

아세틸화처리 낙엽송(*Larix kaempferi*) 소형 각재의 치수안정성 조사

이 원 희¹, 강 호 양^{†,2}

¹경북대학교 임산공학과, ²충남대학교 환경소재공학과

Investigation on the Dimensional Stability of Acetylated Larch (*Larix kaempferi*) Small Square

Won-Hee Lee¹, Ho-Yang Kang^{†,2}

¹Department of Wood Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

²Department of Bio-based Materials, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

Abstract: It has been known that acetylation improves the dimensional stability of wood. Liquid phase acetylation is more popular than gas-phase acetylation for the effectiveness of weight gain of wood. In this study the specimens of domestic red and Korean pines are acetylated in liquid phase and their physical properties, such as density, bending strength, anti-hygroscopicity etc., are analyzed. Acetylation increases the average weights and volume of larch specimens by 11.4% and 3.4%, respectively, and their average oven-dry densities are increased by 0.03 g/cm³. Acetylation does not influence on Modulus of Rupture (*MOR*) and Modulus of Elasticity (*MOE*). The average Percentage Reduction in Hygroscopicity (*PRH*) and average Percentage Reduction in Water soaking (*PRW*) of larch specimens are respectively 20.2% and 20.8%. Thus it can be concluded that acetylation improves the dimensional stability of larch specimens.

Keywords: Acetylation, Dimensional stability, Weight Percentage Gain, Hygroscopicity, *Larix kaempferi*

1. 서 론

목재의 아세틸화처리는 액상반응과 기상반응 있는데 액상반응이 일반적이며 중량증가율과 치수안정 효과가 높으나(Kang and Lee 1997) 목재를 용액에 함침시켜 가열하여야 한다. 이에 반해 기상법은 목재가 용액과 직접 접촉하지 않으며 중량증가율이 액상반응만큼 높지 않다(Futemma and Obataya 2012). 중량증가율을 높이기 위해 피리딘 등 촉매를 사용하거나 초임계이산화탄소법을 응용하기도 한다

(HILL et al. 2000; Hill and Papadopoulos 2002; Papadopoulos 2006a; Matsunaga et al. 2010).

목재에 무수초산을 주입하고 120°C의 고온에서 반응시키면 아세틸화 목재가 만들어지는데 목재 흡습성을 낮추어 치수안정성을 향상시키는 비교적 간편한 방법으로 알려졌다(Stamm 1964; Han and Cho 1996). 무수초산이 세포벽의 수산기와 반응하여 아세틸화 목재를 만들고 부산물로 아세트산을 생산한다(Rowel et al. 1994)(Fig. 1). 따라서 아세틸화처리 목재는 소수성을 가지게 되어 무처리 목재보다 흡습을 적게 하게 된다. 이러한 성질은 지속적으로 유지되는 것으로 밝혀졌다(Bryne et al. 2010).

2016년 9월 22일 접수; 2016년 10월 13일 수정; 2016년 10월 23일 게재확정

[†] 교신저자 : 강 호 양(hyakang@cnu.ac.kr)

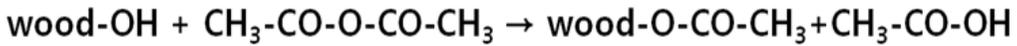


Fig. 1. A chemical reaction equation for wood acetylation.

Dunningham (2012)은 목재를 여러 온도조건에서 아세틸화 반응속도를 측정하는 실험을 실시하여 목재의 아세틸화반응은 활성화반응이라기보다 확산반응이라고 결론지었다. 즉 반응속도는 온도보다 목재 내 확산속도에 영향을 받는다고 하였다. Morozovs와 Buksans (2009)는 아세틸화처리 목재는 무처리 목재보다 태웠을 때 연기가 더 적게 발생하나 가열강도를 높이면 차이가 적어진다고 밝혔다.

자외선에 노출된 목재는 재색이 짙어지고 시간이 지남에 따라 열화가 일어난다(Evans et al. 2000). 아세틸화처리 목재는 무처리 목재보다 기상열화에 저항성이 높은 것으로 알려졌다(Feist et al. 1991; Evans et al. 2000; Dunningham, et al. 1992; Bryne et al. 2010). 폴리우레탄 도장한 아세틸화처리 목재도 같은 도장의 무처리 목재보다 촉진열화와 기상열화에 높은 저항성을 가진다는 연구발표가 있다(Pandey and Srinivas 2015). 또한 아세틸화 목재는 무처리 목재보다 높은 내후성을 가지는 것으로 알려져 있는데 이는 세포벽의 흡착점에 물분자 대신 아세틸기가 결합되어 있기 때문에 부후균이 달라붙기 어려운 때문으로 해석된다(Papadopoulos 2006b, 2012; Hill 2009; Rowell et al. 2009).

무처리 목재에 비해 아세틸화처리 목재는 강도가 떨어지지 않을 뿐만 아니라 습강도는 오히려 증가하나(Rowell et al. 2009) 표면경도는 영향을 받지 않는다(Papadopoulos and Tountziarakis 2011)고 알려졌다.

본 연구에서는 국산재 친환경개질가공 연구(Lee et al. 2015)의 일환으로 국내에서 용재로 가장 많이 생산되는 낙엽송(*Larix kaempferi*)을 선택하여 액상 아세틸화처리가 밀도, 휨강도, 치수안정성 등 물리적 성질에 미치는 영향을 조사하였다.

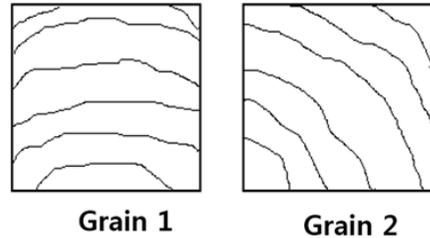


Fig. 2. Schematic diagrams of the grains of specimens and the direction of a bending force.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

50년생 낙엽송 원목을 30 mm 판재로 제재하여 천연건조하였다. 6개월 이상 천연건조한 후 공시 판재를 건구온도 120°C, 습구온도 70°C 조건에서 72시간 고온건조하였다. 고온건조된 판재의 심재 부위에서 가로 세로 각각 25 mm, 섬유방향 길이 300 mm의 공시시편을 만들었다. 무작위로 만든 공시시편 중에 횡단면에 나타난 목리에 따라 Fig. 2와 같이 구분하여 각각 30개씩 선별하였다(Fig. 2). 그중 15개는 아세틸화처리 공시시편으로 나머지는 무처리 공시시편으로 구분하였다.

2.2. 아세틸화처리

공시시편을 103 ± 2°C 오븐에서 향량에 도달할 때까지 건조한 후 디지털 저울(정도 ± 0.01 g)로 중량을, 버니어캘리퍼스(정도 0.01 mm)로 치수를 측정하였다. 무처리 시편은 비닐주머니에 넣어 보관하고 아세틸화처리 시편은 무수초산에 2주 동안 함침시켰다. 함침 시편을 꺼내 표면에 묻은 무수초산을 제거한 후 소형건조기에 잔적하고, 건조기 내의 건구온도를 120°C, 재간풍속을 3.0 m/s로 맞추어 8시간 동안 반응 시킨 후 실온으로 냉각하였다. 아세틸화처리 공시시편과 무처리 공시시편을 모두 103 ± 2°C 오븐에서 다시 전건한 후 중량과 치수를 측정하였다.

2.3. 중량증가율(WPG), 부피증가율(VPG), 밀도의 계산

아세틸화처리 전후에 측정된 중량과 부피를 이용하여 중량증가율과 부피증가율 및 전건밀도를 아래 식으로 계산하였다.

$$WPG = \frac{W_{od,ac} - W_{od,con}}{W_{od,con}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 WPG (Weight Percentage Gain) = 중량증가율(%), $W_{od,ac}$ = 아세틸화처리 후 전건중량(g), $W_{od,con}$ = 아세틸화처리 전 전건중량(g)

$$VPG = \frac{V_{od,ac} - V_{od,con}}{V_{od,con}} \times 100 \quad (2)$$

여기서 VPG (Volume Percentage Gain) = 부피증가율(%), $V_{od,ac}$ = 아세틸화처리 후 전건부피(cm^3), $V_{od,con}$ = 아세틸화처리 전 전건중량(cm^3)

$$\rho = \frac{W_{od}}{V_{od}} \quad (3)$$

여기서 ρ = 전건밀도(g/cm^3), W_{od} = 전건중량(g), V_{od} = 전건부피(cm^3)

2.4. 정탄성계수(MOE) 측정

국내에서 제작한 최대하중 50톤 규모의 만능강도시험기를 사용하여 시편 중앙에 하중을 가하였다. 정탄성계수는 식 (4)를 이용하여 계산하였다.

$$MOE = \frac{PL^3}{48ID} \times 10^{-6} \quad (4)$$

여기서 MOE = 정탄성계수(N/mm^2), P = 하중(N), L = 지간거리(m), I = 관성모멘트(m^2), D = 처짐(m).

2.5. 조습처리와 함침처리

휨파괴시험에 사용한 300 mm 시편의 한쪽 마구리에서 길이방향으로 60 mm를 잘라 조습시험을

실시하였다. 공기가 순환하는 항온항습기 내부를 여름의 낮 조건과 비슷한 건구온도 30°C , 상대습도 70%에 맞추고 60 mm 시편을 잔적하였다. 모든 시편의 중량이 평형에 도달할 때까지 약 3주간 조습처리하였다. 조습을 마친 후 중량을 측정하고 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 오븐에 넣고 항량에 도달할 때까지 건조하였다. 오븐건조를 마친 후 전건중량을 측정하였다. 이후 60 mm 시편을 모두 물에 함침 시켰다. 4주 후 꺼내어 표면에 남은 물을 닦고 중량을 측정하였다.

조습처리와 함침처리에 의한 중량변화를 아래 식 (5)과 (6)에 적용하여 항습률(PHR)과 항습수율(PRW)을 구하였다.

$$PRH = \frac{EMC_{con} - EMC_{ac}}{EMC_{con}} \times 100 \quad (5)$$

여기서 PRH (Percentage Reduction in Hygroscopicity) = 항습률(%), EMC_{con} = 무처리 시편의 평형함수율(%), EMC_{ac} = 아세틸화처리 시편의 평형함수율(%)

$$PRW = \frac{W_{con} - W_{ac}}{W_{con}} \times 100 \quad (6)$$

여기서 PRW (Percentage Reduction in Water Soaking) = 항습수율(%), W_{con} = 무처리 시편의 함침중량(g), W_{ac} = 아세틸화처리 시편의 함침중량(g)

3. 결과 및 고찰

3.1. 아세틸화 처리에 의한 중량증가율(WPG), 부피증가율(VPG)

아세틸화처리에 의한 공시시편의 평균 중량증가율은 $11.4 \pm 2.3\%$, 평균 부피증가율은 $3.4 \pm 0.7\%$ 이다. 이를 목리에 따라 구분하면, 목리1과 목리2가 각각 11.6%와 11.2% 증가하였으며, 부피는 각각 3.5%와 3.3% 증가하였다(Table 1). t-검정 결과 5% 유의수준에서 중량증가율(WPG)과 부피증가율(VPG) 모두 목리에 따른 차이가 인정되지 않았다(Table 2). 동일한 방법으로 실험한 결과(Lee et

Table 1. The average *WPGs* and *VPGs* of the acetylated larch specimens

Species	Grain	No. of specimens	<i>WPG</i> (%)	<i>VPG</i> (%)
Larch	1	15	11.6 ± 3.0 ¹⁾	3.5 ± 0.7
	2	15	11.2 ± 1.3	3.3 ± 0.7

¹⁾Standard deviation

Table 2. t-test of *WPG* and *VPG* for acetylated larch specimens

	<i>WPG</i>		<i>VPG</i>	
	Grain 1	Grain 2	Grain 1	Grain 2
Average	11.6	11.2	3.5	3.3
Standard deviation	3.0	1.3	0.7	0.7
Observation	15	15	15	15
Degree of freedom	28		28	
t-value	0.454		0.705	
Alpha	0.327		0.243	

al. 2015)에 의하면, 소나무는 중량증가율과 부피 증가율이 모두 5% 수준의 유의차가 없었으나 잣나무는 중량증가율이 5% 유의수준에서 목리에 따른 차이가 인정되었다. 중량 차이는 무수초산의 침투량 차이에 기인하므로 잣나무는 목리에 따라 침투량이 달랐다고 예상할 수 있다. 잣나무는 목리에 따라 침투경로가 다른 것으로 볼 수 있다. 아세틸화처리는 목재를 건조한 후에 실시하기 때문에 잣나무는 건조에 의해 열려진 수지구를 통해 약액이 1차 침투한다(Kang and Lu 2005). 수지구 출현특성을 조사한 결과(Kim and Kwon 2006)에 따르면, 잣나무와 낙엽송의 수직수지구는 각각 1.28개/mm, 1.25개/mm로 비슷하다. 따라서 낙엽송과 잣나무의 목리에 따른 중량과 부피의 증가 경향이 비슷하게 나타날 것으로 예상되나 실험결과는 달리 나타났다. 침투경로에 대해서는 추가적으로 해부학적 관점의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

3.2. 아세틸화 처리에 의한 밀도 변화

아세틸화처리 전후, 시편의 전건밀도를 식 (3)으로 구하여 Fig. 3에 비교하였다. 아세틸화처리 전 시편의 평균 전건밀도는 목리1과 목리2가 각각 0.478 ± 0.018 g/cm³, 0.471 ± 0.017 g/cm³이며 전체 평균은 0.475 ± 0.017 g/cm³이다. 두 목리 간

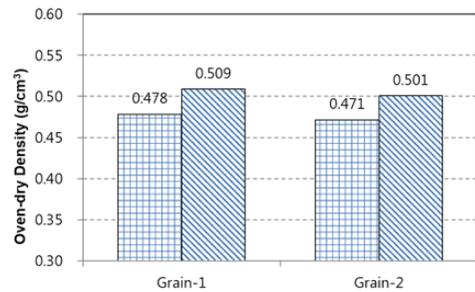


Fig. 3. The average oven-dry densities of the unacetylated and acetylated larch specimens.

아세틸화처리 전 전건밀도의 유의차는 5% 수준에서 인정되지 않았다. 아세틸화처리 후 시편의 전건밀도는 목리1과 목리2가 각각 0.509 ± 0.023 g/cm³, 0.501 ± 0.018 g/cm³이며 전체 평균은 0.505 ± 0.021 g/cm³이다. 두 목리 모두 전건밀도가 0.03 cm³/g 만큼 증가하였다. t-test 결과 아세틸화처리에 의한 전건밀도 변화는 5% 유의수준에서 인정되었다 (Table 3). 이는 전보(Lee et al. 2015)에 발표한 소나무와 잣나무 실험에서 얻은 결과와 유사하다.

3.3. 힘파괴계수(MOR)

무처리 시편과 아세틸화처리 시편의 평균 MOR과 표준편차를 Table 4에 나타냈다. 무처리 시편의

Table 3. t-test of oven-dry density for unacetylated and acetylated larch specimens

	Grain 1		Grain 2	
	Unacetylated	Acetylated	Unacetylated	Acetylated
Average	0.478	0.509	0.471	0.501
Standard deviation	0.018	0.023	0.017	0.018
Observation	15	15	15	15
Degree of freedom	28		28	
t-value	-4.011		-4.699	
Alpha	0.0002038*		3.154E-05*	

Table 4. The average MORs of the control and acetylated larch specimens

Species	Grain	MOR (N/mm ²)	
		Control	Acetylated
Larch	1	72.4 ± 6.8*	69.5 ± 8.4
	2	70.1 ± 3.5	67.1 ± 6.7

*Standard deviation

Table 5. The average MOEs of the control and acetylated specimens of larch

Species	Grain	MOE (N/mm ²)	
		Control	Acetylated
Larch	1	5,550 ± 480*	5,594 ± 450
	2	5,857 ± 430	5,893 ± 360

*Standard deviation

목리1과 목리2 평균 MOR은 각각 72.4 N/mm²와 70.1 N/mm²로 목리1이 목리2보다 더 컸으나 t-test 결과 5% 유의수준에서 유의성이 인정되지 않았다. 아세틸화처리 후 목리1과 목리2의 평균 MOR은 각각 69.5 N/mm²와 67.1 N/mm²로 3.0 N/mm² 정도 감소하였다. t-검정을 통해 아세틸화처리 효과의 유의성을 분석한 결과, 5% 유의수준에서 유의성이 인정되었으므로 아세틸화처리가 낙엽송 시편의 MOR을 감소시킨다고 할 수 있다.

3.4. 휨탄성계수(MOE)

무처리 시편과 아세틸화처리 시편의 평균 MOE와 표준편차를 Table 5에 나타냈다. 무처리 시편의 목리1과 목리2 평균 MOE는 각각 5,550 N/mm²와 5,857 N/mm²로 목리2이 목리1보다 더 컸으나 t-test 결과 5% 유의수준에서 유의성이 인정되지

않았다. 아세틸화처리 후 목리1과 목리2의 평균 MOE는 각각 5,594 N/mm²와 5,893 N/mm²로 약간 증가하였으나 t-test 결과 모두 5% 유의수준에서 유의성이 인정되지 않았다. 따라서 아세틸화처리가 낙엽송의 MOE에 영향을 미쳤다고 할 수 없다.

3.5. 항흡습률(PRH)

조습실험을 통해 얻은 무처리 시편과 아세틸화처리 시편의 평균 평형함수율은 Table 6과 같다. 무처리는 목리1과 목리2 모두 11.9%를 나타냈는데 아세틸화처리 시편은 목리1은 9.4%, 목리2는 9.7%를 나타냈다. 따라서 아세틸화처리에 의해 평형함수율이 2.3%에서 2.5% 낮아졌다고 할 수 있다. 이들 평균함수율을 이용하여 구한 항흡습률은 목리1은 21.0%로 목리2의 19.3%보다 크다. 이러한 경향은 Table 1에 나타난 것과 같이 아세틸화

Table 6. The average EMCs and PRHs of the control and acetylated larch specimens, conditioned in a humidity chamber at 30°C and 70% RH

Species	Grain	EMC (%)		PRH (%)
		Control	Acetylated	
Larch	1	11.9 ± 0.3*	9.4 ± 0.6	21.0
	2	11.9 ± 0.3	9.6 ± 0.7	19.3

*Standard deviation

Table 7. The average MCs of the control and acetylated larch specimens, water-soaked for four weeks

Species	Grain	MC of soaked specimen (%)		PRW (%)
		Control	Acetylated	
Larch	1	120.0 ± 14.3*	90.1 ± 4.3	24.9
	2	112.7 ± 6.8	94.0 ± 3.9	16.6

*Standard deviation

처리에 의한 중량증가율 *WPG*가 목리1이 목리2보다 크다는 사실과 일치한다. 즉 세포 내 아세틸기가 많이 존재할수록 항흡습률이 크다고 할 수 있다.

3.6. 항흡수율(*PRW*)

함침실험을 통해 얻은 무처리 시편과 아세틸화처리 시편의 평균 함침흡수율은 Table 7과 같다. 무처리 시편의 평균 함침흡수율은 목리1과 목리2가 각각 120.0%와 112.7%이고 아세틸화 시편은 각각 90.1%와 94.0%이다. 아세틸화처리 시편의 평균 함침흡수율이 무처리 시편보다 낮게 나타났으며 *t-test*에 의해 5% 수준에서 유의성이 있음이 증명되었다. 식 (7)로 구한 목리1의 항흡수율은 24.9%로 목리2의 16.6%보다 크다. 흡습율과 같은 경향을 나타냈는데 이는 목리에 따른 중량증가율 (*WPG*) 차이 때문으로 생각된다. 즉 세포 내 아세틸기가 많이 존재할수록 항흡수율도 크다고 할 수 있다.

4. 결 론

국내에서 용재로 가장 많이 이용되고 있는 낙엽송(*Larix kaempferi*)의 치수안정화를 위해 아세틸화처리가 밀도, 휨강도, 항흡습성 등 물리적 성질에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

아세틸화처리에 낙엽송 시편의 평균 중량증가율 (*WPG*)은 11.4 ± 2.3%, 평균 부피증가율(*VPG*)은

3.4 ± 0.7이며 목리1의 변화가 더 컸으나 통계적으로 유의성을 나타내지 못하였다.

아세틸화처리 후 낙엽송 시편의 평균 전건밀도는 0.505 ± 0.021 g/cm³로 아세틸화처리 전에 비해 0.03 g/cm³ 만큼 증가하였다.

아세틸화처리 후 목리1과 목리2의 평균 *MOR*은 각각 69.5 N/mm²와 67.1 N/mm²로 무처리보다 3.0 N/mm² 정도 감소하였다.

아세틸화처리 후 목리1과 목리2의 평균 *MOE*는 각각 5,594 N/mm²와 5,893 N/mm²로 무처리보다 약간 증가하였으나 5% 유의수준에서 유의성이 인정되지 않았다.

항흡습률(*PRH*)과 항흡수율(*PRW*)의 목리간 차이는 중량증가율과 일치하였다.

사 사

본 연구는 산림청 ‘임업기술연구개발사업(과제번호 : S121414L060120)’과 충남대학교 학술연구비의 지원에 의해서 이루어진 것입니다.

참 고 문 헌

- Andris, M. and E. Buksans. 2009. Fire performance characteristics of acetylated ash (*Fraxinus excelsior* L.) wood. *Wood Material Science & Engineering*

- 4(1-2): 76-79.
- Bryne, L. E. and M. E. P. Waelinder. 2010. Ageing of modified wood. Part 1: Wetting properties of acetylated, furfurylated, and thermally modified wood. *Holzforschung* 64(3): 295-304.
- Dunningham, E. A. 2012. Kinetic studies of the acetylation reaction of small *Pinus radiata* blocks. *Eur. J. Wood Prod.* 70(6): 857-863.
- Dunningham, E. A., D. V. Plackett, and A. P. Singh. 1992. Weathering of chemically modified wood. Natural weathering of acetylated *Pinus radiata* pine: preliminary results. *Holz als Roh und Werkstoff* 50(11): 429-432.
- Evans, P. D., A. F. A. Wallis, and N. L. Owen. 2000. Weathering of chemically modified wood surfaces. Natural weathering of Scots pine acetylated to different weight gains. *Wood Science and Technology* 34(2): 151-165.
- Feist, W. C., R. M. Rowell, and W. D. Ellis. 1991. Moisture sorption and accelerated weathering of acetylated and methacrylated aspen. *Wood and Fiber Science* 23(1): 128-136.
- Futemma, Y. and E. Obataya. 2012. Non-uniform reaction of solid wood in vapor-phase acetylation. *Journal of Wood Science* 58(4): 336-341.
- Han, G.-S. and N.-S. Cho. 1996. Dimensional change of acetylated softwood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 24(4): 4040-4046.
- Hill, C. A. S. 2009. Why does acetylation protect wood from microbiological attack? *Wood Material Science & Engineering* 4(1-2): 37-45.
- Hill, C. A. S., N. S. Cetin, and N. Ozmen. 2000. Potential Catalysts for the Acetylation of Wood. *Holzforschung* 54(3): 269-272.
- Hill, C. A. S. and A. N. Papadopoulos. 2002. The Pyridine-Catalysed Acylation of Pine Sapwood and Phenolic Model Compounds with Carboxylic Acid Anhydrides. Determination of Activation Energies and Entropy of Activation. *Holzforschung* 56(2): 150-156.
- Kang, H.-Y. and K.-Y. Lee. 1997. Effect of acetylation on ultrasonic velocity of bamboo. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 25(3): 8-15.
- Kang, H.-Y. and J. Lu. 2005. Comparison of Longitudinal Liquid Permeabilities of Sapwood Specimens Taken from *Pinus koraiensis* Boards Treated by Steaming and Various Drying Methods. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 33(6): 17-24.
- Kim, N.-H. and S.-M. Kwon. 2006. Appearance pattern of resin canals in *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi*. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 34(1): 1-6.
- LEE, W.-H., S.-H. Hong, and H.-Y. Kang. 2015. Investigation on the Physical Properties of Acetylated Domestic Softwoods. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 43(4): 429-437.
- Matsunaga, M., Y. Kataoka, H. Matsunaga, and H. Matsui. 2010. A novel method of acetylation of wood using supercritical carbon dioxide. *Journal of Wood Science* 56(4): 293-298.
- Morozovs, A. and E. Buksans. 2009. Fire performance characteristics of acetylated ash (*Fraxinus excelsior* L.) wood. *Wood Material Science & Engineering* 4(1-2): 76-79.
- Pandey, K. K. and K. Srinivas. 2015. Performance of polyurethane coatings on acetylated and benzoylated rubberwood. *Eur. J. Wood Prod.* 73(1): 111-120.
- Papadopoulos, A. N. 2006a. Pyridine-catalyst acetylation of pinewood: influence of mature sapwood vs juvenile wood. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64(2): 134-136.
- Papadopoulos, A. N. 2012. Natural durability of acetylated OSB in ground stake test: total decay after 102 months of testing. *Eur. J. Wood Prod.* 70(1-3): 397.
- Papadopoulos, A. N. and P. Tountziarakis. 2011. The effect of acetylation on the Janka hardness of pine wood. *Eur. J. Wood Prod.* 69(3): 499-500.
- Papadopoulos, A. N. 2006b. Decay resistance in ground stake test of acetylated OSB. *Holz als Roh- und Werkstoff* 64(3): 245-246.
- Rowell, R. M., R. E. Ibach, J. Ibach, and T. Nilsson. 2009. Understanding decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat-treated and acetylated wood. *Wood Material Science & Engineering* 4(1-2): 14-22.
- Rowell, R. M., R. Simonson, S. Hess, D. V. Plackett, D. Cronshaw, and E. Dunningham. 1994. Acetyl distribution in acetylated whole wood and reactivity of isolated wood cell-wall components to acetic anhydride. *Wood and Fiber Science* 26(1): 11-18.
- Stamm, A. J. 1964. *Wood and Cellulose Science*. The Ronald Press Company, New York.