

산불 피해목의 재질 변화에 관한 연구(I)^{*1} - 동해안 산불 피해 소나무의 재질 특성 -

박정환^{*2†} · 박병수^{*2} · 심국보^{*2} · 조태수^{*3}

Variation of Material Properties of Fire-killed Timber (I)^{*1} - Mechanical Properties of Fire-killed Korean Red Pine in the East Coast Area -

Jung-Hwan Park^{*2†} · Byung-Soo Park^{*2} · Kug-Bo Shim^{*2} · Tae-Su Jo^{*3}

요 약

산불로 인해 발생한 소나무 피해목은 귀중한 자원으로 활용가치가 있지만 과학적 근거가 없는 일반적 속설 때문에 이용이 기피되고 있다. 본 연구는 산불피해목의 산업적 활용에 필요한 재질을 평가하기 위해 수행하였다. 2000년 동해안에서 발생한 산불피해지에서 산불피해 소나무를 피해등급 "심", "중", "경"으로 구분하여 공시목으로 채취하고, 이들에 대한 물리적, 역학적, 화학적 특성을 조사하여 건진재와 비교하였다. 피해목의 육안적 현미경적 특성은 피해등급에 따른 차이가 없었다. 역학적 성능과 화학적 조성분의 비교에서도 건진재와 차이를 발견할 수 없었다. 이러한 연구결과로부터 산불 발생 직후 산불피해목의 산업적 이용에 요구되는 재질상의 제약요인은 없는 것으로 판명되었다.

ABSTRACT

Fire-killed trees of Korean red pine are valuable resources for industrial uses. It is common only believed that fire-killed trees are too weak and brittle to use in construction purposes. The misunderstandings of fire-killed trees lead these valuable resources abandonment. The purposes of this research are focused on scrutinization of material properties of fire-killed trees to facilitate industrial uses

*¹ 접수 2005년 6월 8일, 채택 2005년 10월 11일

*² 국립산림과학원 재료성능과 Div. Wood performance, Korea Forest Research Institute, Seoul, 130-712, Korea

*³ 국립산림과학원 화학미생물과 Div. Wood Chemistry & Microbiology, Korea Forest Research Institute, Seoul, 130-712, Korea

† 주저자(corresponding author) : 박정환 (e-mail: hwanpark@foa.go.kr)

of these resources. The sample logs were collected from the forest fire site of the eastern coast area in which the most catastrophic wild fire had taken place in 2000. Fire-killed Korean red pines were classified into 3 levels by the degree of fire damage so called light, medium and heavy, then their physical, mechanical and chemical properties were compared with sound trees. No significant difference in physical appearances were found in the cross sections by degree of damage compared to sound tree but bark char. Investigation on mechanical and chemical properties indicates that forest fire did not impact significantly in lowering the strength of damaged trees. It was concluded that there was any limitation of forest fire-killed trees of Korean red pine in industrial utilization.

Keywords: fire-killed trees, Korean red pine, mechanical property, chemical characteristics

1. 서 론

소나무는 우리나라를 대표하는 향토수종이다. 예로부터 가구, 농기구 등 생활용품과 궁궐이나 한옥, 사찰건축 등에 없어서는 안 될 귀중한 원자재로 활용되어 왔다. 특히 강원도 동해안 지역은 예로부터 재질이 우수한 소나무가 대량으로 생산되어 왔으며, 현재도 소나무가 단순림으로 대량 분포하고 있다.

최근에 강원도 지역에 대형 산불이 빈발하면서 힘들어 가꾼 산림자원을 파괴하고 있다. 2000년 3월 강원도 삼척 일원에 발생한 동해안 산불은 가장 규모가 컸으며 23,794 ha의 산림을 황폐화하였다. 산림피해 축적은 150만 m³이었고 입목피해액으로는 970억원에 달했다(임업연구원(2000), 산림청(2001)). 2005년도 양양지역의 산불은 산림피해와 함께 낙산사가 전소되는 등 귀중한 문화재 손실도 초래하였다.

2000년 동해안 산불로 인한 소나무의 피해규모는 전체 산림피해축적의 69%에 달하는 6.7백만 m³로 조사되었다. 피해목 중 산업적으로 이용이 가능한 3~4등급 소나무는 약 50만 m³로 추정된다. 산불피해 소나무는 1~2년 이내에 고사하고 시간이 경과함에 따라 부후 등 재질열화가 진행되기 때문에 가급적 빠른 시일 내에 벌채하여 활용하여야 한다. 그러나 산불 피해목에 관한 근거 없는 오해 때문에 그 이용이 기피되고 있다. 가장 대표적인 속설은 “불 먹은 나무는 진이 빠져 푸석푸석하다.” 또는 “불 먹은 나무로는 집을 짓지 않는다.” 등이다. 국내에서는 아직까지 이러한 속설을 반증할 수 있는 경시적 재질변화에 관한 체계적인 연구가 이루어진바 없다.

황 등(2003a, 2003b)은 2000년 동해안 산불피해 소나무에 대한 물리적, 역학적 특성을 조사하여 산불피해목과 건전재 간에 차이가 없음을 밝힌 바 있다. 산불, 병해충, 태풍 등 대형 자연재해가 주기적으로 발생하는 미국에서는 자연재해 발생 이후 목재가격이 하락하는 현상이 일반적이다. 이는 자연재해 피해목의 벌채·이용에 따른 목재 공급과잉 때문이며, 자연재해 피해목이 일반용재로 널리 유통되고 있음을 의미한다(Prestemon J.P. et al., 2001). Snellgrove & Fahey (1977)은 병해충 고사 2~7년이 경과한 피해목으로부터 구조재로 이용할 수 있는 2등급 이상 제재목의 비율을 조사하였다. 소나무의 경우 건전재는 31%인 반면 고사한 지 2년이 경과한 경우는 17%, 3~6년이 경과하면 4%로 감소하였다. 청변, 해충에 의한 벌레구멍, 부후 등이 구조재 생산수율에 가장 크게 영향을 미치는 인자로 밝혀졌다. Willit & Sampson (1988)은 산불피해목의 조재율과 제재율을 건전재와 비교하였을 때 조재율은 42~57%, 제재율은 25~34% 감소하는 점을 밝혔다. 또한 산불 피해목의 부후 진행은 수종별로 상이하기 때문에 산불 피해목의 이용도를 제고하기 위해서는 산불 발생 직후 벌채하여 이용하는 것이 가장 바람직하다는 점도 지적된 바 있다(Anonymous, 2000).

본 연구는 산불 피해로 발생한 소나무 피해목의 피해등급에 따른 재질변화를 건전재와 비교하여 피해목의 활용에 필요한 과학적 근거를 제시하기 위해 수행하였다. 이 연구결과를 토대로 산불 피해목의 경시적인 재질변화에 관한 연구를 체계적으로 수행할 계획이다. 이를 통해 산불, 병해충 등 자연재해로 인해 발

생하는 엄청난 양의 피해목들이 귀중한 자원으로 평가받고 이용되는데 필요한 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

동해안 산불이 진화된 직후인 2000년 4월 15일과 5월 15일 등 2차에 걸쳐 산불피해가 가장 극심한 강원도 삼척시 일원에서 각 피해등급별로 3~4령급에 해당되는 소나무를 각 2본씩 벌채하여 피해등급에 따른 재질변화를 조사하기 위한 공시재료로 이용하였다. 산불에 의한 피해등급은 수간과 수관의 피해를 기준으로 수간과 수관이 전소한 경우를 “심”, 수고 중간부위까지 연소된 경우를 “중”, 흉고부위까지 경미한 연소가 진행된 경우를 “경”으로 구분하였다. 피해등급별 공시원목의 채취장소는 Table 1과 같았다.

공시원목은 길이 1.2 m로 조제하였다. 각 원목에서 생재함수율을 측정하기 위해 두께 5 cm의 원판을 1개씩 채취하였다. 피해목의 물리 및 역학적 성질을 조사하기 위해 두께 4 cm의 정목판재로 제제한 후 건조기에서 함수율 12%까지 건조하였다. 건조가 끝난 판재에서 비중과 휨강도, 전단강도 및 압축강도의 측정을 위해 두께×폭×길이 3×3×48 cm인 시험편을 제작하였다. 인장시험을 위한 시험편은 1.5×3×39 cm 이었고 충격 휨 흡수에너지를 시험편은 2×2×30 cm 로 제작하였다. 제작이 완료된 시험편은 온도 20°C,

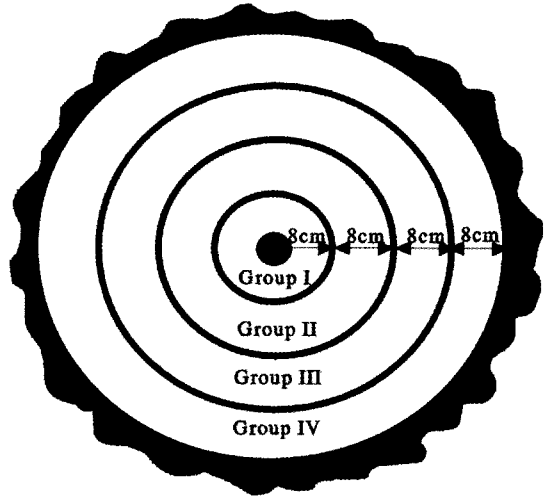


Fig. 1. Specimen preparation for physical and mechanical properties.

상대습도 60%가 유지되는 조습실에서 시험이 수행될 때까지 조습 처리하였다. 한편 공시원목의 반경방향에 따른 재질변이를 관찰하고 또한 산불에 의한 열분해 피해가 의심되는 수피쪽의 재질을 비교하기 위해 모든 시험편은 수(pith)를 중심으로 8 cm 간격으로 Fig. 1과 같이 I, II, III, IV 그룹으로 구분하였다.

또한 피해등급별 화학조성분의 차이를 비교하기 위한 시험편은 공시원목에서 채취한 두께 5 cm 원판으로부터 수피를 제거한 목질부 중 변재부위 10 cm까지에서 목분을 제조하여 공시재료로 하였다. 공시재료를 변재로 한정된 것은 비교적 단시간에 발생한 산불로 인한 열전달로 가장 큰 영향을 받는 부위가 수피

Table 1. Sample log of fire-killed trees of Korean red pine

Level of Fire Damage	No. of Sample Log	DBH (cm)	Volume of Log (m ³)	Site Location of Sample Log
Sound	13	309	0.62	Samcheok-si Geundeok-myeon Yang-ri
	14	26.2		
Light	3	29.2	0.65	Samcheok-si Geundeok-myeon Dongmak-ri
	4	30.7		
Medium	1	34.6	1.90	Samcheok-si Geundeok-myeon Gungchon-ri
	2	43.0		
Heavy	11	30.6	0.94	Samcheok-si Nogok-myeon Jungma-Eub
	12	34.2		

및 수피와 인접한 변재부위이기 때문이다.

2.2. 시험방법

2.2.1. 목재조직의 비교

공시원목에서 채취한 원판으로부터 만재울과 연륜 폭을 scale lupe (10×)를 사용하여 측정하였다. 조직의 현미경적 특징을 조사하기 위해 수피 안쪽의 형성층을 포함하는 목질부에서 1×1×1 cm 크기의 블록을 채취하여 사프라닌으로 염색하고 동결 마이크로토를 이용하여 두께 10~15 μm의 절편을 제작하여 광학현미경 관찰을 위한 일시 프레파라트를 제작하였다. 제작한 프레파라트를 광학현미경(olympus bx 50)을 이용하여 피해등급에 따른 목재 3단면(횡단면, 방사단면, 접선단면)의 조직특성을 관찰하였다.

2.2.2. 물리적 성질

공시원목의 생재함수율은 별채 시 공시원목에서 채취한 원판을 대상으로 측정하였다. 비중은 역학적 특성 조사를 위한 시험편 중 시험이 끝난 휨강도 시험편에서 채취한 가로×세로×높이가 3×3×6 cm인 시험편을 대상으로 전건비중을 측정하였다.

2.2.3. 역학적 성질

공시재료에 대한 역학적 성질은 KS규격에 의거하여 조사하였다. 적용한 KS규격은 KS F2208(목재의 휨 시험 방법), KS F2209(목재의 전단시험방법), KS

F 2207(목재의 인장시험 방법), KS F2211(목재의 충격 휨 시험 방법), KS F2206(목재의 압축시험 방법) 등이다.

2.2.4. 화학 조성분

피해등급 별 화학 조성분의 비교를 위해 1% NaOH 추출물, 알콜-벤젠 추출물, 회분, 전섬유소, 리그닌 함량을 표준임업실시요령에 준하여 정량하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 외관 및 조직 특성

산불피해 등급 별 피해목의 횡단면 특징은 Fig. 2와 같았다. 수피의 탄화 정도는 피해등급에 따라 탄화 깊이가 깊어지는 경향을 보였으나 수피전체가 탄화된 경우는 없었다. 목질부에서는 피해등급에 따른 육안적 차이가 발견되지 않았다. 한편 수피제거 특징을 살펴보면 건전목은 형성층까지 깨끗이 제거되었고, 피해등급 경·중의 경우 약간의 형성층이 남아 있었다. 피해등급 "심"의 피해목은 수피제거 후 대부분의 형성층이 남아 있고, 수피제거 과정이나 수피제거 작업 완료 후 목질부에 남아있는 형성층 부위가 붉게 변하는 현상이 관찰되었다. 건전재와 피해등급 "경" 또는 "중" 공시원목의 수피제거가 비교적 용이한 이유는 별채 시기가 수액이동이 왕성한 봄이어서 형성층 부위의 수액이 풍부한 까닭에 수피와 형성층이 쉽게 제거되는 것으로 판단되었다. 반면 피해등급 "심"의 경우에

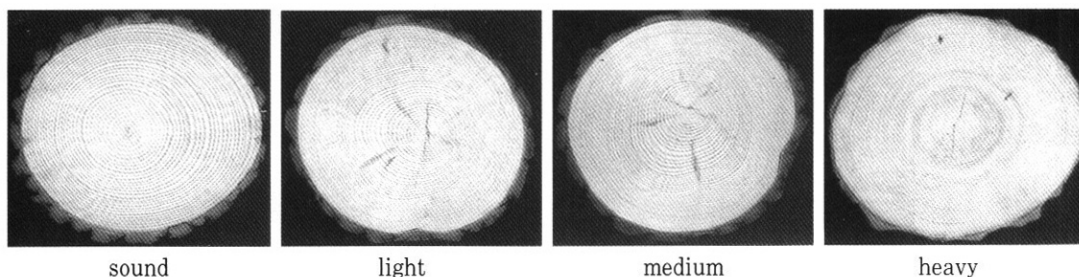


Fig. 2. Cross section of sample logs.

Table 2. Characteristics of sample logs

Degree of fire Damage	No. of Sample Log	age	Proportion of Latewood (%)	Annual ring width (mm)	Green Moisture Content (%)
Sound	13	53	25.5	2.92	59.9
	14	31	19.6	4.23	60.0
Light	3	47	29.2	3.12	75.3
	4	47	31.3	3.27	82.7
Medium	1	49	22.7	3.53	79.8
	2	84	28.4	2.56	65.1
Heavy	11	43	21.4	3.56	62.9
	12	73	17.6	2.34	67.7

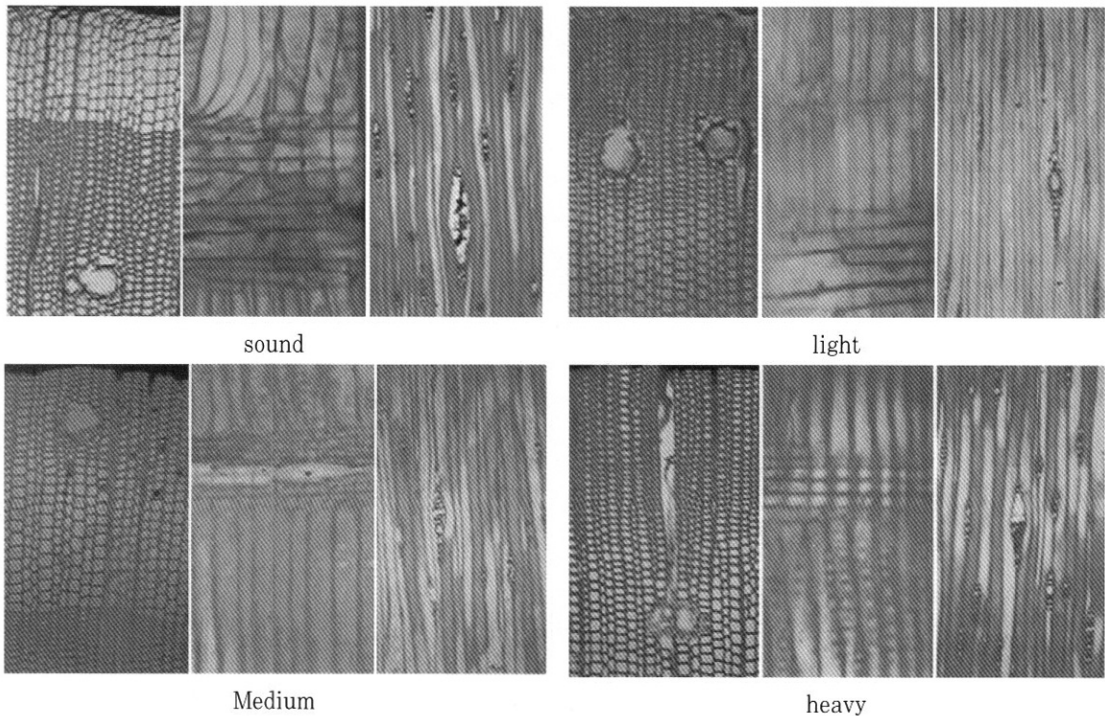


Fig. 3. Three sectional views of fire damaged trees at bark side (Cross-Tangential-Radial).

는 수피가 탄화되면서 발생한 고온에 의해 형성층 부위의 수액이 상실되고 형성층과 목부조직이 유착되어 박피과정에서 형성층이 완전히 제거되지 않는 것으로 판단되었다.

Scale lupe로 관찰한 공시목의 육안적 특징은 Table 2와 같았다. 만재율은 17~31% 범위에 있었으며 평균 연륜폭은 2.3~4.2 mm이었다. 만재율과 평균 연

륜폭은 공시목 개체 간에 큰 차이가 없었다. 피해등급에 따른 미세조직 변이를 조사하기 위한 광학현미경적 특성은 Fig. 3과 같았다. 산불에 의해 가장 큰 영향을 받을 것으로 기대되는 형성층 안쪽의 목부세포들은 피해등급에 따른 차이를 보이지 않았다. 이는 외부의 침해로부터 수목을 보호하는 수피와 코르크층이 산불로 인한 탄화의 진행을 억제한 결과로 사료된다.

Table 3. Specific gravity of sample logs

Degree of Damage	Sound		Light		Medium		Heavy	
	No. of Sample Log							
No. of Sample Log	13	14	3	4	1	2	11	12
Mean Specific Gravity	0.50	0.52	0.50	0.46	0.45	0.49	0.42	0.49
Standard Deviation	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.07	0.07	0.06
Duncan Multiple Test*	B	A	B	C	C	B	D	B

* Same letter indicates no significant difference by Duncan's multiple test

Table 4. Mechanical Properties of sample logs by the level of fire damage

Mechanical Properties	Degree of Fire Damage								Reference
	Sound		Light		Medium		Heavy		
Static bending strength (kg/cm ²)	798±88	B	868±159	A	852±106	A	796±77	B	747
Maximum Compressive Strength (kg/cm ²)	420±45	BC	473±61	A	451±61	AB	435±41	C	430
Shear Strength (kg/cm ²)	109±14	BC	120±16	A	111±12	B	105±12	C	104
Tensile Strength (kg/cm ²)	864±194	C	960±298	B	1,070±244	A	896±243	BC	885
Impact bending absorbed Energy	0.93±0.23	B	0.98±0.24	B	1.03±0.24	A	0.79±0.17	C	0.520

* Same letter indicates no significant difference by Duncan's multiple test

수피 탄화과정에서 발생한 고온이 목재내부로 열전달 될 경우 형성층 안쪽 목부조직의 열분해가 어느 정도 이루어지는지에 대해서는 판단할 수 없지만, 열분해가 발생했다라도 그 정도는 형성층 안쪽 세포의 극히 일부 층에만 국한되었을 것으로 추정할 수 있다.

3.2. 물리적 특성

벌채 직후 공시원목의 원판으로부터 측정된 생재함수율은 60~83% 범위를 나타내었다. 수피탄화의 정도가 심할수록 생재함수율이 낮게 나타났으나, 산불이 발생한 시기가 수액의 이동이 왕성한 이른 봄철이고 이때 생재함수율이 개체 간에 심한 변이를 나타내는 특징이 있기 때문에 산불피해에 의한 생재함수율의 감소로 판단하기에는 무리가 있었다.

공시목재의 재료 특성을 예측할 수 있는 전건비중은 Table 3과 같았다. 피해등급과 공시목 간의 비중 변이는 그다지 크지 않았다. 전체 공시목의 전건비중

평균은 0.48로 기존에 알려진 소나무의 전건비중 0.44(임업연구원 연구자료 제95호, 1995)보다 높았다. 전건비중은 목재의 재질예측에 널리 이용되는 물리 지표이다. 비중 변이가 크면 같은 재료의 강도특성 변이도 커지는 것이 일반적이다. 산불피해등급에 따른 강도성능의 변이를 추정하기 위해서는 비중 변이가 최소화된 공시재료로 측정된 값을 비교해야 한다. 공시원목별 전건비중에 대한 유의차를 검정한 결과 개체 간에 고도의 유의성이 인정되었다. Duncan 다중검정으로부터 피해등급 별로 2, 3, 6, 8번 공시원목의 전건비중이 1% 수준에서 유의차가 없는 것으로 나타났다. 이러한 분석 결과를 토대로 하여 강도성능의 비교는 전건비중 간에 유의차가 없는 공시원목으로 제한하였다.

3.3. 역학적 성질

피해등급별로 조사한 공시목의 강도 성능은 Table

Table 5. Chemical properties of fire-killed tree by degree of damage (%)

Degree of damage	Ash content	Holocellulose	1% NaOH Extractives	Alcohol-benzene Extractives	Lignin content
Sound	0.19	81.15	12.24	3.12	24.12
Light	0.16	84.43	10.50	2.42	24.98
Medium	0.18	85.00	11.68	2.38	25.37
Heavy	0.24	82.14	13.32	4.52	24.16

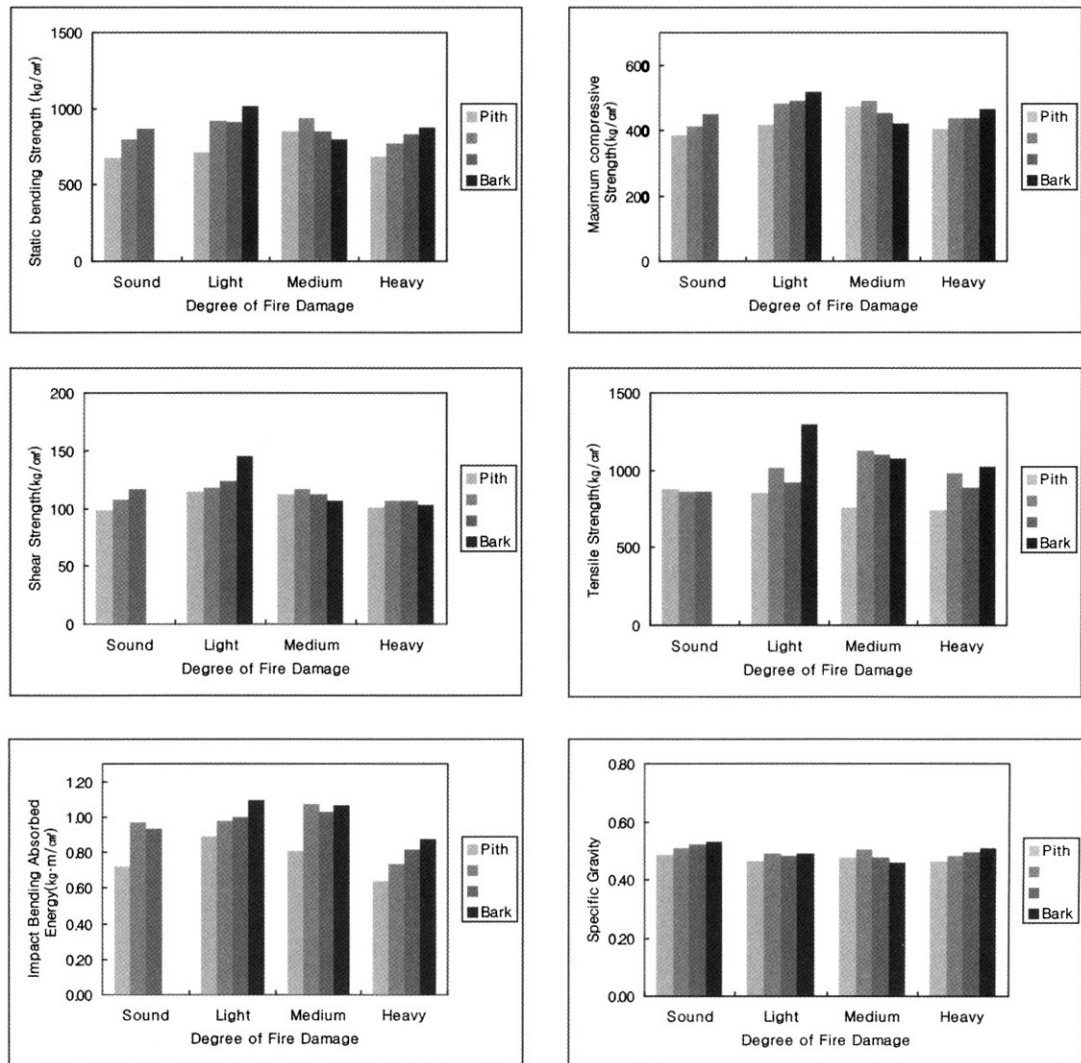


Fig. 4. Variation of mechanical properties in radial direction of fire-killed trees by the degree of damage.

4와 같았다. 건전재와 피해등급 별 개체목 간에 유의성 있는 차이가 발견되었다. 그러나 피해등급에 따른 유의성은 나타나지 않았다. 특히 피해등급 "심"의 경우 건전재와 유의성 있는 차이가 없었다. 다만 충격휨 강도의 경우 피해등급 "심"의 경우가 건전재나 피해등급 "경", "중"에 비해 현저히 낮은 수치를 보였으나 그 원인이 산불로 인한 것인지를 밝힐 수는 없었다. 동해안 지역의 소나무 강도성능은 건전재와 산불피해목 모두 중부지역 소나무에 비해우수한 것으로 나타났다 (임업연구원 연구자료95호, 1995). 그러나 황 등 (2003b)의 산불피해목 역학적 특성 연구결과를 피해등급 "심"과 비교할 때 휨강도, 압축강도, 전단강도는 1.19, 1.14, 1.25배 각각 높았고 충격휨흡수에너지는 0.55배 낮았다. 두 연구결과 간의 강도성능 차이는 공시목의 선정 기준과 개체간 변이에 기인한 것으로 사료된다.

한편 산불로 인해 손상을 입었을 것으로 추정되는 수피 인접 목부조직의 재질변이를 비교하기 위해 조사한 반경방향 강도성능의 변이는 Fig. 4와 같았다. 비중 및 강도 성능은 피해등급에 관계없이 소나무속에서 일반적으로 관찰되는 수에서 수피방향으로 증가하는 경향을 보였다(Panshin and de Zeeuw, 1984). 이러한 결과로부터 산불발생 시 조성된 고온조건이 소나무의 재질에 큰 영향을 미치지 못한다는 사실을 확인할 수 있었으며, 강도성능 측면에서 산불피해 소나무의 산업적 이용을 제약하는 어떠한 과학적 근거도 발견할 수 없었다.

3.4. 화학 조성분

회분은 목재내의 무기물량, 전섬유소는 홀로셀룰로오스, 1% NaOH 가용분은 부후 및 산화 정도, 알콜·벤젠 추출물은 유지성분량 등을 알아보는 지표가 된다. 건전목과 피해목간의 화학조성분의 차이는 크지 않았다. 알콜·벤젠 추출물은 개체간의 차이보다 건전목과 피해등급 "심" 사이에 차이가 크기 때문에 산불피해에 의한 영향으로 의심이 되었다. 그러나 기존 연구결과(임업연구원 연구자료 95호, 1995)의 소나무 알콜·벤젠 추출물 함량 4.67%보다 적기 때문에

산불피해목 추출물함량 변화를 산불로 인한 결과로 단정하기에는 무리가 있는 것으로 사료된다. 다만 경시적으로 발생될 것으로 예상되는 추출물 함량 변화에 대해서는 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

동해안 산불 피해목의 피해등급에 따른 재질 변이를 건전재와 비교하였다. 조사내용은 조직변이, 물리 및 역학적 성질 및 화학 조성분의 차이 등이었다. 수피에서 발생한 탄화층은 목질부로 진행되지 못하였으며 목질부는 건전재와 같이 건전한 상태를 유지하였다. 광학현미경 수준에서 산불로 인한 조직의 변이는 발견되지 않았다. 비중의 변이는 피해등급보다 개체간의 변이가 더 큰 것으로 나타났다. 산불 피해목의 강도성능은 건전재와 차이가 없었으며 반경방향에 의한 재질변이 또한 건전재에서 일반적으로 관찰되는 수피방향으로의 증가경향을 보였다. 화학 조성분의 비교에서도 산불로 인한 목재성분의 변화는 없는 것으로 관찰되었다. 이러한 조사 결과는 산불피해 소나무를 일반 제재용재로 활용하는데 아무런 제한이 없음을 의미한다.

참 고 문 헌

1. 동해안산불피해지 공동조사단. 2000. 동해안 산불지역 정밀조사 보고서 II. 동해안산불피해지 공동조사단, p. 197.
2. 산림청. 2001. 동해안 산불백서 I. 산림청, p. 122~124.
3. 임업연구원. 1995. 한국산 주요목재의 성질과 용도. 임업연구원 연구자료 제95호.
4. 임업연구원. 2002. 표준임업실시요령-목재의 조성분 분석 요령. 임업연구원. p. 672.
5. 황원중, 권구중, 김남훈. 2003a. 산불 피해 소나무재의 해부 및 물리학적 특성. 목재공학 31(4): 1~7.
6. 황원중, 권구중, 박종수, 김남훈. 2003b. 산불 피해 소나무재의 역학적 특성 및 급속오븐 건조특성. 목재공학 31(4): 57~62.

7. Anonymous. 2000. Salvage timber harvesting consideration. *Forest Steward* (Summer). California Dept. of Forestry & Fire Protection, Sacramento, CA.
8. Panshin, A. J. and C. de Zeeuw. 1984. Textbook of wood technology. McGraw-Hill Book Co., NY. p. 272~273.
9. Prestemon, J. P., J. M. Pye, and T. P. Holmes. 2001. Timber economics of natural catastrophes. Proceedings of the 2000 southern Forest Economics Workshop, March 26~28, 2000, Lexington, Kentucky.
10. Snellgrove, T. A. and T. D. Fahey. 1977. Market Values and problems associated with utilization of dead timber. *Forest Products Journal* 27(10): 74~79.
11. Willits, S. and G. Sampson. 1988. Effects of a forest fire on lumber recovery from white spruce in interior Alaska. *Forest Products Journal* 38(11/12): 88~84.