586	111	-	1,475	-	-	-	1,586	111	1,475
펄프용	100	8.7	8,393	732	-	7,661	72	732	-	7,661	-	7,661
보드용	98.7	45.5	2,715	1,252	-	1,463	1,236	1,236	-	1,479	16	1,463
바이오매스용	100	16.2	6,926	228	892	5,806	1,120	228	892	5,806	-	5,806
기타	98.9	31.6	2,548	810	3	1,735	804	801	3	1,744	9	1,735

자료 : 산림청 홈페이지 - 2023년도 목재수급

○ 임도 기반의 산림자원 접근성은 국내 목재산업의 생산성에 직결되나, 현재 임도 인프라 부족으로 목재생산 기반 전환 지연되는 현실

- 경제림단지 임도밀도 6.28m/ha, 목재생산림 적정 기준(25.3m/ha)의 24.8% 수준
- 국내 벌채량의 약 75%는 임도 200m 이내 지역에서 이뤄짐 (국립산림과학원, 2023)
- 임도 인프라의 열악성은 목재 운반 거리·시간 증가로 생산성 저하 유발, 목재 단가의 상승으로 이어져 목재 수입이 증가하는 악순환 형성

<임도로부터 거리에 따른 목재수확면적 및 목재생산량>

임도로부터 거리 (m)	목재수확면적(ha)		목재생산량(^m)	
100m 미만	1,132	50.4%	118,136	50.7%
100~200m	552	24.6%	58,128	24.9%
200~300m	212	9.4%	25,450	10.9%
300~400m	136	6.0%	14,731	6.3%
400~500m	59	2.6%	4,757	2.0%
500m 이상	157	7.0%	11,802	5.1%
총계	2,248	100%	233,004	100%

자료 : 산림기술경영연구소('20), '목재생산비율 절감을 위한 기반시설 효율화 기술 개발'

□ 정부는 관련 법률 및 기본계획에 의해 임도 인프라 확충을 추진 중이나
최적화된 임도 신설·관리를 위한 과학기술적 접근이 요구됨

○ 관련 법률에 의해 수립된 10년 단위 기본계획을 바탕으로 임도 신설
및 개량 사업이 추진 중이며, 현재 임도 밀도는 4.11m/ha임

- 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙」 제5조에 근거, 10년 단위 전국임도계획을 수립하여 임도 사업(신설, 구조개량·노폭확장) 추진
- 제5차 전국임도 기본계획 기간('21~'30)에는 총 11,783km의 임도가 신설될 예정이며, '23년 기준으로 전국에 총 25,847.5km 임도가 존재함

<국내 임도 설치 현황>

산림면적 (천ha)	최근5년간 신설 실적(km)					'23년까지 누적			
						전국임도		경제림단지	
	'19	'20	'21	'22	'23	거리	밀도(m/ha)	거리	밀도(m/ha)
6,286	695	744.6	773	948.7	918.2	25,847.5	4.11	14,664.3	6.28

자료 : 산림청 홈페이지, 임도시설 현황

○ 전체 산림의 육성 및 관리를 위한 기본적인 임도 밀도의 적정량은
6.8m/ha로 제시되어, 양적·질적으로 체계적인 인프라 확충이 요구됨

- 국립산림과학원의 연구('20.06.)에 따르면 현재 산림 여건을 고려하였을 때 기본임도밀도의 목표량은 6.8m/ha로 제시됨
- 또한 목재생산림(경제림)에 한정할 경우, 비생산비용 및 임목수확비용(보행 경비, 집재비, 임도비 등)을 최소화하기 위한 적정임도밀도는 25.3m/ha로 제시
- * 국립산림과학원, 산림특성을 고려한 임도밀도목표량 산정 연구, 2020.06.

○ 현재 임도의 수작업 중심 체계 및 인력 부족·고령화 문제로 인해,
정책적·제도적 수단만으로는 근본적 문제 해결에 한계

- 캐나다 등에서는 드론과 LiDAR 기반 측량 및 AI 경로 최적화 기술을 도입하여 임도 설계 기간 단축 및 비용 절감 실현
- 국내 임도의 신설 및 관리는 인력 중심으로 생산성 저하 문제가 있으며, 최근 산촌 인구 고령화로 인해 임도 관리 인력·전문가 또한 부족함
- * 전국 유지관리 인력 1인당 관리범위는 약 240km 이상(2025년 임도관리단 기준)

2 사업필요성

□ 임도는 목재생산 효율성에 직결되는 핵심 산림경영 인프라로, 자원의 이동과 순환을 최적화할 수 있는 최적화된 임도 구축이 시급

○ 벌채 및 목재 수확 작업에 임도를 활용한 기계장비 투입 시 인력수집 대비 약 70~80%의 예산절감 효과 (국립산림과학원 '20)

<임업기계를 활용한 산림 경사지 작업(해외)>



○ AI 기반의 임도 측량·설계 기술은 임도 신설 과정을 효율화할 뿐만 아니라, 자재 운송거리를 최적화하여 목재 산업을 효율화할 수 있음

- 드론 + LiDAR 기반 측량기술은 기존 방식 대비 데이터 수집 및 설계 기간을 약 50% 단축하고, 토공량 최적화로 시공 비용을 절감함이 확인(Akay et al., 2018)
- AI로 최적화된 임도는 자재 운송거리를 최소화, 목재 산업의 생산비용을 절감하여 국가 산업 경쟁력 제고에 기여할 수 있음

* GIS 및 알고리즘 기반 노선 자동화 기술은 운송비 46.85% 절감 (Akay et al., 2021)

* 캐나다 BC주는 LiDAR 기반 임도 설계 도입 후 벌채당 \$1.57/m³비용을 절감

□ (내역1) 임도 신설의 최적화 필요성

○ 현재, 임도 신설 과정은 전적으로 인력에 의존, 건설될 임도의 효과성을 극대화하기 위해서는 데이터 기반의 신설 최적화가 필요

* 임도 신설 과정 : 노선 선정 → 타당성 평가 → 측량 → 설계 → 시공 → 감리

○ 입목 분포, 지형, 토양 등 다양한 데이터를 기반으로 사업성 뿐만 아니라 및 산림사업 효율화 기능 측면에서 최적화된 임도 노선을 도출하고 설계

- 벌채 및 목재 수확 작업을 고려한 신설 임도 최적화는 임도 설계·시공 과정을 정밀화·효율화하고, 산업 생산성 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대



[인력 중심의 노선선정 및 설계]



[AI활용 데이터 기반 노선선정 및 설계]

□ (내역2) 지속적인 임도 확충으로 효율적인 임도 유지관리에 대한 현장의 요구 증대(2024 전국 임도 관계관 워크숍 현장설문)

- 현장 전문가 대상 설문결과, 임도 및 임도 시설의 모니터링과 유지보수가 충분하다는 의견은 전체 10.9%에 불과
 - 모니터링과 유지보수가 불충분할 때 발생할 수 있는 문제점으로 임도 기능 (운송, 접근성) 저하 36.8%, 산림 재난·재해 대응 어려움 38.0% 등을 언급
- AI기반 유지관리 기술개발은 인력 투입을 줄이고 임도 본연의 기능을 유지하는데 크게 기여할 것으로 기대
 - 임도 모니터링·유지보수 관련 전문 인력이 부족한 가운데, 원격으로 데이터를 수집하는 AI기반 시스템으로 과학적 의사결정을 지원



[인력 중심의 유지관리]



[AI 기반 임도 모니터링·활용 체계]

- AI 기술을 접목한 본 R&D의 성과물은 전체 임도의 효과성 및 활용성 제고를 위한 기술적 기반을 제공할 것으로 기대
 - 중·장기 임도 확충 계획을 고려했을 때, R&D 종료 후 10년('31년~'40년)간 임도 사업예산은 총 4조원으로 전망 * '21년~'30년 예산 증가 추세 반영
 - 임도는 산림분야 사회간접자본(SOC)으로서 산림경영, 재난·재해 대응, 산림복지 등 산림분야 전반에서 경제적·사회적 편익에 기여
- ☞ 단 1%의 효과성 개선으로도 본 사업의 경제적 타당성 확보

II. 대내외 환경분석

1 경제·사회 동향

1) 임도의 기능

□ 임도는 목재 등 산림자원을 조성 및 수확하는 활동에서 인적·물적 자원의 통로로 기능하는 산림순환경영의 필수 인프라임

○ 산림순환경영은 산림을 조성하고, 나무를 수확·가공하여 목재로 활용한 후 다시 조림하는 산림자원 순환체계의 실현을 의미함

- 국산목재의 수확과 이용 확대는 나무의 노령화를 방지하고 산림의 임령을 갱신하여, 산림의 탄소흡수능력을 증대하는 효과를 발생시킴

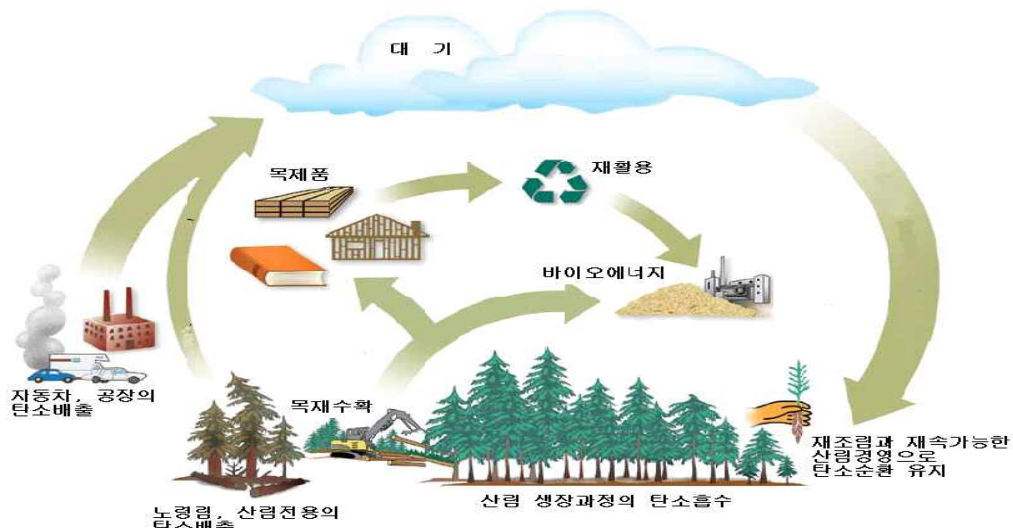
- 산림은 노령화에 따라 탄소흡수량이 감소*하므로 수확가능한 수령에 다다른 나무는 수확하여 목재로 가공, 조림하는 임령 갱신 활동이 필요함

* 중부지방 소나무 임령별 산림탄소흡수량(tCO₂/연/ha) : 30년 12.4 → 40년 6.4 → 50년 3.3

* 참고 : 국립산림과학원, 주요 산림수종의 표준 탄소흡수량, 2019.07

○ 적절한 시기의 수확 및 조림을 위해 주요 산림 지역까지 장비와 인력의 원활한 이동이 가능하도록 임도를 체계적으로 확충·관리해야 함

<임업·임산업의 탄소순환계>



자료 : 한국농촌경제연구원, 기후변화에 대응한 목재수급 정책과제, 2011.11

2) 임도 기본 현황


□ 임도는 각 목적에 맞게 설계 및 시공되며, 산림 경영과 임업 활동의 효율성을 높이는 핵심 요소로 작용함

○ 임도는 간선임도, 작업임도, 산불진화임도 등으로 나뉘며, 각 임도는 산림 자원 관리 및 재해 대응에서 중요한 기능을 지님


- 간선임도는 산림 지역에 대한 접근성을 개선하고 목재 운송을 위한 산림 내 주요 경로로 활용되며, 특히 외부 도로망과 산림 내 구역을 연결함
- 작업임도는 목재 수확을 위한 임시 도로로 활용되며, 주로 벌목 작업이 이루어지는 특정 구역에 설치되어 차량 및 장비의 접근을 지원함
- 산불진화임도는 산불예방·진화 및 산림재해에 신속한 대응을 위해 설치됨

<목적에 따른 임도 시공 유형>


구분	내용
간선임도	- 대규모 시업지역에서 간선임도와 공도를 연결하는 경우, 노폭 3.0m 이상으로 대형 차량의 통행이 가능한 규격·구조로 설치
작업임도	- 기존 도로가 존재하거나 공도에서 직접 분지하는 경우에 한정하여 계획, 임업기계 규격을 감안하여 노폭은 2.5~3.0m 규격으로 설치
산불진화임도	- 산불예방·진화 및 산림재해에 신속한 대응을 위해 설치하는 임도로 간선임도 및 도로와 연결하는 도로, 노폭은 산불진화 차량 등의 교행이 가능하도록 3.5m 이상



<간선임도>



<작업임도>



<산불진화임도>

자료 : 산림청, 임도기술교본, 2020.06.

- 임도는 최근 5년간 연간 약 744.6km에서 948.7km까지 신설되었으며, 2023년 누적 거리는 25,847.5km에 달하며 임도의 밀도는 4.11m/ha임
- 민유림은 같은 기간 동안 약 434.9km에서 478.6km까지 신설되었으며, 누적 거리는 17,177.8km에 달함
- 국유림의 경우, 약 309.7km에서 471.3km까지 신설되었으며, 누적 거리는 8,669.8km로 기록됨

〈임도 설치 현황〉

(단위 : 면적 - 천ha, 거리 - km, 밀도 - m/ha)

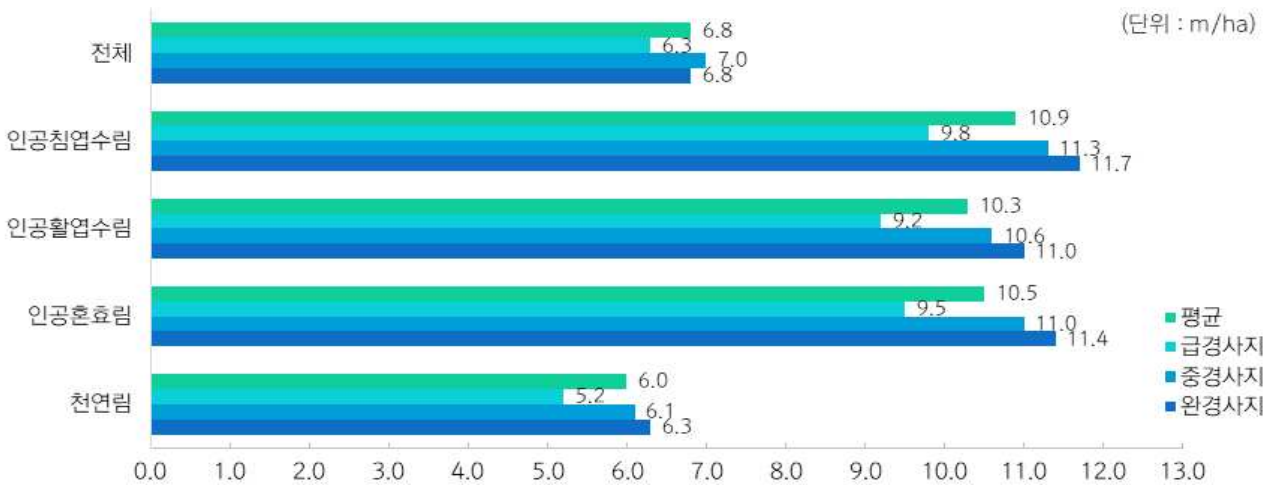
기관별	산림면적	최근5년간 신설 실적					'23년까지 누적			
		'19	'20	'21	'22	'23	전국임도		경제림단지	
							거리	밀도	거리	밀도
계	6,286	695	744.6	773	948.7	918.2	25,847.5	4.11	14,664.3	6.28
민유림	4,634	412	434.9	435.8	477.4	478.6	17,177.8	3.71	8,601.9	5.14
서울	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
부산	29	3	5.7	1.6	1.2	0.7	131.2	4.6	-	-
대구	46	1	1.8	3	36	0.7	100	2.18	-	-
인천	35	1	3.9	2.0	0.6	2.5	59	1.7	-	-
광주	17	-	-	-	-	-	23	1.34	-	-
대전	24	3	4.8	2.5	3.5	3	138.8	5.74	-	-
울산	62	4	0.7	-	2.9	-	183.6	2.99	-	-
세종	22	4	3.5	4.6	5.5	3.1	136.7	6.10	-	-
경기	416	14	17.8	8.8	10.7	13	998.4	2.4	133.7	7.43
강원	565	55	43.6	54.8	60.6	66.6	1,658.6	2.94	749.6	6.19
충북	385	35	28.6	33.9	37.3	43.8	1,407.6	3.66	666.4	3.47
충남	369	50	45.9	56.7	57.5	53	1,683.1	4.56	1,347.5	7.32
전북	338	40	49.7	46.8	51.1	55	1,664.6	4.93	1,129.2	6.17
전남	590	71	113.5	86.5	104.5	97.8	3,099.2	5.25	1,580.1	6.3
경북	1,062	75	51.7	64.5	68.8	69.5	2,966.5	2.79	1,399.6	2.82
경남	616	51	60.7	65.5	65.3	61.6	2,765.1	4.49	1,595.9	6.97
제주	51	5	3.2	4.6	4.3	8.4	162.5	3.19	-	-
국유계	1,652	283	309.7	337.2	471.3	439.6	8,669.8	5.25	6,062.4	9.19

자료 : 산림청 홈페이지, 임도시설 현황(조회시점 2025.02)

□ 적절한 임도 인프라 규모를 산출하기 위해, 관련 연구에서 국내 전체 산림의 육성 및 관리를 위한 중·장기 임도밀도 목표량이 제시됨

○ 국립산림과학원의 연구('20.06.)에 따르면 전체 산림을 대상으로 한 육성 및 관리를 위한 기본임도밀도 목표량은 6.8m/ha로 제시됨

<기본임도밀도 목표량>



구분	산지경사급			
	평균	완경사지	중경사지	급경사지
평균	6.8	6.3	7.0	6.8
인공침엽수림	10.9	9.8	11.3	11.7
인공활엽수림	10.3	9.2	10.6	11.0
인공혼효림	10.5	9.5	11.0	11.4
천연림	6.0	5.2	6.1	6.3

자료 : 국립산림과학원, 산림특성을 고려한 임도밀도목표량 산정 연구, 2020.06.

○ 목재생산림(경제림)의 비생산비용 및 임목수확비용(보행경비, 집재비, 임도비 등)을 최소화하기 위한 적정임도밀도는 25.3m/ha로 제시됨

<목재생산림 적정임도 밀도(요약)>

(단위 : m/ha)

구분	산지경사급			
	평균	완경사지	중경사지	급경사지
평균	25.3	28.2	25.6	22.0
인공침엽수림	31.0	33.5	30.9	27.5
인공활엽수림	24.6	26.2	24.5	22.0
인공혼효림	26.6	28.6	26.6	23.8
천연림	24.3	27.0	24.6	21.5

자료 : 국립산림과학원, 산림특성을 고려한 임도밀도목표량 산정 연구, 2020.06.

2 정책동향

1) 임도 기본 정책

□ 산림청은 '임도의 체계적인 확충과 관리로 산림산업의 경쟁력 강화'를 비전으로 제5차 전국임도기본계획('21~'30)을 수립함

○ 산림청은 임도밀도 목표 달성을 위해 유형별 임도에 대한 신설 계획('21~'30년)을 수립하였으며, 총 11,783km 임도가 신설될 예정임

〈연도별 임도신설 추진계획〉

(단위 : km)

구분		합계	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30
합계	계	11,783	976	1,098	1,185	1,211	1,243	1,167	1,180	1,248	1,239	1,236
	국유	6,120	396	496	596	646	696	658	658	658	658	658
	민유	5,663	580	602	589	565	547	509	522	590	581	578
간선 임도	계	7,187	602	679	756	746	725	694	704	763	760	758
	국유	2,560	171	221	271	271	271	271	271	271	271	271
	민유	4,627	431	458	485	475	454	423	433	492	489	487
산불 예방 임도	계	2,500	100	150	200	250	300	300	300	300	300	300
	국유	2,500	100	150	200	250	300	300	300	300	300	300
	민유	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
작업 임도	계	2,096	274	269	229	215	218	173	176	185	179	178
	국유	1,060	125	125	125	125	125	87	87	87	87	87
	민유	1,036	149	144	104	90	93	86	89	98	92	91

자료 : 산림청, 제5차 전국임도 기본계획(2021~2030), 2020.06.

○ 동 기간 경제림육성단지 내 임도 신설 목표는 총 8,248km로 설정되었음

〈경제림육성단지 내 별도 목표〉

(단위 : km)

구분		'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30
계	8,248	683	769	830	848	870	817	826	874	867	865
국유림	4,284	277	347	417	452	487	461	461	461	461	461
민유림	3,964	406	421	412	396	383	356	365	413	407	405

자료 : 산림청, 제5차 전국임도 기본계획(2021~2030), 2020.06.

□ 노폭확장 및 구조개량 계획에 따라 임도가 개선될 예정이며, 노폭 확장은 국유림을 대상으로 계획되었음

○ 노폭확장 및 구조개량은 총 5,624km가 목표로, 임도의 노폭 확장과 구조개량이 산림 경영의 효율성을 높이는 역할을 할 것으로 기대됨

〈노폭확장 및 구조개량 추진계획〉

(단위 : km)

구분	합계	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	
합계	계	5,624	412	434	482	522	565	561	602	643	681	722
	국유	3,200	160	160	220	260	300	340	380	420	460	500
	민유	2,424	252	274	262	262	265	221	222	223	221	222
노폭 확장	계	1,500	100	100	110	125	140	155	170	185	200	215
	국유	1,500	100	100	110	125	140	155	170	185	200	215
	민유	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
구조 개량	계	4,124	312	334	372	397	425	406	432	458	481	507
	국유	3,700	60	60	110	135	160	185	210	2235	260	285
	민유	2,424	252	274	262	262	265	221	222	223	221	222

자료 : 산림청, 제5차 전국임도 기본계획(2021~2030), 2020.06.

□ 임도 시공 단비(단가)는 '24년 국유림 기준 km당 278,000천원이 책정되어 있으며, 국유림·민유림 여부에 따라 재원의 구성 비율이 달라짐

○ 민유림의 경우 2024년 기준 국고, 지방비, 자부담 비중은 70:20:10으로 유지되고 있음

〈임도 시공 단비〉

(단위 천원/km)

연도별	국유림		민유림					
	국고 (천원)	인상률 (%)	계	%	국고	지방비	자부담	기준 보조율(%)
'24	278,000	↑ 9.9	253,000	↑ 9.9	177,100	50,600	25,300	70:20:10
'23	253,000	↑ 13.5	223,000	↑ 13.5	156,100	44,600	22,300	70:20:10
'13~'22	223,000	↑ 18.6	223,000	↑ 18.6	156,100	44,600	22,300	70:20:10
'12	188,000	-	188,000	-	131,600	37,600	18,800	70:20:10
'11	188,000	-	188,000	-	131,600	37,600	18,800	70:20:10

자료 : 산림청 홈페이지, 임도설치 km당 단비 추이

□ 이러한 임도 신설, 노폭확장 및 구조개량 등 임도 사업에는 국유림과 민유림을 합쳐 연평균 약 2,700억 원이 투자될 예정임

○ 제5차 전국임도 기본계획 기간에 간선임도 신설에는 총 1조 293억 원이 투입될 예정이며, 그 중 국유림은 5,708억 원, 민유림은 7,223억 원이 배정됨
- 작업임도는 2,410억 원이 할당되어 국유림 1,431억 원, 민유림 979억 원으로 구성

○ 노폭 확장은 국유림에 1620억 원, 구조개량은 국유림과 민유림에 총 2,310억 원이 투자될 예정임

<연차별 투자계획('21~'30)>

(단위 : 백만원)

구분	합계	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	
합계	계	2,762,095	196,598	229,282	261,476	278,612	295,780	286,375	291,587	305,015	307,205	310,165
	국유	1,826,535	103,243	131,138	163,468	183,488	203,508	201,698	205,018	208,338	211,658	214,978
	민유	935,559	93,355	98,144	98,008	95,124	92,272	84,677	86,569	96,677	95,547	95,187
간선 임도	계	1,293,110	105,368	120,777	136,142	134,581	131,302	126,463	128,024	137,234	136,766	136,454
	국유	570,835	38,088	49,283	60,433	60,433	60,433	60,433	60,433	60,433	60,433	60,433
	민유	722,275	67,279	71,494	75,709	74,148	70,869	66,030	67,591	76,801	76,333	76,021
산불 예방 임도	계	835,000	33,400	50,100	66,800	83,500	100,200	100,200	100,200	100,200	100,200	100,200
	국유	835,000	33,400	50,100	66,800	83,500	100,200	100,200	100,200	100,200	100,200	100,200
	민유	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
작업 임도	계	241,002	30,956	30,483	26,703	25,380	25,664	19,872	20,156	21,006	20,439	20,345
	국유	143,100	16,875	16,875	16,875	16,875	16,875	11,745	11,745	11,745	11,745	11,745
	민유	97,902	14,081	13,608	9,828	8,505	8,789	8,127	8,411	9,261	8,694	8,600
노폭 확장	계	162,000	10,800	10,800	11,880	13,500	15,120	16,740	18,360	19,980	21,600	23,220
	국유	162,000	10,800	10,800	11,880	13,500	15,120	16,740	18,360	19,980	21,600	23,220
	민유	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
구조 개량	계	230,982	16,075	17,122	19,951	21,651	23,494	23,100	24,847	26,595	28,200	29,947
	국유	115,600	4,080	4,080	7,480	9,180	10,880	12,580	14,280	15,980	17,680	19,380
	민유	115,382	11,995	13,042	12,471	12,471	12,614	10,520	10,567	10,615	10,520	10,567

자료 : 산림청, 제5차 전국임도 기본계획(2021~2030), 2020.06.

* 투자계획은 재정당국 협의를 통한 예산편성 결과에 따라 변경될 수 있음

2) R&D 정책 동향

□ 과기부는 ‘12대 국가전략기술’ 및 관련 로드맵을 통해 초거대 AI 등 미래기술 트렌드 변화에 대응하기 위한 비전을 제시

○ 12대 국가전략기술 관련 로드맵에서 ‘인공지능’, ‘첨단로봇·제조’ 등 전략 기술은 미래혁신 기술, 디지털 전환 시대 필수기반 기술 등으로 정의됨

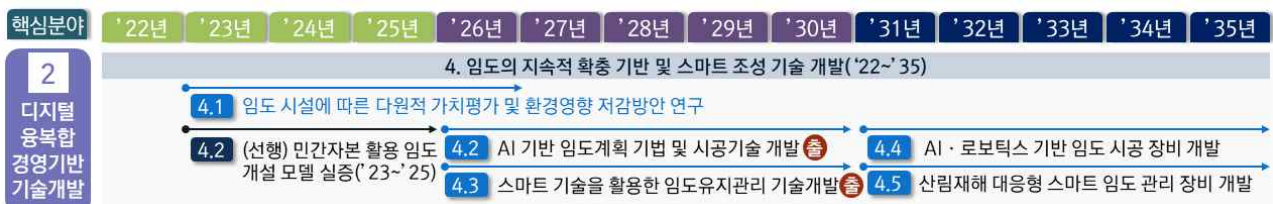
□ 산림청은 임도를 비롯한 산림 전 분야 유망 디지털 기술 접목 및 융복합과 AI, 로봇틱스 등 첨단기술 기반 확산을 추진

- 자원 관리, 재해 예방, 산업 자동화를 목적으로 산림 전 분야에 유망 디지털 기술을 접목하고자 AI 등 요소기술 공급 기반 구축을 목표



자료 : 산림청, 산림과학기술 R&D 중장기 로드맵, 2024.08.

- AI 기반 임도 설계 및 시공, AI 기반 정밀 계획 및 스마트 유지관리 기술개발 등 추진(산림과학기술 R&D 중장기 로드맵, 산림청, 2024.)



자료 : 산림청, 2026년 출연R&D 투자방향, 2024.12.26.





3 국내외 연구 동향

1) 국내외 임도 분야 연구 동향

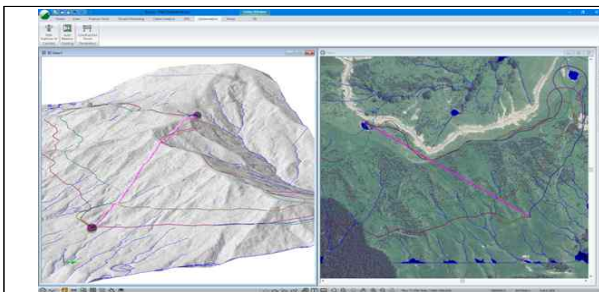
□ 해외에서는 첨단기술 기반 임도 신설, 유지관리 체계가 상용화되고 있으나, 국내에서는 기초·정책 연구가 시작되는 단계

- 해외의 경우 미국, 캐나다, 이탈리아 등 목재산업 규모가 크거나, 산악지형이 발달한 국가를 중심으로, 민간 기업에 의해 관련 기술이 상용화되고 있음
- 공통적으로 3D 데이터를 활용하여 노선 선정 및 임도 설계를 최적화하거나, 유지관리에 활용하는 형태로 기술이 적용됨

<임도 신설·유지관리 분야 기술동향(실용화 중심)>

	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 임도 신설, 유지관리 등 효율성 제고를 위한 AI 등 첨단기술의 상용화는 전무 ▶ 산림조합 및 엔지니어링 업체 등 임도 현장은 '95년에 상업화된 '오솔길 임도' 프로그램과 Auto-CAD 프로그램을 병행해서 사용 중
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ '00년대 이후 ALS(항공), TLS(지상) 등 원격탐사 기술을 산림데이터 구축에 적용 ▶ 토목분야에서 사용되고 있던 센서기반 경사지 계측시스템인 Smart-Pole을 도입하여 임도에 발생하는 피해 통계 및 대응책 개발에 활용 중 ▶ 국유림 중심으로 임도를 활용하는 PODs(잠재적 산불 운영구획) 및 PCLs(진화 경계 후보지) 시스템 구축, 소방 접근로의 사전 확보 및 도로별 유지보수 우선순위 결정에 활용
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 민간회사(Softree)가 '24년 캐나다 산림 임도의 최적화된 노선 계획 및 디자인을 위한 소프트웨어를 개발, 지방 정부 및 임업회사 등에 공급 중 ▶ 지방정부가 연료차단대형 도로관리 구간을 지정하여 정기 점검 및 연소물 제거 ▶ B.C주 Vernon 시에서는 SenseNet 시스템을 통해 AI를 활용한 산불 조기 감지 및 대응 체계를 도입
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Friuli Venezia Giulia 지방 정부는 임도 유지관리 활용 목적으로 '12년 Siteco 사의 차량에 카메라·LIDAR·GPS를 장착한 시스템을 도입 ▶ 사르데냐 지역 당국은 '22년 IoT 기반 산불 조기감지 센서 도입. 장치를 나무에 부착해 훈련 단계 화재 탐지, 클라우드 기반 경보 시스템과 연동, 수 분 내 알림 전송

<해외 임도 설계 및 유지관리 기술 실용화 사례>



<캐나다 Softree社 - 임도 설계 소프트웨어>



<이탈리아 Siteco社 - 임도 모니터링시스템>

자료 : Softree, Siteco Informatica

2) 국내 유사분야 연구

- 국토부는 도로환경 개선 및 노면 위험요소 저감 등 유지관리 목적의 데이터 기반 기술을 개발하고 있음
 - ‘교통사고 유발 도로 노면 위험요소 저감기술 개발 사업(’23~’27)’은 AI 기반의 노면 결함 자동 분석 알고리즘 설계 등 연구를 수행 중임
 - ‘도로기술연구사업(’19~’23년)’은 IoT·드론 등 ICT 기술을 활용한 도로 포장 품질관리 기술 및 정보교환용 인터페이스 기술 개발을 수행함
- 기술적 응용 가능성이 있으나, 임도는 일반 도로와 근본적인 차이가 있어 국토부의 기술을 직접 적용하기에는 한계가 존재
 - 국토부 연구에서 개발 중인 AI 기반 노면 분석, IoT·드론 활용 기술은 본 사업에서 목표하는 임도 유지관리 기술과 유사한 개념을 가짐
 - 그러나 임도는 일반 포장도로 대비 지형 기복이 크고, 자연환경(토양, 강수량, 식생) 영향을 직접적으로 받아, 수집하는 데이터의 형태와 이를 활용하기 위한 알고리즘 개발은 다른 방식의 접근이 요구됨
 - 국토부의 기술과 연계할 수 있는 요소는 존재하나 임도는 도심 도로와 구조적·환경적 차이가 크기 때문에 맞춤형 기술 개발이 필수적임

3) 기술수준

- 한국은 AI 기반 임도 관리와 관련된 기술 분야에서 선진국 대비 3년 내외의 기술 격차를 보임
 - 임도 구축 및 유지관리와 관련한 필수적인 국토공간정보 구축 및 분석 기술은 한국이 82~85% 수준으로, 미국과 약 3년의 기술 격차가 존재함
 - AI 기반 인프라(SW/HW), 예측·대응 알고리즘과 관련한 기술은 70~85% 수준으로 기술 경쟁력 확보를 위한 연구개발이 요구됨

- 로봇틱스 및 재난 대응 관련 기술 또한 79~80% 수준에 머물러 있어, 임도 유지관리 체계의 디지털 전환을 위한 기술 경쟁력 확보가 필요

<AI 기반 임도신설 및 유지관리 관련 분야 기술수준>

분류	대상기술	한국		중국		일본		EU		미국	
		수준 (%)	격차 (년)	수준 (%)	격차 (년)	수준 (%)	격차 (년)	수준 (%)	격차 (년)	수준 (%)	격차 (년)
건설·교통	국토공간정보 구축 및 분석기술	82.0	3.0	80.0	3.0	80.0	3.0	94.0	1.0	100.0	0.0
	지속가능한 인프라 구조물 건설기술	85.0	3.0	83.0	3.5	93.0	1.5	98.0	0.5	100.0	0.0
	빅데이터 기반 국가 인프라 예방적 유지관리 기술	85.0	3.0	80.0	3.5	90.0	2.0	95.0	1.0	100.0	0.0
재난	복합재난 스마트 예측·대응기술	80.0	3.5	70.0	5.0	85.0	2.0	95.0	1.0	100.0	0.0
기계	재난구조 및 극한탐사 로봇기술	79.0	3.3	80.0	3.0	90.0	1.5	90.0	1.8	100.0	0.0
환경·기상	자연재해 감시·예측·대응 기술	80.0	5.0	80.0	6.0	87.0	3.0	98.0	0.5	100.0	0.0
ICT·SW	효율적 학습 및 AI 인프라(SW/HW) 고도화기술	70.0	3.0	90.0	1.5	70.0	3.5	85.0	1.5	100.0	0.0
	첨단 시모델링·의사결정 기술	85.0	1.8	90.0	1.3	80.0	2.3	85.0	2.0	100.0	0.0

자료 : KISTEP, 2022년 기술수준평가, 2024.02.

4 기술수요 분석

1) 임도 관련 분야 기술수요조사서 분석

□ 최근 5년 간 접수된 임도 관련 분야의 기술수요조사서 30건을 분석한 결과, 임도 사업에 첨단기술을 적용하기 위한 기술 수요들이 제안됨

- 임도 설계에 있어 재해 예방, 효율성 제고 등을 목표로 LiDAR, 3D 스캐닝, 머신러닝, 기상모델링 등 다양한 첨단 기술을 융합한 기술이 제안됨
- 유지관리 분야에서도 첨단 기술을 적용하여 효율성을 증대시키고, 산림재해 예방 및 대응 체계를 강화하는 것에 초점을 맞춘 기술들이 제안됨

〈임도 관련 기술수요조사서 현황(2020년~2025년 상반기)〉

연번	연도	제안기술명	분야
1	2020	산림재해를 고려한 스마트 임도 최적화 설계기술 개발	설계
2	2020	3D 빅데이터를 활용한 스마트 임도 안전시스템 구축	유지관리
3	2020	교통안전 확보 및 사고 예방을 위한 4차산업 기반의 임도시설 안전기준 개발	유지관리
4	2020	LiDAR를 활용한 임도노선 선정 및 설계, 정밀 임도망도 제작 프로그램 개발	설계
5	2020	벌채 및 임도(작업도)사업이 생태·환경에 미치는 영향과 대응기술 공법개발	시공
6	2021	산림재해를 고려한 스마트 임도 최적화 설계기술 개발	설계
7	2021	디지털트윈 기반 임도재해 시뮬레이션 및 예방기술 개발	유지관리
8	2021	3D 공간정보기반 임도 재해안전성 평가기술 개발 및 실증	유지관리
9	2021	네트워크 구축없이 OTP 방식으로 비밀번호가 일별로 변경되는 임도차단기용 출입통제 전동자물쇠 개발	유지관리
10	2022	산불확산 방지를 위한 산불대응 임도설계 기술 개발	설계
11	2022	산림재해 신속대응을 위한 기설 임도 관리체계 정비 및 안전성 평가기술개발	유지관리
12	2022	산불예방임도의 시설기준 고도화 및 시설효과 규명	유지관리
13	2022	3D LiDAR 데이터와 딥러닝기술을 이용한 임도 및 임도시설물 자동추출 기술 개발	유지관리
14	2022	4차 산업기술 기반 임도구조물 DB구축 및 유지관리 시스템 개발	유지관리
15	2022	수치예보모델 기반의 임도활용 및 유지관리 체계 구축	유지관리
16	2022	산림자원 선순환체계 구축을 위한 ICT 기반 임도 종합관리시스템 개발	유지관리
17	2022	스마트 임도 출입제한 시스템 개발	유지관리
18	2022	산림경영 인프라 확대를 위한 작업로 DB화 및 임도화 판별 기술 개발	유지관리
19	2022	ICT 기반의 산림경영 인프라(임도) 사업 종합체계 개발	설계
20	2022	저비용·고효율의 선순환적 산림작업시스템 구축을 위한 임도망 확충 설계지원모델의 개발	설계
21	2022	임도 내 집재 및 소운재 작업차량의 자율주행기술 개발	시공
22	2023	산불예방임도의 시설기준 고도화 및 시설효과 규명	유지관리
23	2023	3D기반 공간자료를 활용한 임도 설계 프로그램 개발	설계
24	2023	고해상도 위성영상 기반 산림작업로 DB 자동 추출 및 유형별 임도화 기술 개발	설계
25	2024	스마트 기술을 활용한 임도개설 기술 개발	설계
26	2024	임도 유지관리 계획, 공정, 작업의 선진화 및 스마트화	유지관리
27	2024	스마트 기술을 활용한 임도개설 기술 개발	설계·시공
28	2024	임도를 활용한 산림재난 스마트 모니터링 시스템 구축	유지관리
29	2025	AI 기반 스마트 임도 시공 및 유지관리 기술개발	설계·유지관리
30	2025	AI로봇기반 스마트 임도 유지관리 기술개발	유지관리

자료 : 한국임업진흥원 제공 자료

- 과제들은 산림자원의 효율적 관리, 산림재해 예방, 산림경영 기반 확충, 그리고 최신 기술을 적용한 임도 설계 및 유지관리의 필요성을 제시함
- 임도 설계는 지형 정보를 잘 활용할 수 없는 2D 기반 설계 프로그램이 쓰이고 있으며, 산림재해를 충분히 고려하지 못함. LiDAR 기술 등을 활용한 고도화된 3D 기반 설계 프로그램이 필요함
- 임도는 유지관리가 필수적이며, 시설 임도의 노면 침식 및 구조물 파손 문제를 해결하기 위해 첨단기술을 활용한 과학적 관리가 요구됨
- 산림생태계에 미치는 영향을 줄이고 작업 효율을 높이기 위해 임도 시공 시 생태 보호 공법과 산림작업 기계화·자동화 기술이 필요함

〈기술수요조사서 필요성 내용 요약〉

No	분야	필요성	
1	임도 설계	재해 요소 고려 부족	- 현재 임도 설계는 산림재해를 충분히 반영하지 못하고 있으며, 재해가 우려되는 구간에 시설물을 설치하면서 시공비가 증가하는 문제가 있음
		2D 설계의 한계	- 기존 2D 기반 설계 방식은 지형 분석에 한계가 있으며, 3D 기반 설계 프로그램의 개발이 요구됨
		빅데이터와 머신러닝을 통한 최적화 설계	- 정밀한 지형 데이터를 통해 임도 설계의 효율성을 높이고, LiDAR 기술을 활용한 최적화된 설계가 필요
2	임도 유지관리	유지관리 중요성	- 임도는 지속적으로 확장될 예정이며 이와 함께 적절한 유지관리 기술 발전이 필수적임
		시설 임도의 취약한 관리	- 시설 임도에 대한 유지관리가 부족하여 노면 세굴, 구조물 파손 등의 문제를 겪고 있으며, 장기적으로 임도의 기능 상실과 재해 위험 증가가 우려됨
		첨단 기술 도입 필요성	- LiDAR, IoT, 빅데이터를 활용한 디지털 관리 체계를 도입하여 효율적이고 과학적인 임도 유지관리 방안을 마련해야 함
3	임도 시공	생태계 영향 고려 부족	- 임도 시공과 벌채 사업이 산림생태계에 미치는 영향을 줄일 수 있는 기술적 공법의 개발이 필요함
		기계화 및 자동화 기술 필요	- 임업기계의 안전사고 저감 및 작업효율 증대를 위한 산림작업 기계화 및 자동화 기술 도입 필요

자료 : 한국임업진흥원 제공 자료

2) 2023년 산림 디지털트윈 모델 실증 용역 검토

□ 사업의 개요

○ 사업명: 2023년 산림 디지털트윈 모델 실증

○ 사업기간: 계약일로부터 2023년 11월 30일까지

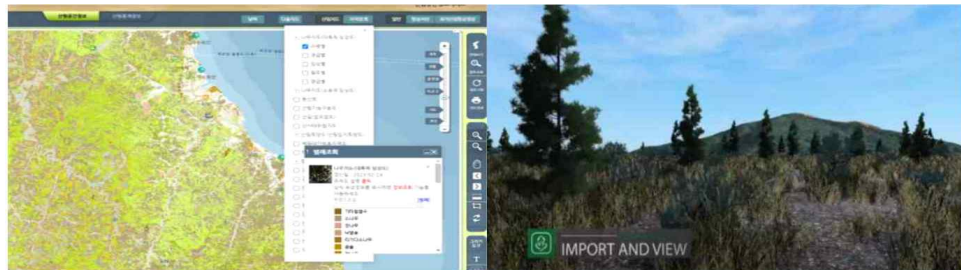
○ 사업금액: 300백만원(부가세 포함)

○ 주요 요구사항

- 디지털트윈 기술을 산림 분야에 적용하여 전국 산림 수종의 개체목 수준에서 3D 모델을 실증하고, 임도의 3D 모델을 구축

<사업범위 ① - 개체목 수준 전국 산림 3D 모델 실증>

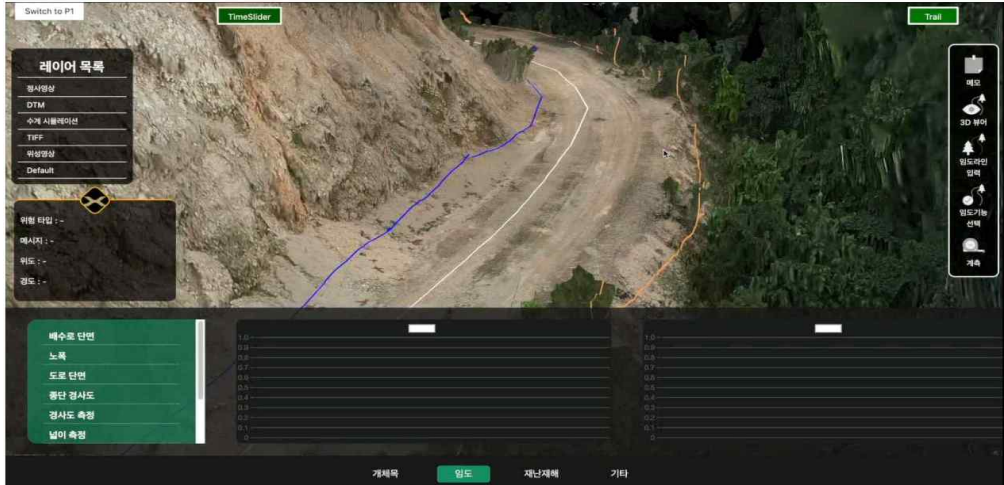
No	구분	내용
1	사업 대상	- 전국 산림 지역 중 임상도가 구축된 지역을 대상
2	사업 방향	- 산림청에서 제공한 기본자료를 활용해 개체목 단위의 전국 산림수종 3D 모델을 구현하며, 이 모델의 최적화 방안을 제시
3	사업 절차	- 자료 수집 → 3D 모델 구현 → 서비스 데이터 변환 → 최적화 방안 제시
4	사업 목표	- 디지털환경 구현에 따른 데이터 수준과 필요 기술을 제시 - 3D 모델의 현장 적용성, 기술 적합성, 전국 확대 방안을 도출
5	수행 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 데이터 수집 및 가공 <ul style="list-style-type: none"> · 주관기관이 제공한 기본자료를 바탕으로 데이터를 수집하고 가공하여 활용 - 주요 데이터 : 임상도, 라이다 자료, 항공사진, AI 학습데이터, 산림경영 이력자료 등 - 웹 기반 3D 모델 구현 및 활용방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> · 수집된 데이터를 바탕으로 전국 단위 산림수종을 웹 기반으로 시각화 하고, 조림, 벌채, 나무 생장 시뮬레이션 기능을 구현 · 임상도와 라이다 등의 데이터를 활용해 개체목 수준의 정의 및 표현 방안을 제시 · 일반적인 속성정보 표출, 측정, 좌표변환 등의 범용 기능을 구현하고, 위성영상 및 드론 광학영상 자료의 표출 기반을 마련



<산림청의 산림공간정보서비스(좌), 디지털트윈의 개체목 수준 묘사(우)>

〈사업범위 ② - 포토그래메트릭 기반 3D 임도 모델 실증〉

No	구분	내용
1	사업 대상	- 강원도 국유림 일대 임도 5km (간선임도, 지선임도, 작업임도)
2	사업 방향	- 전국 임도망 현행화를 위한 3차원 시각화 자료를 확보하는 것을 목표
3	사업 절차	- 자료 수집 → 3D 모델 구현의 절차로 진행
4	사업 목표	- 전국 임도망 현행화 자료 활용 검토를 위한 3D 임도 모델을 구현 - 시각화 중심으로 임도 시설의 유지관리를 위한 기능을 구현
5	수행 내용	<p>- 데이터 수집 및 가공</p> <ul style="list-style-type: none"> · 대상지의 특성과 활용 목적에 맞추어 최적의 장비를 사용해 노면, 절·성토면, 측구, 암거 등 임도 시설물 및 주변 환경 정보를 수집 · RGB 영상, 라이다 데이터 등을 활용해 3D 모델을 생성 <p>- 3D 모델 구현 및 활용방안 제시 :</p> <ul style="list-style-type: none"> · 수집된 데이터를 활용해 임도 시설의 유지관리를 위한 시각화 및 분석 기능을 구현하고, 최적화 방안을 제시



〈산림플랫폼 임도 3D 모델 가시화 화면과 임도라인 레이아웃〉

□ 산림 플랫폼 기반 3D 임도 모델 활용방안

- 임도 3D 모델의 경우 항공에서 촬영되는 사진을 기반하기 때문에 수목에 가려진 음영 지역에 대한 보완 기술 또는 방법론적 개선이 필요함
- 산림 구성요소들의 변화를 감지하고 예측하기 위해서 국내 산림환경에 맞는 산림 AI 학습 솔루션 개발이 필요함
- 기술 발전 및 개발 예산 등을 고려하여 중단기적으로 디지털트윈 산림 플랫폼의 데이터 체계적, 성능적 한계를 극복하기 위해 임도 예측·분석·관리의 전략적 기능 분리가 필요함

3) '24년 하반기 '찾아가는 기술수요조사' 주요 논의사항

① (주)에프엠웍스

□ 디지털트윈을 위해서는 데이터 표준화 기술 연구가 함께 필요

○ 그동안의 관련 사업들은 가시적인 성과물 창출에 집중, 결과적으로 현장에서 실질적인 활용이 어려운 불완전한 성과를 창출해옴

- 예를 들어, 임도 2km의 드론 영상 데이터는 테라바이트 단위의 매우 고용량 데이터로, 이를 현장에서 활용하기 위해서는 영상을 3D 모델로 빠르게 변환할 수 있는 최적화 알고리즘 기술 개발이 함께 이루어져야 함

- 그러나 이러한 기반을 구축하는 연구단계를 건너뛰고 개발될 경우, 3D 모델 자체는 구현이 가능하나, 영상데이터의 처리 속도가 매우 느려, 산림 현장에서 실질적인 활용이 어렵게 됨

- 이전에 디지털트윈 실증 용역을 수행할 때 이러한 기반기술 연구의 필요성을 설득하고 실행하는 데에 어려움을 겪음

○ 인공지능 구현을 위해서는 데이터의 표준화가 필수적이거나, 현재 표준화되지 않은 기준으로 데이터가 수집되어 활용되지 않고 있음

- 예를 들어, 3D모델에서 영상을 처리하기 위해서는 요구되는 영상의 해상도, 정확도, 오차범위 등의 조건이 있는데, 산림청, 국유림 관리소 등 각 현장에서 각기 다른 형태로 데이터를 수집하고 있음

- 표준화되지 않는 데이터로 인해 분석 알고리즘 적용이 되지 않고 있고, 현장에서도 활용이 되지 않고 있음

- 따라서, 최적화된 데이터 표준기술을 확립하기 위한 R&D가 필요함

○ 플랫폼 구축과 표준 구축은 동시에 연계되어 추진되는 것이 바람직함

- 만약에 개별적으로 수행된다면, 표준 구축 연구가 먼저 수행되고 기술개발이 그다음 단계에 추진되어야 함

- 구축된 표준은 TTA와 같은, 공인시험을 통과한 기관표준으로 기능을 함

□ 산림 재난·재해에 대한 기술적 대응 필요성을 강조

○ 최근 재난안전법(행안부)에 의거하여 재난 대응에서 예방·예측 단계가 세분화되었으며, 이러한 변화에 기술적으로 대응하자는 것이 제안 취지임

- 임도 설계 및 유지관리 단계에서 위험관리가 이루어질 수 있도록 돕는 플랫폼을 개발하는 연구개발이 필요함

- 예를 들어, 임도 설계 단계에서는 위험지대를 사전에 검증하고, 유지관리 단계에서는 위험 요소를 식별하는 등의 기능이 필요하며, 이는 기상데이터 및 임도의 3D데이터 등을 활용한 인공지능 알고리즘 기술임

○ 기상·환경데이터를 반영한 기능 구현 필요성

- 산사태, 산불 등 재난대응을 위해서는 풍·수해 관련된 기상·환경 데이터를 다루는 것이 필요함

- 산사태의 경우, 국지적으로 어디서 물이 고이고 배수되고 있는지 등 상황을 파악하는 것이 매우 중요함

- 지역별 센서데이터와 기상청의 강수량 데이터를 연계하는 등 다양한 방면에서 기상데이터에 대한 접근이 필요함

○ 플랫폼의 구현 형태

- 서비스의 개발 및 유지관리의 효율성 측면에서, 오픈된 웹서비스 형태가 아닌 소프트웨어로 개발되어 수요처에 배포되는 방식이 좋음

- 웹서비스 형태는 개발 비용이 매우 높고 유지관리 또한 매우 큰 비용이 발생됨

- (임진원 산림공간정보실 의견) 각 수요처는 각자의 관할 구역에 대한 정보를 수집하고 분석하고자 하는 니즈를 가지고 있음

☞ 분석 알고리즘을 탑재한 소프트웨어를 개발하고, 수요처에서 각자 촬영한 데이터를 입력하면 분석결과를 도출하는 형태로 기능 구현 필요

○ 데이터 수집 범위

- 시간·비용적 한계로 전국 산림에 대한 데이터 수집을 할 수 없기 때문에 지역별 수요처와 협의 후 결정하는 방식으로 진행되어야 함

② 동부지방산림청

□ 임도 BIM*시스템 구축 필요

* 'Building Information Modeling'의 약자로 건축, 토목 등 건설 분야에서 사용되는 3D 모델링 및 정보 관리 기술로, 건축물이나 인프라의 물리적 특성을 디지털로 표현함

○ 시공 단계의 문제점은 근본적으로 설계 단계에서 시작함

- 설계 단계에서 줄자 등을 활용한 측량기술의 한계 등 문제로 인해 임도 설계과정에서 실제 지형이 고려되지 않고 설계되는 경우가 많음
- 예를 들어 사면의 경사와 능선이 구불구불한 지형일 경우, 이를 고려하여 적절하게 임도를 설계해야 하나, 줄자 등을 이용해 부정확하게 측량한 후 임도를 일직선으로 설계하는 경우가 발생함
- 즉, 현재 능선과 계곡 정보가 설계 단계에 반영 되지 않고 있으며, 그 결과 능선과 계곡의 굴곡이 심할수록 설계와 실제 시공의 간극은 벌어지게 됨
- 또한 임도장비의 이동·회전을 위해 곡선부에서 일정 값 이상의 곡선 반지름을 확보해야 하나, 실제 시공 시 필요한 공간을 확보하지 못하는 경우도 발생함
- 이러한 문제들로 인해, 직선으로 설계된 길을 실제 현장에서는 곡선으로 공사하여 공사기간과 비용이 급격히 증가하는 등 부작용이 발생함
- 시공 이후에도 실질적인 감리가 제대로 이루어지지 않는 문제가 발생함

○ 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 현실 지형이 반영된 3D 모델을 기반으로 설계도면을 적용, 시공 후 감리까지 할 수 있는 BIM 시스템이 필요함

- 국토지리정보원에서 국토에 대한 수치표고모형(DEM)*을 구축하였는데, 이 데이터를 활용하여 산림·임도 현장을 3D 모델로 분석하고, 임도 타당성 평가 등 현장에서 필요로 하는 분석결과를 도출할 수 있는 프로그램 개발이 필요함

* 전국토 단위 48%, 임상도 기준 40% 보유하고 있음

- 국토지리정보원의 데이터를 기반으로 BIM 시스템을 구축한 후 조사·분석이 시급한 지역(재난·재해 지역 등)에 대해서는 드론·LiDAR로 직접 데이터를 취득, BIM 플랫폼에서 지형정보를 분석하는 체계로 운영할 수 있음

○ 시스템 구축과 함께 데이터 표준화 연구가 필요함

- 각 지방산림청 등 현장에서 산림·임도에 대한 영상·이미지 데이터들을 수집하여 분석에 활용하기 위한 시도들이 이루어지고 있으나, 분석에 적합한 수준에 부합하지 못하는 데이터들이 수집되고 있는 실정임
- 시스템 구현을 위해서는 기반 데이터에 대한 표준화 연구도 함께 필요함

☞ BIM 시스템 구축을 위해 데이터 표준화 연구, 확보된 데이터의 3D 모델링, 타당성·위험도 평가 등 분석 알고리즘 연구가 필요함

□ 재난안전대응 체계를 위한 BIM 시스템 구축의 필요성 강조

○ 임도와 주변 산악 지형에 대한 데이터를 BIM 시스템으로 구축한다면, 산림 재난·재해 대응 분야에 적용될 수 있음

- 임도 및 임도 주변의 형상을 3D 모델링하여 산사태 예경보를 위한 백데이터로 제공하거나, 산불 발생 시 대피경로 안내 등 대국민 안전 서비스를 위한 데이터를 제공하는 등 용도로 활용될 수 있음

○ 통신음영지역에 대한 대응을 위해서도 활용될 수 있음

- 산림은 통신음영지역이 많아 산불 등 비상 재난·재해 대응 시 통신망 확보가 매우 중요한 문제이며, 유사시 차량 형태의 이동 기지국을 활용함
- 이때 임도는 이동 기지국이 통신음영지역으로 이동·배치되어 재난 지역의 통신망을 확보하게 하는 사회기반시설(SoC)로 기능함
- BIM 시스템을 활용하면 재난 지역 내 통신음영지역에 대한 파악, 통신음영 지역으로 이동하는 임도 경로에 대한 위험도 평가 등이 가능함

○ 또한 재난·재해에 대처하기 위한 전주기에서 활용될 수 있음

- 예방 단계 : 임도 시설에 대한 사전적 점검
- 대비 단계 : 모니터링 결과를 바탕으로 강우 등 변수 발생에 대한 준비
- 대응 단계 : 이동 기지국을 활용한 유관부처 협력체계 구축
- 복구 단계 : 임도 복구 및 임도를 활용한 산림지역 복구 등

4) 관련 분야 선행연구 사례 상세 분석

① '빅데이터 기반 융복합형 최적 임도 관리시스템 개발' 과제 검토

□ 연구의 개요

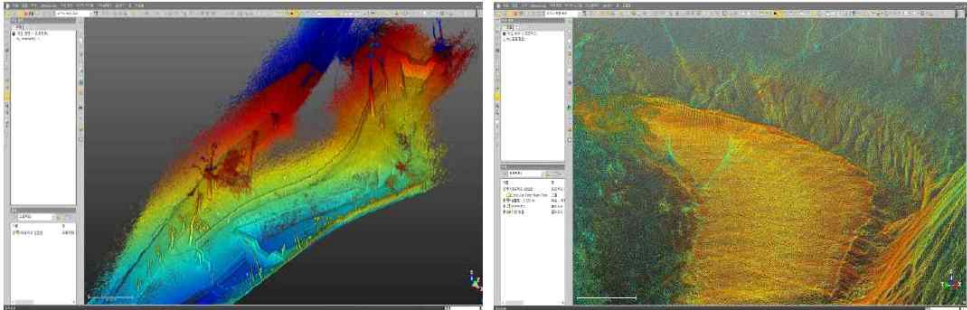
- 사업명 : 융복합기반 임산업의 신산업화 기술개발(R&D)
- 과제명 : 빅데이터 기반 융복합형 최적 임도 관리시스템 개발
- 연구기간 : 2018.05.30. ~ 2020.12.31.
- 연구예산 : 600,000천원
- 주관 연구기관 : (사)한국산림공학회
 - MLS를 이용한 임도시설의 3D 기반 정밀데이터 수집 및 활용 기술 개발
 - 임도시설 종합관리 체계 구축 및 유지·관리기관 구성방안 제시
- 협동 연구기관 : 산림기술연구원
 - 현장기반의 임도시설 현황정보 조사·분석
 - 임도 보수·유지관리에 대한 종합매뉴얼 작성 및 법·제도 개선방안 제시

□ 연구 필요성

- 임도시설 관리 필요성
 - 목재수확시기 도래, 국민 여가시간 증가로 임도 이용 수요가 증가
 - 산림청은 2030년까지 경제림 육성 단지를 중심으로 임도 밀도를 6.8m/ha로 확대할 계획
- 제한된 예산의 효율적 활용 필요
 - 2020년 임도사업 총 예산은 198,635백만 원, 이 중 유지·관리 및 보수 예산은 3,502백만 원으로 전체 예산의 1.7%에 불과
 - 한정된 예산으로 많은 임도시설을 관리해야 하므로 효율적인 유지·관리 체계 구축이 필요
- 4차 산업 기술 도입 필요성
 - 무인항공기(UAV), LiDAR 등 4차 산업 기술이 산림 분야에 도입되고 있으나, 임도시설 연구는 미진한 상태
 - 3D 기반의 정밀 데이터 수집 및 분석으로 임도 관리 효율성 제고 필요

□ 연구 수행내용

〈빅데이터 기반 융복합형 최적 임도 관리시스템 개발〉 연구범위〉

No	구분	내용
1	연구 대상지	- 충청남도 및 충청북도 시군 소재지 임도
2	연구 내용	① 3D 데이터 기반의 임도시설 데이터베이스 구축기술 개발 ② MLS 기반의 임도시설 종합관리체계 개발 ③ 전통사방기술과 연계한 융복합형 임도시설 유지·관리기법 개발 ④ 임도시설의 효율적인 유지·관리사업을 위한 법·제도 개선방안 제시
3	연구개발 성과	① 3D 데이터 기반의 임도시설 데이터베이스 구축기술 개발 - 현행임도망도의 제약사항 및 3차원 기반 임도망도 제작 기법 정의 - MLS를 활용한 임도 공간정보 수집(차량형, 핸디형, 드론형) - 임도망도 제작 주요 인자(기본정보, 절토정보, 성토정보, 노면정보, 배수 시설 및 기타정보) ② MLS 기반의 임도시설 종합관리체계 개발 - MLS 자료의 신뢰도 평가 및 포인트클라우드 가공, 3차원 임도망도 제작 - 임도주요 시설의 표현 및 임도망도 제작 - 임도망도를 활용한 물리적 특성 파악 및 분석 - MLS를 활용한 임도망도 제작 소요비용 및 구축, 활용 고도화 방안 ③ 전통사방기술과 연계한 융복합형 임도시설 유지·관리기법 개발 - MLS, 전통사방기술의 융복합형 임도 시설 유지·관리 기법 개발 - 마사토 지역의 전통사방기술을 이용한 임도 유지·관리 ④ 임도시설의 효율적인 유지·관리사업을 위한 법·제도 개선방안 제시 - 임도시설 유지·관리 법·제도 검토, 해외사례 탐색 - 국내 임도 유지·관리 현황분석 및 관리방안 마련(관리조직) - 법·제도 및 조직 개선을 통한 관리방안 마련
		 <p style="text-align: center;">〈MLS를 이용한 임도 시설물 측량 및 적용성 검토〉</p>
4	성과 활용계획	① 4차산업 기반의 융복합형 임도망도 제작 및 활용 기법 - 3차원 기반의 임도망도 제작기술을 적용한 임도망도 제작 - 임도망도의 확대활용(산림경영지원, 산림재해, 임도 유지·관리 등) ② 전통사방기술을 활용한 임도시설 유지·관리 기법 개발 - 과학적 접근 방법을 통한 전통사방기술의 적용 - 전통사방기술의 적용을 통한 임도 유지·관리 품질 개선 ③ 법·제도 및 조직마련을 통한 임도의 효율적인 유지·관리 - 임도 유지·관리 종합체계 마련을 통한 일자리 창출 - 임도 유지·관리 매뉴얼을 통한 효율적 임도 유지·관리

② 'ICT 기반 임도개설에 따른 산림생태계 변화 탐색기법 개발 연구' 과제 검토

□ 연구의 개요


- 사업명 : 산림경영 혁신 기술 개발
- 과제명 : ICT 기반 임도개설에 따른 산림생태계 변화 탐색기법 개발 연구
- 연구기간 : 2021.04.01. ~ 2023.12.31.
- 연구예산 : 896,780천원(정부지원 825,000천원, 기관부담 71,780천원)
- 주관 연구기관 : 충남대학교
 - 임도시설에 의한 생태계 변화 연구논문 텍스트마이닝 및 결과분석
 - Mobile LiDAR를 이용한 임도 임연부의 3차원 모델링 및 임도시설 관리방안 마련
- 공동 연구기관 : (사)백두대간숲연구소, 산림환경공간기술연구소
 - 공동 1 : 야생 동·식물의 현황을 조사하고 서식지 등의 특성을 파악하는 현장조사 및 모니터링과 관련된 연구
 - 공동 2 : ICT 기술(공간정보) 기술을 활용하여 공동1에서 수집한 현장조사 및 모니터링 데이터 등의 자료를 이용하여 분석을 실시하는 연구

□ 연구 필요성

- 임도의 생태계 영향 고려
 - 임도 노선에 의한 산림단절 및 서식지의 파편화, 임연부 효과 등의 산림환경구조 변화로 인한 종 다양성 및 종구성 변화의 원인으로 지적되고 있으며, 생태계에 부정적인 영향을 주는 것으로 알려져 있음
- 임도와 생태계 관련 연구의 필요성
 - 임도타당성 평가체계에서 환경성을 평가하는 항목이 비교적 단순하고 자연 생태계에 대한 사전조사가 뒷받침되고 있지 않음
 - 2000년대 이후 야생동물 이동통로(옆도랑, 속도랑 및 집수정 등의 탈출로), 생태연못, 급경사 장대사면 이동로등 구조물 설계가 도입되었으나, 설계 및 유지관리가 제대로 이루어지고 있지 않아 여전히 제 역할을 하지 못함

□ 연구 수행내용

<'ICT 기반 임도개설에 따른 산림생태계 변화 탐색기법 개발 연구' 연구범위>

No	구분	내용
1	연구 대상지	- 대전광역시 및 전라북도 무주 주요 임도 구간
2	연구 내용	① 임도개설에 따른 산림생태계의 생태변화 모니터링 ② ICT 기반 임도 임연부 생물서식지의 3차원 디지털 시각화 기술 개발 ③ 임도 임연부 생태환경 모니터링 탐색기법 개발 및 체계화
3	연구개발 성과	① 임도시설에 대한 빅데이터 기반 텍스트마이닝 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 연구 논문을 분석하여 임도와 산림 생태계의 상호작용 및 주요 연구 동향을 파악 - 텍스트마이닝 기법을 통해 임도 시설이 생태계에 미치는 다양한 영향을 도출 ② 임도 개설에 따른 산림 생태계 서식환경 현황 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 고정 조사구를 설정하여 임도 개설 전후의 야생동식물 서식지 변화 및 생태적 현황 조사 - 조류 및 포유류의 서식 분포와 행동권에 대한 데이터를 수집하고 변화 추적 ③ 3차원 공간정보 기반 산림생태계 서식환경 시각화, 모니터링, 임도시설 모델링 <ul style="list-style-type: none"> - LiDAR와 드론 데이터를 활용하여 3차원 모델을 구축하고 생태계 변화를 시각적으로 분석 - 임도와 인접한 생태계의 서식환경을 입체적으로 표현하고, 시각화된 모델을 통해 모니터링 및 예측 지원  <p style="text-align: center;"><그림 2-3-35. 포인트클라우드 및 파노라마 이미지의 연동, 측정></p>
4	성과 활용계획	<ul style="list-style-type: none"> - 임도시설 타당성 평가 등 사전환경영향 평가항목 개선 등 정책기초자료로 활용 - 국가 정책목표에 따른 임도시설 확충을 위한 홍보자료로의 활용 - 친환경임도시설 구축을 위한 학술적·기술적 근거자료로 활용 - 임도 개설 예정지 및 기개설지에 대한 야생동식물 보존관리 자료로 활용 - 친환경적 임도 개설에 대한 가이드라인 제공

3) 임도 사업 체계

시기	단계 구분	사업추진내용
10년 단위	1) 임도 기본계획 수립	- 작성자 : 산림청장 - 내용 : 임도시설 목표, 정책방향, 임도신설, 유지·관리 등
5년 단위	2) 간선임도 설치계획 수립	- 계획 근거 : 임도사업 기본계획 - 계획작성 : 시장·군수, 국유림관리소장 - 계획수립 : 시장·도지사, 지방산림청장
-	3) 노선선정(지선·작업임도) ※ 간선임도는 설치 5개년 계획에 반영된 노선에 한함	- 선정기준 : 임도설치 및 관리 등에 관한 규정 제4조 - 선정자 : 사업실행주체(자치단체, 지방청)
-	4) 타당성평가	- 평가주체 : 시·도(지방산림청)의 위탁 ⇒ 한국치산기술협회, 산림조합중앙회 등 기관, 전문가 참여
전년 8월 말	5) 사업계획 수립	- 수립 : 시·군·구(국유림관리소) - 노선확정 : 시·도(지방산림청)
전년 11월 말	6) 사업계획 확정(통보)	- 산림청 ⇒ 시·도(지방산림청)
설계 전	7) 산주동의(사유림)	- 시행주체 : 시장·군수·구청장, 국유림관리소장
설치 전년도	8) 기본조사	- 시행주체 : 시장·군수·구청장, 국유림관리소장
연중	9) 설계	- 시행주체 : 시장·군수·구청장, 국유림관리소장 ⇒ 민간 사업자 용역 발주
연중	10) 시공(감리 ¹⁾), 준공	- 시행주체 : 시장·군수·구청장, 국유림관리소장 ⇒ 민간 사업자 용역 발주
익년 5월말 ~12월말까지	11) 평가	- 중앙평가 : 산림청 ⇒ 시·도, 지방청 - 지방평가 : 시·도, 지방청 ⇒ 시·군, 국유림관리소
연 2회 이상	12) 보수·관리	- 주관기관 : 시장·군수·구청장, 국유림관리소장 ⇒ 임도관리단 배치, 민간 사업자 용역 발주
연중	13) 구조개량	- 주관기관 : 시장·군수·구청장, 국유림관리소장 ⇒ 민간 사업자 용역 발주

1) 시공감리는 건당 공사비 규모가 2천만원 이상인 경우를 대상으로 하며, 미만일 경우 발주청이 필요하다고 판단하는 경우 시공감리 실시 가능

5 기술수준 조사

□ 조사 개요 및 중점기술 분야 정의

- 연구개발 대상 분야의 현재 기술수준 및 선진국 대비 격차를 점검하기 위해 산학연 소속 전문가 30인을 대상으로 조사
- 세부과제별 기술적 특성을 기반으로 중점기술 분야를 정의하여 조사

<AI 기반 산불 대응 임도 신설 및 관리 분야 중점기술 정의>

분야	중점기술명
1. 임도 노선 선정 및 설계	1-1. AI 기반 임도망 계획 및 노선 선정 기술 산불 위험도, 관련 시설과의 접근성 등 데이터를 AI로 분석하여 최적의 임도망 및 노선을 도출하는 기술
	1-2. AI 기반 산불 대응 임도 설계 기술 사면 안정성, 배수 조건, 시공 가능성 등 데이터를 AI로 분석하여 임도를 설계하는 기술
2. 임도 유지관리 및 활용	2-1. AI 기반 임도 유지보수 예측 및 관리 기술 무인이동체로 수집된 데이터를 분석하여 유지보수 시점과 우선순위를 AI로 예측·시뮬레이션하는 기술
	2-2. 산불 대응 임도 배수구조물 내화성 강화 기술 임도 내 배수구조물의 압축 강도 및 내화 성능을 확보하는 기술
	2-3. 산불 피해 임도 비탈면 안정화 기술 산불 피해지역의 임도 구조물 및 비탈면에 대한 안전 진단 및 복구 기술
	2-4. IoT 기반 산불 위험도 실시간 계측 및 전송 기술 임도에 무인 센서를 설치하여, 산불 위험도와 관련된 데이터를 수집하고 전송하는 기술

자료 : 한국임업진흥원, 산불 대응 임도 분야 기술수준 조사 결과, 2025.05.

□ 기술수준 그룹

- 미국은 모든 중점기술에서 선도그룹으로 평가되며, EU와 함께 AI 기반 임도 신설 및 관리 기술 분야에서 기술적 우위를 확보하고 있음
 - 일본은 모든 분야에서 추격그룹, 중국은 대부분의 분야에서 후발그룹으로 분류
- 한국은 대부분의 중점기술에서 추격그룹이나, 특히 유지보수 예측 및 관리, 배수구조물 내화성 등 분야에서 선도국 대비 기술격차가 큼

<AI 기반 산불 대응 임도 신설 및 관리 분야 기술수준 그룹>

분류	중점기술명	한국	중국	일본	EU	미국
임도 노선 선정 및 설계	1-2. AI 기반 임도망 계획 및 노선 선정 기술	추격	후발	추격	선도	선도
	1-2. AI 기반 산불 대응 임도 설계 기술	추격	후발	추격	선도	선도
임도 유지관리 및 활용	2-1. AI 기반 임도 유지보수 예측 및 관리 기술	후발	후발	추격	선도	선도
	2-2. 산불 대응 임도 배수구조물 내화성 강화 기술	후발	후발	추격	추격	선도
	2-3. 산불 피해 임도 비탈면 안정화 기술	추격	후발	추격	선도	선도
	2-4. IoT 기반 산불 위험도 실시간 계측 및 전송 기술	추격	추격	추격	선도	선도

자료 : 한국임업진흥원, 산불 대응 임도 분야 기술수준 조사 결과, 2025.05.

□ 기술수준 및 격차

○ AI 기반 산불 대응 임도 신설 및 관리 기술 분야에서 선진국 대비 3~4년 내외의 기술 격차가 있어 R&D를 통한 경쟁력 확보가 필요

- AI 기반 임도망 계획 및 노선 선정, 산불 대응 임도 설계 기술의 수준은 67~68% 수준으로, 미국과 약 4년의 기술 격차가 있는 것으로 조사됨
- AI 기반 임도 유지보수 예측 및 관리 기술은 68.6%로 약 5년의 기술 격차 존재
- 임도 배수구조물 내화성 및 비탈면 안정화 기술의 수준은 73~76%, IoT 기반 산불 위험도 예측 및 전송 기술의 수준은 81%로 나타남

<AI 기반 산불 대응 임도 신설 및 관리 분야 기술수준>

분류	대상기술	한국		중국		일본		EU		미국	
		수준 (%)	격차 (년)	수준 (%)	격차 (년)	수준 (%)	격차 (년)	수준 (%)	격차 (년)	수준 (%)	격차 (년)
임도 노선 선정 및 설계	AI 기반 임도망 계획 및 노선 선정 기술	68.1	3.9	58.0	5.6	78.8	3.1	93.8	1.3	100.0	0.0
	AI 기반 산불 대응 임도 설계 기술	67.4	3.7	53.4	6.0	75.5	3.2	93.8	1.3	100.0	0.0
임도 유지관리 및 활용	AI 기반 임도 유지보수 예측 및 관리 기술	68.6	4.8	61.4	6.2	82.3	2.8	92.4	1.3	100.0	0.0
	산불 대응 임도 배수구조물 내화성 강화 기술	72.7	3.4	56.8	5.2	81.7	1.3	93.4	0.2	100.0	0.0
	산불 피해 임도 비탈면 안정화 기술	76.2	3.4	65.4	5.2	92.7	1.3	99.5	0.2	100.0	0.0
	IoT 기반 산불 위험도 실시간 예측 및 전송 기술	80.9	3.5	79.5	3.5	77.4	3.5	93.6	0.9	100.0	0.0

자료 : 한국임업진흥원, 산불 대응 임도 분야 기술수준 조사 결과, 2025.05.

□ 기술 성숙도(TRL)

○ 현재 한국의 중점기술별 기술 성숙도(TRL)는 실험 단계로 평가되며, R&D 지원을 통해 시작품에서 사업화 단계로 나아가야 할 필요가 있음

<중점기술별 현재 한국의 기술 성숙도(TRL)>

중점기술명		TRL	기술성숙도(TRL) 단계별 내용		
1. 산불 대응 임도 노선 선정 및 설계 기술			기초, 이론, 실험	1	기초 이론/실험
1-2. AI 기반 임도망 계획 및 노선 선정 기술	4	2		실용목적의 아이디어, 특허 등 개념정리	
1-2. AI 기반 산불 대응 임도 설계 기술	3	실험 단계	3	실험실 규모의 기본성능 검증	
2. 산불 대응을 위한 임도 유지관리 및 활용 기술			4	실험실 규모의 소재/부품/시스템 핵심성능 평가	
2-1. AI 기반 임도 유지보수 예측 및 관리 기술	3	시작품 단계	5	확정된 소재/부품, 시스템 시작품 제작 및 성능평가	
2-2. 산불 대응 임도 배수구조물 내화성 강화 기술	3		6	파일럿 규모 시작품 제작 및 성능평가	
2-3. 산불 피해 임도 비탈면 안정화 기술	4	실용화 단계	7	신뢰성 평가	
2-4. IoT 기반 산불 위험도 실시간 예측 및 전송 기술	4		8	시제품 인증 및 표준화	
			사업화	9	사업화

자료 : 한국임업진흥원, 산불 대응 임도 분야 기술수준 조사 결과, 2025.05.

III. 사업 타당성 검토

1 사업추진의 시급성

- (정책목표 측면) 『전국임도기본계획』의 성공적인 이행을 위해 임도 효율적인 신설 및 관리를 위한 첨단기술 활용이 시급
 - 산림청의 국가 산림 정책 목표 달성을 위해, 최적화된 임도망 구축과 첨단 기술 기반 유지관리 체계 마련이 필수적
- (현장수요 측면) 임도 신설·유지관리 사업을 효율적으로 시행·관리하기 위한 과학기술의 활용이 필요함
 - 산림 선진국들은 첨단기술로 임도를 최적화, 목재 생산성을 극대화 하는 가운데, 국내에는 수작업 중심 체계로 효율화 한계
 - 산촌 인구가 고령화되는 가운데, 임도 관리 인력 또한 태부족

2 정부지원의 필요성

- 임도는 목재생산 효율성에 직결되는 핵심 산림경영 인프라로, 자원의 이동과 순환을 최적화할 수 있는 최적화된 임도 구축이 시급함
 - 임도는 산림경영·자원 활용·재해 대응을 위한 핵심 기반시설로, 체계적인 유지관리 없이 신설만으로는 그 효과가 제한적
 - 본 연구개발을 통해 AI 기반 설계, 유지관리 기술을 적용하면 기존 임도 사업의 운영 효율성을 극대화할 수 있음
 - 정부 및 지자체의 임도 관련 사업이 과학적 데이터에 기반하여 운영될 수 있으며, 사업 평가 및 의사결정의 객관성을 확보할 수 있음

3 기존사업과의 차별성 및 연계성

□ NTIS 검색 결과, 임도 설계·유지관리 관련 분야의 연구개발을 핵심 목표로 하는 국가 R&D 사업은 본 사업이 최초

○ 유사한 사업은 수행된 바 없으며, 과제단위 연구에서 3D 기반 임도망도를 구축, 또는 데이터를 임도 설계·시공에 활용하는 방안을 연구한 사례는 존재

○ 그러나 3D 데이터를 기반으로 임도 노선 기획, 설계, 유지관리 등 기능을 지닌 AI 기반 시스템을 개발하는 실용화 연구는 수행된 바 없음

☞ AI 기술을 기반으로 임도 노선 기획, 설계, 유지관리 등 현장에서 직접적으로 활용되는 응용 시스템을 개발하는 R&D 사업은 본 사업에서 최초로 추진

<유사 사업 현황 및 차별성>

부처명	사업명	주요내용	차이점	연계방안
산림청	융복합기반 임산업의 신산업화 기술개발 ('16~'21)	☞ 과제명 : 융복합형 임도시설 관리기법 개발 및 적용('18~'20) - 현장기반 임도시설 유지관리 현황 파악 및 개선방안 - MMS 기반의 임도 관리기법 개발	- 기존 연구는 MMS 기반 임도 관리기법 및 유지관리 현황 분석에 초점, AI 기반 예측 최적화 미적용	- 기존 유지관리 기법 및 현황 분석 결과를 AI 기반 유지보수 모델 개발에 활용
		☞ 과제명 : 4차산업 기반 임도 관리 기술 개발 및 체계 구축('18~'20) - 빅데이터 기반의 임도시설 유지관리체계 개발방향 제시 - 3D 기반 임도망도 및 도면화 제작 기술개발 - 무인항공기를 이용한 임도시설 3D 데이터 수집 및 활용방안 - 3D 기반 임도시설 빅데이터 구축 적용성 평가	- 빅데이터·3D 기반 임도망 구축에 집중, AI 기반 유지관리 및 최적화는 포함되지 않음	- 3D 임도망 데이터와 무인항공기 활용 기술을 AI 기반 유지관리 시스템과 연계 가능
	스마트 산림경영 혁신성장 기술개발 ('21~'25)	☞ 과제명 : 임도개설에 따른 산림 생태계 영향 저감을 위한 임도 시설 관리방안 개발('21~'23) - 임도개설에 따른 산림생태계의 생태변화 모니터링 - ICT 기반 임도 임연부 생물서식지의 3차원 디지털 시각화 기술 개발 - 임도 임연부 생태환경 모니터링 탐색기법 개발 및 체계화	- 생태계 변화 및 서식지 보호 중심 연구 - 임도 유지관리 효율화를 위해 직접적으로 활용할 수 있는 기술은 미적용	- 생태환경 데이터를 AI 유지관리 모델에 반영하여 산림 생태를 고려한 유지관리 기능 구현 검토
과기부	개인기초연구 (계속)	☞ 과제명 : 스마트 산림자원관리를 위한 레이저 스캐닝 기반 산림 공간정보 구축 기술 연구('21~'23) - 레이저 스캐닝 기술 적용 임목자원 조사 및 벌채목 검측을 수행 - 임도 건설을 위한 산림공간 정보 구축 실험 - 산림공간정보 활용 방안 연구	- 레이저 스캐닝을 활용한 산림공간정보 구축 및 벌채목 검측에 초점 - 임도에 대한 정밀한 데이터 수집 및 분석은 이루어지지 않음	- 레이저 스캐닝 기반 지형 분석 데이터를 데이터 표준화를 위한 연구에 활용 가능

4 정책 및 상위계획과의 부합성

- 동 사업은 산림산업 인프라로 기능하는 임도의 체계적인 신설 및 관리에 기여하기 위한 R&D로 정부의 정책 방향과 부합성이 매우 높음
- 본 사업의 추진 내용은 제5차 과학기술 기본계획, 제1차 국가 연구개발 중장기 투자전략 등 정부 상위계획과 연계성을 확보하고 있음

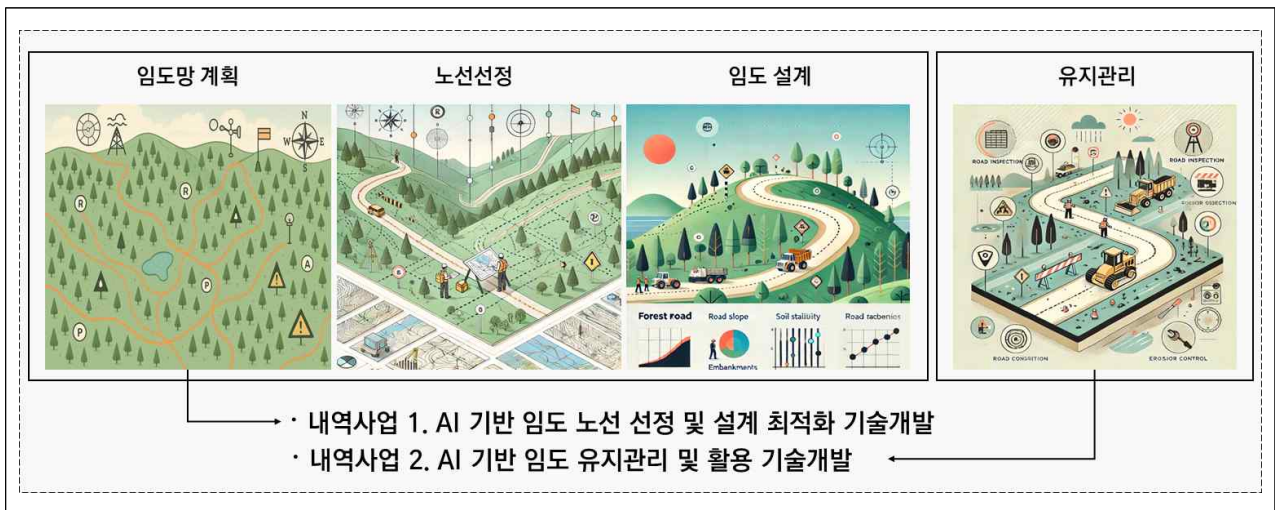
구분	주요내용(추진전략 및 과제)	부합성
산림기본법	<p>(제1조) 목적 : 산림정책의 기본이 되는 사항을 정하여 산림의 다양한 기능을 증진하고 임업의 발전을 도모함으로써 국민의 삶의 질 향상과 국민경제의 건전한 발전에 이바지함을 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 제21조(임업경영기반의 조성) <ul style="list-style-type: none"> - ① 국가 및 지방자치단체는 임업의 생산성 향상을 위하여 임도 확충, 임업기계화 촉진 및 임업경영의 적정규모화 유도 등 필요한 시책을 수립·시행하여야 한다. ○ 제24조(임업기술의 진흥) <ul style="list-style-type: none"> - 국가 및 지방자치단체는 임업의 경쟁력을 높이고 임산물의 부가가치를 높이기 위하여 임업기술의 연구·개발·보급 등 필요한 시책을 수립·시행하여야 한다. 	높음
제6차 산림기본계획	<p>(2037 목표) 국민 행복과 안심국토 구현</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (기대효과) 산림분야 일자리 7만개 창출, 전체 가구 평균소득의 100% ○ (주요과제) 산림경영기반 확충으로 산림경영 규모화 <ul style="list-style-type: none"> - 경제림 중심의 임도 조성 및 유지·관리 추진 - 체계적 임도 조성을 위한 제도·기술 기반 강화 	높음
제2차 산림과학기술 기본계획	<p>(비전) 산림과학기술로 경제산림, 복지산림, 생태산림 구현</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (전략 1) 산림분야 R&D 성과 활용 제고 <ul style="list-style-type: none"> - (1-3) 연구성과 통합 관리 및 사업화 지원 ○ (전략과제 2-3) 목재자원 조성·육성 및 수확기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - (2-3-3) 목재의 지속적 이용을 위한 임도망 구축 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 산림경영 및 목재 운송 효율 증진을 위한 임도망 계획 및 평가 연구 · 임도시설 품질 향상을 위한 측량·설계 및 시공기술 개발 · 산림작업로의 지속적 활용을 위한 적정 노선선정 및 시공 기술 개발 	높음
제5차 전국임도 기본계획	<p>(비전) 임도의 체계적인 확충과 관리로 산림산업 경쟁력 강화</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (전략과제 1) 산림여건을 반영한 임도망 구축으로 산림사업 효율성 제고 ○ (전략과제 2) 임도사업 기술향상으로 임도 안전성 강화 ○ (전략과제 6) 임도 유지·관리 역량 및 파트너십 제고 	높음

IV. 사업 기본방향 및 추진전략

1 사업 기본방향

- 본 사업은 AI·LiDAR 등 첨단기술을 적용해 임도의 산림경영 지원 기능을 극대화하여 국내 산림산업의 경쟁력 제고에 기여하는 R&D 사업으로 기획
- 전문가 의견수렴을 통해 임도 사업 전 주기에서 AI를 통한 문제 해결이 요구되는 영역을 정의하고, 기본 방향 및 내역사업을 구성

<임도 사업 전주기 R&D 영역 모식도>



2 사업 추진전략

- 내역사업 구성

- 사업 기본방향에 따라 내역사업을 구분하여 추진하되, 각 사업별 특성을 반영한 세부적인 전략을 수립 후 추진

<AI 기반 임도 설계 및 유지관리 최적화 기술개발 사업 내역사업 구성>

	내역사업	기간	'26년 예산	비고
추진 체계	AI 기반 임도 노선 선정 및 설계 최적화 기술개발	4년	1,250백만원	
	AI 기반 임도 유지관리 및 활용 기술개발	4년	1,250백만원	

□ 전주기 지원

○ (모니터링) 사업수행, 사업성과, 추진계획에 대한 주기적인 모니터링

<AI 기반 임도 설계 및 유지관리 최적화 기술개발 사업 모니터링 항목>

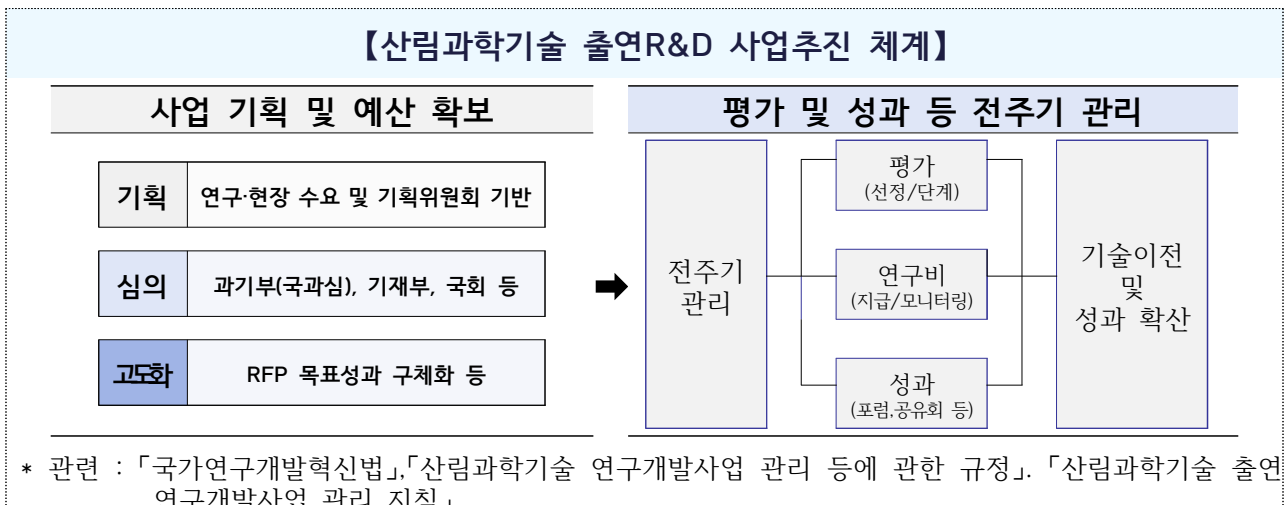
구분	항목
사업수행	· 당초 계획된 사업 진도가 차질 없이 진척되고 있는가? · 목표 달성을 위해 현재 수행되는 연구방법이 적절한가? · 사업목표와 진도에 따라 연구자원이 적절하게 집행되는가?
사업성과	· 당초 계획된 연구 성과가 창출되고 있는가? · 사업을 통해 창출된 성과 정보가 적절하게 관리되고 있는가?
추진계획	· 향후 사업 추진 일정이 적절하게 수립되었는가? · 추진 일정의 조정이 가능한 프로그램이나 과제는 없는가? · 향후 추진계획에서 사업 관련 환경변화를 적절히 반영하는가?

○ (컨설팅) 임도 관련 영역에 경험과 전문성이 있는 전문가들을 멘토단으로 구성, 사업계획보완과 사업추진과정에서 발생하는 애로사항, 성과확산 등에 대한 컨설팅 지원

○ (네트워크) 기술개발 결과물이 산업 현장에서 적용·실용화될 수 있도록 각 중점추진 분야별 협의체를 구성, 경험과 정보를 공유, 상호 협력할 수 있도록 공동워크숍을 개최하는 등 네트워크 형성 지원

○ (정책연계) 각 내역사업의 R&D 성과가 시장에 즉각 활용될 수 있도록 법·규정 정비 등 관계 기관과의 정책연계 지원

□ 사업추진 절차 및 관리체계



3 비전 및 목표

〈AI 기반 임도 설계 및 유지관리 최적화 기술개발 사업 체계도〉

목표	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 목재생산성 향상과 산림작업 효율화를 위한 AI 기반 첨단 임도 기술 적용 ▶ AI 기반의 과학적 임도 신설·운영 체계 구축으로 산림경영 인프라 고도화
----	--

중점 추진 분야 및 세부 내용	중점분야	추진 세부내용
	AI 기반 임도 노선 선정 및 설계 최적화 기술개발	- (총괄) 목재생산형 임도 신설을 위한 AI 데이터 표준화 기술 개발 - (세부1) AI 기반 목재 운반 효율 중심 광역 임도망 배치 시스템 개발 - (세부2) AI 기반 임도 노선 선정 알고리즘 개발 - (세부3) 3D 시뮬레이션 기반 임도 설계 최적화 기술 개발
	AI 기반 임도 유지관리 및 활용 기술개발	- (총괄) 목재생산 임도 유지관리 및 활용 고도화 - (세부1) AI 기반 임도 유지보수 예측관리 기술 개발 - (세부2) 임도 훼손지 복구를 위한 비탈면 안정화 기술 개발 - (세부3) 목재 운송 및 탄소 저감 연계 임도 활용 모델 개발

추진 체계	내역사업	기간	'26년 예산
	AI 기반 임도 노선 선정 및 설계 최적화 기술개발	4년	1,250백만원
	AI 기반 임도 유지관리 및 활용 기술개발	4년	1,250백만원

수혜자	
직접 수혜	간접 수혜
산림청, 국유림관리소, 지방자치단체 산림 정책 담당자, 임도 설계·시공 관련 기관 및 기업	산림 현장 인력, 목재 운반 작업자, 국민(목재생산업 및 목재산업 등 관련 산업 생산성 향상)

성과지표				
목재 운반 효율 향상률	목재 생산비 감소률	접근성 증가를 통한 벌채 가능면적 확대율	목재 자금률 향상	목재(HWP) 기반 NDC 탄소중립 목표 기여도
30% 이상	10%	10% 이상	17% → 25%	5%

목재생산 임도 신설 최적화 및 지능형 유지관리·활용 시스템의 현장 적용 및 보급

기대 효과	임도 전주기를 AI 기반으로 통합 고도화하여, 목재 생산성 10% 이상 향상 임도 운영의 디지털 전환을 통해 산림산업의 과학화·자동화 수준 제고
-------	--

기대 성과	 <p>OPTIMAL ROUTE FOR LOGGING ACCESSIBILITY 51% 40% ROUTE GUIDANCE</p>	 <p>Forest Fire Probability AI</p>	 <p>AI Risk Status Ground Sensors</p>	 <p>AI</p>
	〈벌채 접근성 향상을 위한 최적 노선 도출〉	〈AI 기반 자동설계로 임도 신설 효율화〉	〈센서·AI 기반 임도 유지관리·품질 계측〉	〈임도 안정성 진단 체계 구축〉

4 내역사업

① AI 기반 임도 노선 선정 및 설계 최적화 기술개발 : '26년 12.50억원 요구

○ (총괄) 목재생산형 임도 신설을 위한 AI 데이터 표준화 기술 개발

- 드론·LiDAR 기반으로 산림지형, 토양, 수목정보 등 수집 및 표준화
- 세부과제별로 개발되는 임도망 계획, 노선 선정, 설계 알고리즘을 통합 탑재한 소프트웨어를 개발, 테스트베드 기반 실증
- 1차년도 임도 신설 예정지 대상 테스트베드 지정, 총괄·세부과제 수행 후, 4차년도에 실제 시공으로 현장 보급 가능성 검증 및 보완 연구 수행
- * 입목자원 분포, 임도계획 등 변수를 고려한 전문가 판단으로 선정(상세설명 : 참고9)

○ (세부1) AI 기반 목재 운반 효율 중심 광역 임도망 배치 시스템 개발

- 경제림 입목 현황, 목재 운반 효율성 등 고려 임도망 계획 알고리즘 개발
- 목재생산성과 접근성을 모두 반영한 경제적 임도망 배치안 제안 시스템 개발

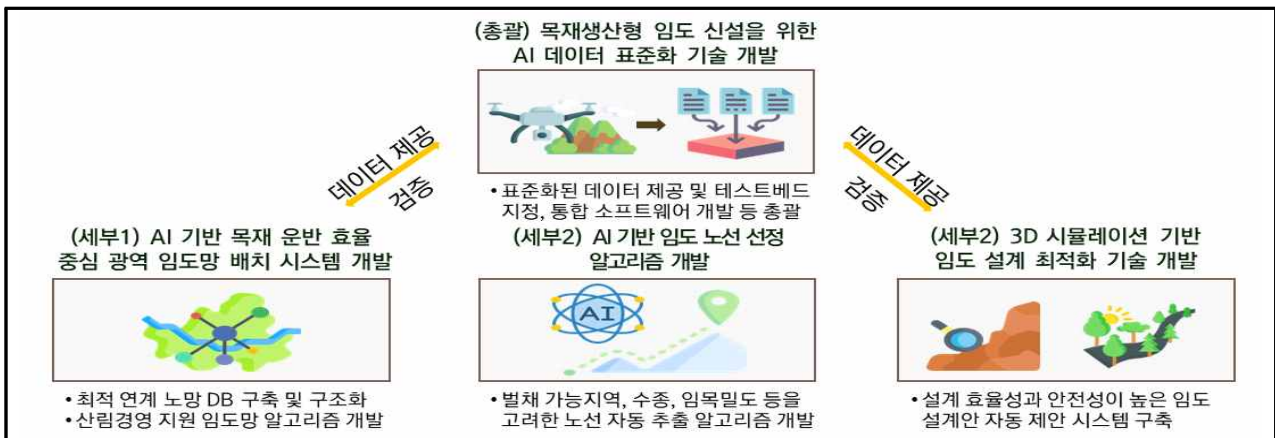
○ (세부2) AI 기반 임도 노선 선정 알고리즘 개발

- 벌채 가능지역, 수종, 임목밀도, 지형 등을 반영한 공간정보 DB 구축
- 벌채 접근성, 작업기계 진입 가능성, 목재 운반 거리 등을 종합 고려한 AI 기반 임도 노선 자동 추출 알고리즘 개발

○ (세부3) 3D 시뮬레이션 기반 임도 설계 최적화 기술 개발

- AI 기반 사면 안정성, 배수 조건, 시공 가능성 정량분석
- 설계 효율성과 안전성이 높은 임도 설계안 자동 제안 시스템 구축

< 총괄-세부과제 기술 모식도 >



② AI 기반 임도 유지관리 및 활용 기술개발 : '26년 12.50억원 요구

○ (총괄) 목재생산 임도 유지관리 및 활용 고도화

- 1차년도 국유림 기설 임도 대상 테스트베드 지정, 총괄·세부과제 수행 후, 4차년도 기존 유지보수 체계 대비 효율성 검증 등 실증·보완 연구 수행
- * 지형조건, 기술적용성 등 변수를 고려한 전문가 판단으로 선정(상세설명 : 참고9)

○ (세부1) AI 기반 임도 유지보수 예측·관리 기술 개발

- 드론 및 LiDAR 등 센서 부착 차량을 활용한 실시간 임도 DB 표준화 및 임도 모니터링 운용체계 개발
- 임도 품질 상태 진단 및 유지보수 시점·우선순위 예측 기술 개발

○ (세부2) 임도 훼손지 복구를 위한 비탈면 안정화 기술 개발

- 사면 붕괴 위험 진단 및 예측을 통한 비탈면 안정화 기술 개발
- 기 구축 임도 구조물의 안정 진단 및 복구 기술 개발

○ (세부3) 목재 운송 및 탄소 저감 연계 임도 활용 모델 개발

- 별체계획·임도망·목재물류 데이터를 통합 분석, 운송비 및 탄소배출 최소화를 위한 정책 시나리오 및 실행지침 수립
- 경제·환경 파급효과 평가로 인센티브·규제 설계, 임도 운영 가이드라인 제안

< 총괄-세부과제 기술 모식도 >



V. 성과목표 및 소요예산

1 성과목표 및 지표

□ 성과목표 : 목재생산성 향상과 산림작업 효율화를 위한 AI 기반 첨단
임도 기술 적용

○ AI 기반의 과학적 임도 신설·운영 체계 구축으로 산림경영 인프라 고도화

□ 성과지표 및 평가 방안

성과지표명	목표치				측정방법
	'26	'27	'28	'29	
임도망 배치 의사결정 소요시간 단축	-	25%	40%	50%	- AI 임도망 추천 시스템 적용 전·후 의사결정 절차 소요시간(분) 비교
임도 노선 자동추출 알고리즘 정확도	80%	90%	95%	95%	- 테스트베드 노선 실측 대비 자동노선 정확 성 비교
임도 설계 소요시간 단축	-	15%	30%	30%	- 현장 실증 기반 설계 수행시간(시간) 및 기 술 미적용 시 평균 소요시간 비교
임도 설계 자동화 도구 시제품 개발	-	-	1	2	- 현장 배포가능한 소프트웨어 형태로 개발 - 시제품 기능시험 및 공인테스트 보고서 등
유지보수 필요 구간 예측 탐지율	70%	80%	90%	95%	- 알고리즘 기반 자동화 계측 결과와 현장진 단 정확도 비교
기술 미적용 임도 대비 사면 안정성 상승	-	15%	30%	60%	- 기술 미적용 사면의 안정 상태와 테스트베 드 실증 대상지의 사면 안정성 비교
손상 임도 복구 소요기간 단축	-	20%	40%	60%	- 기술 미적용 시 평균적인 복구 소요기간과 테스트베드 실증 결과를 전문가 평가 기반 으로 분석
임도 활용 모델 정책 반영률	-	25%	75%	100%	- 개발한 정책모델 대비 산림청, 지자체 등 정 책 수요기관·부서에 제안 및 증빙자료 제출 건수

2 소요예산

내역사업명	구분	'26	'27	'28	'29	합계
AI 기반 임도 노선 선정 및 설계 최적화 기술개발	국비	12.5	16.7	16.7	16.7	62.5
AI 기반 임도 유지관리 및 활용 기술개발	국비	12.5	16.7	16.7	16.7	62.5
합계	국비	25.0	33.3	33.3	33.3	125.0
	계	25.0	33.3	33.3	33.3	125.0

참고1**내역사업별 상세 설명자료****1. AI 기반 임도 노선 선정 및 설계 최적화 기술개발** 사업개요

사업목적/내용	○ 산림경영 효율화를 위한 임도망 계획, 임도 노선 선정 및 설계 기술을 AI 기반으로 고도화하여, 임도 구축의 정밀성·효율성 제고
'26년 사업규모	○ 사업비 1,250백만원
과제 평균 단가	○ 312.5백만원
사업기간	○ 2026년 4월 ~ 2030년 12월
지원형태(지원조건, 지원율)	○ 출연(100%/대기업 50%, 중견기업 30%, 중소기업 25% 이상 매칭)
국비/민간or지방	○ 국비
사업관리기관(기획평가기관)	○ 한국임업진흥원
사업시행주체(실 집행주체)	○ 산업계, 학계, 국공립 연구기관
지원근거	○ 「산림기본법」 제21조(임업경영기반의 조성)
대표적 (예상)성과물	○ AI 임도 노선 추천 소프트웨어 ○ 3D 설계 시뮬레이터, 공간정보 통합 DB

 사업 핵심내용(지원내용)

- (총괄) 목재생산형 임도 신설을 위한 AI 데이터 표준화 기술 개발
 - 드론·LiDAR 기반으로 입목자원, 산림지형, 토양 등 수집 및 표준화
 - 세부과제별로 개발되는 알고리즘을 통합 탑재한 소프트웨어 개발
 - 테스트 베드 지정 및 실제 시공을 통한 검증·보완 연구 수행
- (세부1) AI 기반 목재 운반 효율 중심 광역 임도망 배치 시스템 개발
 - 경제림 입목 현황, 목재 운반 효율성 등 고려 임도망 계획 알고리즘 개발
 - 목재생산성과 접근성을 모두 반영한 경제적 임도망 배치안 제안 시스템 개발
- (세부2) AI 기반 임도 노선 선정 알고리즘 개발
 - 벌채 가능지역, 수종, 임목밀도, 지형 등을 반영한 공간정보 DB 구축
 - 벌채 접근성, 작업기계 진입 가능성, 목재 운반 거리 등을 종합 고려한 AI 기반 임도 노선 자동 추출 알고리즘 개발
- (세부3) 3D 시뮬레이션 기반 임도 설계 최적화 기술 개발
 - AI 기반 사면 안정성, 배수 조건, 시공 가능성 정량분석
 - 설계 효율성과 안전성이 높은 임도 설계안 자동 제안 시스템 구축

 '26년 신규과제(산출내역)

- 내역사업1 '26년 신규과제 연구비
 - (다/상) 4개 × 416.7백만원 × 9/12개월 = 1,250백만원

 기대효과·성과

- 임도 계획·설계 자동화를 통해 벌채 접근성 및 생산성 효율적 향상
- AI 기반 분석과 시뮬레이션으로 정밀 설계·의사결정 체계 고도화

2. AI 기반 임도 유지관리 및 활용 기술개발

□ 사업개요

사업목적/내용	○ AI 기반 진단·예측 기술과 LiDAR 센서를 융합하여 임도 유지관리 및 활용 체계 고도화로 산림경영 지원
'26년 사업규모	○ 사업비 1,250백만원
과제 평균 단가	○ 1차년도 기준 312.5백만원
사업기간	○ 2026년 4월 ~ 2030년 12월
지원형태(지원조건, 지원율)	○ 출연(100%/대기업 50%, 중견기업 30%, 중소기업 25% 이상 매칭)
국비/민간or지방	○ 국비
사업관리기관(기획평가기관)	○ 한국임업진흥원
사업시행주체(실 집행주체)	○ 산업계, 학계, 국공립 연구기관
지원근거	○ 「산림기본법」 제21조(임업경영기반의 조성)
대표적 (예상)성과물	○ AI 기반 임도 유지관리 및 활용 시스템 및 복구·활용 기술 ○ 드론 및 센서 부착 차량 활용 데이터 수집 운용 기술

□ 사업 핵심내용(지원내용)

- (총괄) 목재생산 임도 유지관리 및 활용 고도화
 - 테스트 베드 지정 및 실증 운영을 통한 검증·보완 연구 수행
- (세부1) AI 기반 임도 유지보수 예측·관리 기술 개발
 - 드론 및 LiDAR 등 센서 부착 차량을 활용한 실시간 임도 DB 표준화 및 임도 모니터링 운용체계 개발
 - 임도 품질 상태 진단 및 유지보수 시점·우선순위 예측 기술 개발
- (세부2) 임도 훼손지 복구를 위한 비탈면 안정화 기술 개발
 - 사면 붕괴 위험 진단 및 예측을 통한 비탈면 안정화 기술 개발
 - 기 구축 임도 구조물의 안정 진단 및 복구 기술 개발
- (세부3) 목재 운송 및 탄소 저감 연계 임도 활용 모델 개발
 - 별채계획·임도망·목재물류 데이터를 통합 분석, 운송비 및 탄소배출 최소화를 위한 정책 시나리오 및 실행지침 수립
 - 경제·환경 파급효과 평가로 인센티브·규제 설계, 임도 운영 가이드라인 제안

□ '26년 신규과제(산출내역)

- 내역사업2 '26년 신규과제 연구비
 - (다/상) 4개 × 416.7백만원 × 9/12개월 = 1,250백만원

□ 기대효과·성과


- 드론 및 센서 차량 기반 정밀 모니터링으로 임도 유지관리 효율 향상
- 임도 기능 유지로 목재 운반 안정성과 접근성을 높여 목재생산성 제고

참고2


임도 현황 및 관련 정부 기본계획

- 임도는 산림 경영과 임업 활동의 효율성을 높이는 핵심 요소로 기능
 - 임도는 간선임도, 작업임도, 산불진화임도 등으로 나뉘며, 각 임도는 산림 자원 관리 및 재해 대응에서 중요한 기능을 지님
 - 산림 사업에서 활용하기 위한 용도로 간선·작업임도 등이 시공되며, 산불진화 임도의 경우 산불예방·진화 및 산림재해에 대응하기 위해 시공됨
- 〈목적에 따른 임도 시공 유형〉


구분	내용
간선임도	- 대규모 시업지역에서 간선임도와 공도를 연결하는 경우, 노폭 3.0m 이상으로 대형 차량의 통행이 가능한 규격·구조로 설치
작업임도	- 기존 도로가 존재하거나 공도에서 직접 분지하는 경우에 한정하여 계획, 임업기계 규격을 감안하여 노폭은 2.5~3.0m 규격으로 설치
산불진화임도	- 산불예방·진화 및 산림재해에 신속한 대응을 위해 설치하는 임도로 간선임도 및 도로와 연결하는 도로, 노폭은 산불진화 차량 등의 교행이 가능하도록 3.5m 이상



<간선임도>



<작업임도>



<산불진화임도>

자료 : 산림청, 임도기술교본, 2020.06., 산림청, 산림관리기반시설의 설계 및 시설기준, 2025.04.

- 임도는 최근 5년간 연간 약 700~900km가 신설되었으며, 2023년 기준 임도의 누적 거리는 25,847.5km이며, 밀도는 4.11m/ha임

〈임도 설치 현황〉

(단위 : 면적 - 천ha, 거리 - km, 밀도 - m/ha)

기관별	산림면적	최근5년간 신설 실적					'23년까지 누적			
							전국임도		경제림단지	
		'19	'20	'21	'22	'23	거리	밀도	거리	밀도
계	6,286	695	744.6	773	948.7	918.2	25,847.5	4.11	14,664.3	6.28
민유림	4,634	412	434.9	435.8	477.4	478.6	17,177.8	3.71	8,601.9	5.14
국유림	1,652	283	309.7	337.2	471.3	439.6	8,669.8	5.25	6,062.4	9.19

자료 : 산림청 홈페이지, 임도시설 현황(조회시점 2025.02)

□ 산림청은 ‘임도의 체계적인 확충과 관리로 산림산업의 경쟁력 강화’를 비전으로 제5차 전국임도기본계획(’21~’30)을 수립

- 국립산림과학원의 연구(’20.06.)에 따르면 전체 산림을 대상으로 한 육성 및 관리를 위한 기본임도밀도 목표량은 6.8m/ha로 제시됨
 - * 국립산림과학원, 산림특성을 고려한 임도밀도목표량 산정 연구, 2020.06.
- 산림청은 임도밀도 목표 달성을 위해 유형별 임도에 대한 신설 계획(’21~’30년)을 수립하였으며, 총 11,783km 임도가 신설될 예정임

〈연도별 임도신설 추진계획〉

(단위 : km)

구분	합계	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30
합계	11,783	976	1,098	1,185	1,211	1,243	1,167	1,180	1,248	1,239	1,236
간선임도	7,187	602	679	756	746	725	694	704	763	760	758
산불진화임도	2,500	100	150	200	250	300	300	300	300	300	300
작업임도	2,096	274	269	229	215	218	173	176	185	179	178

자료 : 산림청, 제5차 전국임도 기본계획(2021~2030), 2020.06.

- 동기간 기설된 임도에 대한 노폭확장 및 구조개량 또한 계획됨

〈노폭확장 및 구조개량 추진계획〉

(단위 : km)

구분	합계	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30
합계	5,624	412	434	482	522	565	561	602	643	681	722
노폭 확장	1,500	100	100	110	125	140	155	170	185	200	215
구조 개량	4,124	312	334	372	397	425	406	432	458	481	507

자료 : 산림청, 제5차 전국임도 기본계획(2021~2030), 2020.06.

- 연차별 임도 투자계획에 따르면, 2021~2030년 임도 신설과 노폭 확장 및 구조개량에 총 2조 7,621억 원이 투자될 예정임

〈연차별 투자계획(’21~’30)〉

(단위 : 백만원)

구분	합계	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	
합계	2,762,095	196,598	229,282	261,476	278,612	295,780	286,375	291,587	305,015	307,205	310,165	
임도 신설	간선임도	1,293,110	105,368	120,777	136,142	134,581	131,302	126,463	128,024	137,234	136,766	136,454
	산불진화임도	835,000	33,400	50,100	66,800	83,500	100,200	100,200	100,200	100,200	100,200	100,200
	작업임도	241,002	30,956	30,483	26,703	25,380	25,664	19,872	20,156	21,006	20,439	20,345
확장 ·개량	노폭확장	162,000	10,800	10,800	11,880	13,500	15,120	16,740	18,360	19,980	21,600	23,220
	구조개량	230,982	16,075	17,122	19,951	21,651	23,494	23,100	24,847	26,595	28,200	29,947

자료 : 산림청, 제5차 전국임도 기본계획(2021~2030), 2020.06.

* 투자계획은 재정당국 협의를 통한 예산편성 결과에 따라 변경될 수 있음

참고3

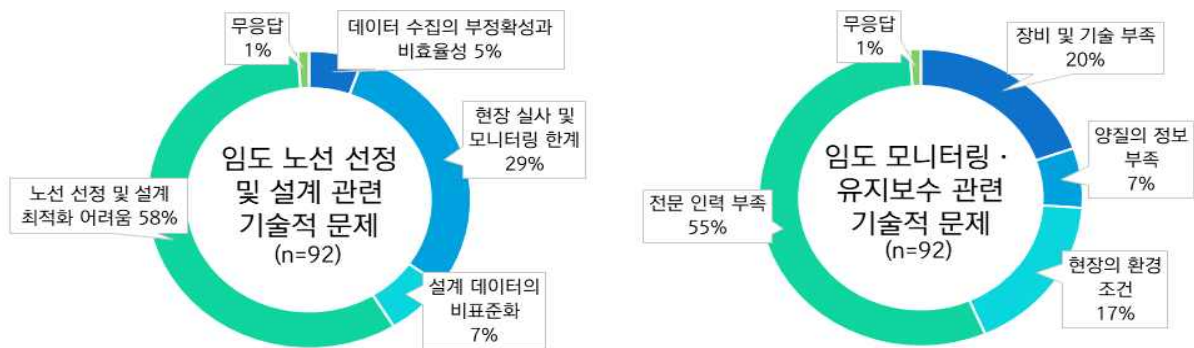
임도 현장 전문가 의견 설문조사 결과

□ 설문조사 개요 및 주요 결과

- 전문가들의 임도 관련 현안에 대한 인식을 파악하기 위해 실시
 - 조사 기간 : 2024년 11월 28일
 - 조사 방식 : 2024년 전국 임도 관계관 워크숍 현장 설문조사를 통해 응답 수집
 - 설문 대상 : 산림청, 지방산림청, 전국 지자체, 산림 관련 학계 및 민간 전문가

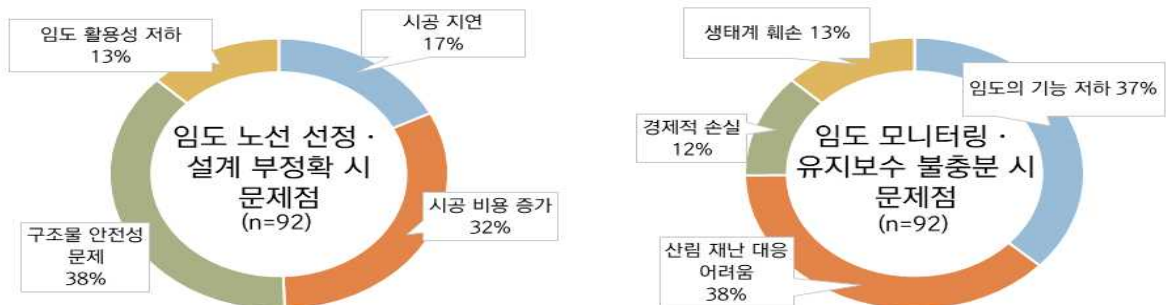
□ 전문가 설문조사 주요 결과

- 임도 현장의 전문가들은 노선 선정 및 설계, 유지관리 부문에서 기술적 해결이 요구되는 다양한 문제를 제기
 - 임도 현장의 전문가들은 기술적 한계, 전문 인력 부족 등 어려움 해결을 위해 설계(노선 선정 포함) 및 유지관리에 첨단기술 적용 필요성을 제기



자료 : 한국임업진흥원, 임도 관계관 워크숍 설문조사, 2024.11

- 노선 선정·설계가 부정확하거나, 임도 모니터링 및 유지보수가 충분하지 못할 시 발생할 수 있는 잠재적 문제들이 존재
 - 노선 선정·설계가 실제 지형을 정확히 반영하지 못할 시 문제점으로는 '구조물 안전성 문제 발생'과 '시공 비용 증가'의 비중이 가장 크게 나타났음
 - 모니터링과 유지보수가 충분하지 않을 시 문제점으로는 '산림 재난·재해 대응 어려움'과 '임도의 기능 저하'가 가장 큰 비중을 차지하였음



자료 : 한국임업진흥원, 임도 관계관 워크숍 설문조사, 2024.11

참고4

예산 산출 근거

□ 과제별 예산산출근거

(단위: 백만원)

내역 및 과제	선행연구				동사업 예산 (26년)	산출 근거	
	연구명	정부출연금액					
		기간 (년)	투입 금액	과제당 연평균			
내역 사업1	(총괄) 목재생산형 임도 신설을 위한 AI 데이터 표준화 기술 개발	목재자원의 고부가가치 이용을 위한 임도개설 증대 방안 연구(2024~2025)	2	376	188	350	AI 데이터 표준화 및 테스트 베드 기반 세부 요소기술 검증·보완 연구 수행을 위한 예산 반영
		목재자원의 효율적 관리를 위한 민간자본 활용 임도개설 모델 실증 연구(2023)	1	150	150		
		승용차 전용 조립식 고가도로 건설기술 개발(2002~2004)	3	1,212	404		
		복합탄산염 폐광산 채움재 실증을 위한 테스트베드 선정 및 시공 실증 연구(2017)	1	290	290		
		실증실험 기반 토사재해 취약성 평가기술 개발(2021~2024)	4	2,700	675		
	(세부1) AI 기반 목재 운반 효율 중심 광역 임도망 배치 시스템 개발	산림생산 기반조성을 위한 체계적 임도망 구축 기술 개발(2011~2013)	3	1,299	433	250	AI 기반 임도망 계획 알고리즘 및 경제적 임도망 배치 시스템 개발을 위한 예산 반영
		임도 시설에 따른 다원적 가치 평가 및 환경영향 저감방안 연구(2023)	1	582	582		
		MMS를 이용한 정밀수치임도망도 제작기법 개발 및 정확도 평가(2018)	1	40	40		
		산림자원순환체계 및 기후변화대응을 위한 임도개설 증대방안 연구(2023)	1	75	75		
		임도시공 이후 야생동식물 서식처 변화 탐색 및 모델링(2021~2023)	3	230	77		
	(세부2) AI 기반 임도 노선 선정 알고리즘 개발	산악지 도로 선형/배수 설계 및 재해예측지도 개발(2012)	1	451	451	250	AI 기술을 활용한 임도 노선 자동 추출 알고리즘 개발을 위한 예산 반영
		인공지능기반 최적 노선제작/관리시스템 구축(2020~2022)	3	600	200		
		저탄소 도로노선 선정을 위한 실감형 시뮬레이터 개발(2010~2012)	3	297	99		
		목재자원의 효율적 관리를 위한 민간자본 활용 임도개설 모델 실증 연구(2023)	1	150	150		
	(세부3) 3D 시뮬레이션 기반 임도 설계 최적화 기술 개발	임도보전사업을 위한 임도의 재해위험 평가 및 등급화(2012~2015)	4	395	99	400	AI 기반 임도 시공 가능성 등 정량분석 및 임도 설계안 제안 및 3D 시뮬레이션 환경 구축을 위한 예산 반영
인적요인을 고려한 도로경관설계 모형화(2004)		1	35	35			
지능형 도로 최적설계 프로그램 개발(2002~2004)		3	836	279			
3D 공간지형정보모델을 활용한 도로배수시설 설계/수량 자동 산출 시스템 개발(2014~2016)		3	800	267			
내역 사업2	(총괄) 목재생산 임도 유지관리 및 활용 고도화	다수단 VR 시뮬레이터를 활용한 및 미래형 도로환경 설계기법 개발(2021~2025)	5	929	186	200	테스트베드 지정 및 세부 요소기술 실증 운영을 위한 예산 반영
		친환경 지능형 도로설계 기술개발(2005~2009)	5	7,813	1,563		
		임도 유지관리등급 분류체계 개발(2005)	1	18	18		
		임도보전사업과 기계화를 위한 기술개발 및 현장 적용기법 정립(2012~2015)	4	286	72		
		테스트베드 국산소재 현장적용성 평가기술 개발(2007, 2012)	2	1,075	538		
	(세부1) AI 기반 임도 유지보수 예측관리 기술 개발	4차산업 기반 임도 관리기술 개발 및 체계 구축(2018~2020)	3	400	133	550	드론 및 센서 부착 차량 활용 임도 DB 표준화 및 모니터링, 진단 기술 개발을 위한 예산 반영
		임도개설에 따른 산림생태계 영향 저감을 위한 임도시설 관리방안 개발(2021~2023)	3	335	112		
		산사태 현장위험 지능형 감지 및 전달시스템 개발(2025)	1	715	715		

내역 및 과제	선행연구				동사업 예산 (26년)	산출 근거
	연구명	정부출연금액				
		기간 (년)	투입 금액	과제당 연평균		
	지능화 장비 운용을 통한 산사태 현장데이터 취득 고도화(2025)	1	751	751		
	드론을 활용한 건축물 안전점검 및 진단을 위한 인공지능 기반의 웹 솔루션 개발(2021~2023)	3	1,080	360		
	차량센서 기반 주행환경 관측·예측 안전운행도로 기술개발(2015~2019)	5	6,335	1,267		
(세부2) 임도 훼손지 복구를 위한 비탈면 안정화 기술 개발	임도안정·녹화방법 연구(2002~2003)	2	578	289	300	사면 붕괴 위험 진단 및 예측을 통한 비탈면 안정화 기술 개발을 위한 예산 반영
	친환경 임도포장 공법개발(2013~2015)	3	182	61		
	자연소재를 이용한 친환경 임도사면 안정기술 개발(2009~2010)	2	722	361		
	산사태 현장맞춤형 복구 기술개발(2025)	1	400	400		
	산사태 2차 피해 방지를 위한 응급복구기술개발(2025)	1	608	608		
	산지 특수사방지역의 안정화 및 생태기능복원 기술 개발(2006~2008)	3	360	120		
(세부3) 목재 운송 및 탄소 저감 연계 임도 활용 모델 개발	임도의 산림치유적 활용을 위한 유형화 및 정책방안(2012~2013)	2	44	22	200	목재 생산, 탄소저감 등 임도 활용 모델 개발을 위한 예산 반영
	목재자원의 고부가가치 이용을 위한 임도개설 증대 방안 연구(2024~2025)	2	376	188		
	걸길을 활용한 임도의 치유적 활용에 관한 연구(2012~2014)	3	305	102		
	목재수확 및 산림생태계서비스를 고려한 지속가능한 산림경영모델 정립 연구(2022~2024)	3	2,089	696		
	지속가능한 산림자원관리를 위한 통합산림경영 시스템 개발(2005~2006)	2	150	75		

* 자료: NTIS 과제 키워드 검색 결과

□ 연차별 투자계획

(단위: 백만원)

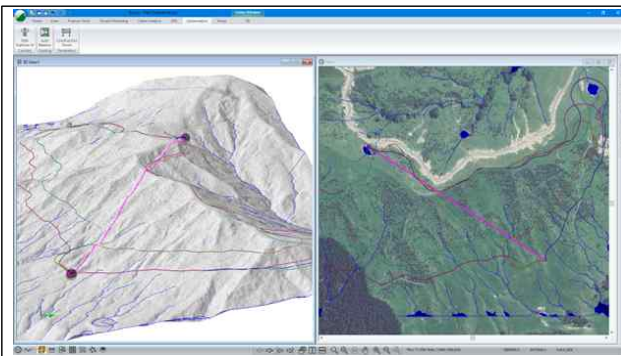
과제명		2026	2027	2028	2029	합계
내역사업 1	(총괄) 목재생산형 임도 신설을 위한 AI 데이터 표준화 기술 개발	350	467	467	467	1,750
	(세부1) AI 기반 목재 운반 효율 중심 광역 임도망 배치 시스템 개발	250	333	333	333	1,250
	(세부2) AI 기반 임도 노선 선정 알고리즘 개발	250	333	333	333	1,250
	(세부3) 3D 시뮬레이션 기반 임도 설계 최적화 기술 개발	400	533	533	533	2,000
합계		1,250	1,667	1,667	1,667	6,250
내역사업 2	(총괄) 목재생산 임도 유지관리 및 활용 고도화	200	267	267	267	1,000
	(세부1) AI 기반 임도 유지보수 예측·관리 기술 개발	550	733	733	733	2,750
	(세부2) 임도 훼손지 복구를 위한 비탈면 안정화 기술 개발	300	400	400	400	1,500
	(세부3) 목재 운송 및 탄소 저감 연계 임도 활용 모델 개발	200	267	267	267	1,000
합계		1,250	1,667	1,667	1,667	6,250
총합		2,500	3,333	3,333	3,333	12,500

참고5

해외 임도 기술과 차별성

□ 해외 임도 설계 및 유지관리 기술 실용화 사례

- 해외 주요 국가는 임도 설계 및 유지관리를 위한 기술을 상용화하여, 작업 편의성과 효율성 확보에 활용 중
- 특히 캐나다의 Softree는 임도 노선 선정 및 설계에서 고도화된 3D 모델링, 자동화 시스템을 통해 임도 신설 단계 엔지니어링의 디지털화를 선도
 - Softree社는 임도 엔지니어링 소프트웨어 분야의 선도적 기업 중 하나이며, 'RoadEng' 소프트웨어는 AI 기반의 예비 설계 기능을 제공



<캐나다 Softree社 - 임도 설계 소프트웨어>

<이탈리아 Siteco社 - 임도 모니터링시스템>

자료 : Softree, Siteco Informatica

□ 해외 기술의 국내 적용 한계 및 본 사업의 필요성

- 해외 기술은 각 국의 산림 지형에 최적화된 설계·관리에 적합한 형태로 데이터셋 구성 및 알고리즘 개발에 중점
 - 국내의 급경사 지형 및 수목 특성이 고려된 알고리즘이 아님
- ☞ 본 사업은 국내 고유의 산림 자원, 지형, 시공성 등을 반영한 AI 기반 기술로 국내 환경에 임도 기술을 구현

(예)캐나다 Softree 기술	구분	본 사업
북미 산림 고해상도 DEM, LiDAR 기반 지형·토공 데이터 활용	데이터셋	국내 산림 LiDAR, 산림자원 분포, 기상·생태 DB 통합 활용
절·성토 최소화, 비용 절감 중심 도로 최적화	알고리즘 목적	산림경영 최적 임도망 배치 및 노선선정, 국내 산림 지형 시공성 극대화 임도 최적화
수직정렬 최적화, 토공량 계산, 자재 이동경로 설계 등 통합 도로 설계	기능 구성	자원 분포·지형·시공성 등을 반영한 AI 기반 경로 설계, 설계안 자동 추천
완경사, 대면적, 중장비 진입 용이한 북미형 산림	산림 환경	급경사, 소면적, 분산형 산림으로 중장비 진입 곤란, 재난 대응 긴급성
국내 산림 환경을 고려한 알고리즘이 아니며, 국내 산림산업 지원에는 한계	요약	국내 산림 환경에 특화된 기능 중심 설계로 차별화됨

자료 : Softree社 공식 홈페이지

참고6

테스트베드 선정 프로세스

□ 테스트베드 선정 개요

- 본 R&D 사업의 연구개발 과정에서 실측 데이터 확보 및 기술의 실증 기반시설로 활용하기 위해 테스트베드를 선정하여 운영
 - 내역사업별 특성에 따라 임도 설치 예정지 또는 기설 간선·작업임도를 기반으로 한 테스트베드를 설정

□ 테스트베드 후보지 검토 기준

- (1내역 관련) '21~'30년 국유림 경제림단지 간선·작업임도 설치계획 대상지 중 향후 5년 내 설치 예정지에서 우선 도출
 - 지자체·국유림관리소 등 관할기관의 임도설치계획과 연계·협조하여, 실제 임도 신설이 예정된 구간 중 실증 연구에 적합한 구간을 우선 선정

※ 테스트베드 후보 예시 : 경북 영주, 강원 인제 등

→ 선정 사유 : 입목 분포가 풍부하고 기계화 벌채·목재 운반 계획이 가능한 구역

- (2내역 관련) 기설 경제림단지 임도(간선·작업) 중 유지관리·활용 기술 적용·검증이 가능한 구간을 선별하여 실증
 - 드론·차량 센서 운용, 유지보수 예측 등 기술 적용성 중점 고려

※ 테스트베드 후보 예시 : 경북 울진, 강원 삼척, 태백 등

→ 선정 사유 : 통행량이 많고, 노후화로 보수·복구 수요가 큰 구간

- 공통적으로 적용할 수 있는 검토 기준은 다음과 같음
 - 산림 유형 : 경제림, 산림경영 대상 여부
 - 지형 조건 : 급경사, 사면 불안정, 배수취약 등 시공 및 유지관리 난이도 구간
 - 기술 적용성 : AI 노선 선정·설계, 무인센서 운용, 구조물 실증 가능성
 - 행정 연계성 : 관할기관 계획상 반영 여부, 협력 가능성
- 연구개발 요구사항을 고려하여 복수의 후보지 선정 후 최종 선정
 - 예 : (내역1) 임도설계 실증지 / (내역2) 유지관리 데이터 수집 실증지, 훼손 임도 비탈면 복구기술 실증지 등

<제5차 전국임도 기본계획 - 지방산림청별 임도 설치 계획>

구분	계(km)	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30
북부	1,473	96	111	147	157	167	151	148	166	165	165
동부	1,709	105	136	162	182	202	187	187	184	184	184
남부	1,504	81	107	136	156	176	172	172	168	168	168
중부	581	46	57	60	60	60	62	62	58	58	58
서부	709	54	69	77	77	77	71	74	70	70	70
기타	145	14	17	15	15	15	16	16	13	14	14

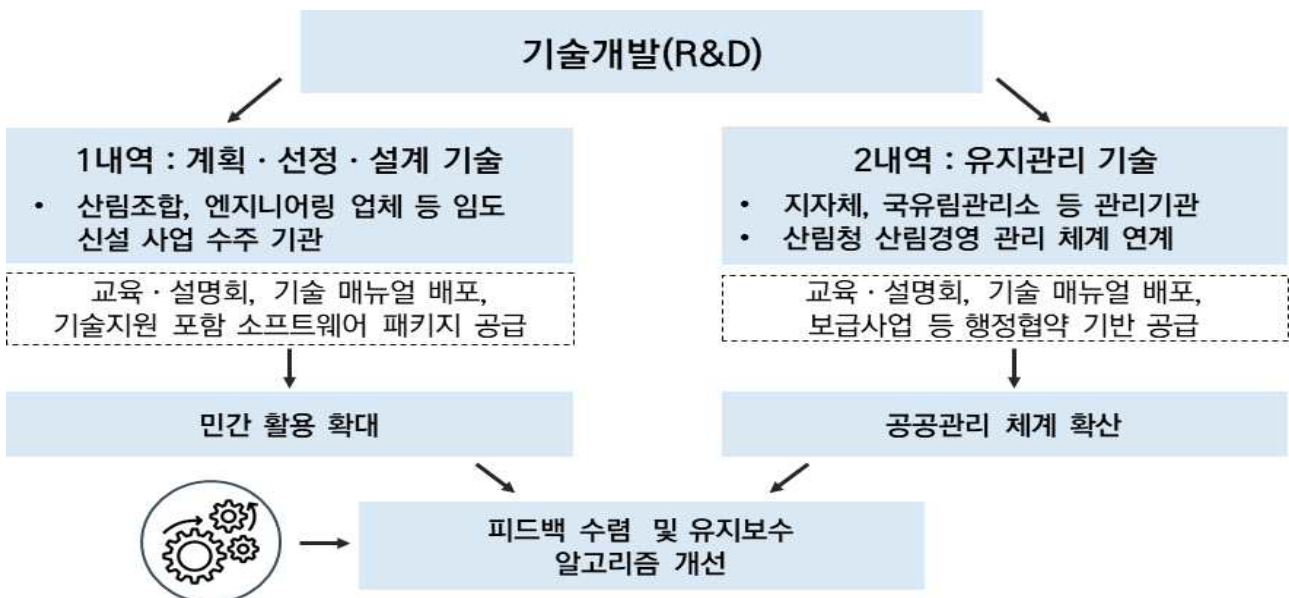
자료 : 산림청, 제5차 전국임도 기본계획(2021~2030), 2020.06.

□ 개발된 임도 기술의 활용·확산 계획

☞ 본 사업은 사업 종료 후 기술의 현장 적용 및 민간 확산을 전제로 하고 있으며, 기술 수요자 맞춤형 보급 전략 추진 예정

- [1내역] 계획·노선선정·설계 기술 ☞ 민간 기술이전 및 활용 확대
 - 산림조합, 임도 설계 전문 엔지니어링 업체 등 민간 임도 설계·계획 수행기관을 중심으로 보급(기술 개발기관 → 민간 기관)
 - 각종 지침 및 표준DB와 연동된 소프트웨어 기반 기술 보급
 - 임도 노선선정·설계 자동화 기술 및 3D 시뮬레이션 설계 기술은 현장 수요가 높아 활용성 확보
- [2내역] 유지관리·활용 기술 ☞ 관리 주체 중심의 공공 확산
 - 지자체, 국유림관리소 등 실질적 임도 유지관리 책임기관에 기술 보급
 - 임도 품질진단, 유지보수 시기 예측, 무인센서 기반 점검 기술을 현장 적용
 - 산림공간정보시스템(FGIS) 등 기존 산림·임도 정보화시스템과 연동 고려
- [지속가능한 운영 기반 마련 방안]
 - AI 소프트웨어를 비롯한 개발된 기술들은 초기버전 보급 후 현장 피드백 및 수집 데이터들을 바탕으로 고도화 예정
 - 현장 오류·알고리즘 성능 저하 등 발생 시 유지보수 대응
 - 주기적 알고리즘 개선 및 소프트웨어 유지보수 용역 체계 수립

<기술 활용 및 확산 개념도(안)>



참고8

임도 현황 및 본 R&D 사업의 산림청 기본계획 기여 역할

□ 임도 현황 및 기본계획 종료 후 예상 임도밀도

- 제5차 전국임도기본계획('21~'30)에 따라 임도 신설이 추진될 시, 기본계획 종료 후 전국 산림의 누적 임도는 34,372km로 예정
- 산림면적 6,286천ha 기준, 2030년 전국 임도밀도는 5.5m/ha
 - * 국내 산림 육성 및 관리를 위한 임도밀도 목표는 6.8m/ha(국립산림과학원('20.06.))

<연도별 임도 신설 계획>

산림 면적	구분		실제 신설 실적(km)			제5차 전국임도기본계획 신설 계획(km)						
			'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30
6,286 천ha	전체 임도	신설거리	773	949	918	1,211	1,243	1,167	1,180	1,248	1,239	1,236
		누적거리	24,126	24,899	25,848	27,059	28,302	29,469	30,649	31,897	33,136	34,372
		밀도(m/ha)	3.8	4.0	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5

자료 : 산림청, 제5차 전국임도 기본계획(2021~2030), 2020.06.

□ AI 기반 임도 R&D의 산림청 기본계획 추진 기여

- 본 R&D 사업의 성과물은 임도 신설 및 유지관리 정책으로 확산, 목재 생산업 등 산림 산업 전체의 생산성 증진에 기여
- AI 기술을 접목하여 전국임도기본계획 실행력 제고 및 향후 임도 사업 전반의 첨단화 촉진, 정부 예산투자의 효과성 제고
 - 중·장기 임도 확충 계획을 고려했을 때, R&D 종료 후 10년 간 임도 사업예산은 총 4조원으로 전망 * '21년~'30년 예산 증가 추세 반영
 - 10년간 4조 원 규모로 계획된 임도 신설·개량 사업에 있어, AI 기반 임도 신설·유지관리 기술로 재정사업의 효과성 제고
 - * 임도는 산림분야 사회간접자본(SOC)으로서 산림경영, 재난·재해 대응, 산림복지 등 산림분야 전반에서 경제적·사회적 편익에 기여
- 목재생산 목적에 최적화된 임도 신설·유지관리 기술체계 구축
 - 경제림단지 중심의 임도 신설 확대 계획에도 불구하고, 과학적 계획·설계 기준 및 유지관리 지침은 미비한 실정
 - 본 R&D 사업을 통해 임도에 적용 가능한 표준화된 신설·관리 기술을 체계화하고, 향후 제도화·지침 반영으로 연계 기대

참고9

R&D 사업의 경제적 타당성(B/C) 분석

□ 분석 개요

- AI기반 임도 활용성 극대화 기술보급은 전국임도기본계획에 따른 임도 신설로 인한 편익을 배가할 것으로 기대
- 현재 기술 수준에서 임도는 전적으로 인력에 의존하여 신설·관리 되고 있어 활용성 극대화를 위한 첨단기술 도입 필요
- AI기반 최적화 기술 도입으로 인한 임도 활용성 극대화를 정량화하여 R&D 예산 투입 대비 경제적 타당성(B/C)을 산출함
 - 전국임도기본계획 및 기본임도밀도 목표를 고려한 임도 개설거리 추정
 - 신규 임도 개설에 따른 경제적 효과(목재생산액, 비용절감액) 추정
 - 최적화 기술 도입에 따른 임도 활용성 제고를 반영한 편익 추정

□ R&D 사업의 경제적 타당성

- AI기반 임도 활용성 극대화 기술의 성과 목표 : 효과성 개선 10%
 - 캐나다 : LiDAR 도입으로 약 5% 내외의 벌채 비용 절감(\$1.57/m³)
 - 크로아티아 : GIS 및 알고리즘 활용 임도망 배치로 운송비용 46.85% 절감
- 성과 목표는 매우 도전적, 시나리오를 구성하여 경제적 타당성을 검토한 결과 보수적 시나리오에서도 경제적 타당성 충족(B/C 1.420)

구 분	보수적	중립적	긍정적
효과성 제고율	5.0%	7.5%	10.0%
R&D편익 ^{주1)}	15,853	23,780	31,706
B/C비율	1.420	2.131	2.841
총비용의 현재가치	11,161백만원 ('26년 2,500백만원, '27년~'29년, 3,333백만원)		

주1) 기술편익에 R&D기여율 35.4%*, R&D사업화성공률 48.4%**을 적용하여 산출

* 기술편익 중 R&D의 몫인 R&D기여율은 제3차 과학기술기본계획(2013.7)에서 권고한 값을 활용

** 정보통신산업 R&D사업화성공률, 2022 성과활용현황조사 보고서, 한국산업기술평가관리원, 2023

- 보수적 시나리오에 대한 편익 산출 결과

구 분	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
신규개설(km)	837	837	837	837	837	837	837	837	837	837
연간편익(백만원/km)	555.5	574.7	594.6	615.2	636.5	658.5	681.2	704.8	729.2	754.4
총편익(십억원)	465.1	481.2	497.9	515.1	532.9	551.4	570.4	590.2	610.6	631.7
기술보급률	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
기술편익(백만원)	2,326	4,812	7,468	10,302	13,323	16,541	19,965	23,606	27,476	31,585
현가계수	0.768	0.735	0.703	0.673	0.644	0.616	0.590	0.564	0.540	0.517
현재가치	1,786	3,536	5,252	6,932	8,579	10,192	11,773	13,320	14,836	16,320
총편익(백만원)	95,527									

별첨

편익 산출 참고 자료

□ 신규 임도 개설 거리 및 향후 목표 추정

○ 제5차 전국임도기본계획(2021-2030)상 개설 거리

- '23년 기준 산림면적 6,286천ha, 누적거리 25,848km, 임도밀도 4.11m/ha

구분	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
신설거리(km)	1,211	1,243	1,167	1,180	1,248	1,239	1,236
누적거리(km)	27,059	28,302	29,469	30,649	31,897	33,136	34,372
임도밀도(m/ha)	4.30	4.50	4.69	4.88	5.07	5.27	5.47

○ 신규 임도개설 목표(제5차 전국임도기본계획 이후, 2031-2040)

- 기본임도밀도 목표량(6.8m/ha)을 제6차 계획 기간에 달성 가정

* 연간 837km 신설 필요, 제5차 계획의 연간 개설목표의 68.8%수준

구분	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
신설거리(km)	837	837	837	837	837	837	837	837	837	837
누적거리(km)	35,209	36,046	36,883	37,721	38,558	39,395	40,233	41,070	41,907	42,745
임도밀도(m/ha)	5.6	5.7	5.9	6.0	6.1	6.3	6.4	6.5	6.7	6.8

□ 임도 신설의 경제적 효과

○ 목재생산 증대 편익 산출

- '19년 기준 목재생산 증대 편익은 354.8백만원/km로 산출

* 재정투자사업으로 인한 생산액 증대 중 부가가치만을 편익으로 산정(R&D에타지침, KISTEP)

구분	항목	근거
벌채가능 면적	60ha	현 수준의 임도 기준, 벌목후 가선집재 가능 거리(상·하향 각 300m)
입목축적	151.4m ³ /ha	국내 침엽수 172.7, 활엽수 130.0 평균 입목축적 적용
평균 입목가	49,581원/m ³	2019년 기준, 국유재산매각가 평균 활용
부가가치율	78.8%	영림산업의 부가가치율 *2020년 기준 산업연관표, 한국은행
목재생산편익	354,767,106원	-

※임도 신설 사업의 투자효과 분석(국립산림과학원, 2020)의 일부 자료 활용

○ 생산 및 관리, 목재수확 비용 절감 편익 산출

- '19년 기준, 비용 절감 편익은 14.6백만원/km로 산출

구분	항목	근거
조림순간기작업	576천원/km/년	작업로 시설비용, 보행비용, 차량이동 비용 절감
목재수확작업	884천원/km/년	기계화작업로 시설비, 집배비, 목재 운반비용 절감
연간절감액	1,460천원/km/년	작업비용 절감 편익은 매년 발생
총편익(10년)	14,600,000원	편익산출 기간(10년) 고려, 실제 임도의 활용 기간은 더 장기간

○ 산출된 편익에 물가상승률을 적용하여 현행화

- '19년 이후, 코로나19, 러우전쟁 등 특수 상황이 지속, 농림수산물, 임산물 등의 물가상승률이 매우 높아 총지수 활용

- 물가상승률 : 총지수 3.5%, ('19) 100.46 → ('24) 119.08 *통계청(kosis.kr)

* 농림수산물 : 5.2%, ('19) 91.26 → ('24) 117.61, 임산물 8.8% ('19) 88.03 → ('24) 134.35