

산불 피해목의 재질변화에 관한 연구(Ⅱ)*¹ - 산불 피해 소나무의 경시적 재질변화 -

박정환*^{2†} · 박병수*² · 김광모*² · 이도식*²

Variation of Material Properties of Fire-killed Timber*¹ - Impact of Time on Degradation of Mechanical Properties -

Jung-Hwan Park*^{2†} · Byung-Soo Park*² · Kwang-Mo Kim*² · Do-Sik Lee*²

요 약

동해안 지역에서 산불로 고사된 소나무의 5년에 걸친 경시적 재질 변화를 역학성능을 중심으로 조사하였다. 고사에 따른 재질열화로 가장 크게 영향 받는 역학성능은 충격 휨 흡수에너지였다. 따라서 고사 초기의 재질변화를 예측하는 지표로 활용이 가능할 것으로 밝혀졌다. 고사 경과에 따라 변재의 재질열화가 심재에 비해 두드러지게 진행되었다. 열화의 정도는 충격 휨 흡수에너지가 가장 컸으며 압축강도가 가장 작았다. 고사 이후의 외관 변화와 역학성능의 열화진행 정도로 볼 때 산불피해 소나무의 유효한 활용을 위한 적정 벌채 시기는 산불 발생 1년 이내가 바람직한 것으로 밝혀졌다.

ABSTRACT

Degradation of mechanical properties of fire-killed Korean red pine has been investigated after death in 5 years period. Impact bending absorbed energy was the most sensitive property by elapsed time after forest fire. It is an indication of incipient decay of the wood and can be useful indicator to monitor any change of mechanical property of fire-killed tree after death. Degradation of mechanical properties was more pronounced in sapwood than heartwood. Impact bending absorbed energy was more reduced than any other properties in both sapwood and heartwood, while compressive strength was least impacted by elapsed time after forest fire. It is recom-

*¹ 접수 2007년 8월 8일, 채택 2007년 11월 21일

*² 국립산림과학원 목재성능과, Division of Wood Performance, Korea Forest Research Institute

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

mended that the fire-killed Korean red pine can be harvested in one year after the fire for industrial uses by considering decay and consequent changes of mechanical properties.

Keywords: fire-killed tree, Korean red pine, mechanical property, degradation

1. 서 론

산불로 피해를 입어 고사하였거나 고사가 진행 중인 소나무는 그렇지 않은 소나무와 비교하여 재질에 변화가 없다는 점이 밝혀진 바 있다(황 등, 2003a, 2003b; 박 등, 2005). 이러한 사실을 근거로 할 때 산불발생 당년도에 산불피해지에 대한 복구계획이 수립되어 산불 피해를 입은 소나무를 벌채·이용한다면 소중한 목재자원의 손실을 최소화할 수 있다. 그러나 종종 산불이 발생한 후 2~3년이 경과한 다음에 벌채하는 경우도 많다. 산불 피해목은 시간이 경과함에 따라 변색, 충해, 부후가 진행되어 목재로서의 가치를 상실하게 된다. 따라서 산불 피해목의 이용을 전제로 할 경우 적정 벌채시기의 판단이 매우 중요하다.

대형 산불이나 병해충이 자주 발생하는 미국의 경우 자연재해로 고사한 목재의 부후진행에 관한 연구가 체계적으로 이루어지고 있다. 주요 수종에 대한 부후속도는 대량으로 발생하는 산불 피해목의 임목 가격 산정에 중요한 요인으로 작용한다. 미국의 경우 산불 피해목의 임목가치를 상실케 하는 가장 큰 요인은 충해(Beetles)이며, 영급이 낮을수록 부후의 진행속도가 일반적으로 알려진 것보다 빠르다는 점이 밝혀진 바 있다(Lowell et al., 1992). 이와 함께 주요 수종에 대해 고사 이후의 부후진행 정도에 관한 자료를 구축하여 적정 벌채시기 결정에 활용하고 있다(Steward, 2000).

근래에 동해안에 집중적으로 발생하는 대형 산불로 인해 고사된 대량의 소나무 자원이 산불 피해목으로 발생한다. 이들 자원을 이용하기 위해서는 적정 벌채시기를 합리적으로 판단해야 하고, 고사 이후 부후진행에 따른 경시적 재질변화에 관한 자료의 구축이 선결되어야 한다. 본 연구에서는 2000년 이후 발생한 산불 피해지에서 채취한 고사목을 대상으로 고사 경과에 따른 재질변화를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

산불이 발생한 연도별로 고사한 소나무를 3본씩 채취하여 재질변화를 분석하였다. 공시목의 조건은 Table 1과 같다. 공시목으로부터 심재와 변재를 구분하여 채취한 무결점 소시험편을 대상으로 목재의 기계적 성질 중 휨강도, 종압축강도, 전단강도 및 충격 휨 흡수에너지를 측정하여 고사 경과에 따른 재질의 경시적 변화를 분석하였다. 시험편의 규모는 고사경과 연도별 공시목의 상태에 따라 휨강도, 종압축강도 및 전단강도 시험의 경우 45~25개였으며, 충격 휨 흡수에너지의 경우는 55~20개였다. 시험편의 치수와 시험방법은 산불발생 당년도 피해목의 재질특성에 관한 연구(박 등, 2005)에서 적용한 것과 동일하게 적용하였으며, 측정에 앞서 제작된 시험편을 상대습도 60% 온도 20°C 조건에서 충분히 조습하였다.

Table 1. Characteristics of sample logs

Years after death (year of the fire)	DBH (cm)	Portion of latewood (%)	Annual ring width (cm)	Site of sample log
1 (2004)	21~26	14.4~27.6	282~331	Gangneung-si
3 (2002)	19~28	16.6~52.2	245~345	Yangyang-gun
5 (2000)	27~35	25.8~57.5	234~298	Samcheok-si

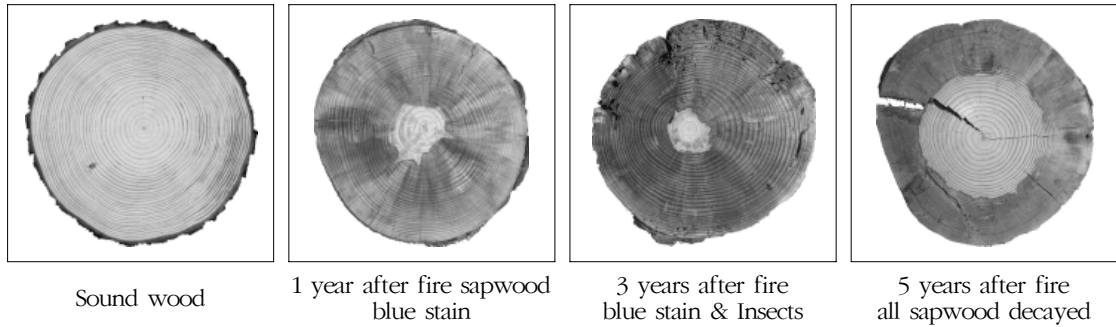


Fig. 1. Decay rates of fire-killed Korean red pine.

Table 2. Decay rates after fire for conifers of western species in USA

Year after death	White Fir	Ponderosa/ Jeffrey Pine	Sugar Pine	Douglas-fir
1	10~20 percent of volume decay	1/4 sapwood blue stain	Little decay, extensive blue stain	
2	50 percent of volume decay	All blue stained sapwood decayed	3/4 of sapwood decayed	
3		All sapwood decayed Some heartwood	All sapwood decayed	Sapwood deteriorated little blue stain
4				Heartwood deteriorating
5			Only large trees remain sound	Only large tree remain sound

Source : Forestland Steward (2000)

3. 결과 및 고찰

3.1. 육안적 특성

산불 피해목의 고사 경과에 따른 육안적 변화는 Fig. 1과 같다. 동일한 산불발생지에서 고사 경과년도에 따라 시료를 채취하지 않았기 때문에 채취지역에 따라 부후의 진행경과는 상이하였다. 그러나 채취된 시료에 대한 육안 검사를 통해 일반적인 부후 진행 경과를 관찰할 수 있었다. 산불피해로 고사되어 1년이 경과된 소나무는 대부분의 변재부에 청변이 발생하였다. 3년이 경과한 경우에는 청변이 더욱 심하게 진행되었으며, 변재부에 충해와 부후가 부분적으로 진행되어 목재로서의 가치를 완전히 상실하였다. 5년이 경과한 경우 거의 대부분의 변재와 심

재부에 부후가 진행되었다. 그러나 일부 대경목의 경우 5년이 경과한 이후에도 심재부는 비교적 양호한 상태를 유지하였다. 이는 Table 2의 미국 서부지역 주요수종 고사목 부후진행속도에 관한 결과(Forestland Steward, 2000)와 비교할 때 sugar pine과 부후진행 경과가 매우 유사하였다.

3.2. 역학적 성능

산불 피해목의 고사 경과에 따른 공시목의 전건비중은 Table 3과 같다. 심재는 고사 경과에 따라 전건비중의 유의성 있는 차이가 없었다. 변재의 경우 고사 5년이 경과한 공시목의 전건비중이 다소 높게 나타났지만 산불로 인한 수지화의 영향보다는 개체간의 차이로 판단된다.

산불 고사 경과에 따른 소나무 심재와 변재의 역

Table 3. Specific gravity of the sample tree

1 year after fire		3 years after fire		5 years after fire	
Heartwood	Sapwood	Heartwood	Sapwood	Heartwood	Sapwood
0.47 ± 0.02	0.41 ± 0.04	0.49 ± 0.07	0.42 ± 0.03	0.49 ± 0.05	0.48 ± 0.01

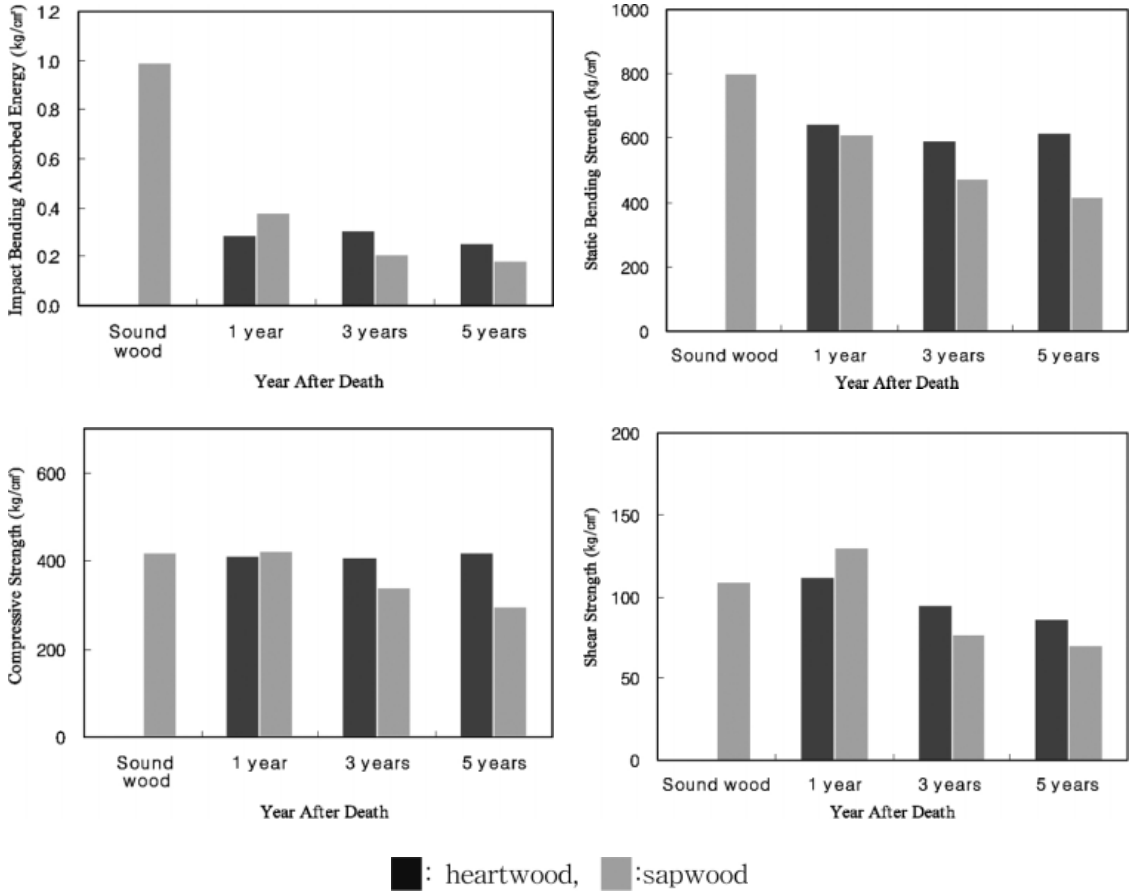


Fig. 2. Degradation of mechanical properties after death by forest fire.

학성능 변화는 Fig. 2와 같다. 충격 휨 흡수에너지는 고사 1년이 경과한 후 심재와 변재의 구별 없이 급격한 감소를 나타내었다. 이를 통해 초기부후(Incipient decay)를 예측하는데 충격 휨 흡수에너지가 유용한 지표임을 확인할 수 있다. 일반적으로 부후에 의한 중량 감소율이 1~2%에 불과하다더라도 충격 휨 흡수에너지는 20~50% 이상 감소하는 것으로 알려져 있다. 충격 휨 흡수에너지가 부후에 민감한 이

유는 미세한 부후균사가 세포벽을 가로질러 횡단방향으로 발달하여 측 방향 하중에 취약한 경계면이 형성되기 때문인 것으로 설명되고 있다(Eaton and Hale, 1993). 휨강도, 압축강도, 전단강도의 경우 고사 경과에 따른 심재의 강도감소는 변재에 비해 그다지 두드러지지 않았다. 이는 심재의 경우 변색 등 고사에 따른 외관의 변화가 중량감소로 인한 재질 열화로까지 진행되지 않고 있음을 의미한다.

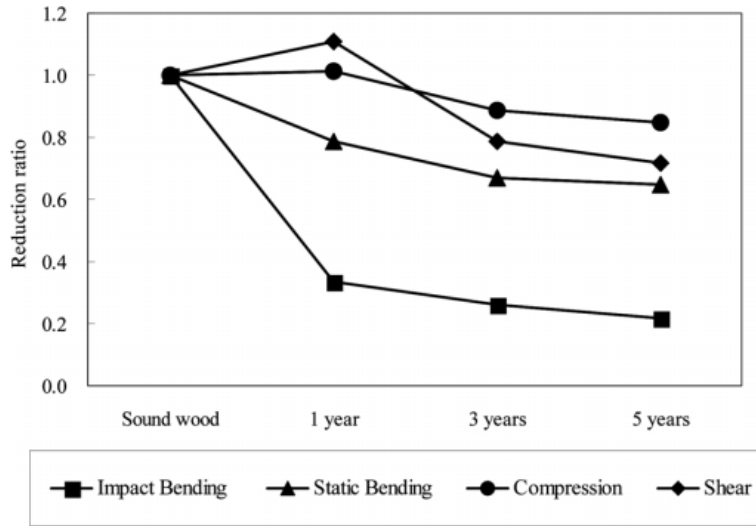


Fig. 3. Decrease ratio of mechanical properties of fire-killed after.

고사 경과에 따른 역학성능 감소율을 건전재와 비교한 결과는 Fig. 3과 같다. 건전재에 비해 고사 진행에 따라 가장 민감하게 반응하는 역학성능은 충격 휨 흡수에너지였다. 고사 1년이 경과한 피해목의 충격 휨 흡수에너지는 건전재의 33%이었고 5년이 경과한 경우 20%에 불과하였다. 충격 휨 흡수에너지의 급격한 감소는 앞에서 설명한 부후균사의 침투에 따른 측방향의 취약 경계면 형성의 결과로 사료된다. Willcox (1978)는 중량 감소율에 따른 강도 감소율을 조사한 바 있으며, 특히 중량감소율 1%와 10% 일 때 충격 휨 흡수에너지의 감소율을 20~38% 및 85%로 각각 보고한 바 있다. 본 연구에서 공시한 시험편의 경우 산불 발생 직후부터 고사 경과를 지속적으로 측정하지 않았기 때문에 고사경과에 따른 중량 감소율은 측정이 곤란하였지만 중량 감소율 1% 및 10%에 의한 감소율은 고사 1년 및 5년이 경과한 경우와 동등하였다. 휨강도의 강도 감소비율은 충격 휨 흡수에너지에 비해 크지 않았다. 고사 1년 후 휨강도의 감소율은 20%였으며 고사 5년이 경과한 후에도 60% 이상의 강도성능을 발휘하였다. 부후균사의 세포벽 침투가 측 방향 하중에 취약한 경계면을 형성하지만 정적 하중 조건에서는 그 영향이 동적인 조건에 비해 상대적으로 적음을 알 수 있다. 고사 후

1년이 경과된 진단강도가 건전재보다 큰 것은 공시목의 채취지역에 따른 재질변이 특성이 반영된 결과로 사료된다. 고사 경과에 따른 역학성능의 감소가 가장 작게 나타난 경우는 압축강도였다. 고사 후 5년이 경과한 경우에도 건전재의 85%에 달하는 성능을 유지하고 있었다. 이는 초기부후 상태에서 세포 횡단방향으로 침투한 부후균사가 섬유방향의 하중 성능에는 별다른 영향을 미치지 않기 때문으로 판단된다. 전반적으로 건전재에 비해 고사된 목재의 역학성능 감소는 확연하게 나타났지만 고사경과 기간(1, 3, 5년)에 따른 역학성능의 차이는 두드러지지 않았다.

이상의 연구결과로부터 산불 피해목을 제한적인 목적으로 사용할 경우 고사가 상당히 진행된 경우라도 심재 부분의 목재는 용재로 활용이 가능할 것으로 추정할 수 있다. 그러나 역학성능의 감소와 외관의 변화를 전반적으로 고려할 때 산불발생 후 1년 이내에 피해목을 별채 이용하는 것이 목재의 재질성능을 유지하면서 건전재와 동일한 용도로 활용할 수 있는 허용기간으로 판단된다.

4. 결 론

산불로 고사된 소나무의 5년에 걸친 경시적 재질 변화를 역학성능을 중심으로 조사하였다. 고사에 따른 재질열화로 가장 크게 영향 받는 역학성능은 충격 휨 흡수에너지였다. 따라서 고사 초기의 재질변화를 예측하는 지표로 활용이 가능할 것으로 밝혀졌다. 고사 경과에 따라 변재의 재질열화가 심재에 비해 두드러지게 진행되었다. 역학성능의 열화 정도는 충격 휨 흡수에너지가 가장 컸으며 압축강도가 가장 작았다. 고사 이후의 외관 변화와 역학성능의 열화 진행 정도로 볼 때 산불피해 소나무의 유효한 활용을 위한 적정 벌채 시기는 산불발생 1년 이내가 바람직한 것으로 밝혀졌다.

참 고 문 헌

1. Eaton, R. A. and M. D. C. Hale. 1993. Wood: decay, pests, and protection. Chapman & Hall. London.
2. Steward, F. 2000. Salvage timber harvesting considerations. Forest Steward Program, California Department of Forest & Fire Protection.
3. Lowell, E. C., S. A. Willits, and R. Krahmer. 1992. Deterioration of fire-killed and fire-damaged timber in the Western United States. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-292. Portland, OR U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
4. Willcox, W. W. 1978. Review of the literature on the effects of early stages of decay on wood strength. Wood and Fiber. 9(4): 252~257.
5. 박정환, 박병수, 심국보, 조태수. 2005. 산불피해목의 재질 변화에 관한 연구(I) - 동해안 산불 피해 소나무의 재질특성 -. 목재공학. 33(6): 8~16.
6. 황원중, 권구중, 김남훈. 2003a. 산불 피해 소나무재의 해부 및 물리학적 특성. 목재공학. 31(4): 1~7.
7. 황원중, 권구중, 박종수, 김남훈. 2003b. 산불 피해 소나무재의 역학적 특성 및 급속오븐 건조특성. 목재공학. 31(4): 57~62.