

휨가공을 위한 액체암모니아 처리재의 물리적 성질*1

姜 琥 陽*2†

Physical Properties of Liquid Ammonia Wood for Bending*1

Ho-Yang Kang*2

요 약

액체암모니아 처리 칩·활엽수 소시편의 물리적 성질을 무처리와 비교하였다. 처리시간은 4와 8시간으로 하였다. 동일한 환경에서 처리재의 평형함수율은 무처리재보다 항상 높았으나 전건 후에는 차이를 나타내지 않았다. 암모니아 처리를 오래할수록 방사방향과 접선방향으로 수축이 일어났으나 섬유방향에는 변화가 없었다. 또 처리 시간이 길수록 초음파 전달속도는 감소하고 밀도는 증가하였다. 따라서 동탄성계수는 감소함을 보였다. 밤나무의 가소화는 증기처리가 액체 암모니아 처리보다 효과 있음과 인사이징이 칩·활엽수 모두 액체 암모니아 침투성을 높이지 못했음이 밝혀졌다. 액체 암모니아 처리는 5mm두께 침엽수 시편에서 제일 좋은 가소화 효과를 보였다. 상대유전율과 열전달계수도 측정하여 처리재와 무처리재를 비교하였다.

ABSTRACT

The physical properties of small hardwood and softwood specimens treated with liquid ammonia were investigated. The specimens treated for 4 or 18 hours were compared with the controls. The EMCs of the liquid ammonia treated specimens were higher than those of the controls when conditioned at the same humidities. However once oven-dried they didn't show any significant differences in EMCs. With the increase of liquid ammonia treatment time specimens shrank in radial and tangential directions, but not in longitudinal direction. As liquid ammonia treatment time increased the ultrasonic velocities of specimens

*1 접수 2002년 4월 11일, 채택 2002년 7월 15일

이 논문은 농림부 농림기술개발사업의 연구개발 결과임.

*2 충남대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

† 주저자(corresponding author) : 강호양(e-mail: hykang@cnu.ac.kr)

decreased and their densities increased, thus their dynamic MOEs decreased. For chestnut specimens the presteamed were more plasticized than the liquid ammonia treated. Incising on the surfaces of specimens didn't improve liquid ammonia permeability in both hardwoods and softwoods. Liquid ammonia treatment was very effective for plasticizing 5 mm thick softwoods. Relative dielectric constants and thermal conductivities were measured with both liquid ammonia treated and control specimens.

Keywords: plasticization, liquid ammonia, presteaming, EMC, radius of curvature, thermal conductivity

1. 서 론

국산재를 이용하여 부가가치가 높은 상품을 만들려는 연구가 여러 방법으로 진행되어왔다. 다양한 형태의 휩가공 소재를 사용한 공예품 또는 가구를 개발하는 것도 그 중 하나이다(소, 1991, 1997). 목재 휩가공은 증기처리나 여러 가지 화학처리에 의해 이루어져 왔는데 액체암모니아가 목재 가소성을 가장 높이는 것으로 알려져 왔다(Schuerch, 1964).

지난 2년 동안 대기압 하에서 목재를 액체 암모니아 처리할 수 있는 장치를 개발하였으며, 이 장치를 이용하여 소나무와 밤나무 소재의 액체 암모니아 가소성을 조사하였다(강, 2000). 또 액체 암모니아 휩가공 소재를 사용한 가구작품을 만들어 발표하기도 하였다(강, 2001).

암모니아 처리는 목재의 가소성을 높일 뿐만 아니라 목재의 물성을 변화시킨다. 건조를 병행하면 밀도가 증가되고 유전율도 현저히 커진다고 알려졌다(Torgovnikov, 1993). 목재 내 암모니아 양이 증가할수록 수증기와 마찬가지로 전기저항이 감소하나(Bariska et al., 1969) 흡착등온곡선은 수증기와 달리 비정상적인 패턴을 보이는데 이는 셀룰로오스 결정구조의 변화 때문으로 보인다(Bariska et al., 1970).

액체암모니아 처리 너도밤나무재의 가소성은 무처리재에 비해 압축응력에 대해서는 50~200배, 인장응력에 대해서는 2~8배 높았으며, 최대 인장변형은 2~3배 높았다(Bach, 1974). 또 반복적인 액체암모니아 처리에 의해 목재밀도가 증가한다. 액체암모니아 처리 온도는 -5~-33℃가 적당하다고 밝혀졌는데(Coles and Walker, 1978) 이보다 낮으면 목재가 뻗

뻗하여 가소화가 충분히 일어나지 않으며, 이보다 높으면 세포벽 팽윤도가 낮을 뿐만 아니라 높은 압력의 처리조건이 요구된다.

Davidson과 Baumgardt(1970)는 암모니아가스 처리재의 가소성을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 암모니아가스에 노출된 전건목재의 전기저항은 노출시간이 길수록, 또 암모니아가스 농도가 진할수록 낮아진다. 상온에서 포화암모니아가스에 노출된 단풍나무는 함수율이 높을수록 최저 휩강성에 빨리 도달한다. 그러나 암모니아와 수분을 제거하면 원래 휩강성으로 돌아간다.

본 연구에서는 액체암모니아 처리재의 물리적 성질을 조사하고 휩가공성을 증기 처리재와 비교하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 물리적 성질

공시수종으로 침엽수는 소나무(*Pinus densiflora*), 활엽수는 은사시나무(*Populus tomentiglandulosa*)를 선정하고 마이크로파 진공건조된 두께 20 mm 판목 판재에서 섬유방향 길이 200 mm, 섬유직각방향 길이 150 mm의 시편을 수종별로 5개씩 자른 다음 각 시편을 다시 섬유방향 길이가 60 mm씩 되게 3개로 잘랐다(Fig. 1). 따라서 최종시편의 크기는 폭(섬유방향) 60 mm, 두께 20 mm, 길이 150 mm로 3개가 한 조가 된다. 한 조인 3개 시편을 무처리, 4시간, 18시간 처리로 나누었다.

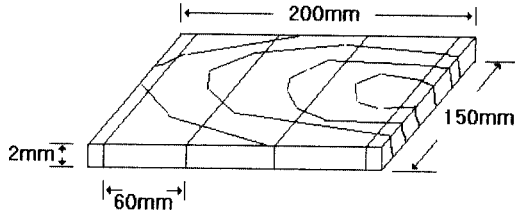


Fig. 1. A diagram for cutting specimens.

2.1.2 칩가공성 측정

사용된 수종은 활엽수로 밤나무(*Castanea crenata*), 양버즘나무(*Platanus occidentalis*), 침엽수로 더그라스퍼(*Pseudotsuga menziesii*), 낙엽송(*Larix leptolepis*), 라디에타 소나무(*Pinus radiata*), 리기테다 소나무(*Pinus rigida* × *taeda*)였다. 시편의 크기는 길이 300 mm, 폭 30 mm, 두께는 5와 10 mm의 두 가지로 만들었다. 길이는 섬유방향이며 폭과 두께는 섬유직각방향으로 방사방향과 접선방향을 구분하지 않았다. 칩이 어려운 수종은 incising 시편을 별도로 만들어 비교하였다. Incising 장치가 없기 때문에 직경 2 mm 드릴로 시편 두께의 1/2까지 사방 5 mm 간격으로 구멍을 만들었다. Incising 시편은 액체암모니아의 침투가 훨씬 용이할 것으로 기대하였다. 매 처리별 5개 시편을 만들었다.

2.2 실험방법

2.2.1 액체암모니아와 증기처리

액체암모니아 인출 및 처리에 대해서는 전보(강, 2000; 2001)에 자세히 설명하였다. 여기서는 편의를 위해 가장 어려운 과정에 하나인 액체암모니아를 15 기압 볼베에서 대기압으로 뽑아내는 과정의 모식도만 반복하여 도시하였다(Fig. 2). 이렇게 뽑아낸 액체암모니아는 영하 35°C 대형 냉동고에 보관하였다. 액체암모니아가 담긴 삼각플라스틱의 마개에는 실리콘 튜브를 꽂아 기화된 암모니아가스로 밖으로 배출될 수 있게 하였다. 액체암모니아 시편은 영하 35°C 냉동고에서 4시간과 12시간 동안 완전히 침지하여 만들었다.

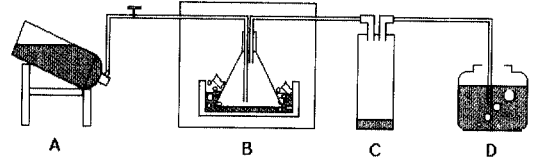


Fig. 2. A diagram for withdrawing liquid ammonia out of a bomb. A, liquid ammonia bomb of 15 atmospheric pressure; B, freezer of -35°C; C, reservoir; D, water container.

시편을 autoclave에 넣고 대기압 하에서 100°C 수증기를 쬐어 증기처리하였다. 처리시간은 4시간과 8시간의 두 가지로 하였다.

2.2.2 물리적 성질 측정

2.2.2.1 평형흡수율 및 치수변화

무처리재와 액체암모니아 처리재를 실온에 오래 방치하여 평형상태에 도달하게 한 후에 무게와 폭(섬유방향), 두께, 길이를 버니어캘리퍼스로 측정하고, 40°C, 90%RH, 풍속 4 m/s 조건의 건조기에서 3일간 흡습시켰다. 흡습 후 무게와 치수를 측정하고 후 온도와 풍속은 그대로 두고 상대습도만 29%로 낮추어 건조하였다. 3일 건조 후에 무게와 치수를 측정하고 103 ± 2°C 오븐에서 건조하여 전건무게를 계산하였다.

암모니아 처리재를 대기 중에서 10일 이상 방치하여 암모니아 기체를 충분히 휘발시킨 후에 흡습 실험을 실시하였으나 아직도 목재 내에 암모니아 분자나 이온이 존재하여 수분 흡수를 도울 가능성이 있다. 따라서 이러한 가능성을 배제하고자 시편을 모두 전건시킨 후에 같은 조건에서 2차 흡습을 실시하였다.

2.2.2.2 상대유전율

목재의 유전율을 측정하기 위해서는 Network Analyser라는 고가의 장비와 고도의 기술이 필요하다. 본 연구에서는 유전식 목재수분계를 이용하여 상대적인 유전율을 구하였다. 유전율이 높아지면 수분계 측정값이 증가하고 유전율이 낮아지면 감소한다는 원리를 이용하여 동일한 조건에서 측정된 유전율식 수분계 값을 비교하였다.

2.2.2.3 열전달계수

암모니아 처리 시편의 물성 변화를 조사하기 위해 열전달계수를 측정하였다. 사용된 열전달계수 측정기는 열선 타입의 QTM-500 Quick Thermal Conductivity Meter로 정도 범위는 0.0000~150.0000 W/m·K이다. 사용된 탐촉자는 모델 PD-11로 단열재, 수지, 세라믹, 고무, 목재, 콘크리트 등에 사용하는 것으로 측정범위는 0.023~11.63W/m·K이며 측정 온도는 -10~200℃, 측정시간은 60초이다.

2.2.2.4 초음파 전달속도와 동적탄성계수

무처리재와 액체 암모니아 처리재를 전건시킨 후에 시편 하나마다 세 곳의 초음파 전달속도를 측정하였다. 목재 또는 콘크리트 구조물의 초음파 비파괴검사에 쓰이는 PUNDIT를 사용하였으며 54 kHz 공진탐촉자를 사용하였다. Couplant는 사용하지 않았으며 약 2.5 kgf의 힘을 시편에 가하여 측정하였다. 새로 개발된 초음파 측정장치는 시편에 일정한 힘을 가할 수 있도록 설계되었다(농림부, 2001).

초음파 전달속도와 밀도, 동적탄성계수의 관계식은 다음과 같다.

$$E = \rho V^2 \times 9.8 \quad (1)$$

여기서 E = 동적탄성계수(ton/m^2), ρ = 밀도(g/cm^3),
 V = 속도(m/s)

위 식을 이용하여 액체 암모니아처리시간과 동적탄성계수의 관계를 조사하였다.

2.2.3 휨가공성 평가

처리시편은 잘 휘어지는 것은 손으로, 큰 힘이 필요한 것은 새로 제작한 휨장치(Fig. 3)를 이용하여 휨가공하였다. 원통을 가운데 넣고 휘지 않았기 때문에 정확한 곡률반경을 얻기 어려웠다. 따라서 다음과 같은 방법을 사용하였다.

Fig. 4에서 얻을 수 있는 관계식은 다음과 같다.

$$\cos(b) = \frac{L}{2R}$$

$$\frac{S}{2R\pi} = \frac{2a}{2\pi}$$

$$a + b = \frac{\pi}{2}$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{S}{2R}\right) = \frac{L}{2R} \quad (2)$$

위 식 (2)의 시편길이 S 는 300 mm이고, 양단직선 거리 L 은 시편마다 측정하여 얻을 수 있다. 식 (2)의 곡률반경 R 은 'trial and error' 방식으로 구하였다.

이렇게 구한 곡률반경은 실제 최소곡률반경보다 크게 나왔다. 실험에서 얻은 휨가공재는 대부분 원형이 아닌 타원형이기 때문에 위 식 (2)을 이용하면 최소 곡률반경이 크게 나온다. 곡률반경이 30 cm 이상인 시편은 거의 굽어지지 않거나 부러진 것이다.

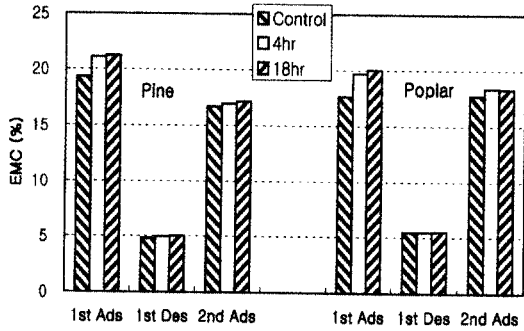


Fig. 5. The EMCs of liquid ammonia treated pine and poplar specimens adsorbed at 40°C and 90%RH and desorbed at 40°C and 29%RH.

3. 결과 및 고찰

3.1 물리적 성질

3.1.1 평형 함수율

1차 흡습 결과 소나무와 은사시나무 모두 암모니아 처리재의 평형함수율이 무처리재보다 높았으나 1차 방습과 2차 흡습 후에는 차이가 거의 없었다(Fig. 5). 암모니아 처리 후에 비록 대기 중에서 10일 이상 방치하여 암모니아 기체를 충분히 휘발시켰다고 하더라도 목재 내에 아직 암모니아 분자나 이온이 존재하기 때문에 흡습성이 높았다고 볼 수 있다. 그러나 건조에 의해 이들 분자나 이온이 모두 휘발되어 무처리재와 암모니아 처리재간에 흡습성 차이가 없어졌다고 설명할 수 있다.

또 처리시간에 따른 평형함수율은 Fig. 5로 볼 때 차이가 있다고 할 수 없다. 두 수종 모두 액체투과성이 높기 때문에 액체암모니아와 목재의 반응은 초기에 충분히 일어났기 때문이라고 볼 수 있다.

3.1.2 치수변화

액체암모니아 처리에 따른 소나무와 은사시나무의 치수변화형태는 비슷하였다(Figs. 6, 7). 폭 변화는

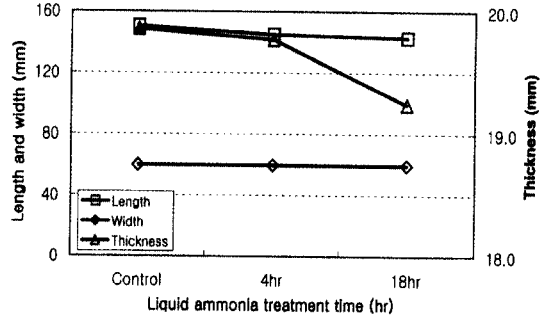


Fig. 6. Dimensional changes of the pine specimens treated with liquid ammonia at various treatment time.

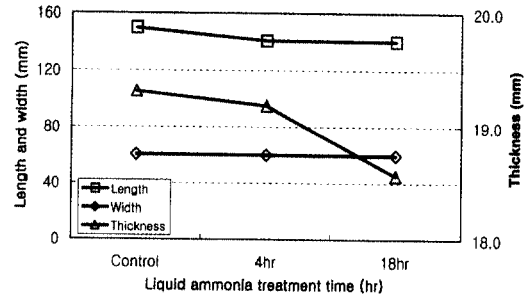


Fig. 7. Dimensional changes of the poplar specimens treated with liquid ammonia at various treatment time.

거의 없었으며 길이와 두께는 처리시간이 길수록 짧아졌다. 시편에서 폭 방향은 섬유방향과 같다. 그림에서 두께가 길이보다 더 줄어든 것으로 보이나 이는 눈금에 의한 차이일 뿐 길이가 더 많이 줄어들었다. 18시간 처리재의 두께는 무처리재에 비해 소나무는 약 3%, 은사시나무는 약 4% 감소하였으며 길이는 이보다 커서 소나무는 5.2%, 은사시나무는 6.6% 줄어들었다. 두 수종 모두 액체암모니아 처리에 의해 길이 굽음이 많이 나타나서 길이 측정에 어려움이 있었으나 정확한 측정을 위해 굽은 형태를 따라 측정하였다.

3.1.3 상대유전율과 열전달계수

상대유전율과 열전달계수 모두 소나무가 은사시나무보다 높았다(Fig. 8). 동일 수종에서 상대유전율은

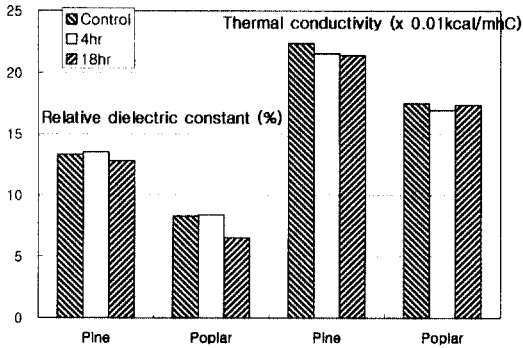


Fig. 8. The relative dielectric constants and thermal conductivities of the pine and poplar specimens treated with liquid ammonia at three different treatment time.

액체암모니아 4시간 처리는 무처리와 비슷하나 18시간 처리는 현격히 떨어졌다. 이러한 결과는 '암모니아 처리재를 건조하면 밀도가 증가되고 유전율도 현저히 커진다'는 Torgovnikov(1993)결과와 상반된다. 암모니아 처리에 의해 목재밀도가 증가하기 때문에 유전율도 증가하는 것이 옳다고 할 수 있다. 그러나 Torgovnikov 결과는 목재 내에 암모니아 기체 또는 이온 상태로 존재할 때 측정하는데 반해 본 실험은 전건 상태 목재를 측정하였으므로 기체 또는 이온 상태 암모니아는 없었다고 할 수 있다.

목재 유전율은 목재 내 극성분자 수에 비례하므로 본 실험 결과만으로 볼 때 액체암모니아 처리에 의해 극성분자의 수가 줄었다고 볼 수 있다. 극성분자의 감소는 결정화도 증가와 관련 있으므로 결정화도를 측정함으로써 결과를 증명할 수 있으나 본 연구의 범위를 벗어나기 때문에 이에 대한 연구는 차후에 수행할 계획이다. 유전율은 목재 함수율을 측정하는데 중요한 인자이므로 암모니아 처리재의 함수율을 정확히 측정하기 위해서는 보정이 꼭 필요하다.

소나무의 열전달계수는 무처리, 4시간 처리, 18시간 처리 순으로 높았으나 은사시나무는 4시간 처리가 가장 낮고 무처리와 18시간 처리가 같은 값을 나타냈다. 이러한 수중간 차이의 원인은 밝혀지지 않았으나 액체 암모니아 처리에 의해 열전달계수가 변함을 알 수 있었다.

Table 1. Sound velocities, densities and dynamic MOE's of liquid ammonia treated red pine and poplar specimens

Species	Properties	Liquid ammonia treatment time		
		Control	4 hrs	18 hrs
Red pine	Sound velocity (m/s)	3482	3277	3204
	Density (g/cm ³)	0.50	0.53	0.55
	Dynamic MOE (ton/cm ²)	624	585	57.7
Poplar	Sound velocity (m/s)	3968	3675	3580
	Density (g/cm ³)	0.37	0.40	0.41
	Dynamic MOE (ton/cm ²)	60.1	55.3	53.3

3.1.4 초음파 전달속도와 동적탄성계수

Table 1에 보인 바와 같이 액체암모니아 처리시간이 길수록 소나무와 은사시나무 모두 초음파 전달속도가 감소하였다. 액체암모니아 처리에 의해 목재 구성요소의 재배치가 일어나는데 목재가 가지고 있는 응력을 완화하는 방향으로 일어난다(Coles and Walker, 1978). 이러한 재배치가 어떻게 초음파 전달속도를 감소시키는지에 대해서는 밝혀지지 않았다.

동적탄성계수를 계산하기 위해 먼저 각 시편의 밀도를 측정하였다. Table 1은 평균 밀도를 처리시간에 따라 나타낸 것으로 액체암모니아 처리 후의 밀도이다. 처리시간이 길어질수록 밀도가 뚜렷이 증가하였다.

액체 암모니아 처리시간이 증가함에 따라 초음파 전달속도는 감소하고 밀도는 증가하는데 식 (1)에 의하면 동적탄성계수는 밀도에는 비례하지만 초음파 전달속도의 제곱에 비례하므로 밀도보다 초음파 전달속도와 같은 경향을 나타낼 것으로 예측할 수 있다. Table 1은 액체 암모니아 처리시간이 증가함에 따라 동적탄성계수가 감소하였음을 보여준다. 이 같은 감소경향은 소나무보다 은사시나무가 더욱 현저하였다.

3.2 수중별 휨가공성

3.2.1 활엽수(밤나무, 양버즘나무)

전체적으로 밤나무 시편은 암모니아 처리효과가 매

우 적었다. 5 mm 시편을 12시간 암모니아 처리재의 곡률반경이 증기처리 8시간하고 비슷한 결과를 얻었다. 10 mm 시편의 경우도 암모니아 처리재는 거의 휘지 않았으나 증기처리재는 곡률반경을 13.4 cm까지 얻을 수 있었다(Table 1). 이는 액체암모니아가 10 mm 시편의 내부까지 충분히 침투를 못했기 때문으로 보인다. 액체암모니아의 침투를 돕기 위한 incising 처리도 밤나무 5 mm와 10 mm 모두에 효과가 없었다. 이 같은 결과에 의하면 밤나무재 곡가공은 증기처리가 액체암모니아 처리보다 더 효과가 있다고 할 수 있다.

양버즘나무 증기처리재는 휘가공 중에 5개 시편 모두 인장파괴가 일어났다. 증기처리가 양버즘나무의 인장강도를 매우 저하시킨 것 같다. 경험으로 볼 때 양버즘나무 건조재는 어느 정도 강도를 유지하나 높은 함수율일 때는 강도가 매우 낮아진다. 암모니아 처리재도 대부분 휘는 도중에 인장파괴가 일어나고 각 처리별로 1~3개만 남았다. Table 2의 액체 암모니아 처리재의 값은 인장파괴된 것을 제외한 시편들의 평균과 최소곡률반경이나 증기처리재의 값은 인장파괴된 시편의 것들을 포함하였다. 5 mm시편이 10 mm시

편보다 작은 곡률반경을 나타냈다. 밤나무와 마찬가지로 incising 효과는 없었다.

3.2.2 침엽수(더그라스퍼, 낙엽송, 라디에타 소나무, 리기테타 소나무)

증기처리 침엽수재는 부러지거나 거의 휘어지지 않았다. 대부분 휘가공 초기에 인장파괴가 일어나서 휘가공을 중단하였다. 그런 중에서도 가장 좋은 휘가공성을 나타낸 것은 낙엽송이었다(Table 3). 낙엽송재는 5개 시편 모두 균일한 휘성능을 나타냈다. 10 mm 시편은 리기테타 소나무만 증기처리 하였는데 모든 시편에서 인장파괴가 일어났다.

침엽수재 5 mm의 암모니아 처리효과는 매우 좋았다. 더그라스퍼, 낙엽송, 라디에타 소나무는 시편 5개 중 1~2개를 제외하고 시편의 양단이 마주 닿을 정도로 잘 휘어졌다.

리기테타 소나무재 10 mm 암모니아 처리재의 경우, incising 시편 모두 약간의 가소성을 나타냈으나, incising을 하지 않은 시편은 모두 인장파괴가 발생하여 조금도 휘지 못하였다. 이 결과만 보면 incising 효

Table 2. The average and minimum radii of curvature of liquid ammonia treated and presteamed chestnut and sycamore specimens

Species and thickness	Treatment	Incising	Radius of curvature (cm)	
			Average	Minimum
Chestnut 10 mm	Liq. ammonia 4 hr	No	> 30	> 30
	Liq. ammonia 4 hr	Yes	> 30	> 30
	Steaming 4 hr	No	18	13
	Steaming 4 hr	Yes	24	16
Chestnut 5 mm	Liq. ammonia 12 hr	No	19	18
	Liq. ammonia 4 hr	Yes	29	23
	Steaming 8 hr	No	21	18
Sycamore 10 mm	Liq. ammonia 4 hr	No	21	21
	Liq. ammonia 4 hr	Yes	19	19
	Steaming 4 hr	No	> 30	> 30
	Steaming 4 hr	Yes	> 30	> 30
Chestnut 5 mm	Liq. ammonia 12 hr	No	6	6
	Liq. ammonia 4 hr	Yes	8	7
	Steaming 8 hr	No	> 30	> 30

Table 3. The average and minimum radii of curvature of liquid ammonia and presteaming treated various softwood specimens

Species and thickness	Treatment	Incising	Radius of curvature (cm)	
			Average	Minimum
Douglas-fir 5 mm	Liq. Ammonia 12 hr	No	5	5
	Steaming 4 hr	No	>30	26
Larch 5 mm	Liq. Ammonia 4 hr	No	6	5
	Steaming 4 hr	No	18	14
Radiata pine 5 mm	Liq. Ammonia 4 hr	No	6	5
	Steaming 4 hr	No	>30	>30
Rigida×taeda pine 10 mm	Liq. Ammonia 4 hr	No	>30	>30
	Liq. Ammonia 4 hr	Yes	10	6
	Steaming 4 hr	No	27	25
Rigida×taeda pine 5 mm	Liq. Ammonia 4 hr	Yes	>30	>30
	Liq. Ammonia 12 hr	No	6	5
	Steaming 4 hr	No	>30	>30

과가 있는 것으로 볼 수 있으나, incising을 하지 않은 시편을 실험할 당시, 기온이 매우 낮아 암모니아 처리재가 유연성을 갖지 못하였기 때문에 인장파괴가 많이 일어난 것으로 생각된다. 또한 암모니아 냄새 때문에 모든 실험은 야외에서 실시하였는데 암모니아 처리재는 온도가 약간 상승되어야만 잘 휘 수 있으나 추운 날에는 온도가 쉽게 올라가지 않아 유연성이 낮은 상태에서 힘을 주면 쉽게 파괴되었다.

4. 결 론

은사시나무, 밤나무, 양버즘나무의 활엽수 3수종과 소나무, 디그라스퍼, 낙엽송, 라디에타 소나무, 리기테다 소나무의 침엽수 5수종을 액체암모니아 처리하여 이들의 물리적 성질을 조사하고 휩가공성을 증기처리재와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 액체암모니아 처리재의 평형함수율은 처리 직후에는 무처리재보다 높았으나 건조 후에는 흡습이나 방습에서 모두 거의 차이가 없었다. 처리 직후에 남아 있던 잔류 암모니아 분자가 흡습성을 높인 것 같다. 한편 처리시간에 따른 평형함수율 차이는 없었다.

2) 액체암모니아 처리시간이 길수록 섬유직각방향

길이는 감소하였는데 18시간 처리 후 3.0~6.6% 줄어들었다. 그러나 섬유방향은 변화가 없었다.

3) 소나무와 은사시나무 모두 액체암모니아 4시간 처리재의 상대유전율은 무처리재와 비슷하였으나 18시간 처리재는 현격히 떨어졌다. 액체암모니아 처리시간에 따른 열전달계수는 수종에 따라 다르게 나타났으나 그 원인은 알 수 없었다.

4) 액체암모니아 처리시간에 따라 초음파 전달속도는 감소하고, 밀도는 증가하였으며 따라서 동적탄성계수는 감소하였다.

5) 밤나무 곡가공에는 증기처리가 액체암모니아 처리보다 더 많은 효과가 있었다.

6) incising 처리는 활엽수재와 침엽수재 모두 액체암모니아 투과성 향상에 효과가 없었다.

7) 5 mm 두께 침엽수재 휩가공에 액체암모니아 처리가 매우 좋은 효과를 나타냈다.

참 고 문 헌

1. Bach L. 1974. Rheological properties of beech wood in the ammonia-plasticized state. *Materials Science and Engineering* 15(2/3): 211~220.

2. Bariska, M., C. Skaar, and R. Davidson. 1969. Studies of the wood-anhydrous ammonia system. *Wood Science* 2(2): 65~73.
3. Bariska, M., C. Skaar, and R. Davidson. 1970. Water sorption 'overshoot' in ammonia-treated wood. *Wood Science* 2(4): 232~237.
4. Coles, R. W. and J. C. F. Walker. 1978. Induced shrinkage and structural reorganisation in ammonia-treated wood of Corsican pine. *Wood and Fiber* 10(1): 39~57.
5. Davidson R. W. and W. G. Baumgardt. 1970. Plasticizing wood with ammonia-A progress report. *Forest Products Journal* 20(3): 19~25.
6. Schuerch, Conrad. 1964. Wood plasticization. *Forest Products Journal* 14(9): 377~381.
7. Torgovnikov G. I. 1993. Dielectric Properties of Wood and Wood-based Materials. Springer-Verlag, New York.
8. 강호양. 2000. 액체암모니아를 이용한 국산재의 가소화 (I)-처리장치 및 기초실험. *한국가구학회지* 11(2): 55~60.
9. 강호양, 강형구. 2001. 액체암모니아 펌가공 소재를 응용한 디자인. *한국가구학회지* 12(2): 11~18.
10. 농림부. 2001. 최고급품질의 홍삼제조를 위한 공정개발. 1998년도 농림기술개발사업과제 최종보고서 (주관연구기관: 충남대학교).
11. 소원택, 채정기. 1995. 국산재 곡목가구 제조를 위한 Microwave-Heating System활용에 관한 연구 (I)-Microwave-Heating에 의한 아까시나무의 소재 펌가공 특성. *목재공학* 23(3): 73~81.
12. 소원택. 1997. 국산재 곡목가구 제조를 위한 Microwave-heating System에 의한 서어나무의 소재 펌가공특성. *목재공학* 25(2): 52~60.