

酒精 廢水處理의 技術現況

金 丁 勛
(KAIST · 先任研究員)

洪 旭 熹
(KAIST · 研究員)

I. 序 論

酒精工場에서 발생하는 廢水는 주로 醱酵基質의 前處理 過程에서 발생하는 廢水, 糖化와 醱酵工程으로부터의 세척廢水, 醱酵後 酒精을 蒸溜하고 남은 蒸溜廢液과 기타 고용인원의 생활에 의한 일반 下水가 있다. 이 중 蒸溜廢液을 제외한 다른 廢水는 濃度도 낮을뿐 아니라 일반 도시하수와 그 性狀이 별로 다를 바가 없어 널리 확립된 일반적인 도시하수의 處理技法으로 그 해결방안을 찾을 수 있으나 蒸溜廢液은 발생량이 많을 뿐만 아니라 대단히 高濃度인 관계로 특히 문제점으로 등장되고 있다. 근래에 이르러서는 미생물 醱酵에 의한 에탄올이 대체 에너지로서 각광을 받기 시작하여 브라질을 필두로 호주, 필리핀, 泰國, 美國 등의 나라들이 액체 연료로서의 에탄올 생산을 고려하게됨에 따라 蒸溜廢液의 處理技法에 대한 관심도는 더욱 높아지고 있다. 蒸溜廢液은 그 性狀이 원료와 工程에 따라 변화가 심할뿐 아니라 工場의 立地 地形條件과 經濟 社会的인 條件에 따라 적합한 處理技法이 확연히 달라지기 때문에 標準的인 處理工程이란 것이 틀에 짜여 제시될 수가 없다. 특히 이 蒸溜廢液의 處理를 위해서 資源 再活用을 위한 工法이 많이 研究 開發되어 있으나 우리나라에서 시도된 技法은 그리 많지 않고 또한 모든 技法

이 다 우리나라에 적용이 가능하지도 않을 것이다. 여기에서는 酒精工場에서의 廢水발생경로를 살펴보고 폐수의 物理化學 生物學的인 處理와 資源再活用の 技術現況을 소개하기로 한다.

II. 廢水發生 經路

에탄올 제조공정은 크게 醱酵基質의 前處理, 糖化, 醱酵, 蒸溜의 4 단계로 나눌수 있다. 원료에 따라 공정에 다소 차이가 있으나 Cassava를 이용한 생산공정과 폐수 배출경로의 예를 圖示하면 그림 1과 같다.

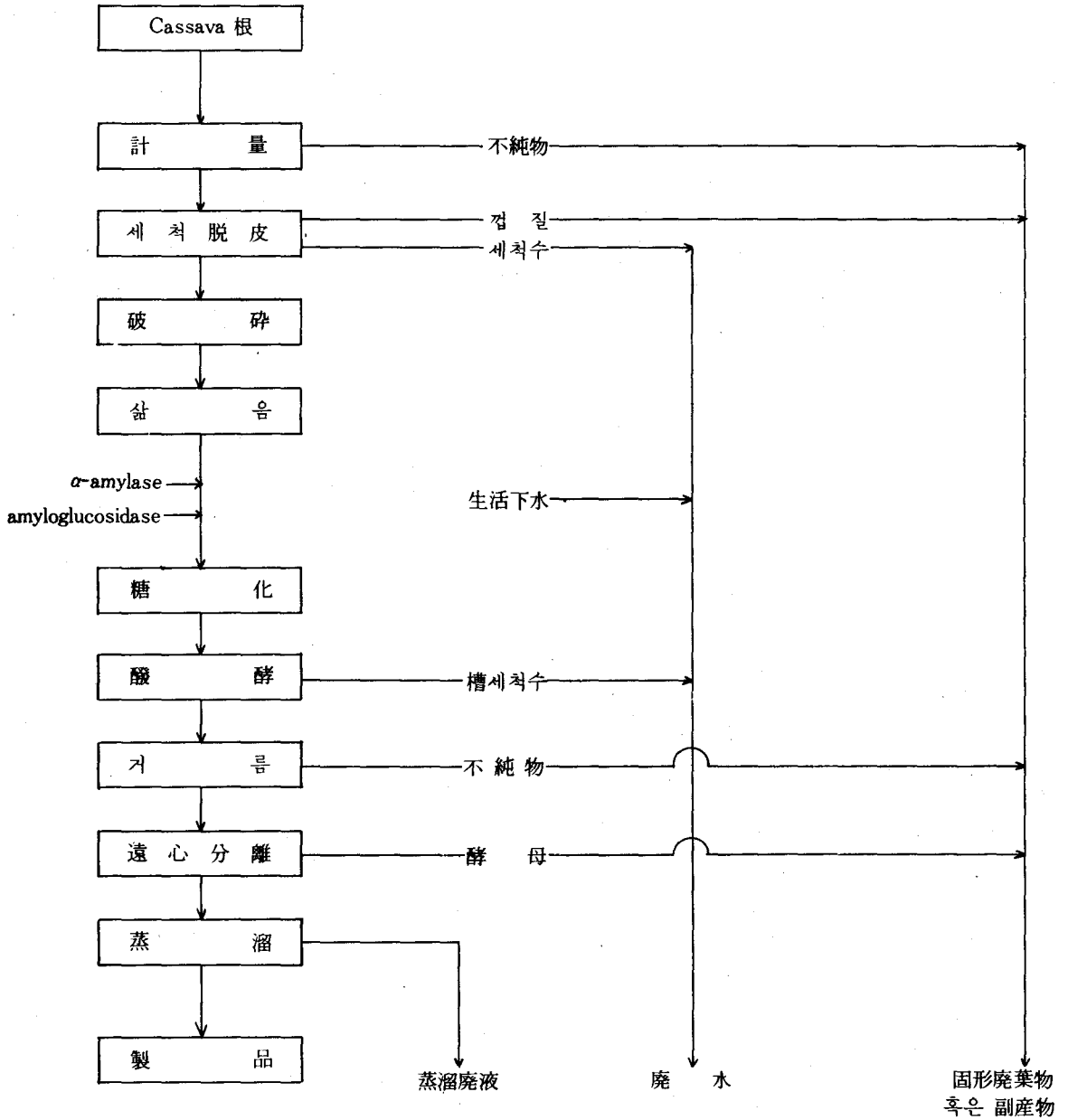
1. 前處理

前處理는 糖化와 에탄올 醱酵를 촉진할 수 있도록 분순물을 제거하고 基質의 표면적을 크게하는데 목적이 있다.

수확된 원료를 요구되는 시기까지 적절히 보관해야할 필요가 있을 때에도 前處理를 한다. 고구마나 Cassava는 澱粉으로 가공하여 장기 보관하거나 건조 가공하여 일정기간 보관하기도 한다.

前處理 過程에서는 껍질을 벗기고 세척하는 공정에서 주로 폐수가 生成된다.

그림 1. Cassava알코홀의 생산공정과 폐수 배출경로



2. 糖化와 醱酵

酵素를 이용하는 糖化工程의 경우 배출되는 폐수는 거의 생각하기 어려울 정도이나 에탄올 醱酵시에는 때때로 醱酵槽를 세척하여야 할 필요가 생기므로 폐수가 발생한다. 또 醱酵후에는 酵母와 未醱酵基質 물질을 제거하기 위한 Screening과 원심분리의 과정에서 약간의 固形廢葉物과 폐수가 발생할 수 있다. 이때 배출되는 固形廢葉物은 가축의 사료로 전환하면 그 부가가치를 높일 수 있다.

3. 蒸溜

醱酵基質에서 酵母와 未醱酵基質을 제거하고 다시 알코올을 제거하고 남은 폐액이 蒸溜廢液이다.

蒸溜廢液은 생산되는 無水 알코올의 10~12 배까지 달하는데 에탄올 醱酵의 효율을 높이지 못하는한 그 양을 줄이기 어렵다.

蒸溜廢液의 일반적인 특성은 高濃度, 高酸度, 高溫으로 대표된다 하겠다.

1 일 60kl의 에탄올을 생산할 때 발생하는

표 1. 蒸溜廢液의 일반적인 性狀

단위 : g/l(pH, Temperature제외)

項 目	糖 蜜		穀 類		포 도 주		고 구 마
	범 위	평균	범 위	평균	범 위	평균	범 위
pH	3.5-5.7	4.2	3.8-7.5	5.4	3.9-4.5	4.1	3.9-4.3
Temperature (°C)	80-105	94	42-95	73	-	-	90-103
Total solids	21-140	78.5	20.5-47.3	33.8	24-125	62	24-40
Volatile solids	40-100	58.9	24-36	29.5	-	29.5	19-34
Suspended solids	1-13	5.1	-	11.4	0.2-0.9	0.55	-
Dissolved solids	25-110	56.9	-	-	-	22	-
Crude Fibre	-	-	-	10	-	-	-
Ash	16-40	28.9	-	3.6	-	-	-
Volatile fatty acids(as acetic)	0.7-5.5	2.18	1.8-2.4	2.10	-	0.75	-
Reducing sugars	14-45.0	26.50	10.9-30.5	24.0	-	-	-
Fats and oils	-	-	-	2.9	-	-	-
Total nitrogen	0.6-8.9	1.78	0.2-1.9	0.98	0.4-1.0	0.69	1.0-2.0
Orgnic nitrogen	0.6-8.7	1.94	1.4-2.1	1.73	-	-	-
Ammoniacal nitrogen	0.04-0.89	0.26	0.01-0.09	0.05	0.01-0.05	0.03	-
Sodium(Na ₂ O)	0.13-2.51	1.04	-	-	-	1.34	-
Potassium(K ₂ O)	4.80-22.59	10.73	-	-	-	16.46	-
Calcium(CaO)	1.26-6.70	3.52	-	-	-	1.34	-
Magnesium(MgO)	0.66-2.35	1.63	-	-	-	2.35	-
Phosphorus(P ⁵⁺)	0.026-0.326	0.168	0.039-0.087	0.063	-	1.17	0.04-0.10
Silicate(SiO ₂)	-	1.51	-	-	-	0.51	-
Chloride(Cl ⁻)	0.68-7.39	3.79	-	-	-	1.34	-
Sulphates(SO ₄ ²⁻)	1.56-6.60	4.36	-	-	-	3.64	-
Total Iron(Fe ²⁺)	0.001-0.120	0.690	-	-	-	-	-
Copper(Cu ²⁺)	0.004-0.030	0.014	-	-	-	-	-
Zine(Zn ²⁺)	0.027-0.225	0.115	-	-	-	-	-
COD	15-176.0	77.7	-	-	-	-	22-37
BOD ₅	7-95.0	35.7	15-340	22.2	-	12.3	16-24

蒸溜廢水의 BOD(生化學的 酸素要求量)는 인구 100만의 도시에서 배출되는 BOD량과 같으며 브라질의 경우 1977년 Gasohol 생산으로부터 방출된 BOD부하가 인구 5,000만명분에 달하였다.

蒸溜탑에서 방출되는 蒸溜廢液은 90°C 이상의 高溫이며 따라서 박테리아나 바이러스에 의한 위생상의 문제는 크지 않고 重金屬類나 PCB같은 有害物質도 포함되어 있지 않으며 無機塩의 함량이 높기 때문에 비료나 사료, 또는 특별한 미생물 생산을 위한 醱酵基質로서 충분히 再活用 가치가 있다. 원료에 따른 蒸溜廢液의 대략적인 性狀은 표 1에 나타난 바와 같다.

4. 生活下水

酒精工場에서도 庸用인원의 생활에 의한 下水가 발생한다. 그러나 그 양은 蒸溜廢液 및 기타 공정폐수의 규모에 비해 극히 적으므로 그 處理에 특별히 신경을 쓰지 않아도 厭穢을 정도이다.

Ⅲ. 廢水處理技術現況

酒精工業 廢水處理의 特點은 주로 다량의 高濃度 廢水인 蒸溜廢液의 處理에 모아지며 기타 폐수는 일단 蒸溜廢液을 資源 再活用이나 기타의 방법으로 도시하수나 일반 산업폐수의 수준으로 處理한후 合流시켜 일반 도시하수의 處理技法으로 處理할 수가 있다. 따라서 여기에서는 蒸溜廢液의 特殊處理技法에 대해서만 檢討하기로 한다.

蒸溜廢液은 直接 活用되기도 하고, 物理·化學的 處理로 固形物을 分離해 내어 固形物은 資源 再活用을 하고 나머지 廢水는 일반적인 技法으로 處理하기도 하며, 生物學的인 方法으로 處理하기도 한다.

1. 直接活用法

高濃度의 蒸溜廢液을 處理하는데 많은 어려

움이 따르므로 인하여 處理하지 않고 直接 活用하는 技法이 많이 연구 시도되어 왔다.

(1) 再循環

蒸溜廢液을 工程에 再循環시킬 수 있으면 處理해야할 분량을 줄일 수 있다. 蒸溜廢液은 糖蜜의 회석수로서 사용이 가능한데 이로써 廢水의 量을 줄임은 물론 영양소 첨가량과 熱量 所要를 줄일 수도 있다. Dubey에 의하여 蒸溜廢液의 50%까지도 再循環이 가능하였다고 한다.

(2) 土地撒布

農業灌溉用水 및 비료용으로 土地에 直接撒布할 수도 있는데 이 때 다음과 같은 잇점을 꼽을 수가 있다.

① 높은 칼슘과 마그네슘 함량으로 土質의 酸性化를 防止한다.

② 土地의 水分 保持能力을 증가시킨다.

③ 土地의 無機塩 保持能力을 증가시킨다.

④ 肥沃度를 증가시킨다.

⑤ 土壤 微生物군을 활성화시킨다.

土地撒布의 負荷量은 土質, 作物, 氣候등에 따라 다를 것이나 각국의 예를 살펴보면 다음과 같다.

브라질 상파울로지역에서는 4년에 한번, 作物을 심기 4주전에 撒布하되 pH가 4이하인 농지에서는 ha당 1000m³, pH가 4~5인 농지에서는 ha당 830m³, pH가 5이상인 농지에서는 ha당 650m³ 이하의 蒸溜廢液을 撒布하도록 권고하고 있다. 撒布地域에서의 사탕수수 수확이 非撒布地域에서보다 2~10배 많았으나 過撒布地域에서는 파리의 번식이 문제점이었다고 한다.

Dubey(英國)는 蒸溜廢液을 1280m³/ha-year의 負荷率로 2주간 간격으로 撒布하되 石灰를 뿌려 惡臭를 防止하고 발갈이하여 뒤엎는 방법에 대해서 논의하였다.

호주에서는 土壤의 塩度 증가와 사탕수수의

質의 低下를 이유로 $12\text{m}^3/\text{ha}$ 의 撒布率이 上限線으로 거론되기도 했으나 이보다 훨씬 높은 撒布率도 연구 중이다.

土地撒布를 위해서는 工場 인근에 넓은 農地가 있어야 하겠고 雨期에는 撒布할 수 없다는 制限條件이 따른다. 送水管을 설치하여 撒布할 수도 있다.

(3) 乾燥, 燒却

蒸溜廢液은 乾燥시킨후 사료나 비료로 사용할 수가 있고 또는 燒却하여 칼리(K)분을 回收할 수도 있다.

蒸溜廢液에 石灰石을 섞어 中和시킨후 水分을 蒸溜시켜 비료로 사용하기도 한다.

蒸溜廢液을 固形物濃度 70~80%로 濃縮시킨후 K_2CO_3 로 中和시키고 低温炭化하여 活性炭을 생산하고 KCl 과 K_2SO_4 용액을 回收하여 비료로 사용하는 工程도 개발되었다.

蒸溜廢液을 연료와 혼합하여 태워 熱은 이 용하고 재는 비료로 이용하는 방법도 있다.

프랑스에서는 蒸溜廢液을 60% 농도로 濃縮시킨후 $2.5\sim 3\text{ton}/\text{ha}$ 의 撒布率로 비료로 사용하기도 한다.

(4) 미생물 및 生化學물질 생산

蒸溜廢液을 基質로 사용하여 유용한 미생물을 번식시키거나 生化學藥品을 생산하는 방법도 연구되고 있는데 특히 사료용 酵母 생산이 가장 활기를 띠고 있다. 酵母 이외에는 藻類와 곰팡이류의 배양이 연구되고 있는데 이들로부터 구연산, 脂肪산 등의 生化學 藥品을 얻기도 한다. 일단 이 방법으로 활용된 蒸溜廢液은 다시 다른 處理過程을 거쳐야 한다. 이 방법의 자세한 예는 표 2에 나타난바와 같다.

(5) 사료 添加劑

乾燥된 蒸溜廢液은 바로 사료로 사용될 수도 있는데 이는 소위 緩下劑로서 우유의 생산을 높혔다고도 보고 되었다. 30~35% 농도의 蒸溜廢液은 乾草와 섞어 먹이기도 하며 밀겨

와 섞어 水分 12% 이하의 낱알 모양의 사료로 제조되기도 한다.

肉牛의 경우 오히려 성장이 빨랐고 質의 低下가 없었다고 하며 마리당 하루 1.5~2kg 까지의 50~70% 농도 蒸溜廢液을 먹일 수 있다고도 한다.

(6) 物理·化學的 處理方法

物理·化學的 方法으로 固形物을 分離하려는 방법들은 대체로 성공적으로 이루어지지 못했는데 이유는 이 高濃度의 蒸溜廢液이 여하한 凝集劑로서도 凝集·沈澱이 잘되지 않기 때문이다.

Charrett에 의하면 AMINODAN工法(주요 化學的 凝集과 加壓浮上 方法에 의함)으로 BOD 70% 제거가 가능하다고 한다.

逆滲透法도 종종 거론되는 방법중의 하나인데 Rembowski에 의하면 BOD $10000\text{mg}/\ell$ 인 廢液의 80%까지는 BOD $600\text{mg}/\ell$ 으로 處理되고 나머지 濃縮된 20%는 乾燥시켜 사료 添加劑로 사용이 가능하였다고 한다.

電氣滲透法도 고려할 수 있으나 아직까지는 너무 高價이다.

3. 生物學的 處理方法

蒸溜廢液이 워낙 高濃度 廢水이므로 多量의 도시하수등으로 희석할 수 없는 경우 대개가 嫌氣性 處理를 먼저 거친후 好氣性 處理를 하게 된다. 嫌氣性 處理나 好氣性 處理法에는 여러가지의 變形工法이 많으므로 多樣한 方法으로 工程이 租合 운영될 수 있다.

(1) 嫌氣消化法

嫌氣消化法으로 메탄가스를 생산하여 에너지를 보상받기 위하여 많은 연구가 이루어졌는데 嫌氣消化후에 다시 好氣性 處理를 하는 2단계식 처리가 일반적으로 실용화되고 있다.

嫌氣消化에는 다시 中溫性 消化法(30~38℃)과 高溫性 消化法(50~57℃)이 있는데 중위도

표 2. 蒸溜廢液을 이용한 미생물 및 生化學물질 생산 例

미 생 물 류	중류폐액의 종류	체류시간 (hr)	생 산 륜 (kg/m ³ feed)	유기물제거 효율 (%)	
Yeasts					
<i>Candida utilis</i>	Beet molasses stillage	6(max)	16.2		
	Beet molasses stillage 41%, molasses + (NH ₄) SO ₄	6.2	20.0		
	Beet molasses stillage + 10% molasses		18~20%	on stillage dry solids	
	Beet molasses stillage + 0.5% molasses	12			
	Beet molasses stillage + 0.5% urea + 0.5% P ₂ O ₅	42(batch)			
	Cane molasses stillage	9~12	18.75		
	Cane molasses stillage		24.0		
	<i>Candida tropicalis</i>	Beet molasses stillage + 0.5% - 1% molasses	12		
		Beet molasses stillage		17.8	
		Beet molasses stillage at 8° Brix	12	68	
Beet molasses stillage at 8° Brix + sucrose		12	185		
Beet molasses stillage			12.7		
Beet molasses stillage + 1% molasses			28		
<i>Candida scotrii</i>		Viniculture discharge		4~7	
		Various(41)	6~6.5	14~23	
Various(21)	Molasses distillery residue		12~16		
Fodder yeast	Stillage at 9° Brix		13.35		
Algae					
<i>Chlorella vulgaris</i>	Alcohol distillery waste			80~90	
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Alcohol distillery waste	96		85~89	
Fungi					
<i>Trichosporon</i>	Molasses distillery residue		81-21		
<i>Penicillium commune</i>	White wine distillation residue	43	0.5~13.4	91(COD)	
<i>P. expansum</i>	White wine distillation residue				
<i>P. spinulosum</i>	White wine distillation residue				
<i>Aspergillus faetidus</i>	Grain brewery waste		3.5~12.3 (citric acid yield)		
Various(16)	Rum distillery residues	11-19		56~85(COD)	
Fat biosynthesis					
<i>Rhodotorula gracilis</i>	Beet molasses stillage		3.8(fat yield)		

참고문헌 : Sheehan, G.J. (1980).

지방에서는 中温性 消化法이 많이 연구가 되었다. 中温型은 폐수처리 효율이 낮은 대신 高温型보다 운전이 신뢰성이 있는 장점이 있

다. 그러나 蒸溜廢液이 타 工程을 거치지 않고 직접 嫌氣消化 施設로 투입되어야 할 경우에는 이 廢液의 온도가 높고 막대한 양이기

때문에 高温性이 유리할 것이다.

中温性 消化와 高温性 消化의 처리효율을 문헌으로부터 비교한 결과는 표 3, 4 와 같다.

中温消化시 메탄가스 발생량은 基質의 종류에 관계없이 대개 蒸溜廢液의 휘발성 固形物 ton당 0.5ton의 메탄가스가 생산된다(표 5참조).

표 3. 蒸溜廢液의 中温性 消化의 效率

증 류 폐 액 의 증 류	초기BOD (mg/ℓ)	부 하 율 (kgBOD/m ³ /day)	체 류 시 간 (day)	BOD제거효율 (%)
South African distillery waste	700	0.7	1.0	93.0
South African distillery waste	—	—	—	85.0
14% Rum distillery waste at 28°C	—	—	—	87.0
German alcohol/veast waste 50% stillage/50% domestic sewage	10,000	—	—	80.0
Diluted distillery waste	—	8.84VS	3.75	55%TOC
German alcohol/yeast waste	5000-9000	—	3.4-4.0	—
Cane molasses distillery waste	—	—	12.0	70.0
Malt whiskey distillery waste	25,000	4.02	6.0	95.0
Sweet Potato Stillage	—	13.4VS	—	—
Cane molasses distillery waste using 2 digesters in series	Raw stillage		(i)40.0	—
	Raw stillage	0.738	(ii)20.0	99.25
Cane molasses distillery waste using 1 digester	Raw stillage	max 3.77		91.6
Distillery/yeast plant waste		2.41		96.0
Distillery spent wash waste		11.06-6.66	8-12.0	90-95.0
Alcohol/compressed yeast plant waste		2.0		70.0
Molasses stillage 100%		3.02	10.0	80.0
Molasses stillage 40%		3.60	5.0	81.7
Molasses stillage 27%		3.30	6.7	79.3
Distillery waste 33%		1.90	5.0	89.0
Wine distillery waste		3.20	6.9	97.3
Malt distillery waste	25,000	4.02	6.2	95.6
Beet molasses distillery waste(continuous)	—	3.00	10.0	80.6
Beet molasses distillery waste(high rate)	32,015	3.20	10.0	95.9
Cane molasses stillage 65%	65,000*	11.58min	5.6	72.0*
Cane molasses stillage 100%	100,000* max	5.95	16.7	71.9
Rum distillery waste—pilot plant	—	—	—	30-50
Rum distillery waste—sludge recvcl	33,000-55,000	1.19-0.09	35.1-221.0	60-80
Molasses distillery waste	15,000	1.84-2.35	—	95-80
Cereal brewery stillage	22,620*	15.0	15.0	55.0* max
Cereal brewery stillage	22,620*	2.83	8.0	35.0*
Rum distillery waste-sludge recycle	55,000*	3.94	13.86	80.0*
Rum distillery waste plus yeast extract—sludge recycle	55,000*	9.86	5.54	80.0*
Wine stillage—sludge recycle	12,320	1.23	10.0	98.8
Concentrated yeast waste—sludge recyle	3000-6000	—	10.0	85.0
Distillery waste	20,000-50,000	6.11	4.0-6.0	80.0-90.0

* COD測定值

참고문헌 : Sheehan, G. J. (198.)

표 4. 蒸溜廢液의 高温性 消化의 效率

증류 폐액의 종류	초기 BOD (mg/l)	부하율 (kgBOD/m ³ /day)	체류시간 (day)	BOD제거효율 (%)
Distillery waste	17,000	2.8 8.5	6.0 2.0	72%VS 58%VS
Distillery waste and trickling filter	15,500	max 2.4	—	99.0
Molasses distillery waste(batch)	—	8.76VS	—	—
Wine pot still liquor(batch)	—	11.71VS	—	—
Distillery/yeast plant waste	—	6.43	—	96.0
Blackstrap molasses distillery waste	—	—	10.0	60.0
Distillery waste 16.7%	—	4.25	—	70.0
Distillery waste 33.3%	—	15.30	—	70.0
Beet molasses distillery waste(continuous)	—	4.0-1.0	7-25.0	84.2-92.3
Beet molasses distillery waste(high rate)	—	2.0-3.5	10.0	97.2-87.5
Distillery waste	20,000-50,000	2.75	8-12.0	95.0

참고문헌 : Sheehan, G. J. (1980)

표 5. 中温性 嫌氣消化의 메탄가스 발생량

醱酵原料	有機物負荷(t-TVS/day)	메탄발생량(t/day)	메탄발생효율(t-gas/t-TVS*)
糖 蜜	90.9	45.4	0.499
사탕수수	29.3	14.6	0.498
cassava	32.7	16.3	0.498

*TVS : total volatile solids

嫌氣消化 處理를 거친 流出水는 아직도 直接 放流할 수 있는 水質에 미치지 못하므로 活性슬러지법이나 酸化池(Lagoon)법 등을 거쳐 放流가 된다.

(2) 嫌氣濾過法

嫌氣濾過法은 槽에 活性炭등을 媒質로하여 表面에 嫌氣性 미생물을 배양하여 廢液을 上向으로 通過시켜 流動型濾過槽로 운영하는 방법인데 槽내에 높은 미생물 농도를 유지할 수가 있고 또한 吸着의 효과도 기대할 수 있으므로 嫌氣消化法에 비하여 효율이 높으나 운영비가 더 高價이다. 이 流出水도 嫌氣消化와 마찬가지로 直接 放流하기 힘들며 活性슬러지법이나 酸化池법등을 거쳐야 한다.

(3) 活性슬러지法

일단 嫌氣消化나 다른 處理工程을 거친 蒸

溜廢液은 타 低濃度 廢水와 함께 放流水質基準에 맞도록 最終 處理가 되어야 하는데 이때 活性슬러지법이 널리 이용되고 있다.

活性슬러지법에는 在來式工法, 高率式, 계단식工法, 接觸安定法, 長期포기법, 純酸素포기법, Deep tank법 등 여러 변형이 있고 요구되는 處理수준에 따라 單段階 혹은 多段階方式을 도입할 수 있으므로 處理能力에 융통성이 많다.

撤水濾床法이나 回轉円版法등으로 活性슬러지법을 대신할 수도 있으나 撤水濾床法은 겨울에 結氷할 우려가 있는 지역에서는 곤란하다.

多量의 도시하수와 혼합 처리할 수 있는 경우에는 蒸溜廢液을 1차 처리할 필요가 없이 바로 活性슬러지법으로 처리할 수도 있는데 인구가 적은 도시에서는 적용할 수가 없다. 도

시하수와 혼합 処理할 경우에는 蒸溜廢液의 BOD負荷가 워낙 크므로 處理施設의 규모를 設計할 때 세심한 주의를 기울여야 한다.

(4) 酸化池法

酸化池法은 운영비가 싸므로 地價가 높지 않은 지역에서는 경제적인 방법이다. 高濃度의 蒸溜廢液을 直接 酸化池法으로 處理하고자 할 때에는 일단 嫌氣性 酸化池를 거친후 任意性이나 好氣性 酸化池法으로 처리를 하게되고 이미 1 단계 처리가 끝난 蒸溜廢液에 대해서는 嫌氣性 酸化池를 거치지 않고서도 소기의 목적을 달할 수가 있다.

放流水 水質基準에 따라 여러 단계의 任意性 및 好氣性 酸化池를 둘 수 있는데 이들 酸化池에는 水草를 재배하여 질소와 인을 회수할 수도 있다. 열대, 아열대 지방에서는 흔히 물수선(Water hyacinth)이나 개구리 밥속의 식물인 Duck Weed를 기르는데 이들은 또한 수확하여 農地에 還元시키거나 嫌氣消化槽에 投入하여 메탄가스를 생산하거나 한다. 最終 단계의 酸化池에서는 養魚로 收益을 올릴 수도 있다.

〈参考文献〉

- Bailey, J. E. and Ollis. D. F. *Biochemical Engineering Fundamentals*, Mc Graw-Hill, N. Y., 1977.
- Bond, R. G. and Straub, C. P. ed., *Handbook of Environmental Control*, Vol IV., CRC Press, pp. 602-610, 1974.
- Cooney, C. L., "Thermophilic Anaerobic Digestion of Solid Waste for Fuel Gas Production" *Biotech Bioeng.*, 17, pp. 1119-1135, 1975.
- Cornwell, D. A. et al., "Nutrient Removal by Water Hyacinths", *J. WPCF*, 49, pp. 57-65, 1977.
- de Menezes, T. J. B., "Alcohol Production from Cassava," *Cassava Harvesting and Processing*, E. J. Weder et al. ed., Proc. of a Workshop held at Ciat, Cali, Columbia, 1978, IDRC Press, 1978.
- Dubey, R. S., "Distillery Effluents-Treatment and Disposal", *Sugar News Ann.*, 6, pp. 9-26, 1974.
- Gehm, H. W. and Bregman J. I. ed., *Handbook of Water Resources and Pollution Control*, Van Nostrand Reinhold Co., N. Y., 1976.
- Ghose, T. K. et al., "Increased Methane Production in Biogas", *Biotech. Letters*, 1(7), pp. 275-280, 1979.
- Gloyna, E. F., "Facultative Waste Stabilization Pond Design", *Ponds as a Wastewater Treatment Alternative*, Water Resources Symposium No. 9, The Univ. of Texas at Austin, 1975.
- Hanisak, M. D. et al., "Recycling the Nutrients in Residues from Methane Digesters of Aquatic Microphytes for New Biomass Production", *Resource Recovery Conserv.*, 4(4), pp. 313-323, 1979 (Chem. Abs.).
- Jackman, E. A., "Distillery Effluent Treatment in the Brazillian Alcohol Programme", *Chem. Eng.*, 319, pp. 239-242, 1977.
- Keenan, J. D., "Methane Fermentation of Brewery By-Products", *Biotech. Bioeng.*, 19, pp. 867-878, 1977.
- Lao, E. E. D. and Martinez, J. A., "Evaluation of Waste Stabilization and Performance in Mexico", *Ponds as a Wastewater Treatment Alternative*, Water Resources Symposium No. 9, The Univ. of Texas at Austin, 1975.

- Lynch, J. M. and Poole, N. J., *Microbial Ecology; A Conceptual Approach*, John Wiley and Sons, N. Y., 1979.
- Metcalf and Eddy, *Wastewater Engineering ; Treatment, Disposal and Reuse*, 2nd ed., McGraw-Hill, N. Y., 1979.
- NAS Report, *Making Aquatic Weeds Useful; Some Prospectives for Developing Countries*, Washington, D. C., 1976.
- Nestel, B. and Cook, J., *Cassava-the Development of an International Research Network*, IDRC, 1976.
- Parker, C. D., "Pond Design for Industrial Use with Reference to Food Wastes," *Ponds as a Wastewater Treatment Alternative*, Water Resources Symposium No. 9, The Univ. of Texas at Austin, 1975.
- Pimentel, L. S., "The Brazillian Ethanol Program", *Biotech. Bioeng.*, 22, pp. 1989-2012, 1980.
- Sheehan, G. J. and Greenfield, P. F., "Utilization, Treatment and Disposal of Distillery Wastewater", *Water Res.*, 14 (3), pp. 257-278, 1980.
- Skogman, H., "Effluent Treatment of Molasses Based Fermentation Wastes,
- Stroll, E. O. et al., "Recovering Useful By-Products from Potato Starch Factory Waste Effluents-A Feasibility Study", *Food Technology*, 34, pp. 90-95, 1980.
- Wise, D. L. et al., "Methane Fermentation of Aquatic Biomass", *Resource Recovery Conserv.*, 4(3), pp. 217-238, 1979.
- Wolverton, B. C. and McDonald, R. C., "Upgrading Facultative Wastewater Lagoons with Vascular Aquatic Plants, *J. WPCF*, 51(2), pp. 305-313, 1979.
- Yand, V. and Trindade, S. C., "Brazil's Gasohol Program", *Chem. Eng. Progress*, 75, pp. 11-19, 1979.
- Charrett, E. P., "Purification of Industrial Liquid Wastes and By-Product Recovery", *Science Technol.* 16, pp. 10-13, 1978.
- Rembowski, E., et al., "Investigations on the application of Reverse Osmosis for the Treatment and Utilization of Wastes from the Yeast Industry", *Proc. IV Int. Cong. Food Science and Technol.*, Madrid, 4, pp. 306-312, 1974.

무심코 던진 휴지 내돈으로 치워진다