資 料

膜技術に関する用語解説

渡 辺 敦 夫*

The Terminology Related to Membrane Technology

Atsuo WATANABE*

* National Food Research Institute, 2-1-2, Kannondai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305

1. はじめに

食品産業で利用されている膜技術には、逆浸透 (Reverse Osmosis; RO, あるいは Hyperfiltration), 限外濾過 (Ultrafiltration, UF), 精密濾過 (Microfiltration, MF), 透析 (Dialysis) および電気透析 (Electrodialysis, ED) がある。

この内、RO と UF は最近開発された技術であり分子レベルでの分離が行えるため、特に注目を集めている。狭義の意味での膜技術は、このふたつを指す場合が多く、また、汎用性の高い新しい技術であるだけに、工業分野が異なると、使用されている用語にも違いがあり、誤解を生むことがある。

そこで、異なる工業分野の、研究者・技術者が共通の用語で話し合いができるよう用語の統一をはかることが必要と考えられるので、ここでは、RO と UF を中心に特に注意すべき用語について解説する。

2. 用語統一の動き

RO は海水の淡水化技術として開発されたものであり、食塩の阻止率が高く、水の透過流束の高い非対称構造の RO 膜が開発されて以来、急速に工業分野への膜技術導入の研究が進められてきた。UF もこうした動きに伴って発展した技術である。特に、海水・カン水からの淡水やボイラー用水の製造など、造水分野での研究・工業化が先行したため、この分野に適した用語となっており、食品産業ではやや不適切と考えられる用語を使用せざるを得なかった。しかしながら、食品産業での膜技術の研究が進み、実用化がつつぎつぎとはかられていく内で、食

品産業に適した用語を作成する必要性を痛感してきた。

こうした背景のもとで、1985年に筆者が座長となり、大学および産業界の方々の協力により、食品産業膜利用技術研究組合の活動の一環として食品産業膜処理技術用語集¹⁾ (以下膜技術用語集とする) を作成した。その後、通産省の委託により (財) 日本規格協会が膜用語に関する工業標準 (JIS) 新規原案 (以下、JIS 原案とする) をとりまとめているが、まだ、公表する段階ではないとのことであり、ここではくわしくふれない。通産省の原案は、委員の多くが造水関係の出身者であるためか、ごく一部に食品分野にはやや不適当と思われる定義がなされているが、全体的には、膜技術用語集の主旨を尊重して作成されていると考えて良い。

そこで、ここでは食品産業膜処理技術用語集に沿って解説することにする。

3. 用語解説

3-1 濾過法についての用語

3-1-a 逆浸透法, 限外濾過法, 精密濾過法

a-1) 用語の意味

逆浸透法; 浸透圧の異なる溶液が半透膜を隔て接するとき、双方の浸透圧が均一になる方向、つまり、浸透圧の高い方へ溶媒が移動する現象を浸透現象という。ここで、溶液の浸透圧差にうちかつ圧力を高浸透圧液側に加えると浸透現象とは逆に、溶媒が低浸透圧側へ移行する。この現象を逆浸透現象という。この逆浸透現象を利用し溶液から溶媒 (実際的には低分子量溶質をも含む) を分離する方法をいう。

* 農林水産省食品総合研究所 (〒305 つくば市観音台 2-1-2)

限外濾過法；逆浸透法と精密濾過法の間に位置し、分子の大きさにより分離を行う圧力濾過法。通常、分子量で数 1000 から数 10 万程度の領域で分画する方法である。これに対して、JIS 原案では「分子量数百から数百万程度の溶質又は粒子を濾過によって分離する方法」と定義されており分画する分子量の幅が膜技術用語集で示す範囲よりひと桁づつ広がっている。

精密濾過法；0.01 から数 μm 程度の懸濁粒子を膜を用いて分離する濾過法であり、膜技術用語集と JIS 原案とは同様の範囲を示している。

a-2) 解説

理想状態における浸透とは、膜を介しての溶媒のみの透過をいうが、実際には完全な半透膜は存在しないため、多少溶質の透過が起こる。現在開発されている最もタイトな RO 膜の食塩阻止率は 99.7% であり、わずかであるが溶質の透過が起こっている。このようにタイトな膜を使用した場合でも、理想状態において定義されている逆浸透（圧力による溶媒のみの透過）とは異なることになる。従って、RO と UF との明確な区別は現実的にはできない。

現実的には、主として溶媒を透過させ、高分子量の溶質はもちろん、低分子量の溶質をもほとんど透過させない場合を RO と呼び、溶媒と低分子量の溶質を透過させるが、高分子量成分を透過させない場合を UF と呼び区別している。しかしながら、食品産業では醤油からの脱塩のように食塩は膜を透過させ、アミノ酸は透過させない（保持する）ような膜処理を行うことがある。一般にこのような処理を「ルーズ RO」と呼んでいるが、さらにルーズな膜で単糖と 2 糖類を分離できる膜や、2 糖類と 3 糖類をある程度分離できる膜などが開発されてきている。

JIS 原案では、UF を分子量数 100 までとしており、2 糖類以上を分離する処理は UF に入ることになる。しかし、この分離も、単糖類の阻止率が 0% で、2 糖類の阻止率が 100% というように明確な分離ができるわけではない。現状は単糖の阻止率と 2 糖類の阻止率に数 10% の違いがある程度の膜が存在しており、UF と呼ぶか RO と呼ぶか、議論の分れるところとなろう。

同様に UF と MF の区別も明確なものではない。UF 膜には孔径 5 から 20 nm 程度の孔があいていることは電顕観察で確かめられているが、この程度の孔径の膜を利用すると分子量数千から数 10 万の溶質が分離できる。JIS 原案では UF 膜は分子量数 100 から数 100 万までとされているが、分子量数 100 万の溶質は 50 か

ら 100 nm (0.05 から 0.1 μm) の孔径の膜で分離できるものと考えられる。JIS 原案では MF を 10 nm (0.01 μm) までの水ものの分離としており、UF と MF は完全にオーバーラップすることになる。オーバーラップする部分を UF と呼ぶか MF と呼ぶか議論の分かれるところである。

どう分類しても明確な区別はできないが、筆者は、RO と UF の区別、さらに UF と MF の区別についても膜技術用語集の定義に従って分類しておくのが順当と考えている。しかし、JIS の動向により、呼び方を変えなければならない事態も生ずるわけでさらにゆきに注目したい。

3-2 データ解析に関する用語

3-2-a 濃度分極

a-1) 用語の意味

濃度分極；膜処理を行うと、保持液側の膜近傍において、膜を透過しない溶質が蓄積され、溶質の濃度が上昇するが、この現象をいう。

a-2) 解説

濃度分極により、保持液側の膜面溶質濃度は bulk 濃度より高くなるため、透過液側との浸透圧差は大きくなり透過流束が低下する。さらに、見かけの阻止率にも変化を生ずることがある。

濃度分極による透過流束の低下は、RO においてはもちろん考慮されなければならないことであるが、高分子量成分を分離する UF においても大きな影響を与えるため、十分考慮する必要がある。

3-2-b 阻止率、真の阻止率

b-1) 用語の意味

阻止率；特定の溶質が膜により透過を阻止される割合を示す値で、通常、次の式で定義される。

$$R_{obs} = (1 - C_p / C_f) \times 100 (\%)$$

モジュールの阻止率を示すときには、一般に、次の式で与えられる値を用いることが多い。

$$R_{obs} = \{1 - 2 C_p / (C_f + C_r)\} \times 100 (\%)$$

$$R_{obs} : \text{阻止率 (正確には、見かけの阻止率)}$$

$$C_p : \text{透過液の濃度}$$

$$C_f : \text{供給液の濃度}$$

$$C_r : \text{保持液のモジュール出口濃度}$$

正確には、ここで定義された阻止率は、見かけの阻止率を表し、濃度分極を補正した真の阻止率と区別する。

真の阻止率；特定の溶質が膜により透過を阻止される割合を示す値。濃度分極を補正した場合の阻止率で次の式で定義される。

$$R = (1 - C_p / C_m)$$

R: 真の阻止率

C_m : 膜面における溶質濃度

C_p : 透過液の溶質濃度

b-2) 解説

Rejection を表す言葉として、阻止率、排除率、除去率が用いられてきた。この内、排除率と除去率が造水分野で使用される場合、透過液が製品であるため、膜が透過液中の溶質を排除する、あるいは、除去するという意味で一義的に理解されてきた。

しかし、食品分野では、保持液が製品となることもあるため、排除率と除去率という言葉は膜を透過して保持液中からある種の溶質が排除された、あるいは、除去されたと考えられ易い。そこで、まぎらわしいこれらの2つの言葉はできるだけ用いないこととし、一義的に解釈される阻止率を Rejection に対応する言葉とした。

JIS 原案では Rejection に対して除去率および阻止率の2つの言葉があてられているが、除去率は造水関係からのなごりであり、是非この際、阻止率で統一して欲しいと考えている。

いずれにしろ、食品関係では、阻止率を使うこととし、除去率、排除率は使用しないことにする。

3-2-c 濃縮液, 保持液

c-1) 用語の意味

濃縮液; 膜により濃縮された液

保持液; 膜処理を行ったとき、膜を透過しなかった液。食品においては、透過液を製品とする場合がある。透過液に注目した際に、膜を透過しなかった液に対して用いることが多い。

c-2) 解説

例えば、一般に、リング果汁を UF により清澄化する場合、膜の透過液が製品となるわけであり、膜を透過せず保持されたペクチンやパルプ質は副産物である。この場合、英語では、副産物を retentate と呼び concentrate とは呼ばない。concentrate には、「不純物などを除いて特定の成分を濃縮したもの」という意味があるからである。従来 concentrate に対しては日本語として濃縮液が当てられてきたが、retentate に対しては統一された日本語がなかった。そこで、retentate を保持液と呼ぶことにした。しかし、リング果汁を UF により処理し、保持されたペクチンやパルプをジャム等の原料として利用しようとする場合には、retentate が製品となるわけで、この場合、濃縮液といえることができる。concentrate と retentate の両者を総称する場合には、

保持液を用いる。

3-2-d 濃縮倍率, 容量減少率

d-1) 用語の意味

濃縮倍率; 供給液容量 (重量) を濃縮液容量 (重量) で割った値。濃縮液に注目する場合は、この語を用いてよいが、透過液に注目する場合は、容量減少率 (重量減少率) を用いる方が好ましい。

容量減少率; 供給液の最初の容量を、処理後の保持液の容量で割った値。濃縮倍率と同意であるが、透過液に注目する場合は、この語を用いることが好ましい。

d-2) 解説

保持液と濃縮液の項で述べたように、保持液が製品ではない場合、これを濃縮液とは呼ばない。従って、供給液のはじめの容量 (重量) V_F と保持液の容量 (重量) V_R の比 (V_F / V_R) を濃縮倍率あるいは濃縮率と呼ぶことは正しくないので、この場合は、容量 (重量) 減少率と呼び VRF (WRF) あるいは、RF と略することにする。例えば 100 リットルの原液を 20 リットルまで容量減少させた場合、容量減少率 5、あるいは VRF (または、RF) 5 と表す。リダクションファクターという場合は容量減少率を意味する。

3-2-e 逆圧洗浄法, 逆流洗浄法

e-1) 用語の意味

逆圧洗浄法; 透過液側から保持液側に流体を透過させることにより膜のファウリング物質を除去する方法。

逆流洗浄法; 通常の膜処理を行う場合のモジュール出口側から流体を入口側に送りモジュール内の流路閉塞物質や膜のファウリング物質を除去する方法。

e-2) 解説

従来、逆洗という言葉があり、これらは、透過液側から圧力をかけ保持液側に液体を透過させることにより膜の洗浄を行う場合と、保持液の出口側から液体を導入し入口側に流すことにより流路と膜の洗浄を行う場合の両方に用いられて来た。

そこで、前者の意味では逆圧洗浄、後者の意味では逆流洗浄という言葉で当て区別することにした。

3-3 膜およびモジュールの機能低下に関する用語

3-3-a ファウリング, 劣化, ゲル層, ケーク層, スケール, 吸着層, 生物的劣化, 化学的劣化, 物理的劣化

a-1) 用語の意味

ファウリング; 目詰まりや付着層の形成により膜機能が低下するが、この両者の総称。膜自体の構造は変化しない。通常、可逆的な膜機能の低下である。

劣化; 生物的劣化, 化学的劣化および物理的劣化によ

図 膜の機能低下

り、膜自身が変化し、機能低下を起こすこと。通常、非可逆的な膜機能の低下である。

ゲル層；濃度分極により、供給液中の溶解高分子量物質等の膜表面濃度が著しく上昇し、膜表面上に形成されるゲル状の非流動性の層。

ケーキ層；供給液中の懸濁物質が膜表面上に蓄積されて形成された層。

スケール；膜による濃縮や濃度分極により供給液中の難溶解性物質の膜表面濃度が上昇し、溶解度を越えることにより膜表面上に析出した層。

吸着層；膜透過流束に対し、大きな抵抗を有する膜表面上に吸着された供給液中の溶解高分子量物質等の層。

生物的劣化；膜装置内に生育した微生物による膜の変化、代謝生産物による化学的变化等の生物的原因により膜自身が変化し、機能低下を起こすこと。

化学的劣化；加水分解や酸化等の化学的原因により膜自身が変化し、機能の低下を起こすこと。

物理的劣化；膜の圧密化や乾燥などの物理的原因により膜自身が変化し、機能低下を起こすこと。

a-2) 解説

膜の機能低下については、多くの言葉が用いられてきたが、はっきりした定義がなかった。そこで、以下のよう

に分類することにした。

図に示したように、機能低下を、ファウリングと劣化に分けた。前者は、膜自体の構造は変化せず、多くの場合可逆的に膜機能が低下する場合を意味する。後者は、膜自体が変化し、多くの場合非可逆的に膜機能が低下する場合を意味する。

さらに前者において、膜の表面（あるいは裏面）に生ずるファウリングを付着層、膜の内部に生ずるファウ

リングを目詰まりと呼ぶことにした。後者は、生物的、化学的、物理的な劣化の3区分に分けることにした。

3-3-b 生物的汚染

b-1) 用語の意味

生物的汚染；微生物およびこれらの代謝生産物により、膜装置内が汚染され、処理液（食品）の品質が低下させられること。膜機能の低下を意味しない。

b-2) 解説

膜装置内で増殖した微生物あるいはその代謝生産物により、処理液（食品）の品質が低下させられる場合と同じ原因により膜機能が低下させられる場合の2者に対して生物汚染という言葉が用いられてきた。しかし、前者の意味にのみ生物汚染という言葉を用いることにする。後者の意味では、場合により、生物的劣化やファウリングという言葉を用いる。

4. おわりに

膜技術は新しい技術であり、また汎用性の高い技術であるだけに、広い工業分野で、研究・実用化が進められており、最近、食品分野での膜技術に関心を持つ研究者・技術者が、共に勉強していくための場として、食品膜技術懇談会が設立され活発な活動を開始した。

新しい機能を持つ膜が開発されるたびに、その応用分野を広げており、今後もさらに発展しつづける技術であると考えられる。従って、お互いに異なる工業分野での成果であっても、それを共通の用語で話し合い、理解しあって、その上に立って技術を発展させていくことが望まれる。

そこで、本稿では、食品産業における膜技術において、特に重要と思われる用語のいくつかについて解説した。誌面の都合で十分説明しきれなかった部分や定義を明確

にし得なかった部分などがあることを感じる。

膜技術関係者が共通の用語で話し合えるようにするため、JIS 用語集が作成されしだい十分内容を検討し、膜技術用語集の改めるべき点は改めたいと考えている。しかし、冒頭に述べたように両者の違いはごくわずかな部分になると考えられるので、現状では、多くの識者の協

力のもとに作成された「食品産業膜処理技術用語集」を参照願いたい。

参 考 文 献

- 1) 木村尚史・渡辺敦夫・他編：膜処理用語集 p. 537 (食品製造における膜利用技術) (1987)。

新 刊 紹 介

Protein Quality and the Effects of Processing

PHILLIOS, R.D. and FINLEY, J.W. 編

Food Science and Technology シリーズの 29 巻である。加工処理による食品蛋白質の変化について、14 の論文がまとめられている。主な内容は、加熱により生成する変異原、エクストルージョンクッキングによる栄養価の変化、蛋白質の架橋、メイラード反応による蛋白質の変化、蛋白質の特性に影響する酵素、蛋白質の物性の改変、小麦蛋白質、などである。合計 700 の文献が掲載されており、この分野の最新の情報を得るのに最適である。

15 × 23.5 cm, 397 頁, 107.5 ドル

Marcel Dekker, Inc., 270 Madison Avenue,
New York, N.Y. 10016 U.S.A.

1988 年刊

新 刊 紹 介

High-Performance Liquid Chromatography of Biopolymers and Biooligomers

MIKES, O. 編

Journal of Chromatography Library の 41 巻である。蛋白質、酵素、ペプチド、核酸、ポリヌクレオチド、多糖類、オリゴ糖、複合体についてのクロマトグラフィーの分離様式、検出法、実際例、文献が詳細に記述されている。また、クロマトグラフィーの構造研究への応用も触れられている。実際の実験条件も詳しく記述されている。さらに、巻末には、1300 の文献集、57 頁の索引があり、この分野で新しく実験を始めようとする人にとって極めて便利である。

16.5 × 24 cm, 722 頁, 189.5 ドル

Elsevier Science Publishers., P.O. Box 211,
1000 AE Amsterdam, The Netherlands

1988 年刊