

煉炭재를 利用한 有機性廢水의 處理

趙 光 明 *

Treatment of Organic Wastewaters by Briquette Ashes Fixed-film Process

Cho, Kwang Myeung

“本 論文은 1982年 11月 27日 開催된 衛生 및 環境分野 講演會 發表內容中에서 拔萃한 것임.”

요 지

우리나라에서 대량으로 폐기되는 연탄재는 밀도가 낮으면서도 충분한 강도를 가지며 표면적을 많이 제공할 뿐만 아니라 흡착성이 있으므로 고정미생물막공법에서 매질로 사용하여 유기성 폐수를 처리하면 유기물 제거효율이 매우 높을 뿐만 아니라, 처리수의 BOD농도를 표면부하나 용적부하로 계산할 수 있으므로 처리시설의 설계가 용이한 경제적인 폐수 처리공법이 될 수 있다. 그러나 연탄재 매질을 장기간 사용하면 원수내의 SS, 성장한 미생물의 탈리등에 의하여 처리수의 수질이 악화될 수도 있으므로 종말침전지가 요구될 수도 있다.

ABSTRACT

Briquette ashes, one of important solid wastes in Korea, have relatively high compression strength in spite of their low density, and provide sufficient surface area and some adsorption capacity. Results of this research show that a fixed-film biological process using briquette ashes as media can accomplish BOD removal efficiencies in treating organic wastewaters such as alcoholic waste, diluted nightsoil and sewage, and formula can be derived to determine the effluent BOD concentrations by superficial or volumetric organic loadings. Settling tanks may be required because effluent SS concentration is deteriorated due to the SS in influent or due to the slough-off of slime layer on the media when briquette ashes are utilized for a long period.

* 正會員, 陸軍士官學校

1. 서 론

가정하수나 대부분 공장폐수의 주요염물은 유기물로서 유기성 폐수의 처리를 위하여 가장 많이 채택되는 방법은 생물학적 폐수처리공법이다. 생물학적 처리공법은 여러가지 종류로 분류될 수 있지만 활성슬러지법이나 산화지와 같이 미생물이 폐수중에 부유하여 성장하는 공법과 살수여상이나 회전원반법과 같이 미생물이 매질(media)에 부착하여 성장하는 공법으로 크게 분류할 수도 있다.

미생물의 성장을 위하여 매질을 이용하는 폐수처리공법을 고정미생물막공법(fixed-film process)(1)이라고 부르는데 매질로서는 모래, 쇄석, 광재, 플라스틱, 활성탄등이 이용되어 왔다.

본 연구에서는 고정미생물막공법에 의하여 유기성 폐수를 처리하는 경우에 연탄재를 매질로 이용하는 방안을 시도하여 그 연구결과를 분석하였다.

2. 고정미생물막공법의 역사

폐수처리를 위하여 매질을 이용하는 고정미생물막공법의 최초 형태는 자연의 토지를 이용하는 것이었다고 추측되며, 흙을 매질로 이용한 살수여상(trickling filter)이 1871년에 영국의 Birmingham에 세워졌으나 쉽게 막히는 결점이 있었으므로, 이를 보완하기 위하여 돌이나 쇄석으로 가득 찬 탱크에다 하수를 간헐적으로 채웠다가 제거하는 contact bed (bacterial bed 또는 Contact filter)가 1892년에 영국의 London에서 시도되었으며, 이로부터 쇄석위에다 하수를 간헐적으로 주입하는 살수여상이 개발되었다.(2)

살수여상에서의 ponding 현상이나 낮은 처리효율을 향상시키기 위하여 포기를 실시하게 되었는데 이 공법을 contact aerator 라고 부르며

(3) 매질도 돌이나 쇄석외에 깨진 부싯돌(broken flint), 판(lath), 스테이트판, 노끈, coke 등이 시도되기도 하였다. 그러나 포기에도 불구하고 슬러지의 축적때문에 혐기성 상태가 발생하여 처리효율이 불량하였다(4). 참고적으로 언급하면 1914년에 영국에서 활성슬러지공법이 개발되었다(5).

Contact aerator의 효율을 증대시키기 위하여 asbestos plate를 매질로 사용하는 contact aerator와 침전지를 2단으로 연결한 Hays 공법(6)이 개발되어 1950년대까지 미국에서 많이 이용되었으나 역시 불균일한 공기주입으로 혐기성 상태가 발생하며 매질의 폐쇄가 운전상의 문제점이 되어 살수여상이나 활성슬러지공법보다 못하다는 평을 받았다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 plastic media를 이용하고 draft tube 및 surface aerator를 설치하여 공기의 공급을 충분하게 하는 fixed activated sludge treatment process가 제안되기도 하였다(10, 11).

한편 Kato와 Sekikawa(7)는 매질로 스크린을 수직으로 설치한 fixed activated sludge 공법을 개발하여 폐수의 흐름을 쉽게 하면서도 낮은 pH, 영양소의 결핍등에 의한 sludge bulking 문제를 해결할 수 있었으며 Randall 등(8), Albert 등(9)에 의하여도 이 공법이 이용되었다.

또한 살수여상 처리수를 3차 처리하기 위하여 모래여상의 바닥에 공기를 주입하여 산소를 공급하고 여상의 폐쇄를 방지하는 pulsed adsorption process가 연구되었으며(12), 대기오염에서 분진제거장치인 bag filter의 원리를 적용한 filter activated sludge process가 고안되어 filter bag은 매질로, bag내부는 포기조로 작용하도록 하여 미생물 농도를 대단히 높게 유지할 수 있음으로써 처리효율을 크게 향상시킬 수 있었다(13).

지금까지 설명한 것은 매질이 고정되어 있는

공법들이었으나 매질이 움직이는 공법들이 개발되었으니 rotating biological contactor, expanded bed system 및 fluidized bed system 이 그 예이다. RBC는 1925년에 Doman(14)이 매질이 부분적으로 물에 잠기는 회전관공법을 실험한 이후 1929년에 Maltby(15)가 biological wheel을 개발하였으며, 1970년에 Chittenden 등(16)과 Torpey 등(17)이 매질로 styrofoam을 사용하여 다시 연구함으로써 BOD 제거 및 질산화율을 위하여 미국에서 많이 채택되었는데 shaft에 균열이 생기며 매질이 분해된다는 문제점이 있다(18).

Expanded bed system과 fluidized bed system은 상향으로 주입되는 제수의 유속에 의하여 모래와 같은 작은 매질 입자를 각각 expand시키거나 fluidize시키는 폐수 처리공법으로 호기성 처리인 경우에는 BOD 제거나 nitrification을 위하여, 그리고 혐기성으로 운영하면 denitrification이나 BOD 제거를 위하여 사용할 수 있다. 이들 system들은 많은 양의 미생물을 체류시킬 수 있어 처리시설의 규모를 줄일 수 있으며, 2차 침전의 필요성이 줄어들고 농축된 슬러지를 얻을 수 있다는 장점이 있으나(19) 바닥의 폐쇄, 슬러지 폐기 등의 문제점외에(20) 활성슬러지공법에 비하여 충격부하에 약하다는 단점이 있다(21).

한편 활성슬러지공법에서의 포기조에다 powdered activated carbon을 주입하여 활성탄의 흡착능력 및 생물학적분해를 동시에 이용함으로써 폐수 처리효율을 향상시키는 PACT process가 제안되었는데(22) 활성탄이 포기조나 columns에서 매질로 이용되는 경우의 흡착능력에 관해서는 찬반론이 대두되고 있다. 즉 Weber 등(23)은 활성탄의 흡착능력이 미생물에 의하여 재생된다고 주장하나 Lowery 등(24)은 활성탄이 모래나 coal 등의 매질에 비해서 우수한 점이 없으며 또한 활성탄이 미생물에 의하여 재생되지도 않

으며 미생물이 오히려 활성탄의 흡착능력에 해가 된다고 주장한다. 그러나 활성탄과 무연탄을 매질로 사용한 anaerobic filter의 연구결과에 의하면 매질로서의 활성탄의 우수성이 입증되었으며(27), 또한 유기물의 농도가 낮은 정수과정에서도 활성탄이 미생물에 의하여 재생될 수 있다고 주장된다(25).

3. 매질로서의 연탄재의 특성

앞에서 설명된 문헌연구에 의하면 고정미생물막공법에 사용된 매질은 주로 자갈, 쇄석, 광재, Plastic media, granular activated carbon 등이 있는데 무게가 가벼우면서도 쉽게 파괴되지 않을 정도의 강도를 가져야 하며, 폐쇄되지 않고 폐수와 공기가 쉽게 통과할 수 있는 공간을 제공할 수 있어야 할 뿐만 아니라 미생물이 부착 성장할 수 있는 충분한 표면적을 제공할 수 있어야 한다. 이러한 점을 고려하여 매질로서의 연탄재의 이용 가능성을 살펴보면 다음과 같다.

22공탄(2급탄) 연탄재 14개를 임의로 선정하여 무게를 측정된 결과 최소 1.25 kg, 최대 1.98 kg, 평균 1.52 kg이었다. 한편 물로 포화시켰을 때의 무게는 최소 2.18 kg, 최대 2.83 kg, 평균 2.48 kg이었다(26). 이는 건조한 연탄재 1개가 약 1 L의 물을 흡수시킬 수 있음을 나타내며, 연탄재 건조무게 1 kg당 0.64 L의 물을 흡수함을 뜻한다.

22공탄의 규격은 직경이 150 mm, 높이가 142 mm, 구멍의 직경이 14 mm로서 구멍을 제외한 부피는 2,027 cm³이며, 전체 표면적 2,328 cm² 중에서 구멍이 차지하는 표면적은 69.5%가 된다. 따라서 건조한 연탄재의 비중은 0.75, 물로 포화된 경우는 1.22로서 매우 가벼운 매질임을 알 수 있다. 한편 건조무게가 1.25-1.41 kg인 연탄재의 압축강도는 2.3-3.8 kg/cm²이었으며 물속에 담근 후 7일 만에 4.8-5.7 kg/cm², 12일에는 4.8-6.4 kg/cm², 그리고 69일 후에는

Table 1: physical characteristics of packing media

type	Dimensions or nominal size (in.)	voids (ϵ) (%)	specific surface (m^2/m^3)	Dumped weight (kg/m^3)	Reference
Ceramic	1	73	190	641	28
Rashig Rings	2	74	92	609	
Carbon	1	74	187	433	28
Rashig Rings	2	74	94	433	
Ceramic	1	69	249	721	28
Berl Saddles	2	72	105	641	
Parl Rings	1	93.4	217	529	28
	2	94.0	120	441	
Cyclohelix Single Spiral	3 1/4	58	131	961	28
	4	60	105	977	
	6	66	69	945	
Ceramic	1	66	226	801	29
Lessing Rings	2	68	105	785	
Ceramic Intalox Saddles	1/2	78	623	545	29
	1	78	256	545	
	1 1/2	81	197	481	
Quartzite, gravel, stone, crushed stone	25 - 38 mm	42 - 47	140	-	27
granular activated carbon	0.85 - 2.0 mm	45	3,700	-	30
Granite	25 x 75 mm	-	63	-	26
	100 mm	-	43	-	
Blast furnace slag	50 - 70 mm	-	66	-	26
briquette ashes	-	20	115	750 (dry)	-

7.1 kg/cm³으로 증가되었다. 따라서 물속에서는 약 1,760 장, 물속이 아닌 경우에는 약 500 장까지 쌓아 올릴 수 있다는 결론이 되므로 (26) 비중이 낮 으면서도 이음면에서 쉽게 파손되지 않을 정도의 강도를 가짐을 알 수 있다.

위에서 언급된 바와 같이, 부피가 2.027 cm³인 22 공탄은 2,328 cm²의 표면적을 가지는데 이는 비표면적이 115 m²/m³으로 표 1에 주어진 자료에 의하면 광재, granite 등의 매질보다는 훨씬

큰 비표면적을 가지며 Parl Rings, Rashing Rings 등의 media와 비교해서 별 손색이 없는 큰 비표면적을 제공할 수 있는 매질임을 알 수 있다. 또한 연탄재는 모두 직경이 1.4 cm인 구멍을 22 개씩 가지므로 폐쇄될 염려가 없으며 폐수와 공기의 유통이 용이함을 알 수 있다.

표 2는 연탄재의 화학적인 구성을 보여주는데 SiO₂는 흡착제, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO 등은 응응집제, CaO와 MgO는 중화제, N 및 P는 미

Table 2: chemical and industrial characteristics of 22-hole briquette ashes

chemical			industrial	
components	range (%)	ex. (%)	components	ex. (%)
SiO ₂	43-65	55.8	water	0.57
Al ₂ O ₃	20-42	33.3	ash	86.1
Fe ₂ O ₃	7-12	4.29	volatile	3.84
CaO	0.3-3.9	0.88	fixed carbon	9.49
MgO	0.2-2.5	-		
Na ₂ O	1.7-4	0.64		
K ₂ O		4.91		
P	0.1-0.3	-		
N	0.5-1.5	-		

생물에 대한 영양소로 작용할 수 있는 성분들인데 이들이 그러한 작용을 실제 할 수 있는 지는 정확히 규명되지 않고 있다. 본 연구에서는 연탄재를 매질로 사용하는 경우 유기물 흡착능력을 확인하기 위하여 실험을 실시하였다. 즉 건조무게가 평균 1.57 kg인 연탄재 6개를 내경 16cm인 원형관에 수직으로 채운 다음 반응조의 부피가 19 L가 되도록 바닥에서 94cm 되는 높이에 유출구를 만들어 하수를 상향류가 되도록 주입시켜서 하수유량을 변동시켜 체류시간을 조절하면서 실험을 실시하여 표 3에 주어진 결과를 얻었다. 표 3에 주어진 자료를 분석해 보건데 연탄재의 흡착능력은 최대체류시간인 6시간에서도 완전히 소모되지 않았으며 원수의 농도

Table 3: Results of experiments for determination of 22-hole briquette ashes adsorption capacity.

D. T.	1 hr		2 hr		4 hr		6 hr	
	BOD	SS	BOD	SS	BOD	SS	BOD	SS
influent (ppm)	152	230	165	290	105	130	95	100
effluent (ppm, avg)	65.0	62.3	60.3	61.7	33.0	22.9	26.8	17.2
removal eff. (%)	57.2	72.9	63.4	78.7	68.6	82.4	71.8	82.8
effluent* (ppm, assumed)	80.7	62.3	80.5	61.7	65.5	22.9	63.2	17.2
sampling	DT+10-60 min every 10 min (6)		DT+20-120 min every 20 min (6)		DT+30-240 min every 30 min (8)		DT+30-360 min every 30 min (12)	
Q(1)	280 cc/min × 120 min		140 cc/min × 240 min		70 cc/min × 480 min		35 cc/min × 720 min	
total weight of 6 ashes (g)	9,390		9,480		9,420		9,370	
adsorption capacity of ashes (g BOD/kg ashes)	312		362		257		237	

* based on $BOD = 56.566 + 0.388 SS$ which is derived from influent conc. relation.

에 따라 연탄재 단위 무게당의 흡착능력에 차이가 있음을 알 수 있다. 참고문헌(26)에 의하면 glucose를 사용하여 포기시키면서 연탄재의 흡착능력을 측정된 결과 그림 1에 주어진 자료를

얻었는데 연탄 1장에 의한 평균 COD 제거율은 24 시간 기준으로 102 mg/L이며, 연탄 kg당 평균 제거율은 133 mg/L이었다고 한다. 이러한 연구결과들을 종합하건데 연탄재는 폐수내의 유

기물을 흡착시킬 수 있는 능력을 가졌음이 확실하다. 이러한 흡착능력이 폐수처리에 어느 정도의 영향을 미치는지는 불확실하나 참고문헌(25)에서 언급된 바와 같이 F/M비가 낮은 경우에는 흡착된 유기물이 미생물에 의하여 이용되면서 연탄재의 흡착능력이 재생될 수도 있으리라 추측된다.

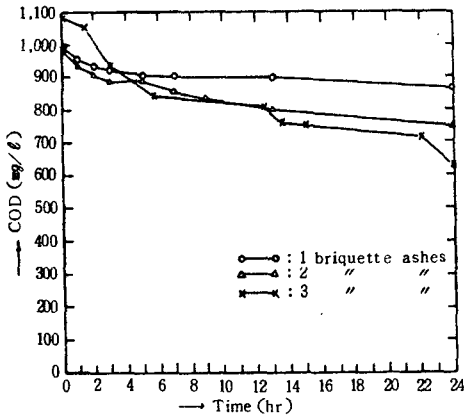


Fig. 1. Results of adsorption experiments for briquette ashes.

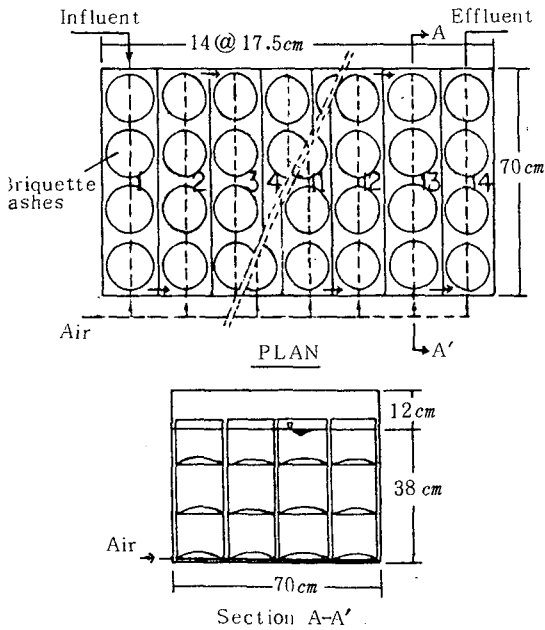


Fig. 2. Reactor configuration

4. 실험 및 결과

4-1 주정공장폐수

그림 2에 주어진 바와 같이 규격이 17.5cmW × 70cmL × 50cmH인 반응조를 14개 연결하여 연탄재를 3개씩 포개어 채운 다음 수면이 38cm 높이에 유지되도록 하였다. 따라서 연탄재의 상단 일부는 대기에 노출되며 전체 연탄재의 수는 반응조당 3×4=12개의 연탄이 채워졌으므로 168개가 된다. 포기를 위하여 각 반응조의 바닥에다 플라스틱 파이프를 배관하였으며, 실제 배관은 폐수가 모든 포기실에 동시에 주입되고 처리수도 모두 동시에 제거될 수 있도록 하였으나 실험은 폐수가 첫째 반응조의 한쪽 끝부분에 주입되어 plug flow 형태로 모든 포기실을 거친 다음 제거되도록 진행되었다.

BOD농도가 대략 10,000 mg/L 정도되는 주정 폐수를 희석시켜 BOD농도가 평균 6,377 mg/L 되도록 한 다음 150 L/day의 율로 위에서 설명된 시설에 주입하면서 관찰하여 폐수처리가 정상적으로 된다고 판단되는 14일간 각 반응조의 유출수 BOD를 측정 평균하여 그림 3과 같은 결과를 얻었는데 제 3 반응조까지는 BOD 감소가 급격하고 그후 14조까지는 서서히 감소하여 처리수의 평균 BOD가 11.3 mg/L이었으므로 BOD

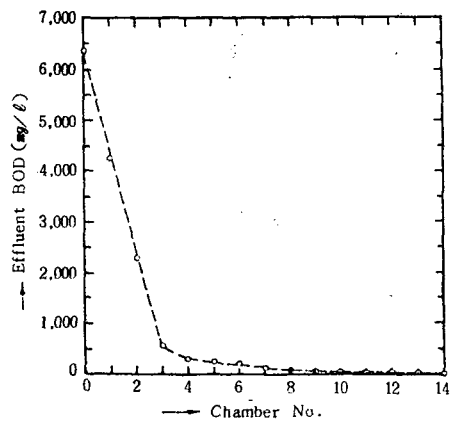


Fig. 3. Treatment results for alcoholic waste.

제거효율이 99.8%가 된다. 동일한 실험기간 중 각 반응조 유출수의 BOD농도, SS농도, 그리고 DO농도의 변화를 살펴보면 각각 그림 4, 그림 5, 그리고 그림 6과 같다.

앞에서 언급된 바와 같이 연탄 1개의 부피가 2.027 L이며 연탄재가 물로 포화되는 경우에 이만한 부피가 포기실을 점유하며, 연탄 1개의 높이를 14.2cm로 보는 경우에 전체높이 42.6cm중

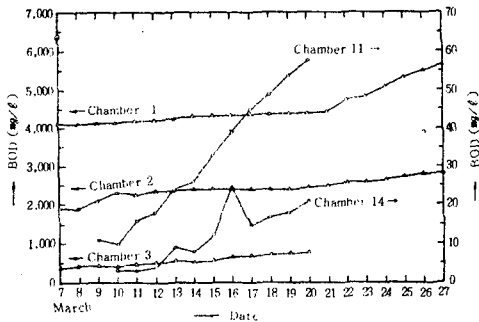


Fig 4. BOD variation in the reactor for alcoholic waste treatment.

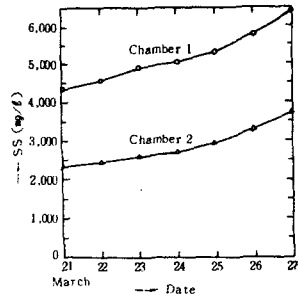


Fig 5. SS variation in the reactor for alcoholic waste treatment.

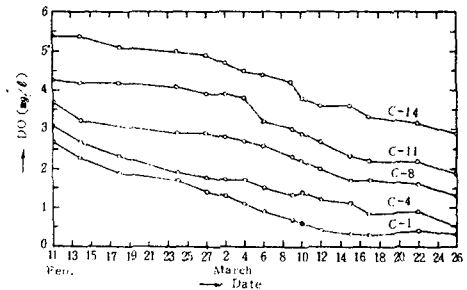


Fig 6. DO variation in the reactor for alcoholic waste treatment.

Table 4 : Superficial and Volumetric loadings for treatment of alcoholic waste*

chamber No.	influent BOD (mg / l)	BOD Applied (g / day)	Superficial loading (kg BOD/m ² -day)	Volumetric loading (kg BOD/m ³ -day)	effluent BOD (mg / l)
1	6,377	956.550	0.2921	20.549	4,257
2	4,257	638.550	0.1950	13.718	2,305
3	2,305	345.750	0.1056	7.427	570
4	570	85.500	0.0261	1.837	331
5	331	49.650	0.0152	1.067	267
6	267	40.050	0.0122	0.860	204
7	204	30.600	0.0093	0.657	130
8	130	19.500	0.0060	0.419	87
9	87	13.050	0.0040	0.280	57
10	57	8.550	0.0026	0.184	48
11	48	7.200	0.0022	0.155	32
12	32	4.800	0.0017	0.103	23
13	23	3.450	0.0011	0.074	17.7
14	17.7	2.655	0.0008	0.057	11.3

* flow rate = 150 l / day

에서 4.6 cm는 수면상에 위치하므로 포기실당 수면 이하의 전체용적 46.6 L에서 연탄재의 부피 21.7 L를 빼면 각 포기실의 유효용적은 24.9 L가 된다. 따라서 각 포기실의 체류시간은 0.166 일(4 시간)이며 전체 체류시간은 2.324 일(56 시간)이 된다. 반면 연탄재의 부피를 무시한 공칭포기시간은 4.35 일이 된다. 연탄재에는 크기가 다른 작은 공극이 많으므로 미생물이 부착 성장할 수 있는 표면적의 양을 정확히 알 수

없으나 앞에서 계산된 공칭표면적 2,328 cm²중에서 물에 잠긴 부분과 포기실 내부표면을 고려하여 표면적을 계산한 결과 포기실 1개당 3,2744 m²의 표면적이 제공되며, 그 중에서 연탄이 차지하는 면적이 76%나 된다. 위에서 계산된 부피와 표면적, 그리고 그림 3에 주어진 자료를 이용하여 면적부하 및 용적부하와 처리수의 수질관계를 계산하면 표 4와 같으며 그림으로 나타내면 그림 7 및 그림 8과 같다.

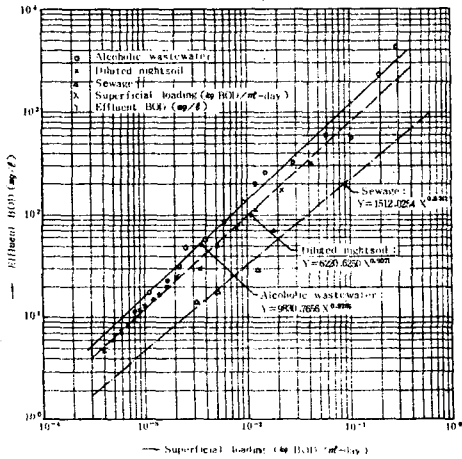


Fig 7. Correlation between superficial loading and effluent BOD

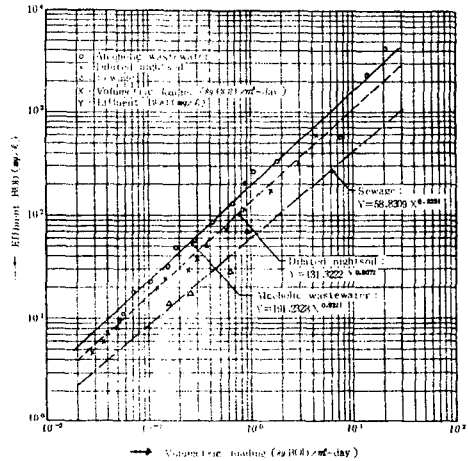


Fig 8. Correlation between volumetric loading and effluent BOD

4-2 분 뇨

대략 20:1로 희석된 분뇨를 15-20℃에서 그림 2에 도해된 포기실 18개를 연결한 시설을 사용하여 1981년 10월 21일부터 11월 21일까지 처리하였으며, 그 중에서 18개의 포기실이 모두 희석된 분뇨로 채워지면서 정상가동된 10월 26일부터 11월 16일까지의 분석자료를 평균한 결과가 그림 9에 주어져 있다. 이 기간동안의 희석분뇨 주입율은 평균 226.5 L/day이었다. 주정폐수의 경우와 마찬가지로 실험기간중 각 포기실 유출수의 BOD농도를 살펴보면 그림 10과 같으며, 면적부하 및 용적부하와 처리수의 수질

관계를 따져보면 표 7 및 그림 8에 주어질 바와 같다.

한편 부족한 자료이긴 하지만 실험기간중의 SS 측정결과를 요약하면 표 6에 주어질 바와 같다.

Table 5 : Superficial and Volumetric loadings for treatment of diluted nightsoil*

chamber No.	influent BOD (mg/l)	BOD Applied (g/day)	Superficial loading (kg BOD/m ² -day)	Volumetric loading (kg BOD/m ³ -day)	effluent BOD (mg/l)
1	900	203.85	0.0623	4.379	607
2	607	137.49	0.0420	2.954	323
3	323	73.16	0.0223	1.572	178
4	178	40.32	0.0123	0.866	116
5	116	26.27	0.0080	0.564	75
6	75	16.99	0.0052	0.365	51
7	51	11.55	0.0035	0.248	30
8	30	6.80	0.0021	0.146	25
9	25	5.66	0.0017	0.122	20
10	20	4.53	0.0014	0.097	17
11	17	3.85	0.0012	0.083	15
12	15	3.40	0.0010	0.073	13
13	13	2.94	0.0009	0.063	11
14	11	2.49	0.0008	0.053	10
15	10	2.27	0.0007	0.049	8.5
16	8.5	1.93	0.0006	0.041	7.5
17	7.5	1.70	0.0005	0.037	6
18	6	1.36	0.0004	0.029	4.7

* Average flow rate = 226.5 l/day

Table 6 : SS concentration at some chambers (unit : ppm)

chamber date	raw	1	3	5	13	18
1981.10.30	-	250	115	-	10	-
11.10	245	-	-	15	-	10

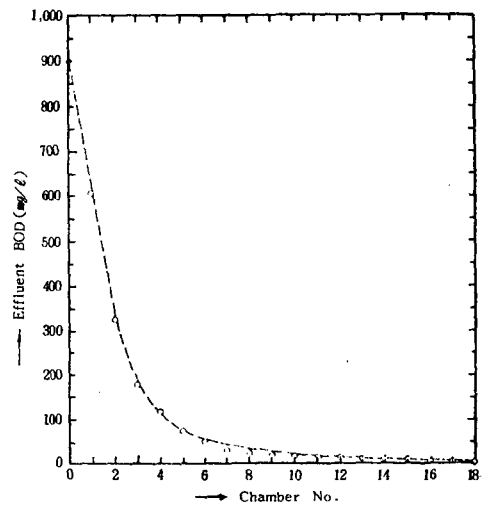


Fig 9. Treatment results for diluted nightsoil .

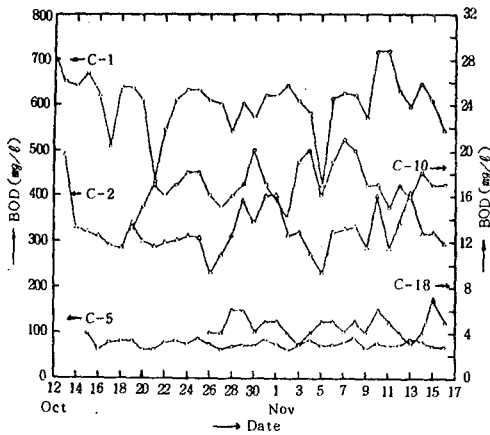


Fig10. BOD variation in the reactor for treatment of diluted night-soil.

4-3 가정오수

규격이 68cm W × 220cm L × 300cm WD인 반응조를 8개 연결하였으며 4 × 4 × 6 = 96개의 연탄재가 적재된 tray 9개를 각 반응조에 설치하였다. 따라서 각 반응조에는 96 × 9 = 864개, 그리고 전체적으로는 모두 8 × 864 = 6,912개의 연탄재가 적재된 셈이다. 타실험에서와 마찬가지로 반응조의 바닥에 포기관을 배치하였으며, 폐수는 plug flow로 흐르도록 되었다.

BOD가 평균 160 mg/L인 가정오수(식당폐수, 정화조유출수, 세탁 및 목욕폐수의 혼합폐수)를 40m³/day의 율로 주입하면서 1982년 1월 2일

Table 7 : Superficial and Volumetric loadings for treatment of sewage

chamber No.	influent BOD (mg/l)	BOD Applied (g/day)	Superficial loading (kg BOD/m ² -day)	Volumetric loading (kg BOD/m ³ -day)	effluent BOD (mg/l)
1	206	8.240	0.0375	1.8311	-
2	-	-	-	-	102.8
3	102.8	4.112	0.0187	0.9138	71.6
4	71.6	2.864	0.0130	0.6364	29.5
5	29.5	1.180	0.0054	0.2622	18.
6	18	0.720	0.0033	0.1600	14.5
7	14.5	0.580	0.0026	0.1289	-
8	-	-	-	-	6.6

flow rate = 40m³/day

부터 3월 9일까지 운전시키면서 BOD와 SS를 측정하여 그림 11에 주어진 평균치를 얻었다. 각 반응조의 공칭부피는 4.5m³이며 연탄재와 반응조 내부표면을 고려한 전체표면적은 220m²이므로 이에 근거하여 면적부하 및 용적부하와 처리수의 수질관계를 따져보면 표 7, 그림 7 및 그림 8에 주어진 바와 같다. 또한 실험기간중 반응조에서의 DO 및 SS변화를 예를 들면 그림 12 및 그림 13과 같다.

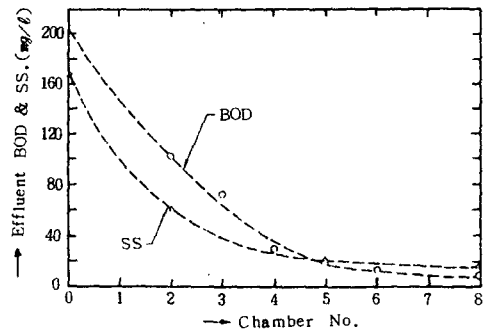


Fig 11. Treatment results for sewage.

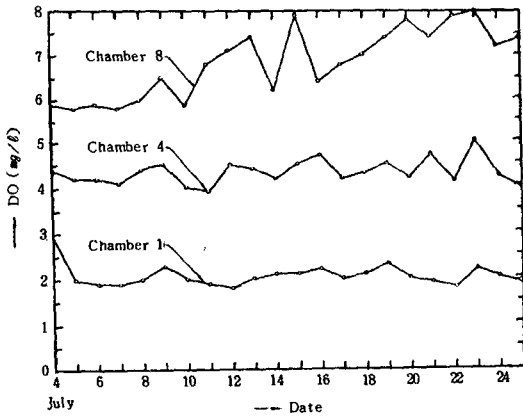


Fig 12. DO variation in the reactor for sewage treatment.

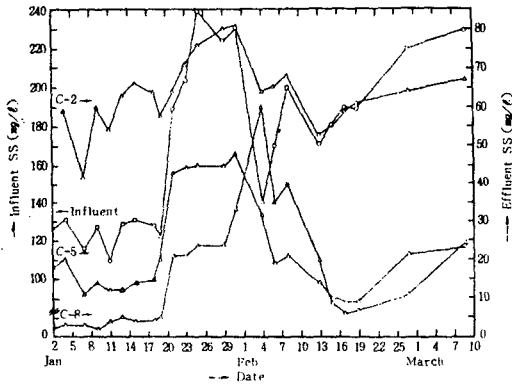


Fig 13. SS variation in the reactor for sewage treatment.

5. 실험결과와 분석

앞에서 설명된 실험결과들을 분석해 보면 다음과 같다.

5-1. 유기물 제거효율

그림 3, 그림 9 및 그림 11에 주어진 실험 결과들을 종합하여 폐수의 종류에 따른 BOD 제거 효율을 계산해 보면 표 8와 같다. 폐수가 Plug flow 형으로 흐르기 때문에 직렬로 연결된 반응조마다 BOD용적부하에 큰 차이가 있지만 표 8에 주어진 바와 같이 평균 BOD 용적부하를 따지면 재래식의 살수여상이나 활성슬러지공법과 비슷한 부하에서도 훨씬 좋은 BOD 제거효율을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

Table 8 : BOD Removal efficiencies for various wastewaters

wastewater	alcoholic wastewater	diluted nightsoil	sewage
influent BOD (mg/L)	6,377	900	206
effluent BOD (mg/L)	11.3	4.7	6.6
removal eff. (%)	99.8	99.5	96.8
Nominal D. T. (days)	4.35	3.70	0.9
avg. vol. loading (kg BOD/m ³ -day)	3.385	0.652	0.655

완전혼합형 반응조의 plug flow형 반응조를 비교할때 동일한 처리효율을 얻기 위하여 요구되는 반응조의 부피는 이론적으로 plug flow형이 적는데 (3) 본 연구에서는 이를 최대한으로 이용하는 셈이 된다. 또한 회석분뇨와 가정하수의 경우에서와 같이 BOD부하가 낮은 경우에는 처리수의 BOD농도가 각각 4.7 및 6.6 mg/L이었는데 이는 자산화(auto-oxidation) 개념과 (3) 연탄재의 흡착능력에 의하여 폐수처리가 이루어지고 있음을 뜻할 수 있다.

또한 그림 3 및 그림 9에 주어진 바와같이 BOD 농도가 높은 주정폐수와 회석분뇨의 경우 최초 2-3개 반응조에서의 BOD 제거효율이 매우 높은데 이는 SS의 제거, DO결핍에 의한 혐기성 분해, 연탄재의 흡착능력등에도 그 원인이 있다고 추정된다.

그러나 연탄재로 채워진 반응조가 장기간 이용되는 경우에도 계속 높은 BOD 효율을 얻을 수 있는가에 대하여는 상당한 의문이 제기되고 있는데 이에 관해서는 다음에 다시 언급이 될 것이다.

5-2. SS의 측정

본 연구는 주로 BOD의 제거효율에 관하여 관심이 집중되었으므로 SS의 제거효율을 철저히 측정하지는 않았지만 표 6에 주어진 바와 같이 SS농도가 250 mg/L 정도인 회석분뇨의 경우

처리수는 10 mg/L 정도의 SS 농도를 가짐을 알 수 있으며, 그림 11 및 그림 13에 주어진 바와 같이 가정오수의 경우 1982년 1월 2일부터 동년 3월 9일 사이에 23회 SS를 측정 평균한 결과 원수의 SS 농도는 169 mg/L, 그리고 처리수의 SS 농도는 16 mg/L로서 2-60 mg/L의 범위를 보였다. 또한 주정 폐수의 경우도 그림 3에 주어진 결과를 위한 동일한 실험기간중 처리수의 SS 농도를 측정, 평균한 결과 0 mg/L의 값을 얻었다. 따라서 본 실험기간중 모든 처리수의 SS 농도는 매우 좋았음을 알 수 있다.

그러나 그림 5 및 그림 13에 나타난 바와 같이 각 반응조 유출수의 SS 농도는 시간이 경과함에 따라 증가 및 감소를 되풀이함을 알 수 있는데, 원수내에 존재하던 SS든 미생물의 성장에 의한 SS든 각 포기조에서 완전히 분해될 수는 없으므로 포기에 의해서 다음 반응조로 넘어가게 마련이며 긴 시간이 지나면 결국 마지막 유출수에 섞여서 흘러나가게 될 것이며 그런 경우 처리수의 SS 농도는 높게 될 것이고 결과적으로 침전지를 요구하게 된다. 주정 폐수의 경우를 예로 들면 그림 4에서와 같이 시간이 경과함에 따라 각 반응조 유출수의 BOD 농도가 증가하며, 그림 6에서와 같이 각 반응조에서의 DO 농도가 점차로 감소함은 주원인이 SS의 증가에 있다고 보아지며, 그 외에도 연탄재의 흡착능력이 높은 BOD 부하 및 과도히 번식한 미생물막 등 여러 가지 이유로 완전히 소모된 이후 재생되지 않음으로써 원수의 BOD 부하가 계속 하류쪽 반응조로 넘어가는데도 그 원인이 있다고 추측된다.

그러나 그림 10 및 그림 12에 나타난 바와 같이 시간에 따른 각 반응조 유출수의 BOD 증가 또는 DO 감소는 원수의 BOD 농도에 의하여 크게 영향을 받게 됨을 알 수 있는데 BOD 부하가 낮을수록 각 반응조 유출수의 시간에 따른 BOD 증가는 감소함을 알 수 있다.

만약 원수가 SS를 함유하지 않는다면 처리수의 SS는 모두 성장한 미생물의 탈리(slough-

off)에 그 원인이 있게 되는데 이런 경우 처리수의 SS 및 BOD 농도는 주기적인 증감을 나타내면서 변화를 보이게 되며 우수 폐수를 사용한 실험결과 증명이 되고 있다(26). 그러나 그림 13에 주어진 바와 같이 원수가 상당한 양의 SS를 함유하고 체류기간이 짧은 경우에는 처리수의 SS 농도는 원수의 SS 농도에 의해서 크게 영향을 받게 된다.

5-3 설계공식의 유도

표 4, 표 5 및 표 7에 주어진 자료를 그림으로 나타낸 것이 그림 7과 그림 8인데 이들 자료를 사용하여 최소자승법에 의한 최적곡선을 전자계산기로 계산한 결과 표 9에 주어진 공식들을 얻었으며 이들을 그림으로 나타내면 그림 7 및 그림 8에 주어진 바와 같다. 따라서 이들 공식들을 이용하면 연탄재를 이용한 폐수처리시설을 쉽게 설계할 수 있을 것이다.

Table 9 : Formula for the design of wastewater treatment process using briquette ashes.

	X: volumetric loading (kg BOD/m ³ -day)	X: superficial loading (kg BOD/m ² -day)
alcoholic wastewater	$Y = 191.2328 X^{0.9221}$	$Y = 9830.7656 X^{0.9285}$
diluted nightsoil	$Y = 131.3222 X^{0.9072}$	$Y = 6220.6250 X^{0.9071}$
Sewage	$Y = 58.8309 X^{0.8291}$	$Y = 1512.0254 X^{0.8342}$

※ Y = effluent BOD (mg/l)

그림 7 및 그림 8을 관찰할때 가정오수를 위한 자료가 불충분하지만 폐수의 종류, 즉 원수의 BOD 농도에 따라 설계곡선에 큰 차이가 있음을 알 수 있으며, 같은 표면부하 또는 용적부하에 서도 원수의 BOD 농도가 높을수록 처리수의 수질이 나쁠 수 있는데 그 원인을 규명하기 위하여 앞으로 많은 연구가 시행되어야 할 것이다. 그 원인의 하나가 연탄재의 흡착능력이 될 가능성도 있을 것이다.

식 1은 살수여상(trickling filter)의 설계를

위하여 이용되는 NRC 공식인데 (33) 재순환이 없는 경우에는 재순환계수가 1이므로 결국 처리효율은 BOD용적부하에 의해서 결정되며 연탄재를 사용한 본 연구의 결과도 동일한 결과를 얻었다. 그러나 NRC 공식은 가정오수만을 대상으로 연구 개발된 공식임으로 살수여상에서는 처리효율이 원수의 BOD에 관계없이 용적부하에 의해서만 결정될 수 있지만 연탄재를 매질로 이용하는 경우에는 처리효율이 BOD용적부하와 원수의 BOD농도에 의하여 결정되므로 앞에서 언급된 바와 같이 이점이 흡착능력이 있는 매질의 특성인것 같다.

$$E = \frac{100}{1 + 0.432 \left(\frac{W}{VF} \right)^{0.5}} \dots\dots\dots (1)$$

위의 식에서 :

E = 20℃에서의 BOD제거율 (%)

W/V = BOD부하율 (kg/m³ - day)

F = 재순환계수 = $\frac{1+R}{(1+0.1R)^2}$

R = 재순환율

또한 식 2는 미육군부대 5개소의 contact aerator로부터 경험적으로 유도한 식으로 (34) 처리효율이 매질의 표면적과 포기시간, 즉 용적부하와 표면부하 모두에 의해서 결정됨을 보여주는데 이는 NRC 공식보다 더욱 연탄재를 이용한 본 연구결과와 부합된다.

$$E = \frac{100}{1 + 0.225 \left(\frac{L}{AT} \right)^{0.75}} \dots\dots\dots (2)$$

식 2에서 :

E = 1차 처리수를 기준으로 할 때의 BOD 제거효율 (%)

L = BOD부하율 (Lb/day)

A = 매질의 표면적 (1,000 ft²)

T = 포기시간 (hr)

따라서 앞으로 그림 7, 그림 8 및 표 2에 주어진 연구결과를 재확인할 수 있도록 좀 더 연구가 진행되어야 할 것이다.

6. 결 론

고정미생물막 공법에서 연탄재를 매질로 사용하여 주정폐수, 회석분뇨 및 가정오수를 처리한 본 연구의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 연탄재는 지금까지 채택되어온 각종 매질보다 압축강도가 약하다는 단점이 있으나 고정미생물 막공법을 위한 매질로 이용되는데는 큰 문제가 없으며 매질이 갖추어야 할 각종 구비요건을 충분히 갖추고 있다고 판단된다.

2) 연탄재는 유기물을 흡착할 수 있는 능력을 가지는데 단기간에 걸친 실험결과에 의하면 연탄재의 유기물 흡착능력은 폐수의 유기물농도, 접촉기간등에 따라 변한다.

3) plug flow형의 반응조에다 연탄재를 매질로 이용하여 주정폐수, 회석분뇨 및 가정오수를 처리한 본 연구결과에 의하면 유입수의 BOD농도, 체류기간등에 의하여 차이가 있긴 하지만 대단히 양호한 BOD제거효율을 얻을 수 있었다.

4) 실험기간중 반응조내에는 유입수내의 SS나 미생물의 성장에 기인한 SS의 축적이 일어나며 결국 시간이 경과함에 따라 처리수의 수질이 악화될 수 있으므로 종말침전지가 요구될 수도 있다.

5) 표 7에 요약된 바와 같이 연탄재를 매질로 이용하는 경우의 처리수의 BOD농도는 반응조에서의 용적부하나 표면부하로 나타낼수 있으므로 설계가 용이하다.

6) 처리수의 수질은 동일한 부하에서도 폐수의 종류, 즉 폐수의 BOD농도에 따라 다른데 이는 연탄재의 흡착특성에 기인한다고 추측된다.

결론적으로, 교체폐기물인 연탄재를 고정미생물막공법에서 매질로 사용하면 유기성 폐수의 처리시 유기물 제거효율이 매우 좋으며, 또한 처리수의 BOD농도를 표면부하나 용적부하로 쉽게 계산할 수 있으므로 처리시설의 설계가 매우 용이한 경제적인 폐수처리공법이 될 수 있다.

감사의 말

본 연구를 위하여 물심양면으로 도와준 롯데 기계공업주식회사의 조연제 상무님께 심심한 고마움을 표한다.

참 고 문 헌

1. The 1st International Conference on Fixed-Film Biological Processes, Kings Island, Ohio (1982)
2. Phelps, E. B., Public Health Engineering, MacMillan Co., N. Y. (1925)
3. Imhoff, K., "Submerged Contact-Aerators for Sewage Treatment," Engineering News-Record, 97, 24, 948 (1928)
4. Schimrigk, P., "Contact Process, A New Method of Artificial Biological Sewage Purification," Sewage Works Journal, 5, 3, 550 (1933)
5. Arden, E., and Lockett, W. T., "Experiments on the Oxidation of Sewage without the Aid of Filters," Journal of the Society of Chemical Industry, Vol. 33, p. 523 (1914)
6. Griffith, L. B., "Contact Aeration for Sewage Treatment," Engineering News-Record, 130, 4, 60 (1943)
7. Kato, K., and Sekikawa, Y., "Fixed Activated Sludge Process for Industrial Waste Treatment," Proceedings 22nd Industrial Waste Conference, Purdue Univ., 926 (1967)
8. Randall, C. W., Edwards, H. R., and King, P. H., "Microbial Process for Acidic Low-nitrogen Wastes," Journal Water Pollution Control Federation, 44, 3, 401 (1972)
9. Albort, R. C., Hoehn, R. C., and Randall, C. W., "Treatment of a Munitions-Manufacturing Waste by the Fixed Activated Sludge Process," Proceedings of the 27th Annual Purdue Industrial Waste Conference, Purdue Univ., 458 (1972)
10. Tolaney, M., "A Fixed Media Complete Mixing Activated Sludge System," M. S. thesis, Univ. of Kansas (1971)
11. Choi, E., "A Fixed Media Complete Mixing Activated Sludge," Ph. D. thesis, Univ. of Kansas (1973)
12. Johnson, R. L., and Baumann, E. R., "Advanced Organics Removal by Pulsed Adsorption Beds," Journal Water Pollution Control Federation, 43, 8, 1640 (1971)
13. Cho, K. M., "Development of a System for the Treatment of Sanitary Wastes at Interstate Highway Rest Areas," Ph. D. thesis, Purdue Univ. (1975)
14. Doman, J., "Results of Operation of Experimental Contact Filter with Partially Submerged Rotating Plates," Sewage Works Journal, 1, 5, 555 (1929)
15. Anon, "Biological Wheel," Sewage Works Journal, 1, 5, 560 (1929)
16. Chittenden, J. A., and Wells, W. J., Jr., "Rotating Biological Contactors Following Anaerobic Lagoons," Journal Water Pollution Control Federation, 43, 5, 746 (1971)
17. Torpey, W. N., Heukelekian, H., Kaplovsky, A. J., and Epstein, R., "Rotating Disks with Biological Growths Prepare Wastewater for Disposal or Reuse," Journal Water Pollution Control Federation, 43, 11, 2181 (1971)

- 18 . Smith, E. D., "Rotating Biological Contact Technology -State-of-Knowledge," Presented at the 1st Int. Conf. on Fixed-Film Biological Processes, Kings Island, Ohio (1982)
- 19 . Cooper, P. F., et. al., "Fluidized and Expanded-Bed Reactors for Wastewater Treatment," Journal of Water Pollution Control, 286 (1980)
- 20 . Oppelt, E. T., et. al., Expanded Bed Biological Treatment, USEPA (1978)
- 21 . Halladay, D. W., et. al., "Biodegradation of Phenolic Waste Liquors in Stirred-Tank, Packed Bed, and Fluidized Bed Bioreactors," Journal Water Pollution Control Federation, 50, 11, 2573 (1978)
- 22 . U. S. Patents 3,904,518 and 4,069,148 granted to Du Pont (Sept. 9, 1975 and Jan. 17, 1978)
- 23 . Weber, W. J., et. al., "Biologically-Extended Physicochemical Treatment," Proc. 6th Conference on Water Pollution Research, Jerusalem, Israel, June 18-24 (1972)
- 24 . Lowry, J. D., et. al., "The Role of Adsorption in Biologically Extended Activated Columns," Journal Water Pollution Control Federation, 52, 2, 389 (1980)
- 25 . Miller, G. W., and Rice, R. G., "European Water Treatment Practices-the Promise of Biological Activated Carbon," Civil Engineering, p.80 (Fed., 1978)
- 26 . 연탄재를 이용한 폐수처리공법의 개발방향, 고려대학교 생산기술연구소 보고서 (1982. 7)
- 27 . Khan, K. A., et. al., "Role of Surface Active Media in Anaerobic Filters," J. of the Environ. Eng. Div., Proc. of the Am. Soc. of Civil Eng., 108, EE2, 269 (1982)
- 28 . Foust, A. S., et. al., Principles of Unit Operations, John Wiley & Sons, Inc. (1960)
- 29 . McCabe, W. L. and Smith, J. C., Unit Operations of Chemical Engineering, 2nd ed., McGraw-Hill Book Co. (1967)
- 30 . Khan, K. A., "Performance of Upflow Anaerobic Biological Activated Carbon Column Receiving Phenolic Wastewater," Ph. D. thesis, Georgia Institute of Technology (1980)
- 31 . Weber, Jr., Physicochemical Processes for Water Quality Control, Wiley-Interscience, New York (1972)
- 32 . McKinney, R. E., Microbiology for Sanitary Engineers, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York (1962)
- 33 . "Sewage Treatment at Military Installations," Report of the Subcommittee on Sewage Treatment in Military Installations, National Research Council, Sewage Works Journal, 18, 5, 787-1028 (1946)
- 34 . Huang, C., "The Air Force Experience in Fixed Film Biological Processes," presented at the 1st International Conf. on Fixed-Film Biological Processes, Kings Island, Ohio (1982)