

浸漬法による木材への液体浸透

—液の pH との関係—*

林 昭三**・西本 孝一**・貴島 恒夫**

Shozo HAYASHI**, Koichi NISHIMOTO**, and Tsuneo KISHIMA** : Research on Liquid Penetration into Wood by Soaking Method —Relation between Penetration and pH of Liquid—

木材へ液体が浸透する場合、液の pH が関係することは容易に推察される。すなわちアルカリにより細胞膜がマーセライズされたり、あるいは内容物を溶脱することにより、浸透の通路が開かれて浸透性がよくなることが想像される。

すでに DOSTAL ら¹⁾は希アルカリについて透過実験の結果を報告しているが、筆者らは浸漬法により液の pH に伴う浸透量の差異を測定するのに、試片を液からとり出すことなく、浮力の変化を連続的に測定することによつて一応の結果を得たのでここにそれを報告する。

材料および方法

Fig. 1 に示したように、直示乾燥天秤の吊皿の部分改造し、試片を液中に浸漬したままの状態、連続的に浸透量の増加を求めた。試片の浮上を防ぐために 3×4×1 (cm) の鉄片を錘として試片に載せた。

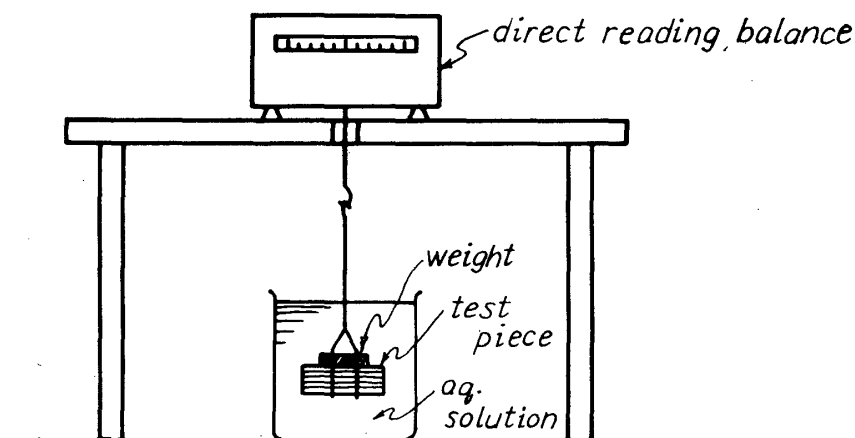


Fig. 1. Experimental apparatus.

* 日本木材学会第17回大会 (1967年4月) に発表

** 木材生物部門 (Division of Wood Biology)

浸漬当初には測定の間隔を 15 sec とし、時間の経過とともにそれを適宜 30 sec~1 min と延して、15 min にわたって測定を行なった。しかし最初の 15 sec 目の浸透量は操作上求められないので、あらためて同じ試片を気乾状態にもどした後、ふたたび 15 sec 浸漬して求めた。

実験にはアカマツ (辺材), スギ (辺材), ブナ (心材), アカラワン (*Shorea* sp.) (心材), アピトン (*Dipterocarpus grandiflorus* Blco.) (心材) の 5 樹種を用いた。試片は、木口面から浸透させるものは $3 \times 3 \times 10$ (cm), 板目面あるいは柃目面からのものは $3 \times 3 \times 5$ (cm) の二方柃木取りとした。なお浸透面以外はゴム系接着剤およびワセリンでシールし、それらの面からの液の浸透を防いだ。

液としては酢酸および水酸化ナトリウムの水溶液を用いた。酢酸水溶液の濃度は 0.1 % および 5 %, 水酸化ナトリウム水溶液は 0.1 % および 2 % とした。アカラワンについてはこのほかの濃度でも、また蒸留水についても、実験を行なった。

実 験 結 果

実験データについて 1 条件 5 個の試片の結果を平均して、樹種別、浸透方向別、あるいは液の種類別に浸透性をまとめると以下のごとくである。

樹種別の浸透性の差異を長軸方向の浸透量についてまとめたものの 1 例が Fig. 2~4 であり、横方向のそれは Fig. 5 である。

Fig. 2 は酢酸の 0.1 % および 5 % 水溶液を各樹種の長軸方向に浸透させた結果である。樹種によつて浸透性は異なり、それはアカマツ>スギ>ブナ>アピトン>アカラワンの順になっている。酢酸の濃度は浸透量と直線的な関係はないようである。

Fig. 3 は 0.1 % の水酸化ナトリウムおよび酢酸の水溶液の長軸方向の浸透量を表わしたもの

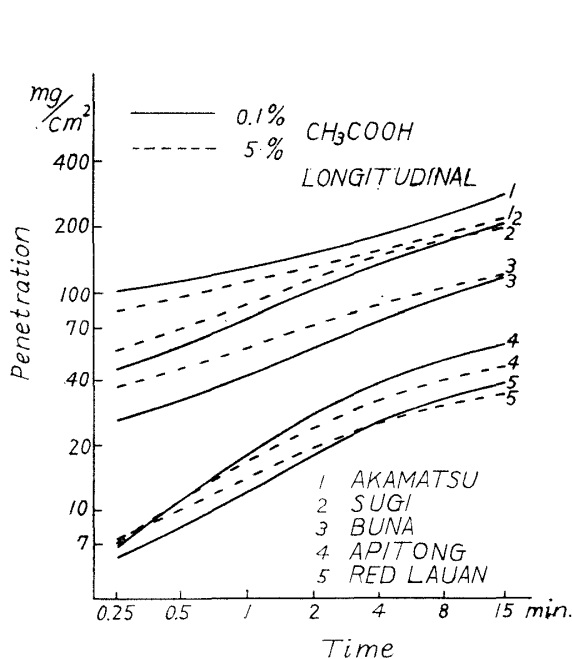


Fig. 2.

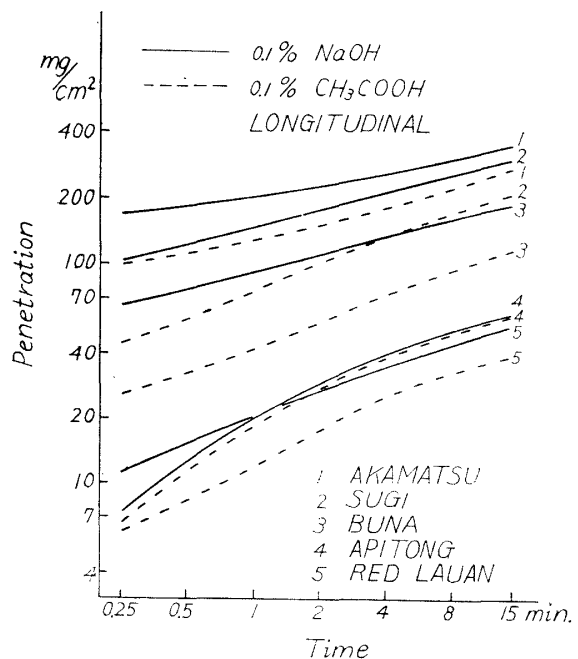


Fig. 3.

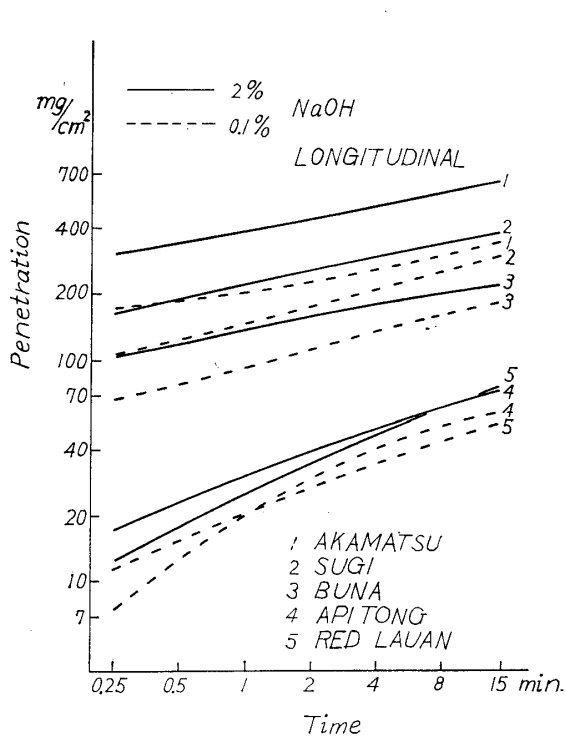


Fig. 4.

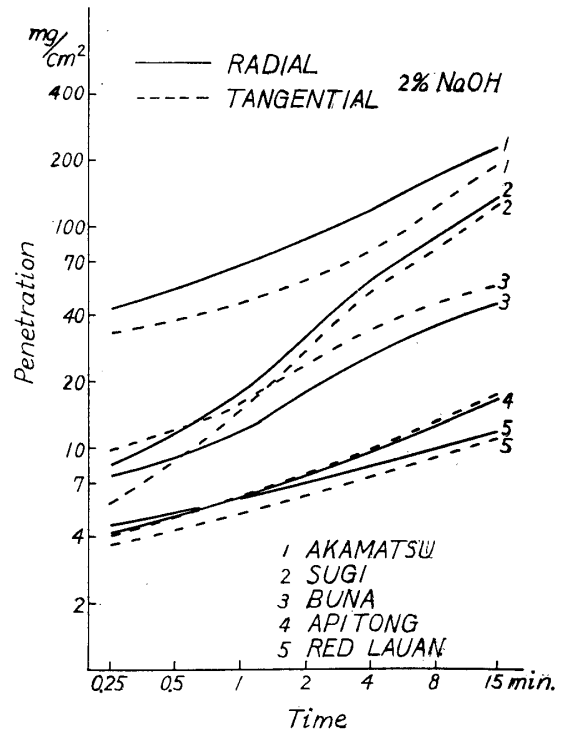


Fig. 5.

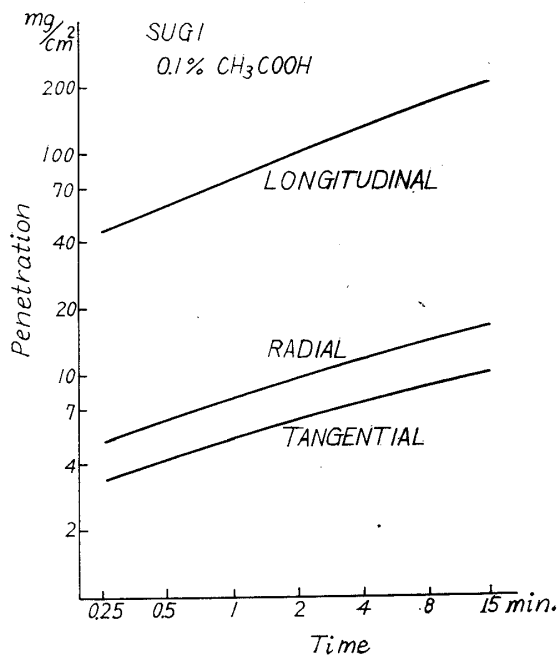


Fig. 6.

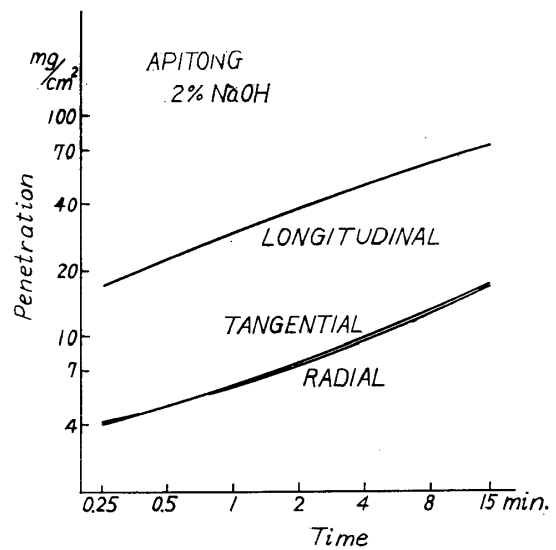


Fig. 7.

であるが、樹種別の浸透性は Fig. 2 の場合と同じ関係にある。酢酸の浸透量に較べて水酸化ナトリウムのそれは明らかに多かつた。

Fig. 4 は水酸化ナトリウムの 2% および 0.1% 水溶液による各樹種の長軸方向の浸透性につ

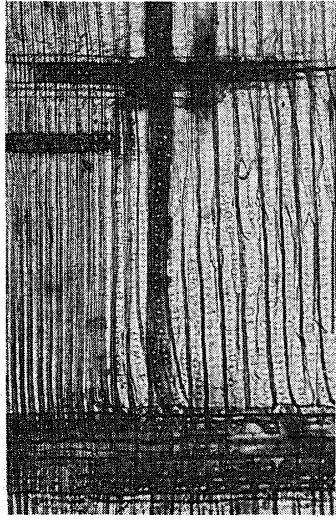


Photo. 1. AKAMATSU (*r*, 55 x), longitudinal penetration. Very permeable, tracheid→ray cell→tracheid, owing to the existence of permeable rays.

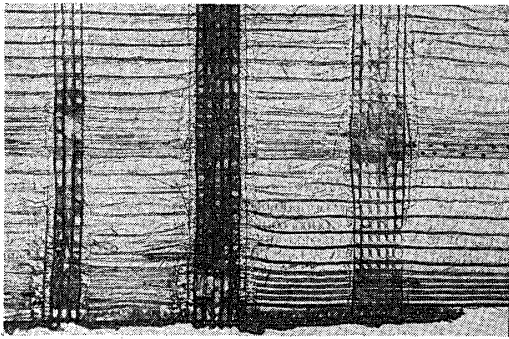


Photo. 2. AKAMATSU (*r*, 55 x), transversal penetration. Easily permeated from tangential surface to rays, especially to their parenchyma cells.

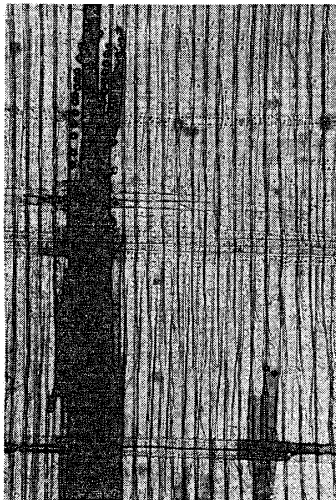


Photo. 3. SUGI(*r*, 55 x), longitudinal penetration. Rays show not so good permeability as that of AKAMATSU.

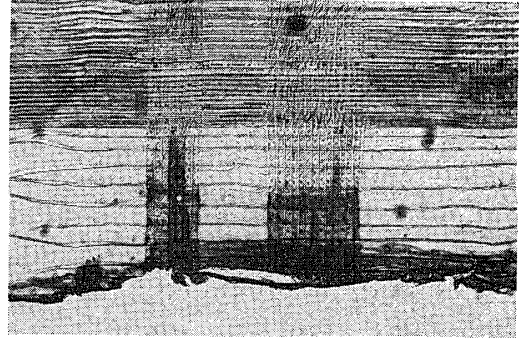


Photo. 4. SUGI (*r*, 55 x), transversal penetration. Not so easily permeated to rays from tangential surface.



Photo. 5. BUNA(*t*, 55 x), transversal penetration. Not so permeable to radial direction in spite of the existence of multiseriate rays, because their consisting ray cells were filled with much contents.



Photo. 6. Apitong(*t*, 55x),transversal penetration. Similar as in the case of BUNA shown in the explanation of Photo. 5.

いてまとめたものであるが、樹種別の浸透性の順位は上述の結果と同じである。

すなわち液体の種類が変わっても各樹種の浸透性の順位は変らなかった。しかし例えばアカマツに 0.1% 水酸化ナトリウム水溶液を浸透させるより、スギに 2% 水溶液を浸透させた方が浸透量が大きくなっていることから、液体の種類が変われば浸透量の絶対量には大きく変化のあることも推察できる。

浸透量が組織構造の方向別にどのように変化するかを示したのが Fig. 5~7 である。

Fig. 5 は各樹種における 2% 水酸化ナトリウムの横方向の浸透量を示したものであり、横方向の浸透性の順位も縦方向のそれと大体同様であることが判る。ただアカマツやスギでは放射組織が易浸透であるために、半径方向の浸透量が多いが、ブナやアピトンでは逆に接線方向の浸透量が多かった。

Fig. 6 はスギの 3 方向にそれぞれ 0.1% 酢酸水溶液を浸透させたものである。長軸方向の浸透量は横方向のそれに比し、約 10 倍の大きさを示している。横方向についてみると明らかに半径方向の浸透量が多かった。これは放射組織が浸透に関与したためである。同様のことはアカマツについても認められた (Photo 1~4)。

Fig. 7 はアピトンに 2% の水酸化ナトリウムを浸透させたものである。長軸方向の浸透量は横方向のその約 5 倍の大きさである。横浸透において半径方向と接線方向とにほとんど浸透量の差がないのは、放射組織が多列であるにかかわらず内容物が多く残っていて、それが浸透にほとんど関係しなかったためであろう (Photo 5, 6)。

つぎに液体の種類によつて浸透量がどのように変化するかをまとめたのが Fig. 8~13 である。

Fig. 8 はアカマツ長軸方向の浸透量を示したものであるが、水酸化ナトリウムは濃度の高

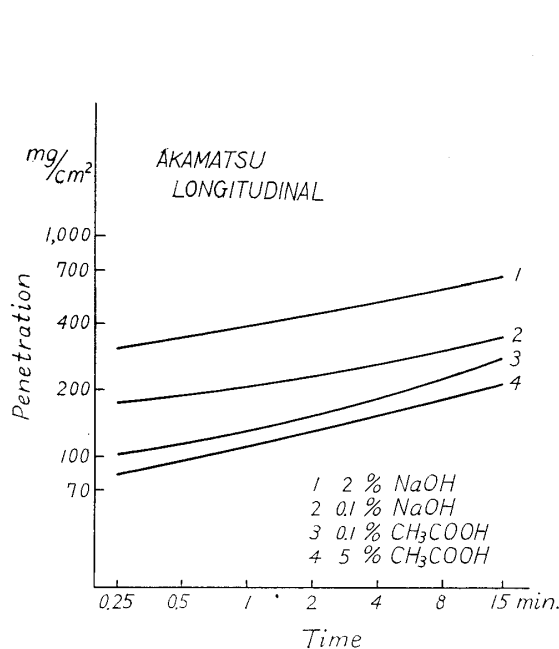


Fig. 8.

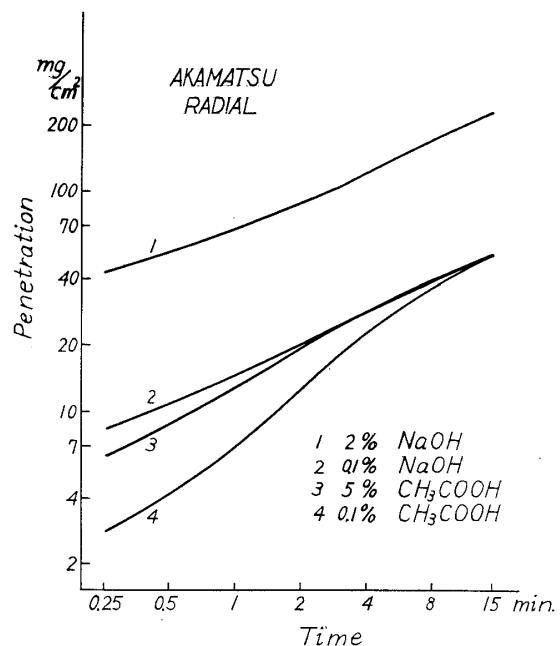


Fig. 9.

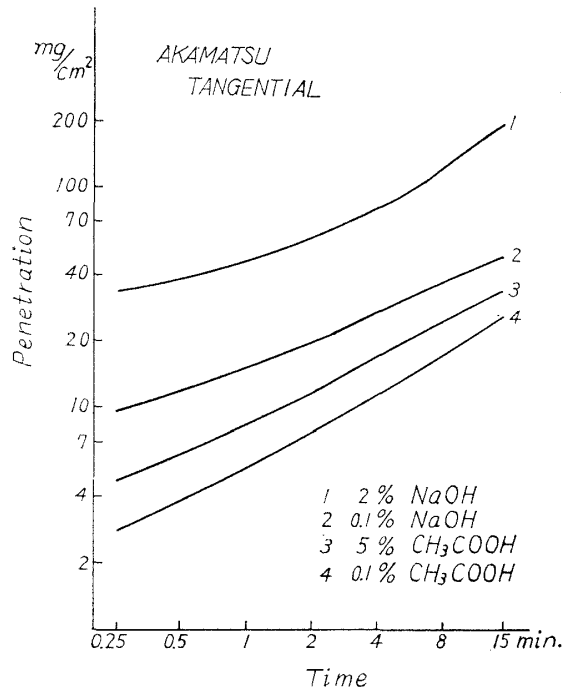


Fig. 10.

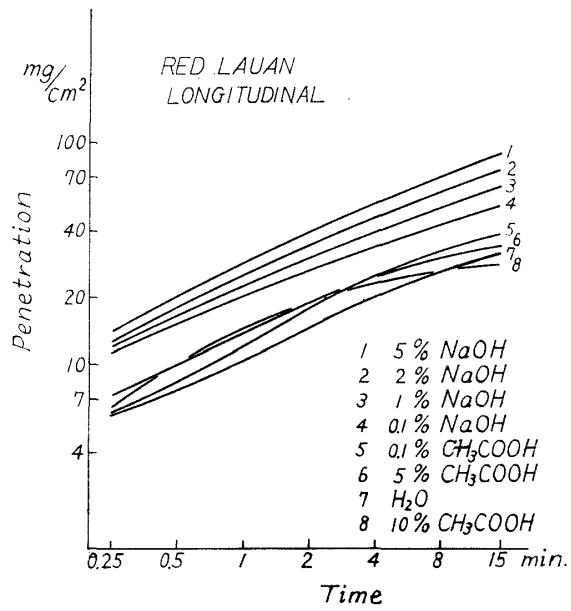


Fig. 11.

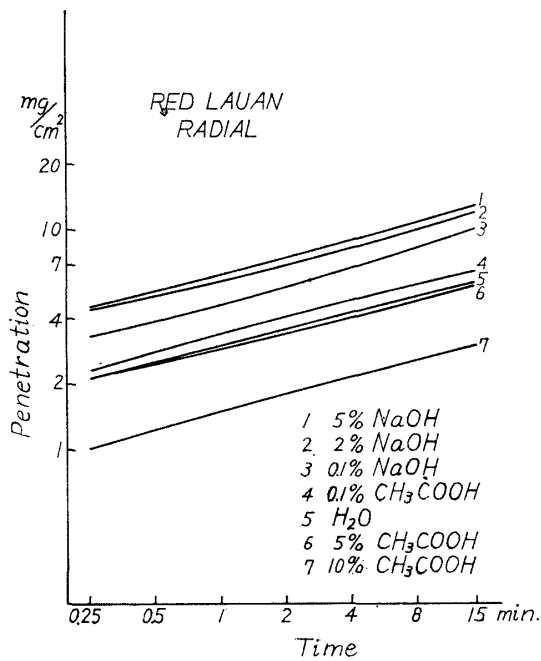


Fig. 12.

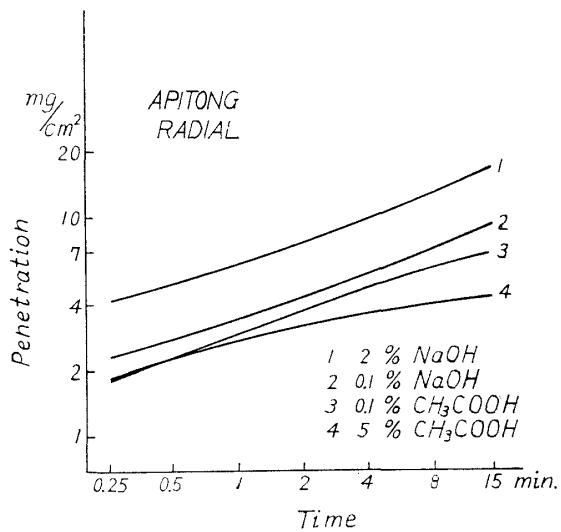


Fig. 13.

い方、したがって pH の高い方が浸透性が良く、酢酸は逆に濃度が高いと浸透性が悪く、明らかに pH と浸透量とに関係が認められた。

Fig. 9 はアカマツの半径方向の浸透性を液の種類を変えてまとめたもので、水酸化ナトリウムは pH の高い方が浸透量が多いが、酢酸では、上述の長軸方向の場合とは逆に、濃度した

がつて pH との関係が判明しなかつた。

Fig. 10 はアカマツの接線方向の浸透性についてまとめたもので、水酸化ナトリウムの水溶液で濃度と浸透量とが比例することは、長軸方向や半径方向の場合と同様であつたが、酢酸でも濃度の高い方がよく浸透したのは、長軸方向の場合と全く逆であつた。

Fig. 11 はアカラワンの長軸方向についての結果を示したものである。水酸化ナトリウムについては濃度と浸透量とが全くよく比例しているが、酢酸については一定の傾向が認めにくい状態であつた。

Fig. 12 はアカラワン半径方向の浸透性を各種の液についてまとめたものである。水酸化ナトリウムは濃度が高いほどよく浸透し、逆に酢酸は濃度が低い方がよく浸透した。

Fig. 13 はアピトンの半径方向の浸透量を示したものである。この場合にも水酸化ナトリウムは濃度が高い方が、酢酸は低い方がよく浸透していた。

考 察

各樹種、各方向、および各水溶液別に 15 min にわたつて浸透量を求めた結果を Table 1 にまとめた。

樹種別にみると縦浸透、横浸透を問わずアカマツの浸透量が大きかつた。ついでスギ、ブナの順であるが、アピトン、アカラワンは浸透量も少なく、両樹種間の浸透性の差異もはつきりと認められなかつた。アピトンやアカラワンにはチロースの発達も見られ、これが本法においても浸透の妨害となることは、既往の透過法²⁾における場合と同様である。針葉樹材の浸透性がよいのは、その解剖的性質から容易に理解できる。ことにアカマツの浸透量が大きいのは、縦方向の仮道管と横方向の放射組織との間の浸透性がよいためである。アピトンとアカラワンとは組織的に似ているので、浸透性に差異が認められないのも当然である。

方向別の浸透性をみると、長軸方向のそれがどの場合でも最大であつた。これは木材の組織構造からみて当然で、既往の結果³⁾とも同じである。横方向の浸透性についてみると、針葉樹材では半径方向の浸透性がよいが、広葉樹材では半径方向と接線方向とで浸透性の差異は認められなかつた。これは明らかに放射組織の浸透性の差異に基づくもので、針葉樹材では放射組織細胞はほとんど空虚になり、横方向の浸透の通路となるのに、広葉樹材では内容物を含んでいて、多列放射組織でも、また材内における放射組織の占有歩合が大きくても、浸透には関係しないためである。

液体の種類による浸透量の差異についてみると、水酸化ナトリウム水溶液は濃度の高いほど明らかに浸透量が多くなる。この実験中に液が褐色となり、液の濃度が高くなるにしたがつて色も濃くなることを認めた。このことから木材中の内容物がアルカリによつて溶脱され、浸透の通路が開かれて浸透性がよくなることは容易に推察される。一方酢酸水溶液でははつきりとした傾向が認めにくいだが、概して濃度の高い方が浸透量が少ないようである。また実験中の液の着色も極めて淡く、水酸化ナトリウム水溶液と較べると浸透量も少なかつた。

各種水溶液の pH も Table 1 に記入したが、浸透量の差異が pH の差異に基づくものという考え方は早計のようで、この実験では酸として酢酸を、アルカリとして水酸化ナトリウムのみを用いたに過ぎないから、pH の影響か薬剤による差異かははつきりしない。

Table 1. Penetrated liquid amount (mg/cm²·15 min)

Aq. solution	pH	Direction	AKA-MATSU	SUGI	BUNA	Red lauan	Apitong
10% Acetic acid	2.2	<i>L</i>				42.2	
	}	<i>R</i>				3.1	
	2.4	<i>T</i>				1.7	
5% Acetic acid	2.3	<i>L</i>	214.0	199.3	117.9	34.5	46.4
	}	<i>R</i>	50.9	33.1	25.9	5.7	4.3
	2.4	<i>T</i>	34.0	34.0	27.5	4.6	4.0
0.1% Acetic acid	3.2	<i>L</i>	286.6	207.0	117.7	39.3	59.2
	}	<i>R</i>	52.8	16.5	21.7	6.6	7.0
	3.4	<i>T</i>	26.2	10.3	23.6	5.6	6.1
Distilled water	5.7	<i>L</i>				28.5	
	}	<i>R</i>				5.9	
	5.8	<i>T</i>				5.2	
0.1% Sodium hydroxide	12.4	<i>L</i>	253.1	297.6	186.3	52.6	60.1
	}	<i>R</i>	50.6	37.0	29.2	10.2	9.4
	12.5	<i>T</i>	48.2	28.8	29.5	8.4	10.0
1% Sodium hydroxide	12.9	<i>L</i>				65.3	
	}	<i>R</i>				13.0	
	13.2	<i>T</i>				10.9	
2% Sodium hydroxide	13.4	<i>L</i>	662.9	389.5	223.7	77.4	74.9
	}	<i>R</i>	235.4	138.3	46.1	12.3	17.1
	13.5	<i>T</i>	196.0	129.0	54.2	11.2	17.5
5% Sodium hydroxide	13.9	<i>L</i>				90.9	
	}	<i>R</i>				13.0	
	14.0	<i>T</i>				11.8	

浸透量と時間との関係を両対数グラフに書き平均傾斜の値を求めた。すなわち浸透量 (mg/cm²) を W , 時間 (min) を T としたとき,

$$\log W = a \log T + \log b$$

において, a が平均傾斜の値すなわち浸透量と時間との関係を示す常数であり, b は単位時間あたりの浸透量を示す常数である。これら a, b の値をまとめたのが Table 2 である。アカマツ, スギ, ブナなどでは横方向の浸透においては $a \approx 0.5$ で, 浸透量はほぼ時間の平方根に比例することを示している。これは既往の研究³⁾ とほぼ一致しているが, 縦方向での値が一致していないのは⁴⁾ 実験の方法が違っているためであろう。レッドラワンやアピトンでは長軸方向の値が大きく, 横方向にみられるように $a \approx 0.25$ は浸透量が時間の4乗根に比例することを示している。ただし本実験では試片中の空気の影響, たとえば気泡の出現, その大小による影響が現われた場合があり, もし真空中で同様な実験を行なえば多少異なつた a の値を得ることも充分考えられる。

Table 2. Coefficients of penetration in formula

$$\log W = a \log T + \log b.$$

W : penetrated amount (mg/cm²)

T : time (min)

Aq. solution	Direction	AKAMATSU		SUGI		BUNA		Red lauan		Apitong	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
10% Acetic acid	L							0.30	14.9		
	R							0.27	1.54		
	T							0.17	1.13		
5% Acetic acid	L	0.24	112	0.31	89.0	0.29	57.0	0.36	14.3	0.42	17.2
	R	0.51	13.0	0.43	10.5	0.38	9.30	0.26	2.90	0.19	2.71
	T	0.50	8.45	0.65	5.92	0.41	9.40	0.25	2.38	0.19	2.52
0.1% Acetic acid	L	0.27	129	0.37	76.5	0.37	42.3	0.45	12.2	0.45	18.7
	R	0.75	7.03	0.28	7.95	0.44	6.25	0.26	3.30	0.32	2.94
	T	0.55	5.56	0.27	5.25	0.41	7.20	0.25	2.88	0.31	2.68
Distilled water	L							0.42	10.5		
	R							0.25	2.98		
	T							0.26	2.64		
0.1% Sodium hydroxide	L	0.18	204	0.26	147	0.25	93.5	0.36	20.2	0.44	20.5
	R	0.45	14.5	0.46	9.32	0.51	6.70	0.30	4.55	0.35	3.46
	T	0.41	15.1	0.49	7.00	0.51	7.33	0.27	4.08	0.39	3.51
1% Sodium hydroxide	L							0.40	22.6		
	R							0.25	6.18		
	T							0.27	5.03		
2% Sodium hydroxide	L	0.19	385	0.20	226	0.19	138	0.43	25.6	0.35	30.2
	R	0.43	66.5	0.73	17.8	0.48	12.0	0.26	5.92	0.37	6.02
	T	0.46	46.0	0.79	14.8	0.44	16.3	0.28	5.02	0.38	6.15
5% Sodium hydroxide	L							0.45	29.1		
	R							0.26	6.40		
	T							0.30	5.22		

別途に求めた 15 sec の浸透量が 15 min の浸透量の何パーセントにあたるかを計算して Table 3 に示した。これによるとアカマツ、スギ、ブナでは長軸方向の値が横方向のそれより大きく、木口からの浸透は最初の 15 sec に、15 min の浸透量の約 1/3 にも達したことを示している。そして Table 2 とあわせて考察すれば、木口からの浸透は最初急激に起り、以後は時間の 4 乗根に比例したゆるやかな経過をたどる。横方向の浸透は最初は木口ほど急激にはおこらないが、引続いて時間の平方根にほぼ比例して浸透していることが判る。一方アカラワンやアピトンでは、最初の 15 sec の浸透は、長軸方向よりも横方向に大きく、長軸方向には僅か 10~20% であるのに横方向では 15 min の総浸透量の 1/3 に達している。このようにアカマ

Table 3. Percent of penetrated liquid amounts during 15 sec to total amounts of experimens during 15 min.

Aq. Solution	Direction	AKA-MATSU	SUGI	BUNA	Red lauan	Apitong
10% Acetic acid	<i>L</i>				22.9	
	<i>R</i>				33.1	
	<i>T</i>				49.0	
5% Acetic acid	<i>L</i>	38.3	20.8	31.9	21.3	14.8
	<i>R</i>	12.5	18.4	21.4	38.8	42.7
	<i>T</i>	14.1	7.3	18.5	33.0	42.3
0.1% Acetic acid	<i>L</i>	35.5	21.9	22.3	15.6	11.5
	<i>R</i>	5.4	30.4	17.7	35.5	25.9
	<i>T</i>	10.8	32.7	21.1	35.1	28.4
Distilled water	<i>L</i>				19.2	
	<i>R</i>				37.0	
	<i>T</i>				35.6	
0.1% Sodium hydroxide	<i>L</i>	39.3	36.0	36.2	21.7	12.4
	<i>R</i>	16.6	17.7	14.4	32.9	24.7
	<i>T</i>	20.3	15.0	13.1	33.7	21.7
1% Sodium hydroxide	<i>L</i>				18.7	
	<i>R</i>				37.3	
	<i>T</i>				35.1	
2% Sodium hydroxide	<i>L</i>	45.3	42.1	46.4	16.2	22.9
	<i>R</i>	18.7	6.1	16.5	36.6	23.7
	<i>T</i>	17.2	4.4	18.4	32.9	23.6
5% Sodium hydroxide	<i>L</i>				15.6	
	<i>R</i>				35.3	
	<i>T</i>				31.2	

ツ、スギ、ブナの3樹種とアカラワン、アピトンの2樹種とでは明らかに浸透の様相が異なっているのは、それぞれの材の解剖的性質の差異によるものと思われる。すなわち、浸透はまず表面に開口している細胞の内腔に起る。したがって木口からの浸透量が横方向のそれに比較して多いことは当然考えられることである。しかしレッドラワンやアピトンでは木理が交錯しているために、板目面や柃目面にも比較的多量の道管が開口しており、初期の浸透量の総浸透量に対して占める割合が大きいものと考えられる。

なお本実験法において、測定時間が長くなれば試片は浸透した液によつて飽和することになり、最長の測定時間には限度があつたことを付記しておかねばならない。またこの実験では酢酸と水酸化ナトリウムを用いたが、さらに一層強い酸や他のアルカリなどいろいろと薬剤の種類を変えてその結果をみることも必要であろう。

摘 要

浮力の変化を測定することにより，木材試片への液体浸透量を連続的に測定した。Fig. 1 に示す装置を用い，アカマツ，スギ，ブナ，アカラワン，アピトンの5樹種について，構造3方向の液体浸透性を求めた。液体には酢酸および水酸化ナトリウムの数階程の濃度の水溶液を用いた。

実験結果の数例を Fig. 2～13 に示した。また 15 min の浸透量を各樹種，浸透の方向，および液体の種類別に Table 1 にまとめた。これらの結果から以下のことがいえる。

樹種による浸透性は縦方向，横方向を問わず，アカマツ>スギ>ブナ>アピトン $\geq$ アカラワンの順であつた。方向別にみると長軸方向の浸透性が大きいのは当然であるが，横方向については針葉樹材では半径方向に大きく，広葉樹材では半径方向と接線方向とで差がなかつた。これらの浸透性の相違の原因として放射組織の浸透性が考えられる。すなわち針葉樹材，ことにアカマツでは，放射組織の浸透性が大きく，一方広葉樹材では，それが多列であつても浸透には関係しないためである。

水酸化ナトリウム水溶液は酢酸水溶液より浸透量が大きかつた。そして濃度の高いほど浸透量は大きかつたが，酢酸水溶液では濃度と浸透量との間に明らかな傾向は認めにくかつた。

浸透量と時間との関係を両対数グラフに書き平均傾斜の値を求めた。アカマツ，スギ，ブナでは横浸透はほぼ時間の平方根に比例し，縦浸透はほぼその4乗根に比例する。しかしアカラワンやアピトンの横浸透はほぼ時間の4乗根に比例し，縦浸透は平方根ないし3乗根に比例する。

Summary

Liquid penetration was experimented with measuring buoyancy during fifteen minutes. Apparatus used has shown in Fig. 1. AKAMATSU (Japanese red pine), SUGI (Japanese cryptomeria), BUNA (Japanese beech), red lauan, and apitong were used for materials, and the difference of penetrability of the three dimensional directions were investigated. Liquids used were aqueous solutions of sodium hydroxide and acetic acid in some concentrations respectively.

Some experimental results were shown in Figs. 2 to 13 and the penetration liquid weights amounted during 15 minutes were shown in Table 1. The conclusions were as follows:

The penetrability differencies of the species were affected mainly that of ray tissues. Order of penetrability, either logitudinal or transversal, was as follows: AKAMATSU>SUGI>BUNA>apitong $\geq$ red lauan.

As to the transversal penetration, radial penetrability was larger than tangential one in softwood, but in hardwood the penetrabilities of the both directions were similar.

The penetrability of aqueous solution of sodium hydroxide was larger than that of acetic acid, and the penetration weight increased with the increase of concentration of

sodium hydroxide.

The relation between the penetration weight and time was sought by logalithmic curve. Transversal penetrations of AKAMATSU, SUGI and BUNA were proportionate with square root of time, but the longitudinal ones were proportionate with biquadratic root of time, and in red lauan and apitong, on the other hand, transversal penetrations were proportionate with biquadratic root of time and longitudinal ones were proportionate with square or cubic root of time.

文 献

- 1) DOSTAL, E. J., L. M. MARRACCINI, and T. N. KLEINERT, *Holzforsch.*, **14**, 21 (1960).
- 2) 林 昭三, 西本孝一, 木材研究, No. 35, 33 (1965).
- 3) 林 昭三, 貴島恒夫, 木材研究, No. 36, 61 (1965).
- 4) 林 昭三, 貴島恒夫, 木材研究, No. 34, 132 (1965).