



ผลการทดลอง และการวิจารณ์

4.1 การเริ่มดำเนินการทดลอง (Start up)

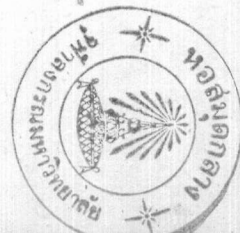
การทดลองเริ่มต้นโดยการนำน้ำโสโครกจากโรงกำจัดน้ำโสโครก ห้วยขวาง ของการเคหะแห่งชาติ มาใส่ในถังขนาด 200 ลิตร ที่ห้องทดลองทุกวัน โดยเก็บตัวอย่าง น้ำโสโครกที่นำมาทดลอง ช่วงเวลาประมาณ 10.30 น. นับตั้งแต่เริ่มทำการทดลองจน ทดลองเสร็จสิ้น โดยใช้เครื่องสูบน้ำคูดน้ำโสโครกจากถัง 200 ลิตร ไปเข้าตัว Filter สองตัว ดังรูปที่ 2 ซึ่งบรรจุกรวดขนาด 1" - 2" และ 2" - 3" อยู่ในแต่ละตัว โดย ผ่านหน้าจานดงที่เจาะรูอยู่ทั่วไปบนหน้าจานนั้นเพื่อให้น้ำโสโครกกระจายทั่วผิวน้ำไปยัง ตัว Filter นั้น และเครื่องสูบน้ำนี้สามารถควบคุมปรับอัตราไหลให้ได้ตามที่ต้องการ ส่วนน้ำโสโครกที่ผ่านการกำจัดโดย Filter แล้ว ก็ไหลไปยัง Final settling tank ดังรูปที่ 3 แล้วปล่อยไหลทิ้งไปเลย

ในการทดลองระยะแรก ก็ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าของ BOD₅ และ COD ของน้ำโสโครกที่นำมาทดลองตลอดเวลาหนึ่งอาทิตย์ ซึ่งได้แสดงผลตามตารางที่ 4 เรา ก็จะทราบอัตราส่วนของ BOD₅ ต่อ COD มีค่าเฉลี่ยเท่าไร แล้วก็ได้วิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะ ของน้ำโสโครก (Characteristics of the waste) ซึ่งได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 2 และได้ดำเนินการทดลองไปเรื่อยโดยได้ทำการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำโสโครกที่ เข้าและออกจากตัว Filter เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของตัว Filter นั้นคงที่ แล้วยัง ถ้าอยู่ในขั้นคงที่แล้ว ก็เริ่มทำการวิเคราะห์หาข้อมูลต่าง ๆ ตามตารางที่ 5 ถึงตารางที่ 18

ตารางที่ 4 แสดงค่า Variation in COD and BOD₅ Concentration of Raw Sewage เวลา 10.30 น.

Date	COD (mg l ⁻¹)				BOD ₅ (mg l ⁻¹)			
	1	2	3	Average	1	2	3	Average
9 Jan. 21	216	218	218	217	110	116	116	114
10 Jan. 21	215	215	217	216	107	107	112	109
11 Jan. 21	192	190	194	192	97	97	99	98
12 Jan. 21	177	175	179	177	86	80	92	86
13 Jan. 21	214	214	212	213	95	96	92	94
14 Jan. 21	198	200	202	200	94	98	102	98
15 Jan. 21	257	259	259	258	133	135	137	135
			Average	210			Average	105

เมื่อ Reaction Rate Constant "K" ของ Raw Sewage = 0.141 day⁻¹



ตารางที่ 5 แสดงค่า COD at Various Hydraulic Loading Rates (Medium 1" - 2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml min ⁻¹	Hydraulic Loading Rate m ³ m ⁻² day ⁻¹	Characteristics	COD Applied to Filter mg l ⁻¹			COD of Effluent from Filter mg l ⁻¹			COD of Final Effluent mg l ⁻¹		
			Sample Date	I	II	Average	I	II	Average	I	II	Average
1	25	1.08	28 Dec. 20	218	220	219	48	50	49	42	42	41
			29 Dec. 20	197	197	197	44	46	45	40	42	41
			30 Dec. 20	210	212	211	50	52	51	45	45	45
2	50	2.16	3 Jan. 21	180	182	181	46	48	47	43	45	44
			4 Jan. 21	200	202	201	52	52	52	45	47	46
			5 Jan. 21	205	205	205	54	56	55	48	50	49
3	75	3.24	21 Jan. 21	210	214	212	60	62	61	58	58	58
			23 Jan. 21	208	210	209	62	62	62	56	58	57
			24 Jan. 21	235	235	235	65	67	66	62	64	63
4	100	4.32	27 Jan. 21	182	184	183	53	55	54	52	52	52
			28 Jan. 21	206	206	206	63	63	63	58	62	60
			29 Jan. 21	187	189	188	55	57	56	52	54	53

ตารางที่ 6 แสดงค่า BOD₅ at Various Hydraulic Loading Rates (Medium 1" - 2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml min ⁻¹	Hydraulic Loading Rate m ³ m ⁻² day ⁻¹	Characteristics		BOD ₅ Applied to Filter mg l ⁻¹			BOD ₅ of Effluent from Filter mg l ⁻¹			BOD ₅ of Final Effluent mg l ⁻¹		
			Sample	Date	I	II	Average	I	II	Average	I	II	Average
1	25	1.08		28 Dec. 20	115	122	118	12	13	12	10	10	10
				29 Dec. 20	98	100	99	10	12	11	10	10	10
				30 Dec. 20	100	104	102	12	12	12	10	10	10
2	50	2.16		3 Jan. 21	91	91	91	14	12	13	10	10	10
				4 Jan. 21	98	104	101	14	14	14	12	12	12
				5 Jan. 21	98	98	98	14	14	14	12	12	12
3	75	3.24		21 Jan. 21	103	103	103	16	18	17	15	17	16
				23 Jan. 21	98	102	100	15	17	16	14	15	14
				24 Jan. 21	112	116	114	18	20	19	16	18	17
4	100	4.32		27 Jan. 21	88	92	90	16	16	16	14	15	14
				28 Jan. 21	97	102	99	17	19	18	15	17	16
				29 Jan. 21	90	94	92	17	18	17	16	16	16

ตารางที่ 7 แสดงค่า Variation of Total Nitrogen, Suspended Solids, Dissolved Oxygen, pH
at Various Flow Rates (Medium 1" - 2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml min ⁻¹	Characteristics Sample Date	Total N			S.S.			D.O.		pH	
			Influent mg l ⁻¹	Final Eff. mg l ⁻¹	% Removed	Influent mg l ⁻¹	Final Eff. mg l ⁻¹	% Removed	Influent mg l ⁻¹	Final Eff. mg l ⁻¹	Influent	Final Eff.
1	25	28 Dec. 20	23.87	2.21	90.74	77	6	92.21	0	3.80	8.12	8.40
		29 Dec. 20	22.05	2.25	89.79	71	5	92.96	0	4.00	8.10	8.35
		30 Dec. 20	23.15	2.52	<u>89.11</u>	72	5	<u>93.05</u>	0	<u>3.85</u>	8.00	<u>8.20</u>
		Average			89.88			92.74	Average	3.88	Average	8.32
2	50	3 Jan. 21	21.83	2.10	90.38	64	8	87.50	0	4.15	8.00	8.25
		4 Jan. 21	22.43	2.65	88.18	70	8	88.57	0	3.65	8.00	8.25
		5 Jan. 21	22.35	2.63	<u>88.23</u>	73	9	<u>87.67</u>	0	<u>3.70</u>	8.00	<u>8.20</u>
		Average			88.93			87.91	Average	3.83	Average	8.23
3	75	21 Jan. 21	34.79	4.35	87.49	61	10	83.61	0	2.80	7.80	8.10
		23 Jan. 21	26.22	3.65	86.08	68	11	83.82	0	3.00	8.00	8.20
		24 Jan. 21	36.25	5.21	<u>85.63</u>	82	14	<u>82.93</u>	0	<u>3.10</u>	8.00	<u>8.20</u>
		Average			86.40			83.45	Average	2.97	Average	8.17
4	100	27 Jan. 21	23.05	5.02	78.22	62	14	77.42	0	3.20	7.80	8.20
		28 Jan. 21	24.52	4.87	80.14	69	15	78.26	0	2.70	8.00	8.15
		29 Jan. 21	23.15	5.18	<u>77.80</u>	63	14	<u>77.77</u>	0	<u>2.65</u>	8.10	<u>8.30</u>
		Average			78.72			77.82	Average	2.85	Average	8.22

ตารางที่ 8 แสดงค่า BOD₅ at Various Depth and Flow Rates (Medium 1" - 2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Characteristics	Hydraulic Loading $m^3 m^{-2} day^{-1}$		1.944 (25 ml min ⁻¹) 30 Dec. 20		3.888 (50 ml min ⁻¹) 5 Jan. 21		5.832 (75 ml min ⁻¹) 24 Jan. 21		7.776 (100 ml min ⁻¹) 29 Jan. 21	
	Depth (m.)	BOD ₅ mgl ⁻¹	% BOD ₅ remaining	BOD ₅ mgl ⁻¹	% BOD ₅ remaining	BOD ₅ mgl ⁻¹	% BOD ₅ remaining	BOD ₅ mgl ⁻¹	% BOD ₅ remaining	
0	102	100	98	100	114	100	92	100		
0.6	50	49	50	51	63	55	53	58		
1.2	24	23	27	28	36	32	31	34		
1.8	12	12	14	14	19	17	17	19		

ตารางที่ 9 แสดงค่า Weight of Film Accumulation at Various Depth and Flow Rates
(Medium 1" - 2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Characteristics Hydraulic Loading $m^3 m^{-2} day^{-1}$ Depth, m	Dry Weight Per Unit Weight of Stone (g/Kg.)			
	1.944 (25 ml min ⁻¹)	3.888 (50 ml min ⁻¹)	5.832 (75 ml min ⁻¹)	7.776 (100 ml min ⁻¹)
0	0.40	0.47	0.50	1.05
0.3	0.92	1.12	1.32	1.49
0.6	1.18	1.51	1.90	2.13
0.9	1.25	1.64	2.01	2.28
1.2	0.76	1.03	1.40	2.19
1.5	0.50	0.68	1.12	1.98
1.8	0.29	0.40	0.73	1.37

ตารางที่ 10 แสดงค่า COD Removal Efficiency at Various Hydraulic and Organic Loading Rates (Medium 1" - 2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml.min ⁻¹	Hydraulic Loading Rate m ³ m ⁻³ day ⁻¹	Influent COD mg.l ⁻¹	COD Loading g.m ⁻³ day ⁻¹	COD Removal Efficiency by Filter Alone (%)	COD Removal Efficiency by Filter and Final Settling Tank (%)
1	25	1.08	219	236.52	77.62	80.82
			197	212.76	77.16	79.19
			211	227.88	75.83	78.67
2	50	2.16	181	390.96	74.03	75.69
			201	434.16	74.13	77.11
			205	422.80	73.17	76.09
3	75	3.24	212	686.88	71.23	72.64
			209	677.16	70.33	72.73
			235	761.40	71.91	73.19
4	100	4.32	183	790.56	70.49	71.58
			206	889.92	69.42	70.87
			188	812.16	70.21	71.81

ตารางที่ 11 แสดงค่า BOD₅ Removal Efficiency at Various Hydraulic and Organic Loading Rates (Medium 1" - 2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml.min ⁻¹	Hydraulic Loading Rate m ³ m ⁻³ day ⁻¹	Influent BOD ₅ mg.l ⁻¹	BOD ₅ Loading g.m ⁻³ day ⁻¹	BOD ₅ Removal Efficiency by Filter Alone (%)	BOD ₅ Removal Efficiency by Filter and Final Settling Tank (%)
1	25	1.08	118	127.44	89.83	91.52
			99	106.92	88.88	89.89
			102	110.16	88.23	90.19
2	50	2.16	91	196.56	85.71	89.01
			101	218.16	86.14	88.12
			98	211.68	85.71	87.75
3	75	3.24	103	333.72	83.49	84.46
			100	324.00	84.00	86.00
			114	369.36	83.33	85.08
4	100	4.32	90	388.80	82.22	84.44
			99	427.68	81.81	83.83
			92	397.44	81.52	82.60

ตารางที่ 12 แสดงค่า COD at Various Hydraulic Loading Rates (Medium 2" - 3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml.min. ⁻¹	Hydraulic Loading Rate m ³ m ⁻³ day ⁻¹	Characteristics			COD Applied to Filter mg.l ⁻¹			COD of Effluent from Filter mg.l ⁻¹			COD of Final Effluent mg.l ⁻¹		
			Sample	I	II	Average	I	II	Average	I	II	Average		
													Date	
1	25	1.08	2 Feb. 21	232	232	232	55	57	56	48	48	48		
			3 Feb. 21	180	181	181	46	46	46	41	43	42		
			4 Feb. 21	200	202	201	50	50	50	44	46	45		
2	50	2.16	9 Feb. 21	200	200	200	56	56	56	51	53	52		
			10 Feb. 21	176	178	177	47	49	48	44	44	44		
			11 Feb. 21	192	194	193	53	53	53	48	50	49		
3	75	3.24	15 Feb. 21	165	167	166	52	52	52	48	50	49		
			16 Feb. 21	180	180	180	57	59	58	53	53	53		
			17 Feb. 21	196	198	197	62	64	63	58	58	58		
4	100	4.32	20 Feb. 21	182	182	182	63	65	64	58	58	58		
			22 Feb. 21	210	212	211	76	76	76	68	70	69		
			23 Feb. 21	187	189	188	70	70	70	62	62	62		

ตารางที่ 13 แสดงค่า BOD₅ at Various Hydraulic Loading Rates (Medium 2" - 3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml.min. ⁻¹	Hydraulic Loading Rate m ³ m ⁻³ day ⁻¹	Characteristics		BOD ₅ Applied to Filter mg.l ⁻¹			BOD ₅ of Effluent from Filter mg.l ⁻¹			BOD ₅ Of Final Effluent mg.l ⁻¹		
			Sample	Date	I	II	Average	I	II	Average	I	II	Average
1	25	1.08		2 Feb. 21	105	108	106	15	17	16	14	15	14
				3 Feb. 21	82	84	83	14	14	14	12	13	12
				4 Feb. 21	96	99	97	15	16	15	13	13	13
2	50	2.16		9 Feb. 21	85	88	86	16	17	16	13	13	13
				10 Feb. 21	80	83	81	15	16	15	13	14	13
				11 Feb. 21	90	93	91	17	18	17	14	15	14
3	75	3.24		15 Feb. 21	75	78	76	17	18	17	15	15	15
				16 Feb. 21	84	84	84	20	21	20	17	18	17
				17 Feb. 21	88	92	90	21	23	22	18	19	18
4	100	4.32		20 Feb. 21	81	85	83	22	22	22	20	21	20
				22 Feb. 21	95	98	96	26	27	26	24	25	24
				23 Feb. 21	88	92	90	24	25	24	21	22	21

ตารางที่ 14 แสดงค่า Variation of Total Nitrogen, Suspended Solids, Dissolved Oxygen, pH at Various Flow Rates (Medium 2" - 3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml.min ⁻¹	Characteristics Sample Date	Total N			S.S.			D.O.		pH	
			Influent mg.l ⁻¹	Final Eff. mg.l ⁻¹	% Removed	Influent mg.l ⁻¹	Final Eff. mg.l ⁻¹	% Removed	Influent mg.l ⁻¹	Final Eff. mg.l ⁻¹	Influent	Final Eff.
1	25	2 Feb. 21	23.80	2.52	89.41	86	12	86.05	0	4.50	7.90	8.30
		3 Feb. 21	21.95	2.28	89.61	66	10	84.84	0	3.85	8.00	8.25
		4 Feb. 21	22.50	2.65	<u>88.22</u>	72	12	<u>83.33</u>	0	<u>3.80</u>	8.00	<u>8.20</u>
		Average			89.08		Average	84.74	Average	4.05	Average	8.25
2	50	9 Feb. 21	31.27	4.16	86.69	70	12	82.86	0	3.95	7.80	8.00
		10 Feb. 21	21.56	3.05	85.85	62	12	80.64	0	3.60	7.90	8.15
		11 Feb. 21	22.30	3.10	<u>86.09</u>	69	13	<u>81.16</u>	0	<u>3.85</u>	8.00	<u>8.20</u>
		Average			86.21		Average	81.55	Average	3.80	Average	8.12
3	75	15 Feb. 21	21.05	3.45	83.61	58	13	77.58	0	3.10	7.80	8.00
		16 Feb. 21	22.05	3.90	82.31	64	15	76.56	0	2.75	7.95	8.20
		17 Feb. 21	22.42	4.05	<u>81.93</u>	72	18	<u>75.00</u>	0	<u>2.85</u>	8.00	<u>8.20</u>
		Average			82.62		Average	76.38	Average	2.90	Average	8.13
4	100	20 Feb. 21	23.15	6.85	70.41	65	17	73.85	0	2.90	7.80	7.95
		22 Feb. 21	25.32	7.00	72.35	75	19	74.67	0	2.80	8.00	8.15
		23 Feb. 21	22.33	6.43	<u>71.20</u>	67	18	73.13	0	<u>2.65</u>	8.00	<u>8.20</u>
		Average			71.32		Average	73.88	Average	2.78	Average	8.10

ตารางที่ 15 แสดงค่า BOD₅ at Various Depth and Flow Rates (Medium 2" - 3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Characteristics	Hydraulic Loading $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{day}^{-1}$		3.888 (50 ml.min ⁻¹) 11 Feb. 21		5.832 (75 ml.min ⁻¹) 17 Feb. 21		7.776 (100 ml.min ⁻¹) 23 Feb. 21	
	BOD ₅ mg.l ⁻¹	% BOD ₅ remaining	BOD ₅ mg.l ⁻¹	% BOD ₅ remaining	BOD ₅ mg.l ⁻¹	% BOD ₅ remaining	BOD ₅ mg.l ⁻¹	% BOD ₅ remaining
Depth (m)								
0	97	100	91	100	90	100	90	100
0.6	50	52	51	56	56	62	59	66
1.2	28	29	31	34	35	39	38	42
1.8	15	15	17	19	22	24	24	27



ตารางที่ 16 แสดงค่า Weight of Film Accumulation at Various Depth and Flow Rates
(Medium 2" - 3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Characteristics Hydraulic Loading $\frac{m^3}{m^2 \cdot day}^{-1}$ Depth, m	Dry Weight Per Unit Weight of Stone (g/Kg)			
	1.944 (25 ml min ⁻¹)	3.888 (50 ml min ⁻¹)	5.832 (75 ml min ⁻¹)	7.776 (100 ml min ⁻¹)
0	0.40	0.52	0.44	0.93
0.3	0.78	1.05	1.21	1.34
0.6	1.04	1.37	1.61	1.79
0.9	0.96	1.50	1.48	1.95
1.2	0.73	0.77	0.95	1.91
1.5	0.37	0.55	0.73	1.54
1.8	0.15	0.31	0.45	1.12

ตารางที่ 17 แสดงค่า COD Removal Efficiency at Various Hydraulic and Organic Loading Rates (Medium 2" - 3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml.min ⁻¹	Hydraulic Loading Rate m ³ m ⁻³ day ⁻¹	Influent COD mg.l ⁻¹	COD Loading g.m ⁻³ day ⁻¹	COD Removal Efficiency by Filter Alone (%)	COD Removal Efficiency by Filter and Final Settling Tank (%)
1	25	1.08	232	250.56	75.86	79.31
			181	195.48	74.58	76.79
			201	217.08	75.12	77.61
2	50	2.16	200	432.00	72.00	74.00
			177	382.32	72.88	75.14
			193	416.88	72.54	74.61
3	75	3.24	166	537.84	68.67	70.48
			180	563.20	67.78	70.55
			197	638.28	68.02	70.56
4	100	4.32	182	786.24	64.83	68.13
			211	911.52	63.98	67.29
			188	812.16	62.76	67.02

ตารางที่ 18 แสดงค่า BOD₅ Removal Efficiency at Various Hydraulic and Organic Loading Rates (Medium 2" - 3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml.min ⁻¹	Hydraulic Loading Rate m ³ m ⁻³ day ⁻¹	Influent BOD ₅ mg.l ⁻¹	BOD ₅ Loading g.m ⁻³ day ⁻¹	BOD ₅ Removal Efficiency by Filter Alone (%)	BOD ₅ Removal Efficiency by Filter and Final Settling Tank (%)
1	25	1.08	106	114.48	84.90	86.79
			83	89.64	83.13	85.54
			97	104.76	84.54	86.60
2	50	2.16	86	185.76	81.39	84.88
			81	174.96	81.48	83.95
			91	196.56	81.32	84.61
3	75	3.24	76	246.24	77.63	80.26
			84	272.16	76.19	79.76
			90	291.60	75.55	80.00
4	100	4.32	83	358.56	73.49	75.90
			96	414.72	72.92	75.00
			90	388.80	73.33	76.67

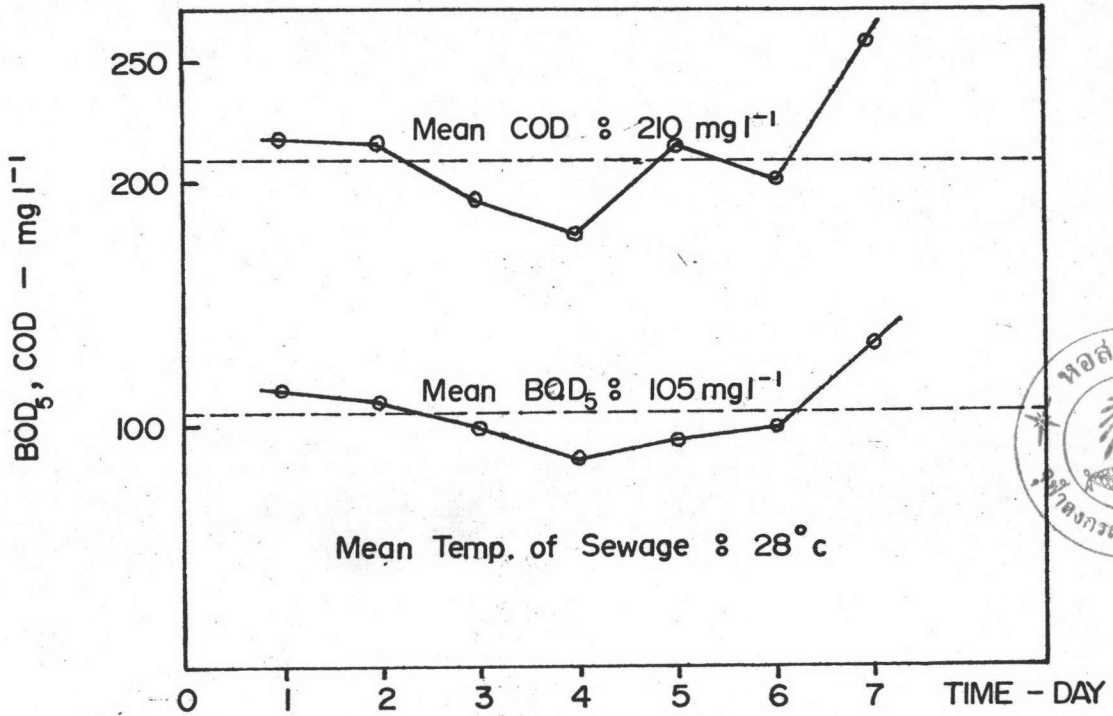
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD₅ และ COD

ในการทดลองเกี่ยวกับ Trickling filter นี้ Organic loading ซึ่งวัดอยู่ในค่าของ BOD₅ Applied ดังนั้นค่าของ BOD₅ test จึงมีความสำคัญกว่าค่าของ COD test แต่ค่า COD test หาได้เร็วและถูกต้องกว่า กับน้ำโสโครกที่ใช้ในการทดลองนี้ เราได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ BOD₅ และ COD ต่าง ๆ ได้โดยประมาณจากการคำนวณตามแสดงดังรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 7 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง BOD₅ และ COD ของน้ำทิ้งเข้า (Influent) และน้ำทิ้งออก (Effluent) จาก Trickling Filter

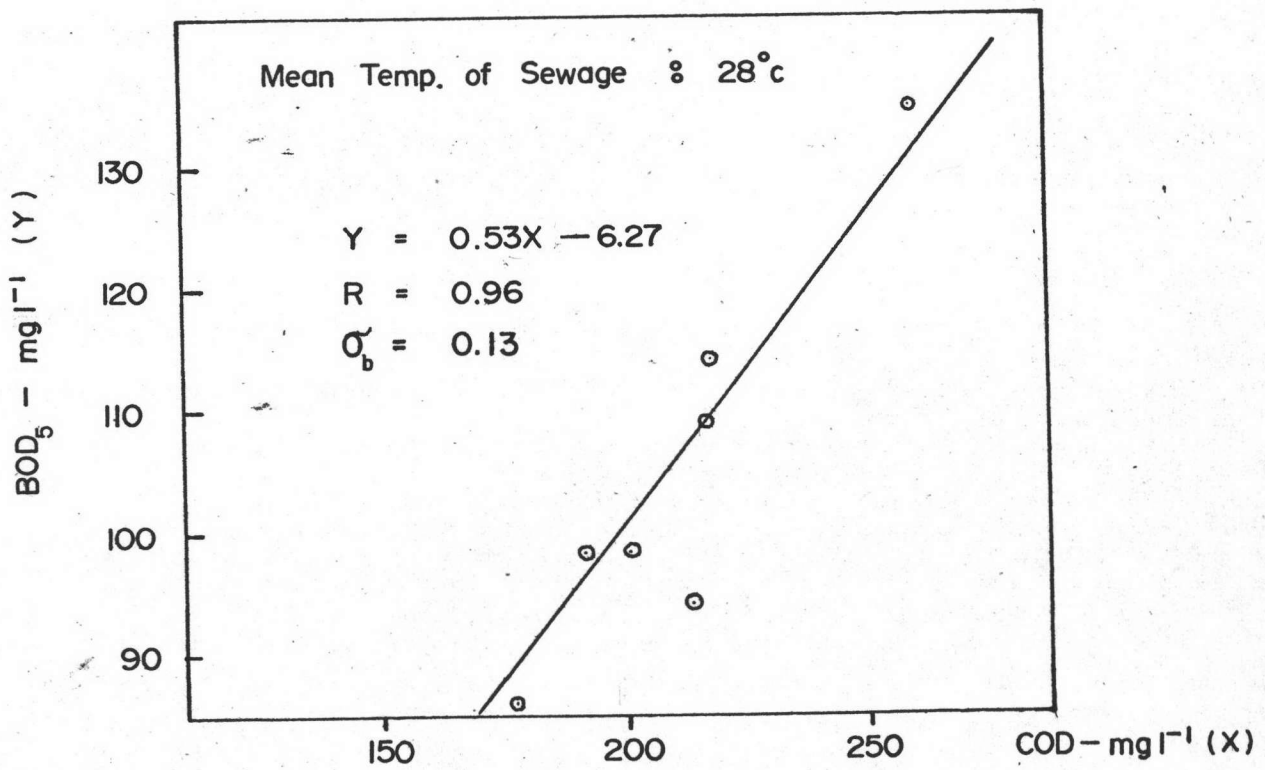
4.3 ค่า BOD₅ ที่ถูกกำจัดออก

จากรูปที่แสดงในรูปที่ 8 และรูปที่ 9 แสดง Percent BOD₅ ที่ถูกกำจัดออกโดย Filter อย่างเดียว และ Filter กับ Final settling tank ที่ Hydraulic และ Organic loading ต่าง ๆ

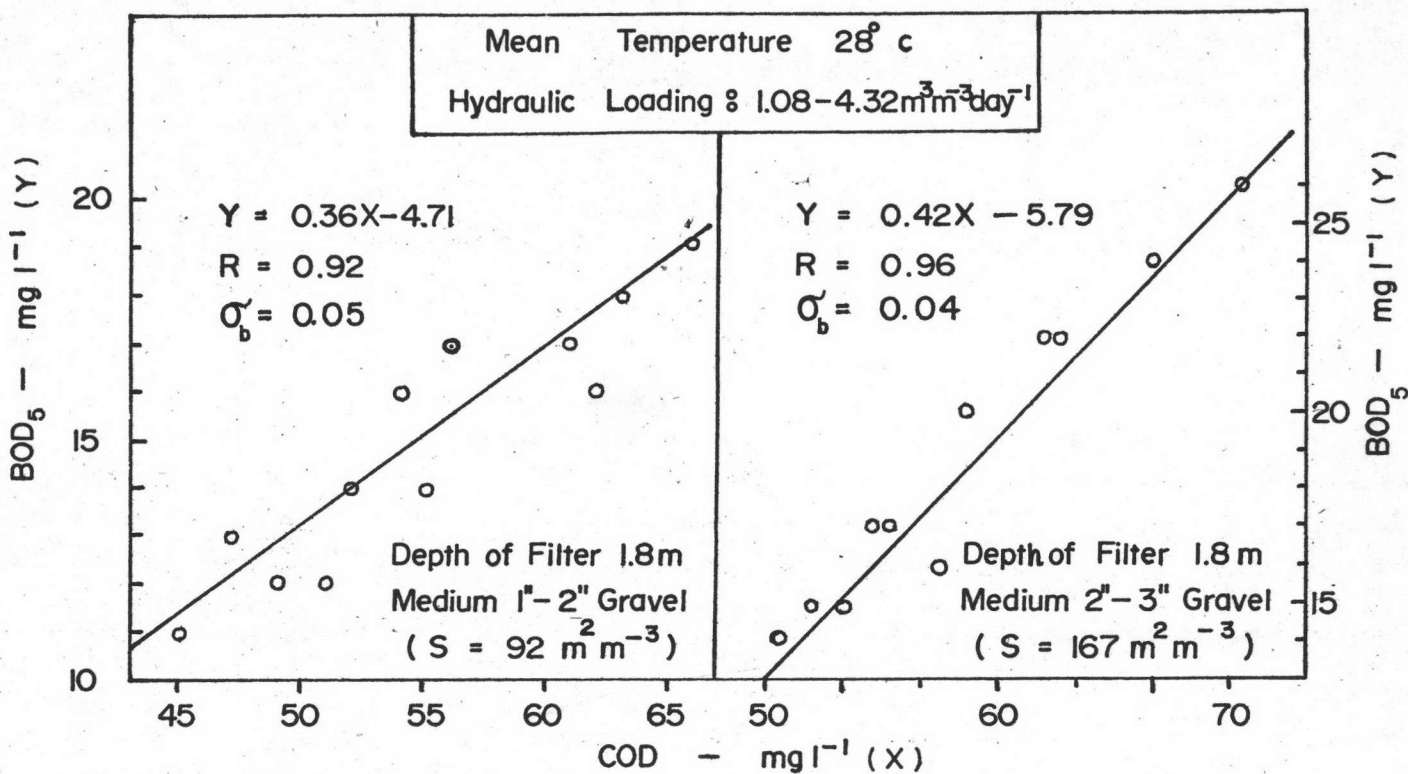
จากรูปที่ 8 แสดงถึง Percent BOD₅ ที่ถูกกำจัดออกโดย Filter อย่างเดียวและ Filter กับ Final settling tank Versus Gram of BOD₅ Applied per cubic meter of filter media per day จากกราฟของความสัมพันธ์ทั้งสองนี้พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Correlation coefficient) อยู่ระหว่าง 0.96 - 0.97 และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของ 1" - 2" Gravel filter มีมากกว่า 81 % ส่วน 2" - 3" Gravel filter มีมากกว่า 71 % ที่ Organic loading ของ BOD₅ เดียวกัน ส่วนรูปแสดงรูปที่ 9 แสดงถึง Percent BOD₅ ที่ถูกกำจัดออกโดย Filter อย่างเดียว และ Filter กับ Final settling tank Versus Volumetric Hydraulic Loading ความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่า การเพิ่ม Hydraulic loading rate ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง



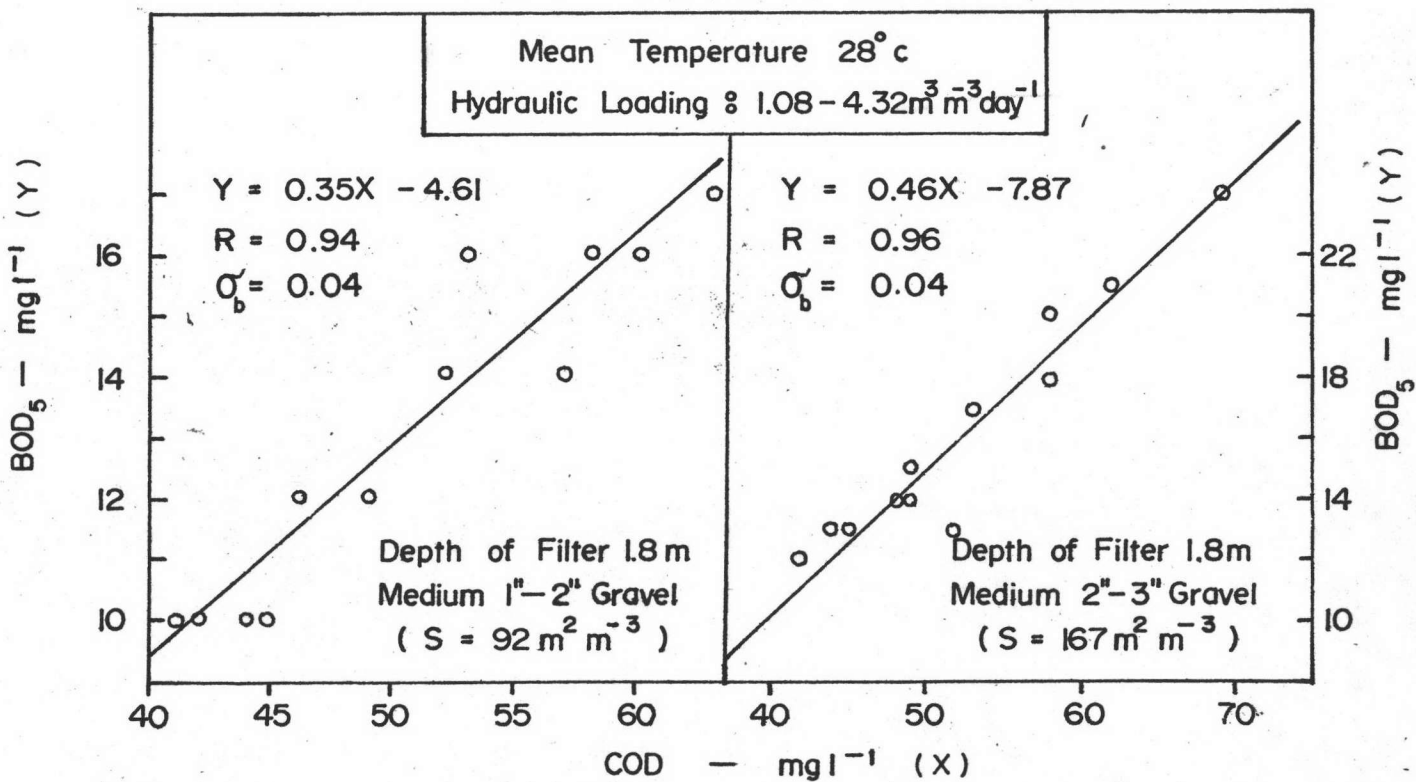
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง COD และ BOD₅ ของ Raw Sewage กับเวลาที่เก็บน้ำตัวอย่าง 10.30 น.



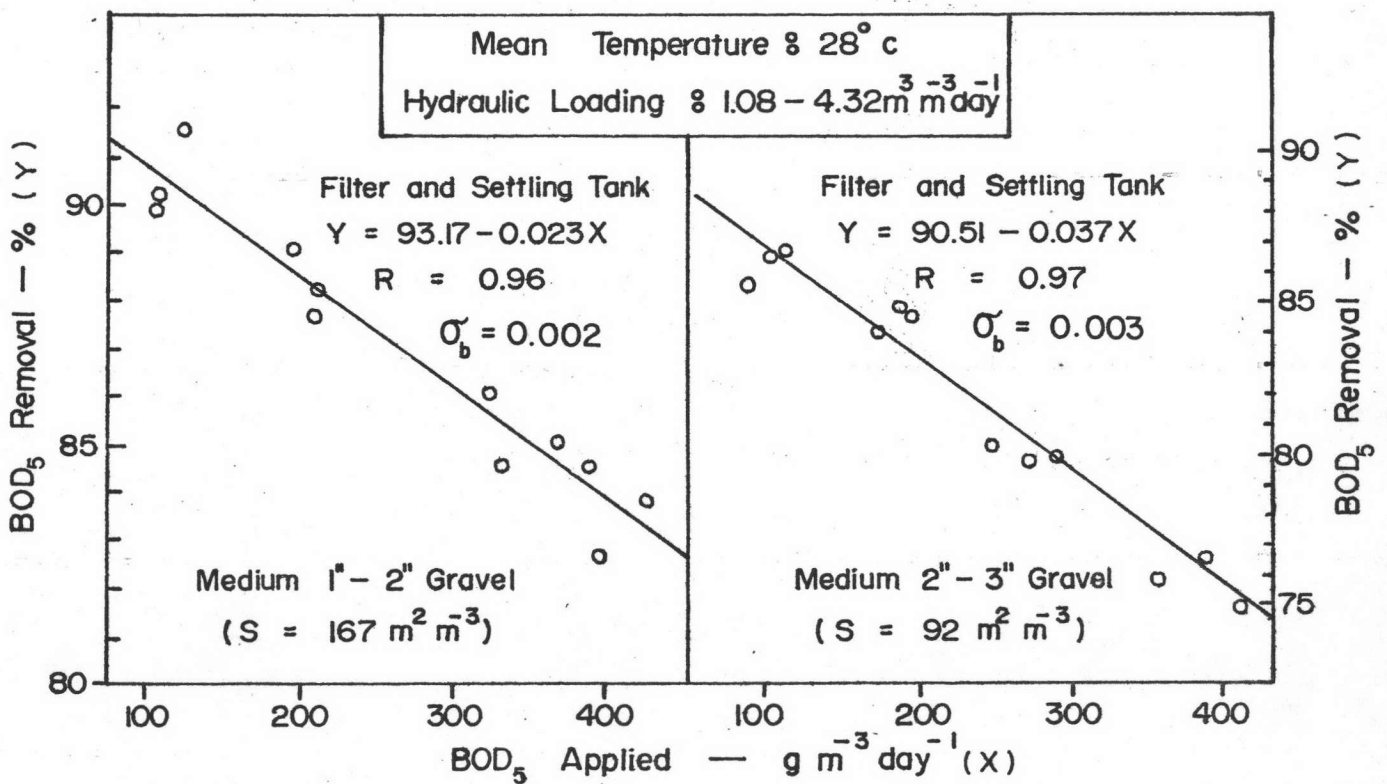
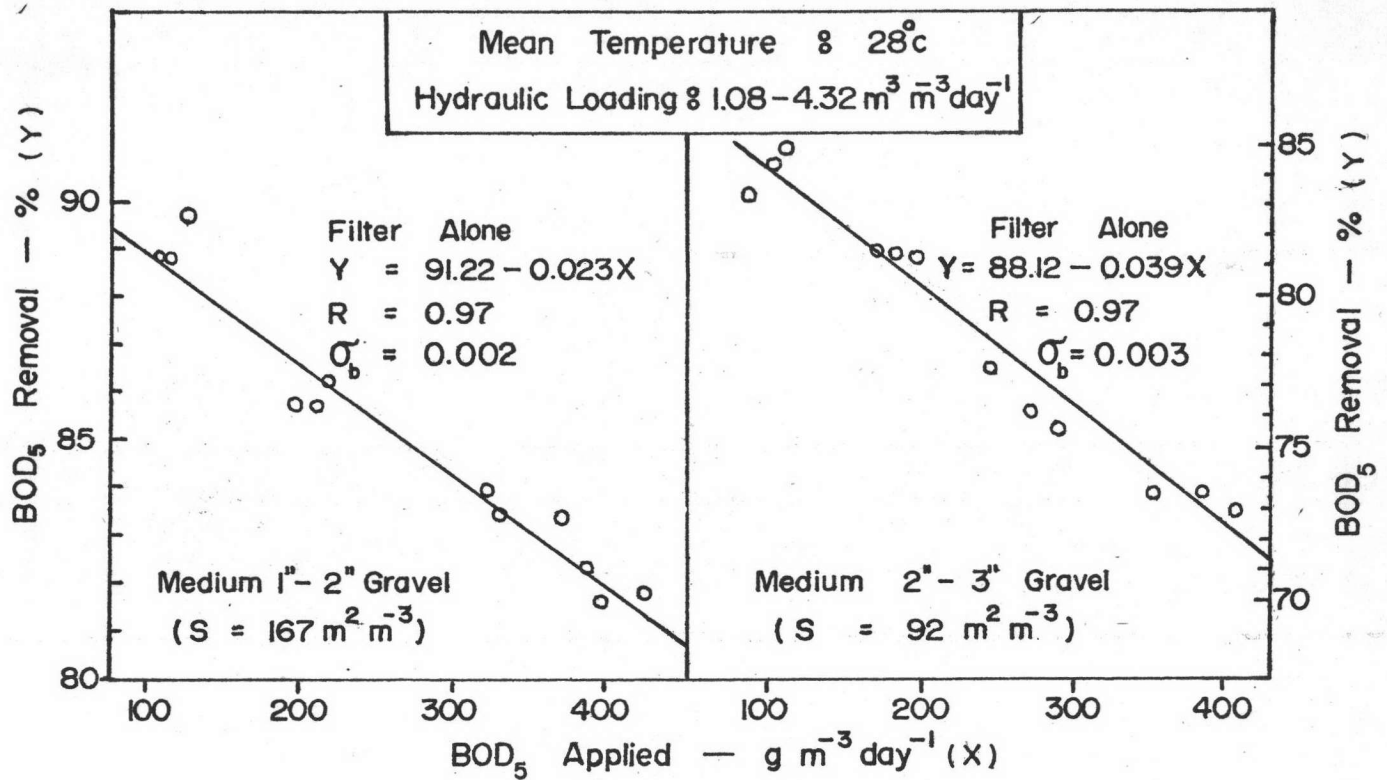
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง COD กับ BOD₅ ของ Raw Sewage



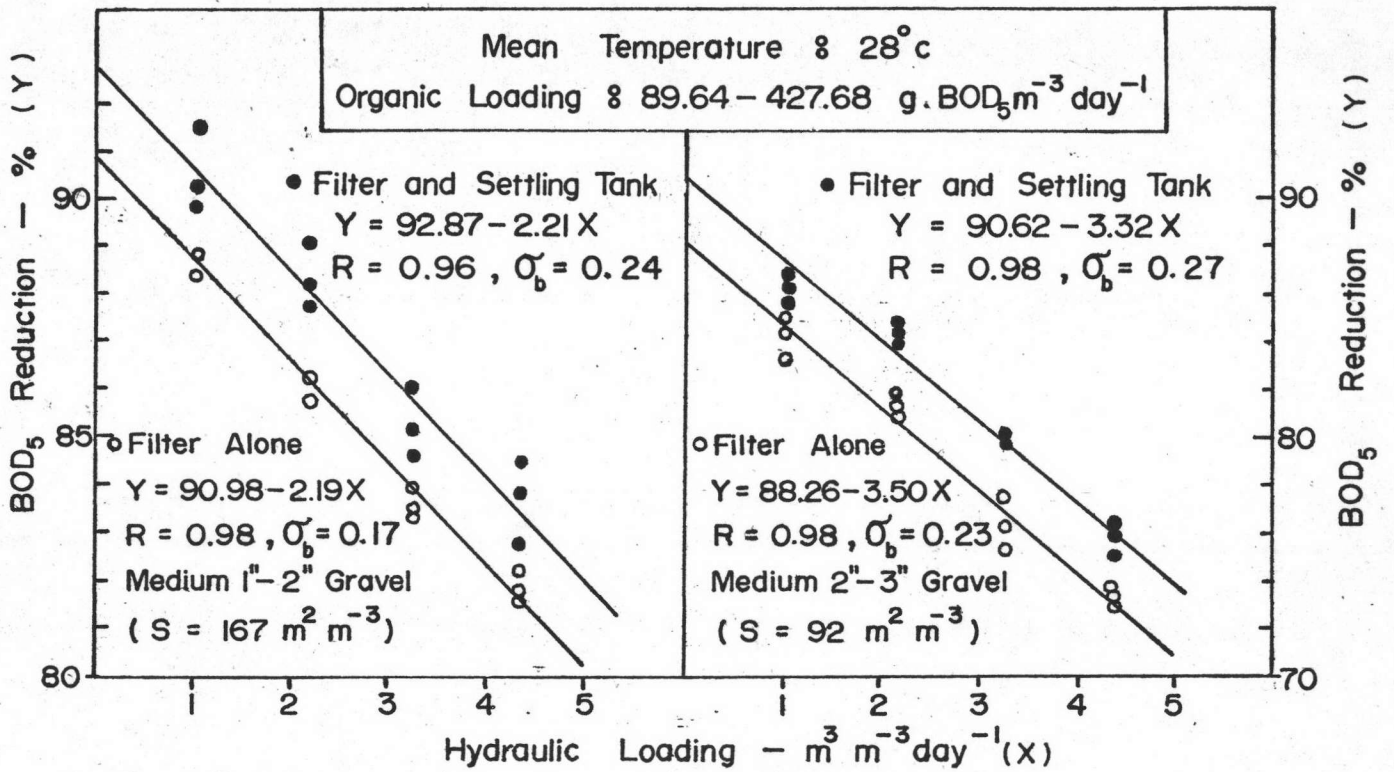
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง COD กับ BOD₅ ของ Trickling Filter Effluent



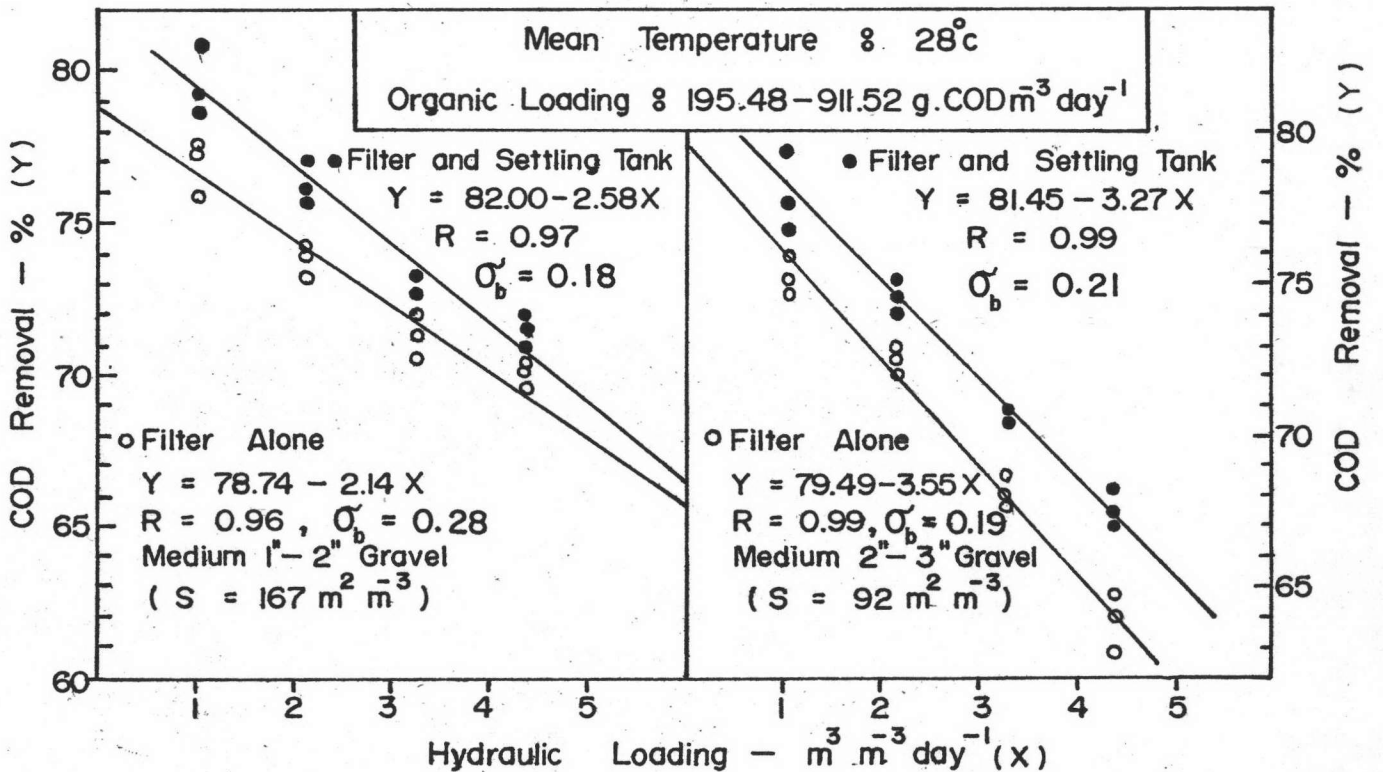
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง COD กับ BOD₅ ของ Final settling Tank Effluent



รูปที่ 8 อิทธิพลของ Organic Loading ต่อการกำจัด BOD₅



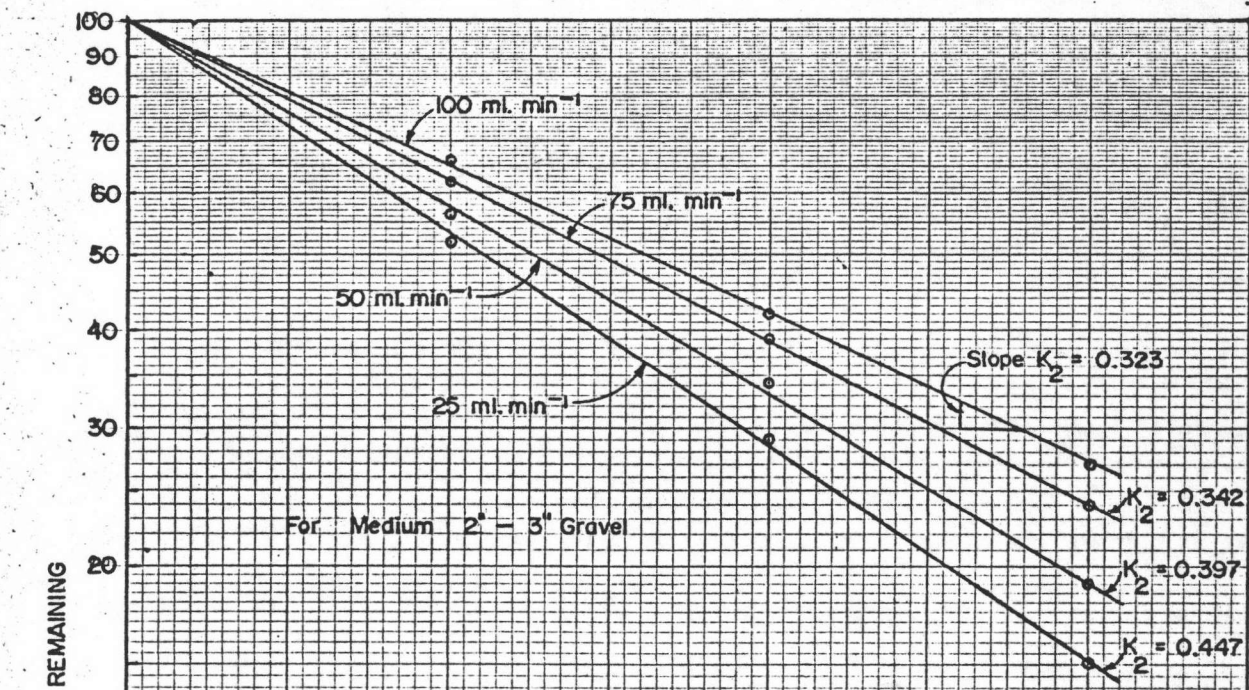
รูปที่ 9 อิทธิพลของ Hydraulic Loading ต่อการกำจัด BOD₅



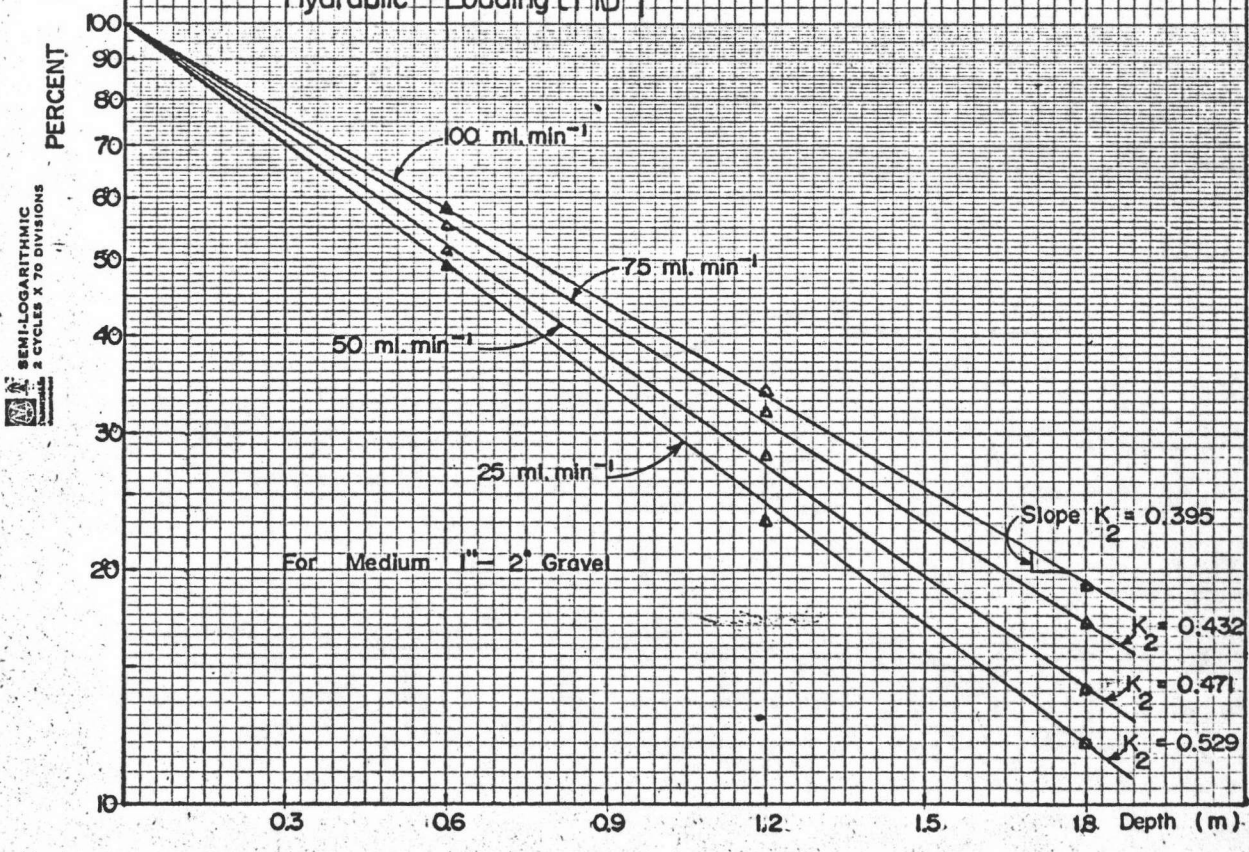
รูปที่ 10 อิทธิพลของ Hydraulic Loading ต่อการกำจัด COD

ตารางที่ 19 แสดงค่า Percent BOD₅ Remaining at Various Depth and Hydraulic Loading Rates

Hydraulic Loading $\frac{3}{m \cdot m} \cdot \frac{1}{day}^{-1}$ Type of Medium		Percent BOD ₅ Remaining							
		1.944 (25 ml.min ⁻¹)		3.888 (50 ml.min ⁻¹)		5.832 (75 ml.min ⁻¹)		7.776 (100 ml.min ⁻¹)	
Depth, m.		1" - 2" Gravel	2" - 3" Gravel	1" - 2" Gravel	2" - 3" Gravel	1" - 2" Gravel	2" - 3" Gravel	1" - 2" Gravel	2" - 3" Gravel
0		100	100	100	100	100	100	100	100
0.6		49	52	51	56	55	62	58	66
1.2		23	29	28	34	32	39	34	42
1.8		12	15	14	19	17	24	19	27



รูปที่ 11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของ BOD₅ ที่เหลืออยู่ที่ความสูงและ Hydraulic Loading ต่างๆ

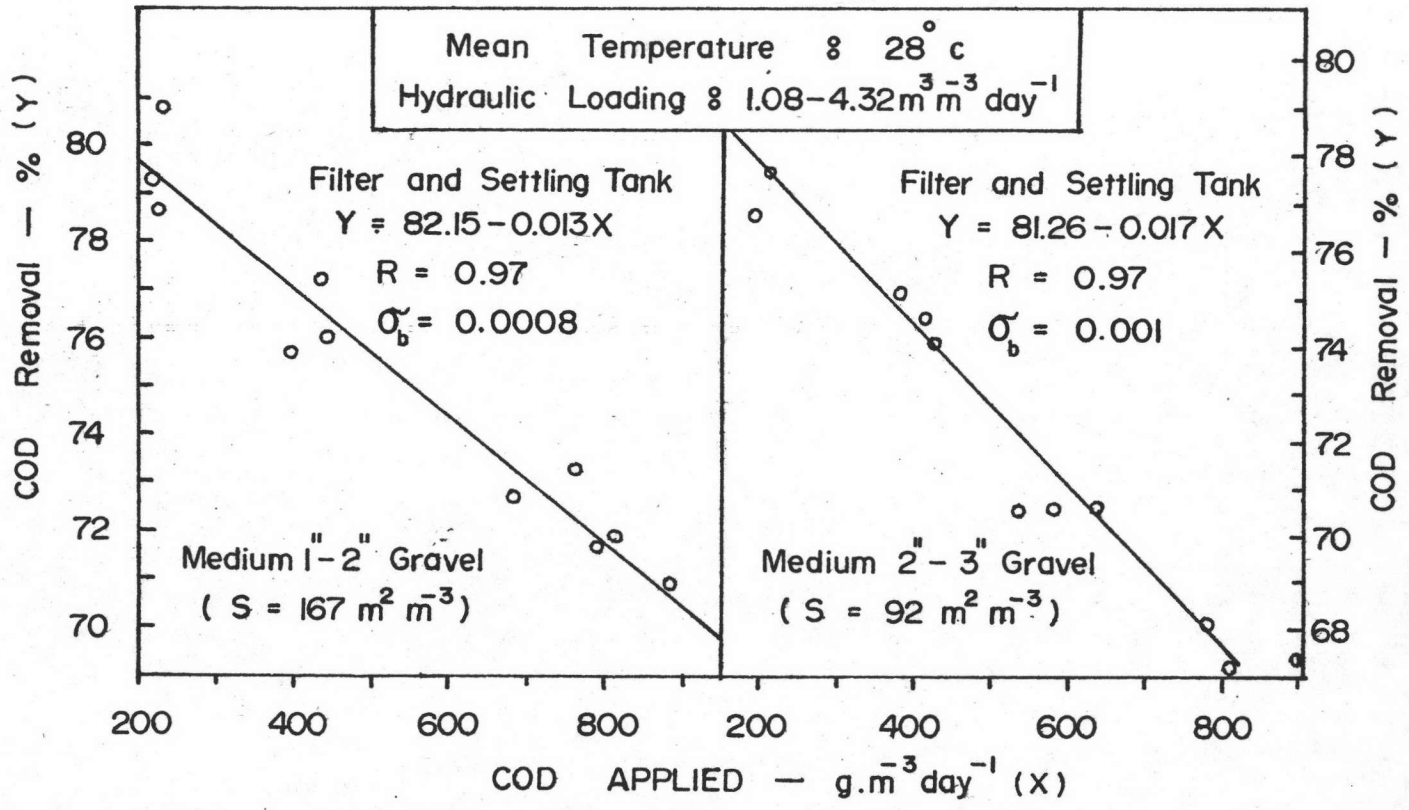
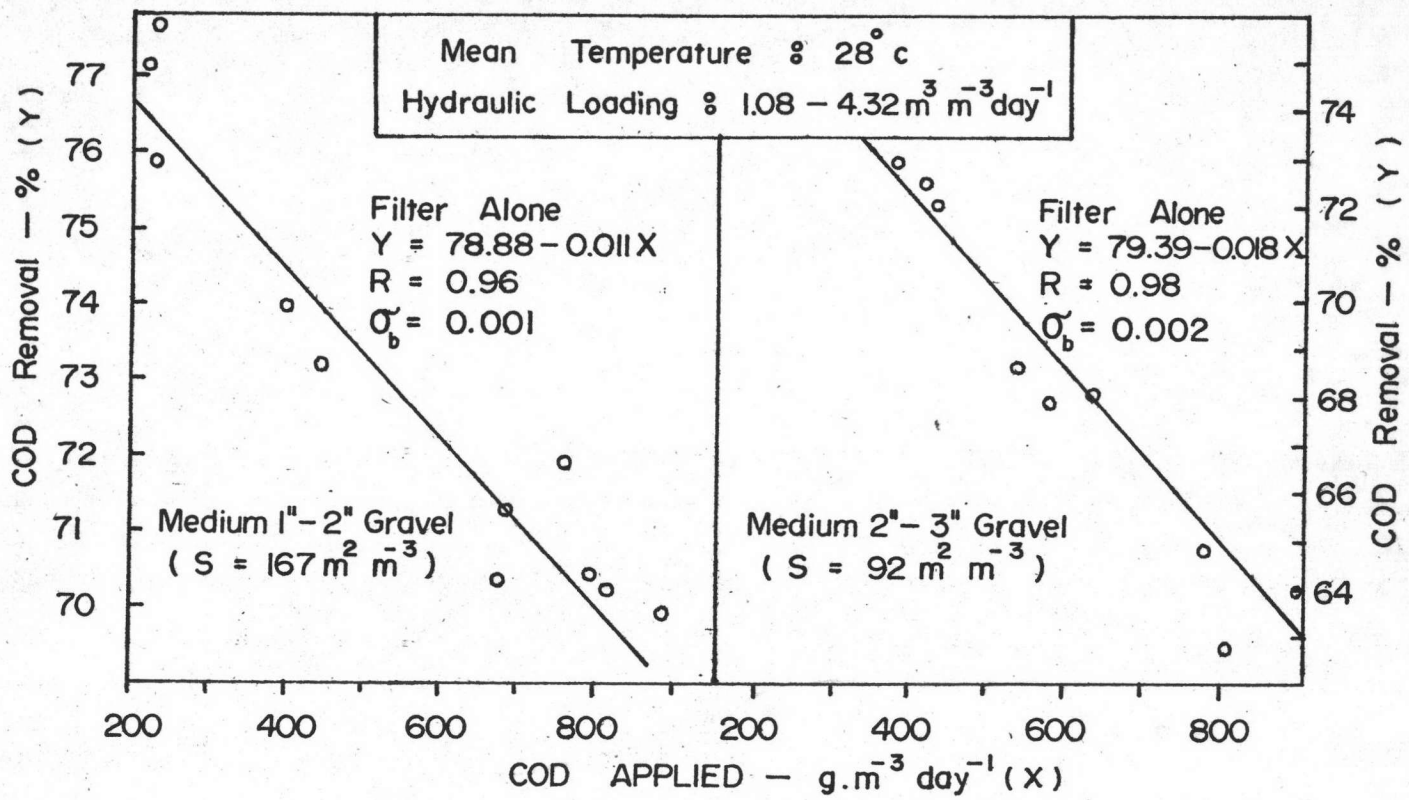


ค่าประสิทธิภาพของ BOD_5 ที่ถูกกำจัดออกโดยตัวกลาง 1" - 2" Gravel filter มีค่ามากกว่าตัวกลาง 2" - 3" Gravel filter นี้ก็แสดงให้เห็นว่า ค่า Specific surface area มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด โดยพบว่า ที่ Specific surface area มากกว่า จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่า เมื่อให้ Hydraulic loading และความสูงของ Filter เหมือนกัน ซึ่งแสดงให้เห็นชัดว่า Specific surface area และความสูงมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของ BOD_5 จะเห็นได้จากรูปที่ 11 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD_5 เพิ่มมากขึ้นตามความสูงของ Filter ที่เพิ่มขึ้น

4.4 ค่า COD ที่ถูกกำจัดออก

จากรูปที่แสดงในรูปที่ 10 และรูปที่ 12 แสดงถึง เปอร์เซ็นต์ของ COD ที่ถูกกำจัดออกโดย Filter อย่างเดี่ยว และ Filter กับ Final settling tank ที่ Hydraulic และ Organic loading ต่าง ๆ ค่าของ COD ที่ถูกกำจัดออกที่ได้ นั้นคล้ายกับของ BOD_5 ที่ถูกกำจัดออกของระบบกำจัดที่ทดลอง ค่าความสัมพันธ์ของ Percent COD ที่ถูกกำจัดออก กับ COD Applied และ Hydraulic loading มีค่า Correlation coefficient ระหว่าง 0.96 - 0.99 และพบว่าเปอร์เซ็นต์ COD ที่ถูกกำจัดออกน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ BOD_5 ที่ถูกกำจัดออกของทั้งสองแบบของตัวกลางที่ใช้ใน Filter ทดลอง เพราะเนื่องจากมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากมีมากในน้ำทิ้งที่นำมาทดลอง

และจากตารางที่ 20 เป็นการเปรียบเทียบค่าของประสิทธิภาพของ BOD_5 ที่ถูกกำจัดออกที่ได้จาก Trickling filter plant ของการทดลองกับประสิทธิภาพที่ได้รับจาก Trickling filter plant ที่อื่น ๆ พบว่า Trickling filter ที่ได้จากการทดลองทางานมีประสิทธิภาพเหมือน ๆ กับ Trickling filter ที่สหรัฐอเมริกา แต่มีประสิทธิภาพมากกว่า Trickling filter ที่อินเดียและอิสราเอล ซึ่งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันกับประเทศไทยเรา อุณหภูมิอย่างประเทศเราจัดว่าเป็นประโยชน์ต่อระบบการ



รูปที่ 12 อิทธิพลของ Organic Loading ต่อการกำจัด COD

ตารางที่ 20 แสดงการ Comparative Efficiency of Trickling Filters Used in This Study and in Other Trickling Filter Plants Treating Domestic Waste Water

Trickling Filter Plant	Medium	Depth of Filter m.	Operating Temp. °C	Hydraulic Loading		BOD ₅ of influent mg.l ⁻¹	BOD ₅ Removal Efficiency %
				m ³ m ⁻² day ⁻¹	m ³ m ⁻² day ⁻¹		
Baltimore, U.S.A. ¹	Rock (2½" to 1")	2.55	25.5	-	6.07 to 24.3	185	89.7-49
Bombay, India ²	Rock (8" to 6")	3.70	29.7	-	10.4	228-408	73.4-58.4
Derby, U.K. ³	Rock (4")	1.83	10 to 20	4.5 to 10.00	-	332	70-40
Florida, U.S.A. ⁴	Gravel (2" to 1")	1.83	26.6 to 27.2	-	2.96 to 6.54	140-161	87-83
Jerusalem, Israel ⁵	Rock (6" to ¾)	1.74	21 to 26.5	-	9.45 to 17.7	132-347	69.8
Kacohe, U.S.A. ⁶	Rock	1.20	28.2	-	16.2	186	79.2
Palisades, U.S.A. ⁶	Rock	1.20	29.7	-	1.21	154	79.3
Water Pollution Research, U.K. ⁷	Smooth Stone (3" to 1½")	2.00	16.0	1.19 to 4.75	-	212	89.6-65.1
Water Pollution Research, U.K. ⁸	Rock (6"-4")	2.10	10 to 20	6 to 12	-	215-222	40-5
Water Pollution Research, U.K. ⁸	Slag (6"-4")	2.10	10 to 20	6 to 12	-	215-222	36-11
Laboratory Plant Scale	Basalt	1.80	28	1.08 to 4.32	2.04 to 8.16	76-106	84.90-72.92
Laboratory Plant Scale	Gravel (3" to 2")	1.80	28	1.08 to 4.32	2.04 to 8.16	90-118	89.83-81.52

1. See Ref. : KEEFER and KRATZ (1940)
2. See Ref. : PANAMANULU (1970)
3. See Ref. : JOSLIN and Others (1971)
4. See Ref. : GRANTHAM and Others (1950)
5. See Ref. : RLGBI and Others (1956)
6. See Ref. : YOUNG and CHAN (1970)
7. See Ref. : DEPARTMENT OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL
RES. (1952)
8. See Ref. : BRUCE and BOON (1971)

กำจัดแบบนี้มากและจะเห็นได้จากค่าประสิทธิภาพที่ได้จาก Trickling filter ของ การทดลองได้มากกว่าที่ประเทศอังกฤษ ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าประเทศไทยเรามาก แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด

จากผลที่ได้สรุปได้ว่า ระบบการกำจัดแบบ Trickling filter นี้ เหมาะสำหรับการกำจัดน้ำโสโครกจากบ้านเรือนในประเทศไทยเรา สำหรับ Trickling filter ที่ใช้ในการทดลอง ค่าการลดของ BOD_5 อยู่ระหว่าง 80 - 90 % สำหรับ คิวกลาง 1" - 2" Gravel และ 75 - 86 % สำหรับคิวกลาง 2" - 3" Gravel ซึ่งให้ Effluent มีค่า BOD_5 อยู่ระหว่าง 10 - 24 $mg.l^{-1}$ สำหรับ Hydraulic loading ระหว่าง 1.08 - 4.32 $m^3 m^{-3} day^{-1}$ ค่า Dissolved Oxygen ของ Effluent อยู่ในช่วง 2.78 - 4.05 $mg.l^{-1}$ จากผลที่ได้จากการทดลองนี้ Final effluent สามารถทิ้งลงสู่แหล่งน้ำได้โดยไม่ทำให้เกิดปัญหา (Pollution) แก่แหล่งน้ำ

4.5 ผลของความลึกของ Filter

ค่าของ BOD_5 และ COD ที่ถูกกำจัดออกจะเพิ่มขึ้นตามความลึกของ Filter ที่ผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งแสดงค่าการกำจัด BOD_5 ที่ความสูงต่าง ๆ ของ Filter สำหรับ Flow rate ต่าง ๆ กัน พบว่ามีค่าการกำจัด BOD_5 ออกไปประมาณ 40-50% ในช่วง 0.6 เมตร แรกของความสูง แล้วจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามความสูง จากกราฟจะ เห็นได้ว่า Filter ที่มีคิวกลาง 1" - 2" Gravel มีประสิทธิภาพในการกำจัด BOD_5 ได้สูงกว่า Filter ที่มีคิวกลาง 2" - 3" Gravel ที่ความสูงและ Flow rate เดียวกัน และนี่ก็เป็นเหตุผลอีกอย่างจากการที่ Filter ที่ใช้คิวกลาง 1" - 2" Gravel มี Specific surface area มากกว่า Filter ที่ใช้คิวกลาง 2" - 3" Gravel จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของ BOD_5 สูงกว่า

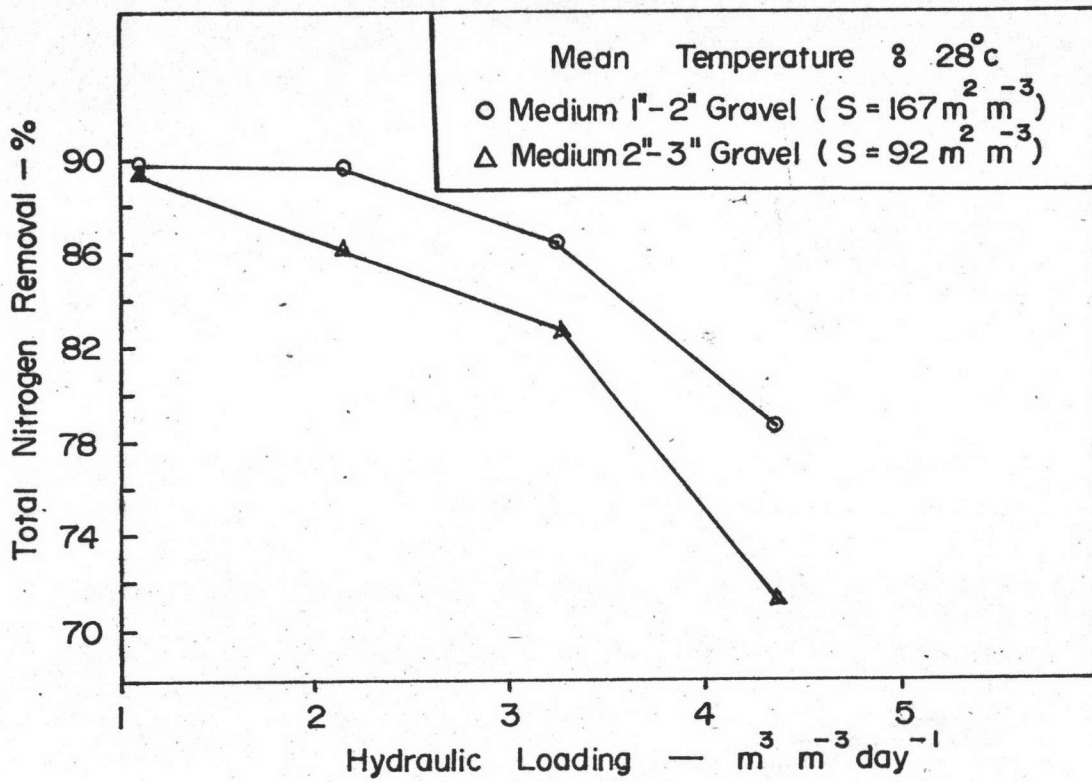
4.6 ค่า Nitrogen ที่ถูกกำจัดออก

จากรูปที่แสดงในรูปที่ 13 แสดงถึงค่า Total Kjeldahl Nitrogen Removal efficiency ของ Filter ที่ Hydraulic loading rate ต่าง ๆ กัน ซึ่งพบว่า Average removal efficiency อยู่ในช่วงระหว่าง 70 - 89 % จะเห็นได้ถือว่าการเพิ่ม Hydraulic loading rate จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด Nitrogen ลดลงด้วย ขนาดของตัวกลางมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด Nitrogen เหมือนกัน กล่าวคือ ตัวกลาง 1" - 2" Gravel filter มีประสิทธิภาพการกำจัด Nitrogen มากกว่าตัวกลาง 2" - 3" Gravel filter ที่ Hydraulic loading rate เดียวกัน

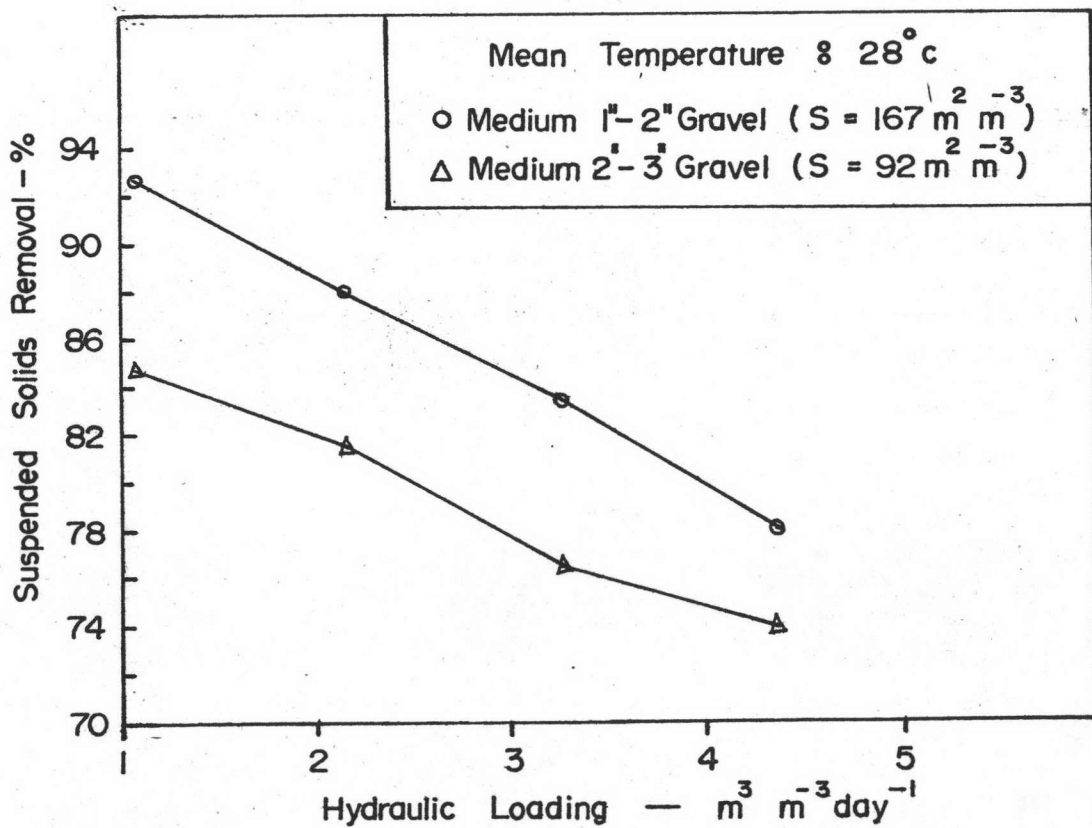
4.7 ค่า Suspended Solids ที่ถูกกำจัดออกและค่าของ pH

Suspended solids ใน Effluent ของ Final settling tank อยู่ในช่วง 5 - 19 mg.l⁻¹ สำหรับ Trickling filter ที่ทดลองที่ Flow rate ต่าง ๆ กัน ส่วน Suspended solids ของ Influent นั้นอยู่ในช่วงระหว่าง 61-86 mg.l⁻¹ จากรูปที่ 14 แสดงถึง Percentการกำจัดของ Suspended solids ที่ Hydraulic loading rate ต่าง ๆ กัน พบว่าการเพิ่ม Hydraulic loading rate ทำให้ลด Percentการกำจัดของ Suspended solids ลง เช่น ที่ Hydraulic loading เท่ากับ 4.32 m³m⁻³day⁻¹ มีค่า Percent suspended solids removal อยู่ระหว่าง 74 - 78 %

และจากตารางที่ 7 และตารางที่ 14 ที่ได้จากการทดลองพบว่า ค่าของ pH ของ Influent อยู่ช่วง 7.8 - 8.12 ส่วนค่าของ pH ของ Effluent อยู่ในช่วง 7.95 - 8.40 ที่ Flow rate ต่าง ๆ กัน ซึ่งค่าที่ได้จาก Filter ทั้งสองไม่ต่างกันมากนัก การเพิ่มขึ้นของ pH เป็นผลมาจากแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (NH₄HCO₃) นั้นเอง



รูปที่ 13 อิทธิพลของ Hydraulic Loading ต่อการกำจัด N



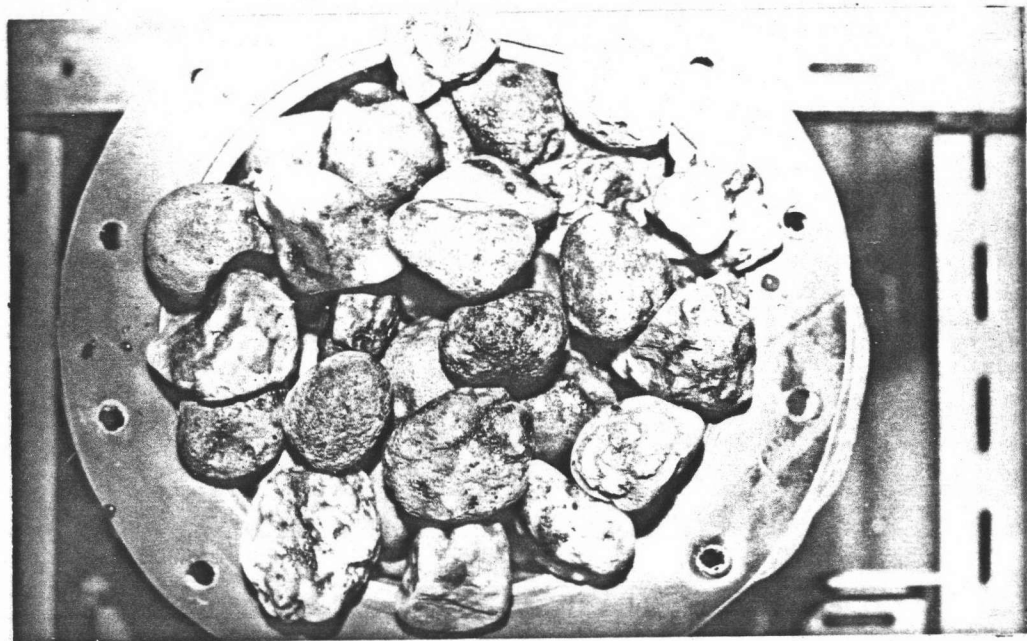
รูปที่ 14 อิทธิพลของ Hydraulic Loading ต่อการกำจัด S.S.

4.8 ค่าของ Dissolved Oxygen

จากตารางที่ 7 และตารางที่ 14 จากการทดลอง พบว่าค่า Dissolved Oxygen ของ Trickling filter effluent ที่ Hydraulic loading rate ต่าง ๆ อยู่ในช่วง $2.78 - 4.05 \text{ mg.l}^{-1}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า Effluent เป็น Aerobic ถึงแม้ว่าจะไม่ไกลหาคาของในเครื่องมากนักตาม ซึ่งระดับของ Dissolved Oxygen ขนาดนี้แสดงถึงเป็น Nitrified effluent ตามที่ BALAKRISHNAN and ECKENFELDER (1969) ได้ศึกษา Nitrification ของ Trickling filter ได้พบว่า Dissolved Oxygen ใน Effluent ของ Trickling filter ที่มีค่ามากกว่า 2 mg.l^{-1} นับว่าเป็น Nitrified effluent

4.9 Accumulation of Biological Film

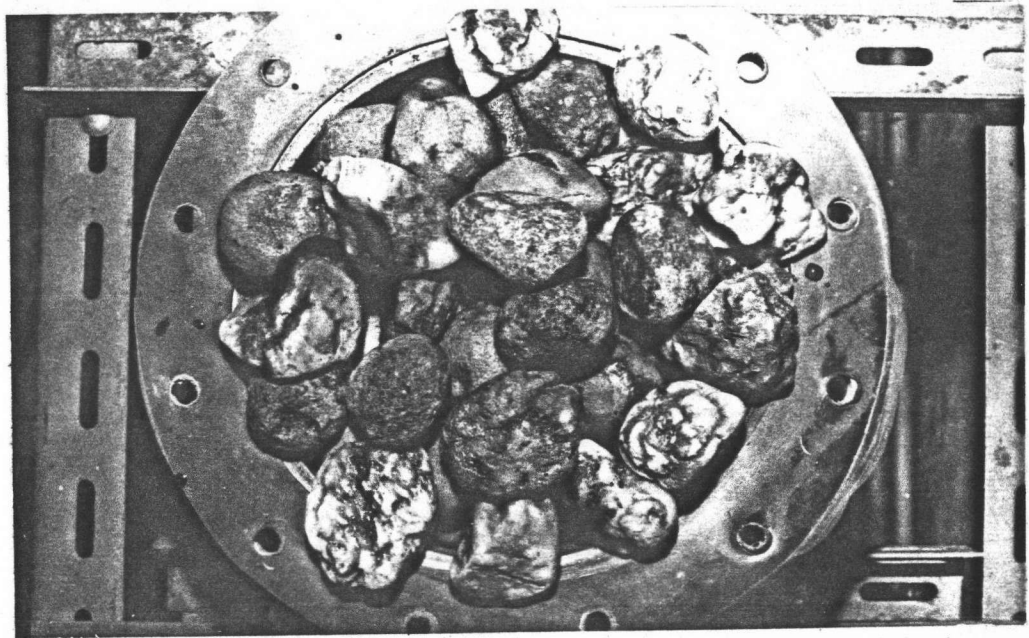
จากรูปที่ 15 ถึงรูปที่ 18 แสดงให้เห็นถึงหินตัวกลางสองขนาดที่ก่อนและหลัง จากใช้ในระบบกำจัด Trickling filter แล้ว ซึ่งตัวกลางที่ถูกใช้แล้วจะมี Film สีดำ ๆ เกาะอยู่บนผิวหินตัวกลางเป็น Biomass ส่วนรูปที่ 19 และรูปที่ 20 เป็นการแสดงค่า Dry weight of film per kilogram of stone ที่ความสูงต่าง ๆ กันของ Filter ที่มีหินตัวกลางขนาด 1" - 2" Gravel และ 2" - 3" Gravel โดยใช้ Flow rate ต่าง ๆ กันด้วย HEUKELEKIAN (1945) ได้หาปริมาณของ Film ที่ความสูงต่าง ๆ ของ Filter และพบว่ามีค่าระหว่าง 2 ถึง 4 Grams of dry film per kilogram of stone จากรูปที่ 19 และรูปที่ 20 จะเห็นว่า การเจริญเติบโตของ Film จะเพิ่มขึ้นจนถึงระยะ 0.9 m. ของความสูง และจะค่อย ๆ ลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งการสะสมของ Biomass นี้เป็นสิ่งที่ช่วยในการกำจัด สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียที่ผ่านเข้ามาใน Filter และแสดงให้เห็นถึงค่าการกำจัดของ BOD ที่ความสูงต่าง ๆ ของ Filter จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับการ Accumulation of biological film การเจริญของ Film สำหรับตัวกลาง 1" - 2" Gravel มีค่า



រូបក្រ 15 គោលនឹង Gravel Before Placement in Filter
(1" - 2" Gravel)



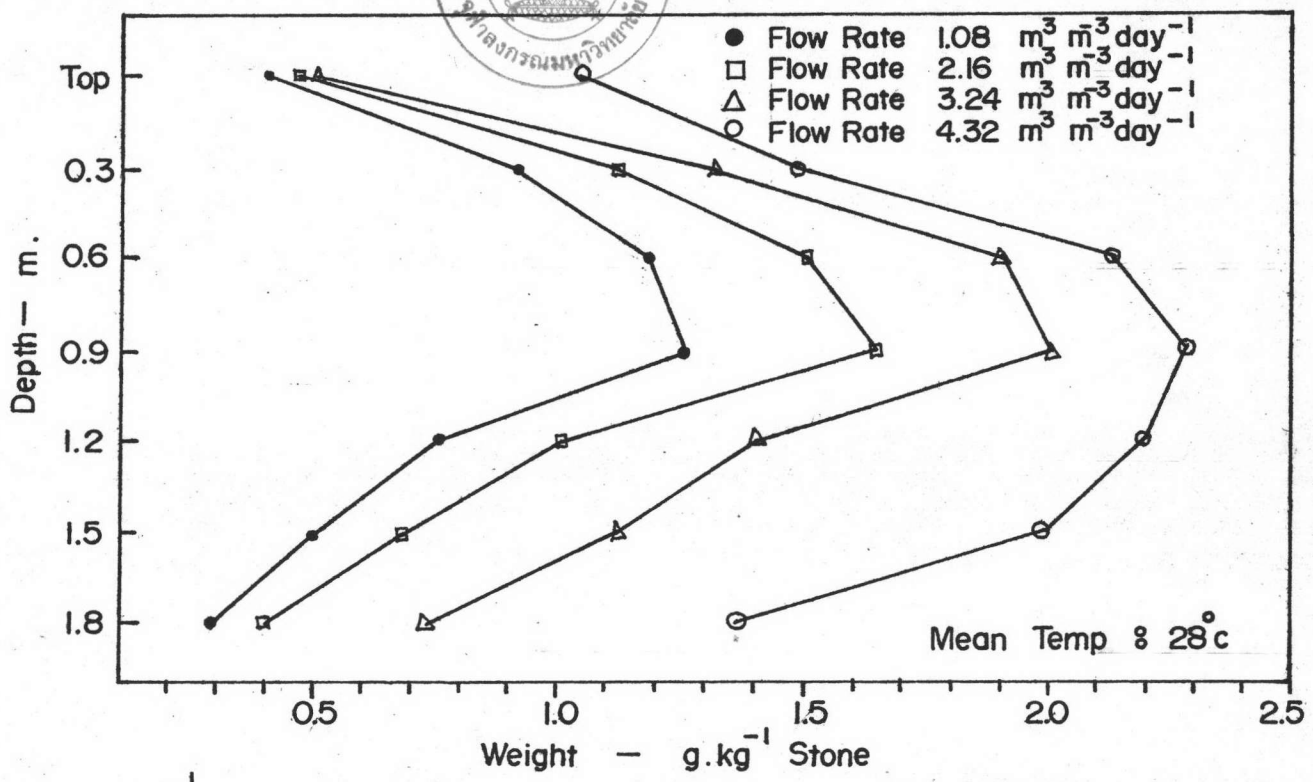
រូបក្រ 16 គោលនឹង Gravel Before Placement in Filter
(2" - 3" Gravel)



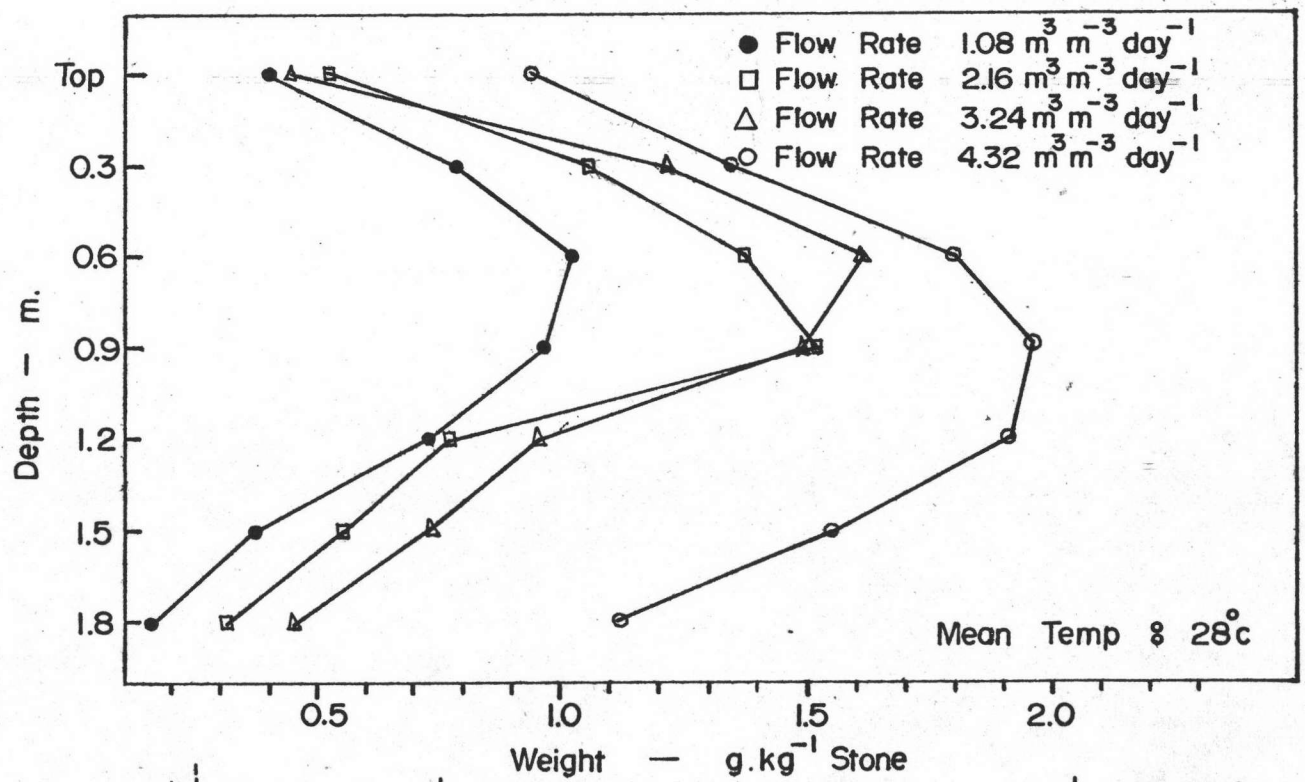
រូបក៏ 17 ឆ្លាតលឿន Growth of Biomass on Gravel (1"-2" Gravel)



រូបក៏ 18 ឆ្លាតលឿន Growth of Biomass on Gravel (2"-3" Gravel)



รูปที่ 19 แสดงค่า Film Accumulation ตามความสูงต่าง ๆ ของตัว Filter (Medium 1st - 2nd Gravel)



รูปที่ 20 แสดงค่า Film Accumulation ตามความสูงต่าง ๆ ของตัว Filter (Medium 2nd - 3rd Gravel)

0.29 - 2.28 Grams of dry film per kilogram of stone ซึ่งอยู่ในช่วง
 ของ Flow rate 25 - 100 ml.min⁻¹ ส่วนตัวกลาง 2" - 3" Gravel ก็เหมือน
 ตัวกลาง 1" - 2" Gravel แต่มีค่าของ Grams of dry film per kilogram
 of stone อยู่ระหว่าง 0.15 - 1.95 นี้แสดงถึงว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดค่า
 BOD₅ ของตัวกลาง 1" - 2" Gravel สูงกว่าตัวกลาง 2" - 3" Gravel ด้วย

สำหรับสิ่งที่มีชีวิตที่พบใน Filter นั้น จะพบพวก Protozoa, Rotifer
 ในส่วนล่างของ Filter และ Effluent ของ Filter พวก Paramoecium จะ
 พบมากพวก Psychoda flies จะพบมากมายตามส่วนบนของ Filter จำนวน
 Psychoda larvae และพวก Worms จะมีอยู่กระจายทั่วไปใน Filter ซึ่งจะเกาะ
 อยู่บนผิวของหินตัวกลาง

4.10 Performance of Filters by Various Formulations

จากตารางที่ 21 ถึงตารางที่ 32 เป็นการแสดงค่าของ Observed
 efficiency และ Calculated efficiency โดยสูตรต่าง ๆ สำหรับ Trick-
 ling filter ที่ไม่มีการ Recirculation อัตราส่วนของ Observed และ Cal-
 culated efficiency สำหรับ Filter ที่ได้นี้จะสรุปในตารางที่ 33 และตาราง
 ที่ 34 อัตราส่วนที่ได้นี้แสดงถึงผลของ Observed trickling filter data ว่า
 เชื่อกันได้เพียงไร โดยคิดอัตราส่วนเป็น 100 % เป็น Ideal case

NRC's Formulation คำนึงถึง Efficiency กับ Volumetric
 organic loading และ Recirculation factor ส่วนความสูงของ Filter
 และอุณหภูมิไม่นำมาคิดถึง ค่าของประสิทธิภาพที่คำนวณได้ (Calculated efficiency)
 มาไม่แตกต่างไปจาก Observed data เท่าใดนัก

VELZ's Formulation คำนึงถึง Strength ของ Influent และ
 Strength ของ Effluent ที่ความสูงต่าง ๆ กันของ Filter ส่วนค่าของอุณหภูมิ

และ Hydraulic loading ไม่นำมาพิจารณา จะเห็นว่าค่า Calculated efficiency มีค่ามากกว่า Observed data ของห้อง Filter

TEN STATES' Formulation คำนึงถึง Efficiency และ Recirculation โดยไม่พิจารณาของ Hydraulic และ Organic loading, อุณหภูมิและความสูงของ Filter จะเห็นได้ว่าค่า Calculated efficiency แตกต่างกับ Observed data มาก

ECKENFELDER'S Formulation เป็นการรวมสูตรที่คิด Efficiency ของ Filter, Hydraulic loading rate และความสูงของ Filter ส่วนอุณหภูมิกับ Organic loading ไม่นำมาพิจารณาถึง จะเห็นได้ว่าค่าของ Calculated efficiency มีค่าใกล้เคียงกับ Observed data มาก

GALLER and GOTAAS's Formulation เป็นสูตรที่รวมตัวแปรที่สำคัญ เช่น Hydraulic loading rate, Organic loading ความสูงของ Filter และอุณหภูมิของน้ำเสีย จะเห็นได้ว่าค่าของ Calculated efficiency มีค่าใกล้เคียงกับ Observed data ที่ได้มาเหมือนกัน

LAMB and OWEN'S Formulation ซึ่งมีค่าเกี่ยวกับ BOD_5 ของ Effluent, BOD_5 ของ Influent, Volumetric hydraulic loading, Specific surface area ของตัวกลางและอุณหภูมิของน้ำเสีย ส่วนผลของ Organic loading, ความสูงของ Filter ไม่นำมาพิจารณา จะเห็นได้ว่าค่าของ Calculated efficiency มีค่ามากกว่า Observed data ที่ได้มา

จากการเปรียบเทียบค่าของ Efficiency โดยสูตรต่าง ๆ กับค่าของ Efficiency ที่ได้จากการทดลองพบว่า สูตรของ NRC, ECKENFELDER และ GALLER and GOTAAS นั้น มีค่าใกล้เคียงมากกับผลที่ได้จากการทดลองกว่าสูตรอื่น ๆ

ตารางที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed และ Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ NRC ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 1"-2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml.min ⁻¹	BOD ₅ Loading g.m ⁻³ day ⁻¹	BOD ₅ of Influent mg.l ⁻¹	BOD ₅ of Effluent		Efficiency of Filter		Observed Efficiency Calculated Efficiency
				Calculated mg.l ⁻¹	Observed mg.l ⁻¹	Calculated %	Observed %	
1	25	127.44	118	16.11	12	86.35	89.83	104.03
		106.92	99	12.53	11	87.34	88.88	101.76
		110.10	102	13.08	12	87.18	88.23	101.20
2	50	196.56	91	14.94	13	83.58	85.71	102.55
		218.16	101	17.32	14	82.85	86.14	103.97
		211.68	98	16.59	14	83.07	85.71	103.18
3	75	333.72	103	20.99	17	79.62	83.49	104.86
		324.00	100	20.15	16	79.85	84.00	105.20
		369.30	114	24.19	19	78.78	83.33	105.77
4	100	388.80	90	19.48	16	78.35	82.22	104.94
		427.68	99	22.24	18	77.53	81.81	105.52
		397.44	92	20.09	17	78.16	81.52	104.30

ตารางที่ 22 : แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed และ Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ NRC ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 2"-3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml.min ⁻¹	BOD ₅ Loading g.m ⁻³ day ⁻¹	BOD ₅ of Influent mg.l ⁻¹	BOD ₅ of Effluent		Efficiency of Filter		Observed Efficiency
				Calculated mg.l ⁻¹	Observed mg.l ⁻¹	Calculated %	Observed %	Calculated Efficiency %
1	25	114.48	106	13.82	16	86.96	84.90	97.63
		89.64	83	9.73	14	88.28	83.13	94.17
		104.76	97	12.17	15	87.45	84.54	96.67
2	50	185.76	86	13.79	16	83.96	81.39	96.94
		174.96	81	12.67	15	84.36	81.48	96.59
		196.56	91	14.94	17	83.58	81.32	97.30
3	75	246.24	76	13.69	17	81.98	77.63	94.69
		272.16	84	15.77	20	81.22	76.19	93.81
		291.60	90	17.38	22	80.69	75.55	93.63
4	100	358.56	83	17.41	22	79.02	73.49	93.00
		414.72	96	21.31	26	77.80	72.92	93.73
		388.80	90	19.48	24	78.35	73.33	93.59

ตารางที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed และ Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ VELZ ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 1" - 2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml.min ⁻¹	BOD ₅ of Influent mg.l ⁻¹	BOD ₅ of Effluent		Efficiency of Filter		Observed Efficiency
			Calculated mg.l ⁻¹	Observed mg.l ⁻¹	Calculated %	Observed %	Calculated Efficiency %
1	25	118	11.65	12	90.13	89.83	99.67
		99	9.77	11	90.13	88.88	98.61
		102	10.07	12	90.13	88.23	97.89
2	50	91	8.98	13	90.13	85.71	95.09
		101	9.97	14	90.13	86.14	95.57
		98	9.67	14	90.13	85.71	95.09
3	75	103	10.17	17	90.13	83.49	92.63
		100	9.87	16	90.13	84.00	93.20
		114	11.25	19	90.13	83.33	92.45
4	100	90	8.88	16	90.13	82.22	91.22
		99	9.77	18	90.13	81.81	90.77
		92	9.08	17	90.13	81.52	90.45

ตารางที่ 24 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed และ Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ VELZ ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 2" - 3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml.min ⁻¹	BOD ₅ of Influent mg.l ⁻¹	BOD ₅ of Effluent		Efficiency of Filter		Observed Efficiency
			Calculated mg.l ⁻¹	Observed mg.l ⁻¹	Calculated %	Observed %	Calculated Efficiency %
1	25	106	10.46	16	90.13	84.90	94.20
		83	8.19	14	90.13	83.13	92.23
		97	9.57	15	90.13	84.54	93.80
2	50	86	8.49	16	90.13	81.39	90.30
		81	7.99	15	90.13	81.48	90.40
		91	8.98	17	90.13	81.32	90.22
3	75	76	7.50	17	90.13	77.63	86.13
		84	8.29	20	90.13	76.19	84.53
		90	8.88	22	90.13	75.55	83.82
4	100	83	8.19	22	90.13	73.49	81.54
		96	9.47	26	90.13	72.92	80.90
		90	8.88	24	90.13	73.33	81.36

ตารางที่ 25 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed และ Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ TEN STATES ที่ Loading Rates ต่าง ๆ ไม่มีการ Recirculation (Medium 1" - 2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml.min ⁻¹	BOD ₅ of Influent mg.l ⁻¹	BOD ₅ of Effluent		Efficiency of Filter Observed Efficiency		
			Calculated mg.l ⁻¹	Observed mg.l ⁻¹	Calculated %	Observed %	Calculated Efficiency %
1	25	118	39.33	12	66.67	89.83	134.74
		99	33.00	11	66.67	88.88	133.31
		102	34.00	12	66.67	88.23	132.34
2	50	91	30.33	13	66.67	85.71	128.56
		101	33.67	14	66.67	86.14	129.20
		98	32.67	14	66.67	85.71	128.56
3	75	103	34.33	17	66.67	83.49	125.23
		100	33.33	16	66.67	84.00	125.99
		114	38.00	19	66.67	83.33	124.99
4	100	90	30.00	16	66.67	82.22	123.32
		99	33.00	18	66.67	81.81	122.71
		92	30.67	17	66.67	81.52	122.27

ตารางที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed และ Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ **TEN STATES** ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (medium 2" - 3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate ml.min ⁻¹	BOD ₅ of Influent mg.l ⁻¹	BOD ₅ of Effluent		Efficiency of Filter		Observed Efficiency
			Calculated mg.l ⁻¹	Observed mg.l ⁻¹	Calculated %	Observed %	Calculated Efficiency %
1	25	106	35.33	16	66.67	84.90	127.34
		83	27.67	14	66.67	83.13	124.69
		97	32.33	15	66.67	84.54	126.80
2	50	86	28.67	16	66.67	81.39	122.08
		81	27.00	15	66.67	81.48	122.21
		91	30.33	17	66.67	81.32	121.97
3	75	76	25.33	17	66.67	77.63	116.44
		84	28.00	20	66.67	76.19	114.28
		90	30.00	22	66.67	75.55	113.32
4	100	83	27.67	22	66.67	73.49	110.23
		96	32.00	26	66.67	72.92	109.37
		90	30.00	24	66.67	73.33	109.99

ตารางที่ 27 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed และ Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ ECKENFELDER ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 1" - 2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Hydraulic Loading Rate		BOD ₅ of Influent mg.l ⁻¹	BOD ₅ of Effluent		Efficiency of Filter		Observed Efficiency <u>Calculated Efficiency</u>
	ml.min ⁻¹	MG acre ⁻¹ day ⁻¹		Calculated mg.l ⁻¹	Observed mg.l ⁻¹	Calculated %	Observed %	
1	25	2.12	118	17.60	12	85.08	89.83	105.58
			99	14.77	11	85.08	88.88	104.47
			102	15.22	12	85.08	88.23	103.70
2	50	4.24	91	18.08	13	80.13	85.71	106.96
			101	20.07	14	80.13	86.14	107.50
			98	19.47	14	80.13	85.71	106.96
3	75	6.36	103	23.99	17	76.71	83.49	108.84
			100	23.29	16	76.71	84.00	109.50
			114	26.55	19	76.71	83.33	108.63
4	100	8.48	90	23.37	16	74.04	82.22	111.05
			99	25.70	18	74.04	81.81	110.49
			92	23.88	17	74.04	81.52	110.10

ตารางที่ 28 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed และ Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ ECKENFELDER ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 2" - 3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Hydraulic Loading Rate		BOD ₅ of Influent mg.l ⁻¹	BOD ₅ of Effluent		Efficiency of Filter		Observed Efficiency Calculated Efficiency %
	ml.min ⁻¹	MG acre ⁻¹ day ⁻¹		Calculated mg.l ⁻¹	Observed mg.l ⁻¹	Calculated %	Observed %	
1	25	2.12	106	15.81	16	85.08	84.90	99.79
			83	12.38	14	85.08	83.13	97.71
			97	14.47	15	85.08	84.54	99.36
2	50	4.24	86	17.09	16	80.13	81.39	101.57
			81	16.09	15	80.13	81.48	101.68
			91	18.08	17	80.13	81.32	101.48
3	75	6.36	76	17.70	17	76.71	77.63	101.20
			84	19.57	20	76.71	76.19	99.32
			90	20.96	22	76.71	75.55	98.49
4	100	8.48	83	21.55	22	74.04	73.49	99.26
			96	24.92	26	74.04	72.92	98.49
			90	23.37	24	74.04	73.33	99.04

ตารางที่ 29 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed และ Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ GALLER and GOTAAS ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 1" - 2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Hydraulic Loading Rate		BOD ₅ of Influent mg.l ⁻¹	BOD ₅ Loading lbs acre ⁻¹ day ⁻¹	BOD ₅ of Effluent		Efficiency of Filter		Observed Efficiency <hr/> Calculated Efficiency %
	ml.min ⁻¹	MG acre ⁻¹ day ⁻¹			Calculated mg.l ⁻¹	Observed mg.l ⁻¹	Calculated %	Observed %	
1	25	2.12	118	2088	23.73	12	79.89	89.83	112.44
			99	1752	19.98	11	79.89	88.88	111.25
			102	1805	20.57	12	79.89	88.23	110.44
2	50	4.24	91	3220	18.14	13	80.06	85.71	107.06
			101	3574	20.09	14	80.06	86.14	107.59
			98	3468	19.51	14	80.06	85.71	107.06
3	75	6.36	103	5467	20.32	17	80.27	83.49	104.01
			100	5308	19.74	16	80.27	84.00	104.65
			114	6051	22.44	19	80.27	83.33	103.81
4	100	8.48	90	6370	17.70	16	80.33	82.22	102.35
			99	7007	19.43	18	80.33	81.81	101.84
			92	6511	18.08	17	80.33	81.52	101.48

ตารางที่ 30 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed และ Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ GALLER and GOTAAS ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 2" - 3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Hydraulic Loading Rate		BOD ₅ of Influent mg.l ⁻¹	BOD ₅ Loading lbs acre ⁻¹ day ⁻¹	BOD ₅ of Effluent		Efficiency of Filter		Observed Efficiency Calculated Efficiency %
	ml.min ⁻¹	MG acre ⁻¹ day ⁻¹			Calculated mg.l ⁻¹	Observed mg.l ⁻¹	Calculated %	Observed %	
1	25	2.12	106	1875	21.36	16	79.85	84.90	106.32
			83	1469	16.81	14	79.85	83.13	104.11
			97	1716	19.58	15	79.85	84.54	105.87
2	50	4.24	86	3043	17.16	16	80.05	81.39	101.67
			81	2866	16.18	15	80.05	81.48	101.79
			91	3220	18.14	17	80.05	81.32	101.59
3	75	6.36	76	4034	15.08	17	80.16	77.63	96.84
			84	4459	16.64	20	80.16	76.19	95.05
			90	4777	17.80	22	80.16	75.55	94.25
4	100	8.48	83	5874	16.35	22	80.30	73.49	91.52
			96	6794	18.85	26	80.30	72.92	90.81
			90	6370	17.70	24	80.30	73.33	91.32

ตารางที่ 31 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed และ Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ LAMB and OWEN ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 1" - 2" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate		BOD ₅ of Influent mg.l ⁻¹	BOD ₅ of Effluent		Efficiency of Filter		Observed Efficiency Calculated Efficiency %
	ml.min ⁻¹	m ³ day ⁻¹		Calculated mg.l ⁻¹	Observed mg.l ⁻¹	Calculated %	Observed %	
1	25	0.036	118	1.76	12	98.51	89.83	91.19
			99	1.48	11	98.51	88.88	90.22
			102	1.52	12	98.51	88.23	89.56
2	50	0.072	91	2.68	13	97.05	85.71	88.31
			101	2.97	14	97.05	86.14	88.76
			98	2.88	14	97.05	85.71	88.31
3	75	0.108	103	4.48	17	95.65	83.49	87.29
			100	4.35	16	95.65	84.00	87.82
			114	4.96	19	95.65	83.33	87.12
4	100	0.144	90	5.14	16	94.29	82.22	87.20
			99	5.66	18	94.29	81.81	86.76
			92	5.26	17	94.29	81.52	86.46

ตารางที่ 32 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Observed และ Calculated ของ Trickling Filter โดยสูตรของ LAMB and OWEN ที่ Loading Rates ต่าง ๆ โดยไม่มีการ Recirculation (Medium 2" - 3" Gravel, Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Flow Rate		BOD ₅ of Influent mg.l ⁻¹	BOD ₅ of Effluent		Efficiency of Filter		Observed Efficiency
	ml.min ⁻¹	m ³ day ⁻¹		Calculated mg.l ⁻¹	Observed mg.l ⁻¹	Calculated %	Observed %	Calculated Efficiency %
1	25	0.036	106	2.84	16	97.32	84.90	87.24
			83	2.22	14	97.32	83.13	85.42
			97	2.60	15	97.32	84.54	86.87
2	50	0.072	86	4.48	16	94.79	81.39	85.86
			81	4.22	15	94.79	81.48	85.96
			91	4.74	17	94.79	81.32	85.79
3	75	0.108	76	5.79	17	92.38	77.63	84.03
			84	6.40	20	92.38	76.19	82.47
			90	6.86	22	92.38	75.55	81.78
4	100	0.144	83	8.23	22	90.08	73.49	81.58
			96	9.51	26	90.08	72.92	80.95
			90	8.92	24	90.08	73.33	81.40

ตารางที่ 33 แสดงค่า Comparison of Observed and Calculated Efficiency of 1" to 2" Gravel Trickling Filter without Recirculation (Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Observed Efficiency	Ratio Observed Efficiency/Calculated Efficiency %						
		Formulation	NRC	VELZ	TEN STATES	ECKENFELDER	GALLER & GOTAAS	LAMB & OWEN
1	89.83		104.03	99.67	134.74	105.58	112.44	91.19
	88.88		101.76	98.61	133.31	104.47	111.25	90.22
	88.23		101.20	97.89	132.34	103.70	110.44	89.56
2	85.71		102.55	95.09	128.56	106.96	107.06	88.31
	86.14		103.97	95.57	129.20	107.50	107.59	88.76
	85.71		103.18	95.09	128.56	106.96	107.06	88.31
3	83.49		104.86	92.63	125.23	108.84	104.01	87.29
	84.00		105.20	93.20	125.99	109.50	104.65	87.82
	83.33		105.77	92.45	124.99	108.63	103.81	87.12
4	82.22		104.94	91.22	123.32	111.05	102.35	87.20
	81.81		105.52	90.77	122.71	110.49	101.84	86.76
	81.52		104.30	90.45	122.27	110.10	101.48	86.46
Mean			103.94	94.39	127.60	107.81	106.16	88.25
Standard Deviation			1.48	3.12	4.22	2.38	3.75	1.46

ตารางที่ 34 แสดงค่า Comparison of Observed and Calculated Efficiency of 2" to 3" Gravel Trickling Filter without Recirculation (Depth of Filter 1.8 m.)

Run No.	Ratio Formulation Observed Efficiency	Observed Efficiency/Calculated Efficiency %					
		NRC	VELZ	TEN STATES	ECKENFELDER	GALLER & GOTAAS	LAMB & OWEN
1	84.90	97.63	94.20	127.34	99.79	106.32	87.24
	83.13	94.17	92.23	124.69	97.71	104.11	85.42
	84.54	96.67	93.80	126.80	99.36	105.87	86.87
2	81.39	96.94	90.30	122.08	101.57	101.67	85.86
	81.48	96.59	90.40	122.21	101.68	101.79	85.96
	81.32	97.30	90.22	121.97	101.48	101.59	85.79
3	77.63	94.69	86.13	116.44	101.20	96.84	84.03
	76.19	93.81	84.53	114.28	99.32	95.05	82.47
	75.55	93.63	83.82	113.32	98.49	94.25	81.78
4	73.49	93.00	81.54	110.23	99.26	91.52	81.58
	72.92	93.73	80.90	109.37	98.49	90.81	80.95
	73.33	93.59	81.36	109.99	99.04	91.32	81.40
	Mean.	95.14	87.45	118.23	99.78	98.43	84.11
	Standard Deviation	1.75	4.97	6.72	1.37	5.80	2.34