

麥酒工場廢水의 特性和 生物學的處理에 對한 馴應性

서울産業大學 衛生工學科 金 東 玟

요 약

麥酒工場廢水의 全般的特性和 生物學的處理에 對한 馴應性을 決定하기 위하여 調査, 分析 및 實驗을 實施하였다. 여러 工程에서 廢水가 不規則하게 排出되는데 그 綜合廢水量은 麥酒生産量의 約18 倍였다. 6日間 2時間 間隔으로 採水한 綜合廢水 混合液의 平均水質은 pH 10.7, COD (chemical oxygen demand) 780 mg/l, BOD₅ (biochemical oxygen demand) 490 mg/l, 그리고 SS (suspended solids) 320 mg/l 이었다. McKinney 의 完全混合型 活性슬러지 model 에 의하여 曝氣實驗한 結果, 微生物代謝率係數(K_m) 1.0 hr⁻¹를 얻었다. 曝氣時間에 따라서 90%이상의 BOD₅ 除去를 쉽게 이룩할수 있으며 曝氣前의 最初沈澱은 거의 必要치 않다.

서 實施하였다.

1. 序 論

釀造工業은 醱酵工業의 一種으로서 그 廢水는 一般的으로 多量의 有機物質을 包含하고 있으며 排出量도 比較的 많다. 이러한 有機物質들은 腐敗性이 強하므로 河川에 放流될 경우 溶存酸素를 枯竭시킴으로써 嫌氣性公害現象을 惹起시키게 된다¹⁾. 따라서 麥酒工場廢水도 그러한 範疇에 屬하는데 近來에 우리의 國民生活向上에 따르는 麥酒消費量 增大와 함께 이 廢水의 排出量도 크게 늘어난 것 같다.

이 實驗은 麥酒工場廢水의 特性을 把握하고 生物學的處理에 對한 그 馴應性을 叫明하기 위하여 實施되었다. 實驗對象이 된것은 우리나라 3大麥酒産業體중의 하나인 某麥酒會社의 工場廢水인데 이 工場은 보리에서 瓶裝酒에 이르기까지 一貫作業을 하고 있다.

1975年 3月부터 5月사이에 調査와 實驗을 實施하였는데 生産工程을 包含한 工場의 一般調査와 流量測定은 現場에서 實施하였고 水質分析과 處理實驗은 서울産業大學 衛生工學實驗室에

2. 調査, 分析 및 實驗 方法과 結果

2.1. 麥酒生産工程과 用水使用 및 排出

이 工場의 麥酒生産工程과 用水使用 및 廢水 排出상태는 Fig. 1과 같다. 調査當時에 原料인 보리를 發芽, 醱酵및 處理함으로써 月間 5000~6400m³의 麥酒를 生産하고 있었는데 夜間과 休日에는 一部の 自動工程만이 稼動되고 있었다.

麥酒生産工程은 크게 나누어서 麥芽工程, 麥芽汁工程, 醱酵工程, 그리고 製品工程이고, 原料는 보리, 澱粉 hop yeast 및 물이며 洗瓶할때 苛性소오다를 使用하고 있다.

工業用水를 自家處理하여 麥芽, 麥芽汁, 醱酵 등의 工程에서 使用하고 있고, 地下水를 麥酒의 直接成分으로 利用하고 있다.

모든 工程에서 廢水가 排出되는데 처음 3段階工程에서는 比較的 有機物質이 濃厚한 廢水가 排出되며, 製品工程의 洗瓶作業場에서 苛性소오다를 含有하는 廢水가 排出된다. 比較的 많은 廢水가 排出되는 곳은 麥芽工程과 洗瓶作業場이다.

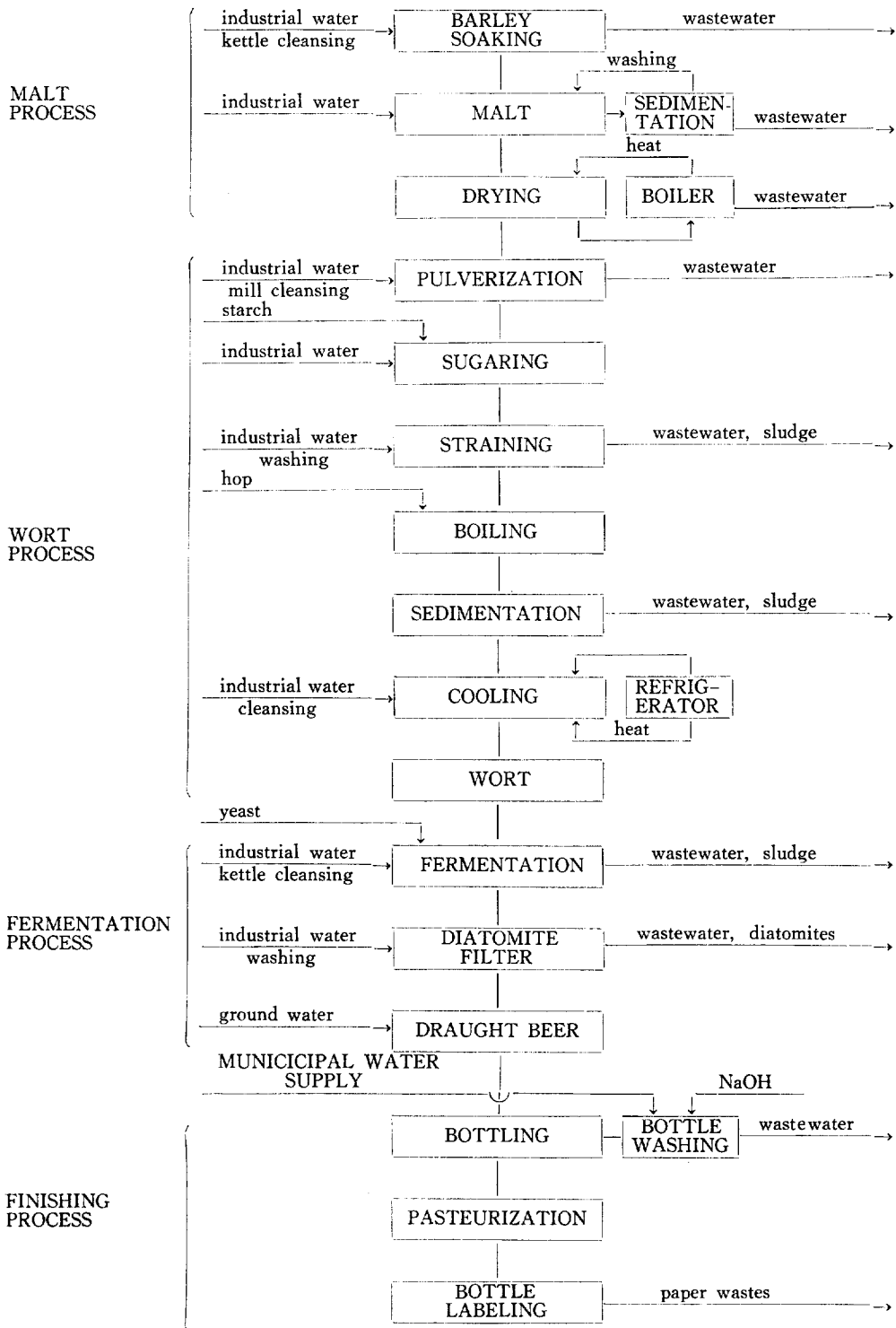


Fig. 1. Water use and wastewater discharge in beer production process.

Table 1. Wastewater effluent flow rate.

Date		Time	Wastewater Flow Measured at Each Hour (m ³ /hr)										Total
			90 : 00	10 : 00	11 : 00	12 : 00	13 : 00	14 : 00	15 : 00	16 : 00	17 : 00		
Fri.,	4Apr.	1975	91.8	86.8	111.5	167.0	239.4	119.2	194.8	173.2	212.8	1396.5	
Sun.,	6Apr.	1975	73.4	194.8	84.6	106.6	106.6	316.4	111.6	189.7	189.7	1373.5	
Mon.,	7Apr.	1975	228.7	228.7	298.9	209.1	298.9	461.5	461.5	316.8	251.6	2755.7	
Tue.,	8Apr.	1975	239.6	316.6	478.2	408.4	228.7	239.4	408.4	357.8	228.7	2905.8	
Wed.,	9Apr.	1975	161.7	111.5	195.2	279.8	195.0	212.8	195.0	195.0		1546.0	
Thu.,	10Apr.	1975	79.4	174.6	299.0	299.0	180.0	228.7	187.3	187.3	106.7	1742.0	
Fri.,	11Apr.	1975		209.6	251.6	357.5	199.6	168.0	250.3	228.7	161.7	1827.0	
Sat.,	12Apr.	1975	161.7	187.2	337.2	299.0	120.3	203.5	203.5	98.8	201.2	1812.4	
Mean			148.0	188.7	257.0	265.8	196.1	243.7	251.6	218.4	193.2	1919.9	

Total Mean Flow Rate=213.3m³/hr, Standard Deviation=93.4m³/hr.

Table 2. Monthly average volume of beer production and estimated wastewater since 1970.

Date		1 9 7 0			1 9 7 1			1 9 7 2			1 9 7 3			1 9 7 4			1 9 7 5		
		Beer (m ³ /day)	Waste water (m ³ /day)	Date	Beer (m ³ /day)	Waste water (m ³ /day)	Date	Beer (m ³ /day)	Waste water (m ³ /day)	Date	Beer (m ³ /day)	Waste water (m ³ /day)	Date	Beer (m ³ /day)	Waste water (m ³ /day)	Date	Beer (m ³ /day)	Waste water (m ³ /day)	Date
Jan.	88.9	1217	1518	Jan.	109.8	1518	Jan.	78.5	1466	Jan.	103.8	1718	Jan.	142.8	2499	Jan.	185.4	4108	
Feb.	83.4	1298	1436	Feb.	95.6	1436	Feb.	89.4	1599	Feb.	101.9	1418	Feb.	125.6	2787	Feb.	179.6	3120	
Mar.	81.5	1844	1568	Mar.	134.4	1568	Mar.	110.1	1626	Mar.	136.5	1541	Mar.	124.2	2094	Mar.	207.6	3128	
Apr.	90.6	1904	1485	Apr.	134.6	1485	Apr.	120.3	1586	Apr.	129.0	1775	Apr.	172.1	2376	Apr.	167.5	2136	
May.	130.7	1763	1577	May.	152.9	1577	May.	142.5	2111	May.	157.3	1989	May.	186.7	2777	May.	168.6	2751	
Jun.	140.7	2200	2154	Jun.	179.2	2154	Jun.	153.1	2297	Jun.	174.9	2212	Jun.	225.0	3004	Jun.	188.6	3309	
Jul.	128.7	2042	2201	Jul.	175.7	2201	Jul.	134.7	2677	Jul.	178.7	2254	Jul.	221.8	3616	Jul.	193.6	3174	
Aug.	142.2	2026	2168	Aug.	179.4	2168	Aug.	118.3	2354	Aug.	180.4	2241	Aug.	203.8	3160	Aug.			
Sep.	129.9	2111	1895	Sep.	145.7	1895	Sep.	120.1	2526	Sep.	164.7	2409	Sep.	153.2	3478	Sep.			
Oct.	93.8	1707	2005	Oct.	95.5	2005	Oct.	99.7	2194	Oct.	148.2	3177	Oct.	149.5	3740	Oct.			
Nov.	83.2	1431	1609	Nov.	106.9	1609	Nov.	82.5	2253	Nov.	136.9	2219	Nov.	156.2	3560	Nov.			
Dec.	97.0	1441	1942	Dec.	162.6	1942	Dec.	114.7	1983	Dec.	149.0	2552	Dec.	178.4	3537	Dec.			

Table 3. Beer brewery wastewater quality from major wastewater-discharging processes. *

Major Wastewater-discharging processes	pH	COD(mg/l)			BOD ₅ (mg/l)			SS(mg/l)		
		total	soluble	insoluble	total	soluble	insoluble	total	volatile	fixed
Barley soaking	10.4	1370 1420	1100 840	270 580	665	644	21	256 271	168	88
Malt pulverization	6.2	4660 3960	4600 3540	60 420	3340	3113	227	257 34	254	3
Mort fermentation	5.8	2790 6200	7920 2000	19980 4200	12405	3849	8556	4843 503	4388	455
Diatomite filtration		5360	3000	2360	2830	1310	1070	13938 168	1178	12760
Bottle washing	11.0	300	80	220	113	43	70	47	34	13

* Upper figures are those sampled on 28 Mar. 1975 and lower figures on 6 and 7 May. 1975.

2.2 廢水流量

이 麥酒工場の 最終 manhole에서 毎日 9時부터 17時에 이르기까지 2時間間隔으로 8日間 晝間流量을 測定하였다. 우리나라 公害公定試驗法²⁾에서는 weir 및 容器에 의한 4가지 流量測定法을 規定하고 있으나 이 境遇에는 不適當한 下水道構造로 말미암아 그러한 方法을 適用할수 없었다. 故로 最終 manhole 및 그 前의 manhole에 걸치는 下水管의 平均流量斷面積과 流速을 곱함으로써³⁾ 流量을 얻었다. 이와같이 하여 얻은 晝間廢水流量이 Table 1과 같다. 한편 用水使用記錄에 의하여 調査한 이 期間중의 17시부터 다음날 9時까지의 夜間平均廢水流量은 26.9 m³/hr였다. 따라서 1975年 4月 4일부터 4月 12日까지의 1日平均廢水流量은 2,164m³/day로 간주된다.

이 工場の 記錄에 의하면 1970年이후 麥酒生産量과 推定廢水量은 Table 2와 같다. 推定廢水量이라 함은 用水使用量으로부터 麥酒生産量을 減한 것이다. Fig. 2는 Table 2의 內容을 그 라프로 나타낸 것이다.

若干의 起伏이 一致하지 않지만 1970年부터 1975年에 이르기까지 廢水量이 大體로 麥酒生産

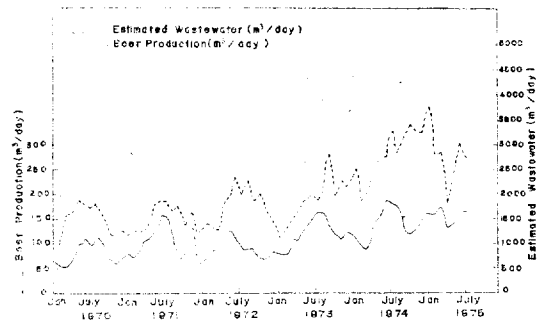


Fig. 2. Monthly average volume of beer production and wastewater since 1970.

量에 比例하고 있다. 이 期間중의 麥酒生産量과 廢水量의 平均 容量比는 1:18이다.

2.3 廢水의 水質

이 麥酒工場の 廢水を 主要出處에서 採水하고 美國公衆保健協會등이 共同發行한 “Standard Methods”⁴⁾에 의거하여 分析하였는데 그 結果는 Table 3과 같다. 洗瓶作業場을 除外한 其他工程에서는 廢水가 batch 식으로 排出되는데, 처음에는 廢水중에 化學的酸素要求量(chemical oxygen demand), 生化學的酸素要求量(biochemical ox-

Table. 4. Beer-brewery wastewater quality analyzed from combined composite samples*.

Sampling date	pH	COD (mg/l)			BOD ₅ (mg/l)			SS (mg/l)		
		total	soluble	insol- uble	total	soluble	insol- uble	total	volatile	fixed
Mon., 7Apr 1975	10.2	440	366	74	368	311	57	340		
Tue., 8Apr 1975	10.7	1012	691	321	629	536	93	393	205	188
Wed., 9Apr 1975	10.5	768	353	415	641	622	19	488	324	164
Thu., 10Apr 1975	10.6	945	886	59	540	492	48	207		
Fri., 11Apr 1975	10.8	641	561	80	400	252	148	198	124	74
Sat., 12Apr 1975	11.1	936	862	74	350	234	116	168	106	62
Mean	10.7	783	611	172	488	406	82	317	187	130

* Samples are taken from the combined effluent at every 2-hour interval and mixed proportionally.

Average Kjeldahl-N: 14mg/l

Average total P: 3.5mg/l

ygen demand) 등으로 表現되는 有機物質과 懸濁固形物(suspended solids)이 濃厚하지만 뒤에는 차츰 적어진다. 따라서 이들 出處로부터 排出되는 廢水의 量과 構成物質濃度を 時間적으로, 처음부터 끝까지 함께 調査하지 않는 限 構成物質의 排出量을 파악할수 없는데 그러한 調査는 이 工場의 特殊性에 비추어 거의 不可能하였다.

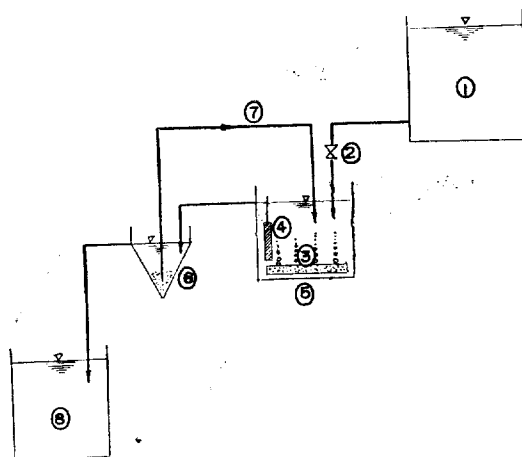
Table 4는 이 工場下水道の 最終放流口에서 排出되는 綜合廢水を 2時間간격으로 採水하고 流量比例로 混合한 後 分析한 結果이다. 多少의 差異가 있지만 全體 COD濃도는 440~1012 mg/l 이었고, 全體 BOD₅는 350~641 mg/l 이었으며, 全體 SS는 168~488 mg/l 이었다. 大體로 非溶解性有機物質의 濃도가 比較的 낮았다. 그러나 SS에서 熱灼殘量 또는 非揮發性固形物(fixed solids)의 濃도는 比較的 높은 便이다. Kjeldahl窒素와 全體燐의 平均濃도는 各各 14 mg/l 및 3.5 mg/l이였다. 이 綜合廢水の pH는 大體로 10.5 前後이였다.

2.4 生物學的 處理實驗

(1) 實驗 方法

生物學的 處理에 대한 綜合廢水の 馴化性を 보는 한편 設計基準을 얻기 위하여 Fig. 3과 같은 實驗裝置를 使用하였다. 모든 容器는 프라스

틱(plastic) 製이고 10mm直徑의 고무호스를 통하여 實體廢水가 重力에 依하여 流下되도록 하였다. 曝氣槽內의 廢水を 6개의 20mm×20mm×105mm 3角柱型 ceramic air filter filter에 의



1. Sample storage, 65l
2. Flow control valve
3. Ceramic air filter
4. Heat radiator and thermostat
5. Aeration unit, 7.2l
6. Sedimentation unit, 2.2l
7. Activated sludge recycle
8. Effluent storage, 45l

Fig. 3. Experimental activated sludge laboratory units.

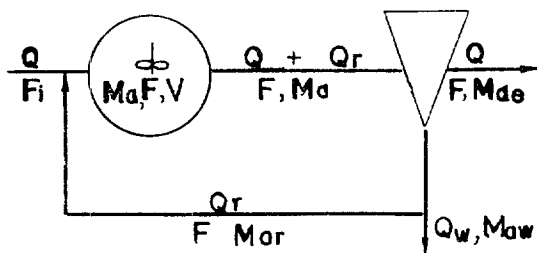


Fig. 4. Completely mixed activated sludge system.

하여曝氣시켰는데各 filter는 1個의 5 watt 送風裝置에連結시켰었다.沈澱槽로부터曝氣槽로 보내는活性슬러지의反送은 air lift 方法에 의거하였다.

이實驗裝置는 Fig. 4와 같은完全混合 model로說明된다. 이 model을 McKinney⁵⁾의表現을 빌려서 나타내면

$$QFi + Q_rF = (Q + Q_r)F + KmFV$$

가되며 양변을 Q 로 나누어 정리하면

$$F = \frac{Fi}{Km t + 1}$$

여기서 Km 은 metabolism factor (h_r^{-1})이고 t 는曝氣時間(h_r)이다.

1975年 5月 6일부터 13일에 이르기까지最終放流口에서 받은廢水를 每日運搬하여實驗하였다.曝氣槽滯留時間을 4~10時間 범위에서選擇하였으며 Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)의濃度는 1.5 g/l내외에서維持되었다.每曝氣時間에 대하여 단위滯留時間이相當히 지난후 슬러지發生率과流出水의水質이安定될 때를 기다려서流出水를 받았다.

曝氣槽내의溶存酸素濃度를溶存酸素探針으로測定하여恒常 2 mg/l 이상이 있음을確認하였다.모드水質分析은 "Standard Methods"⁴⁾에 의거하였다.

(2) 實驗結果

廢水의 pH는工場放流口에서 10.2~10.5이 있으나實驗室에서貯留槽를 거쳐曝氣槽에流入할 때에는 6.8~7.4이었다.流入水의其他水

質은 COD濃度 520~1090 mg/l, BOD₅濃度 420~650 mg/l, 그리고 SS濃度 80~640 mg/l이었다.曝氣槽내의 MLSS는 그 84%가揮發性이었다.

한편處理된流出水의 pH는 6.8~7.5이었고, COD, BOD₅ 및 SS의除去率은各各 79~93%, 77~91% 그리고 72~78%이었다.

3. 調査, 分析 및 實驗結果의 解析과 考察

3.1 廢水流量

이工場의 지난 5年間記錄에 의한 18 m³廢水/m³麥酒는日本の 0.9 m³洗淨水/m³보리 + 9~13 m³廢水/m³麥酒⁶⁾ 보다는 많고 Koziorowski와 Kucharski⁷⁾의 20~30 m³廢水/m³麥酒보다는 적다. 이工場에서는用水使用節減에 큰關心을 갖지 않고 있었는데, 그原因은累加使用量에 관계없이 4 원/m³라는서울市의 저렴한工業用水供給價格에 있는 것 같다. 따라서 앞으로麥酒生産量當廢水排出量을 줄일수 있는可能性이 있을 것으로 보인다.

3.2 廢水의 水質

Table 3의主要出處別廢水의水質은廢水分物質의排出總量을求하는데에는 도움이 되지 못하고 다만참고가 될 뿐이다. Table 4의綜合廢水水質은그러한 Table 3의缺點을補完하여 준다.各成分物質濃度의平均値에 의하여 이綜合廢水의 nonbiodegradability를推算하면 아래와 같다.

"Nonbiodegradable COD"

$$\text{Total} = 783 - (1.5)(488) = 51 \text{ mg/l}$$

$$\text{Soluble} = 611 - (1.5)(406) = 2 \text{ mg/l}$$

$$\text{insoluble} = 172 - (1.5)(82) = 49 \text{ mg/l}$$

"Nonbiodegradable solids"

$$\text{Fixed SS} = 130 \text{ mg/l}$$

$$\text{Volatile SS} = 187 \times \frac{49}{172} = 53 \text{ mg/l}$$

위의推算에서는 5日 BOD의 1.5倍를最終 BOD 및 biodegradable COD로 보았다. 그結果

Table 5 Experimental result of completely mixed activated sludge treatment of beer-brewery wastewater.

Date experimented	Temp (°C)	Aeration Time (hr)	Solid* retention Time (day)	pH		MLSS (mg/l)			
				Influent	Effluent	Aeration Unit		Sedimentation Unit	
						Total	Volatile	Total	Volatile
6~ 8 May 1975	19	4	—	6.8	7.5	1260	1102	2258	2177
9~11 May 1975	19	10	—	7.1	7.2	1405	1247	3570	2950
11~12 May 1975	19	9	6.8	6.7	7.6	1795	1400	2582	1982
12~13 May 1975	19	8	6.9	7.4	6.8	920	790	6600	5620

Date experimented	COD (mg/l)				BOD ₅ (mg/l)				SS (mg/l)			
	Influent		Effluent		Influent		Effluent		Influent		Effluent	
	Total	solu-ble	Total	Solu-ble	Total	Solu-ble	Total	Solu-ble	Total	Vola-tile	Total	Vola-tile
6~ 8 May 1975	870	708	177	70	650	530	129	53	642	106	50	—
9~11 May 1975	523	405	48	28	415	174	42	24	78	73	22	22
11~12 May 1975	523	405	113	71	415	190	38	28	78	73	17	15
12~13 May 1975	1086	623	80	62	510	372	116	22	300	270	16	—

* Solid retention time = $\frac{\text{g MLSS in aeration unit}}{\text{(g SS in effluent per day + g SS wasted per day)} \pm \text{g SS change in mixed liquor per day}}$

全體 COD의 94%, 그리고全體 SS의 42%가 生物學的 處理에 對하여 馴應性이 있는 것으로 判斷된다. BOD₅ 濃度는 日本의 500~2000mg/l⁽⁶⁾에 比하여 낮은 편이다.

3.3 生物學的 處理實驗

Table 5의 活性슬러지 方法에 의한 生物學的 處理實驗結果를 앞에서 引用한 McKinney⁽⁵⁾의 方程式에 代入하면 metabolism factor $K_m = 1.0 \text{ h}_r^{-1}$ 를 얻을 수 있다. 이 값은 Goodman과 Englands⁽⁸⁾가 調査한 여러 實驗者들의 K_m 값 7.2~15 h_r^{-1} 보다 매우 낮은데, 그것은 이 廢水가 一次沈澱을 거치지 않은 生廢水였다는 것에 部分的으로 起因되는 것 같다.

$K_m = 1.0 \text{ h}_r^{-1}$ 를 使用하여 計算한 流出水의 理論的 BOD₅濃度는 Table 6과 같다.

그러나 長期間 曝氣할때 流出水의 BOD₅濃도가 Table 6과 같이 減少되기는 어려울 것이다. 왜냐하면 이 實驗裝置에서와 같은 完全混合型處理에서는 微量의 流入水가 처음부터 short circuit

Table 6. Theoretical BOD₅ concentration after each aeration time.

Influent BOD ₅ , F_i (mg/l)	Aeration time(t) (hr)	Effluent BOD ₅ , F (mg/l)
488	4	98
"	6	70
"	8	54
"	10	44
"	12	37
"	16	29
"	24	20

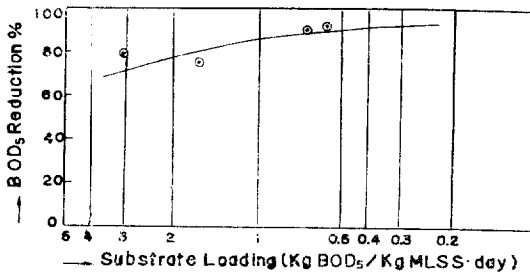
에 의하여 새어나갈 수 있기 때문이다.

한편 Food와 Microbe의 比하여 計算한 이 實驗에서의 BOD₅除去率은 Table 7 및 Fig. 5와 같다. Table 4 및 Fig. 5와 Table 6을 比較할 때 "Food와 Microbe의 比"에 의하여 計算된 BOD₅除去率과 K_m 값에 의거한 것이 大體로 비슷함을 알 수 있다.

이 生物學的 處理實驗結果는 麥酒工場廢水가

Table 7. BOD₅ removals based on Food: Microbe ratio.

Influent BOD ₅ , F_i (mg/l)	Aeration time, t (hr)	MLSS Concentration, M (kg MLSS/m ³)	Substrate loading, L_s ($\frac{\text{kg BOD}_5}{\text{kg MLSS day}}$)	Effluent BOD ₅ , F (mg/l)	BOD ₅ reduction (%)
650	4	1,260	3.0	129	80
510	8	0.920	1.7	116	77
415	9	1,795	0.6	38	91
415	10	1,405	0.7	42	90

Fig. 5. BOD₅ removals based on Food: Microbe ratio.

活性슬러지에 의하여 滿足할만하게 處理될것임을 제시하여 주고 있다. 그리고 最初沈澱의 絶對的 必要性를 排除하고 있다.

4. 結 論

調査한 麥酒工場의 廢水量은 麥酒生産量의 18 배였는데 用水를 節約함으로써 廢水排出量을 더 減少시킬 수 있을것 같다.

綜合廢水の BOD₅ 濃度は 約 490 mg/l 였고 COD濃度は 約 780mg/l 였는데 그 90%이상이 biodegradable 인 것으로 判明되었다. 그리고 SS 濃度は 約 320mg/l 이었는데 그 40%이상이 biodegradable 한 固形物인 것으로 判明되었다.

McKinney⁵⁾의 完全混合型 活性슬러지 model 을 使用하여 廢水を 曝氣實驗한 結果 metabolism 係數(K_m) 1.0 hr⁻¹를 얻었다. K_m 값을 使用하여 計算된 流出水의 理論的 BOD₅ 濃도와 "Food 와 Microbe 의 比"에 의하여 計算된 BOD₅ 除去率은 비슷하였다. BOD₅ 除去率은 90%이상이었다.

曝氣前의 最初沈澱이 반드시 必要한 것이 아니라 結論도 얻었다.

Nomenclatures

- Q Wastewater flow rate, l/hr.
- Q_r Flow rate of activated sludge recycle, l/hr.
- Q_w Flowrate of waste activated sludge, l/hr.
- F_i Organic concentration in influent, mg/l.
- F Organic concentration in effluent, mg/l.
- Ma Active microbial concentration, mg/l.
- Mar Active microbial concentration in recycle stream, mg/l.
- Mae Active microbial concentration in effluent stream, mg/l.
- Maw Active microbial concentration in waste stream, mg/l.
- V Volume of aeration tank, l.
- t Aeration time (V/Q), hr.
- K_m Metabolism factor, hr⁻¹.

參考文獻

1. L. Klein, River Pollution 2: Causes and Effects," Butterworths, London (1962), p. 91.
2. 保健社會部發行, 「公害公定試驗法」(1973), p. 176.
3. W. W. Jr., Eckenfelder, "Industrial Water Pollution Control," McGraw-Hill, New York (1966), p. 13.
4. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater," 13th Ed., APHA, AWWA, WPCF (1971).

5. R. E., McKinney, "Mathematics of Complete Mixing Activated Sludge," *Trans American Society of Civil Engineers*, Paper No. 3516 (1963), 128.
6. 日本下水道協會發行, 「流域別下水道整備總合計劃調查, 指針と解説」(1974), 152.
7. B. Koziorowski and J. Kucharski, "Industrial Waste Disposal," [Pergamon, Oxford (1972), 318.
8. B.L. Goodman and A.J. Jr. Englands, "A Unified Model of the Activated Sludge Process," *Journal of Water Pollution Control Federation* **46** (1974), 321.