Crisisonomy Vol.16 No.10, 61-69
ISSN 2466-1198 (Print) ISSN 2466-1201 (Online) https://doi.org/10.14251/crisisonomy.2020.16.10.61
© 2020 Crisis and Emergency Management : Theory and Praxis. All rights reserved.

Crisisonomy

The Effects of Thinning Slash on Wildfire Fuel Type

Ye-Eun Lee#, Sun Joo Lee, Chun Geun Kwon, Kyung Won Seo, Cheol An Bang, Sung Yong Kim+

Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science, 57 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea

Abstract

Thinning is known as an important method not only for promoting healthy forest but for preventing crown fire transition and spread. However, if you do not collect thinning slash, it may serve as a factor in the spread of forest fires. In this study, we attempted to observe the effects of thinning slash on fire behavior. The results of this study showed that total surface-fuel loads including thinning slash were estimated approximately 38.92 ton/ha in the study area, which was about 2.7 times more than that of Ⅳ *Pinus densiflora* stand in South Korea. Surface fire intensity (SFI) was measured at 8,956.33 kW/m with thinning slash, but 4,454.95 kW/m without thinning slash, which indicates a significant effect of thinning slash on SFI. The estimation of passive crown fire intensity showed that the fire spread rate was calculated as 0.4 km/h in Gunwi but calculated as 0.06 km/h in the study area. The results from this study could serve as a good example to explain the effects of thinning slash on wildfire fuel type.

Key words: critical surface fire intensity, crown fire, fire behavior, target crown bulk density, thinning slash

Ⅰ. 서 론

산림은 어린나무가꾸기, 가지치기, 솎아베기 등 단계적인 숲가꾸기 작업을 통해 자원으로서의 가치가 증진된다(Korea Forest Service, 2019). 숲가꾸기 사업은 건강한 산림을 육성할 뿐만 아니라 탈 수 있는 연료가 제거되면서 수관화 전이 및 확산을 효과적으로 억제할 수 있기 때문에 산불학적 측면에서도 중요한 관리 방법으로 알려져 있다. 그러나 숲가꾸기가 이루어진 임분이라도 산불위험성이 높아질 수 있는데, 이는 숲가꾸기 사업 후 임내에 적재된 산물이 탈 수 있는 물질로 작용하여 산불의 강도 및 확산속도에 영향을 주고, 재발화 위험성도 높아지기 때문이다(Lee, *et. al.*, 2009). 실제로 2005년 발생한 양양・낙산사 산불이 진화 후 재발화한 원인으로 소나무림 지표층에 두텁게 깔린 숲가꾸기 산물에 불씨가 남아 강풍을 타고 되살아난 점이 지목되기도 했다. 산림청에 따르면, 국유림을 기준으로 시간이 지날수록 산물수집량이 점차 감소하는 추세이며, 사유림의 경우 목재의 판매 비용보다 숲가꾸기 산물수집 비용이 더 많이 소요되기 때문에 산물을 미수집하는 경우가 대부분이어서 대책 마련이 시급한 상황이다(Korea Forest Service, 2019).

The 1st author: Ye-Eun Lee, Tel. +82-02-961-2698, Fax. +82-02-961-2699, e-mail. dldpdms109@korea.kr
+ Corresponding author: Sung Yong Kim, Tel. +82-02-961-2686, e-mail. kitaco1@korea.kr

www.kci.go.kr

미국 산림청에서는 산불위험성을 기준으로 산불연료를 13가지 유형으로 구분하였고, 이를 다시 초본류 그룹(Grass), 관목류 그룹(Shrub), 임목 그룹(Timber), 숲가꾸기 산물 그룹(Logging slash) 등 4그룹으로 분류하여 산불위험도를 관찰하였다(USDA, 1982). 이 중 숲가꾸기 산물 그룹에 대해 쌓여있는 지피물과 산불위험성과의 관계를 관찰한 결과, '강도 간벌 및 개벌지의 경우, 쌓여있는 숲가꾸기 산물은 산불이 발생했을 때 빠른 확산 및 산불강도에 영향을 줄 수 있으며, 연료 소모 시까지 불이 오래 지속되고 비화를 유발할 수 있다'고 언급하였다(USDA, 1982). 국내에서는 Lee, *et. al.*(2007)이 숲가꾸기 산물의 적재형태에 따른 산불위험성을 비교 분석한 결과, 산지경사가 30°이상일 경우, 임내에 적재된 산물은 완전히 제거하는 것이 타당하며, 적재된 산물과 임목과의 간격이 붙어있으면 산불이 발생했을 때 임목에 직접적인 영향을 준다고 보고한 바 있다. 하지만 실질적으로 숲가꾸기 산물이 산불행동에 어떠한 영향을 미치는지를 관찰한 국내연구는 전무한 실정이며, 산물수집의 당위성을 산불학적으로 규명할 수 있는 자료가 충분히 구축되어 있지 못하다. 본 연구에서는 2020년 4월 12일 충남 서산에서 발생한 산불피해지를 대상으로 임분특성, 연료량, 산불강도 등의 항목을 분석하여 확산특성을 파악하고, 숲가꾸기로 인해 생성된 벌채산물이 산불행동에 미치는 영향을 정량적으로 제시하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상지

연구대상지는 2020년 4월 12일 충남 서산에서 발생한 산불피해지로, 20m × 20m 크기의 표준지를 피해지 3지점, 미피해지 3지점으로 선정하였다. 연구대상지 임분은 Ⅳ영급으로 소나무 단일 수종으로 이루어져 있었다. 또한 본수 대비 60% 이상 고강도 간벌을 시행한 지역이며, 임분밀도(Stand density)는 약 500본/ha 이었다. 임목의 평균 수고(Tree height)는 7.5m, 평균 지하

Table 1. Descriptive statistics for *Pinus densiflora* stands in this study area

Age classes	DBH(cm)	Tree height(m)	Crown base height(m)	Stand density(trees/ha)
Ⅳ	15.7 (S.D.±1.0)	7.6 (S.D.±0.6)	3.3 (S.D.±0.1)	500

※ Note: DBH is diameter at breast height; S.D. is standard deviations.

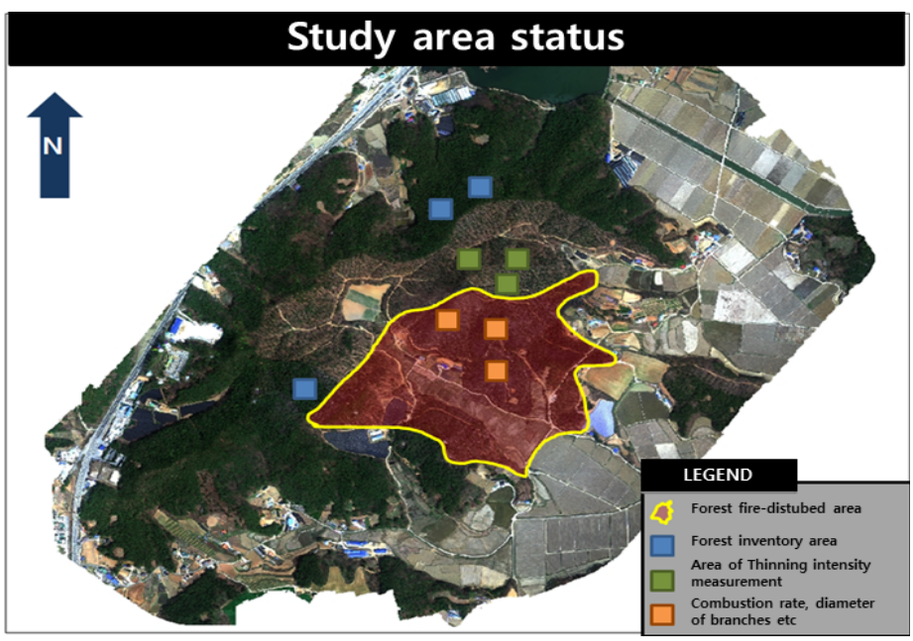

Figure 1. The area of forest fire at Seosan region

www.kci.go.kr

고(Crown base height)는 3.3m, 산물 간 거리는 10m 이하로 산물이 임목과의 간격 없이 적재되어 있었다(<Table 1>). 산불이 발생했을 때 남서풍의 영향으로 산불이 북동 방향으로 진행되었으며, 수관화가 대면적으로 발생하지 않고 소규모 군집 또는 개체별로 발생한 특징이 있었다(<Figure 1>).

2. 자료수집

연구대상지 내에서 산불이 발생한 피해지 3 지점과 미피해지 3 지점을 선정하여 조사를 수행하였다. 먼저 산불피해지 내 소나무림의 임분특성 현황을 조사하기 위해 흉고직경, 수고, 근원경 등의 항목을 측정하였으며, 산불이 발생하기 전의 피해지와 미피해지의 임분특성이 동일하다고 가정하여 지표층 연료를 조사하였다. 임목 피해율은 산불피해목의 유형을 수관화, 반열해, 열해로 구분하였으며, 반열해와 열해는 수관화가 발생하지 않은 임목으로 가정하였다. 수관화 발생 임목의 평균 산불피해강도는 소형 직경측정기(Calliper)를 이용하여 피해지 임분 내 연소 후 남은 가지의 직경을 측정함으로써 추정하였다. 숲가꾸기 산물에 따른 임분의 수관화 위험성은 현장조사 자료와 국외에서 제시된 산불모델식의 적용을 통해 추정하고자 하였으며, 이 때 산불모델식은 지표화에서 수관화로 전이되는 가능성을 결정하는 지표화 강도모델(Van Wagner, 1977)을 적용하였다. 이를 통해 피해지 임분의 수관화 전이 결정강도(CSI, Critical surface fire intensity), 수관화확산 연료밀도(CBD_{tar}, Target crown bulk density), 지표화 강도(SFI, Surface fire intensity) 등을 분석하였다.

3. 분석방법

1) 지표층 연료량 및 연소량 조사

산불행동은 다양한 연료층의 특성 및 잠재적인 누적연료량에 따라 좌우된다(Russell, *et. al*., 2004). 특히 지표화는 초본, 지표연료, 목질연료 등의 특성에 따라 수관화로 전이될 위험성을 가지고 있기 때문에 연료의 초기 산불행동의 잠재력 파악에 중요한 요소이다(Riano, *et. al.*, 2002; Kim, 2015). 피해지 임분의 지표층 연료는 이미 연소되어 측정이 불가능했기 때문에 산불피해지 주변에서 가장 유사하다고 판단되는 미피해지를 선정하여 지표연료조사를 수행하였다. 지표연료는 0.5m x 0.5m 크기의 방형구 내에서 채취하였으며 채취된 시료를 건조시킨 후 중량을 측정하여 피해지 임분의 전체 지표층 연료량을 파악하였다.

2) 벌채 산물량 추정

Lee, *et. al.*(2007)는 임분 내 적재된 벌채 산물과 임목 간의 간격이 없을 경우, 산불이 발생했을 때 산물이 임목에 직접적으로 영향을 미치며, 이때 증가된 연소물량은 재발화의 가능성을 높일 수 있다고 보고한 바 있다. 임분에 적재된 벌채 산물의 양을 추정하기 위해서 연구대상지 임분 내 20m × 20m 크기의 표준지 3곳을 선정하여 수고 및 근원경을 측정하였다. 측정한 근원경 수치는 흉고직경으로 환산하였고, 수고 및 흉고직경으로 임목재적을 산출하여 피해지 임분 내 산물량을 추정하였다. 임분조사 결과, 표준지 내 평균 임목본수는 57±15본이었으며, 이 중 벌채된 임목은 37±8본으로 측정되어 연구대상지 임분의 간벌강도는 약 65%의 고강도로 시행된 것을 확인하였다.

3) 수관화 전이 위험성 평가

수관화 전이(Crown fire transition)은 지표화로부터 발생한 열에너지가 대류 및 복사열 에너지에 의해 수관연료를 가열하면서 발화하는 현상을 의미한다. 선행연구에서는 지표화로부터 방출된 열에너지가 최소 한계점에 이르거나, 그 범위를 초과할 시 수관화의 발생가능성이 높아진다고 하였으며, 임목의 지하고와 지표연료층 특성 등의 항목을 이용하여 수관화 전이 위험성을 평가할 수 있다고 보고한 바 있다(Van Wagner, 1977; Jang, *et. al.,* 2016). 본 연구에서는 Byram(1959)이 제시한 식을 이용하여 수관화 전이 결정강도(CSI)를 산출하였다. 이는 침엽수 임분조건에서 잎의 수분함량과 지하고를 변수로 하여 수관화로 전이될 가능성

www.kci.go.kr

을 결정하는 것으로 아래의 식 1과 같이 표현할 수 있다.

$$CSI = [aCBH(460+26FMC)]^{3/2} \quad (1)$$

여기서,

CSI = Critical surface fire intensity(kW/m), a = 0.01(Constant, Dimensionless),

CBH = Crown base height(m), FMC = Foliage moisture content(%)

4) 수관화 확산 위험성 평가

수관화 확산(Crown fire spread)은 지표연료층에서 발생한 지표화로부터 수관층으로 전이된 산불이 수관을 통해 수평으로 확산하는 현상을 의미하며, 수관층 연료의 수분함량 및 수관연료밀도(Crown bulk density), 경사(Slope) 등에 영향을 받는다(Lee, *et. al.,* 2016). 피해지 임분의 수관화 확산위험성을 평가하기 위해서 Van Wagner(1977)가 제시한 수관화 확산이 발생하지 않는 최소수관연료밀도(CBD_{tar})를 산출하였으며, 이는 아래의 식 2와 같다.

$$CBD_{tar} = \frac{3.0}{ROS_c} \quad (2)$$

여기서,

CBD_{tar} = The target CBD(kg/㎥) in below which crown fire spread will not occur,

ROS_c = Rate of crown fire spread(m/min)

수관화 확산이 발생하지 않는 최소 수관연료밀도 식 (2)는 식 3과 같이 재구성할 수 있다.

$$CBD_{tar} = \frac{3.0}{(3.34)(ROS_r)} \quad (3)$$

여기서,

ROS_r = Rate of surface fire spread(m/min)

5) 수관화 발생 임목의 화염강도 추정

수동형 수관화(Passive crown fire)는 개체별 임목 혹은 소규모 집단의 임목에서 발생하며, 상대적으로 산불강도가 낮아 화염이 수관을 통해 수평으로 확산되지 않는 현상을 의미한다. 수동형 수관화의 경우, 임목의 수관층에서 화염이 지속적으로 유지되지 않으며, 확산속도는 지표화와 유사하다고 언급된 바 있다(Molina, *et. al.*, 2011). 수관화의 평균 화염강도를 추정하기 위해서 피해지 임분 내 연소 후 남은 수관가지의 굵기를 측정하였고, 산불발생시간 및 종료시간, 연소면적을 이용하여 확산속도를 추정하였다. 측정된 결과는 2018년 수관화가 강한 강도로 발생했던 경북 군위산불 피해지에서 조사한 수관가지의 굵기, 확산속도 수치와 비교・분석하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 벌채 산물량 및 지표층 연료량

연구대상지 임분의 벌채 산물량 및 지표층 연료량을 추정한 결과는 <Figure 2>와 같다. 선행연구에서는 수관화가 발생했을 때 잎과 1 cm 이하 가지가 주로 연소된다고 제시한 바 있어(Kim, *et. al.*, 2018), 이를 고려하여 잎과 1 cm 이하 가지의 산물량을 추정하였다. 연구대상지 임분 내 연소가능한 벌채 산물량은 약 19.75 ton/ha로 추정되었으며, 이는 연구대상지 임분 전체 지표층 연료량의 약 50% 이상을 차지하였다. 연구대상지 임분의 지표층 연료량은 낙엽, 낙지 등을 포함한 지표연료 약 19.17 ton/ha, 적재된 산물량 19.75 ton/ha를 포함하여 약 38.92 ton/ha로 추정되었다. 이는 선행연구(Jang, *et. al.*, 2016)에서 제시된 우리나라 Ⅳ영급 소나무림의 평균 지표층 연료량인 약 14.46 ton/ha보다 약 2.7배 많은 수치였다. James & Skinner(2005)는 지표층 연료량이 증가할수록 수관층으로 도달할 수 있는 화염높이가 높아진다고 제시하였으며, Dupuy(1995)는 지표층 연료량이 증가할수록 산불의 확산속도 및 질량손실율이 높아진다고 제시한 바 있다. 이에 따라 벌채

www.kci.go.kr

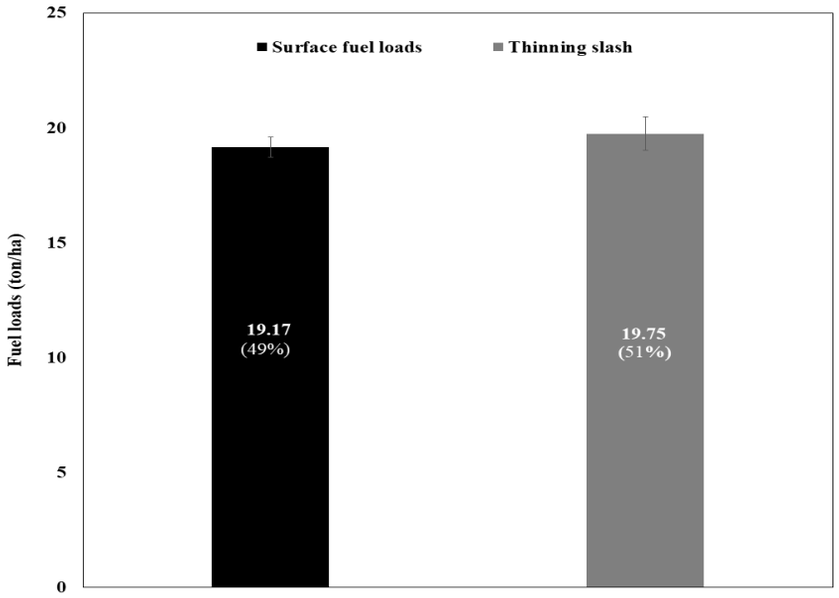

Figure 2. The result of surface fuel loads in this study area(bar is the standard error of the mean)

산물로 인해 연구대상지 임분의 지표층 연료량이 크게 증가하여 수관화 전이 위험성이 높았을 것으로 사료된다.

2. 수관화 전이 위험성 평가

연구대상지 임분의 수관화 전이 위험성을 평가하기 위해 수관화 전이 결정강도 및 지표화 강도를 분석하였다(<Table 2>). 연구결과에 의하면, 연구대상지 임분의 수관화 전이 결정강도는 약 1,240.02 kW/m로 추정되었다. 연구대상지 임분에 산불이 발생했을 때, 지표화 강도는 약 8,956.33 kW/m로 추정되었으며, 적재된 산물의 양을 제외했을 때 지표화 강도는 약 4,338.95 kW/m로, 숲가꾸기 산물로 인해 지표화 강도가 약 2배 이상 높아진 것을 확인하였다. 선행연구에서는 산불이 발생했을 때 벌채 산물이 연소되는 연료로 작용하여 산불의 강도 및 확산속도에 영향을 주는 산불확산의 요인이 될 수 있다고 제시한 바 있다(Lee, *et. al.,* 2009). 결과적으로 적재되어 있는 산물로 인해 실제 산불이 발생했을 때의 지표화 강도가 수관화 전이 결정강도보다 높았을 것으로 사료되며, 해당 임분은 수관화 전이가 발생하기에 충분한 조건이었다.

Table 2. The results for CSI and SFI without and with thinning slash of this study area

CSI(kW/m)	SFI without thinning slash(kW/m)	SFI with thinning slash(kW/m)
1,240.02	4,454.95	8,956.33

3. 수관화 확산 위험성 평가

수관화 확산 위험성은 선행연구(Van Wagner, 1977)에서 제시된 방법에 의해 수관연료밀도, 수관연료량, 수관화 확산이 발생하지 않는 최소 수관연료밀도 추정을 통해 평가하였다(<Table 3>). 연구대상지 임분의 수관연료밀도는 약 0.117 kg/㎥, 수관연료량은 9,862.49 kg/ha로 추정되었다. 선행연구에서 제시된 우리나라 중부지방 Ⅳ영급 소나무림의 평균 수관연료밀도는 0.306 kg/㎥, 수관연료량은 약 20,427 kg/ha로 연구대상지 임분은 숲가꾸기 사업으로 인해 수관연료밀도 및 수관연료량이 우리나라 Ⅳ영급 소나무림에 비해 낮았다(Jang, *et. al*., 2016). 또한 수관화 확산이 발생하지 않는 최소 수관연료밀도는 약 0.125 kg/㎥로 추정되어

Table 3. CFL, CBD and minimum CBD non-occuring crown fire in this study area

CFL(kg/ha)	CBD(kg/㎥)	Minimum CBD non-occuring crown fire(kg/㎥)
9,862.49 (S.D.±5.13)	0.117 (S.D.±0.01)	0.125

www.kci.go.kr

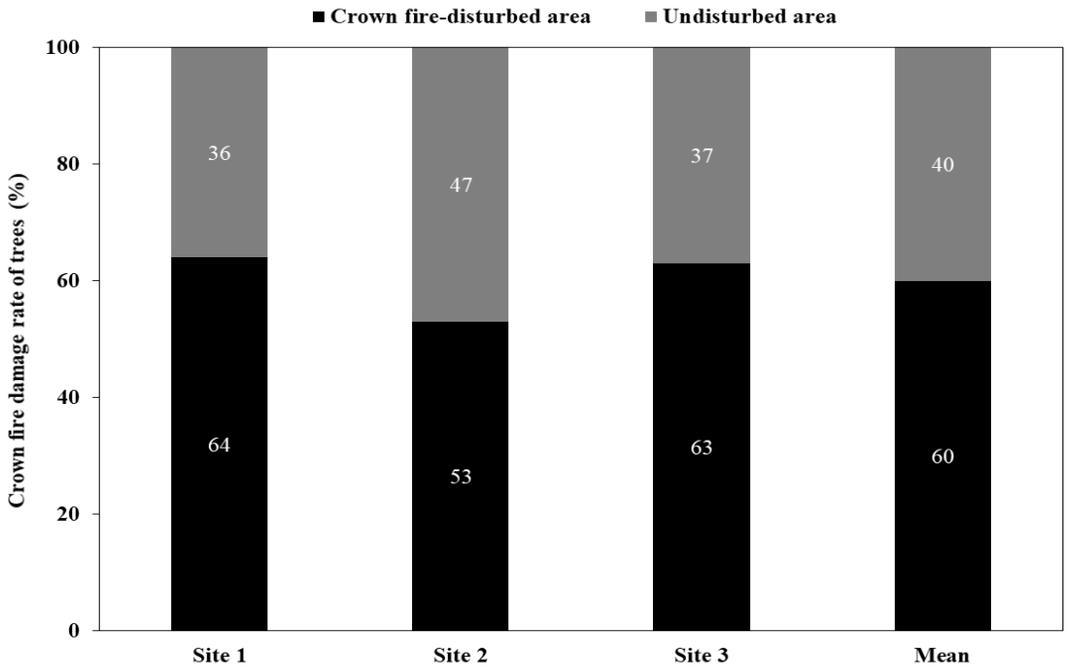

Figure 3. The rate of crown fire damage in this study area

연구대상지 임분의 수관연료밀도가 수관화 확산이 발생하지 않는 최소 수관연료밀도보다 낮았다. 임분의 임목피해율을 조사한 결과, 수관화 피해를 입은 임목은 전체 임분의 약 60%에 불과하였다(<Figure 3>). 따라서 연구대상지 임분에서는 개체목 단위로 수관화 전이가 발생하였으나, 수관층을 통한 수평적 확산은 이루어지지 않은 것으로 사료된다.

4. 수관화 발생 임목의 화염강도 추정

선행연구에서는 수관화가 발생했을 때 잎과 1cm 미만의 직경을 가진 가지가 주로 연소된다고 제시하였다(Kim, 2015). 산불이 발생했을 때 임목의 가지는 직경이 작은 끝부분부터 연소되기 시작하므로 산불강도에 따라 연소 후 남은 가지의 직경에 차이가 발생한다. 연소 후 남은 가지의 직경이 더 작았다는 것은 산불이 발생했을 때 화염강도가 약해 가지가 많이 연소되지 않은 것을 의미한다.

수관화의 평균 화염강도를 추정하기 위해 연구대상지 임분 내 수관화가 발생한 임목의 가지직경을 측정하여 능동형 수관화의 대표적 사례인 군위산불(2018)과 비교・분석 하였다(<Table 4>). 군위산불의 연소 후 남은 가지의 평균직경은 약 0.75cm로 측정되었으며, 연구대상지 임분의 연소 후 남은 가지의 평균직경은 약 0.33cm로 측정되어 연구대상지 임분의 연소 후 남은가지 직경이 작은 것으로 나타났다. 또한 두 집단 간에 차이가 있는지 검증하기 위해 독립표본 t-검정 분석 결과, p=0.01 수준에서 유의한 차이가 있었다. 산불 종료 후 두 임분의 특성을 현장조사하여 그 차이를 비교한 결과, 연구대상지 임분에 발생한 산불은 상대적으로 화염강도가 낮아 능동적이지 못했기

Table 4. The comparison of branches diameter between Gunwi and Seosan forest fire area

The area of forest fire	Number of branches	Average of branches diameter(cm) (p=0.01)	Rate of spread(km/h)
Active crown fire(Gunwi)	479	0.75 (S.D.±0.03)	0.40
Passive crown fire(Seosan)	136	0.33 (S.D.±0.01)	0.06
P-value	0.01		

www.kci.go.kr

때문에 수관화가 확산하지 못한 것으로 판단하였다.

Ⅳ. 결론 및 고찰

본 연구에서는 숲가꾸기 사업이 시행된 임분에서 발생한 산불사례를 통해 벌채 산물의 존치여부가 산불확산에 미치는 영향을 관찰하였다. 연구결과에 따르면, 지표층 연료량은 적재된 산물을 포함하여 약 38.92 ton/ha로 추정되었으며, 이는 우리나라 Ⅳ영급 소나무림의 평균 지표층연료량인 약 14.46 ton/ha에 비해 2.7배 이상 많은 것으로 나타났다. 연구대상지 임분의 지표화 강도는 벌채 산물을 포함했을 때는 약 8,956.33 kW/m, 제외했을 때는 약 4,454.95 kW/m로 추정되어, 벌채 산물로 인해 지표화 강도가 2배 이상 증가하였다. 수관화의 평균 화염강도를 추정한 결과, 군위산불의 연소 후 남은 가지직경은 약 0.75cm, 서산산불은 약 0.33cm로 서산산불의 연소 후 남은 가지직경이 더 작았기 때문에 상대적으로 화염강도가 낮았을 것으로 판단하였다. 연구대상지 임분의 수관화 확산이 발생하지 않는 최소수관연료밀도는 약 0.125 kg/㎥에 반하여, 실제 수관연료밀도는 약 0.117 kg/㎥로 추정되어 해당임분에서 수관화 확산은 발생하지 않은 것으로 판단하였다. 결과적으로 연구대상지 임분은 수관화 전이가 발생하기에 조건이 충분했지만, 수관화 확산이 발생하기에는 충분하지 않았기 때문에 수관화가 개체별 또는 소규모 군집으로 발생한 것으로 사료된다. 본 연구의 결과는 벌채 산물이 산불행동에 미치는 영향을 정량적으로 제시하는데 도움이 되는 좋은 사례가 될 것이다.

References

Agee, James K. and Carl Skinner. 2005. Basic Principles of Forest Fuel Reduction Treatments. *Journal of Forest Ecology and Management.* 211(1): 83-96.

Albini, Frank A., Martin E. Alexander, and Miguel G. C. 2012. A Mathematical Model for Predicting the Maximum Potential Spotting Distance from a Crown Fire. *International Journal of Wildland Fire.* 21(5): 609-627.

Alvarez, Albert, Marc G., and Javier R. 2012. Fuel Type and Crown Fire Potential in *Pinus Halepensis* Forests. *European Journal of Forest Research.* 131(2): 463-474.

Byram, George M. 1959. Combustion of Forest Fuels. *Journal of Forestry.* 5(4): 61-89.

Chae, Hee Mun and Chan Young Lee. 2003. Slope and Forest Fuel Effect on Spreading of Forest Fire. *Korean Journal of Agicultural and Forest Meteorology.* 5(3): 179-184.

David, H. G., John S., and Steven L. G. 2007. Using Stand-level Optimization to Reduce Crown Fire Hazard. *International Journal of Landscape and Urban Planning.* 80(3): 312-319.

Dupuy, J. L. 1995. Slope and Fuel Load Effects on Fire Behavior: Laboratory Experiments in Pine Needles Fuel Beds. *International Journal of Wildland Fire.* 5(3): 153-164.

Dupuy, J. L., Marechal J., Portier D., and Valette J. C. 2011. The Effects of Slope and Fuel Bed Width on Laboratory Fire Behaviour. *International Journal of Wildland Fire.* 20(2): 272-288.

Frankman, David, Brent W., Bret W. B., Danial J., Jason M. F., Paul S., Kyle S., Kevin J., and Roger D. O. 2013. Measurements of Convective and Radiative Heating in Wildland Fires. *International Journal of Wildland Fire.* 22(2): 157-167.

Jang, Mi Na, Sung Young Kim, and Young Jin Lee. 2016. Nomoghaphs for Predicting Crown Fire Transition of *Pinus densiflora* Stands in Central Regions of Korea. *Journal of Korean Society and Hazard Mitigation.* 5(16): 135-141.

Jeremy, Russell-Smith, P. J. Stanton, P. J. Whitehead, and A. Edwards. 2004. Rain Forest Invasion of Eucalypt-dominated Woodland Savanna, Iron Range, North-estern Australia: Ⅰ. Successional Process. *Journal of Biogeography.* 31(4): 1293-1303.

Kim, Sung Yong, Mi Na Jang, Sun Ju Lee, Young Jin Lee, and Byung Doo Lee. 2018. Comparison of Fuel Characteristics between Coastal and Inland Type of *Pinus thunbergii* Stands. *Journal of Korean Society Hazard Mitigation.* 18(2): 175-183.

Kim, Sung Young, Mi Na Jang, Byung Doo Lee, and Young Jin Lee. 2013. Assessment of Canopy Fuel Characteristics

www.kci.go.kr

for Five Major Coniferous Species in Korea. *Journal of Korean Forest Science*. 2(102): 247-254.

Kim, Sung Young. 2015. A Study on the Analysis of Fuel Characteristics for Forest Fire Hazard Assessment. Ph.D. Dissertation. Kongju National University.

Korea Forest Research Institute. 2009. Maintenance Technique for Smoldering Ground Fire Reignition Prevention.

Korea Forest Service. 2019. *Statistical Yearbook of Forestry*.

Korea Forest Service. 2020. *Statistical Yearbook of Wildfire*.

Lee, Si Young, Chun Geun Kwon, Myoung Woog, Hae Pyung Lee, and Ju Young Cha. 2010. Development of Prediction Model of Fuel Moisture Changes in the Spring for the Pine Forest Located the Yeongdong Region(Focused on the Fallen Leaves and Soil Moisture Level). *Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering*. 24(2): 67-75.

Lee, Si Young, Myoung Woog Lee, and Hae Pyung Lee. 2007. Comparative Analysis of Forest Fire Danger Rating on Accumulation Types of the Leaving of Thinning Slash. *Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering*. 22(1): 45-53.

Lee, Si Young, Myoung Woog Lee, Chan Ho Yeom, Chun Geun Kwon, and Hae Pyung Lee. 2009. Comparative Analysis of Forest Fire Danger Rating on Forest Characteristics of Thinning Area and Non-thinning Area on Forest Fire Burnt Area. *Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering*. 23(4): 32-39.

Riano, D., E. Chuvieco, S. Ustin, R. Zomer, P. Dennison, D. Roberts, and J. Salas. 2002. Assessment of Vegetation Regeneration after Fire thorough Multitemporal Analysis of AVIRIS Images in the Santa Monica Mountains. *International Journal of Elsevier*. 79(1): 60-71.

Tachajapng, W., Jesse L., Shankar M., Xiangyang Z., and David R. W. 2009. Experimental and Numerical Modeling of Shrub Crown Fire Initiation. *Journal of Combustion Science and Technology*. 181: 618-640.

United States Department of Agriculture Forest Service. 1982. Aids to Determining Fuel Models for Estimating Fire Behavior.

Van Wagner, C. E. 1977. Conditions for the Start and Spread of Crown Fire. *Canadian Journal of Forest Research*. 7(1): 23-34.

Korean References Translated from the English

김성용, 장미나, 이병두, 이영진. 2013. 국내 5대 침엽수종 수관연료특성 평가. 한국임학회지. 2(102): 247-254.

김성용, 장미나, 이선주, 이영진, 이병두. 2018. 해안형과 내륙 곰솔림의 산불 연료특성 비교. 한국방재학회지. 18(2): 175-183.

김성용. 2015. 산불위험성 평가를 위한 국내 주요 침엽수종의 연료특성 분석에 관한 연구. 박사학위논문. 공주대학교.

이시영, 권춘근, 이명욱, 이해평. 2010. 영동지역 봄철 소나무림에서 연료습도변화 예측모델 개발(낙엽 및 토양습도를 중심으로). 한국화재소방학회논문지. 24(2): 67-75.

이시영, 이명욱, 염찬호, 권춘근, 이해평. 2009. 산불적지에서 숲가꾸기 실행 유무와 산불위험성 비교 분석. 한국화재소방학회논문지. 23(4): 32-39.

이시영, 이명욱, 이해평. 2007. 숲가꾸기 산물이 적재형태에 따른 산불위험성 비교 분석. 한국화재소방학회논문지. 22(1): 45-53.

장미나, 김성용, 이영진. 2016. 노모그래프를 이용한 중부지방 소나무 임분의 수관화 전이 예측. 한국방재학회지. 5(16): 135-141.

채희문, 이찬용. 2003. 산불 확산에 영향을 미치는 임지 내 산림연료와 경사도에 관한 연구. 한국농림기상학회지. 5(3): 179-184.

Received: Oct. 5, 2020 / Revised: Oct. 21, 2020 / Accepted: Oct. 21, 2020

www.kci.go.kr

벌채 산물 수집이 산불연료에 미치는 영향

국문초록 본 연구에서는 산불피해지 임분에서 산림조사를 수행하여 숲가꾸기 산물의 존치여부가 산불연료 및 산불행동에 어떠한 영향을 미치는지 관찰하였다. 연구결과에 따르면, 벌채 산물을 포함한 연구대상지의 지표층 연료량은 약 38.92 ton/ha로 추정되었으며, 이는 우리나라 소나무림의 평균 지표층 연료량인 약 14.46 ton/ha와 비교하였을 때 2.7배 이상 많은 수치였다. 지표화 강도를 추정한 결과, 벌채 산물을 포함했을 때는 약 8,956.33 kW/m, 제외했을 때는 약 4,454.95 kW/m로 추정되어, 벌채 산물로 인해 지표화 강도가 2배 이상 높아진 것으로 나타났다. 수관화의 화염강도를 추정하기 위해 서산 산불피해지와 군위산불피해지의 연소 후 남은 가지직경을 비교한 결과 군위산불은 약 0.75cm, 서산산불은 약 0.33cm로 측정되어 서산산불의 화염강도가 상대적으로 낮았을 것으로 판단했다. 본 연구의 결과는 벌채 산물이 산불연료에 미치는 영향을 정량적인 결과로 제시하는 데 도움이 될 것이다.

주제어 : 수관화 전이 결정강도, 수관화, 산불행동, 수관화 확산 연료밀도, 벌채 산물

Profiles **Ye-Eun Lee :** She received her master's degree in Agriculture from Seoul National University in February 2019 with her master's paper titled "An Experimental Study on the Effect of Slope on the Combustion of *Pinus Koraiensis* leaves". She is currently working for Forest Disaster Management Division of the National institute of Forest Science as a junior researcher(dldpdms109@korea.kr).

Sun Joo Lee : She received her master's Agiriculture from Kongju National University in February 2018 with her master's paper title "Development of Growth and Diameter Distribution Models for *Larix leptolepis* Stands in South Korea". She is currently working for Forest Disaster Management Division of the National institute of Forest Science as a researcher(lsj419@korea.kr).

Chun Geun Kwon : He received his Ph.D. in engineering from Kangwon National University in august 2014 with his Ph.D. paper titled "A Study on the Estimations of Forest Surface Fuel Moisture Content Change on Affecting Forest Fires- Focus on the Gangwondo Yeongdong area" He is Currently working for Forest Disaster Management Division of the National Institute of Forest Science as a junior researcher. He has conducted various research projects on forest fire and building on it, published many academic papers. His current research interest includes forest fire prediction and fuel moisture contents, and suppression techniques(chungeun@korea.kr).

Kyung Won Seo : He received his Ph.D. in Agriculture from Korea National University in August 2015 with his Ph.D. paper titled "Estimation of Soil Carbon Storage by Urban Green Spaces". He is currently working for Forest Disaster Management Division of the National institute of Forest Science as a junior researcher. His current research interest includes forest management and forest fire fuel model(lorangetree@korea.kr).

Cheol An Bang : He is currently working for Forest Disaster Management Division of the National institute of Forest Science as a researcher(cheolan@korea.kr).

Sung Yong Kim : He received his Ph.D. in Agriculture from Kongju National University in August 2015 with his Ph.D. paper titled "A Study on the Analysis of Fuel Characteristics for Forest Fire Hazard Assessment". He is currently working for Forest Disaster Management Division of the National institute of Forest Science as a junior researcher. His current research interest includes forest fire prediction and forest fire fuel model and fire danger assessment(kitaco1@korea.kr).

www.kci.go.kr