

우리나라 南部地域의 木材平衡含水率 (EMC)의 季節變動과 그 推定*1

文昌國 *2

Seasonal Equilibrium Moisture Content(EMC) Variation and Prediction for Wood in Southern Korea*1

Chang Kuck Moon*2

With the chemical equilibrium formula by Hailwood and Horrobin, $mw = a \cdot ((k_1 k_2 h) / (1 + k_1 k_2 h))^{-1} + (k_2 h) / (1 - k_2 h))^{-1}$, based on absorption theory, monthly equilibrium moisture content(EMC) variations in southern Korea were predicted.

The results were as follows ;

$$k_1 = 47370272 \cdot 10^{-7} + 477345 \cdot 10^{-7} t - 502775 \cdot 10^{-8} t^2$$

$$k_2 = 705940864 \cdot 10^{-9} + 16979472 \cdot 10^{-10} t - 555336 \cdot 10^{-11} t^2$$

$$w = 2233848 \cdot 10^{-4} + 694242 \cdot 10^{-6} + 185328 \cdot 10^{-7} t^2$$

Here, t is temperature degrees in Celsius, k is the equilibria between hydrate water and dissolved water, k is the equilibria between dissolved water and the water vapour pressure surrounding atmosphere, w is the molecular weight of the polymer unit that forms the hydrate, h is the relative vapour pressure. And the formula was well agreed with the data when the constant values α were given to be 2200 in January, February, October, November and December, 1850 in March, April and May, 1920 in June, July, August, and September seasonally.

Hailwood와 Horrobin의 吸濕과 放濕理論에 따른 $mw = a \cdot [(k_1 k_2 h) / (1 + k_1 k_2 h)]^{-1} + (k_2 h) / (1 - k_2 h)]^{-1}$ 의 化學平衡式에 우리나라 南部地域의 木材平衡含水率 調查資料를 適用하여 본바 各 平衡係數와 溫度間에는 아래와 같은 關係가 있고

$$k_1 = 47370272 \cdot 10^{-7} + 477345 \cdot 10^{-7} t - 502775 \cdot 10^{-8} t^2$$

$$k_2 = 705940864 \cdot 10^{-9} + 16979472 \cdot 10^{-10} t - 555336 \cdot 10^{-11} t^2$$

$$W = 2233848 \cdot 10^{-4} + 694242 \cdot 10^{-6} + 185328 \cdot 10^{-7} t^2$$

地域別로는 서울 $\alpha=1,900$ 光州 1,650 普州地域 1,700으로 合理性이 있으나 其他 地域은 不合理하고 오히려 季節의으로 볼때 1月 2月 10月 11月 12月과 3~5月 및 6~9月이 各各 거의 같은 含水率을 갖는 期間으로 나타나 1月 2月 10月~12月은 $\alpha=2,200$ 3~5月이 1,850 6~9月이 1,920으로서 理論的 數式과 잘 부합하는 結果를 보였다.

緒 言

木材含水率은 木材의 理化學的 特性에 깊이 영향하는바 含水率 調節이 不安할 때에는 木材 및 木製品은 腐朽하거나 灣曲 歪形으로 되어 못쓰게 된다.

先進國에서는 自己나라에서 生産되는 商業上의 價値가 있는 모든 樹種材에 對하여 各條件下에서의 含水率 및 乾燥特性을 調査하여 學術 및 産業에 쓴다. 外國에서의 一般的인 含水率 調節值를 보면 美國은

* 1. Received for publication on Sep. 20, 1981.

* 2. 慶尙大學校 農科大學 College of Agriculture Gyeongsang National Uni.

Mississippi, Louisiana, Florida地域이 含水率 11%로 가장 높고 Arizona, New Mexico 地域이 제일 낮은 6%線이며 餘他地域은 大概 8%線이며 日本을 보면 北海道 地域은 14~15%, 九州, 四國가 13% 其他는 12~14% 線으로 되어 있고 우리나라는 南韓이 11%, 北韓 13%線이다.

옛날부터 木材平衡 含水率을 推定하기 爲하여 많은 研究가 있었으며 이제는 各條件에 따른 含水率表가 完成되어 있고 最近에는 Moisture Meter가 發明되어 國內에도 活用하고 있는 境遇가 많은데 대개는

Electrode Needle을 가진 Resistance Type의 水分 含量計로서 木材의 表面 含水率 測定에는 適合하나 두께가 커지면 不正確하다.

한편 學者들은 近來에 나타난 Computer電算program에 힘 입어 數理的 經驗을 土기로 한 實驗式을 誘導코저한 試圖로서

$$Me = A - B \log(\theta_a - \theta_w) \dots\dots\dots ①$$

$$Me = J(-1)^n (1 - R_w)^* \dots\dots\dots ②$$

등이 나왔고 또 Psychrometric式을 活用하여 濕球 溫度(wet bulb temperature) Twb인 때의 飽和蒸氣

Table. 1. Monthly average values of temperature, relative humidity and EMC in Korea.

District	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Average
Seoul	Temp(°C)	-4.9	-1.9	3.6	10.5	16.3	20.8	24.5	25.4	20.3	13.4	6.3	1.2	11.1
	RH(%)	64	64	64	63	66	73	81	78	73	68	68	66	69
	EMC (%)	12.2	12.2	12.0	11.8	12.1	13.8	16.0	15.3	13.8	13.0	13.1	12.5	13.2
Inchun	Temp(°C)	-4.0	-1.6	3.4	9.7	15.3	19.6	23.9	25.1	20.6	14.2	7.2	-0.4	11.1
	RH(%)	66	67	69	70	74	80	86	82	75	69	68	67	73
	EMC (%)	12.5	12.6	13.4	13.3	14.2	15.9	18.2	16.0	14.3	13.1	13.0	12.8	14.1
Taegu	Temp(°C)	-1.6	0.6	5.7	12.1	17.6	21.6	25.3	25.9	20.5	14.2	7.8	1.4	12.6
	RH(%)	57	58	58	61	64	69	76	75	76	69	67	62	66
	EMC (%)	10.4	10.5	11.0	11.1	11.6	12.6	14.5	14.0	14.5	13.0	12.8	11.8	12.3
Jinju	Temp(°C)	-1.7	0.2	5.0	11.3	16.8	21.3	25.7	25.9	20.6	13.9	7.8	1.7	12.4
	RH(%)	73	73	71	70	72	76	80	80	79	76	75	75	75
	EMC (%)	14.5	14.5	13.7	13.3	13.5	14.5	15.8	15.8	15.8	15.0	14.8	15.0	15.1
Gwangju	Temp(°C)	-0.6	1.1	5.7	11.4	16.8	21.4	25.6	26.1	20.9	14.0	8.2	2.4	12.8
	RH(%)	74	72	71	72	74	77	82	80	80	76	75	75	76
	EMC (%)	14.8	13.9	13.7	13.7	14.0	14.9	16.2	15.7	15.9	14.9	14.9	15.0	14.9
Busan	Temp(°C)	1.8	3.5	7.3	12.5	16.7	19.3	23.1	25.4	21.6	16.6	11.1	5.0	13.8
	RH(%)	49	52	59	66	71	80	85	80	74	64	59	53	66
	EMC (%)	9.4	9.8	11.0	12.3	13.5	16.0	17.9	14.8	14.0	11.7	10.8	10.0	12.6
Mokpo	Temp(°C)	1.0	2.1	5.9	1.5	16.5	20.6	24.8	26.1	21.7	16.1	10.3	4.3	13.4
	RH(%)	9	69	69	71	75	80	84	80	76	70	69	68	73
	EMC (%)	13.5	13.7	14.5	13.5	14.5	15.9	17.5	15.7	14.5	13.2	13.1	13.1	14.4
Average	Temp(°C)	-0.4	1.2	5.5	11.4	16.5	20.3	24.3	25.3	20.7	14.9	9.0	2.7	12.7
	RH(%)	62	63	65	67	70	77	82	80	77	69	67	64	70
	EMC (%)	11.7	11.9	12.2	12.7	13.2	15.0	16.8	15.8	15.0	13.0	12.7	12.1	13.4
	EMC(data)	14.75	13.84	13.03	12.17	12.45	13.62	15.37	15.55	15.45	14.80	14.52	13.74	14.11

圧 (Saturated Vapour Pressure)을 P_{wb} , 乾球溫度 (dry bulb temperature) T_{db} 時의 大氣分壓을 P_{dp} , A 를 psychrometer常数, B 를 이때의 大氣壓이라 하면

$$\frac{P_{wb}-P_{dp}}{T_{db}-T_{wb}} = BA \dots\dots\dots ③$$

또 木材의 表面溫度 T_w , 木材表面 相對蒸氣壓 R_w 溫度 T_w 인 水面의 飽和蒸氣壓이 P_w 인 경우는

$$\frac{R_w P_w - P_{dp}}{T_{dp} - T_w} = BA \dots\dots\dots ④$$

이상의 式을 B 와 A 를 常數로 하여 露點 蒸氣壓 P_{dp} 에 關하여 풀면

$$R_w = (P_{wb} - BA(T_w - T_{wb})) / P_w \dots\dots ⑤$$

따라서 이 境遇는 P_w 와 P_{wb} 의 값만 알려지면 木材 含水率은 決定되는 것이다. 또 木材의 吸濕과 放濕原理에 化學平衡 理論을 導入하여 高分子 物質의 水和量은 溫度에 影響을 받으므로

$$W = m + nt + pt^2 \dots\dots\dots ⑥$$

따라서 木材中の 水和物 分子量과 遊離水間의 平衡係數를 k_1 , 遊離水와 大氣蒸氣壓 사이의 平衡係數를 k_2 라 할때 이는 그때의 溫度에 影響을 받으므로 全體的인 木材含水率과의 關係에서 보면

$$W, Me = \alpha [(k_1 k_2 h) (1 + k_1 k_2 h)^{-1} + (k_2 h) (1 - k_2 h)^{-1}] \dots\dots\dots ⑦$$

따라서 $Me = \alpha \cdot [(k_1 k_2 h) (1 + k_1 k_2 h)^{-1} + (k_2 h) (1 - k_2 h)^{-1}] \cdot W^{-1}$ 여기서 h 는 대기증기압 W 는 水和物 分子量, α 는 常數.

著者は 이를 우리나라 氣候條件과 木材 含水率에 適用하여 보았다.

結 果

1) 季節別 EMC 比較

Table 3. Seasonal average EMC values

Month	EMC data	Values formula	α	Remark
1, 2, 10, 11, 12	14.6 ± 1.40	14.1 ± 1.56	2200	areal α value in Seoul, 1960 in Gwangju, 1650 in Jinju, 1700
3, 4, 5	12.3 ± 1.03	13.0 ± 1.13	1850	
6, 7, 8, 9	15.3 ± 1.71	16.2 ± 1.88	1920	

2) 推定式 및 平衡係數

$$K_1 = 4.7370272 + 0.0477345t - 0.00502775t^2$$

$$K_2 = 0.705940864 + 0.0016979472t - 0.00000555336t^2$$

$$W = 223.3848 + 0.694242t + 0.0185328t^2$$

材料 및 方法

調査된 材料를 表 1 과 같이 整理하여 計算 프로그램 (表 2)을 만들어 使用하였다. 材料에 따라 調査된 data와 計算된 理論值를 比較檢定하여 各 季節 別에 따른 가장 合理的인 平衡係數를 찾아보았다. 計算에 使用된 單位는 溫度℃, 湿度는 相對蒸氣壓 (RH / 100)을 썼다.

Table 2. Calculation program(example)-Average-November (9℃)

[I]	$k_1 \cdot k_2 \cdot h \cdot w \cdot a = 4.759363 - 0.7207684 \cdot 0.67 \cdot 231.13413 \cdot 1920$
[II]	$k_1 k_2 h = 2.2989301$
[III]	$k_2 h = 0.48307$
[IV]	$([II] + 1) = 3.2989301$
[V]	$1 - ([III]) = 0.51693$
[IV]	$\frac{[II]}{[IV]} = 0.6968714$
[VII]	$\frac{[III]}{[V]} = 0.9344979$
[VIII]	$([VI] + [VII]) = 1.6313693$
[IX]	$\frac{[VII]}{W} = 0.0070581$
[X]	$([IX]) \cdot \alpha = 13.55$

Table 4. Values of equilibria and their relation

t	k ₁	k ₂	W	t	k ₁	k ₂	W
-1°C	4.7797072	0.7076324	224.09757	50	5.4457500	0.7783400	304.42930
0	4.7370000	0.7059400	223.38480	51	5.9138222	0.7779724	306.99537
1	4.7797072	0.7076324	224.09757	52	6.3759511	0.7790936	309.59851
2	4.8123588	0.7093136	224.84741	53	6.8561355	0.7802036	312.23871
3	4.8349548	0.7126648	225.63431	54	7.3463744	0.7813024	314.91598
4	4.8474952	0.7126424	226.45828	55	7.8466700	0.7823900	317.63032
5	4.8499800	0.7142900	227.31932	56	8.3570200	0.7843664	320.38172
6	4.8424092	0.7159264	228.21742	57	8.8774277	0.7845316	323.17019
7	4.8247828	0.7175516	229.15259	58	9.4078899	0.7855856	325.99573
8	4.7971008	0.7191656	230.12483	59	9.9484066	0.7866284	328.85833
9	4.7593632	0.7207684	231.13413	60	10.4898800	0.7876600	331.75800
10	4.7115700	0.7223600	232.18020	61	11.0596088	0.7886804	334.69473
11	4.6612920	0.7239404	233.26393	62	11.6302933	0.7896896	337.66853
12	4.5853968	0.7255096	234.38443	63	12.2110300	0.7906876	340.67939
13	4.5732182	0.7270676	235.54199	64	12.8018288	0.7916744	343.72732
14	4.4198412	0.7286144	236.73662	65	13.4026800	0.7926500	346.81232
15	4.3217700	0.7301500	237.96832	66	14.0135866	0.7936144	349.93438
16	4.2136432	0.7316744	239.23708	67	14.6345499	0.7945676	353.09351
17	4.0954608	0.7331876	240.54291	68	15.2655677	0.7955096	356.28971
18	3.9672228	0.7346896	241.88581	69	15.9066640	0.7964404	359.52297
19	3.7386070	0.7361804	243.26577	70	16.5577700	0.7973600	362.79330
20	3.6805800	0.7376600	244.68280	71	17.2189544	0.7982684	366.10069
21	3.5221752	0.7391284	246.13689	72	17.8901950	0.7991656	369.44515
22	3.3537148	0.7405856	247.62805	73	18.5714911	0.8000516	372.82667
23	3.1751988	0.7420316	249.15627	74	19.2628422	0.8009664	376.24526
24	2.9866272	0.7434664	250.72156	75	19.9642500	0.8017900	379.70092
25	2.7880000	0.7448900	252.32392	76	20.6757122	0.8026424	283.19364
26	2.5793172	0.7463024	253.96334	77	21.3972311	0.8034836	386.72343
27	2.3605788	0.7477036	255.63983	78	22.1288050	0.8043136	390.29029
28	2.1317848	0.7490936	257.35339	79	22.8704344	0.8051324	393.89421
29	1.8929352	0.7504724	259.10401	80	23.6221200	0.8059400	397.53520
30	1.6440300	0.7518400	260.89170	81	24.3838600	0.8067364	401.21325
31	1.3850692	0.7531964	262.71645	82	25.1555577	0.8075216	404.92837
32	1.1160529	0.7545416	264.57827	83	25.9375099	0.8082956	408.68055
33	0.8369808	0.7558756	266.47715	84	26.7294166	0.8090584	412.46980
34	0.5478532	0.7571984	268.41310	85	27.5313800	0.8090100	416.29612
35	0.2486700	0.7585100	270.38612	86	28.3434999	0.8105504	420.15950
36	-0.0605688	0.7598104	272.39620	87	29.1654733	0.8112795	424.05995
37	-0.3798632	0.7610996	274.44335	88	29.9976033	0.8119976	427.99747
38	-0.7092132	0.7623776	276.52757	89	30.8397888	0.8127044	431.97205
39	-1.0486188	0.7636444	278.64885	90	31.6920300	0.8134000	435.98370
40	-1.3980900	0.7649000	280.80720	91	32.5543266	0.8140844	440.03241
41	-1.7575969	0.7661444	283.00261	92	33.4266779	0.8147576	444.11819
42	2.1271692	0.7673776	285.23509	93	34.3090877	0.8148988	448.24103
43	2.5067972	0.7685996	287.50463	94	35.2015500	0.8160704	452.40094
44	2.8964808	0.7698104	289.81124	95	36.1040700	0.8167100	456.59792
45	3.2962200	0.7710100	292.15482	96	37.0166444	0.8173384	460.83196
46	3.7060148	0.7721984	294.53566	97	37.9393133	0.8179556	465.10307
47	4.1258652	0.7733756	296.95347	98	38.8719611	0.8185616	469.41125
48	4.5557712	0.7745416	299.40835	99	39.8147022	0.8191564	473.75649
49	4.9957328	0.7756964	301.90029	100	40.7675000	0.8197400	478.13880

$$k_1 = 4.7370272 + 0.0477345t - 0.00502775t^2$$

$$k_2 = 0.705940864 + 0.0016979472t - 0.00000555336t^2$$

$$W = 223.3848 + 0.694242t + 0.0185328t^2$$

3) "t" 檢定值

Table 5 "t" test value

Month	Factor	Σp	Σd^2	d	Sd	t value	Remark
1, 2, 10, 11, 12	Data×fomula	1.9	12.70	0.177	0.307	1.532	t 0.05~0.01
3, 4, 5	Data×fomula	1.2	1.58	0.068	0.119	0.616	2.593~3.106
6, 7, 9, 8	Data×fomula	1.5	8.66	0.133	0.234	1.230	

考察 및 結論

含水率表에서 얻은 EMC 값은 表1에서 보아 알 수 있듯이 實際 調查測定한 EMC 값보다 大體的으로 낮은 數值를 보이며 平均的으로는 約 1% 낮게 된다. 이런 점에서 보면 含水率表의 값은 대략은 맞다 보겠으나 엄밀히는 現實과 부합하지 않으며 우리나라의 地域別 木材 含水率을 總括하여 보면 1月 2月 10月 11月 12月은 거의 같은 傾向이고 3, 4, 5月이 같고 6月 7月 8月 9月이 거의 같은 木材 含水率을 갖는 季節이라 보겠으므로 이에 따른 推定式의 係數를 찾아보면 1月 2月 10月 11月은 $\alpha = 2,200$ 으로서 有意差 없고 3~5月은 1,850 餘他月은 1,920으로 보는것이 가장 合理的이라 생각되며 날씨가 추워지면 大氣中の 關係湿度가 높아지므로 추운 地方 추운 季節은 一般的으로 木材 含水率이 높다 하겠으나 雨量이 많고 氣溫이 높은 夏季에는 亦是 木材의 含水率도 年中 높은 傾向을 보인다 하겠다.

引用文獻

1. Chen, C. & F. F. Wangaard, 1968. Wettability and the hysteresis effect in the sorption of water vapor by wood. Wood Sci. and Tech. 2: 177-187.
2. Hart, C. Arthur 1977. Effective surface moisture contents of wood during sorption. Wood Sci., 9(4): 195-201.
3. Smith, H. H. 1963. Relative humidity and equilibrium moisture content graphs and table for use in kiln drying lumber. Forest Prod. Lab. Rep. 1961. Medison, Wis.
4. Spalt, H. A. 1958. The fundamentals of water vapor sorption by wood. Forest Prod. J. 8(10): 228-295.
5. U. S. Forest Prod. Lab. 1955. Wood Handbook.
6. Wangaard, F. F. and L. A. Hranados, 1967. The effect of extractives on water vapor sorption by wood. Wood Sci. and Tech. 1: 253-277.
7. William T. Simpson, 1971. Equilibrium moisture content prediction for wood. Forest Prod. J. 21(5): 48-49.