攪拌流動層による石炭の乾留*

—装置径のガス側反応率に対する影響について—

河端 淳一**・田崎 米四郎**
新川 一彦**・本間 専治**
三井 茂夫**

北海道工業開発試験所

緒 言

近年、公害による急速な環境汚染が大きな社会問題となり、特に、工場廃水などの処理用に安価な活性炭が要求されている。活性炭の原料としては、現状の木質資源からの供給には限度があり、安定した原料として石炭を見直す必要がある。このような見地から、当試験所では流動層技術を応用し、石炭からの活性炭製造法の研究をすすめてきた。

石炭から活性炭を製造する際、賦活工程の前に、脱揮発のための炭化工程、いわゆる低温乾留を行なう必要がある。石炭の流動化法による低温乾留は古くから行なわれているが、装置の運転状況とか、物質収支などについての報告^{1,5,6)}が主で、ガスの反応成績とか、スケール効果についての研究はほとんど行なわれていない。

本研究においては、内径が105, 300, 500, 800mmの4種類の攪拌式空気流動層によって、三井砂川炭、北炭幌内炭の低温乾留を行なった。この低温乾留は内熱式であるので、流動化空気中の酸素の反応率が原料処理量を決定する大きな因子となる。そこで、本研究においては流動化空気中の酸素の未反応率に着目し、それにおよぼす装置径の影響について検討を加え、石炭の流動乾留におけるスケール効果についての知見を得たので報告する。

1. 実験試料

実験に用いた試料は、北海道の北空知地区に産する弱

* <Low Temperature Carbonization of Coal in Stirred Fluidized Bed—Effects of the Tower Diameter on Conversion—>

Received on November 1, 1971

化学工学協会第35年会(東京, 1970年4月)にて一部発表

** Junichi Kawabata (正会員), Yoneshiro Tazaki (正会員), Kazuhiko Niikawa (正会員), Senji Honma (正会員) and Shigeo Mitsui (正会員) The Government Industrial Development Laboratory, Hokkaido, Sapporo, Hokkaido

粘結炭である三井砂川炭と微粘結炭の北炭幌内炭である。原料は、ロータリーキルンで水分が2~4%になるまで乾燥した後、粉碎し、特に大きな粒子は篩分けして取り除いた。これらの試料の工業分析値、粒径分布、ボタノンナンバー、常温、常圧における最小流動化速度 U_{mf} などを、Table 1に示す。なお、内径300, 500mm炉では砂川炭(b)、800mm炉では幌内炭を使用した。内径105mm炉では、全試料についての実験を行ない、炭種の違いによって反応率に差のないことを確かめた。

2. 実験装置および方法

2-1 実験装置

基礎実験装置として内径105mm、中規模試験装置として300mm、パイロットプラントとして500, 800mmの攪拌式空気流動炉を使用した。各装置とも、その構造は原理的に同じなので、代表例として内径800mm炉のフローシートをFig. 1に示した。各装置における細部の相違は、Table 2に示した。原料は、スクリフファイダーで炉内のガス分散板直上に供給、乾留されて、溢流管から排出される。流動化ガスは、常温、常圧の空気を使用した。

石炭を乾留すると、Fig. 2に示すように、300°C付近から揮発分が脱離しはじめ、450°C近傍でその脱離速度が最大になる。この温度では石炭の可塑性も高く、したがって、石炭粒子は粘結しやすい状態にある。ガス分散板として多孔板を使用している本実験装置においては、分散板上に不動粒子層⁴⁾が存在し、これらの粒子を流動させなければ、石炭の粘結が起こり、局部的に異常な高温状態をひき起こすことになる。このような状態をさけるために、本実験装置においては分散板上を攪拌羽根によって攪拌し、不動粒子層が形成されることを防いだ。羽根は炉半径とほぼ同じ長さであり、羽根板角度45°で攪拌軸のまわりに螺旋状に数個つけ、粒子層を持ちあげ

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus (800 mm in diameter of tower)

Fig. 2 Thermobalance curve and plasticity of coal

るように回転した。流動化空気中の酸素の反応率に与える攪拌機回転数の影響は、回転数を10, 15, 30, 65 rpmと変えて、内径105 mmの装置で調べた。その結果、回転数の変化による反応率の違いは認められなかった。内径300, 500, 800 mmの装置においては、攪拌機の回転数を変えて実験することは装置運転上困難であった。それゆえ、内径105 mm炉の実験結果に基づき、全装置とも、攪拌機の回転数は10 rpmとした。

2・2 運動方法および操作条件

スタートアップ 石炭を炉内に充填し、所定の空気速度で石炭を流動させつつ、内径105 mm炉では外熱ヒーターで加熱した。内径300, 500, 800 mm炉では、空気加熱炉（電熱式6 kW）で約250°Cに加熱した空気を

Table 1 Properties of coal used			
name of coal	Sunagawa coal (a)	Sunagawa coal (b)	Horonai coal
technical analysis			
moisture [wt %]	2.5	3.1	2.6
ash [wt %]	12.3	6.7	5.5
volatile matter [wt %]	38.4	42.2	46.7
fixed carbon [wt %]	46.8	48.0	45.2
crucible swelling number	4	5	2
$u_{m,f}$ [cm/sec NTP]	4.5	23.5	21.5
screen analysis			
+10 mesh [wt %]	—	1.5	11.0
-10+16	—	37.5	22.0
-16+32	4.5	42.0	36.0
-32+48	15.5	11.5	15.0
-48+80	90.0	5.5	9.5
-80	50.0	2.0	6.5

Table 2 Details of apparatus				
diameter of tower	105 mm	300 mm	500 mm	800 mm
material	sus 27	sus 32	ss	ss
height of tower	1100 mm	1900 mm	2000 mm	2100 mm
height of bed	150, 250, 400 mm	500 mm	500 mm	500 mm
heat insulator	rock wool	diatomaceous earth	diatomaceous earth	diatomaceous earth
distributor				
fraction of open area	1.0%	1.0%	1.0%	0.5%
diameter of orifice	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm

供給し、炉内温度をあげた。各装置において、層内の温度が石炭の酸化反応が始まる300°Cくらいまで上昇後、外熱ヒーター、空気加熱炉を切って常温空気にした。

乾留温度と温度制御 乾留温度は、賦活用炭材の製造を目的としているので、炭材の賦活試験の結果³⁾、および、石炭の粘結などのトラブルなしに乾留できること

Fig. 3 Relationship between C/C_0 vs. θ_g

Fig. 4 Effect of tower diameter on βk

を考慮して 450°C とした。石炭と酸素との反応は発熱反応であるので、この反応熱を利用し、石炭の供給量によって層内温度の制御を行なった。すなわち、熱電対で検出した層内温度の変動に従って電磁式変速モーターを用いてスクリッファイダーの回転数を変える方法である。その結果、原炭供給量は塔断面積にほぼ比例し、いずれの装置においても、 $700\sim 900\text{ kg/hr}\cdot\text{m}^2$ となった。なお、各装置において、 $\pm 2^\circ\text{C}$ の精度で乾留温度を制御することができ、層内での温度分布は認められなかった。

流動化空気速度 粒径分布のある石炭を乾留する場合、大きな粒子の分散板上への沈積、小粒子の飛び出しに注意する必要がある。圧力損失の変化から求めた最小流動化速度では必ずしも全粒子が流動せず、大きな粒子は分散板上に沈積していることが、透明アクリル管（内径 10 cm ）の流動層で観察された。最小流動化速度の $2\sim 3$ 倍程度の流速にすると、全粒子が流動するようになるので、本実験においてはこの値を基準にした。

流動化空気中の酸素の未反応率の測定 溢流管の直上部の炉壁にあけた穴から乾留ガスを採取し、ガスクロマトグラフによって未反応酸素濃度を測定した。モレキュラーシーブ 5 A をカラムに充填し、アルゴンをキャリアガスとして使用した。

3. 実験結果および考察

流動化空気中の酸素の未反応率 C/C_0 と空気の見掛けの層内平均滞留時間 θ_g との関係の実測値を Fig. 3 に示す。ここに、 θ_g は流動層高 Z_f /空塔ガス速度 u_0 で定義した。図をみると、 θ_g が同じでも、塔径 D_t が大きくなるに従って反応率が悪くなる（ C/C_0 が大きくなる）ことがわかる。内径 800 mm 炉の分散板のみ開孔比が 0.5% であり、他の塔径の装置では 1% である。分散板の開孔比が未反応率に与える影響については内径 105 mm の装置で実験した結果、開孔比が 0.5% と 1% の分散板とでは、酸素の未反応率に大きな変化はなかった。それゆえ、Fig. 3 における未反応率の変化は塔径の効果によるものと考えて差し支えない。なお、内径 105 mm 炉で本実験で用いた 3 種類の石炭の乾留を行ない、その結果を Fig. 3 中に示した。図に示したように、本実験範囲においては炭種の違いによって未反応率に有意の差は認められなかった。

気固系流動層における化学反応率の推算、整理の方法については、既に多くの報告がある。しかし、石炭の乾留を固定層で行なったところ、メタン、一酸化炭素、水素などが大量に発生し、酸化以外の反応も起こった。したがって、石炭の空気による乾留、すなわち、酸化反応における反応速度定数 k を求めることが困難であり、既存のモデルによって本実験結果を解析することができなかった。

また、石炭の構造および反応は複雑で、その反応率を定量的に測定することは困難であるので、脱揮発率を近似的に石炭の反応率をあらわすものと考え、それに与える装置径、粒子の平均滞留時間の影響について検討した。石炭の脱揮発率は乾留温度が高い程大きく、 $450\sim 620^\circ\text{C}$ の範囲では $5\sim 10$ 分で第一次の揮発分放出を終って、ほぼ一定値となる（ことが知られている¹⁾。本実験条件（乾留温度 450°C 、粒子の平均滞留時間 $8\sim 10$ 分）はこの範囲内にあり、装置径、粒子の平均滞留時間によらず、脱揮発率は $31\sim 34\%$ となり、ほぼ一定であった。

そこで、石炭の反応率は一定とみなし、その酸化反応を酸素に関する一次反応と仮定した（うえ、完全混合基準の接触効率 β を

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + \beta k \theta_g} \quad (1)$$

で定義し²⁾、これにより、塔径による反応成績の相違を評価しよう。Fig. 3 の実験値を Eq. (1) に入れて βk を求めた。その結果を Fig. 4 に示す。これをみると、総括反応速度定数ともいふべき βk は塔径が大きくなるにつれて減少するが、一定値に近づくことが予想されるので、本実験におけるよりも大きな塔径の装置へのスケールアップも可能であろう。先に述べたように、化学反応速度定数 k を実験的に決めることはできなかったため、

物理的因子である接触効率 β は独立には決まらない。しかし、本実験においては、乾留温度は一定であるので k は変らない。それゆえ、 βk の変化は、接触効率 β の相対的な変化と考えることができる。このようにして考えると、Fig. 4は石炭の空気による流動乾留において、塔径の増加とともに、接触効率は減少するが一定値に近づくことを示している。

本実験結果は、石炭を原料とする賦活用炭材製造のための流動乾留装置の設計に役立つものと思われる。

本実験によって得た炭材を水蒸気賦活したところ、条件にもよるが、メチレンブルー吸着能が200~300 mg/g、比表面積が1,000~1,400 m²/gの活性炭が得られている。

以上の結果をもとに、北炭化成工業株式会社では活性炭製造の企業化に成功した。また、三井鉱山上砂川鉱業所ではテストプラントが稼動中である。

結 言

賦活用炭材製造の目的で、内径 105, 300, 500, 800 mm

の攪拌式空気流動層を用いて石炭の乾留を行ない、空気中の酸素の反応成績に与える塔径の影響について検討した。完全混合基準の接触効率を β とし、実験結果の整理を行なった。その結果

- (1) 接触効率 β は、塔径が大きくなるに従って小さくなる。
- (2) β はある一定値に近づくことが予想されるので、本実験におけるよりも大きな塔径の装置へのスケールアップでも可能である。

〔付 記〕炭材を水蒸気賦活した結果、メチレンブルー吸着能が200~300 mg/g、比表面積が1,000~1,400 m²/gの活性炭が得られた。本実験結果をもとにして、石炭からの活性炭製造の企業化にも成功した。

本研究をまとめるにあたり、有益な御助言をいただいた、北海道大学工学部の小林晴夫教授、千葉忠俊氏、理化学研究所の山口賢治氏に感謝の意を表します。

Nomenclature

C	= concentration of O ₂ in exit gas	[%]			[cm/sec]
C_0	= concentration of O ₂ in air	[%]	Z_f	= height of bed	[mm]
D_t	= diameter of tower	[mm]	β	= contact efficiency based on complete mixing flow	[-]
k	= reaction rate constant	[1/sec]	θ_g	= apparent residence time of air	[sec]
u_{mf}	= minimum fluidization velocity	[cm/sec]			
u_0	= average gas velocity based on empty bed				

Literature cited

- 1) Baba, A., A. Terui, H. Honda, Y. Yoshida, S. Tachibana, M. Suzuki and A. Kawamura: "Coal Chemical Industry", Sangyo Tosho Publishing Co., Ltd, p.279 (1960)
- 2) Echigoya, E., M. Iwasaki, T. Kanetomo and H. Niiyama: *Kagaku Kōgaku*, **32**, 571 (1968)
- 3) Ishibashi, K., Y. Noda, S. Mitsui and K. Sasaki: Preprint of the 24th Annual Meeting of the Chem. Society of Japan (1971)
- 4) Makijima, S. and T. Shirai: Preprint of the 34th Annual Meeting of the Society of Chem. Engrs., Japan (1969)
- 5) Mitsui, S., K. Niikawa, S. Honma, J. Kawabata and Y. Tazaki: *Kagaku Kōgaku*, **34**, 1026 (1970)
- 6) Research Group of Smokeless Fuel: *J. Fuel Soc. Japan*, **48**, 54 (1969)

Epitaxial Reactor 内の螺旋流のピッチにおよぼす諸因子の影響 (半沢 保・伊藤宇太郎・加藤邦夫, 化学工学, 36, 755~759 (1972))

水平型 epitaxial reactor 内には通常の場合、左右対称な螺旋流が存在する。そして、この螺旋流のピッチが装置内での流動特性を規定する重要な因子の1つであることから、ピッチと装置の操作条件に関する実験式を作成した。また、ピッチの計算に必要な、管内のガス温度推算に対する実験式の作成も試みた。

垂直自然循環型蒸発装置の蒸気ホールドアップと騰沸伝熱係数について (武田紘雄・早川豊彦・藤田重文, 化学工学, 36, 760~768 (1972))

垂直自然循環型蒸発装置を用い、沸騰液として H_2O , $MeOH$, $10\text{ mol}\% \text{ MeOH-H}_2O$, $50\text{ mol}\% \text{ MeOH-H}_2O$ および H_2O に $C_{12}H_2 + C_6H_4SO_3Na$ 1.00 g/l を添加した液体を用いて沸騰現象下にある管内蒸気ホールドアップ分布と沸騰伝熱係数分布を求めた。管内蒸気ホールドアップについては、伝熱量、沸騰領域の長さおよび諸物性値を用いて整理し実験式 Eq. (19) を得た。また、沸騰伝熱係数については、液体の挙動だけに注目した従来の整理方法とは異なり、管内の蒸気ホールドアップを用いる整理方法を考え、実験式 Eq. (20), (21) を得ることができた。

非等温系ガス吸収操作の計算 (稲積彦二・鈴木孝典・山口信吉, 化学工学, 36, 768~774 (1972))

ガスの溶解、溶媒の蒸発または溶媒蒸気の凝縮、気-液間の温度差などによる熱移動量が大きく、等温系と見なせないガス吸収操作の設計計算法としては、Sherwood らの逐次計算法や水科らの図式解法その他の提案があるが、これらはいずれも液側の物質移動と熱移動の抵抗を無視できる場合に対するものである。

本報告は、気-液両相の物質移動と熱移動の抵抗を考慮した図式解法を提案し、またこれを電子計算機によって能率的に行なう手順を示すとともに、本計算法の実際問題への適用例を示した。

プロパンの熱分解によるプラズマジェット反応器の解析 (高橋武重・中塩文行, 化学工学, 36, 774~781 (1972))

アルゴンプラズマジェット反応器によるプロパンの熱分解反応を行なった。アルゴンジェット炎とプロパンとの混合についての知見を得るために反応中のアルゴンジェット炎の分光学的測定を行なった。その結果、プロパンはジェット炎と比較的すみやかに混合することおよび反応器内の半径方向および軸方向に著しい温度分布が存在することが推察された。これらの結果に基づき、プラズマジェット反応器に対する模型が考えられた。その模型によって実験で得られたプロパン転化率と比エネルギーの関係がかなりよく説明された。

板枠型圧濾器における濾過過程の解析 (白戸紋平・村瀬敏朗・土居玄昌・島岡晴之, 化学工学, 36, 781~787 (1972))

圧濾器操作に関する解析方法を得ることを目的として、板枠型圧濾器の濾過機構を考察し、濾過圧密と称すべき期間の基礎式を導いた。

この基礎式の近似解に基づき、圧濾器の濾室厚さ・濾室半径および試料の性質と濾過圧力によって定まる圧密係数を含む濾過圧密期間の濾過速度式を提出し、試験用圧濾器による実験結果と比較して圧濾器の濾過過程が、濾過期間と濾過圧密期間との2期間より成り立っていると仮定して、近似的に解析できることを示した。

<技術報告>

攪拌流動層による石炭の乾留——装置径のガス側反応率に対する影響について—— (河端淳一・田崎米四郎・新川一彦・本間専治・三井茂夫, 化学工学, 36, 788~791 (1972))

石炭を原料とする活性炭の製造には、炭化、賦活の2工程が必要である。本報では、このうち炭化のために、内径が105, 300, 500 800 mm の攪拌空気流動層によって石炭の乾留を行ない、空気中の酸素の反応率に与える塔径の影響について検討した。

固定層基準の反応速度定数を求めることは実験的に困難であったので、この反応を、酸素に関する一次反応と仮定したうえ、完全混合基準の接触効率を β とし、実験結果を整理した。その結果、塔径が大きくなるにつれて β は小さくなるが、一定値に近づくことがわかった。

本解析法は石炭の流動乾留装置設計に役立つものと思われる。

<寄 書>

錠式のパラメータ決定法 (宮原量中・佐渡友秀夫, 化学工学, 36, 792~793 (1972))

錠(気液平衡関係)式について次の手順を提案または改良した。

- 共沸データからのパラメータ決定
- 無限稀溶液の活量係数からのパラメータ決定
- 3組の2成分系パラメータから3成分系パラメータの推算
- 微量成分の活量係数の計算

数値例をも示す。

白金線による気泡径の測定 (山下福志・井上博愛, 化学工学, 36, 793~795 (1972))

白金線による気泡径の測定法を開発し、その影響因子であるサンプリング管の採集口の大きさ、気泡取り入れ速度の影響を調べ、これらを適当に選べば気泡径の測定が可能であることを示した。多孔板を使用した気泡塔の気泡径を測定して写真法による結果と比較したところよい一致が得られた。

<Short Communications>

Evaluation of Parameters in the Ikari Equation. K. Miyahara and H. Sadotomo (Mitsui Toatsu Chemicals Inc.)

Kagaku Kōgaku, 36, 792~793 (1972)

Some procedures are proposed to evaluate the parameters and to calculate the activity coefficient in the Ikari equation for binary and ternary vapor-liquid equilibrium system.

They are procedures;

- i. to evaluate binary constants from azeotropic data
- ii. to evaluate binary constants from infinite dilution data
- iii. to approximate the ternary constant from three sets of binary data
- iv. to calculate the activity coefficient of the minute amount component in a ternary system.

Numerical examples are also shown.

Measurement of Bubble Size by Platinum Wire. F. Yamashita and H. Inoue (Univ. of Tokyo)

Kagaku Kōgaku, 36, 793~795 (1972)

A new method to measure bubble size by use of platinum wire electrodes was developed. Such parameters as the sampling tube entrance and the bubble velocity at the electrode gave the appreciable effects on the measured results.

By the proper selection of the above parameters, the obtained results were in good accord with the actual bubble size distribution inside the column measured by the photographic method directly.

Analysis of Plasma Jet Reactor with Pyrolysis of Propane. T. Takahashi (Kagoshima Univ.) and F. Nakashio (Kyushu Univ.)

Kagaku Kōgaku, 36, 774~781 (1972)

Thermal decomposition of propane was carried out in the argon plasma jet reactor. The spectroscopic measurement of the jet flame was made to obtain the information about temperature and mixing of propane with the argon jet flame. The experimental results suggested that the mixing rate of propane with the jet flame was relatively fast and that there was sharp distribution of temperature in the plasma jet reactor in the radial and axial directions. On the basis of these facts, a new model of the plasma jet reactor was proposed. The experimental relationship between the conversion of propane and the specific energy was fairly well explained by this model.

Analysis of Filtration Processes in Plate-and-Frame Press. M. Shirato, T. Murase (Nagoya Univ.), H. Doi (Kuraray Co. Ltd.) and H. Shimaoka (Idemitsu Petro-Chemical Co. Ltd.)

Kagaku Kōgaku, 36, 781~787 (1972)

To afford a mathematical tool for filter-press operation, the internal mechanisms of filtration in plate-and-frame press are investigated, and the basic differential equation for the period to be termed filter-consolidating are derived.

On the basis of the approximate solution of the basic equation, the flow rate equation of filtrate for the filter-consolidating are presented in terms of the thickness and the radius of filter-chamber, and the coefficient of consolidation which depends on the filtration pressure and the properties of slurry materials. The variations of flow rate with time compare favorably with experimental results obtained by using nine kinds of filter-chambers.

It is emphasized that the filtration processes of industrial filter-press can be well analysed by dividing into two parts of the filtration and the filter-consolidating period.

<Technical Report>

Low Temperature Carbonization of Coal in Stirred Fluidized Bed—Effects of the Tower Diameter on Conversion—, J. Kawabata, Y. Tazaki, K. Niikawa, S. Honma and S. Mitsui (The Govt. Ind. Development Lab., Hokkaido)

Kagaku Kōgaku, 36, 788~791 (1972)

Both the carbonization process and the activation process are necessary to make activated carbon from coal. This paper is concerned with the effect of the tower diameter of fluidized beds on conversion of oxygen in carbonization process.

The coal was carbonized in the several fluid-beds (105, 300, 500 and 800 mm in diameter). The fluidizing gas was air. Since it was impossible to determine the reaction rate constant, the concept of contact efficiency β was introduced to analyze the experimental data. Then, it can be concluded that the value β approaches to a constant value as the diameter of tower becomes larger.

This result is available for the design of carbonization plant of coal by use of fluidized beds.

The Pitch Length of the Spiral Flow in Horizontal Epitaxial Reactor. T. Hanzawa, U. Ito and K. Kato (Gunma Univ.)

Kagaku Kōgaku, 36, 755~759 (1972)

There are two symmetrical spiral flows in the horizontal epitaxial reactor at ordinary operating condition. The pitch length of the spiral flow is one of the important factors which prescribe for the characteristics of fluid flow in that reactor.

In this study, the experimental equation for the estimation of the pitch length is obtained.

In order to obtain the pitch length, information about the bulk gas temperature in that reactor is necessary. The relation between the bulk gas temperature and the operating condition is also obtained experimentally.

Vapor Hold up Boiling Heat Transfer Coefficient of Natural Circulation Vertical Tube Evaporator. H. Takeda (Nippon Oil Co. Ltd.), T. Hayakawa (Tokyo Inst. of Tech.) and S. Fujita (Tokyo Univ. of Agr. and Tech.)

Kagaku Kōgaku, 36, 760~768 (1972)

An experimental study was carried out on the vapor hold up and boiling heat transfer coefficients of pure liquids (H_2O , MeOH) and binary mixtures (10 mol% MeOH- H_2O , 50 mol% MeOH- H_2O , H_2O - $C_{12}H_{25}C_6H_4$ - SO_3Na (1.00 g/l)).

Those data were measured by the use of natural circulation vertical tube evaporator (four different annular spaces).

Distributions of vapor hold up and boiling heat transfer coefficients were measured for different heat flux (from 2,150 kcal/m²·hr to 40,100 kcal/m²·hr).

Vapor hold up was correlated with the heat flux, length of boiling region and modified terminal velocity of a single bubble by the use of vapor void function defined by Eq. (10).

Furthermore, boiling heat transfer coefficients were well correlated by the use of vapor hold up and a dimensionless experimental equation was obtained.

Method of Calculations for Nonisothermal Gas Absorption. H. Inazumi, T. Suzuki (Tokyo Inst. of Tech.) and S. Yamaguchi (Toyama Univ.)

Kagaku Kōgaku, 36, 768~774 (1972)

Method of calculations for nonisothermal gas absorbers in which absorption of a single solute, vaporization or condensation of solvent, and sensible-heat transfer between the gas and the liquid, all taking place simultaneously, have been proposed by Sherwood and Pigford who described a step-by-step procedure, Mizushima and his coworkers who described a graphical method, and another a few workers.

However, in all of these methods, the mass and heat transfer resistances of the liquid phase are ignored.

This paper presents a graphical method of calculations for nonisothermal gas absorbers in which the mass and heat transfer resistances of the gas and liquid phases are accounted, and moreover a method of the utilization of digital computer for this calculation and an illustration for the application of this method.