เอกสารอ้างอิง

ANTON, E.; SCHUELERT, E.; SCHILIBACH, L., and SARFERT, W.(1970), Trickling Filter Apparatus for Biological Decomposition of Industrial Wastes, Chemical Abstracts, V. 72, No. 47218.

ASKEW, M.F. (1970), High Rate Biofiltration - Past and Future, J. Water Pollution Control (G.B.), V. 69, No.2, p.448.

BALAKRISHNAN, S., and ECKENFELDER, W.W. (1969), Nitrogen Relationship in Biological Treatment Processes - Nitrification in Trickling Filters, J. Water Research, Pergamon Press (G.B.), V. 3, No. 2, p. 167-174.

BALAKRISHNAN, S.; ECKENFELDER, W.W., and BROWN, C. (1969), Organic Removal by a Selected Trickling Filter Media, Water and Waste Engineering, V. 6, A 22-25.

BRUCE, A.M., and BOON, A.G. (1971), Aspects of High - Rate Biological Treatment of Domestic and Industrial Wastewaters, J. Water Pollution Control (G.B.), V. 70, No. 5, p. 487-513.

den OTTER, C.J. (1966), A Physical Method for the Permanent Control of Psychoda Pests at Wastewater Treatment Plants, J. Water Pollution Control Federation, V. 38, No. 2, p. 156-164.

ECKENFELDER, W.W. (1961), Trickling Filter Design and Performances, J. Sanitary Engineering Division, Proc. American Society of Civil Engineers, V. 87, SA 4, p. 33-45.

EDEN, G.E.; BRENDISH, K., and HARVEY, B.R. (1964), Measurement and Significance of Retention in Percolating Filters, J. Institute of Sewage Purification, Part 6, p. 513-526.

ECKENFELDER, W.W. (1966), Industrial Water Pollution Control, McGraw Hill Book Company Inc. London, Chapter 13.

ECKENFELDER, W.W. (1967), Theory of Biological Treatment of Trade Wastes, J. Water Pollution Control Federation, V. 39, No. 2, p. 240-250.

FAIR, G.M.; GEIER, J.C., and OKUN, D.A. (1968), Water and Wastewater Engineering, John Wiley and Sons Inc. New York, p. 35-1 to 35-15.

FAIRALL, J.M. (1956), Correlation of Trickling Filters Data, Sewage and Industrial Wastes, V. 28, p. 1069-1074.

GALLER, W.S., and GOTAAS, H.B. (1965), Analysis of Biological Filter Variables, J. Sanitary Engineering Division, Proc. Proc. American Society of Civil Engineers, V. 91, SA 4, P. 56-65.

GRANTHAM, G.R.; PHELPS, E.B.; CALAWAY, W.T., and EMERSON, D.L., Jr. (1950), Progress Report on Trickling Filters, Sew. Industrial Wastes, V. 22, No. 7, p. 867-874.

HALVORSON, H.O.; SAVAGE, G.M., and PIRET, E.L. (1936), Some Fundamental Factors Concerned in Operation of Trickling Filters, Sewage Works J., V. 8, No. 6, p. 888-903.

HANUMANULU, V. (1969), Effect of Recirculation on Deep Tricking Filter Performance, J. Water Pollution Control Federation, V. 41, No. 10, p. 1803-1806.

HARTMANN, L. (1967), Influence of Turbulence on the Activity of Bacterial Slimes, J. Water Pollution Control Federation, V. 39, No. 6, p. 958-964.

HERNANDEZ, J.W., Jr. (1965), Analysis of Biological Filter Variables, J. Sanitary Engineering Division, Proc. American Society of Civil Engineers, V. 91, SA 3, p. 129-134.

HEUKELEKIAN, H. (1945), Relationship Between Accumulation - Biochemical and Biological Characteristies of Film and Purification Capacity of a Biofilter, Sewage Works J., V. 17, No. 1, p. 23-37.

HOWLAND, W.E. (1958), Flow Over Porous Media as in a Trickling Filter, Proc. 12th Industrial Conference, Series 94, p. 435-465, Purdue University.

INGRAM, W.T. (1959), An Investigation of Mechanism of Controlled Filtration, J. Sewage and Industrial Wastes, V. 31, No. 9, p. 1147-1158.

JOSLIN, J.R.; SIDWICK, J.M.; GREENE, G.,and SHEARER, J.R. (1971), High-Rate Biological Filtration: A Comparative Assessment, J. Water Pollution Control (G.B.), V. 70, No. 4, p. 383-399.

KEEFER, C.E., and KRATZ, H.Jr. (1940), Experiments With High Rate Trickling Filters at Baltimore, Sewage Works J., V. 12, No. 3, p. 477-484.

LAMB, R., and OWEN, S.G.H. (1970), A Suggested Formula for the Process of Biological Filtration, J. Water Pollution Control (G.B.), V. 69, No. 2, p. 209-220.

MAIER, W.J.; BEHN, V.C., and GATES, C.G. (1967), Simulation of Trickling Filter Process, J. Sanitary Engineering Division, Proc. American Society of Civil Engineers, V. 93, SA 4, p. 91-112.

MARK J. HAMMER, W.W., Water and Waste Water Technology, John Wiley and Sons, Inc., p. 364-380.

McKINNEY, R.E. (1962), Microbiology for Sanitary Engineers, McGraw Hill Book Company Inc. London, p. 199-212.

NRC Subcommittee Report (1946), Sewage Treatment at Military Installations, Sewage Works J., V. 18, p. 962-981.

RANKIN, R.S. (1955), Evaluation of the Performance of Biofiltration Plants, Trans. American Society of Civil Engineers, p. 823-842.

RIGBI, M.; AMRAMY, A., and SHUVAL, H. (1956), Efficiency of a Small High Rate Trickling Filter Plant at Jerusalem, Israel, Sewage Industrial Wastes, V. 28, No. 7, p. 852-865.

ROSS, L.W. (1970), Contributions to the Theory of Trickling Filter Performance, J. Water Research, Pergamon Press (G.B.), V. 4, No. 8, p. 517-520.

SAWYER, C.N.; FRAME, J.D., and WOLD, J.P. (1955), Revised Concepts on Biological Treatment, Sewage Industrial Wastes, V. 27, No. 8, p. 929-938.

SCHROEPFER, G.J.; AL-HAKIM, M.B.; SEIDEL, H.F., and ZIEMKE, N.R. (1952), Temperature Effects on Trickling Filters, Sewage and Industrial Wastes, V. 24, No. 6, p. 705-725.

SCHULZE, K.L. (1960), Load and Efficiency of Trickling Filters, J. Water Pollution Control Federation, V. 32, No. 3, p. 245-261.

SHEIKH, M.I. (1970), Organic and Liquid Retention Time in Trickling Filter Performance, Proc. 5th Intl. Conference Water Pollution Research, San Fransisco.

TUČEK, F.; CHUDOBA, J., and MADERA, V. (1971), Unified Basis for the Design of Biological Aerobic Treatment Processes, J. Water Research, Pergamon Press (G.B.), V. 5, No. 9, p. 647-680.

VELZ, C.J. (1948), A Basic Law for the Performance of Biological Filters, Sewage Works J., V. 20, No. 4, p. 607-617.

YOUNG, R.H.F., and CHAN, P.L. (1970), Oahu Wastewater Treatment Plant Efficiency, J. Water Pollution Control Federation, V. 42, No. 12, p. 2052-2059.

ภาคผนวก

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณหาค่า Correlation coefficient (R), Standard error of coefficient (σ_b) และรูปสมการเส้นตรง ซึ่งได้มาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD และ BOD ของน้ำทิ้งออกจาก Filter ที่ใช้ตัวกลางขนาด 1" - 2" Gravel

1. Ordinary Least Squre Method

COD X	BOD Y	X^2	Y^2	XY
49	12	2401	144	588
45	11	2025	121	495
51	12	2601	144	612
47	13	2209	169	611
52	14	2704	196	728
55	14	3025	196	770
61	17	3721	289	1037
62	16	3844	256	992
66	19	4356	361	1254
54	16	2916	256	864
63	18	3969	324	1134
56	17	3136	289	952
$\Sigma X = 661$	$\Sigma Y = 179$	$\Sigma X^2 = 36907$	$\Sigma Y^2 = 2745$	$\Sigma XY = 10037$

$$\text{Slope, } b = \frac{\Sigma XY - (\Sigma X \Sigma Y/N)}{\Sigma X^2 - \left[(\Sigma X)^2/N\right]}$$

$$= \frac{10037 - \left[(661)(179)/12\right]}{36907 - \left[(661)^2/12\right]}$$

$$= \frac{177.084}{496.917}$$

$$= 0.356$$

Intercept,

$$a = \frac{\Sigma Y - b\Sigma X}{N}$$

$$= \frac{179 - (0.356)(661)}{12}$$

$$= - 4.713$$

$$\therefore \quad Y = 0.356\ x - 4.713$$

Correlation Coefficient, R

$$R = \frac{N\Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{\sqrt{\left[N\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2\right]\left[N\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2\right]}}$$

$$= \frac{12(10037) - (661)(179)}{\sqrt{\left[12(36907) - (661)^2\right]\left[12(2745) - (179)^2\right]}}$$

$$= \frac{2125}{2315.33}$$

$$= 0.92$$

2. Analysis of Variance Method

$$Y = a + bX$$

$$\Sigma y^2 = \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{n}$$

$$\Sigma xy = \Sigma XY - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{n}$$

$$\Sigma x^2 = \Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n}$$

$$\sigma_n^2 = \frac{\Sigma y^2 - b\Sigma xy}{n - 1 - k} \quad , \quad k = 1$$

$$= \frac{\Sigma y^2 - b\Sigma xy}{n - 2}$$

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{\sigma_n^2}{\Sigma x^2}}$$

เมื่อ σ_n^2 = Residual variance

$b\Sigma xy/d.f$ = Regression variance

$\Sigma y^2/d.f$ = Total variance

σ_b = Standard error of coefficient

d.f = Degree of freedom

$\therefore$ b = 0.356, a = -4.713

$$\Sigma y^2 = \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{n}$$

$$= 2745 - \frac{179^2}{12} = 75$$

$$\Sigma x^2 = \Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n}$$

$$= 36907 - \frac{661^2}{12} = 497$$

$$\Sigma xy = \Sigma XY - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{n}$$

$$= 10037 - \frac{661 \times 179}{12} = 177.08$$

$$\sigma_n^2 = \frac{\Sigma y^2 - b\Sigma xy}{n - 2}$$

$$= \frac{75 - 0.356 \times 177.08}{12 - 2} = 1.196$$

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{\sigma_n^2}{\Sigma x^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{1.196}{497}} = 0.049$$

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณหาค่า Reaction Rate Constant "K" ของน้ำทิ้งจากโรงกำจัดน้ำโสโครก ห้วยขวาง ของการเคหะแห่งชาติ

จากหนังสือ Water and Waste Water Technology ของ MARK J. HAMMER ได้ใช้สูตรในการหาค่าของ "K" ดังนี้

$$K = 2.61 - \frac{B}{A}$$

เมื่อ

K = Reaction Rate Constant, per day

A = Intercept of the line on the ordinate axis

B = Slope of the line

ตารางที่ 35 แสดงถึง Values of BOD_5 for Consecutive 7 Days

Time Days	BOD_5 $mg.l^{-1}$	$\left[\frac{Time}{BOD_5}\right]^{1/3}$
1	42	0.287
2	76	0.297
3	100	0.310
4	115	0.326
5	127	0.340
6	134	0.355
7	142	0.366

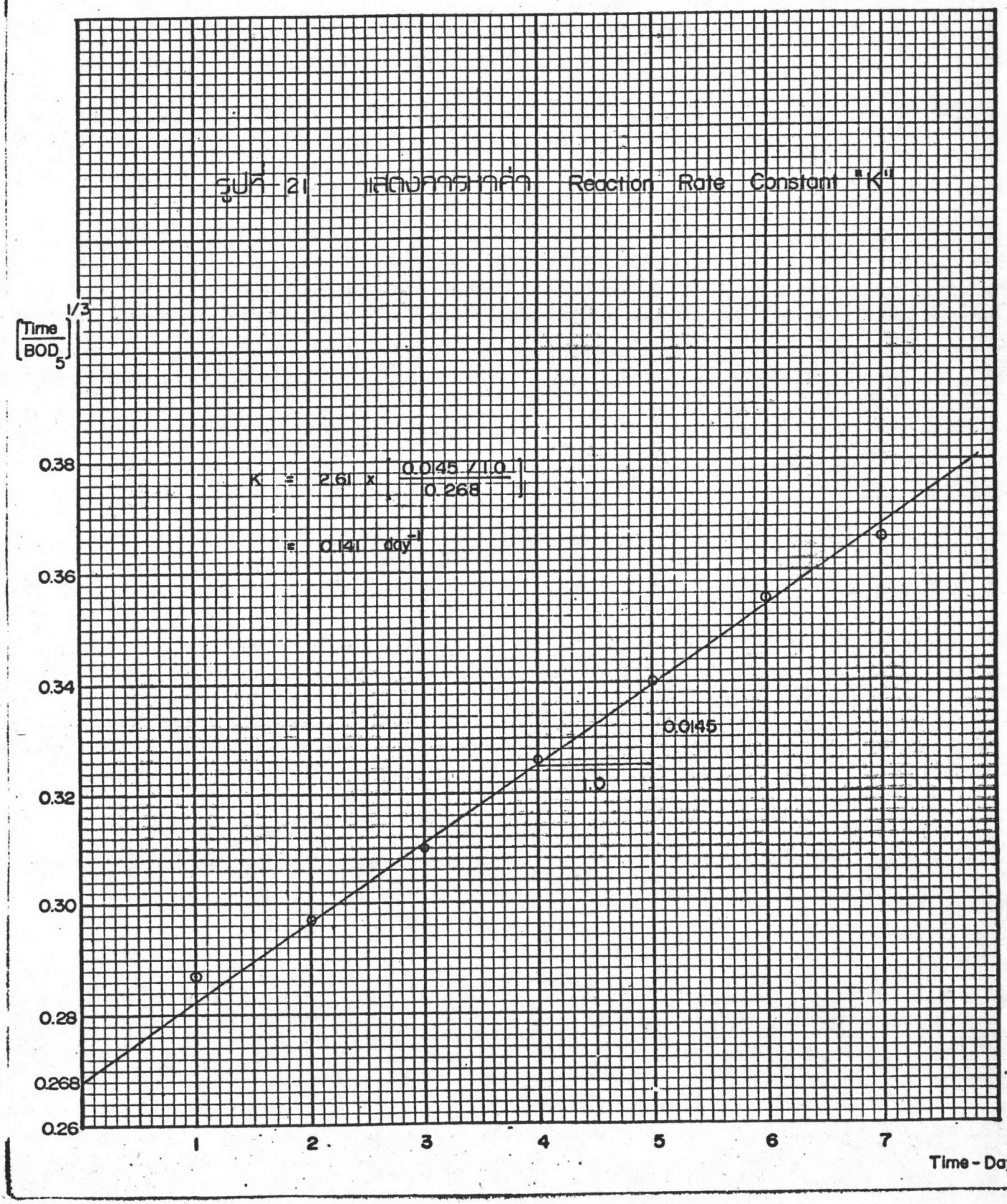
จากรูปที่ 21 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Time กับ $\left[Time/BOD_5\right]^{1/3}$ เพื่อหาค่า A และ B

ได้ค่า $A = 0.268$

$$B = \frac{0.0145}{1.00} = 0.0145$$

$$\therefore K = 2.61 \times \frac{0.0145}{0.268}$$

$$= 0.141 \quad day^{-1}$$


รูปที่ 21 แสดงการหาค่า Reaction Rate Constant "K"
$\left[\frac{\text{Time}}{BOD_5}\right]^{1/3}$
$K = 2.61 \times \left[\frac{0.0145 / 1.0}{0.268}\right]$
$= 0.141 \text{ day}^{-1}$
0.38
0.36
0.34
0.32
0.30
0.28
0.268
0.26
0.0145
1.0
1
2
3
4
5
6
7
Time - Days

ตัวอย่างที่ 3 Derivation of an empirical mathematical model ซึ่งมีแบบมาจาก first order reaction เกี่ยวกับ performanceของ Trickling filter สามารถเขียนเป็นสูตรของ ECKENFELDER ดังนี้

$$\frac{L_e}{L_i} = e^{-K_s A_v D/Q_s^n} \qquad \text{----------(1)}$$

เมื่อ $\frac{L_e}{L_i}$ = Percent BOD_5 removal

L_e = Effluent concentration, $mg.l^{-1}$

L_i = Influent concentration, $mg.l^{-1}$

e = Napherian base "e"

K_s = Removal rate constant

A_v = Specific surface area, m^2m^{-3}

D = Filter depth, m.

Q_s = Hydraulic surface loading, $m^3m^{-2}day^{-1}$

n = Constant relatived to specific surface and configuration of packing

เราคำนวณหาค่าของ K_s และ n ตามวิธีการของECKENFELDER โดยใช้รูปที่ 11, 22, 23, 24 และตารางที่ 19, 36

สำหรับ Medium 1" - 2" Gravel filter โดยใช้รูปที่11,22,23 และตารางที่ 36 จากรูปที่ 22 ได้

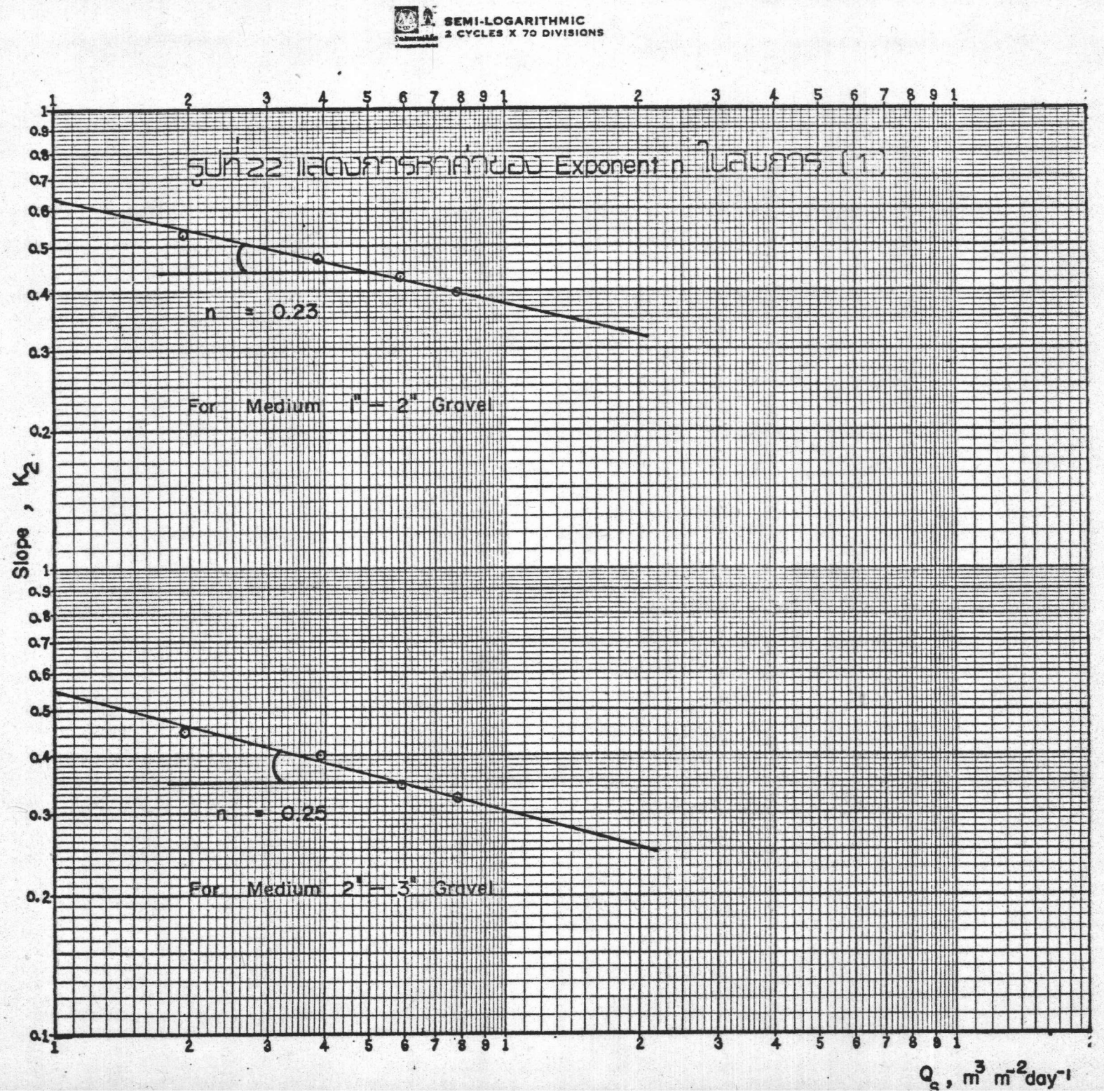
$$n = \frac{\log 0.52 - \log 0.44}{\log 5 - \log 2.4}$$

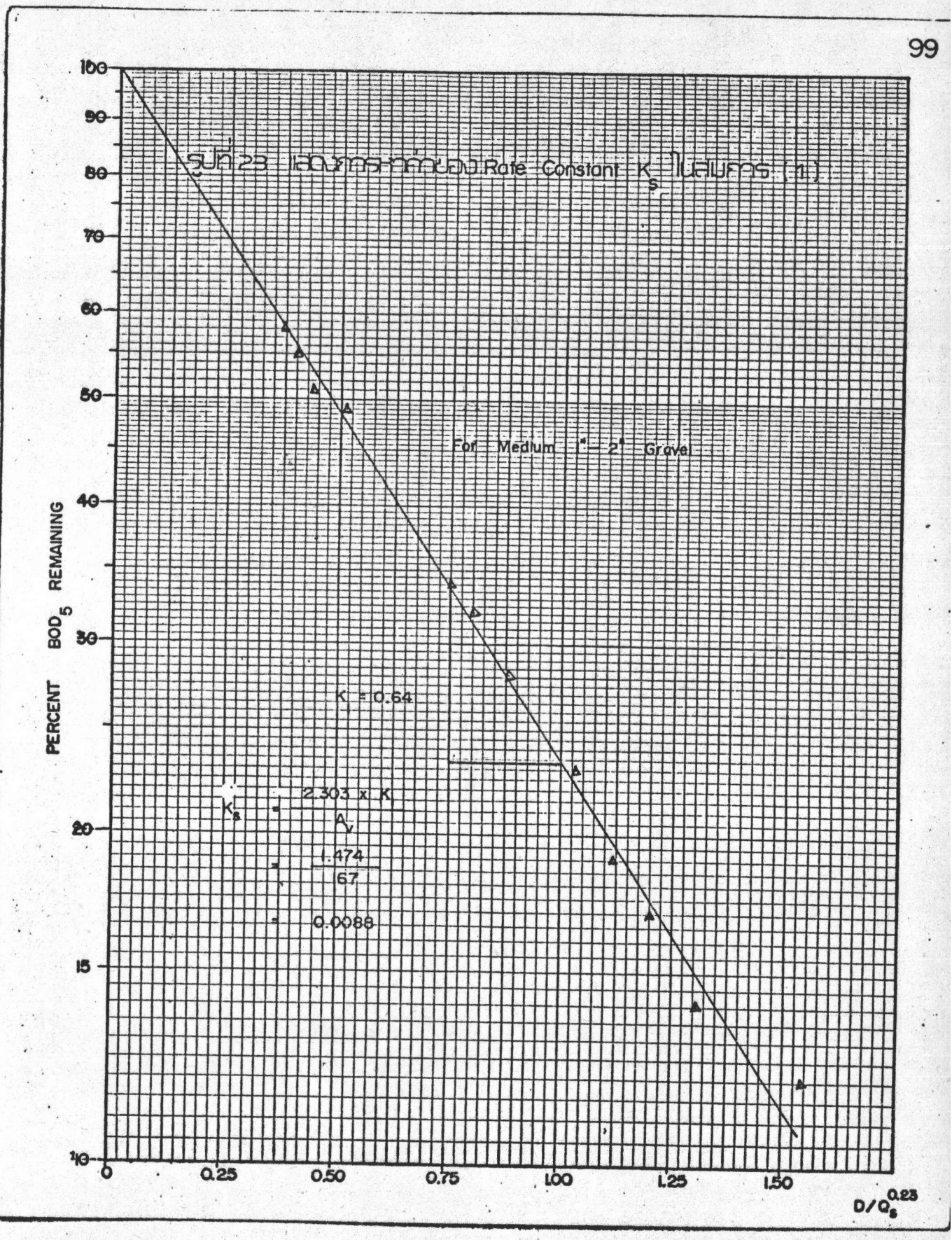
$$= \frac{-0.2839 - (-0.3565)}{0.6989 - 0.3802}$$

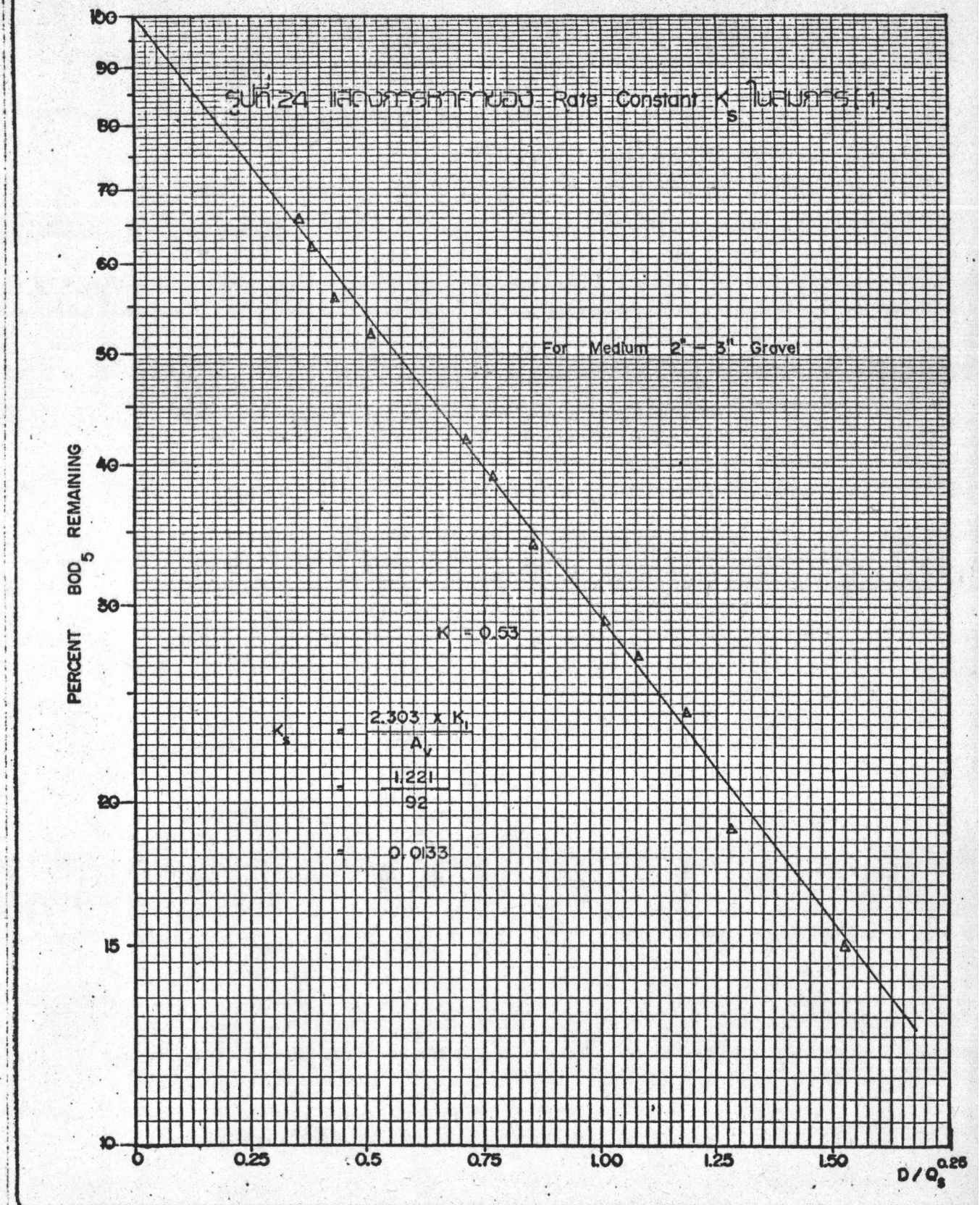
$$= 0.23$$

ตารางที่ 36 แสดงตารางการคำนวณหาค่าของ "K_S"

Depth m.	Q_S $m^3.m^{-2}day^{-1}$	$Q_S^{0.23}$	$Q_S^{0.25}$	$D/Q_S^{0.23}$	$D/Q_S^{0.25}$	% BOD_5 Remaining	
						Medium 1"-2" Gravel	Medium 2"-3" Gravel
0.6				0.515	0.508	49	52
1.2	1.944	1.165	1.181	1.030	1.016	23	29
1.8				1.545	1.524	12	15
0.6				0.439	0.427	51	56
1.2	3.888	1.366	1.404	0.878	0.855	28	34
1.8				1.318	1.282	14	19
0.6				0.400	0.386	55	62
1.2	5.832	1.500	1.554	0.800	0.772	32	39
1.8				1.200	1.158	17	24
0.6				0.374	0.359	58	66
1.2	7.776	1.603	1.670	0.748	0.718	34	42
1.8				1.123	1.078	19	27




รูปที่ 23 แสดงการหาค่าของ Rate Constant K_s ในสนาม (ft)
For Medium 1" – 2" Gravel
PERCENT BOD5 REMAINING
100
90
80
70
60
50
40
30
20
15
10
0
0.25
0.50
0.75
1.00
1.25
1.50
D/Q_s^0.23
K = 0.64
K_s = 2.303 x K / A_v
= 1.474 / 67
= 0.0088


รูปที่ 24 แสดงการหาค่าของ Rate Constant K_s ในแบบการไหลแบบ
For Medium 2" – 3" Gravel
PERCENT BOD_5 REMAINING
100
90
80
70
60
50
40
30
20
15
10
0
0.25
0.5
0.75
1.00
1.25
1.50
$D/Q_s^{0.28}$
$K_1 = 0.53$
$K_s = \frac{2.303 \times K_1}{A_v}$
$= \frac{1.221}{92}$
$= 0.0133$

จากรูปที่ 23 ได้

$$K_1 = \frac{\log 23.5 - \log 16.25}{0.25}$$

$$= \frac{1.3711 - 1.21108}{0.25}$$

$$= 0.64$$

$$K_s = \frac{2.303\ K_1}{A_v}$$

$$= \frac{2.303 \times 0.64}{167}$$

$$= 0.0088$$

สำหรับ Medium 2" - 3" Gravel filter โดยใช้รูปที่11,22,24 และตารางที่ 36

จากรูปที่ 22 ได้

$$n = \frac{\log 0.55 - \log 0.46}{\log 2}$$

$$= \frac{-0.2596 - (-0.3372)}{0.3010}$$

$$= 0.25$$

จากรูปที่ 24 ได้

$$K_1 = \frac{\log 34 - \log 25}{0.25}$$

$$= \frac{1.5315 - 1.3979}{0.25}$$

$$= 0.53$$

$$K_s = \frac{2.303\ K_1}{A_v}$$

$$= \frac{2.303 \times 0.53}{92}$$

$$= 0.0133$$

สำหรับ Medium 1" - 2" Gravel filter มีสูตรดังนี้

$$\frac{L_e}{L_i} = e^{-0.0088A_vD/Q_s^{0.23}}$$

และสำหรับ Medium 2" - 3" Gravel filter มีสูตรดังนี้

$$\frac{L_e}{L_i} = e^{-0.0133A_vD/Q_s^{0.25}}$$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้วิจัย	นายวิพุธ เลาหนันทน์
การศึกษา	สำเร็จได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เมื่อปีการศึกษา 2515
สถานที่ทำงาน	การประปานครหลวง