繊維工業

環境汚染源として、繊維工業は他の諸工業と比べると加害度は少ないが、発生源は多種多様である。そのうち繊維工業のうちで最も用水型産業であり、問題の多い染色排水について、電算機を用いてシステマティックに解析する方法について述べた。

具体的には排水処理システムのシミュレーションモデルをつくるためのデータ収集方法、実際の工場から採取した工程別の水質のパターンなどについて述べ、それらをもとにしてシミュレーションモデルの設定法についてふれている。

川上 達也*・渋谷 惇夫**

1. 緒 言

材料、エネルギー、情報を中核として、科学技術はめざましい発展を遂げ、生産システムは高度化、多様化、拡大化された。それに伴って大量の資源が消費され、製造過程で不要なものは廃棄され、使用済になったものは棄却するメカニズムで、日本は毎年10%をこえるGNP成長（世界の工業生産は年率7%）を果してきた。しかし、ローマクラブ第1段階研究レポートで工業生産の成長の凍結をアピールしているように、公害あるいは資源枯渇の問題は人類の生存に重大な影響を与えるようになってきた。

公害や天然資源の枯渇という生産性に対するマイナス要因や資源の再利用のための破壊や回収を重視するネガティブな効果を取り扱う工学が新しく必要になってきた。これからの新しい技術開発はその環境までも含めた長期的総合的視野から評価、設計されねばならない。

このような考えから、資源の有効利用や公害対策技術に対する社会的要請が今後ますます強まってくるであろう。

さて、環境汚染源として繊維工業を見ると、大別して大気汚染、水質汚濁、産業廃棄物、騒音などがあげられる。しかし他の諸工業と比較すればその加害度は少ないが、汚染源としては多種多様で多岐にまたがっており、各都市ごとに規制基準が決められる状況の中で緊急に処理対策を立てるよう要請されている。

繊維工業では、次のようなものが公害として俎上にあげられる¹⁾。

- (1) 大気汚染関係
 - a) 排煙による亜硫酸ガス
 - b) 化繊工場の硫化水素、二硫化炭素
 - c) 洗毛排水処理での悪臭
- (2) 水質汚濁関係
 - a) 精練染色仕上工程の排水
 - b) 羊毛工場の洗毛排水
 - c) 化合繊工場からの排水
- (3) 産業廃棄物
 - a) 廃棄衣料
- (4) 騒音
 - a) 織布工場の騒音
- (5) その他（衣料公害）
 - a) 樹脂加工など布処理剤による皮フ障害
 - b) 燃焼による悪性ガス発生

繊維工業は工業用水を多量に使用する産業であり、これらの公害問題のうち緊急処理を要請されている問題は(2)の項目である。ここでは水質変動が激しく、最も問題の多い染色排水を中心にダイナミックなシステムモデルの作成による染色排水システムを考え、電算機による排水系の解析方法について述べてみたい。

2. 繊維工業と排水

繊維工業における排水源を工程別に分けると原料製造工程、紡績工程、編織工程、染色仕上工程になる。

原料製造工程から出る排水は化合繊製造のような主として化学反応の工程から出る排水、羊毛、絹のような天然繊維を分離精製する工程から出る排水がある。

紡績工程や編織工程では製織性をよくするためのサイジング工程で排水される糊材の成分ぐらいで、排水にはほとんど汚濁性がない。

染色仕上工程は前工程までの付着物を精練した排水、

* Tatsuya KAWAKAMI 工業技術院繊維高分子材料研究所（横浜市神奈川区沢渡4）第4部長

** Atsuo SHIBUYA 同所・研究員

Pollution Problem in Textile Industry

第1図 繊維工業における排水例

染色仕上工程から出る排水がある。

第1図に繊維工業での排水の代表的な例を示す²⁾。

3. 染色排水システム

染色仕上工程は紡績織布工程と異なり、工程の大部分は液浸セキによって行なわれ、多量の工業用水を使用する用水型工業である。被加工材の種類、加工内容によって使用水量が異なり、綿布加工工場では 1 m^2 あたりの被加工材に対し染色仕上貫工場 で $0.06 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 、精練漂白専門工場 で $0.036 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 、染色専門工場 で 0.027

m^3/m^2 になっている³⁾。そのうち約 90～95% が廃水となって排出されている。

染色仕上工程の各工程からは紡績工程で付与された油剤、糊剤、繊維原料に付着していたロウ質、ペクチン質、色素、繊維くずなどの浮遊物、有機物を含む排水が排出され、さらに相当量の染料、薬品助剤類がこの工程で排出される。実際には染色仕上工程では対象となる繊維原

料、加工方式、作業方式、加工量が目的に応じて異なるため、排出される水質の性状が複雑となる。さらに多品種少量加工生産方式、連続処理とバッチ処理のプロセスが一工場内に混在しているため時間的に水質、水量の変動が激しく、また季節的にも水質が変わる。したがって染色加工工場では排水の実態を時間因子を入れて解析しないと的確に管理できない。

質的、量的、時間的に大きく変化する染色仕上工程の各装置から排出する汚濁物質の伝ば機構を追跡し、末端排水処理装置の負荷の軽減、処理効率の向上を図るとともに、工場全体のクローズドプロセス化を計るためにまず排水系のシミュレーションモデルの設定が必要である。

以下に現在われわれが進めている染色排水モデルの設定作業について述べる。

3-1. 染色排水解析システム

水質汚濁防止のためには、未来の汚濁状況を予測しその対策を講じなければならない。そのために工場内の各装置から排出される汚濁状況を調べ、汚濁機構を解明し汚濁防止の手段を究明し、さらに被加工材の変化、生産プロセスの変化に伴う汚濁予測ができる解析方法でなくてはならない。

排水モデル設定にあたっては次ページ上段の図のような順序で解析が行なわれる。

3-1-1. 工場排水系のレイアウトの設定

モデル工場のレイアウトの調査では、どの場所に何の機械があるか、排水路の長さ、大きさ、そこを流れる流量、流速などの機械的な要素を調べる。第2図はレイアウトの一例である。

川上達也氏(左) 昭和22年東京工業大学航空工学科卒業。趣味はゴルフ。

渋谷淳夫氏(右) 昭和37年東京農工大学卒業。現在、繊維高分子材料研究所システム研究室に勤務。趣味はスポーツ一般。

3-1-2. 装置単体の排水系の設定

染色機械装置は大別して連続系とバッチ系に分けられる。第3図は毛焼糊拔装置の排水系を図式表現したものである。この図は処理装置ごとに作成される。機械的な測定項目として、各給水口からの単位時間あたりの給水量、各処理槽から排出される単位時間あたりの水量、槽の容量、槽内の液量、各槽から出ている排水槽の長さ、大きさ、流量などが測定される。

3-1-3. 排水の物理、化学的測定

水質汚濁の形態として、(1) 酸、アルカリ、(2) 有機物、(3) 着色、(4) 劇・毒物、(5) 油類、(6) 塩類、(7) 界面活性剤によるあわ立ち、(8) その他、にぎりや臭気などがある。染色工場における排水は、(1)、(2)、(3) それに懸濁物が主要因子であり、pH 調整、浮遊物の除去、BOD の低減、脱色などをするための測

定データの収集が中心になる。

a) pH

pH が非常に大きかったり、逆に小さかったりすると明らかに公害の原因となり、上水としてはもちろんのこと農業用、水産用にも適さない。水質基準として5.8~8.6 とするところが多い。

b) 浮遊物

染色仕上工程では毛焼糊拔工程などで繊維くずなどの懸濁物が多く出る。これは河床をおおったり、魚介類の繁殖を妨げたりする。粒子の小さいものは除去しにくい。

c) BOD

水中の有機物が分解するとき、その過程において溶存酸素を消費する。その消費量が多いと水中の酸素は欠乏し、生物はせいそくしにくくなる。この度合を生物化学的酸素要求量 (BOD) という。

糊剤としてデンプンを用いると糊拔工程での排水はBOD が高くなり、合成糊剤、たとえば CMC、PVA などを用いると低い。

d) 色度

色そのものは実際にはほとんど害がないと考えられるが、外観上嫌悪感を与える場合が多い。ただ着色による日光の透過が妨げられる場合、二次的な影響がある。

3-1-4. 染色仕上工程からの排水排出機構

染色仕上工程の各装置からの排出機構、水質はそれぞれの工程によって異なる。一方、同一装置内でも連続処理装置であれば各槽から排出される水質は違うし、バッチ式では廃液排出時から水洗終了までの排水の性状は刻々変化している。以下各工程について装置各槽から排出される水質（ここでは pH、濁度、光透過率について測定している）を求めてみた。

a) 毛焼糊拔工程

織布工程でたて系に付いている糊剤は通常デンプンが用いられることが多い。この工程では酵素を主成分とす

第2図 染色工場レイアウトの一例

第3図 装置単体の排水系統図(毛焼糊拔装置)

る糊拔剤でデンプンを分解，可溶化，湯洗，水洗して除去する。第4図は毛焼糊拔工程での各処理槽から排出される水の性状を調べたもので，1，2，3の水洗工程で

第4図 毛焼糊拔装置処理槽別水質例

第5図 毛焼糊拔装置水洗槽（2）の水質変化例

第6図 連続精練装置処理槽別水質例

は毛焼工程での毛羽が排水中に流されたものであり，4，5の工程で糊剤が排水されていることがわかる。この工程での総合排水はpH値が7程度でありほとんど中性である。

第5図はこの工程中の一つの槽について90分の間隔で5回排水液を採取したもので濁度に関しては時間的に変動があることを示している。

b) 精練工程

この工程は繊維中の油脂，ロウ質などの不純物や紡織工程での汚れをカセイアルカリ中で除去し水洗する。第6図は測定結果である。合成繊維混紡の場合，濁度は低い。この工程での総合排水はpH11のアルカリ性である。

c) 漂白工程

一般に漂白剤として用いられるのは，次亜塩素酸塩，過酸化水素，亜塩素酸ソーダなどである。この工程では汚濁物質は少ない。第7図は過酸化水素漂白工程について調べたもので，濁度はほとんどないがpH8.6とややアルカリ性である。

d) 染色工程

染色工程は，前記の工程と異なり，多種多様の染料，

第7図 連続漂白装置処理槽別水質例

第8図 連続染色装置処理槽別水質例

助剤が用いられ、染色方法も異なるので排水の性状は時

第9図 染色装置処理部の水質変化例

第10図 シルク加工機処理槽別水質例

第11図 装置単体のシミュレーションモデル例

間的に変わるし、処理槽間の変化も大きい。

第8図、第9図はそれぞれパッド連続染色装置での槽間の変化の様子、パッド槽の時間的変化の様子を調べたものである。

e) シルケット工程

綿織物に対し、光沢と染着性をよくするためにカセイアルカリで処理する工程で第10図に示されるように濁度因子はほとんど排出されないが、強いアルカリが排出される。

3-1-5. シミュレーションモデルの設定

第11図は連続処理装置の排水系を計算機シミュレーションするための単純モデルのフローである。このモデルは各処理槽ごとに水および水質汚濁因子(pH, BOD, 色度, 濁度など)の物質収支をダイナミックに追跡する考え方をとっている。たとえば、処理槽2についてダイナミックな排水の入出力収支を考えると、単位時間内に槽への入力には給排水口からの用水および処理槽1からの布の移動に伴って運ばれてくる水量、出力は2槽の排水口からの排水量および槽3への布の移動に伴って運ばれる水量である。その量を決めるのは、給排水口ではバルブの開度であり、排水口では槽からオーバーフローする水量であって、給排水量決定機構が受け持つ。汚濁因子の収支についても同じような考え方でフローが決定され、装置単体のモデルが決定する。

工場全体のモデルは、単体のモデルからの排水がどの時点で他の装置からの排水と合流するかという装置のレイアウトに関連した問題である。主として時間おくれの要素を加えることで全体のモデルが完成する。

このようなモデルを利用して、ある操作条件を与えたり、ある方法で処理したら排水はどうなるかなどの予測ができる。

3-2. 染色排水におけるリサイクルの考え方

一般に排水は、総合的に処理するよりも、排水の質に応じて区分し、それぞれに適した処理を行なうのが経済的である。さらに処理された水を再利用することは水の有効利用および公害防止の立場から今後の課題になる。

近い将来日本においても水飢饉が予想されるため、現在、工業用

水の再利用率は全業種平均 51.7%であるのを昭和 60 年までに 70 %に高めるような工業用水使用合理化促進法案などが検討されている。

現在、繊維工業で排水が再利用されている例としては洗毛排水を蒸発法で処理し、得られた蒸気は洗浄水や羊毛乾燥の加熱に利用し、使用後ドレンとして排出し、蒸発器表面についたグリースはウールグリースとして回収するといった方法が実工場で稼働している。しかし水の回収サイクルは 1 回だけで、同じ使用目的にはサイクルされていない。

染色仕上工程における水の回収再利用の方法として

- 1) 総合排水を処理して清浄し、再利用する。
- 2) 特定の装置からだけの排水を処理し再利用する。
- 3) 装置内の排水を排水処理装置で処理しやすいような水質別に数種類に区分し処理し再利用する。

第 12 図 工場総合排水の水質変化例

などがある。

総合排水を処理する場合、排水の性状は第 12 図のように変化するので、汚濁負荷の変動を少なくするという意味からは適当でない。しかしこの汚濁負荷量の変化を少なくするためには排水ピットに滞留する時間によってかなり緩衝効果があることを利用して負荷を平均化せる方法がある。

装置ごとに排水を区分する方法は、装置内での変動、装置間での変動があり、画一的な区分はむずかしい。

3 番目の方法は第 4 ~ 10 図に示すように装置内で水質が大きく変わっているのを、装置内で区分し、より効果的に処理しようとするものである。

いずれにしても、このようなリサイクルシステムを完成させるためには、染色排水の処理、分離技術、新しい生産加工技術、管理技術を完成させねばならない。このような各技術を結合させ、システムティックに運用するための解析・設計・評価の手段として第 13 図に示すようなフローによるシミュレーションがあり、あらかじめ予測をたてることができる。

4. 水質汚濁管理システム

染色排水汚濁を低減化させる一つの手段として、排水処理設備の処理能力を向上させることはいうまでもない。しかし、排水問題をシステム的にとらえることにより効果的、能率的な方法を捜し出さなくてはならない。クローズドプロセス化するにしても、工場内の排水情報を的確に把握しなければならない。そのために次の三つ

第 13 図 リサイクルモデル例

の排水管理が必要になる。

- 1) 汚染管理……各工程から出る排水を水質自動測定によって汚染度を管理する。
- 2) 処理管理……処理工程の各過程で汚濁が適正なレベル内にあるように管理する。
- 3) 放流管理……処理後、放流時にその水質を測定し管理する。

詳しくは他書にゆずる^{5),6)}。

5. 結 言

以上、染色排水の水質を工程別、さらには同じ装置内の槽別に測定したものを中心に、計算機シミュレーションで排水系を解析する考え方などについて述べた。将来は一工場内の処理をシステム的に取り扱うのではなく、より広域的な立場から処理する方法、たとえば二つの工場間での処理を結合する方法、さらに一つの工場群を対

象として処理する方法などにより広域的な方向に向かっていくであろう。

いずれにしてもこのような問題は各専門分野との共同で行なわなければ解決できない問題ではある。

文 献

- 1) 森本佐一：繊維と工業，5，No. 3，117 (1972)
- 2) 用水廃水便覧編集委員会編：“用水廃水便覧”，丸善 (1964)，p 1211，1219
- 3) 通商産業省企業局編：染色整理工業廃水処理について (1961)，p 10
- 4) 代田 忠：繊維と工業，5，No. 3，165 (1972)
- 5) 砂原広志：“産業公害防止技術”，工業技術院編 (1972)，p 147
- 6) 浜岡 尊：日立評論，56，No. 6，75 (1972)

「繊維工業」に対するコメント

渡 辺 茂*・三 浦 宏 文**

1. 排水モデルによる汚濁予測の必要性

繊維工業においては、工程とそこからの排水の汚濁の組合せの種類が非常に多い。しかし、一方では、工程と汚濁との定量的な関係が、かなり明確に把握されているようであり、今後の調査、研究によって、比較的容易に、さらに正確な情報が得られそうである。たとえば川上氏が示した第4～10図のようなデータをかなり詳細にそろえればよいであろう。したがって、排水の汚濁度をモニタリングして処理を講ずるという消極的な方策ではなく、工程に関するファクターをあらかじめ知り、それに対して十分な汚濁防止システムを働かすという積極的な方策をとることができよう。

フィードバックコントロールではなく、むしろフィードフォワードコントロールとでもいえるか。

工程に関するファクターは、被加工材、加工内容などによって、あるいは時間によって異なろう。そのため工程の情報が、正しく、迅速に、汚濁コントロールを行なっている場所へ流れるような、情報システムをまず確立せねばならない。

それらの情報を受け取ると、たとえばコンピュータの

中に設定されている排水シミュレーション・モデルへ入力され、水が工程を通過して、捨てられる点での汚濁状態がすぐさま把握できるようになっていればよい。その結果を見て、汚濁処理システムの最適稼動状況を決定できよう。川上氏の第11図のようにまず単体装置についてのモデルを確立し、全体のシステムモデルをつくるべきであるが、その際に情報の流れがスムーズにいくように努力せねばならないであろう。

三浦宏文氏

渡辺 茂氏

渡辺 茂氏 昭和16年12月東京帝国大学第一工学部機械科卒業。昭和21年同大勤務，22年助教授，28年教授となり現在に至る。

三浦宏文氏 昭和35年東京大学工学部機械工学科卒業。昭和40年同大学院修了。同大学講師，41年助教授となり現在に至る。

* Shigeru WATANABE 東京大学（工学部機械工学科・113 東京都文京区本郷 7-3-1）教授・工博

** Hirofumi MIURA 同上・助教授・工博