

# 充填層表面よりの物質および熱移動

木 村 允

## 1. 緒 言

化学工場において粉体の乾燥、乾式脱硫などのように粒状層表面より熱および物質の移動が行われる装置をとり扱うことが多いが、かような場合、熱および物質移動速度を知る必要がある。従来平板より流体への熱移動は古くから研究が行われており、また物質移動に関しては Sherwood ら<sup>4)</sup>が平板よりの水の蒸発につき測定している。しかし、充填層表面についての測定値は見あたらないので、著者はナフタリンで作った粒子層および平板を用いて、空気気流中で揮発速度を測定し、物質移動係数を求め、これと熱伝達係数とを比較した結果を報告する。

## 2. 実験装置および操作

ナフタリンを熔融して固化し、これを破砕し、4~6, 6~8, 8~10, 10~14メッシュに篩分けて充填物とした。この充填物を0.08m平方の箱に高さ0.01, 0.02, 0.03mに充填し、空気流中に流れに平行に入れ、一定時間に揮発するナフタリンの量を秤量して、物質移動速度を求めた。風洞は1.35×0.30mの断面をもち、風速は種々変えて行った。なおナフタリンを箱に熔融して固め平板を作製し合せて実験に供した。

流体の流れの状態は充填層あるいは平板の上端より進むにつれて変化するので助走区間を作るため、砂充填層または金属製平板を試料の上流に設け種々長さを変えて測定した。また気流を整えるために整流板を風洞の空気入口においた。温度は室温で行い、±0.2°Cに保った。

## 3. 実験結果および考察

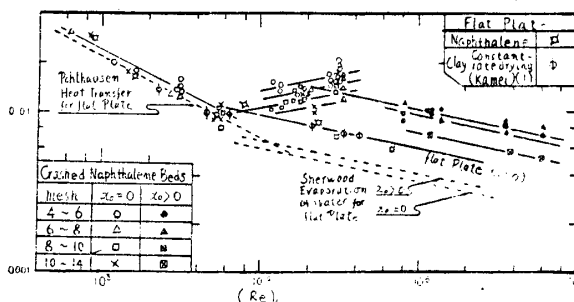
実験結果はいわゆる  $J_D$ -factor をレイノズル数の関数としてまとめた。すなわち

$$J_D = (k_g p_{RM} M_M u / \rho D)^{\frac{2}{3}}$$

$$R_e = x_i u \rho / \mu$$

結果は第1図に示す。図中  $J_D$  に  $[1 - (x_0/x_i)^{0.8}]^{0.11}$  なる補正項のあるのは、助走区間に対するものであり、Pohlhausen<sup>3)</sup>が熱移動に際して導いたものを、Sherwood<sup>4)</sup>が煉瓦表面よりの水の蒸発に関してまとめるとき指数を変えたものである。助走区間のない場合は1になる性質のものである。なお指数は実験的なものであるが、実験値の比較に都合がよいのでこれを用いた。

図の結果よりみて層流部と考えられるレイノズル数の小さい範囲、すなわち5,000以下では平板の結果も充填層の結果も全く一致した。またPohlhausen<sup>3)</sup>が平板の熱移動につき理論的に導いた式とも一致した。これは層流境界層におおわれ表面の粗なることが移動係数に影響を与えない



第1図 J-factorとReynolds数の関係

めである。

乱流の影響を受けると考えられるレイノルズ数の大きい部分では平板の実測値は Sherwood らの結果よりやや高く、粗面である充填層表面は大分高くなった。これは粗面のみの影響ならば、熱移動の場合論ぜられているように移動係数は大とならぬ筈であるが、本実験の場合は粒子層であり気流の乱れが層内に影響し、内部の飽和蒸気を流体本体に移動せしめるためであろう。

ただし Sherwood の値は助走区間のある場合は流れに対して上端よりの距離における局所値 (point value) であるが、かような場合局所値を求めるのは相当複雑であり、Sherwood も記している如く、長い助走区間を設ける場合は本実験で行ったように試料表面一様な移動係数をもつとした平均値を局所値とみなして大差ない。

次に乾燥の場合を述べると、恒率乾燥においては表面が一様に濡れていると見なされるから上記の平板と同様と考えられる。亀井氏ら<sup>1)2)</sup>の粘土についての風速と蒸発量との実測値を解析した。一般に試料表面は湿球温度と見なされているが試料容器の側面および裏面よりの伝熱のため湿球温度よりやや高いが、表面温度が実測せられているので、この温度を用い水分の移動係数を計算した。その結果をやはり第1図に示したが、著者の平板における実測値と全く一致した。

#### 4. 結 言

物質移動係数をナフタリンを用いて測定し、流速との関係を求めた。この関係は熱移動と流速との関係にも適用できる。すなわち  $J_D$  に対応して、 $J_H = (h/C_p G)(C_p \mu / \lambda)^{2/3}$  とおけば、 $J_H$  とレイノルズ数の関係は、 $J_D$  とレイノルズ数の関係に等しいことが相似則として認められているから、 $J_D$  より  $J_H$  が推定でき、熱移動速度が求められることになる。

本実験では物質移動速度は、層流部では平板の場合も充填層表面の場合も一致したが乱流部と考えられる範囲では後者の場合が大であった。

〔使用記号〕

- $C_p$  : Specific heat of gas [kcal/kg °C]       $D$  : Diffusion coefficient [m<sup>2</sup>/hr]  
 $G$  : Mass velocity [kg/m<sup>2</sup>hr]               $h$  : Heat transfer coefficient [kcal/m<sup>2</sup>hr°C]  
 $J_D, J_H$  : J-factor for mass transfer and heat transfer [-]  
 $k_g$  : Mass transfer coefficient [kg mols/m<sup>2</sup> hr atm]  
 $M_M$  : Average molecular weight of main stream [mol]  
 $p_{BM}$  : Log mean partial pressure of inerts [atm]  
 $u$  : Velocity [m/hr]  
 $x_i$  : Distance from upper end of starting section to lower end of bed and plane [m]  
 $x_0$  : Length of starting section [m]       $\lambda$  : Heat conductivity [kcal/m hr°C]  
 $\mu$  : Viscosity [kg/m hr]                   $\rho$  : Density [kg/m<sup>3</sup>]

本研究を御支援戴いた原沢四郎教授および金田堯穂君に深謝します。

#### 参 考 文 献

- 1) S. Kamei, S. Mizuno and S. Shiomi: J. Soc. Chem. Ind. (Japan) **38**, 1077 (1935)
- 2) S. Kamei: Ibid. **38**, 946 (1935)
- 3) E. Polthausen: Z. Ang. Math. Mech. **1**, 115 (1921)
- 4) T. Sherwood: Chem. Eng. Prog. **46**, 131 (1950)