

집성재의 접착층수에 따른 치수안정성*1

황 권 환*2† · 박 주 생*2

Dimension Stability by Bonding Layers of Glulam*1

Kweonhwan Hwang*2† · Joo-Saeng Park*2

요 약

내구성과 관련하여 구조부재의 수축문제가 목구조에서는 커다란 관심사가 되고 있다. 특히, 목재 소재를 적극 활용하는 전통공법에서는 짜맞춤 부위, 부재와 벽 등에서 발생하는 건조수축에 의한 갈라짐 등의 결함이 더욱 문제시되고 있다. 또한, 최근 기둥-보 공법에서 많이 사용되고 있는 국내산 낙엽송 집성재의 이용에 있어서도 함수율변화로 인한 수축과 팽윤에 대한 검토를 행할 필요성이 제기되고 있다. 낙엽송 소재와 접착층수를 달리한 낙엽송 집성재의 시험편에 대해 다양한 함수율상태에서의 치수변화율을 살펴보았다. 건조수축에 의한 치수변화 억제효과는 3층 이상의 접착층을 가지는 시험편에서 그 효과가 현저함을 알 수 있었다. 그리하여, 소재를 사용할 경우 최종사용조건에 맞추어 건조를 충분히 행하거나, 구조부재로 집성재를 이용함으로써 건조수축 문제를 어느 정도 해결할 수 있는 것으로 판명되었다.

ABSTRACT

The shrinkage of wood members after construction has been a greater and common concern in wooden buildings with the durability. Particularly, the traditional structure applying solid members actively is easily exposed to the shrinkage that caused by the joints, members, and walls. Moreover, even though domestic larch glulam members are widespread recently in the post-beam construction, the shrinkage (swelling) problem is still the critical defect on the wooden structures by the moisture content change in Korea. Various moisture contents were applied for the specimens to survey the dimensional changes for Japanese larch solid and glulam specimens, and the glulam specimens varied in the number of their laminations. Test results showed that glulam

* 1 접수 2008년 9월 4일, 채택 2008년 10월 6일

* 2 국립산림과학원 임산공학부 목재성능과, Division of Wood Engineering, Department of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

† 주저자(corresponding author) : 황권환(e-mail: m54290@hotmail.com)

specimens with over 3 bonding layers showed good dimension stabilities. Therefore, to solve the shrinkage problem, sufficient drying fitted to the end-use service conditions should be conducted on the solid or glulam members can be applied.

Keywords: Shrinkage, solid, glulam, Japanese larch, lamination

1. 서 론

식물세포로 구성된 생물재료인 목재는 그 세포구조로 인해 다공질적 성질과 직교이방성을 나타낸다. 세포내강에는 수분이 쉽게 침투하나 치수변화에는 영향이 적고, 세포벽은 친수성을 가지는 셀룰로오스로 구성되어 있어 수분변화에 따른 수축과 팽윤으로 인해 치수변동이 섬유포화점 이하에서 극심한 편이다. 치수변동은 소재로서의 사용 및 각종 목질판재로 제조되었을 때에도 문제가 되어 목질제품의 수분관리와 목재의 내구성과 수명을 결정짓는 중요한 요소라고 할 수 있다. 전통주택과 한옥 등에서 구조부재로서 이용될 때 소재의 건조에 따른 뒤틀림, 갈라짐 등의 수축문제가 목구조에서는 커다란 관심사가 되고 있다. 특히, 천연건조단계를 거쳐 소재를 활용하는 전통건축에서는 심변재간의 함수율 차이, 목재의 겉과 안의 함수율경사로 인한 부재간의 짜맞춤 부위, 부재와 벽 등에서 발생하는 건조수축에 의한 갈라짐 및 틈새 등의 결함이 더욱 문제시되고 있다. 또한, 이러한 현상은 주위환경의 변화에 따른 상대습도의 차이에 의한 것으로 소재를 일정 수준까지 건조시켜 제작되어 이용되는 공학목재에 있어서도 검토되어야 할 사항이다. 이에 따라, 최근 기둥-보 공법에서 두각을 나타내고 있는 국내산 낙엽송 집성재의 이용에 있어서도 계절에 따른 함수율변화로 수축에 대한 검토를 행할 필요성이 제기되고 있다.

건축구조설계기준(대한건축학회, 2005)과 KS F 3020 (한국표준협회, 2002)에서는 국내에서 구조부재로 사용되는 건조목재에 대한 함수율규정을 18% 이하로 정하고 있다. 한편, 일본과 북미에서 통용되는 19% 미만의 규정에 대한 허용 등에 대한 검토가 필요한 실

정이다. 이 규정에 대한 검토와 함께 1%의 함수율 차이에 대한 검토가 필요하게 되었다. 국산재를 적극 활용하고자 하는 취지에서는 수입재와의 차별화를 위해 이 규정이 장점이기도 하지만, 규정으로 인해 목재의 적극적인 활용에 저해가 될 것은 분명하다. 한편, 연구자료(임업연구원, 1994)에 의하면, 낙엽송의 수축률을 L : R : T에 대해 1 : 10 : 15로 보고하였다. 섬유방향(L)은 생재에서 기건까지의 수축률이 0.14%로써 3.6 m 부재에 대해 산정해 보면, 약 5 mm의 수축이 일어날 수 있다. 그러나, 이미 층재를 15% 수준으로 건조하여 제작하는 집성재에 대해서도 같은 평가를 행해야 하는지에 대해서는 의문이 남는다. 즉, 함수율 15% 수준의 집성재에 대해 기건함수율인 12%를 거쳐 실제 사용함수율인 6% (황과 박, 2008) 정도까지 함수율변화가 발생하는 경우에 있어서의 구체적인 치수변화를 검토하여야 한다. 목분을 이용한 평형함수율에 관한 연구는 다수 이루어지고 있으나(변 등, 2008), 구조재의 수축과 팽윤에 대해서는 실험적으로 검증된 바가 없어 이에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 다양한 함수율변화에 따른 길이방향의 치수변동에 주안점을 두고, 현재 그 수요가 증가하고 있는 낙엽송 소재와 집성재에 대해 방향별 치수변동에 대해 검토하였다. 또한, 집성재에 대해서는 층재수(접착층)의 증가에 따른 치수변동 억제 효과를 함께 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

낙엽송 1종구조재는 산림조합중앙회 여주유통센

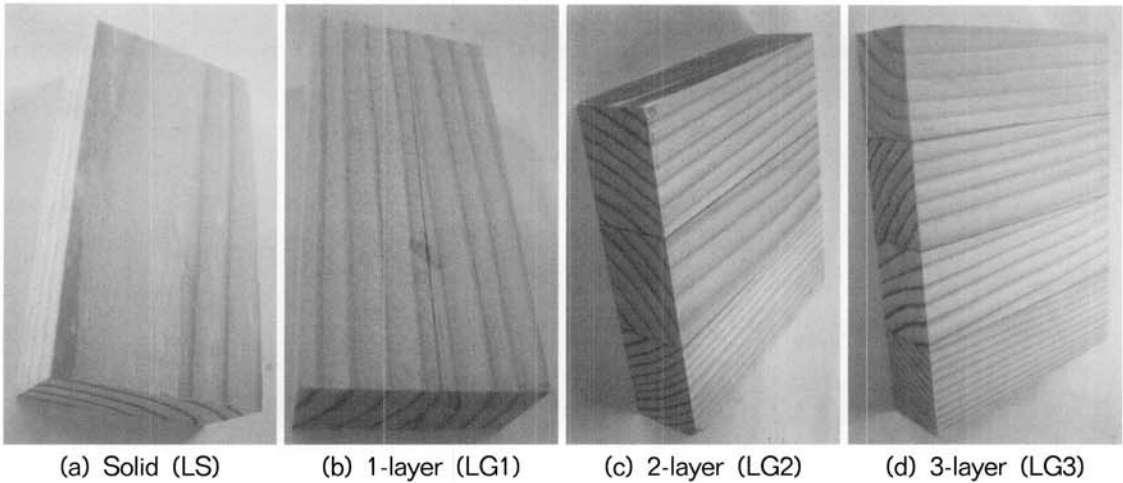


Fig. 1. Tested specimens.

터에서, 낙엽송 집성재는 국내 생산업체에서 구입하여 사용하였다. 센터에서 판매되는 낙엽송은 우리나라 전국 각지에서 조림되어 벌령기에 도달한 것을 이용한 것으로 수령은 약 50~70년으로 추정되며, 집성재의 생산에도 이러한 낙엽송을 층재로 사용하고 있다(황과 박, 2008). 기건상태의 낙엽송 소재와 집성재에 대해 KS F 2203 (한국표준협회, 2004)에 의거한 치수변화 시험편을 제작하였으며, 집성재에 대해서는 접착층수가 1~3이 되도록 절삭하여 이용하였다. 소재는 낙엽송 집성재의 층재로 이용되는 것으로 우리나라의 대표적 문헌(임업연구원, 1994)의 공시목에 비해 방사단면과 접선단면의 구분은 보다 불분명할 것으로 판단되며, 집성재의 제조에 적용된 실제 층재를 이용한 것이다. 본 연구에서의 시험편은 Fig. 1과 같다. 그림에서와 같이 각 시험편은 접착층이 없는 소재(Solid, LS), 1층의 접착층을 가진 LG1, 2층의 접착층을 가진 LG2, 3층의 접착층을 가진 LG3의 시험편으로 각각 설정하였다.

소재시험편은 공칭치수 25 × 50 × 100 mm, 집성재 시험편은 접착층수에 따라 25 × 50 × 100 mm, 25 × 100 × 100 mm, 25 × 150 × 100 mm 로 각각 절단하여 조건당 10개씩 이용하였다. 시험편에는 각 방향별 기준선을 미리 설정하여 항상 같은 기준선을 따

라 치수변화를 측정하였다.

2.2. 시험방법

치수변화 시험방법은 KS F 2203 (한국표준협회, 2004)을 참고하여 생재상태를 가정한 시험편은 48시간 수침, 기건함수율, 외기보관과 실내보관 조건 등 전건에서 생재까지 다양한 함수율변화에 대해 치수와 무게를 측정하였다. 외기보관조건은 창고건물과 같은 일반적인 보관조건을 가정한 것이며, 실내보관은 실내에서 어느 정도 밀폐된 실내조건(여름철 30°C, 상대습도 45%)에서의 조건이었다. 실내보관 조건에서 향량에 도달한 후 충분히 생재상태로 도달할 수 있도록 48시간 동안 증류수에 수침하였으며, 수침 후 온화한 상태에서 건조를 행하여 탈습과정에서의 함수율변화에 따른 치수변화를 측정하였다. 40°C와 70°C의 비교적 낮은 온도영역에서 순차적으로 건조시킨 후, 오븐(105°C)에서 향량시의 전건값을 구하고 실내공기 중에 노출시켜 기건상태인 12%까지 흡습하도록 하였다. 각 조건에서의 함수율변화에 따른 치수변화율을 산출하여 생재상태에서 5% 영역까지의 함수율변화에 따른 방향별 치수변동을 검토하였다.

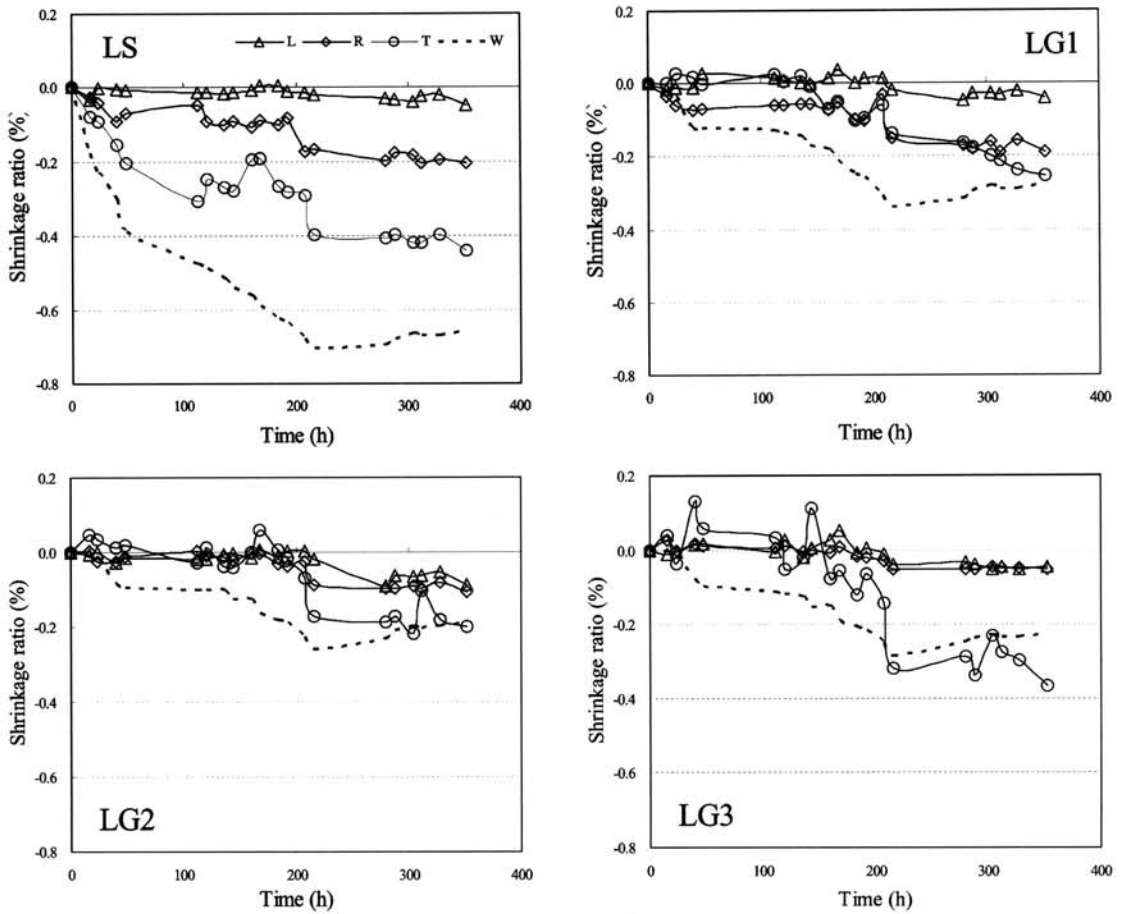


Fig. 2. The shrinkage ratio with time passage at conditioning. Legends: LS, Japanese larch solid; LG, Japanese larch glulam; 1, 2, 3, the number of bonding layer; L, longitudinal direction; R, radial direction (or width); T, tangential direction (or thickness); W, weight.

3. 결과 및 고찰

3.1. 보관조건에 따른 치수변화

Fig. 2는 시험편을 야적과 같은 외기보관에서 30°C, 상대습도 45% 수준의 실내에서 보관하여 일어나는 무게변화와 각 방향의 치수변화를 항량에 도달할 때까지 시간대별로 외부보관상태 시험편의 물리량을 제로로 하여 그 백분율을 나타낸 것이다. 그림에서는 낙엽송 소재와 집성재 시험편 10개에 대한

각각의 평균을 나타낸 것이다. 전체적으로 길이방향(L)의 수축률이 가장 낮게 나타났으며 넓은재면(R)과 좁은재면(T) 순으로 높게 나타났으며, 무게변화율(W)이 가장 높게 나타났다. 특히, 이러한 현상은 함수율 1% 미만의 변화이긴 하지만 소재에서 현저하게 관찰되었으며, 집성재에서는 방향별 변화율 차이가 크게 나타나지 않았다. 이는 실제 집성재의 구성에서는 층재 간의 방사단면과 접선단면이 확연히 구분되어 있지 않기 때문인 것으로 고찰된다. 국산 낙엽송 층재의 구성상 오히려 넓은재면(니비)이 소

Table 1. Moisture contents and densities of tested specimens

| <i>Larix kaempferi</i> | Moisture content (%) | | | Total density (g/cm ³) | | |
|------------------------|----------------------------|-------------|--------------|------------------------------------|------|------|
| | Green (48 h saturation) | Closed room | Exposed room | Green | 12% | Oven |
| KFRI (1994) | - | - | - | 0.79 | 0.61 | 0.56 |
| Solid (LS) | 31.1 | 8.6 | 9.3 | 0.64 | 0.57 | 0.53 |
| LG1 | 33.0 | 10.2 | 10.5 | 0.63 | 0.56 | 0.52 |
| LG2 | 31.9 | 9.7 | 9.9 | 0.61 | 0.54 | 0.51 |
| LG3 | 34.5 | 9.8 | 10.0 | 0.65 | 0.57 | 0.54 |

Legends: Refer to Figures 1 and 2

재의 접선단면, 좁은재면(두께)이 방사단면에 해당되기도 하여 소재와는 단면구성에서 차이를 보였다. 본 연구에서는 구조부재에 대한 평가를 전제로 하여 길이방향의 치수변화율을 중심으로 고찰하고자 하였다.

외기에 크게 노출되지 않는 실내보관 과정에서는 외기에 노출되는 조건보다 건조가 진행됨을 알 수 있었으며, 천연건조와 같이 외기조건에 개방하여 야적하거나 창고와 같은 곳에 보관하는 경우보다 외부에 크게 노출되지 않는 밀폐형 창고에서 보관하는 것이 비교적 목재의 건조를 활성화시키는 것으로 나타났다. 비록 적은 양의 수축률 변화이긴 하지만 노출기등을 제외하면 실내에서 노출되는 비율이 높은 목구조에 사용되는 부재는 실내에서 보관하여 함수율을 보다 낮추는 것이 유리함을 나타내는 명백한 증거라 할 수 있다. 한편, 기건함수율이 우리나라보다 높은 일본에서는 목재를 실내와 실외에 보관하였을 때 실내 목재의 함수율이 약 4% 정도 낮게 나타난다(伏谷賢美 등, 1985).

3.2. 방향별 수축률

Table 1은 각 조건하에서의 함수율과 밀도를 나타내었다. 전밀도(total density)는 생재상태에 있어서 0.61~0.65 g/cm³, 함수율 12% (기건상태)에 있어서 0.54~0.57 g/cm³ (평균 0.55 g/cm³), 전건밀도는 0.51~0.54 g/cm³ (평균 0.53 g/cm³)의 값을 기록하였다(Table 1 참조). 국립산림과학원 연구자료(임업

연구원, 1994)에 의하면 낙엽송의 전밀도는 생재 0.76 g/cm³, 기건 0.61 g/cm³, 전건 0.56 g/cm³으로, 본 연구에서의 값이 다소 낮게 나타났다. 이는 산지에 따른 공시목의 차이에 따른 것으로 판단된다. 또한, 실내상태의 평형함수율은 8.5~10.5% 수준으로 기건함수율 12%보다 낮게 나타남을 알 수 있다. 소재에서는 집성재보다 외기보관과 실내보관에서 0.6%의 함수율차이가 나타났다. 이를 3.6 m 부재의 길이수축으로 환산해보면, 0.2 mm 정도의 수축이 발생함을 알 수 있다. 이러한 현상은 본 실험이 행해진 다습한 여름철에서조차 나타나므로 겨울철 시험편에서 함수율 6% (황과 박, 2008) 대까지 나타날 수 있을 것으로 예상되었다.

일반적으로 단분자층흡착수의 영향으로 자연상태에서 함수율 5~6% 이하의 수준으로 함수율이 저하하기는 어려울 것으로 판단되므로 구조부재의 최소 함수율은 5~6% 정도일 것이다. 즉, 집성재의 초기 함수율을 15%로 가정하면 10% 정도의 건조가 발생하여 기건함수율에서 전건까지의 1%당 수축률을 기준으로 예상 수축률을 산정할 수 있을 것이다. 하지만, 이 구간의 함수율변화에 따른 구체적인 값들이 밝혀져 있지 않으며, 특히 구조부재로서 많이 이용되고 있는 집성재에 대한 검토가 필요한 실정이다.

Table 2는 각 시험편의 방향별 수축률변화를 나타낸 것으로 문헌값(임업연구원, 1994)과 실험값을 동시에 나타냈다. 길이방향의 전수축률은 접착층이 3층일 때 가장 낮게 나타났으며, 방향별 비율은 문헌값과 비슷하게 나타났으며, 소재 및 접착층수 1~2

Table 2. Shrinkage ratios at general method of KS F 2203 (KS, 2004)

| <i>Larix kaempferi</i> | Shrinkage ratio (%) | | | | | | | | |
|------------------------|---------------------|------|------|------------------|------|------|---------------------|------|------|
| | Green to oven-dry | | | Green to air-dry | | | Air-dry to oven-dry | | |
| | L | R | T | L | R | T | L | R | T |
| KFRI (1994) | 0.17 | 4.67 | 8.44 | 0.14 | 3.32 | 6.43 | 0.12 | 1.24 | 2.16 |
| Solid (LS) | 0.33 | 2.02 | 4.55 | 0.12 | 0.15 | 2.10 | 0.21 | 1.88 | 2.50 |
| LG1 | 0.34 | 2.85 | 6.32 | 0.17 | 1.45 | 3.68 | 0.18 | 1.42 | 2.73 |
| LG2 | 0.43 | 3.79 | 5.45 | 0.16 | 1.69 | 3.51 | 0.27 | 2.14 | 2.01 |
| LG3 | 0.18 | 3.78 | 6.38 | 0.10 | 1.86 | 3.72 | 0.08 | 1.96 | 2.77 |
| | -- L : R : T -- | | | | | | | | |
| KFRI (1994) | 1 | 27 | 50 | 1 | 24 | 46 | 1 | 10 | 15 |
| Solid (LS) | 1 | 6.1 | 13.8 | 1 | 1.2 | 16.9 | 1 | 9.1 | 12.1 |
| LG1 | 1 | 8.3 | 18.4 | 1 | 8.8 | 22.2 | 1 | 8.0 | 15.3 |
| LG2 | 1 | 8.7 | 12.6 | 1 | 10.5 | 21.8 | 1 | 7.8 | 7.4 |
| LG3 | 1 | 20.7 | 34.9 | 1 | 18.9 | 37.8 | 1 | 23.1 | 32.7 |

Legends Refer to Figures 1 and 2

Notes: Green to oven-dry, Green to air-dry and Air-dry to oven-dry in the shrinkage ratio express the changes from green or air-dry to air-dry or oven-dry of the specimens' condition.

층의 시험편에 있어서는 문헌값보다 다소 높게 나타남을 알 수 있었다. 기건 및 전건 수축률에 있어서는 접착층수가 3층일 때 길이방향 수축률이 현저하게 저하하여 접착층수가 많을수록 수축률 억제효과가 있음이 확인되었다. 이러한 길이방향 수축률 억제효과로 인하여 소재보다는 집성재를 구조부재로 이용한 목구조에서 건조수축에 의한 피해를 크게 예방할 수 있을 것으로 판단되었다.

일반적으로 목재의 수축 및 팽윤에 영향을 끼치는 인자로는 수종, 조만제물 및 수간 내의 부위, 구조방향, 비중, 화학성분, 함유수분 등을 들고 있다. 만제율이 클수록 비중은 증가하고 비중이 증가할수록 수축률과 팽윤률은 증가하며, 구조방향에 대해서는 길이방향, 방사방향, 접선방향의 비는 1 : 15 : 20으로 보고하였다. 또한, 함유율 변화에 따라서는 일반적으로 직선관계를 나타내지만, 저함수율 영역인 6% 미만에서는 수축이 덜 되는 편이고, 고함수율인 25% 초과에서 팽윤이 다소 잘 되는 편이다. 섬유포 화점 이상에서는 치수변화가 거의 없는 것으로 알려져 있으나 최대팽윤도달함수율을 40~60%로 보고한 예도 있다(이필우 등, 1985). 한편, 일본에서는 일반적인 목재의 수축팽윤률을 길이방향, 방사방

향, 접선방향에 대해 0.5~1 : 5 : 10 (伏谷賢美 등, 1985)으로 보고하여 방사방향(주로 두께 방향)에서 다소 차이가 있음을 알 수 있다.

3.3. 함유율변화에 따른 치수변화

Fig. 3은 전건상태에서 생체상태까지의 함유율변화에 따른 방향별 치수변화율을 나타낸 것으로 전건상태를 기준으로 나타낸 것이다. 채워진 도형은 각 방향별 전건상태에서 기건상태까지의 흡수과정을 나타낸 것이며, 빈 도형은 방향별 탈수에 따른 치수변화를 나타내었다. LS 그래프의 탈수에 따른 방향별 치수변화율을 추정하는 그래프와 근사식을 대표적으로 나타내었다. 이로부터, 흡수와 탈수 과정에서 전형적인 히스테리시스(이력현상)가 나타남을 알 수 있다. 한편, 생체상태에서는 함유율변화에 따라 이론적으로는 치수변화가 없어야 하지만 실제로는 측정오차가 발생하여 보다 안정적인 전건상태에서의 치수를 택하여 상대적인 비교를 행하였다. 이 근사식으로부터의 다항식은 시험편이 어느 정도 건조되어 사용되는 구조부재의 경우, 함유율 5%에서 25% 정도의 변화를 정량적으로 예측할 수 있는 이

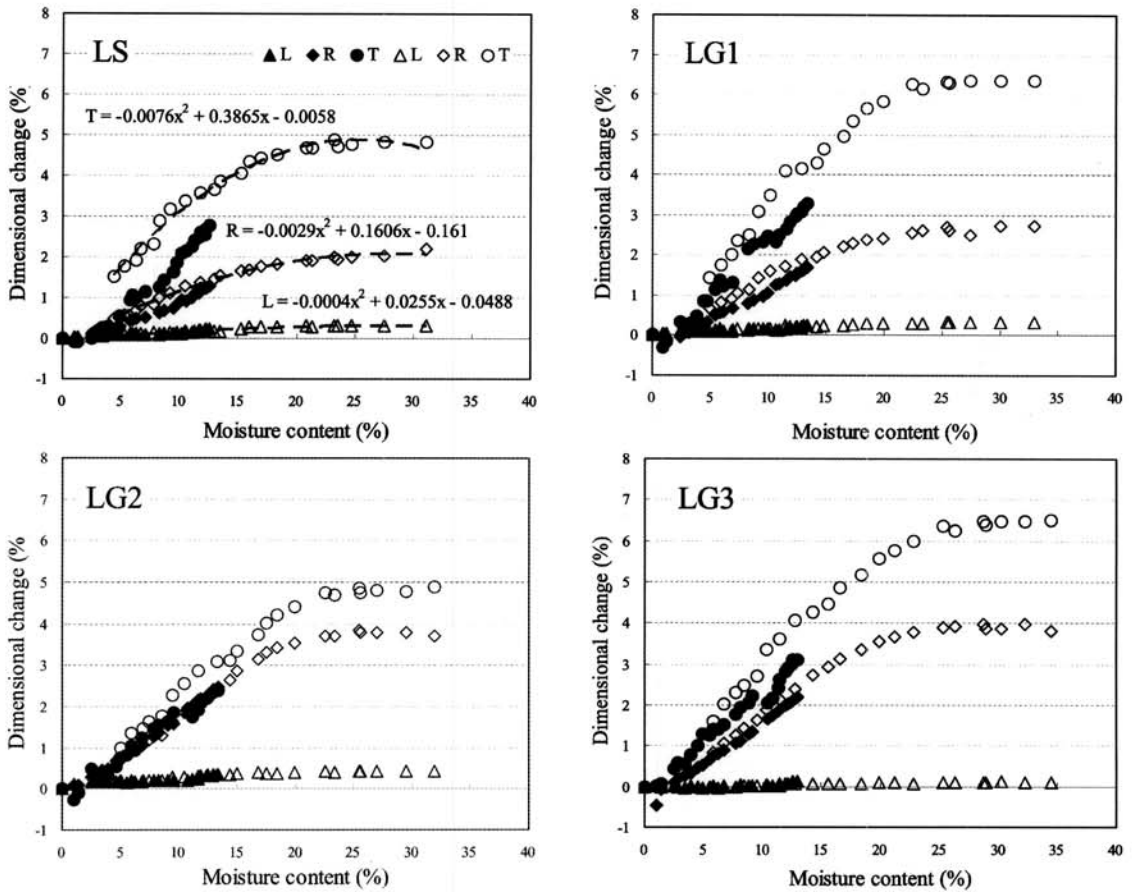


Fig. 3. The swelling ratio at various moisture contents (MC). Legends: ●, ◆, and ▲, sorption; ○, ◇, and △, desorption; Refer to Figures 1 and 2 for the rest.

점이 있다. 즉, 함수율의 감소에 따른 수축이 구조부재의 이용에 있어 문제점이 되는 것으로 부재로서의 사용시점을 기준으로 감소한 치수변화율(그래프상에서의 감소율)을 적용하여 예측할 수 있을 것이다.

LS, LG1, LG3 시험편에 있어서는 이론적인 방향별 치수변화 성능을 보였으나, LG2 시험편은 방사방향과 접선방향의 치수변화율이 저함수율 영역에서 비슷한 경향을 나타내었다. 이는 시험편이 접촉층을 경계로 방사단면과 접선단면이 혼재하여 방사방향과 접선방향 간의 치수변화율 차이에 변화가 없었을 것으로 판단된다. 또한, 전체적인 치수변화율은 함수율 5~6% 정도까지는 그 변화가 불규칙적이

며, 그 이후 직선적으로 증가하다가 20% 이상에서는 일정한 값으로 안정되는 경향을 나타내었다. 즉, 20% 이하의 함수율 영역에서 특히 방사방향과 접선방향의 치수변화율이 급격하게 변하므로 구조부재로 이용할 때 주의하여야 할 것으로 판단되었다. 수%의 함수율변화에도 그 치수변화율은 길이방향의 전수축률을 상회하므로 구조체에 해당 방향으로 부재를 결구할 경우에는 함수율조건을 충분히 감안하여야 할 것으로 판단된다.

한편, 길이방향 치수변화율은 LG2와 같이 시험편의 단면구성과는 큰 관련성을 갖지 않고 섬유방향의 통직성과 관계하므로, 구조부재로서의 역학적 거동

에서는 길이방향의 변화가 큰 영향을 끼친다. 그러나, 길이방향 치수변화율은 방향별 치수변화율 중에서 가장 낮게 나타났으며, LG3은 가장 낮은 길이방향 치수변화율을 나타내었다. 이는 접착층수가 많은 집성재의 길이방향에 있어서는 접착층이 수분의 침투 및 확산을 어느 정도 방지하여 수축과 팽윤을 억제하는 효과가 있는 것으로 추론되며, 집성재로 이루어진 실제 구조체에서는 접착층수와 접착면적이 증가하므로 수축과 팽윤에 대한 억제효과가 더욱 뛰어나므로 기대된다. 하지만, 전체 시험편의 길이방향 치수변화율은 함수율에 크게 영향을 받지 않을 정도로 방사방향과 접선방향에 비해 상대적으로 매우 낮은 값을 나타내므로 정밀성을 요하지 않는 경우나, 짧은 부재의 길이방향에 대한 수축과 팽윤은 크게 고려하지 않아도 좋을 것으로 판단되었다.

실대 구조체에 대한 수축과 팽윤 특성에 대한 검토가 향후 이루어져야 할 것이며, 이러한 치수변화에 대해서도 예측 모델식을 개발하여 실험적 검증이 어려운 실대체에 적용할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

4. 결 론

국산 낙엽송 구조부재의 수축률과 팽윤률 성능을 검토하기 위하여 소재와 집성재의 방향별 치수변화를 살펴보았다. 국내산 조림 낙엽송에 대해 집성재 제조에 사용되는 층재와 실제 제조되어 시판되고 있는 집성재로부터 무결점부위를 절단하여 시험편으

로 이용하였다.

소재 및 1, 2 층의 접착층을 가지는 집성재는 치수 변화율에 있어 큰 차이가 없었으나 접착층의 수가 3 층일 때 그 억제효과는 크게 나타났으며, 특히 길이방향에서 이러한 효과는 우수하였다. 실제 집성재에서는 접착층수가 보다 많으며 부재의 크기 또한 증가하므로 수축과 팽윤 억제효과는 보다 뛰어날 것으로 판단되었다. 또한, 얻어진 결과를 바탕으로 함수율 변화에 따른 치수변화율 예측식을 개발하고 실대체에 적용하는 연구가 수반되어야 할 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 대한건축학회. 2005. 건축구조설계기준 및 해설.
2. 변희섭, 이원희, 박병수, 정성호, 강호양. 2008. 국산재의 응용물성연구II : 잣나무 낙엽송의 수분흡착성 및 열적·전기적·음향적 성질. 목재공학 36(4): 1~10.
3. 이필우 외 9인. 1981. 목재공학. 향문사.
4. 임업연구원. 1994. 한국산 주요목재의 성질과 용도. 연구자료 제95호.
5. 한국표준협회. 2001a. 목재의 밀도 및 비중 측정 방법. KS F 2198.
6. 한국표준협회. 2001b. 목재의 함수율 측정 방법. KS F 2199.
7. 한국표준협회. 2002. 침엽수 구조용재. KS F 3020
8. 한국표준협회. 2004. 목재의 수축률 시험 방법. KS F 2203.
9. 황권환, 박문재. 2008. 오에스비에 대한 각종 부재의 못전단성능. 목재공학 36(4): 66~76.
10. 伏谷賢美 外 8人 共著. 1985. 木材の物理(木材の科學2). 文永堂.