特集・膜ろ過技術を組み込んだ排水処理

膜ろ過技術を組み込んだ一般廃棄物処分地 浸出液処理の現状

梶 山 吉 則*

1. はじめに

近年、廃棄物の減容化と安定化のための焼却処理技術の進歩はめざましく、焼却残渣の低灼熱減量化や、灰の溶融化など埋立処分場の延命化に対する処理技術が確立されつつある。また焼却時の排ガス中の水銀、ダイオキシンなど新たな汚染物質に対しても対策が実施されてきている。排ガス中の塩化物除去処理によって発生する反応灰には、カルシウムイオン、塩素イオンを主体とした無機塩類が含まれておりこれを埋立処分する場合、浸出水に溶出してくる問題がある。

浸出水の中に高濃度の塩素イオンが溶出してくると、配管や機器類の腐食のほか生態系への影響が懸念される。特に内陸地の埋立処分場の浸出水については、水稻への塩害など農業被害が発生する恐れがあり脱塩処理の適用が求められている。

従来の埋立処分場の浸出水処理方法は、カルシウム成分を除去する凝集沈殿処理、BOD、T-Nに対する生物処理（脱窒素処理）、SSに対する凝集沈殿・砂ろ過処理、およびCODに対する凝集沈殿・炭吸着処理をそれぞれを組み合わせた方式である。この方法で現状排水基準は満足するものの、溶解塩類をも対象としたさらに高度な処理が望まれるところである。

逆浸透法（RO）による処理は塩類を除去できるのみならず、SS、有機物、N、Pをほぼ完全に除去し天然の清水に劣らない高度な水質を得ることができ、浸出水の高度処理方法として期待されている。しかし、従来のRO装置は膜が緻密に充填されており、目詰まりやファウリングをおこし易く長期の安定した運転が困難であった。また浸出水は塩濃度が

高く、スケーリングを生じ易いので、回収率を低く設定する必要があることなど実装置化のための障害が多くあった。

ロッケム社（本社：スイス）の平膜筒状のディスクチューブモジュールによる逆浸透膜処理装置「DT-モジュールシステム」は、これら問題を解決し逆浸透装置による浸出水処理装置を実用化し、欧米において多数の実績を持っている。

今回この「DT-モジュールシステム」の技術を紹介するとともに、国内の最終処分場内における実証実験の結果を報告する。

2. ロッケム社浸出水処理装置の概要

2.1 RO膜

最終処分場の浸出水に逆浸透膜処理法を適用するには、海水の脱塩と比較してスケーリングやファウリング、特に生物による劣化などに充分対応できるシステムが要求される。ロッケム社「DT-モジュール」逆浸透膜は、平膜筒状のディスクチューブモジ

図-1 「DT-モジュール」逆浸透膜の構造

* 神鋼パナテック㈱
Yoshinori KAJIYAMA

表1 「DT-モジュール」仕様

項目	仕様
膜名称	DTモジュール
膜形式	平膜ディスク型逆浸透膜モジュール
モジュール寸法	200mm径×1,000mm長
モジュール膜面積	7.6m ²
運転圧力	30, 60, 120, 200bar
流量	0.7-0.9m ³ /h
膜セット枚数	170枚/モジュール
膜材質	膜 ポリアミド
	ディスク ABS
	容器 FRP (60kg/cm ²)
	SUS (120kg/cm ²)

ジュール構造である。図-1にロッケム社「DT-モジュール」逆浸透膜の構造を、表1に仕様を示す。高塩濃度の浸出水を処理するため、60, 120, 200barの高圧モジュールがある。このような構造および仕様により次のような特長を有している。

- (1)膜表面とスペーサーディスクの間の流路が広く供給原水の前処理が簡単でよく、洗浄性も良好である。
- (2)モジュール内流路が短く、十分な乱流を発生させる形状となっており膜面の汚染によるファウリングが起きにくい。
- (3)膜の充填密度が高くコンパクトである。
- (4)膜の点検、交換は簡単で、定期的なメンテナンスはRO膜シートのみでの交換でよい。
- (5)高濃縮が可能であり、回収率を高くとれる。

2.2 処理標準フローシート

図-2に逆浸透膜による浸出水処理標準フローシートを示す。浸出水は調整池に受け入れ、pH調整、凝集・沈殿処理をして砂ろ過され、安全フィルターを通してRO装置2段により処理される。処理水はpH調整後放流槽を経て放流する。

1段目RO装置の濃縮水は、ナノフィルター（NF装置）、濃縮RO装置、晶析槽でさらに濃縮される。1段目RO装置の濃縮水は、晶析槽上澄水とともにNF装置に供給し、硫酸カルシウムを除去し透過水は濃縮RO装置でさらに濃縮される。濃縮RO装置の透過水は2段目RO装置に送り回収される。NF装置と濃縮RO装置の濃縮水は、晶析槽に返送され、過飽和のCaSO₄を晶析沈殿させ、固化処理などを行って系外へ排出する。これにより膜法のみで全体の回収率を95～97.5%まで達成できる。

このように「DT-モジュール」を用いた膜法による浸出水処理装置は、従来法に比べ次のような特長

図-2 逆浸透膜による浸出水処理標準フローシート

を有している。

- (1) COD, BOD, 窒素などを除去するのみでなく塩類、重金属、微量有害物質を除去することができ高度な処理水を得ることができる。
- (2) 濃縮RO装置、NF装置、晶析槽を用いて、相変化を伴わない膜法のみで95%以上の高回収率を得ることができる。
- (3) 適切なシステム設計により、従来法に比較して設備費、ランニングコスト、設置面積を軽減、減少することができる。

3. 実証実験

ロッケム社の「DT-モジュールシステム」は、欧米においてすでに100プラントを越える実績を有している。国内においてもこのシステムの性能を確認するため、国内の処分場浸出水を用いて実証実験を行ってきたので報告する。

3.1 実験設備

表2に実験設備仕様を、図-3実験設備フローシートを示す。既設浸出水処理場の浸出水ピットより前処理なしで直接砂ろ過器に供給し、安全のためミクロンフィルタを通しpH調整後「DT-モジュール」に供給される。モジュールは2段に配置され、1段目の透過水は2段目に供給され、再度脱塩して高度な透過水を得ている。この透過水は一度処理水タンクに貯留しpH調整後放流される。2段目の濃

表2 実験設備仕様

供給原水量	30m ³ /D
1段目RO装置	本数 2ブロック×6本 運転圧力 max.65bar
2段目RO装置	2列×2本 運転圧力 max.65bar
NF装置	本数 1本 運転圧力 20-40bar
濃縮RO装置	本数 1本 運転圧力 max.200bar

図-3

実験設備フローシート

縮液は1段目の供給ラインへ返送される。1段目の濃縮液は、一部濃縮実験に使用し、他は処分場へ返送している。

濃縮実験は、1段目濃縮液を一部晶析槽に受け入れ、NF装置に供給し透過水は中間槽を経て濃縮RO装置へ供給され、濃縮液は晶析槽に返送される。濃縮RO装置によりさらに濃縮された濃縮液は晶析槽に返送され、過飽和の濃縮スラリーとして取り出される。また濃縮装置の透過水は、放流している。

3.2 運転結果

図-4に透過水量とモジュール差圧の経時変化を示す。装置運転は、1段目、2段目の各透過水量と回収率を一定に制御し運転を行ったものである。なお透過水量は温度補正をしていない。運転経過約180時間毎に薬品洗浄を実施している。

1段目、2段目の透過水量の低下はなく一定にコントロールされており、膜面循環差圧についても1段1ブロック、2ブロックとも初期の差圧よりわずかに増加した程度であり、2段目については差圧の上昇は起こっていない。

濃縮装置の運転については、1段目RO装

置の濃縮液の1部を連続処理し、システムの回収率として95%で運転している。

3.3 処理水質

高度処理を目的として実験した逆浸透膜処理の水質評価として、水道基準に関する省令(平成4年12月21日厚生省令第69号)に基づき水質分析を行った。表3に基準項目の水質分析結果を示す。また表4に水道基準項目以外の水質分析結果を示す。

供給原液温度 25.8~34.2℃
pH 5.6~6.2
電気伝導度 22.5~31.4ms/cm

図-4 透過水量とモジュール差圧の経時変化

表3 水道基準項目の水質分析結果

項目 (水道法基準項目：健康関連)	浸出水	逆浸透膜処理水	基準値
1 一般細菌 (個/ml)	170	5	100
2 大腸菌群 (個/100ml)	陰性	--	不検出
3 カドミウム (mg/l)	0.002	--	0.01
4 水銀 (mg/l)	0.00005以下	--	0.0005
5 セレン (mg/l)	0.005 以下	--	0.01
6 鉛 (mg/l)	0.005 以下	--	0.05
7 砒素 (mg/l)	0.005 以下	--	0.01
8 六価クロム (mg/l)	0.005 以下	--	0.05
9 シアン (mg/l)	0.002	--	0.01
10 硝酸性及び亜硝酸性窒素 (mg/l)	2.2	--	10
11 フッ素 (mg/l)	0.10	--	0.8
12 四塩化炭素 (mg/l)	0.002 以下	--	0.002
13 1,2-ジクロロエタン (mg/l)	0.0004 以下	--	0.004
14 1,1-ジクロロエチレン (mg/l)	0.002 以下	--	0.02
15 ジクロロメタン (mg/l)	0.007	--	0.02
16 1,1,2-ジクロロエチレン (mg/l)	0.004 以下	--	0.04
17 テトラクロロエチレン (mg/l)	0.001 以下	--	0.01
18 1,1,2-トリクロロエタン (mg/l)	0.0006 以下	--	0.006
19 トリクロロエチレン (mg/l)	0.001 以下	--	0.03
20 ベンゼン (mg/l)	0.001 以下	--	0.01
21 クロロホルム (mg/l)	0.001 以下	--	0.06
22 ジブromクロロメタン (mg/l)	0.001 以下	--	0.1
23 ブロモジクロロメタン (mg/l)	0.001 以下	--	0.03
24 ブロモホルム (mg/l)	0.001 以下	--	0.09
25 塩トリハロメタン (mg/l)	0.001 以下	--	0.1
26 1,3-ジクロロプロペン (mg/l)	0.0002 以下	--	0.002
27 シマジン (mg/l)	0.0003 以下	--	0.003
28 テウラム (mg/l)	0.001 以下	--	0.006
29 テオベンカルブ (mg/l)	0.002 以下	--	0.02
項目 (水道法基準項目：性状関連)	浸出水	逆浸透膜処理水	基準値
30 亜鉛 (mg/l)	0.022	--	1.0
31 鉄 (mg/l)	5.1	0.03 以下	0.3
32 銅 (mg/l)	0.005	--	1.0
33 ナトリウム (mg/l)	2900	23	200
34 マンガン (mg/l)	3.3	0.005 以下	0.05
35 塩素イオン (mg/l)	8300	68	200
36 硬度 (mg/l)	2450	2.11	300
37 高発酵留物 (mg/l)	15000	110	500
38 陰イオン界面活性剤 (mg/l)	0.21	0.02 以下	0.2
39 1,1,1-トリクロロエタン (mg/l)	0.001 以下	--	0.3
40 フェノール類 (mg/l)	0.07	0.005 以下	0.005
41 過剰な塩素消費量 (mg/l)	375	1.9	10
42 pH値 (°)	7.2	6.9	5.8~8.6
43 味	--	--	異常でない
44 臭気	含臭臭	無臭	異常でない
45 色度 (度)	450	1 以下	5
46 濁度 (度)	40	0.5 以下	2

表4 水道基準項目以外の水質分析結果

項目	浸出水	逆浸透膜処理水	除去率 (%)
1 CODMn (mg/l)	84.8	1.0以下	98.8以上
2 BOD (mg/l)	27.9	5.0以下	82.1以上
3 硝酸イオン (mg/l)	20以下	0.10以下	99.5以上
4 リン酸イオン (mg/l)	20以下	0.10以下	99.5以上
5 アンモニウムイオン (mg/l)	196	4.28	97.8以上

浸出水が基準値をオーバーしている項目について、逆浸透膜処理水の分析結果を記載した。これに

よりすべての項目で逆浸透膜処理水は、水道水質に関する水質基準（健康に関する項目、水道水が有すべき性状に関連する項目）を満足している。特に高度処理の目的でもある塩素イオンに対する除去率は、99.3%であり非常に効果的である。またカルシウム、マグネシウム（硬度）の除去率も99.9%と非常に高く、モジュールの独特な構造によりスケールリングなどの問題もなく有効に処理することができた。また快適水質項目、監視項目についても同様に浸出水の目標値、指針値のオーバーしている項目について逆浸透膜の除去効果を測定したがすべて目標値、指針値を満足する結果を得た。

3.4 濃縮水の処理

最終濃縮水の処理方法については、(1)処分場返送法、(2)蒸発乾固法、(3)有機物回収法、(4)固化法、(5)バイポーラ膜法、(6)溶融法等が考えられすでにその研究を進めている¹⁾。実用化に際しては、安定性、経済性など検討を行い採用する必要がある。ドイツにおいては、濃縮水を処分場にそのまま返送する方法、焼却灰などと混練固化し処分場に戻す方法、蒸発缶で蒸発乾固し、袋詰めにして廃坑などで保管する方法、焼却炉で焼却処分する方法が行われている²⁾。

4. おわりに

逆浸透膜処理法「DT-モジュールシステム」は、浸出水を砂ろ過、pH調整後直接処理可能であり、処理水は水道水質に関する基準を十分満足する水質が得られ、浸出水の高度処理として安全で環境にやさしい処理方式といえる。

今後、最終処分場の設置は益々困難となって来ると考えられるが、環境を守り、環境にやさしい浸出水の処理にこの画期的な「DT-モジュールシステム」が国内において評価され、広く採用されることを期待する。

参 考 文 献

- 1) 花嶋正孝ら：埋立浸出水の膜処理に伴う濃縮水処理対策について、第18回全国都市清掃研究発表会、(1997)。
- 2) 牛越健一：ドイツにおける浸出水の膜処理技術、第7回廃棄物学会、研究委員会埋立部会小集会「埋立地における高塩類問題と技術的対応」(1996)。