Literature cited

- 1) Arai, S., et al.: *J. Ch. S. J. (Ind. Chem. Section)*, **63**, 418 (1960)
- 2) Crank, J.: "The Mathematics of Diffusion" Oxford Press' p.74 (1956)
- 3) Inoue, R.: *Rept. Osaka Ind. Res. Inst. (Japan)*, p.1 (1950 March)
- 4) Kamitani, T. & Hirokawa, K.: *J. Soc. Textile and Cellulose Ind. (Japan)*, **18**, 522 (1963)
- 5) Sano, Y. & Nishikawa, S.: *Chem. Eng. (Japan)*, **28**, 275 (1964)
- 6) Sano, Y. & Nishikawa, S.: *Chem. Eng. (Japan)*, **28**, 294 (1965)
- 7) Suyama, H., Uzumaki, M. & Shimoda, E.: *J. Soc. Textile and Cellulose Ind. (Japan)*, **18**, 397 (1962)
- 8) Mizushima, T. & Nakazima, M.: *Chem. Eng. (Japan)*, **15**, 30 (1951)
- 9) Takahashi, M. & Watanabe, M.: *J. Soc. Textile and Cellulose Ind. (Japan)*, **18**, 459 (1960)
- 10) Yoshida, T. & Hyōdō, T.: *Chem. Eng. (Japan)*, **22**, 527 (1958)

円錐形攪拌流動層による鋸屑の炭化*

白井 隆**・浪川 正徳***

斉間 勉夫****

東京工業大学 資源化学研究所

結 言

鋸屑を炭化して活性炭原料を効率よく連続的に製造する目的で、円筒形の流動層で鋸屑の流動化試験を行なった。しかし(1)水分を含んでいる鋸屑ではチャネリングが起りやすい、(2)微細な原料粉末は吹き飛ばされて逸散する、などの欠点があるために、このままでは実用化は困難であることがわかった。

そこで頂部からの微粉の逸散を防ぐため層の上部を円錐形に拡大しかつ層内に機械的攪拌を併用した円錐形の攪拌流動層を用いて回分式操作で鋸屑の炭化試験を行なった結果、(1)湿った原料でもチャネリングを起こさない、(2)微粉の逸散はほとんどない、(3)炭化が均一に行なわれる、(4)原料の粒度分布の変動があっても操作条件にはほとんど影響がない、などの利点が見出された。したがって円錐形の攪拌流動層を用いて向流連続式に炭化を行なえば、(イ)製品の収率、品質は向上し、(ロ)炭化物および排ガスの顕熱ならびに乾留ガスを有効に利用できる、などの点で経済的な操作が可能であると予想される。

本報告は円錐形攪拌流動層を用いて回分式で鋸屑の炭

化を行なうとともに、この装置についての各種の操作条件について検討した結果を報告する。

1. 実験装置

Fig. 1 に示す装置本体の円錐部は、上部直径 255mmφ 下部直径 51mmφ (いずれも内径)、高さ 285 mm の鋼製である。この上には蓋、ガス出口、急冷用注水口、などがつてある高さ 265 mm の円筒部がある。円錐形下部のフランジの間には Fig. 2 に示すような多孔板をはさんである。この多孔板を通して流入する空気の圧降下 Δp_0 は Fig. 2 のように空気量のほぼ 2 乗に比例して増大する。

攪拌翼は粒子を掻き上げるように径 15 mmφ の回転軸に対して 45° の角度で取りつけてある。回転数は 10、20 および 30 r.p.m. の 3 種類である。

加熱には円錐部の外側にニクロム線 (1kW) を巻きつけ、アスベストで保温して用いた。

2. 実験試料、方法および範囲

2.1 試料 鋸屑

鋸屑試料としては、製材所の鋸屑をそのまま使用した。(樹種は杉 80%、檜 20% 程度)、この試料中にはときとして木材の碎片、樹皮などの一部が混入していることもあり、粒径はかなり広い範囲に分布しており、100 メッシュ以下の微細な木片もかなり混在していた。試料として使用する状態においては 20~30% (wet basis)

* <Carbonization of Saw Dust in a Conical Fluidized-Reactor with Stirrer>

Received on September 11, 1965

化学工学協会 浜松大会 (Oct. 25, 1962) にて発表

** Takashi Shirai (Tokyo Institute of Technology, Research Laboratory of Resources Utilization, Meguroku, Tokyo)

*** Masanori Namikawa (三菱化成工業(株) Mitsubishi Chemical Co.)

**** Michio Saima (日本揮発油(株) Japan Gasoline Co.)

の自由水分を含んでいる。(Table 1)

2・2 実験方法および温度記録の一例

まず一定量の鋸屑原料を円錐部に装入し、所定量の空気を流し、一定の回転数で鋸屑の層を攪拌しながら、1kW 前後の電熱で円錐部周壁から加熱する。

鋸屑が湿っている間は層の温度上昇はきわめて緩やかであるが、自由水分が蒸発し終ると鋸屑粒子層の温度上昇は次第に速くなり、250°C 前後の温度から以後は急激に上昇し、刺激臭のある乾留ガスの白煙が発生するようになる。原料の状態によって多少異なるが、本実験の条件下では白煙の持続時間はほぼ拾分ぐらいである。以上のような状態で鋸屑層の温度を 300°C 前後 (250~350°C. の範囲) に調節する。一定の時間後水を注入して層を急冷し、それ以上炭化が進まないようにしておいて乾燥、冷却を続ける。全体の温度が十分低くなってから送風機の運転を中止し、装置内の炭化物を真空掃除機で取り出して秤量する。

炭化物の水分は 110°C で乾燥させて求める。揮発分は JIS-M 8812 に準拠した方法で、自由水分を完全に除いた炭化物約 1gr を 15.8mmφ×134.8mm の試験管型の石英管に入れて電気炉で 925°C, 7.5 分間加熱し、その灼熱減量より求めた。

温度の測定には検定済みのクロメル・アロメル熱電対で鋸屑層上部、同下部、壁温、入口空気および出口ガスの温度を自動記録計に接続記録させた。

2・3 実験範囲

鋸屑原料装入量	0.6~0.8kg
空気量	0.2~0.5l/sec
攪拌翼の回転数	10, 20, 30, r.p.m.
加熱電力	0.85~1.2kW
炭化温度	250~350°C (300°C 付近に調節)
炭化時間	4~30分

3. 予備実験結果

3・1 圧降下, Δp

鋸屑層による空気の圧降下 Δp の測定値の一例を Fig. 3 に示す。ただしこれは入口の多孔板による圧降下 Δp_0 (Fig. 2) を差し引いた値である。 Δp は空気量の小さい範囲では空気量の増加に伴って増大するが、ある極大値を過ぎると減少しはじめる。このことは、同じく円錐状

であって、攪拌を伴わない Spouted bed における空気量と圧降下の関係と同じ傾向である。 Δp は攪拌の回転数が多くなると、わずかながら増大する傾向がみられる。

Fig. 3 Pressure drop through conical bed of saw dust, Δp [mmH₂O], weight of saw dust, $W_s=0.7$ kg, initial height of bed, $L_b=230$ mm, room temperature, $t_R=15^\circ\text{C}$

Fig. 4 Bed-wall heat transfer coefficient, h_w [kcal/m²·hr·°C]

Fig. 1 Experimental apparatus

Fig. 2 Pressure drop through perforated plate, Δp_0 [mmH₂O]

3・2 粒子層と周壁との間の伝熱係数, h_w

周壁からの伝熱量と流入空気が持去る熱量との差が粒子層の温度上昇に使われると考え、熱収支はつぎのように表わすことができる。

Table 1 Carbonization data of saw-dust by a conical fluidized-reactor with stirrer in batch operation

Run No.	G	H	I*	J*	K	L	M	N	O	P	Q**	R	S	T*
Reaction period, min.	10	4	20	30	15	14	18	20	7.5	10	6	5.5	3.7	20
Saw dust charged														
wet gr.	621	592	579	608	670	562	829	656	872	773	714	683	751	934
moisture %	20.1	21.5	21.5	24.6	26.0	24.1	28.1	31.45	30.4	31.0	33.0	32.6	31.7	32.2
dry gr.	495	464	455	458	495	426	595	450	606	533	478	460	513	633
Total char-coal obtained														
yield %	42.9	55.7	36.1	37.9	46.9	46.4	39.8	40.3	51.3	44.8	83.3	49.3	55.7	27.4
volatile matter %	35.3	46.1	37.2	37.6	39.4	37.1	29.3	30.6	42.7	39.0	51.8	43.6	48.5	30.4

Experimental conditions:

air rate=0.2 lit./sec, r.p.m.=30, outside heating=0.85~1.2 kW, reaction temp.=250~350°C

* Some carbon was burnt intentionally in Run I, J and T

** Data were mis-recorded in Run Q

Fig. 5 An example of carbonization test (Run I)

① exit gas ② upper reaction zone ③ lower reaction zone ④ reactor wall
A: saw dust charge B: beginning of white smoke emission C: carbonization period, 20 min
D: quenching by water spray E: drying, room temperature $T_R=22\sim24^\circ\text{C}$, chart speed=100mm/hr

$$h_w A_w (t_w - t_B) - V \rho C_p (t_o - t_i) = W_s C_s (dt_B/d\theta) \quad (1)$$

ただし、 t_B には粒子層上部と下部との平均温度を用いた。伝熱実験においては鋸屑試料はあらかじめ乾燥させて水の蒸発潜熱の影響がないように注意した。自動温度記録紙上より t_w , t_B および $dt_B/d\theta$ の値をそれぞれ求め、上式によって算出した h_w の値の一例を Fig. 4 に示す。

h_w の値は空気量の増加に伴ってほぼ比例して増大し

Fig. 6 Yield and volatile matter of carbonized products after θ minutes carbonization

ている。撹拌の回転数の影響はこの実験範囲 (10, 20, 30 r. p. m.) では圧降下の場合と同様で回転数が増くると、きわめてわずかながら増大している。

3.3 撹拌動力

円錐形撹拌流動層では撹拌のために余分の動力を必要とすることが一つ欠点と考えられる。しかしこの実験では、撹拌機用の 1/2 馬力 4 極モータの無負荷時の電流は 1.15 Amp であるのに対し、前記鋸屑試料を 0.7 kg 装入して 0.2 l/sec の空気を通しながら 30 r. p. m. で撹拌した場合でも電流計の読みは 1.155 Amp 以下であった。したがって鋸屑を撹拌するための電力は

$220[\text{Volt}] \times (1.155 - 1.15)[\text{Amp}] = 1.1[\text{Watt}]$ 以下というなきわめて小さな値である。

このような形式の装置では以上に述べたように、装置底部から適量の空気を送り込む事によって撹拌動力はきわめて減少し、粒子層を通る空気の圧力降下は撹拌によって軽減される、という相互効果がある。

4. 炭化実験結果

炭化実験の結果を要約して Table 1 に示す。その一例

として21.5%の水分を含む原料鋸屑579grを装置に装入し20分間炭化させた場合の温度記録の例(Run I)をFig. 5に示す。

Table 1のデータのうち炭化物の収率および揮発分と炭化時間との関係をFig. 6に、また得られた炭化物の収率とその中の揮発分との関係をFig. 7に示す。

Fig. 6で炭化物の収率は、炭化の初期には急激に減少するが、時間が長くなると30分ぐらいではほぼ一定値に近づく。揮発分と炭化時間との関係を示すFig. 6の下の曲線についても傾向はまったく同じである。

Fig. 7において、一定の揮発分を有する炭化物の収率は在来の方法に比べて10%以上も大きい。このデータは両対数方眼紙上に、炭化物収率を横軸に、炭化物中の不揮発分を縦軸にとって点綴したもので、(炭化物収率) $\times$ (炭化物中の不揮発分)=(原料鋸屑中の不揮発分)という関係が炭化の途中の任意の段階において常に成立していることがわかる。

したがって本報告に述べたような装置、操作で鋸屑の炭化を行なえば、原料中の固定炭素分は燃焼によって損失となることがほとんどないため、一定の炭化度に対する炭化物収率は最大になると言えよう。

考 察

これまでの基礎的段階において、つぎのような結果が得られている。すなわち、湿った鋸屑原料を機械的に攪拌しながら装置下部より少量の空気を通ずると、鋸屑の層は部分的に過熱されたり、あるいは発火したりするこ

Fig. 7 Non-volatile matter in carbonized products

とはなく、全体が均一に乾燥、炭化され、炭化物の収率も従来の方法に比較して10%程度良くなることを見出した。

以上に述べてきたような結果を利用して縦型の装置で向流連続操作を行なう場合、内部で発生する乾留ガスの燃焼熱を利用し、かつ製品および燃焼ガスの顕熱を入口空気、あるいは原料鋸屑と熱交換させて回収すれば、きわめて高度に熱経済をはかることができる。このような場合の熱収支をとってみると、原料鋸屑に含まれている水分量の多少によっても異なるが、原料鋸屑のごく少量を燃焼させる程度で十分の見込みである。

〔付 記〕 この研究の一部は武田薬品工業 K. K. よりの研究費によったものである。

Nomenclature

A_w : heat transfer area [m²]
 C_p : specific heat of air [kcal/kg·°C]
 C_g : specific heat of solid [kcal/kg·°C]
 h_w : bed-wall heat-transfer coefficient [kcal/m²·hr·°C]
 L_0 : initial height of solid bed [m]
 Δp : pressure drop through solid bed [Kg/m²]
 Δp_0 : pressure drop through perforated plate [Kg/m²]
 t_B : temperature of bed [°C]

t_i : temperature of inlet air [°C]
 t_o : temperature of outlet air [°C]
 t_w : temperature of wall [°C]
 V : flow rate of air [lit/sec] or [m³/hr]
 W_s : weight of solid charged [kg]
 x : yield of carbonized product [—]
 y : volatile matter in carbonized product [—]
 θ : carbonization period [hr]
 ρ : density of air [kg/m³]

書 評

化 学 工 学 協 会 編

「物 性 定 数 3 集 (1965 年)」

B5判, 388 ページ, 3,800 円, 丸善刊。

1963 年に“物性定数 1 集”が発行されてもう 3 年目となる。そもそも化学工学の研究者や化学工業の技術者にとって、物性定数とは不可分の関係にあり、化学工学実験を整理して式を導く場合やまたは既存の式により設計計算をする場合に必要欠くべからざる要素である。しかるにこの物性定数の測定及び整理については、一般の化学工学実験を行なうセンスでは到底精度が得られず、精密分析や精密工業のような非常に緻密なセンスが必要で、従来は化学工学屋にとって苦手な所であった。しかし化学工業の発展に伴い、我々の取扱わねばならぬ物質も増加し、又化学工業の技術の進歩により、その温度、圧力、混合状態等の範囲は拡大の一步をたどっている。一方化学工学の進化に伴い、新しい物性定数の要求がある。例えば気泡塔の気泡の生因に関与する物性として、従来の粘度や表面張力のみでは説明出来ず、或はスラリー中の固体粒子の凝集力を説明する物性は未だ不明であ

る。このように物性定数について我々は大いに関心を持つ必要があり、化学工学協会で化学工業上必要な物性定数を年々集積して行く事が計画され、その努力の賜ものがこの“物性定数”の発行となっているが、今年は 3 集目に当り、いよいよ軌道に乗った感じがする。

内外の文献 50 余誌を網羅し、レビューとしてまとめているのは従来の通りであるが、今回の配列にはソ連の文献は一括とせず、各物性毎に分割して配置したので読者には使い易くなっている。ノモグラフも大きくて使い易い。諸物価値上りムードの今日此の頃、2 集より 27 頁 (7.5%) 増頁に関らず定価が据置となっているのが有難い。すべからく化学工学便覧と同様、常に座右に備え、物性定数を探する場合の索引として、或は物性定数測定の参考として大いに利用したいものである。

[新保卓而]

数 森 敏 郎 著

「高 圧 ガ ス 工 学」

日刊工業新聞社刊, p. 508, 2,300 円

近年における石油化学工業の急速な発展にともない、高圧技術に対する要求は年とともに増している。本書は高圧ガスおよびその機械装置の設計、製作、運転にたづさわる技術者を対象として、高圧ガス、高圧機械、装置、高圧工業の全般を網羅し、その概略を説明したもので、昭和 30 年に初版が発刊されたが今回最近の技術的發展をおり込み一部追加改訂されたものである。

内容は、1) 物理化学の原理のうち高圧ガス工学に関係ある部分の極く簡単な説明、2) 各種高圧ガスの性質に関する簡単な説明およびその物性値揭示、3) 圧縮機の原理と実際の説明、4) 高圧容器、管、弁等の設計、選択、保全に関する説明、5) 高圧下での測定、6) 高圧装置材料、7) ガス液化分離、8) 各種高圧工業に関する簡単な解説、からなっている。

今回の追加、改訂の要点は (1)、(2) の高圧ガスの種類が追加されたこと、(2)、(3) の無給油圧縮機に関する項が詳しく具体的に書き改められたこと、(3)、(5) の高圧工業の種類が追加されたこと、であり、その他各項で小改訂がなされている。

本書は各項とも示された数値または装置などに対する詳細な解説、あるいは設計式に対する理論的説明などは全然ないため引用文献によらねばならない。しかし、(1)、(2) 項は簡単な記述に終っているが、(3) 以後は著者の豊富な経験にもとづき、特に圧縮機の項など、実際面で問題となる点を指摘し説明を加えている点有益である。

現場技術者が高圧ガス工学を学ぶ手がかりとなる書であらう。

[篠原]