電気湿度計による防湿加工紙の透湿度測定について*

高橋 文男・内藤 泰俊**

An Electric Hygrometer Method of Test for Water Vapor Transmission Rate of Coated Paper

Fumio Takahashi and Yasutoshi Naito

A new method for measurement of WVT is reported here. Akker's comparison method which is based on the use of electric hygrometer was improved. The following were the objectives:

1. Device must be appropriate to measurements of the WVT of different kinds of coated paper.
2. Faster measurement than JIS method should be made.
3. The electric hygrometer which is response to the higher humidity range (60—90% R.H.) should be used.

We measured the WVT of polyethylene coated krafts using improved comparison method, and decided such test conditions as the results of our method accord with the results of JIS method for example, number of tests, standardization of resistor of permeation, acceptable accuracy of electric hygrometer, etc.

1. 研究の目的

現在防湿材料の透湿度測定方法としては重量法が最も一般的に利用され、JISの試験法規格(Z0208)にも採用されている。この方法の欠点は測定完了までに70時間程度の長時間を必要とすることで、そのためこの方法を防湿材料の製造中の品質管理あるいは受渡し検査に利用する場合には種々な不都合を生じている。また測定法自体においても、透湿カップの組立てあるいは秤量の繰りかえしなど簡便とはいえない方法である。

電気湿度計を利用した透湿度測定法は、特に測定時間の短縮を目的として考えられた方法で、1948年にはJ. A. Van den Akker¹⁾が、Dynamic法、Comparison法、Sweep-gas法の3種類の方法について説明を行ない、その後もこの測定法についての研究^{2) 3)}が重ねられてきた。

それらの研究のほとんどはDynamic法によるもので、この方法は数分～数十分で測定が完了する最も迅速な測定法であるが、

- 1) 定常状態での測定ではない。
- 2) 湿度0%近くの低湿度においては正確な測定ができる電気湿度計を必要とし、このような湿度計は製作ならびに補正が非常に困難である。
- 3) プラスチック加工紙のようにその一面あるいは両面に紙・セロハンなどの吸湿性の大きい材料を持つものについては、その紙・セロハンなどを低

湿度側とした場合の測定が不可能である。

などの欠点がある。またComparison法では透湿係数に湿度依存性⁴⁾のある材料は測定できない、Sweep-gas法では低湿度範囲の測定が可能な電気湿度計2個を必要とするなどの欠点がある。

この研究ではプラスチック加工紙などの防湿加工紙に対しても適用できる方法として、しかも

- 1) 重量法では測定条件において湿気の透過が定常状態に達した後測定が開始されるのであるが、その定常状態に達した時において測定を完了させるようにする。
- 2) 電気湿度計は湿度の測定範囲が60～90%程度のものを使用する。
- 3) 透湿係数に湿度依存性のある材料にも適用できるようにする。
- 4) JIS Z 0208の重量法によって測定した透湿度と一致する透湿度を求める。

ことを目的とし、Comparison法の改良法による測定法を見出した。そしてこの測定法による透湿度とJIS法による透湿度の比較検討を行なった結果、この測定法を品質管理などにおける測定法として実施する場合に必要な各種条件を求めた。

2. 測定原理

Comparison法の測定原理は図1—1に示すような装置を使用し、透湿の標準抵抗と試験片との間の空間の湿度が一定になった時の湿度すなわち平衡湿度を電気湿度計により測定する。この平衡湿度 h は、図1—2

* 原稿受付 40. 1. 26

** 産業工芸試験所

1. 装置 90% R.H.

2. 計算図

図1 Comparison法の測定原理

に示すように湿度差 $90-h$ における標準抵抗の透湿度と湿度差 $h-0$ における試験片の透湿度が等しくなるような位置をとる⁵⁾。その結果図1—2において平行比例の関係から

$$\text{試験片の透湿度} = \text{標準抵抗の透湿度} \times \frac{90-h}{h-0} \dots (1)$$

によって計算される。

しかし一般の防湿材料においては湿度差と透湿度との関係は図1—2のO-H-Aに示されるような直線ではなく、O-H-Bに示されるようないわゆる透湿係数に湿度依存性のある曲線である場合が多い。それ故(1)式によって求めた透湿度はJIS法による透湿度に対して相当な誤差を生じる場合が多い。このためこの研究では、標準抵抗のかわりに適当なプラスチックフィルムを標準フィルムとして使用し、この標準フィルムの重ね枚数を変えることによって $h_1 \cdot h_2$ の2つの平衡湿度を求め、標準抵抗を使用した場合の H に相当

する点を2つ ($H_1 \cdot H_2$) 求めて、さらにこの2点を結ぶ直線と90%における透湿度を示す軸との交点を求めて、これを試験片の透湿度とする方法をとった。(図1—2参照)

図2 測定装置

3. 実験および結果

3.1 測定装置 測定装置は図2に示すものを使用した。すなわち黄銅製の上下2つのカップよりなるもので、下部カップには無水塩化カルシウムを入れてその上に試験片を置く、さらにその上に頂部に標準フィルムを取り付け内部に電気湿度計を組み込んだ上部カップを置き、ボルト・ナットで結合密封して装置とする。電気湿度計は山武ハネウエル計器 K.K. の塩化リチウム感湿エレメント (測定範囲 35~95% R.H.) を電子管式自記記録計に接続したものを使用した。この湿度計の補正は一般室温条件中において乾湿球湿度計と比較して行なった。

この装置を温度 40°C 湿度 90% に保った恒温恒湿室中に、標準フィルムと試験片との間の空間の湿度が一定になるまですなわち平衡湿度ができるまで放置して測定を行なった。

3.2 標準フィルム 標準フィルムには公称厚さ 0.03mm の軟質ポリ塩化ビニール・フィルムを使用した。この塩化ビニールフィルム1枚あるいは2, 3, 4枚と重ね合せた場合のそれぞれの透湿度を、JIS Z 0208の透湿カップを使用した重量法により測定した。

ただし透湿カップの内部には表1に示すような各種試薬を入れて内部湿度をそれぞれに変化させた。この透湿カップに塩化ビニールフィルムの各重ね枚数を取りつけ、 40°C , 90% R.H. の測定条件中で透湿度を測定した。この透湿度を標準フィルムの $Q(90-h)$ として各重ね枚数ごとに表1に示す。表1の結果から、標準フィルムの各重ね枚数について、外部湿度を90%

表 1 標準フィルムの透湿度 $Q(90-h)$ ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr}$)

カップに入れた試薬	湿度 h %	重ね枚数 n	1	2	3	4
CaCl_2	0		98.4	49.2	32.8	24.6
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	32		67.6	33.8	22.5	16.9
$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	67.5		26.2	13.4	9.0	6.5
NaCl	75		17.4	8.6	5.8	4.2
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	79		11.8	5.7	3.8	2.8

として内部湿度を変化させた場合の透湿度 $Q(90-h)$ の変化を図 3 に示すように求めた。

図 3 標準フィルム (ポリ塩化ビニール 0.03mm) の透湿度と内部湿度との関係 (外部湿度 90%, at 40°C)

表 1 ではゴシックで組んだ透湿度が実測値で、その他の透湿度は、透湿度は重ね枚数に反比例するものとして計算により求めた。また図 2 の装置において試験片の表面積を標準フィルムの表面積の $1/2$ にすることにより、標準フィルムの重ね枚数 0.5 枚および 1.5 枚を仮定することができる。この重ね枚数の透湿度も同様に計算して図 3 に示す。

3.3 測定および結果 測定試料には、ポリエチレンの加工厚さ公称 0.02mm のポリエチレン加工クラフト紙を使用した。試料から試験片 4 枚を取り、各試験片をその表面積が標準フィルムの表面積の $1/2$ となるようにして、クラフト紙面を低湿度側に向けて図 2 の装置にそれぞれ取り付け付けた。さらに標準フィルムを取り付けた装置を 40°C, 90% R.H. に保った恒温恒湿室中に、標準フィルムと試験片との間の空間の湿度が一定となるまで放置した。この平衡湿度はこの測定の場合には 16 ~ 20 時間後に得られた。

各試験片に対して標準フィルム 1, 2, 3, 4 枚を使用してそれぞれの枚数を使用した場合の平衡湿度 h_n を求めたが、これは標準フィルムと試験片の表面積比が 2:1 であるので、標準フィルムを 0.5, 1, 1.5, 2 枚を使用した場合の平衡湿度となる。この平衡湿度を図 3 に対照して、標準フィルムの $90-h_n$ の湿度差における透湿度 $Q(90-h_n)$ を求めた。測定原理で述べたようにこの標準フィルムの $Q(90-h_n)$ は試験片の h_n-0 の湿度差における透湿度 $Q(h_n-0)$ に等しい。このようにして求めた h_n と $Q(h_n-0)$ を表 2 に示す。

表 2 の h_n と $Q(h_n-0)$ とを座標として 1 試験片について $H_{0.5}$, H_1 , $H_{1.5}$, H_2 の 4 点を図上にプロットして図 4 の 1 ~ 4 に示し、この 4 点の中の各 2 点の組合せによってできる 6 本の直線から、 $h_n=90$ の場合の透湿度すなわち試験片の $90-0\%$ の湿度差における透湿度 6 個を図 4 上に求めた結果を表 3 に示す。また表 3 には以上の測定に使用した各試験片の透湿度を JIS Z 0208 の測定法によって測定した結果を示す。

表 2 ポリエチレン加工クラフト紙について測定された $h_n(\%)$ と $Q(h_n-0)$ ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{hr}$)

試験片 No.	0.5		1		1.5		2	
	h_n	$Q(h_n-0)$	h_n	$Q(h_n-0)$	h_n	$Q(h_n-0)$	h_n	$Q(h_n-0)$
1	78	25	71	22.1	65.5	19.4	60.5	17.9
2	76	30.5	66.5	28.1	58	25.7	53.5	22.0
3	78	25	69.5	24.1	63	21.6	57.5	19.6
4	77	27.8	69.5	24.1	63.5	21.1	58	19.3
平均	77.2	27.6	69	24.8	62.5	22.0	57.4	19.7

図 4 ポリエチレン加工クラフト紙の透湿度の計算図表

表 3 ポリエチレン加工クラフト紙の各試験片についての透湿度測定結果

試験片 No.	1				2			
JIS法による実測値	30.8 g/m ² ・24hr				34.5 g/m ² ・24hr			
図 4 における計算値	$H_{0.5}$	H_1	$H_{1.5}$		$H_{0.5}$	H_1	$H_{1.5}$	
	H_1	29.9			H_1	34.0		
	$H_{1.5}$	30.5	31.6		$H_{1.5}$	34.3	34.9	
	H_2	29.9	29.9	26.8	H_2	35.7	38.8	—
試験片 No.	3				4			
JIS法による実測値	31.7 g/m ² ・24hr				33.6 g/m ² ・24hr			
図 4 における計算値	$H_{0.5}$	H_1	$H_{1.5}$		$H_{0.5}$	H_1	$H_{1.5}$	
	H_1	26.1			H_1	33.9		
	$H_{1.5}$	27.7	32.4		$H_{1.5}$	34.4	35.1	
	H_2	28.2	32.0	31.2	H_2	33.5	32.8	30.0

さらに図5には、表2の4枚の試験片についての標準フィルムの各枚数ごとの h_n の平均値と、この平均値から図3によって求めた $Q(h_n - 0)$ の平均値とを座標としてプロットし、図4と同様にして透湿度を求め

表4 ポリエチレン加工クラフト紙の
4測定 の平均値から求めた透湿度

JIS 法による 実測値の平均	32.7 g/m ² ・24hr			
図5における計算値	$H_{0.5}$	H_1	$H_{1.5}$	
	H_1	32.0		
	$H_{0.5}$	32.7	34.2	
	H_2	32.9	34.2	34.2

図5 ポリエチレン加工クラフト紙の透湿度の計算図表4測定(図4 1~4)の平均

て4試験片の透湿度の平均値とし、これを4試験片のJIS法による透湿度の平均値と対照して表4に示す。

つぎに、以上の結果にもとづいて、次節以下に述べるような結論を求め、この結論にしたがって、たとえば標準フィルムの標準化などを行なった上で、ポリエチレンサンドイッチクラフト紙2種類(A・B)について透湿度測定を行なった結果をつぎに示す。

試料から試験片6枚を取り、このうちの3枚については試験片1枚に対して標準フィルム1枚を使用し、他の3枚についてはその1枚に対して標準フィルムを4枚重ねたものを使用して装置に取り付け測定を行なった。標準フィルムと試験片の面積比は1:1とした。その結果を表5および図6に示す。

図6 ポリエチレンサンドイッチクラフト紙の透湿度の計算図表

表5 ポリエチレン・サンドイッチクラフト紙についての測定結果

試料の種類		A		B	
標測フィルムの枚数	試験片 No.	h_n %	$Q(h_n - 0)$ g/m ² ・24hr	h_n %	$Q(h_n - 0)$ g/m ² ・24hr
1	1	79.5		81	
	2	81.5		80.5	
	3	81		82.5	
	平均	80.7	9.3	81.3	8.1
4	4	69.5		71.0	
	5	72.5		71.5	
	6	72.5		73	
	平均	71.5	5.4	71.8	5.1

4. 考 察

1) 図4においてプロットされた4つの点は、同一の試験片に対して使用する標準フィルムの重ね枚数を変えることによって得られた点であるから、この4点はその試験片についての図1—2の OHB に相当する透湿度の曲線 $Q(h-0)$ 上にのっていないなければならない。しかもこのことは、この測定法による透湿度を正確に求めるために必要なことである。しかし図4の1~4にプロットされた各点は、各試験片についての $Q(h-0)$ の曲線から多少づれているものがあると認められる。これは主として実際の測定に使用した標準フィルムの透湿度 $Q(90-h)$ が図3に示した曲線に対して偏差があったためと考えられる。このため各点の組合せによって得られた6つの計算値は表3に見られるようなばらつきを示し、JIS 法による実測値に対してはなほだしくはなれた値もある。

2) 2節に述べた測定原理から言えば、 $Q(90-0)$ を求めるために図上にプロットする2点は、湿度90%のごく近くで求めしかもたがいに接近していることがのぞましい。一方標準フィルムの透湿度のばらつきによりまえに述べたような誤差を生じ、しかも図3に示されるように湿度90%に近いほど標準フィルムの $Q(90-h)$ の曲線の勾配が急であることから考えると、ある程度低湿度でしかもたがいはなれた位置に2点を求めた方が誤差が少なくなる。図4においても標準フィルムの透湿度のばらつきが大きかったために生じたと思われる点、たとえば4-2の H_2 、4-3の $H_{0.5}$ があるが、これらの点に対してもよりはなれた位置にある点と結んだ直線から求めた透湿度の方が、その試験片についての透湿度の実測値に比較的近づいている。(表3)

3) 表3において一般的に言えることは、 $H_{0.5}$ の点に対して $H_{1.5}$ あるいは H_2 の点を結んだ直線から求めた透湿度が最も実測値に近似している。またこの4測定にはまえに述べたようなばらつきを含んでいるのであるが、その平均値として求めた図5および表4に計算された透湿度はいずれも実測値に近づいている。特に表4では $H_{0.5}-H_{1.5}$ 、 $H_{0.5}-H_2$ の組合せから求めた透湿度は実測値にほとんど一致している。

4) ポリエチレン加工クラフト紙はその透湿係数に多少の湿度依存性を持っている⁷⁾が、この方法によれば測定が可能である。しかし一般的により湿度依存性の大きい材料ターポリン紙・塩化ビニリデン加工紙防湿セロハンなどでは、2点をこの測定の場合より90%に近い位置に求めた方がよいと考えられる。

5. 総 括

以上の結果からつぎのような電気湿度計による透湿度測定を実施するための条件を求めた。

1) 透湿度を計算するために図上にプロットする2点は、それぞれ少なくとも3測定の平均値として求める必要がある。たとえば標準フィルム1枚を使用した測定を3、4枚重ねて使用した測定を3、計6測定を同時に行なう必要がある。試料の透湿度にばらつきが大きい場合にはより多くの測定が必要となる。

2) 以上のような測定を行なう場合には、各測定に使用する標準フィルムの標準化を行なう必要がある。すなわちある特定の試験片に対して測定される平衡湿度が0.5% R.H. 以内に一致するような標準フィルムをそろえることが必要である。

3) 各測定に使用する各湿度計も同一大気条件中で使用した場合、湿度の測定値がほとんど一致するように補正することが必要である。

4) 図上にプロットする2点を求めるための平衡湿度 h_n は、1つは75~85% R.H. の範囲内、他の1つは60~70% R.H. の範囲内に求め、この2つの差は10~15% R.H. にするのが適当で、平衡湿度がこのように測定される標準フィルムの適当な重ね枚数を選択する必要がある。

5) 測定時間は20時間程度を必要とする。

以上の条件にしたがって、ポリエチレン・サンドイッチクラフト紙の透湿度を測定した結果は、図6に示すように JIS 法による透湿度とよく一致している。

参 考 文 献

- 1) J. A. Van den Akker: Paper Trade Journal Vol. 126, No. 1, 32 (1948)
- 2) M. Karel, Y. Aikawa and B. E. Proctor: Modern Packaging Vol. 28, 213 (1955)
- 3) Hubert O. Ranger and Michael J. Gluckman: Modern Packaging Vol. 37, 153 (July 1964)
- 4) 高橋: 産業工芸試験所報告「工芸研究」No. 19, 6.
- 5) C. E. Rogers, V. Stannett and M. Szwarc Ind. Eng. Chem. Vol. 49, No. 11, 1933 (1957)
- 6) 高橋: 産業工芸試験所報告「工芸研究」No. 19, 6.
- 7) 高橋・芦原: 産業工芸試験所報告「工芸研究」No. 27, 1.