

산불 피해 소나무재의 역학적 특성 및 급속오븐 건조특성*1

황 원 중*2 · 권 구 중*2 · 박 종 수*2 · 김 남 훈*2†

Mechanical and Oven-drying Characteristics of *Pinus densiflora* Wood Damaged by Forest Fire*1

Won-Joung Hwang*2 · Gu-Joong Kwon*2 · Jong-Su Park*2 · Nam-Hun Kim*2†

요 약

본 연구에서는 산불 피해 소나무재의 이용을 위한 기초자료를 얻고자 역학적 및 건조 특성을 조사하였다. 산불 피해재는 종압축 특성, 전단강도, 충격휨흡수에너지 등에서 건전재와 거의 유사한 결과를 보여주었으며, 산불피해재 변재부의 휨특성은 건전재보다 양호하게 나타났다. 건전재와 산불피해재 변재부의 생재함수율은 산불피해재가 다소 낮았으나, 건조속도는 거의 차이가 없었다. 건조시 발생하는 초기할렬은 건전재가 산불피해재보다 발생율이 높았고, 내부할렬은 건전재와 산불피해재에서 발생되지 않았다. 따라서 산불에 의해 피해를 입은 목재의 대부분은 수피부를 제거하여 이용할 경우 건전재와 거의 동일한 용도로써 사용이 가능할 것으로 생각된다.

ABSTRACT

The Mechanical and drying characteristics of *Pinus densiflora* wood, which was damaged by forest fire, and sound wood were examined. There were no significant differences in axial compressive properties, shearing strength and impact bending absorbed energy between damaged and sound woods. But the bending properties of damaged wood were slightly higher than those of sound wood. The green moisture content of sapwood in damaged wood was lower than that in sound wood, but oven-drying rate was similar in both woods. Number of initial check in damaged wood was smaller than that in sound wood, and inner check in damaged and sound woods was not observed. Consequently, it is considered that mostly damaged wood by forest fire can be used for wood material after removing the bark.

*1 접수 2002년 9월 30일, 채택 2002년 11월 20일

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

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

Keywords: Forest fire, Axial compressive properties, Shearing strength, Impact bending absorbed energy, Bending properties

1. 서 론

前報(황 등, 2002)에서는 산불 피해를 입은 소나무재의 해부 및 물리학적 특성에 대해서 보고하였다. 前報에서 보고한 바와 같이 현재의 산불은 그 형태가 점차 대형화되고 있으며, 발생 건수도 1993년 이후 계속적으로 증가되고 있다. 최근 발생한 산불의 피해 현황을 국내·외별로 살펴보면, 국내의 경우, 1996년 4월의 강원도 고성지역 산불은 피해 산림면적 3,762 ha, 피해 임목재적 158,530 m³였고, 2000년 4월의 동해안 산불 피해는 피해 산림면적이 23,448ha, 피해 임목재적 1,320천 m³로서 우리나라 역사상 최대의 산불로 기록되고 있다(정, 2000). 외국의 경우, 북미지역의 연평균 산불 발생건수는 약 161,000건이며 그 피해 면적은 2,771천 ha에 이르고 있어, 그 피해는 우리나라 전산림면적의 약 1/3에 해당하는 것으로 매우 크다고 할 수 있다(산림청, 2000; 한, 2000). 2001년 12월에 발생한 호주 산불은 발생 2주만에 피해 면적이 여의도 면적(300 ha)의 약 3,300배에 해당하는 것으로 알려지고 있다(스포츠서울, 2002). 또한, 2002년 6월의 미국 애리조나주 산불은 18만 ha의 산림과 400여채의 가옥에 피해를 주었고, 콜로라도주 산불은 4만 3,700 ha의 산림에 피해를 주었다(한국일보, 2002).

한편, 국내·외적으로 산불에 의한 피해목은 증가되고 있으나, 일반적으로 작업성과 벌채 및 운반비용 등을 고려해 볼 때 경제성이 낮아 이용이 기피되고 있다. 우리나라는 2000년 외국으로부터 수입한 원목량이 6,735천m³(임업연구원, 2001)인 목재 수입국으로서 막대한 양의 산불 피해목 방치는 크나큰 손실이 아닐 수 없다.

따라서 본 연구에서는 산불 피해를 입어 방치되거나 버려지고 있는 목재자원의 효율적 이용을 위한 기초자료를 얻기 위해 역학적 특성과 건조성을 조사하여 건전재와 비교·검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

본 실험에서는 前報(황 등, 2002)에서 사용한 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)를 실험재료로 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 역학적 특성 조사

건전재와 산불 피해재의 압축강도, 휨강도, 전단강도 및 충격휨흡수에너지는 KS F 2206, 2208, 2209, 2211(한국산업규격, 1999)에 따라 변·심재별로 구분하여 각각 5개씩 시료를 제작하였다. 시료는 동일 실내에서 같은 기간(약 45일) 보관하여 Instron (model : 1175) 및 Charpy형 충격시험기(model : HJ 7972, HEUNG JIN TESTING MACHINE Co.)로 측정하였다. 측정값의 비교는 SPSS win 10.0을 이용하여 t-검정법으로 유의성을 검정하였다.

2.2.2. 건조 특성 조사

건조성 실험은 건전재와 산불 피해재의 변재부에서 방사방향 2 cm, 접선방향 10 cm, 섬유방향 20 cm 인 판목 시험재를 8개씩 제작하여 실시하였다. 제작된 시료는 생재중량을 측정 후, 미리 온도를 100±5°C로 조정된 항온건조기에 판목면이 측면이 되도록 세워서 넣었다. 그 후 寺澤(1994)의 급속건조법에 의해 건조특성을 조사하였다. 건조 중 건조초기에는 1시간 간격으로 중량과 활렬을 측정하였고, 발생한 활렬이 좁아지기 시작하면 2, 4, 6, 12시간 간격으로 시험재의 중량을 측정하였으며, 항량에 도달하면 이 무게를 전건무게로 간주하여 건조 중 함수율과 건조속

Table 1. Compressive properties parallel to grain of *Pinus densiflora* wood after air-drying

<i>P. densiflora</i>		Air-dry density ^{a)} (g/cm ³)	Annual ring width(mm)	Moisture contents(%)	MOR (kgf/cm ²)	Proportional limit (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)
Damaged wood	Sapwood	0.48±0.01	3.2±0.1	7.1±0.5	490±16 ^{NS}	340±27	33,300±3000 ^{NS}
	Heartwood	0.47±0.00	2.3±0.1	7.8±0.2	500±13 ^{NS}	370±6	37,200±1000 ^{NS}
Sound wood	Sapwood	0.47±0.02	3.0±0.2	10.4±0.2	470±23 ^{NS}	360±25	31,800±2200 ^{NS}
	Heartwood	0.50±0.02	2.4±0.1	10.8±0.4	500±15 ^{NS}	400±21	35,700±9800 ^{NS}

a) : Based on air-dried weight and volume. Wa/Va. NS : No significant effect, ± : Standard deviation

도를 구하였다. 또한, 초기할렬은 양 횡단면과 제면
중에서 할렬이 가장 심한 면에서 발생수를 평가하였
고, 내부할렬은 향량에 도달한 이후 시험재 길이방향
의 중앙을 절단하여 측정하였다.

전단강도는 정(1994)이 방사단면 97 kgf/cm², 접선단
면 104 kgf/cm², 中井와 山井(1982)가 각각 103 kgf/
cm², 98.9 kgf/cm²으로 보고한 결과와 비슷한 결과를
나타냈다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 역학적 특성

3.1.1. 종압축 특성

Table 1은 산불 피해재와 건전재의 종압축 특성을
측정한 결과이다. 산불 피해재와 건전재의 종압축강
도와 종압축영계수는 거의 차이가 없었으며, t-검정
에서도 유의적인 차이가 인정되지 않았다. 소나무재
의 종압축강도에 관하여 정(1994)은 430 kgf/cm², 中
井와 山井(1982)는 392 kgf/cm², 일본목재학회
(1985)는 450 kgf/cm²로서 본 연구결과에 비해 다소
낮은 값을 보고하고 있다.

3.1.2. 전단강도

산불 피해재와 건전재의 전단강도를 측정한 결과는
Table 2에 나타났다. 산불 피해재와 건전재 변재부의
단면별 전단강도는 차이가 없었다. 그러나 심재부의
방사단면 전단강도는 산불 피해재가 다소 높게 나타
났으며, t-검정에서도 유의성이 인정되었다. 그러나
심재부의 이러한 차이는 산불의 영향에 의한 것이 아
니고 개체간의 특성으로 생각된다. 소나무 건전재의

3.1.3. 휨 특성

산불 피해재와 건전재의 휨 특성을 측정한 결과는
Table 3에 보여주었다. 산불 피해재 변재부의 휨과괴
강도와 휨탄성계수는 1,010 kgf/cm², 112×10³ kgf/
cm²로서 건전재 변재부의 것보다 다소 높게 나타났으
며, t검정 결과 유의성이 인정되었다. 산불 피해재와
건전재 심재부의 휨과괴강도와 휨탄성계수는 유의적
인 차이가 인정되지 않았다. 산불 피해재의 휨특성은
변재부가 심재부보다 다소 높았으나, 건전재는 변·
심재부간 차이가 거의 없었다. 산불 피해재 변재부의
휨과괴강도와 휨탄성계수가 건전재보다 다소 높게 나
타난 것은 최외곽 목부가 산불 발생 당시 입목상태에
서 고온에 의해 목재내 성분이나 휨강도에 영향을 미
치는 어떠한 인자에 의해 영향을 받았거나, 어느 정도
산불에 의한 인공건조의 효과 때문으로 생각된다. 또
한 전보에서 보고한 결과중 산불 피해재 변재부의 상
대결정화도가 건전재의 것보다 다소 높게 나타난 것
을 상기한다면 다소 이해가 되리라 생각한다. 본 실험
에서 건전재의 휨과괴강도는 정(1994)의 747 kgf/
cm²과 中井와 山井(1982)가 보고한 758 kgf/cm²보다
다소 높은 값을 보여주었고, 산불 피해재의 휨과괴강
도는 일본목재학회(1985)의 900 kgf/cm²보다도 다소
높게 나타났다.

Table 2. Shearing strength of *Pinus densiflora* wood after air-drying

<i>P. densiflora</i>		Shear plane	Air-dry density ^{a)} (g/cm ³)	Annual ring width(mm)	Moisture contents(%)	Shearing strength (kgf/cm ²)
Damaged wood	Sapwood	LR	0.47±0.03	4.1±0.6	65±0.2	115±11 ^{NS}
		LT	0.46±0.00	4.6±0.7	6.6±0.2	109±10 ^{NS}
	Heartwood	LR	0.49±0.01	2.4±0.3	7.0±0.3	132± 7*
		LT	0.49±0.01	2.2±0.3	7.0±0.4	121±13 ^{NS}
Sound wood	Sapwood	LR	0.45±0.01	2.8±0.0	9.9±0.2	100±10 ^{NS}
		LT	0.48±0.02	2.7±0.4	10.4±0.2	109± 6 ^{NS}
	Heartwood	LR	0.49±0.01	2.5±0.3	10.1±0.2	97±15*
		LT	0.51±0.02	2.7±0.2	10.3±0.5	118± 6 ^{NS}

a) : Based on air-dried weight and volume, W_a/V_a , LR : radial section, LT : tangential section, NS : No significant effect, * : significant effect at 0.05 level, ± : Standard deviation

Table 3. Bending properties of *Pinus densiflora* wood after air-drying

<i>P. densiflora</i>		Air-dry density ^{a)} (g/cm ³)	Annual ring width(mm)	Moisture contents(%)	MOR (kgf/cm ²)	Proportional limit (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)
Damaged wood	Sapwood	0.53±0.02	2.8±0.3	11.7±0.3	1,010±50*	620±40	111,700±4100*
	Heartwood	0.56±0.03	2.7±0.7	11.8±0.4	950±120 ^{NS}	540±70	87,300±18500 ^{NS}
Sound wood	Sapwood	0.47±0.01	3.2±0.4	11.4±0.2	850±50*	460±40	82,800±5000*
	Heartwood	0.51±0.03	2.7±0.3	11.3±0.3	840±60 ^{NS}	570±80	80,100±9700 ^{NS}

a) : Based on air-dried weight and volume, W_a/V_a , * : significant effect at 0.05 level, NS : No significant effect, ± : Standard deviation

3.1.4. 충격흡수에너지

Table 4는 산불 피해재와 건전재의 충격흡수에너지를 측정된 결과이다. 산불 피해재와 건전재의 충격흡수에너지는 양자간 차이가 없었다. 소나무 건전재의 충격흡수에너지는 정(1994)의 0.52 kg · m/cm², 일본목재학회(1985)의 0.50 kg · m/cm² 등과 거의 비슷하였고, 中井와 山井(1982)가 보고한 0.45 kg · m/cm²보다 다소 높은 값을 보여주었다.

이상의 실험 과정 중 산불 피해재와 건전재의 기건함수율은 다소 차이가 있었으나, 역학적 특성에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 생각되었다.

3.2. 건조특성

Fig. 1은 급속오븐건조(100±5℃)중 건전재와 산불 피해재의 함수율 경과곡선을 나타낸 것이다. 건전재와 산불 피해재의 평균 초기함수율은 각각 153%와 133%로 산불 피해재가 다소 낮았고, 최종함수율 약 1%에 이르는 데 소요되는 시간은 건전재와 산불 피해재 모두 26시간 정도로 차이가 없었다. 건조 중 함수율은 건전재와 산불 피해재 모두 건조시간의 경과에 따라 급속히 감소한 후 완만한 감소율을 보여주었다.

Table 4. Absorbed energy in impact bending of *Pinus densiflora* wood after air-drying

<i>P. densiflora</i> .		Air-dry density ^a (g/cm ³)	Annual ring width(mm)	Moisture contents(%)	Impact bending absorbed energy (kg · m/cm ²)
Damaged wood	Sapwood	0.47±0.01	29±0.5	7.7±0.2	0.63±0.21 ^{NS}
	Heartwood	0.45±0.01	1.9±0.5	7.5±0.1	0.44±0.05 ^{NS}
Sound wood	Sapwood	0.50±0.01	29±0.3	13.6±2.5	0.62±0.25 ^{NS}
	Heartwood	0.61±0.04	2.4±0.1	14.2±0.5	0.54±0.18 ^{NS}

a) : Based on air-dried weight and volume, W_a/V_a , NS : No significant effect, ± : Standard deviation

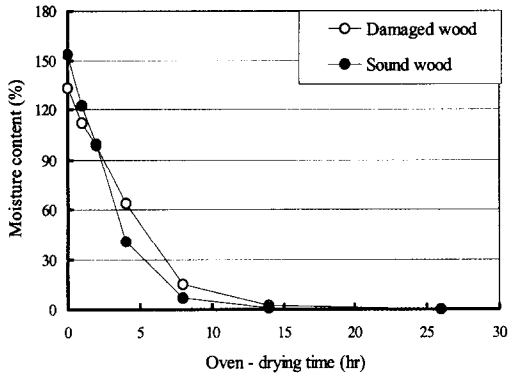


Fig. 1. Drying curves of *Pinus densiflora* wood during oven-drying at 100±5°C.

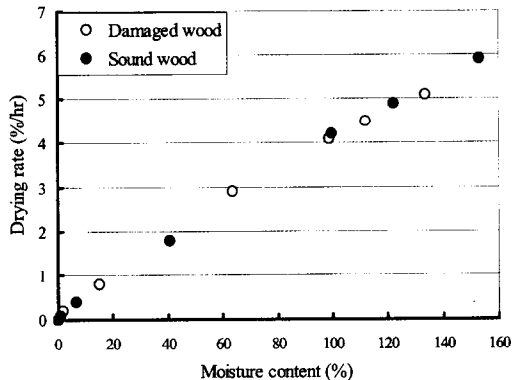


Fig. 2. Oven-drying rate as a function of moisture contents.

Fig. 2는 건전재와 산불 피해재의 건조속도를 나타낸 것이다. 건전재와 산불 피해재의 건조속도는 함수

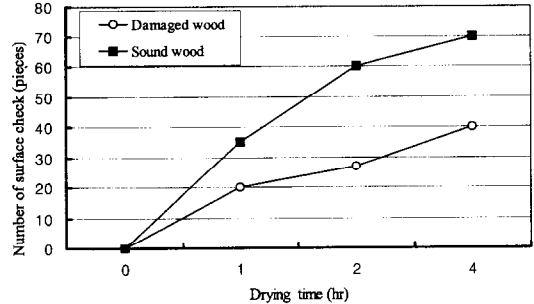


Fig. 3. Occurrence of surface check with drying time of *Pinus densiflora* wood.

율이 감소함에 따라 저하되었으며, 이러한 경향은 함수율 경과곡선과 일치하였다. 또한, 건조속도는 고함수율 영역인 100% 부근에서 비교해보면 건전재가 4.2 %/hr, 산불피해재가 4.1 %/hr로서 거의 차이가 없었으며, 총건조시간을 결정짓는 저함수율 영역에서도 같은 경향을 나타냈다.

Fig. 3은 건조시 발생하는 초기할렬의 출현량을 보여준 것이다. 건전재가 산불 피해재보다 초기할렬이 많이 발생하였으며, 시간경과에 따라 발생된 할렬 수의 차이가 더욱 크게 나타났다. 그러나 내부할렬은 건전재와 산불 피해재 모두 발생되지 않았다.

위의 실험결과들로 판단해보면, 산불 피해재와 건전재의 건조특성에 대한 뚜렷한 차이는 나타나지 않았다. 산불 피해재가 건전재에 비해 평균초기함수율이 낮고 할렬의 발생수가 적은 이유는 고온의 산불에 의해 영향을 받은 후, 건조가 진행되었기 때문으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 산불 피해를 입어 방치되거나 버려지고 있는 목재자원의 효율적 이용을 위한 기초자료를 얻기 위해서 산불 피해 소나무재의 건조 및 역학적 특성을 조사하였다.

산불 피해재는 종압축강도, 전단강도, 충격휨흡수 에너지 등에서 건전재와 거의 유사한 결과를 나타냈으나, 산불 피해재 변재부의 휨특성은 건전재의 것보다 다소 높게 나타났다. 건전재와 산불 피해재 변재부의 초기함수율(생재함수율)은 각각 153%와 133%로서 산불피해재가 다소 낮았으나, 건조속도는 거의 차이가 없었다. 건조시 발생하는 초기할렬은 건전재가 산불 피해재보다 발생율이 높았으나, 내부할렬은 양자에서 발생되지 않았다. 따라서 산불에 의해 피해를 입은 목재는 수피부를 제거하여 사용하는 용도 등에서 이용할 경우 큰 영향이 없으리라고 여겨진다.

참 고 문 헌

1. 寺澤眞. 1994. 木材のすべて. 海青社. 394~407.
2. 森林總合研究所. 1982. 木材の性質一覽表. Bull. For. & For. Prod. Res. Inst. No. 319: 85~126.
3. 日本木材學會·物理·工學編輯委員會. 1985. 木材科學實驗書 I. 物理·工學編. 日本 中外産業. 343~345.
4. 中井孝, 山井良三郎. 1982. 日本産主要35樹種の強度的性質. Bull. For. & For. Prod. Res. Inst. No. 319: 13~46.
5. 산림청. 2000. 임업통계연보 30호: 216~217.
6. 스포츠서울. 2002. 호주 최악산불 '죽어가는 명물들'. 7월 1일. 사회면.
7. 이시영. 2000. 한국산불의 특성. 강원대학교 산림과학연구소. 산림과학연구 16호: 156~163.
8. 임업연구원. 2001. 임업경제동향. 24~31.
9. 정광수. 2000. 산불의 예방 및 진화 대책. 강원대학교 산림과학연구소. 산림과학연구 16호: 145~155.
10. 정성호. 1994. 한국산 주요목재의 성질과 용도. 임업연구원 연구자료 제 95호: 120~141.
11. 한상섭. 2000. 산불과 산림생태계 복구. 강원대학교 산림과학연구소. 산림과학연구 16호: 175~193.
12. 한국산업규격. 1999. 한국표준협회. KS F 2202, 2206, 2208, 2209, 2211.
13. 한국일보. 2002. 미국 애리조나 산불. 7월 1일. 국제면.
14. 황원중, 권구중, 김남훈. 2002. 산불 피해 소나무재의 해부 및 물리학적 특성. 한국목재공학. 인쇄중.