

## 산불로 인한 임도 배수시설의 콘크리트 강도 변화

최예준<sup>1†</sup> · 황진성<sup>2†</sup> · 황영인<sup>1</sup> · 전현준<sup>1</sup> · 권형근<sup>3\*</sup> · 이준우<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 산림자원학과, <sup>2</sup>국립산림과학원 산림기술경영연구소,

<sup>3</sup>한국농수산대학교 작물·산림학부, <sup>4</sup>충남대학교 산림환경자원학과

### Change in the Concrete Strength of Forest Road Drainage Systems Caused by Forest Fires

Ye Jun Choe<sup>1†</sup>, Jin-Seong Hwang<sup>2†</sup>, Young-In Hwang<sup>1</sup>, Hyeon-Jun Jeon<sup>1</sup>,  
Hyeong-Keun Kweon<sup>3\*</sup> and Joon-Woo Lee<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

<sup>2</sup>Forest Technology and Management Research Center, National Institute of Forest Science, Pocheon 11187, Korea

<sup>3</sup>Department of Crops and Forestry, Korea National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

<sup>4</sup>Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

**요약:** 산불이 대형화됨에 따라 산불 예방 및 진화를 위해 임도시설의 중요성이 증가하고 있다. 산불 발생 시 임도가 제 역할을 수행하기 위해서는 적절한 노선 선정과 함께 구조적인 안정성을 확보해야 한다. 그동안의 연구는 산불 발생에 따른 임도의 효과와 노선 배치에 치중되어 있으며, 임도의 안전성 확보를 위한 연구는 수행되지 않은 실정이다. 따라서, 본 연구는 최근 3년간 초대형 산불 발생지 내의 임도 콘크리트 시설물을 대상으로 콘크리트 비파괴검사기법 중 하나인 반발경도법을 이용하여 산불 여부에 따라 그 강도를 비교하였다. 연구 결과, 산불 피해 콘크리트 시설물(15.4 MPa)은 미피해 콘크리트 시설물(18.0 MPa)에 비해 낮은 강도를 나타냈으며( $p < 0.001$ ), 그 경향은 모든 대상 시설물에서 동일하게 나타났다. 따라서, 임도 시설의 강도 저하로 인한 임도의 2차 피해를 방지하기 위해 임도 시설물의 안전진단 기준이 마련되어야 할 것이다. 또한, 본 연구 결과에 대한 지속적인 모니터링과 실내 실험을 동반한 후속 연구가 진행되어 임도의 안정성을 제고해야 하며, 이를 통해 산불 예방과 진화를 위한 더 나은 전략을 마련할 수 있을 것이라 기대한다.

**Abstract:** As forest fires continue to increase in scale worldwide, the importance of forest roads in relation to forest fire prevention and suppression has become increasingly evident. To ensure effective functioning during a forest fire disaster, it is crucial to apply appropriate road planning and ensure roads' structural integrity. However, previous studies have predominantly focused on the impact of forest fires on firebreak efficacy and road placement, meaning that insufficient attention has been paid to ensuring the safety of these facilities. Therefore, this study sought to compare the strength of concrete facilities within areas damaged by forest fires over the past three years by using the rebound hammer test to identify signs of thermal degradation. The results revealed that concrete facilities damaged by forest fires exhibited significantly lower strength (15.6 MPa) when compared with undamaged facilities (18.0 MPa) ( $p < 0.001$ ), and this trend was consistent across all the target facilities. Consequently, it is recommended that safety assessment criteria for concrete forest road facilities be established to prevent secondary disasters following forest fire damage. Moreover, continuous monitoring and research involving indoor experiments are imperative in terms of enhancing the stability of forest road structures. It is expected that such research will lead to the development of more effective strategies for forest fire prevention and suppression.

**Key words:** forest road facilities, rebound hammer test, forest fire, thermal damaged concrete, structural stability of forest road


† These authors contributed equally to this work.

\* Corresponding author

E-mail: jwlee@cnu.ac.kr, hkkweon00@gmail.com

ORCID

Joon-Woo Lee  <https://orcid.org/0000-0002-5228-8566>

Hyeong-Keun Kweon  <https://orcid.org/0000-0002-9039-0158>

## 서론

최근, 기후 변화로 인해 전세계적으로 기록적인 산불이 발생함에 따라 인명 및 재산 피해가 점차 증가하고 있다 (Jeon and Chae, 2017; McWethy et al., 2019). 산불 발생

시 면적 100 ha 이상의 피해가 발생하였을 경우 ‘대형 산불’, 1,000 ha 이상의 피해가 발생하였을 경우 ‘초대형 산불’이라 명명하며, 이러한 대형 산불을 막기 위해서는 초기 진화가 무엇보다 중요하다(Han, 2020; Jeon, 2020). 초기 진화 작업을 위해서는 산불 진화 장비 및 인력의 신속한 이동이 수반되어야 하기 때문에, 산림관리기반시설인 임도가 필수적인 인프라로 제시되고 있다. 임도는 본래 산림자원을 경영 및 관리하기 위한 목적으로 시설되고 있으나 산불 발생 시 진화 장비 및 인력의 신속한 수송의 매개로 사용되어 산불 초기 진화에 도움을 줄 뿐만 아니라 연료 차단 및 방화선의 역할을 하고 있다(Forman and Alexander, 1998; Dimitrakopoulos, 2000; Cha and Oh, 2006; Ji et al., 2015; Lee et al., 2018; Matthew et al., 2021).

산불 발생 시 임도가 제 역할을 하기 위해서는 적절한 노선선정과 동시에 구조적인 안정성을 필수적으로 확보해야한다(Coban and Eker, 2010). 즉, 임도가 효율적으로 산불 예방 및 진화 작업을 수행하기 위해서는 최적 임도밀도를 고려한 노선 배치뿐만 아니라 상시통행을 위한 안전 점검과 유지관리가 이루어져야한다. 그러나, 기존의 연구는 노선 배치 및 임도의 역할 규명을 중심으로 수행되었고 산불 발생 이후 임도시설의 안정성에 관해 연구한 사례가 전무하며, 실제 산불 발생 시 임도시설의 피해에 따른 토사 유출 사례가 발생하기도 하였다(Figure 1).

한편, 임도의 안정시설물은 노면, 사면, 그리고 배수시설로 구분할 수 있다. 이 중 배수시설은 임도 안정을 위해 가장 중요하게 고려하고 있는 요인이며, 토사, 콘크리트, 석재, 떼 등의 토목 재료를 이용하여 주로 시공된다(Choi et al., 2011; Bang et al., 2014). 이 중 콘크리트는 고온에

노출되었을 시 미세 균열이 발생하여 성능 저하 및 수명 단축이 유발되는 것으로 알려져 있다(Lim, 2017). 일반적으로 낮은 강도의 임도 시설물은 강도 21 MPa의 콘크리트가 사용되고 있다. Kim et al.(2019)은 강도 65 MPa의 콘크리트는 367°C, 강도 38 MPa의 콘크리트는 300°C에서 열화 손상을 받는다고 보고하였는데, 이를 통해 임도 콘크리트 시설물은 300°C 보다 상대적으로 낮은 온도에서 열화 손상을 입을 것으로 추정할 수 있다. 반면, Santin and Doerr(2016)는 산불 발생 시 그 온도는 평균 745°C이며, 최대 976°C까지 이른다고 밝힌 바가 있어 산불 발생 시 고열로 인한 임도 콘크리트 시설물의 피해가 발생할 가능성이 충분히 있다고 예상된다.

이처럼 임도 콘크리트 시설물의 피해를 예상할 수 있는 이론적 근거가 충분하며, 실제 산불 발생에 따른 임도 시설물 피해 사례가 발생하고 있음에도 불구하고, 산불 발생으로 인한 임도 시설물의 안전 진단에 대한 선행 연구가 미흡하여 2차 피해를 예방을 위한 복구대책이 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 산불 발생에 따른 임도 콘크리트 시설물의 강도 변화를 파악하여 앞으로 산불 대응을 위해 사용되는 임도시설의 구조적 안정성 향상에 기여할 수 있는 기초자료로서 역할을 수행하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구 대상지

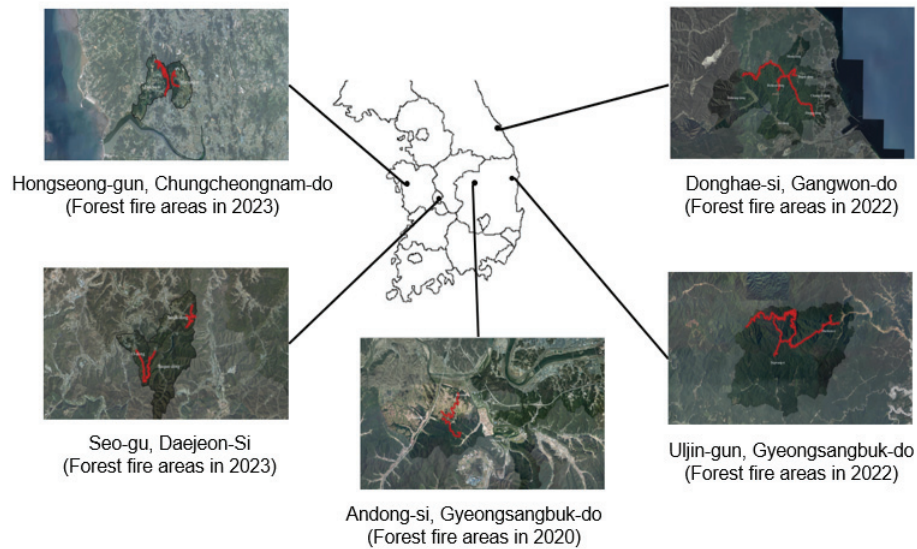
본 연구는 경상북도 안동시 남후면 검암리 공설임도(2020년 산불피해지, 4.92 km), 강원도 동해시 비천동 공설임도(2022년 산불 피해지, 19.88 km), 경상북도 울진군 북면



Figure 1. Damage to wing walls and culverts caused by forest fire (Seo-gu, Daejeon-si).

**Table 1. Description of the study sites.**

Location	Forest fire duration	Forest fire damaged area (ha)	Forest road length (km)
Andong-si, Gyeongsangbuk-do	2020.04.24.-2020.04.26	1,944	4.92
Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do	2022.03.04.-2022.03.13	20,923	28.92
Donghae-si, Gangwon-do	2022.03.04.-2022.03.08	4,000	19.88
Seo-gu, Daejeon-si	2023.04.02.-2023.04.04	752	7.21
Hongseong-gun, Chungcheongnam-do	2023.04.02.-2023.04.04	1,454	6.55



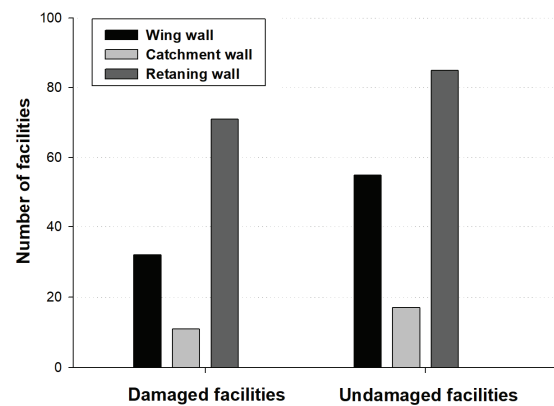
**Figure 2. Location of the study sites.**

**Table 2. The number of forest road drainage classified based on forest fire damage.**

Facility	Classification	
	Damaged	Undamaged
Wing wall	32	55
Catchment wall	11	17
Retaining wall	71	85
Total	114	157

두천리 국유임도(2022년 산불 피해지, 28.92 km), 대전광역시 서구 산직동 공설임도(2023년 산불피해지, 7.21 km), 충청남도 홍성군 결성면 무량리 공설임도(2023년 산불피해지, 6.55 km)를 대상으로 진행되었다(Table 1)(Figure 2).

조사 대상 시설물은 총 271개이며 피해 시설물은 114개, 미피해 시설물은 157개로 나타났다. 시설물 종류는 날개벽, 집수정, 옹벽으로 분류하였으며 노면은 일부 구간에서 콘크리트 포장되어 있으나, 차량 통행 등 산불 이외의 요인이 콘크리트 강도에 영향을 미칠 수 있어 본 연구의 범위에서 제외하였다(Table 2)(Figure 3).



**Figure 3. The number of drainage facilities in forest fire-damaged and non-damaged areas investigated in this study.**

## 2. 연구 방법

### 1) 육안조사를 이용한 산불 피해 여부 분류

가장 기초적인 검사인 육안관찰은 콘크리트 표면 변색 결과와 균열 발생 여부로 화재 당시 온도 및 손상 여부를 추정할 수 있으며, 가장 간단한 방법이나 정확한 강도를 추정할 수 없어 콘크리트 내부 손상을 판단하기에는 한계

가 존재한다(Lim, 2017). 따라서, 본 연구에서는 육안조사를 통해 산불 피해 여부를 구분하였으며, 콘크리트 균열의 경우 산불 피해 이외 다른 요인에 의해 발생할 수 있으므로 본 연구에서는 표면 변색 여부에 따라 분류하였다.

## 2) 반발경도법을 이용한 콘크리트 강도 추정

고온에 노출된 콘크리트 구조물의 가장 정확한 손상 평가 방법은 코어를 채취하여 잔류 물성을 측정하는 것이지만, 피해를 입은 모든 위치에서 코어를 채취하고 강도를 측정하기에는 한계가 존재하므로 주로 간단한 비파괴 검사 기법을 통해 열에 의한 손상 피해 등급을 결정한다(Lee et al., 2015). 비파괴 검사는 시설물의 유지 관리를 위해 콘크리트 시설물의 파괴 없이 측정 장비를 이용하여 대상 건축물의 특성, 상태 등을 추정해 볼 수 있는 기법이다(Lim, 2017). 따라서 본 연구에서는 콘크리트 비파괴 검사기법 중 하나인 반발경도법(Rebound method)을 이용하여 콘크리트 시설물의 강도를 추정하였다.

반발경도법은 콘크리트의 압축 강도의 특정 상관관계를 이용하여 경도를 강도로 변화하는 시험 방법으로 빠르고 간편하며 경제적으로 편리하게 사용할 수 있는 국제적 시험 방법이다(Aydin, 2007; Hong and Jo, 2008). 반발경도법에서는 휴대가 가능하고 비용이 저렴한 슈미트해머(Schmidt Hammer)가 가장 보편적으로 사용된다(Aydin, 2007). 슈미

트해머는 적용 대상과 강도측정범위에 따라 다양한 종류가 존재하며 본 연구에서는 N형 직독식 슈미트해머를 사용하였다(Table 3).

슈미트해머는 콘크리트 시설물을 대상으로 20×15 cm 방형구를 구획하여 총 20번의 타격을 실시하여 측정값을 얻었다. 측정값은 상·하위 5% 범위의 오류값을 제외한 평균 값을 취득하였고, 재령과 타격방향을 고려한 보정값 R을 강도추정식에 적용하여 최종 압축강도를 추정하였다. 강도추정식은 동경도 건축재료식(식 1)을 적용하였다.

$$F_c = 10R - 110 \quad (1)$$

\*  $F_c$  = Compressive Strength of Concrete,  
 $R$  = Rebound Hardness

이렇게 얻은 데이터는 R(Ver. 4.2.1)을 이용하여 산불 피해 여부에 따라 분류된 두 집단의 비교를 위해 독립표본 T-test를 실시하였다.

## 결 과

모든 시설물을 대상으로 산불 피해 여부에 따라 피해 및 미피해로 분류하여 강도 차이를 비교하였다(Table 4).

Table 3. Types and application of The Schmidt hammer.

Type	Test material	Hammering energy (kgf·m)	Measurement range (MPa)
N type	Normal concrete	0.225	15-60
NR type	Normal concrete	0.225	15-60
L type	Lightweight concrete	0.075	10-60
LR type	Lightweight concrete	0.075	10-60
M type	Mass concrete	3.00	60-100
P type	Low strength concrete	0.090	5-15

Table 4. Results of T-test for strength of forest road concrete facilities comparison based on forest fire damage.

Type of facility	Factor	N	Average	SD	t	p
Wing wall	Damaged	32	15.3	2.77	3.03	0.003
	Undamaged	55	17.2	3.52		
Catchment wall	Damaged	11	13.0	1.81	6.88	0.000
	Undamaged	17	18.1	1.93		
Retaining wall	Damaged	71	16.1	2.75	4.97	0.000
	Undamaged	85	18.5	3.35		
Total	Damaged	114	15.6	2.65	6.71	0.000
	Undamaged	157	18.0	3.41		

그 결과 산불 피해를 입은 시설물은 평균 15.6 MPa, 산불 피해를 입지 않은 시설물은 평균 18.0 MPa의 강도를 나타내어 유의한 차이를 보였다( $p < 0.001$ ). 이러한 결과를 통해 전체적인 산불 피해 콘크리트 시설물의 강도가 미피해 콘크리트 시설물에 비해 다소 낮은 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

산불 피해 여부에 따른 콘크리트 시설물의 강도는 다음과 같다. 산불 피해 여부에 따른 날개벽의 콘크리트 강도를 비교한 결과, 피해가 발생한 날개벽은 평균 15.3 MPa, 미피해 날개벽은 평균 17.2 MPa의 강도를 나타내어 유의

한 차이를 보였다( $p < 0.01$ ; Figure 4).

집수정을 대상으로 산불 피해 여부에 따른 콘크리트 강도를 비교한 결과, 피해가 발생한 집수정은 평균 13.0 MPa, 미피해 집수정은 평균 18.1 MPa의 강도를 나타내어 유의한 차이를 보였다( $p < 0.001$ ; Figure 5).

산불 피해 여부에 따른 콘크리트 옹벽의 강도를 비교한 결과, 피해가 발생한 옹벽은 평균 16.1 MPa, 미피해 옹벽은 평균 18.5 MPa의 강도를 나타내어 유의한 차이를 보였다( $p < 0.001$ ; Figure 6).

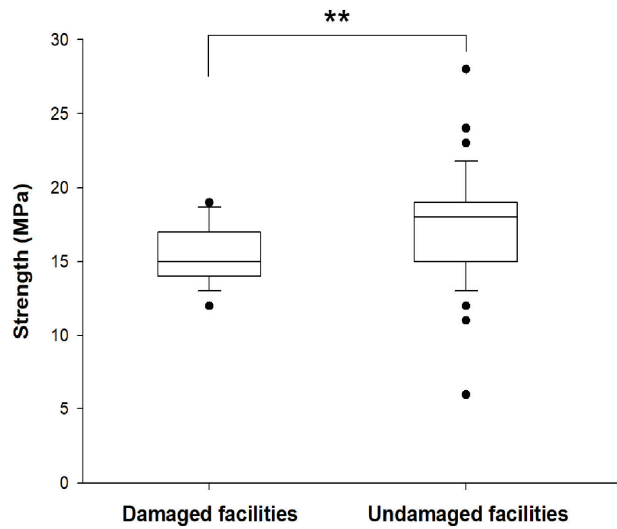


Figure 4. The strength of forest fire damaged and undamaged wing wall in forest road ( $p < 0.01$ ).

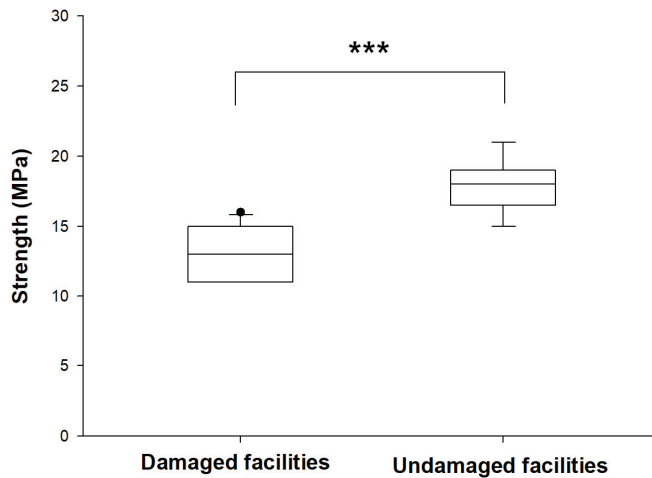


Figure 5. The strength of forest fire damaged and undamaged catchment wall in forest road ( $p < 0.001$ ).

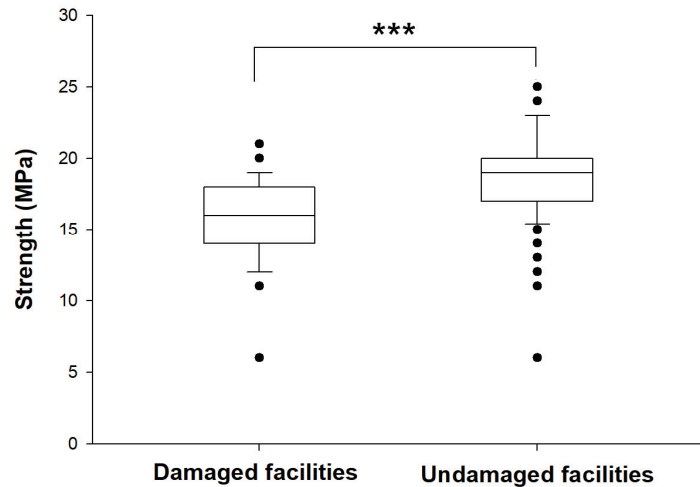


Figure 6. The strength of forest fire damaged and undamaged retaining wall in forest road ( $p < 0.001$ ).

## 고찰

모든 콘크리트 시설물에서 산불 발생에 따라 강도가 낮아지는 경향을 확인하였으며, 각 시설물 별로 피해를 받은 원인과 그 피해 정도가 다른 이유는 다음과 같다고 사료된다.

날개벽은 주로 속도랑의 유입부 및 유하부에 시공되며 계곡과 옆도랑에서 유입되는 유수들로 인한 침식을 방지하기 위해 배수관과 함께 시공되는데, 이 때 속도랑 내부를 지나는 바람은 베르누이 법칙에 따라 주변보다 더욱 강하게 분다(Choi et al., 2011; Faoukner and Ytreberg, 2011). 바람이 강해짐에 따라 산불 발생 시 속도랑 내에 낙엽, 낙지 등의 연료가 축적되어 있는 경우 강한 열화가 발생할 것으로 예상되며, 속도랑을 통해 흙쌓기비탈면에서 땅깁기비탈면으로 불이 옮겨 붙은 사례도 존재하였다. 특히, 속도랑의 산불 피해가 심한 경우에는 토사 유출 사례가 발생한 경우가 있어 산불 발생 직후 특히 주의를 기울일 필요가 있다고 사료된다.

집수정은 옆도랑으로 흐르는 물이 많은 토사와 오물, 낙엽, 낙지를 포함하여 배수관이나 암거 등으로 흐를 때 이들이 침적하여 막히는 것을 방지하기 위해 옆도랑과 다른 배수시설이 교차하는 곳에 설치한다. 이러한 경로로 들어온 침적물들이 산불이 주로 발생하는 겨울부터 봄 사이에 건조해져 연료의 역할을 하게 되고 산불 발생 시 고열로 인한 피해가 발생한 것으로 판단된다.

옹벽의 경우 다른 시설물에 비해 비교적 높은 강도를 갖고 있는 것으로 조사되었는데, 주위가 막혀 있는 다른 시설물과 달리 주변 환경에 따라 연료가 쉽게 분산될 가능성이 있어 산불의 영향 시간이 길지 않았기 때문이라고 사료된다.

연구대상지 내 모든 종류의 콘크리트 시설물에서 산불 발생에 따른 강도 저하 경향이 나타났으나, 열화 손상에 대한 정량적 기준이 존재하지 않아 피해의 강도가 심각하다고 판단할 수는 없다. 다만, 산불 피해 여부에 따라 콘크리트의 강도가 일관적으로 낮아지는 경향을 보이고 있기 때문에 산불 발생 이후 임도 콘크리트 시설물에 대한 전반적인 점검이 필요하며 특히, 피해 사례가 발견된 속도랑과 날개벽은 지속적인 모니터링과 후속 연구를 통해 피해여부를 규명할 필요가 있다.

한편, 전반적으로 콘크리트 시설물 피해 강도의 편차가 다소 크게 나타나고 있는데, 이는 시설물 주위의 연료 여건과 산불 지속 시간에 따른 차이에 기인한 결과인 것으로 추정된다. Kim et al.(2019)은 콘크리트의 열화 손상 피해는 피해가 시작되는 온도에서 약 15분 이상 지속적인 열이 가해질 때 나타난다고 하였는데, 이에 따르면 콘크리트 시설물이 고열로 인해 그을리고, 변색이 되어 육안으로는 피해를 입은 것으로 보이지만 그 지속시간이 길지 않으면 내부에는 경미한 피해에 그칠 수도 있을 것이라는 추측이 가능하다.

이러한 연료 여건과 산불 지속 시간은 비단 임도뿐만 아니라 산불 피해 강도를 결정하는 주요한 요인이기에 이에 대한 데이터를 정확하게 수집하는 것이 산불 피해 등급을 산정하는데 있어 중요한 작업이나, 산불 발생 당시 현장 데이터를 정확하게 수집하는데에는 현실적으로 제약 사항이 많다. 실제 임도 내 콘크리트 시설물의 산불 피해 양상을 살펴보았을 때 같은 산불 피해지 및 같은 노선에 위치하고 있더라도 그 피해 양상은 불규칙하게 나타나고 있었다. 이러한 이유로 본 연구 또한 콘크리트 시설물의

산불 피해 여부를 현장조사 및 위성영상 기반 산불 피해 강도 수치가 아닌 육안 판독에 근거하여 판단한 한계가 존재한다. 보다 정확한 산불 피해 강도에 따른 콘크리트 시설물의 강도의 차이는 후속 연구를 통해 규명할 수 있을 것이라 사료된다.

## 결 론

본 연구는 산불 예방 및 진화에 사용되는 임도의 구조적 안정성 향상을 위해 산불 발생지 내 임도 콘크리트 시설물을 대상으로 콘크리트 비파괴검사기법 중 하나인 반발경도법을 이용하여 산불 피해 여부에 따른 임도 콘크리트 시설물의 강도를 비교하였다.

문헌에 따르면 임도 콘크리트 시설물의 초기 시설 강도는 21 MPa이다(Kim and Kim, 2022). 그러나, 산불 발생 시 산불 피해를 입은 시설물은 평균 15.6 MPa, 피해를 입지 않은 콘크리트 시설물은 평균 18.0 MPa의 강도를 나타내어 산불 피해를 입은 시설물의 강도가 저하된 것을 확인하였으며( $p < 0.001$ ) 이러한 강도 저하 경향은 모든 시설물에서 동일하게 나타났다.

현재까지 우리나라에서 산불 발생 후 임도 콘크리트 시설물의 피해로 인한 심각한 재해가 보고된 바는 없다. 그러나, 본 연구 결과에 따르면 임도 콘크리트 시설물 또한 수목, 토양과 마찬가지로 산불 발생 시 고열에 의한 강도 저하 피해가 발생한 것으로 파악되며 산불이 점차 대형화 및 빈번화 되고 있는 현 실정에서 산불 예방 및 진화에 사용되는 임도시설의 안전진단 기준이 필수적으로 마련되어야 한다고 생각된다.

이를 위해 임도시설에 사용되는 콘크리트를 대상으로 실내 실험과 지속적인 시공지 모니터링 등 후속 과제를 통하여 콘크리트 시설물의 안전성 진단 기준을 마련한다면 산불 예방 및 진화에 사용되는 임도시설의 안정성을 확보할 수 있어 보다 효율적이고 안전한 산불 진화가 가능해질 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 ‘한국임업진흥원(과제번호 : 2021366B10-2323-BD0131482092640103)’의 지원으로 수행되었습니다.

## References

Bang, H.S., Kweon, H.K., Lee, J.W. and Kim, M.J. 2014. A study on classification of disaster risk rating for forest

road using AHP methodology. *Journal of Korean Forest Society* 103(2): 258-263.

Choi, Y.H., Lee, J.W. and Kim, M.J. 2011. A study on development standard calculation program of forest road drainage facilities. *Journal of Korean Forest Society* 100(1): 23-33.

Dimitrakopoulos, A.P. 2000. Preliminary distribution of forest fires and burned area according to initial attack time in Greece, during the decade 1986-1995. *Dasike Ereuna, Nea Seira* 13: 26-36.

Faulkner, B.E. and Ytreberg, F.M. 2011. Understanding Bernoulli's principle through simulations. *American Journal of Physics* 79(2): 214-216.

Forman, R.T.T. and Alexander, L.E. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29: 207-231.

Hong, S.W. and Cho, Y.S. 2008. A study using rebound method and impact echo method for the comparison of the compressive strength of concrete slab. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection* 27(3): 1-11.

Jeon, B.R. and Chae, H.M. 2017. A study of analysis on relationship between Korea Forest Fire Occurrence and Weather Factor. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 17(5): 197-206.

Jeon, D.H. 2020. Real-time Decision Making on Helicopter Dispatch during Multiple Forest Fire (Dissertation). Oregon State. The University of Oregon.

Ji, B.Y., Hwang, J.S., Jung, D.H. and Kweon, H.K. 2015. Preference analysis of administrator group for public forest road use (1) - Problems of forest road use and standards and suggestions for future improvement -. *Korean Journal of Agricultural Science* 42(4): 341-346.

Kim, J.H., Yoo, S.H., Kwon, H.J., Park, Y.S., Hwang, J.P. and Park, J.W. 2019. Fire resistance performance verification of 65MPa Concrete using high strength binder and refractory materials. *Magazine of the Korea Concrete Institute* 31(6): 51-56.

Kim, J.S. and Kim, D.Y. 2022. A statistical analysis of results of detailed inspections on aged concrete erosion control dams in Gyeongsangbuk-do. *Journal of Korean Society of Forest Service* 111(2): 276-286.

Korea Forest Service. 2023. Wild fire of Republic of Korea. [https://www.forest.go.kr/kfswweb/kfi/kfs/cms/cmsView.do?mn=NKFS\\_02\\_02\\_01\\_03\\_03&cmsId=FC\\_001157](https://www.forest.go.kr/kfswweb/kfi/kfs/cms/cmsView.do?mn=NKFS_02_02_01_03_03&cmsId=FC_001157). (2023.09.03.)

Kravanja, M. and Potočnik, I. 2007. Forest fire prevention roads as an active wildfire protection measure. In A.

- Skoupy, P. Machal, and L. Marecek, eds. 3rd International Scientific Conference FORTECHENVI. May 26-30, pp. 62-70.
- Lee, J.C., Lee, C.J., Kim, H.J. and Lee, J.H. 2015. Characteristics of elastic wave in fire damaged high strength concrete using impact-echo method. *Fire Science and Engineering* 29(1): 1-6.
- Lim, H.J. 2017. Non-destructive testing methods for evaluation of fire-damaged concrete. *Magazine of the Korea Concrete Institute* 29(2): 51-55.
- Matthew, P.T., Benjamin, M.G. and Michael, D.C. 2021. Forest roads and operational wildfire response planning. *Forests* 12(2): 110.
- Moritz, M.A. et al. 2014. Learning to coexist with wildfire. *Nature* 515(7525): 58-66.
- McWethy et al. 2019. Rethinking resilience to wildfire. *Nature Sustainability* 2(9): 797-804.
- Park, S.H., Ha, J.S., Lim, S.D., Nam, K.Y. and Chung, L. 2014. Study on the strength estimation of ultra-strength concrete using rebound hardness method. *Architectural Research* 30(12): 69-75.
- Psilovikos, T.A., Doukas, K.G. and Drosos, V.K. 2011. The contribution of forest roads to the forest fire protection. In *Formec – Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering*. October 9–13, Graz.
- Santin, C. and Doerr, S.H. 2016. Fire effects on soils: the human dimension. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 371(1696): 20150171.

---

Manuscript Received : September 14, 2023

First Revision : November 6, 2023

Accepted : November 7, 2023