

솔잎혹파리 피해 소나무재의 해부 및 물리학적 특성*

황원중¹⁾ · 권구중¹⁾ · 이찬용¹⁾ · 김남훈¹⁾

Anatomical and Physical Characteristics of *Pinus densiflora* Wood Damaged by *Thecodiplosis japonensis* Uchida et Inouye

Won-Joong Hwang¹⁾ · Goo-Joong Kwon¹⁾ ·
Chan-Young Lee¹⁾ and Nam-Hun Kim¹⁾

요 약

솔잎혹파리 피해 소나무재의 특성을 이해하고 효율적인 이용방법을 모색하기 위한 기초자료를 얻기 위하여 솔잎혹파리 피해재의 해부 및 물리학적 성질을 조사하여 정상재와 비교 및 검토하였다.

그 결과, 솔잎혹파리 피해재는 정상재에 비해 축방향 수지구 및 수평수지구의 수가 많았고 위연륜이 출현하는 특징을 나타냈다. 또한 솔잎혹파리 피해재가 정상재보다 변·심재 모두 수축·팽윤율이 높았으며 변재부의 생재함수율은 정상재에 비해 다소 낮았다. 압축강도와 휨강도는 정상재보다 다소 낮았으나 전단강도는 거의 비슷한 값을 보여주었다.

ABSTRACT

The objective of this work is to examine anatomical and physical characteristics of wood damaged by pine needle gall midge(PNGM, *Thecodiplosis japonensis* Uchida et Inouye) in *Pinus densiflora*. In anatomical characteristics, it was noted that the number of axial and radial resin canals in the damaged wood was higher than that in sound wood. In damaged wood, green moisture content of sapwood and swelling and shrinkage was higher than sound wood. Both longitudinal compressive strength and bending strength of the damaged wood were lower than those of sound wood. On the other hand, shearing strength of damaged wood was similar to that of sound wood.

Key word : *Pinus densiflora*, *Thecodiplosis japonensis* Uchida et Inouye, annual ring width, resin canal

서 론

소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)재는 통직목리를 가지며 연륜폭이 균일하고 재색이 아름다울 뿐만 아니라 재질이 좋아 우수한 국산

목재자원으로 평가받고 있다. 따라서 소나무재는 예로부터 궁궐, 사원, 대저택 등 대형목조 건축물의 구조부재, 토목용재 등으로 이용되어 왔으며, 현재도 고급목조주택 및 고건축물의 보수재 등의 재료로 호평 받고 있는 고급수종이다(임업연구원 1999).

* 본 연구는 1997년도 학술진흥재단 대학부설연구소 과제에 의한 연구결과의 일부임

1) 강원대학교 산림과학대학 College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

그러나 고품질의 소나무재의 수요가 점차 증가 되는 반면 국내 자원의 공급이 현저히 부족하여 Douglas-fir나 라디에타소나무와 같은 외재의 국내 시장 점유율이 크게 증가되고있는 실정이다. 더구나 공급되고 있는 소나무재는 주벌수확에 의한 벌채보다 피해임지에 대한 벌채, 즉 솔잎혹파리 피해 등에 의한 병충해 피해임지와 산불피해 임지 등이 주종을 이루고 있다.

솔잎혹파리 피해는 1929년 목포 유달산과 서울 창경원에 처음 보고된 이후 전국적으로 피해가 확산되어 현재까지도 소나무 및 해송의 피해가 계속되고 있다(임업연구원 1999; 이찬용 등 2000). 솔잎혹파리는 솔나방, 흰불나방, 오리나무잎벌레, 잣나무털늑병과 함께 5대 산림 해충인 동시에 솔나방, 소나무좀과 함께 3대 소나무해충에 속하는 소나무의 대표적인 해충이다. 솔잎혹파리는 솔잎 기부에 충영을 형성하고, 그 속에서 수액을 흡즙 가해하며, 피해있는 당년에 떨어지므로 임목 성장량을 저해시켜 결국 고사시키는 치명적인 피해를 준다(玄信圭 등 1985; 黃愈喆 등 1990; 임업연구원 2000). 또한 솔잎혹파리의 피해목에 대해 이 등(1991)은 신초 고사율이 80%를 넘으면 대부분의 나무가 고사한다고 보고하고 있어 소나무의 치명적인 산림해충임을 뒷받침하고 있다.

산림청(2000)에 의하면 우리나라의 솔잎혹파리 발생면적은 1982년 285,935ha, 1990년 253,504ha, 1996년 209,290ha, 1998년 196,698ha, 1999년 197,493ha로서, 산림병해충 총발생면적의 54.6%를 차지하고 있으며, 산림해충중 가장 큰 피해를 주고 있는 것으로 나타났다. 솔잎혹파리에 대한 연구는 생활사 및 생태를 비롯하여 방제 이르기까지 많은 연구가 진행되어 왔으나(朴基南 등 1983a, 1983b, 1984;

黃愈喆 등 1990; 孫 등 1996; 이찬용 등 2000), 솔잎혹파리피해목을 활용하기 위한 재질에 관한 연구는 거의 수행되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 솔잎혹파리에 감염된 후 수간주사에 의해 재생된 소나무재의 해부 및 물리학적 성질을 조사하여 정상재와 비교함으로써, 벌채 후 버려지거나 부가가치가 낮게 이용되고 있는 솔잎혹파리 피해재의 고도 이용을 위한 기초자료를 얻고자하였다.

2. 재료 및 방법

2. 1 재료

본 실험에서 사용된 솔잎혹파리(*Thecodiplosis japonensis* Uchida et Inouye) 피해 소나무재와 정상 소나무재는 각각 춘천시 동면 가산리 야산과 강원대학교 연습림에서 1999년 4월 하순에 채취하였다(Table. 1).

2. 2 방법

솔잎혹파리 피해에 의한 소나무재의 성장특성 및 재질특성을 구명하기 위하여 다음의 해부학적 및 물리 역학적 특성을 조사하였다.

2.2.1 해부학적 특성 측정

상법(일본목재학회, 1985)으로 슬라이드를 제작하여 조·만재 가도관 길이 및 다음의 항목을 측정하였다.

- 1) 가도관길이 측정 : 각 연륜별로 조재와 만재를 나누어 해리한 후 가도관 길이를 각각 50개씩 측정하였다.

Table 1. Sample trees.

Species	Tree age(year)	Tree height(m)	DBH(cm)
<i>Pinus densiflora</i> (Sound wood)	27	9	11
<i>Pinus densiflora</i> (Damaged wood by <i>Thecodiplosis japonensis</i>)	27	7	15

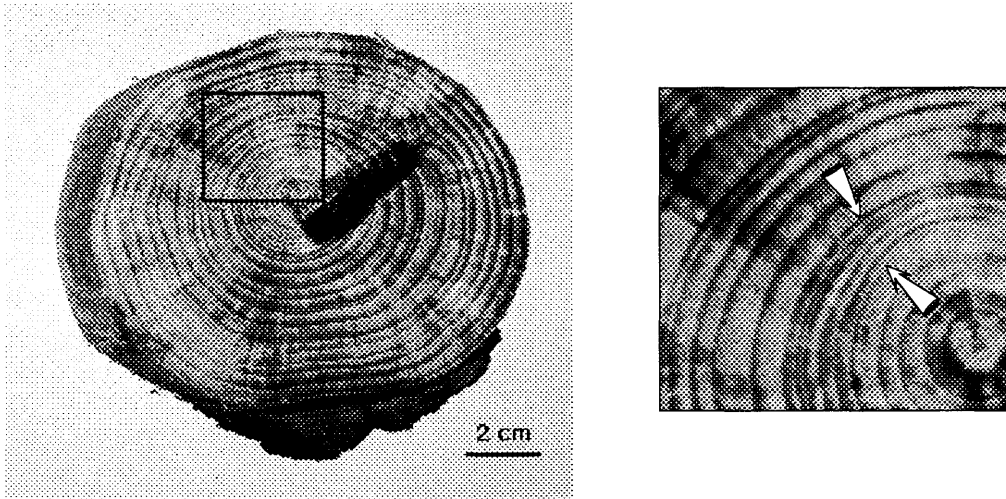
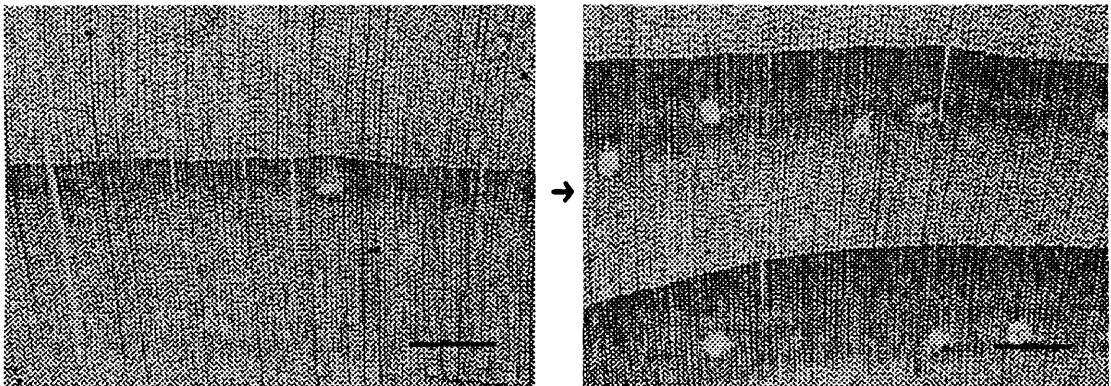
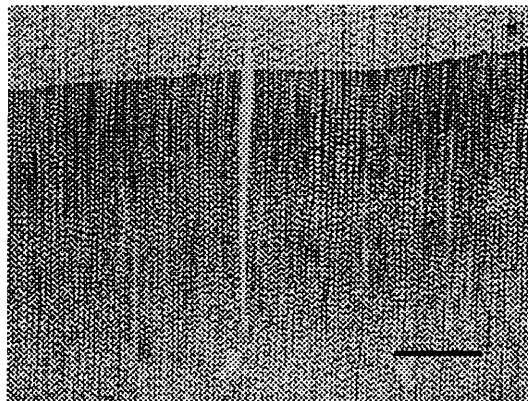


Fig. 1 Disc of damaged wood by the *T. japonensis* in *P. densiflora*.
Thick black bar shows the trace of insecticide injection for *T. japonensis*.



a. Uninfected area (1981년)

b. Infected area (1985년)



c. Recovered area (1993년)

Fig. 2 Optical micrographs of *P. densiflora* wood damaged by *T. japonensis*. (Scale bar = 500 μ m)

- 2) 도관직경과 세포벽두께 : 각 연륜별로 조재·만재부 가도관의 방사방향 및 접선방향의 직경과 세포벽두께는 횡단면에서 측정하였다.
- 3) 방사조직 높이 : 각 연륜별로 접선단면 1mm 내의 방사조직 높이를 측정하였다. 방사조직 높이는 방사조직 내의 방사유세포수를 측정하였고, 각각 50회 실시하였다.
- 4) 수지구 수 : 연륜별로 1mm내에서 수직수지구수는 횡단면에서, 수평수지구수는 접선단면에서 측정하였다. 각각의 측정횟수는 50회이다.

2.2.2 물리적 특성 측정

정상재와 솔잎혹파리 피해를 입었던 소나무재의 함수율, 밀도, 수축·팽윤, 압축강도, 전단강도 및 휨강도는 KS F 2201, KS F 2203, KS F 2206, KS F 2209, KS F 2208(한국산업규격 1994)에 따라 시료를 제작한 후 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 해부학적 특성

3.1.1 솔잎혹파리 피해목 횡단면의 육안적 및 현미경적 관찰

Fig. 1은 솔잎혹파리 피해를 입은 목재의 횡단면 사진이다. 화살표가 지적하는 연륜들은 솔잎혹파리 피해를 입어서 연륜폭이 급격히 좁아진 것으로 생각된다. 즉 1982년의 연륜부터 연륜폭이 점차 감소하기 시작하여 1985년에는 가장 좁은 연륜폭을 나타냈다. 그 후 수간주사, 공중살포등의 방제에 의해 치료되어 정상적인 성장을 한 것으로 나타났다. 원관의 검은색 막대부분은 수간주사의 흔적이다. Fig. 2는 솔잎혹파리 피해를 입은 후 진행된 상태를 나타낸 광학현미경 사진이다. Fig. 2-a는 솔잎혹파리 피해를 입기 전인

1981년의 연륜으로서 정상적인 연륜을 보여주고 있다. 1985년(Fig. 2-b)의 연륜은 연륜폭이 급격히 감소하였으며, 비정상연륜인 위연륜도 관찰되었고, 수지구 수도 많았다. 이것은 조재부 형성 시기(5~7월)에 솔잎혹파리의 부화유충의 활동(5월~6월하순경)으로 인한 피해를 받아 세포분열이 활발하지 못하게 되어 생장이 억제된 것으로 생각된다(이찬용 등 2000; 임업연구원 1999; 玄信圭 등 1985). Fig. 2-c는 방제 후 치료된 것으로 보이는 1993년도 연륜으로서 정상재와 차이가 없었다.

3.1.2 가도관 길이와 세포벽두께

소나무 정상재의 가도관 길이와 방사방향 세포벽 두께의 변이를 측정된 결과는 Fig. 3에 나타났다. 가도관 길이와 세포벽 두께는 약 15연륜까지 증가한 후 거의 일정한 값을 가지는 경향을 나타내고 있다. 이러한 결과는 趙 등(1975)이 보고한 소나무와 강송의 가도관 길이가 연륜에 따라 일정한 연령까지 증가되다가 일정해지거나 감소하는 경향과 같은 결과를 나타냈다. 소나무 정상재의 가도관 길이는 조재부에서 평균 2.62mm, 만재부에서 평균 3.39mm로서 오(1997)가 측정한 조재부 2.89mm, 만재부 3.02mm와는 비슷한 결과를 나타냈다.

한편, 솔잎혹파리 피해재의 가도관 길이와 방사방향의 세포벽 두께의 변이를 측정된 결과는 Fig. 4에 나타났다. 솔잎혹파리 피해재는 정상재와 비슷한 방사방향 변동형식을 보여주었다. 피해재의 가도관 길이도 조·만재부에서 각각 평균 2.82mm, 3.30mm로서 정상재와 비슷한 값을 나타냈다.

3.1.3 가도관 직경의 변이

가도관 직경의 방사방향 변이를 측정된 결과는 Fig. 5에 나타났다. 소나무 정상재와 솔잎혹파리 피해재 모두 조재부에서는 수 부근에서 가장 작고 수피부로 갈수록 직경이 증가하였다. 만재부의

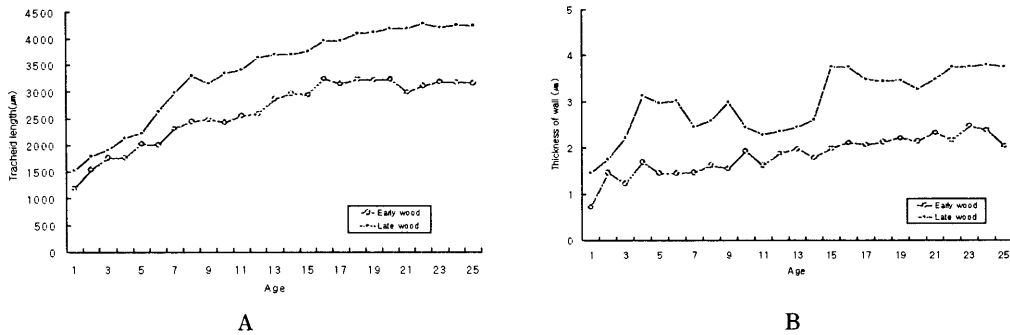


Fig. 3 Radial variation of tracheid length(A) and cell wall thickness(B) with age in earlywood and latewood of sound wood in *P. densiflora*.

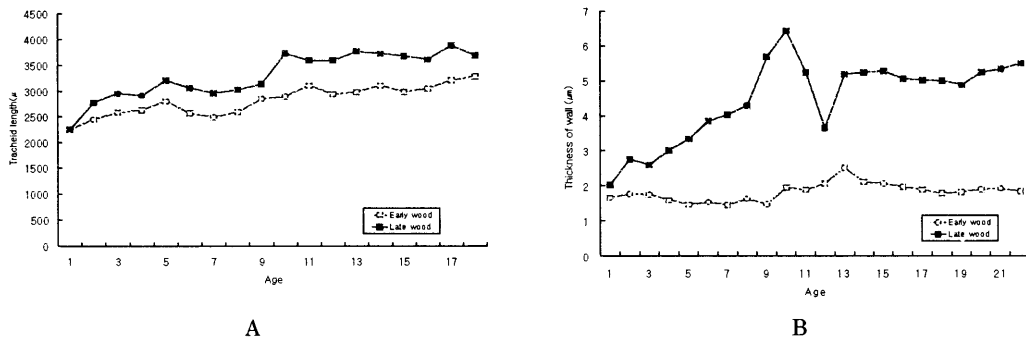


Fig. 4 Radial variation of tracheid length(A) and cell wall thickness(B) with age in earlywood and latewood of damaged wood by *T. japonensis* in *P. densiflora*.

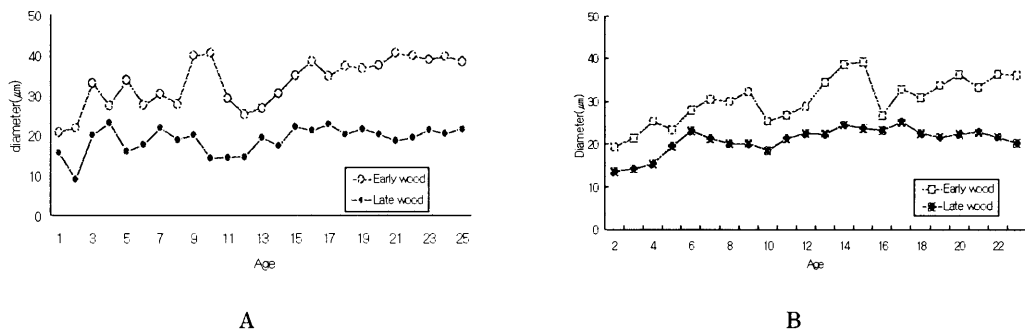


Fig. 5 Radial variation of tracheid diameter with age in earlywood and latewood of sound wood(A) and damaged wood(B) by *T. japonensis* in *P. densiflora*.

가도관 직경은 조재부와 달리 전체 연륜에서 거의 일정한 값을 가지는 것으로 나타났다.

3.1.4 방사조직 높이의 변이
소나무 정상재와 솔잎혹파리 피해재의 방사조직

높이를 측정 한 결과는 Fig. 6에 나타냈다. 정상재와 솔잎혹파리 피해재 모두 약 6연륜까지 증가하다가 일정해지는 경향을 나타냈다. Simcha (1998)는 수부근에서 방사조직 높이가 4세포고 정도이나 7연륜 부근까지 점차 증가하여 수피부에서 7-8세포고를 나타내는 결과를 얻었고, 金 (1986)은 잣나무와 일본잎갈나무의 방사조직의 변이에 관한 연구에서 두 수종 모두 단열방사조직의 높이는 10연륜까지 증가한 후 일정해지는 경향을 나타내는 결과를 보고하여 본 실험의 결과와 일치하였다.

3.1.5 수지구 수

Table 2는 소나무 정상재와 솔잎혹파리 피해재의 전연륜에서 측정 한 수지구 수의 평균값을 나타낸 것이다. 수평수지구 수와 수직수지구 수는 모두 솔잎혹파리 피해재가 정상재보다 높게 나타났다.

Kim 등(2000)은 산불피해를 입은 잣나무재에서 피해를 받은 부분의 수직수지구 수가 입지 않은 부분보다 많이 분포한다는 결과를 얻었다. 이와 같이 외부 인자에 의한 방어 수단으로 피해부분에는 수지구의 수가 증가되는 것으로 생각된다. Fig. 7과 8은 소나무 정상재와 솔잎혹파리 피해재를 광학현미경으로 관찰한 접선단면 사진이다. 솔잎혹파리 피해재의 수직수지구와 수평수지구의 에피델리얼 세포는 정상재에 비해 많이 파괴된 것으로 나타났다

3. 2 물리학적 특성

3.2.1 함수율과 밀도

소나무의 솔잎혹파리 피해재와 정상재의 생재 함수율과 생재밀도 및 전건밀도를 측정 한 결과는 Table 3에 나타냈다. 생재함수율은 정상재의 변재부가 솔잎혹파리 피해재의 변재부보다 높게 나

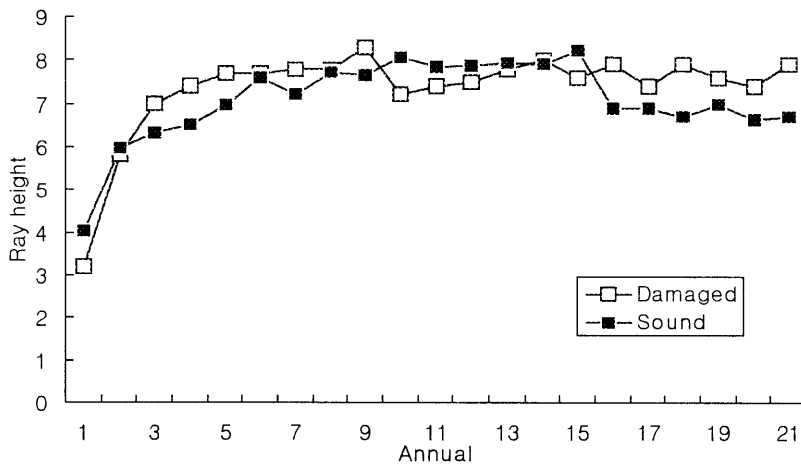


Fig. 6 Variation of ray height in sound wood and damaged wood by *T. japonensis* in *P. densiflora*

Table 2. Number of resin canal in *P. densiflora* (unit : No./mm²)

	Longitudinal resin canal	Transverse resin canal
Sound wood	1.2	0.9
Damaged wood	1.8	1.5

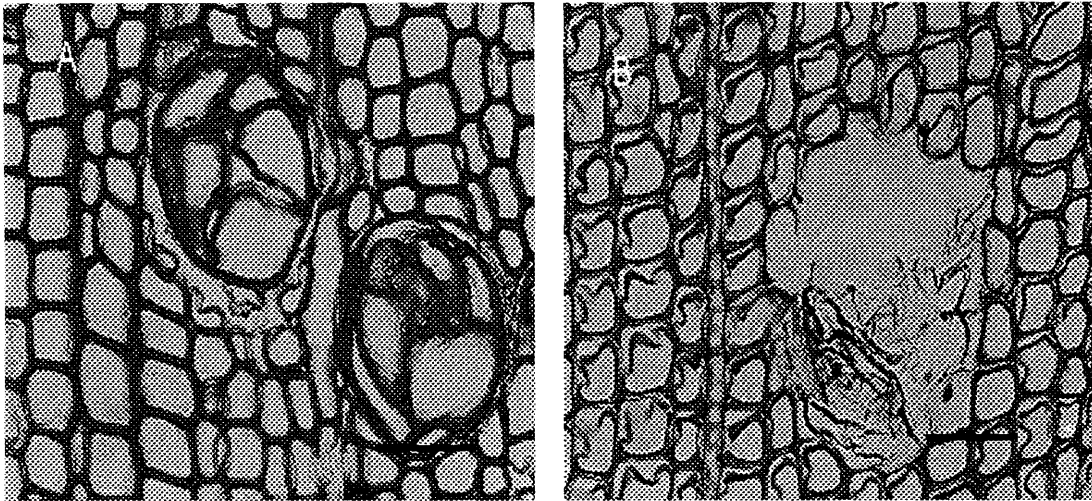


Fig. 7 Optical micrographs of longitudinal resin canals in sound wood(A) and damaged wood by *T. japonensis*(B) in *P. densiflora*. (Scale bar = 50 μ m)

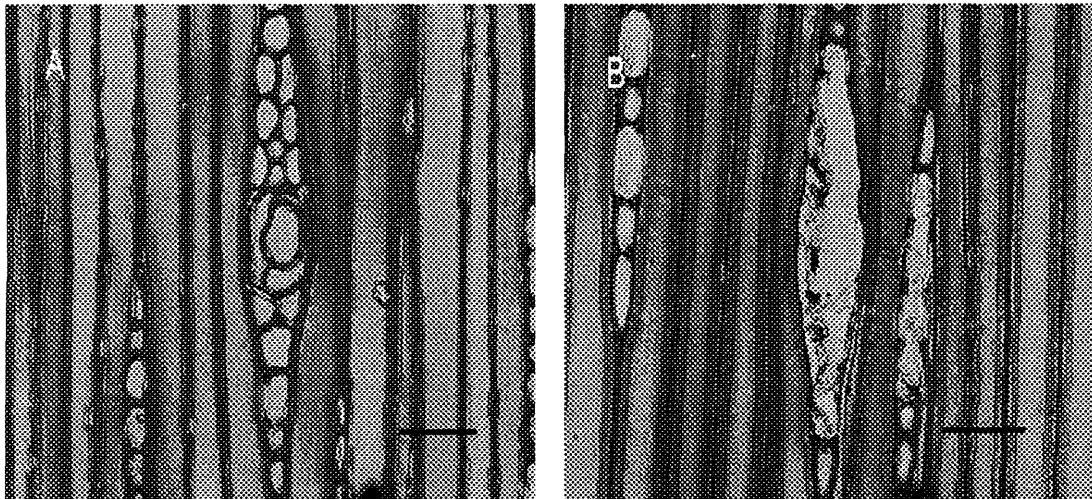


Fig. 8 Optical micrographs of transverse resin canals in sound wood(A) and damaged wood by *T. japonensis*(B) in *P. densiflora*. (Scale bar = 50 μ m)

타났고 심재부는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 특히 심재부의 생재밀도는 솔잎혹파리 피해재가 정상재보다 상당히 높게 나타나고 있는데 이러한 결과는 솔잎혹파리 방제액 투여 후 약액이 세포내강등에 충전되어 잔존하고 있기 때문으로 생각된다. 정상재 전건밀도는 임업연구원(1994)에서 측정한 0.44g/cm³와 비슷한 값을 나타냈다.

3.2.2 수축 및 팽윤율

Table 4는 솔잎혹파리 피해재와 정상재의 수축 및 팽윤율을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 수축률 및 팽윤율은 접선방향, 방사방향, 섬유방향 순으로 큰 이방성을 나타냈는데, 솔잎혹파리 피해재의 변재부와 심재부는 정상재의 그것들보다 다소 높은 수축 및 팽윤율을 나타냈다. 그러나, 임업연구원(1994)은 소나무 정상재의 방사방향과 접선

Table 3. Green moisture content, green density and oven-dried density of *P. densiflora*

		Green moisture content(%)	Green density (g/cm ³)	Oven-dry density (g/cm ³)
Sound wood	Sapwood	144.5	0.98	0.44
	Heartwood	35.1	0.48	0.39
Damaged wood	Sapwood	120.7	1.05	0.55
	Heartwood	39.7	0.81	0.45

Table 4. Shrinkage and swelling of *P. densiflora*.

		Shrinkage(%)			Swelling(%)		
		L	R	T	L	R	T
Sound wood	Sapwood	1.05	2.32	4.62	1.06	2.38	4.85
	Heartwood	0.45	3.18	5.91	0.45	3.29	6.29
Damaged wood	Sapwood	0.45	4.77	7.45	0.45	5.02	8.05
	Heartwood	0.85	5.00	6.16	0.53	5.27	6.56

Table 5. Axial compressive properties of *P. densiflora*.

	Sound wood		Damaged wood	
	Sapwood	Heartwood	Sapwood	Heartwood
Specific gravity	0.52	0.51	0.47	0.69
Moisture content(%)	9.3	9.3	11.8	12.8
MOR (kgf/cm ²)	450	379	196	249
Proportional limit (kgf/cm ²)	319	248	139	164
MOE (kgf/cm ²)	32159	21951	10706	12586

방향 수축률을 각각 4.88%, 9.11%로 측정하여 본 실험의 정상재 모두와 피해재 접선방향 수축률 결과보다 다소 높은 수축률을 나타내고 있다.

3.2.3 종압축강도

소나무 정상재와 솔잎혹파리 피해재의 종압축강도를 측정한 결과는 Table 5에 나타났다. 종압축강도, 종압축비례한도, 압축영계수는 정상재에 비해 상당히 낮은 값을 보여주었다. 정상재의

종압축강도는 임업연구원(1994)의 430kgf/cm², Nakai와 Yamai(1982)의 392kgf/cm²와는 비슷한 값을 나타냈으나, 오(1997)의 심재 569.7kgf/cm², 변재 580.6kgf/cm²보다는 다소 작은 강도치를 보여주었다.

3.2.4 전단강도

소나무 정상재와 솔잎혹파리 피해재의 전단강도를 측정한 결과는 Table 6에 나타났다. 솔잎

Table 6. Shearing strength of *P. densiflora*.

	Sound wood				Damaged wood			
	Sapwood		Heartwood		Sapwood		Heartwood	
	LR	LT	LR	LT	LR	LT	LR	LT
Moisture content(%)	9.7	10.1	11.6	11.5	13.6	11.4	13.2	12.2
Shearing strength(kgf/cm ²)	97	96	95	115	95	101	115	101

Table 7. Bending properties of *P. densiflora*.

	Sound wood		Damaged wood	
	Sapwood	Heartwood	Sapwood	Heartwood
Moisture content(%)	10.4	10.2	13.0	13.7
MOR (kgf/cm ²)	926	806	644	648
Proportional limit(kgf/cm ²)	447	406	290	302
MOE (kgf/cm ²)	127178	99530	90571	96377

혹파리 피해재와 정상재의 변·심재부의 전단강도는 비슷한 값을 나타냈다. 임업연구원(1994)의 방사면 97kgf/cm², 접선면 104kgf/cm², Nakai와 Yamai(1982)의 방사면 103kgf/cm², 접선면 98.9kgf/cm²인 전단강도와 피해재와 정상재의 전단강도는 비슷한 결과를 나타냈다.

3.2.5 휨강도

소나무 정상재와 솔잎혹파리 피해재의 휨강도 측정 결과는 Table 7에 나타냈다. 피해재의 휨강도는 정상재보다 낮게 나타났는데, 이는 함수율과 연륜폭의 차이로 인해 휨강도가 저하된 것으로 생각된다. 본실험의 휨강도는 임업연구원(1994)의 소나무 휨강도 747kgf/cm², Nakai와 Yamai(1982)의 758kgf/cm²과 비교해 정상재에서는 다소 높은 결과를 나타내고 있다.

가 낮게 이용되고 있는 솔잎혹파리 피해재의 해부 및 물리학적 성질을 조사하여 정상재와 비교 및 검토하였다. 그 결과 솔잎혹파리 피해재는 피해시기에 연륜폭이 급격히 좁아졌고 위연륜이 나타났으나, 치료후에는 연륜폭이 증가되었다. 솔잎혹파리 피해재는 수지구의 수가 정상재보다 많이 나타났으며, 변·심재 모두 정상재보다 수축·팽윤율이 높게 나타났다. 솔잎혹파리 피해재의 변재부 생재함수율은 정상재보다 다소 낮았으나 심재부 생재밀도는 정상재보다 상당히 높게 나타났다. 솔잎혹파리 피해재의 압축강도와 휨강도는 정상재보다 낮게 나타났으나, 전단강도는 정상재와 거의 비슷한 값을 나타냈다.

따라서 솔잎혹파리 피해재는 정상재와 같이 구조용 재료로는 사용이 부적절하고 펄프용재등의 비구조용재료의 사용이 적합할 것으로 생각된다.

인용문헌

4. 결론

소나무재의 효율적인 이용방법을 위한 기초자료를 얻기 위하여 벌채 후 버려지거나 부가가치

1. 金南勳. 1986. 主要 針葉樹材의 放射組織의 變異에 關한 研究. 碩士論文. 江原大學校.
2. 朴基南, 玄在善. 1983a. 솔잎혹파리가 소나무

- 무生長에 미치는 影響에 관한 研究(I). 蟲 廢形成率의 變動. 한국임학회지. 61호: 20-26.
3. 朴基南, 玄在善. 1983b. 솔잎혹파리가 소나무生長에 미치는 影響에 관한 研究(II). 소나무의 被害. 한국임학회지. 62호: 87-95.
 4. 朴基南, 玄在善. 1984. 솔잎혹파리가 소나무生長에 미치는 影響에 관한 研究(III). 直徑生長 阻害. 한국임학회지. 65호: 48-53.
 5. 산림청. 2000. 임업통계연보. 30: 212-215.
 6. 孫斗植, 嚴泰振, 徐在德, 李相錄. 1996. 솔잎혹파리에 대한 소나무類 針葉內的 抵抗性因子 調査. 한국임학회지. 85(2): 244-250.
 7. 오승원. 1997. 소나무의 해부학적 특성과 종암축 강도와의 관계. 목재공학. 25(2): 27-32.
 8. 이범영, 정진영, 변병호, 최병희. 1991. 환경인자에 의한 솔잎혹파리피해 위험도 예측. 임업연보 No. 42: 127-134.
 9. 이찬용, 채희문, 김종국. 2000. 솔잎혹파리 피해임지의 수세변동에 관한 연구. 산림과학연구 제 16호: 34-41.
 10. 임업연구원. 1994. 한국산 주요목재의 성질과 용도. 임업연구원 연구자료 제 95호: 120-141.
 11. 임업연구원. 1999. 소나무 소나무림. 102~103.
 12. 임업연구원. 2000. 임업경제동향. 172-176.
 13. 趙在明, 姜善求, 安正模, 李瓚鎬, 趙南奭, 沈鍾 燮, 鄭希錫. 1975. 소나무속의 재질에 관한 시험. 임업시험장연구보고 제22호: 71-84.
 14. 玄信圭의 공저. 1985. 삼림보호학.
 15. 黃愈喆, 任慶彬. 1990. 솔잎혹파리 두 집단간의 생태변이. 한국임학회지 79(2): 115-126.
 16. 한국산업규격. 1994. KS F 2201, 2203, 2206, 2208, 2209
 17. 日本木材學會·物理·工學編編輯委員會. 1985. 木材科學實驗書I. 物理·工學編. 中外産業: 53-94.
 18. Kim Nam-Hun, C. J. Lee and W. J. Hwang. 2000. Anatomical and Physical Properties of *Pinus koraiensis* Damaged by Forest Fire. New Horizons in Wood Anatomy(IAWA): 302-305.
 19. Nakai T. and R. Yamai. 1982. Properties of the Important Japanese Woods -The mechanical properties of 35 important Japanese woods-. Bull. For. & For. Prod. Res. Inst. No. 319 : 13-46.
 20. Simcha Lev-Yadun. 1998. The Relationship Between Growth-Ring Width and Ray Density and Ray Height in Cell Number in the Earlywood of *Pinus halepensis* and *Pinus pinea*. IAWA Journal. Vol. 19(2): 131-139.