creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

석사학위논문

산불 초기대응 강화 방안 연구

- 고지대 공공시설 급수설비를 중심으로 -

2026년

한성대학교 행정대학원

사회안전학과

사회안전관리전공

강 우 진

HANSUNG
UNIVERSITY

석사학위논문
지도교수 류종용

산불 초기대응 강화 방안 연구

- 고지대 공공시설 급수설비를 중심으로 -

A Study on Measures to Strengthen Initial Wildfire Response
- Focusing on Water Supply Facilities in Public Facilities Located in High - Altitude Areas -

HANSUNG UNIVERSITY

2026년 6월 일

한성대학교 행정대학원

사회안전학과

사회안전관리전공

강 우 진

석사학위논문
지도교수 류종용

산불 초기대응 강화 방안 연구

- 고지대 공공시설 급수설비를 중심으로 -

A Study on Measures to Strengthen Initial Wildfire Response
- Focusing on Water Supply Facilities in Public Facilities Located in High - Altitude Areas -

위 논문을 사회안전학 석사학위 논문으로 제출함

2026년 6월 일

한성대학교 행정대학원

사회안전학과

사회안전관리전공

강 우 진

강우진의 사회안전학 석사학위 논문을 인준함

2026년 6월 일

심사위원장 최 천 근 (인)

심 사 위 원 류 종 용 (인)

심 사 위 원 박 기 수 (인)

HANSUNG UNIVERSITY

국 문 초 록

산불 초기대응 강화 방안 연구 :
고지대 공공시설 급수설비를 중심으로

한 성 대 학 교 행 정 대 학 원
사 회 안 전 학 과
사 회 안 전 관 리 전 공
강 우 진

최근 기후변화의 심화와 고온·건조 환경의 지속으로 대형 산불의 발생 빈도와 피해 규모가 증가하고 있다. 우리나라는 산지가 많은 지형적 특성과 고지대 접근성의 한계로 인해 산불 초기 대응 시 소방용수 확보에 구조적 어려움을 겪고 있다. 기존의 산불 진화용수 확보 방식은 저수지, 하천, 소화전, 헬기 담수 등 다양한 수단을 활용하고 있으나, 산악지역에서는 수원 접근성 부족, 장거리 송수 한계, 수압 저하 등으로 실질적 대응에 한계가 있다. 이에 본 연구는 산불 취약지역에서 고지대 공공시설이 보유한 가압 급수설비를 소방용수 공급자원으로 활용할 수 있는 가능성을 분석하고, 이를 통한 소방용수 확보체계의 개선방안을 제시하고자 하였다.

이를 위해 산불 재난의 특성과 기존 소방용수 확보체계의 구조적 한계를 검토하고, 관련 법·제도 및 국내외 사례를 분석하였다. 특히 고지대 공공시설의 물탱크, 가압펌프, 급수관로 등 기존 생활용수 기반 설비가 산불 발생 시 초기 진화용수로 활용될 수 있다는 점에 주목하여 기술적·운영적·제도적 측면

에서 활용 가능성과 한계를 분석하였다.

분석 결과, 고지대 공공시설의 가압 급수설비는 별도의 신규 급수설비 구축 없이도 초기 대응시간 단축, 고지대 용수 접근성 향상, 비용 절감 측면에서 효과적인 대안이 될 수 있는 것으로 나타났다. 반면 수압 차이, 배관 규격 비표준성, 연결 장치 부족 등의 기술적 문제와 기관 간 협력체계 미흡, 관리 책임 불명확, 법적 근거 부족 등의 제도적 한계가 주요 제약요인으로 확인되었다.

이에 본 연구는 분기형 소화설비 구축, 비상시 수압 제어체계 마련, 공공시설-지자체 간 공동 활용 매뉴얼 정립, 정책 및 제도 개선 등을 주요 개선방안으로 제시하였다. 본 연구는 기존 공공시설을 활용한 예방·대비 중심의 산불 대응체계의 필요성을 제시하였다는 점에서 의의가 있으며, 산불 취약지역의 지속가능한 재난관리 역량 강화에 기여할 수 있다.

HANSUNG UNIVERSITY

【주요어】 산불, 소방용수 확보체계, 고지대 공공시설, 가압 급수설비

목 차

I. 서 론 ····· 1

1.1 연구 배경 및 필요성 ····· 1
1.2 연구 목적 ····· 5
1.3 연구 범위 및 방법 ····· 7

II. 이론적 고찰 ····· 11

2.1 산불 재난의 개념과 특성 ····· 11
2.2 산불 진화용수 확보 체계 ····· 14
2.3 관련 법·제도 ····· 26
2.4 선행연구 ····· 31

III. 산악지역 공공시설 소방용수 활용 실태 및 한계 ····· 34

3.1 고지대 공공시설 급수설비 현황 ····· 34
3.2 부처 간 재난 대응 협력 실태 ····· 39
3.3 현행 인프라 공유의 한계 및 문제점 ····· 44
3.4 소결 ····· 51

IV. 국내외 소방용수 인프라 공유 사례 분석 ····· 52

4.1 국내 사례 ····· 52
4.2 해외 사례 ····· 55
4.3 시사점 도출 ····· 58

V. 고지대 공공시설 급수망 산불 대응 개선방안 ····· 60

5.1 기술적 측면에서의 개선방안 ····· 60
5.2 운영 측면에서의 개선방안 ····· 65

HANSUNG UNIVERSITY

5.3 제도적 측면에서의 법·제도 개선방안 ····· 70

Ⅵ. 결론 ····· 74

6.1 연구결과 요약 ····· 75
6.2 정책적 제언 ····· 76
6.3 연구의 한계 및 향후 과제 ····· 77

참 고 문 헌 ····· 79

ABSTRACT ····· 82

HANSUNG UNIVERSITY

표 목 차

[표 2-1] 10년간 산불발생 현황 ····· 17
[표 3-1] 물탱크 종류 및 특징 ····· 35
[표 3-2] 산불대응 단계별 발령기준 ····· 42

HANSUNG UNIVERSITY

그 림 목 차

[그림 1-1] 연구흐름도 ····· 10
[그림 2-1] 산불방지 급수시설의 용수 공급 체계 ····· 22
[그림 2-2] 2019 호주 블랙 서머 산불 ····· 25
[그림 2-3] 한국농어촌공사 전국 저수지 소방 헬기 핵심 취수원 가동 ····· 30
[그림 3-1] 물탱크 설치 활용 사례 ····· 36
[그림 3-2] 펌프 가압방식 비교 ····· 38
[그림 3-3] 산불 신고접수 및 대응, 기관별 역할 ····· 41
[그림 4-1] 산림인접마을 비상소화장치 사업에 따라 설치된 강원 속초 비상소화장치 ····· 53
[그림 4-2] 국가상수도정보시스템을 활용한 대형화재·산불 대응지원 ····· 54
[그림 4-3] 리바-로하 데 투리아 화재예방 및 관리통합시스템 ····· 56
[그림 4-4] 미국 Dual Water System(이중 급수 체계) ····· 57

HANSUNG UNIVERSITY

Ⅰ. 서론

1.1 연구 배경 및 필요성

최근 기후변화의 영향으로 산불의 발생 양상은 과거와 비교하여 뚜렷한 변화를 보이고 있다. 단순히 산불 발생 건수가 증가하는 수준을 넘어, 한 번 발생하면 짧은 시간 내에 대형화되는 경향이 강화되고 있다는 점이 특징이다. 기온 상승과 강수량 감소, 그리고 장기적인 건조화 현상은 산림 내 연료 건조도를 높이는 요인으로 작용하며, 여기에 강풍이 결합될 경우 산불은 통제하기 어려운 속도로 확산된다. 이러한 변화는 기존 산불 대응 체계가 전제로 삼고 있던 조건과는 다른 환경에서 재난이 발생하고 있음을 의미한다. 실제로 최근 산불은 피해 면적 측면에서 과거 대비 큰 폭으로 증가하는 양상을 보이고 있으며, 이는 산불이 단순한 국지적 화재를 넘어 광역 재난으로 확대되고 있음을 보여준다(산림청, 2025).

이와 같은 변화는 우리나라의 지형적 특성과 결합되면서 더 큰 문제로 이어진다. 우리나라는 산림이 국토의 상당 부분을 차지하고 있으며, 산림과 생활권이 분리되어 있지 않고 서로 인접해 있는 구조를 가지고 있다. 특히 산지 마을의 경우 산림과 직접 맞닿아 있는 형태가 많아 산불이 발생할 경우 주거지로 확산될 가능성이 높다. 문제는 이러한 지역일수록 대응 여건이 상대적으로 열악하다는 점이다. 도로가 협소하거나 경사가 급한 경우가 많아 소방차 진입이 제한되며, 화재 발생 시 초기 대응을 위한 장비와 인력을 신속하게 투입하기 어렵다. 이러한 접근성 문제는 단순한 불편을 넘어 대응 지연으로 이어지며, 결과적으로 화재 확산을 가속화시키는 요인으로 작용한다.

또한 산악지역에서는 상수도 기반시설이 평지 중심으로 구축되어 있다는 점도 중요한 문제로 지적된다. 고지대에서는 수압 확보가 어렵거나 용

수 공급이 불안정한 경우가 발생하며, 이는 화재 대응 시 즉각적으로 사용할 수 있는 소방용수 확보를 어렵게 만든다. 실제로 고지대 및 난접근 지역에서는 소방용수 확보가 어려워 초기 진화가 지연되는 사례가 보고되고 있으며, 이는 산불 피해 확산의 주요 원인으로 작용하는 것으로 나타났다(채종식, 2017). 이러한 구조적 한계는 산지 마을이 산불 대응에 있어 취약한 지역으로 분류되는 중요한 이유가 된다.

산불은 다른 재난과 비교했을 때 초기 대응의 중요성이 특히 강조되는 유형이다. 일반적으로 발화 이후 초기 1~2시간 내에 대응이 이루어지지 않을 경우 화세가 급격히 확산되는 경향을 보이며, 이 시점에서의 대응 여부가 전체 피해 규모를 좌우한다. 따라서 초기 대응 단계에서 충분한 인력과 장비, 그리고 안정적인 소방용수가 확보되는 것이 무엇보다 중요하다. 그러나 산악지역에서는 이러한 기본적인 대응 조건이 동시에 충족되기 어려운 경우가 많다. 접근성, 용수 확보, 장비 투입이 모두 제한되는 상황에서는 대응 자체가 지연될 수밖에 없으며, 이는 결국 대형 산불로 이어지는 구조적 원인이 된다.

현재 산불 대응 체계는 헬기를 중심으로 한 공중진화에 크게 의존하고 있다. 공중진화는 산악지역과 같이 접근이 어려운 지역에서도 비교적 신속하게 대응할 수 있다는 점에서 효과적인 수단으로 평가된다. 실제 산불 진화 과정에서도 헬기는 핵심적인 역할을 수행하며, 초기 화세를 억제하는 데 중요한 기능을 담당한다. 그러나 이러한 공중진화 방식은 여러 가지 제약 조건을 동시에 가진다. 우선 헬기는 야간에는 안전상의 이유로 운용이 제한되며, 기상 조건에 따라 투입이 어려운 경우가 발생한다. 특히 야간 시간대에는 공중진화가 사실상 불가능한 경우가 많아 지상 대응에 의존할 수밖에 없는 구조가 형성된다(김지훈, 2022).

문제는 이러한 상황에서 지상 대응 역시 충분한 효과를 발휘하기 어렵다는 점이다. 산악지역에서는 도로 접근이 제한되고, 장비 이동이 어려우

며, 무엇보다 소방용수 확보가 쉽지 않다. 즉, 공중진화가 제한되는 상황에서 이를 보완할 수 있는 지상 대응 체계가 충분히 구축되어 있지 않다는 점이 구조적 문제로 작용한다. 특히 동시다발적인 산불이 발생할 경우 헬기 자원이 분산되면서 초기 대응이 지연되는 사례가 반복적으로 나타나고 있으며, 이는 공중진화 중심 대응 구조의 한계를 보여주는 대표적인 사례로 볼 수 있다(산림청, 2025).

또한 산불 대응에서 중요한 요소 중 하나인 소방용수 공급 체계 역시 구조적인 한계를 가지고 있다. 산림지역에서의 화재는 건축물 화재와 달리 넓은 범위로 확산되는 특성을 가지기 때문에, 이에 대응하기 위해서는 충분한 양의 용수를 지속적으로 공급할 수 있는 체계가 필요하다. 그러나 기존 급수시설은 주로 건축물 화재 대응을 기준으로 설계되어 있어 산림화재에 적용하기에는 한계가 존재한다. 특히 산악지역에서는 수원지와 화재 발생 지점 간 거리가 멀고, 지형적 고저차로 인해 압력 손실이 발생하는 경우가 많아 실제 용수 공급이 원활하게 이루어지지 않는 상황이 발생한다. 이러한 문제는 결국 원거리 급수나 헬기 담수 방식에 대한 의존도를 높이며, 이는 지속적인 대응을 어렵게 만드는 요인으로 작용한다.

현장에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 다양한 방식의 대응이 이루어지고 있으나, 여전히 구조적인 문제는 해결되지 않은 상태로 남아 있다. 예를 들어 송수구 위치 확인의 어려움이나 용수 공급 경로의 비효율성으로 인해 초기 대응이 지연되는 사례도 보고되고 있으며, 이는 단순한 장비 부족 문제가 아닌 시스템 운영상의 문제로 볼 수 있다(장경남 외, 2022). 또한 산불이 동시다발적으로 발생할 경우 진화 자원의 분산으로 인해 대응 효율이 저하되는 문제 역시 반복적으로 지적되고 있다(주영국, 2021).

이와 같이 현재 산불 대응 체계는 공중진화 의존, 산지 접근성 제약, 소방용수 공급 한계, 그리고 운영상의 문제까지 복합적으로 작용하는 구조를 가지고 있다. 특히 야간이나 고지대와 같은 특정 조건에서는 이러한

문제들이 동시에 나타나며, 대응 공백이 발생할 가능성이 높다. 이러한 상황은 산불 피해를 확대시키는 주요 원인으로 작용하며, 기존 대응 체계의 보완 필요성을 강조한다.

따라서 산불 대응 체계의 실효성을 확보하기 위해서는 기존 방식의 한계를 보완할 수 있는 새로운 접근이 요구된다. 특히 현장 인접 위치에서 즉시 활용 가능한 소방용수 확보 체계를 중심으로 대응 방식을 재구성할 필요가 있다. 이는 단순히 장비를 추가하는 것이 아니라, 현재의 대응 구조 자체를 재검토하는 과정이 요구된다는 점을 의미한다. 또한 외부 자원에 의존하는 방식보다는 지역 내에서 활용 가능한 자원을 중심으로 대응 체계를 구축하는 것이 보다 현실적인 접근이 될 수 있다.

이러한 관점에서 기존에 구축되어 있는 공공시설 급수설비는 중요한 의미를 가진다. 특히 고지대에 위치한 공공시설은 일정 규모의 물탱크와 급수설비를 갖추고 있는 경우가 많으며, 이는 상황에 따라 소방용수로 활용될 가능성을 가진다. 기존 급수설비를 활용하는 방식은 신규 시설 구축에 따른 비용 부담을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 초기 대응 시간을 단축하는 데에도 기여할 수 있다(Pierce et al., 2021). 즉, '현장에서 바로 사용할 수 있는 용수'를 확보하는 것이 산불 대응의 핵심이라는 점에서 이러한 접근은 충분한 검토 가치가 있다.

결국 산불 대응의 핵심은 제한된 시간 안에 얼마나 효과적으로 대응하느냐에 달려 있다. 이를 위해서는 접근성, 장비, 인력뿐만 아니라 안정적인 소방용수 확보가 필수적이다. 특히 산악지역에서는 이러한 요소들이 동시에 확보되기 어려운 만큼, 기존 구조를 보완할 수 있는 새로운 접근이 필요하다.

이에 본 연구는 산악지역에서의 산불 대응 한계를 중심으로, 소방용수 확보 체계의 구조적 문제를 분석하고자 한다. 특히 고지대 공공시설의 급수설비 활용 가능성에 주목하여, 이를 기반으로 한 대응 체계 개선 방향을

제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해 산불 발생 초기 단계에서의 대응력을 향상시키고, 궁극적으로는 피해를 최소화할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

1.2 연구 목적

최근 산불은 기후변화의 영향으로 발생 규모와 확산 속도 측면에서 과거와는 다른 양상을 보이고 있다. 특히 산악지역에서는 지형적 특성과 인프라 한계가 결합되면서 초기 대응이 지연되는 문제가 반복되고 있으며, 이는 결국 대형 산불로 이어지는 주요 원인으로 작용한다. 이러한 상황은 기존 산불 대응 체계가 특정 조건에서 충분한 대응 능력을 확보하지 못하고 있음을 보여준다. 따라서 현재의 대응 방식이 가지는 구조적 한계를 분석하고, 이를 보완할 수 있는 새로운 접근을 모색할 필요가 있다. 본 연구는 이러한 문제 인식을 바탕으로 산불 대응 체계의 실효성을 높이기 위한 방향을 제시하는 데 목적을 둔다.

현재 산불 대응은 헬기를 중심으로 한 공중진화에 크게 의존하고 있으며, 이는 접근이 어려운 지역에서도 신속한 대응이 가능하다는 점에서 효과적인 수단으로 활용되고 있다. 그러나 야간 운용 제한, 기상 조건에 따른 제약, 동시다발 산불 발생 시 자원 분산 등 여러 한계가 존재한다. 이러한 구조는 특정 상황에서 대응 공백을 발생시키며, 특히 산악지역에서는 지상 대응 능력까지 제한되는 경우가 많다. 따라서 본 연구는 공중진화 중심의 대응 구조가 가지는 한계를 분석하고, 이를 보완할 수 있는 지상 기반 대응 체계의 필요성을 검토하는 것을 중요한 연구 목적 중 하나로 설정한다.

이와 함께 산불 대응에서 핵심 요소로 작용하는 소방용수 확보 문제 역시 본 연구의 주요 대상이다. 산불은 넓은 범위로 확산되는 특성을 가지기 때문에 지속적인 용수 공급이 필수적이며, 초기 대응 단계에서의 용수 확보 여부가 대응 성과를 좌우하는 중요한 변수로 작용한다. 그러나 산악지역에서는 수원지와 화재 발생 지점 간 거리, 고저차에 따른 압력 손실,

접근성 문제 등이 복합적으로 작용하여 안정적인 용수 확보가 어려운 경우가 많다. 실제 산불 대응 과정에서도 용수 확보와 접근성 문제가 주요 제약 요인으로 지적되고 있으며(산림청, 2025), 이는 현행 급수 체계가 산림 환경에 충분히 적합하지 않음을 시사한다. 따라서 본 연구는 산악지역에서의 소방용수 확보 체계가 가지는 구조적 한계를 분석하고, 이를 개선하기 위한 방향을 도출하는 것을 또 하나의 주요 목적으로 설정한다.

또한 본 연구는 산지 마을과 같이 산불에 취약한 지역의 특성을 고려한 대응 방안을 모색하는 데에도 초점을 둔다. 산지 마을은 접근성, 인프라, 용수 확보 측면에서 여러 제약을 가지며, 이러한 조건은 산불 발생 시 대응 지연으로 이어지는 경우가 많다. 특히 초기 대응 단계에서의 취약성은 피해 확대와 직결되기 때문에, 해당 지역의 구조적 특성을 반영한 대응 전략이 필요하다. 이에 본 연구는 산지 마을을 중심으로 산불 대응 환경을 분석하고, 현실적인 대응 방안을 제시하기 위한 기초 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

기존 산불 대응 체계는 주로 재난 발생 이후의 진화와 복구에 초점을 두고 운영되는 경향이 있다. 이러한 방식은 일정 수준의 대응 효과를 기대할 수 있으나, 산불과 같이 빠르게 확산되는 재난 유형에서는 한계를 가질 수밖에 없다. 특히 초기 대응이 지연될 경우 피해 규모가 급격히 증가하는 특성을 고려할 때, 사후 대응 중심의 접근만으로는 충분한 효과를 기대하기 어렵다. 따라서 본 연구는 기존 대응 체계의 한계를 분석하는 데 그치지 않고, 초기 대응 단계에서의 대응력을 강화할 수 있는 방향을 제시하는 것을 중요한 목표로 설정한다.

이러한 문제의식을 바탕으로 본 연구는 기존 공공시설 급수설비의 활용 가능성에 주목한다. 산악지역에는 공공시설을 중심으로 일정 규모의 물탱크와 높은 압력을 이용하여 산 아래에서 위로 물을 올리는 급수펌프 또는 지하수를 취수하는 심정(深井) 등의 급수설비가 이미 구축되어 있는 경우가 많으며, 이는 상황에 따라 소방용수로 활용될 수 있는 가능성이 있다. 신규 시설을 추가로 구축하는 방식은 시간과 비용 측면에서 제약이 따르기 때문에, 기존 급수설비를 활용하는 접근은 현실적인 대안이 될 수 있

다. 본 연구는 이러한 관점에서 고지대 공공시설의 급수설비를 활용한 소방용수 확보 가능성을 분석하고, 이를 산불 대응 체계에 적용할 수 있는 방안을 도출하는 것을 주요 목적으로 한다.

구체적으로 본 연구는 다음과 같은 세 가지 방향에서 연구 목적을 설정한다. 첫째, 산불 대응 체계의 구조적 특성과 한계를 분석하여 현재 대응 방식이 가지는 문제점을 도출한다. 둘째, 산악지역에서의 소방용수 확보 체계를 중심으로 급수설비의 현황과 한계를 분석하고, 이를 개선하기 위한 방향을 검토한다. 셋째, 고지대 공공시설의 급수설비 활용 가능성을 기반으로 산불 대응 체계 개선을 위한 실질적인 적용 방안을 제시한다. 이러한 세 가지 목적은 서로 연계되어 있으며, 궁극적으로는 산불 대응의 초기 단계에서 실효성을 확보하는 데 기여하는 것을 목표로 한다.

본 연구는 산불 대응 체계 전반을 검토하고, 기존 구조가 가지는 한계를 보완할 수 있는 방향을 제시하는 데 의의를 가진다. 특히 산악지역과 같은 취약 환경에서의 대응력을 강화하기 위해 소방용수 확보 체계에 주목한다는 점에서 차별성을 가진다. 이를 통해 산불 발생 시 초기 대응 능력을 향상시키고, 장기적으로는 재난 피해를 최소화할 수 있는 기반을 마련하는 데 기여하고자 한다.

1.3 연구 범위 및 방법

본 연구는 산악지역에서 발생하는 산불 대응의 한계를 분석하고, 이를 보완하기 위한 소방용수 확보 체계 개선 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 특히 산지 마을과 같이 접근성이 제한되고 기반 인프라가 부족한 지역을 중심으로, 실제 대응 과정에서 나타나는 문제를 분석하는 데 초점을 둔다. 이를 위해 본 연구는 산불 발생 환경, 대응 체계, 그리고 소방용수 공급 구조를 주요 분석 대상으로 설정하였다.

연구 범위는 공간적·내용적 측면에서 구분하여 설정한다. 먼저 공간적 범위는 산림과 생활권이 인접해 있는 산악지역을 중심으로 하며, 특히 고지대에 위치한 공공시설이 존재하는 지역을 주요 대상으로 한다. 이는 산

불 발생 시 주거지로의 확산 가능성이 높은 지역이면서 동시에 기존 인프라를 활용할 수 있는 조건을 갖춘 지역이라는 점에서 분석의 의미가 있기 때문이다. 다만 특정 시설의 위치나 세부 제원과 같이 보안과 관련된 사항은 일반화된 형태로 다루며, 개별 시설을 특정하지 않는 범위에서 분석을 진행한다.

내용적 범위는 크게 세 가지로 구분된다. 첫째, 산불 발생 특성과 확산 과정, 그리고 이에 따른 대응 체계의 구조적 특징을 분석한다. 이를 통해 현재 산불 대응 방식이 가지는 한계를 파악하고, 특히 공중진화 중심 구조가 특정 조건에서 어떤 문제를 가지는지를 검토한다. 둘째, 산악지역에서의 소방용수 확보 체계를 중심으로 급수설비의 구조와 운영 방식, 그리고 실제 대응 과정에서 나타나는 문제를 분석한다. 이 과정에서는 접근성, 수압, 공급 방식 등 다양한 요소가 어떻게 복합적으로 작용하는지를 살펴본다. 셋째, 고지대 공공시설의 급수설비가 산불 대응에 활용될 수 있는 가능성을 검토하고, 이를 기반으로 대응 체계 개선 방향을 도출한다.

연구 방법은 문헌조사와 사례분석을 중심으로 구성한다. 먼저 문헌조사를 통해 산불 발생 원인, 확산 특성, 대응 체계, 그리고 소방용수 확보와 관련된 기존 연구와 정책자료를 검토한다. 이를 통해 산불 대응과 관련된 이론적 배경을 정리하고, 현재까지 제기된 문제점과 한계를 도출한다. 특히 산악지역에서의 대응 특성과 관련된 연구를 중심으로 분석하여, 본 연구의 문제 인식과 연결될 수 있는 근거를 확보한다.

다음으로 사례분석을 통해 실제 산불 대응 과정에서 나타나는 문제를 구체적으로 검토한다. 산불 발생 사례와 대응 과정을 분석함으로써, 공중진화와 지상 대응이 실제로 어떻게 이루어지는지, 그리고 어떤 상황에서 한계가 나타나는지를 확인한다. 또한 동시다발적인 산불 발생, 야간 대응, 접근성 제한 등 다양한 조건에서 대응 방식이 어떻게 달라지는지를 비교·분석한다. 이를 통해 문헌조사에서 도출된 문제점이 실제 현장에서 어떻게 나타나는지를 검증하고자 한다.

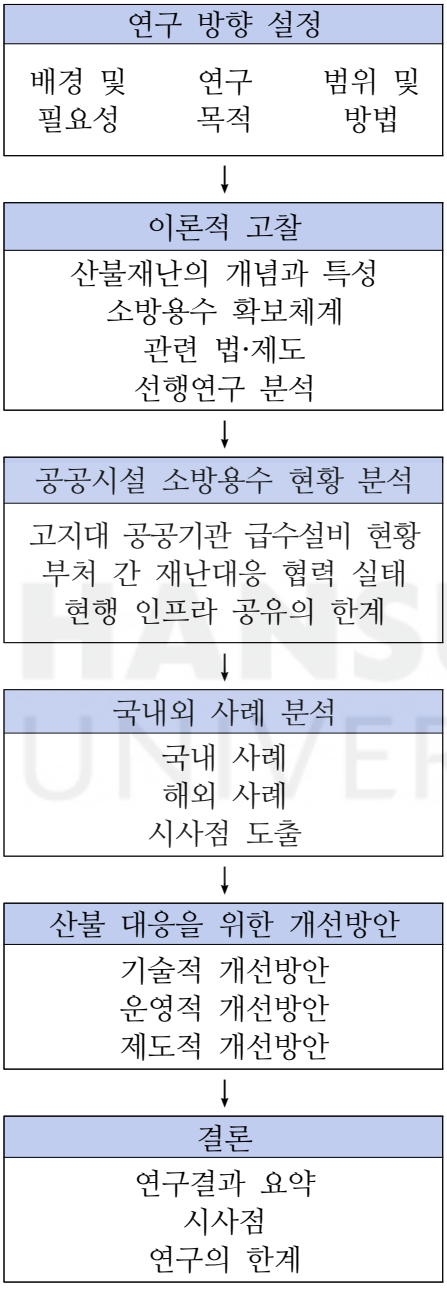
이와 함께 소방용수 공급과 관련된 기술적 요소에 대해서도 제한적인 범위에서 분석을 수행한다. 산악지역에서의 급수 방식, 수압 확보 문제,

용수 공급 경로 등의 요소가 실제 대응에 어떤 영향을 미치는지를 검토하며, 이를 통해 소방용수 확보 체계의 구조적 특성을 이해한다. 다만 본 연구는 특정 설비의 세부 설계나 공학적 계산을 중심으로 하는 연구가 아니라, 대응 체계의 구조적 개선 방향을 제시하는 데 목적이 있으므로, 기술적 분석은 개념적 수준에서 다루는 것을 원칙으로 한다.

분석 결과는 단계적으로 정리하여 제시한다. 먼저 산불 대응 체계 전반의 구조를 분석하여 문제점을 도출하고, 이후 소방용수 확보 체계의 한계를 중심으로 세부적인 분석을 수행한다. 마지막으로 이러한 분석을 바탕으로 산악지역 공공시설의 급수설비를 활용한 대응 방안을 제시한다. 이 과정에서는 기술적 측면뿐만 아니라 운영적, 제도적 측면까지 함께 고려하여 현실적인 적용 가능성을 확보하고자 한다.

결과적으로 본 연구는 특정 기술이나 장비의 성능을 분석하는 데 목적이 있는 것이 아니라, 산불 대응 체계 전반을 구조적으로 검토하고 그 한계를 보완할 수 있는 방향을 제시하는 데 의의를 둔다. 특히 산악지역과 같이 대응 여건이 제한된 환경에서 실질적으로 적용 가능한 방안을 모색한다는 점에서 연구의 실용성을 확보하고자 한다. 이를 통해 산불 대응 체계의 초기 대응 능력을 향상시키고, 장기적으로는 재난 피해를 줄이는 데 기여하는 것을 궁극적인 목표로 한다.

[그림 1-1] 연구흐름도


연구 방향 설정
배경 및 필요성
연구 목적
범위 및 방법
이론적 고찰
산불재난의 개념과 특성
소방용수 확보체계
관련 법·제도
선행연구 분석
공공시설 소방용수 현황 분석
고지대 공공기관 급수설비 현황
부처 간 재난대응 협력 실태
현행 인프라 공유의 한계
국내외 사례 분석
국내 사례
해외 사례
시사점 도출
산불 대응을 위한 개선방안
기술적 개선방안
운영적 개선방안
제도적 개선방안
결론
연구결과 요약
시사점
연구의 한계

Ⅱ. 이론적 고찰

2.1 산불 재난의 개념과 특성

산불은 산림 지역에서 발생하는 화재로서 자연적 요인과 인위적 요인이 복합적으로 작용하여 발생하는 재난 유형이다. 일반적인 건축물 화재와 달리 산불은 연소 대상이 광범위하고 연료가 연속적으로 분포되어 있어, 화재가 발생할 경우 인접 지역으로 빠르게 확산되는 특성을 가진다. 특히 산림은 수목, 낙엽, 하층식생 등 다양한 형태의 가연물이 혼재되어 있기 때문에 화재의 진행 양상이 일정하지 않으며, 이는 대응 과정의 복잡성을 증가시키는 요인으로 작용한다. 이러한 점에서 산불은 단순한 화재가 아니라 별도의 관리 체계를 요구하는 재난으로 이해할 필요가 있다.

산불의 발생 원인은 크게 자연적 요인과 인위적 요인으로 구분된다. 자연적 요인에는 낙뢰, 고온·건조한 기상 조건 등이 포함되며, 인위적 요인으로는 입산자의 부주의, 농·산림 인접지 소각, 시설물 관리 미흡 등이 주요하게 작용한다. 특히 국내 산불의 경우 인위적 요인에 의해 발생하는 비율이 높은 것으로 나타나며, 이는 산불 예방 정책이 단순한 자연현상 대응을 넘어 인간 활동 관리까지 포함해야 함을 시사한다. 동시에 기후변화로 인한 기온 상승과 건조 기간의 증가는 산불 발생 가능성을 높이는 주요 요인으로 작용하고 있으며, 이는 산불이 발생하기 쉬운 환경이 점차 확대되고 있음을 의미한다.

산불 재난의 가장 중요한 특징 중 하나는 빠른 확산 속도이다. 산불은 바람의 방향과 세기, 지형의 경사도, 연료 상태 등에 따라 확산 속도가 크게 달라지며, 특히 경사면에서는 화염이 상향으로 이동하면서 확산 속도가 더욱 증가하는 경향을 보인다. 이러한 특성은 산불이 짧은 시간 내 대형화되는 원인이 되며, 초기 대응이 지연될 경우 통제 범위를 벗어나기 쉬운 구조를 형성한다. 실제 산불 피해 분석에서도 기상 조건과 지형 요인이 결합될 경우 피해 면적이 급격히 확대되는 경향이 나타난다(산림청,

2025).

또한 산불은 공간적으로 확산되는 동시에 높은 불확실성을 가진 재난이다. 화재는 일정한 방향으로만 진행되는 것이 아니라 바람과 지형의 영향을 받아 예측하기 어려운 형태로 확산되며, 불티 비산에 의해 원거리에서도 새로운 화점이 발생할 수 있다. 이로 인해 하나의 산불이 동시에 여러 지점에서 진행되는 것과 같은 상황이 나타나며, 이는 대응 자원의 집중을 어렵게 만드는 요인으로 작용한다. 특히 동시다발적인 산불 발생 상황에서는 제한된 인력과 장비를 효율적으로 배분하기 어려워지며, 결과적으로 대응 효율이 저하되는 문제가 발생한다. 이러한 특성은 산불이 단순한 국지적 화재가 아닌 광역적 재난으로 확산될 가능성을 내포하고 있음을 보여준다.

산불은 시간적 특성에서도 다른 재난과 구별된다. 주간과 야간에 따라 대응 방식이 달라지며, 특히 야간에는 공중진화가 제한되는 경우가 많다. 주간에는 헬기를 활용한 공중진화가 가능하지만, 야간에는 지상 인력 중심의 대응이 이루어질 수밖에 없다. 이러한 시간적 제약은 대응의 연속성을 저해하며, 특정 시간대에 대응 공백이 발생할 가능성을 높인다. 실제 산불 대응 과정에서도 헬기 운용이 제한되는 시간대에는 대응 능력이 저하되는 문제가 지속적으로 제기되고 있다(김지훈, 2022).

이와 함께 산불은 단일 재난에 그치지 않고 다른 재난으로 이어질 수 있는 복합재난의 성격을 가진다(Robinne et al., 2021). 산불로 인해 산림이 훼손될 경우 토양의 결속력이 약화되고, 이후 강우 시 산사태와 같은 2차 피해로 이어질 가능성이 높아진다. 이러한 현상은 산불 피해가 단기간에 그치지 않고 장기적인 영향을 미칠 수 있음을 보여준다. 실제 연구에서도 산불 피해 지역에서 산사태 발생 빈도가 증가하는 경향이 확인되고 있으며, 이는 산불과 산사태가 상호 연계된 재난임을 시사한다(채종식, 2017).

우리나라의 경우 산림과 생활권이 밀접하게 인접해 있는 구조적 특성을 가진다. 산지 마을은 산림과 직접 맞닿아 있는 경우가 많아 산불 발생 시 인명 및 재산 피해로 이어질 가능성이 높다. 특히 이러한 지역은 도로

접근성이 낮고 소방 인프라가 충분히 구축되어 있지 않은 경우가 많아 초기 대응이 지연될 가능성이 크다. 이러한 조건은 산불 피해를 확대시키는 주요 요인으로 작용하며, 산불 재난을 단순한 산림 문제를 넘어 사회적 재난으로 인식해야 하는 이유가 된다(Revchuk, 2013).

산불 대응에서 중요한 요소 중 하나는 대응 시점이다. 일반적으로 발화 이후 초기 1~2시간은 대응 성과를 결정짓는 중요한 시기로 평가되며, 이 시점에 적절한 조치가 이루어질 경우 화세를 효과적으로 억제할 수 있다. 반면 대응이 지연될 경우 산불은 빠르게 확산되어 통제가 어려운 상태로 전환된다. 특히 산악지역에서는 접근성과 용수 확보의 어려움으로 인해 초기 대응이 지연되는 사례가 반복적으로 나타나고 있으며, 이는 산불 피해 확대의 주요 원인으로 지적되고 있다.

현재 산불 대응 체계는 공중진화와 지상 대응이 결합된 형태로 운영되고 있으나, 실제로는 공중진화에 대한 의존도가 높은 편이다. 공중진화는 접근이 어려운 지역에서도 신속하게 대응할 수 있다는 장점을 가지지만, 기상 조건과 시간적 제약에 크게 영향을 받는다. 특히 동시다발적인 산불 발생 시에는 진화 자원이 분산되면서 초기 대응이 지연되는 문제가 나타난다. 이러한 상황은 공중진화 중심의 대응 구조가 일정 조건에서 한계를 가질 수 있음을 보여준다(산림청, 2025).

이와 같은 산불의 특성은 대응 체계 구축에 있어 중요한 시사점을 제공한다. 산불은 빠른 확산 속도, 공간적 불확실성, 시간적 제약, 복합재난으로의 확장 가능성을 동시에 가지기 때문에 단일한 대응 수단만으로는 효과적인 대응이 어렵다. 특히 초기 대응의 중요성이 강조되는 만큼, 현장 인접 위치에서 즉시 활용 가능한 자원의 확보가 필수적이다. 이러한 자원 중에서도 소방용수는 대응 전 과정에서 핵심적인 역할을 수행하는 요소로 볼 수 있다.

결과적으로 산불 재난은 다양한 요인이 복합적으로 작용하는 구조를 가지며, 이에 따라 대응 체계 역시 다층적인 접근이 요구된다. 기존의 대응 방식만으로는 변화하는 재난 환경에 충분히 대응하기 어려운 만큼, 산불의 특성을 반영한 체계적인 대응 구조의 재검토가 필요하다. 이러한 맥

락에서 다음 절에서는 산불 진화용수의 개념과 확보 체계에 대해 보다 구체적으로 검토하고자 한다.

2.2 산불 진화용수 확보 체계

산불 대응에서 진화용수는 단순한 소화 수단이 아니라 재난 대응 체계의 성능을 좌우하는 핵심 요소로 작용한다. 산불은 일반 건축물 화재와 달리 넓은 면적에서 동시다발적으로 확산되며, 지형과 기상 조건에 따라 화세가 급격히 변화하는 특성을 가진다. 특히 산악지역에서는 능선과 경사면을 따라 상승기류가 형성되고, 강풍이 결합될 경우 화재 확산 속도가 비약적으로 증가하는 것으로 알려져 있다. 이러한 환경에서는 화재 발생 이후 짧은 시간 내에 대응 여부가 결정되며, 초기 대응 실패는 피해 규모를 기하급수적으로 확대시키는 요인으로 작용한다.

이와 같은 특성으로 인해 산불 진화용수는 단순히 확보된 자원이 아니라, 현장에서 즉시 활용 가능한 형태로 존재해야 하는 전략적 자원으로 이해되어야 한다. 즉, 용수의 양적 확보뿐 아니라 접근성, 공급 속도, 지속 가능성이 동시에 확보되어야 실질적인 대응이 가능하다.

현재 산불 대응 체계는 공중진화와 지상진화가 병행되는 구조를 가진다. 이 중 헬기를 활용한 공중진화는 초기 대응에서 핵심적인 역할을 수행하는 것으로 평가된다. 배택훈은 산불 진화에서 공중진화의 비중이 약 79%에 달하며, 초기 화세 억제에 중요한 역할을 수행한다고 하였다. 그러나 동시에 풍속, 고도, 조종사 숙련도 등에 따라 공중진화의 효과가 크게 달라지는 것으로 나타났다고 분석하였다(배택훈, 2014).

특히 야간 대응의 경우 공중진화는 구조적으로 제한된다. 대부분의 산불진화 헬기가 야간 작전에 투입되기 어려우며, 이에 따라 야간에는 지상 인력 중심의 대응이 이루어진다고 하였다. 또한 최근 야간 산불 발생 빈도가 증가하고 있음에도 불구하고 이에 대한 대응 체계는 충분히 구축되지 않은 상태이다(김지훈, 2022).

더불어 항공안전 측면에서도 한계가 존재한다. 야간 헬기 운용 시 저고

도 비행과 시야 제한으로 인해 사고 위험이 증가하며, 비행착각으로 인한 조종 상실이 주요 사고 원인으로 작용한다고 분석하였다(최연철, 2014).

이러한 연구 결과를 종합하면, 현재 산불 대응 체계는 특정 조건에서는 효과적으로 작동하지만, 시간과 환경 조건에 따라 대응 능력이 크게 제한되는 구조를 가진다. 특히 야간과 같은 특정 상황에서는 공중진화가 제한되기 때문에, 지상 기반의 안정적인 용수 확보 체계가 필수적으로 요구된다.

2.2.1 산불 진화용수

산불 진화용수는 산림 화재의 진압 및 확산 억제를 위해 활용되는 수자원을 의미하며, 일반적인 건축물 화재에서 사용되는 소화용수와는 그 기능과 활용 방식에서 차이를 가진다. 건축물 화재는 일정 공간 내에서 발생하여 국지적으로 소화가 이루어지는 반면, 산불은 넓은 지역으로 확산되며 시간의 경과에 따라 화세가 지속적으로 변화하는 특성을 가진다. 특히 산악지형에서는 경사면을 따라 상승기류가 형성되고, 바람과 결합될 경우 화재 확산 속도가 급격히 증가한다.

이와 같은 특성으로 인해 산불 진화용수는 단순한 소화 자원이 아니라, 화재 확산을 억제하고 대응 시간을 확보하기 위한 핵심 수단으로 이해될 필요가 있다. 특히 산불은 점 형태의 화재가 아니라 선형 또는 면적 형태로 확산되는 특징을 가지며, 바람에 의해 불씨가 이동하는 비화 현상이 발생할 경우 새로운 화점이 동시에 형성될 수 있다. 이로 인해 산불 진화용수는 특정 지점에 집중적으로 투입되는 것이 아니라, 확산 경로를 차단하는 방식으로 분산 활용되는 경우가 많다. 이러한 점에서 산불 진화용수는 ‘소화’뿐 아니라 ‘차단’과 ‘지연’의 기능을 동시에 수행하는 복합적 자원으로 볼 수 있다.

산불 대응에서 진화용수의 효과를 결정하는 가장 중요한 요소 중 하나는 투입 시점이다. 동일한 양의 용수라도 화재 발생 직후 투입되는 경우와 일정 시간이 경과한 후 투입되는 경우의 효과는 크게 차이가 발생한다. 초

기 단계에서는 상대적으로 적은 양의 용수로도 화세 확산을 억제할 수 있지만, 시간이 지날수록 화재 면적이 확대되고 열량이 증가하면서 동일한 효과를 얻기 위해 훨씬 많은 용수가 요구된다. 따라서 산불 진화용수는 단순히 확보된 양이 아니라, 얼마나 신속하게 현장에 투입될 수 있는지가 더 중요한 요소로 작용한다.

이러한 측면에서 공중진화는 초기 대응에서 효과적인 수단으로 평가된다. 헬기를 활용한 공중진화는 접근이 어려운 산악지역에서도 비교적 신속하게 용수를 투입할 수 있다는 장점을 가지며, 초기 화세 억제에 중요한 역할을 수행하는 것으로 알려져 있다. 다만 공중진화의 효과는 기상 조건, 풍속, 조종사의 숙련도 등에 따라 달라질 수 있으며, 모든 상황에서 동일한 성능을 발휘하는 것은 아니다. 공중진화가 초기 대응에서 중요한 역할을 수행하지만, 풍속과 고도 조건에 따라 그 효과가 제한될 수 있다(배택훈, 2014).

또한 공중진화는 시간적 제약을 가진다. 특히 야간에는 헬기 운용이 제한되는 경우가 많아 공중진화를 통한 용수 공급이 어려워진다. 대부분의 산불진화 헬기가 야간 작전에 투입되기 어렵기 때문에 야간에는 지상 인력 중심의 대응이 이루어진다(김지훈, 2022).

이와 같은 한계는 산불 진화용수가 특정 공급 방식에 의존할 경우 발생할 수 있는 구조적 문제를 보여준다. 즉, 공중진화에 의존한 용수 공급 체계는 시간과 기상 조건에 따라 대응 능력이 크게 달라질 수 있으며, 이는 안정적인 대응 체계 구축에 제약 요인으로 작용한다.

한편 산불 진화용수의 활용은 단순한 공급 방식뿐 아니라 접근성과도 밀접한 관련을 가진다. 산악지역에서는 수원이 존재하더라도 도로 접근이 어렵거나 고저차가 큰 경우 실제로 용수를 활용하기 어려운 상황이 발생할 수 있다. 이러한 문제는 특히 초기 대응 단계에서 크게 작용하며, 접근성이 확보되지 않은 용수는 실질적인 대응 자원으로 기능하지 못한다. 따라서 산불 진화용수는 단순히 물의 존재 여부가 아니라, 접근성과 활용 가능성을 포함한 개념으로 이해되어야 한다.

또한 산불은 완전 진화 이후에도 재발화 가능성이 존재하기 때문에, 지

속적인 용수 공급이 필요하다. 산림 지역은 건조한 환경이 지속되는 경우가 많으며, 지표면 아래에 남아 있는 열원이 다시 화재로 이어질 가능성이 존재한다. 이러한 특성으로 인해 산불 대응은 단순히 화재를 진압하는 단계에서 종료되는 것이 아니라, 일정 기간 동안 지속적인 관리가 요구된다. 이 과정에서도 진화용수는 핵심적인 역할을 수행한다.

[표 2-1] 10년간 산불발생 현황

구 분	건 수	면 적(ha)
2016	391	378
2017	692	1,480
2018	496	894
2019	653	3,255
2020	620	2,920
2021	349	766
2022	756	24,797
2023	596	4,992
2024	279	132
2025	459	105,099.44
10년평균(2016~2025)	529	14,471.31

출처 : 산림청(2026), 10년간 산불발생 현황(2016년~2025년)

[표 2-1]에서 확인할 수 있듯이 산불은 매년 반복적으로 발생하고 있으며, 특정 연도에는 피해 규모가 급격히 증가하는 경향을 보인다. 특히 대형 산불이 발생한 경우 단일 사건으로도 피해면적이 크게 확대될 수 있으며, 이러한 통계적 특성은 산불 진화용수 확보의 중요성이 단순한 이론적 논의가 아니라, 실제 재난 대응 과정에서 지속적으로 요구되는 요소임

을 보여준다.

산불 진화용수는 단순한 소화 자원이 아니라, 산불 대응 전 과정에서 핵심적인 기능을 수행하는 전략적 자원으로 이해되어야 한다. 특히 초기 대응 단계에서의 신속한 투입은 화세 확산을 억제하고 대응 시간을 확보하는 데 중요한 역할을 수행하며, 확산 억제를 위한 분산적 활용은 산불의 공간적 확대를 제한하는 데 기여한다. 또한 완전 진화 이후 재발화 방지를 위한 지속적인 용수 공급은 장기적인 피해 확대를 방지하는 데 필수적인 요소로 작용한다.

2.2.2 확보 체계

산불 진화용수 확보 체계는 산불 발생 시 필요한 용수를 확보하고 이를 화재 현장에 안정적으로 공급하기 위한 일련의 구조적 시스템을 의미한다. 이는 단순히 수원을 확보하는 수준을 넘어, 취수, 저장, 가압, 이송, 분배에 이르는 전 과정이 유기적으로 연결된 통합적 체계로 이해되어야 한다. 특히 산불은 발생 위치가 산악지형에 집중되는 특성을 가지며, 이러한 지형적 조건은 용수 확보 과정에서 다양한 제약을 발생시키는 구조를 가진다. 대표적으로 접근성 부족, 고저차에 따른 수압 손실, 장거리 이송 시 발생하는 에너지 손실 등이 복합적으로 작용하며, 이는 일반적인 도시 화재 대응과는 다른 구조적 문제를 발생시키는 요인이 된다.

일반적인 도시 화재의 경우 상수도 관망과 소화전이 이미 구축되어 있어 일정 수준 이상의 수압과 수량을 안정적으로 확보할 수 있다. 그러나 산불은 이러한 인프라가 미비한 지역에서 발생하는 경우가 대부분이며, 특히 산림 내부나 산림 인접지역에서는 기존 급수시설이 존재하지 않거나 접근 자체가 어려운 경우가 많다. 이러한 이유로 산불 대응에서는 기존 상수도 체계와는 별도의 용수 확보 체계를 구축할 필요가 있으며, 특히 수원과 화재 현장 간의 연결 구조를 어떻게 구성할 것인가가 핵심적인 과제로 작용한다.

산불 진화용수 확보 체계는 기능적 측면에서 크게 세 단계로 구분할

수 있다. 첫째는 수원을 확보하는 단계이며, 둘째는 확보된 용수를 저장하고 조절하는 단계, 셋째는 이를 현장으로 이송하고 분배하는 단계이다. 이 세 단계는 각각 독립적인 기능을 가지면서도 상호 밀접하게 연계되어 있으며, 어느 하나라도 제대로 작동하지 않을 경우 전체 체계의 효율성이 크게 저하될 수 있다.

먼저 수원 확보 단계에서는 자연수원이 가장 기본적인 자원으로 활용된다. 하천, 계곡, 저수지 등은 비교적 대량의 용수를 확보할 수 있는 장점을 가지지만, 실제 산불 현장에서는 접근성이 가장 큰 제약 요소로 작용한다. 특히 산악지형에서는 도로 접근이 어려운 경우가 많으며, 수원과 화재 지점 간의 거리가 먼 경우에는 용수 이송 자체가 어려워진다. 또한 계절적 요인에 따라 수량이 감소하는 경우도 발생하며, 이러한 상황에서는 수원 자체의 안정성이 확보되지 않는 문제가 발생한다.

이와 같은 문제를 보완하기 위해서는 수원 확보 단계에서부터 접근성을 고려한 체계적 설계가 필요하다. 단순히 수원이 존재하는 위치를 기준으로 하는 것이 아니라, 실제 화재 발생 가능 지역과의 거리, 고저차, 접근 경로 등을 종합적으로 고려하여 수원 활용 가능성을 판단해야 한다. 특히 산림 인접지역과 같이 화재 확산 가능성이 높은 지역에서는 사전에 활용 가능한 수원을 확보하고 이를 체계적으로 관리하는 것이 중요하다.

다음으로 저장 및 조절 단계는 확보된 용수를 안정적으로 활용하기 위한 핵심 과정이다. 저장시설은 일정량의 용수를 확보하여 순간적인 수요 증가에 대응할 수 있도록 하며, 특히 초기 대응 단계에서 매우 중요한 역할을 수행한다. 산불은 발생 초기 짧은 시간 내에 화세가 급격히 확산되는 특성을 가지기 때문에, 이 시점에서 충분한 용수를 확보하지 못할 경우 대응 자체가 어려워질 수 있다. 저장시설이 충분히 확보되어 있을 경우 이러한 초기 대응 수요를 충족할 수 있으며, 반대로 저장시설이 부족할 경우 용수 확보 지연으로 이어질 가능성이 높다.

특히 고지대에 위치한 저장시설은 자연 유하 방식으로 용수를 공급할 수 있다는 점에서 중요한 의미를 가진다. 이는 별도의 에너지 투입 없이도 일정 수준의 수압을 확보할 수 있다는 장점이 있으며, 산악지형에서의 용

수 공급 체계 구축에 있어 효율적인 방법으로 활용될 수 있다. 그러나 고지대 저장시설 역시 초기 구축 비용과 유지관리 문제를 고려해야 하며, 장기적인 운영 측면에서의 안정성 확보가 필요하다.

가압 시스템은 저장시설과 함께 용수 확보 체계에서 핵심적인 역할을 수행한다. 산악지형에서는 고저차로 인해 자연 유하 방식만으로는 충분한 수압을 확보하기 어렵기 때문에, 펌프를 이용한 가압이 필수적으로 요구된다. 특히 장거리 이송 과정에서는 관로 마찰로 인해 수압이 지속적으로 감소하는 현상이 발생하며, 이를 보완하기 위해서는 중간 가압시설의 설치가 필요하다. 이러한 가압 시스템은 기존 상수도 체계에서도 널리 활용되고 있으며, 산불 대응에서도 동일한 원리가 적용될 수 있다(박용균 외, 2015).

또한 전력 공급이 어려운 산악지역에서는 대체 방식의 가압 시스템이 필요하다. 일부 연구에서는 낙차를 이용한 수격펌프 방식이 외부 전력 없이도 일정량의 용수를 상부로 공급할 수 있는 대안으로 제시되고 있으며, 이는 산지 지역에서 활용 가능성이 있는 것으로 나타났다(이수형 외, 2016). 이러한 방식은 기존 전력 기반 시스템의 한계를 보완할 수 있는 보조 수단으로 활용될 수 있다.

이송 단계에서는 확보된 용수를 화재 현장까지 전달하는 과정이 이루어진다. 이 과정에서는 관망 구조와 이송 경로 설계가 중요한 요소로 작용한다. 특히 산불은 넓은 지역에 걸쳐 확산되는 특성을 가지기 때문에, 단일 경로를 통한 공급이 아니라 다지점 분배 구조를 구축하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 단순한 호스 연결 방식이 아닌 체계적인 관망 구조 설계가 요구되며, 분배 지점을 효율적으로 구성하는 것이 중요하다.

또한 이송 과정에서는 공급 거리와 고저차에 따른 효율 저하 문제가 발생할 수 있다. 장거리 이송 시에는 관로 마찰로 인한 에너지 손실이 발생하며, 이는 최종 방수 지점에서의 수압 저하로 이어질 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 중간 가압시설의 설치뿐만 아니라, 관로 직경, 재질, 배치 방식 등을 종합적으로 고려한 설계가 필요하다.

마지막으로 분배 단계에서는 공급된 용수를 실제 화재 대응에 활용하

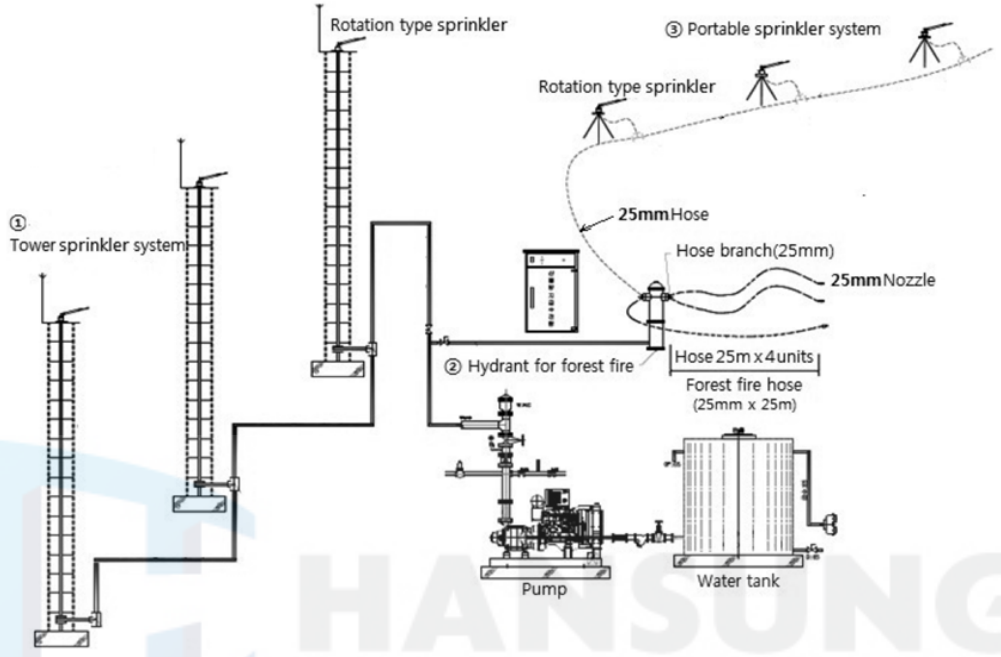
는 과정이 이루어진다. 산불은 특정 지점이 아닌 넓은 지역에 걸쳐 확산되기 때문에, 분배 단계에서는 다지점 방수 체계가 중요하다. 이는 단일 지점에 집중된 방수보다 확산 경로를 차단하는 데 효과적이며, 특히 비화 현상이 발생하는 상황에서는 더욱 중요한 역할을 수행한다.

이와 같은 산불 진화용수 확보 체계는 개별 요소의 단순한 결합이 아니라, 수원, 저장시설, 가압설비, 이송 및 분배 구조가 유기적으로 연결된 통합 시스템으로 구성될 필요가 있다. 특히 산악지형에서는 각 요소 간의 위치 관계와 연결 방식에 따라 용수 공급의 효율성이 크게 달라질 수 있으며, 이에 따라 체계적인 설계와 운영이 요구된다.

이와 관련하여 산불방지 급수시설은 수관수막설비, 산불방지급수전, 이동형 수막설비를 중심으로 구성되며, 펌프와 물탱크를 기반으로 용수를 공급하는 통합 구조를 가진다. 이러한 시스템은 저장된 용수를 가압하여 관로 및 호스를 통해 전달하고, 이를 다양한 형태의 살수설비로 분배함으로써 산불 확산을 저지하거나 진화를 수행할 수 있도록 설계된다.

HANSUNG UNIVERSITY

[그림 2-1] 산불방지 급수시설의 용수 공급 체계



출처 : 김동현 외(2013), 산불방지 급수시설 설치 기준 마련에 관한 연구

[그림2-1]은 산불방지 급수시설의 전체적인 용수 공급 체계를 나타낸 것으로, 물탱크에서 저장된 용수를 펌프를 통해 가압한 후 산불방지급수전과 호스를 통해 이송하고, 최종적으로 수관수막설비 및 이동형 수막설비로 분배되는 구조를 보여준다.

2.2.3 소방용수 공급 방식의 한계

산불 진화에서 소방용수 공급은 화재 확산을 억제하고 초기 대응의 성패를 좌우하는 핵심 요소이다. 특히 산불은 일반적인 도시 화재와 달리 발생 위치의 불확실성과 급격한 확산 특성을 동시에 가지기 때문에, 신속하고 안정적인 용수 공급 체계의 확보가 필수적으로 요구된다. 그러나 현재의 소방용수 공급 체계는 저수지 및 자연수원을 기반으로 한 공급 방식과

항공진화 중심의 대응 구조에 의존하고 있으며, 이러한 방식은 산불 발생 환경과의 구조적 불일치로 인해 다양한 한계를 나타낸다.

우리나라는 산림이 국토의 약 63%를 차지하고 있으며, 산불은 주로 이러한 산림지역에서 발생한다. 산불은 건조한 기후와 강풍 조건에서 급속하게 확산되는 특성을 가지며, 초기 대응이 지연될 경우 단시간 내 대형 산불로 확대될 가능성이 높은 것으로 나타난다. 이러한 특성은 산불 대응에서 초기 용수 공급의 중요성을 더욱 강조하는 요인이며, 동시에 기존 공급 체계의 한계를 드러내는 배경이 된다.

또한 산불은 발생 위치와 시점이 불확실하며 대부분 인위적 요인에 의해 발생하는 것으로 나타나, 사전 계획에 기반한 용수 공급 체계 구축에 구조적인 제약이 존재한다. 이는 소방용수 공급 체계가 특정 지역에 고정된 형태로 구축될 경우 실제 산불 발생 지점과의 공간적 불일치가 발생할 가능성이 높음을 의미한다. 특히 산불은 고지대 및 산림 내부에서 발생하는 경우가 많아 기존 도시형 급수라인과의 연계가 어려우며, 이러한 공간적 불일치는 공급 효율 저하로 이어진다.

산불 발생 지역의 용수 확보 문제는 국내뿐 아니라 해외에서도 주요 과제로 인식되고 있다. Belongia et al.(2023)은 대형 산불 대응 과정에서 안정적인 수자원 확보와 현장 접근성의 중요성을 강조하며, 기존 공급체계의 한계가 초기 대응 지연으로 이어질 수 있음을 지적하였다.

현재의 소방용수 공급 체계는 저수지 및 자연수원을 활용하여 대량의 용수를 확보하고, 이를 지상 또는 항공 수단을 통해 화재 현장으로 이송하는 구조를 가진다. 이러한 구조는 일정 수준의 공급 능력을 확보할 수 있다는 장점을 가지지만, 실제 산불 발생 환경에서는 다양한 물리적 제약으로 인해 실효성이 제한된다.

우선, 저수지 기반 공급 방식은 산불 발생 지점과의 거리 및 고도 차이에 의해 큰 영향을 받는다. 산불은 산림 깊숙한 고지대에서 발생하는 경우가 많지만, 저수지는 대부분 저지대에 위치하고 있어 직접적인 용수 활용이 어렵다. 이로 인해 용수를 현장까지 이송하기 위한 추가적인 과정이 필요하며, 이는 초기 대응 시간을 지연시키는 요인으로 작용한다.

특히 산악지형에서는 도로 및 접근로가 제한되어 있어 소방차 및 장비의 진입이 어려운 경우가 많으며, 이는 지상 기반 용수 공급의 실효성을 저하시킨다. 실제 연구에서는 지형적 난접근성으로 인해 소방 출동 지연 및 대응 한계가 발생하는 것으로 나타났다(서린 외, 2025). 이러한 접근성 문제는 초기 대응 지연으로 이어지며, 결과적으로 산불 확산을 가속화시키는 요인으로 작용한다.

또한 상수관망을 통한 급수 체계는 산악지형에서 구조적 한계를 가진다. 관망 운영 연구에 따르면 지형 조건에 따라 수압 손실이 발생하고 안정적인 급수 유지가 어려운 것으로 나타났다(이혜승, 2013). 특히 고지대에서는 수압 확보를 위해 추가적인 가압 설비가 필요하며, 이는 설비 비용 증가와 운영 복잡성을 초래한다. 이러한 문제는 소방용수 공급에서도 동일하게 나타나며, 충분한 수량 확보를 어렵게 만드는 요인으로 작용한다.

더 나아가 기존 소방설비 기준은 산불 환경을 충분히 반영하지 못하는 한계를 가진다. 산불방지용 급수시설 연구에서는 옥외소화전 기준이 산림 지역에서 요구되는 장거리 이송 조건을 반영하지 못하여 실제 활용성이 저하된다는 점이 지적되고 있다(김동현 외, 2013). 이는 제도적 기준과 실제 산불 대응 환경 간의 괴리를 보여주는 사례로, 공급 체계 전반의 구조적 한계를 설명하는 중요한 근거가 된다.

이와 같은 지상 기반 공급 체계의 한계를 보완하기 위해 항공진화 방식이 활용되고 있다. 항공진화는 헬기를 이용하여 수원에서 용수를 취수한 후 화재 현장에 직접 투하하는 방식으로, 접근이 어려운 지역에서도 신속한 대응이 가능하다는 장점을 가진다. 실제로 공중진화는 지상진화 자원을 보완하며 초기 대응에 중요한 역할을 수행한다.

그러나 항공진화 방식 역시 구조적인 한계를 내포하고 있다. 가장 큰 한계는 운용 시간의 제한이다. 현재 산불진화 헬기는 대부분 주간에만 운용되고 있으며, 야간에는 항공안전 문제로 인해 투입이 제한된다. 이로 인해 산불이 야간까지 지속될 경우 대응 능력이 급격히 저하되며, 지상 인력 중심의 대응으로 전환된다.

또한 항공진화는 항공안전과 밀접하게 연관되어 있다. 헬기 운용은 저

고도 비행과 시계 제한 조건에서 이루어지며, 특히 야간에는 조종사의 시각 착각 및 통제 상실과 같은 위험이 증가하는 것으로 보고되고 있다(최연철, 2014). 이러한 위험성은 항공진화의 활용 범위를 제한하는 주요 요인으로 작용한다.

항공진화는 지속적인 용수 공급 측면에서도 한계를 가진다. 헬기는 제한된 물탱크 용량을 가지고 있어 반복적인 취수와 투하가 필요하며, 이는 시간 지연과 효율 저하로 이어진다. 특히 산불이 대형화되거나 동시다발적으로 발생할 경우 항공자원의 분산으로 인해 대응 효과가 감소할 수 있다.

더불어 항공진화는 기상 조건에 크게 의존한다. 강풍, 연기, 시계 제한 등은 항공기 운용을 제한하는 주요 요인이며, 이는 안정적인 소방용수 공급을 어렵게 만드는 요인으로 작용한다. 특히 산불은 기상 조건과 밀접하게 연관되어 발생하기 때문에, 항공진화의 제한은 대응 체계 전반의 취약성으로 이어진다.

[그림 2-2] 2019 호주 블랙 서머 산불



출처 : 중앙일보(2022), 호주 2020년 대형 산불 기후변화 탓이냐, 벌목 탓이냐 질긴 논쟁

[그림2-2]는 대형 산불 확산 사례(호주 블랙서머 산불, 2019-2020)이다. 강풍과 고온·건조한 기상 조건으로 화세가 급격히 확대되며, 연기 확산에 따른 시계 제한으로 항공진화 운용이 제한되고, 산림 내부 접근성 부족으로 지상 대응이 어려운 상황을 나타낸다.

이와 같은 대형 산불 상황에서는 산림 내부의 지형적 특성으로 인해 소방 인력 및 장비의 접근이 제한되는 동시에, 강풍 및 연기 확산과 같은 기상 조건으로 인해 항공진화 자원의 운용 또한 제약을 받는 복합적인 대응 한계가 나타난다. 이러한 조건에서는 적극적인 진화 활동보다는 확산 억제 및 방어 중심의 대응이 이루어지는 경우가 많으며, 이는 기존 소방용수 공급 체계가 산불 발생 환경에 충분히 대응하지 못하는 구조적 한계를 보여준다.

2.3 관련 법·제도

산불 대응과 소방용수 확보 체계는 단순한 현장 대응을 넘어 다양한 법·제도적 기반 위에서 운영된다. 특히 산불은 산림, 소방, 재난관리, 수자원 등 여러 분야가 복합적으로 연계되는 재난 유형으로, 관련 법령 또한 다층적인 구조를 형성하고 있다. 이러한 법령들은 각각 산불 예방 및 대응 체계 구축, 소방 활동 수행, 용수 확보 및 공급, 기관 간 협력 등을 규정하고 있으며, 이들 간의 유기적 연계를 통해 실제 재난 대응 체계가 형성된다.

산불 대응 및 소방용수 확보 체계는 단일 법률에 의해 규정되기보다는 산림, 소방, 수도 및 재난관리 분야의 다양한 법령과 행정지침에 의해 분산적으로 구성되어 있다. 이러한 법·제도적 구조는 산불 예방 및 진화 활동, 소방용수 설비 설치 기준, 물 공급 인프라 운영, 재난 대응 협력 체계 등을 각각 규정하고 있으며, 이들 요소의 결합을 통해 실제 산불 대응 체계가 형성된다. 그러나 각 법령은 개별 기능 중심으로 설계되어 있어, 산불과 같이 고지대 및 산림지역에서 발생하는 특수한 재난 환경에 대응하기 위한 통합적 소방용수 확보 체계를 직접적으로 규정하고 있지는 않다.

먼저「산림보호법」은 산불의 예방 및 진화에 관한 기본 법률로서 국가 및 지방자치단체의 책무와 산불방지대책의 수립, 산불감시 및 진화 활동의 수행 근거를 규정하고 있다. 해당 법은 산불 대응의 조직과 운영 체계를 제시한다는 점에서 중요한 역할을 수행하나, 소방용수 확보 및 공급 방식에 관한 구체적인 기준은 직접적으로 제시하고 있지 않다.

「소방기본법」은 화재의 예방 및 진압을 위한 소방기관의 설치 및 운영, 소방 활동의 수행에 관한 기본 사항을 규정하고 있으며, 산불 역시 소방 활동의 대상에 포함된다. 그러나 해당 법은 소방 활동의 주체와 권한을 중심으로 구성되어 있어, 소방용수 확보 및 공급 체계에 관한 세부적인 기준을 직접적으로 규정하는 법률은 아니다.

소방용수와 가장 직접적으로 관련되는 법령은 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률」이다. 이 법은 소화전, 저수조 등 소방용수설비의 설치 및 유지관리 기준을 규정하고 있으며, 소방용수 확보에 관한 직접적인 법적 근거를 제공한다. 다만 해당 법에서 제시하는 기준은 건축물 및 도시지역을 중심으로 설정되어 있어, 산림지역과 같이 장거리 용수 이송이나 고지대 급수가 필요한 환경에 대한 별도의 기준은 명확하게 제시되어 있지 않다.

한편 「수도법」은 상수도 시설의 설치 및 운영을 통해 안정적인 물 공급을 유지하도록 규정하고 있으며, 소방용수의 주요 공급원이 되는 관망 기반 급수 체계의 법적 근거를 제공한다. 그러나 수도법 역시 생활용수 공급을 중심으로 설계된 법률로서, 산불과 같이 단시간 내 대량의 용수를 필요로 하는 상황을 전제로 하고 있지 않기 때문에 고지대 및 산림지역에서의 소방용수 공급에는 구조적 한계를 가질 수 있다.

또한 「재난 및 안전관리 기본법」은 재난 대응을 위한 국가 및 지방자치단체의 협력 체계와 자원 동원 근거를 규정하고 있으나, 소방용수 확보를 직접적으로 규정하는 법률은 아니며, 재난 상황에서 필요한 자원을 동원할 수 있는 간접적인 기반을 제공하는 역할을 수행한다.

이와 같이 법률 수준에서는 소방용수 설비 기준, 물 공급 인프라, 대응 조직 및 협력 체계가 각각 분산적으로 규정되어 있으며, 산불과 같은 고지

대 재난 환경을 고려한 통합적 소방용수 공급 기준은 명확하게 제시되어 있지 않다.

그러나 행정지침 수준에서는 산림지역의 특수성을 반영한 소방용수 공급 기준이 제시되고 있다. 산림청의 「산불소화시설 설치 및 운영 관리 지침」에서는 산불소화시설의 수원 확보, 수조 용량, 가압송수장치, 배관 및 급수전 등의 설치 기준을 구체적으로 규정하고 있다. 예를 들어, 수관수막 설비 및 산불진화용 급수전이 일정 시간 이상 작동할 수 있도록 수조 용량을 확보하도록 하고 있으며, 가압송수장치를 통해 말단 노즐에서 일정 수준 이상의 토출압을 유지하도록 규정하고 있다. 또한 수원보다 높은 위치로 물을 공급해야 하는 경우를 고려하여 펌프 기반의 가압송수장치 설치 기준을 제시하고 있어, 고지대 급수 환경을 전제로 한 설계 기준이 포함되어 있음을 확인할 수 있다.

이는 산불 대응에 필요한 소방용수 공급 기준이 법률이 아닌 행정지침 수준에서 운영되고 있음을 의미한다. 즉, 고지대 및 산림지역의 특수한 급수 환경은 법률에서 직접적으로 규정되기보다는 실무 지침을 통해 반영되고 있으며, 이러한 구조는 법적 강제력 및 적용 범위 측면에서 한계를 가질 수 있다.

종합적으로 볼 때, 현행 법·제도 체계는 소방용수 확보와 관련된 요소를 기능별로 분산하여 규정하고 있으며, 산불 대응 환경에 적합한 통합적 공급 기준은 지침 수준에서 부분적으로 보완되고 있는 구조를 가진다. 향후에는 고지대 급수 환경을 포함한 산불 대응 특성을 반영하여 법률 수준의 체계적 기준 정립이 필요함을 시사한다.

2.3.1 공공·군사시설 인프라의 민간 공유 및 협력 근거

산불 대응 과정에서 소방용수 확보의 효율성을 높이기 위한 방안으로 공공 및 군사시설 인프라의 활용 가능성이 중요하게 논의되고 있다. 특히 고지대에 위치한 공공시설 및 군사시설은 자체 급수 설비와 물 저장시설을 보유하고 있는 경우가 많아, 이를 소방용수로 연계할 경우 산불 대응의

공간적 한계를 보완할 수 있는 잠재적 자원으로 활용될 수 있다. 이러한 인프라의 활용은 기존 시설을 기반으로 한 자원 연계라는 점에서 별도의 대규모 설비 구축 없이도 대응 효율을 향상시킬 수 있는 장점을 가진다.

공공시설 인프라의 활용과 관련하여 「공유재산 및 물품 관리법」은 지방자치단체가 보유한 재산을 공공 목적에 따라 활용할 수 있는 근거를 제공하고 있다. 이는 지방자치단체가 보유한 저수지, 급수시설, 공공건축물 등의 인프라를 재난 대응 자원으로 연계할 수 있는 법적 기반으로 해석될 수 있으며, 특히 산불 발생 시 인근 공공시설을 활용한 용수 확보 체계 구축에 적용될 수 있다.

또한 「재난 및 안전관리 기본법」은 재난 발생 시 필요한 인력, 장비 및 시설을 동원하고 기관 간 협력을 통해 대응하도록 규정하고 있다. 이 법은 공공시설뿐만 아니라 다양한 자원의 활용을 전제로 하고 있어, 산불 대응 과정에서 공공 인프라를 소방용수 공급 체계로 연계하는 데 있어 제도적 근거로 활용될 수 있다. 특히 다수 기관이 참여하는 재난 대응 체계 내에서 공공시설을 공동 활용하는 방식은 자원 활용의 효율성을 높이는 방안으로 적용 가능하다.

군사시설의 경우 「군사기지 및 군사시설 보호법」에 따라 엄격한 보호와 관리가 이루어지고 있으나, 재난 상황에서는 관계 기관 간 협의를 통해 제한적인 범위 내에서 협력이 이루어질 수 있다. 이는 군사시설이 보유한 급수 설비 및 물 저장시설을 산불 대응에 활용할 수 있는 가능성을 의미하며, 특히 고지대에 위치한 시설의 특성을 고려할 때 산림지역 소방용수 공급에 있어 효과적인 보완 수단으로 활용될 수 있다. 이러한 협력은 사전 협의 체계와 운영 기준을 통해 보다 안정적으로 적용될 수 있다.

이와 같은 법적 기반을 바탕으로 공공 및 군사시설 급수설비는 산불 대응 과정에서 소방용수 확보를 위한 보완 자원으로 활용될 수 있으며, 특히 기존 급수설비를 연계하는 방식은 비용 효율성과 신속성 측면에서 장점을 가진다.

2.3.2 공공·군사시설 인프라의 민간 공유 및 협력 사례

[그림 2-3] 한국농어촌공사 전국 저수지 소방 헬기 핵심 취수원 가동



출처 : 뉴시스(2026), 농어촌공사, 전국 저수지 활용, 산불 '골든타임'지킨다

공공 및 군사시설 인프라의 민간 공유 및 협력은 재난 대응 과정에서 기존 자원을 효율적으로 활용할 수 있는 현실적인 전략으로 평가된다. 본 연구에서의 인프라는 단순한 시설물이 아니라, 소방용수 공급에 활용 가능한 저수지, 상수도 관망, 급수 설비, 저장시설 등 물 공급 기능을 수행하는 기반 시스템을 의미한다. 이러한 인프라는 평상시에는 생활용수 또는 농업용수 공급 기능을 수행하지만, 재난 발생 시에는 소방용수 공급 체계로 전환되어 활용될 수 있다는 점에서 중요한 의미를 가진다.

대표적인 공공 인프라 공유 사례로는 한국농어촌공사의 저수지 활용 사례를 들 수 있다. 농어촌공사는 산림청과 협력하여 전국 저수지 정보를 실시간으로 공유하고 있으며, 산불 발생 시 이를 소방용수 취수원으로 활용할 수 있는 체계를 구축하고 있다. 특히 경북·경남 지역 대형 산불 당시 25개 저수지를 개방하여 약 146만 톤 이상의 소방용수를 공급하였으며,

이는 산불 확산 억제에 중요한 역할을 한 것으로 평가된다. 이 사례는 농업용수 인프라가 재난 상황에서 소방용수 공급 체계로 전환되어 활용될 수 있음을 보여주는 대표적인 사례이다.

또한 해당 사례에서 주목할 점은 단순한 시설 활용이 아니라 기관 간 협력 구조를 기반으로 운영된다는 점이다. 농어촌공사와 산림청은 사전에 업무협약을 체결하고 저수지 위치 및 수량 정보를 공유함으로써, 산불 발생 시 헬기가 가장 가까운 취수원을 즉시 활용할 수 있도록 하고 있다. 이는 공공 인프라가 개별 기관의 자산이 아니라 재난 대응을 위한 공동 자원으로 활용되고 있음을 보여주며, 인프라 공유와 협력이 실제 대응 체계로 작동하고 있음을 의미한다.

이와 같은 공공 인프라 활용 구조는 군사시설 인프라에도 적용 가능한 특성을 가진다. 군부대는 고지대에 위치한 경우가 많으며, 자체 급수 설비와 물 저장시설을 보유하고 있다는 점에서 산불 대응에 활용 가능한 잠재적 인프라로 볼 수 있다. 특히 공공 저수지 사례와 같이 기존 인프라를 재난 대응 자원으로 전환하여 활용하는 방식은 군사시설에서도 동일하게 적용 가능한 구조를 가진다.

종합적으로 볼 때, 공공 인프라는 이미 협력 체계를 통해 민간 및 재난 대응에 활용되고 있으며, 이는 기존 시설을 기반으로 한 소방용수 확보 방식이 현실적으로 적용 가능함을 보여준다. 이러한 사례는 군사시설 급수 설비 역시 동일한 방식으로 활용될 수 있는 가능성을 가지며, 특히 고지대 급수 설비를 활용한 소방용수 공급 체계 구축에 있어 중요한 시사점을 제공한다.

2.4 선행연구

산불과 관련된 선행연구는 산불의 발생 특성과 확산 요인을 중심으로 다양하게 이루어져 왔다. 산림 환경을 분석한 연구에서는 우리나라 산림이 침엽수 비율이 높고 건조한 기후 조건이 지속될 경우 산불 발생 위험이 크게 증가한다는 점을 제시하였다(양철근, 2016). 이러한 연구는 산불

이 단순히 점화 요인에 의해 발생하는 것이 아니라, 기후와 식생 조건이 복합적으로 작용하는 재난임을 보여준다.

산불 대응 방식과 관련된 연구에서는 헬기를 활용한 공중진화가 주요 대응 수단으로 활용되고 있음을 확인할 수 있다. 헬기를 이용한 산불 공중진화 연구에서는 초기 대응 단계에서 공중진화가 지상 대응을 보완하는 핵심 수단으로 작용하며, 실제 산불 진화에서 높은 비율로 활용되고 있다는 점을 제시하였다(배택훈, 2014). 다만 해당 연구에서도 공중진화는 지형과 기상 조건에 따라 효율이 달라질 수 있으며, 모든 상황에서 적용 가능한 방식은 아니라는 점이 함께 언급되고 있다.

야간 산불 대응과 관련된 연구에서는 공중진화의 한계가 보다 명확하게 나타난다. 야간 헬기 운용과 관련된 연구에서는 저고도 비행 시 조종사 착각 등으로 인해 사고 위험이 증가하며, 이로 인해 야간 운항이 제한되는 구조적 문제가 존재함을 지적하였다(최연철, 2014). 또한 야간 산불 대응 체계를 분석한 연구에서는 현재 산불 진화가 주간 중심으로 운영되고 있으며, 야간에는 대응 공백이 발생할 수 있다는 점을 제시하였다. 이러한 결과는 공중진화 중심 대응체계의 한계를 보여주는 사례로 볼 수 있다.

소방용수 확보와 관련된 연구에서는 실제 현장에서의 운용 문제를 중심으로 분석이 이루어지고 있다. 연결송수관 설비를 활용한 소화용수 공급 연구에서는 설비 자체는 구축되어 있으나 송수구 위치 확인이 어렵거나 접근성이 낮아 실제 화재 대응 시 활용이 제한되는 문제가 발생한다는 점을 지적하였다(장경남 외, 2022). 이는 설비 구축만으로는 충분하지 않으며, 실제 운용성을 고려한 체계가 필요함을 보여준다.

급수설비와 관련된 연구에서는 수압과 수량 확보 문제가 주요하게 다루어진다. 분산형 관망과 고가수조 시스템을 분석한 연구에서는 고지대 지역에서 안정적인 급수를 위해서는 충분한 수압 확보가 필요하며, 지형적 조건에 따라 급수 효율이 크게 달라질 수 있음을 제시하였다(박용균 외, 2015). 특히 고저차가 큰 지역에서는 수두 손실이 발생하여 안정적인 용수 공급이 어려운 것으로 나타났다.

가압급수 시스템과 관련된 연구에서는 설계 기준의 부재와 기술적 한

계가 주요 문제로 지적된다. 해당 연구에서는 건물 규모와 용도에 따라 급수 시스템이 다르게 설계되어야 함에도 불구하고, 표준화된 기준이 부족하여 비효율적인 설계가 이루어지는 경우가 많다는 점을 제시하였다(한국건설기술연구원, 1995). 이는 급수 시스템이 상황별로 최적화되지 못하고 있음을 보여주는 사례로 볼 수 있다.

송·배수 시스템 연구에서는 상수도 공급이 펌프와 저장시설을 중심으로 이루어지며, 특히 산지 지역에서는 에너지 소비와 운영 효율 문제가 동시에 발생한다는 점이 제시되었다(최정욱 외, 2018). 이러한 구조는 고지대 급수 시스템이 단순한 물 공급 문제를 넘어 비용과 운영 문제까지 포함하고 있음을 보여준다.

대체 급수 방식에 대한 연구도 일부 진행되었다. 수격펌프를 활용한 급수 연구에서는 외부 동력 없이도 일정한 수압을 확보하여 고지대에 물을 공급할 수 있는 가능성이 제시되었다(이수형 외, 2016). 이는 전력 공급이 어려운 지역에서도 급수 시스템을 구축할 수 있는 대안으로 제시되지만, 적용 범위에는 한계가 존재한다.

종합적으로 보면, 선행연구들은 산불 대응체계, 공중진화의 역할과 한계, 소방용수 확보 문제, 그리고 급수 인프라의 구조적 특성을 다양한 관점에서 분석하고 있다. 다만 대부분의 연구는 개별 요소에 대한 분석에 집중되어 있으며, 기존 급수 인프라를 산불 대응체계와 연계하여 활용하는 방안에 대한 연구는 상대적으로 부족한 것으로 나타난다.

따라서 본 연구는 이러한 선행연구를 바탕으로 고지대 공공시설의 가압 급수설비를 소방용수 공급체계로 활용하는 방안을 제시하고자 한다. 이는 기존 인프라를 활용하여 산불 대응의 효율성을 향상시키는 접근으로, 특히 산악지역에서의 초기 대응력 확보에 기여할 수 있는 가능성을 가진다.

Ⅲ. 산악지역 공공시설 소방용수 활용 실태 및 한계

3.1 고지대 공공시설 급수설비 현황

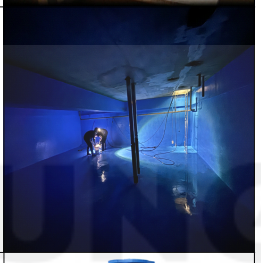
3.1.1 시설 유형 및 수자원 확보구조

산악지역에 위치한 공공시설의 급수설비는 지형적 특성으로 인해 일반 도시지역과는 상이한 구조를 형성한다. 특히 고지대에 설치된 시설은 상수도 본관과의 고도차로 인해 자연유하 방식만으로는 안정적인 급수 확보가 어려우며, 이에 따라 가압급수설비와 저장시설을 결합한 형태의 급수체계를 운영하는 것이 일반적이다. 이러한 구조는 단순한 생활용수 공급 기능을 넘어 일정 수준 이상의 수압과 저장능력을 동시에 확보하고 있다는 점에서 특징을 가진다.

국내 상수도 시스템 역시 지형적 특성을 반영하여 저지대에서 취수된 용수를 펌프를 통해 고지대 저장시설로 이송한 후 분배하는 방식으로 운영되고 있으며, 이는 고지대 급수체계의 기본적인 구조로 이해할 수 있다(최정욱 외, 2018). 이러한 구조는 고지대 시설이 단순한 수용자가 아니라, 일정량의 용수를 저장하고 이를 재분배하는 기능을 수행하는 중간 거점 역할을 한다는 점에서 중요한 의미를 가진다.

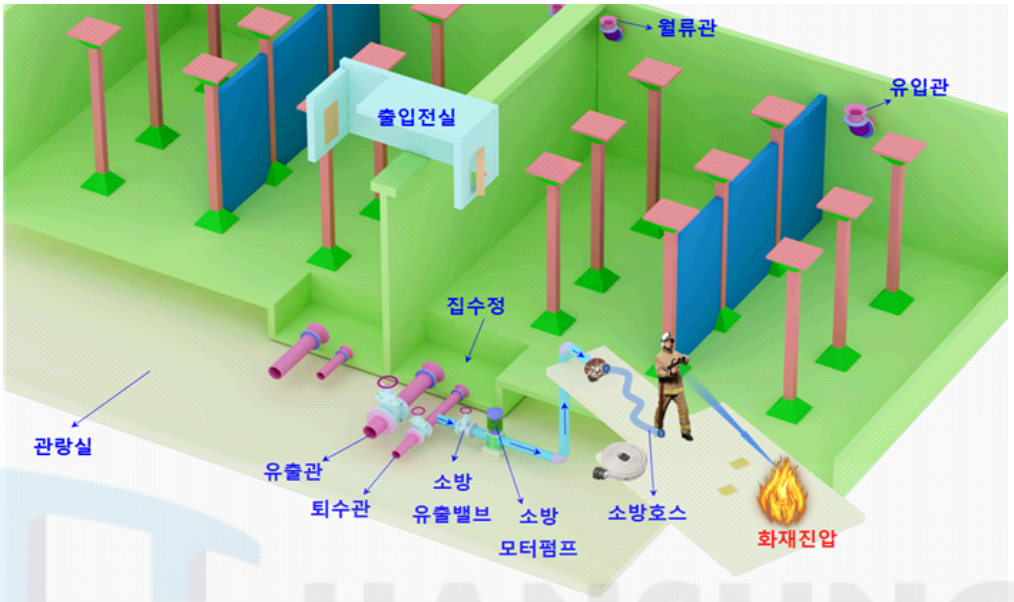
고지대 공공시설의 급수설비는 일반적으로 물탱크, 배관망, 가압설비로 구성된다. 이 중 물탱크는 외부에서 공급된 용수를 저장하는 핵심 시설로, 급수 안정성을 확보하는 데 중요한 역할을 한다. 특히 산악지역에서는 외부 급수 공급이 중단되거나 지연될 가능성이 존재하기 때문에 일정 규모 이상의 저장시설을 통해 비상 상황에 대비하는 구조가 형성되어 있다. 이러한 저장시설은 단순히 물을 보관하는 기능을 넘어, 수요 변동을 완충하고 일정 시간 동안 독립적인 급수 공급이 가능하도록 하는 기능을 수행한다.

[표 3-1] 물탱크 종류 및 특징

탱 크 명	특 징	장 점	단 점	사 진
STS 물탱크	스테인리스, 원통형 또는 패널형 구조, 내식성 우수	위생성 높음, 내구성 우수, 장기 사용 가능	초기 설치비 높음	
SMC 물탱크	FRP 계열 패널 조립식, 대용량 구성 가능	시공 용이, 경량, 확장성 우수	장기 내구성 금속 대비 낮음	
콘크리트 물탱크	철근콘크리트 구조, 지하·반지하 설치	대용량 저장 가능, 구조 안정성 높음	누수 및 유지관리 어려움	
PE 물탱크	합성수지 일체형, 소형 중심	설치 간편, 비용 저렴	내구성 낮음, 대용량 한계	

[표 3-1]은 공공시설에서 활용되는 주요 물탱크의 종류와 특징을 정리한 것이다. 물탱크는 재질과 구조에 따라 저장용량, 내구성, 유지관리 측면의 차이가 있으며, 설치 환경에 따라 적합한 탱크가 달라진다. 일반적으로 스테인리스 물탱크는 위생성과 내식성이 우수하여 생활용수 공급이 중요한 시설에 적합하며, FRP 물탱크는 경량성과 시공성이 우수하여 설치 환경이 제한되거나 증설이 필요한 시설에서 활용도가 높다. 또한 콘크리트 저수조는 대용량 저장이 가능하여 장기간 안정적인 용수 확보가 필요한 시설에 적합한 특징이 있다.

[그림 3-1] 물탱크 설치·활용 사례



출처 : 서울아리수본부(2025), 서울시, 산 속 배수지를 활용하여 산불 진화를 위한 용수 확보[1)]

[그림 3-1]과 같이 산악지역 공공시설에는 일정 용량 이상의 물탱크가 설치되어 있으며, 이는 외부에서 공급된 용수를 저장하는 동시에 내부 급수망으로 안정적으로 공급하는 역할을 수행한다. [표 3-1]과 같은 물탱크는 급수 시스템에서 가장 기초적인 저장시설로서, 평시에는 생활용수 공급을 담당하지만, 비상 상황에서는 즉각적인 용수 활용이 가능한 구조를 가진다. 특히 일정 수위 이상의 용수를 항상 유지하는 방식으로 운영되는 경우가 많아, 단시간 내 다량의 용수 사용이 가능하다는 특징을 가진다.

배관망은 저장된 용수를 실제 사용 지점까지 이송하는 역할을 수행하며, 급수 시스템의 물리적 기반을 형성하는 요소이다. 산악지역의 경우 배관망은 고저차와 장거리 이송이라는 특성을 동시에 가지기 때문에 일반 평지 지역보다 설계 조건이 복잡하다. 특히 관로의 길이가 길고 경사가 큰

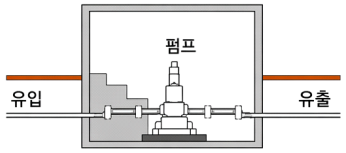
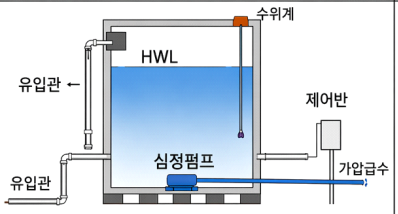
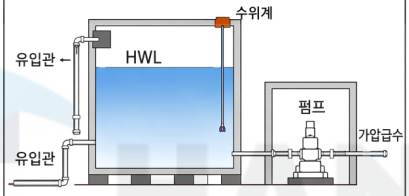
1) 서울시는 산악지역 배수지에 소방시설(옥외소화전, 소방펌프 등)을 설치하여 산불 발생 시 인근에서 즉시 용수를 확보할 수 있는 대응체계를 구축하고 있다. 이는 고지대 저장시설을 활용한 산불 초기 대응 강화 사례로 평가된다.

경우 수두 손실이 크게 발생할 수 있으며, 이는 급수 압력 저하 및 공급 불균형으로 이어질 수 있다. 실제로 산지 지형에서는 송수 과정에서 발생하는 수두 손실로 인해 안정적인 수압 유지가 어려운 사례가 보고되고 있으며, 이를 보완하기 위한 설계적 접근이 필요하다(박용균 외, 2015).

또한 배관망은 외부 환경에 직접 노출되는 경우가 많아 동파, 파손, 누수 등의 위험이 존재하며, 특히 겨울철 저온 환경에서는 배관 동결로 인한 급수 중단 가능성이 발생할 수 있다. 이러한 특성은 산악지역 급수설비가 단순한 공급 구조를 넘어, 지속적인 유지관리와 보수 체계가 요구되는 인프라임을 보여준다. 따라서 배관의 안정적인 운영을 위해서는 보온, 매설 깊이 확보, 정기 점검 등 유지관리 측면의 대응이 필수적으로 요구된다.

산악지역 배관망에서 나타나는 또 다른 중요한 문제는 고도차 및 장거리 이송에 따른 수두 손실로 인한 수압 저하이다. 이러한 구조적 문제는 단순한 배관 개선만으로 해결되기 어려우며, 이를 보완하기 위한 설비로 가압급수설비가 적용된다. 가압설비는 펌프를 이용하여 부족한 수압을 보완하고, 고지대까지 용수를 안정적으로 공급하는 역할을 수행한다. 특히 고지대 공공시설의 경우 일정 수준 이상의 수압 확보를 전제로 설계된 급수관을 보유하고 있으며, 이는 외부 공급 없이도 일정 범위 내에서 용수 활용이 가능하다는 점을 의미한다. 즉, 기존 급수설비 자체가 일정 수준의 압력 기반을 형성하고 있다고 볼 수 있다.

[그림 3-2] 펌프 가압방식 비교

구 분	설치유형	비 고
직결 가압식 부스터 펌프 (입축다단 펌프)		• (양정) 200m 이내에 적합 • 별도 수조 불필요
흡수정 가압식 심정 펌프		• (양정) 400m 까지 가능 • (장점) 설치가 간단, 공사비 저렴 • (단점) 점검불편, 펌프모터 온도상승 방지대책 필요
부스터 펌프 (입축다단 펌프)		• (양정) 200m 이내에 적합 • (장점) 점검용이, 운전이 관리, 설비안정성 우수 • (단점) 별도부지 소요, 공사비가 고가

출처 : 관련 자료 바탕으로 재구성

[그림 3-2]는 고지대 급수에서 활용될 수 있는 펌프 가압방식의 차이를 보여준다. 산악지역에서는 고저차로 인해 자연압만으로는 안정적인 급수가 어렵기 때문에, 펌프를 이용한 가압 방식이 필수적으로 요구된다. 특히 산불 대응 상황에서는 짧은 시간 안에 일정 수압 이상의 용수를 공급해야 하므로, 펌프의 위치, 용량, 제어방식은 초기 대응력과 직접적으로 연결된다. 따라서 펌프 가압방식은 단순한 설비 구조가 아니라, 고지대 공공시설을 소방용수 공급자원으로 활용하기 위한 핵심 기술 조건으로 볼 수 있다.

가압급수설비는 물탱크와 배관망 사이에서 압력을 형성하는 핵심 역할을 수행하며, 펌프를 통해 용수를 일정 압력 이상으로 가압하여 공급한다. 이 과정에서 가압설비는 단순히 물을 이송하는 기능을 넘어, 필요한 압력과 유량을 동시에 제어하는 역할을 수행한다. 기존 연구에서도 가압급수 시스템은 건물의 용도 및 규모에 따라 적절한 급수 공급을 가능하게 하는

핵심 설비로 제시되고 있으며, 이를 통해 안정적인 급수 운영이 가능하다.

이러한 급수설비는 전력 의존성이 높은 구조적 특성을 가진다. 펌프를 통한 가압 방식은 지속적인 전력 공급을 전제로 운영되기 때문에, 전력 공급이 중단될 경우 급수 기능이 즉시 저하될 수 있다. 또한 설비 고장 발생 시 즉각적인 대응이 어려운 산악지역 특성상 예비설비 확보와 정기적인 유지관리의 중요성이 더욱 강조된다. 이러한 요소는 급수설비의 안정성을 유지하기 위한 필수 조건으로 작용한다.

종합적으로 볼 때, 고지대 공공시설의 급수설비는 물탱크를 중심으로 한 저장 구조, 배관망을 통한 이송 구조, 가압설비를 통한 압력 확보 구조가 결합된 복합 시스템으로 구성된다. 이러한 구조는 단순한 생활용수 공급을 넘어 일정 수준 이상의 용수 저장과 압력 확보가 가능한 인프라로 기능하며, 향후 재난 대응 시 활용 가능성에 대한 검토가 필요한 대상이라 할 수 있다.

3.2 부처 간 재난 대응 협력 실태

산불은 기상조건, 지형, 식생 구조 등 다양한 요인이 복합적으로 작용하여 발생하는 대표적인 자연재난으로, 발생 이후 짧은 시간 내에 대형화될 가능성이 높다는 특징을 가진다. 특히 최근 기후변화로 인해 건조일수 증가와 강풍 발생 빈도가 높아지면서 산불의 발생 규모와 피해 범위가 점차 확대되고 있으며, 이는 기존 대응체계의 한계를 드러내는 주요 요인으로 작용하고 있다. 이러한 특성으로 인해 산불 대응은 단일 기관 중심의 대응이 아닌, 다수 기관 간 협력체계를 기반으로 이루어질 수밖에 없다.

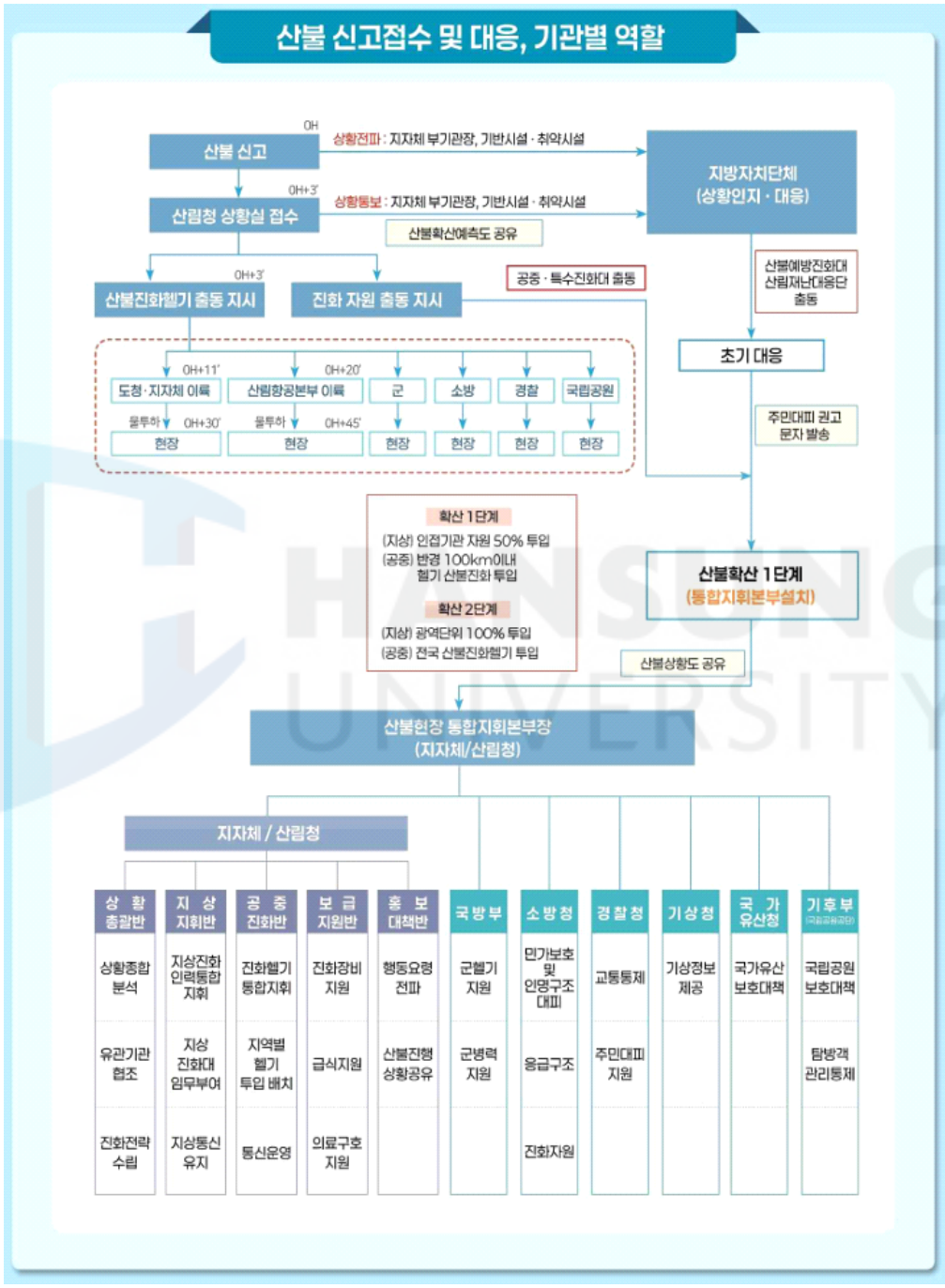
우리나라의 산불 대응체계는 산림청을 중심으로 구성되며, 지방자치단체, 소방기관, 경찰, 공공기관 및 군 등이 참여하는 다기관 협력 구조를 기반으로 운영되고 있다.

산림청은 산불 진화의 총괄 지휘 기능을 수행하며, 상황실 운영을 통해 산불 발생 정보를 수집·분석하고 항공 및 지상 진화 자원을 배분한다. 지방자치단체는 주민 대피 및 행정 지원, 장비 동원 등의 역할을 담당하고,

소방기관은 민가 보호 및 인명 구조를 중심으로 현장 대응을 수행한다. 경찰은 교통 통제와 현장 질서 유지 기능을 수행하며, 군과 공공시설은 보유 자원을 활용하여 보조적 지원 역할을 수행한다.

HANSUNG UNIVERSITY

[그림 3-3] 산불 신고접수 및 대응, 기관별 역할



출처 : 산림청 (2025), 산불 종합대책

[그림 3-3]와 같은 협력체계는 형식적으로는 비교적 명확하게 구축되어 있으나, 실제 운영 과정에서는 협력의 수준에 따라 대응 효과가 크게 달라지는 특징을 보인다. 특히 산불은 초기 대응이 지연될 경우 급격한 확산으로 이어지기 때문에, 기관 간 협력의 신속성과 효율성이 대응 성과를 결정짓는 핵심 요소로 작용한다. 산불 대응에서 유관기관 간 협력 수준이 대응 효과에 직접적인 영향을 미친다고 분석하며, 통합적 대응체계의 중요성을 강조하였다(이정일, 2024).

그러나 이러한 협력체계는 구조적으로 여러 한계를 동시에 내포하고 있다. 가장 대표적인 문제는 지휘체계의 이원화이다. 현재 산불 대응은 산림청 중심의 체계와 소방 중심의 대응 기능이 병존하는 구조를 가지고 있으며, 이로 인해 현장에서는 지휘권 혼선이 발생할 가능성이 존재한다. 우리나라 산불 대응체계의 문제점으로 “기관 간 기능이 분산되어 있어 일관된 지휘 및 통제에 한계가 존재한다”고 지적하였다(양철근, 2017). 이러한 지적은 단순한 조직 문제를 넘어, 실제 대응 과정에서 자원 배분과 의사결정 속도에 영향을 미치는 핵심적인 문제로 이해할 필요가 있다.

[표 3-2] 산불대응 단계별 발령기준

구분	초기대응	확 산 대 응		
대응 단계	-	산불 1단계	산불 2단계	산불 3단계
지휘권자	시장·군수·구청장 국유림관리소장	시장·군수·구청장 국유림관리소장	시장·군수·구청장 국유림관리소장	시·도지사
피해면적	10ha 미만	10~50ha 미만	50~100ha 미만	100ha 이상
풍속	3m/s 미만	3~7m/s 미만	7~11m/s 미만	11m/s 이상
지속시간	5시간 미만	5~10시간	10~48시간	48시간 이상
시설피해	우려 없음	중요시설 3동 미만	중요시설 3~20동 미만	중요시설 20동 이상
인력 (명)	계 50명 예방진화대 45명 산림공무원 5명	계 150명 예방진화대 120명 특수진화대 20명 산림공무원 10명	계 350명 예방진화대 150명 특수진화대 50명 공무원진화대 50명 군인+의소대100명	계 650명 예방진화대 200명 특수진화대 100명 공무원진화대 150명 군인+의소대 200명
헬기	관할 100%	관할 100% 광역 50%	관할 100% 광역 100%	관할 100%, 광역 100% 산림청장이 필요하다고 판단한 전국 헬기

출처 : 유재범(2025), 국회입법조사처, 제2354호 최근 산불대응 관련 주요 쟁점 및 향후 과제

특히 대형 산불이나 동시다발적 산불이 발생하는 경우 이러한 문제는 더욱 심각하게 나타난다. [표 3-2]와 같은 발령기준으로 산불이 광역적으로 빠르게 확산될 경우, 다기관 협력의 효율성이 대응 성과를 좌우하게 된다. 그러나 실제 사례에서는 기관 간 협력 지연이나 지휘체계 혼선으로 인해 초기 대응이 늦어지고, 결과적으로 피해가 확대되는 경우가 반복적으로 발생하고 있다.

또한 기관 간 정보 공유 부족 역시 중요한 문제로 지적된다. 산불 대응에서는 실시간 상황 정보와 자원 배치 현황이 통합적으로 관리되어야 하나, 실제로는 기관별로 정보가 분산되어 운영되는 경우가 많다. 이로 인해 동일 지역 내에서도 자원이 중복 투입되거나, 반대로 필요한 지역에 자원이 투입되지 않는 비효율이 발생할 수 있다. 특히 초기 대응 단계에서 이러한 문제는 산불 확산을 통제하지 못하는 주요 원인으로 작용할 수 있다.

자원 연계 측면에서도 유사한 문제가 나타난다. 산불 대응에는 인력, 장비, 항공자산, 용수 등 다양한 자원이 필요하며, 이러한 자원이 효율적으로 연계되지 않을 경우 대응 효과는 크게 저하된다. 그러나 현재의 대응체계는 기관별 자원이 개별적으로 운영되는 경향이 강하며, 이를 통합적으로 활용하기 위한 체계가 요구된다.

공공시설 및 군의 역할은 이러한 한계를 보완할 수 있는 중요한 요소로 평가된다. 군은 대규모 인력 투입과 중장비를 활용한 방화선 구축 등을 통해 산불 확산 억제에 기여하며, 공공시설은 보유한 시설과 장비를 활용하여 현장 대응을 지원할 수 있다.

공공시설이 보유한 기반설비의 활용 부족은 중요한 문제로 볼 수 있다. 산림 인접 지역에 위치한 공공시설은 일정 수준 이상의 급수설비를 보유하고 있음에도 불구하고, 이러한 시설이 재난 대응체계와 연계되지 않아 실제 산불 상황에서 활용되지 못하는 경우가 많다. 이는 자원의 부족 문제가 아니라, 자원의 활용 체계가 미흡한 문제로 해석할 수 있다.

이와 관련하여 재난관리 관점에서 거버넌스 접근의 필요성이 제기된다. 재난 대응에서 다양한 행위자 간 협력과 네트워크를 기반으로 한 거버넌스 구조가 대응 효과를 높일 수 있다고 설명하였다(김종희, 2006). 이는

산불 대응에서도 중앙정부, 지방정부, 공공기관, 민간이 유기적으로 협력하는 구조가 필요함을 시사한다. 그러나 현재의 대응체계는 이러한 거버넌스적 요소가 충분히 반영되지 못하고 있으며, 협력은 주로 '지원' 수준에 머무르는 경향을 보이고 있다.

제도적 측면에서는 국가와 지방자치단체가 재난 대응에 공동으로 책임을 지고 협력해야 할 의무가 명시되어 있다「재난 및 안전관리 기본법」. 또한 산림보호 법령에서도 국가와 지방자치단체 간 협력체계 의 필요성이 강조되고 있다「산림보호법」. 그러나 이러한 법적 기반은 선언적 수준에 머무르는 경우가 많으며, 실제 운영체계에서는 구체적인 협력 방식이나 자원 활용 기준이 명확하게 정립되어 있지 않은 한계가 존재한다.

종합적으로, 우리나라의 산불 대응체계는 산림청을 중심으로 한 다기관 협력 구조를 기반으로 운영되고 있으나, 지휘체계의 이원화, 정보 공유 부족, 자원 연계 미흡 등 다양한 구조적 한계를 내포하고 있다. 특히 공공시설 및 군이 보유한 자원의 활용 부족은 협력체계의 실효성을 저하시킬 수 있는 중요한 요인으로 작용한다.

따라서 향후 산불 대응체계는 단순한 기관 간 역할 분담을 넘어, 자원의 통합적 활용과 협력적 거버넌스 구조를 중심으로 개선될 필요가 있다. 특히 공공시설 및 군이 보유한 가압 급수설비를 재난 대응 자원으로 연계하는 방안은 기존 대응체계의 한계를 보완할 수 있는 현실적인 대안으로 제시될 수 있다. 이는 신규 인프라 구축에 비해 비용 효율성이 높고, 실제 현장 대응력 향상에도 기여할 수 있다는 점에서 중요한 의미를 가진다.

3.3 현행 인프라 공유의 한계 및 문제점

3.3.1 기술적 문제

산불 취약지역에서 기존 공공 인프라를 소방용수 공급체계와 연계하여 활용하려는 접근은 신규 소방관로 구축에 필요한 대규모 예산과 장기간의 공사 부담을 줄일 수 있다는 점에서 현실적 대안으로 평가될 수 있다. 특

히 산림 인접 고지대 공공시설이 이미 보유하고 있는 가압 급수설비, 송수관로, 배수지, 저수조 등은 산불 발생 시 초기 대응자원으로 활용될 가능성을 가진다. 그러나 생활·업무용으로 설계된 기존 급수체계를 산불진화 목적의 소방용수 체계와 직접 공유하기 위해서는 단순히 물을 공급할 수 있다는 수준을 넘어, 실제 화재 현장에서 요구되는 수압, 유량, 배관 규격, 연결 방식, 설비 안정성 등을 충족해야 한다. 현행 공공 급수시설은 본래 생활용수의 안정적 공급을 중심으로 설계된 경우가 대부분이므로, 대량·고압·지속 공급이 필요한 산불 대응 체계와는 구조적 목적 자체가 다르다. 특히 산림지역은 일반 도시화재와 달리 급경사 지형, 장거리 송수, 접근성 부족 등 추가 조건이 결합되므로 기존 생활 인프라를 그대로 소방 인프라로 전환하는 데에는 상당한 기술적 한계가 존재한다. 기존 산불방지 급수시설 기준 역시 일반 소방시설 기준만으로는 산림환경의 특수성을 충분히 반영하기 어렵다는 한계가 지적된 바 있으며, 이는 산림지역 특성에 맞는 별도 기술 기준의 필요성을 보여준다.

첫째, 가장 핵심적인 기술적 문제는 생활용 급수체계와 소방용수체계 간 수압 차이이다. 일반적인 공공시설 급수설비는 음용, 위생, 생활 편의, 시설 운영 등을 목적으로 하므로 일정 수준의 사용량을 안정적으로 공급하는 데 중점을 둔다. 이에 따라 평상시 사용에는 적합할 수 있으나, 화재 발생 시 단시간 내 다량의 용수를 지속적으로 방수해야 하는 산불진화 목적과는 요구 성능이 다르다. 산불 대응은 단순한 급수가 아니라 일정 수준 이상의 방수압과 방수량을 유지하면서 지속 공급이 가능해야 하며, 특히 산악지역에서는 고지대 송수 과정에서 발생하는 압력 손실까지 고려해야 한다. 예를 들어 산 아래 저수조 또는 배수지에서 상부 산악지역으로 물을 공급할 경우 고도 상승에 따른 정수압 손실이 발생하여 말단 지역의 실제 방수압이 현저히 저하될 수 있다. 이는 관로 자체가 존재하더라도 실제 산불진화에 필요한 압력을 확보하지 못할 가능성을 의미한다. 소방설비 성능은 단순 공급 여부보다 방수압과 방수량 유지가 핵심 요소이며, 필요한 압력이 확보되지 않을 경우 설비 존재 자체가 실질적 대응력으로 이어지기 어렵다. 따라서 고지대 공공 가압급수설비를 소방용수로 활용하기 위

해서는 기존 관로를 단순 분기하는 수준이 아니라 가압펌프, 압력조정밸브, 중간 저수조, 구간별 압력 관리체계 등 별도의 유압 보완 설계가 필요하다.

이러한 수압 문제는 우리나라 산불의 지형적 특성과 결합될 때 더욱 심화된다. 국내 산불은 급경사 산악지형에서 발생하는 경우가 많아 초기 대응 실패 시 빠른 확산 가능성이 높으며, 이는 단순 접근성 문제를 넘어 “얼마나 빠르고 안정적으로 물을 공급할 수 있는가”가 핵심 변수임을 의미한다. 즉, 기존 인프라 공유가 현실적 대안이 되기 위해서는 단순 시설 존재가 아니라 산악지형에서도 실질적 방수 성능을 유지할 수 있는 수리적 구조가 확보되어야 한다.

둘째, 배관 규격의 차이와 비표준성 역시 중요한 기술적 문제이다. 기존 공공시설 급수관은 시설별 용도와 건축 시기, 설계 기준에 따라 관경, 재질, 연결 구조가 상이하다. 일반 생활용 배관은 주로 생활 수요량을 기준으로 설계되므로 40A~100A 수준의 관경이 활용되는 경우가 많으며, PVC, PE, 스테인리스, 아연도강관 등 다양한 재질이 혼재한다. 그러나 산불진화용 소방체계는 순간 대량 송수, 장거리 방수, 소방차 직접 연결 등을 고려해야 하므로 보다 높은 유량과 표준화된 연결 규격이 요구된다. 문제는 기존 생활용 배관이 소방호스, 연결송수구, 소방차 급수라인과 직접 호환되지 않는 경우가 많다는 점이다(김동현 외, 2013). 이 경우 별도의 어댑터나 임시 연결장치가 필요하며, 실제 재난 상황에서 초기 대응 시간을 지연시킬 수 있다. 산불 대응에서 초기 골든타임은 전체 피해 규모를 좌우하는 핵심 요소이므로, 이러한 규격 불일치는 단순한 불편이 아니라 구조적 위험요소가 된다.

또한 관경 차이는 장거리 송수 과정에서 마찰손실 증가로 이어진다. 산악지역은 평지보다 배관 길이와 굴곡, 경사 변화가 크기 때문에 동일 관경이라도 실제 송수 효율이 더 낮아질 가능성이 높다. 관경이 협소할 경우 유량 감소와 압력 저하가 동시에 발생하며, 이는 말단 방수 성능을 저하시켜 실질적 산불 대응력을 제한한다. 결국 기존 관로가 존재한다는 사실 자체보다 해당 관로가 소방 목적에 적합한 규격과 수리적 성능을 갖추고 있

는지가 더욱 중요하다. 초기 대응의 신속성과 효과성이 핵심이라는 점에서, 배관 규격의 표준화와 연결 호환성 확보는 기존 인프라 공유의 기본 전제라 할 수 있다.

셋째, 기존 설비의 구조적 내구성과 지속 운용 능력도 중요한 한계이다. 생활용 급수설비는 일반적으로 간헐적 사용 또는 일정 수준의 일상 수요를 기준으로 설계되며, 산불 대응과 같이 단시간 대량 사용 또는 수 시간 이상 연속 운전을 전제로 하지 않는 경우가 많다. 그러나 산불은 일반 화재보다 장시간 대응이 요구되며, 특히 산악 확산 시 지속적 방수가 필요하다. 기존 생활용 부스터펌프나 가압설비는 이러한 고부하 운용 시 과열, 펌프 효율 저하, 압력 불균형, 밸브 손상 등의 위험이 발생할 수 있다. 저수조 또한 생활용 저장량 기준일 경우 단시간 대량 사용 시 급격한 수위 저하가 발생하여 본래 생활용수 기능까지 저해할 가능성이 존재한다. 이는 공공 인프라를 소방용수로 전환할 경우 단순히 소방 기능만이 아니라 기존 시설 운영 기능과의 충돌 가능성까지 함께 고려해야 함을 의미한다. 결국 기존 인프라 활용은 단순 공유가 아니라 이중 목적 운용에 적합한 구조적 보강과 설비 재설계가 필요하다.

넷째, 산악지형 특유의 거리·경사·고저차 문제는 수압 및 배관 규격 문제 외에도 유지관리 측면에서 추가적 기술 한계를 발생시킨다. 고지대 또는 산림 인접지역은 평지 대비 관로 매설과 점검이 어렵고, 누수 발생 시 탐지와 복구가 지연될 가능성이 높다. 급격한 경사 변화는 특정 구간의 과압, 수격작용, 배관 파손 가능성을 증가시키며, 겨울철 동결이나 산사태, 토사 유출 등 복합 재난환경은 설비 안정성을 더욱 약화시킬 수 있다. 즉 산악지역에서 기존 인프라를 공유한다는 것은 단순한 관로 연결이 아니라 재난 상황에서도 구조적으로 안정된 운용이 가능한지에 대한 장기적 기술 검토가 필요함을 의미한다.

다섯째, 자동화·모니터링 체계 부족 역시 현행 인프라 공유의 기술적 한계로 볼 수 있다. 기존 공공 급수설비는 생활 편의 중심 구조이므로 긴급 상황에서 즉시 소방 분기 전환, 원격 차단, 실시간 압력 모니터링, 유량 조절 기능 등이 부족한 경우가 많다. 산불은 초기 수 분에서 수십 분이

전체 피해 규모를 좌우할 수 있으나, 수동 밸브 조작이나 현장 인력 중심 운영 방식은 신속한 대응에 불리하다. 특히 야간이나 접근이 어려운 산악 지역에서는 자동화 부족이 대응력 자체를 제한할 수 있다. 따라서 향후 인프라 공유 체계는 단순 시설 공유를 넘어 스마트 센서, 원격 제어, 자동 분기 시스템 등 기술 기반 운영체계로의 전환이 필요하다.

종합적으로, 현행 공공 인프라 공유의 기술적 문제는 단순한 시설 부족이 아니라 생활용 급수체계와 산불진화용 소방체계 간 구조적 목적 차이에서 비롯된다. 수압 차이, 배관 규격 불일치, 연결 표준 부재, 설비 내구성 한계, 산악지형 적응성 부족, 자동화 미비 등은 모두 기존 인프라를 산불 대응에 직접 활용하는 과정에서 발생할 수 있는 핵심 제약요인이다. 따라서 고지대 공공 인프라를 실질적 산불 소방용수 자원으로 활용하기 위해서는 소방 목적 기준의 수압 재설계, 배관 및 연결구 규격 표준화, 가압·저수 설비 보강, 자동화 기반 운영체계 구축이 선행되어야 한다. 결국 이러한 기술적 한계에 대한 정밀한 분석과 체계적 보완이 이루어질 때 비로소 기존 공공 인프라는 산불 취약지역에서 비용 효율적이면서도 지속 가능한 소방용수 공급체계로 기능할 수 있을 것이다.

3.3.2 제도적·행정적 문제

고지대 공공시설의 기존 급수설비를 산불 대응용 소방용수 체계로 활용하는 방안은 신규 관로 신설이나 대규모 소방 인프라 확충에 비해 상대적으로 적은 비용으로 초기 대응력을 강화할 수 있다는 점에서 현실적 대안으로 평가될 수 있다. 특히 최근 국내 산불은 기후위기, 강풍, 건조 환경의 영향으로 대형화·장기화되는 양상을 보이고 있으며, 이에 따라 단순한 진화장비 확대만이 아니라 지역 내 기존 자원을 얼마나 효율적으로 연계하느냐가 중요 과제로 부상하고 있다. 2026년 산림청은 영남권 대형산불 이후 대응체계 및 예방활동 강화, 첨단기술 활용, 범정처 총력 대응 및 강력한 초동 진화를 주요 과제로 제시하였다(산림청, 2026). 또한 정부는 재난관리자원공동활용시스템(DRSS : Disaster Resource Sharing System)을 통해 기관별 장비·물품의 공동 활용 필요성을 강조하고 있다.

즉, 최근 정책 흐름 자체가 “개별 기관 보유”보다 “공동 활용 체계”의 중요성으로 이동하고 있으나, 실제 현장에서는 여전히 제도적·행정적 한계가 존재한다.

첫째, 가장 현실적인 문제는 예산 구조의 분산성이다. 기존 공공시설의 급수설비는 생활용수 공급과 시설 운영을 목적으로 구축된 경우가 대부분이므로, 이를 산불 대응형 소방용수 체계로 전환하기 위해서는 연결송수구 설치, 규격 보완, 비상전원 확보, 가압성능 조정 등 추가적 시설 개선이 필요하다. 그러나 이러한 사업은 기존 시설 운영기관의 본래 예산 범위를 초과할 가능성이 높고, 산림·소방·지자체 중 어느 기관이 비용 부담의 주체가 되어야 하는지 명확하지 않은 경우가 많다.

둘째, 관리 책임의 분산과 책임소재 불명확성 역시 중요한 문제이다. 기존 급수시설은 평상시 각 기관의 생활·운영 목적에 따라 관리되지만, 산불 발생 시에는 소방기관, 산림당국, 지방자치단체 등 외부기관이 긴급 활용을 요구할 수 있다. 문제는 이 과정에서 시설 손상, 생활용수 부족, 수질 문제, 설비 고장 등이 발생할 경우 책임 범위가 모호해질 수 있다는 점이다. 예를 들어 산불 진화 과정에서 과도한 방수 사용으로 펌프 과부하나 저장수 고갈이 발생할 경우, 원 시설 운영기관은 본래 기능 저하에 대한 부담을 우려할 수 있으며 재난 대응기관은 긴급성을 우선시할 가능성이 크다. 이러한 구조에서는 협력 필요성보다 책임 회피가 우선될 가능성이 있으며, 실제 활용 가능한 인프라가 존재하더라도 현장에서는 소극적 대응으로 이어질 수 있다. 결국 기존 인프라 공유는 단순한 시설 연결보다 사전 협약, 복구비용 분담, 긴급 사용 기준 등 운영 책임체계의 명확화가 핵심이다.

셋째, 기관 간 협력체계의 실효성 부족도 현장 대응의 제약요인이다. 최근 국내 산불 대응 과정에서는 산림청, 소방, 지자체, 경찰 등 다기관 협력이 강화되고 있으나, 여전히 기관별 지휘체계와 정보체계가 상이하다는 지적이 존재한다. 산림청이 대형산불 이후 대응 효율 개선과 컨트롤타워 기능 강화를 추진하고 있음에도, 실제 현장에서는 자원 위치, 접근성, 수량, 규격 등의 세부 정보가 충분히 통합되지 않을 경우 초기 대응 효율

은 제한될 수 있다. 특히 고지대 공공시설의 경우 저장수량이나 가압능력이 존재하더라도, 현장 대응기관이 이를 사전에 파악하지 못하거나 연결 가능 여부를 즉시 판단하지 못하면 실질적 자산으로 기능하기 어렵다. 즉, 문제는 시설 부족이 아니라 정보와 운영체계의 비통합성에 있다.

넷째, 행정 우선순위 차이 역시 인프라 공유를 어렵게 만든다. 공공시설 운영기관은 평상시 시설 안정성과 일상 운영을 우선시하는 반면, 산불 대응기관은 위기 시 즉각적 자원 전환을 요구한다. 이러한 우선순위 차이는 평시에는 드러나지 않지만 실제 재난 상황에서는 의사결정 지연 요인으로 작용할 수 있다. 산불은 초기 수 분~수십 분의 대응 속도가 피해 규모를 좌우하는 경우가 많으므로, 현장 판단 단계에서 승인 절차나 협의 과정이 길어질 경우 기존 인프라 활용 효과는 크게 감소할 수 있다. 따라서 평시 협력 논의만으로는 한계가 있으며, 실제 위기 상황을 전제로 한 표준 운영절차와 공동훈련이 필요하다.

다섯째, 유지관리 지속성 부족도 간과하기 어려운 행정적 한계이다. 단순히 기존 시설을 활용 대상으로 지정하거나 연결 설비를 설치하는 것만으로는 충분하지 않으며, 정기 점검, 사용 훈련, 장비 호환성 검토, 비상전원 관리 등이 지속되어야 실제 재난 발생 시 작동 가능성이 확보된다. 그러나 국내 다수 공공사업은 구축 단계 이후 유지관리 체계가 상대적으로 약화되는 경우가 있으며, 이는 재난 발생 시 “존재하지만 활용되지 못하는 시설” 문제로 이어질 수 있다. 결국 인프라 공유는 설치보다 유지가 중요하며, 유지관리 주체와 비용 구조가 장기적으로 확보되지 않으면 정책 효과는 제한적일 수 있다.

종합하면, 현행 인프라 공유의 제도적·행정적 문제는 법적 근거 자체의 부족보다 예산 구조의 분산, 관리 책임 불명확성, 기관 간 정보 비통합, 운영 우선순위 차이, 유지관리 체계 부족 등 실제 행정 운영 구조에서 더욱 크게 나타난다. 최근 국내 대형산불 사례와 정부의 대응체계 고도화 논의는 이러한 구조적 문제를 보여주는 사례라 할 수 있다. 따라서 고지대 공공시설의 기존 급수설비를 산불 대응형 소방용수 체계로 실질화하기 위해서는 신규 시설 확충뿐 아니라 공동 예산체계, 사전 책임협약, 통합 정

보관리, 공동훈련, 유지관리 체계 등 행정적 정교화가 병행되어야 한다. 결국 기존 인프라 공유의 핵심은 새로운 시설을 얼마나 많이 구축하느냐보다, 이미 존재하는 공공자원을 얼마나 신속하고 체계적으로 공공안전 자산으로 전환할 수 있느냐에 있다고 할 수 있다.

3.4 소결

본 장에서는 산악지역 공공시설의 급수설비 현황과 기관 간 재난 대응 협력 실태, 그리고 현행 인프라 공유 과정에서 나타나는 한계를 중심으로 분석을 수행하였다. 분석 결과, 고지대 공공시설은 물탱크, 가압펌프, 급수관망 등 일정 수준의 급수 인프라를 보유하고 있음에도 불구하고, 대부분 생활용수 공급을 중심으로 설계·운영되고 있어 산불 대응 시 직접적인 소방용수 체계로 활용하는 데에는 한계가 있는 것으로 나타났다. 특히 산악지역은 지형적 특성상 접근성이 제한되고 장거리 송수가 요구되는 경우가 많아, 기존 급수체계만으로는 초기 대응 단계에서 안정적인 용수 공급이 어려운 구조를 가진다.

또한 산불 대응 과정에서는 산림청, 소방기관, 지방자치단체 및 공공기관 등 다양한 기관이 동시에 참여하고 있으나, 기관 간 역할과 운영체계가 충분히 연계되지 못하고 있는 것으로 나타났다. 특히 공공시설 급수설비를 공동 활용하기 위한 사전 협의체계와 운영 기준이 명확하게 정립되어 있지 않아, 실제 재난 상황에서 즉각적인 활용이 제한될 가능성이 존재한다. 이와 함께 배관 규격, 수압 차이, 연결 방식 등의 기술적 차이 역시 기존 인프라의 현장 활용성을 저하시키는 요인으로 확인되었다.

종합적으로 볼 때, 고지대 공공시설의 기존 급수 인프라는 산불 대응 과정에서 활용 가능한 잠재적 자원으로서 의미를 가지지만, 현재의 운영 구조만으로는 실질적인 재난 대응체계로 기능하는 데 한계가 존재한다.

Ⅳ. 국내외 소방용수 인프라 공유 사례 분석

4.1 국내 사례

국내의 소방용수 인프라 체계는 전통적으로 소방기본법에 따른 소화전, 저수조, 급수탑 등 법정 소방용수시설과 상수도 기반의 화재진압 구조를 중심으로 운영되어 왔다. 그러나 최근 기후변화로 인한 대형산불 증가와 산림 인접지역 피해 확산이 사회적 문제로 부각되면서, 단순한 법정 소방시설을 넘어 기존 생활·공공 인프라를 재난 대응 자원과 연계의 필요성이 필요하다. 특히 산악지형이나 고지대 지역에 신규 소방용수 전용 관로를 설치하는 방식은 막대한 예산과 긴 구축 기간, 유지관리 비용이 요구되므로, 이미 구축된 생활용수 기반 시설을 활용하는 방식이 현실적 대안으로 평가된다. 이에 따라 국내에서는 산림 인접마을 비상소화장치, 지방상수도 기반 소화전, 공공 급수시설 등 기존 인프라를 소방용수 자원으로 공유·활용하려는 사례가 점진적으로 확대되고 있으며, 이는 향후 고지대 공공시설 급수망 활용 모델의 기초적 방향성을 보여준다는 점에서 의미가 있다.

4.1.1 산림 인접마을 비상소화장치 설치 사례

국내에서 가장 대표적인 기존 인프라 활용 사례는 산림 인접마을을 중심으로 확대되고 있는 비상소화장치 설치 사업이다. 비상소화장치는 기존 마을 상수도, 간이저수조, 생활용 배관망 등 주민 생활권 내 급수체계와 연계하여 화재 발생 초기 주민 또는 지역 대응인력이 즉시 사용할 수 있도록 설계된 시설이다. 이는 별도의 대규모 소방용수망 없이 기존 생활 인프라를 활용한다는 점에서 비용 효율성이 높으며, 소방차 진입이 지연될 수 있는 산림 인접지역에서 초기 확산 억제 효과를 기대할 수 있다.
소방청과 지방자치단체는 산불 취약지역을 중심으로 비상소화장치 확충을 지속적으로 추진하고 있다.

[그림 4-1]

산림인접마을 비상소화장치 사업에 따라 설치된 강원 속초 비상소화장치



출처 : 소방방재신문, 산림인접마을에 1199개 비상소화장치 설치한다... 추경 의결(2025. 05. 07.)

[그림 4-1]과 같이 소방방재신문 보도에 따르면 2025년 기준 정부는 전국 산림 인접마을을 대상으로 1,199개소 규모의 비상소화장치를 추가 설치하는 사업을 추진하였으며, 기존 생활용수 기반 시설과 연계한 주민 초기 대응체계 강화를 주요 목표로 제시하였다.

이러한 사례는 기존 상수도 또는 생활용 급수시설을 단순 생활 기능에서 재난 대응 자원으로 전환했다는 점에서 의미가 크다. 특히 신규 관로를 대규모로 설치하지 않고도 상대적으로 적은 비용으로 산불 취약지역 대응력을 높일 수 있다는 장점이 있다. 그러나 대부분 마을 단위 또는 저지대 생활권 중심 구조에 머무르는 경우가 많아, 고지대 산림 확산이나 장거리 송수, 지속적 대용량 방수에는 구조적 한계가 존재한다. 또한 지역별 설치 기준과 유지관리 수준 차이, 운영 숙련도 편차가 존재할 수 있어 전국 단위 표준화 체계로 보기에는 제한적이다.

4.1.2 한국수자원공사·소방청 재난 상황 공동 대응체계 강화

한국수자원공사(K-water)와 소방청 간 협력을 기반으로 한 광역 수자원 공동 대응체계이다. 이는 기존 상수도·댐·광역수자원 시설과 같은 대규모 공공 수자원 인프라를 재난 대응 과정에서 소방용수 확보 자원으로 연계·활용하려는 구조라는 점에서 의미가 있다. 전통적인 소방용수 체계가 개별 지역의 소화전, 저수조, 생활권 급수망 중심으로 운영되었다면, K-water 사례는 보다 광역적 차원에서 기존 국가 수자원 인프라를 재난 대응 체계와 연결했다는 점에서 차별성을 가진다.

[그림 4-2] 국가상수도정보시스템을 활용한 대형화재·산불 대응지원



출처 : 충청일보, "물길로 화재 막는다" K-water·소방청, 신개념 소방용수 지원(2025. 09. 10.)

2025년 한국수자원공사와 소방청은 상수도 정보시스템, 댐 운영 정보, 광역상수도 공급망 등 기존 수자원 운영체계를 재난 대응과 보다 적극적으로 연계하는 협력 방향을 강화하였다. 이는 대형 화재나 산불 발생 시 현장 인근의 직접적 소방용수뿐 아니라, 광역 수자원 시설 운영 정보를 통해 취수 가능 지역과 수량 확보 가능성을 보다 신속하게 판단하도록 지원하는 구조로 이해할 수 있다. 즉, 기존 수자원 시설을 단순 생활·산업용수 공급 기능에 한정하지 않고, 재난 대응 자원으로 확장한 사례라 할 수 있다.

한국수자원공사의 상수도 정보시스템 활용 확대는 수원 위치, 수량, 공급 가능성 등의 정보를 보다 체계적으로 관리함으로써 향후 재난 대응 과정에서 정보 기반 의사결정 구조를 강화할 수 있다는 점에서 의미가 있다.

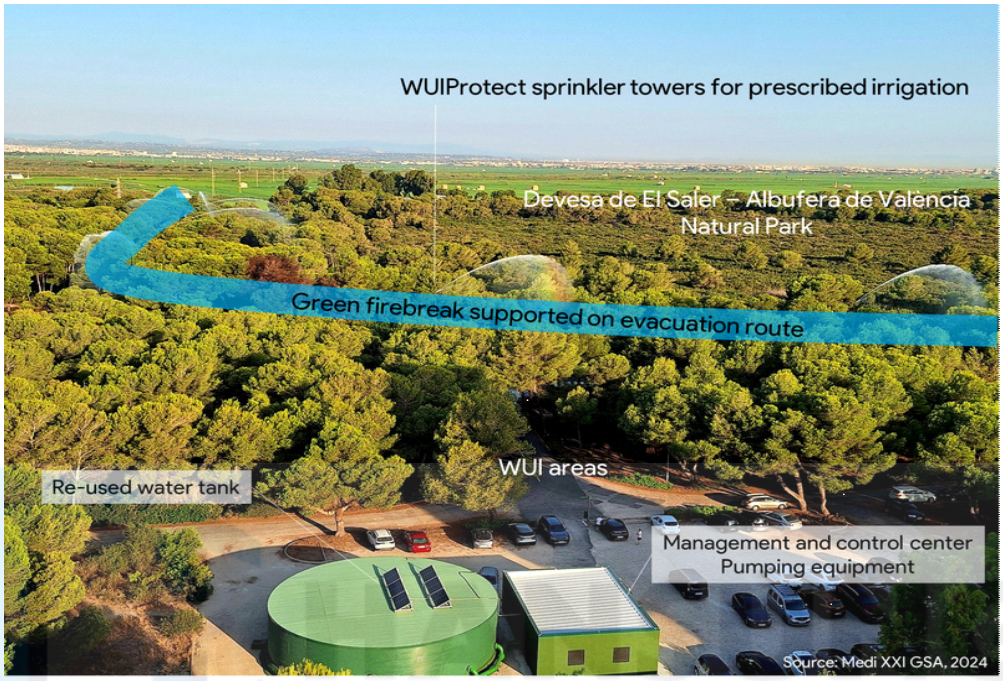
이 사례의 가장 큰 특징은 기존 광역 공공 수자원 인프라를 별도 신규 구축 없이 활용한다는 점이다. 신규 소방용수 전용 시설을 광범위하게 구축하는 방식은 막대한 예산과 시간이 요구되지만, 이미 운영 중인 댐·광역 상수도·수문 체계를 정보와 운영 측면에서 재난 대응과 연계할 경우 상대적으로 적은 비용으로 활용 범위를 확장할 수 있다. 또한 단일 시설이 아닌 국가 단위 수자원 네트워크라는 점에서 대규모 재난 상황 시 보다 넓은 범위의 지원 가능성을 가진다.

4.2 해외 사례

4.2.1 스페인 리바 로하 데 투리아(Riba-roja de Túria) – 재생수 기반 생활·소방 인프라 공유 사례

스페인 발렌시아 지역의 리바 로하 데 투리아(Riba-roja de Túria)는 가뭄과 산불 위험이 동시에 높은 환경에서, 기존 생활하수 처리 시스템을 소방 인프라와 연계한 대표적 사례로 평가된다. 이 지역은 도시와 산림이 맞닿은 WUI(Wildland-Urban Interface) 지역 특성상 산불 위험이 높고, 동시에 물 부족 문제도 심각하여 기존 상수도만으로는 안정적 대응에 한계가 있었다. 이에 따라 리바 로하 데 투리아는 도시 하수처리장에서 정화한 재생수를 활용해 산불 대응용 수자원으로 전환하는 GUARDIAN 프로젝트를 추진하였다.

[그림 4-3] 리바-로하 데 투리아 화재예방 및 관리통합시스템



출처 : Climate-ADAPT, "Building fire resilience using recycled water in Riba-roja de Túria (Spain)," European Environment Agency, 2024.

해당 시스템은 하수처리장에서 고도 처리된 재생수를 별도 수리 인프라를 통해 산림-도시 경계지역으로 공급하고, 평상시에는 녹지 관리·토양 습도 유지·방화녹지대 조성에 활용하며, 화재 위험이 높거나 실제 화재 발생 시에는 고압 물대포와 스프링클러 시스템을 통해 즉시 소방용수 체계로 전환하는 구조를 가진다. 약 8만㎥ 규모의 연간 재생수를 활용하며, 500㎥ 규모의 메인 탱크와 6.5km 이상의 관로, 다수의 보조 탱크 및 자동 센서 네트워크가 통합 운영된다.

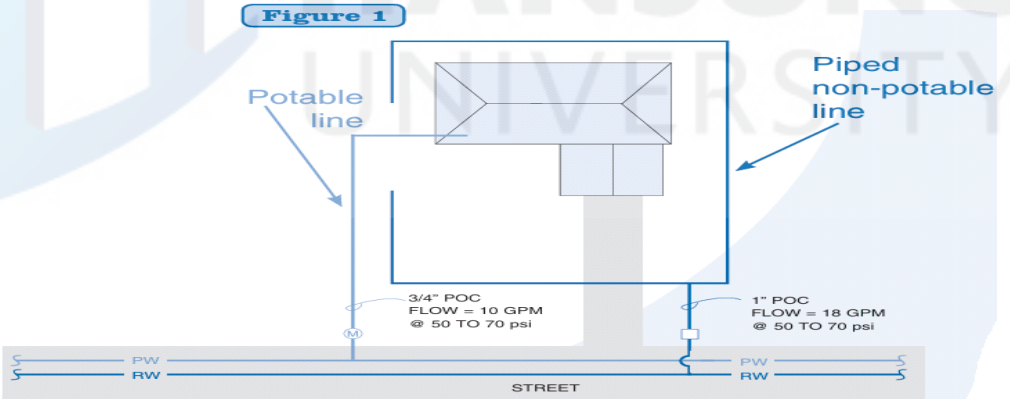
이 사례의 핵심은 생활하수 처리수라는 기존 도시 물순환 자원을 단순 재이용 수준에 그치지 않고, 평상시 도시관리와 비상시 산불 대응이 가능한 이중 목적 인프라로 구조화했다는 점이다. 이는 음용수 사용 부담을 줄이면서도 별도 신규 소방용수망 구축 비용을 절감하는 방식으로, 물 부족

지역에서 생활 인프라와 소방 인프라를 통합한 사례라 할 수 있다.

4.2.2 미국 Dual Water System(이중 급수 체계) – 생활용수와 소방용수 기능 분리를 통한 인프라 효율화 사례

미국 일부 지역에서는 생활용수 공급과 소방용수 확보를 보다 효율적으로 운영하기 위해 Dual Water System(이중 급수 체계) 을 활용하고 있다. 이는 하나의 지역 내 물 공급체계를 단순히 한 종류의 상수도로만 운영하는 것이 아니라, 생활·음용 목적의 potable water(음용수) 와 조경·관개·소방 등 비음용 목적의 non-potable water(비음용수) 를 목적에 따라 구분하여 공급하는 구조이다. 미국 국립환경서비스센터(NESC)에 따르면, 이러한 방식은 화재 진압에 반드시 고도 정수된 음용수를 사용할 필요가 없다는 점에 착안하여, 기존 생활권 물 인프라를 보다 기능적으로 분리·운영하는 사례로 설명된다.

[그림 4-4] 미국 Dual Water System(이중 급수 체계)



출처 : National Environmental Services Center (NESC). (2009). Dual Water Systems. Morgantown, WV: West Virginia University.

사람이 마시는 물은 별도 생활용 관로로 공급하고, 소화전·관개·거리 청소 등 대량 사용이 필요한 기능은 상대적으로 처리 수준이 낮은 비음용수 또는 재생수 체계를 활용하는 방식이다. 예를 들어 평상시에는 비음용수 관로가 조경수나 농업용수로 활용되지만, 화재 발생 시에는 동일 관로

와 저장시설을 통해 소화전에 대량 공급될 수 있다. 즉, 생활용수와 소방용수를 완전히 별도 시설로 새로 만드는 것이 아니라, 기존 지역 물 공급 체계를 목적별로 나누어 활용하는 것이다.

이러한 구조의 가장 큰 장점은 비용 절감이다. 일반적으로 소방용수는 순간적으로 매우 많은 양이 필요하지만 반드시 음용수 수준의 수질이 요구되지는 않는다. 따라서 모든 물을 고비용 정수처리 후 공급하는 것보다, 생활용수는 고품질로 유지하고 소방·관개용은 별도 체계로 운영하는 편이 경제적이다. 또한 생활용수 관망에서 소방 수요까지 동시에 부담하지 않으므로 관내 물 정체를 줄여 수질 유지에도 도움이 된다. NESC는 이러한 방식이 potable water 사용량 절감, 관망 효율 향상, 수질 관리 개선에 기여할 수 있다고 설명한다.

다만 이중 급수 체계는 생활용수와 비생활용수가 혼합되지 않도록 명확한 배관 구분, 교차연결 방지, 법적 관리기준이 필요하다. 그럼에도 불구하고 이 사례는 기존 생활 인프라를 단순 단일 기능이 아닌 목적별 복합 구조로 운영함으로써, 별도 소방 전용 인프라 구축 비용을 줄이면서도 안정적 소방용수 확보가 가능하다는 점에서 의미가 있다.
따라서 미국 Dual Water System 사례는 생활용수 자체를 직접 소방용수로 전환했다기보다, 생활권 물 인프라를 생활용과 소방·비상용 기능으로 구조적으로 분리하여 효율성을 높인 사례이다.

4.3 시사점 도출

국내외 소방용수 인프라 공유 사례를 종합적으로 살펴보면, 각 국가와 지역은 지리적·기후적 조건, 행정체계, 수자원 여건에 차이가 있음에도 불구하고 공통적으로 기존 물 인프라를 단순 생활 기능에 머무르게 하지 않고 재난 대응 자원으로 확장·활용하려는 방향성을 보이고 있다는 점을 확인할 수 있다. 즉, 대형산불이나 화재 대응을 위해 별도의 전용 소방용수망을 전면 신설하는 방식보다, 기존 생활용수·공공 급수시설·재생수·비음용수 체계를 상황에 따라 소방용수 기능과 연계하는 방식이 비용 효율성

과 현실성 측면에서 보다 효과적인 대안으로 작동하고 있다. 이는 결국 소방용수 확보 문제를 단순한 시설 부족의 관점이 아니라, 이미 존재하는 자원을 어떻게 구조적으로 전환·공유·운영할 것인가의 문제로 접근하고 있음을 의미한다. 이러한 점은 고지대 공공시설의 가압 급수설비를 산불 대응 자원으로 활용하려는 본 연구의 방향성과도 밀접하게 연결된다.

스페인 리바 로하 데 투리아 사례는 생활하수 처리수를 재생수화하여 평상시 도시 관리와 비상시 산불 대응을 동시에 수행할 수 있는 구조를 구축함으로써, 기존 도시 물순환 체계를 다목적 재난 대응 인프라로 전환한 대표적 사례라 할 수 있다. 이는 물 부족이라는 구조적 제약 속에서도 생활 인프라와 소방 인프라를 이원적으로 분리하지 않고 상호 전환 가능한 체계로 설계함으로써, 한정된 수자원을 보다 효율적으로 활용한 사례라는 점에서 의미가 크다.

미국 Dual Water System 역시 생활용수와 비생활용수를 목적별로 구분하여 공급함으로써, 생활권 물 인프라를 단순 음용수 공급 구조가 아닌 생활·관개·소방 기능이 병행 가능한 구조로 재설계하였다. 두 사례 모두 공통적으로 기존 물 공급 인프라를 그대로 활용하면서도, 목적별 구조화와 기능 분리를 통해 비용 부담을 줄이고 운영 효율성을 높였다는 특징을 가진다. 이는 국내에서도 산불 대응용 소방 인프라를 반드시 신규 구축 중심으로 접근하기보다, 기존 공공시설이나 지역 급수망을 어떻게 기능적으로 재설계할 것인가가 중요함을 시사한다.

이러한 해외 사례는 특히 우리나라 고지대 산불 취약지역에 중요한 정책적 함의를 제공한다. 국내 산악지형은 지형적 특성상 신규 대규모 소방용수 관로를 광범위하게 설치하는 데 많은 예산과 시간이 요구되며, 유지관리 측면에서도 부담이 크다. 반면 고지대 공공시설이나 기존 급수설비는 이미 일정 수준의 물탱크, 가압 급수설비, 배관을 보유하고 있는 경우가 많으므로, 이를 단순 생활 기반 시설로만 한정하지 않고 재난 대응 자원으로 확장할 경우 보다 현실적인 대응체계 구축이 가능할 수 있다. 즉, 해외 사례의 핵심은 새로운 인프라의 '추가'보다 기존 인프라의 '전환'에 있다.

Ⅴ. 고지대 공공시설 급수망 산불 대응 개선방안

산불 취약지역, 특히 산악지형과 같이 소방차 진입이 제한되거나 자연수원 접근성이 낮은 지역에서는 초기 진화용수 확보 여부가 산불 확산 억제의 핵심 변수로 작용한다. 기존 산불 대응체계는 저수지, 계곡, 소방차 급수, 헬기 담수 등 외부 수원 확보 방식에 상당 부분 의존해왔으나, 이러한 방식은 지형적 고도차, 야간 운용 제한, 강풍, 접근 시간 지연 등으로 인해 대형산불 상황에서 구조적 한계를 드러내고 있다.

제3장에서 분석한 바와 같이, 고지대 공공시설은 물탱크, 가압펌프, 급수관망 등 일정 수준의 급수 인프라를 이미 보유하고 있음에도 불구하고, 대부분 생활용수 중심으로 설계·운영되고 있어 재난 상황에서 직접적인 소방용수 체계로 활용되기 어려운 한계를 가진다. 또한 기관 간 협력체계 미흡, 설비 공동 활용 기준 부재, 배관 규격 및 수압 차이에 따른 기술적 문제 등으로 인해 기존 설비의 실질적 활용성이 제한되는 것으로 나타났다. 따라서 본 장에서는 기존 고지대 공공시설의 가압 급수망을 산불 대응에 활용할 수 있도록 기술적·운영적·제도적 측면에서의 개선방안을 제시하고자 한다. 특히 초기 대응 단계에서 현장 인접 용수를 신속하게 활용할 수 있는 체계 구축을 중심으로, 기존 공공 인프라의 재난 대응 활용 가능성과 적용 방향을 종합적으로 검토하고자 한다.

5.1 기술적 측면에서의 개선방안

첫째, 환경부의 「상수도관망시설 유지관리 매뉴얼」은 송·배수시설, 증압펌프장, 배수지, 밸브 및 저수조가 상수관망 안정성 유지의 핵심 요소임을 제시하며, 기존 관망은 일정 수준 이상의 수압과 공급 안정성을 전제로 운영된다고 설명한다(환경부, 2021). 이는 고지대 공공시설 급수망이 이미 일정 수준의 저장능력과 압력체계를 보유하고 있음을 의미하며, 적절한 분기 설계와 연결규격 표준화가 이루어진다면 생활용수 기반 설비를

산불 초기 대응용 소화설비로 전환할 수 있는 기술적 가능성을 시사한다.

가압 급수관로 분기형 소화설비 구축의 핵심은 기존 주 급수관(Main Line)에서 재난 대응용 분기관(Branch Line)을 별도로 설계하여 필요 시 생활용수 계통과 독립적 또는 선택적으로 운용할 수 있도록 하는 데 있다. 즉, 평상시에는 기존 생활용 급수 기능을 유지하되, 산불 발생 시에는 특정 밸브 조작 또는 자동제어를 통해 분기관으로 고압 용수를 공급하여 소화전, 연결송수구, 방수포트 등으로 즉시 전환하는 구조이다. 이러한 방식은 신규 산불 전용 관로를 대규모로 설치하는 방식보다 비용 효율성이 높으며, 기존 인프라를 활용한다는 점에서 현실적이다.

가압급수시스템은 건축물 규모와 용도에 따라 급수펌프의 설계기법 및 제어기법이 달라져야 한다(한국건설기술연구원, 1995). 이는 고지대 공공시설 급수망 역시 기존 생활용 설비를 그대로 활용하는 수준을 넘어, 산불 대응을 고려한 별도 압력 기준과 방수량 기준을 반영해야 함을 의미한다. 즉, 단순한 배관 분기만으로는 충분하지 않으며, 산불 대응 시 요구되는 방수압, 방수거리, 동시 사용량 등을 고려한 설계가 병행되어야 한다.
구체적으로 분기형 소화설비는 다음과 같은 구조를 고려할 수 있다.

주 급수관에서 일정 간격으로 분기되는 비상 소화전 지점을 설치하여 산림 경계부, 주요 진입로, 시설 외곽 방어선에 배치한다. 이는 산불이 시설 외부에서 접근할 경우 직접 방어선 구축이 가능하도록 하기 위함이다.

각 분기 지점에는 표준화된 연결구(예: 65A 또는 소방호환 규격)를 적용하여 소방차, 이동식 펌프, 소방호스와 즉시 연결 가능하도록 해야 한다. 기존 생활용 배관은 시설별로 관경과 연결구조가 상이할 수 있으므로, 재난 시 호환성 확보를 위해 규격 표준화가 필수적이다. 안정적 소화용수 공급 연구(장경남 외, 2022)에서도 연결송수구의 위치와 규격 명확화가 초기 대응 시간 단축에 핵심적임을 제시하였다.

분기관에는 역류방지장치, 압력조정밸브, 긴급 차단밸브를 포함하여 생활용수 오염 방지와 계통 안정성을 동시에 확보해야 한다. 이는 산불 대응 과정에서 고압 방수로 인해 기존 생활용 계통에 압력 이상이 발생하거나 수질 문제가 발생할 가능성을 최소화하기 위한 것이다.

중간 고도차가 큰 지역의 경우 단일 가압만으로는 안정적 방수가 어려울 수 있으므로, 인라인 급수탱크 또는 중간 가압지점을 활용한 다단계 공급 구조가 필요하다. 분산형 상수관망 연구는 산지 지형에서 고도차가 큰 경우 중간 탱크가 수압 안정성과 공급 효율성을 향상시킨다고 분석하였다(박용균 외, 2015). 이는 고지대 공공시설이 위치한 산악지형에서도 중간 지점 분기시설 또는 보조탱크를 활용한 다단계 방수체계 구축이 유효할 수 있음을 보여준다.

종합하면, 가압 급수관로 분기형 소화설비 구축 설계의 본질은 기존 고지대 공공시설의 생활용 급수망을 활용하여 '평시 생활 인프라'를 '재난 대응 인프라'로 구조 전환하는 데 있다. 이를 위해서는 ① 주관로-분기관 이원화, ② 표준화된 소방 연결구 적용, ③ 압력·역류·차단 제어장치 확보, ④ 중간 가압 또는 보조탱크 설계가 핵심 요소가 된다. 이러한 구조는 신규 대규모 소방용수망 구축 대비 비용 부담을 줄이면서도, 산불 초기 대응 속도와 지속 방수 능력을 동시에 강화할 수 있다는 장점을 가진다.

따라서 향후 고지대 공공시설 기반 산불 대응체계는 기존 시설을 단순 보호 대상이 아닌 적극적 대응 거점으로 재정의할 필요가 있으며, 가압 급수관로 분기형 소화설비는 그 기술적 출발점이 될 수 있다. 이는 산불 대응 패러다임을 외부 지원 중심에서 현장 분산형 대응 중심으로 전환시키는 핵심 설계 방향으로 평가된다.

둘째, 고지대 공공시설의 기존 급수체계를 산불 대응용 소방용수 인프라로 활용하기 위해서는 단순히 저장된 용수를 확보하거나 분기형 소화설비를 설치하는 것만으로는 충분하지 않다. 실제 산불 상황에서는 제한된 시간 내에 필요한 위치로 충분한 수압과 유량을 안정적으로 공급할 수 있어야 하며, 동시에 기존 시설의 기본 기능 유지와 배관계통의 안정성 또한 함께 고려되어야 한다. 특히 산악지형은 고도차, 관로 길이, 마찰손실, 동시 사용량 증가 등의 복합적 요인으로 인해 동일한 용수원이라 하더라도 지점별 공급 효율에 큰 차이가 발생할 수 있다. 따라서 산불과 같은 비상 상황에서는 기존 생활용 급수체계를 평상시와 동일한 방식으로 운영하기

보다, 재난 대응 목적에 맞춘 별도의 압력 제어 및 수량 배분 체계를 구축할 필요가 있다.

일반적인 상수도 시스템은 생활용수 공급 안정성을 중심으로 설계되므로 일정 범위 내의 수압 유지와 수요 분산을 전제로 한다. 그러나 산불 대응은 짧은 시간 동안 특정 구간에 대량 방수를 요구하는 특성을 가지며, 경우에 따라 다수의 소화전 또는 분기관이 동시에 사용될 수 있다. 이 경우 기존 생활용 기준으로 설정된 압력 체계만으로는 고지대 말단부 또는 산림 인접지역까지 충분한 방수압 확보가 어려울 수 있다. 상수관망 운영에서 수압 안정성과 관망 균형 유지가 핵심 요소이며, 관로 운영 과정에서 펌프, 배수지, 밸브의 통합적 제어가 중요하다(환경부, 2021).

비상시 용수 압력 제어의 핵심은 기존 생활용수 계통과 산불 대응용 계통 간 우선순위를 설정하고, 상황에 따라 수압을 선택적으로 증강 또는 제한할 수 있는 구조를 마련하는 것이다. 즉, 평상시에는 생활용 급수 안정성을 우선하되, 산불 발생 시에는 특정 구간의 방수 성능 확보를 위해 일부 계통의 수압을 집중적으로 조정하는 방식이다. 이를 위해 가장 기본적으로 요구되는 것은 가변형 부스터펌프 또는 인버터 제어형(회전수 조절) 가압장치의 적용이다.

이러한 방식은 산불 발생 시 특정 분기계통의 방수 수요가 급증하더라도 전체 시스템을 일률적으로 고압화하지 않고, 필요한 구간에만 압력을 집중할 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어 산림 인접 구간 또는 외곽 방어선에 연결된 분기 소화설비 계통의 압력을 우선 증강하고, 비필수 생활계통은 일시적 감압 또는 제한 급수를 적용함으로써 전체 용수 손실을 줄일 수 있다. 이는 제한된 저장량을 보다 전략적으로 활용할 수 있게 하며, 장시간 대응 시에도 급격한 저수량 고갈을 방지하는 효과를 가진다.

수량 배분 측면에서는 단순한 “많은 공급”보다 “우선순위 기반 배분”이 중요하다. 실제 산불은 풍향, 지형, 확산속도에 따라 방어 우선지역이 달라지므로, 모든 분기점에 동일한 유량을 공급하는 방식은 비효율적일 수 있다. 따라서 고지대 공공시설 급수망은 주요 방어구역, 시설 보호구역, 생활 유지구역 등으로 구분하여 단계별 배분 체계를 설계할 필요가 있다.

예를 들어, 1단계 핵심 방어선(산림 접근부), 2단계 주요 시설 외곽, 3단계 생활용수 순으로 우선순위를 설정하는 방식이다. 이러한 구조는 기존 상수도 송·배수 최적설계 연구에서 제시한 펌프와 탱크의 운영 최적화 개념과도 연결된다. 해당 연구는 배수지 규모와 펌프 운영방식의 조합이 전체 시스템 효율을 좌우한다고 분석하였으며, 이는 비상시에도 저장량과 압력 자원을 전략적으로 배분해야 함을 의미한다.

고도차가 큰 산악지형에서는 단일 압력계통만으로 상·하부 지역을 동시에 안정적으로 운영하기 어렵기 때문에 구간별 압력 존(Pressure Zone) 설정이 필요하다. 압력 존 방식은 특정 고도 구간별로 별도의 압력 범위를 설정하여 저지대 과압 또는 고지대 저압 문제를 완화하는 방식으로, 기존 도시 상수도 및 부스터펌프 시스템에서도 활용된다. 부스터펌프 기반 가압급수 방식은 이러한 다구간 압력 분할 구조를 통해 고지대 안정 급수의 효율성을 높일 수 있음을 보여준다.

이를 산불 대응에 적용할 경우, 산 아래 저장조–중간 가압지점–고지대 방어선 형태의 다단계 구조를 통해 고도차에 따른 압력 손실을 보완할 수 있다.

비상시 운영에서는 자동제어 기반 모니터링 체계도 중요하다. 단순 수동 밸브 조작만으로는 급변하는 산불 확산 상황에 신속히 대응하기 어렵기 때문이다. 따라서 주요 분기점, 저수조, 펌프실에 유량계·압력계·원격제어 밸브를 설치하여 실시간으로 압력 저하, 유량 과다, 저수위 등을 감시할 필요가 있다.

결국 비상시 용수 압력 제어 및 수량 배분 방안의 본질은 “제한된 기존 급수 인프라를 어떻게 재난 대응 목적에 맞게 전략적으로 운영할 것인가”에 있다. 이러한 체계가 구축될 경우 기존 고지대 공공시설 급수망은 단순한 생활 인프라를 넘어, 산불 초기 대응과 방어선 유지가 가능한 실질적 재난 대응 플랫폼으로 기능할 수 있다.

따라서 향후 고지대 산불 대응체계에서 중요한 것은 단순한 시설 확충보다 기존 가압 급수체계의 운영 체계를 재설계하는 것이다. 즉, 저장–가압–배분–통제의 전 과정을 재난 대응 중심으로 전환함으로써 제한된 자원 내

에서도 대응 효율을 극대화하는 방향이 필요하며, 이는 기술적 측면에서 가장 현실적이면서도 효과적인 개선 방안이다.

5.2 운영 측면에서의 개선방안

고지대 공공시설의 가압 급수설비를 산불 대응용 소방용수 인프라로 활용하기 위해서는 기술적 설비 구축만으로 충분하지 않으며, 실제 재난 발생 시 해당 인프라가 신속하고 안정적으로 작동할 수 있도록 운영체계가 사전에 정립되어야 한다. 특히 기존 공공시설 급수체계는 각 기관의 자체 운영 목적에 따라 관리되는 경우가 대부분이므로, 평시 생활·업무 중심으로 설계된 시설을 산불과 같은 광역 재난 상황에서 지역사회 공동 대응 자원으로 전환하기 위해서는 기관 간 협력 절차, 책임 범위, 가동 기준, 정보 공유 방식 등을 명확히 규정한 운영 매뉴얼이 필수적이다. 다시 말해, 기존 설비를 실제로 활용 가능한 재난 대응 자원으로 만들기 위해서는 “시설”보다 “운영 규범”의 정립이 선행되어야 한다.

현재 우리나라의 산불 대응체계는 산림청, 소방기관, 지방자치단체, 경찰, 군 및 기타 공공기관이 각각의 역할을 수행하는 다기관 협력 구조를 가지고 있으나, 실제 현장에서는 기관별 지휘체계, 자원 관리 기준, 정보 접근 범위가 상이하여 초기 대응 단계에서 혼선이 발생할 가능성이 지속적으로 제기되어 왔다.

특히 고지대 공공시설 급수설비의 경우, 해당 시설이 위치한 지리적 특성상 산림 인접지역 또는 산불 취약지와 접할 가능성이 높음에도 불구하고, 현재 대부분은 기관 자체 자산으로 관리되어 외부 재난 대응 자원으로 즉각 활용할 수 있는 제도적·운영상 체계가 부족하다. 예를 들어 재난 발생 시 지자체 또는 소방기관이 해당 시설의 저장량, 가압 상태, 밸브 구조, 접근 경로 등에 대한 정보를 사전에 확보하지 못한다면, 실제 활용 가능성이 존재하더라도 초기 대응 단계에서 효과적으로 사용되기 어렵다. 따라서 공공시설–지자체 간 공동 활용 매뉴얼은 단순 협조 요청 수준이 아니라, 사전 계획 기반의 구조화된 공동 대응 체계로 마련될 필요가 있다.

이러한 매뉴얼은 우선 공공시설 급수설비의 재난 대응 자산화(Resource Conversion)를 기본 원칙으로 설정해야 한다. 즉, 각 지역 내 산림 인접 또는 고지대 공공시설을 대상으로 저수조 용량, 가압펌프 성능, 배관 구조, 분기 가능 지점, 연결 규격 등을 사전 조사하여 지자체 재난관리 시스템 내 관리 대상 자원으로 등록하는 방식이다. 이는 단순 시설 목록화가 아니라 실제 산불 발생 시 즉시 활용 가능한 소방용수 지원 거점으로 지정하는 개념이다.

공동 활용 매뉴얼에는 발동 조건과 운영 단계가 명확히 구분되어야 한다. 모든 산불 상황에서 공공시설 용수를 자동 활용하는 방식은 시설 운영 안정성이나 보안 문제를 고려할 때 현실적이지 않을 수 있으므로, 산불 경보 단계·풍속·확산 방향·야간 여부·산림 접근성 등 일정 기준 충족 시 단계적으로 발동되는 구조가 필요하다. 예를 들어 '관심–주의–경계–심각' 단계에 따라 일부 분기 사용, 전면 소방전환, 광역 지원체계 연동 등 단계별 운영기준을 설정할 수 있다. 이러한 구조는 평시 과잉 개입을 방지하면서도 실제 위기 시 신속한 전환을 가능하게 한다.

운영 주체 간 역할 분담이 구체화되어야 한다. 공공시설 관리주체는 시설 구조·운영 정보 제공 및 기본 설비 유지 책임을, 지방자치단체는 지역 재난계획 반영과 행정 조정을, 소방기관은 현장 사용 판단과 진화 운용을 담당하는 식으로 기능을 분리해야 한다. 기존 재난 대응의 한계 중 하나는 자산은 존재하지만 누가 어떤 권한으로 사용할 것인지가 불명확하다는 점이었다. 따라서 공동 활용 매뉴얼은 단순 협력 선언이 아니라, "누가, 언제, 어떤 기준으로, 어디까지" 사용할 수 있는지에 대한 실행 기준을 포함해야 한다.

넷째, 정기적 합동 점검과 훈련이 포함되어야 한다. 실제 재난 상황에서는 문서화된 계획보다 현장 숙련도가 더 중요하다. 따라서 연 1~2회 이상 지자체·소방·공공시설 간 합동 훈련을 통해 분기밸브 위치, 연결 규격, 펌프 가동 절차, 저수량 확인, 비상 전환 시간 등을 점검해야 한다.
결국 매뉴얼은 문서 자체보다 반복적 운영 경험을 통해 실효성을 확보해야 한다.

보안성과 공공성의 균형도 중요하다. 일부 고지대 공공시설은 보안상 세부 구조 공개가 제한될 수 있으므로, 모든 정보를 전면 공개하기보다 재난 대응 필수 범위 내에서 지자체·소방기관과 공유하는 방식이 현실적이다. 예컨대 전체 시설 구조가 아닌 비상 급수 가능 지점, 연결구 규격, 가용 수량 범위 등 실무 정보 중심의 제한적 공유 체계가 필요하다. 이는 시설 보안을 유지하면서도 공공 재난 대응 기능을 확보하는 절충안이 될 수 있다.

또한 공동 활용 매뉴얼은 지역별 지형 특성과 시설 유형에 따라 차등화되어야 한다. 산악형, 도서형, 농촌형, 도시 외곽형 등 지역 특성에 따라 산불 확산 양상과 급수 방식이 다르므로, 전국 단일 기준보다는 표준 매뉴얼 + 지역 맞춤형 세부 지침 구조가 효과적이다. 환경부 및 상수도 운영 매뉴얼들이 현장 여건에 따른 자체 보완 필요성을 강조하는 점 역시 이러한 지역 맞춤형 접근의 필요성을 뒷받침한다.

궁극적으로 공공시설-지자체 간 소방용수 공동 활용 매뉴얼의 핵심은 “잠재적 자원”을 “즉시 활용 가능한 운영체계”로 전환하는 데 있다. 이를 위해서는 ① 대상 시설 자원화, ② 단계별 발동 기준 설정, ③ 기관별 역할 분담, ④ 정기 합동훈련, ⑤ 보안성 조정, ⑥ 지역 맞춤형 적용이 주요 구성요소가 된다. 이러한 체계가 마련될 경우 고지대 공공시설은 단순한 개별 운영시설이 아니라, 지역 산불 대응의 분산형 소방용수 거점으로 기능할 수 있다.

따라서 향후 산불 대응 운영체계는 산림청·소방 중심의 외부 투입형 구조를 보완하여, 지역 내 기존 공공 인프라 공동 활용 대응체계로 확장될 필요가 있다. 새로운 관로를 설치하거나 별도의 소방용수 인프라를 구축하는 데에는 상당한 예산이 소요되지만, 이에 비해 기존에 구축된 시설과 자원을 연계·활용하는 방식은 비용 부담을 줄이면서도 실효성을 확보할 수 있는 보다 현실적인 방안이다. 따라서 이는 운영 측면에서 우선적으로 정비되어야 할 과제로 평가된다.

5.2.1 실시간 상황 공유 및 밸브 통제 권한 정립

산불 대응 과정에서 고지대 공공시설의 가압 급수망을 효과적으로 활용하기 위해서는 단순히 시설을 공동 활용하는 수준을 넘어, 실제 재난 발생 시 변화하는 현장 상황에 맞추어 신속하게 정보를 공유하고 급수계통을 즉각적으로 제어할 수 있는 운영체계가 구축되어야 한다. 산불은 풍향, 풍속, 기온, 지형, 연료 분포 등에 따라 확산 방향과 속도가 급격히 변화하는 재난이며, 특히 산악지형에서는 짧은 시간 내 방어 우선지역이 달라질 수 있다. 이러한 특성으로 인해 초기 판단 지연이나 기관 간 정보 단절은 용수 공급의 적시성을 저하시켜 대응 효율을 크게 약화시킬 수 있다. 따라서 고지대 공공시설 기반 소방용수 체계의 실효성을 확보하기 위해서는 실시간 상황 공유 체계와 함께, 급수계통의 핵심 제어수단인 밸브 운영 권한을 명확히 규정하는 것이 필수적이다.

기존 산불 대응체계는 다수 기관이 참여하는 구조적 특성상 현장 지휘의 일원화와 신속한 정보 공유 체계의 중요성이 지속적으로 제기되어 왔다. 산림청은 산불 발생 정보와 확산 예측을 중심으로 대응하고, 소방기관은 화재 진압 및 인명 보호를 우선하며, 지방자치단체는 행정 지원과 주민 대피를 담당하는 경우가 많다. 그러나 실제 현장에서는 이러한 정보가 통합된 형태로 즉시 공유되지 못할 경우, 어느 지점에 우선적으로 용수를 집중해야 하는지에 대한 판단이 늦어질 수 있다.

실시간 상황 공유 체계의 첫 번째 요소는 산불 상황 정보와 급수 인프라 정보를 통합하는 것이다. 즉, 산불 발생 위치, 확산 방향, 기상 변화, 접근 가능 경로와 함께 해당 지역 인근 공공시설의 저수량, 가압 상태, 사용 가능 분기점, 주요 밸브 위치 등을 동일한 운영 플랫폼 또는 공조 체계 내에서 공유해야 한다. 현재 다수의 상수도 및 관망 시스템은 유량계, 압력계, 수위계 등을 활용한 운영 데이터를 보유하고 있으나, 이러한 정보가 재난 대응 체계와 직접 연동되는 경우는 제한적이다. 따라서 기존 급수시설의 운영정보는 단순한 시설 관리에만 필요한 정보가 아닌, 산불 발생 시 즉시 활용할 수 있도록 재난 대응체계와 연계된 정보 공유 구조로 확대될 필요가 있다.

정보 공유는 단순한 현황 전달이 아니라 의사결정 지원 구조로 발전해

야 한다. 예를 들어 특정 산림 인접지역에서 화선이 빠르게 확산될 경우, 현장 소방지휘부는 해당 방향에 위치한 분기 소화설비 사용 가능 여부와 예상 지속 방수시간을 즉시 파악할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 사전 구축된 자원 데이터베이스와 현장 상황판단 체계가 연계되어야 하며, 필요 시 지자체 또는 시설 관리기관이 즉각 협조할 수 있는 연락·승인 구조가 마련되어야 한다. 결국 정보 공유의 목적은 '알림' 자체가 아니라 '즉시 실행 가능한 판단'에 있다.

이러한 운영 효율성을 높이기 위해서는 주요 밸브의 위치, 기능, 제어 범위에 대한 표준화된 관리가 병행되어야 한다. 밸브는 급수 방향 전환, 압력 분산, 특정 구간 차단, 우선 공급 등 실질적 용수 배분의 핵심 수단이다. 그러나 평상시 시설 운영 기준에 따라 관리되는 밸브는 외부 기관이 구조를 알기 어렵거나, 비상시 접근 권한이 불명확할 수 있다. 이 경우 실제 산불 상황에서 적절한 용수 배분이 가능하더라도 밸브 조작 지연으로 대응력이 저하될 수 있다. 따라서 운영 매뉴얼에는 주요 밸브의 분류(주밸브, 분기밸브, 비상차단밸브), 위치도, 조작 절차, 권한자 지정이 반드시 포함되어야 한다.

밸브 통제 권한은 운영상 가장 민감한 요소 중 하나이다. 공공시설의 급수설비는 본래 해당 기관의 생활·운영 기능과 직결되므로, 외부 기관이 임의로 통제할 경우 시설 기능 저하 또는 안전 문제가 발생할 수 있다. 반대로 재난 시 승인 절차가 과도하게 복잡하면 초기 대응력이 떨어질 수 있다. 따라서 현실적인 방식은 평시에는 시설 관리주체가 기본 권한을 유지하되, 일정 재난 단계 이상에서는 사전 협약에 따라 지정된 지자체 재난본부 또는 현장 통합지휘권자가 제한적 통제 권한을 행사하는 이중 구조가 바람직하다. 즉, 권한의 완전 이양이 아니라 조건부 전환 구조가 필요하다.

이러한 권한 체계는 단계별로 구분될 필요가 있다. 예를 들어 1단계(관심·주의)에서는 정보 공유 및 준비 수준, 2단계(경계)에서는 공동 승인하 제한적 분기 사용, 3단계(심각)에서는 현장 지휘권자의 우선 통제권 발동과 같은 방식이다. 이는 시설 보안성과 재난 대응 신속성 사이의 균형

을 유지하는 데 효과적이다. 또한 주요 밸브에 원격제어 또는 디지털 잠금 체계를 부분 적용할 경우, 현장 접근이 어려운 야간 산불이나 급속 확산 상황에서도 대응 속도를 높일 수 있다.

모든 공공시설 급수설비을 대규모 스마트 시스템으로 전환하지 않더라도 최소한 핵심 밸브와 주요 수위·압력 정보에 대한 공유 체계를 마련하는 것만으로도 운영 효율은 크게 향상될 수 있다.

아울러 실시간 상황 공유 및 밸브 통제 권한 정립은 기술 문제이면서 동시에 조직 간 신뢰의 문제이기도 하다. 실제 현장에서는 정보 비공유, 책임 회피, 권한 충돌이 설비 부족만큼 큰 장애요인이 될 수 있다. 따라서 정기 합동훈련을 통해 특정 상황에서 누가 어떤 정보에 접근하고, 누가 밸브를 조작하며, 누가 최종 책임을 지는지 반복적으로 검증할 필요가 있다. 이는 단순 매뉴얼 문서보다 실제 운영 가능성을 높이는 핵심 요소이다.

향후 운영 개선의 방향은 단순 협력 수준을 넘어, 정보·권한·제어가 통합된 현장 중심 운영체계 구축에 맞추어져야 한다. 이는 새로운 대규모 설비를 추가하지 않더라도 기존 인프라의 활용성과 대응 속도를 크게 향상시킬 수 있으며, 이는 예산 부담을 줄이면서도 산불 대응의 실질적 효율성을 높이는 방안이다.

5.3 제도적 측면에서의 법·제도 개선방안

고지대 공공시설의 가압 급수설비를 산불 대응용 소방용수 체계로 활용하기 위해서는 기술적 설계와 운영 매뉴얼 정비만으로는 한계가 있으며, 이를 실제 공공정책과 지역 재난관리체계 속에서 지속가능하게 작동시키기 위한 제도적 기반 마련이 필수적이다. 현재 우리나라의 산불 대응 관련 제도는 「재난 및 안전관리 기본법」, 「산림보호법」, 「소방기본법」, 「수도법」 등 다양한 법령에 분산되어 있으나, 각각의 법은 개별 목적 중심으로 설계되어 있어 고지대 공공시설 급수 인프라와 같은 기존 기반시설을 산불 대응 자원으로 통합 활용하는 데에는 구조적 한계가 존재한다. 즉, 현행 법체계는 산불 예방·진화, 소방활동, 수도시설 관리 등의

기능을 개별적으로 규정하고 있으나, 지역 내 기존 공공시설 급수설비를 산불 대응용으로 전환·공유하는 복합적 운영 구조에 대해서는 상대적으로 구체성이 부족하다. 따라서 향후 제도 개선의 방향은 기존 법률 간 연계성을 강화하고, 공공시설 기반 소방용수 활용에 관한 명확한 법적 근거와 운영 기준을 마련하는 데 초점을 둘 필요가 있다.

우선 현행 법체계의 가장 큰 한계 중 하나는 산불 대응과 소방용수 확보가 서로 밀접한 관계를 가짐에도 불구하고, 법령상 관리 주체와 적용 범위가 분절적으로 운영된다는 점이다. 「산림보호법」은 산불 예방과 산림 보호를 중심으로 산림청의 역할을 규정하고 있으며, 「소방기본법」 및 관련 소방시설 법령은 화재 진압과 소방활동을 중심으로 소방기관의 권한을 규정한다. 또한 「수도법」은 생활용수 공급 안정성과 수도시설 관리에 초점을 둔다. 이러한 구조는 각 분야의 전문성을 보장하는 장점이 있으나, 산림 인접 고지대 공공시설의 급수설비를 산불 대응용으로 공동 활용하는 과정에서는 기관 간 관할 범위와 책임 소재가 불명확해질 수 있다. 따라서 제도적으로는 기존 개별 법령을 유지하되, 산불 취약지역 공공 인프라 공동 활용에 관한 연계 조항 또는 특별 지침을 마련하여 산림·소방·지자체 간 협력 구조를 보다 구체화할 필요가 있다.

첫째, 「재난 및 안전관리 기본법」 또는 하위 지침 수준에서 산불 취약지역 내 기존 공공시설 인프라의 재난 대응 자원화 개념을 보다 명확히 반영할 필요가 있다. 현행 재난안전관리체계는 국가와 지방자치단체의 재난 예방·대비·대응 책무를 규정하고 있으나, 지역 내 공공 급수시설을 구체적으로 어떻게 활용할 것인지에 대한 세부 기준은 제한적이다. 따라서 일정 기준 이상의 고지대 공공시설 또는 산림 인접 공공시설에 대해 재난 시 소방용수 활용 가능성 검토, 설비 현황 조사, 비상 활용계획 수립 등을 포함하는 제도적 장치를 마련한다면, 기존 시설을 보다 체계적인 지역 재난관리 자원으로 전환할 수 있다.

둘째, 지방자치단체 차원의 조례 또는 지역 재난관리계획에 공공시설–소방–산림 협력체계를 구체화할 필요가 있다. 산불 대응은 지역별 지형, 산림 분포, 접근성, 공공시설 유형에 따라 여건이 크게 다르므로, 중앙정

부 차원의 일률적 기준만으로는 현장 적용성이 제한될 수 있다. 따라서 각 지방자치단체는 관할 지역 내 산림 인접 공공시설의 위치, 급수능력, 활용 가능성을 조사하고 이를 지역 재난관리계획에 반영할 필요가 있다. 예를 들어 산불 취약지역 내 일정 규모 이상의 공공시설은 비상시 소방용수 지원 가능 여부를 사전 검토하고, 지자체·소방기관과 협약 체계를 구축하도록 하는 방식이다. 이는 전국 단일 법령의 한계를 보완하면서도 지역 맞춤형 실효성을 높일 수 있다.

셋째, 공공시설 활용 과정에서 가장 중요한 쟁점 중 하나인 관리 책임과 비용 부담 구조를 명확히 해야 한다. 실제로 기존 공공시설의 급수설비를 재난 대응용으로 활용하기 위해서는 분기관 설치, 연결구 표준화, 밸브 보완, 계측장비 추가, 정기 점검 등 일정 수준의 비용이 수반된다. 그러나 이러한 비용을 시설 자체 예산만으로 부담할 경우 참여 유인이 낮아질 수 있다. 따라서 국가 또는 지방자치단체 차원의 재난예방 예산, 특별교부세, 산불 대응 보조금 등을 활용하여 일정 부분 비용 지원 체계를 마련할 필요가 있다. 이는 새로운 대규모 소방용수 관로를 별도로 구축하는 것보다 상대적으로 적은 비용으로 대응력을 높일 수 있다는 점에서 재정 효율성 측면에서도 타당하다.

넷째, 「공유재산 및 물품 관리법」 및 관련 행정 규정을 활용하여 공공시설 급수설비 공동 활용의 법적 안정성을 강화할 필요가 있다. 기존 공공시설은 기관별 관리 목적에 따라 운영되므로, 외부 재난 대응 자원으로 활용할 경우 사용 범위, 책임 한계, 시설 손상 시 복구 책임 등에 대한 기준이 명확해야 한다. 따라서 평시에는 기관 고유 기능을 유지하되, 재난 단계 발령 시 일정 범위 내 공동 활용이 가능하도록 하는 법적·행정적 기준을 정비해야 한다. 이는 단순 협조 요청이 아닌 제도화된 공공자원 협력 체계 구축이라는 점에서 중요하다.

다섯째, 보안성과 공공성의 균형도 고려되어야 한다. 일부 군부대 등 고지대 공공시설은 일반 행정시설과 달리 보안상 민감한 특성을 가질 수 있으므로, 모든 설비 정보를 전면 공개하는 방식은 현실적으로 한계가 있다. 따라서 법제도 개선은 시설 전체 구조 공개보다 재난 대응에 필요한

최소 범위의 정보 공유 기준을 마련하는 방향이 적절하다. 예를 들어 저수량 범위, 연결 가능 지점, 비상 밸브 위치 등 실무 정보는 지정된 지자체·소방기관과 공유하되, 세부 시설 구조는 제한하는 방식이다. 이는 국가안보 또는 시설 보호와 공공 재난 대응 간 균형을 확보하는 현실적 접근이 될 수 있다.

여섯째, 제도는 단순 규정 신설보다 실제 작동 가능성을 높이는 표준화 체계와 연계되어야 한다. 즉, 법률은 기본 원칙과 권한 구조를 규정하고, 하위 지침이나 행정 매뉴얼은 설비 기준, 공동 활용 절차, 권한 전환 구조, 점검 주기, 훈련 체계 등을 구체화하는 다층 구조가 바람직하다. 이러한 방식은 법률 개정의 경직성을 줄이면서도 지역 여건 변화에 따라 유연하게 운영될 수 있다는 장점이 있다.

결국 산불 대응의 실효성을 높이기 위해서는 이미 존재하는 공공시설과 제도를 어떻게 연결하고 활용할 것인가에 대한 법적 기반 정비가 병행되어야 한다. 새로운 관로 설치와 전용 소방용수망 구축에는 상당한 예산과 시간이 요구되는 반면, 기존 고지대 공공시설 급수설비를 제도적으로 연계하는 방식은 상대적으로 현실성과 비용 효율성이 높다. 따라서 법제도 개선은 단순한 행정 보완을 넘어, 한정된 재정 여건 속에서 산불 대응력 강화를 실질적으로 뒷받침하는 핵심 정책 기반으로 기능할 필요가 있다.

Ⅵ. 결론

본 연구는 기후변화로 인한 산불의 대형화·장기화와 산악지형 중심 산불 취약지역의 구조적 한계에 주목하여, 고지대 공공시설의 가압 급수설비를 활용한 소방용수 확보체계 개선방안을 모색하였다. 최근 국내 산불은 단순한 산림 소실을 넘어 인명피해, 주거지 위협, 국가기반시설 피해, 지역경제 손실 등 복합적 재난 양상으로 확대되고 있으며, 특히 산악지형에서는 접근성 부족과 용수 확보 한계로 인해 초기 대응 실패 가능성이 더욱 커지고 있다. 기존 산불 대응체계는 헬기, 소방차, 자연수원, 저수지 등 다양한 자원을 활용하고 있으나, 야간 운용 제한, 기상 조건, 고저차, 장거리 송수 문제 등으로 인해 실제 현장에서는 구조적 제약이 반복적으로 나타난다.

이에 따라 산불 대응력을 단순히 외부 자원의 추가 투입이나 사후 진압 역량 강화 차원에서 접근하기보다, 기존 지역 내 공공시설 급수설비를 보다 적극적으로 활용하는 방향에서 재검토할 필요가 있다고 보았다. 특히 고지대 공공시설은 이미 물탱크, 가압 급수펌프, 배관망, 밸브 등 일정 수준 이상의 급수 기반을 갖추고 있는 경우가 많으며, 이를 평상시 생활용수 공급 기능에 한정하지 않고 비상시 산불 대응 자원으로 구조화할 경우 보다 현실적이고 현장 인접형 대응체계 구축이 가능할 수 있다. 이러한 접근은 새로운 소방용수 전용 관로를 광범위하게 신설하는 방식에 비해 예산 부담을 줄이면서도, 산불 초기 대응력 강화라는 측면에서 실질적 가능성을 가진다.

따라서 본 연구는 산불 진화용수 확보체계의 구조적 한계, 국내외 기존 인프라 활용 사례, 고지대 공공시설 급수망의 적용 가능성을 종합적으로 분석하였으며, 기술적·운영적·제도적 측면에서 구체적 개선방향을 제시하였다. 이를 통해 산불 대응체계의 패러다임이 단순한 사후 진압 중심이 아닌, 기존 인프라의 구조적 활용과 예방적 대응 역량 강화 방향으로 확장될 필요가 있음을 강조하였다. 산불은 초기 대응 실패 시 피해 규모가 급격히 확대될 가능성이 높은 재난이며, 이러한 특성상 현장 인접 위치에서 즉시

활용 가능한 용수 확보체계는 대응 효율성에 직접적 영향을 미친다. 따라서 본 연구는 고지대 공공시설 급수설비를 활용한 대응체계 구축의 방향성을 제안하였다.

6.1 연구결과 요약

본 연구에서는 산불 취약지역에서 반복적으로 나타나는 소방용수 확보 한계에 주목하여, 고지대 공공시설의 가압 급수설비를 활용한 산불 대응체계 개선방안을 도출하고자 하였다. 분석 결과, 산불 취약지역의 피해 확대에는 단순한 화재 발생 자체보다 초기 단계에서의 접근성, 수압 확보, 지속적 송수 가능성 등 구조적 요소가 중요한 영향을 미친다는 점이 확인되었다. 기존 산불 대응체계는 헬기, 소방차, 저수지, 자연수원 등 다양한 자원을 활용하고 있으나, 야간·강풍·산악지형·고도차와 같은 조건에서는 이러한 대응수단이 충분한 효과를 발휘하기 어려운 경우가 존재한다. 특히 산악지역에서는 장거리 송수와 수압 손실 문제가 동시에 발생할 수 있어, 단순한 외부 소방자원 투입만으로는 한계가 있을 수 있다. 이러한 점은 기존 사후 진압 중심 구조를 보완하여, 현장 인접형·기존 설비 활용형 대응체계로의 전환 필요성을 보여준다.

기술적 측면의 분석에서는 고지대 공공시설의 가압 급수설비가 일정 조건하에서 산불 대응용 소방용수 인프라로 활용될 가능성이 있음을 확인하였다. 기존 공공시설은 생활용수 공급을 위해 저수조, 펌프, 배관망, 압력체계 등을 갖추고 있는 경우가 많으며, 이를 단순 생활 기반시설이 아닌 비상시 대응 가능한 복합 인프라로 전환할 경우 새로운 활용 가능성이 발생한다. 특히 가압 급수관로 분기형 소화설비 구축은 기존 주 배관망에서 산불 대응용 분기라인을 형성함으로써, 평상시 생활용수 공급 기능을 유지하면서도 비상시 소화전 또는 방수체계로 전환 가능한 구조를 제시하였다. 또한 비상시 용수 압력 제어 및 수량 배분 체계는 기존 생활용 급수설비를 실제 재난 대응체계로 전환하기 위한 핵심 요소로 분석되었다. 이는 단순한 시설 존재보다 구조적 운영성과 제어 가능성이 중요함을 의미한

다.

운영적 측면에서는 공공시설과 지방자치단체 간 공동 활용 구조의 필요성이 도출되었다. 기존 공공시설은 개별 기관 목적에 따라 운영되는 경우가 많아, 재난 발생 시 이를 외부 대응 자원으로 즉시 활용하기 위해서는 사전 협력체계와 운영 매뉴얼이 필요하다. 이에 따라 본 연구는 공공시설–지자체 간 소방용수 공동 활용 매뉴얼, 실시간 정보 공유체계, 밸브 통제 권한 정립 등을 주요 개선방안으로 제시하였다. 이는 단순 시설 공유가 아니라 실제 현장에서 활용 가능한 구조적 운영체계의 중요성을 보여준다.

6.2 정책적 제언

정책적 측면에서는 현행 제도체계가 산불 대응, 소방용수 확보, 공공시설 관리가 분절적으로 운영되는 경향이 있음을 확인하였다. 이에 따라 기존 공공시설을 재난 대응 자원으로 활용하기 위한 법적 근거, 공동 활용 기준, 재정 지원 구조 강화의 필요성이 제기되었다. 국내외 사례분석 역시 기존 생활·공공 물 인프라를 소방 기능과 구조적으로 연계하는 방향성을 보여주었으며, 이는 새로운 인프라의 전면적 신설보다 기존 시설의 구조적 전환과 운영체계 정비가 중요하다는 점을 시사한다.

현재 산불 대응 정책은 진화장비 확충과 대응인력 운영에 중점을 두고 있으나, 초기 대응 단계에서 활용 가능한 용수 확보체계에 대한 관심은 상대적으로 제한적인 측면이 있다. 따라서 향후에는 산불 취약지역을 대상으로 기존 공공시설 급수설비 현황을 조사하고, 재난 발생 시 활용 가능한 용수 자원을 체계적으로 관리할 수 있는 관리체계 구축이 필요하다.

제도적 측면에서는 공공시설의 재난 대응 활용에 관한 법적 근거를 보다 구체화할 필요가 있다. 현재 관련 법령은 기관 간 협력과 자원 동원의 일반적 원칙을 제시하고 있으나, 공공시설 급수설비를 소방용수 자원으로 활용하기 위한 세부 기준은 미흡한 실정이다. 따라서 시설 활용 범위, 관리 책임, 운영 절차 등을 명확히 규정함으로써 재난 상황에서의 활용성을

높일 필요가 있다.

종합적으로 볼 때, 산불 취약지역의 소방용수 확보 문제는 단순한 시설 부족이 아니라 기존 자원을 어떻게 구조화·공유·운영할 것인가의 문제로 이해될 필요가 있다. 따라서 본 연구는 고지대 공공시설 급수망을 산불 대응체계와 연계하는 방향성을 구체화함으로써, 보다 현실적이고 지속가능한 산불 대응 전략의 가능성을 제시하였다. 이는 향후 산불 취약지역 재난관리정책, 지방행정 실무, 공공 인프라 활용 전략 수립에 기초자료로 기여할 수 있을 것이다.

6.3 연구의 한계 및 향후 과제

본 연구는 산불 취약지역의 소방용수 확보체계를 고지대 공공시설 급수망 활용이라는 관점에서 분석하고 기술적·운영적·제도적 개선방향을 제시하였다는 점에서 의의를 가진다. 그러나 몇 가지 한계도 존재한다. 우선 연구 방법에 있어 문헌연구와 사례분석 중심으로 수행되었기 때문에, 실제 특정 시설을 대상으로 한 수압, 유량, 관경, 고저차, 펌프 성능 등 공학적 실증분석까지는 충분히 수행하지 못하였다. 따라서 본 연구에서 제시한 개선방안은 구조적 가능성과 정책 방향성을 중심으로 한 제안이라는 한계를 가진다.

또한 연구 대상이 고지대 공공시설이라는 특수한 구조를 중심으로 이루어진 만큼, 지역별 지형, 시설 유형, 행정 여건에 따라 실제 적용 가능성에는 차이가 있을 수 있다. 특히 보안상 이유로 특정 시설의 세부 구조를 직접 분석하지 못하고 일반화된 공공시설 개념으로 접근하였다는 점은 보다 구체적 실증연구에 한계로 작용할 수 있다.

국내외 사례 역시 적용 가능성을 보여주는 참고자료로서 의미는 있으나, 국가별 법제도·기후·재정 구조가 상이하므로 이를 국내에 직접 적용하기에는 조정이 필요하다. 또한 운영적 측면에서 제시한 공동 활용 매뉴얼, 권한 구조, 정보 공유체계 역시 실제 정책화 과정에서는 기관 간 협의, 조례, 예산, 책임 구조 등 보다 세부적인 제도 설계가 필요하다.

향후 연구에서는 실제 고지대 공공시설 급수망의 기술적 성능 검증, 지역 유형별 표준모델 개발, 공공시설 급수설비 공동 활용 기준의 제도화, 현장 대응인력과 지역사회를 포함한 교육·훈련체계 구축 등이 필요하다. 이러한 후속 연구가 병행된다면 본 연구는 산불 취약지역의 소방용수 확보체계를 보다 실질적이고 구체적인 정책모델로 발전시키는 기초자료가 될 수 있을 것이다.

본 연구는 산불 취약지역 대응체계를 기존 급수설비의 구조적 활용이라는 새로운 시각에서 재검토하고 향후 보다 정교한 기술 검증과 정책 설계를 위한 출발점을 제시하였다는 점에서 의미가 있다. 이는 산불 대응체계를 보다 현실적이고 지속가능한 방향으로 발전시키기 위한 학문적·실천적 토대로 기능할 수 있을 것이다.

HANSUNG UNIVERSITY

참 고 문 헌

1. 국내문헌

강두선, 김강민, 정기문, 최정욱. (2018). “상수도 송·배수시스템의 최적 설계 및 운영 모형 개발”. 『한국수자원학회지』, 51(12), 1171-1180

고경석, 김동훈, 김용철, 신에스더, 윤희성, 이수형, 하규철. (2016). “수격펌프의 효율성 및 현장 적용성 평가”. 『자원환경지질학회』, 49(3), 243-248

국가법령정보센터. (2024). “공유재산 및 물품 관리법”.

국가법령정보센터. (2024). “군사기지 및 군사시설 보호법”.

국가법령정보센터. (2024). “소방시설 설치 및 관리에 관한 법률”.

국가법령정보센터. (2025). “수도법”.

국가법령정보센터. (2026). “산림보호법”.

국가법령정보센터. (2026). “소방기본법”.

국가법령정보센터. (2026). “재난 및 안전관리 기본법”.

금시훈, 김동현, 남송희. (2013). “산불방지 급수시설 설치 기준 마련에 관한 연구”.『한국화재소방학회논문지』, 27(3), 38-46

김병화, 김태형, 이태원. (1995). “가압급수시스템의 적용을 위한 설계 및 제어기법 연구”. 『한국건설기술연구원』

김영재, 서린. (2025). “지형적 난접근성 대형산림화재 대응 고찰”.『문화재방배학회 논문집』, 10(2), 69-83

김종희. (2006). “재난관리를 위한 거버넌스 접근에 관한 연구”. 인천대학교 행정대학원, 석사학위논문.

김지훈. (2022). “야간 산불진화 대응체계 개선방안 연구”. 영남대학교 공학대학원, 석사학위논문.

박용균, 유도근, 전환돈, 정성균. (2015). “분산형 상수관망 구축을 위한

인라인 급수탱크 위치 최적화". 『한국방재학회논문집』, 15(6), 19-26
박우진, 백은선, 안태희, 장경남. (2022). "안정적인 소화용수 공급을 위한 소방전술 개선에 관한 연구". 『한국화재소방학회 논문지』, 36(5), 122-133.
배택훈. (2014). "헬기를 이용한 산불공중진화에 관한 연구". 강원대학교 방재전문대학원, 박사학위논문.
산림청. (2025). 산불 종합대책
산림청. (2026). 2026년도 전국 산불방지 종합대책
서울특별시 상수도사업본부. (2009). "서울특별시 상수도사업본부 백서 아리수 20년의 도전과 비전"
양철근. (2017). "우리나라 산불 대응체계 개선방안 연구". 서울사랍대학교 도시과학대학원, 석사학위논문.
유재범. (2025). "최근 산불대응 관련 주요 쟁점 및 향후 과제". 『국회입법조사처 이슈와 논점』, 2354
이정일. (2024). "산불재난 예방 및 유관기관 공조체계에 의한 인명·재산 피해 감소방안". 『대한안전경영과학회지』, 26(3), 83-92
이혜승. (2013). "효율적 관망운영방법 모색을 통한 유수율 향상 방안". 조선대학교 대학원, 석사학위논문.
주영국. (2021). "재난성 대형산불 대응체계 분석을 통한 문제점과 개선방안에 관한 연구". 원광대학교 대학원, 박사학위논문.
채종식. (2017). "산불로 인한 산림시설물 피해저감 방안에 관한 연구". 강원대학교 산업과학대학원, 석사학위논문.
최연철. (2014). "야간산불진화 헬기 운영과 항공안전". 『한국항공운항학회 논문지』, 22(1), 145-151
환경부. (2021). 상수도관망시설 유지관리 매뉴얼

2. 국외문헌

National Environmental Services Center (NESC). (2009). Dual Water Systems. Morgantown, WV: West Virginia University.

Climate-ADAPT. (2024). Building fire resilience using recycled water in Riba-roja de Túria (Spain). European Environment Agency.

Pierce, G. (2021). Wildfire and Water Supply in California. UCLA Luskin Center for Innovation.

Belongia, M. F., et al. (2023). Building water resilience in the face of cascading wildfire risks. Environmental Research Letters.

Robinne, F. N., et al. (2021). Scientists' warning on extreme wildfire risks to water supply. Ambio.

Revchuk, A. D., & Suffet, I. H. (2013). Effect of Wildfires on Physicochemical Changes of Watershed Dissolved Organic Matter. Water Environment Research, 85.

HANSUNG UNIVERSITY

ABSTRACT

A Study on Measures to Strengthen Initial Wildfire Response – Focusing on Water Supply Facilities in Public Facilities Located in High - Altitude Areas –

Kang, Woo-Jin

Major in Social Disaster and Safety Management

Dept. of Social Disaster and Safety

Graduate School of Public Administration

Hansung University

In recent years, the frequency and scale of large-scale wildfires have increased due to the intensification of climate change and the persistence of hot and dry environmental conditions. In Korea, the mountainous terrain and limited accessibility to high-altitude areas have created structural difficulties in securing firefighting water during the initial response stage of wildfires. Existing wildfire firefighting water supply methods utilize various resources, including reservoirs, rivers, fire hydrants, and helicopter water transport; however, in mountainous areas, practical limitations such as insufficient water source accessibility, long-distance water transmission constraints, and water pressure reduction hinder effective response. Accordingly, this study analyzed the feasibility of

utilizing pressurized water supply facilities possessed by high-altitude public facilities in wildfire-prone areas as firefighting water supply resources and proposed improvement measures for firefighting water supply systems.

To achieve this, the study examined the characteristics of wildfire disasters and the structural limitations of existing firefighting water supply systems, while also analyzing relevant laws, institutional frameworks, and domestic and international cases. In particular, this study focused on the potential use of existing domestic water supply-based infrastructure—such as water tanks, pressurized pumps, and water supply pipelines in high-altitude public facilities—as initial firefighting water resources during wildfire incidents, and analyzed their feasibility and limitations from technical, operational, and institutional perspectives.

The results indicate that pressurized water supply facilities in high-altitude public facilities can serve as an effective alternative by reducing initial response time, improving water accessibility in high-altitude areas, and lowering infrastructure costs without requiring large-scale new construction. However, major constraints were identified, including technical issues such as water pressure differences, non-standardized pipeline specifications, and insufficient connection devices, as well as institutional limitations such as insufficient inter-agency cooperation, unclear management responsibilities, and inadequate legal foundations.

Therefore, this study proposes major improvement measures including the construction of branch-type firefighting facilities, the establishment of emergency water pressure control systems, the development of joint utilization manuals between public facilities and local governments, and legal and institutional reforms. This study is significant in that it emphasizes the necessity of shifting wildfire response systems toward a

prevention- and preparedness-oriented approach through the utilization of existing public infrastructure, and it can contribute to strengthening sustainable disaster management capacity in wildfire-prone areas.

【Keywords】 Wildfire, Firefighting Water Supply System, High-Altitude Public Facilities, Pressurized Water Supply Facilities

HANSUNG UNIVERSITY