

【발명의 설명】

【발명의 명칭】

오픈해시 기반 산불 감시 및 AI 산림 관리를 이용한 산림청 산불 방지 및 산림 자동화 시스템 및 방법

{Automated Forest Fire Prevention and Forest Management System and Method Using Open Hash-Based Wildfire Monitoring and AI Forest Management}

【기술분야】

본 발명은 오픈해시(Open Hash) 기술을 이용하여 위변조 불가능한 산림 상태 데이터(온습도, 풍속, 산불 발생 징후, 산림 병해충, 불법 산림 훼손)를 실시간 수집·검증하고, 대규모 언어 모델(LLM) 기반 AI 에이전트를 활용하여 산불 조기 감지 및 진압, 산림 병해충 예측 및 방제, 불법 벌채·산림 훼손 실시간 탐지, 산림 자원 관리, 탄소 흡수량 모니터링까지 사람의 개입을 최소화하여 자동화하는 산림청 산불 방지 및 산림 관리 시스템 및 그 운영 방법에 관한 것이다.

【용어의 정의】

본 명세서에서 사용되는 주요 용어는 다음과 같이 정의된다:

1. "오픈해시(Open Hash)"

오픈해시는 해시 체인(Hash Chain) 구조를 사용하는 분산 데이터 기록 기술로서, 블록체인과 다음과 같은 근본적 차이점을 갖는다:

(1) 인프라 활용 방식의 차이

- 오픈해시: 기존 통신기지국 인프라(5G/LTE 기지국)를 100% 활용하여 별도의 새로운 인프라 구축이 불필요하다. 통신기지국의 계층 구조(매크로셀, 마이크로셀, 펨토셀)에 오픈해시 계층(Layer 1, Layer 2, Layer 3)을 매핑하여 운영한다.

- 블록체인: 별도의 노드 네트워크 구축이 필요하며, 기존 통신 인프라와 독립적으로 운영된다.

(2) 에너지 소비의 차이

- 오픈해시: PoW(Proof of Work), PoS(Proof of Stake) 등의 에너지 소비적 합의 알고리즘을 사용하지 않으며, 블록체인 대비 98.5% 에너지를 절약한다.
- 블록체인: 비트코인의 경우 연간 121 TWh 이상의 전력을 소비한다.

(3) 데이터 진실성(**Truth**) 보장의 차이 - 가장 중요한 차이점

- 오픈해시: 기록된 데이터가 참(True)임을 보증하지 않는다. 단지 (a) 기록 시점 이후로 위변조되지 않았음(무결성, **Integrity**)과 (b) 해당 데이터가 특정 주체에 의해 생성되었음(진위성, **Authenticity**)만을 보장한다. 기록 시점에 해당 데이터가 참인지 여부는 전적으로 기록자의 신뢰도에 비례한다.

- * 예시 1: 국립산림과학원이 기록한 산불 원인 조사 결과 → 높은 신뢰도(공신력 있는 기관)
- * 예시 2: 산불 감시 카메라가 기록한 연기·화염 영상 → 높은 신뢰도(센서 정확도에 비례)
- * 예시 3: 산림 감시원이 기록한 순찰 일지 → 높은 신뢰도(전문가)
- * 예시 4: 등산객이 제보한 산불 목격 신고 → 중간 신뢰도

(4) 진실 수렴 메커니즘(**Truth Convergence**)

오픈해시는 기록의 참을 보장하지 않지만, 모든 기록이 참(True)으로 귀결되는 알고리즘 구조를 갖는다. 예를 들어, 산불 사건에서 기상 관측 데이터(온도, 습도, 풍속), 산불 감시 카메라 영상, 위성 열화상 데이터, 드론 촬영 영상, 119 신고 접수, 출동 기록, 진압 기록이 모두 상호 연동되며, 어느 하나의 기록에 거짓을 삽입하려면 다른 모든 기록과도 일관성을 유지해야 하는데, 이는 사실상 불가능하다. 이러한 상호 검증 구조로 인해 시간이 지날수록 거짓 데이터는 자연스럽게 탐지되고 배제된다.

(5) 통신기지국 계층 매팅

- Layer 1: 펨토셀/스몰셀 기지국(산림 감시 초소·순찰로 단위, 반경 10m-2km)
- Layer 2: 마이크로셀 기지국(지방산림청·국유림관리소 단위, 반경 2-20km)
- Layer 3: 매크로셀 기지국(산림청 단위, 반경 20-100km)

기존 통신기지국의 유튜 컴퓨팅 자원(CPU, 메모리, 스토리지)을 활용하여 오픈해시 노드를 운영하므로, 추가 하드웨어 투자가 최소화된다.

2. "산림 AI Agent"

DeepSeek R1, LLaMA, Mistral 등의 오픈소스 대규모 언어 모델(LLM)을 산림보호법, 산불 진압 매뉴얼, 과거 수만 건의 산불·산림 병해충 사례 데이터로 Fine-tuning하여 생성한 AI 에이전트로서, 산불 조기 감지 및 자동 진압, 산림 병해충 예측 및 방제, 불법 벌채·산림 훼손 실시간 탐지, 산림 자원 관리, 탄소 흡수량 모니터링 등을 자율적으로 수행하는 시스템을 의미한다.

3. "Fine-tuning"

사전 학습된(Pre-trained) 대규모 언어 모델에 특정 도메인의 데이터를 추가 학습시켜, 해당 분야의 전문성을 부여하는 기계학습 기법을 의미한다. 본 발명에서는 오픈해시로 수집된 대한민국 산림청 산불 진압 기록(수만 건), 산림 병해충 발생 사례, 기상 데이터, 위성 영상 등을 활용하여 산림 AI Agent를 생성한다.

4. "Multi-Agent 협업 시스템"

산림 관리 업무별(산불 감시, 산불 진압, 병해충 방제, 불법 벌채 단속, 산림 자원 관리, 탄소 흡수량 측정), 지역별(지방산림청, 국유림관리소, 산림항공본부)로 특화된 다수의 AI Agent가 상호 통신하고 협력하여 산림 관리 전체 과정을 최적화하는 분산 AI 시스템을 의미한다.

5. "Reinforcement Learning from Forest Feedback (RLFF)"

산림 관리 결과(산불 조기 진압 성공률, 소실 면적, 병해충 방제 효과, 불법 벌채 적발률)를 보상(Reward) 신호로 활용하여 AI Agent를 지속적으로 학습시키는 강화학습 메커니즘을 의미한다. 이는 OpenAI의 RLHF를 산림 분야에 적용한 개념이다.

6. "산불 골든타임"

산불 발생 후 초기 30분 이내의 시간대로, 이 시간 내에 신속한 초기 진압이 이루어지면 산불 확산을 95% 이상 방지할 수 있는 결정적 시간대를 의미한다. 본 발명은 AI 자동화를 통해 산불 감지부터 헬기 출동까지의 시간을 10분 이내로 단축하여 골든타임을 확보한다.

7. "IoT 센서 네트워크"

산림 내 기상 관측 센서(온도, 습도, 풍속, 풍향, 강우량), 산불 감시 카메라(열화상, 일반), 연기 감지 센서, 토양 수분 센서, GPS 추적 장비 등이 5G/IoT 네트워크를 통해 실시간으로 오픈해시에 데이터를 전송하는 사물인터넷 기반 산림 모니터링 체계를 의미한다.

8. "위성 산불 감시"

기상위성, 지구관측위성이 적외선 센서로 광역 산림 지역을 상시 감시하며 열 이상 징후를 탐지하여 오픈해시에 전송하고, AI Agent가 이를 분석하여 산불 발생을 조기 감지하는 시스템을 의미한다.

【발명의 배경이 되는 기술】

1. 기존 산림 관리 시스템의 한계

가. 산불 초기 감지의 어려움

대한민국 산림 면적은 약 630만 ha로 국토의 63%를 차지하나, 산림청 인력은 약 7,000명에 불과하여 전체 산림을 상시 감시하기 어렵다. 특히 인적이 드문 깊은 산속에서 발생한 산불은 초기 발견이 지연되어 대형 산불로 확산된다. 2022년 경북 울진·삼척 산불은 213시간 동안 2만 ha를 소실시켰다.

나. 산불 초기 대응 지연

기존 시스템에서는 산불 목격 신고 → 상황 파악 → 헬기 출동 → 현장 도착까지 평균 30-60분이 소요되며, 이 시간 동안 산불이 급속히 확산되어 골든타임(초기

30분)을 높친다. 특히 강풍 시 산불은 시속 20km로 확산되어 1시간 만에 수백 ha를 소실시킨다.

다. 산림 병해충 조기 발견 어려움

소나무재선충병, 참나무시들음병 등 산림 병해충은 초기에는 육안으로 식별이 어려우며, 발견 시점에 이미 광범위하게 확산되어 수천 ha의 산림을 고사시킨다. 연간 병해충 피해 면적은 약 20,000 ha이며, 방제 비용은 약 2,000억 원에 달한다.

라. 불법 벌채 및 산림 훼손 단속의 한계

불법 벌채, 무단 개간, 산림 훼손은 주로 야간이나 인적이 드문 지역에서 발생하여 적발이 어렵다. 적발되더라도 사후 발견되어 이미 산림이 훼손된 후이며, 산림 복구에 수십 년이 소요된다.

마. 산림 자원 관리의 비효율

전국 산림의 수종, 수령, 생장량, 탄소 흡수량 등의 정보가 정확하지 않아, 산림 자원 관리 계획 수립과 탄소중립 정책 수립에 어려움이 있다. 특히 산림 탄소 흡수량은 추정치에 의존하여 정확한 탄소 배출권 거래가 불가능하다.

2. 블록체인 기술의 한계와 오픈해시의 차별성

가. 블록체인 기술의 근본적 한계

- 인프라 구축 비용: 블록체인은 별도의 노드 네트워크를 구축해야 하므로 초기 투자 비용이 막대하다. 전국 산림 지역에 블록체인 노드를 구축하려면 수조 원이 소요된다.
- 에너지 과소비: PoW 방식은 연간 121 TWh의 전력을 소비하여 환경 부담이 크다.
- 낮은 처리 속도: 비트코인 7 TPS, 이더리움 15 TPS로 대규모 실시간 데이터 처리가 불가능하다. 전국 산림의 수십만 개 센서에서 초당 수백만 건의 데이터가 생성되므로 블록체인으로는 처리 불가능하다.
- 진실성 보장의 착각: 블록체인의 핵심은 "기록의 일치"를 의미할 뿐, 기록 내용이 참(True)임을 보증하지 못한다.

나. 오픈해시의 차별적 장점

- 기존 인프라 100% 활용: 전국 통신기지국 네트워크(5G/LTE)를 그대로 활용하여 별도의 인프라 구축 비용이 제로(0)에 가깝다.
- 극도의 에너지 효율성: 합의 알고리즘을 사용하지 않아 블록체인 대비 98.5% 에너지를 절약한다.
- 초고속 처리: 통신기지국의 높은 컴퓨팅 성능을 활용하여 전국 단위 실시간 수백만 건의 센서 데이터를 처리한다.
- 차등적 신뢰도 적용: 기록자의 신뢰도에 따라 차등적으로 신뢰도를 부여하여 효율적인 검증 체계를 구축한다.
- 진실 수령 메커니즘: 비록 개별 기록의 참을 보장하지는 않지만, 상호 연동된 기록 구조로 인해 시간이 지날수록 거짓 데이터는 자연스럽게 배제되고 참된 데이터만 남는다.

【발명의 내용】

【해결하고자 하는 과제】

본 발명은 상기 문제점들을 해결하기 위한 것으로, 구체적인 과제는 다음과 같다:

9. 1. 오픈해시 기술로 위변조 불가능한 산림 상태 데이터를 실시간 수집·검증
10. 2. 위성, 드론, 산불 감시 카메라, IoT 센서 등 모든 산림 데이터를 오픈해시로 통합 관리
11. 3. DeepSeek R1 등 오픈소스 LLM을 산림보호법·산불 진압 매뉴얼로 Fine-tuning하여 산림 AI Agent 생성
12. 4. 산림 업무별·지역별 Multi-Agent 협업 시스템 구축
13. 5. 산불 초기 감지 (발화 5분 이내)
14. 6. 산불 자동 진압 지휘 및 헬기 출동 자동화
15. 7. 산림 병해충 초기 예측 및 자동 방제
16. 8. 불법 벌채·산림 훼손 실시간 탐지 및 자동 단속
17. 9. 산림 자원 정밀 관리 및 탄소 흡수량 실시간 모니터링
18. 10. RLFF를 통한 AI Agent의 지속적 자가 학습
19. 11. 인간 산림 전문가의 감독 및 최종 승인 체계 구축
20. 12. 전국 630만 ha 산림을 24시간 자동으로 관리하는 시스템 구현

【과제의 해결 수단】

1. 통신기지국 기반 계층 구조

가. Layer 1 (산림 감시 초소·순찰로 단위)

- 펨토셀/스몰셀 기지국 활용 (반경 10m-2km)
- 1차 센서 데이터 수집 및 산불 감시
- 처리 용량: 기지국당 1,000 TPS
- 전국 배치: 약 70만 개

나. Layer 2 (지방산림청·국유림관리소 단위)

- 마이크로셀 기지국 활용 (반경 2-20km)
- 관할 지역 산림 데이터 집계 및 2차 검증

- 처리 용량: 기지국당 10,000 TPS
- 전국 배치: 약 12,000개

다. Layer 3 (산림청 단위)

- 매크로셀 기지국 활용 (반경 20-100km)
- 전국 산림 데이터 통합 분석 및 정책 수립
- 처리 용량: 기지당 100,000 TPS
- 전국 배치: 약 3,000개

2. 시스템 주요 구성부

가. 산림 데이터 수집부(110)

- 기상 관측 센서: 온도, 습도, 풍속, 풍향, 강우량 (10분 간격)
- 산불 감시 카메라: 열화상 카메라, 일반 카메라 (24시간 감시)
- 연기 감지 센서: 연기 농도, 화재 가스 감지
- 토양 센서: 토양 수분, 산림 건조도
- 위성 영상: 기상위성, 지구관측위성 적외선 영상
- 드론 영상: 정기 순찰 및 긴급 출동
- GPS 추적: 산림 관리 차량, 헬기, 장비 위치
- 모든 데이터를 SHA-256 해시 및 ECDSA P-256 디지털 서명으로 오픈해시 체인에 기록

나. 신뢰도 평가부(120)

- 기록자 등급 분류:
 - * AAA 등급(0.9-1.0): 산림청, 국립산림과학원, 기상청
 - * AA 등급(0.7-0.9): 지방산림청, 국유림관리소, IoT 센서(캘리브레이션 완료)
 - * A 등급(0.5-0.7): 산림 감시원, 산림항공본부, IoT 센서(미캘리브레이션)

* B 등급(0.3-0.5): 일반 산림 관리인, 등산객 신고

* C 등급(0.0-0.3): 익명 신고

- 종합 신뢰도 = (기록자 신뢰도 × 0.6) + (교차 검증 일치율 × 0.3) + (시간 경과 계수 × 0.1)

다. 진실 수렴 메커니즘부(130)

- 산불 사건의 모든 기록(기상 데이터, 위성 영상, 카메라 영상, 드론 영상, 신고 접수, 출동 기록)이 상호 연동
- 어느 하나의 기록에 거짓을 삽입하려면 모든 관련 기록을 조작해야 하는 구조
- 시간이 지날수록 거짓 기록의 유지 비용이 기하급수적으로 증가하여 자연스럽게 배제

라. 산림 지식 데이터베이스(140)

- 산림보호법, 산지관리법 및 관련 법규
- 산불 진압 매뉴얼: 지형·기상별 진압 전술
- 과거 산불 사례: 수만 건의 산불 발생·진압 기록
- 산림 병해충 데이터베이스: 발생 조건, 증상, 방제법
- 전국 산림 지도: 수종, 수령, 지형, 도로망
- 모든 데이터를 오픈해시로 관리하고 실시간 업데이트

마. AI Agent 생성부(150)

- DeepSeek R1(671B), LLaMA 3.1(405B), Mistral Large 2(123B) 등 오픈소스 LLM을 기반 모델로 선정
- 학습 데이터: 산림보호법, 산불 진압 매뉴얼, 과거 산불 사례 수만 건, 병해충 발생 사례, 기상 데이터
- Supervised Fine-Tuning(SFT)으로 과거 우수 산불 진압 사례 학습

- RLFF(Reinforcement Learning from Forest Feedback)로 산불 진압 성공률을 보상 신호로 활용

바. Multi-Agent 배치부(160)

- 업무별 Agent: 산불 감시, 산불 진압, 병해충 방제, 불법 벌채 단속, 산림 자원 관리
- 지역별 Agent: 지방산림청(5개 Agent), 국유림관리소(41개 Agent), 산림항공본부(1개 Agent)
- 산불 유형별 Agent: 지표화, 수관화, 지중화

사. 산불 위험도 분석 엔진(170)

- 산불 위험 지수 실시간 계산:
 - * 온도: 25°C 이상 → 위험도 상승
 - * 습도: 30% 이하 → 위험도 상승
 - * 풍속: 4m/s 이상 → 위험도 급상승
 - * 강우: 7일 이상 무강우 → 산림 건조
- 산불 위험 등급 자동 설정 (주의, 경계, 심각)
- 위험 지역 자동 지정 및 감시 강화

아. 산불 조기 감지부(180)

- 위성 적외선 영상 실시간 분석: 열 이상 징후 자동 감지
- 산불 감시 카메라 AI 영상 분석: 연기·화염 자동 감지
- 연기 감지 센서: 연기 농도 급상승 감지
- 기상 데이터 통합 분석: 산불 발생 가능성 실시간 예측
- 다중 센서 융합 분석으로 오탐률을 1% 이하 달성
- 산불 발화 후 5분 이내 자동 감지

자. 산불 진압 지휘부(190)

- AI Agent가 산불 규모·확산 속도·지형을 종합 분석하여 진압 전략 자동 수립:
 - * 1급 산불(1 ha 이하): 헬기 1대, 진화대 30명
 - * 2급 산불(1-10 ha): 헬기 3대, 진화대 100명
 - * 3급 산불(10-100 ha): 헬기 10대 이상, 진화대 500명 이상, 인근 지역 지원 요청
 - * 4급 산불(100 ha 이상): 전국 헬기 총동원, 군 병력 투입
- 헬기 출동 자동 지령 (GPS 추적으로 가장 가까운 헬기 배정)
- 진화선 자동 설정 (지형·풍향 고려)
- 실시간 진압 전술 업데이트

자. 헬기 출동 자동화부(200)

- 산불 감지 즉시 가장 가까운 산림헬기에 자동 출동 지령
- 헬기 GPS 위치 실시간 추적하여 도착 예상 시간 계산
- 헬기 카메라로 현장 실시간 영상 전송
- AI Agent가 헬기에 최적 진압 지점 안내
- 자동 물 투하 지점 계산 (풍향·풍속 고려)
- 평균 출동 시간 70% 단축 (30분 → 9분)

카. 드론 출동부(210)

- 산불 감지 즉시 인근 산림 감시 초소에서 드론 자동 출동
- 헬기보다 빠른 도착 (평균 3분)
- 드론 열화상 카메라로 정밀 산불 위치 파악
- 산불 확산 방향·속도 실시간 분석
- 진화대 진입 경로 안내

- 소형 드론은 초기 소화탄 투하

다. 병해충 예측 및 방제부(220)

- 위성·드론 영상을 AI Agent가 실시간 분석
- 나무 잎의 색상·형태 변화로 병해충 조기 감지 (육안 식별 불가능한 초기 단계)
- 기상 조건 분석하여 병해충 발생 확률 예측
- 병해충 종류 자동 진단:
 - * 소나무재선충병: 잎 황화, 나무 고사
 - * 참나무시들음병: 잎 시들음, 가지 고사
 - * 솔나방: 잎 식해
- 최적 방제 방법 자동 제시 (생물학적 방제, 화학적 방제, 벌채)
- 방제 헬기·드론 자동 출동

파. 불법 벌채 탐지부(230)

- 위성 영상 비교 분석: 산림 면적·식생 변화 자동 감지
- 드론 정기 순찰: AI 영상 분석으로 불법 벌채·개간 자동 탐지
- 산림 감시 카메라: 24시간 감시, 사람·차량 진입 자동 감지
- GPS 추적: 목재 운반 차량 추적
- 불법 벌채 의심 시 자동 대응:
 - * 경찰청 AI Agent와 연동하여 자동 신고
 - * 드론 긴급 출동하여 현장 증거 수집
 - * 산림 감시원에게 자동 통보

하. 산림 자원 관리부(240)

- 위성·드론 영상으로 전국 산림 자원 정밀 조사:

- * 수종 자동 분류 (소나무, 참나무, 잣나무 등)

- * 수령 추정 (나무 크기·NDVI 분석)

- * 생장량 측정 (매년 변화 추적)

- * 임목 축적 계산 (목재 자원량)

- 산림 경영 계획 자동 수립:

- * 벌채 적기 수종 자동 선별

- * 조림 적지 자동 추천

- * 숲가꾸기 우선순위 자동 결정

거. 탄소 흡수량 모니터링부(250)

- 전국 산림의 탄소 흡수량 실시간 측정:

- * 나무 생장량 측정 (위성·드론 영상)

- * 수종별 탄소 흡수 계수 적용

- * 산림 면적 변화 추적

- 대한민국 전체 산림 탄소 흡수량 자동 계산

- 탄소종립 기여도 실시간 모니터링

- 탄소 배출권 거래를 위한 정확한 데이터 제공

너. 인간 감독부(260)

- 의사결정 중요도 분류:

- * Level 1(자동 실행): 1급 산불(1 ha 이하) 헬기 출동 → AI가 즉시 처리

- * Level 2(사전 통보): 2급 산불(1-10 ha) → AI가 처리하고 관리자에게 통보

- * Level 3(사전 승인): 3급 이상 산불(10 ha 이상) → AI 제안, 관리자 승인 필요

- * Level 4(인간 전용): 대형 산불(100 ha 이상, 군 병력 투입) → AI는 분석만, 최종 결정은 인간

더. RLFF 학습부(270)

- 산불 진압 결과를 실시간 수집: 소실 면적, 진압 시간, 출동 시간, 인명 피해

- 보상 함수:

$R = +1.0$ (골든타임 내 진압, 소실 면적 1 ha 이하)

$R = +0.5$ (신속한 진압, 소실 면적 10 ha 이하)

$R = -0.5$ (진압 지연, 소실 면적 100 ha 이하)

$R = -1.0$ (대형 산불, 소실 면적 1,000 ha 이상 또는 인명 피해 발생)

- PPO 알고리즘으로 AI Agent를 지속적으로 학습

- 매년 수백 건의 산불 진압 결과로부터 자가 학습하여 정확도 지속 향상

【발명의 효과】

본 발명에 따른 오픈해시 기반 산림청 산불 방지 및 산림 관리 자동화 시스템은 다음과 같은 효과를 제공한다:

- 21.1. 산림 데이터 무결성: 센서·위성·드론 데이터를 오픈해시로 기록하여 위변조 방지
- 22.2. 인프라 비용 제로화: 통신기지국 네트워크 100% 활용으로 99% 절감 (5조 원 → 500억 원)
- 23.3. 에너지 효율성: 블록체인 대비 98.5% 에너지 절약
- 24.4. 산불 조기 감지: 발화 후 5분 이내 자동 감지 (기존 30분 → 83% 단축)
- 25.5. 골든타임 확보: 헬기 출동 시간 70% 단축 (30분 → 9분)
- 26.6. 산불 피해 최소화: 소실 면적 90% 감소 (평균 50 ha → 5 ha)
- 27.7. 병해충 조기 예측: 육안 식별 불가능한 초기 단계에서 AI가 자동 감지
- 28.8. 불법 벌채 실시간 탐지: 위성·드론으로 24시간 감시
- 29.9. 산림 자원 정밀 관리: 전국 산림의 수종·수령·생장량 정확한 데이터 구축
- 30.10. 탄소 흡수량 실시간 측정: 탄소중립 정책 수립 및 배출권 거래 기반 제공
- 31.11. 24시간 무중단 감시: AI가 피로·실수 없이 365일 일관된 품질의 산림 관리
- 32.12. 지속적 자가 학습: RLFF로 진압 정확도가 초기 70%에서 1년 후 95% 이상으로 향상
- 33.13. 경제적 효과:

- 산불 피해액 90% 감소 (연간 1,000억 원 → 100억 원)
- 병해충 피해액 80% 감소 (연간 2,000억 원 → 400억 원)
- 불법 벌채 적발률 향상 (20% → 90%)
- 산림 관리 인력 효율성 5배 향상

【실시예】

【실시예 1】 강원도 산불 조기 진압

1. 산불 발생

2024년 11월 9일 14:00경 강원도 속초시 설악산 인근에서 산불 발생.

2. 산불 조기 감지 (5분 이내)

- 14:00:00: 산불 발화 (원인: 등산객 실화 추정)
- 14:02:00: 위성 적외선 영상 분석 - AI Agent가 열 이상 징후 자동 감지
- 14:03:00: 산불 감시 카메라 AI 영상 분석 - 연기 자동 감지 (신뢰도 95%)
- 14:04:00: 연기 감지 센서 작동 - 연기 농도 급상승
- 14:05:00: 다중 센서 융합 분석 완료 - AI Agent 판단: 산불 발생 확실 (신뢰도 99%)
- 모든 데이터를 오픈해시 체인에 기록

3. AI Agent 자동 분석 (1분 소요)

가. 산불 규모 추정

- 발화 위치: 설악산 해발 800m 지점 (위성·카메라 영상 분석)
- 현재 면적: 약 0.5 ha (초기 단계)
- 산불 유형: 지표화 (낙엽·풀 연소)

나. 확산 속도 예측

- 기상 조건: 온도 28°C, 습도 25% (매우 건조), 풍속 8m/s (강풍)
- 지형: 경사 30도 (급경사, 상향 확산 우려)
- 식생: 소나무림 (가연성 높음)
- AI 예측: 강풍으로 인해 시속 15km로 확산, 1시간 후 약 50 ha 소실 우려
- 산불 등급: 2급 (긴급 대응 필요)

4. 자동 진압 지휘 (1분 소요)

- 14:06:00: AI Agent가 2급 산불로 판단, 다음 자원 자동 배정:
 - * 헬기 3대 (가장 가까운 헬기 선정, GPS 추적)
 - * 진화대 100명
 - * 진화차 10대
- 헬기 출동 예상 시간: 9분 (속초 산림항공관리소)
- 진화대 도착 예상 시간: 30분

5. 헬기 자동 출동

- 14:06:30: 속초 산림항공관리소 헬기 3대 자동 출동 지령
- AI Agent가 헬기에 최적 비행 경로 안내
- 헬기 카메라로 현장 실시간 영상 전송
- 14:15:00: 헬기 현장 도착 (8분 30초 만에 도착)

6. 드론 긴급 출동

- 14:07:00: 인근 산림 감시 초소에서 드론 자동 출동
- 14:10:00: 드론 현장 도착 (헬기보다 5분 빠름)
- 드론 열화상 카메라 분석:
 - * 발화 지점 정밀 위치 파악
 - * 화염 온도 600°C
 - * 확산 방향: 북동쪽 (풍향 일치)
 - * 확산 속도: 시속 12km (AI 예측 15km보다 느림)
- 진화선 최적 위치 제안: 발화 지점 북동쪽 200m

7. 산불 진압

- 14:15:00: 헬기 도착, AI Agent가 물 투하 지점 안내
 - * 풍향·풍속 고려하여 최적 투하 지점 자동 계산
 - * 발화 지점 직접 공격 + 진화선 방어
- 14:30:00: 진화대 도착, AI Agent가 진입 경로 안내
- 14:45:00: 화세 약화
- 15:00:00: 산불 진압 완료
- 소실 면적: 약 2 ha (AI 예측 50 ha → 96% 감소)
- 총 소요 시간: 발화부터 진압까지 1시간

8. 2022년 울진·삼척 산불과 비교

【2022년 울진·삼척 산불 vs 2024년 AI 대응 비교】

항목 / 2022년 울진·삼척 / 2024년 AI 대응

산불 감지 / 발화 1시간 후 / 발화 5분 후

헬기 출동 / 발화 2시간 후 / 발화 10분 후

진압 완료 / 213시간 (9일) / 1시간

소실 면적 / 20,923 ha / 2 ha

피해액 / 약 3,000억 원 / 약 3억 원

피해 감소율 / - / 99.9%

9. 산불 원인 조사 (AI 자동 분석)

- AI Agent가 수집된 데이터 종합 분석:

* 발화 지점: 설악산 해발 800m 등산로 (위성·드론 영상 분석)

- * 발화 시각: 14:00 추정 (센서 데이터 분석)
- * 발화 원인: 등산객 실화 추정 (CCTV에 등산객 흡연 장면 포착)
- 경찰청 AI Agent와 연동하여 자동 통보
- 산불 조사 보고서 자동 생성 (1시간 소요, 기존 1주일 → 99% 단축)

10. RLFF 학습

- 진압 결과: 골든타임 내 진압, 소실 면적 2 ha (목표 1 ha 이하에는 미달하나 우수)
- 보상: +0.85 (우수한 대응)
- 학습 효과: 강풍 시 산불 확산 예측 능력, 헬기 배치 전략, 진화선 설정 능력 강화

【청구범위】

【청구항 1】

통신기지국 기반 오픈해시를 이용한 산림청 산불 방지 및 산림 관리 자동화 시스템에 있어서,

기존 통신기지국 인프라의 계층 구조를 오픈해시 계층에 매핑하되, **Layer 1**은 펨토셀/스몰셀 기지국(산림 감시 초소·순찰로 단위)에, **Layer 2**는 마이크로셀 기지국(지방산림청·국유림관리소 단위)에, **Layer 3**은 매크로셀 기지국(산림청 단위)에 매핑하여, 통신기지국의 유튜 컴퓨팅 자원을 활용함으로써 별도의 인프라 구축 없이 전국 단위 오픈해시 네트워크를 구성하는 통신기지국 매핑부;

기상 관측 센서(온도, 습도, 풍속, 풍향, 강우량), 산불 감시 카메라(열화상, 일반), 연기 감지 센서, 토양 수분 센서, 위성 영상, 드론 영상, GPS 추적 데이터를 실시간 수집하고, **SHA-256** 해시 및 **ECDSA P-256** 디지털 서명으로 오픈해시 체인에 기록하는 산림 데이터 수집부(110);

기록자를 **AAA** 등급(산림청, 국립산림과학원, 0.9-1.0), **AA** 등급(지방산림청, IoT 센서 캘리브레이션, 0.7-0.9), **A** 등급(산림 감시원, 0.5-0.7), **B** 등급(등산객, 0.3-0.5), **C** 등급(익명, 0.0-0.3)으로 분류하고, 종합 신뢰도 = (기록자 신뢰도 × 0.6) + (교차 검증 일치율 × 0.3) + (시간 경과 계수 × 0.1) 공식으로 데이터 신뢰도를 산출하는 신뢰도 평가부(120);

산불 사건의 모든 기록이 상호 연동되어 거짓 기록의 유지 비용이 기하급수적으로 증가하여 자연스럽게 배제되도록 하는 진실 수립 메커니즘부(130);

DeepSeek R1, LLaMA, Mistral 등의 오픈소스 LLM을 산림보호법, 산불 진압 매뉴얼, 과거 산불 사례 수만 건으로 **Fine-tuning**하여 산림 AI Agent를 생성하고, RLFF로 지속적으로 학습시키는 AI Agent 생성부(150);

온도, 습도, 풍속, 강우량을 분석하여 산불 위험 지수를 실시간 계산하고 산불 위험 등급을 자동 설정하는 산불 위험도 분석 엔진(170);

위성 적외선 영상, 산불 감시 카메라 AI 영상 분석, 연기 감지 센서 데이터를 융합하여 산불 발화 후 5분 이내에 자동 감지하는 산불 초기 감지부(180);

AI Agent가 산불 규모·확산 속도·지형을 종합 분석하여 진압 전략을 자동 수립하고, 헬기 출동 자동 지령, 진화선 자동 설정, 실시간 진압 전술 업데이트를 수행하는 산불 진압 지휘부(190);

산불 감지 즉시 가장 가까운 산림헬기에 자동 출동 지령하고, 헬기 GPS 위치를 실시간 추적하며, AI Agent가 헬기에 최적 진압 지점을 안내하고, 자동 물 투하 지점을 계산하여 평균 출동 시간을 70% 단축하는 헬기 출동 자동화부(200);

산불 감지 즉시 인근 산림 감시 초소에서 드론을 자동 출동시키고, 드론 열화상 카메라로 정밀 산불 위치를 파악하며, 산불 확산 방향·속도를 실시간 분석하고, 진화대 진입 경로를 안내하는 드론 출동부(210);

위성·드론 영상을 AI Agent가 실시간 분석하여 나무 잎의 색상·형태 변화로 병해충을 초기 감지하고, 기상 조건을 분석하여 병해충 발생 확률을 예측하며, 병해충 종류를 자동 진단하고, 최적 방제 방법을 제시하며, 방제 헬기·드론을 자동 출동시키는 병해충 예측 및 방제부(220);

위성 영상 비교 분석으로 산림 면적·식생 변화를 자동 감지하고, 드론 정기 순찰로 불법 벌채·개간을 자동 탐지하며, 산림 감시 카메라로 24시간 감시하고, 불법 벌채 의심 시 경찰청 AI Agent와 연동하여 자동 신고하는 불법 벌채 탐지부(230);

위성·드론 영상으로 전국 산림 자원을 정밀 조사하여 수종·수령·생장량·임목 축적을 자동 계산하고, 산림 경영 계획을 자동 수립하는 산림 자원 관리부(240);

전국 산림의 탄소 흡수량을 실시간 측정하여 나무 생장량을 측정하고 수종별 탄소 흡수 계수를 적용하며 대한민국 전체 산림 탄소 흡수량을 자동 계산하고 탄소중립 기여도를 실시간 모니터링하는 탄소 흡수량 모니터링부(250);

AI Agent의 의사결정을 중요도에 따라 Level 1(자동 실행), Level 2(사전 통보), Level 3(사전 승인), Level 4(인간 전용)로 분류하고, 인간 관리자에게 거부권을 부여하며, 모든 의사결정을 오픈해시 체인에 기록하는 인간 감독부(260); 및

산불 진압 결과를 실시간 수집하고, 보상 함수 $R = +1.0$ (골든타임 내 진압, 소실 면적 1 ha 이하), $R = -1.0$ (대형 산불, 소실 면적 1,000 ha 이상)을 사용하여, PPO 알고리즘으로 AI Agent를 지속적으로 학습시키는 RLFF 학습부(270);

를 포함하는 것을 특징으로 하는 통신기지국 기반 오픈해시 산림청 산불 방지 및 산림 관리 자동화 시스템.

【청구항 2】

제1항에 있어서,

상기 산불 조기 감지부(180) 및 헬기 출동 자동화부(200)는,

산불 발화 후 5분 이내에 자동 감지하고,

감지 즉시 가장 가까운 산림헬기에 자동 출동 지령하며,

헬기 출동 시간을 70% 단축(30분 → 9분)하고,

드론이 헬기보다 먼저 현장에 도착하여 정밀 위치를 파악함으로써,

산불 골든타임(초기 30분)을 확보하여 소실 면적을 90% 감소시키는 것을 특징으로 하는 통신기지국 기반 오픈해시 산림청 산불 방지 및 산림 관리 자동화 시스템.

【청구항 3】

제1항에 있어서,

상기 시스템은,

통신기지국 인프라를 100% 활용하여 신규 인프라 구축 비용을 99% 절감(5조 원 → 500억 원)하고,

PoW/PoS 등의 합의 알고리즘을 사용하지 않아 블록체인 대비 98.5% 에너지를 절약하며,

위성·드론·카메라·센서 데이터를 융합하여 산불 발화 후 5분 이내에 자동 감지하고,

AI Agent가 산불 규모·확산 속도를 자동 분석하여 헬기를 자동 출동시켜 출동 시간을 70% 단축하며,

RLFF를 통해 매년 수백 건의 산불 진압 결과로부터 자가 학습하여 진압 정확도가 지속적으로 향상되고,

산불 조기 감지(발화 5분 후), 헬기 출동 시간 70% 단축(30분 → 9분), 산불 피해 90% 감소(평균 50 ha → 5 ha), 산불 피해액 90% 감소(연간 1,000억 원 → 100억 원), 병해충 피해액 80% 감소(연간 2,000억 원 → 400억 원), 불법 벌채 적발률 향상(20% → 90%), 산림 관리 인력 효율성 5배 향상, 초기 진압 정확도 70%에서 1년 후 95% 이상으로 개선을 달성하는 것을 특징으로 하는 통신기지국 기반 오픈해시 산림청 산불 방지 및 산림 관리 자동화 시스템.

【요약서】

【요약】

본 발명은 기존 통신기지국 인프라(5G/LTE)를 100% 활용하는 오픈해시 기술을 이용하여 위변조 불가능한 산림 상태 데이터를 실시간 수집·검증하고, DeepSeek R1 등 오픈소스 대규모 언어 모델을 산림보호법·산불 진압 매뉴얼로 Fine-tuning한 AI 에이전트를 활용하여 산불 조기 감지 및 자동 진압, 산림 병해충 예측 및 방제, 불법 벌채·산림 훼손 실시간 탐지, 산림 자원 관리, 탄소 흡수량 모니터링까지 사람의 개입을 최소화하여 자동화하는 산림청 산불 방지 및 산림 관리 시스템 및 방법에 관한 것이다.

본 발명의 핵심 차별성:

1. 산불 골든타임 확보:

발화 후 5분 이내 자동 감지하고, 헬기 출동 시간을 70% 단축(30분 → 9분)하여 골든타임 내 진압으로 소실 면적을 90% 감소시킨다.

2. 2022년 울진·삼척 산불 재발 방지:

AI 자동화로 213시간 걸린 진압을 1시간으로 단축하고, 20,923 ha 소실을 2 ha로 감소시켜 피해를 99.9% 줄인다.

3. 전국 산림 24시간 감시:

위성·드론·카메라·센서로 630만 ha 전체를 실시간 모니터링하여 산불·병해충·불법 벌채를 즉시 탐지한다.

본 발명의 효과:

인프라 비용 99% 절감, 에너지 비용 98.5% 절약, 산불 조기 감지(발화 5분 후), 헬기 출동 70% 단축, 산불 피해 90% 감소, 산불 피해액 90% 감소(연간 1,000억 원 → 100억 원), 병해충 피해액 80% 감소(연간 2,000억 원 → 400억 원), 불법 벌채 적발률 향상(20% → 90%)으로 전국 630만 ha 산림을 24시간 최적 상태로 보호하고 탄소중립에 기여한다.

【대표도】

도 1

【도면 부호의 설명】

110: 산림 데이터 수집부

120: 산뢰도 평가부

130: 진실 수렴 메커니즘부

140: 산림 지식 데이터베이스

150: AI Agent 생성부

160: Multi-Agent 배치부

170: 산불 위험도 분석 엔진

180: 산불 조기 감지부

190: 산불 진압 지휘부

200: 헬기 출동 자동화부

210: 드론 출동부

220: 병해충 예측 및 방제부

230: 불법 벌채 탐지부

240: 산림 자원 관리부

250: 탄소 흡수량 모니터링부

260: 인간 감독부

270: RLFF 학습부