

목타르와 목초액로 처리한 낙엽송재의 Weathering 특성

권구중 · 권성민 · 장재혁 · 전근우 · 김남훈*
(강원대학교 산림환경과학대학)

Weathering of Larch Wood treated with Wood tar and Wood vinegar

Gu-Joong Kwon, Sung-Min Kwon, Jae-Hyeok Jang, Kun-Woo Chun, Nam-Hun Kim*

College of Forest & Environment Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

ABSTRACT : This study has been carried out to investigate the preservation characteristics and weathering of larch wood treated with wood tar and wood vinegar, neglected under the circumstance of outdoor exposure, buried under ground, and deposited under water. Earlywood cell wall observed by optical microscope has been collapsed due to the fungi deterioration. This phenomenon occurred more frequently in the case of woods treated with wood tar and buried under ground. Relative crystallinity of woods treated with wood tar, exposed outdoors, and untreated wood buried under ground was highest at 63% while wood tar treated wood buried under ground was lowest at 46%.

Keywords : Larch wood, Weathering, Wood tar, Wood vinegar, Durability

서 론

최근 기후변화대응방안으로 지구온난화의 원인이 되는 이산화탄소를 흡수고정시켜 탄소저장원 역할을 하고 있는 목재가 환경친환경소재로 각광을 받고 있어 건축 및 조경시설재 등으로의 수요가 급증하고 있다. 이러한 목재의 사용 확대는 환경보전적, 도시미관적 측면에서 목재에 대한 가치를 새롭게 인식하고 있다. 예를 들어, 콘크리트구조물은 인위적으로 만들어졌기 때문에 주위 환경과 어울리지 못하고, 콘크리트 성분에 의한 하천생태계 파괴원인이 되기도 한다. 또한 콘크리트를 단순히 목재로 바꾸는 것만으로도 상당량의 탄소배출을 절감할 수 있다. 최근에는 사방댐을 친환경적으로 건설하자는 사회적 요구도 증대되어 목재와 자연석을 활용한 공법으로 건설하고 있다. 그 외 목재 옹벽, 식생방틀, 비탈면 보호, 목재어초, 농업용 배수로, 조경시설재 등 토목구조재로서의 이용을 적극적으로 추진되고 있어 경관적으로 도시 및 하천생태계와 조화를 이루고 녹지공간 면적을 높일 뿐만 아니라 산림자원육성에도 크게 기여하는 것으로 생각된다.

이러한 목재의 이용은 국내 목재 생산량의 50% 이상을 차지하는 중·소경재를 효과적으로 활용하는 방안이 대안으로 제시되고 있다. 그 중 국내에서 가장 많은 자원이 축적된 낙엽송은 별도의 특별한 가공공정을 거치지 않고도 대량으로 유효 이용 할 수 있어 금후 기후변화대응의 탄소저장 실천수단이 될 수 있을 것으로 생각하고 있다. 그러나 목재는 유기물이여서 장기간 사용하면 주위 환경조건에 따라 물리적, 화학적 성질의 변화에 의해 강도적 성능이 저하될 수 있기 때문에 내구성을 향상시키는 것이 중요하다.

목초액과 목타르는 숯을 제조하는 과정에서 배출되는 연기를 액화시켜 액상의 조목초액이 얻어지고, 이것을 정제하는 과정에서 목타르가 하층부에 다량으로 침전되어 발생되며, 목타르는 4~11%정도, 목초액은 31~37%정도가 생성되는 것으로 알려져 있다(Soltes and Elder, 1980). 목탄제 탄시 부산물로 생산되는 목초액은 많은 연구자들에 의해서 보다 효율적인 활용방안을 모색하기 위한 연구를 진행하고 있다(Hwang et al., 2002; Park et al., 2006; Kim et al., 2005; Lee et al., 2004; Seo et al., 2000). 목타르는 크레오소트가 주성분으로서 살균제, 방부제로서 사용되지만, 현재

* Corresponding author: (E-mail) kimnh@kangwon.ac.kr

본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업(과제번호 : S210810L010110)' 지원에 의해 수행되었음.

는 자원으로 활용이 되지 않아 대부분은 연소되거나 그대로 방치되고 있는 실정이다. (Park et al., 2005).

따라서 본 연구는 목재의 내구성을 증대시키기 위한 일환으로 목초액과 목타르로 처리하한 낙엽송재를 장기간 다양한 환경조건하에서 노출시켜 광학현미경을 이용하여 열화에 의한 목재 조직구조변화를 관찰하였고, X선회절법에 의한 비파괴진단법으로 상대결정화도에 따른 목재의 열화 정도를 분석하여 비교, 검토하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 실험에서는 평균 직경이 25 cm, 길이 180 cm의 낙엽송(*Larix kaempferi*)을 이용하였고, 내구성 향상을 위해 목초액과 목타르를 사용하였다. 목타르처리재는 목재에 전체적으로 도포한 후 4주간 건조한 후 사용하였고, 목초액처리재는 2주간 침적후 1주간 건조한 후 사용하였다. 각각의 시료는 야외폭로, 토사매립, 물침적의 환경조건하에서 2008년 11월 7일부터 2010년 3월23일까지 17개월간 실시하였다(Fig. 1).

실험방법

광학현미경 관찰

각 조건별로 횡단면에서 시편을 제작한 후, 활주식마이크로톰으로 15~25 μm 두께로 절편하고 safranin액으로 염색한 다음 ethanol 및 xylene 계열로 탈수, 투명화 처리하고 영구 프레파라트를 제작하였으며, 이를 광학현미경(Nikon ECLIPSE, E600)으로 관찰하였다.

X선 회절 실험

시편은 두께 약 1 mm, 폭 10 mm로 제작하여 측정하였다. 분석기기는 강원대학교 창강제지연구소에 설치된 X선회절장치(RIGAKU, DMAX 2100V)로 40 kV, 40 mA 조건하에서 Ni filter로 단색화한 CuKa선을 사용하여 측정하였다. 상대결정화도는 Segal법에 의해 다음과 같은 식에 의해서 계산하였다.

$$Cr.(\%) = \frac{I_{200} - I_{am}}{I_{200}} \times 100$$

I_{200} : (200)의 회절강도 ($2\theta = 22.8^\circ$)

I_{am} : 비결정부분의 회절강도 ($2\theta = 18^\circ$)

결과 및 고찰

광학현미경 관찰

본 실험에서는 목타르와 목초액으로 처리하여 다양한 환경속에서 노출시킨 낙엽송재를 광학현미경을 이용하여 관찰한 결과를 Fig. 2, 3, 4에 나타냈다. Fig. 2는 야외폭로조건하에서 방치한 각각의 처리재를 광학현미경으로 관찰한 사진이다. 모든 시료는 변재부에서 채취한 것을 이용하였다. 무처리재와 목타르 도포재의 조재에서 열화에 의한 세포벽의 붕괴가 다소 관찰되었지만, 목초액 처리재에서는 관찰되지 않았다. 각 시료의 만재부에서는 열화에 의한 세포벽 변화는 관찰되지 않았다.

Fig. 3은 물속에 침적한 각 처리재를 광학현미경으로 관찰한 사진이다. 물속 침적조건하에서 목타르도포재의 조재부에서 열화에 의한 세포벽붕괴가 다소 관찰되었지만, 무처



(A)



(B)



(C)

Fig. 1. Photos of each sample.

(A): Untreated wood, (B): Wood tar treated wood, (C): Wood vinegar treated wood

리재와 목초액 처리재에서는 열화에 의한 세포벽 붕괴가 관찰되지 않았다. 그러나 각 시료의 만재부에서는 열화에 의한 세포벽의 변화가 관찰되지 않았다.

Fig. 4는 토사에 매립한 각 처리재를 광학현미경으로 관찰한 사진이다. 목타르 도포재에서는 열화에 의해 조재부의 세포벽 붕괴가 많이 관찰되어졌고, 무처리재에서도 세포벽의 붕괴가 다소 관찰되어졌다. 그러나 각 시료의 만재부에서는 열화에 의한 세포벽 붕괴가 관찰되지 않았다.

목타르와 목초액을 처리하여 다양한 환경조건하에서 노출시킨 낙엽송재를 광학현미경으로 관찰한 결과, 주로 조재 세포벽에서 열화의 진행으로 세포벽이 붕괴되었다. 이와 같은 현상은 목타르 도포재가 가장 많이 나타났고, 무처리재, 목초액 처리재 순으로 나타났다. 열화정도를 환경조건별로 분류하였을 때, 토사에 매립한 경우가 많은 열화가 진행되었고 그 다음 야외폭로, 물속침식 순으로 나타났다.

목타르는 목재용 방부제로서 사용되어져 왔다(Park et al.,

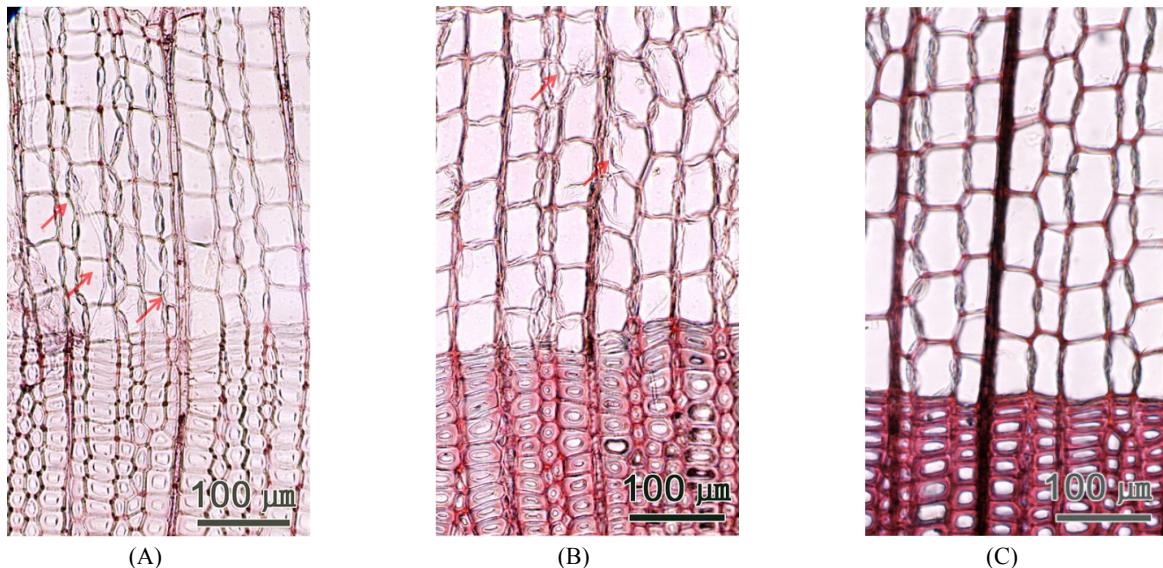


Fig. 2. Optical micrographs of the cross section of wood exposed outdoors.
(A) Wood tar, (B) Untreated, (C) Wood vinegar

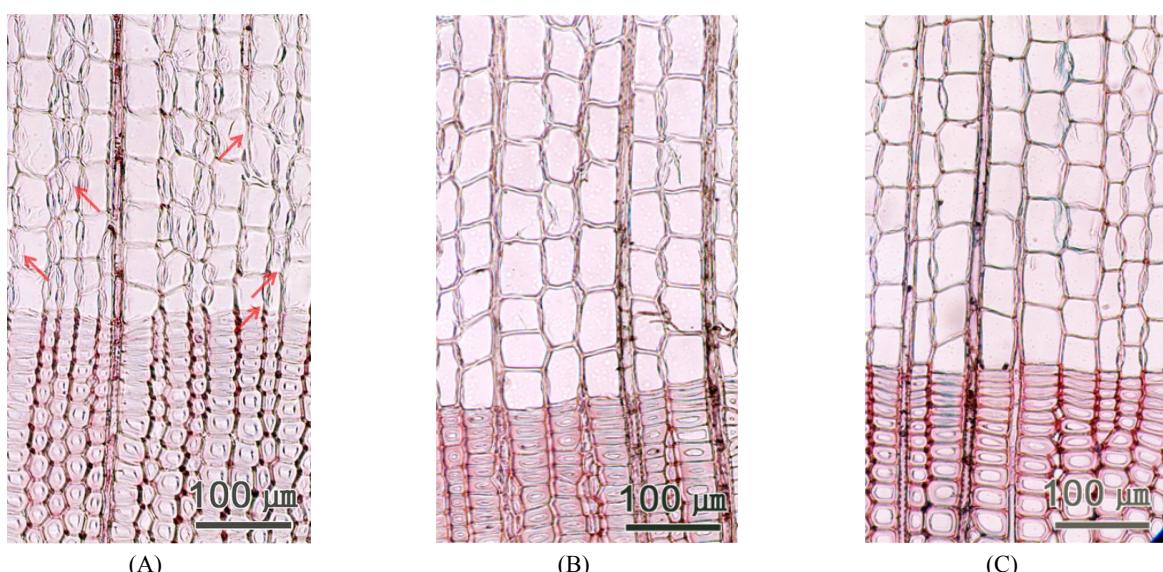


Fig. 3. Optical micrographs of the cross section of deposited wood in water.
(A) Wood tar, (B) Untreated, (C) Wood vinegar

2005). 그러나 본 연구에서 목타르도포재가 다른 시료와 달리 열화에 의한 세포벽 붕괴가 많이 관찰되었다. 이러한 이유는 목타르를 박피를 하지 않은 목재에 도포한 후 장기간 건조과정으로 인해 목타르로 도포된 수피부가 목질부와 떨어지면서 생긴 틈으로 부후균의 침입에 의한 열화로 다른 시료에 비해 세포벽이 많이 붕괴된 것으로 생각된다. 또한 침

엽수재에 피해를 많이 입히는 갈색부후균 중에 *Coniophora puteana* 와 같은 균은 목타르의 주성분인 크레오소트에 강한 저항성을 가지고 있는 것으로 알려지고 있어(Shin, 2003), 이러한 균들에 의한 열화로 생각된다. 목재의 열화는 적절한 온도와 수분, 산소 등의 주요 요인에 진행된다(Shin, 2003). 따라서 토사에 매립한 목재는 토양이 곰팡이가 활동

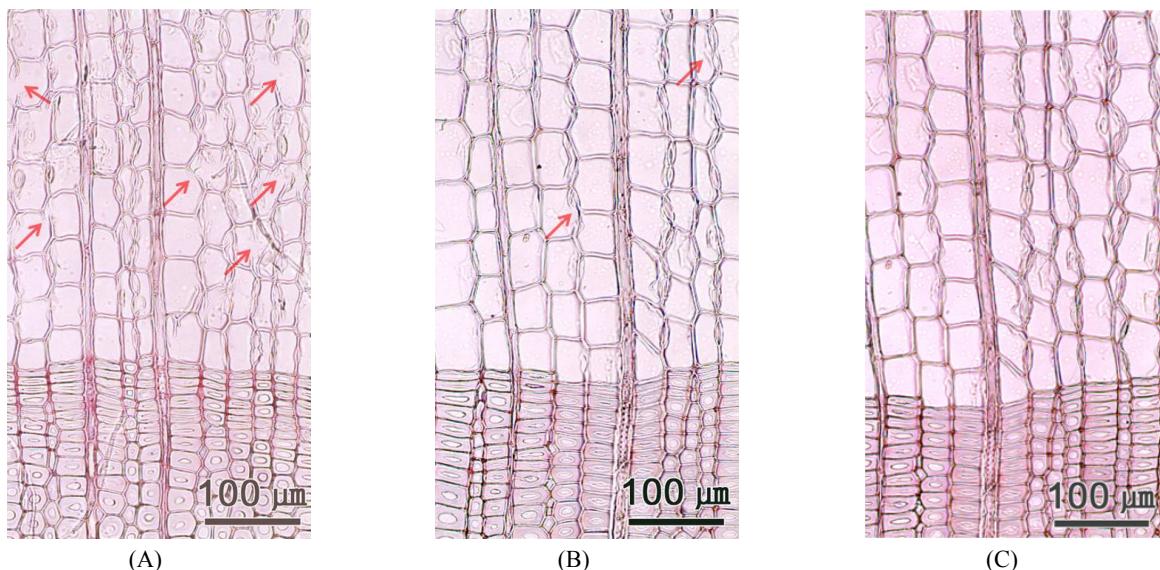


Fig. 4. Optical micrographs of the cross section of buried wood under ground
(A) Wood tar, (B) Untreated, (C) Wood vinegar

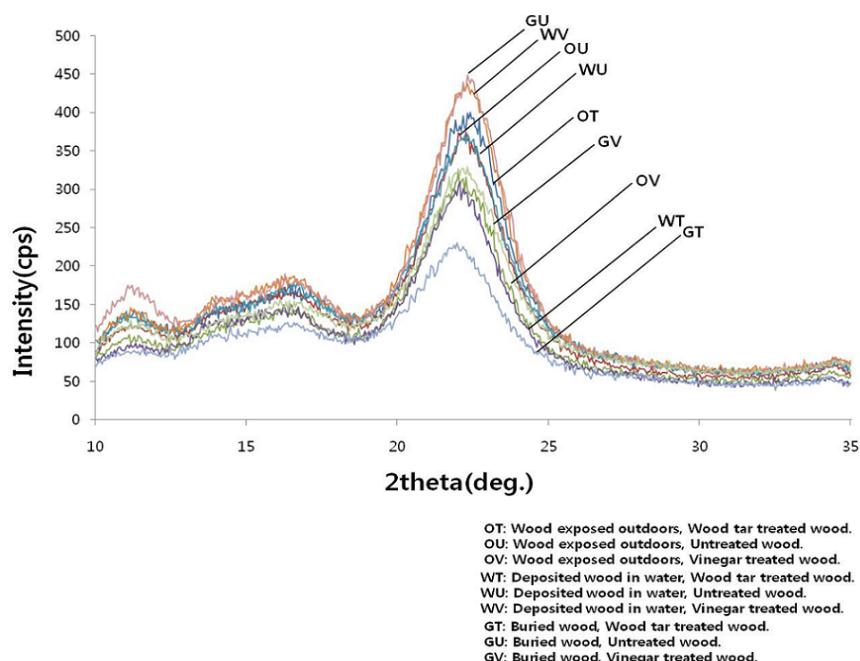


Fig. 5. X-ray diffractograms of each sample

하기에 적합한 환경형성이기 때문에 다른 조건에 비해 열화가 더 진행된 것으로 판단된다. 그러나 물에 침적시킨 경우는 산소가 적은 환경이고, 야외폭로는 목재 주변의 온도환경이 주변의 통기성에 의해 미생물의 번식범위와 속도를 억제할 수 있고, 열화피해를 지연시키는 것으로 생각된다.

상대결정화도 분석

Fig. 5는 각 처리재에 대한 X선 회절강도곡선을 나타낸 것이다. X축은 X-선 입사각도를 나타내고 Y축은 intensity, 즉, 회절성의 강도를 나타낸 것이다.

결정형 섬유소를 나타내는 002면($2\theta=22.8^\circ$)에서의 peak 강도는 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 야외폭로한 목타르처리 재가 가장 강한 회절면의 강도를 나타낸 반면, 토사매립한 목타르 처리재가 가장 약한 회절면 강도를 보여주었다.

Table 1은 각 수종에 대한 상대결정화도를 나타낸 결과이다. 상대 결정화도는 목재 세포벽 중의 셀룰로오스의 결정성 비율을 의미하는 것으로서 밀도, 경도 등의 성질에 미치는 영향을 크다고 보고되고 있다(Lee, 1961; Parresol et al., 1998). 상대결정화도는 야외폭로한 목타르처리재와 토사매립한 무처리재가 63%로 가장 높게 나타났고, 토사에 매립한 목타르도포재가 46%로 가장 낮게 나타났다. Choi 등(1992)에 의하면 갈색부후균에 의한 목재부후시 셀룰로오스의 상대결정화도의 변화를 X선 회절법을 이용하여 측정한 결과, 부후 초기 단계에서는 상대결정화도가 증가하고 부후가 진행됨에 따라 상대결정화도가 감소하였다. 이것은 비결정성 셀룰로오스의 분해율이 결정성셀룰로오스의 분해율보다 훨씬 높기 때문에 비결정성셀룰로오스가 분해되는 균중에 따라 결정성 셀룰로오스의 분해능의 차이를 나타낸

다고 보고하였다. 따라서 본 실험결과에서 토사에 매립한 목타르도포재의 상대결정화도가 가장 낮은 것은 다른 시료에 비해 많은 부후 진행으로 높은 셀룰로오스 분해율에 기인하는 것으로 사료된다.

결 론

본 연구에서 목타르와 목초액으로 처리하여 장기간 야외폭로, 토사매립, 물침적의 환경조건하에서 방치한 낙엽송재의 weathering특성을 관찰한 결과는 다음과 같다.

광학현미경에 의해 관찰한 결과, 부후균에 의한 열화로 주로 조재부 세포벽이 붕괴되었다. 이것은 목타르 도포재를 토사에 매립한 경우에서 많이 관찰되었다. X선회절법에 의한 상대결정화도로 열화의 정도를 측정한 결과, 야외폭로한 목타르 도포재와 토사매립한 무처리재가 63%로 가장 높게 나타났고, 토사에 매립한 목타르도포재가 46%로 가장 낮게 나타났다.

이와 같은 연구결과에서 목초액과 목타르로 처리한 낙엽송재를 다양한 환경조건에 노출시켜 열화의 정도를 분석한 결과, 사용장소와 환경조건 등에 따라 다르겠지만, 목재의 내구성 증진에는 목타르를 이용하는 것보다 목초액을 이용하는 것이 효과적인 것으로 사료된다. 또한 일반적으로 목재의 생물열화는 광학현미경을 이용하여 열화에 의한 목재조직구조의 변화를 관찰하여 평가한다. 그러나 본 연구에서는 광학현미경에 의한 조직구조 관찰과 비파괴법인 X선회절법을 이용하여 분석한 상대결정화도로 정량적으로 열화의 정도를 비교함으로써 좀 더 정확한 목재 열화를 평가할 수 있는 기초적 자료를 제공하는 계기가 되었다.

Table 1. Relative crystallinity of each sample

(unit : %)

	Sample	Crystallinity
Outdoor exposure of wood	Wood tar treated wood	63
	Untreated wood	60
	Wood vinegar treated wood	60
Deposited wood in water	Wood tar treated wood	55
	Untreated wood	60
	Wood vinegar treated wood	55
Buried wood under ground	Wood tar treated wood	46
	Untreated wood	63
	Wood vinegar treated wood	59

인용문헌

- Bak, W.C., Lee, B.H., Ka K.H., Cho, T.S., Lee, H.J., Lee, S.S., Kim, M.K., and B.J. Cha. 2006. Control of diatrype stigma occurred on the bed-log of shiitake using wood vinegar, Plant Extracts and Fungicides. *The Korean Journal of Mycology* 34(1): 22-28.
- Choi, J.H., Han, O.S., and Y.S. Kim. 1992. X-ray diffractional and IR spectral Characteristics in brown-rotted woods decayed by *T.palustris* and *G. trabeum*. *Mokjae Konghak* 20(3): 50-60.
- Hwang, B.H., Cho, J.H., and Y.S., Bae. 2002. Component analysis of major softwood and hardwood vinegars. *J Kor. For. En.* 21(2) : 69-76.
- Kim, J.S., Park, S.W., Choi, J.H., Lee, E.Y., Lee, S.H., and S.K., Chung. 2005. Volatile substances and physicochemical characteristics of pyroligneous liquor. *Korean J Food Preserv* 12(6): 656-661.
- Lee, C.L. 1961. Crystallinity of wood cellulose fibers studies by X-ray method. *Forest Product Journal*. 11(2): 108-112
- Lee, K.M., Jeong, G.T., and D.H., Park. 2004. Study of antimicrobial and DPPH radical scavenger activity of wood vinegar. *Korean J Biotechnol. Bioeng.* 19(5): 381-384.
- Park, S.B., Kim, S.W., Park, B.D., Han T.H., Kang, E.C., Park, J.Y., and S.P., Mun. 2005. Adhesive properties of phenol resin adhesive mixed with wood tar. *J Kor. For. En.* 24(1): 33-38.
- Parresol, R., R. Bernard, and C. Fuliang. 1998. An investigation of crystalline intensity of wood of poplar clones grown in Jiangsu Province, China. *Res. Pap. SRS-11*, Asheville, NC : U.S Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. p. 7,
- Seo, K. I., Ha, K. J., Bae, Y. I., Jang, J. K., and K. H., Shim. 2000. Antimicrobial activities of oak smoke flavoring. *Korean J Postharvest Sci. Technol* 7(3): 337-341.
- Shin, D.S. 2003. Preservation of wood, Seoul National University Press.
- Soltes E.J. and T.J. Elder. 1980. Pyrolysis, in organic chemicals from biomass, ed. I.S. Goldenstein, CRC Press, Boca raton. pp73-81.

(Received January 6, 2011, Accepted April 25, 2011)