

膜利用技術の現状

Present Status of Various Membrane Technologies

木村 尚史*

Shoji Kimura

膜利用技術の現状について、まず発展の歴史を振りかえりつつ、電気透析法、逆浸透法、限外濾過法、膜によるガス分離法、パーペーバレーション法の各法に用いられている膜や位置、その問題点などについて解説を加えた。また、これらに関連する内外の研究の現状についても触れた。そして今後の方向について考察した。

膜利用技術の現状について、特に膜を用いる分離技術を中心として、以下に解説を行うのであるが、その前に簡単にその発展の歴史について触れてみたい。

1. 膜技術の発展

液体の膜透過にしても気体のそれにしても、近代の歴史をたどると 1830~50 年代のトーマス・グラハム (Thomas Graham) に至ることはよく知られている。1900 年代に入ってからコロジオン膜やセロファン膜などのセルロース系の人工膜が作られ、これを用いた透析法や限外濾過法がおもに実験室における分離精製の手法として用いられてきた。

一方、1950 年頃からの合成イオン交換樹脂の開発に続いて、イオン交換膜も合成されはじめ、これを用いる電気透析法によって、全溶解固形分濃度 (TDS) が 2000~10,000 ppm の水を脱塩して飲料水を作るために研究、開発が進められた。ところが日本ではこれを海水濃縮に利用しようとして研究が進められることになった。

ちょうどそのころ、アメリカの内務省に塩水局 (OSW) が作られ、海水淡水化の技術開発に力を入れるようになるが、そこに新しい膜分離法として、半透膜を使う逆浸透法が提案され、研究されることになった。そして 1960 年に実用可能と思えるアセチルセルロース膜がカリフォルニア大学の Loeb と Sourirajan によって作られたのである。

ところが 1960 年にはセロファン膜を使った血液透析器が Kolff によって作られ、人工腎臓として用いられたのであるが、これが膜利用技術のもう一つの新しい発展でもあったわけである。

このようにして 1960 年以後、今日に至る 20 数年の間に数多くの膜が開発され、いろいろの分野に応用されるようになった。また今後もさらに発展する技術として、次世代産業盤技術の 1 つとして取り上げられるなど、多くのプロジェクト研究が進められており、当初出おくれた日本の技術もしだいに世界のトップレベルに達しつつあるのである。以下順に膜分離技術の現状について紹介

する。

2. 電気透析法 (Electrodialysis, E. D.)

日本では海水濃縮法として研究が進められ、このために電気抵抗の極めて小さい膜が開発された。最終的にはイオン交換膜の表面に 1 価イオン選択処理を行って、スケール成分が通らないようにしたために海水濃縮に成功し、昭和 46 年までに製塩工場が 7 社にまとめられて、すべてこの方法で製塩することになった。その概要は表 1 にまとめられている。¹⁾

海水濃縮以外には TDS が数千 ppm のかん水の脱塩に利用され、海外に多くの膜が輸出されている。海水淡水化のためには高温 (約 80°) にして電気抵抗を小さくすると省エネルギーとなることから、高温電気透析が研究されている。このほかに高濃度塩類の処理技術として、メッキ排液の回収濃縮であるとか、電解質のみを除去できる点から、しょう油や牛乳の脱塩法としても用いられている。

このイオン交換膜の製造技術は、さらに発展して食塩電解用の隔膜の開発へと発展した。この膜は陽イオン交換膜であり、片側に高濃度のカセイソーダ、反対側は塩素にさらされるという極めて苛酷な条件下で、塩素イオンの透過をなばむという、難しい膜である。最初はデュポン社から Nafion と呼ばれるテフロンをスルホン化したものが発表されたが、その後日本の各社もそれぞれ独自の膜を開発し、水銀電解法の転換に伴い、実用化されつつある。

3. 逆浸透法 (Reverse Osmosis, R. O.)

逆浸透法は 1953 年、フロリダ大学の Reid によって海水淡水化の新しい方法として、OSW に提案された。この方式の重要な点は、いかにして半透膜を手に入れるかということであり、いろいろの市販の膜が試験された結果、アセチルセルロースがいいということはわかったのであるが、膜透過の流束が小さく、実用化に至らなかった。

* 東京大学生産技術研究所 第 4 部

表1 製塩企業の概要

区 分	企業名(工場)	所在地	設立年月	イオン交換膜法導入技術		生産数量(昭和52年度)
A	新日本化学工業	福島県	昭26.8	a	社	181千トン
B	赤穂海水化学工業	兵庫県	40.2	a	社	176
C	錦海塩業	岡山県	37.2	c	社	164
D	ナイカイ塩業	岡山県	39.4	b社一部	a社	160
E	鳴門塩業	徳島県	41.12	a	社	178
F	讃岐塩業	香川県	46.5	c	社	169
G	崎戸塩業	長崎県	30.9	b	社	170
計						1,199

a社：旭化成，b：旭硝子，c社：徳山曹達

その後カリフォルニア大学のロスアンゼルスで、アセチルセルロース膜の独自の製膜法が開発され、流束が飛躍的に増大し、実用化がはかれることになった。

この膜は製作者の名前をとって、Loeb-Sourirajan膜と呼ばれるが、この製膜法の特徴は、製膜液中の水の含有量を多くし、溶媒の蒸発条件を制御して、膜の表面に薄い、密な層(厚さ $0.1\sim 1\mu\text{m}$)を作り、残りの部分(約 0.2mm)は $1\mu\text{m}$ 程度の孔のあいたスポンジ状の支持層からなるという、非対称構造(Asymmetric)を作ったことである。これにより実質上の膜厚が $1/50$ 以下になり、膜透過の流束が増大した。

しかし、このLoeb膜によって海水淡水化の目的が完全に達成されたわけではなかった。海水淡水化というのは、海水からTDSが 500ppm 以下の水を得ることと定義されるが、Loeb膜では極めて短い時間であればこのような性能を示すが、時間と共に膜が劣化してしまう。この最大の原因は、支持層が機械的圧力でつぶれて、圧密化してゆくためであった。海水の浸透圧が約 2.5MPa なので、機械的圧力としてこれ以上の、 $6\sim 10\text{MPa}$ を加えることが普通であったからである。そこで、アセチルセルロースに代わる新しい材料の開発が進められると同時に、この圧密化を防止する方策も考えられた。

1つの方法は膜を細い中空状にするものであり、逆浸透用としては、デュボン社から外径 $50\mu\text{m}$ 、内径 $25\mu\text{m}$ の芳香族ポリアミドを材料とするものが市販された。これは単位膜面積当たりの透過流束が小さくても、中空糸状にして単位体積当たりの膜面積を大きくすればよいという方法であり、もう一つの利点は細くするとそれ自身で耐圧性がでてくるという点である。この型式で、一段で海水淡水化が可能なのが1973年に発表された。

アセチルセルロースを用いる中空糸も作られたが、日本では東洋紡が海水の一段淡水化が可能なのを1978年に完成している。これは外径が $100\sim 150\mu\text{m}$ とデュボンのものに比べて少し太くなっている(図1)。この脱塩性能や安定性については、財団法人造水促進センターの

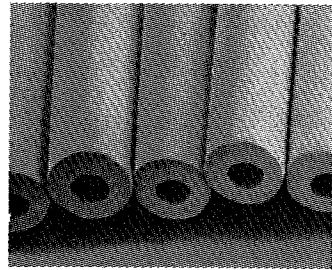


図1 セルロースアセテート中空糸状膜(東洋紡製)

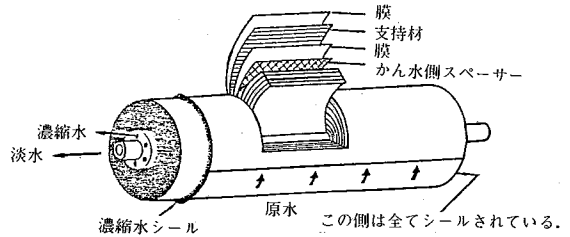


図2 スパイラル巻き型逆浸透モジュール(東レ製)

茅ヶ崎臨海実験所で連続実証運転を行っているが、すばらしい性能を発揮している。

もう1つの方法は、膜の支持層に耐圧性のものを用い、その表面に膜塩性能を有する薄い($30\sim 250\text{nm}$)膜をつけた複合膜(composite membrane)形式をとる方法である。支持膜としてはポリサルホンが用いられることが多く、その表面に高分子を含浸させて架橋するモノマーを含浸させて重合させる。あるいは界面重合法を用いるなどして分離機能を作る。得られた膜はNS-100, 200, PA-300, PEC-1000, FT-30などという略号で呼ばれている。PEC-1000は東レ株式会社で作られたもので、材料の詳細は不明であるが、すぐれた脱塩、ならびに脱有機物の性能を有しており、スパイラル巻きモジュールとして市販されている(図2)。前記の造水センター茅ヶ崎実験所で、やはり海水一段脱塩の実証運転が行われている。

逆浸透法の海水淡水化における特徴はその省エネルギー性にある。海水から1トンの淡水を得るに要する理論

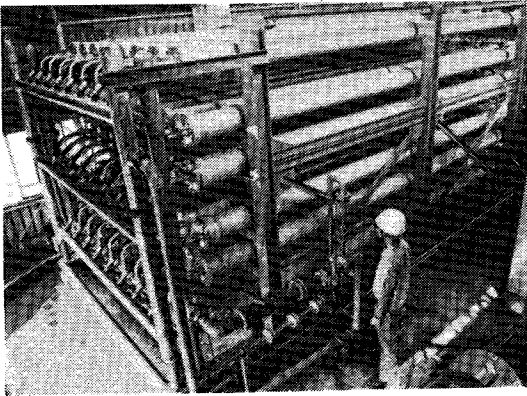


図3 800 m³/日の海水淡水化ユニット(財)造水促進センター茅ヶ崎臨海研究施設)

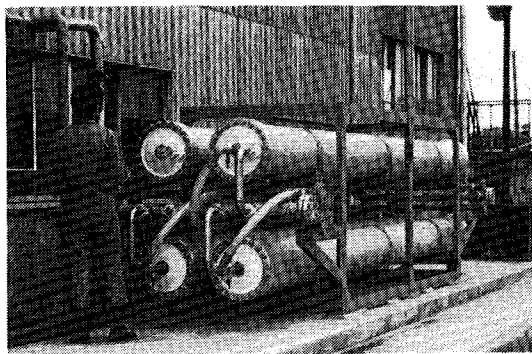


図4 大型中空糸型逆浸透モジュール(1本の能力は150 m³/日)

最小エネルギーは約1 KWHである。これに対して逆浸透法では必要エネルギーは約5 KWHと非常に小さく、熱を使用する蒸発法よりも有利であり、その技術の完成と共に内外の逆浸透法プラントの数は急増しつつある。

日本では1974年より前記の造水促進センターが通産省の委託を受けて、省エネルギー海水淡水化技術として逆浸透法を取り上げ、開発、実証運転を行ってきたが、1977年より1日800 m³のプラントの運転を開始した。そしてそれに必要な前処理、高圧排出ラインからのエネルギー回収などを含めて実験を行ってきた。²⁾これに中空糸モジュール、PEC-1000のスパイラルモジュール(図3)が交互に用いられてきたが、中空糸モジュールの直径が36 cmと大型のものが開発され、このエレメントを5個内蔵するジャンボサイズのもが現在テストされている(図4)。これらの結果は1978年以後、日本の逆浸透淡水化技術が世界のトップにあることを示し、海外のシンポジウムにおいて大きな評価を得るに至っている。³⁾

逆浸透法は脱塩以外にも、省エネルギー水処理技術としていろいろの分野で使用されつつある。ここで逆浸透法のもう一つの特徴として、電気透析法のように無機塩

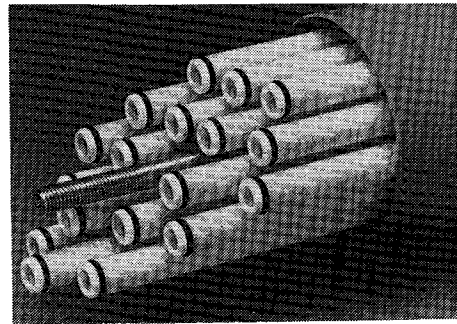


図5 管型モジュール(日東電工製)

類だけではなく、有機系の溶質も除去し得る点がある。したがって脱塩のみならず、COD(化学的酸素消費量)も小さくすることが可能である。さらに積極的に有機系の溶質を濃縮する目的にも使用されようとしている。しかし、脱塩用に開発された膜がすべて同じような有機物の排除性能は示さず、膜の材料によって異なった性能を示す。一般にアセチルセルロース系の膜は低分子量の有機物の除去性能は悪い。これに対し、PEC-1000では有機系の溶質の除去性能は非常によく、⁴⁾エチルアルコール、カプロラクタムなどの濃縮に応用が可能である。

また他の材料の膜、たとえばテイジンのPBIL(ポリベンズイミダズロン)膜は有機酸の除去性能がいいといわれ、⁵⁾住友化学のsolro膜(変性アクリロニトリル膜といわれている)も耐酸性で有機系の溶質の除去性能がいいという。したがって今後は処理対象に応じてそれに適当な膜を選択していく必要がある。

逆浸透法はさらに、熱を加えなくても濃縮できるということから、熱変性を受けやすい、食品類、蛋白質などの濃縮にも応用され得る。このような液には一般に懸濁物やコロイドなどが含まれていることが多く、このような場合は、円形の膜を多数重ねた平面膜型、もしくは耐圧支持管(約10 mm)の内面に膜をつけた管型(図5)などのモジュールが用いられることが多い。応用例は次の限外濾過法のところで触れるが、このような応用の場合に逆浸透膜に望まれている点は、80°C程度の高温で使用できる膜の出現である。食品などの場合は微生物の繁殖を防止する点と、膜に付着したものを洗浄する点とにおいて、この程度の高温で使用できれば応用も広まるものと考えられる。しだいにこのような膜も開発されつつある。我々のところではセラミックの多孔性支持体の表面にコロイドを付着させて用いるダイナミック膜(正確には、dynamically formed membrane)の研究を行っているが、これだと80°C以上の高温でも使用可能である。この性能については後の速報の項を参照されたい。

さて、膜の開発において重要なことは、その基礎となる膜による溶質の排除機構を明らかにし、これを新しい膜開発の指針としていくことである。しかしながら逆浸

透膜に関してはこのような基礎的研究はまだ緒についたばかりで、いまだ百家争鳴の状態であるといっているであろう。⁹⁾ 初期においては、膜に孔がある、ないという論争からはじまり、孔があるとすれば1 nm程度のものと推定されたりしたが、形態学的な点もよくわかっていない。我々はアセチルセルロース膜について、不可逆過程の熱力学に従う輸送方程式を用いて実験データを解析し、これと均質膜による溶質の溶解度や拡散係数の測定とつき合わせて解析を進めた結果、溶質の排除性能はまず膜への溶解度によって大きく支配されること、溶質の透過係数は膜の孔と溶質との相互作用によって支配されることなどがしだいに明らかになりつつある。⁷⁾

4. 限外濾過法 (Ultrafiltration, U. F.)

トーマス・グラハムが、羊皮紙を透過するものに晶質(クリスタロイド)、透過しないものにコロイドというように名付けたことは有名であるが、このような分離法は、最初は濃度差を推進力とする透析法として出発した。しかしその透過速度が小さいので、圧力を加えて晶質を溶媒(水)と一緒に膜を透過させるという方法が用いられるようになり、1906年頃に Bechhold によって限外濾過法と名付けられた。⁹⁾

この当時用いられたのがコロジオン膜であり、その製造条件を制御することにより、膜の孔径を制御する研究が多く行われ、今日のいろいろの名で呼ばれる精密濾過膜(Microfiltration membrane, M. F.)が開発され、市販された。しかし、主な用途は実験室規模のものであった。

逆浸透法の発展により、各種の膜が開発され、モジュールとして実用化されるようになると、波及的に限外濾過膜の種類も多くなり、同じような形のモジュールが作られ、実用に供されるようになった。膜の材料としては、アセチルセルロース、ポリアクリロニトリル、ポリアミド、ポリイオンコンプレックスなどが用いられ、最近ではポリサルホンが用いられることが多くなってきている。一般に逆浸透膜にくらべて膜の材料と溶質の相互作用よりも、単に適当な大きさの孔を膜に作ってやればよい、という考え方が通用するので、用いられる材料の種類は比較的多い。

一方、限外濾過法においては、その処理対象がコロイド、高分子量の蛋白や糖類などであり、これを前処理なしに直接膜で濃縮するケースが多いので、これらの物質が膜面に付着することが避けられない場合がほとんどである。そのために膜透過の抵抗が増大し、装置の能力が減少する。そこで適当な洗浄方法で付着物を取り除く必要がある。薬品による洗浄法はその重要な方法の一つであるが、付着物によって、酸、アルカリ、熱水、洗剤等を用いるが、これによって膜が劣化することのないような材料が選ばれねばならず、逆にそのような耐久性のある

膜が開発されると、新しい用途が広がることになる。最近、ポリサルホンの膜が広く使われるようになったのも、使用可能な pH が 1~14、最高使用温度 80°C と、広い条件下で使えるからである。

実用化されているプロセスとしては、自動車の電着塗装のラインにおける電着塗料の回収、チーズ製造工程で発生するチーズホエーからの蛋白と乳糖の回収の2つが大型のユニットを用いるものとして知られている。このほか卵白の濃縮や牛乳の直接濃縮などの食品工業の分野でいろいろのプロセスに用いられている。水処理としては、ビル内の排水の循環再利用に用いられており、最近ではパルプ工場からのリグニンの濃縮に大きな装置が稼働をはじめている。回収されたリグニンは燃料の代替として燃焼され、省エネルギーとなると同時に、排水処理により発生するヘドロの量を減少させるという一石二鳥の効果がある。

限外濾過法の実用化においては、膜面への懸濁物質の付着が避けられないことは、すでに述べた。この付着物は、プロテインケーキとか、ゲル層などと通常呼ばれている。圧力を加えて透過速度を大きくしようとすると、このゲル層の厚みが増し、その透過抵抗は大きくなり、結局のところ透過速度は大きくならない。したがって一般に限外濾過法においては、圧力を 0.3 MPa 以上に増加するのは意味がない場合が多い。

さらに分子量の小さいものと大きいものを分離しようとする際に、本来なら膜を透過する分子量の小さなものが、ゲル層によって透過できなくなる場合があり、分子量による分画ができなくなってしまう。このようにゲル層の性質を知り、これを制御することが重要な課題となる。

我々は逆浸透膜に懸濁物質が付着することによる劣化の研究を行ったが、⁹⁾ その過程でこの現象が限外濾過におけるゲル層形成とまったく同じであることに気づき、一連の研究を行ってきた。^{10,11)} これによってゲル層形成時の膜透過速度の推定も可能となり、逆にゲル層形成を制御する方法の手掛りを与えることができた。

同時に、ゲル層の溶質排除性を解析する過程で、限外濾過膜自身の溶質排除特性の解析も行い、ゲル層付着前後の溶質排除性能の変化が明らかになった。ところで、この理論的取り扱いに登場するのが pore-flow theory と呼ばれるモデルであり、膜に円筒状の孔があいていて、そこを球状の溶質分子が流れ込むというものである。このモデルにおいては、溶質の半径と孔の半径との比のみが変数となり、半径そのものの絶対値は関係しない。となるとパイプの中をボールが流れる場合とまったく同じになってしまうが、このようなモデルがどの程度の大きさの孔まで有効であるか興味を持たれる。このためには膜の孔径の実測ができることなのであるが、残念ながら現在までのところできていない。

精密濾過膜には呼称の孔径があり、一番小さいもので 10 nm で、この程度であると金属粒子蒸着によるレプリカ法で作られたサンプルにより電子顕微鏡で観察ができるが、限外濾過膜では直径 2~5 nm と考えられ、蒸着粒子と大きさが同程度となってしまう。しかし、蒸着技術もかなり進歩してきているので、近い将来には観察可能になるものと期待される。

さて、ゲル層付着防止法として考えられるものに、電気泳動法と限外濾過法とを組み合わせた電気限外濾過法 (Electro-ultrafiltration, E. U. F.) がある。我々の組み立てた装置では、中心の電極を正にして、負に帯電した粒子や分子を膜面から中心方向へ引きもどそうとするものである。その効果は溶液の性質や電気伝導度によって異なるが、かなり有効な場合がある。¹²⁾

もう 1 つのゲル層形成防止法として、膜自身に荷電を持たせる方法が考えられ、荷電型の限外濾過膜の効果が期待される。一般に水溶液中では負に帯電するコロイド粒子が多いので、スルホン基を有する膜であれば、電気的に反発されて付着しないであろうといわれていた。また電着塗料にもカチオン型とアニオン型とがあり、それぞれに有効な荷電を有する膜が使われているといわれている。

我々はポリサルホンのスルホン化して得られた、スルホン化ポリサルホンをを用いて限外濾過膜を作成し、実験を行ったが、ゲル層付着に関する有効性についてはっきりした結論は得られていない。しかし膜の孔への目づまり (plugging) は、かなりの程度押さえられ、その結果極めて洗浄の容易なゲル層となることが確かめられている。¹³⁾

荷電型限外濾過膜のもう 1 つのメリットは、水溶液中の低濃度の電解質を除去することができる点であり、逆浸透法で用いられるような高圧を使用しなくても脱塩できる。³⁾ さらに有機物中から電解質のみを取り除くという利用法もあり、糖蜜中のカルシウムの除去などに利用され得る。

最後に、付着したゲル層自身を膜として積極的に利用していこうとする方法が考えられる。逆浸透法の項のところでセラミック支持体を用いるダイナミック膜について説明したが、このセラミック支持体に直接ゲル層を形成させ、それ自身で排除を行おうとするもので、自己排除型と称する。セラミックの支持体は 120°C 以上の高温に耐えるので殺菌も容易であるし、ゲル層の除去も簡単に行える。この方法についても我々は現在研究中であるが、近い将来に広く使われる方法になるものと期待している。

5. 膜によるガス分離法

ガスの分離に膜を用いることは、物理化学の思考実験

上ではあり得ても、実際に使用されなかった。これは、一般に膜を用いた場合の分離係数が小さく、通常のガス分離法である、深冷分離、吸収法、吸着法に比べて経済的ではなかったためである。したがってウラン濃縮とか、パラジウム膜による水素精製など特殊の場合を除いて実用化されなかった。

しかしながら最近の膜利用技術の発展と共に、膜によるガス分離に強い関心が向けられるようになった。その主な理由は、あまり精密な分離を要求されない場合には省エネルギー的分離法となり得ることが明らかになりつつあること、新しい分離機能膜が開発されつつあることなどである。その最初の切っ掛けを与えたのがモンサント社のプリズムセパレーターと呼ばれるものであり、主に水素分離用に使用された。用いられた膜は多孔性ポリサルホンの表面にシリコンゴム膜を塗布したもので、resistance model¹⁴⁾ と呼ばれる考え方により、分離係数が大きい透過速度の小さいポリサルホンを多孔性にし、分離係数は小さい透過速度の大きいシリコンゴムを塗布することにより、透過速度、分離係数共に大きくしようとしたものである。

もう 1 つの話題は空気中の酸素濃度を 30~40 % 前後に濃縮する酸素富化膜である。この程度の濃縮で燃焼用の空気として使用するとかなり省エネルギーになるということ、医療用の酸素ポンペの代用に使えるということからの研究開発が進められている。さらに天然ガスからのヘリウム回収、石油ガスからの炭酸ガスの分離回収、混合ガスからの酸性ガスの分離などへの応用も考えられ、¹⁵⁾ これが実現するとかなり大きなユニットとなることが予想されている。

このほか日本では大型プロジェクトの 1 つである C1 化学プロセスの重要な柱として膜分離法が取り上げられ、高温、高圧下でのガス分離、回収について研究が進められている。

一方、膜を用いるシステムとしては、従来ウラン濃縮において用いた多段カスケード理論しかなかったが、これは分離係数がほぼ 1 に近い、特殊な場合の理論であった。そこでシステム全体としての分離係数を大きくする接触方式の開発が必要になる。この点について我々は研究を進め、¹⁶⁾ リサイクルを伴う直列 2 セル方式、並列 2 種膜方式の開発を行ってきた。これに対してアイオワ大学の Hwang ら¹⁷⁾ は環流を有する蒸留塔とまったく同じ形式の膜塔 (membrane column) 方式を提案した。これは図 8 に示されるような方式で、環流を用いることにより塔全体の分離係数が大きくなり、多数カスケードを組む必要もなくなり、圧縮器も 1 台ですむことになる。今後はこれらの方式の経済評価が進められていくものと考えられる。

6. パーペーパーレーション法 (Pervaporation)

パーペーパーレーション法は、膜の片側が液相、もう一方が蒸気相という分離法であり、透過気化法、または透過蒸発法と訳されている。この方法は蒸発潜熱の出入があるので、相変化がないために省エネルギー的分離法となると考えられていた他の膜分離法とは異なっており、今まで実用化には至っていない。しかし、共沸混合物や沸点の近い有機化合物の分離への応用の可能性があるので研究が進められてきた。最近になって再び関心が持たれはじめたのは、希薄アルコール水溶液からのアルコール濃縮法としてである。

発酵法で生成するアルコールは5~10%と希薄であり、これを濃縮するためにアルコールの燃焼熱以上のエネルギーを使うことは意味がない。そのために省エネルギー濃縮法が広く研究されている。逆浸透法を用いて濃縮することは可能であるが、15~20%になると浸透圧が大きくなり、それ以上の濃縮は不可能になる。そこでパーペーパーレーション法が注目されたのである。その詳細は研究速報のほうにゆずるが、結局パーペーパーレーション法の特徴は、膜があるために気液平衡関係が変化すると考えてよいという点にある。一般に2成分気液平衡関係は、温度もしくは圧力が決まると決まってしまう。これを変化するには第3成分を添加することが行われるが、添加したものは最後にはまた分離しなくてはならない。この第3成分として膜を用いるのがパーペーパーレーション法であり、この場合には最後の分離は必要でなく、気液平衡関係を有利にする膜材料を自由に選べるという利点がある。

さらにガス分離の項のところで述べた膜塔形式を用いれば、まさに蒸留塔と同じことになるのである。このような点から考えて、蒸留法がパーペーパーレーション法にかわっていく可能性もある。ただし潜熱の出入があるのであるから、これを回収するような接触方式の開発が必要であり、今後の研究開発が期待される。

7. その他の膜分離法

以上に述べてきた膜分離法のほかに、現在研究中のものにも将来有望なものがたくさんある。その1つに液体膜と呼ばれるものがあり、水や油層を膜として用い、抽出と逆抽出を一度に行うというものから、液体膜中に特定イオンのみを透過させるキャリアーを入れるという、生体膜に類似のものまで、数多くのアイデアが出されている。究極的には生体膜の機能を模擬することが目標となっている。

もう1つは田村メンブレンと呼ばれるアルコール濃縮膜があり、高周波と疎水性膜との組み合わせで高度濃縮を行う方法であり内外の注目を集めている。

8. 今後の方向

各種の膜利用技術の発展に刺激されて、通産省では次世代産業基盤技術研究開発制度における主要テーマの1つとして高効率高分子分離膜材料の開発を取り上げている。また大型プロジェクトのC1化学の中でもガス分離膜の開発を取り上げている。科学技術庁によるプロジェクトの中にも高分子膜関係のテーマが取り上げられている。このように多くの政府の研究機関で数多くの膜が開発されつつあり、諸外国での研究開発と合わせて、膜利用技術は今後急速に進められるであろう。

この中で今後重要となる研究の方向は、目的に応じた膜の設計ということであろう。単に市販の膜を取り換えて試験をしていい膜を探していく、もしくは他の目的で開発したポリマーを膜にしてテストしてみるというやり方では、新しい発展は望めない。膜透過機構の理解に基づいた膜の材料と構造とを設計し、作り上げていくことが必要となる。そしてその構造は現在のように、単に溶剤に溶解したものをガラス板上に流延して作るような大雑把な方法から、より精密な構造を持たせる製膜法に変わっていくであろう。

また材料にしても、単に合成高分子に限ることなく、数多くの材料が膜として用いられていくことであろう。このような点から考えて、より広い分野の研究者の交流と協力が必要になってくるものと考えられる。

(1983年3月29日受理)

参考文献

- 1) 村上正祥, 藤原滋, 日本海水学会誌34, No. 2, 49(1980)
- 2) 国定ら, 造水技術4No. 2, 13(1978), 5, No. 4, 11(1979), 7, No. 4, 14(1981)
- 3) Y1 Kunisada et al, Desalination 39, 413(1981)
- 4) M. Kurihara et al, ibid 38, 499(1981)
- 5) 横山晴一, 日本海水学会誌32, No. 3, 158(1978)
- 6) 松浦剛, 膜8, No. 1, 24(1983)
- 7) 岡崎素弘, 木村尚史, 化学工学協会第16回秋季大会講演旨 p. 37(1982)
- 8) J. S. Ferry, Chem. Rev., 18, 373(1936)
- 9) S. Kimura, S. Nakao, Desalination 17, 267(1975)
- 10) S. Nakao, S. Kimura, AIChEJ. 25, 615(1979)
- 11) S. Nakao, S. Kimura, J. Chem. Eng. Japan, 14, No. 1, 32(1982), 15, No. 3, 200(1982), 15, No. 6, 463(1982)
- 12) 木村尚史, 野村剛志, 膜7, No. 4, 245(1982)
- 13) I. Jitsuahara, S. Kimura, to be published in J. Chem. Eng. Japan
- 14) J. M. S. Henis, M. K. Tripodi, J. Memb. Sci., 8, No. 3, 233(1981)
- 15) Chem. Eng. Prog. p. 27~55, October(1982)
- 16) M. Ohno et al, J. Nucl. Sci. Tech., 14, No. 8 589(1977)
- 17) S. T. Hwang, J. M. Thorman, AIChEJ., 26, No. 4, 558(1980)