

열처리에 의한 목재의 재색변화

강호양 · 이민경

(충남대학교 농업생명과학대학 임산공학과)

1. 서 론

목재를 열가수분해하면 추출물이 제거되고, 헤미셀룰로오스가 분해되고 셀룰로오스와 리그닌의 변형이 일어나는데, 열처리에 의한 목재재색변화는 헤미셀룰로오스의 감소에 의한 것으로 추정되므로 열처리온도는 헤미셀룰로오스 분해온도인 150-230℃이 적당한 것으로 여겨진다 (Garrote et al., 1999). 통나무를 열처리한 결과 성장용력이 줄었으며, 셀룰로오스의 결정화도 증가와 평형함수율 감소로 치수안정성이 증가하였으며, 재색이 짙어졌다고 보고하였다 (Tejada et al., 1997). 열처리에 의한 목재의 결정화도는 전건상태보다 높은 함수율 상태에서 거의 두 배나 증가하였다 (Bhuiyan et al., 2000).

또 열처리에 의해 목재 흡습성은 현저히 감소하나 100%RH 증습과 100℃증차를 거치면 흡습성이 회복되는데 이러한 열처리에 의한 흡습성 감소는 셀룰로오스의 결정화에 의한 것이라기보다는 비결정물질의 화학변화에 기인한다고 볼 수 있다 (Obataya et al., 2000).

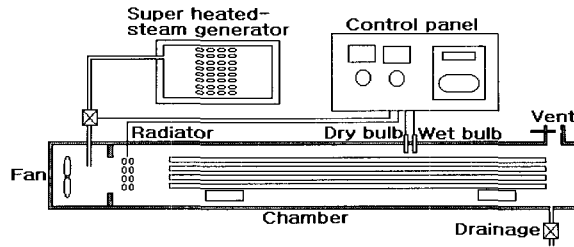
열처리에 의한 재색변화는 여러 가지 인자에 영향을 받는 것으로 알려졌다. beech(*Fagus sylvatica* L.) 와 silver birch(*Betula pendula* Roth.)의 경우 건조온도, 두께, 상대습도 순으로 크게 영향하였다 (Stenudd, 2004). 즉 건조온도가 높을수록, 두꺼울수록, 그리고 습도가 높을수록 짙은 색을 나타냈으며 이러한 재색변화 효과는 birch가 beech보다 컸다. 온도를 높이는 것은 자유수가 있을 때는 가수분해를, 자유수가 없을 때는 산화와 가수분해를 촉진하는 효과가 있는데 이러한 재색변화는 비효소적 Millard 반응이라고 알려져 있다 (Fengel and Wegener, 1989).

본 연구에서는 여러 수종을 여러 온도에서 처리하여 재색변화를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2-1 열처리

아래 모식도와 같이 과열증기 및 열처리장치를 설계하여 외주 제작하였다. 내부 chamber 규격은 1360×550×550 mm³, 최고 도달 온도 350℃, 내부최대압력 3기압이 되도록 설계하였다. 가열된 내부공기를 빼내는 밸브를 상부에, 일정한 압력 하에서 응축수가 자동으로 배수되도록 Ball top type 밸브를 하부에 설치하였다. chamber 내부와 목재의 온도를 측정할 수 있도록 열전쌍 등 온도센서를 연결할 수 있는 단자를 설치하였다. 모식도의 superheated steam generator와 control panel은 사진에서는 chamber 하부에 설치되어 있다.



〈fig. 1〉 과열증기 및 열처리 장치 모식도

2-2 치수안정화 실험

고온에 노출된 목재는 흡착점을 잃기 때문에 평형습수율이 낮아지고 따라서 치수안정화가 높아진다. 220℃ 열처리 목재의 치수안정화 정도를 측정하기 위해 여러 상대습도 조건에서 평형습수율을 측정하여 흡착등온곡선을 구하였다.

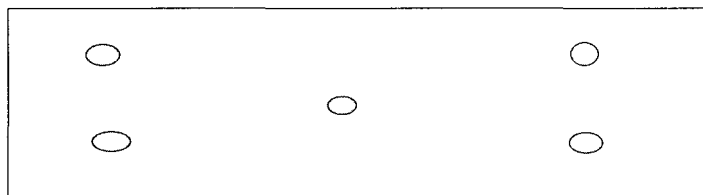
열처리 800mm 시편의 중간에서 6mm시편을 6개씩 떼어냈다. 20℃에서 여러 가지 상대습도를 맞추기 위해 아래 표의 포화염용액을 사용하였다. 포화염용액이 들어 있는 데시케이터에 6mm시편을 넣고 평형에 도달할 때까지 3개월간 방치하였다.

〈Table 1〉 20℃에서 염용액의 상대습도

상대습도 (%)	염용액	비 고
32.0	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
58.0	NaBr	
80.5	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	
90.0	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	
95.0	NaSO_4	
100.0	H_2O	

2-3 열처리재의 표면경도

열처리에 의해 목재 표면경도가 어떻게 변했는가를 조사하였다. 열처리재에서 처리시간별 3개의 폭 10cm, 길이 20cm 시편을 채취하였으며 각 시편에서 5곳의 표면경도를 측정하였다. 측정 위치는 아래 그림과 같다.



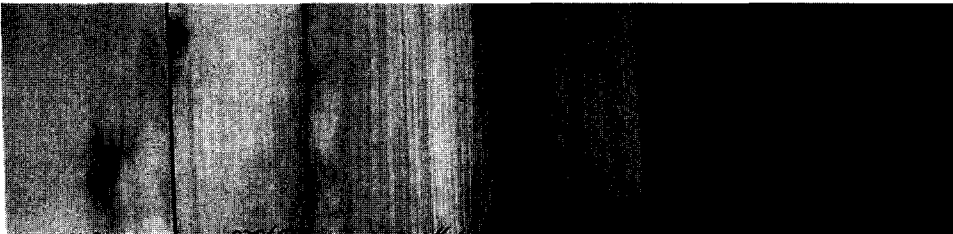
〈fig. 2〉 표면경도 측정위치

측정장치는 ROCK WELL HARDNESS TESTER MODEL - DTR-300으로 1/2인치 볼을 사용하여 30kg하중을 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

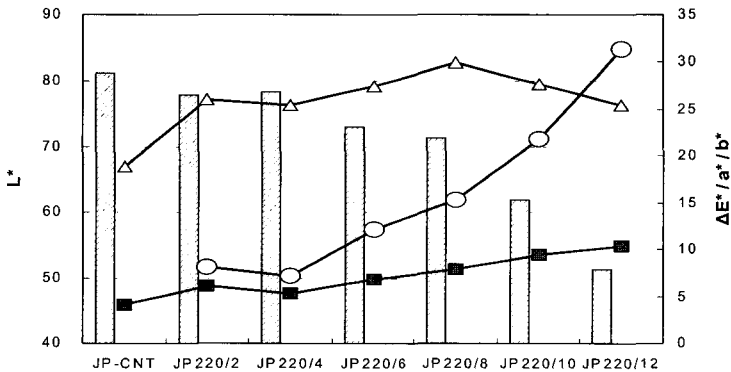
3-1 열처리

열처리 소나무재의 시간에 따른 시편의 재색은 아래 사진과 같다.



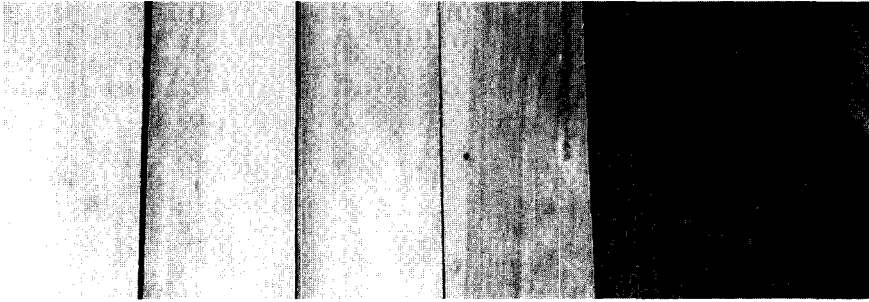
<fig. 3> 소나무. 왼쪽에서부터 처리온도 2, 4, 6, 8, 10, 12시간

사진의 재색을 수치로 나타내면 아래 그래프와 같다. 처리시간에 따라 명도와 적색도는 꾸준히 감소하거나 증가하는데 황색도는 증가하다가 감소하였다. 무처리와 비교한 색차는 8시간부터 15를 넘게 되므로 뚜렷한 재색변화가 있음을 보인다.



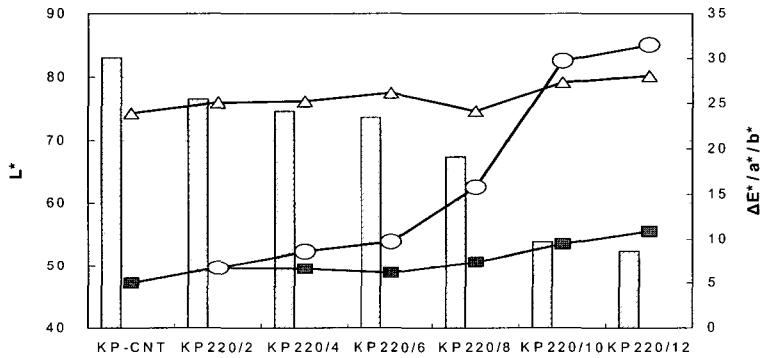
<fig. 4> 열처리 소나무의 재색. 막대그래프는 명도, 네모는 적색도, 세모는 황색도, 원은 색차를 나타낸다.

열처리 잣나무재의 시간에 따른 시편의 재색은 아래 사진과 같다.



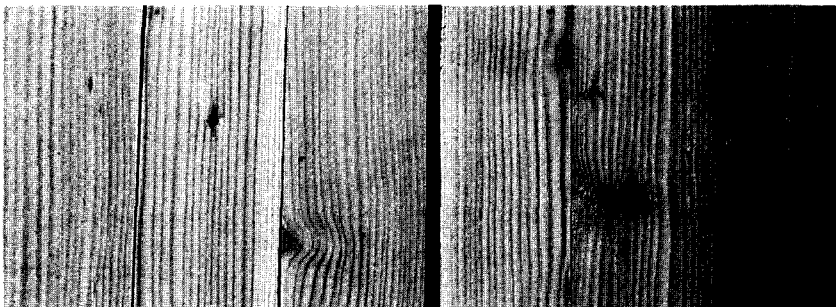
〈fig. 5〉 잣나무. 왼쪽에서부터 처리온도 2, 4, 6, 8, 10, 12시간

사진의 재색을 수치로 나타내면 아래 그래프와 같다. 소나무와 달리 잣나무의 황색도는 적색도와 함께 꾸준히 증가하였다. 무처리와 비교한 색차는 8시간부터 15를 넘게 되므로 뚜렷한 재색변화가 있음을 보인다.



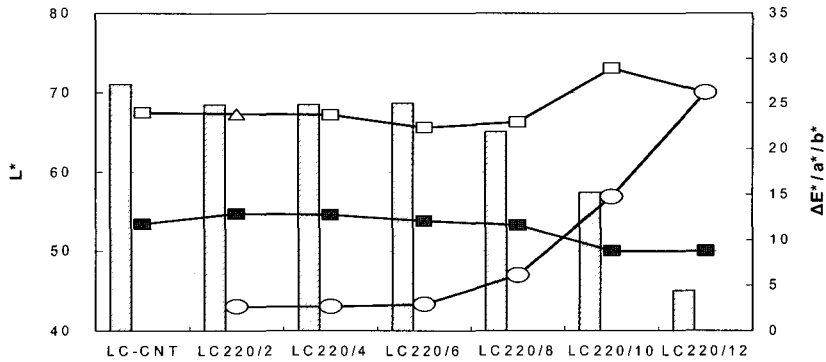
〈fig. 6〉 열처리 잣나무의 재색. 막대그래프는 명도, 네모는 적색도, 세모는 황색도, 원은 색차를 나타낸다.

열처리 낙엽송재의 시간에 따른 시편의 재색은 아래 사진과 같다.



〈fig. 7〉 열처리 낙엽송. 왼쪽에서부터 처리온도 2, 4, 6, 8, 10, 12시간

사진의 재색을 수치로 나타내면 아래 그래프와 같다. 8시간까지 명도, 적색도, 황색도가 모두 큰 차이가 없다. 그러나 10시간 이후에는 모든 지표가 변하였다. 무처리와 비교한 색차는 8시간 부터 15를 넘게 되므로 뚜렷한 재색변화가 있음을 보인다.



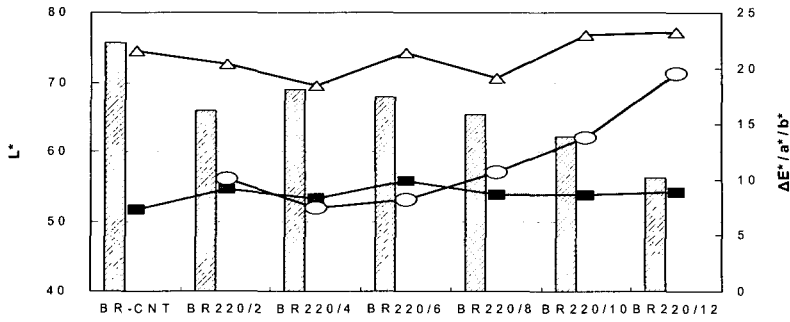
<fig. 8> 열처리 낙엽송의 재색. 막대그래프는 명도, 네모는 적색도, 세모는 황색도, 원은 색차를 나타낸다.

열처리 자작나무의 시간에 따른 시편의 재색은 아래 사진과 같다. 시간에 따라 재색의 큰 차이가 없어 보이는데 이는 잔목을 사용하지 않았기 때문에 공기유통이 원활하지 않았기 때문으로 생각된다.



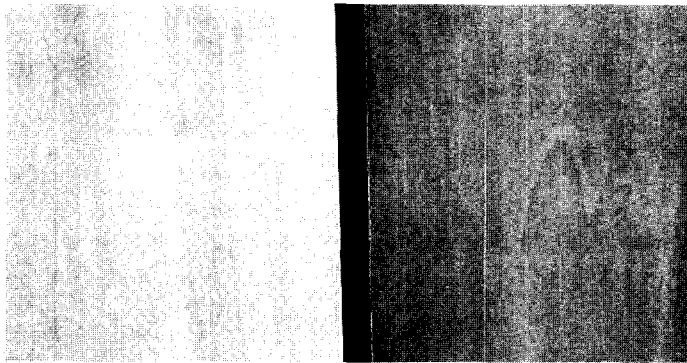
<fig. 9> 열처리 자작나무. 왼쪽에서부터 처리온도 2, 4, 6, 8, 10, 12시간

사진의 재색을 수치로 나타내면 아래 그래프와 같다. 적색도와 황색도가 시간에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다. 자작은 무처리때 밝은색을 띠고 있기 때문에 2시간 열처리 후에도 명도의 감소가 나타났다. 명도는 비교적 꾸준히 감소함을 보였다. 무처리와 비교한 색차는 10시간 이후 부터 뚜렷한 재색변화가 있음을 보인다.



〈fig. 10〉 열처리 자작나무의 재색. 막대그래프는 명도, 네모는 적색도, 세모는 황색도, 원은 색차를 나타낸다.

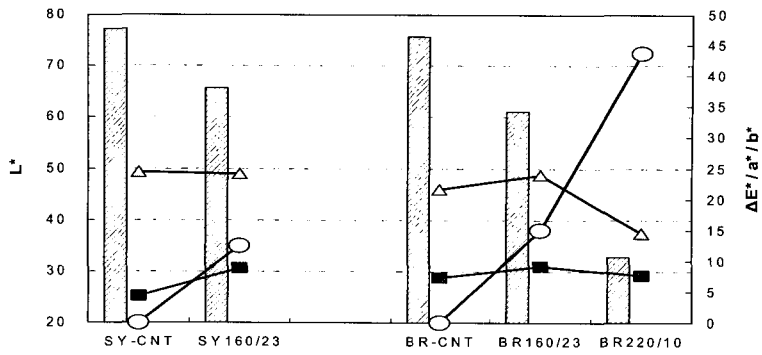
열처리 플라타너스와 자작나무의 재색은 아래 사진과 같다. 이때는 잔목을 사용하여 공기유통을 좋게 하였기 때문에 10시간 열처리한 자작나무 시편의 명도가 32.68까지 떨어졌다. 사진으로도 분명히 식별이 가능하다.



〈fig. 11〉 왼쪽은 무처리, 오른쪽은 열처리 플라타너스

사진의 재색을 수치로 나타내면 아래 그래프와 같다. 플라타너스의 적색도가 열처리에 의해 증가한데 반해 자작나무는 변화가 없었다. 한편 플라타너스의 황색도가 변화없는데 반해 자작나무의 황색도는 급격히 감소하였다. 적색도와 황색도는 수종과 시편에 따라 차이를 많이 보인다.

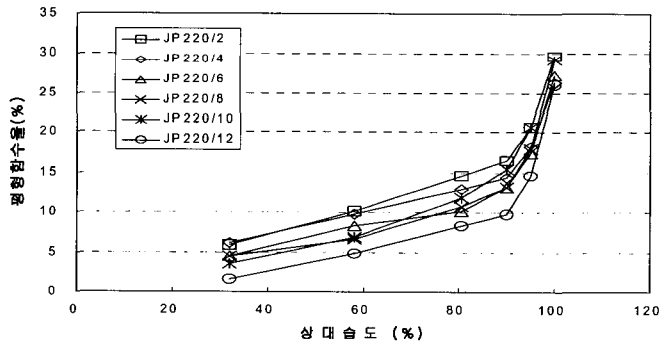
이번 실험에 나타난 10시간의 재색변화는 색차 값이 45에 가까울 정도로 큰 재색변화를 보였다.



<fig. 12> 열처리 플라타너스와 자작나무의 채색. 막대그래프는 명도, 네모는 적색도, 세모는 황색도, 원은 색차를 나타낸다.

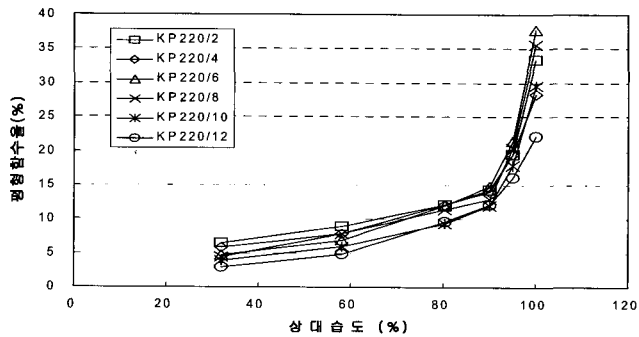
3-2 열처리재의 치수안정화 실험

3-2-1 소나무 열처리재의 흡착등온곡선



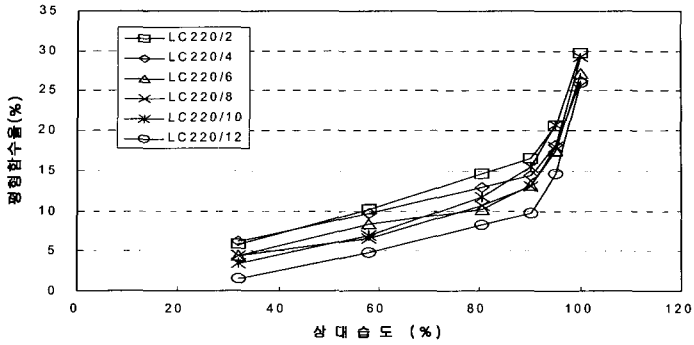
<fig. 13> 열처리 소나무의 흡착등온곡선

3-2-2 잣나무 열처리재의 흡착등온곡선



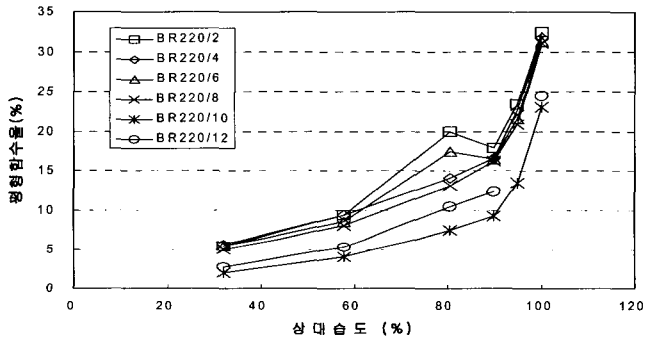
<fig. 14> 열처리 잣나무의 흡착등온곡선

3-2-3 낙엽송 열처리재의 흡착등온곡선



<fig. 15> 열처리 낙엽송의 흡착등온곡선

3-2-4 자작나무 열처리재의 흡착등온곡선



<fig. 16> 열처리 자작나무의 흡착등온곡선

3-2-5 처리시간에 따른 치수안정화

처리시간별 평형함수율을 수종별로 비교하였다. 상대습도 100%에서는 모세관응축수가 생겨 정확한 평형함수율을 얻을 수 없으므로 상대습도 95%의 평형함수율을 비교하였다. 그 결과는 아래와 같다. 800mm 시편이 전체적으로 고른 열처리가 되지 않아서 시편을 얻은 부위에 따라 다른 열처리 상태를 나타내기 때문에 균일한 실험결과를 나타내진 못했으나 대체적으로 처리시간이 길수록 낮은 평형함수율을 가지고 있다. 이들의 평형함수율 차는 잣나무가 5.4%로 가장 적고 자작나무가 9.8%로 가장 크게 나타났다. 열처리에 의해 평형함수율 차이가 나타나는 것은 흡착력이 떨어졌기 때문으로 열처리에 의해 치수안정화가 향상된다고 말할 수 있다.

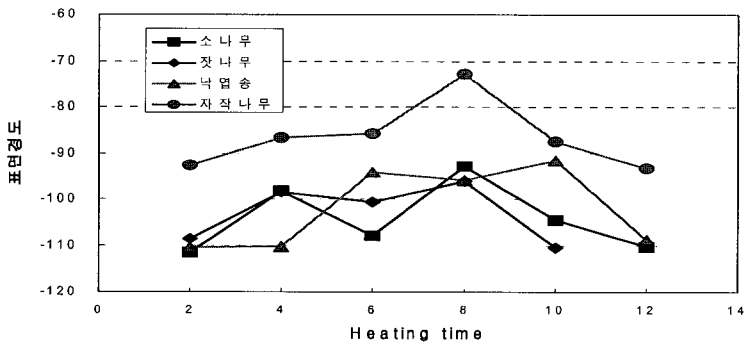
〈Table 2〉 처리시간에 따른 수종별 평형습수율

수종	상대습도 95%에서 처리시간별 평형습수율(%)						
	2	3	6	8	10	12	최대차
소나무	18.7	19.3	20.0	17.1	13.5	16.2	6.5
잣나무	19.6	19.5	21.5	20.5	17.8	16.0	5.4
낙엽송	20.6	18.2	17.5	18.0	20.7	14.6	6.1
자작나무	23.4	22.7	21.6	20.9	13.5		9.8

3-3 열처리재의 표면경도 측정

소나무, 잣나무, 낙엽송, 자작나무의 열처리 시간에 따른 표면경도는 아래 그림과 같다. 불이 들어간 깊이를 음수로 나타냈기 때문에 깊이가 얇은 것, 그림에서 상단에 나타난 것이 표면경도가 높다. 따라서 자작나무의 표면경도가 가장 크고, 나머지 침엽수 세 수종은 비슷하다.

모든 수종의 표면경도는 처리시간 2시간과 12시간이 비슷한 값을 나타내고 그 사이 4, 6, 8 시간이 2, 12시간보다 높은 값을 나타낸다. 특히 8시간이 가장 높은 값을 보인다. 열처리에 의해 표면경도가 일시적으로 증가하나 처리시간이 길어지면 열분해에 의해 떨어지는 현상을 확인할 수 있다.



〈fig. 17〉 열처리 시간에 따른 표면경도 변화. 수치가 작을수록 표면경도가 높다.

4. 결 론

- 1) 열처리에 의해 뚜렷한 재색변화가 나타났다.
- 2) 열처리 목재는 무처리보다 높은 치수안정성을 보인다.
- 3) 열처리에 의해 표면경도가 초기에 증가하나 이후 감소하여 무처리와 비슷한 값을 나타냈다.

5. 참고문헌

- 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
- Fengel, D. and G. Wegener, 1989. *Wood Chemistry, ultrastructure, reactions*. De Gruyter, Berlin
- Garrote, G., H. Dominguez and J.C. Parajo. 1999. Hydrothermal processing of lignocellulosic materials. *Holz als Roh- und Werkstoff* 57(3):191-202
- Obataya, Eiichi, F. Tanaka, M. Norimoto and B. Tomita. 2000. Hygroscopicity of heat-treated wood I: Effects of after-treatments on the hygroscopicity of heat-treated wood. *Mokuzai Gakkaishi* 46(2):77-87
- Stenudd, Stefan. 2004. Color response in silver birch during kiln-drying. *Forest Products Journal* 54(6):31-36
- Tejada, Alvaro, T. Okuyama, H. Yamamoto and M. Yoshida. 1997. Reduction of growth stress in logs by direct heat treatment: Assessment of a commercial-scale operation. *Forest Products Journal* 47(9):86-93