紙類のみかけ熱伝導率と温湿度に関する研究 (第2報)

青山学院大学理工学部熱工学研究室 工博・技術士 寺崎 和郎

松浦 健児

The Study of the Effective Thermal Conductivities of Papers for the Temperature and Humidity (2nd Report)

Dr of Eng. Consultant Eng. Kazuo Terasaki

Heat Research Sect. Kenji Matsuura

College of Science & Engineering, Aoyama Gakuin University, Tokyo, Japan

Many kinds of papers are widely used for building materials, heat exchanger elements and many other things, but the thermal characteristics is not known well. At first report, authors showed the heat transfer quantity by air permeability. In this report, we experimentally clarified the effect of the temperature and humidity on the effective thermal conductivities of papers which is a part of the heat transfer quantity.

1. ま え が き

紙類は熱交換材や建築材料等に広く用いられているが、その熱的性質はあまり知られていない。著者らは前報で種々の紙について透気による熱通過量を報告した。本報では熱通過量の一部であるみかけ熱伝導率について温湿度による影響を実験的に求めその相関関係を提示する。

2. 実験方法及び装置

円筒熱源にて定常法で求める為に紙の湿度を一定に保ち同時に紙の表裏の温度をも一定に保ち、かつ一定の温度差を与えることにより 相対湿度 40, 50, 60%, 温度 30, 40, 50, 60°C の空気中の紙のみかけ熱伝導率

を求めた。図1は実験装置全体の配置図で図2は恒温恒湿槽と装置主要部を示す。高熱源側は銅パイプで低

図1 実験装置全体配置図

図2 恒温恒湿槽内各装置

1. 熱媒体
2. 熱媒体流路
3. パネルヒータ本体
4. 発泡スチロール
5. ガラスウール
6. ベニヤ板
7. 送風機
8. 加湿器
9. ガードヒータ
10. メインヒータ
11. 試供紙
12. 乾湿球温度計

図3 圧延機

図4 熱伝導測定用円筒熱源

図5 測定部本体

熱源側は銅パイプの回りに三重に巻き付けた試供紙の一番外側の恒温恒湿槽内の空氣に直接触れている紙に相当する。こうする事により表裏の温度を測る二巻目の紙をも槽内と同湿度に保持し、かつ銅パイプ表面と槽内の温度差を $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ に保ち、銅パイプに三重に巻き付けた紙の湿度差を最小限にした。この際紙の湿度は槽の温度をもつて表示した。表裏の温度測定は $0.15\phi\text{mm}$ の鉄コンスタンタン熱電対の感温部を図3の如き圧延機を製作して箔状にし、紙表面の温度を正確に測定できる様にした。また紙表裏の熱電対の位置はヒータの軸方向に $2\sim 3\text{mm}$ ずらして設定し熱電対の影響をさけた。なお熱電対での温度測定箇所は槽内を含め計12カ所で行なった。

(i) 測定部

図4に示す如く高熱源側は M38 P1.5 のベーク材にメインヒータ部を挟みその両側をガードヒータ部とし、それぞれに $0.47\phi\text{mm}$ のニクロム線を巻き円弧状に3カ所切込みを入れ、熱伝導の良くないメタルボンドを充填接着することによりガードヒータとメインヒータの温度勾配を熱電対で容易に検出できる様にした銅パイプ中に挿入し、ヒータとパイプとの隙間には 80μ のガラス粒をバイブレーターで加振して充填し、銅パイプの中心軸とヒータの中心軸が一致するよう耐熱樹脂製ねじ蓋で固定した。その結果ヒータ部に均一な温度分布が得られた。これらの測定部をベークライトの支柱でささえた測定部本体を図5に示す。

でささえた測定部本体を図5に示す。

(ii) 恒温恒湿槽は上下面を除く四側面は恒温液槽からの乳化液を循環さす四面一体のアルミニウム製のパネルヒータで、その外側とベニヤ板製の箱の間にはガラスウールと発泡スチロールで断熱し、上蓋には透明の覗き窓を設け乾湿球温度計を読み取れる様にした。加湿器と攪拌の為の送風機は測定条件を変えて設定した初めの $2\sim 3$ 分間のみ使用し、温度の定常状態は温度自動記録計によって判定した後さらにポテンショメータで確認した。また、湿度は乾湿球温度計を5分間隔で読み取るにより定常状態を確認した。

3. 実験結果

表1に各測定値を示す。図6~12に各種紙の温湿度とみかけ熱伝導率の関係を示す。各種紙とも温湿度

表1 紙類の熱伝導率測定値

温度 ℃	湿度 %	電圧 V	電流 A	熱量 kcal/h	上質紙			S コットン			厚紙			クラフト紙			奉書紙			コピー用紙			習字用紙		
					紙の内外温度			紙の内外温度			紙の内外温度			紙の内外温度			紙の内外温度			紙の内外温度			紙の内外温度		
					t_1	t_2	λ	t_1	t_2	λ	t_1	t_2	λ	t_1	t_2	λ	t_1	t_2	λ	t_1	t_2	λ	t_1	t_2	λ
30	40	7.0	0.060	0.8612	29.816	29.744	0.011	29.384	29.328	0.030	29.154	29.124	0.056	29.644	29.638	0.041	29.383	29.367	0.106	29.143	29.130	0.126	29.154	29.093	0.027
					29.799	29.755	0.018	29.341	29.297	0.038	29.123	29.095	0.058	29.612	29.606	0.045	29.353	29.338	0.113	29.100	29.087	0.128	29.054	29.004	0.083
30	60				29.790	29.760	0.027	29.154	29.117	0.044	29.104	29.077	0.060	29.542	29.536	0.049	29.325	29.310	0.117	29.054	29.046	0.130	29.023	28.980	0.038
40	40				39.883	39.796	0.019	39.815	39.760	0.048	39.643	39.602	0.065	39.215	39.210	0.078	39.543	39.520	0.119	39.433	39.412	0.131	39.772	39.718	0.050
					39.775	39.720	0.023	39.805	39.757	0.055	39.532	39.494	0.070	39.021	39.016	0.082	39.532	39.511	0.124	39.272	39.252	0.133	39.700	39.647	0.057
40	60				39.774	39.740	0.038	39.804	39.761	0.062	39.271	39.236	0.075	39.005	39.001	0.088	39.512	39.506	0.130	39.004	39.985	0.136	39.715	39.674	0.065
50	40				49.754	49.687	0.026	49.341	49.277	0.057	49.331	49.331	0.072	49.215	49.210	0.108	49.321	49.293	0.129	49.384	49.367	0.136	49.321	49.321	0.060
					49.722	49.671	0.036	49.240	49.184	0.065	49.215	49.168	0.078	49.106	49.101	0.114	49.171	49.144	0.134	49.654	49.628	0.139	49.370	49.318	0.069
50	60				49.117	49.673	0.045	49.140	49.091	0.073	49.105	49.063	0.086	49.104	49.099	0.123	49.054	49.028	0.139	49.543	49.508	0.141	49.350	49.303	0.077
60	40				59.900	59.816	0.032	59.693	59.600	0.066	59.453	59.371	0.075	59.643	59.635	0.127	59.432	59.388	0.142	59.824	59.767	0.140	59.387	59.389	0.063
					59.642	59.572	0.042	59.582	59.498	0.073	59.254	59.181	0.084	59.613	59.606	0.135	59.328	59.283	0.137	59.654	59.599	0.144	59.487	59.402	0.072
60	60				59.604	59.545	0.050	59.432	59.357	0.081	59.063	48.997	0.093	59.601	59.594	0.149	59.214	59.172	0.146	59.382	59.327	0.146	59.387	59.310	0.080
厚さ $\times 10^{-5}$ m					7.44			10.68			10.10			2.24			14.64			5.96			3.70		
比重 kg/m^3 (40% 湿度)					853.4			511.4			380.7			1153.8			500.3			840.0			380.0

図6 コピー用紙のみかけ熱伝導率

図7 奉書紙のみかけ熱伝導率

図8 クラフト紙のみかけ熱伝導率

図9 障子紙のみかけ熱伝導率

図12 上質紙のみかけ熱伝導率

図10 S-コットンのみかけ熱伝導率

図11 習字用紙のみかけ熱伝導率

図13 各種紙のみかけ熱伝導率と温度 (湿度60%)

が高くなっている事が分る。

図13は湿度60%で一定の時の温度による影響を各紙について表わしたグラフである。クラフト紙の場合に温度に対するみかけ熱伝導率の変化が最も顕著に表われ 30°Cで約 0.05 kcal/mh°C に対し、60°では約 0.15 kcal/mh°C と約3倍の値を示している。奉書紙とコピー用紙は比較的熱伝導率が高いが、0.12~0.15 kcal/mh°C と温度に影響される割合は小さく約 1.2 倍で、障子紙、習字用紙、S-コットンは約 0.05~

図 13 各種紙のみかけ熱伝導率と湿度
(温度 40°C)

図 15 各種紙の比重量とみかけ熱伝導率
(温度 40°C 湿度 50%)

0.08 kcal/mh°C で約 1.6 倍, 上質紙は熱伝導率は小さいが約 0.025~0.05 kcal/mh°C と約 2 倍になっている。図 14 は温度を 40°C で一定の時の湿度による影響を各紙について表わしたグラフである。各紙とも湿度に対しては直線的にみかけ熱伝導率は上昇している。

紙の諸性質上類似している紙を曲線で結ぶと紙の比重量とみかけ熱伝導率との関係は図 15 の 2 曲線で示す事ができる。一般の純粋な無孔固体と異なり, 紙の

様に多気孔性状の物質は比重量が増すと表面に密着している気体をも含めて内部の気体が比重量の小さいものと比較して多い場合の熱伝導率は一樣に低くなる。一下曲線, しかし上曲線に含まれる紙の様に比重量が増すにつれ熱伝導率が一次高くなるのは紙に表面皮膜加工が施こされていたりすると比重量の小さいものは紙全体積に対する表面積当りの表面皮膜加工の割合が大きいので, 無孔固体に似たみせかけの性質になり熱伝導率は大きくなる。しかし比重量がさらに大きくなると全体積に対する表面加工割合が小さくなるのでみかけ熱伝導率は小さくなる。

4. 結 論

- (i) みかけ熱伝導率は湿度に対して直線的に上昇する。
- (ii) 温度 30~60°C, 湿度 40%~60% の範囲では温度の方がみかけ熱伝導率に対する影響が大きく, 非常に顕著なものもある。
- (iii) みかけ熱伝導率と比重量とは二つの異なった比例関係が存在する。

5. お わ り に

今後, 紙の繊維自身による熱伝導と紙と繊維に含まれる空気によるみかけ熱伝導率と透気及び拡散—凝縮—毛細管移動—蒸発—拡散が加わった場合等についてさらに研究を進め, 機会があれば報告したい。

(原稿受付 昭 47.5.10)

1973, 27th Annual General Conference

主 催: Appita, the Technical Association of the Australian and New Zealand Pulp and Paper Industry

場 所: Rotorua, New Zealand

期 間: 1973年 3月26日~30日

主 題: "Pulping of Softwoods"

論文紹介先: The Secretary of Appita, Clunies Ross House, 191 Royal Parade, Parkville, 3052, Australia.

紹介先: 上記住所に同じ