

대나무 Zephyr 보드의 제조에 있어서 열압시간과 열압온도가 보드성능에 미치는 영향*¹

정 기 호*^{2†} · 김 유 정*² · 노 정 관*³ · 박 상 진*²

Effect of Hot-Pressing Time and Temperature on Properties of Bamboo Zephyr Boards*¹

Ki-Ho Jung*² · Yu-Jung Kim*² · Jeang-Kwan Roh*³ · Sang-Jin Park*²

요 약

본 연구에서는 대나무 Zephyr 보드에 있어서 열압조건이 보드의 성능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 다양한 열압시간과 열압온도를 적용하여 보드(목표밀도 0.7 g/cm³, 400×400×12 mm)를 제조하고 그 기본적인 물성을 비교, 검토해 보았다. 제조된 보드는 KS F 3104와 KS F 3113에 준하여 성능평가를 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

보드의 상태 휨강도는 열압조건에 관계없이 전반적으로 상당히 높은 값을 나타내었으며 그 중 span에 대한 평행 방향에 있어서는 열압온도 160℃에서 12분 동안 열압하여 제조한 보드가 가장 높은 강도를 보였다. 보드의 박리강도 시험에서는 모든 열압시간에서 열압온도가 높을수록 상대적으로 더 높은 값을 나타내었으며, 그 결과 200℃에서 압체된 보드가 가장 높은 강도를 보였다. 보드의 습윤 휨강도 시험에서는 총 열압시간 12분과 10분일 때 각각 160℃와 180℃의 온도에서 제조된 보드가 상대적으로 높은 강도를 나타내었다. 더욱이, 200℃에서 8분 동안 열압하여 제조한 보드의 경우 상태 휨강도에 거의 육박하는 가장 높은 습윤 휨강도를 보였다. 두께 팽창율 시험에서는 모든 보드에서 전반적으로 6% 미만의 낮은 값을 나타내어 높은 치수안정성을 가지는 것을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this research, in order to investigate the effect of hot-pressing condition, properties of bamboo zephyr boards (target density 0.7 g/cm³, 400×400×12 mm) produced by different hot-pressing time and

*¹ 접수 2002년 2월 6일, 채택 2002년 9월 7일

*² 경북대학교 임산공학과 Wood Science and Technology, College of Agriculture, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

*³ 진주산업대학교 임산공학과 Chinju National University, Chinju 660-758, Korea

† 주저자(corresponding author) : 정기호(e-mail: gyverj@hotmail.com)

temperature were compared through Korean Standard(KS) F 3104 and F 3113, and the results were summarized as follows:

All of the boards had comparatively high values in bending properties (MOR, MOE) irrespective of hot-pressing condition, and the boards hot-pressed by 160°C and 12 min showed the highest strength in parallel direction of board-surface to span. Internal bond (IB) strength of the boards generally increased with the increase of hot pressing temperature. Boards produced by hot pressing temperature and time of 160°C and 12 min and 180°C and 10 min exhibited relatively higher wet-bending strength. Thickness swelling (TS) of all the boards showed good dimensional stability of 6% or less.

Keywords: bamboo zephyr board, hot-pressing time, hot-pressing temperature, bending properties (MOR, MOE), Internal bond (IB) strength, wet-bending strength, thickness swelling (TS)

1. 서 론

목질계 판상재료의 제조조건은 원료의 종류와 형상에 따라 달라지며 제조된 보드의 물성에서도 많은 차이를 나타내게 되는데, 이것은 비목질계 자원을 원료로 사용하는 경우 더 크게 나타날 것으로 여겨진다.

일찍이 저질의 목재를 이용하기 위한 Zephyr의 제조 방법에 관한 연구는 Kim과 Okuma^{1,2)} 등에 의해서 많이 이루어졌으며, 그 결과 목질계 자원을 원료로 한 Zephyr 보드의 제조와 물성에 관한 많은 연구결과가 보고되었다.

한편, 본 연구에서는 비목질계 자원인 대나무를 원료로 하여 Zephyr를 제조하였으며, 대나무 Zephyr의 경우 대나무 자체의 원료 특성과 제조된 Zephyr의 특성으로 인해 우수한 보드의 물성을 얻기 위해서는 보드 제조조건에 검토가 반드시 고려되어야 할 것이다.

즉, 대나무 줄기의 내외층간의 높은 밀도차, 유관속초의 높은 밀도, 낮은 열전도도, 최외층에 존재하는 wax층 등 대나무의 고유 특성과 함께 이를 원료로 하여 제조된 높은 할렬성을 가진 긴 섬유다발의 Zephyr의 특성상 기존의 목질계 원료와는 많은 차이점을 가지게 된다.

이것은 김 등⁵⁾의 연구에서 대나무 Zephyr의 형태적 특성이 일반 목질계 원료와는 많은 차이를 나타내고 있음을 잘 보여주고 있다. 또한, 이 등⁶⁾의 연구에서는 원료로 사용된 대나무 chip이 일반 목질계 원료와는 많은 차이가 있음을 잘 나타내고 있다.

이러한 원료의 특성들은 보드 제조시 열압과정에서 보드의 물성에 영향을 미치는 중요한 인자들로 작용하게 될 것이다. 그리고 대나무의 낮은 열전도율은 보드의 접착 강도에 많은 영향을 미칠 것이다.

그러므로, 다양한 열압 스케줄을 적용하여 보드를 제조한 후 물성을 평가해 봄으로써 대나무 Zephyr 보드의 최적 물성을 얻기 위한 효율적인 열압조건을 선정할 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 대나무 Zephyr 보드에 있어서 여러 가지 열압조건을 적용하여 제조한 보드의 물성을 비교해 봄으로써 열압조건이 보드의 물성에 미치는 영향을 검토하였으며 아울러 최적의 열압조건을 구명하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험재료

본 실험에 사용된 재료는 평균 흉고직경이 10 cm 정도인 경북 칠곡산 4년생 솜대(*Phyllostachys nigra* var. *henonis* STAPP)로써 각각 1 m의 길이로 절단하고 생재상태에서 할죽기로 6등분한 다음 Zephyr 제조 장치의 롤러 간격을 1.5 mm로 하여 Zephyr를 제조하였다. 제조된 Zephyr는 건조기에서 함수율 3% 이하가 되도록 건조하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 보드 제조

제조된 Zephyr는 폐늘수지 접착제(대성목재(주), 수지율 42%)를 사용하여 합지율 10%가 되도록 물러를 이용하여 양면 도포를 한 다음 성형하였다. 성형시 보드의 적층방법은 각 층간에 Zephyr의 섬유방향이 직교하도록 하였으며, 심층을 중심으로 대나무의 외측 부분이 바깥으로 가도록 배치하여 5층 보드를 제조하였다. 그리고 층내에서는 Zephyr의 마디 부분을 서로 분산시켜 배열하였다.

보드의 열압제 방법은 최대압력 25 kgf/cm²로 하여 3단 압제법(25 ⇒ 10 ⇒ 5 kgf/cm²)을 적용하였는데 열압시간에 따라 단계별로 압제압력을 낮추어 주었다.

본 실험의 열압조건으로서는 열압시간과 열판의 온도를 각각 달리하여 보드를 제조하였다.

단계별에 따른 총 열압시간은 12분(5 ⇒ 4 ⇒ 3 min), 10분(5 ⇒ 3 ⇒ 2 min), 그리고 8분(4 ⇒ 3 ⇒ 1 min)으로 하였다. 열압온도에 따른 보드의 제조에서는 각각 열압온도를 140, 160, 180, 그리고 200℃의 4종류를 적용하였다. 보드의 크기는 400×400×12 mm로 하였으며 목표밀도는 0.7 g/cm³이었다.

2.2.2. 시험보드의 재질평가

제조된 보드의 성능평가는 20℃, RH 65%의 항온항습실에서 2주일 이상 조습한 후 파티클보드 품질 검사 기준인 KS F 3104³⁾와 구조용 합판 품질 검사 기준인 KS F 3113⁴⁾에 준하여 실시하였다.

보드의 강도성능 평가는 만능강도 시험기(UTM, model : H5OKS)를 이용하여 상태 휨 시험(modulus of rupture : MOR, modulus of elasticity : MOE)과 박리강도(IB : internal bonding strength) 시험을 하였다. 휨 시험편은 표층 Zephyr의 섬유방향이 span방향에 평행한 것과 직교하는 것의 2종류의 것을 이용하였다.

보드의 내수성 평가를 위해 습윤시 휨 시험과 두께 팽창을 시험을 하였다.

습윤시 휨시험은 'KS F 3104³⁾ 습윤시 휨 강도 B시

험법'에 따라 2시간 자비, 1시간 상온수 침지방법을 따랐다. 또한, 두께 팽창을 시험은 마이크로미터로 두께를 측정후 20±1℃의 증류수에 24시간 침지하여 팽창된 두께를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 보드의 강도성능

3.1.1. 보드의 상태 휨 강도

Fig. 1과 2는 각각 열압온도와 열압시간을 달리하여 제조한 보드에 있어 표층의 Zephyr 섬유방향이 span에 평행한 방향의 상태 휨 성능(MOR, MOE)을 나타내고 있다.

열압시간에 관계없이 모든 열압온도에서 MOR이 600~800 kgf/cm², MOE가 70,000~100,000 kgf/cm²의 값을 나타내고 있어 KS의 1급 구조용 합판의 기준치(MOR: 260.5 kgf/cm², MOE: 56,500 kgf/cm²)를 훨씬 능가하는 우수한 강도를 지님을 알 수 있었다. 이것은 Kim과 Okuma¹⁾²⁾에 의해서 연구된 목질계 원료로 제조된 Zephyr 보드(PF, 밀도 0.7 g/cm³)에서의 강도(MOR : 530 kgf/cm², MOE : 70,000 kgf/cm²)보다 상대적으로 높은 값을 나타내고 있어 대나무 Zephyr보드의 휨 성능이 더 우수함을 알 수 있었다.

또, 모든 열압조건중에서 열압시간 12분, 열압온도 160℃로 제조한 보드의 MOR값이 810.6 kgf/cm²로 가장 높은 휨 강도를 보였으며, 열압시간 8분과 10분에서는 열압온도 180℃일 때 가장 높은 강도를 나타내었다.

한편, 열압온도 140℃와 160℃에서는 열압시간이 단축됨에 따른 강도의 감소가 180℃와 200℃에서보다 더 크게 나타나고 있어, 140℃와 160℃에서 대나무 Zephyr보드를 제조할 경우 보드 내부까지 충분한 열전달이 이루어지기 위해서는 반드시 열압시간을 연장시켜야 함을 알 수가 있었다.

Fig. 3과 4는 각각 140℃와 200℃에서 압제된 보드의 휨 강도 측정시 관찰된 파괴 단면을 보여주고 있는

Fig. 1. Effect of hot-pressing temperature on MOR in Zephyr length direction parallel to span.

Fig. 3. Rupture morphology of board made by hot-pressing temperature of 140°C during bending test.

Fig. 2. Effect of hot-pressing temperature on MOE in zephyr length direction parallel to span.

Fig. 4. Rupture morphology of board made by hot-pressing temperature of 200°C during bending test.

사진이다.

모든 시편들은 휨 강도 측정시 층간의 접착면이 떨어져 상층부가 span 방향으로 밀려가는 현상을 보였는데 이것은 대나무의 높은 인장강도가 층간 접착강도보다 강하기 때문에 층간이 분리되는 것으로 여겨졌다.

이러한 현상을 고려할 때 대나무 Zephyr 보드에서는 대나무 Zephyr의 층간 접착력이 휨 강도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 추측할 수 있다.

Fig. 5와 6은 각각 열압온도와 열압시간을 달리하

여 제조한 보드에 있어 표층 Zephyr의 섬유방향이나 span에 수직한 방향의 상태 휨 성능(MOR, MOE)을 나타내고 있다.

MOR값은 표층이 span에 평행한 방향의 것에 비해서는 다소 떨어지나 모든 열압조건에서 290~570 kgf/cm² 범위에 들고 있어 KS의 1급 구조용 합판의 강도를 증가하고 있었다.

160°C와 180°C에서 10분 동안 열압된 보드가 상대

Fig. 5. Effect of hot-pressing temperature on MOR in Zepher length direction peypendicular to span.

Fig. 7. Effect of hot-pressing temperature on internal bond (IB) strength.

Fig. 6. Effect of hot-pressing temperature on MOE in Zepher length direction peypendicular to span.

Fig. 8. Effect of hot-pressing temperature on wet MOR in Zepher length direction peypendicular to span.

적으로 높은 값을 보였으며, 특히 180℃에서 10분간 열압된 보드의 MOR이 570 kgf/cm²로 가장 높은 값을 나타내어 최적 열압조건을 찾는 지표가 됨을 알 수가 있었다.

MOE값은 span에 평행한 방향의 것에 비교해 볼 때에 약 절반정도의 낮은 값을 나타내었다. 섬유방향으로 긴 엘리먼트인 Zephyr의 형상에 따른 이방성이 기인하는 것으로 여겨졌다. 그러나 열압온도와 열압시간에 따른 차이는 명백하지 않았다.

3.1.2. 박리강도

Fig. 7은 각각 열압온도와 열압시간을 달리하여 제조한 보드에서의 박리강도를 나타내고 있으며 모든 시편들은 KS F 3104³⁾에서의 박리강도 기준(3.1 kgf/cm²)을 상회하고 있었다.

그리고 열압온도에 따른 박리강도의 영향은 열압시간이 동일할 경우 열압온도가 높아질수록 강도가 높아지며 200℃에서 최대 값을 보였다. 그리고 열압시간에 따른 박리강도를 살펴보면 영향은 140~180℃에서는 열압시간이 짧아질수록 강도가 감소하는 반면 200℃에서는 오히려 증가함을 알 수 있었다. 이것은,

낮은 열압온도에서는 압체시간이 짧은 경우 보드 내부까지 충분한 열전달이 이루어지지 않아 엘리먼트간의 접착성능이 떨어지지만, 200℃의 높은 온도에서는 짧은 압체시간으로도 보드 내부까지 열전달이 충분히 이루어지므로 상대적으로 높은 박리강도를 보이는 것으로 생각되었다.

3.2. 보드의 내수성

3.2.1. 습윤시 휨강도

Fig. 8과 9는 각각 열압온도와 열압시간을 달리하여 제조한 보드를 2시간 자비하고 다시 1시간 상온수에 침지한 후의 습윤상태에서의 span에 대한 평행방향의 휨 성능을 나타내고 있다.

140~180℃에서 열압된 보드의 경우 열압시간 12분과 10분에서는 상태시에 비해 50% 이상의 강도를 보유하고 있어 KS 기준을 상회하고 있음을 알 수 있었다. 그러나, 8분 동안 열압하여 제조한 보드에 있어서는 200℃에서 제조된 것을 제외하고는 상태시에 비해 상대적으로 강도의 손실이 크게 나타나 KS 기준을 못 미치고 있음을 알 수 있었다.

140℃와 180℃에서는 열압시간이 짧아짐에 따라 Zephyr간의 접착성능이 떨어져 습윤시 휨 강도의 저하가 나타났으며 특히 180℃의 8분에서 급격히 감소하고 있음을 알 수 있었다. 한편, 200℃에서는 12분 동안 열압한 경우 과도하게 긴 열압시간으로 인해 Zephyr의 열화가 발생하여 습윤 강도가 저하한 것으로 추정되나, 8분으로 열압시간을 줄였을 때에는 다른 온도에서보다 높은 강도를 보이고 있어 200℃의 고온의 경우, 열압시간 8분 정도만으로도 Zephyr간의 충분한 접착이 이루어짐을 알 수 있었다.

3.2.2. 두께 팽창율

Fig. 10은 각각 열압온도와 열압시간을 달리하여 제조한 보드의 24시간 상온수 침지 후의 두께 팽창율을 나타내고 있다.

모든 열압조건에서 KS F 3104³⁾의 기준인 12% 보다 현저히 낮은 6% 미만의 값을 나타내었다. 한편,

Fig. 9. Effect of hot-pressing temperature on wet MOE in Zephyr length direction perpendicular to span

Fig. 10. Effect of hot-pressing temperature on thickness swelling (TS).

열압온도와 열압시간에 따라서는 다소 차이가 있었다. 12분 동안 압체한 보드의 경우 열압온도에 따른 두께팽창율의 차이가 크게 나타났으나 10분인 경우 그 차이가 감소하다가 8분인 경우 모든 온도에서 거의 유사한 수치를 나타내었다. 그리고, 200℃에서 가장 낮은 2.7%의 두께팽창율을 나타낸 반면 160℃에서는 6% 이상의 가장 높은 두께팽창율을 나타내고 있다.

이것은 높은 온도에서 열압시간이 길어질 경우 보드를 구성하는 엘리먼트인 Zephyr가 열처리되어 치수안정화 효과를 일으켜 치수안정성이 향상된 것으로 여겨졌다.

이상의 결과로부터 대나무 Zephyr 보드의 최적 열

압조건은 열압온도 160℃ 및 180℃, 그리고 총 열압 시간 10분과 12분인 것으로 판명되었다.

4. 결 론

대나무 Zephyr 보드에 있어서 여러 열압시간과 열압온도를 적용하여 보드를 제조한 후 KS F 3104와 F 3113에 따라 보드의 강도성능과 내수성을 비교·검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 보드의 상태 휨 강도는 모든 열압조건에서 KS의 1급 구조용 합판의 기준치를 훨씬 상회하는 우수한 강도를 나타내었다. Span에 대해 평행한 방향의 강도는, 열압온도 160℃에서 제조된 보드가 가장 높은 값을 나타내었으며, 그 다음으로는 180℃에서 제조된 보드였다.

2) 보드의 내부 접착성능을 평가하기 위해 수행된 박리강도 시험에서는 모든 열압시간에서 열압온도가 높아질수록 상대적으로 더 높은 값을 나타내었으며, 그 결과 200℃에서 압체된 보드가 가장 높은 박리강도를 보였다.

3) 보드의 습윤 휨 강도 시험에서는 열압시간과 열압온도의 차이에 따라 상당한 차이가 보여졌다. 총 열압시간 12분과 10분일 때 각각 160℃와 180℃의 온도에서 열압된 보드는 상태시에 비해 70% 이상의 강도를 보유하고 있었으나 8분일 때는 강도의 손실이 상당히 크게 나타났다. 또한, 200℃에서 열압되어 제조된 보드의 경우 총 열압시간이 12분과 10분일 때 강도의 손실이 크게 나타났으나, 8분일 때에는 상태시

에 거의 육박하는 휨 강도를 보유하고 있었다.

4) 두께팽창을 시험에서는 모든 열압조건에서 전반적으로 6% 미만의 값을 나타내어 KS F 3104의 기준인 12%보다 상당히 낮은 것으로 드러났다. 그 중 200℃에서 12분 동안 열압하여 제조된 보드가 2.7%로써 가장 높은 치수안정성을 보이는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Kim, Y. J. and M. Okuma. 1994a. A study on the sheet material from zephyr strands (I)- Fundamental properties of boards and the effects of zephyr strand width on these properties - *Mokuzai Kogyo*, 49(3): 115~119.
2. Kim, Y. J. and M. Okuma. 1994b. A study on the sheet material from zephyr strands (IV)- The effect of production conditions of zephyr strands on board properties- *Mokuzai Kogyo*, 49(12): 599~603.
3. Korean (Industrial) Standard. 1997. KS standard specification for particle boards, KS F 3104.
4. Korean (Industrial) Standard. 1999. KS standard specification for structural ply wood, KS F 3113.
5. 김유정, 정기호, 박상진, 노정관. 2001. 국산습대와 인도네시아산 TALI를 이용한 대나무 Zephyr의 형태적 특성 비교. *목재공학*, 29(2): 84~90.
6. 이화형, 강석구, 김관의. 2000. 3개월생 국산 대나무를 이용한 대나무 스트랜드board개발. *한국가구학회지* 11(2): 45~53.