下水処理について*

沢 田 徹 一 (東京都水道局)

下水処理とは下水の放流される水域を汚染しないようにすることを目的とする。近年都市下水並に工場廃水による河海の汚濁問題がわが国においても大きな社会問題として取りあげられるようになった。かかる問題は夙に欧米で注目され、英米などでは以前から海河水質の汚染防止に対し、立法的措置を講じて来ている。現在日本でもこの方向に関心が向けられて来たことは、文化的に一步前進したことになる。

下水、廃水の無処理、無制限の排出が、水資源の大きな損失を招くことは説明する迄もなく、如何に河海それ自身に自然酸化力が強くても、過度の汚染に対してはその負担に堪えられない。即ち腐敗現象を起し、色は黒変し悪臭、悪ガスを発生し、外観的にも衛生的にも面白くない上に、魚介藻類の生存繁殖を妨げ、農耕用水にも利用出来なくなる。お茶の水の風致区域、墨堤の桜は神田川、隅田川の汚染によって打ち壊されているし、大阪市の上水道は淀川の汚染によって危殆に瀕している。又日本の随所に見られる、工場側から漁民農民に支払われる莫大な被害保償は何を物語るものであろうか。

ここに工場廃水処理の基幹ともなる下水処理について述べさせて頂き、これが何かの参考ともなれば幸甚であると思う。

1. 下水水質の特徴

先ず処理施設の種類、処理の程度をきめるには、内的には処理すべき下水の濃度と水量を検討し、外的には処理場の位置とその環境、特にその放流水面の状況を検討せねばならない。その中で最も大切なのは下水の性質であろう。故に次にその特徴を挙げて見る。

(1) 下水中には有機物が多い。しかも非常に分解され易い状態にあるものが多く、環境に応じて腐敗還元の方にも、又浄化酸化の方向にも向き易い。

(2) 下水中には溶存酸素が少ない。故にそのままでは多かれ少なかれ腐敗還元の方向に向っている。

(3) 下水は緩衝せられている。これは腐敗の最初に有機酸並にその塩類の生じるためであって、多少の酸、アルカリの混入又は稀釈によっては pH 値があまり変化しない。

(4) 下水の B. O. D. は高い。B. O. D. とは生物化学的酸素要求量のことであって、普通 20°C、5 日間の B. O. D. で発表する。B. O. D. の高い水は、普通 C. O. D. (化学的酸素要求量) も高いが必ずしも B. O. D. と比例していない。

(5) 下水は膠質溶液である。故に幾日間静置しても透明にはならない。

(6) 浮遊物質、窒素系化合物、塩化物、硫化物、油類等も自然水に比して多く含まれている。

(7) 一般細菌、大腸菌群、原生動物等の微生物が多く含まれ、時に消化器系伝染病原菌をも含む恐れがある。

(8) 工場廃水を相当に受入れている下水中には、シアン化物、フェノール類其の他金属イオンが存在することが多い。それ等のものは微量であっても、下水の酸化浄化に有害であることが多い。

(9) 水質は一日中で時間的に変化を伴う。

以上、一つの特徴は他の特徴に関連しているものもあるが、大凡のことはおわかりであると思う。第 1 表に生下水が沈殿処理及びこれにつづく活性汚泥法処理を受けるとどう変化するかを示し、第 2 表で主要成分の減少率を示した。試験法は日本水道協会協定の下水試験法に依ったものである。又第 1 図は生下水の B. O. D. 及び浮遊物質の時間的変化を示したものである。

2. 処理施設

沈砂池、スクリーン、沈殿池は機械的浄化施設で、エアレーションタンクや散水濾床は生物化学的処理施設である。普通これらを組合わせるのであるが、沈砂池から沈殿池までを第 1 次処理又は予備処理と称し、生物化学的処理を第 2 次処理又は高級処理と言う。

処理施設の容量は下水水量とその水質によって決められ、そのうち水量は計画 1 日 1 人当下水量、計画人口、雨

* Sewage Treatment.

By Shoichi SAWAD (The Mikawashima Sewage Treatment Plant, Tokyo City)

第 1 表 生下水、沈殿下水、活性汚泥処理水の平均
水質例

試験項目	検 水	生下水	沈殿下水	処理水
水 温(°C)		21.07	21.36	21.45
色 相		暗灰色	淡暗灰色	淡黄灰色
臭 気		悪 臭	微悪臭	なし
pH 値		6.89	6.90	7.07
蒸発残留物(p.p.m.)		936	909	1121
熱 灼 "		483	591	756
熱 灼 減 量 "		451	390	365
溶解性物質		659	732	1087
浮遊物質		278	177	34
溶 存 酸 素 "		1.13	0.70	2.12
B. O. D. "		199	152	5.18
総 窒 素 "		35.00	32.48	13.99
アンモニア 性窒素		18.81	22.60	11.75
亜硝酸性窒素		0.25	0.19	0.29
硝酸性窒素		0.11	0.17	0.30
アルブミノ イド窒素		6.75	4.64	0.31
有機性窒素		9.09	4.98	1.34
塩素イオン		262	306	394
硫化物(ヨウ 素消費量)		52.03	50.19	6.58
油 類		21.80	10.00	2.96
一般細菌数 (1 cc 中)		22,640,000	26,060,000	161,000
赤藤赤変菌数 (1 cc 中)		57,200	78,200	238

本成績は三河島下水処理場、昭和 30 年度の成績の一部である。

産地として確保すべきものか等の差によって、処理程度の目標を選定すべきものである、著者の提案する方法を次ぎに述べて見よう。

例えば第 3 表は各処理施設の B. O. D. 及び浮遊物質の除去率の範囲を示したものである。これを基準として

第 2 表 沈殿水並に活性汚泥法処理水の成分減少率
の例

試験項目	検水	沈殿水	活性汚泥法処理水
減少率%	生下水に 対し	生下水に 対し	沈殿水に 対し
浮 遊 物 質	36.7	83.7	81.0
B. O. D.	23.6	97.5	96.8
総 窒 素	7.21	60.5	41.7
アルブミノイド窒素	31.3	92.5	91.3
有機性窒素	45.7	85.3	73.0
硫 化 物	3.53	87.5	84.1
油 類	48.7	86.5	70.4
一 般 細 菌 数	14.3*	99.0	99.4
遠 藤 赤 変 菌 数	36.7*	99.5	99.7

* 印は増加

水量、地下水量、工場廃水量等を基礎とする。又水質の方では浮遊物質量は沈殿池の設計に関係し、B. O. D. 等は高級処理施設の負荷に関係する。工場廃水等は水質に特に考慮を払わねばならない。

次に要求される処理の程度と言うことも、処理施設の規模に関係して来る。下水を放流する河海の水の現状及びその使命を害さない限り、下水を完全に処理する必要はないのであって、出来るだけ経済的にもってゆくべきであろう。放流口の下流に上水道の取入口があれば別として、その水が舟運のためのみか、水泳又はリクリエーションのためのものか、又は魚介海藻の

第 1 図 2 時間間隔で調査した生下水中の B. O. D. 及び浮遊物質の変化の一例

第 3 表 各種処理施設の B. O. D. 及び浮遊物質の除去率(%)

施設名	判定項目		B. O. D. 浮遊物質	
	スクリーニング		5~10	10~20
最初沈殿池	{	普通	30~40	45~60
		薬品	60~75	70~90
散水濾床 (最終沈殿池を含む)	{	標準散水	70~90	80~90
		高速散水	70~90	70~90
活性汚泥法 (最終沈殿池を含む)	{	標準曝気	85~95	80~95
		短時間曝気	65~85	70~90
塩素処理			15~40	—

註 1. 除去率は生下水を基準とした。
 2. 散水濾床及び活性汚泥法は第一次処理を前提としている。
 3. 塩素処理は生下水又は沈殿水を処理した場合を言う。

F ……下水の放流水面による稀釈倍数, 即ち a/c

b, d, S ……水質成分であって, B. O. D. を主として用いるが浮遊物質を用いてもよい。此の場合両者を共に満足せしめる方の除去率で考える。

かくて f なる除去率以上の能率を持つ処理施設を採用すべきであろう。

例えば $F=20$, $b=2$ p. p. m., $d=200$ p. p. m., $S=4$ p. p. m. の場合は 78% の除去率を必要とし, 散水濾床法か活性汚泥法を採用する必要がある。この場合の水質成分は B. O. D. を用いたものである。

次に各施設について概説することにする。

(1) 沈砂池: 沈砂池では下水に混入して来る土砂, 砂礫を沈殿せしめ除去する。流速を少し速目にして (30 cm/sec), 混在する微小有機物を沈殿させないようにする。沈砂の排出は人力又は機械的方法 (例えば各種の浚渫機) によって行う。沈砂は埋立処分をする。

(2) スクリーン: スクリーンは粗大な固形物 (木片, 竹片, ボロ, 紙, 野菜屑, 布片, 藁屑其の他) を除去する施設である。普通バースクリーンが用いられ, その間隔はいろいろである。その掻取りは手掻き又は機械的装置で行われる。除去したものを篩渣と称し, 埋立又は焼却処分される。

(3) 最初沈殿池: 高級処理後の最終沈殿池に対して, これを最初沈殿池と言う。ここでは下水中の微小な浮遊物質を沈殿除去させる。これは大部分が有機質であるために B. O. D. も可なり減少する。流速は沈砂池よりも遅く 30 cm/min 位とし, 常流的に行い滞留時間を普通 2 時間位にとる。薬品沈殿池は, この池に入る下水に硫酸アルミニウム, 其の他の凝集剤を混入する設備を有し, 沈殿能率を非常によくしたものである。又二階槽は上槽を沈殿池とし, 下槽を消化槽としたもので, その代表的なのはイムホフ槽である。

沈殿池の排泥は人力又は機械力によって掻集めて行うが, 二階槽の場合はその必要がなく底部をホッパーとして水圧のみで排泥する。汚泥の処理は消化槽で醗酵させるのが本筋である。この消化汚泥又は生汚泥は普通, 乾燥床で天日乾燥をして, 粉碎した上堆肥又は堆肥材料として農村で利用せられる。総窒素 2~3% の有機質肥料である。

(4) エアレーションタンク (活性汚泥法): 活性汚泥法とはエアレーションタンクにおいて, 最初沈殿池の上澄水に, 活性汚泥を適量に加えて, 常流式に数時間曝気してこれを最終沈殿池に導き, 活性汚泥を沈下分離せしめて, 上澄水を放流せしめる方法である。沈下分離した活性汚泥は集めて返送し, 沈殿水に混じて浄化を継続する。曝気を行う槽のことをエアレーションタンクと称し, この中で下水中の有機物は活性汚泥によって吸着並に生物化学的酸化を受けるのである。この際に必要な空気中の酸素は, 低圧空気を散気版又は散気管によって吹き込む散気式とか, パドル式とか, 翼車式とかいろいろの方式によって供給される。

活性汚泥とは好氣的細菌及びプランクトンを多数に含んだ汚泥であって, 最初は下水又は下水汚泥を稀釈したものに対し, 2~3 週間曝気のみをやると浄化菌及び微生物が充分繁殖した汚泥様のものを生じ, これを静置すると沈殿し, 且つ上液が澄明になる。この沈殿物即ち活性汚泥を下水に加えて曝気すると, 僅か数時間で下水が浄化される。この活性汚泥を循環使用して連続的に下水を浄化してゆくのである。

尚, 曝気量をタンクの場所によって異らしめる方法 (テーパードエアレーション), タンクの途中からも下水を注加する方法 (ステップエアレーション), 短時間の曝気を行う方法 (高速エアレーション) 等の変法がある。

次のように放流水面の放流水に対する稀釈倍数から見た下水成分の希望される除去率を算定して, 施設の種類及び処理程度を計画することが出来る。

即ち放流水面の現在の水量を a , 水質成分を b とし, 生下水の水量を c , 水質成分を d とする。今この水面の水質成分を S 以下にしたい, 即ち少なくとも S に止めたいと思うときには, 次の式が満足されなければならない。

$$f = \frac{F(b-S) + d - S}{d}$$

式中 f ……小数単位であらわした水質成分の除去率

いずれの場合も大切なのは活性汚泥の混合割合、曝気時間、曝気の程度を下水の水質、特に B. O. D. に対して適正ならしめることである。普通の家庭下水なら活性汚泥 15~25% (30 分静置後の容量百分率)、曝気時間 4~6 時間、タンクの B. O. D. 負荷 $0.4\sim0.6\text{ kg/m}^3$ 、空気量の B. O. D. 負荷 $20\sim30\text{ kg/1000 m}^3$ である。

(5) 散水濾床：最初沈殿池の処理下水を 1.5~2m 位の碎石の積層上に散水通過させ、之を最終沈殿池で再沈殿せしめて放流する方法である。碎石は固い岩石 (例えば安山岩) の平均 5~6 cm の径のものをを用い、碎石内に充分空気の流通するようにする。碎石表面には好気的の細菌、微生物が棲息するようになり、之に散布された下水はフィルムになって点滴流下する。その場合、碎石の表面の微生物による吸着並に生物化学的酸化分解をうけて下水は浄化せられる。

散水法に固定ノズル式とか、回転アームによるものとか、走行式散水機によるものとか、いろいろの方法がとられる。又回転アームによる場合は電動機で回転させる方法と、自己の噴射水圧で回転するものがある。これも亦 B. O. D. 負荷や、水質濃度によって散水量、散水速度を決めなければならない。普通 $3\sim5\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ のものを標準型と言っている。この m^3 は濾床の単位面積を言う。

尚、高速散水濾床法と言うものもある。之は単位面積当りの散水量を標準型のものより 3~6 倍位にしたもので、勿論浄化率は標準型よりも少し劣るが、放流水面がそれを許容する場合に用いられる。

散水濾床法には、その他 2~3 段濾床法 (多段濾床法) と言って、2~3 回濾床を通す方法や、循環法と言って処理水の一部分を返送して、それ自身の生下水を稀釈して散水する方法等もある。濃厚な工場廃水処理にもよく用いられる方法である。

(6) 最終沈殿池：活性汚泥法のエアレーションタンク又は散水濾床の処理水を再沈殿して、放流水の仕上げ、活性汚泥の回収をなす施設で、大体構造及び機能は最初沈殿池に準ずるものである。この場合は凝集剤は使用しない。

(7) 汚泥消化槽：最初沈殿池の汚泥、最終沈殿池の汚泥及び剰余活性汚泥は汚泥消化槽で嫌気性菌による醗酵処理をしてから処分することが普通である。汚泥を消化槽にて処理する目的は汚泥の容積を減少せしめ、さらさらした乾燥し易いような状態にし、悪臭を取除くためで、その消化日数は槽温の保ち方によって異なる。大体 30° で 30 日間、 35° で 25 日間、 40° で 20 日間、 45° で 15 日間と言うのが標準であると思う。この温度は消化によって発生するメタンガスを用いて加温するのである。又このガスを動力源に使用している所もある。

消化槽に汚泥を投入する前に汚泥濃縮槽にて、水分を出来るだけ除く方がタンク容量を活用出来る。大体水分 97~99% の汚泥を水分 85~90% に出来れば都合がよい。

消化槽の設計には人口 1 人 1 日当濃縮汚泥の発生量及び消化日数によって決まり、尚検討せねばならない事項に計量、予熱、植種、スカム防止、加熱法等がある。又発生ガスの利用については収集、抽出、脱硫、貯留、燃焼施設を検討せねばならない。ガスの発生量は濃縮汚泥の質及び量によって予想出来る。

(8) 急速砂濾過池：この施設は下水の高級処理水を工業用水に利用せんとする場合に必要であって、これは上水の使用している砂の逆流洗滌の利く方法である。ここに特記するのは東京都の三河島下水処理場では、この施設によって附近の製紙会社に 1 日 $15,000\text{ m}^3$ の下水処理水を工業用水として配水していることである。この例は米国のボルチモア市の下水処理水を、附近の製鉄会社に配水しているのがあるだけである。

3. 処理施設の配置例 (フロウ・ダイヤグラム)

第2図 第一次処理 (附 消化槽)

第4図 散水濾床法 (附 消化槽)

第3図 活性汚泥法 (附 第一次処理放流及び吐口ポンプ)

第5図 各処理施設の断面図の一例