

江原道 地域의 針潤葉樹材 木材資源의 利用開發을 위한 基礎的 研究 - 복합목재 제조를 위한 단량체의 침투기구 -

李元用¹⁾ · 李成宰²⁾

Utilization and Development of Major Wood Resources in Kangwon-do - Permeability system of monomer in wood polymer composites -

Won-Yong Lee¹⁾ and Sung-Jae Lee²⁾

要 約

주요 침·활엽수재에 대하여 methyl methacrylate를 이용하여 만든 목재-polymer복합체에 대하여 polymer의 분포와 존재상태등을 목재의 조직학적인 면에서 조사하였으며 그것을 요약하면 다음과 같다.

1. polymer의 침투성은 수종에 따라 다르며 수종고유의 특성에 따라 다르다. 낙엽송은 침투성이 대단히 나쁘며 활엽수재에 있어서는 환공재가 산공재보다 침투성이 양호 하였다.
2. 횡단면에서 침투성이 가장 양호하며 방사단면과 접선단면에서의 주입은 저하되고 양자의 차이는 거의 없었다.
3. 동일 수종에서는 변재가 심재보다 침투성이 양호 하였다. 수종에 따라 변심재간에 침투성이 다른 것은 심재화에 의한 tyloses의 형성 또는 도관중의 침착물에 의한 것으로 생각되고 있다.
4. 환공성 수종에서는 조재부가 만재부보다 polymer의 침투성이 양호 하였으며 산공재에서는 반대로 만재부가 조재부보다 침투성이 양호하였다.
5. 도관의 크기와 침투성과의 사이에는 명확한 상관성이 없는 것으로 생각된다. 도관의 직경이외에도 도관의 비율, tyloses의 발달, 내용물의 충전 혹은 천공판등이 관계하는 것으로 생각되고 있다.
6. 침엽수재 방사조직에 있어서는 방사유세포보다 방사가도관의 침투성이 양호하였으며 활엽수재의 방사조직은 구성비율이 높음에도 불구하고 단량체의 방사방향에 미치는 영향은 침엽수재보다 적었다.
7. 비중과 연륜폭은 모두 polymer의 침투성과 거의 관계가 없었다.

ABSTRACT

In this paper, it has been discussed on the relation between the anatomical features of woods and the penetration of methyl methacrylate monomer system into major Korean tree species, especially the *Pinus*

1) 강원대학교 산림과학대학 : College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, KOREA

2) 강원도 산림개발연구원 : Forest Research Institute, Kangwon Province, Chuncheon 200-150, KOREA

koraiensis, Larix leptolepis, Quercus mongolica and Tilia amurensis.

1. There was some differences in penetration of polymers among different tree species, but generally the penetration of ring porous woods seems to be larger than that of diffuse porous woods and it was very difficult to penetrate to *Larix leptolepis*, especially to the that of heart wood.

2. The penetration on tranverse surface was relatively easy but radial and tangential impregnation were somewhat hard and differences between them were negligible.

3. The penetration of sapwood was larger than that of heartwood and its differences varied according to the existence of tyloses or contents in vessel.

4. Generally the polymer penetration of earlywood was larger than that of latewood in ring porous woods, but on the contrary, penetration of earlywood was small than that of latewood on diffuse porous woods.

5. Vessel diameter of wood had nearly no relation to polymers penetration. This seems to come from the reason that effective vessel diameter varies with the existence of tyloses or contents in vessel.

6. The penetration of ray tracheids was larger than that of ray parenchyma cells in softwoods, but penetration of hardwood rays seems to be small in comparison with softwood ray parenchyma cells.

7. Specific gravity and annual ring width had no relation to the penetration of polymer.

Key words : Wood polymer composite, permeability, methyl methacrylate, monomer, polymer.

I. 서 론

오늘날은 석유화학의 시대로 불려지고 있고 인류의 生活資材로서 과거의 生物資源에서 비롯된 石油를 원료로 한 工業生産物의 기여도가 대단히 크다. 그러나 그러한 석탄 석유등의 化石에너지 자원도 21세기에는 고갈이 예상되고 있기 때문에 대체 에너지 資源에 대한 인류의 기대는 대단히 크며 그에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

이러한 자원은 지구상에 존재하는 가장 풍부한 天然高分子有機物의 하나로서 태양 에너지가 존재하는 한 매년 수십억톤씩 생산되고 있고 자연계의 법칙에 의하여 생성, 분해, 이용 및 다시 생성의 cycle을 반복하는 소위 무한정한 자원이다. 따라서 장래의 에너지, 화학약품 또는 식량등의 資源으로서 식물체인 森林資源을 활용하려고 하는 기술 개발의 의지는 대단한 것으로 생각되고 있다.

그런데 이와 관련하여 최근 森林資源의 하나인 木質系의 複合材料의 하나로서 木材-polymer複合體에 관한 연구가 많은 관심을 갖게 되었다. 그것은 천연의 고분자 물질인 목재와 합성고분자(plastic)를 합성한 새로운 재료로서 치수安定性和 耐摩耗性, 硬度, 壓縮強 및 剪斷強등의 각종 기계적 성질이 매우 우수한 物性을 나타내고 있기 때문이다. 목재-polymer복합체는 styrene, methyl methacrylate(MMA), 초산 vinyl등의 vinyl系 monomer를 목재중에 주입하고 放射線重合法 또는 加熱觸媒重合法에 의하여 목재중에서 중합처리 한 것이다.

이상과 같이 목재 polymer복합체는 목재 조직내에서의 polymer의 존재위치, 또는 분포등에 의하여 그 物性등의 여러 성질이 크게 영향을 받게 된다. 따라서 목재-polymer복합체의 製造上, 또는 利用面에서 볼 때 가장 바람직한 polymer의 존재상태에 관한 연

구는 금후의 큰 연구과제이며 동시에 궁극의 목표이기도 하다. 한편 세포벽에 있어서의 polymer의 존재 위치나 분포등에 관한 연구도 아직 불충분하며 細胞壁의 組織構造, 특히 微細構造面에서 polymer가 어떤 위치에 어떤 상태로 존재하고 있는가를 해명한다는 것은 대단히 중요한 과제이며 장래의 연구의 발전이 기대되고 있다. 또한 細胞內腔에 充填되고 있는 polymer와 細胞內壁과의 界面構造는 목재-polymer복합체 뿐만 아니라 接着, 塗裝등과 같이 목재와 Polymer와의 界面에 있어서 相互作用을 이해하는데 매우 중요한 연구과제로 생각되고 있다.

따라서 본 연구에서는 木質系의 複合材料의 하나이며 methyl methacrylate(MMA)를 이용하여 만든 목재 polymer복합체에 대하여 polymer의 분포나 존재상태, 주입된 polymer의 침투거리등 木材組織學的인 면에서 규명하여 보다 양질의 목재-polymer복합체를 제조 하는 기초적 知見을 얻는데 본 연구의 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 시 료

본 연구에서 사용한 시료는 우리나라의 대표적 수종인 잣나무(*Pinus koraiensis*)와 일본잎갈나무(*Larix leptolepis*) 및 환공성 수종인 신갈나무(*Quercus mongolica*)와 산공성수종인 피나무(*Tilia amurensis*)를 선정하였다.

이들 공시재의 변재 및 심재로부터 크기 20(R)×20(T)×40(L)mm의 공시편을 채취, 전처리로서 온도 70-80℃로 약 50시간 알콜·벤졸 추출하고 MMA단량체를 주입하기 전에 진공건조(50℃, 약 50시간)하여 전건시켰다.

Table 1. Sample trees

Species		Specific gravity in air dry	Ring width (mm)
<i>Pinus</i>	Sapwood	0.41	1.5
<i>koraiensis</i>	Heartwood	0.46	2.7
<i>Larix</i>	Sapwood	0.61	1.2
<i>leptolepis</i>	Heartwood	0.68	2.3
<i>Quercus</i>	Sapwood	0.73	1.6
<i>mongolica</i>	Heartwood	0.75	2.8
<i>Tilia</i>	Sapwood	0.45	2.5
<i>amurensis</i>	Heartwood	0.39	2.7

2. 주입면의 선택

본 연구에서는 주입면을 횡단면, 방사단면 및 접선단면의 3면으로 하였다. 따라서 공시편의 주입면 이외의 단면을 상온경화성 phenol수지를 4회 도포하여 경화시켰다.

3. 주입 및 중합방법

MMA monomer에 용매를 첨가하지 않은 무용매계와 여러가지 용매를 50:50으로 첨가한 용매계로 나누어 감압주입하였다. 용매로서는 benzen, dioxane 및 methanol를 사용하였다. 이들 용매는 MMA monomer에 대하여 양호한 용매로서 Stamm³⁸⁾이 white pine 및 Sitka spruce에 대하여 실험한 각종 유기액체중에 있어서의 팽윤에 의하면 그 팽윤은 benzen 0, dioxane 62, methanol 95였다. 본 연구에서는 이와 같은 비팽윤이 현저히 다른 3종의 용매를 사용하였다. 용매계와 무용매계의 혼합액에 촉매로서 과산화벤젠 1% 와 염료로서 형광염료 0.05%를 첨가하였다.

주입방법은 직경 35mm의 시험관에 시편을 넣고 진공펌프로 3시간정도 배기(실온, 진공도 약 20~25mmHg)하고 감압하에서 주입시킨 다음 다시 횡단면의 경우는 30초,

접선단면 및 방사단면의 경우는 15분간 용액중에 침적한 후 80°C로 24시간 가열하여 중합시켰다.

이상과 같이 중합처리한 시료에 대하여 재중에 주입된 polymer의 양(polymer 함유량)을 나타내는 중량증가율을 다음의 방법에 의하여 측정하였으며 또한 공시편을 조개어 주입된 polymer의 침투거리등을 조사하였다.

$$\text{Polymer의 중량증가율} = \frac{\text{중합재중량-무처리재중량}}{\text{무처리재 중량}} \times 100(\%)$$

Ⅲ. 시험 결과 및 고찰

1. 수종별 침투성

각 공시재에서 측정된 polymer의 주입량과 침투거리를 측정된 결과 Table 2, 3과 같다. 이결과에 의하여 수종별의 변이를 고찰하여 보면 수종에 따라 많이 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 본 연구의 공시재에 있어서

는 전체적으로 보아 침엽수재가 활엽수재보다 다소 polymer의 주입량이 양호하며 동일한 침엽수재에 있어서는 잣나무가 일본잎갈나무보다, 또한 활엽수재에 있어서는 신갈나무의 변재는 피나무보다 polymer가 침투된 거리와 주입량이 대단히 양호한 것으로 생각되고 있다.

특히 본 연구의 일본잎갈나무의 주입이 어려운 원인은 심재의 유연벽공의 폐합상태와 많은 심재추출물의 존재로 인한 단량체의 주입의 저해로 생각되고 있다. Erickson¹¹⁾은 Douglas-fir에 있어서 styrene monomer로 실험하고 변재에 비하여 심재에서는 침투세 포수가 적은 이유를 심재벽공의 폐합상태와 관련시키고 있다.

한편 李¹⁾가 한국산 주요 수종의 흡수성을 조사 연구한 바에 의하면 잎갈나무의 흡수성은 매우 저하되어 있었으나 전나무와 같이 수지구가 없는 수종은 비교적 흡수성이 높은 경향이 있었다. 또한 활엽수재에서는 붉나무와 같이 크고 개방된 도관을 가지고 있는 수종은 흡수성이 비교적 크지만 산뿔나무와 같이 큰 도관을 가지고 있어도 tyloses 또는 gum질로 그 도관 일부 또는

Table 2. Impregnated distances of polymer in softwoods(mm)

Species	Solvent	L		R		T	
		SW	HW	SW	HW	SW	HW
<i>Pinus koraiensis</i>	MMA	40	40	20	8	13	6
	Benzene	40	40	20	7	8	6
	Dioxane	25	35	8	9	7	5
	Methanol	35	28	20	6	6	4
<i>Larix leptolepis</i>	MMA	7	5	4	2	3	1
	Benzene	6	4	3	2	2	2
	Dioxane	6	3	3	2	2	2
	Methanol	5	2	2	2	2	2

L : longitudinal, R : radial, T : tangential

SW : sapwood, HW : heartwood

Table 3. Impregnated distances of polymer in hardwoods(mm)

Species	Solvent	L		R		T	
		SW	HW	SW	HW	SW	HW
<i>Quercus mongolica</i>	MMA	40	12	18	2	15	3
	Benzene	40	8	18	3	14	3
	Dioxane	35	11	15	4	12	4
	Methanol	35	9	14	3	10	3
<i>Tilia amurensis</i>	MMA	38	36	5	3	3	3
	Benzene	36	37	5	2	3	2
	Dioxane	32	30	6	3	3	2
	Methanol	27	25	5	4	2	2

L : longitudinal, R : radial, T : tangential
 SW : sapwood, HW : heartwood

전부가 폐쇄된 수종은 일반적으로 흡수성이 저하되고 있었다.

이상과 같이 MMA polymer의 침투성이 수종에 따라 많은 차이가 나타나는 것은 조직구조가 매우 다르기 때문이다. 일반적으로 침엽수재에서는 가도관이 액체침투의 주요한 요소로 되어 있으며 가도관 상호간을 연결하고 있는 유연벽공을 통하여 monomer는 가도관내강 ⇒ 유연벽공 ⇒ 가도관 내강과 같이 목재조직내를 이동하여 이동이 정지된 위치에서 중합되는 것으로 생각되고 있다.

이상과 같이 이 유연벽공대가 액체의 이동에 중요한 역할을 하고 있는 것은 Cote^{8,9)}, Wardrop¹⁷⁾ 등에 의하여도 보고되고 있다. 또한 수평요소인 방사조직도 polymer의 침투에 관여하는 것으로 생각되고 있다. 전체적으로 보아 방사조직은 가도관에 비하여 기여하는 역할은 매우 적으나 섬유방향에 대한 직각방향의 주입 즉 수평방향의 침투에 있어서는 다소의 영향을 미치는 것으로 생각되고 있다.

한편 활엽수재는 침엽수재보다 발달된 식물로서 구성세포의 종류도 많고 각종 세포의 형태나 배열등이 수종에 따라 대단히 다르기 때문에 침엽수재보다 그 조직구조가

대단히 복잡하다. 활엽수재는 도관, 목섬유(진정목섬유 및 섬유상가도관), 방사조직, 축방향유조직등으로 구성되어 있다. 이 가운데 도관이 액체유동의 주도적 역할을 하고 있으며 도관에 침투한 monomer가 목섬유, 방사조직, 축방향유세포등 주위의 세포에 다시 침투되는 것으로 생각되고 있다.

이상과 같이 목재중에서 MMA monomer의 이동의 통로가 되는 곳은 세포내강, 세포간극, 벽공, 세포벽중의 분자 또는 fibril간의 미세한 간극등이며 이 통로의 직경은 도관과 같이 1mm이상의 것도 있으나 물 1분자가 겨우 통과 할수 있을 정도의 미세한 통로도 있다. 또한 그 길이도 도관과 같이 길게 관통되어 있는것도 있고 극히 짧은 통로도 있는데 목재중에서는 이와 같은 다종다양한 통로가 직렬 또는 병렬로 배열, 구성되어 복잡한 모관 구조를 구성하고 있어 수종에 따른 변이가 많은 것으로 생각되고 있다.

2. 단면별 침투성

Table 2, 3의 결과에 의하여 단면별 polymer의 침투성(주입량 및 침투거리)을 고찰하여 보면 횡단면에서의 주입이 비교적

짧은 시간의 침투에 의해서도 polymer의 주입량은 각 용매계 모두 약 70%이상에 달하고 있으며 주입면으로 부터의 주입된 거리는 최대에 달하고 있다.

이상과 같이 횡단면에서의 침투는 목재의 섬유방향으로 침투되는 것인데 접선단면이나 방사단면에서 일어나는 수평방향의 침투보다 대단히 양호한 것은 목재의 조직구조상 당연한 것으로 생각되고 있다. 침엽수재를 구성하고 있는 기초조직은 가도관이므로 횡단면에서이 침투는 가도관에서 침투가 시작되며 본 연구의 공시수종처럼 수직수지구를 가지고 있는 수종은 그 수지구에서도 침투가 시작되는 것으로 생각되고 있다. 한편 활엽수재에 있어서는 도관으로부터 시작된다.

일반적으로 모관으로의 액체의 침투는 그 모관이 좁을수록 증대되지만 수분의 침투에 있어서는 처음에는 내강이 큰 것일수록 침투성이 양호한 것으로 생각되고 있다. 따라서 횡단면에서는 액체의 이동은 축방향으로 이동되지만 접선단면에서는 방사방향으로 방사조직에 의하여 이동하는 것 외에 일반의 가도관이나 목섬유를 횡단하여야 하며 방사단면에서는 방사조직까지 횡단하여야 한다. 고로 polymer의 주입은 횡단면에서 가장 양호하며 접선단면과 방사단면에서는 침투성이 저하되는 것으로 생각되고 있다.

李¹⁾가 한국산 주요수종에 대하여 단면별로 액체의 흡수성을 조사 한바에 의하면 목재의 흡수성은 어느 수종에 있어서나 횡단면에서의 흡수성이 방사단면이나 접선단면에서보다 대단히 크며 대체로 3~10배에 달하고 있는데 그 이유는 목재의 해부학적 구조의 차이 즉 목재는 많은 섬유로 구성되고 있는데 그것은 주로 섬유방향으로 배열되어 있고 소수의 방사조직만이 섬유의 직각방향으로 배열되어 있어 횡단면에서의 액체이동은 용이하게 되지만 접선단면 및 방사단면

에서의 이동은 곤란하다고 기술하고 있다.

한편 접선단면에서의 polymer의 침투성을 고찰하여 보면 변재부에서는 거의 시편의 전역에 침투되어 그 함유량도 상당량에 달하고 있으나 심재부에서의 침투성은 비교적 저하되고 있으며 주입면으로 부터의 거리도 짧으며 변재와 심재에 많은 차이가 있음을 알수 있다. 또한 방사단면의 침투성도 전반적으로 접선단면에서의 주입보다는 양호한 것으로 생각되지만 대동소이 하며 큰차이가 없는 것으로 생각되고 있다.

李¹⁾가 우리나라산 침엽수재 4수종과 활엽수재 10수종 모두 14수종에 대한 흡수성을 조사한 바에 의하면 접선단면과 방사단면의 흡수성에는 수종에 따라 다소의 차이가 있다 하더라도 전체적으로 보아 큰 차이가 없으며 어떠한 수종에서는 방사단면의 흡수성이 강한데 반하여 어떤 수종에서는 접선단면의 흡수성이 강하여 양단면의 흡수성에는 일정한 경향을 찾아 볼수가 없다고 기술하고 있다.

한편 林⁴⁾에 의하면 목재중에서의 수분의 확산은 수축방향에 있어서는 섬유의 직각방향의 약 15배가 되며 또한 24수종을 수종에 침수하여 수분의 흡수를 비교한 결과 각 단면에 대한 수분흡수의 비는 횡단면 : 접선단면 : 방사단면 = 100 : 20 : 23이었다고 보고하고 있다.

이상과 같이 접선단면과 방사단면에서의 침투성은 큰 차이는 없는 것으로 생각되고 있다. 그러나 양 단면에서의 침투기구를 고찰하여 보면 접선단면에서는 방사조직이 방사방향으로 주행되어 있고 더욱이 본 연구의 침엽수재에서는 방추상방사조직이 존재하고 그 속에 수평수지구가 분포되어 있는데 이들의 세포가 방사방향으로의 액체의 침투를 돕고 있는 것으로 생각되고 있다. 그러나 방사단면에서는 이들의 방사조직이나 수평수지구(침엽수재)가 존재되어 있지 않

지만 유연벽공이 비교적 많이 분포되어 있어 이들이 수평방향으로의 액체의 침투를 돕고 있는 것으로 생각되고 있다.

3. 심변재의 침투성

상기한 실험결과 Table 2, 3에 의하여 수간의 성장과정에 있어서 그생리적 기능이 다른 변재부와 심재부의 polymer의 침투성을 고찰하여 보면 어느수종에 있어서나 심재는 변재보다 침투가 대단히 어려우며 전술한 바와 같이 일본잎갈나무와 신갈나무의 경우에는 더욱 현저한 차이를 나타내고 있으며 특히 횡단면 침투에서는 더욱 뚜렷한 차이가 나타나고 있다.

이와 같은 사실은 침투경로의 주역이 횡단면에서는 도관과 가도관이며 접선단면에서는 방사조직이고 방사단면에서는 유연벽공으로 생각되고 있다. 따라서 도관이나 가도관을 통한 액체의 침투는 유연벽공을 통과하여 이루어지고 있는데 심재에서는 벽공이 폐쇄되어 있는 것이 많으므로 당연히 침투성은 저하되는 것으로 관찰되고 있다. 또한 방사조직을 통과할때도 벽공을 통과하여야 하므로 심재와 변재에 있어서의 벽공의 구조의 차이가 가도관에 있어서 만큼 크지 않기 때문인 것으로 생각되고 있다.

또한 신갈나무의 변심재의 침투성의 차이는 액체침투의 주도적 역할을 하고 있는 도관에 tyloses가 심재부에 잘 형성되어 그 존재가 도관의 침투를 저지하는 것으로 생각되고 있다. 또한 본 연구의 피나무는 변심재 사이에 침투성의 차이가 현저하지 않는 것은 침투성을 좌우하는 중요한 인자인 tyloses의 존재가 없었기 때문인 것으로 보이고 있다.

林昭三⁴⁾가 일본산 활엽수재 16종의 변재와 심재에 대하여 수분의 침투성을 조사한 바에 의하면 동일수종에서는 변재가 심재부

보다 침투성이 대단히 양호하며 수종에 따라 변재부와 심재부간에 침투성이 똑같지 않은 것은 심재화에 의한 tyloses의 형성 또는 도관중의 내용물의 침착의 정도에 기인한다고 발표하고 있다. 또한 Furuno¹²⁾에 의하면 편백나무의 변재와 심재의 침투성을 비교하여 본 결과 변재의 방사조직에는 쉽게 침투하는데 심재의 방사조직에는 대단히 곤란하였으며 이 심재방사조직의 난침투의 영향이 가장 강하게 나타나는 것은 접선단면의 주입이었고 변심재에 의한 침투성의 차이가 현저하였다고 보고하고 있다.

그러나 Kishima²⁾등의 연구에 의하면 곰솔의 변재는 확실히 그 심재보다 침투성이 양호하며 또한 삼나무와 편백나무에서도 물론 변재부가 침투성이 양호한 경향이 있으나 그정도는 곰솔만큼 현저하지 않았다고 보고하고 있다. Stamm^{14,15)}에 의하면 벽공벽의 공극의 침투성은 변재부가 심재부보다 약 1000배에 달한다고 보고하고 있다.

4. 조만재의 침투성

활엽수재에 대하여 입목의 성장과정에 있어서 그 생리적 기능이나 조직구조가 다른 조재부와 만재부로 나누어 MMA 50%와 Dioxane 50%의 polymer로 충만된 목섬유의 구성비율을 산점법으로 종합한 결과는 Table 4와 같다. 이결과에 의하면 횡단면 주입에 있어서 polymer로 충만된 목섬유의 구성비율은 신갈나무에서는 조재부에서 매우 현저하며 공권의 초기에 있는 대부분의 목

Table 4. Volumetric composition of wood fiber impregnated with polymer

Species	Earlywood (%)	Latewood (%)
<i>Quercus mongolica</i>	88.2	32.6
<i>Tilia amurensis</i>	46.7	87.5

섬유에 polymer로 충전되어 있음을 알수 있었다.

이와 같이 신갈나무의 변재에 있어서 조재부 목섬유가 polymer로 많이 충전되어 있는 것은 큰 공권도관의 주위에 있는 목섬유는 대부분 세포벽이 얇고, 벽공이 크며, 통도성이 좋은 세포로 구성되어 있으나 만재부 목섬유는 후벽으로 벽공의 수가 적고 통도성이 나쁜 세포로 구성되어 있기 때문인 것으로 추측되고 있다.

그러나 산공성 수종인 피나무의 횡단면 침투에 있어서는 신갈나무와는 달리 만재부의 목섬유가 조재부보다 polymer로 더 충전된 결과를 보이고 있다.

Behr⁹⁾ 등은 크레오소트 방부제로 주입처리한 활엽수재에 대하여 조사한 결과 조재부보다 만재부도관에 방부제가 더 많이 충전되어 있었는데 이것은 직경이 작은 만재부도관이 방부제를 보유하기가 용이하기 때문이며 또한 목섬유의 침투에 있어서는 조재부와 만재부 사이에 침엽수재의 가도관에서 보는 것과 같은 현저한 차이는 없었다고 보고하고 있다. 또한 Furuno¹²⁾가 *Betula maximowiczii*의 횡단면 침투에 대하여 연구한 바에 의하면 목섬유에 있어서 polymer의 침투는 현저하지만 연륜내의 목섬유에 대한 침투가 비교적 균일하며 만재부가 조재부보다 현저한 경향은 없었다고 보고하고 있다.

한편 침엽수재에 있어서는 일반적으로 조재부보다도 만재부가 polymer의 침투성이 양호한 것으로 조사되고 있다. 李¹¹⁾가 우리나라산 침엽수재의 polymer의 침투성을 조사한 바에 의하면 조재부에서는 polymer로 충전된 가도관의 수는 적으며 만재부 가도관에는 비교적 치밀하게 충전되어 있고, 그 가도관의 수도 많다고 기술하고 있다.

또한 Kishima²⁾ 등이 조만재별로 수분의 침투상태를 주로 가도관 조직에 대하여 조사한 바에 의하면 수종에 따라 다소 다르게

나타나고 있다. 즉, 곰솔에 있어서는 조재부보다도 만재부의 침투성이 양호하나 삼나무에서는 조재 후기 또는 만재부에 침투가 양호하며 편백나무에서는 조재부의 후기에 침투성이 양호하다고 기술하고 있다.

지금 횡단면상에서 잣나무 가도관의 내강의 직경이 접선방향은 조재, 만재부 모두 25μ 이며 방사방향의 내강경은 조재부 35μ , 만재부 5μ 이라고 가정하여 가도관세포 1개의 내강면적을 계산하면 조재는 $875\mu^2$, 만재는 $125\mu^2$ 이 되며 양자의 비는 약 8:1이 된다. 내강이 차지하는 용적의 비는 면적비와 같다고 보고, 또한 유연벽공대를 통하여 세포 내강에 이동하는 단위시간당의 침투량도, 조재, 만재 모두 같다고 보면 방사단면주입의 경우 조재부에서 1개의 세포에 침투할 때 만재부에서는 약 8개의 세포까지 침투하게 된다. 따라서 침엽수재의 방사단면 주입에 있어서는 만재부 가도관에서 현저하게 일어나는 것으로 생각되고 있다.

침엽수재의 만재부 가도관의 침투성이 양호한 또하나의 이유는 만재부 가도관은 그 직경이 작고 모관 인력이 크기 때문에 액체의 투과성과 보유성이 양호하기 때문이며 또한 만재부 가도관의 유연벽공이 조재부에 비하여 개방상태에 있을때가 많기 때문인 것으로 생각되고 있다. 가도관의 유연벽공대의 개방상태에 대하여는 심재와 건조재에 있어서는 만재부가 조재부보다도 개방벽공대의 비율이 높은 것으로 보여지고 있으며 이러한 유연벽공대의 개방 또는 폐쇄상태는 당연히 액체의 침투성에 크게 영향을 미치고 있는 것으로 생각되고 있다.

5. 도관 및 목섬유의 침투성

활엽수재에서는 도관이 수액의 통로를, 목섬유는 수체를 지지하는 작용을 하고 있다. 따라서 액체 통도의 주도적 역할을 하는 것

Table 5. Polymer contents of 50% MMA and 50% Dioxane and anatomical features

Species		Polymer contents in longitudianl impregnated (%)	Vessel diameters (μ)		Vessel area in cross section (%)	Tyloses area in vessel (%)	Specific Gravity in air dry	Annual ring width (mm)
			rad.	tan.				
Q. m.	SW	85.6	360	290	11.5	0.9	0.73	1.6
	HW	18.3	339	283	7.5	9.3	0.75	2.8
T. a.	SW	60.2	92	65	14.6	0.6	0.45	2.5
	HW	58.3	78	55	9.5	0.4	0.39	2.7

Q. m. : *Quercus mongolica* T. a. : *Tilia amurensis*

SW : Sapwood, HW : Heartwood, rad. : radial, tan. : tangential

은 도관이며 도관의 직경이 큰 것이 투과량도 많아지는 것은 Poiseuille의 법칙으로 보아 확실하다.

그러나 Table 5에 의하면 도관의 크기와 투과성과의 사이에는 확실한 관계가 없는 것으로 관측되고 있다. 이것은 도관이 재중에서 차지하는 비율이나 청공판에 의한 영향같은 것도 생각할수 있으나 그 보다는 tyloses 또는 내용물의 충전에 의한 도관의 폐쇄의 영향이 더 큰 것으로 보여지고 있다. 신갈나무의 변재는 투과성이 양호하지만 심재에서는 tyloses의 양이 많으므로 투과성이 현저히 저하되고 있다.

이상과 같이 활엽수재에서의 액체의 침투는 주로 도관에서 이루어지고 있으며 그 외에 목섬유등의 폐쇄요소는 거의 침투에 직접 관여하고 있지는 않는다. 목섬유의 침투(수평방향의 침투)는 도관에서 벽공을 통하여 이루어지고 있는 것으로 생각되고 있다. 따라서 Table 4에 나타난 결과도 수평방향의 침투에 의하여 도관의 벽공을 통하여 목섬유로 유입된 것으로 보여지고 있다.

도관직경은 목섬유의 그것보다 비교가 되지 않을 정도로 대단히 크므로 많은 양의 monomer로 충전되어 있어야 한다. 지금 도

관의 내경은 100 μ m, 목섬유의 그것은 10 μ m로 보고 면적비로 용적을 대신하여 보면 도관 1개의 polymer의 충전은 목섬유 100개분에 상당하게 된다. 또한 수평방향의 침투(접선방향 및 방사방향의 침투)는 많은 벽공을 통과하여야 하므로 섬유방향의 침투(횡단면의 침투)처럼 도관중을 monomer가 한꺼번에 유입되어 충전되기는 어렵다. 따라서 목섬유는 그 세포내강이 충전되는데 소량의 monomer만 있으면 족하며 또한 직경이 작고 모관인력이 큼으로 monomer의 침투성은 양호하다. 따라서 목섬유에서 인접된 목섬유로 침투가 연속적으로 이루어지는 것으로 생각되고 있다.

한편 직경이 큰 조재부 도관의 polymer의 충전은 횡단면 주입에 있어서는 도관에 주입된 monomer가 일거에 그 내부로 이동하게 되는데 모관인력이 적기 때문에 monomer의 보유성이 별로 좋지 않은 것으로 생각되고 있다. 또한 도관내에 존재하는 polymer의 상태는 세포내강을 완전히 충전하고있을 때도 있고 또한 도관의 내벽에 코팅되어 있는 것처럼 존재할 때도 있는 것으로 관찰되고 있다.

6. 방사조직의 침투성

침엽수재의 방사조직은 수평방향의 구성요소로서 본 연구의 잣나무와 잎갈나무에서는 방사유세포와 방사가도관이 구성되어 있으며 또한 방추형방사조직속에 수평수지구도 존재하고 있다. 이들 수종의 방사조직의 구성비율은 4~5%정도로서 액체침투에 별로 관계하지 않는 것으로 생각되고 있지만 접선단면의 침투에서는 그 역할을 무시할 수는 없으며 상술한 바와 같이 주로 방사조직에 의하여 침투되는 것으로 생각되고 있다.

Table 6은 침엽수재의 방사단면에서 방사조직에 polymer가 다소 많이 존재함을 알수 있으나 심재부에서는 변재부 만큼 현저하지 않으며 또한 전술한 바와 같이 일본잎갈나무에서는 침투성이 매우 저하되고 있음을 알수 있다. 또한 방사조직내의 polymer는 횡단면 주입에 있어서는 가도관 내강을 섬유방향으로 침투한 monomer가 유연벽공대 또는 반연벽공대를 통하여 방사조직에 들어가 방사방향으로 침투된 것으로 생각할수 있다.

이와 같이 변재와 심재에 있어 침투성에 큰 차이가 나타나는 것은 방사조직을 주요 침투경로로 하고 있는 접선단면 주입의 경우로서 Table 2, 3에 의해서도 알수 있다. 林昭三⁴⁾에 의하면 소나무 변재의 방사조직은 횡방향의 침투가 크며 침투의 주역을 맡고 있다고 보고하고 있다. 따라서 침엽수재

의 접선단면 주입에 있어서 monomer의 침투에 큰 역할을 나타내는 것은 방사조직으로 생각되고 있으며 또한 방사조직에 방사가도관을 가지로 있는 본 연구의 공시재에 있어서는 polymer는 방사유세포 보다도 방사가도관이 다소 현저함을 알수 있다. 방사가도관과 방사유세포의 방사방향의 침투성의 차이에 대하여는 양자사이에 거의차이가 없거나, 또는 오히려 방사유세포의 침투성이 양호하다는 견해등이 있다. Erickson¹¹⁾등은 *Douglas fir*에 대하여, Buro⁶⁾등은 *Pinus sylvestris*에 대하여 방사가도관이 방사유세포 보다 침투성이 양호하다고 생각되고 있지만 폐쇄벽공이나 벽공벽등의 벽공의 상태에 많이 영향되는 것으로 생각되고 있다.

Table 6은 활엽수재의 접선단면의 방사조직에 polymer가 침투된 구성비율을 산점법에 의하여 조사한 것이다. 이 결과에 의하면 활엽수재의 방사조직내에는 polymer가 침투된 것을 알수 있으며 신갈나무의 광방사조직내에도 polymer가 존재하고 있었다. 또한 심재부보다는 변재부 방사조직의 침투성이 다소 양호하며 환공재인 신갈나무와 산공재인 피나무 사이에는 침투성의 큰 차이는 없었다. 또한 침엽수재의 일본잎갈나무를 제외하면 활엽수재의 방사조직은 침엽수재보다 침투성이 약간 떨어지는 것으로 관측되고 있다.

Wardrop¹⁷⁾등은 활엽수재 방사조직의 침투는 도관으로부터 벽공을 통하여 일어나며

Table. 6 Volumetric composition of rays impregnated with polymer in sample woods

Unit : %

Species	Sapwood		Heartwood	
	Ray	Ray tracheid	Ray	Ray tracheid
<i>Pinus koraiensis</i>	45.6	52.5	18.3	21.3
<i>Larix leptopis</i>	19.5	23.2	6.7	8.7
<i>Quercus mongolica</i>	28.6		6.7	
<i>Tilia amurensis</i>	28.5		8.2	

더욱이 방사유세포에서 인접하고 있는 목섬유로 유입된다고 말하고 있으며 Kishima²⁾는 너도밤나무 등의 광방사조직은 접선단면 주입에 있어서는 거의 역할을 하지 못하고 있다고 보고하고 있다. Behr⁵⁾ 등은 폭이 좁은 방사조직은 가끔 방부제를 보유하고 있으나 참나무류와 같은 수종에 존재하는 광방사조직에는 거의 침투가 안되고 있으며, 또한 활엽수재의 방사조직은 침엽수재의 그것보다 침투에 미치는 역할은 적다고 기술하고 있다. 또한 Cote^{7,8,9)}는 수평방향에 미치는 방사조직의 영향은 활엽수재에서는 침엽수보다 다양하다고 보고하고 있다.

이상의 관찰 결과로부터 활엽수재의 수평방향의 침투, 특히 방사방향의 침투에 있어서는 침엽수재의 경우와 같이 방사조직이 침투의 주역이 된다고 볼 수 있으나 침투된 거리가 짧았다는 사실은 방사조직이 중요한 역할을 다한 것으로 보기는 어려운 것으로 생각되고 있다. 특히 접선방향의 침투가 어려운 사실은 방사유세포에 존재하는 각종 내용물이 monomer의 침투 등을 저지하는 것으로 생각하고 있다.

따라서 활엽수 방사조직에 인접하고 있는 세포로부터 monomer의 침투가 약간 이루어지고 있을 뿐이며 목재에서의 방사조직의 구성비율이 크다고 하더라도 그것이 주체가 되어 방사방향으로의 침투를 촉진시킨다고는 볼 수 없는 것으로 생각되고 있다.

7. 비중과 침투성

Table 5의 결과에서 알수 있는 바와 같이 목재의 비중과 연륜폭은 polymer의 침투성과 별상관이 없는 것으로 생각되고 있다. 일반적으로 목재의 비중과 투과성과의 관계에 대하여는 기왕의 연구결과 2가지의 학설이 있다. 그 하나는 비중이 클수록 침투성이 적다는 주장과 다른 하나는 비중과는 아무런

상관이 없다는 학설이다. 비중이 관계된다는 학설은 비중이 큰 목재는 침엽수재에서는 만재부에 많고, 활엽수재에서는 도관이 적고, 작으며 세포벽이 두꺼운 목섬유가 많고 공극량도 적기 때문에 침투성은 적다고 생각되고 있다. 한편 비중이 침투성과 관계가 없다는 주장은 심재부, 또는 침투가 어려운 재료를 사용하였을 때, 가열, 가압 및 기타의 인자의 영향이 보다 커서 그것이 비중의 효과보다 상회하기때문인 것으로 생각되고 있다.

본 연구에서도 비중과 침투성과의 사이에 관련이 적은 것은 비중의 영향보다도 tyloses의 양, 도관이 차지하는 비율 혹은 변심재의 침투성의 차이 또는 외적 인자의 영향등의 효과가 더 크기때문인 것으로 보이고 있다.

IV. 결 론

주요 침·활엽수재에 대하여 methyl methacrylate를 이용하여 만든 목재 polymer 복합체에 대하여 polymer의 분포와 존재상태등을 목재의 조직학적인 면에서 조사하였으며 그것을 요약하면 다음과 같다.

1. polymer의 침투성은 수종에 따라 다르며 수종고유의 특성에 따라 다르다. *Larix*는 침투성이 대단히 나쁘며 활엽수재에 있어서는 환공재가 산공재보다 침투성이 양호한 경향이 있었다.

2. 횡단면에서 침투성이 가장 양호하며 방사단면과 접선단면에서의 주입은 저하되고 양자의 차이는 거의 없었다.

3. 동일 수종에서는 변재가 심재보다 침투성이 양호 하였다. 수종에 따라 변심재간에 침투성이 다른 것은 심재화에 의한 tyloses의 형성 또는 도관중의 침착물에 의한 것으로 생각되고 있다.

4. 환공성 수종에서는 조재부가 만재부보다 polymer의 침투성이 양호 하였으며 산공재에서는 반대로 만재부가 조재부보다 침투성이 양호하였다.

5. 도관의 크기와 침투성과의 사이에는 명확한 상관성이 없는 것으로 생각된다. 도관의 직경이외에도 도관의 비율, tyloses의 발달, 내용물의 충전 혹은 천공판등이 관계하는 것으로 생각되고 있다.

6. 침엽수재 방사조직에 있어서는 방사유세포보다 방사가도관의 침투성이 양호하였으며 활엽수재의 방사조직은 구성비율이 높음에도 불구하고 monomer의 방사방향에 미치는 영향은 침엽수재보다 적었다.

7. 비중과 연륜폭은 모두 polymer의 침투성과 거의 관계가 없었다.

참 고 문 헌

- 1) 李元用. 1965. 목재의 吸水性에 관한 研究. 春川農大研究論文集. No.1. 100~104
- 2) 貴島恒夫, 林昭三. 1960. 木材に水が浸透する過程の顯微鏡的觀察, 木材研究. No.24, 33~45.
- 3) 原田浩. 1966. 木材への溶液浸透機構に關する研究 (2) 心・邊材中間帶の浸透性, 文部省研究報告書集錄(農學編) 總合研究, 127.
- 4) 林昭三. 1968. 木材の液體浸透性に關する組織學的研究, 京都大學學位論文.
- 5) Behr, E. A., I. B. Sachs, B. F. Kukachka and J. O. Blew. 1969. Microscopic examination of pressure-treated wood, *For. Prod. J.* 19(8), 31~40.
- 6) Buro, A. and E. A. Buro. 1959. Beitrag zur Kenntnis der Eindringwege für Flüssigkeiten in Kiefernholze, *Holzforschung*, 13(3). 71-77.
- 7) Côté, W. A. and R. L. Krahmer. 1972. The permeability of coniferous pits demonstrated by electron microscopy, *Tappi*, 45(2), 119-122.
- 8) Côté, W. A., 1973. Structural factors affecting the permeability of wood, *J. polymer Sci., Part No.2*, 231-242.
- 9) Côté, W. A. and R. G. Robison. 1978. A comparative study of wood-wood coating interaction using incident fluorescence and transmitted fluorescence microscopy, *J. Paint Technology*, 40 (525), 427-432.
- 10) Ellwood, E. L. and R. C. Thomas. 1968. Permeability of wood in relation of its structure and penetrability by fluids, *Impregnated Fibrous Materials*, IAWA, 19-33.
- 11) Erickson, H. D. and J. J. Balatinecz. 1974. Liquid flow paths into wood using polymerization techniques—Douglas-fir and styrene, *For. Prod. J.*, 14(7), 293-299.
- 12) Furuno, T., W. Nagadomi and T. Goto. 1975. Structure of the interface between wood and synthetic polymer. VI. Separation of cell walls from wood-polymer composite(WPC) by ultrasonic method and existence of polymer in the wood cell wall, *Mokuzai Gakkaishi*, 21(3), 144-150.
- 13) Kenaga, S. L., J. P. Fennessey and V. T. Stannett. 1962. Radiation grafting of vinyl monomers to wood, *For. Prod. J.*, 12(4), 161-168.
- 14) Stamm, A. J., 1967. Movement of fluids in Wood(part I). Flow of fluids in Wood, *Wood Sci. & Tech.*, 1(2),

- 122-141.
- 15) Stamm, A. J., 1964. Wood and Cellulose Science, The Ronald Press Co., New York, 258.
- 16) Timmons, T. K., J. A. Meyer and W. A. Côté. 1971. Polymer location in the wood-polymer composite, Wood Science, 4(1), 13-24.
- 17) Wardrop, A. B. and G. W. Davies. 1971. Morphological factors relating to the penetration of liquids into wood, Holzforschng, 15(5), 129-141 (1971)