

액체암모니아를 이용한 국산재의 가소화(I) -처리장치 및 기초실험*1

姜 琥 陽*2

Plasticization of Domestic Wood Treated with Liquid Ammonia(I)- Equipment and Preliminary Test*1

Ho-Yang Kang*2

ABSTRACT

Liquid ammonia treatment known as the most effective Wood plasticization method, was applied to two typical domestic species, *Pinus densiflora*, *Castanea crenata*. Small specimens of 30mm width, 300mm length and two thicknesses, 5 or 10mm, were used. For 5mm thick Specimens, *Pinus densiflora* was quite well plasticized after 4 hour liquid ammonia treatment, while *Castanea crenata* was not plasticized even after 24 hour treatment. Specimens of 10mm thick *Pinus densiflora* were hardly plasticized, but those with kerfs were bent somewhat easily. With the increase of liquid ammonia treatment time the thermal conductivity of *Pinus densiflora* increased, while that of *Castanea crenata* didn't. Presteamng before liquid ammonia treatment didn't improve the plasticization of both species.

keywords : *Pinus densiflora*, *Castanea crenata*, liquid ammonia, thermal conductivity, plasticization,

*1 이 논문은 농림부 농림기술개발사업의 연구개발 결과임.

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

1. 서 론

목재를 원하는 형태대로 말거나 굽힐 수 있는 기술을 개발하기 위해 많은 노력을 기울여 왔다. 전통적으로 목재에 가열증기를 가하여 휘는 방법은 우리 나라에서도 오래 전부터 사용되어 왔다. 목재에 열과 수분을 동시에 가하면 목재성분 분자와 물분자의 운동이 활발해져 가소성이 높아진다 (Hoadly, 1980). 이러한 방법은 삼자루, 지팡이 등을 완만하게 굽히는데 사용되어 왔다. 그러나 이러한 열가소화 방법은 얻을 수 있는 곡률반경에 한계가 있을 뿐만 아니라 일정한 힘을 계속적으로 가해주지 않으면 쉽게 원상 회복된다.

열가소화를 촉진시키기 위해 마이크로파 방법이 개발되어 사용되어 왔다. 마이크로파는 짧은 시간 안에 목재 내부를 가열하여 목재 성분의 온도를 유리전이 온도까지 높여주기 때문에 신속하고 원활하게 곡가공할 수 있도록 해주지만 최소 곡률반경을 현저하게 낮추지 못한다 (김, 1993)

화학처리로 목재를 가소화 시킬 수 있는 방법들이 개발되었는데(이, 1981) 그 중 액체 암모니아의 효과가 가장 좋은 것으로 알려져 있다. 액체 암모니아는 리그닌을 가소화 시킬 뿐만 아니라 셀룰로오스 수소결합을 팽윤시켜 분자의 미끄럼을 활발하게 한다 (Schuerch, 1964). 액체 암모니아는 셀룰로오스의 비결정 영역은 물론 결정 영역까지 침투하기 때문에 매우 효과적인 가소성을 나타낸다.

암모니아 처리는 목재의 가소성을 높일 뿐만 아니라 목재의 물성을 변화시킨다. 건조를 병행하므로써 밀도를 증가시키며 유전율도 현저히 증가시킨다 (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).

두께 3mm, 폭 100mm, 길이 1000mm의 자작나무를 4-5시간 액체 암모니아 처리하여 목재를 몇 가락처럼 휘 수 있었다는 보고가 있다 (Schuerch, 1964). 액체 암모니아 처리는 거의 모든 수종에 적용할 수 있는데 고밀도 수종보다는 저밀도 수종에

서 압축파괴가 나타날 확율이 높다.

액체 암모니아를 목재 곡가공에 사용했는지 꽤 오래 되었으나 국내에서는 아직 이 기술을 국산재에 적용하였다는 보고가 없다. 이러한 곡가공 기술을 이용하면 매우 다양한 형태의 목재제품을 만들 수 있기 때문에 디자인 지평을 넓힐 수 있다. 그러나 고농도 액체 암모니아는 유독성이기 때문에 취급에 주의를 요한다. 본 연구에서는 액체 암모니아를 안전하게 처리할 수 있는 장치를 제작하고 국내 대표수종인 밤나무와 소나무 시편의 곡가공 효과를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 액체 암모니아 처리장치

본 연구를 위해 제작한 액체 암모니아 처리장치의 외형규격은 1560×480×660mm, 내부공간 규격은 1400×400×480mm로 길이가 1m 이상 되는 목재의 처리도 가능하도록 만들었다. 육면을 우레탄으로 단열하였으며 개구부는 실리콘으로 packing하여 진공도 가능하도록 하였으나 낮은 진공상태를 오래 유지할 수는 없었다. 최저온도 45℃로 대기압에서 액체 암모니아 끓는점 -33.35℃보다 낮은 온도를 유지할 수 있도록 하였다.

2.2 액체 암모니아의 인출

액체 암모니아 처리장치를 액체 암모니아를 봄베이에서 인출하는데도 사용하였다. 액체 암모니아는 끓는점이 낮기 때문에 고압 봄베이(15기압)에 넣어 운반한다. 순수 암모니아는 유독하기 때문에 고압 봄베이에서 대기압 상태 용기에 액체로 담아내는 일은 매우 어렵다. 용기온도를 거의 순수암모니아의 어는점 (-77.7℃, 1기압)까지 낮추어 주어야만 기화되었던 암모니아를 응축시킬 수 있다. 암모니아 처리장치(최저온도 -45℃) 만으로 충분히 낮은 온도를 얻을 수 없어 아세톤과 드라이아이스(승화온도 -78.48℃)를 이용하였다.

드라이아이스-아세톤 용기를 암모니아 처리장치에 넣고 삼각플라스크를 드라이아이스-아세톤 용기에 담근 다음, 봄베이 밸브에 연결된 테프론

튜브를 삼각플라스크에 담았다. 삼각플라스크 내에 응축되고 남은 암모니아 가스를 배출하기 위해 또 다른 테프론 튜브로 배출구를 만들어 암모니아 처리장치 밖으로 빼낸 다음 그 끝을 물탱크에 담았다. 배출된 가스는 물탱크에 용해되기 때문에 공기 중으로 배출되는 양은 거의 없었다.

2.3 공시시편

공시수종은 소나무와 밤나무로 소나무는 지리산에서, 밤나무는 대전시내 야산에서 벌채하여 판재로 제재 건조한 것을 사용하였다. 시편의 규격은 폭 30mm, 길이 300mm에 두께 5와 10mm였다. 소나무 10mm 중 일부는 암모니아의 침투를 원활히 하기 위해 시편 한 면에 길이 직각 되게 1cm 마다 폭 2mm, 깊이 5mm의 kerf를 만들었다.

2.4 암모니아 처리 및 곡가공

암모니아 처리는 대기압 -35℃에서 실시하였다. 시편을 처리장치에 넣고 모든 시편이 충분히 잠길 정도로 액체 암모니아를 부은 후 장치의 문을 닫고 각각 4, 6, 8, 24시간 방치한 후에 꺼내었다. 암모니아 처리 시편은 상온에 5분 정도 둔 후에 시편의 파괴한도 내에서 양손으로 잡고 휘었다.

2.5 증기처리

암모니아 처리 시편과 비교하기 위해 증기처리 시편을 만들었다. 소나무와 밤나무 5mm시편 중 일부를 autoclave에 넣고 대기압 하에서 4시간동안 증기처리하였다.

2.6 열전달계수 측정

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·K 이다. 사용된 탐촉자는 모델 PD-11로 단 열재, 수지, 세라믹, 고무, 목재, 콘크리트 등에 사용하는 것으로 측정범위는 0.023~11.63W/m·K이며 측정온도는 -10~200℃, 측정시간은 60초이다.

2.7 흡습율 측정

암모니아 처리 시편과 무처리 시편을 60℃오븐에서 24시간 건조한 후에 무게를 측정하고, 모든 시편을 건구온도 40℃, 상대습도 100%인 건조조에 넣고 30시간 흡습시켰다. 흡습한 후 103±2℃ 오븐에서 전건무게를 구하여 각 시편의 흡습율을 구하였다.

2.8 전처리 효과

증기처리는 목재의 투과율을 높이는데 효과가 있다. 증기처리가 액체 암모니아 투과성에 미치는 영향을 알기 위해 소나무와 밤나무 두께 5mm 시편을 2시간 증기처리 한 후에 오븐에서 전건시켜서 4시간 동안 액체암모니아 처리하여 가스성을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 암모니아 및 증기 처리재의 곡가공

소나무와 밤나무 5mm 시편의 곡가공된 모습은 각각 그림 1, 2와 같다. 그림 1의 상부 3개는 모두 액체암모니아 처리 시편으로 좌측이 4시간 처리, 우측 상단이 6시간 처리, 우측 하단이 8시간 처리된 시편으로 4시간 이상만 처리를 하면 높은 가스성을 나타냄을 보여주고 있다. 그림 1의 제일 하단은 증기처리 4시간 시편으로 낮은 가스성을 보여주고 있다.



Fig. 1. Specimens of 5mm thick *Pinus densiflora* treated with liquid ammonia for 4(top left), 6(top right) and 8(middle) hours and steamed for 4 hours(bottom).

그림 2는 위에서부터 암모니아 처리 4, 6, 8, 24시간과 증기처리 4시간인데 제일 하단 2개 시편을 제외하면 거의 휘어지지 않았다. 암모니아 처리시간 24시간과 증기처리 4시간이 비슷하게 흰 형태를 보이고 있다. 따라서 밤나무 5mm에 있어서는 암모니아처리가 증기처리보다 효과적이라고 볼 수 없다.

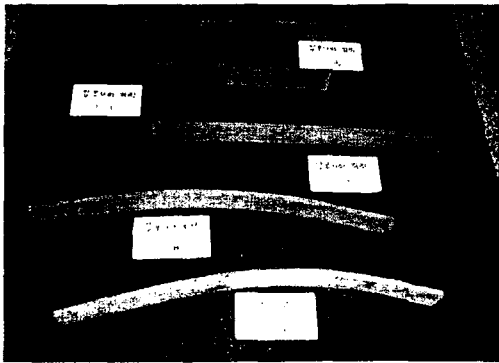


Fig. 2. Specimens of 5mm thick *Castanea crenata* treated with liquid ammonia for 4, 6, 8 and 24 hours and steamed for 4 hours (from top to bottom).

두께 10mm 시편은 소나무만 8시간 암모니아 처리하였다. 그림 3에 보인 4개 시편 중 왼쪽 2개는 kerf가 없는 것이고 오른쪽 2개는 kerf가 있는 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 왼쪽 2개의 시편은 8시간 처리 후에도 큰 가소성을 나타내지 않았다. 그러나 kerf가 있는 오른쪽 2개 시편은 5mm시편과 마찬가지로 충분히 휘어졌다. 이는 액체암모니아가 kerf를 통해 내부로 충분히 침투하였기 때문에 목재의 가소성이 높아진 때문이기도 하지만, 한편 kerf가 압축면에 발생하는 buckling을 없애주었기 때문이라고도 할 수 있다.

3.2 열전달계수 측정

본 연구에 사용된 열전달계수 측정기에 사용되는 시편의 최소크기는 가로 50mm, 세로 100mm, 높이 20mm이어야 하나 목재시편은 그보다 작기 때문에 실제로는 정확한 열전달계수를 측정할 수가 없다. 따라서 표1에 나타난 열전달계수는 상대적인 수치로만 사용할 수 밖에 없다.

표1에서 보이는 바와 같이 소나무 시편의 열전달계수는 일반적으로 처리시간이 길어질수록 두께 5와 10mm 모두 증가하는 경향을 보였으나, 밤나무는 오히려 감소하거나 거의 변하지 않았다. 이 차이는 밀도변화로 설명할 수 있다. 밤나무는 암모니아처리 곡가공 후에도 뽕뽕해서 굽어지지 않았기 때문에 밀도변화가 없었으나 소나무 시편은 모두 잘 휘어졌기 때문에 꺾인 부분에 밀도가 증가하였기 때문으로 볼 수 있다.

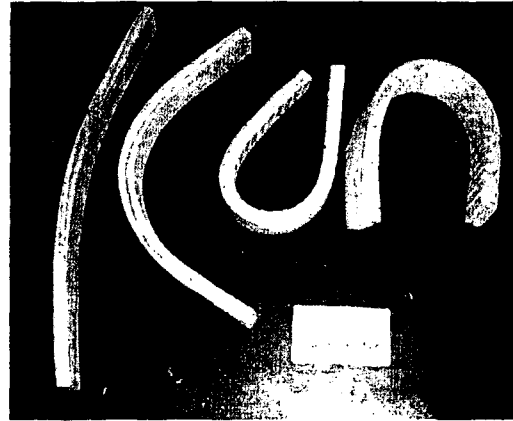


Fig. 3. Specimens of 10mm thick *Pinus densiflora* treated with liquid ammonia for 8 hours. Two specimens with kerfs (right) are more plasticized than the others.

Table 1. Thermal conductivities of *Pinus densiflora* and *Castanea crenata* specimens treated with liquid ammonia for various hours.

Species	Thickness (mm)	Treatment time (hr)	Thermal conductivity (w/m · K)
<i>Pinus densiflora</i>	5	4	0.1342
		6	0.1407
		8	0.1132
		24	0.1657
<i>Pinus densiflora</i>	10	8	0.1345
		12	0.1561
<i>Castanea crenata</i>	5	4	0.2231
		6	0.1985
		8	0.2061
		24	0.2083

3.3 흡습율 측정

흡습한 후 각 시편의 평균 함수율은 아래 그림 4와 같다. 밤나무 무처리 시편의 데이터가 누락되어 암모니아 처리재와 무처리재를 비교할 수는 없으나, 소나무의 경우 암모니아 처리재의 함수율이 무처리보다 월등히 높았다. 즉 암모니아 처리시편이 무처리보다 흡습성이 크다고 할 수 있다.

밤나무 5mm 시편과 소나무 5mm 시편 모두 처리시간간에는 흡습성 차이를 나타내지 않았다. 한편 두께 10mm 시편에서 kerf를 만든 시편(PNk10-8)이 그렇지 않은 시편보다 미미하나마 높은 함수율을 나타냈다. 이는 전자의 표면적이 후자보다 넓기 때문으로 볼 수 있다.

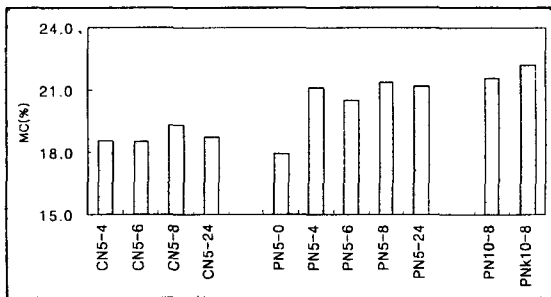


Fig. 4. Average moisture contents of liquid ammonia treated and control specimens conditioned in a kiln at 40°C and 100% RH

3.4 전처리 효과

소나무와 밤나무 시편 모두 증기전처리가 암모니아 처리재의 가소성에는 별 영향을 주지 못했다. 4시간 암모니아 처리 후 소나무는 전처리를 하지 않는 시편과 마찬가지로 가소화되어 쉽게 휘어졌으나, 밤나무는 거의 변화가 없었다.

4. 결 론

액체 암모니아를 이용하면 다른 어떤 방법보다

손쉽게 목재를 곡가공할 수 있다. 국산재의 곡가공기술 향상을 위해 액체 암모니아 처리장치를 개발하고 이를 이용하여 국내 대표수종인 소나무와 밤나무의 곡가공 효과를 조사하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 두께 5mm 소나무 시편은 액체 암모니아를 4시간 이상만 처리를 하면 높은 가소성을 나타냈다.
2. 두께 5mm 밤나무 시편은 24시간 액체 암모니아 처리 후에도 가소성을 나타내지 않았으며 오히려 4시간 증기처리가 더 높은 가소성을 나타냈다.
3. 두께 10mm 소나무 시편의 액체암모니아 투과성을 높이기 위해 만든 kerf는 가소성을 높이는 데 효과적이었다.
4. 소나무 시편의 열전달계수는 일반적으로 처리시간이 길어질수록 두께 5와 10mm 모두 증가하는 경향을 보였으나, 밤나무는 거의 변하지 않았다.
5. 액체 암모니아 처리 소나무 시편의 흡습성은 무처리보다 높았으나, 소나무와 밤나무 시편 모두 처리시간에 따른 차이는 없었다.
6. 소나무와 밤나무 시편 모두 증기전처리가 암모니아 처리재의 가소성에는 별 영향을 주지 못했다.

참 고 문 헌

- Bariska, M., C.Skaar and R.Davidson. 1969. Studies of the wood-anhydrous ammonia system. *Wood Science* 2(2):65-73.
- Bariska, M., C.Skaar and R.Davidson. 1970. Water sorption 'overshoot' in ammonia-treated wood. *Wood Science* 2(4):232-237.
- Hoadly, R.Bruce. 1980. UNDERSTANDING WOOD. The Taunton Press, Inc. Newtown, Connecticut
- Schuerch, Conrad. 1964. Wood plasticization.

- Forest Products Journal 14(9):377-381.
- Torgovnikov G.I. 1993. DIELECTRIC PROPERTIES OF WOOD AND WOOD-BASED MATERIALS. Springer-Verlag, New York.
- 김영해 역. 1993. 공업용 마이크로파 응용기술. 기전연구소, 서울.
- 이필우 등. 1981. 목재공학 p254. 향문사, 서울.