

고온아마인유처리에 의한 소나무재의 특성*1

이 동 흡*2 · 이 명 재*2† · 오 형 민*2 · 손 동 원*2

Properties of *Pinus densiflora* Timber Wood by High Temperature Linseed Oil Treatment

Dong-heub Lee*2 · Myung-Jae Lee*2† · Hyung-Min Oh*2 · Dong-won Son*2

요 약

본 실험은 건조되지 않은 목재를 고온의 아마인유에 침지처리함으로써 목재건조와 동시에 발수효과를 얻고자 실시하였다.

함수율 90% 이상의 소나무생재를 온도 150°C의 아마인유에서 6시간 침지처리하였을 때 목재함수율은 10% 까지 떨어졌으며, 목재 축방향의 깊이에 관계없이 목재단면의 20%에 해당하는 아마인유가 침투하였다. 이때 목재의 강도적 손실은 발생하지 않는 것으로 나타났다. 목재표면의 천공처리는 목재의 내부할열방지에 효과적이었고, 아마인유의 깊은 침투를 유도할 수 있었다. 흡수성 시험 결과 처리재는 무처리재에 비하여 높은 발수효과를 나타냈다. 변색균 및 부후균에 대한 항균효력시험은 처리재 자체로서 균에 대한 독성 기작이 없었으나, 백색부후균 및 갈색부후균에 대해서는 무처리재보다 낮은 중량감소율을 나타내는 등 방부효력의 상승이 있었다.

ABSTRACT

This study attempted to evaluate the water repellency and drying effectiveness of linseed oil treated-solid wood at high temperature by immersion. The moisture content of green wood (*Pinus densiflora*) sample (above 90%) was reduced about 10% after 6 hours treatment at 150°C. When the treated samples were cut into cross section along the length, it was observed that the linseed oil penetrated into up to 20% of the sample cross section area in all locations. However, a strength loss of the specimen was not detected. The pre-drilling before linseed oil treatment was effective in reducing the defects such as checks and splits, and improved the linseed oil penetration into all samples from the surfaces. The result of water absorption test of treated-wood showed that the water repellent efficacy

* 1 접수 2003년 8월 30일, 채택 2003년 11월 28일

* 2 국립산림과학원 Korea Forest Research Institute, Forestry Administration, Seoul 130-712, Korea

† 주저자(corresponding author) : 이명재(e-mail: mull-lan@hanmail.net)

of treated-wood was greater than that of the control. The anti-fungal activity of treated samples using five sap stains and three decay fungi was not detected in broad-spectrum toxic mechanism. However, decay test using white rot fungi (*Tyromyces palustris*) and brown rot fungi (*Trametes versicolor*) showed that the treated sample has a decay resistance to these two fungi.

Keywords: high-temperature linseed oil, drying, water repellency, strength loss, pre-incising anti-fungal activity, decay test

1. 서 론

아마인유는 불포화성이 풍부하여 도료용의 건성유로 주로 사용되며, 내후성이 좋고 도막이 강인하여 외장용 도료의 원료로 많이 사용되는 천연유지이다. 공기 중에서는 산소를 흡수, 축중합하여, 탄력성이 있는 내수성 반투명의 고분자 물질인 리눅신을 발생한다. 또한 아마인유의 오소가(吳素價)가 높으면 굴절률이 높고 가열중합해서 다른 건성유보다 건조성이 양호한 특징이 있다. 그러나 아마인유는 분자량이 크고 소수성이어서 짧은 시간 주입공정으로는 세포벽에 주입할 수 없으므로 세포벽 벌킹제로서 역할을 할 수 없다. 그러므로 목재의 외장용도로 사용하기 위해서는 목재 내에 아마인유를 깊숙이 주입할 수 있는 새로운 공정이 필요하다.

Paajanen과 Ritschkoff(2002)는 톨유, 아마인유 그리고 평지유(rapeseed oil)를 이용한 부후균에 대한 생장억제 실험에서 톨유와 아마인유는 부후균의 생장을 억제하는 것으로 보고하였으며, 톨유는 연부후균의 부후에도 지향이 있는 것으로 보고하였다. Treu 등(2001)은 아마인유와 동 함유 방부제로 처리한 목재로 20개월간 야외 폭로시험을 한 결과, 처리재의 함수율은 20% 이하인 것으로 보고하고 있다.

Matsuoka 등은 문화재용 목재에 고온유지온욕처리 방법을 적용하였다. 이들은 파라핀왁스를 이용한 액상건조방법이 건조시간 단축과 파라핀왁스의 벌킹효과에 의한 치수 안정성의 효과가 있는 것으로 보고하였다. 그러나 파라핀왁스는 목재표면을 오염시키고 재 사용시 문제점이 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 표면피복에 주로 사용하였던 아마인유를 목재 내부까지 침투시키는 세포벽 벌킹제로

이용하기 위한 방법의 제시와 파라핀왁스의 고온유지온욕 처리로 인한 표면오염을 감소시키는 대체효과를 구명하고자 하였다. 그러므로 아마인유의 고온유지온욕처리 과정에서 아마인유의 온도 상승시 처리되는 목재내 온도 변화와 함수율의 변화, 목재내 아마인유 침투량 및 고온처리에 의한 강도 변화를 측정하여 목재의 물리적인 변화를 측정하였다. 또 건조시 발생하는 목재 내부할열을 방지하기 위하여 진공방식에 의한 인사이징 처리를 도입하여 그 효과를 검증하였으며, 내후성을 흡수성과 방부효력시험으로 검증하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 고온유지온욕처리 특성

2.1.1. 공시재료

소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.) 생재를 수를 포함한 각재(60×120×450 mm (T×R×L))로 제작하였다. 건조 방지를 위해 목구멍을 실리콘으로 코팅 및 비닐백으로 완전 밀봉 후 냉장보관한 시료를 공시재로 하였다. 이 때 공시재의 함수율은 90~110%의 범위에 있었다. 고온유지온욕처리를 위한 유지로는 아마인유를 사용하였으며, 강도변화 측정을 위해 용이가 없는 동일 수종의 30×30×500 mm 끝은결 각재를 사용하였다.

2.1.2. 고온유지온욕처리

시료로부터 실리콘 코팅을 제거한 후 각각 80℃,

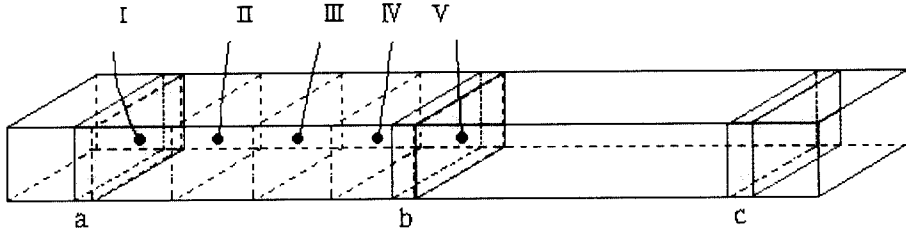


Fig. 1. Measurement points for temperature-variation (I ~ V) and cutting diagram of specimens for measurement of moisture content (a~c).

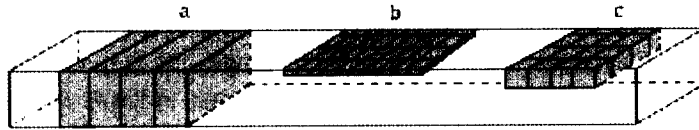


Fig. 2. Cutting diagram of specimens for water repellent (a), antifungal activity (b) and decay test (c) respectively.

120℃, 150℃의 준비된 아미노유에 6시간 침지하였다. 처리시간동안 다용도기록계(YOKOGAWA, Model μ r1000 Recorder)를 이용하여 목재내부의 온도변화를 기록하였다. 온도측정은 Fig. 1의 I ~ V와 같이 목구면으로부터 각각 45 mm, 90 mm, 135 mm, 180 mm, 225 mm 거리의 중앙부를 지름 1 mm의 드릴을 사용하여 30 mm 깊이로 천공 후 센서를 고정하고, 톱밥으로 천공부위를 채운상태에서 내부온도를 측정하였다.

2.1.3. 고온유지온욕 처리재의 함수율 및 휨강도 변화

고온유지온욕 처리를 완료한 시료는 실온에서 24시간 방치하면서 표면의 유지를 제거한 후, 전건법 및 고주파용량식 함수율측정기(Kett, Model HM530)를 사용하여 함수율을 측정하였으며, AWPA standard A6-01의 「Method for the determination of oil-type preservatives and water in wood」의 방법을 이용하여 확인하였다. 함수율 측정을 위한 시료는 목구면에서 각 50 mm 떨어진 곳과 중앙에서 5 mm 두께로 채취하였다(Fig. 1의 a~c). 휨강도의 측정은 만능강도시험기(Hounsfield, Model H50K-S)를 이용하여 최대하중 5000 kgf, 속도 10 mm/min, span 길이 400 mm로 측정하였다. 비교를 위한 무처리 시편은 함수율이 $8.5 \pm 0.5\%$ 가 되도록 조정하여 강도측

정에 사용하였다.

2.1.4. 유지의 침투율

유지의 침투깊이를 측정하기 위해 시료를 2 cm 간격으로 절단 후, 구적계(KOIZUMI, Model KP-90N)를 이용하여 깊이별 단면의 유지점유 면적을 측정하였다.

2.1.5. 천공 처리

처리재의 내부 및 표면의 할렬을 방지하기 위하여 천공처리를 하였다. 직경 1 mm의 드릴을 사용하여 목구면으로부터 목재에 20 mm 간격, 30 mm 깊이로 총 24개의 천공처리 후 처리재의 할렬정도를 비교하였다.

2.2. 고온유지온욕 처리재의 발수·방부 성능 평가

2.2.1. 발수성능

고온유지온욕 처리재의 발수성능 평가는 처리재를 섬유방향에 직각이 되도록하여 1.5 cm 두께로 제재 후(Fig. 2의 a) 횡단면을 예폭시 수지를 이용하여 수

차례 도포하였다. 함유율이 평형에 달한(10%) 처리 시편의 섬유방향이 수면과 평행하도록 25℃의 물에 5시간 침지시켰다.

2.2.2. 항균효력

평판배양기(리터당 MgSO₄ 2 g, KH₂PO₄ 3 g, glucose 25 g, malt extract 10 g, peptone 5 g, agar 20 g을 용해한것)에 고온유지온욕 처리재 및 무처리재(2×10×10(mm), Fig. 2의 b)를 가장자리에 놓고 중앙에는 공시균을 접종하였다. 공시균은 임업연구원 목재보존실험실의 변색균 5종 *Aspergillus niger*(FRI 20131), *Penicillium funiculosum*(FRI 20745), *Rhizopus nigricans*(FRI 20952), *Aureobasidium pullulans*(FRI 20142), *Tricoderma viride*(FRI 21052)와 3종의 부후균 *Tyromyces palustris*(FRI 21055), *Trametes versicolor*(FRI 20256), *Serpula lacrymans*(FRI 20975)을 이용하였다. 배양온도 25±2℃에서 소정기간 배양후 균사의 성장길이를 측정하였다.

2.2.3. 방부효력

공시재를 30×30×30 mm(Fig. 2의 c)의 크기로 제작하고 KS M 1701의 「목재 방부제의 방부효력시험 방법」에 준하여 실시하였다. 다만 시험편의 크기를 고려하여 시편의 균에 대한 폭로기간을 200일로 연장하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 고온유지온욕처리 특성

3.1.1. 온도변화

목재내부의 깊이별 온도 변화에는 큰 차이가 없었다. 유지의 온도와 목재내부의 온도는 Fig. 3~5에서와 같이 차이가 있었으며, 120℃ 및 150℃ 처리에서는 각각 90분 및 60분 경과 후 100℃에 도달했다. Fig. 3에서 80℃의 아마인유에 처리한 목재의 온도가 80℃를 넘어 90℃까지 올라가는 현상은 목재내에

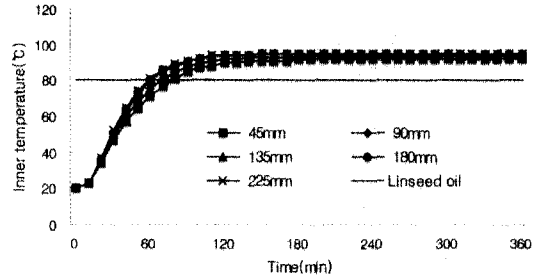


Fig. 3. Inner temperature variation of specimen dipped by 80°C linseed oil in process of time.

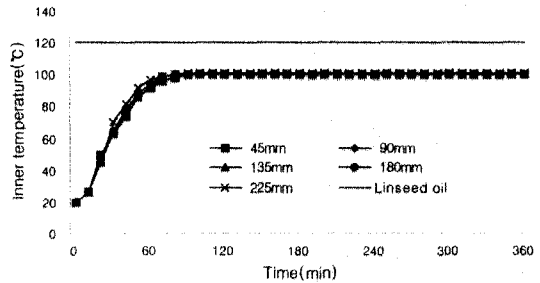


Fig. 4. Inner temperature variation of specimen dipped by 120°C linseed oil in process of time.

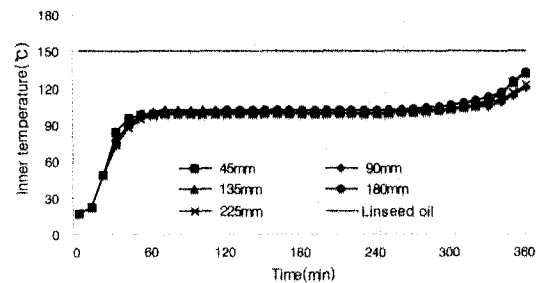


Fig. 5. Inner temperature variation of specimen dipped by 150°C linseed oil in process of time.

서 발생하는 수증기압에 의한 것으로 판단된다. 즉 압력의 상승에 따라 온도는 상승되며, 목구멍으로부터의 깊이에 따른 온도변화를 보면 압력이 높을 것으로 판단되는 중앙부위로 갈수록 온도가 다소 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 목재내의 압력이

Table 1. Moisture content distribution in sample after high temperature linseed oil treatment for 6 hrs.

	80°C			120°C			150°C		
	a*2	b	c	a	b	c	a	b	c
Moisture Content(%)*1	23.2	29.7	20.3	12.8	14.8	14.2	10.8	12.0	8.3
Standard Deviation	11.2	15.3	14.4	6.8	5.9	7.5	1.7	3.9	0.5

*1 Values are mean of 8 replicates.

*2 a, b and c as measurement positions of moisture content are shown in Fig. 1.

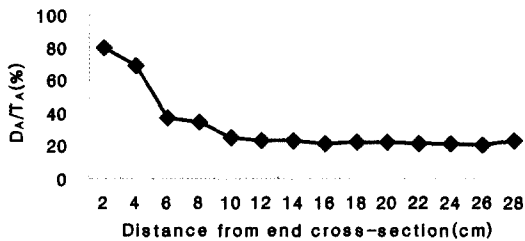


Fig. 6. Ratio(D_A/T_A) of the wetted to total cross-section areas along the longitudinal direction. Legend: D_A: area of wetted cross-section, T_A: total area of cross-section.

높아지는 시점에서 목재내의 활발한 수분의 증발과 목재 밖으로 수분의 방출이 이루어지며, 처리이후 아민유가 냉각되는 시점에서는 목재 속의 공기 및 잔여 수증기가 압축되어 감압상태가 되므로 목재내로의 아민유 주입이 이루어지는 것으로 판단된다.

150°C 처리에서는 약 300분 이후 목재내부 온도가 또 한번 상승하기 시작하였으며 처리시간이 연장됨에 따라 처리액의 온도에 가깝게 상승하였다. 이는 목재 내부에 존재하던 대부분의 자유수가 외부로 유출됨에 따른 온도변화로 판단된다.

3.1.2. 아민유의 침윤율 및 침윤깊이

아민유의 침윤율은 시험편의 길이를 2 cm 간격으로 절단하고 절단면의 유지 점유면적과 전체면적의 비로 계산하였다. 목구면에서 가까울수록 유지의 침윤율이 컸으며, 목구면으로부터 10 cm 이상의 깊이에서는 약 20% 정도의 고른 침윤율을 나타내었다 (Fig. 6). 이러한 결과는 목구면으로부터 10 cm 이

상의 거리에서는 목구면보다 주로 방사방향 및 접선 방향으로 아민유가 침투함을 나타낸다. 표면으로부터 아민유의 침윤깊이는 4 mm~10 mm 범위에 있었다.

3.1.3. 고온유지온욕 처리재의 함수율 변화

고온유지온욕 처리는 유지가 목재내로 침투하여 목재내부의 수분과 치환된 상태이므로 전류저항식 함수율 측정장치를 이용한 함수율 측정은 불가능하다. 또한 전건법에 의한 함수율 측정도 목재 내 침투한 유지의 영향을 받을 것으로 판단되나 고주파 용량식 함수율 측정장치 및 AWPA standard A6-01의 Toluene을 용매로한 soxhlet 추출방법으로 확인한 결과 처리목재의 함수율은 큰 차이가 없었으며, 6시간 처리 후의 함수율은 Table 1과 같다. 처리온도가 증가할수록 낮은 함수율을 나타내며 그 편차가 적게 나타났다.

3.1.4. 고온유지온욕 처리재의 강도

고온유지온욕처리가 목재의 강도에 미치는 영향을 평가하기 위해 실시한 30×30×500 mm 처리재의 탄성계수(MOE) 및 휨파괴계수(MOR)의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. 150°C 처리재와 무처리재의 측정치를 T-검정한결과 유의수준 5%에서 유의성이 없는 것으로 나타났다. 80°C 처리재는 150°C 처리재 및 무처리재에 비해 탄성계수가 약 1.6배 높았으며, 파괴계수가 약 1.5배 낮게 나타났다. 일반적으로 섬유포화점 이하에서는 목재의 함수율 증가에 따라 목재의 강도가 감소되는 것으로 알려져 있으며, 80°C 처리재가 150°C 처리재에 비해 낮은 강도를 나타낸 원

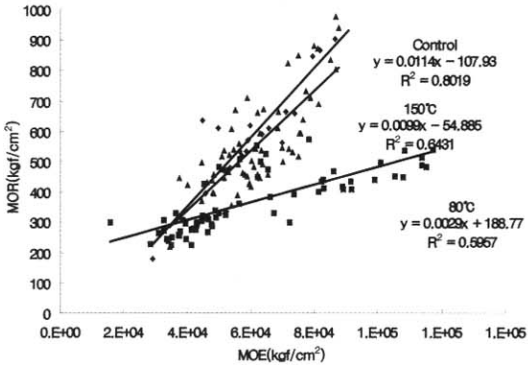


Fig. 7. Effect of high-temperature liquid treatment on MOR and MOE of *Pinus densiflora*.

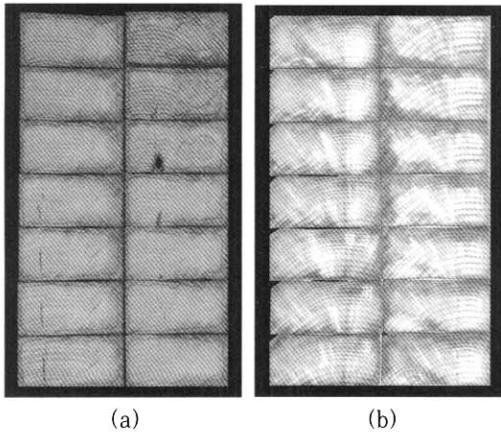


Fig. 8. Cross section of treated dried specimens: incising treatment(a) and control (b).

인은 처리과정에서 충분한 건조가 이루어지지 않았기 때문으로 판단된다.

3.1.5. 천공 처리

고온에서의 온욕처리는 급작스러운 목재내부응력의 변화가 일어나기 때문에 응력의 차이로 인한 내부할렬이 발생된다(Fig. 8의 (a)). 구조재로 사용되는 목재의 내부할렬은 목재의 강도감소를 일으키므로 반드시 해결해야 할 문제이다. 자상처리 목재의

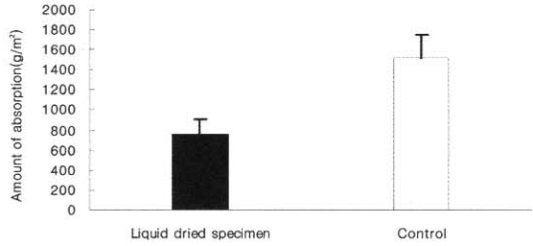


Fig. 9. Amount of water absorption of treated specimens(a) by heated linseed oil and controls(b). Error bars represent standard deviation.

효과를 보기 위하여 처리 이전에 444개/m²의 천공처리를 하였다. 목재의 천공처리는 아마인유의 침윤깊이를 향상시키고 목재의 건조속도를 다소 촉진시킬 수 있으면서 목재내부의 할렬을 방지할 수 있었다(Fig. 8의 (b)).

3.2. 고온유지온욕 처리재의 발수·방부 성능 평가

3.2.1. 발수성능

처리재의 발수성능은 흡수성 실험을 통하여 평가하였다. 흡수성 실험은 발수성능을 평가하는데 있어 접촉각 실험(Kazayawoko, 1987)이나 흡습성 실험에 비하여 간단하면서도 뚜렷한 재현성을 나타내기 때문에 발수성을 테스트하는 방법으로 적절한 것으로 판단된다(이 등, 2002). 5시간 침지처리 후 무처리재는 처리재의 두 배에 해당하는 흡수량을 나타내었다(Fig. 9). 유지를 주입한 목재는 야외사용에서도 함수율 변화가 적은 것으로 알려져 있다. 특히 순수 아마인유를 주입한 목재를 야외에 20개월 폭로한 실험에서(Lap-joint-test, ENV 12037) 처리재의 함수율은 20% 미만으로 50~60% 함수율 범위의 무처리재에 비해 매우 적은 함수변화를 나타내었다(Sailer et al., 2001). 본 실험의 결과를 함수율 변화로 볼 때 무처리재는 초기 함수율 10%에서 침지 후 40%까지 함수율 변화를 보인 반면, 150°C 처리재는 17%를 나타내었다. 이처럼 아마인유 처리재가 나타

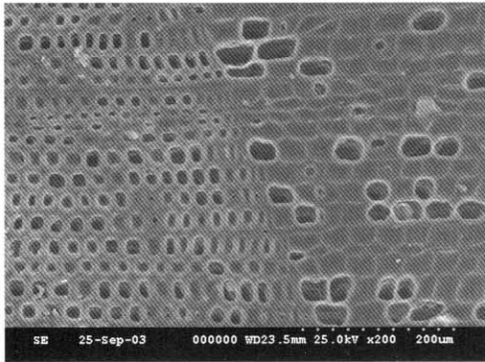


Fig. 10. SEM micrograph of cross section of specimen that was treated by high temperature linseed oil.

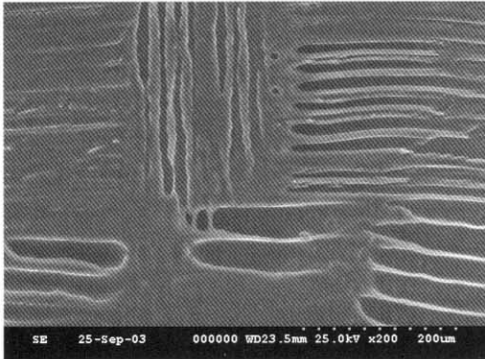


Fig. 11. SEM micrograph of radial section of specimen that was treated by high temperature linseed oil.

내는 발수능력은 Fig. 10-11에서 보는 바와 같이 목재 내에서 아마인유가 수분의 이동 통로 및 저장공간을 차지함으로써 수분의 흡수를 방지하기 때문인 것으로 판단된다.

3.2.2. 항균효력

8종의 균종에 대한 고온유지온욕 처리제의 항균효력 평가결과 아마인유 처리제는 항균효력이 없는 것으로 나타났다. 다만 3종의 부후균과 변재 변색균인 *T. viride*는 균사가 처리시편을 뒤덮고 성장하는 반면, 이를 제외한 4종의 변재 변색균의 균사는 처리

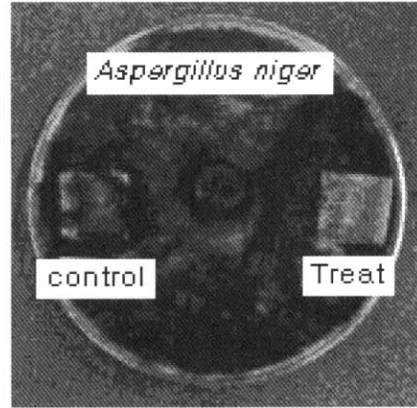


Fig. 12. Hyphal growth of *A. niger* on nutrient medium.

시편과 만나는 부분에서 처리시편 위로 자라지 않는 특성을 나타냈다(Fig. 12). 유사한 실험으로 Paajanen과 Ritschkoff(2002)는 아마인유가 백색부후균 *T. versicolor*의 성장길이에 35-37%의 저항력을 가지며, *Coniophora puteana*와 *Poria placenta*의 성장에도 저항력을 나타냄을 보고하였다. 하지만 아마인유를 주입한 단판을 이용한 실험에서는 처리 시편이 균사의 성장에 아무런 저항성을 나타내지 않았으며, 처리시편 위로 균사가 피복하였음에도 균에 의한 시편의 중량감소가 발생하지 않았다고 발표하였다. 이러한 결과들은 아마인유를 처리한 목재가 균의 성장에 있어서 광범위한 독성기작을 나타내지는 않음을 나타낸다. 변색균의 균사에 의한 목재의 침투는 방사유세포를 통하여 일어나기 때문에 페인트나 바니시와 같은 표면처리를 한 목재는 단기간 동안 변색균 방지에 효과가 있는 것으로 알려져 있으며, 처리재위로 직접 자라지 못한 4종의 변색균은 표면에 주입된 아마인유의 영향으로 판단된다.

3.2.3. 방부효력

각각 80℃ 및 150℃에서 처리한 시험편의 방부효력결과는 Fig. 13과 같다. 80℃에서 처리한 시험편은 무처리에 비해 *T. palustris*에 대하여 19.1%, *T. versicolor*에 대해 12.4%의 효력을 나타내었고, 150℃에서는 각각 49.0%, 69.0%의 효력을 나타내어 150℃

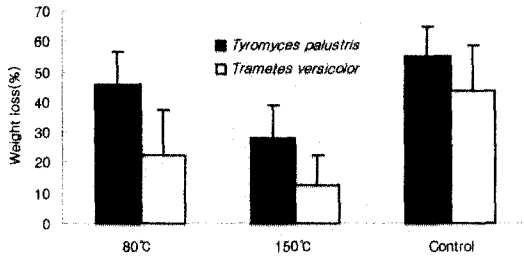


Fig. 13. Weight loss of treated specimens after exposure to *T. palustris* and *T. versicolor*. Values of graph are mean of 40 replicates and error bars represent standard deviation.

처리재가 부후균에 의한 피해를 덜 받은 것으로 나타났다. 이는 처리재의 함수율과 관련되어진 것으로 판단된다. 즉, 부후균이나 변재변색균은 결합수를 이용할 수 없는 것으로 알려져 있어, 본 실험에 사용된 함수율 약 15% 미만의 150°C 처리재에서는 이론상 생육이 어려우며, 이보다는 함수율 약 25%의 80°C 처리재가 가해받기 쉬웠을 것으로 판단된다. 차이를 나타내는 처리재의 부후정도는 부후 초기에 배지상의 수분을 이용한 균의 시편 가해속도와 관련되어진 것으로 판단된다.

4. 결론

목재의 고온유지온욕 처리방법을 통해 목재를 보다 신속히 건조하면서 처리재에 발수성을 부여할 수 있는 방법으로서의 가능성을 검토하여 보았다. 150°C에서 처리한 목재는 강도감소를 일으키지 않으면서 함수율 약 10%까지 건조가 가능하며, 천공 처리는 목재의 내부할렬 방지에 효과적이었다. 고온유지온욕 처리재는 발수성능 및 균에 대한 저항성이 무처리재에 비해 향상되었으나 균에 대한 항구적인 처리효과로 보기는 어려울 것으로 판단된다. 보다 건조

시간을 단축시킬 수 있는 상한온도의 결정, 목재의 직경급별 적정 처리시간의 결정, 내부의 응력해소방안, 처리액의 방부성능 향상방법 등의 문제가 금후 해결된다면 현장에서 매우 유용하게 적용할 수 있는 건조·발수처리 방법이 될 수 있으리라 판단된다.

참고 문헌

1. American Wood-Preservers' Association. 2002. Method for the determination of oil-type preservatives and water in wood. ASTM A6-01. ASTM, Granbury, Texas, USA.
2. Kazayawoko, M, A. W. Neumann, and J. J. Balatinez. 1987. Estimating the wettability of wood by the axisymmetric drop shape analysis-contact diameter method. Wood Sci. Technol. 31: 87~95.
3. Paajanen, L. and A. C. Ritschkoff. 2002. Effect of crude tall oil, linseed oil and rapeseed oil on the growth of the decay fungi. IRG/WP 02-30299.
4. Sailer, M. and A. O. Rapp. 2001. Use of vegetable oils for wood protection. Environmental optimization of wood protection. Workshop in Reinbek, Non 2001.
5. Treu, A., H. Militz, and S. Breyne. 2001. Royal-treatment-scientific background and practical application. Presentation at COST E22 Conference. pp. 1~8.
6. Yoshiaki, M., G. Junichi, F. Shinji, and K. Yasushi. 2002. Penetration of Paraffin into Sugi Structural Timber during High-Temperature Liquid Drying. Mokuzai Gakkaishi 48(5): 356~362.
7. Yoshiaki, M., N. Kiyomi, M. Hisashi, M. Takashi, Y. Eiji, and K. Yasushi. 2001. Mokuzai Gakkaishi 56(6): 270~274.
8. 이동훈, 오형민, 강창호, 손동원, 김종인. 2002. 천연유지류 처리재의 발수성능 평가. 임산에너지 21(2): 34~42.