

산불 피해 소나무 목재의 해부 및 물리적 특성*¹ - 피해 정도에 따른 차이-

권성민*² · 전근우*² · 김남훈*^{2†}

Anatomical and Physical Characteristics of *Pinus densiflora* Wood Damaged by Forest Fire - Difference by Damage Level -

Sung-Min Kwon*² · Kun-Woo Chun*² · Nam-Hun Kim*^{2†}

요 약

강원도 양양 지역 산불 피해 소나무 목재의 피해 정도에 따른 해부 및 물리적 특성을 조사하였다. 피해 정도에 따라 수피의 탄화 깊이가 깊어지는 경향이 관찰되었으나 목질부까지 탄화가 진행되지는 않았으며 수지의 삼출 정도에 차이를 보였다. 산불 피해목 변재의 생재함수율은 건전재보다 다소 낮게 나타났으나 심재의 경우에는 건전재보다 피해목이 다소 높게 나타났다. 생재밀도는 피해재 심재가 건전재 심재보다 다소 높게 나타났으며, 변재에서는 차이를 보이지 않았다. 형성층대를 관찰한 결과, 산불 피해를 강하게 입은 경우 형성층의 활동이 일어나지 않았고, 비교적 피해를 약하게 입은 경우에는 형성층의 활동이 관찰되었으나 세포분열 속도는 건전재보다 느렸다. 산불 피해를 강하게 입은 목재에서는 에피텔리움세포와 방사조직의 세포벽이 짙게 염색되고 세포 내에 과립형태의 물질이 관찰되었으며, 최외각 연륜 부위의 결정화도는 산불 피해재가 건전재보다 다소 높게 나타났다.

ABSTRACT

Anatomical and physical characteristics of *Pinus densiflora* woods damaged by forest fire at Yangyang-gun, Kangwon-do were investigated in present study. Even though the bark was severely carbonized, no trace of carbonization in the xylem was found. The amount of resin exudation was different by the degree of fire damage. Green moisture content of sapwood in the

*¹ 접수 2008년 4월 14일, 채택 2008년 5월 7일

*² 강원대학교 산림환경과학대학 College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

† 주저자(corresponding author) : 김남훈(e-mail: kimnh@kangwon.ac.kr)

damaged wood was lower than that in the sound wood, but vice versa in the heartwood. Green density of heartwood in the damaged wood was higher than that in the sound wood, but there was no significant difference in sapwood. Cambial activities were found stopped in the severely damaged wood but were identified in the lightly damaged wood. In safranin staining process, epithelial and ray parenchyma cell walls in the damaged woods showed darker hue than those in the sound wood. Granular substances were observed in the lumina of ray parenchyma and epithelial cells of the severely damaged wood. Relative crystallinity of the outermost growth ring in the severely damaged wood was slightly higher than that in the sound wood.

Keywords: damaged wood, forest fire, anatomical and physical characteristics, *Pinus densiflora*, cambial activity

1. 서 론

우리나라에 분포하는 침엽수의 구성 비율은 소나무 1,481천 ha (54.9%), 낙엽송 464천 ha (17.2%), 리기다소나무 411천 ha (15.2%), 잣나무 231천 ha (8.6%)로 소나무가 차지하는 비율은 상당히 높다(산림청, 2007). 그러나 천연 소나무림은 소나무 병충해(재선충, 솔껍질깍지벌레, 솔잎혹파리 등), 산불 발생, 국토 개발로 인한 벌채 등 여러 요인으로 인하여 큰 폭으로 감소하고 있는 추세이다. 소나무는 우리나라 어느 지역에서나 볼 수 있는 향토 수종으로 예로부터 가구, 농기구 등 생활용품과 궁궐이나 한옥, 사찰건축 등에 없어서는 안 될 귀중한 원자재로 활용되어 왔다(박 등, 2005). 특히 강원도 지역의 소나무 면적은 전국의 17%를 상회하고 있어 앞으로 국내 소나무 생산의 중심지가 될 것이다. 그러나 최근 10년 간 강원도 내 산불 발생이 증가되고 있어 산불에 의한 피해 면적은 1996년 고성 산불 3,762 ha, 2000년 동해안 산불 2만 3,794 ha, 2005년 양양 산불 973 ha로 그 피해 면적은 총 2만 8,529 ha에 달한다(산림청, 2007).

우리나라의 산불은 11월에서 다음해 4월까지 집중적으로 발생하는데 이는 봄과 가을 건조기에 부는 계절풍이 겹쳐 동시 다발적으로 확산되기 때문이다. 또한, 우리나라는 산림이 울창하고 가연성 낙엽 등이 많이 쌓여 있으며, 경사가 급하고 기복이 많은 산지로 이루어져 있어 연소 진행 속도가 빨라 급속히

확산된다. 2005년 4월에 발생한 강원도 양양 지역의 산불은 주로 내성이 약한 소나무들이 많은 피해를 입었다. 소나무는 테르펜 등 정유 물질이 많기 때문에 불에 잘 타며, 지표화(地表火)에서 수관화(樹冠火)로 쉽게 변지고 수관층이 하나뿐인 단층 단순림을 이루고 있기 때문에 불의 통로가 생겨 빠른 속도로 번지는 특성이 있다.

현재까지 산불에 관하여 산불 정보시스템 개발(Hernández *et al.*, 2007; Kiran Chand *et al.*, 2006), 산불 발생지의 토양 특성(Jaatinen *et al.*, 2004; Carcaillet *et al.*, 2006) 및 산불로 인한 대기환경 변화(Lee *et al.*, 2003; Lavrov *et al.*, 2006; Statheropoulos and Karma, 2007) 등에 관하여 많은 연구가 진행되고 있다.

한편, 산불 피해에 의해 발생하는 소나무 피해목을 효율적으로 이용하기 위한 연구도 수행되고 있다. 황 등(2003a, 2003b)은 삼척에서 발생한 산불 피해 소나무 목재의 해부, 물리 및 역학적 특성과 건조 특성을 상세히 보고하였다. 또한 박 등(2005, 2008)도 삼척 등 동해안 지역에서 발생한 산불 피해 소나무 목재의 재질 특성 및 재질의 경시적 특성에 관하여 체계적으로 보고하고 있다. 특히 박 등(2005)은 산불 피해 등급에 따라 심, 중, 경으로 구분하여 재질 특성을 조사하여 차이가 없음을 밝혔다. 이러한 피해 등급에 따른 연구는 피해목의 벌채, 이용 혹은 보존과 관련하여 중요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 생각된다. 피해의 정도에 따라 고사하는 수목

Table 1. Sample trees of *Pinus densiflora* damaged by forest fire

Damage level	Sampling date				Locality
	Jun. 18	Aug. 10	Jun. 18	Aug. 10	
	Tree age (year)		* DBH (cm)		
Sound	39	38	21	22	Yangyang-gun Kangwon-do
A	37	35	22	21	
B	35	37	18	21	
CI	33	30	21	22	
CII					

* DBH : Diameter at Breast Height

A : severely damaged tree (whole-tree burnt)

B : moderately damaged tree (dead leaves and burnt stem above ca. 1 m above ground)

C : slightly damaged tree (living leaves and partly burnt at tree base)

CI : tree C along hillside , CII : tree C along valley

과 생존이 가능한 수목이 있을 것이기 때문에 이러한 수목을 판별할 수 있는 자료를 마련하는 것은 중요한 과제로 생각된다.

본 연구에서는 산불 피해를 입은 다음 그대로 방치되거나 버려지고 있는 목재 자원의 효율적 이용을 위한 기초 자료를 얻음은 물론 고사목과 생존 가능한 산불 피해목의 판별 지표와 연고자 피해 정도에 따라 세 등급으로 분류하여 각 피해목의 해부 및 물리적 특성을 조사하여 비교·검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에서는 2005년 4월 5일 강원도 양양군에서 발생한 산불 피해 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)를 공시재료로 사용하였다. 산불 피해목은 그 피해 정도에 따른 조직 구조 및 재질 특성, 형성층 활동 등을 관찰하기 위하여 2005년 6월 18일과 2005년 8월 10일 두 차례에 걸쳐 각 2분씩 채취하였다. 산불에 의한 소나무의 피해 정도는 수간과 수관이 모두 불에 타 검게 변색된 것(피해목 A), 수관은 연소되지 않았으나 잎이 누렇게 말라버리고 수간이 지상부

1 m 정도까지 검게 변색된 것(B), 수관의 잎이 초록색을 띄고 수간의 기부 일부가 약간 검게 변색된 것(C)으로 구분하였다. 그리고 피해 정도 C인 목재인 경우 산불이 계곡에서 능선 방향으로 진행되는 특성을 고려하여 상대적으로 능선 방향의 산불 피해를 심하게 입은 것(CI)과 계곡 방향의 약하게 입은 것(CII)으로 다시 세분하였다. 공시재료의 개요는 Table 1에 나타났다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 광학현미경 관찰용 시료 제작

공시목의 흉고 부위에서 원판을 채취하여 수피부터 수심부로 약 20 mm, 접선방향 10 mm, 섬유방향 30 mm 정도의 시편을 채취하였다. 채취된 시편은 10%의 포르말린에 2~3일간 침지, 고정시킨 후 다시 알코올과 글리세린(1:1) 혼합액 중에 2~3주일 정도 침지시켜 microtome으로 두께 10~15 μ m의 절편을 제작하였다. 절편은 safranin액으로 염색하고 alcohol series로 탈수, Canada balsam으로 봉입 후 관찰용 슬라이드를 제작하였다. 피해 정도에 따른 형성층은 광학현미경(Nikon, E600)과 화상분석기(IMT, i-Solution)를 이용하여 관찰하였다.

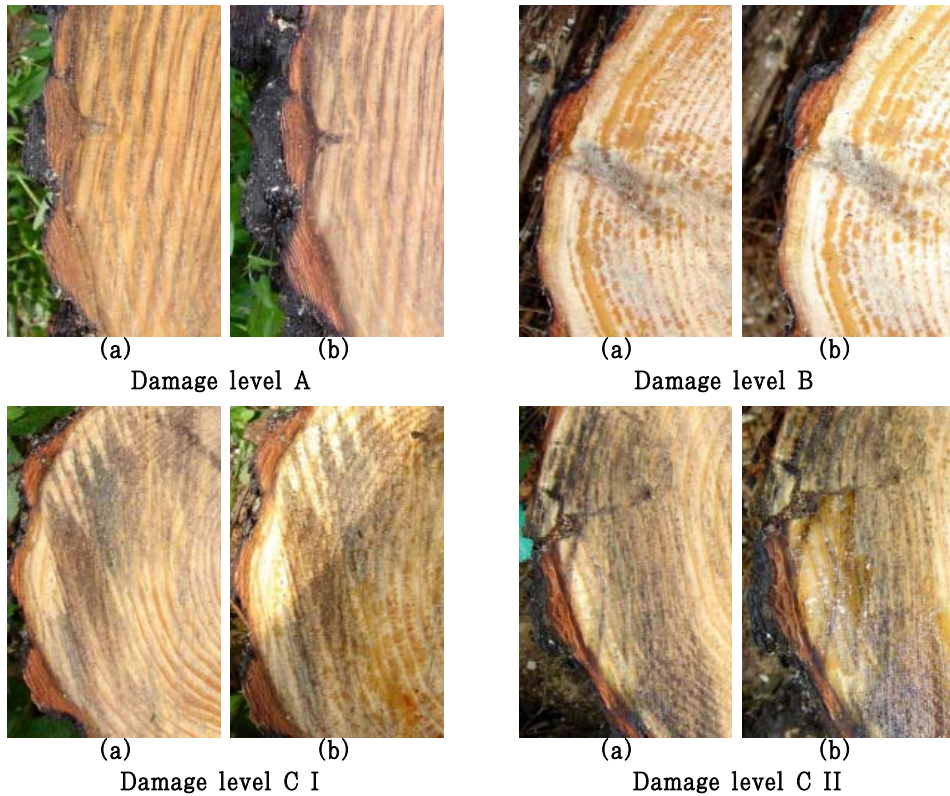


Fig. 1. Cross sections of *Pinus densiflora* wood immediately after felling (a) and three hours later (b).

2.2.2. 생재함수율, 생재밀도, 기본밀도, 및 연륜폭 측정

생재함수율(식 ①), 생재밀도(식 ②) 및 기본밀도(식 ③)는 변·심재에서 각각 5개씩의 목편을 채취하여 KS F 2199, 2189 (한국산업규격, 2006)에 의하여 계산하였다. 연륜폭은 스케일 루페(× 10)를 사용하여 측정하였다.

$$\text{생재함수율(\%)} = \frac{Wg - W_0}{W_0} \times 100 \dots\dots\dots ①$$

$$\text{생재밀도(g/cm}^3\text{)} = \frac{Wg}{Vg} \dots\dots\dots ②$$

$$\text{기본밀도(g/cm}^3\text{)} = \frac{W_0}{Vg} \dots\dots\dots ③$$

여기서, Wg: 생재무게, W₀: 전건무게, Vg: 생재부피

2.2.3. 상대결정화도 측정

시료는 피해재와 건진재 원편의 최외각 연륜 부위에서 방사방향 1 mm, 접선방향 10 mm, 섬유방향 20 mm의 크기로 제작하였다. X선회절 장치는 Rigaku의 DMAX-2100V를 사용하였다. X선은 Ni filter로 단색화한 CuK α 선을 사용하였고, X선회절 장치 조작 조건은 40 kV, 40 mA였다. 결정화도는 고도법(Segal *et al.*, 1959)을 이용하여 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 벌목 후 횡단면의 거시적 관찰

Fig. 1은 2005년 6월 18일에 채취한 산불 피해목

Table 2. Moisture content, green density, basic density and growth-ring width of *P. densiflora*.

Damage level	Green moisture content (%)		Green density (g/cm ³)		Basic density (g/cm ³)		Growth-ring width (mm)	
	H	S	H	S	H	S	H	S
Sound	48	148	0.58	0.98	0.47	0.40	4.06	3.38
A	42	122	0.65	1.00	0.44	0.45	3.17	3.35
B	40	119	0.71	1.01	0.51	0.44	4.59	2.91
CI	34	115	0.62	0.95	0.46	0.45	3.22	2.83
CII	43	136	0.65	1.05	0.45	0.47	3.56	3.17

H : heartwood, S : sapwood

의 벌목 직후(Fig. 1a)와 육안적으로 관찰하였을 때 모든 피해목 원편에서 더 이상의 수지가 삼출되지 않는 벌목 3시간 후(Fig. 1b) 원편의 외각 부분을 관찰한 사진이다. 피해 정도에 따라 수피의 탄화 깊이가 깊어지는 경향이 관찰되었으나 목질부까지 탄화가 진행되지는 않았다. 목질부의 경우 피해 정도에 따라 수지의 삼출 현상에 차이가 나타났다. 산불 피해목 A는 벌목 직후와 벌목 3시간 경과 후에도 수지가 분비되지 않았고, 산불 피해목 B는 벌목 직후와 3시간 경과 후 동일하게 수지가 삼출된 것이 관찰되었다. 그러나 산불 피해를 비교적 약하게 입은 C의 경우 벌목 3시간 후 어느 정도의 수지가 삼출되었다. 즉 산불 피해목 C의 경우 능선 방향의 강하게 피해를 입은 것(CI)은 벌목 3시간 후 약간의 수지 삼출이 나타났으나, 계곡 방향의 피해를 약하게 입은 것(CII)에서는 벌목 3시간 후 많은 양의 수지가 삼출되는 것이 관찰되어 동일 수목 내에서도 부분적으로 그 피해 정도에 따라 세포의 활동 상태가 다른 것을 보여주었다. 산불 피해목 A에서 수지 삼출이 관찰되지 않는 이유는 산불의 화염 온도가 1,200℃(이, 2000)로, 변재의 수지구를 둘러싸고 있는 에피텔리움세포가 이 고온의 열에 영향을 받아 분비 기능을 상실하고 더구나 장시간의 고열에 의해 수지 성분이 목부 세포 중으로 확산되었거나 황 등(2003a)이 보고한 것과 같이 변재부가 산불에 의해 건조되었기 때문인 것으로 생각되었다. 산불 피해목 B는 A보다는 짧은 시간 동안 고열을 받아 에피텔리움세포가 수지 성분을 삼출시킴과 동시에 분비 기능을 상실하

였고 수지 성분이 목부 중으로 확산되지 못하고 정지된 상태에 놓여있었기 때문인 것으로 생각되었다. van Mantgem과 Schwartz (2003)는 캘리포니아 혼합 침엽수림을 대상으로 수피의 두께에 따른 형성층의 내화성을 조사하여 수피의 밀도가 높고 두꺼운 수종이 내화성이 강하다고 보고하였다. 따라서 소나무의 비교적 얇은 수피가 산불로 인한 고온의 열을 차단하지 못한 결과로 사료되었다.

3.2. 생재함수율, 생재밀도, 기본밀도, 및 연륜폭

산불 피해재와 건전재의 생재함수율, 생재밀도, 기본밀도 및 연륜폭이 Table 2에 나타나 있다. 생재함수율은 산불 피해를 상대적으로 심하게 입은 A, B, C I의 경우 변재가 115~129%로 건전재의 생재함수율(148%)보다 다소 낮게 나타났으며 상대적으로 피해를 약하게 입은 CII의 경우에는 건전재의 생재함수율과 유사하게 나타났다. 그러나 심재의 경우에는 건전재보다 피해목이 다소 높게 나타났다. 이러한 이유는 산불의 고열로 인해 변재 가도관 내강층의 수분의 증기압이 증가하여 심재로 이동한 것이기 때문인 것으로 생각되었다. 생재밀도는 피해재의 심재가 다소 높게 나타났으나 변재에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 기본밀도는 건전재와 피해재의 변·심재 사이에 따른 차이가 거의 없었다. 황 등(2003a)은 산불 피해 소나무 목재의 물리적 특성을

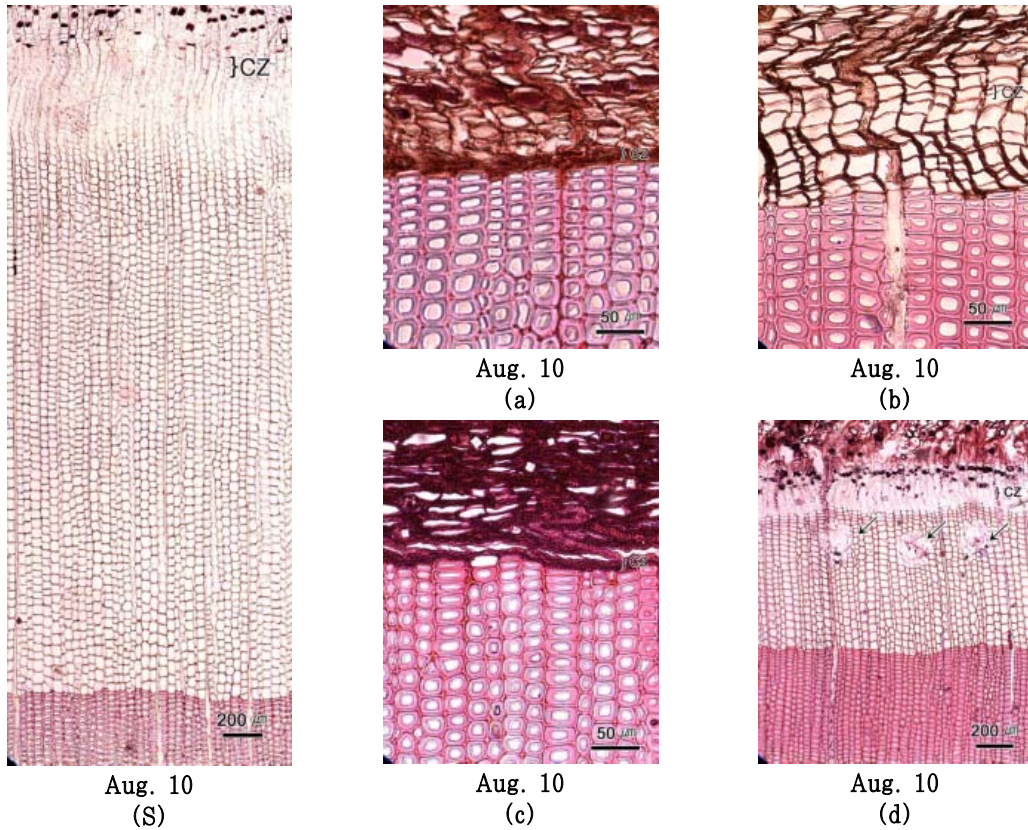


Fig. 2. Cross sections of sound and damaged woods by forest fire (S: sound wood, a: damage level A, b: damage level B, c: damage level C I, d: damage level C II). (*CZ: cambial zone, Arrows: resin canal).

조사하여 생재함수율은 피해재의 변재가 건전재의 변재보다 다소 낮다고 보고하였는데 이 결과는 본 연구 결과와 일치하였다.

3.3. 산불 피해재와 건전재의 조직 구조

3.3.1. 형성층대 관찰

Fig. 2는 건전재와 산불 피해를 입은 소나무의 횡단면 형성층대 광학현미경 사진이다.

6월 18일에 관찰한 건전재는 40~45열의 신생 목부세포가 생성되었으며 8월 10일에는 60~65열의 신생 목부세포가 생성되었다(Fig. 2a). 권과 김(2005)은 춘천 지역에 성장하는 수종을 대상으로 형

성층 활동 기간을 조사하여 5월 하순에서 7월 중순 사이에 형성층 세포의 분열이 활발하게 일어남을 보고하여 이 시기에 소나무의 세포 분열이 왕성함을 알 수 있다. 그러나 산불 피해목 A (Fig. 2b), B (Fig. 2c)의 경우 형성층의 활동이 일어나지 않는 것이 관찰되었다. 한편, 산불 피해목 C I (Fig. 2d)에서는 피해목 A, B처럼 형성층의 활동이 전혀 일어나지 않는 것이 관찰되었으나, 그 반대편인 C II (Fig. 2e)에서는 8월 10일에 20~23열의 신생 목부세포가 관찰되었다. 이러한 산불 피해목 C의 분열 속도는 건전재와 비교해 보았을 때 1/3 정도로 크게 느린 것으로 관찰되어 고온의 산불 영향을 받아 성장 속도가 느려진 것으로 생각된다. 따라서 동일 수

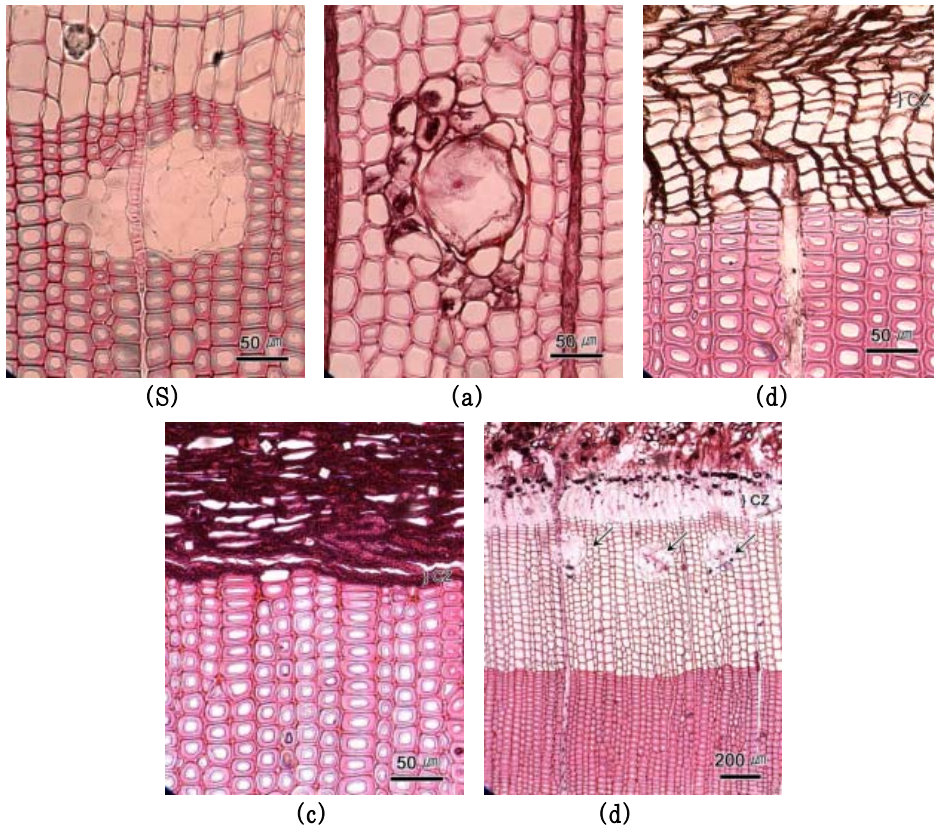


Fig. 3. Cross sections of sound and damaged woods by forest fire (S: sound wood, a: damage level A, b: damage level B, c: damage level C I, d: damage level C II).

간일지라도 피해를 강하게 입은 부위의 형성층 세포는 고사되고 피해를 약하게 입은 부위는 형성층이 살아서 분열 활동을 계속하는 것으로 여겨졌다. 또한 8월 10일 채취한 피해재에서는 건전재와 비교하여 수직수지가 많이 관찰되었는데 이것은 산불 피해에 의한 영향으로 생각된다.

이러한 결과로부터 산불에 약한 소나무일지라도 경미하게 피해를 입은 수목은 생존이 가능하며, 산불 발생 후 최소 2~3개월 후면 고사목 혹은 생존 가능 수목의 판별이 가능할 것으로 여겨졌다.

3.3.2. 수직수지구 및 방사조직 관찰

산불 피해목과 건전재를 2005년 8월 10일에 채취

하여 관찰한 광학현미경 사진은 Fig. 3과 같다. 건전재(S)와 비교해 보았을 때 산불 피해목 A(a)는 수직수지를 둘러싸고 있는 에피텔리움세포와 방사유세포의 세포벽이 짙게 염색되고 세포 내에 과립형태의 충전물질이 관찰되었다. 이것은 세포 내의 전분, 지질, 추출물 등과 같은 내용물들이 고온에 영향을 받아 성질이 변화한 때문으로 생각된다(황 등, 2003a). 산불 피해목 B(b) 역시 피해목 A와 유사한 경향이 나타났다. 산불 피해목 C(c, d)의 경우 CI(c)의 수직수지구 및 방사조직은 피해목 A, B와 유사하게 관찰된 반면, CII(d)에서는 건전재와 유사한 경향이 관찰되었다.

Table 3. Relative crystallinity of sound wood and damaged wood by forest fire

Damage level	Crystallinity (%)
Sound	55
A	65
B	62
CI	64
CII	56

3.4. 상대결정화도 측정

고도법으로 측정된 소나무 산불 피해재와 건전재의 상대결정화도를 Table 3에 나타냈다. 최외각 연륜 부위의 결정화도는 건전재 55%, 산불피해재 56~65%였다. 특히 심하게 피해를 입은 산불 피해재 A와 CI의 결정화도가 다소 높게 나타났다. Yildiz와 Gümüşkaya (2007)는 가문비나무와 너도밤나무를 150, 180, 200℃로 6시간과 10시간 동안 열처리 하여 열처리 시간과 온도가 증가할수록 결정화도는 증가함을 보고하였고, Bhuiyan 등(2000, 2001, 2005)은 열처리 온도에 따라 상대결정화도는 증가한다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서 나타난 상대결정화도의 차이는 좀 더 검토가 필요하지만 전보(황 등, 2003)에서 보고하였던 것과 같이 고온의 산불에 의해 열처리 효과가 나타난 것으로 사료된다.

4. 결 론

강원도 양양 지역 소나무 산불 피해목의 피해 정도에 따른 해부 및 물리적 특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 1) 피해 정도에 따라 수피의 탄화 깊이가 다르지만 목질부까지는 탄화가 진행되지 않았고 피해 정도에 따라 목질부의 수지 삼출 정도에 차이가 있었다.
- 2) 산불 피해재 변재의 생재함수율은 건전재보다 다소 낮게 나타났으나 심재는 건전재보다 피해목이 다소 높게 나타났다.
- 3) 산불 피해를 심하게 입은 경우 형성층의 활동

은 중지되었으나 산불 피해를 약하게 입은 경우에는 형성층의 활동이 관찰되었으나 분열 속도는 건전재와 비교해 보았을 때 매우 느렸다.

4) 산불 피해를 심하게 입은 목재는 수지구, 에피델리움세포와 방사조직의 세포벽이 사프라닌에 짙게 염색되고 세포 내에서 과립 형태의 물질이 관찰되었다.

5) 최외각 연륜 부위의 상대결정화도는 산불 피해재가 건전재보다 다소 높았다.

결론적으로 형성층 관찰에 의해 생존 가능 수목과 고사목의 판별이 가능하며, 산불 피해 소나무 목재는 그 피해 정도에 따라 다소 다른 해부 및 물리적 특성을 가지는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호 : S210808L0101004)'의 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. Bhuiyan, M. T. R., N. Hirai, and N. Sobue. 2000. Changes of crystallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions. *Journal of Wood Science* 46(6): 431~436.
2. Bhuiyan, M. T. R., N. Hirai, and N. Sobue. 2001. Effect of intermittent heat treatment on crystallinity in wood cellulose. *Journal of Wood Science* 47(5): 336~341.
3. Bhuiyan, M. T. R. and N. Hirai. 2005. Study of crystalline behavior of heat-treated wood cellulose during treatments in water. *Journal of Wood Science* 51(1): 42~47.
4. Carcaillet, C, P. J. H. Richard, H. Asnong, L. Capece, and Y. Bergeron. 2006. Fire and soil erosion history in East Canadian boreal and temperate forests. *Quaternary Science Reviews* 25(13): 1489~1500.
5. Hernández, L., S. H. Encinas, A. M. White, del Rey, and G. R. Sánchez. 2007. Modelling forest fire spread using hexagonal cellular automata.

- Applied Mathematical Modelling 31(6): 1213~1227.
6. Jaatinen, K., C. Knief, P. F. Dunfield, K. Yrjälä, and H. Fritze. 2004. Methanotrophic bacteria in boreal forest soil after fire. *FEMS Microbiology Ecology* 50(3): 195~202.
 7. Kiran Chand, T. R., K. V. S. Badarinath, V. Krishna Prasad, M. S. R. Murthy, C. D. Elvidge, and B. T. Tuttle. 2006. Monitoring forest fires over the Indian region using Defense Meteorological Satellite Program-Operational Linescan System nighttime satellite data. *Remote Sensing of Environment* 103(2): 165~178.
 8. Lavrov, A., A. B. Utkin, R. Vilar, and A. Fernandes. 2006. Evaluation of smoke dispersion from forest fire plumes using lidar experiments and modelling. *International Journal of Thermal Sciences* 45(9): 848~859.
 9. Lee, K. H., J. E. Kim, Y. J. Kim, J. H. Kim, and W. von Hoyningen-Huene. 2003. Impact of the smoke aerosol from Russian forest fires on the atmospheric environment over Korea during May 2003. *Atmospheric Environment* 39(1): 85~99.
 10. Segal, L., J. J. Creely, A. E. Martin, Jr., and C. M. Conrad. 1959. An empirical methods for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. *Text. Trs. J.* 786~794.
 11. Statheropoulos, M. and S. Karma. 2007. Complexity and origin of the smoke components as measured near the flame-front of a real forest fire incident: A case study. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 78(2): 430~437.
 12. van Mantgemm, P. and M. Schwartz. 2003. Bark heat resistance of small trees in Californian mixed conifer forests: testing some model assumptions. *Forest Ecology and Management* 178(3): 341~352.
 13. Yildiz, S. and E. Gümüşkaya. 2007. The effects of thermal modification on crystalline structure of cellulose in soft and hardwood. *Building and Environment* 42(1): 62~67.
 14. 권성민, 김남훈. 2005. 춘천지역에서 생장하는 주요 수종의 연륜형성 -형성층 활동기간에 관하여-. *목재공학* 33(4): 1~8.
 15. 박정환, 박병수, 심국보, 조태수. 2005. 산불 피해목의 재질 변화에 관한 연구(I) -동해안 산불피해 소나무의 재질 특성-. *목재공학* 33(6): 8~16.
 16. 박정환, 박병수, 김광모, 이도식. 2008. 산불 피해목의 재질 변화에 관한 연구(II) -산불피해 소나무의 경시적 재질변화 -. *목재공학* 36(1): 30~35.
 17. 산림청. 2007. 임업통계연보. 제37호. pp. 82
 18. 이시영. 2000. 한국산불의 특성. *산림과학연구* 제16호: 156~163.
 19. 한국산업규격. 2006. 한국표준협회. KS F 2199, 2189.
 20. 황원중, 권구중, 김남훈. 2003a. 산불피해 소나무목의 해부 및 물리학적 특성. *목재공학* 31(4): 1~7.
 21. 황원중, 권구중, 박종수, 김남훈. 2003b. 산불피해 소나무목의 역학적 특성 및 급속오븐 건조특성. *목재공학* 31(4): 52~57.