低温域における有機系収着剤の水蒸気収着特性

Water Vapor Sorption Characteristics of Organic Sorbent in a Low Temperature Region

正 堀部 明彦 (岡山大院), 正 春木 直人 (岡山大院) ○学 平井 優 (岡山大院)

Akihiko HORIBE, Naoto HARUKI, Yu HIRAI

Graduate school of Natural Science and Technology, Okayama University, 3-1-1, Tsushima-naka, kita-ku, Okayama, 700-8530, Japan

Key Words: sorption, organic sorbent, low temperature, moist air, dehumidifier

1. 緒言

近年, 社会の発展に伴い, 化石燃料の枯渇やオゾン層破壊, 地球温暖化といった環境破壊が大きな問題となっている. それに伴い冷凍・空調分野においても環境に配慮された環境調和型の空調システムが求められている. その一環として収着剤を用いた水蒸気収着システムが現在注目を浴びており, 著者らはこれまで常温域において収着剤を用いた様々な研究を行ってきた.

一方で, 冷凍庫の熱交換器など低温域における機器は着霜等による伝熱効率低下を招く可能性があり, 更なる性能向上を考えると, 低温域においてもデシカントを用いた除湿を検討する必要がある. そこで本研究では, 有機系収着剤のマイナス温度域での収着性能の評価を行う.

2. 収着剤

本研究で性能評価を行う高分子有機系収着剤は, 図1に示すように, ポリマーの架橋点を中心に膨潤することによって従来のシリカゲル, ゼオライト等と比較して, 大量の水蒸気を収着 (吸湿) することができるものである.

有機系収着剤は従来の吸着剤と比較し, 加工性に優れるという利点も有することから, その特性に合わせ, 粉末状収着剤を用いた流動層システム, ガラス繊維を含んだ不織布に収着剤を塗布し成形したハニカムシートを円筒状に巻いたロータータイプ, 熱交換器フィン部に収着剤を塗布したシステム等様々な研究が行われている⁽¹⁻³⁾.

Fig.1 Sorption mechanism

3. 実験装置および実験方法

図2に本実験装置の概略図を示す. コンプレッサからの圧縮空気はアフタークーラ, メンブレンドライヤを通り除湿される. さらに, 熱交換器, ボルテックスチューブを通り, この段階にて空気を露点温度以下に冷却することで除湿を行う. 次に, PID 制御されたヒータによって空気を任意の温度まで加熱し, 所定の温湿度を得る.

空気が流入する試験部は流路断面 70×70[mm]の直方体となっており, 上部にある電子天びんから試料である有機系収着剤シートをつり下げ, 質量を測定して収着した水分量を算定した. また, 試験部出入口における温度はT型熱電対を, 入

口空気絶対湿度は鏡面冷却式露点計をそれぞれ用い測定を行った.

Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus

4. 実験方法および実験条件

実験では, まず測定開始前にシート状収着剤を 110℃のオープンの中に 12 時間以上入れて十分に脱着させ乾状態にする. その後オープンから取り出し, 吸湿しないようすぐに密封し冷凍庫内にて条件温度まで冷却した後, 試験部内に収着剤を吊り下げ測定を開始する. なお, 今回実験に用いたシート状収着剤は幅 50mm, 長さ 200mm, 収着剤塗布量 m_{coat} (=45, 60g/m²) であり, また, 測定開始時のシート状収着剤の初期温度 T_{en} [℃]は実験条件の空気温度 T_a [℃]とほぼ等しくなっており, 試験部内を流れる空気の流速は 0.11m/s とした.

4. 実験因子の定義

今回, 実験結果を評価するに当たり, 無次元収着割合 m_w/m_0 , 総括物質伝達係数 K_s を用い検討を行った⁽⁴⁾. ここで無次元収着割合 m_w/m_0 とは収着剤の質量 m_0 に対する水蒸気収着量 m_w の比で表されるものである.

また総括物質伝達係数 K_s は駆動力に対する周囲空間から収着剤界面および内部への単位時間・単位面積あたりの水蒸気の移動量を示すものであり, 以下の式(1)によって求められる. 以下の式における S_b は有機系収着剤シート面積であり, $(m_w/m_0)_e$ は収着現象平衡時の無次元収着割合である.

$$K_s = \frac{m_0}{S_b} \times \frac{d(m_w/m_0)}{dt} \times \frac{1}{(m_w/m_0)_e - (m_w/m_0)} \quad (1)$$

5. 実験結果および考察

図3に $T_a = -10^\circ\text{C}$ $m_{\text{coat}} = 45\text{g/m}^2$ における無次元収着割合の経時変化を示す。ある温度において相対湿度を変化させた場合、相対湿度の増加に伴い無次元収着割合の傾き、平衡無次元収着割合ともに増加傾向にあることが確認できる。これは、高相対湿度になるほど、供給空気と収着剤表面との濃度差が大きくなったためである。

また、収着水分量は実験開始初期段階に大きく増加する傾向を示す。時間が経過し収着反応が進行するとともにその増加割合を減少させていき、最終的に収着が終了した平衡状態に達する。

有機系収着剤による収着過程は吸着と吸収という同時に起こる二つの現象が合わさった現象であり、各現象が進行する速度は一般に吸収に比べて吸着の方が速いことが知られている。今回の収着実験では、測定初期段階においては供給空気と収着剤表面との水蒸気濃度差が最も大きく、さらに収着剤表面における吸着現象が活発に行われるため、急速に収着過程が進行する。そして時間経過とともにしだいに供給空気と収着剤表面との水蒸気濃度差が小さくなっていき、かつ収着剤内部への吸収が支配的になっていくため、収着速度が減少傾向をとったものと考えられる。

次に図4に通風空気温度 T_a ($=0, -10, -20^\circ\text{C}$)、収着剤シート塗布量 m_{coat} ($=45\text{g/m}^2, 60\text{g/m}^2$) における各相対湿度に対する平衡無次元収着割合の測定結果および自動吸着量測定装置（日本ベル株式会社製 BELSORP18plus）において測定を行った 30°C における収着等温線（×印）の比較を示す。

図4から常温度域と同様 0°C 以下のどの温度域においても有機系収着剤の平衡無次元収着割合は相対湿度に強く依存し、相対湿度が高くなるほど増加傾向にあることがわかる。一方、高相対湿度域においては低温であるほど無次元収着割合が低下するという傾向がみられた。この原因として低温域では有機系収着剤の膨潤現象が妨げられることが考えられる。有機系収着剤の膨潤現象は、水分を捕集した際の収着熱により収着剤内部の温度上昇に伴い、内部圧力が高まることで膨潤を促進する。この膨潤現象が有機系収着剤の高い収着性能を実現している。よって低温域においては収着温度の低下により膨潤過程の促進の抑制が行われ、平衡無次元収着割合が減少したのではないかと考えられる。

図5に各空気温度 T_a ($=0, -10, -20^\circ\text{C}$)、各収着剤塗布量 m_{coat} ($=45\text{g/m}^2, 60\text{g/m}^2$) での総括物質伝達係数 K_s と相対湿度 Φ の関係を示す。図5に示すように、 K_s は同じ T_a の場合、相対湿度の変化に対し大きな変化は見られなかった。これは相対湿度上昇に伴い収着剤の平衡収着割合も増加したことで収着剤表面と供給空気との濃度差が大きくなり、駆動力、収着速度ともに増加することとなり、 K_s に大きな変化が見られなかったのではないかと考えられる。

また、供給空気温度が低温になるに従い、 K_s は低下する傾向となった。これは先に述べた膨潤抑制による影響、および絶対湿度の減少による収着速度の低下の影響が考えられる。

一方、今回収着剤シート塗布量 45g/m^2 、 60g/m^2 と二種のシートを用い実験を行ったが、塗布量の違いに対し K_s に大きな違いは見られなかった。これはシート面積当たりの収着剤量は増えたものの、収着剤塗膜厚さの増加により、収着剤下部への収着反応が阻害され、収着速度が減少したためにこのような結果となったのではないかと考えられる。

Fig.3 Time histories of m_w/m_o ($\Phi=40, 60, 80\%$ RH)

Fig.4 Relationship between Φ and $(m_w/m_o)_e$

Fig.5 Relationship between Φ and K_s

文献

- (1) 稲葉英男・他 4 名, 伝熱論 Vol.15 No.3(2007) pp.141-150
- (2) 堀部明彦・他 3 名, 冷空論 Vol.25 No.4(2008) pp.315-324
- (3) 堀部明彦・他 3 名, 冷空論 Vol.26 No.2(2009) pp.173-184
- (4) 柳井弘, 「吸着工学要論」, 共立出版, 東京(1977), pp.59-60.