

고온수증기 처리에 의한 낙엽송재의 물성변화*1

김정환*2 · 이원희*2†

Physical Properties of Larch(*Larix kaemferi* Carr.) Treated by High Temperature Steaming*1

Jung-Hwan Kim*2 · Weon-Hee Lee*2

요 약

본 연구에서는 낙엽송재(*Larix kaemferi* Carr.)를 대상으로 100℃부터 130℃까지의 고온영역에서 10℃ 간격으로 처리시간을 10분, 30분, 60분간으로 하여 수증기처리 후 처리재의 물리적 특성 등을 검토하였으며, 오토클레이브를 사용 처리하였다. 휨강도와 압축강도는 처리온도의 증가에 따라 약간씩 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 수증기처리한 목재강도와 처리온도 사이에는 명확한 결과가 나타나지 않았다. 120℃에서 130℃의 온도범위에서 세포벽 내의 성분과 조직이 변화하는 것으로 생각되는데, 이것은 응력의 해소에서 기인되는 것으로 생각되었다. 수분흡수성은 고온수증기처리조건에 의한 변화가 없는 것으로 나타났다. 결론적으로 본 실험의 범위에 있어서 목재의 물성은 처리 온도조건보다는 목재밀도의 영향을 많이 받고 있는 것으로 판단되었다.

ABSTRACT

This study deals with physical properties of Larch(*Larix kaemferi* Carr.) treated by steaming at temperatures above 100℃. Treatment conditions of this experiment were operated at regular intervals of 10℃ at temperature up to 130℃ for 10, 30 and 60 minutes by using the auto-clave. The Bending strength and compressive strength along the grain were slightly decreased with increasing the treating temperatures. There was no significant relations between wood strength and steaming temperatures. At the range from 120℃ to 130℃ of steaming temperature, it was considered that the change of composition and structure in cell wall was changed due to release of stresses. Water absorption characteristics were not affected by steaming temperature.

*1 접수 2001년 10월 16일, 채택 2002년 2월 19일

이 논문은 2001년도 한국과학재단 목적기초연구 "열처리가공에 의한 목재의 치수안정화개선에 관한 연구"의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

*2 경북대학교 임학·임산학과, Department Group of Forestry and Wood Science & Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea.

† 주저자(corresponding author) : 이원희 (e-mail: lovewood21@hanmail.net)

In this experiment limits, it was concluded that physical properties of wood by steaming treatment were affected more largely by wood density than by treating temperature.

Keywords: High temperature steaming, Bending strength, Compressive strength, Water absorption

1. 서 론

최근 목재 또는 목질재료에 대하여 고온·고압에서의 가공처리에 의한 새로운 기능성 소재의 개발이 전세계적으로 활발히 진행되고 있다.

목재의 치수안정화를 위한 기존의 수지처리 또는 소수성기의 치환 등과 같은 화학적인 처리방법은 고비용과 환경오염 등의 문제를 발생시킬 수 있으나, 열을 이용한 물리적 처리방법이 이루어진다면 이러한 단점을 극복할 수 있을 것으로 생각되며, 열처리에 의하여 목질재료의 가공 전·후에 있어서 고도의 치수안정화가 이루어진다면 관련산업의 발전에 크게 도움이 될 것으로 기대된다.

이미 열처리가 목재 및 목질재료에 미치는 영향에 관한 많은 보고가 있으며, 열압밀화재의 수증기처리 등의 열처리기술은 생산현장에서 이용되고 있는 것으로 알려져 있다. 열처리에 관한 기존의 대표적인 연구 결과를 살펴보면 다음과 같다. 목재는 열처리에 의하여 치수안정성이 증가(M. Makinaga 등, 1997)하며, 변형의 연구고정은 가열처리시간과 열처리 온도에 따른다(W. Dwianto 등, 1999). 열처리에 의하여 치수안정성이 증가하면 휨탄성계수는 커진다(J. A. Santos, 2000). 이와 같이 변형의 연구고정이 열처리에 의하여 가능하다는 것은 지금까지의 연구결과를 통하여 알 수 있었지만, 변형의 연구고정 메카니즘에 관한 연구는 아직 추정만 하고 있는 극히 초보적인 단계에 있다고 할 수 있다.

본 연구에서는 낙엽송재를 연구재료로 이용하였는데, 선화목리라는 수종특성 때문에 국산 어느 수종보다도 치수안정성이 크게 문제시되고 있는 목재소재라고 할 수 있어 실용화를 위한 연구의 일환으로 실험을 진행하였다. 낙엽송재는 치수안정성 문제만 개선된다면 단순한 부재로서의 용도보다 고부가 판재 등으로 그 용도를 확대시켜 이용할 수 있는데, 본 연구는 국

산 낙엽송(*Larix kaemferi* Carr.)재를 이용하여 열처리방법 중 수증기처리법만을 이용한 재료의 치수안정화 개선 및 치수안정화에 관한 기초적 지식을 얻기 위한 연구로써 고온수증기처리에 의한 낙엽송재의 강도 변화와 흡수특성에 대하여 알아보았다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구의 공시재료는 낙엽송(*Larix kaemferi* Carr.)재를 사용하였으며, 제재목의 비중은 0.55(±0.1), 평균연륜폭은 5.6 mm이었다. 이 재료를 이용하여 휨강도, 종압축강도 및 흡수성 시험편을 제작하였다. 휨강도 시험편은 150 mm(섬유)×10 mm(방사)×10 mm(접선)이고, 압축강도 시험편과 흡수성 시험편은 20 mm(섬유)×20 mm(방사)×20 mm(접선)으로 제작하였다. 모든 시험편은 심재부만을 이용하여 각각의 실험을 위한 시험편을 제작하였다. 이렇게 제작한 시험편을 20℃, 상대습도 80%의 항온항습실에서 조습처리하여 실험에 사용하였다. 이때 조습처리된 시험편의 평형함수율은 평균 17%였다.

2.2. 수증기 처리

오토클레이브를 이용하여 온도 100℃, 110℃, 120℃, 130℃의 4조건과 처리시간 10분, 30분, 60분의 3조건으로 고온수증기처리 하였다. 이때 각 조건별로 5개씩의 시험편을 사용하였다.

각각의 실험조건에서 고온수증기처리된 시험편은 다시 20℃, 상대습도 80%의 항온항습실에서 충분히 조습처리하여 수분평형에 이르게 하였고, 고온수증기처리 전과 처리 후의 시험편 비교실험은 주어진 온·습도

조건에서 평형함수율에 도달한 상태에서 이루어졌다.

2.3. 강도 및 흡수성 실험

고온수증기처리를 한 후 수분평형에 이른 시편을 만능강도시험기(HOUNSFIELD TEST EQUIPMENT LTD, H50K-S)를 이용하여 휨강도와 압축강도를 측정하였다. 휨강도 시험의 스펠간격은 150 mm이며, 두 시험 모두 하중속도는 3 mm/min이었다.

흡수성 실험은 시편을 25℃ 항온수조에 24시간 동안 횡단면이 수면과 평행하게 하고, 수면으로부터 50 mm 침지하여 중량을 수회에 걸쳐 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 고온수증기 처리 후 시험편의 함수율과 중량 변화

고온수증기 처리 직후 시험편의 외관상 변화는 나타나지 않았다. Fig. 1에는 고온수증기처리 후의 전건중량을 기준으로 고온수증기처리 전·후의 평형함수율을 정리하여 나타내었다. 여기서 고온수증기 처리 전·후를 서로 비교하면 평형함수율과 중량이 달라졌는데, 평형함수율은 Fig. 1에서 나타나듯이 130℃, 60분간 처리를 제외한 전 실험범위에서 고온수증기 처리 후 평형함수율이 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 고온의 수증기 처리에 의하여 수분의 유동이 잘 이루어져서 나타나는 현상으로 판단된다. 처리 조건 130℃, 60분에서는 고온수증기처리 전의 함수율보다 처리 후의 함수율이 낮아졌는데, 이것은 고온수증기처리에 의하여 셀룰로오스나 헤미셀룰로오스 등이 열분해되어 시편의 흡수성이 저하하였기 때문으로 판단된다. 여기서 고온수증기처리 전의 함수율을 계산함에 있어서 실험의 어려움으로 고온수증기처리 후의 전건중량을 기준으로 평형함수율을 산정하였기 때문에 고온수증기처리 전의 평형함수율에 대한 논의는 제외하였다. 고온수증기처리 후의 평형함수율을 전체적으로 살펴보면, 항온흡습실에서의 고온수증기처리

전 함수율이 약 17%인 점을 생각할 때 고온수증기처리에 의한 평형함수율이 전체 실험범위에서 약 18%의 값을 나타내어 1% 정도의 증가가 있는 것으로 나타났다. 이 결과에서 주목할 사항은 130℃, 60분 처리에 있어서는 열분해량이 많은 것으로 생각되었으며 앞으로 130℃ 이상의 범위에서 실험을 해야 할 것으로 판단되었다.

Table 1에서는 고온수증기처리 후의 중량감소량을 나타내었다. 표에 나타나듯이 130℃, 60분 처리조건을 제외한 전 실험범위에 있어서 고온수증기처리 전과 처리 후의 중량을 비교하면 고온수증기처리 후에 증가하고 있는 것으로 나타났다. 고온수증기처리 후의 중량증가현상은 처리에 의하여 시편내부의 성분이 빠져나갔기 때문에 시편의 중량이 감소할 것이라는 예상과는 다르게 나타난 현상이다. 이것은 시편내부의 화학성분이 빠져나간 양 이상으로 수분이 더 원활하게 유동하기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 130℃, 60분 처리의 경우 중량이 고온수증기처리 전에 비하여 줄어든 것을 관찰할 수 있는데, 이것은 고온수증기 처리에 의하여 시편의 흡수량이 줄어든 것으로 판단된다.

Fig. 1과 Table 1에서 130℃, 60분 처리조건의 경

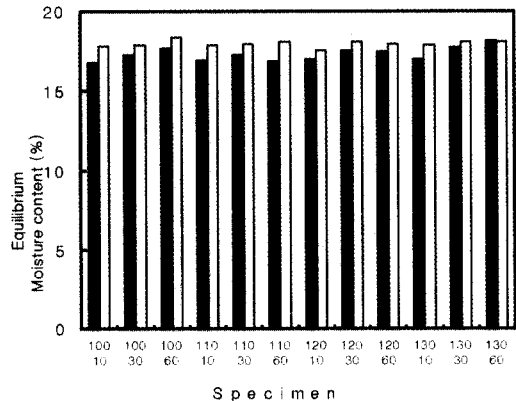


Fig. 1. Changes of equilibrium moisture content before and after high temperature steam treatment (Legend: ■, before steaming; □, after steaming. These data were calculated by oven-dry weight after high temperature steam treatment).

Table 1. Rate of weight reduction after heat treatment.

Item of heat treatment	Rate of weight reduction (%)
100℃ 10 min	-0.87
100℃ 30 min	-0.56
100℃ 60 min	-0.56
110℃ 10 min	-0.81
110℃ 30 min	-0.61
110℃ 60 min	-0.91
120℃ 10 min	-0.46
120℃ 30 min	-0.52
120℃ 60 min	-0.44
130℃ 10 min	-0.79
130℃ 30 min	-0.13
130℃ 60 min	0.08

* Rate of weight reduction(%) = $\frac{\text{before steaming} - \text{after steaming}}{\text{before steaming}} \times 100$

우 고온수증기처리 전에 비하여 처리 후에 함수율이 더 낮아지고, 중량이 미세하게 감소하는 것으로 나타났는데, 이것은 이 조건에서부터 고온수증기 처리가 시편의 수분확산에 영향을 미치기 시작하는 것으로 판단된다.

3.2. 고온수증기처리재의 특성변화

3.2.1. 휨강도

Fig. 2에서는 무처리재와 각 온도에서 10분 고온수증기처리재의 휨강도와 밀도의 관계를 나타내었다. 각각의 온도에서 10분 동안 처리한 시편은 고온수증기 처리에 의한 영향보다는 목재밀도의 영향을 더 많이 받는 것으로 판단된다. 하지만 어느 정도는 무처리재에 비하여 처리 온도가 올라갈수록 같은 밀도범위에서 강도가 약해지는 경향을 나타내었다.

Fig. 3에서는 무처리재와 각 온도에서 60분 처리재의 휨강도와 밀도의 관계를 나타내었다. 각 온도에서 60분간 처리재의 경우도 10분간 처리재와 마찬가지로 고온수증기 처리에 의한 영향이 나타나는 경향은 있지만 목재의 밀도에 의한 영향이 더 큰 것으로 나타

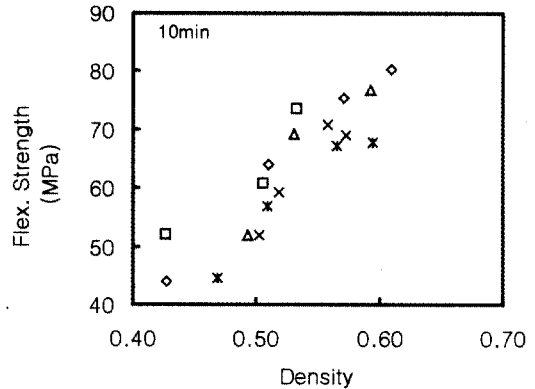


Fig. 2. Relationship between flexural strength and density of heat treatment for 10 min(Legend: ◇, control; □, 100℃; △, 110℃; ×, 120℃; *, 130℃).

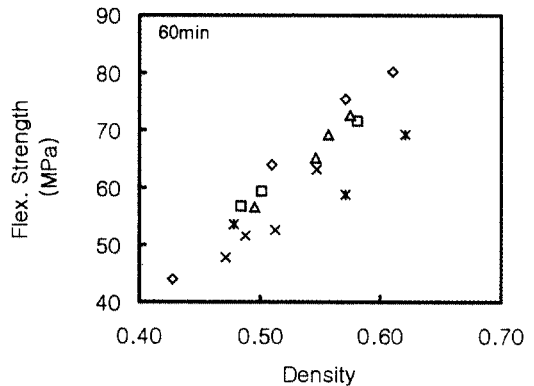


Fig. 3. Relationship between flexural strength and density of heat treatment for 60 min(Legend: ◇, control; □, 100℃; △, 110℃; ×, 120℃; *, 130℃).

났다. 그러나 130℃, 60분간 처리재의 경우 높은 밀도임에도 불구하고 강도가 낮게 나타나는 것을 관찰할 수 있다. 이것은 이 조건에서 고온수증기 처리에 의한 시편의 강도저하가 눈에 띄게 나타나기 시작하는 것으로 판단된다.

Fig. 4과 5는 각각 무처리재와 각각의 처리온도에서 10분간 처리재와 60분간 처리재의 휨탄성계수를 밀도에 대하여 나타내었다.

Fig. 4의 각 온도에서 10분간 처리재는 고온수증기

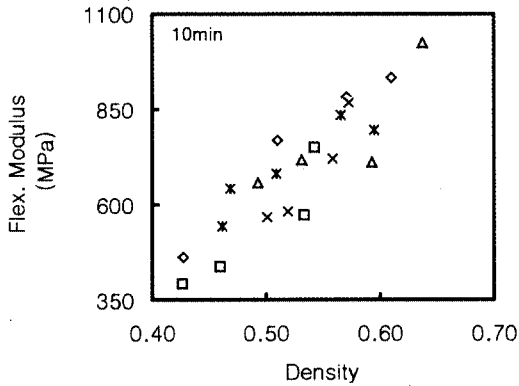


Fig. 4. Relationship between flexural modulus and density of heat treatment for 10 min(Legend: ◇, control; □, 100°C; △, 110°C; ×, 120°C; *, 130°C).

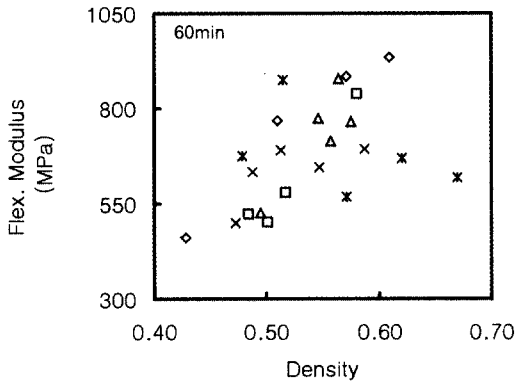


Fig. 5. Relationship between flexural modulus and density of heat treatment for 60 min(Legend: ◇, control; □, 100°C; △, 110°C; ×, 120°C; *, 130°C).

처리에 의한 휨탄성계수의 변화는 적게 나타났고 밀도에 의한 영향이 주로 나타나고 있다. 또한 고온수증기 처리에 의하여 각 밀도범위에서 처리온도가 높아질수록 탄성계수가 조금 높게 나타나는 것이 관찰된다.

Fig. 5의 각 온도에서 60분간 처리재는 Fig. 4와 마찬가지로 밀도의 영향이 고온수증기 처리의 영향보다 크게 나타나고 있지만, 130°C 처리재의 경우 휨탄성계수가 밀도에 상관없는 경향이 관찰되었다.

본 연구의 실험범위에서 고온수증기 처리재의 휨강

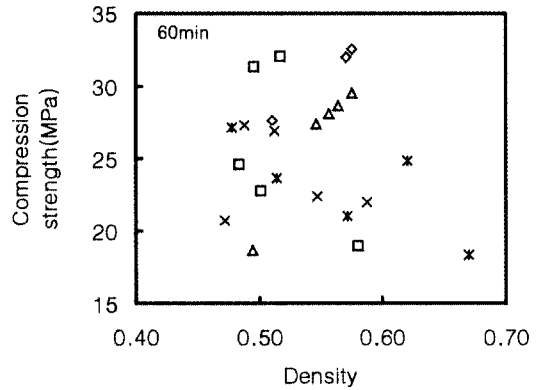


Fig. 6. Relationship between compression strength and density of heat treatment for 60 min(Legend: ◇, control; □, 100°C; △, 110°C; ×, 120°C; *, 130°C).

도와 휨탄성계수는 고온수증기 처리에 의한 영향보다는 밀도의 영향이 더 크게 작용하는 것으로 나타났다. 이것은 일정온도에 도달하기 전까지는 고온수증기 처리에 의한 휨강도의 저하가 크지 않다는 것을 의미하는 것으로 판단되었다.

3.2.2. 압축강도

Fig. 6과 7에서는 각각 무처리재와 각 온도에서 60분간 고온수증기 처리재의 압축강도와 압축탄성계수를 밀도에 대하여 나타내었다.

Fig. 6에서 무처리재의 압축강도가 밀도에 비례하는 것에 반해 고온수증기 처리재의 압축강도는 전체적으로 밀도에 상관없는 것으로 나타났다. 같은 밀도범위에서 압축강도를 비교할 때, 처리 온도에 의한 영향도 나타나지 않았다. 그러나 처리온도별로 압축강도를 살펴보면, 100°C 처리재는 밀도와 연관성이 없어 보이며, 110°C에서는 밀도와 정비례하다가 120°C로 처리온도가 상승함에 따라 밀도증가와 더불어 완만한 증가를 보였으며, 이어 130°C 처리에서는 밀도와 반비례하는 관계를 나타내었다. 따라서 120°C와 130°C 처리온도범위에 있어서 압축강도에 영향을 미치는 목재 내 어떤 조직이나 성분의 변화가 있는 것으로 판단되었다.

Fig. 7에서 무처리재의 압축탄성계수는 밀도에 비

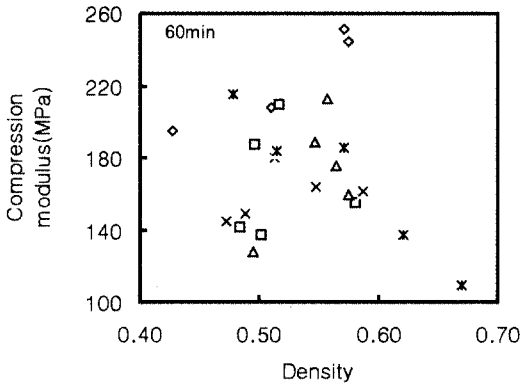


Fig. 7. Relationship between compression modulus and density of heat treatment for 60 min(Legend: ◇, control; □, 100°C; △, 110°C; ×, 120°C; *, 130°C).

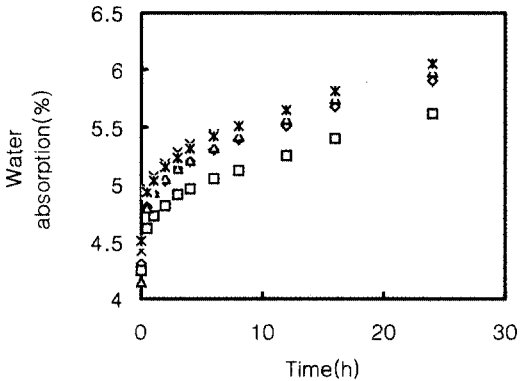


Fig. 8. Relationship between water absorption and absorption time of steaming treatment wood(Legend: ◇, control; □, 100°C; △, 110°C; ×, 120°C; *, 130°C).

례하는 것을 관찰할 수 있지만, 고온수증기처리재의 압축탄성계수는 밀도에 비례하지 않고 온도의 영향도 나타나지 않았다. 따라서 고온수증기처리재의 압축강도와 압축탄성계수는 시편의 밀도와는 상관없이 시편의 연륜수와 방향성에 영향을 받고 있는 것으로 판단되었다. 그러나 처리온도별로 살펴보면 100°C, 110°C에서는 편차가 크게 나타났으며 120°C에서는 밀도의 증가에 따라 완만한 증가를 나타내었다. 또한 130°C에서는 특이하게도 압축탄성계수는 밀도와 반비례하

는 관계를 나타내어 밀도가 클수록 열처리온도의 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

3.2.3. 흡수성

Fig. 8에서는 고온수증기처리재의 시간에 따른 흡수성능을 나타내었다. 무처리재와 비교하여 고온수증기처리재의 흡수성능은 크게 차이가 나지 않았다. 이것은 본 실험범위에 있어서 고온수증기처리에 의하여 시편의 흡수성능이 낮아지는 것이 아닌 것으로 판단된다. 본 연구의 실험온도범위 내에서는 흡수성능은 무처리재와 같은 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구의 결과, 100°C부터 130°C의 고온수증기 처리는 재료의 강도와 흡수성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 130°C, 60분 처리재의 흡수율이 낮게 나타나는 것은 시편의 표면흡수성이 저하된 것으로 판단되었다.

힘강도에 있어서는 처리온도의 증가에 따라 무처리재에 비해 고온수증기처리재의 강도는 같은 밀도범위에 있어서 낮아지는 경향이 있었다. 압축강도 역시 처리온도에 따른 일정경향은 보이지 않았지만, 120°C와 130°C 온도범위에 있어서 강도에 영향하는 목재 내 성분이나 조직변화가 있는 것으로 판단되었다. 그러나 힘강도와 압축강도 모두에 있어서 수증기처리온도의 영향보다는 처리에 의한 목재의 밀도변화가 강도에 더 큰 영향을 나타내는 것을 알 수 있었다.

본 연구의 실험범위를 초과하여 고온수증기 처리를 했을 때, 본 연구의 결과와 마찬가지로 강도의 변화는 거의 없고 흡수성능은 낮아지는 조건을 찾아낸다면 치수안정성이 향상된 재료의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. A. Uhmeier, T. Morooka, and M. Norimoto. (1998) Influence of thermal softening and degradation on

- the radial compression behavior of wet spruce. *Holzforschung* 52: 78~81.
2. J. A. Snatos. (2000) Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. *Wood Science and Technology* 34: 34~43.
 3. Kideaki, K., Kimihiro, U., and Takuji, E. (1999) Dimensional stability and strength properties of particleboard produced by a closed-press system, *J. Wood Sci* 45: 402~410.
 4. M. Makinaga, M. Norimoto, and M. Inoue. (1997) Permanent fixation of bending deformation of wood by steam treatment, Wood Research Institute. Kyoto University 84: 39~41.
 5. M. Norimoto, C. Ota, H. Akitsu, and T. Yamada. (1993) Permanent fixation of bending deformation in wood by heat treatment, Wood Research Institute. Kyoto University 79: 23~33.
 6. W. Dwianto, T. Morooka, M. Norimoto, and T. Kitahima. (1999) Stress relaxation of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) wood in radial compression under high temperature steam. *Holzforschung* 53: 541~546.
 7. W. Dwianto, M. Inoue, and M. Morimoto. (1998) Permanent fixation of compressive deformation of ALBIZIA wood(*Paraserienthes falcata*) by heat treatment. *Journal of Tropical Forest Products* 4(1): 59~67.
 8. W. Dwianto, F. Tanaka, M. Inoue, and M. Norimoto. (1996) Crystallinity Changes of wood by heat or steam treatment. Wood Research Institute, Kyoto University 83: 47~49.