

# 부피팽창율법을 이용한 침엽수 열처리 목재의 섬유포화점 측정

강춘원<sup>1</sup> · 이승진<sup>2</sup> · 강호양<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 생활과대학 주거환경학과, <sup>2</sup>충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과

## FSP measurement of heat-treated softwoods using volumetric swelling method

Chun-Won Kang<sup>1</sup>, Seung-Jin Lee<sup>2</sup>, Ho-Yang Kang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Housing Environmental Design, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

<sup>2</sup>Department of Bio-based Materials, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Received on 25 May 2012, revised on 13 June 2012, accepted on 13 June 2012

**Abstract** : Specimens of five softwood species were heat-treated at three temperature levels of 170°C, 190°C and 210°C. Their FSP's were measured by the volumetric Swelling Method. Within a species the FSP decreases as the temperature of heat treatment increases. The FSP's of the controls range from 21.0% to 32.5%, while those of the specimens heat-treated at 210°C from 18.7% to 35.3%. There was no difference of basic density between the heat-treated and control specimens.

**Key words** : Softwood, Heat treatment, Volumetric swelling Method, FSP, Basic density

### I. 서론

목재는 습윤성재료로 섬유포화점을 기준으로 물성이 달라진다. 섬유포화점 이상에서 목재의 기계적 성질과 치수는 함수율에 무관하게 일정하다. 그러나 섬유포화점 이하가 되면 목재는 함수율이 낮아질수록 수축하고 강도는 증가한다. 이같이 섬유포화점은 목재의 성질을 이해하는데 매우 중요하다.

상온에서 목재의 섬유포화점은 함수율 25%–35% 범위인데 목재 온도가 증가할수록 감소한다. 목재 온도가 상승하면 물분자의 활동력이 증가하고 반대로 흡착점의 인력이 감소하기 때문에 흡착점에 붙어 있는 물분자의 수가 감소하기 때문이다.

목재의 섬유포화점은 건조 횟수와 방법에 따라 서로 달라진다. 이를 이력현상이라고 하는데 목재 건조가 여러 번 반복되거나 고온에서 건조되면 손실된 흡착점 수가 늘어나서 섬유포화점이 낮아진다. 이러한 효과를 이용하여 목재의 치수안정성을 높이는 기술이 개발되었다. 건조목을 160°C이

상에서 열처리하면 목재의 열가수분해가 일어나 헤미셀룰로오스가 분해되고 셀룰로오스와 리그닌의 변형이 일어난다(Garrote et al., 1999). 그 결과 생장응력이 줄고, 셀룰로오스의 결정화도가 증가하고, 흡습성이 현저히 감소한다(Tejada et al., 1997; Bhuiyan et al., 2000; Obataya et al., 2000). 열처리목의 흡습성 감소에는 헤미셀룰로오스의 분해에 의한 흡착점 손실 뿐만 아니라 리그닌의 화학적, 구조적 변화도 역할을 한다는 보고가 있다(Repellin와 Guyonnet, 2005; Kim과 Kang, 2005)

목재의 섬유포화점을 측정하는 방법은 여러 가지가 있으나 일반적으로 간편하게 사용되는 방법은 포화염용액이 용한 데시케이터법이다. 상대습도 100%에 가까운 포화염용액이 담긴 데시케이터에 목재시편을 넣고 오랜 시간 두어 평형에 도달한 후 함수율을 측정한다. 그러나 이 방법은 높은 상대습도 때문에 데시케이터 내부와 목재에 곰팡이가 쉽게 발생한다.

목재는 섬유포화점이상에서는 치수변화가 없으며 섬유포화점 이하부터 전건까지 직선적으로 감소한다는 원리를 이용하여 섬유포화점을 찾을 수 있다. Repellin와 Guyonnet (2005)는 부피팽창율법으로 구한 섬유포화점과 DSC(Differential

\*Corresponding author: Tel: +82-42-821-5758

E-mail address: hykang@cnu.ac.kr

Scanning calorimetry)법으로 구한 섬유포화점이 정비례 관계를 가진다고 보고하였다. 전보(Lee et al., 2012)에서는 부피팽창을법을 이용하여 활엽수 7수종의 섬유포화점을 구하였다. 본 연구에서는 같은 방법으로 침엽수 5수종의 섬유포화점을 조사하였으며, 열처리 조건에 따른 섬유포화점 차이를 비교하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 공시수종

오랫동안 상온에 보관하고 있던 판재 중에 국내에서 구조재와 가구재로 많이 사용되고 있는 침엽수재 5수종을 선별하여 공시수종으로 사용하였다. Douglas-fir(*Pseudotsuga menziesii*), western hemlock(*Tsuga heterophylla*), 낙엽송(*Larix kaempferi*), 소나무(*Pinus densiflora*), 잣나무(*Pinus koraiensis*), 의 5수종이다.

### 2. 공시판재의 열처리

기건상태 다양한 규격의 공시판재를 실험용 건조기에서 170°C, 190°C, 210°C의 3가지 온도조건을 적용하여 열처리하였다. 공시판재의 평균 규격은 폭 100 mm, 두께 30 mm, 길이 300 mm였다. 건조기 내부가 목표온도에 도달한 후에 공시판재를 넣고 정해진 처리시간 동안 열처리하였다. 170°C와 190°C 온도조건에서는 10시간, 210°C에서는 5시간으로 정하였다. 경험적으로 210°C에서 10시간을 두면 화재가능성이 높기 때문에 다른 처리온도보다 처리시간을 짧게 잡았다.

무처리 시편용 공시판재는 103±2°C 오븐에 넣고 전건시켰다. 열처리된 목재의 함수율은 0%라고 볼 수 있으므로 모든 공시판재는 전건되었다고 볼 수 있다.

### 3. 시편제작

열처리된 공시판재와 전건된 무처리시편용 공시판재에서 각각 5개의 시편을 떼어냈다. 시편은 가로, 세로, 높이가 각각 20-30 mm 범위에서 정육면체가 되도록 슬라이딩 테이블톱을 사용하여 가공하였으며, 즉시 정도 0.01 g의 디지털 저울로 중량을 측정하였다.

모든 시편은 물에 넣어 4주간 함침시켰다. 포수시키는 것이 목표였으나 완전히 포수시키려면 오랜 시간이 걸리므

로 섬유포화점보다 충분히 높은 함수율에 도달했을 때 시편을 모두 꺼내 비닐주머니에 넣고 밀폐하여 보관하였다.

## 4. 기본밀도 및 섬유포화점 계산

함침 시편을 비닐주머니에서 꺼내 정도 0.01 g의 디지털 저울로 중량을 잰 후 버니어캘리퍼스로 가로, 세로, 높이를 측정하였다. 가로, 세로, 높이를 곱하여 부피를 계산하였다. 모든 시편을 실내에 노출하여 천천히 건조하면서 반복하여 같은 방법으로 중량과 치수를 측정하였다. 처음에는 2-3일 간격으로 후에는 매일 측정하여 약 1달간 진행하였다.

모든 시편이 충분히 평형에 도달하였다고 생각될 때 모든 시편을 103±2°C 오븐에 넣고 전건하였다. 모든 중량 측정치를 식 (1)을 이용하여 함수율로 변환하였다.

$$M = \frac{W - W_{od}}{W_{od}} \times 100\% \quad (1)$$

여기서  $M$ 는 함수율(%),  $W$ 는 함수율  $M\%$ 때 중량(g),  $W_{od}$ 는 전건중량(g)이다.

기본밀도( $\rho_g$ )는 함침부피( $V_g$ )와 전건중량( $W_{od}$ )을 기준으로 식 (2)를 이용하여 구하였다.

$$\rho_g = \frac{W_{od}}{V_g} \quad (2)$$

여기서  $\rho_g$ 는 기본밀도(g/cm<sup>3</sup>),  $V_g$ 는 함침부피(cm<sup>3</sup>)이다.

부피팽창율은 전건부피( $V_{od}$ )를 기준으로 식 (3)을 이용하여 계산하였다.

$$\alpha_V = \frac{V_m - V_{od}}{V_{od}} \times 100\% \quad (3)$$

여기서  $\alpha_V$ 는 부피팽창율(%),  $V_m$ 은 함수율  $M\%$ 때 부피(cm<sup>3</sup>),  $V_{od}$ 는 전건부피(cm<sup>3</sup>)이다.

평형함수율은 함수율에 따른 부피팽창을 그래프를 이용하여 구했다(Fig. 1). 이론적으로 목재는 섬유포화점 이하에서만 수축 또는 팽창하고 그 이상에서는 변화가 없다. 그래프 상에 함수율 30% 주위로 두 개의 직선회귀선을 그어 교차하는 지점의 함수율값이 섬유포화점이 된다.

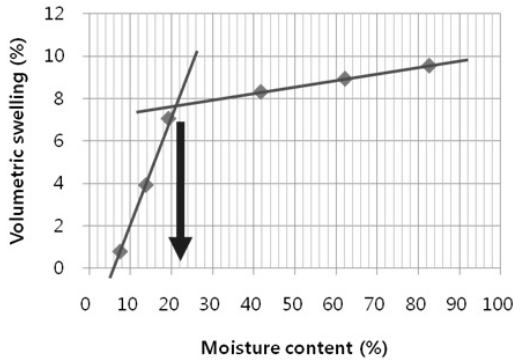


Fig. 1. Measurement of the FSP by the volumetric swelling method.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 함침함수율

오랜기간 함침한 후에 측정된 시편들의 평균 함수율은 Table 1과 같다. 무처리재의 함수율을 보면, 목재의 평균 섬유포화점인 30%보다 훨씬 높은 82.6%에서 154.1%를 나타냈다. 모든 시편이 충분히 함침되었음을 알 수 있다.

동일한 실험을 활엽수재를 사용하여 실시하였던 전보 (Lee et al., 2012)에서는 동일한 기간 함침하더라도 열처리 온도가 높은 시편이 낮은 함수율을 나타냈으나, 본 실험에서는 열처리 온도와 큰 상관없이 비슷하게 높은 함수율

을 나타냈다. 침엽수재는 활엽수재보다 투과율이 좋기 때문에 열처리에 의해 침엽수재의 함수율이 큰 영향을 받지 않는 것으로 보인다. 오히려 낙엽송과 소나무는 170°C에서 최소 함침함수율을 나타냈는데 이는 다른 열처리 온도와 비교할 때 오차범위를 벗어나지 않는 것으로 판단된다.

#### 2. 기본밀도

열처리온도에 따른 수종별 기본밀도( $\rho_g$ )를 비교하기 위해 분산분석하였다(Table 1). 잣나무를 제외한 모든 수종의 P-value가 1%이하이므로 열처리온도간 고도의 유의차가 있다고 할 수 있다. 이는 활엽수재를 대상으로 같은 실험을 한 전보(Lee et al., 2012)의 결과와 상반된다. 다시 말해 활엽수재는 열처리온도에 따른 기본밀도 차이가 없었으나, 침엽수재는 분명한 차이를 나타냈다. 그렇다고 침엽수재의 기본밀도가 열처리온도와 일정한 상관관계를 보이는 것은 아니다. 특별히 높거나 낮은 기본밀도가 불규칙적으로 나타난다. 일반적으로 침엽수재의 밀도가 활엽수재보다 낮은 것을 감안하면, 밀도가 낮은 목재는 열처리에 의해 밀도변화가 일어날 가능성이 높다고 할 수 있다.

기본밀도와 함침함수율의 관계를 알기 위해 모든 시편의 두 함수를 Fig. 2에 나타냈다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 두 함수는 부의 직선회귀 관계를 가지고 있으며  $R^2=0.65$ 를

Table 1. Moisture contents of the specimens after soaking in water for four weeks.

Temp. of heat treatments	Douglas-fir	Hemlock	Japanese larch	Red pine	Korean pine
Con	110.4(2.7)*	142.2(7.2)	108.2(17.5)	101.5(1.7)	154.1(13.3)
170°C	108.4(8.3)	133.7(8.4)	86.6(1.3)	82.6(1.3)	151.8(3.8)
190°C	109.9(6.8)	145.1(5.4)	107.8(9.0)	102.0(1.4)	147.8(1.7)
210°C	110.2(5.6)	145.9(6.3)	94.0(17.7)	118.0(4.6)	143.6(0.4)

\* Standard deviation

Table 2. Comparison of the basic densities between the heat-treated and control specimens.

Temp. of heat treatments	Douglas-fir	Hemlock	Japanese larch	Red pine	Korean pine
Con	0.422(0.005)*	0.408(0.007)	0.436(0.006)	0.414(0.003)	0.358(0.021)
170°C	0.420(0.009)	0.416(0.003)	0.440(0.002)	0.472(0.005)	0.358(0.004)
190°C	0.422(0.006)	0.379(0.003)	0.447(0.004)	0.424(0.004)	0.361(0.003)
210°C	0.440(0.003)	0.380(0.005)	0.430(0.009)	0.388(0.004)	0.352(0.001)
P-value	0.0005	2.8E-10	0.001	7.4E-14	0.81

\* Standard deviation

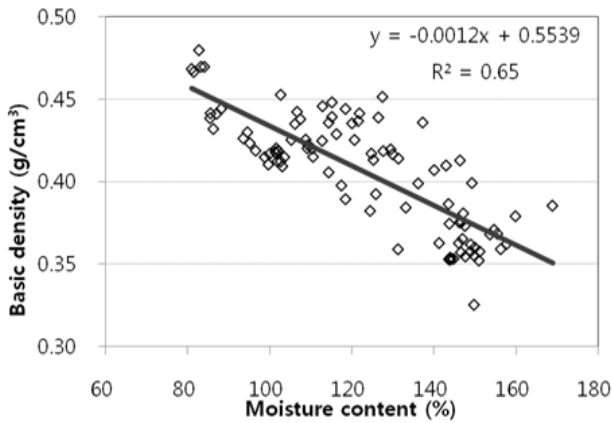


Fig. 2. A plot of the basic density and soaking MC of the heat-treated specimens and a linear regression.

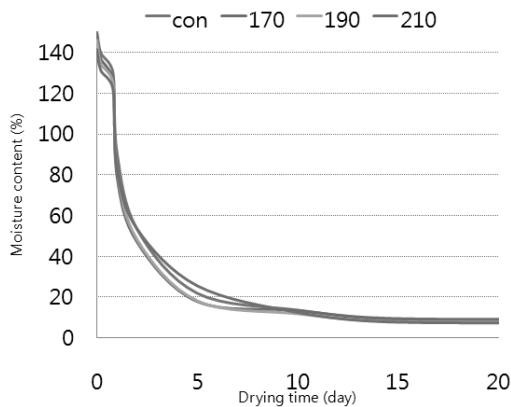


Fig. 3. Typical drying curves of the heat-treated and control specimens

Table 3. The slopes and interceptions of the linear regressions for the plots of the basic density and soaking MC of the heat-treated specimens and a linear regression.

Temp. of heat treatments	Slope	Interception
Con	-0.0008	0.5074
170	-0.0012	0.5595
190	-0.0013	0.5694
210	-0.0014	0.5742

Table 4. The FSP's by the volumetric swelling method.

Species	Temperature of Heat treatment			
	Con	170	190	210
Douglas-fir	28.4(1.0)*	22.8(1.5)	22.4(1.4)	23.7(0.5)
Hemlock	32.5(3.2)	26.0(0.8)	38.5(5.5)	35.3(2.5)
Japanese larch	23.8(1.6)	21.3(0.8)	19.0(0.6)	18.7(0.5)
Red pine	21.0(1.0)	21.8(1.6)	20.2(1.7)	21.0(1.3)
Korean pine	25.6(4.1)	19.6(2.2)	18.4(1.5)	18.8(1.0)

\* Standard deviation

보였다. 즉 기본밀도가 감소할수록 높은 함침함수율을 가진다는 것을 알 수 있었다.

열처리 시편과 무처리가 다른 경향을 보이는데 알기 위해 무처리와 열처리온도별로 회귀식을 구하였다. 직선회귀식의 기울기와 절편은 Table 3과 같다. 흥미로운 점은 전보(이승진 등, 2012)의 활엽수재 결과와 정반대로 열처리온도가 증가할수록 기울기가 약간씩 증가하며, 절편 또한 증가한다는 것이다. 다시 말해 높은 온도에서 열처리된 목재는 함침함수율에 대한 밀도의 영향이 커진다고 말할 수 있다. 즉 밀도가 클수록 함침함수율이 더 많이 적어진다. 밀도가 클수록 흡착력이 떨어져 흡착할 수 있는 결합수 양이 적어지기 때문으로 설명할 수 있다.

### 3. 건조그래프

실내에서 건조하는 동안 시편들의 함수율 변화는 Fig. 3과 같다. Fig. 3은 여러 수종의 건조그래프 중 잣나무 시편을 표시한 것이다. 앞에서 설명한 바와 같이 열처리온도에 따라 함침함수율이 달랐으므로 초기함수율은 열처리 온도에 따라 약간 차이를 나타냈다. 그러나 5일이 경과한 후에는 모든 시편이 거의 같은 함수율을 나타내고 있다. 이러한 건조경과는 모든 수종에서 거의 일치한다.

### 4. 평형함수율

부피팽창율을 이용하여 구한 섬유포화점은 Table 4와 같다. 수종에 따라 차이가 있으나 무처리재의 섬유포화점은 21.0%에서 32.5%까지 분포하였다. 같은 수종 내에서 열처리 온도가 증가할수록 섬유포화점은 감소함을 보였다. 가장 높은 온도인 210°C에서는 18.7%에서 35.3%의 분포를 보였다. Hemlock 170°C의 섬유포화점이 26.0%로 무처리

와 다른 처리온도보다 현저히 낮은 것과 다른 처리온도의 섬유포화점이 28.5%, 35.3%로 높은 것은 측정오차이외에는 설명이 곤란하다. 소나무의 섬유포화점이 처리온도에 무관하게 무처리와 1.0% 이하의 차이만 나타내는 것도 부피팽창율법이 가진 약점으로 생각된다.

#### IV. 결론

침엽수 5수종을 3개의 온도조건으로 열처리하였다. 이들의 섬유포화점을 부피팽창율법으로 구하여 비교하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 무처리재와 열처리재의 평균 함침함수율은 오차범위 내에서 차이를 나타내지 않았다.
2. 분산분석결과 기본밀도는 열처리온도에 따른 고도의 유의차가 나타났으나, 기본밀도와 열처리온도 간에 일정한 상관관계를 보이지는 않았다.
3. 모든 시편에서 기본밀도가 감소할수록 함침함수율이 증가하는 경향을 나타냈으며, 열처리 온도가 높을수록 함침함수율에 대한 밀도의 영향이 커졌다.
4. 같은 수종 내에서 열처리 온도가 증가할수록 섬유포화점은 감소함을 보였다. 무처리재의 섬유포화점은 21.0%에서 32.5%, 가장 높은 온도인 210°C에서는 18.7%에서 35.3%의 분포를 보였다.

#### 감사의 글

본 연구는 산림청 '2009년 임업기술연구개발사업'의 지

원에 의하여 이루어진 것입니다.

#### 참고 문헌

- 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.
- Garrote, G., H. Dominguez and J.C. Parajo. 1999. Hydrothermal processing of lignocellulosic materials. *Holz als Roh- und Werkstoff* 57(3):191-202.
- Ho-Yang Kang. 2009. Improving the Dimensional Stability of Spruce and Birch Boards by Heat-Treatment at 190 and 210°C. *Journal of the Korea Furniture Society* 20(6): 560-565.
- Kim, Su-Won, Ho-Yang Kang. 2005. Effect of Heating and Steaming Treatments on Residual Resin Content and Color Change of Radiata Pine Juvenile Wood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 33(4):30-37. [in Korean]
- Lee, Seung-Jin, Seog-Goo Kang, Chun-Won Kang, and Ho-Yang Kang. 2012. FSP Measurement of Heat-treated Hardwoods Using Volumetric Swelling Method. *Journal of the Korea Furniture Society* 25(2):163-168. [in Korean]
- 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.
- Repellin, Vincent and Rene Guyonnet. 2005. Evaluation of heat-treated wood swelling by differential scanning calorimetry in relation to chemical composition. *Holzforchung* 59(1): 28-34.
- Tejada, A., 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.