หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

ชำรง เปรมปรีดิ์ และ จักรี จัตุทะศรี ชลศาสตร์และเครื่องกลพลังน้ำ แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย หน้า 89–91 131–134, 2521.

วรุณ คุณวาสี ทางน้ำล้น (Spillway) แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย หน้า 2–18, 56–84, 2519.

วรุณ คุณวาสี ไฮดรอลิกซ แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย หน้า 133–149, 189–194, 2521.

ภาษาอังกฤษ

Andrew L. Simon. Practical Hydraulics pp. 216–221 John Wiley & Sons.Inc.

B.Z.Kinori Manual of Surface Drainage Engineering Vol.1,pp.99–117 Elsevier Publishing Company, 1970 .

Boris A. Bakhmeteff. Varied Flow in Open Channel St.Petersburg,Russia,1912.

Bradley, J.N.and Peterka,A.J. The Hydraulic Design of Stilling Basins ASCE Journal of Hydraulics Divison. Vol.83, No.Hy5, October 1957 paper 1401–1406.

Calvin Victor Davis, Kenneth E.Sorensen Handbook of Applied Hydraulics Third Edition McGraw-Hill Book Co. 1965.

Daugherty and Franzini Fluid Mechanics with Engineering Applications 6th. Edition,pp.174–181 McGraw-Hill Book Co. 1965.

E.H. Lewitt Hydraulics and The Mechanics of Fluid Ninth Edition, pp.110–123, Sir Isaac Pitman & Sons, Ltd. 1956.

Ernest F.Brater and Horace Williams King Handbook of Hydraulics Sixth Edition, pp.5.6–5.12 McGraw-Hill Book Co.

Edward, A.Elevatorski Hydraulic Energy Dissipators pp.13-29 McGraw-Hill Book Company Inc.,1959.

George E. Russell Hydraulics Fifth Edition pp.300-303 Oxford & IBH. Publishing Co., 1966.

Herbert Addison A Treatise of Applied Hydraulics Fourth Edition pp.53-57 Chapman & Hall Ltd., 1954 .

Horace W. King, Chester O. Wisler and James G. Woodburn Hydraulics Fifth Edition pp.276-279 John Wiley & Sons, Inc.

Hunter Rouse Engineering Hydraulics pp.138-143 John Wiley & Sons,Inc.,1950.

Henry M. Morris and James M. Wiggert Applied Hydraulic in Engineering Second Edition pp.345-349 The Ronald Press Company, 1972.

Jonan M.K. Dake Essentials of Engineering Hydraulics pp.96-125 Macmillan.

Johnson J.W. and M.P. O´Brien Velocity Head Correction Factors for Hydraulic Flow pp.214-220 Engineering News Record., 1934.

J. Boussinesq On The Theory of Flowing Waters Mémoires Présentés Par Divers Savants Á1´ Académic Des Science, Paris., 1877.

Jagdish Lal Hydraulics and Fluid Mechanics Seventh Edition pp.470-485 Metropolitan Book Co. Private Ltd., 1976.

Jaromir Nemec Engineering Hydrology pp.133-143 Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd.,1973.

Kennison K.R. The Hydraulic Jump in Open Channel Flow Transactions ASCE.,1916.

Orson W. Israelsen and Vaughn E. Hansen Irrigation Principles and Practices Third Edition pp.1-4-117 John Wiley & Sons,Inc.

Ray K. Linsley and Joseph B. Franzini Water Resources Engineering pp.231-236, 260-267. McGraw-Hill Koga Kusha Ltd., 1972.

Richard H.F. Pao Fluid Mechanics Professor of Civil Engineering Rose Polytechnic Institute pp.459-470.
(หนังสือจากไต้หวันมิได้บอกบริษัทผู้พิมพ์จำหน่าย)

S.W. Yuan Foundations of Fluid Mechanics pp.162-164 Prentice-Hall of India Private Limited., 1969.

T.H. Rehbock The Determination of The Position of The Energy Line in Flowing Water with Aid of Velocity-Head Adjustment Berlin, Vol.3 , No.15 , pp.453-455, 1922.

US. Army Corps of Engineers Hydraulic Design of Spillways .

USBR. Hydraulic Design of Stilling Basins pp.5-18, pp.33-41 .

United States Department of The Interior Bureau of Reclamation Design of Small Dams pp.292-305 Oxford & IBH. Publishing Co., 1973.

Ven Te Chow Open-Channel Hydraulics pp.39-45 McGraw-Hill Kogakusha Ltd., 1959.

Warnock, J.E. Spillways and Energy Dissipators Proceedings of Hydraulic Conference, State University of Iowa Engineering Bulletin20, 1940.

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก

เวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

การหาปริมาณการไหลของมวลน้ำที่ไหลผ่านทางน้ำล้น ในการวิจัยครั้งนี้ได้อาศัยเวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่สร้างขึ้น ซึ่งขนาดของช่องเปิดกว้างและลึก 2 ฟุต × 2.9 ฟุต ตามลำดับ (จากที่คำนวณไว้ในท้ายบทที่ 3) และจากที่ได้เคยกล่าวไว้แล้วในภาคทฤษฎีบท ถึงสูตรสมการในการหาปริมาณของมวลน้ำที่ไหลผ่านเวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าว่ามีค่าเป็น

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g}\, LH^{3/2}$$

และเพื่อให้ค่าของการวัดหาปริมาณการไหลของมวลน้ำที่ผ่านเวียมีค่าถูกต้องแน่นอนสำหรับเวียอันหนึ่งๆ จึงควรสมมติ

$$Q = KH^n$$

จากนั้นจึง Calibrate หาค่า K และ n ในเวียแต่ละอันที่สร้างขึ้น โดยการทดลองวัดค่า H คือ ความสูงที่ระดับผิวน้ำเหนือขอบล่างตัวเวีย และทำ Weight Time Measurement หาค่า Q ดังค่าต่างๆ ที่หาได้ในตาราง ก.1 ขั้นต่อไปใช้ Correlation and Least-Squares Methods แปลงข้อมูลต่างๆ ในตาราง ก.1 ให้เป็นค่า log และจาก $Q = KH^n$ จะได้สมการเส้นตรง

$$\log Q = \log K + n \log H$$

หรือเขียนเป็นรูป $Y = A+nX$ ซึ่งถ้า Plot สมการเส้นตรงนี้แล้ว อาจจะใช้สายตาในการคาดคะเนเฉลี่ยให้เส้นตรงอยู่ใน Mean และสัมพันธ์กับจุดต่าง ๆ แล้ว Plot ซึ่งวิธีนั้นไม่สู้ดีนัก ทั้งนี้เพราะสายตาคนเราอาจวางเส้นผิดที่ได้ง่าย ทำให้ความเอนเอียงของเส้นตรง (Slope) หรือค่า n มีค่าคลาดเคลื่อน ดังนั้น จึงควรใช้หลักที่ว่าเส้นตรงต้องผ่าน Mean พิกัด โดยนำข้อมูลจากตาราง ก2 ซึ่งแปลงมาจาก ก1 หา Coefficient Of Correlation เพื่อดูถึงว่าข้อมูลที่จากตาราง ก1 ที่ทดลองนั้นมีความสัมพันธ์กันหรือไม่มากน้อยเพียงใด เช่นถ้ามีสมการ

$$y = a_1 x + b_1 \quad \text{.....(a)}$$

ค่า a_1 และ b_1 เป็นค่า Constant

$$a_1 = \frac{\Sigma(x-\bar{x})\ (y-\bar{y})}{\Sigma(x-\bar{x})^2}$$

ค่า x และ y เป็นข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้, $\bar{x}$ และ $\bar{y}$ เป็นค่ามัชฌิมเลขคณิตของแต่ละข้อมูลตามลำดับ

และ coefficient of correlation $r = \frac{\Sigma(x-\bar{x}) \cdot (y-\bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x-\bar{x})^2 \Sigma(y-\bar{y})^2}}$

ถ้าค่า $r = 1$ แปลว่าค่า x และ y มีความสัมพันธ์โดยตรง

ถ้า $0.6 < r < 1$ แปลว่า ค่า x และ y ที่ได้มีความสัมพันธ์เป็นอย่างดี

ถ้า $0 < r < 0.6$ แปลว่า ค่า x และ y เกี่ยวข้องกันน้อย

ถ้า $r = 0$ แปลว่า x กับ y ไม่มีความสัมพันธ์กัน

<u>วิธีทำ</u>

$$r = \frac{\Sigma(x-\bar{x}) \cdot (y-\bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x-\bar{x})^2 \Sigma(y-\bar{y})^2}}$$

จากค่าต่าง ๆ ในตาราง ก.2 นำมาแทนค่าจะได้

$$r = \frac{0.8728}{\sqrt{(0.5848)\ (1.3108)}} = 0.9968$$

นั่นคือข้อมูลต่างๆ ที่ได้มีความสัมพันธ์กันดี

$$a_1 = \frac{\Sigma(x-\bar{x})\ (y-\bar{y})}{(x-x)^2}$$

$$= \frac{0.8728}{0.5848} = 1.4926$$

$$b_1 = \bar{y} - a_1\bar{x}$$

$$= (-0.3095) - \left[(1.4925)\ (-0.8194)\right]$$

$$= 0.9135$$

ดังนั้นถ้าจะเขียนสมการเส้นตรง ในข้อมูลต่าง ๆ เหล่านั้นจะเขียนเป็นสมการได้

จาก $y = a_1 x + b_1$

เพราะฉะนั้น $y = 1.4925x + 0.9135$ .....(b)

นั่นคือภายหลังจากการ Plot ข้อมูลลงในกราฟ (ดังกราฟรูป ก 3) แล้วทำการสมมติค่า x

ถ้า $x = -0.5$ จะได้ $y = 0.1673$

$x = -0.8$ จะได้ $y = -0.2805$

$x = -1.0$ จะได้ $y = -0.579$

ซึ่งเมื่อ Plot และลากเส้นจะได้เส้นตรงอยู่ใน Mean ต่าง ๆ ของข้อมูลเหล่านั้น และมีค่า Slope ที่ถูกต้องสามารถวัดค่าได้ หรือคำนวณหาก็ได้

$$Q = KH^n$$

$$\log Q = \log K + n\log H \text{ .....(c)}$$

เมื่อ $\log H = 0$; $\log Q = \log K$.....(d)

จากสมการ (b) ถ้าค่า x หรือ $\log H = 0$ จะได้ y หรือ $\log Q = 0.9135$

นำค่า $\log Q$ แทน (d)

$$\log K = 0.9135$$

$$K = 8.194$$

จากสมการ (c) จะได้

$$n = \frac{\log Q - \log K}{\log H} \text{ .....(e)}$$

ค่า $\log K = 0.9135$ (ค่าคงที่), จากกราฟ ก 3 เมื่อ $\log Q = -0.3095$ จะได้ $\log H = -0.8194$ แทนค่าในสมการ e จะได้

$$n = \frac{(-0.3095) - (0.9135)}{(-0.8194)} = 1.49$$

นั่นคือสมการ $Q = KH^n$ สามารถเขียนเป็น

$$Q = 8.194\ H^{1.49}$$

ตาราง ก.1 ผลการทดลองระหว่างระดับความสูงของน้ำจากขอบเวียร์ กับ Weight Time Measurement จากการวัดอุณหภูมิของน้ำขณะทดลอง = 27.5°C = 81.5°F ซึ่งจะได้ sp. wt. ของน้ำ = 62.202 lb/ft^3 (ตามตารางภาคผนวก ข.)

ลำดับ	H cm.	H ft.	ΔW Kg.	T sec.	Q ft^3/sec
1	8.4	0.2756	200	6.1	1.1620
2	7.5	0.2461	200	7.3	0.9710
3	6.9	0.2264	200	8.1	0.8751
4	6.8	0.2231	200	7.8	0.9088
5	6.6	0.2165	200	8.9	0.7965
6	6.5	0.2133	200	8.5	0.8339
7	6.1	0.2001	200	9.2	0.7705
8	5.5	0.1804	200	11.3	0.6273
9	5.5	0.1804	200	11.2	0.6329
10	5.5	0.1804	200	10.8	0.6563
11	5.3	0.1739	200	11.5	0.6164
12	5.2	0.1706	200	12.0	0.5907
13	5.0	0.1640	200	12.2	0.5810

ตาราง ก.1 (ต่อ)

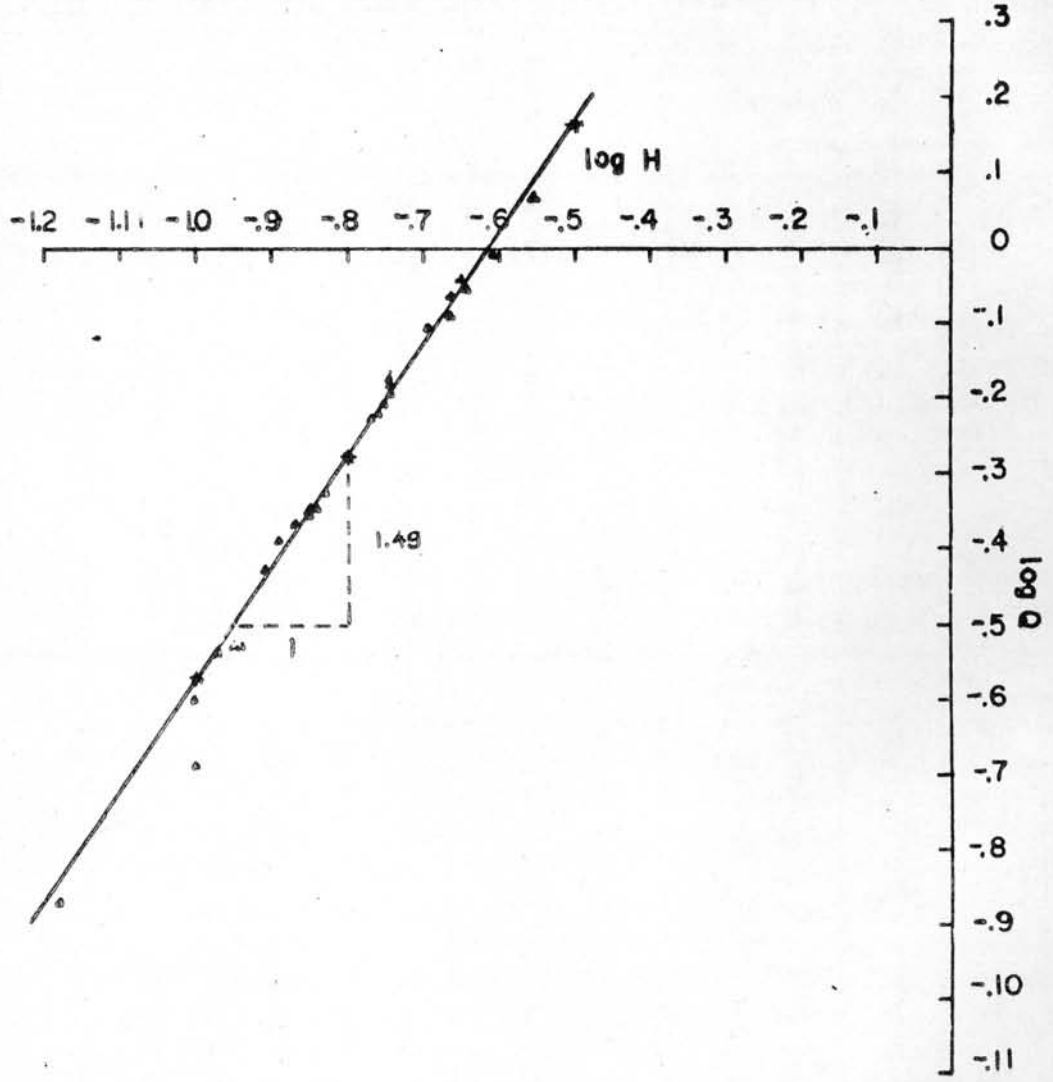
ลำดับ	H cm.	H ft.	ΔW Kg.	T sec.	Q ft^3/sec
14	4.5	0.1476	200	15.2	0.4663
15	4.4	0.1444	200	16.1	0.4403
16	4.3	0.1411	200	16.3	0.4349
17	4.3	0.1411	200	16.1	0.4403
18	4.3	0.1411	200	16.2	0.4376
19	4.1	0.1345	200	17.0	0.4170
20	3.9	0.1280	200	17.5	0.4051
21	3.7	0.1214	200	19.4	0.3654
22	3.5	0.1148	200	24.3	0.2917
23	3.4	0.1115	200	24.2	0.2929
24	3.2	0.1050	200	24.7	0.2870
25	2.8	0.0919	200	28.7	0.2470
26	2.5	0.0820	200	34.8	0.2037
27	2.0	0.0656	200	53.4	0.1327

ตาราง ก. 2 เมื่อนำผลจากตาราง ก. 1 นำมาทำ LEAST-SQUARES METHODS

ลำดับ	$x = \log H$	$y=\log Q$	$(x-\bar{x})(y-\bar{y})$	$(x-\bar{x})^2$	$(y-\bar{y})^2$
1	− 0.5597	0.0652	(0.2597)(0.3747) =0.0973	0.0674	0.1404
2	− 0.6088	−0.0127	(0.2106)(0.2968) =0.0625	0.0444	0.0881
3	− 0.6451	−0.0579	(0.1743)(0.2516) =0.0439	0.0304	0.0633
4	− 0.6515	−0.0415	(0.1679)(0.268) =0.0450	0.0282	0.0718
5	− 0.6645	−0.0986	(0.1549)(0.2107) =0.0326	0.0240	0.0444
6	− 0.6710	−0.0789	(0.1484)(0.2306) =0.0342	0.0220	0.0532
7	− 0.6988	−0.1132	(0.1206)(0.1963) =0.0237	0.0145	0.0385
8	− 0.7438	−0.2025	(0.0756)(0.107) =0.0081	0.0057	0.0114
9	− 0.7438	−0.1987	(0.0756)(0.1108) =0.0084	0.0057	0.0123
10	− 0.7438	−0.1829	(0.0756)(0.1266) =0.0096	0.0057	0.016
11	− 0.7597	−0.2101	(0.0597)(0.0994) =0.0059	0.0036	0.0099
12	− 0.7680	−0.2286	(0.0514)(0.0809) =0.0042	0.0026	0.0065
13	− 0.7852	−0.2358	(0.0342)(0.0737) =0.0025	0.0012	0.0054
14	− 0.8309	−0.3313	(−0.0115)(−0.0218)=0.00025	0.00013	0.00048
15	− 0.8404	−0.3562	(−0.0210)(−0.0467)=0.00098	0.00044	0.0022

ตาราง ก. 2(ต่อ)

ลำดับ	$x=\log H$	$y=\log Q$	$(x-\bar{x})(y-\bar{y})$	$(x-\bar{x})^2$	$(y-\bar{y})^2$
16	− 0.8505	− 0.3616	(−0.0311)(−0.0521) = 0.0016	0.00097	0.0027
17	− 0.8505	− 0.3562	(−0.0311)(−0.0467) = 0.00145	0.00097	0.0022
18	− 0.8505	− 0.3589	(−0.0311)(−0.0494) = 0.0015	0.00097	0.0024
19	− 0.8713	− 0.3799	(−0.0519)(−0.0704) = 0.0037	0.0027	0.0049
20	− 0.8928	− 0.3924	(−0.0734)(−0.0829) = 0.0061	0.0054	0.0069
21	− 0.9158	− 0.4372	(−0.0964)(−0.1277) = 0.0123	0.0093	0.0163
22	− 0.9401	− 0.5351	(−0.1207)(−0.2256) = 0.0272	0.0146	0.0509
23	− 0.9527	− 0.5333	(−0.133)(−0.2238) = 0.0298	0.0178	0.0501
24	− 0.9788	− 0.5421	(−0.1594)(−0.2326) = 0.0371	0.0254	0.0541
25	− 1.0367	− 0.6073	(−0.2173)(−0.2978) = 0.0647	0.0472	0.0887
26	− 1.0862	− 0.6910	(−0.2668)(−0.3815) = 0.1018	0.0712	0.1455
27	− 1.1831	− 0.8771	(−0.3637)(−0.5676) = 0.2064	0.1323	0.3222
	$\bar{x}$ = − 0.8194	$\bar{y}$ = − 0.3095	Σ = 0.8728	Σ = 0.5848	Σ = 1.3108



รูป ก.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า log H และ log Q ในเวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ภาคผนวก ข.

ตาราง ข. 1 คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในหน่วย fps.

Temp. F°	Specif gravit	Unit weight, lb/cu ft	Heat of Vaporization Btu/lb	Viscosity		Vapor pressure	
				Absolute lb-sec/sq.ft	Kinematic Sq. ft/sec	Millibars	Psi
32	0.99987	62.416	1073	$0.374 + 10^{-4}$	$1.93 + 10^{-5}$	6.11	0.09
40	0.99999	62.423	1066	0.323	1.67	8.36	0.12
50	0.99975	62.408	1059	0.273	1.41	12.19	0.18
60	0.99907	62.366	1054	0.235	1.21	17.51	0.26
70	0.99802	62.300	1049	0.205	1.06	24.79	0.36
80	0.99669	62.217	1044	0.180	0.929	34.61	0.51
90	0.99510	62.118	1039	0.160	0.828	47.68	0.70
100	0.99318	61.998	1033	0.143	0.741	64.88	0.95
120	0.98870	61.719	1021	0.117	0.610		1.69
140	0.98338	61.386	1010	0.0979	0.513		2.89
160	0.97729	61.006	999	0.0835	0.440		4.74

ตาราง ฉ. 1 (ต่อ)

Temp. °F	Specific gravity	Unit weight, lb/cu.ft	Heat of Vaporization Btu/lb	Viscosity		Vapor pressure	
				Absolute lb-sec/sq.ft	Kinematic Sq.ft/sec	Millibars	Psi
180	0.97056	60.586	988	0.0726	0.385		7.51
200	0.96333	60.135	977	0.0637	0.341		11.52
212	0.95865	59.843	970	0.0593	0.319		14.70

SOURCE : RAY K. LINSLEY and JOSEPH B. FRANZINI, WATER RESOURCES ENGINEERING, SECOND EDITION, 1972, pp. 665 Mc.GRAW HILL KOGAKUSHA, LTD.

ตาราง ข. 2 คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในหน่วย cgs.

Temp. °C	Specific gravity	Density gm/cm^3	Heat of Vaporization cal/gm	Viscosity		Vapor pressure		
				Absolute centiposes	Kinematic centistokes	mm Hg	Millibars	G/Cm^2
0	0.99987	0.99984	597.3	1.79	1.79	4.58	6.11	6.23
5	0.99999	0.99996	594.5	1.52	1.52	6.54	8.72	8.89
10	0.99973	0.99970	591.7	1.31	1.31	9.20	12.27	12.51
15	0.99913	0.99910	588.9	1.14	1.14	12.78	17.04	17.38
20	0.99824	0.99821	586.0	1.00	1.00	17.53	23.37	23.83
25	0.99708	0.99705	583.2	0.890	0.890	23.76	31.67	32.30
30	0.99568	0.99565	580.4	0.798	0.801	31.83	42.43	43.27
35	0.99407	0.99404	577.6	0.719	0.723	42.18	56.24	57.34
40	0.99225	0.99222	574.7	0.653	0.658	55.34	73.78	75.23
50	0.98807	0.98804	569.0	0.547	0.554	92.56	123.40	125.83
60	0.98323	0.98320	563.2	0.466	0.474	149.46	199.26	203.19
70	0.97780	0.97777	557.4	0.404	0.413	233.79	311.69	317.84

ตาราง ฉ. 2 (ต่อ)

Temp. °C	Specific gravity	Density gm/cm^2	Heat of Vaporization cal/gm	Viscosity		Vapor pressure		
				Absolute centipoises	Kinematic centistokes	mm Hg	Millibars	G/cm^2
80	0.97182	0.97179	551.4	0.355	0.365	355.28	473.67	483.01
90	0.96534	0.96531	545.3	0.315	0.326	525.89	710.13	714.95
100	0.95839	0.95836	539.1	0.282	0.294	760.00	1013.25	1033.23

SOURCE : LINSLEY, KOHLER and PAULHUS HYDROLOGY FOR ENGINEERS, SECOND EDITION pp. 448, Mc Graw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering; Mc Graw-Hill Book Company

CONVERSION CONSTANTS

UNIT OF WEIGHT OR FORCE

1 lb = 0.4536 Kg(force or weight)

UNITS OF PRESSURE AND HEADS

1 lb. per sq, inch = 2.31 ft. of water

= 0.0681 atmosphere

= 0.0703 Kg_f/cm^2

UNITS OF LENGTH

1 inch = 2.54 cm

1 foot = 0.3048 m

1 mile = 1.61 Km

UNITS OF VELOCITY

1 ft/second = 0.3048 m/second

UNITS OF AREA

1 sq.inch = 6.452 sq.cm

UNITS OF VOLUME

1 liter = 0.0353 cu.ft

UNITS OF FLOW

1 liter per second = 0.0353 cu.ft per second

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ : นายสุพงศ์ นิ่มกุลรัตน์

เกิด : ที่จังหวัดกรุงเทพฯ เมื่อวันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2493

การศึกษาและประสบการณ์ : ปี 2515 ได้รับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง จากสถาบันเทคโนโลยี่พระจอมเกล้า ธนบุรี

ปี 2517 ได้รับทุนการศึกษาจากมูลนิธินายห้างโรงงานปูนซิเมนต์ไทย และในปีเดียวกันเป็นตัวแทนนักกีฬาแม่นปืนของสถาบันฯ

ปีการศึกษา 2517 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า บางมด ธนบุรี

การทำงาน เข้าทำงานที่สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท กรุงเทพฯ ภายหลังสำเร็จการศึกษาแล้ว

ปี 2518 ทางสำนักงานฯ ส่งไปเข้าร่วมการอบรมระดับนายช่างงานสะพานที่กองฝึกอบรมกรมทางหลวง กรุงเทพฯ

ปี 2519 ทางสำนักงานฯ ส่งไปเป็นนายช่างควบคุมโครงการก่อสร้างสะพาน คสล. จำนวน 5 แห่ง ที่ จังหวัดลำปาง

ปัจจุบันนี้ นายช่างโยธา 3 สังกัด กองควบคุมการก่อสร้างฯ งานสะพาน สำนักงาน รพช. วังสุนันทา กรุงเทพฯ