

稚内層珪質頁岩粒を用いた吸放湿型除湿・熱交換換気装置の試作

繪内 正道 [北海道大学大学院工学研究科／教授]
羽山 広文 [北海道大学大学院工学研究科／助教授]
森 太郎 [北海道大学大学院工学研究科／助手]
鈴木 徳雄 [鈴木産業(株)／代表取締役]
赤澤 敏之 [北海道立工業試験場／材料化学科長]
野村 隆文 [北海道立工業試験場／研究職員]

背景・目的

近年、北海道における住宅の高断熱高気密化は著しく、厳冬期でも暖房費用を抑えながら暖かくて快適な室内環境の確保が可能になってきた。その一方で、残念なことであるが、夏期の不快感が増大し、本州並にエアコンを設置する事例も散見される。夏期に冷涼な積雪寒冷地において、このようなエネルギー多消費型で力任せな環境調整はナンセンスであり、高断熱高気密建物に相応しい環境共生型の省エネルギー空気調和方式の開発とその普及が望まれている。

本研究は、高断熱高気密建物に相応しい省エネルギー空気調和方式の開発・普及、及び夏期に冷涼な地域特性と道産材(稚内珪質頁岩)の有効利用を目的にして、造粒・焼成した含浸珪藻土粒の諸物性を明らかにするとともに、含浸珪藻土粒を用いた吸放湿型除湿・熱交換器装置の切り替えダンパーを試作し、実用化に向けた製造価格の検討を行った。

内容・方法

(1) 造粒・焼成した含浸珪藻土粒の諸物性

造粒・焼成した含浸珪藻土粒の湿気物性を明らかにするために、珪藻土粒径3種(直径8 mm, 10 mm, 12 mm)をそれぞれナイロン網に充填して球状にしたもの3種(直径45 mm, 50 mm, 57 mm)を製作し、湿気物性の同定を行った。気乾状態の珪藻土粒をボール状に充填・成形し、濃度30% のCaCl₂溶液に約50時間含浸させ、取り出し後に、表面水を重力落下させた。この状態における含浸率は13.7 %になる。次いで、103 °Cに設定した乾燥機に入れて、72時間の運転後に、絶乾状態で質量測定を行い、恒温恒湿庫に9個の試料を吊り下げ、45%RH一定4日間、60%RH一定4日間における吸湿重量の時間変化を測定した。ハイグロスコピック領域の熱水分同時移動方程式を数学モデルとし、湿気伝導率(湿気浸透率)をパラメータとする同定手法を用いた。モデルが非線形になるため、パラメータ推定法としてDSO法(直接探索法)を用いた。また、熱水分同時移動方程式を時間前進差分、空間中心差分により解く方法を採用した。関数近似は指數関数級数によった。

(2) 热交換器装置切り替えダンパーの試作及び実用化に向けた製造価格の検討

現在、市場に流通している切り替え装置の価格は高く、概ね25万円/台の価格帯にある。この理由はその装置が、注文生産に近く、少数の製造に伴う高価格化が遠因であることによる。本吸放湿型除湿・熱交換器1台に、2基の切り階装置が必要になるので、吸放湿型除湿・熱交換器の価格が50万円/台になってしまい、実用化はそれだけで非現実的なものとなってしまう。そこで、ダンパー2基と切り替え制御を組み込んだ試作機を製造業者に実際に試

作させ、市場価格の低減化がどの程度まで図れるか、を検討することにした。

結果・成果

(1) 含浸珪藻土粒の物性値を同定すると、粒体積が大きい程、湿気浸透率が増大する傾向にある(この理由は、同一ポール径であっても、粒体積が大きい、即ち粒径が大きい程、ポール内の珪藻土粒間の隙間が増大し、湿気を含んだ空気流体と珪藻土粒との間の物質伝達が円滑化するためと予想される)。また、ポール表面積が増加すると、湿気浸透率は減少する傾向にある(この理由として、容積あたりの表面積は、ポール径が小さい程大きくなり、ポール表面積全体としての物質伝達率の影響割合が大きくなること等、が考えられる)。

この傾向を、珪藻土ポールの製造に当てはめてみると、ポールに充填する粒径は出来るだけ大きく、それを充填するポール径の方は小さい方が良い、と言うことになる。傾斜回転パン式造粒機を用いた製造工程から判断すると、珪藻土の粒径を大きくすること不可能ではないけれども、歩留まりを低下させることが予想されるので、製造単価にも大きく影響を与える可能性がある。また、ポール径を小さくすることは、熱交換器に充填するポール数を増加させるので、充填用ポールが多数必要になることを意味している。

(2) 試作機のダクト径をφ200 mmとすれば、最大で200 m²/hの換気量を想定した時の通過流速を1.8 m/s程度に抑えられる。また、吸放湿モード(夏期)のときのダンパー切り替え時間間隔は、0.5時間程度、熱交換モード(冬期)の切り替え時間間隔は、0.05時間前後となる。切り替え制御は、任意の時間間隔で可能にした。吸放湿型除湿・熱交換器の価格設定を考えると、珪藻土ポールをパッケージしたセル(殆どが珪藻土の材料費とポールのハンドメイド化に要する費用)、セルを組み込む交換装置本体(断熱材の費用と切断・組み立てに要する費用)、そして切り替え装置の3部分に分けて考えることが出来る。北海道大学における今までの試作作業を通じた価格の検討では、切り替え装置が最も高額になると予想されたので、切り替え装置の製造を1000台分と仮想して、納入価格の試算を行った。

製造に伴う個々の部品価格を知るために、切り替え装置の試作は、オーダーメイドで行った。その結果、塩ビの射出成型後の本体ケースは、1基につき(¥22,600)。本体ケースの合計(¥45,200)に加え、射出成型に必要となる金型の一台分(¥6,880)が加わってくる。従って、切り替え装置の製造費用の実に60%が、塩ビの成型・組み立てに割かれたことになる。それを除いた、主要な費用は、ギヤモーター(¥7,776)、ソリッドステートタイマー(¥3,888)、AC/DC電源(¥4,800)、制御基板部品・調整(¥5,850)であるが、これらは既に市場の量産効果が表出しているものであり、一基¥86,880以下の低減化は難しい、と予想される。

今後の展望

本実験を通じて、吸放湿性能を向上させようとする場合、熱交換器の吸放湿セルの製造単価は高めの方向に推移すると言うことが明らかとなった。全てのケースにおいて同一の物性値を用いているが、実際には空隙率やその大きさの違いに起因する熱伝導率、かさ密度等が異なってくると、同定結果は違ってくる。また、対流熱伝導率の設定値によっても、湿気浸透率は異なるので、その検討が必要になってくる。

実現化に欠かせない熱交換器の切り替えダンパーの製造価格は、今のところ一基¥86,880以下の低減化は難しいという結論になった。しかし、本体価格が¥45,200であることを考えると、その本体を塩ビから金属に変更した場合にどの様になるのか、価格低減化を実現させるための別の方策を見出しが、今後の課題といえる。