

라디에타 소나무재의 압밀화 온도와 시간에 따른 색상의 변화*1

황성욱*2 · 이원희*2†

Change of Wood Color of Radiata Pine (*Pinus radiata* D.Don) by Press Temperature and Time*1

Sung-Wook Hwang*2 · Won-Hee Lee*2†

요 약

라디에타 소나무(*Pinus radiata* D.Don) 열압밀화 목재의 압밀화 시간과 온도에 따른 재색의 변화를 관찰하였다. 색차계를 이용하여 재색을 측정하였으며, NBS (National Bureau of Standards)에 의해 색차를 평가하였다. 그 결과 압밀화 온도의 증가에 따라 백색도는 감소하였고, 적색도와 황색도는 증가하였다. 그리고 대부분의 색차는 'Very Much (대단한 차)'로 나타났다. 압밀화 시간의 증가에 따른 재색의 변화는 압밀화 시간의 증가에 따라 백색도는 감소하였으나 감소폭은 온도에 의한 영향보다 적은 것으로 나타났다. 적색도와 황색도에 미치는 열 압밀화 시간의 영향은 미약하였다. 즉 압밀화 가열온도와 가압시간의 증가에 따라 재색의 암색화가 나타났으며, 재색변화에는 압밀화 시간보다 가열온도의 영향이 더욱 큰 것으로 나타났다.

ABSTRACT

This study was estimated the change of color of compressed wood by compression temperature and time. Wood color was measured using a colorimeter and evaluated by the NBS (National Bureau of Standards) unit. As a result, the whiteness decreased with increasing compression temperature. In contrast, redness and yellowness was increased with increasing compression temperature. All of the color difference showed the 'Very Much' by NBS unit. The whiteness

*1 접수 2010년 12월 31일, 채택 2011년 5월 2일

*2 경북대학교 농업생명과학대학 임산공학과, Dept. of Wood Science & Technology, College of Agriculture & Life Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 이원희(E-mail: leewh@knu.ac.kr)

decreased with increasing compression time. The redness and yellowness were insignificant effect on compression temperature. In other words, the effect of compression temperature was much greater than compression time in the change of wood color.

Keywords: heat-compressed wood, colorimeter, color difference, wood color

1. 서 론

일반적으로 저비중, 속성수종의 물리적, 기계적 물성을 향상시키기 위해 열압밀화가 이용된다(Norimoto, 1993; Wang, 2000). 열압밀정은 목재의 건조속도, 평형함수율, 흡습성, 치수안정성, 내구성, 표면품질, 파괴계수, 탄성계수, Janka 경도, 표면 마모도, 못뽑기 강도, 전단계수 등에 영향을 미친다(Tabarsa, 1995; Kubojima 등, 2003; Wang 등, 2005). 이러한 물성의 변화는 주로 밀도의 증가에 기인한다. 그리고 열압 시 목재에 가해지는 열은 압밀화재의 치수안정성 향상에 영향을 미치며, 또한 높은 열에 의해 재색이 변화된다. 압밀화 목재의 영구적인 압축고정을 목적으로 하여 재색제거가 가능하다면 압밀화 목재의 부가가치 향상이 기대된다. 따라서 압밀화재의 용도 개발을 위해서는 압밀화 조건에 따른 다양한 재질의 변화를 평가할 필요가 있다.

일반적인 목재의 재색은 목재 내에 함유되어 있는 화학적 물질에 의해 나타나며 심재가 더 농색인 수종은 심재가 더 많은 화학물질을 함유하고 있기 때문이다. 목재 이용 및 미관상 가치뿐만 아니라 목재식별의 보조수단으로 이용된다(박 등, 1999). 강 등(2006)은 열처리에 의한 목재의 재색변화에 관한 연구에서 열처리에 의해 뚜렷한 재색의 변화가 나타난다고 보고하였으며, 국내산 침엽수종의 열처리에 의한 연구에서도 분명한 재색변화를 보고하였다(강, 2008). Unsal 등(2003)은 열처리한 유칼립투스 재의 열처리 온도와 시간에 따른 재색을 연구하였으며, 김 등(2010)은 백합나무 열처리재의 물리 및 역학적 특성에 관한 연구에서 재색의 변화를 관찰하였다. 신 등(2010)은 열처리한 국내산 활엽수의 재색변화에 따른 목재의 특성을 파악하여 생활용품으로의 활용방

안에 대해 연구하였다.

따라서 본 연구에서는 기존의 건자재로서의 용도보다 어린이용의 목재완구소재 등의 압밀화 목재의 새로운 용도 개발을 위한 재질개발연구의 하나로써, 주요 수입수종인 저밀도 라디에타 소나무(*Pinus radiata* D.Don)를 이용해 다양한 온도와 시간 조건으로 압밀화 목재를 제작하여 압밀화 온도와 시간에 따른 재색의 차이를 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구에 사용된 라디에타 소나무(*Pinus radiata* D.Don) 판재는 경북대학교 인근 제재소에서 구입하였다. 소나무 판재의 치수는 1,500 mm (L) × 140 mm (R) × 15 mm (T)이며, 기건함수율 11.7%, 기건비중 0.43 (± 0.05), 평균연륜폭 1.1 (± 0.11) mm의 관목판재를 양면 대패질하여 이용하였다. 압밀화 실험에 이용된 시험편은 용이 등의 결함을 피했으며 변재부를 선별하여 판재를 140 mm (L) × 140 mm (R) × 14.5 mm (T)로 재단하여 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 목재의 열 압밀화

기건상태의 시험편을 감압상태로 24시간 동안 침지시켰다. 이 침지시험편을 온도 70°C의 건조기에서 가열하여 시험편의 함수율이 15%가 되었을 때 압밀화를 실시하였다. 열판 프레스기를 사용하여 모든 시험편은 stop-bar에 의해 약 50% 수준으로 압밀화되었다. 압밀화 과정에서 연륜 경계부분의 파괴를 방지

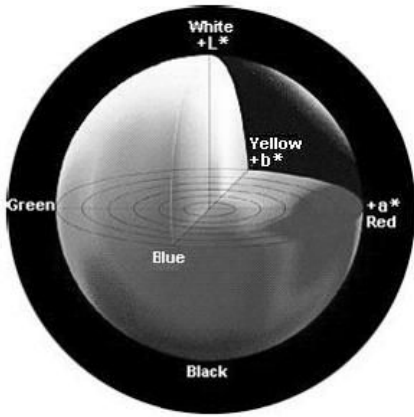


Fig. 1. Color coordinate and L*a*b*.

하기 위해 모든 시험편은 방사방향으로 열 압축가공하였다.

압밀화 조건은 압력 65 kgf/cm², 열압 가열온도 70, 100, 140, 180, 220°C의 5가지 조건과 열압 처리 시간 30, 60, 90분의 3가지 조건으로 하였다. 시험편의 개수는 각 조건당 2개씩 제작하여, 30개의 열 압밀화재와 압밀화하지 않은 대조군 2개, 총 32개의 시험편을 재색 측정에 이용하였다.

2.2.2. 재색의 측정

각 조건별로 구분한 압밀화재 시험편을 색차계(JX-777, Japan)를 이용하여 각 시험당 10회씩 재색을 측정하여 평균값을 이용하였다. 색차(color difference)란 두 색의 차이를 시각적 개념에서 수치적 개념으로 표현한 것으로 색 공간 좌표에서 두 색의 기하학적인 거리를 수치로 표시하는 방법이다. 색차는 색체의 관리 측면에서 가장 유효한 방법으로 ΔE*ab로 표시하며 다음의 식에 의해 계산된다.

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

여기에서 $\Delta L^* = L^*_t - L^*$

$$\Delta a^* = a^*_t - a^*$$

$$\Delta b^* = b^*_t - b^*$$

L^*_t, a^*_t, b^*_t : 기준 샘플의 L*a*b*값

L^*, a^*, b^* : 시료 샘플의 L*a*b*값

Table 1. National Bureau of Standards Unit in USA (Han and Cho, 2005)

ΔE*ab	Critical remarks of color differences
0.0~0.5	Trace (미약한 차)
0.6~1.5	Slight (근소한 차)
1.6~3.0	Noticeable (약간의 차)
3.1~6.0	Appreciable (다소의 차)
6.1~12.0	Much (상당한 차)
12.1 or more	Very Much (대단한 차)

한 가지 색을 L*a*b*와 같이 3가지 값으로 표시하는 이유는 색의 3가지 특성인 명도, 채도, 색상을 표시하기 위함이다. 여기에서 L값이 명도를 나타내며 0~100까지 표시가 된다. 그리고 ab값은 일반적으로 xy좌표계와 같은 평면좌표계로서 가로축이 a값, 세로축이 b값이다. 그리고 +a쪽은 red, -a쪽은 green, +b쪽은 yellow, -b쪽은 blue를 나타낸다. ab값이 상대적으로 0에 가까울수록 채도가 낮으며, 값이 커질수록 채도가 높은 색상이다. Δ값은 어떤 기준 값과의 차이를 표시한 것이다.

ΔE*ab값을 통해 색차를 구하는 이유는 색을 인지하는 사람의 눈의 감각이 지극히 주관적이기 때문이다. 같은 색을 보고 사람마다 다른 표현을 할 수 있다. 이는 페인트, 염색, 도장 등의 색과 관련된 산업 분야에 있어 매우 중요하게 작용한다. 그리고 한 사람이 비슷한 색을 반복해서 판단해야 하는 경우 상황에 따라 다른 결과를 나타낼 수도 있다. 따라서 객관적인 색상 관리나 상호간의 색에 대한 의사소통이 중요한 경우 색차계를 사용하여 측정결과를 나타내는 것이다. ΔE*ab값이 같은 값이 나오더라도 ΔL*, Δa*, Δb* 각각의 값은 다를 수 있기 때문에 세부적인 분석이 필요한 경우에는 각 항목들의 비교가 반드시 필요하다.

본 연구에서는 색차계를 이용해 얻어진 L*a*b* 값과 ΔE*ab을 이용하여, Table 1의 미국국립표준국(NBS, National Bureau of Standards) 색차 단위 수치와 감각적 표현과의 관계를 이용하여 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 압밀화 가열온도에 따른 재색의 변화

Fig. 2에 압밀화 조건에 따른 재색의 변화를 나타내었다. 육안적으로 압밀화 온도와 시간의 증가에 따른 재색의 암색화를 확인할 수 있다. 그리고 Table 2에 색차계를 이용한 압밀화 온도에 따른 재색의 변화 결과를 나타내었다. 압밀화 온도가 상승함에 따라 백색도(L*)가 감소하는 경향을 나타내었다. 압밀화 시간 30분을 기준으로 70°C에서 75.9 (± 1.2)이던 백색도가 220°C에서는 12.7 (± 0.4)로 감소되었다. 특히 180°C 이상의 온도에서 그 감소폭이 현저하게 증가한다는 것을 알 수 있다. 적색도(a*)는 온도 상승과 함께 증가하였다. 70°C에서 3.3 (± 0.5), 220°C에서 22.2 (± 0.5)로 나타났으며 적색도 또한 백색도와 마찬가지로 180°C 이상의 온도에서 급격히 증가하였다. 황색도(b*) 또한 70°C에서 26.0 (± 2.1), 220°C에서 43.4 (± 2.3)로 나타나 온도 상승과 더불어 증가하였으나 백색도와 적색도에 비해 불규칙한 변화를 나타내었다.

ΔE^*ab 값을 70°C를 기준으로 살펴보면 압밀화 시간 30분에서 100°C는 20.7로 NBS에 의해 '대단한 차'가 나타남이 인정된다. 온도가 증가할수록 ΔE^*ab 값도 함께 증가하였으며 220°C에서 ΔE^*ab 값이 68.3으로 가장 큰 차이를 나타내었다. 60분에서도 30분과 같은 경향을 나타내었다. 90분에서는 100°C에서 ΔE^*ab 값이 8.3으로 '상당한 차'가 인정되었고, 140°C 이상의 온도에서는 '대단한 차'가 인정되었다.

ΔE^*ab 값을 Cascade 방식으로 살펴보면 압밀화 시간 30분의 경우 70°C와 100°C 사이에서 '대단한 차'가 인정되었으며, 100°C에서 180°C까지는 '다소의 차'와 '상당한 차'가 인정되었고, 220°C에서는 '대단한 차'가 인정되었다. 이는 220°C에서 백색도가 급격히 감소한 것에 기인한다고 판단된다. 압밀화 시간 60분에서는 100°C와 140°C 사이에 '약간의 차'가 인정된 것을 제외하고는 모든 온도에서 '대단한 차'가 인정되었다. 90분에서는 70°C와 100°C 사이에 '상당한 차'가 인정되었고, 100°C와 140°C 사이에는 '다소의 차'가

Compression Temperature (°C)	Compression Time(min)		
	30	60	90
70			
100			
140			
180			
220			

Fig. 2. Changes of wood color by heat compression conditions.

인정되었다. 그리고 140°C와 180°C, 180°C와 220°C 사이에는 '상당한 차'가 인정되었다.

삼나무 열처리재의 열처리 온도와 시간에 따른 재색변화를 관찰한 김 등(2009)의 연구에서는 열처리 온도 140°C에서 미미하던 재색의 변화가 170°C 이상의 조건에서 심변재 사이의 재색차이가 줄어들었다고 보고하였다. 이는 백색도와 적색도 감소에 의한 것으로 140°C에 비해 180°C에서 백색도와 적색도가 비교적 크게 감소한 본 연구의 결과와 일치한다. 그리고 김 등(2009)의 연구에서는 b*값이 다소 불규칙한 경향을 보였는데, 이 또한 본 연구의 결과와 매우 유사하다. 따라서 열처리와 열압밀화에 의한 재색의 변화는 주로 백색도와 적색도의 변화에 기인한다고 판단된다.

3.2. 압체 시간에 따른 재색의 변화

동일한 온도에서 압체 시간의 변화에 따른 재색의 변화를 Table 3에 나타내었다. 압밀화 가열온도에 따

Table 2. Color differences of compressed wood at different conditions

Pressing temp. (°C) - time (m)	L*	a*	b*	ΔE^*ab	
				On the basis of 70°C	Cascade
70 - 30	75.9 (\pm 1.2)	3.3 (\pm 0.5)	26.0 (\pm 2.1)		
100 - 30	56.4 (\pm 0.9)	6.1 (\pm 0.4)	32.4 (\pm 3.5)	20.7	20.7
140 - 30	52.2 (\pm 1.0)	7.8 (\pm 0.8)	34.6 (\pm 1.9)	25.6	5.0
180 - 30	46.1 (\pm 1.4)	9.9 (\pm 0.7)	38.0 (\pm 1.7)	32.8	7.3
220 - 30	12.7 (\pm 0.4)	22.2 (\pm 0.5)	43.4 (\pm 2.3)	68.3	36.0
70 - 60	73.5 (\pm 1.5)	3.7 (\pm 0.4)	28.8 (\pm 1.8)		
100 - 60	53.8 (\pm 1.1)	8.0 (\pm 0.7)	35.5 (\pm 1.8)	21.3	21.3
140 - 60	52.6 (\pm 1.2)	8.8 (\pm 1.0)	38.0 (\pm 1.3)	23.4	2.9
180 - 60	35.6 (\pm 0.7)	16.1 (\pm 0.5)	51.2 (\pm 3.1)	45.8	22.8
220 - 60	8.9 (\pm 1.2)	19.0 (\pm 0.3)	37.0 (\pm 1.9)	66.9	30.3
70 - 90	63.2 (\pm 0.5)	4.2 (\pm 1.1)	27.8 (\pm 0.9)		
100 - 90	56.1 (\pm 0.7)	6.8 (\pm 0.3)	31.2 (\pm 1.3)	8.3	8.3
140 - 90	50.4 (\pm 0.7)	6.4 (\pm 0.5)	30.1 (\pm 1.1)	13.1	5.8
180 - 90	32.7 (\pm 1.4)	13.7 (\pm 0.8)	42.3 (\pm 2.3)	35.0	22.7
220 - 90	16.7 (\pm 1.0)	14.1 (\pm 0.8)	36.8 (\pm 2.1)	48.3	16.9

른 재색의 변화에서와 같이 압제 시간이 증가함에 따라 백색도는 감소하는 경향을 나타내었으며, 그 감소의 폭은 온도에 의한 영향보다는 적게 나타났다. 그리고 적색도와 황색도의 경우 일정한 증감의 경향을 찾을 수 없었다.

ΔE^*ab 값을 살펴보면 70°C를 기준으로 30분과 60분 사이에 ΔE^*ab 값이 3.7로 '다소의 차'가 인정되었고, 60분과 90분 사이에는 10.4로 '상당한 차'가 인정되었다. 그리고 30분과 90분 사이에는 12.9로 '대단한 차'가 인정된다. 100°C와 140°C에서 압제 시간에 따른 재색의 차이는 주로 '다소의 차'와 '상당한 차'가 인정되었다. 180°C에서는 30분과 60분 사이에 ΔE^*ab 값이 18.0으로 '대단한 차', 60분과 90분 사이에 9.6으로 '상당한 차'가 인정되었으나 30분과 90분 사이에는 14.6으로 30분과 60분 사이의 값 18.0 보다 낮은 수치를 나타내었다. 이러한 현상은 90분의 경우 백색도는 가장 낮은 수치를 나타내었으나 적색도와 황색도가 감소한 것이 원인이라 생각된다.

이상의 결과를 종합해보면, 열 압밀화 목재는 압밀

화 가열온도와 시간이 증가함에 따라 백색도가 감소하면서 암색화 된다는 것을 알 수 있다. 그리고 재색의 변화는 압밀화 시간 보다 압밀화 가열온도에 더욱 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 그리고 적색도와 황색도는 압제 시간의 변화에 의한 영향은 미약하며 압밀화 가열온도에 의해 좌우된다.

4. 결 론

압밀화 가열온도와 압제 시간에 따른 재색의 변화를 관찰한 결과를 종합하면 다음과 같다. 압밀화 온도의 상승에 따라 백색도는 감소하였고, 적색도와 황색도는 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 NBS에 의한 대부분의 색차가 '대단한 차'로 나타나 변화의 폭이 매우 큰 것을 확인할 수 있었다. 압제 시간에 의한 재색의 변화 또한 시간의 증가에 따라 백색도는 감소하였으나 그 감소폭은 온도에 의한 영향보다 적은 것으로 나타났다. 그리고 적색도와 황색도는 압제 시간의 변화와 큰 연관성이 없는 것으로 판단된다.

Table 3. Color differences of compressed wood at different conditions

Pressing temp. (°C) - time (m)	L*	a*	b*	ΔE*ab	
				On the basis of 30 m	Cascade
70 - 30	75.9 (± 15)	3.3 (± 0.2)	26.0 (± 2.1)		
70 - 60	73.5 (± 15)	3.7 (± 0.4)	28.8 (± 1.8)	3.7	3.7
70 - 90	63.2 (± 0.5)	4.2 (± 1.1)	27.8 (± 0.9)	12.9	10.4
100 - 30	56.4 (± 0.9)	6.1 (± 0.4)	32.4 (± 3.5)		
100 - 60	53.8 (± 1.1)	8.0 (± 0.7)	35.5 (± 1.8)	4.5	4.5
100 - 90	56.1 (± 0.7)	6.8 (± 0.3)	31.2 (± 1.3)	1.4	5.1
140 - 30	52.2 (± 1.0)	7.8 (± 0.8)	34.6 (± 1.9)		
140 - 60	52.6 (± 1.2)	8.8 (± 1.0)	38.0 (± 1.3)	3.6	3.6
140 - 90	50.4 (± 0.7)	6.4 (± 0.5)	30.1 (± 1.1)	5.0	8.6
180 - 30	46.1 (± 1.4)	9.9 (± 0.7)	38.0 (± 1.7)		
180 - 60	35.6 (± 0.7)	16.1 (± 0.5)	51.2 (± 3.1)	18.0	18.0
180 - 90	32.7 (± 1.4)	13.7 (± 0.8)	42.3 (± 2.3)	14.6	9.6
220 - 30	12.7 (± 0.4)	22.2 (± 0.5)	43.4 (± 2.3)		
220 - 60	8.9 (± 1.2)	19.0 (± 0.3)	37.0 (± 1.9)	8.1	8.1
220 - 90	16.7 (± 1.0)	14.1 (± 0.8)	36.8 (± 2.1)	11.2	9.2

따라서 압밀화 조건에 의한 재색의 변화는 압밀화 압체시간보다는 가열온도의 영향을 더욱 크게 받는 것으로 확인되었다.

참 고 문 헌

- 강호양, 이민경. 2006. 열처리에 의한 목재의 재색변화. 한국가구학회. 학술대회논문집 pp. 75~80.
- 강호양. 2008. 국산 침엽수재의 재색변화 기술 개발. 한국가구학회지 19(3): 156~162.
- 김광모, 박정환, 박병수, 손동원, 박주생, 김운섭, 김병남, 심상로. 2009. 삼나무 열처리재의 물리 및 역학적 특성. 목재공학 37(4): 330~339.
- 김광모, 박정환, 박병수, 손동원, 박주생, 김운섭, 김병남, 심상로. 2010. 백합나무 열처리재의 물리 및 역학적 특성. 목재공학 38(1): 17~26.
- 박병호, 김남훈. 2010. 국내산 주요 침엽수재 재색을 통한 공예적 가치평가. 한국가구학회지 21(5): 413~423.
- 신랑호, 한태형, 권진현. 2010. 국내산 활엽수 열처리재의 재색변화에 따른 목재의 특성과 생활용품 활용방안에 대한 연구. 한국가구학회지 21(1): 62~71.
- 한은주, 조주연. 2005. 디지털 텍스타일 프린팅한 실크의 3차원적 색차 분석. 한국디자인 문화학회지 11(2): 126~134.
- Kubojima, Y., T. Oktani, and H. Yoshihara. 2003. Effect of shear deflection on bending properties of compressed wood. Wood and Fiber Science 36: 210~15.
- Norimoto, M. 1993. Large compressive deformation in wood. Mokuzai Gakkaishi 39(8): 867~874.
- Tabarsa, T. 1995. The effects of transverse compression and press temperature on wood response during hot-pressing. M.Sc., thesis, The University of New Brunswick, Canada.
- Unsal, O., S. Korkut, and C. Atik. 2003. The effect of heat treatment on some properties and colour in Eucalyptus (Eucalyptus camaldulensis DEHN.) WOOD. Maderas. Cienciay Tecnología 5(2): 145~152.
- Wang, J. M., G. J. Zhao, and I. Lida. 2000. Effect of oxidation on heat fixation of compressed wood of China fir. Forestry Studies in China 2(1): 73~79.
- Wang, J. and P. A. Cooper. 2005. Vertical density profiles in thermally compressed balsam fir wood. Forest Products Journal 55: 65~68.