2塔式循環流動層内粒子の循環特性に関する研究

杉 岡 良 吉*
Ryokichi SUGIOKA

1. はじめに

先進諸国において工業用燃料としての重質油の需要が減退し、輸送用、民生用としてのガソリン、灯・軽油等の需要が増大している。さらに原油そのものの重質化傾向も高まっている。したがって、重質油を分解して軽質油を製造する重質油分解技術の必要性はきわめて高いものになっている。この問題解決を目的として1979年に重質油対策技術研究組合が設立され、重質油分解技術の開発が実施された。この研究組合の開発プロジェクトのひとつとして、神戸製鋼、興亜石油、出光興産3社の共同により重質油分解プロセス(KKIプロセス)の開発が実施された。このKKIプロセスは鉄鉱石を熱媒体として重質油を分解し、軽質油をえるとともに、同時に生成するコークスを鉄鉱石の還元剤として還元鉄を製造するプロセスである。本プロセスは、重質油熱分解プロセスで副生する有益な用途の少ないコークス、特に高硫黄コークスを有効利用して付加価値の高い還元鉄を製造し、経済性を高めているのが特徴である。

この開発はベンチスケールテストによる基礎的な実験を経て、パイロットプラントによって、運転条件と熱分解生成物との関係および分解生成物の性状を把握し、プロセスそのものを確立した。さらに2塔式循環流動層における2塔間の熱媒体の循環量を容易に、しかも安定的にコントロールする手法およびその設計手

法をパイロットプラントおよびコールドモデル実験等による基礎的研究、理論的解析によって確立した。

私の所属するエンジニアリング部門は、本プロセス開発のためにパイロットプラントの設計・建設、データの解析、スケールアップ設計手法の確立を分担した。

本研究は、この設計手法の確立を行なう過程において得られた成果に基づいたものである。さらに名古屋大学で受託研究員として、この研究を継続、発展させ、傾斜流動層の流動特性の把握を行なったが、このときの成果も本研究の一部を構成している。

このように、本研究は会社業務として実施されたものであり、会社の全面的なバックアップと社内、社外の多数の人々の協力によりこの研究が完成した。ここに厚く感謝いたします。

2. 研究遂行上感じたこと

この開発は石油会社との共同開発であり、社内的にも二つの研究所との共同実施により行なわれた。このため多数の研究者、技術者が参集したので、良好なチームワークの維持に格別に留意して研究・開発活動を展開した。すなわち、各会社、各部門の専門家が同じ神戸の事務所に集結し、コミュニケーションを図りながら研究が進められた。さらに、このメンバーとの神戸のいろいろな国のレストラン巡り、ノミネーション(飲みニケーション)も十二分におこなった。このような異業種の人々との交流により種々の知識、見方を実際に体得できたことも大きな成果のひとつである。

3. 主な成果

重質油の軽質化を目的としたプロセスにおいて、2塔式循環流動層を用いたものが数多く提案されている。これらのプロセスにおいては、分解に要する反応熱を反応部と加熱部との間を循環する熱媒体により供給しており、この熱媒体の2塔間の循環を容易にしかも安

平成元年10月19日受付

* (株)神戸製鋼所機械エンジニアリング事業本部

(〒657 神戸市灘区岩屋中町 4-2-8)

TEL 078-261-7731

昭和45年名古屋大学大学院工学研究科修士課程化学工学専攻修了。同年、(株)神戸製鋼所に入社し、化学プラントの設計・建設業務および化学プロセスの開発業務等に従事、現在に至る。

昭和61年には、名古屋大学工学部にて、一年間受託研究員として、神保元二数教授の指導のもとに流動層のスケールアップに関する研究に従事。

工学博士。

Fig. 1 Experimental Apparatus

定的に制御する方法が重要なポイントのひとつとなっている。

KKI プロセスのパイロットプラントの 2 塔式循環流動層を Fig. 1 に示す。KKI プロセスでは自然循環方式が用いられており、熱媒体は反応塔と加熱塔とを結ぶ移送管内を加熱塔よりオーバーフローして下降し、反応塔下部に達し、反応塔を上昇する。また、反応塔より同様に移送管を通して加熱塔に戻る。このように熱媒体は 2 塔間を循環する。

反応塔と加熱塔との間を鉱石が循環する推進力は、流動層本体の下部と、両塔をつなぐ移送管の下部の合流部での両者の静圧差によると考えた。すなわち

(鉱石循環推進力)

$$= (\text{移送管側静圧}) - (\text{流動層本体側静圧})$$

となる。

ここで、移送管および流動層本体の静圧は、ガス流量、温度、圧力よりおのおのの空塔速度を求め、別途実施したコールドモデルでの同じ速度での層膨張比と同一としてそれぞれの流動層の密度より求めた。

この循環推進力には、移送管での管壁摩擦による圧損失等の循環抵抗力を考慮しなければ、正しい循環推進力を求めることができない。しかしながら、これらの抵抗力値を計算したところ静圧差より求めた循環推進力に比してこの抵抗力は十分に小さいことがわかった。

鉱石循環量は反応塔および加熱塔の熱収支から求めた。この循環量と上記の循環推進力との関係を Fig. 2 に示した。図のように両者には良好な関係があることがわかった。

自然循環方式においては、循環推進力の変化が直接的に循環量の変化につながるために、循環推進力を決定する流動層の流動特性を詳細に把握することが、装

Fig. 2 Relationship between circulation rate and driving force

置の運転、スケールアップ技術の確立にとって必要である。さらに移送管は傾斜しており、しかも流動層の状態になっている。この傾斜流動層の流動特性は一般の垂直流動層とは異なったものになっており、この流動特性の把握が必要である。このため、コールドモデル実験を種々おこなうことにより下記の諸特性をあきらかにした。

- (1) 最小流動化開始速度および初期流動化開始速度。
- (2) 流動層空隙率
- (3) 流動層圧損失
- (4) 気泡、スラッグの挙動
- (5) 気泡、スラッグ径および上昇速度

コールドモデルテストにより、最小流動化開始速度、初期流動化開始速度、空隙率、圧損失等を推算する式、気泡・スラッグ径と上昇速度との関係式等をえた。

本研究でえられた成果を活用し、さらに既知の知見を利用することにより、2 塔式循環流動層での 2 塔間の鉱石循環量は計算により求めることができる。したがって、このことを確認するために、本研究でえられた知見を用いて鉱石循環量を求めるシミュレーションモデルを作成した。さらに、そのシミュレーション計算結果と、パイロットプラントでの実験値とがほぼ一致することを確認した。

このことより、本シミュレーションモデルによって、鉱石循環量を推算することが可能であり、本プロセスのスケールアップが可能であることが確認できたと考える。

4. 研究を終えて

このようにして、KKI プロセスの開発に成功し、2 塔式循環流動層のスケールアップ手法を確立した。さらに国内外での重質油分解プラントを対象にしたフィジビリティスタディーにおいて、本プロセスの経済的有利さが証明されており、商業化プラントへの

道が開かれることが期待される。

さらに、本研究開発により流動層に関する知見が蓄積され、これがその後の応用として、

(1) コークス炉ガスのメタネーション

(2) 石炭ガス化

(3) 都市ゴミの流動層燃焼

等々に生かされた。

これらのプロセスは流動ガス、粒子、操作温度・圧力等の流動層の条件がそれぞれ異なっており、スケー

ルアップの考え方は様々である。しかしながら、KKI プロセスでの開発経験を活用してこれらのエンジニアリングを無事におこなってきた。これらの経験より流動層のおもしろさを実感してきた。

今後、流動層に関する研究・開発をさらに発展させて、神戸製鋼のプラントメニューの増加およびエンジニアリングの技術レベルアップに貢献していきたい。(学位授与は 1989 年 6 月名古屋大学)

—— 研究者のプロフィール —— その 6 ~~~~~

Derek Geldart 教授 (英国)

1931年に Stockton-on-Tees という英国北東海岸の工業都市に生れ、3年間鉄鋼会社で働きながら、パートタイムで勉強して Newcastle 大学へ奨学金で入学できた。そして機械工学で学部を卒業し、さらに2年間化学工学を勉強して1945年に修士を得た。その後英国の Atomic Energy Authority へ入り、ニオブウムやベリリウムのような希金属の生産プロセスの研究開発に従事した。その間にベリリウム水酸物仮焼のための流動層

パイロットプラントを設計建設した。

さらに6年後 Bradford 大学化学工学科の講師となり、最初の5年間は4年の学部コースをつくった。それは学生がサンドイッチコースとよばれる毎年会社と大学で半年宛過す新形式である。

1967年から流動層の研究を初め、71年に PhD を得た。それは流動性から粉体物性を求めるよく知られた図表を含んでいる。その後、混合、偏析、飛散、エアレーション、及び粗大粒と極微粉の挙動等広い分野を研究した。

70年以来欧米の会社のコンサルタントをする一方、流動化の4日間コースを欧米で実地し、1500人以上の人が受講している。そのテキストが J. Wiley and Sons 社から "Gas Fluidization Technology" として86年に出版された。そして88年には Bradford 大学の Powder Technology personal Professorship を与えられた。

彼は Harrogate という Bradford の北25kmにある Yorkshire Dales 国立公園内の小さい町に住み、2人の子供さんと2人のお孫さんは15km程はなれた所におり、たのしみの源泉となっている。自分はサイクリングとバード観察、そしてよい食事とワインをたのしんでいる由である。(K. I.)

住所: University of Bradford Department of Chemical Engineering
(Director of Postgraduate Studies) (Chairman of Powder
Technology) Bradford, West Yorkshire BD7 1DP England
TEL: 0274-73-3466 内線 380
FAX: 0274-30-5340